

VI-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1 残留熱除去系の耐震性についての計算書

VI-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	4
2.3 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度と数値の丸め方	13
3. 評価部位	13
4. 固有周期	14
4.1 固有周期の計算方法	14
4.2 固有周期の計算条件	22
4.3 固有周期の計算結果	22
5. 構造強度評価	22
5.1 構造強度評価方法	22
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	22
5.3 設計用地震力	27
5.4 計算方法	28
5.5 計算条件	45
5.6 応力の評価	45
6. 評価結果	46
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	46
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	47
7. 引用文献	47

1. 概要

本計算書は、VI-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重大事故防止設備（設計基準拡張）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

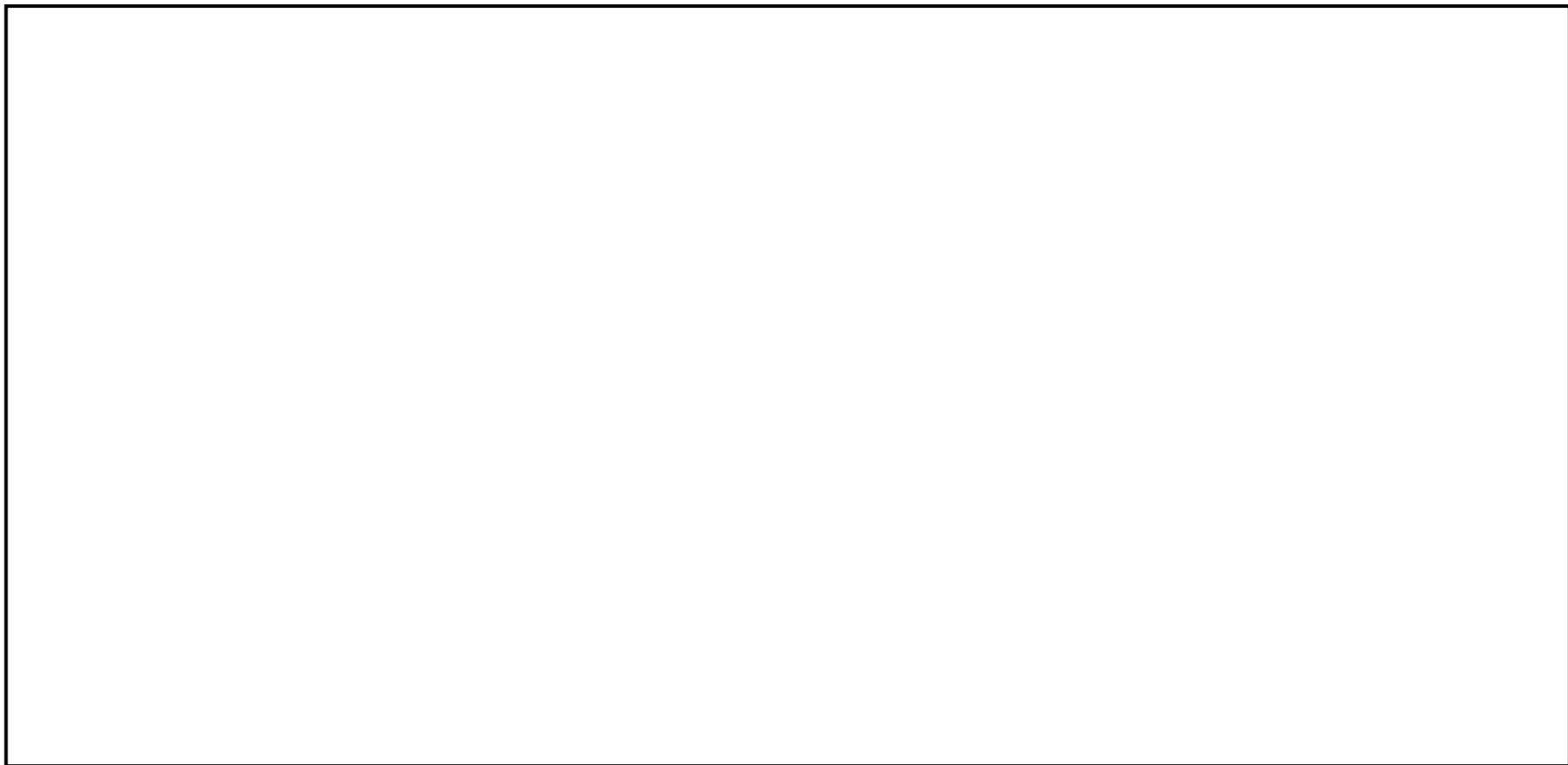
残留熱除去系熱交換器の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。胴の水平方向の変位を拘束する下部サポートは、固有周期の計算及び構造強度評価において考慮しない。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p> 胴は 4 個のラグ で支持され、下 部サポートによ り水平方向の変 位を拘束され る。ラグは基礎 ボルトで基礎に 据え付けるとと もに、ラグの回 転を拘束する耐 震補強サポ一 トに支持される。 耐震補強サポ一 トは追設基礎ボ ルトで基礎に据 え付ける。 </p>	<p> たて置 U 字管式 (ラグ支持たて 置円筒形容器) </p>	

表 2-2 構造計画 (その 2)

概略構造図



2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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. 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、「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。

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。

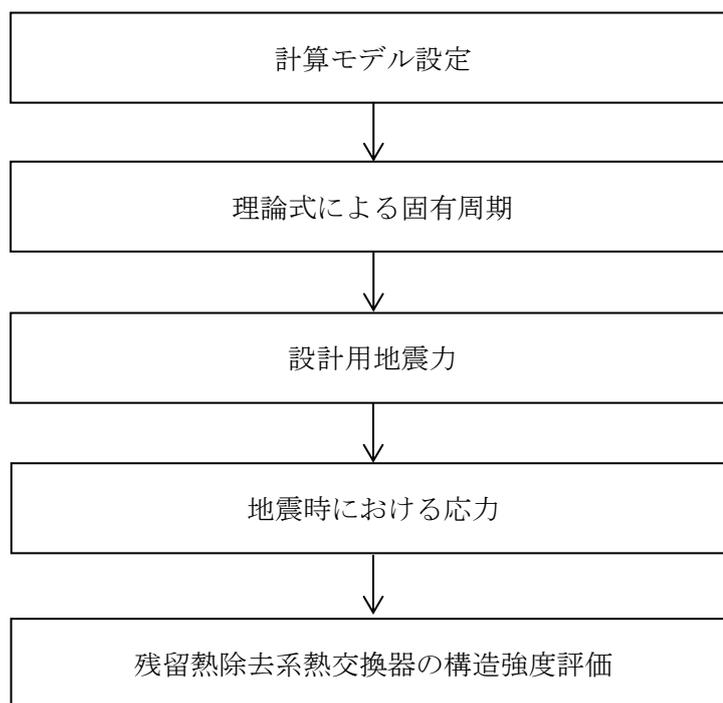


図2-1 残留熱除去系熱交換器の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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	胴の断面積	mm ²
A _a	追設基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _{b e}	基礎ボルトの有効断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _{s 1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
A _{s 2}	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
a	ラグの半径方向端面から胴板の厚さの中心までの距離	mm
b	ラグの半径方向端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
C ₁	ラグ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	ラグ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 _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
C _{c j}	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 _i	静的震度	—
C _{ℓ 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	基礎端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
D _i	胴の内径	mm
d	基礎ボルト中心間の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _b	基礎ボルトの縦弾性係数	MPa
e	ラグ底板幅の2分の1	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(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 ₀	振動モデル系における水平力	N
F ₁	振動モデル系の上部重心における水平力	N
F ₂	振動モデル系の下部重心における水平力	N
F _{0 1}	運転時質量により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1D}	鉛直下向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1U}	鉛直上向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1V}	鉛直方向地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 2}	運転時質量により基礎端面に作用する鉛直方向反力	N
F _{0 2U}	鉛直上向き地震力により基礎端面に作用する鉛直方向反力	N
F _{1 1}	水平力F ₁ 及びF ₂ により第1ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N

記号	記号の説明	単位
F_{12}	水平力 F_1 及び F_2 により第1ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{21}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{22}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{31}, F_{32}	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_a	耐震補強サポートの質量により作用する水平力	N
F_v	単位鉛直力	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	MPa
f_{sba}	せん断力のみを受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	ラグの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H_1	ラグのアタッチメント中心より上部重心までの距離	mm
H_2	ラグのアタッチメント中心より下部重心までの距離	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K_c	胴のラグ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_ℓ	胴のラグ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_1	胴の中心軸の傾きに対するばね定数	N・mm/rad
k_2	胴の中心軸の水平移動に対するばね定数	N/mm
k_3	上部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数	N/mm
k_4	下部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数	N/mm
k_5	胴の鉛直方向変位に対するばね定数	N/mm
k_6	鉛直荷重による上部胴の伸び変形によるばね定数	N/mm
k_7	鉛直荷重による下部胴の伸び変形によるばね定数	N/mm
k_{cj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの周方向の補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
$k_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの軸方向の補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
L_b	基礎ボルトの有効長さ	mm
M_0	鉛直方向荷重による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_1, M_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_3	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部のねじりモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_c	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ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ラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell D}$	鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell V}$	鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm
m_a	耐震補強サポート1枚当たりの質量	kg
m_o	容器の運転時質量	kg
m_1	ラグのアタッチメント中心より上部の運転時質量	kg
m_2	ラグのアタッチメント中心より下部の運転時質量	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
n	ラグ1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_a	耐震補強サポート1枚当たりの追設基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の周方向荷重	N
R	運転時質量によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_o	鉛直方向荷重によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_1	水平力 F_1 及び F_2 によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_D	鉛直下向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_U	鉛直上向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_V	鉛直方向地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
r_m	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
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
T_H	2質点系振動の固有周期(水平方向)	s
T_{H1}	2質点系振動の1次固有周期(水平方向)	s
T_{H2}	2質点系振動の2次固有周期(水平方向)	s
T_V	2質点系振動の固有周期(鉛直方向)	s
t	胴の厚さ	mm
Z_{sl}	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sp}	ラグのねじり断面係数	mm ³
Z_{st}	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm ³

記号	記号の説明	単位
$\beta, \beta_1,$ $\beta_2, \beta_c, \beta_l$	引用文献(1)又は(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)又は(2)によるシェルパラメータ	—
Δ_{x1}	水平力 F_1 及び F_2 による胴の中心軸の水平方向変位量	mm
Δ_{x2}	水平力 F_1 による上部胴の曲げ及びせん断変形による水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_2 による下部胴の曲げ及びせん断変形による水平方向変位量	mm
δ_{11}	上部重心へ単位水平力をかけた場合の上部重心の水平方向変位量	mm
δ_{11V}	上部重心へ単位鉛直力をかけた場合の上部重心の鉛直方向変位量	mm
δ_{12}	上部重心へ単位水平力をかけた場合の下部重心の水平方向変位量	mm
δ_{12V}	上部重心へ単位鉛直力をかけた場合の下部重心の鉛直方向変位量	mm
δ_{21}	下部重心へ単位水平力をかけた場合の上部重心の水平方向変位量	mm
δ_{21V}	下部重心へ単位鉛直力をかけた場合の上部重心の鉛直方向変位量	mm
δ_{22}	下部重心へ単位水平力をかけた場合の下部重心の水平方向変位量	mm
δ_{22V}	下部重心へ単位鉛直力をかけた場合の下部重心の鉛直方向変位量	mm
ε	拘束係数 (ラグの回転を拘束する場合: 1, ラグの回転を拘束しない場合: 0)	—
θ	水平力 F_1 及び F_2 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_0	運転時質量による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_{0U}	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_1	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第1ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第3ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの周方向ねじれ角	rad
θ_{s0}	運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s0U}	鉛直上向き地震力によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s1}	水平力 F_1 及び F_2 による第1ラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s2}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの基礎に対する傾き角	rad
π	円周率	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{11} \sim \sigma_{16}$	水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{17} \sim \sigma_{110}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_2	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{26}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{27} \sim \sigma_{210}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力の変動値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1} \sim \sigma_{b3}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}, σ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{1s} \sim \sigma_{3s}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_{4s}, σ_{5s}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_s	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s2} \sim \sigma_{s4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s5}, σ_{s6}	水平方向地震力（X方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s7}	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{xx1} \sim \sigma_{xx4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1} \sim \sigma_{\phi x4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z1} \sim \sigma_{\phi z6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2xx1} \sim \sigma_{2xx4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2xz1} \sim \sigma_{2xz6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi x1} \sim \sigma_{2\phi x4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi z1} \sim \sigma_{2\phi z6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	内圧による胴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_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x3}$	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
σ_{x4}	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軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x 5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x 5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 6}, \sigma_{x 6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 6}, \sigma_{2x 6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 7}, \sigma_{x 7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 7}, \sigma_{2x 7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x 8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 8}, \sigma_{2x 8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x 9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 9}, \sigma_{2x 9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x 10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 10}, \sigma_{2x 10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{x 11}$	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{\phi 12D}, \sigma_{x 12D}$	鉛直下向き地震力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の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12U}, \sigma_{x 12U}$	鉛直上向き地震力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の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12}, \sigma_{x 12}$	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周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12D}, \sigma_{2x 12D}$	鉛直下向き地震力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の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12U}, \sigma_{2x 12U}$	鉛直上向き地震力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の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12}, \sigma_{2x 12}$	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周方向及び軸方向の二次応力	MPa
τ_3	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ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

記号	記号の説明	単位
τ_6	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ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_a	追設基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4}, τ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{l1}	運転時質量により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l2}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l5}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l6D}	鉛直下向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l6U}	鉛直上向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l6}	鉛直方向地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s2} \sim \tau_{s4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s5} \sim \tau_{s6}$	水平方向地震力（X方向）によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s7}	鉛直方向地震力によるラグのせん断応力	MPa
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s
ω_V	鉛直方向振動系の角速度	rad/s

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-3に示すとおりである。

表2-3 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
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}
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	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

残留熱除去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、耐震評価上厳しくなる胴、ラグ、基礎ボルト及び追設基礎ボルトについて評価を実施する。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及び表2-2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

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量はラグの中心を基準にして、上部側、下部側に分け、それぞれの全質量が、それぞれの重心に集中するものとする。
- b. ラグの基礎への据え付けは、基礎ボルトで行っており、鉛直方向荷重に対しては、ラグと基礎との据え付け部でボルトの伸びを考慮する。
- c. ラグは、胴の半径方向にスライドすることから半径方向の荷重は受けもたない。
- d. 本機器は、ラグが外部サポートの支持により回転しない構造となっているため、ラグの回転を無視する。
- e. 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。
- f. 胴板とラグの付け根部において胴板の局部変形を考慮する。
- g. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

計算モデルを図4-1に示す。

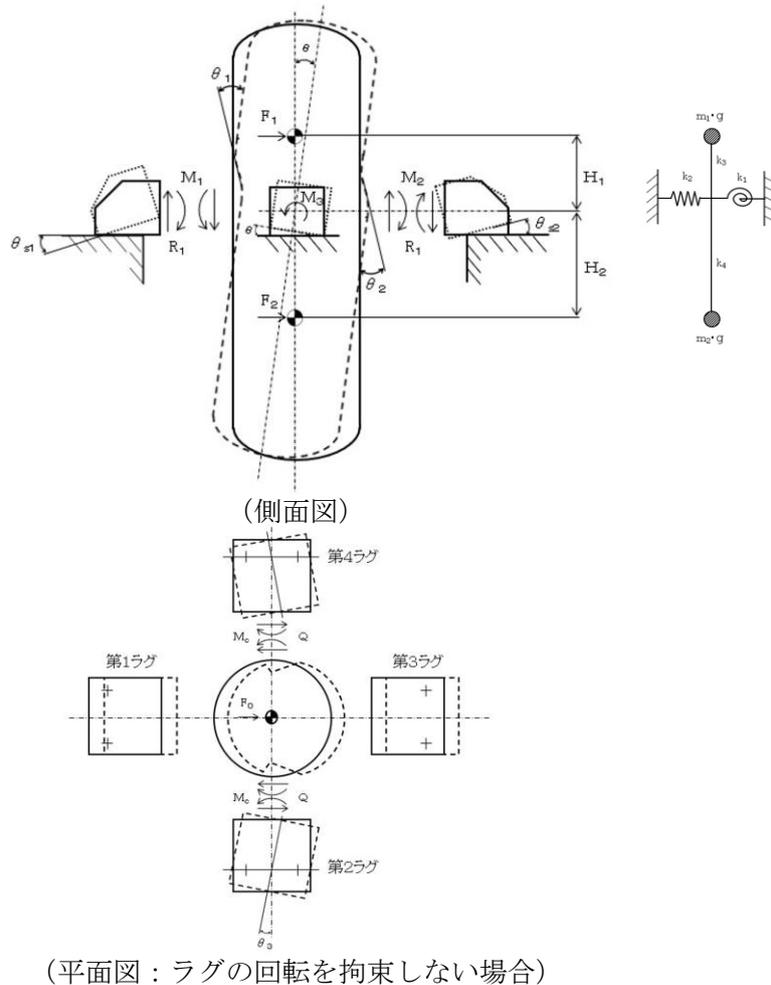


図4-1 水平方向変形モード及び計算モデル図

(2) 水平方向の固有周期

2 質点系振動の固有周期は次式で求める。

$$T_H = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_H} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

水平方向振動系における角速度 ω_H は 2 質点系の自由振動の式より求める。

$$10^{-6} \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot (\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{12} \cdot \delta_{21}) \cdot \omega_H^4 - 10^{-3} \cdot (\delta_{11} \cdot m_1 + \delta_{22} \cdot m_2) \cdot \omega_H^2 + 1 = 0 \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ここで、(4.1.1) 式と (4.1.2) 式で求めた T_H のうち、大きい方の固有周期を T_{H1} 、小さい方の固有周期を T_{H2} とする。

δ_{11} 及び δ_{21} は容器上部重心の位置へ単位水平力をかけた場合の上部及び下部重心の水平変位量で、 δ_{12} 及び δ_{22} は容器下部重心の位置へ単位水平力をかけた場合の上部及び下部重心の水平変位量である。これらは、次式で表すことができる。

$$\delta_{11} = \frac{H_1^2}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\delta_{21} = \delta_{12} = \frac{1}{k_2} - \frac{H_1 \cdot H_2}{k_1} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$\delta_{22} = \frac{H_2^2}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_4} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ばね定数 k_1 、 k_2 、 k_3 及び k_4 は次により求める。

a) ばね定数 k_1

胴の中心軸の傾きに対するばね定数 k_1 は、次式で表される。

$$k_1 = \frac{|F_1 \cdot H_1 - F_2 \cdot H_2|}{\theta} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

ここで、 θ はラグ、基礎ボルト及び胴について、それぞれの荷重、モーメント及び変位量の釣合い条件の方程式を作ることにより、次のようにして求める。

a. 胴への荷重、モーメント及び胴の変位量の釣合い条件の方程式

水平力の釣合いより

$$F_0 = F_1 + F_2 = 2 \cdot Q \dots\dots\dots (4.1.7)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$F_1 \cdot H_1 - F_2 \cdot H_2 - M_1 - M_2 + 2 \cdot M_3 - 2 \cdot R_1 \cdot r_m = 0 \dots\dots (4.1.8)$$

ここで、 r_m は次による。

$$r_m = \frac{D_i + t}{2} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

転倒モーメントによる第1ラグ及び第3ラグの胴の付け根部の局部傾き角は、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(1)の表より値を求めることにより、次のようにして求めることができる。

$$\gamma = \frac{r_m}{t} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m} \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$\beta_\ell = k_\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.1.13)$$

局部傾き角は次式で求められる。

$$\theta_1 = \frac{-M_1 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.14)$$

$$\theta_2 = \frac{-M_2 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

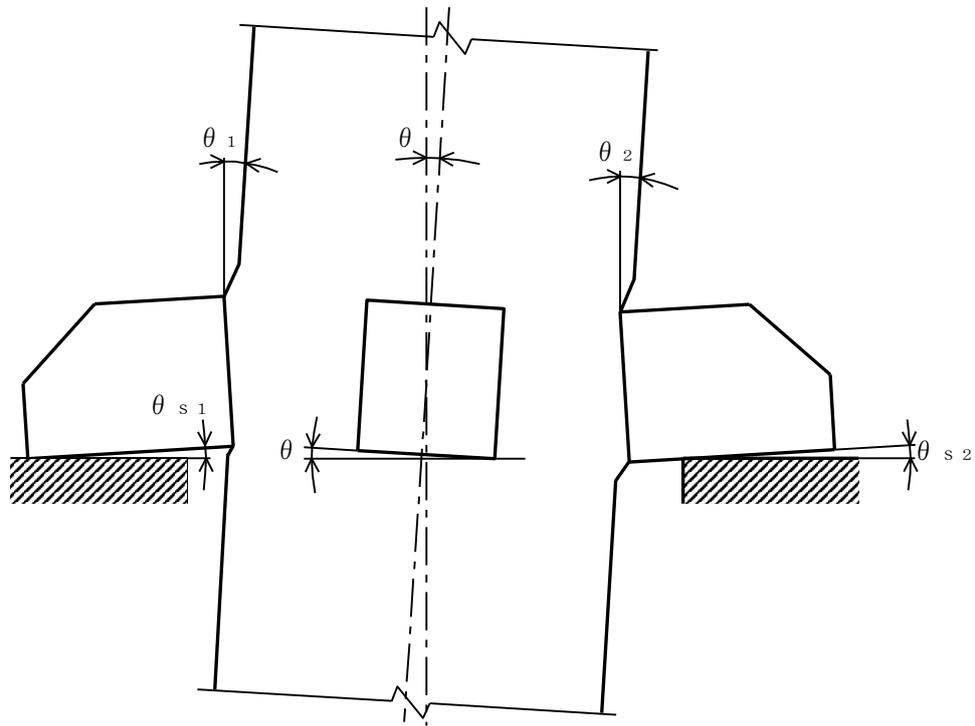


図4-2 転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角

b. 第1ラグのモーメントと鉛直力の釣合い条件の方程式

モーメントの釣合いより

$$F_{12} \cdot (a-b-c) - F_{11} \cdot (a-b) + M_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.16)$$

鉛直力の釣合いより

$$F_{12} - F_{11} + R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.17)$$

c. 第3ラグのモーメントと鉛直力の釣合い条件の方程式

モーメントの釣合いより

$$F_{21} \cdot (a-b) - F_{22} \cdot a + M_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.18)$$

鉛直力の釣合いより

$$F_{22} - F_{21} - R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.19)$$

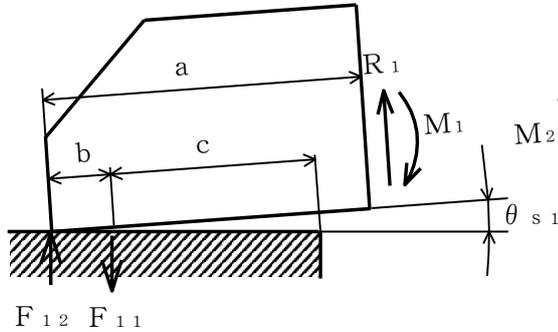


図4-3 第1ラグに作用するモーメントと力

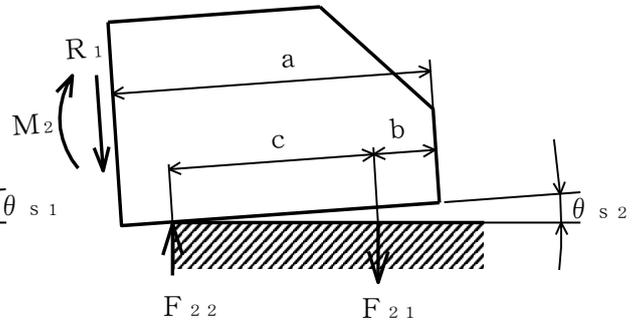


図4-4 第3ラグに作用するモーメントと力

d. 第2及び第4ラグのモーメント及び鉛直力の釣合い条件の方程式

モーメントの釣合いより

$$-F_{31} \cdot \frac{d}{2} + F_{32} \cdot \frac{d}{2} + (F_{31} + F_{32}) \cdot e + M_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.20)$$

基礎ボルトの伸びと力の関係より

$$\frac{F_{31}}{e - \frac{d}{2}} = \frac{F_{32}}{e + \frac{d}{2}} \quad \dots\dots\dots (4.1.21)$$

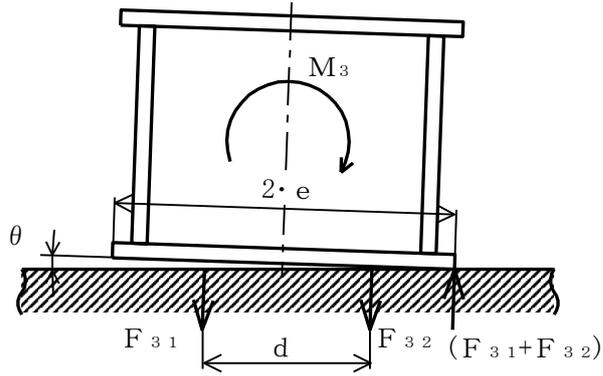


図4-5 第2ラグ及び第4ラグに作用するモーメントと力

ラグの基礎に対する傾き角は，ボルトの伸びと力の平衡条件より求められる。

第1ラグについて

$$\theta_{s1} = \frac{F_{11} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots \quad (4.1.22)$$

第3ラグについて

$$\theta_{s2} = \frac{F_{21} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \quad \dots \quad (4.1.23)$$

第2及び第4ラグについて

$$\theta = \frac{F_{32} \cdot L_b}{A_{be} \cdot E_b \cdot \left(e + \frac{d}{2} \right)} \quad \dots \quad (4.1.24)$$

胴中心軸の傾き角 θ ，ラグ付け根部の局部傾き角 θ_1 及び θ_2 並びにラグの基礎に対する傾き角 θ_{s1} 及び θ_{s2} の間には次の関係が成立する。

$$\theta_{s1} - \theta_1 + \theta = 0 \quad \dots \quad (4.1.25)$$

$$\theta_{s2} - \theta_2 + \theta = 0 \quad \dots \quad (4.1.26)$$

$$(a - b - c) \cdot \theta_{s1} - 2r_m \cdot \theta + a \cdot \theta_{s2} = 0 \quad \dots \quad (4.1.27)$$

胴中心軸の傾き角 θ は以上の式を連立させて解くことにより求められる。

b) ばね定数 k_2

胴の水平方向移動に対するばね定数 k_2 は，次式で表される。

$$k_2 = \frac{F_0}{\Delta_{x1}} \quad \dots \quad (4.1.28)$$

胴の水平方向移動に対するばね定数 k_2 の逆数は，(4.1.31) 式～(4.1.33) 式より次式で表される。

$$\frac{1}{k_2} = \frac{Q}{F_0} \cdot \frac{(a-b)^2 \cdot K_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} \cdot (1-\varepsilon) \quad \dots\dots\dots (4.1.29)$$

本機器は耐震補強サポートの支持によりラグが回転しない構造となっているため、拘束係数 $\varepsilon = 1$ とする。

したがって、

$$\frac{1}{k_2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.30)$$

となる。

ここで、 F_0 は (4.1.7) 式で求められる値を用い、 Δ_{x1} は

$$\Delta_{x1} = (a-b) \cdot \theta_3 \quad \dots\dots\dots (4.1.31)$$

θ_3 は (4.1.7) 式で求められる Q の値を用いることにより以下により求める。

第2ラグ及び第4ラグの曲げモーメントの釣合いより

$$M_c = Q \cdot (a-b) \cdot (1-\varepsilon) \quad \dots\dots\dots (4.1.32)$$

水平力による第2ラグ及び第4ラグの胴の付け根部の局部傾き角は、(4.1.14) 式の θ_1 又は (4.1.15) 式の θ_2 と同様にして、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)の表より値を求めることにより、次式で求められる。

$$\theta_3 = \frac{M_c \cdot K_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.33)$$

ここで、 β_c は次による。

$$\beta_c = k_c \cdot \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (4.1.34)$$

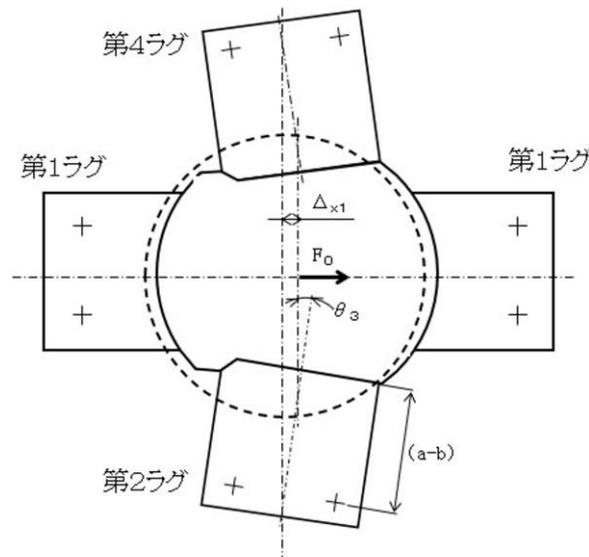


図4-6 水平力による胴中心軸の変位量
(ラグの回転を拘束しない場合)

c) ばね定数 k_3

水平力による上部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数 k_3 は、次式で表される。

$$k_3 = \frac{F_1}{\Delta_{x2}} \quad \dots\dots\dots (4.1.35)$$

ここで、 Δ_{x2} は

$$\Delta_{x2} = \frac{F_1 \cdot H_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F_1 \cdot H_1}{G \cdot A_e} \quad \dots\dots\dots (4.1.36)$$

胴の断面二次モーメント及び有効せん断断面積は、それぞれ次のように表される。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.37)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.38)$$

d) ばね定数 k_4

水平力による下部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数 k_4 は、次式で表される。

$$k_4 = \frac{F_2}{\Delta_{x3}} \quad \dots\dots\dots (4.1.39)$$

ここで、 Δ_{x3} は以下による。

$$\Delta_{x3} = \frac{F_2 \cdot H_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F_2 \cdot H_2}{G \cdot A_e} \quad \dots\dots\dots (4.1.40)$$

(3) 鉛直方向の固有周期

2質点系振動の固有周期は次式で求める。

$$T_V = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_V} \quad \dots\dots\dots (4.1.41)$$

$$10^{-6} \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot (\delta_{11V} \cdot \delta_{22V} - \delta_{12V} \cdot \delta_{21V}) \cdot \omega_V^4 - 10^{-3} \cdot (\delta_{11V} \cdot m_1 + \delta_{22V} \cdot m_2) \cdot \omega_V^2 + 1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.42)$$

ここで、 δ_{11V} 及び δ_{21V} は容器上部重心の位置へ単位鉛直力をかけた場合の上部及び下部重心の鉛直変位量で、 δ_{12V} 及び δ_{22V} は容器下部重心の位置へ単位鉛直力をかけた場合の上部及び下部重心の鉛直変位量である。これらは、次式で表すことができる。

$$\delta_{11V} = \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_6} \quad \dots\dots\dots (4.1.43)$$

$$\delta_{21V} = \delta_{12V} = \frac{1}{k_5} \quad \dots\dots\dots (4.1.44)$$

$$\delta_{22V} = \frac{1}{k_5} - \frac{1}{k_7} \quad \dots\dots\dots (4.1.45)$$

a) ばね定数 k_5

鉛直方向変位に対するばね定数 k_5 は、鉛直方向の力の釣合いより

$$4 \cdot R_0 - F_V = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.46)$$

ラグについて、モーメントと力の平衡条件より

$$(a-b-c) \cdot F_{02} - (a-b) \cdot F_{01} - M_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.47)$$

$$F_{02} - F_{01} - R_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.48)$$

ラグ付け根部の局部傾き及びラグの基礎に対する傾き角は次式で表すことができる。

$$\theta_0 = \frac{M_0 \cdot K_\ell}{r_m^2 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.49)$$

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (4.1.50)$$

ラグ付け根部の局部傾きとラグの基礎に対する傾き角は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \quad \dots\dots\dots (4.1.51)$$

以上の式を連立させて解くことより θ_{s0} が得られる。したがって、鉛直方向変位に対するばね定数 k_5 は、次式により与えられる。

$$k_5 = \frac{F_V}{(a-b-c) \cdot \theta_{s0}} \quad \dots\dots\dots (4.1.52)$$

b) ばね定数 k_6

鉛直荷重による上部胴の伸び変形によるばね定数 k_6 は、次式により与えられる。

$$\frac{1}{k_6} = \frac{H_1}{A \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.53)$$

ここで、胴の断面積は次のように表される。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.54)$$

c) ばね定数 k_7

鉛直荷重による下部胴の伸び変形によるばね定数 k_7 は、次式により与えられる。

$$\frac{1}{k_7} = \frac{H_2}{A \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.55)$$

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【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位: s)

水平方向(1次)	
水平方向(2次)	
鉛直方向	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項a.～c.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として強度評価において組み合わせる。なお、基礎ボルト及び追設基礎ボルトは、作用する荷重の算出において組み合わせる。
- (2) 水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を用いる。

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

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 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

残留熱除去系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 及び表 5-4 に示す。

5.2.3 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 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*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

注記*：クラス 2 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	残留熱除去 設備	残留熱除去系 熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等* ² クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	ⅣA S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として ⅣA S 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			
	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 _A S	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のうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 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不要。	
IV _A S				
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	*2 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不要。	

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・S_yを超えるとき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5-4 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} (ボルト等以外)		許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	組合せ		引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$		$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A 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 5-5 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SGV49* ¹	最高使用温度	85	—	242	441	—
ラグ	SM41A* ² (40mm<厚さ≤75mm)	最高使用温度	85	—	199	377	—
基礎ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	66	—	730	868	—
追設基礎 ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	66	—	730	868	—

注記*1 : SGV480 相当

*2 : SM400A 相当

表 5-6 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SGV49* ¹	最高使用温度	140	—	233	425	—
ラグ	SM41A* ² (40mm<厚さ≤75mm)	最高使用温度	140	—	183	373	—
基礎ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	140	—	659	847	—
追設基礎 ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	140	—	659	847	—

注記*1 : SGV480 相当

*2 : SM400A 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-7 及び表 5-8 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5-7 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)		原子炉建物 EL 23.8* ¹					
固有周期 (s)		[]					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴	応答水平震度* ⁵		応答鉛直震度* ⁵
		NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	
1次	[]	3.02	2.56	—	5.85	5.16	—
動的震度* ⁶ , * ⁷		1.10	1.19	1.10	1.73	1.71	2.07
静的震度* ⁸		0.75	0.76	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S d）より得られる震度

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）より得られる震度

*6：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 5-8 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)		原子炉建物 EL 23.8* ¹					
固有周期 (s)		[]					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁵
		NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	
1次	[]	—	—	—	5.85	5.16	—
動的震度* ⁵ , * ⁶		—	—	—	1.73	1.71	2.07
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動S_s）より得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

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

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

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

(2) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

(3) 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

$$\sigma_{x11} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(4) 運転時質量による胴のラグ付け根部の応力

運転時質量 m_0 による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R - m_0 \cdot g = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

上式を変形して

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

また、ラグについて図5-1のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02} \cdot (a - b - c) - F_{01} \cdot (a - b) - M_\ell = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

$$F_{02} - F_{01} - R = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

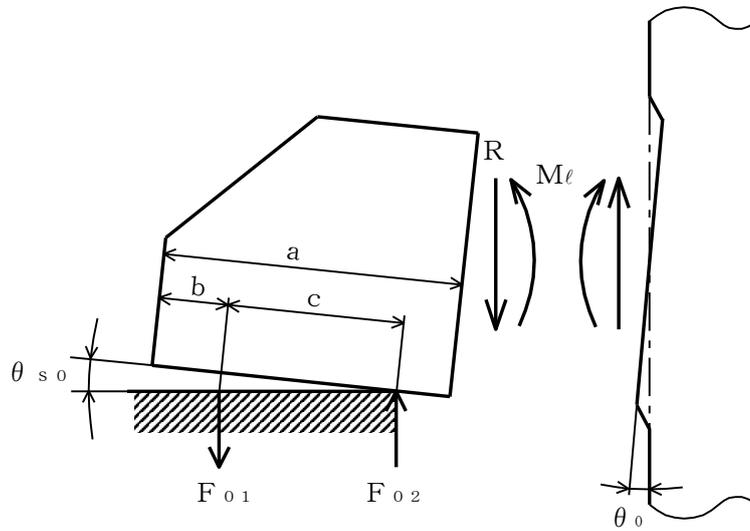


図5-1 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

(5.4.1.1.8) 式へ (5.4.1.1.9) 式を代入して

$$F_{01} = \frac{R \cdot (a - b - c) - M_\ell}{c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

運転時質量によるラグの付け根部の傾き角 θ_0 は次式で求める。

$$\theta_0 = \frac{M_\ell \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0} は次式で求める。

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_0 とラグの傾き角 θ_{s0} は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

以上の式を連立させて解くことにより、次式が求まる。

$$M_\ell = \frac{R \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_\ell \cdot c^2}{r_{m^3} \cdot \beta_\ell^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

運転時質量によ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、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)の表より値を求める(以下、*を付記する)ことにより、次式で求めることができる。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r_{m^2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_{m^2} \cdot t \cdot \beta_\ell} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots (5.4.1.1.15)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_\ell / (r_{m^2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_{m^2} \cdot t \cdot \beta_\ell} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots (5.4.1.1.16)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_ℓ は次式で表される。

$$\beta_\ell = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

反力Rによるせん断応力は

$$\tau_{\ell 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力は、下記(a)項及び(b)項より得られる

$\sigma_{\phi 1 2 D}$, $\sigma_{\phi 1 2 U}$, $\sigma_{x 1 2 D}$, $\sigma_{x 1 2 U}$, $\sigma_{2 \phi 1 2 D}$, $\sigma_{2 \phi 1 2 U}$, $\sigma_{2 x 1 2 D}$, $\sigma_{2 x 1 2 U}$, $\tau_{\ell 6 D}$, $\tau_{\ell 6 U}$ を用いて下記のように求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{\phi 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{\phi 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

$$\sigma_{x 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{x 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{x 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{2 \phi 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{2 \phi 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

$$\sigma_{2 x 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{2 x 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{2 x 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

反力によるせん断応力

$$\tau_{\ell 6} = \text{Max} \left[\tau_{\ell 6 D}, \tau_{\ell 6 U} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

(a) 鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直下向き地震荷重により生じる応力は5.4.1.1(4)で与えられた連立方程式において、 $m_0 \cdot g$ を $m_0 \cdot g \cdot C_v$ に置き換えて解くことにより求められる。

$$R_D = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{4} \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$M_{\ell D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

$$F_{01D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c) - M_{\ell D}}{c} \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell D}$ 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 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} によって引用文献(2)の表より値を求める(以下、*を付記する)ことにより、次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2D} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots (5.4.1.1.27)$$

$$\sigma_{x 1 2D} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots (5.4.1.1.28)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 1 2D} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6M_{\ell D}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

$$\sigma_{2x 1 2D} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6M_{\ell D}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} 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} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

反力 R_D によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6D} = \frac{R_D}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

(b) 鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直上向き地震力 $(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g$ による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R_U - (C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

また、ラグについて図5-2のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02U} \cdot a - F_{01U} \cdot (a - b) + M_{\ell U} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

$$F_{02U} - F_{01U} + R_U = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

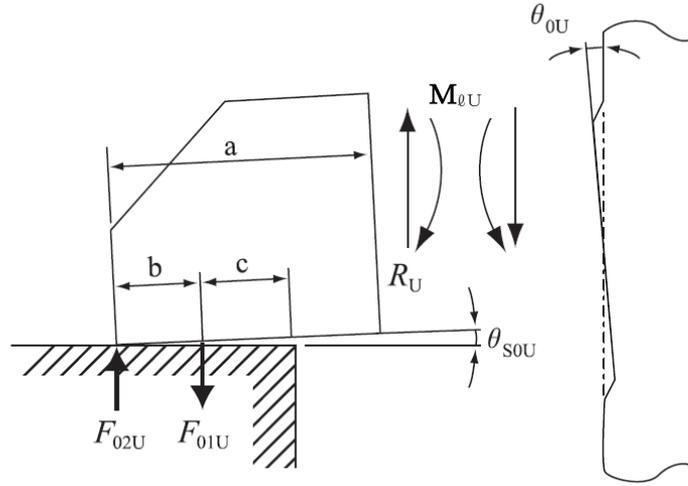


図5-2 鉛直上向き荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} は、

$$\theta_{0U} = \frac{M_{\ell U} \cdot K_{\ell}}{r m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

ラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0U} は、

$$\theta_{s0U} = \frac{F_{01U} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} とラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0U} は等しいから

$$\theta_{0U} = \theta_{s0U} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

以上の式を連立させて解くことにより R_U 、 $M_{\ell U}$ 、 F_{01U} は次式で求める。

$$R_U = \frac{(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

$$M_{\ell U} = \frac{R_U \cdot a}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot b^2}{r m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$F_{01U} = \frac{-R_U \cdot a + M_{\ell U}}{b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

鉛直上向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell U}$ 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 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} によって引用文献(2)の表より値を求める（以下、*を付記する）ことによって、次式で求められる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2 U} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad (5.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 1 2 U} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad (5.4.1.1.43)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2 U} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{2 x 1 2 U} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.45)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} 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} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.46)$$

反力 R_U によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6 U} = \frac{R_U}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.4.1.1.47)$$

(6) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x 4} = \frac{C_H \cdot m_2 \cdot g \cdot H_2 \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \quad \dots \quad (5.4.1.1.48)$$

ここで、胴の断面二次モーメント I は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots \quad (5.4.1.1.49)$$

(7) 水平方向地震力（Z方向）による胴のラグ付け根部に作用する荷重及びモーメント

「4.1 固有周期の計算方法」における水平力 F_1 を $C_H \cdot m_1 \cdot g$ 、 F_2 を $C_H \cdot m_2 \cdot g$ に置き換えて得られる M_1 、 M_2 、 R_1 及び M_3 の値を使用する。

鉛直方向モーメント M_1 及び M_2 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は
(5.4.1.1.15) 式の $\sigma_{\phi 3}$ 及び(5.4.1.1.16) 式の $\sigma_{x 3}$ と同様にして

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots \quad (5.4.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 5} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.51)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.52)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left\{ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.53)$$

一次応力

$$\sigma_{\phi 6} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots \quad (5.4.1.1.54)$$

$$\sigma_{x 6} = \left\{ \frac{N_x}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.55)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 6} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.56)$$

$$\sigma_{2x 6} = \left\{ \frac{M_x}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.57)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} 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} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.58)$$

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
一次応力

$$\sigma_{\phi 7} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \quad \cdot \quad (5.4.1.1.59)$$

$$\sigma_{x 7} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \quad \cdot \quad (5.4.1.1.60)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 7} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \cdots \quad (5.4.1.1.61)$$

$$\sigma_{2x 7} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \cdots \quad (5.4.1.1.62)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_c 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_c を乗じた値とする。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \cdots \cdots \cdots (5.4.1.1.63)$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{|Q|}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \cdots \cdots \cdots (5.4.1.1.64)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力

$$\tau_{l2} = \frac{|R_1|}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \cdots \cdots \cdots (5.4.1.1.65)$$

モーメント M_3 により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{|M_3|}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \quad \cdots \cdots \cdots (5.4.1.1.66)$$

(8) 水平方向地震力 (X方向) による胴のラグ付け根部の応力

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応力は

$$\sigma_{\phi 8} = \sigma_{\phi 5} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x 8} = \sigma_{x 5} / \sqrt{2},$$

$$\sigma_{2\phi 8} = \sigma_{2\phi 5} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x 8} = \sigma_{2x 5} / \sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメント M_2 により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\sigma_{\phi 9} = \sigma_{\phi 6} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x 9} = \sigma_{x 6} / \sqrt{2},$$

$$\sigma_{2\phi 9} = \sigma_{2\phi 6} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x 9} = \sigma_{2x 6} / \sqrt{2}$$

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応力は

$$\sigma_{\phi 10} = \sigma_{\phi 7} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x 10} = \sigma_{x 7} / \sqrt{2},$$

$$\sigma_{2\phi 10} = \sigma_{2\phi 7} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x 10} = \sigma_{2x 7} / \sqrt{2}$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R₁によるせん断応力は

$$\tau_{l5} = \tau_{l2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメントM₃による胴のせん断応力は

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2}$$

(9) 組合せ応力

(1)～(9)によって算出される胴のラグ付け根部に生じる応力は、以下により組み合わせられる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max}[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.67)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.69)$$

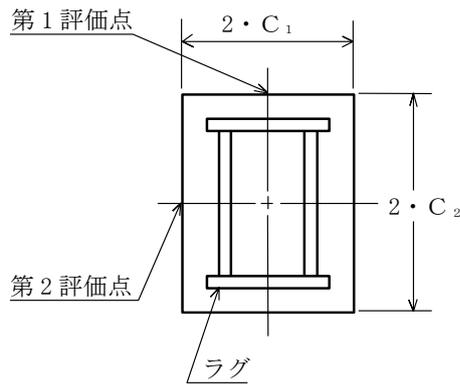


図5-3 胴の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \text{Max} (\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}) \dots \dots \dots (5.4.1.1.70)$$

a) 水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力

(a) 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 5}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.71)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 5})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12})^2} \dots (5.4.1.1.72)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \dots \dots \dots (5.4.1.1.73)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.74)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 11}^2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.75)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + (4 \cdot [\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 6}^2}]^2) \right\} \dots (5.4.1.1.76)$$

(b) 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (5.4.1.1.77)$$

$$\sigma_{\phi x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots \dots \dots (5.4.1.1.78)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \right\} \dots (5.4.1.1.79)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 7}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.80)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 7}^2 + \sigma_{x 11}^2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.81)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_3^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \right\} \dots (5.4.1.1.82)$$

(c) 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 6}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.83)$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 6})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad (5.4.1.1.84)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.85)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.86)$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.87)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.88)$$

b) 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の組合せ一次応力

(a) 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 8}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.89)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad (5.4.1.1.90)$$

$$\sigma_{17} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.91)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 1 0}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.92)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.93)$$

$$\sigma_{18} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.94)$$

(b) 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 9}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.95)$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 9})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad (5.4.1.1.96)$$

$$\sigma_{19} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.97)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 1 0}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.98)$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.99)$$

$$\sigma_{110} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.100)$$

c. 一次+二次応力の変動値

$$\sigma_2 = \text{Max} (\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}, \sigma_{27}, \sigma_{28}, \sigma_{29}, \sigma_{210}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.101)$$

a) 水平方向地震力 (Z方向) 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

(a) 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \dots\dots (5.4.1.1.102)$$

$$\sigma_{2x z 1} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 5})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2})^2} \dots\dots (5.4.1.1.103)$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{2\phi z 1} + \sigma_{2x z 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 1} - \sigma_{2x z 1})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.104)$$

第2評価点について

$$\sigma_{2\phi z 2} = \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.105)$$

$$\sigma_{2x z 2} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.106)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi z 2} + \sigma_{2x z 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 2} - \sigma_{2x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6}^2 + \tau_{\ell 2}^2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.107)$$

(b) 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 3} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.108)$$

$$\sigma_{2x z 3} = \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.109)$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi z 3} + \sigma_{2x z 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 3} - \sigma_{2x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.110)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 7} + \sigma_{2\phi 7})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.111)$$

$$\sigma_{2x z 4} = \sqrt{(\sigma_{x 7} + \sigma_{2x 7})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.112)$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi z 4} + \sigma_{2x z 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 4} - \sigma_{2x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6}^2 + \tau_3^2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.113)$$

(c) 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 5} = \sqrt{(\sigma_{\phi 6} + \sigma_{2\phi 6})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.114)$$

$$\sigma_{2xz 5} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 6} + \sigma_{2x 6})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2x 12})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.115)$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{2\phi z 5} + \sigma_{2xz 5} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 5} - \sigma_{2xz 5})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.116)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.117)$$

$$\sigma_{2xz 6} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 11}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.118)$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{2\phi z 6} + \sigma_{2xz 6} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 6} - \sigma_{2xz 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6}^2 + \tau_{\ell 2}^2)} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.119)$$

b) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震力のみによる一次+二次応力の変動値

(a) 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 8} + \sigma_{2\phi 8})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.120)$$

$$\sigma_{2xx 1} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{2x 8})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2x 12})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.121)$$

$$\sigma_{27} = \sigma_{2\phi x 1} + \sigma_{2xx 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 1} - \sigma_{2xx 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.122)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 2} = \sqrt{(\sigma_{\phi 10} + \sigma_{2\phi 10})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.123)$$

$$\sigma_{2xx 2} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{2x 10})^2 + \sigma_{x 11}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.124)$$

$$\sigma_{28} = \sigma_{2\phi x 2} + \sigma_{2xx 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 2} - \sigma_{2xx 2})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.125)$$

(b) 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 3} = \sqrt{(\sigma_{\phi 9} + \sigma_{2\phi 9})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.126)$$

$$\sigma_{2xx 3} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{2x 9})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2})^2} \quad (5.4.1.1.127)$$

$$\sigma_{2 9} = \sigma_{2\phi x 3} + \sigma_{2xx 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 3} - \sigma_{2xx 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \quad (5.4.1.1.128)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.129)$$

$$\sigma_{2xx 4} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2x 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.130)$$

$$\sigma_{2 1 0} = \sigma_{2\phi x 4} + \sigma_{2xx 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 4} - \sigma_{2xx 4})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.131)$$

5.4.1.2 ラグの応力

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{M_{\ell}}{Z_{s t}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$\tau_{s 1} = \frac{R}{A_{s 1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s 7} = \frac{M_{\ell V}}{Z_{s t}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

$$\tau_{s 7} = \frac{R_V}{A_{s 1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

ここで、 $M_{\ell V}$ 、 R_V は5.4.1.1(4)で得られた $M_{\ell D}$ 、 $M_{\ell U}$ 、 R_D 、 R_U を用いて下式より求める。

$$M_{\ell V} = \text{Max}(|M_{\ell D}|, |M_{\ell U}|) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

$$R_V = \text{Max}(|R_D|, |R_U|) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

(3) 水平方向地震力 (Z方向) による応力

第1ラグについて

$$\sigma_{s2} = \frac{|M_1|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

$$\tau_{s2} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s3} = \frac{|M_c|}{Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

$$\tau_{s3} = \frac{|M_3|}{Z_{sp}} + \frac{|Q|}{A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{s4} = \frac{|M_2|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.11)$$

$$\tau_{s4} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.12)$$

(4) 水平方向地震力 (X方向) による応力

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s5} = \frac{|M_1|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.13)$$

$$\tau_{s5} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.14)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{s6} = \frac{|M_2|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.15)$$

$$\tau_{s6} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.16)$$

(5) 組合せ応力

ラグの最大応力は次式で求める。

$$\sigma_s = \text{Max}(\sigma_{1s}, \sigma_{2s}, \sigma_{3s}, \sigma_{4s}, \sigma_{5s}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.17)$$

- a. 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグについて

$$\sigma_{1s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s2}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.18)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{2s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s3}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.19)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{3s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s4}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s4}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.20)$$

- b. 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{4s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s5}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s5}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.21)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{5s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s6}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s6}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.22)$$

5.4.1.3 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの最大引張応力及び最大せん断応力は次式で求める。

$$\sigma_b = \text{Max}(\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

$$\tau_b = \text{Max}(\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

- (1) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{11}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b2} = \sqrt{\left(\frac{\text{Max}[|F_{31}|, |F_{32}|]}{A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots (5.4.1.3.4)$$

$$\tau_{b2} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{21}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

(2) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b4} = \sqrt{\left(\frac{|F_{11}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\text{Max}[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.7)$$

$$\tau_{b4} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.8)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{b5} = \sqrt{\left(\frac{|F_{21}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\text{Max}[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.9)$$

$$\tau_{b5} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.10)$$

5.4.1.4 追設基礎ボルトの応力

耐震補強サポートは、ラグから周方向荷重Qを水平方向荷重として受ける。また、耐震補強サポートの質量により作用する力は、水平方向地震力により以下の式で求める。

$$F_a = m_a \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

したがって、追設基礎ボルトに生じる最大せん断応力 τ_{a1} は以下の式となる。

$$\tau_a = \frac{Q + F_a}{n_a \cdot A_a} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、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。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1項で求めた胴の組合せ応力が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 は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	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 $0.6 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 $1.2 \cdot S$ の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	$0.6 \cdot S_u$
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。	

5.6.2 ラグの応力評価

5.4.1.2項で求めたラグの組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} 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_{tm}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

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

	弾性設計用地震動 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.4 追設基礎ボルトの応力評価

5.4.1.4項で求めた追設基礎ボルトのせん断応力 τ_a はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sba} 以下であること。ただし、 f_{sba} 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_{sba}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 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。

6.2 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。

7. 引用文献

- (1) Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Local Stress 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

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		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	S	原子炉建物 EL 23.8*1			$C_H=1.19^{*2}$ 又は*3	$C_V=1.10^{*2}$	$C_H=1.73^{*4}$ 又は*5	$C_V=2.07^{*4}$	1.37	85	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S d）より得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）より得られる震度

1.2 機器要目

m_0 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E^{*1} (MPa)	E_b^{*2} (MPa)	G^{*1} (MPa)	H_1 (mm)	H_2 (mm)	C_1 (mm)	C_2 (mm)	e (mm)
			1800	38.0	199000	202000	76500	1048	1929	600	300	600

ϵ	Λ_{s1} (mm ²)	Λ_{s2} (mm ²)	Z_{sp} (mm ³)	$Z_{s\theta}$ (mm ³)	Z_{st} (mm ³)	$k_{\theta 1}$	$k_{\theta 2}$	k_{c1}	k_{c2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{c1}	C_{c2}
1	4.688×10^4	8.363×10^4	5.470×10^7	4.454×10^7	3.110×10^7								

n	n_a	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L_b (mm)	Λ_b (mm ²)	Λ_{be} (mm ²)	Λ_a (mm ²)	m_a (kg)
2		906	325	312.5	850	715	1810	1470		

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (ラグ) (MPa)	S_u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)
242*1	441*1	199*1 (40mm<厚さ≤75mm)	377*1 (40mm<厚さ≤75mm)	199	239

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)	S_y (追設基礎ボルト) (MPa)	S_u (追設基礎ボルト) (MPa)	F (追設基礎ボルト) (MPa)	F* (追設基礎ボルト) (MPa)
730*2 (径≤60mm)	868*2 (径≤60mm)	607	607	730*2 (径≤60mm)	868*2 (径≤60mm)	607	607

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 胴に生じる応力一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S d 又は静的震度)

(単位: MPa)

応力	静水頭又は内圧による応力	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	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	$\sigma_0 = 38$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 4} = 19$	$\sigma_{x 1 1} = 3$	

(2) 胴に生じる応力一次一般膜応力 (基準地震動 S s)

(単位: MPa)

応力	静水頭又は内圧による応力	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	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	$\sigma_0 = 55$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 1 1} = 4$	

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴に生じる一次応力 (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	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	Z 方向及び鉛直方向	第一ラゲ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 8$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{11} = 43$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x5} = 4$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$			
		第二ラゲ側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 46$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	—			
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 7$			$\tau_{\theta 6} = 3$				
		第二及び第四ラゲ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{13} = 54$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$		
				せん断	—	—		$\tau_3 = 17, \tau_{c1} = 7$			—			
			第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0$	—	—	—	$\sigma_{14} = 47$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0$	$\sigma_{x11} = 3$	—		
				せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_3 = 17$			$\tau_{\theta 6} = 3$			
		第三ラゲ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 17$	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{15} = 52$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x6} = 8$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$		
			第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 46$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	—		
せん断	—			$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 7$			$\tau_{\theta 6} = 3$					

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

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	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	X 方向及び鉛直方向	第一及び第四ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 6$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{17} = 57$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x8} = 3$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$		—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{18} = 55$	
		軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 3$	—			
		せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 5, \tau_6 = 12$		$\tau_{\theta 6} = 3$					
	第三及び第二ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{19} = 62$	
	軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x9} = 6$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$				
	せん断	—	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$		—						
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{110} = 55$		
	軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 3$	—				
	せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 5, \tau_6 = 12$		$\tau_{\theta 6} = 3$						

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

(4) 胴に生じる一次応力 (基準地震動 S s)

(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	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 S s	Z 方向及び鉛直方向	第一ラゲ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{11} = 62$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x5} = 7$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$			
		第二ラゲ側	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 64$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{x11} = 4$	—			
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$				
		第二及び第四ラゲ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{13} = 79$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
				せん断	—	—		$\tau_3 = 32, \tau_{c1} = 14$			—			
			第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0$	—	—	—	$\sigma_{14} = 63$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—		
		第三ラゲ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33$	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{15} = 70$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x6} = 14$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 64$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{x11} = 4$	—		
				せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

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	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 S _s	X方向及び鉛直方向	第一及び第四ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 10$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{17} = 86$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$		—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{18} = 81$	
		軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—			
		せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$		$\tau_{\theta 6} = 5$					
	第二及び第三ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{19} = 95$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$		—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{110} = 81$	
		軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—			
		せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$		$\tau_{\theta 6} = 5$					

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

(5) 胴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)		
				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			
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第一ラゲ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 8, \sigma_{2\phi 5} = 9$	—	$\sigma_{21} = 81$	
			第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x5} = 4, \sigma_{2x5} = 18$	—		
			第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—		$\sigma_{22} = 46$
			第二評価点	せん断	$\tau_{\theta 6} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 7$				
		第二及び四ラゲ側	第一評価点	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	—	—	$\sigma_{23} = 57$
				第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	—	—	—	
				第一評価点	せん断	—		$\tau_3 = 17, \tau_{c1} = 7$			
			第二評価点	第二評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0, \sigma_{2\phi 7} = 0$	$\sigma_{24} = 41$
				第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0, \sigma_{2x7} = 0$	
				第二評価点	せん断	—		$\tau_3 = 17, \tau_6 = 12$			
		第三ラゲ側	第一評価点	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 17, \sigma_{2\phi 6} = 20$	—	$\sigma_{25} = 135$
				第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x6} = 8, \sigma_{2x6} = 40$	—	
			第二評価点	第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—	$\sigma_{26} = 46$
				第二評価点	せん断	$\tau_{\theta 6} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 7$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

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)
					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	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	X 方向及び鉛直方向	第一及び第四ラグ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 6, \sigma_{2\phi 8} = 7$	—	$\sigma_{27} = 87$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x8} = 3, \sigma_{2x8} = 13$	—		
			せん断	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$				
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{28} = 62$	
		軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—			
		せん断	$\tau_{\theta 6} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 5, \tau_6 = 12$					
	第二及び第三ラグ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 12, \sigma_{2\phi 9} = 14$	—	$\sigma_{29} = 123$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x9} = 6, \sigma_{2x9} = 30$	—		
			せん断	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$				
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{210} = 62$	
		軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—			
		せん断	$\tau_{\theta 6} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 5, \tau_6 = 12$					

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

(6) 洞に生じる地震動のみによる一次+二次応力 (基準地震動 S s)

(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)		
				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			
基準地震動 S s	Z 方向及び鉛直方向	第一ラゲ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15, \sigma_{2\phi 5} = 17$	—	$\sigma_{21} = 159$	
			第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x5} = 7, \sigma_{2x5} = 35$	—		
			第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—		$\sigma_{22} = 88$
			第二評価点	せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 2} = 14$				
		第二及び四ラゲ側	第一評価点	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	—	—	$\sigma_{23} = 120$
				第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	—	—	—	
				第一評価点	せん断	—		$\tau_3 = 32, \tau_{c1} = 14$			
			第二評価点	第二評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0, \sigma_{2\phi 7} = 0$	$\sigma_{24} = 78$
				第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0, \sigma_{2x7} = 0$	
				第二評価点	せん断	—		$\tau_3 = 32, \tau_6 = 23$			
		第三ラゲ側	第一評価点	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33, \sigma_{2\phi 6} = 39$	—	$\sigma_{25} = 263$
				第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x6} = 14, \sigma_{2x6} = 80$	—	
			第二評価点	第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{26} = 88$
				第二評価点	せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 2} = 14$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

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)
					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	
基準地震動 S s	X方向及び鉛直方向	第一及び第四ラグ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 8} = 10, \sigma_{2\phi 8} = 12$	—	$\sigma_{27} = 170$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5, \sigma_{2x8} = 25$	—		
			せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$				
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{28} = 119$	
		軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—			
		せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$					
	第二及び第三ラグ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23, \sigma_{2\phi 9} = 28$	—	$\sigma_{29} = 239$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10, \sigma_{2x9} = 57$	—		
			せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$				
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{210} = 119$	
		軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—			
		せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$					

1.3.2 ラグに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力		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	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s2} = 3$	$\tau_{s2} = 7$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{1s} = 17$
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s3} = 0$	$\tau_{s3} = 15$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{2s} = 29$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s4} = 5$	$\tau_{s4} = 7$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{3s} = 17$
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s5} = 2$	$\tau_{s5} = 15$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{4s} = 30$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s6} = 4$	$\tau_{s6} = 15$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{5s} = 30$
基準地震動 S _s	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s2} = 4$	$\tau_{s2} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{1s} = 29$
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s3} = 0$	$\tau_{s3} = 28$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{2s} = 52$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s4} = 10$	$\tau_{s4} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{3s} = 30$
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s5} = 3$	$\tau_{s5} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{4s} = 54$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s6} = 7$	$\tau_{s6} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{5s} = 55$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	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	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{b1} = 37$	—
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b2} = 200$	$\tau_{b2} = 0$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{b3} = 129$	—
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b4} = 158$	$\tau_{b4} = 0$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{b5} = 226$	$\tau_{b5} = 0$
基準地震動 S _s	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{b1} = 57$	—
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b2} = 374$	$\tau_{b2} = 0$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{b3} = 237$	—
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b4} = 292$	$\tau_{b4} = 0$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{b5} = 425$	$\tau_{b5} = 0$

1.3.4 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	せん断応力
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\tau_a = 92$
基準地震動 S _s	$\tau_a = 178$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

水平方向(1次)	
水平方向(2次)	
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	SGV49	一次一般膜	$\sigma_0 = 38$	$S_a = 242$	$\sigma_0 = 55$	$S_a = 265$
		一次	$\sigma_1 = 62$	$S_a = 364$	$\sigma_1 = 95$	$S_a = 397$
		一次+二次	$\sigma_2 = 135$	$S_a = 485$	$\sigma_2 = 263$	$S_a = 485$
ラグ	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 30$	$f_{tm} = 199$	$\sigma_s = 55$	$f_{tm} = 239$
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_b = 226$	$f_{ts} = 455^*$	$\sigma_b = 425$	$f_{ts} = 455^*$
		せん断	$\tau_b = 0$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 0$	$f_{sb} = 350$
追設基礎ボルト	SCM435	せん断	$\tau_a = 92$	$f_{sba} = 280$	$\tau_a = 178$	$f_{sba} = 280$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to}, -1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

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		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	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 23.8*1			—	—	C _H =1.73*2 又は*3	C _V =2.07*2	1.37	140	140

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S_s)

*3: 設計用床応答スペクトルⅡ (基準地震動 S_s) より得られる震度

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E*1 (MPa)	E _b *2 (MPa)	G*1 (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)
			1800	38.0	195000	197000	75000	1048	1929	600	300	600

ε	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{sp} (mm ³)	Z _{sℓ} (mm ³)	Z _{st} (mm ³)	k _{ℓ1}	k _{ℓ2}	k _{c1}	k _{c2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{c1}	C _{c2}
1	4.688×10 ⁴	8.363×10 ⁴	5.470×10 ⁷	4.454×10 ⁷	3.110×10 ⁷								

n	n _a	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	A _b (mm ²)	A _{b e} (mm ²)	A _a (mm ²)	m _a (kg)
2		906	325	312.5	850	715	1810	1470		

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)
233*1	425*1	183*1 (40mm<厚さ≤75mm)	373*1 (40mm<厚さ≤75mm)	—	220

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)	S _y (追設基礎ボルト) (MPa)	S _u (追設基礎ボルト) (MPa)	F (追設基礎ボルト) (MPa)	F* (追設基礎ボルト) (MPa)
659*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592	659*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 胴に生じる応力一次一般膜応力 (基準地震動 S s)

(単位: MPa)

応力	静水頭又は内圧による応力	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	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	$\sigma_0 = 55$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 1 1} = 4$	

(2) 胴に生じる一次応力 (基準地震動 S s)

(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	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 S s	Z 方向及び鉛直方向	第一ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15$	—	—	$\sigma_{\phi 1 2} = 5$	$\sigma_{1 1} = 62$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 5} = 7$	—	$\sigma_{x 1 1} = 4$	$\sigma_{x 1 2} = 3$		
			第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	
		第二評価点	軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 36$	—	—	$\sigma_{x 1 1} = 4$	—	$\sigma_{1 2} = 64$	
		せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$				
		第二及び第四ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1 2} = 5$	$\sigma_{1 3} = 79$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x 1 1} = 4$	$\sigma_{x 1 2} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_3 = 32, \tau_{c 1} = 14$			—			
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0$	—	—	$\sigma_{1 4} = 63$	
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 0$	$\sigma_{x 1 1} = 4$	—			
		せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_3 = 32$			$\tau_{\theta 6} = 5$				
		第三ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33$	—	—	$\sigma_{\phi 1 2} = 5$	$\sigma_{1 5} = 70$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 6} = 14$	—	$\sigma_{x 1 1} = 4$	$\sigma_{x 1 2} = 3$		
			第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{1 6} = 64$
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 36$	—	—	$\sigma_{x 1 1} = 4$	—			
せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$						

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

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	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 S s	X 方向及び鉛直方向	第一及び第四ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 11$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{17} = 86$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$		—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{18} = 81$	
		軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—			
		せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$		$\tau_{\theta 6} = 5$					
	第二及び第三ラグ側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{19} = 95$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$		—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{110} = 81$	
		軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—			
		せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$		$\tau_{\theta 6} = 5$					

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力 (基準地震動 S s)

(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)		
				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			
基準地震動 S s	Z 方向及び鉛直方向	第一ラゲ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15, \sigma_{2\phi 5} = 17$	—	$\sigma_{21} = 159$	
			第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x5} = 7, \sigma_{2x5} = 35$	—		
			第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—		$\sigma_{22} = 88$
			第二評価点	せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 2} = 14$				
		第二及び四ラゲ側	第一評価点	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	—	—	$\sigma_{23} = 120$
				第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	—	—	—	
				第一評価点	せん断	—		$\tau_3 = 32, \tau_{c1} = 14$			
			第二評価点	第二評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0, \sigma_{2\phi 7} = 0$	$\sigma_{24} = 78$
				第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0, \sigma_{2x7} = 0$	
				第二評価点	せん断	—		$\tau_3 = 32, \tau_6 = 23$			
		第三ラゲ側	第一評価点	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33, \sigma_{2\phi 6} = 39$	—	$\sigma_{25} = 263$
				第一評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x6} = 14, \sigma_{2x6} = 80$	—	
			第二評価点	第二評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{26} = 88$
				第二評価点	せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 2} = 14$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0

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)
					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	
基準地震動 S s	X方向及び鉛直方向	第一及び第四ラグ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 8} = 11, \sigma_{2\phi 8} = 12$	—	$\sigma_{27} = 170$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5, \sigma_{2x8} = 25$	—		
			せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$				
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{28} = 119$	
		軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—			
		せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$					
	第二及び第三ラグ側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23, \sigma_{2\phi 9} = 28$	—	$\sigma_{29} = 239$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10, \sigma_{2x9} = 57$	—		
			せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$				
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{210} = 119$	
		軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—			
		せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$					

2.3.2 ラグに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力		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	
基準地震動 S _s	Z方向及び 鉛直方向	第1ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s2} = 5$	$\tau_{s2} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{1s} = 29$
		第2及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s3} = 0$	$\tau_{s3} = 28$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{2s} = 52$
		第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s4} = 10$	$\tau_{s4} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{3s} = 30$
	X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s5} = 3$	$\tau_{s5} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{4s} = 54$
		第2及び第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s6} = 7$	$\tau_{s6} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{5s} = 55$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		引張応力	せん断応力
			第1ラグ側	$\sigma_{b1} = 57$
基準地震動 S _s	Z方向及び 鉛直方向	第2及び第4ラグ側	$\sigma_{b2} = 373$	$\tau_{b2} = 0$
		第3ラグ側	$\sigma_{b3} = 237$	—
		X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{b4} = 291$
	第2及び第3ラグ側		$\sigma_{b5} = 424$	$\tau_{b5} = 0$

2.3.4 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	せん断応力
基準地震動S _s	$\tau_a = 178$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

水平方向(1次)	
水平方向(2次)	
鉛直方向	

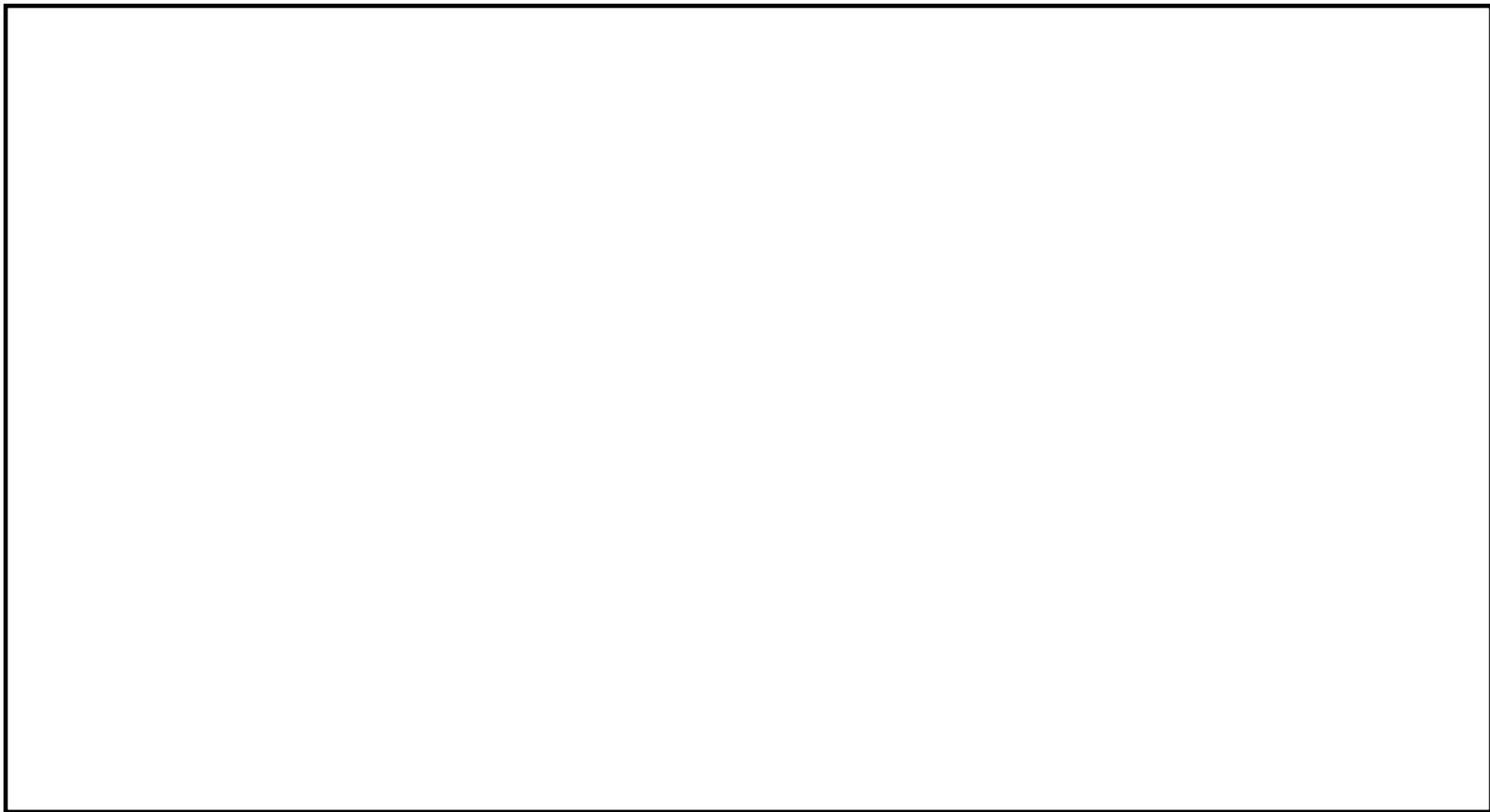
2.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力
胴板	SGV49	一次一般膜	$\sigma_0 = 55$	$S_a = 255$
		一次	$\sigma_1 = 95$	$S_a = 382$
		一次+二次	$\sigma_2 = 263$	$S_a = 466$
ラグ	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 55$	$f_{tm} = 220$
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_b = 424$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	$\tau_b = 0$	$f_{sb} = 341$
追設基礎ボルト	SCM435	せん断	$\tau_a = 178$	$f_{sba} = 272$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R0E



VI-2-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の
耐震性についての計算書

VI-2-5-5-5 低圧原子炉代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-5-1 低圧原子炉代替注水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	5
3.1 構造強度評価方法	5
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 計算条件	5
4. 機能維持評価	10
4.1 基本方針	10
4.2 ポンプの動的機能維持評価	11
4.3 原動機の動的機能維持評価	18
5. 評価結果	30
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	30

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、低圧原子炉代替注水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

低圧原子炉代替注水ポンプは、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動的機能維持評価を示す。

なお、低圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。また、低圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の横形多段遠心式ポンプであり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「JEAG 4601」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧原子炉代替注水ポンプの構造計画を表2-1から表2-3に示す。

表 2-1 構造計画

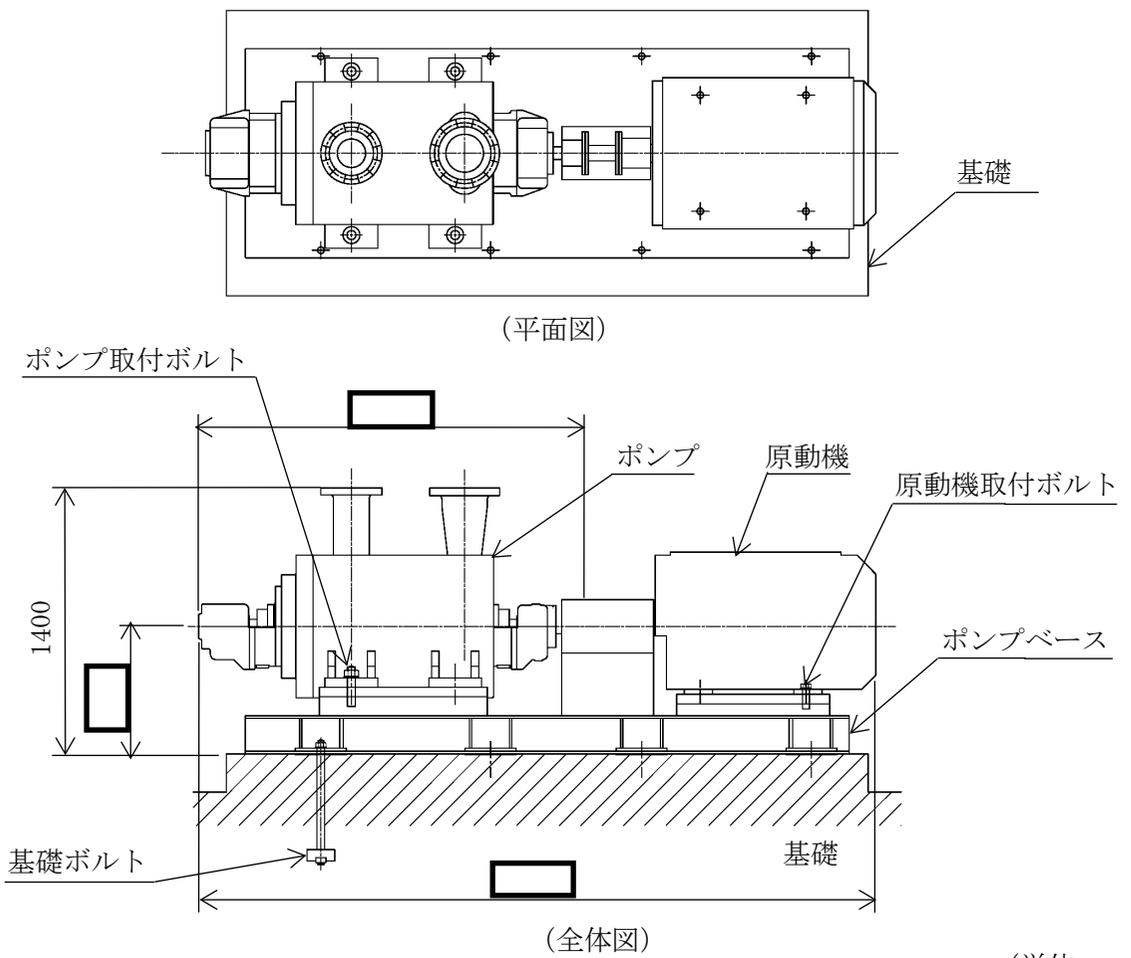
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (横形多段遠心式ポンプ)</p>	 <p>(平面図)</p> <p>(全体図)</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>ポンプのケーシング内のロータは軸に取り付けられ、軸は軸受に支持される。</p>	<p>ターボ形 (横形多段遠心式ポンプ)</p>	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(ポンプ構造図)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

表 2-3 構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>原動機の軸（回転子）は軸受に支持され、軸受及び固定子はモータフレームに支持される。端子箱は端子箱取付ボルトでモータフレームに固定する。</p>	<p>誘導電動機（横形ころがり軸受電動機）</p>	<p>(側面図)</p>	<p>(正面図)</p> <p>(原動機構造図)</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

低圧原子炉代替注水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形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行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

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

低圧原子炉代替注水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

低圧原子炉代替注水ポンプの許容応力は、VI-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

低圧原子炉代替注水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。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【低圧原子炉代替注水ポンプ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。

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
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	低圧原子炉代替注水ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVAS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 原子炉格納容 器安全設備 (格納容器代 替スプレイ 系)	低圧原子炉代替注水ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

(つづき)

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
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	低圧原子炉代替注水ポンプ	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	IVAS
	原子炉格納容 器安全設備 (ペDESTAL 代替注水系, 低圧原子炉代 替注水系)				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 重大事故等クラス2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	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 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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	715	838	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	699	803	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	715	838	—

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

低圧原子炉代替注水ポンプ及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の横形多段遠心式ポンプ及び横形ころがり軸受電動機であり、表4-1に示すとおり機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

詳細評価に用いる応答加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

表4-1 機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段 遠心式ポンプ	水平	4.60	1.4
		鉛直	3.50	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.60	4.7
		鉛直	3.50	1.0

4.2 ポンプの動的機能維持評価

低圧原子炉代替注水ポンプは、地震後機能維持が要求される設備であるが、ポンプの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の横形ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 摺動部（羽根車とケーシングリングのクリアランス）
- c. 基礎ボルト
- d. ポンプ取付ボルト
- e. 軸受
- f. メカニカルシール
- g. ケーシング吐出配管
- h. 軸継手

このうち「b. 摺動部（羽根車とケーシングリングのクリアランス）」については、既往研究において地震時の健全性が確認されているため評価を省略する。「c. 基礎ボルト」及び「d. ポンプ取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。「g. ケーシング吐出配管」については、J E A G 4 6 0 1 において「既往研究において、耐震性が十分確認されたため、評価は省略できる」との記載があることから評価を省略する。「f. メカニカルシール」及び「h. 軸継手」については、地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な荷重が発生しないことから評価を省略する。

以上より、本計算書においては、軸、軸受を評価対象部位とする。

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態ⅢASに準拠し設定する。また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を評価基準値として設定する。

評価基準値を表4-2に示す。

表4-2 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
軸			MPa	298
軸受	ラジアル軸受	軸継手側	—	MPa
		反軸継手側	—	MPa
	スラスト軸受	—	N	

4.2.3 記号の説明

低圧原子炉代替注水ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-3 に示す。

表 4-3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _s	軸の断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _s	軸の直径	mm
F _{b1}	軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重	N
F _{b2}	反軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重	N
F _c	地震力を考慮した軸継手の質量による荷重	N
F _f	地震力を考慮した付加部品の集中荷重	N
F _r	地震力を考慮したロータの全質量による荷重	N
F _{rt}	スラスト軸受に作用するラジアル荷重	N
F _t	スラスト軸受の静等価荷重	N
F _{tr}	地震力を考慮したロータの全質量によるスラスト荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _P	予想最大両振幅	μm
ℓ _b	軸受の長さ	mm
ℓ _{bb}	軸受間の距離	mm
ℓ _d	軸受の内径	mm
ℓ _s	軸の長さ	mm
ℓ ₀	軸端部から軸受中心までの距離 (反軸継手側)	mm
M	軸に作用する最大曲げモーメント	N・mm
M _f	地震力を考慮した付加部品の集中荷重による最大曲げモーメント	N・mm
M _P	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
M _s	地震力を考慮した軸単体質量による最大曲げモーメント	N・mm
m _c	軸継手の質量	kg
m _f	付加部品の質量	kg
m _r	ロータの全質量	kg
m _s	軸の質量	kg
m _w	羽根車内包水の質量	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
P	原動機出力	kW
P _{b1}	地震力を考慮した軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧	MPa
P _{b2}	地震力を考慮した反軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧	MPa

記号	記号の説明	単位
Q	スラスト軸受に作用するスラスト荷重	N
Q _c	軸継手の質量によるスラスト荷重	N
Q _r	ロータの全質量によるスラスト荷重	N
w _s	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
Z _s	軸の断面係数	mm ³
Z _{s p}	軸の極断面係数	mm ³
π	円周率 (=3.141593)	—
σ	軸に生じる組合せ応力	MPa
σ _s	軸に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
τ _P	ポンプの回転モーメントにより発生するねじり応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

図4-1及び図4-2に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

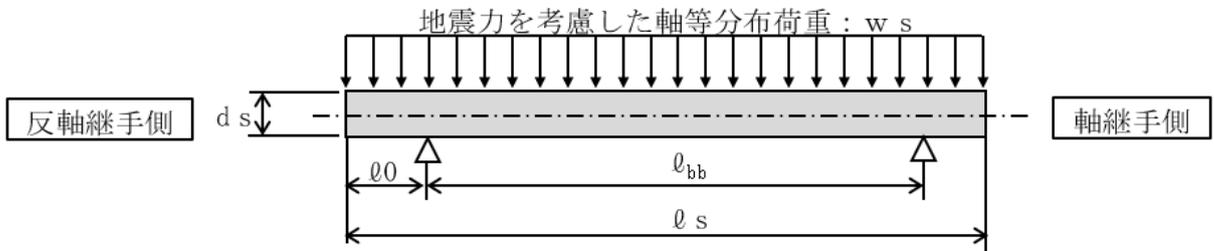


図4-1 軸の計算モデル（軸等分布荷重）

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.2.4.1)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.2.4.2)$$

軸の断面係数

$$Z_s = \frac{\pi \cdot d_s^3}{32} \dots\dots\dots (4.2.4.3)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重

$$w_s = \frac{m_s \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right)}{l_s} \dots\dots\dots (4.2.4.4)$$

地震力を考慮した軸単体質量による最大曲げモーメント

$$M_s = -\frac{w_s}{2} \cdot \left(\frac{l_s}{2} \cdot \left(\frac{l_s}{2} - l_s\right) + l_s \cdot l_0\right) \dots\dots\dots (4.2.4.5)$$

ただし、

$$l_0 \leq \frac{l_s}{2} \leq l_0 + l_{bb}$$

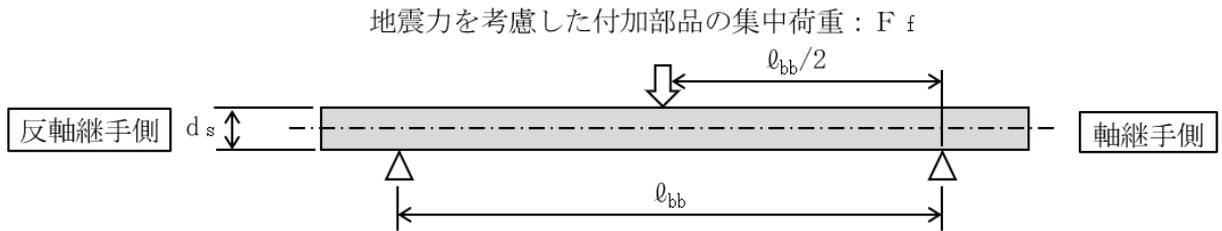


図 4-2 軸の計算モデル (付加部品による集中荷重)

地震力を考慮した付加部品の集中荷重

$$F_f = m_f \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.6)$$

地震力を考慮した付加部品の集中荷重による最大曲げモーメント

$$M_f = F_f \cdot \frac{l_{bb}}{4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

軸に作用する最大曲げモーメント

$$M = M_s + M_f \quad \dots\dots\dots (4.2.4.8)$$

地震力を考慮したロータの全質量によるスラスト荷重

$$F_{tr} = m_r \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.9)$$

軸の断面積

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

軸に生じる引張応力及び曲げ応力

$$\sigma_s = \frac{M}{Z_s} + \frac{F_{tr}}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

軸の極断面係数

$$Z_{sp} = \frac{\pi \cdot d_s^3}{16} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

ポンプの回転モーメントにより発生するねじり応力

$$\tau_P = \frac{M_P}{Z_{sP}} \dots\dots\dots (4.2.4.13)$$

軸に生じる組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \dots\dots\dots (4.2.4.14)$$

(2) 軸受

図4-3に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、ラジアル軸受に生じる面圧を求め、軸受の許容面圧以下であることを確認する。また、スラスト軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

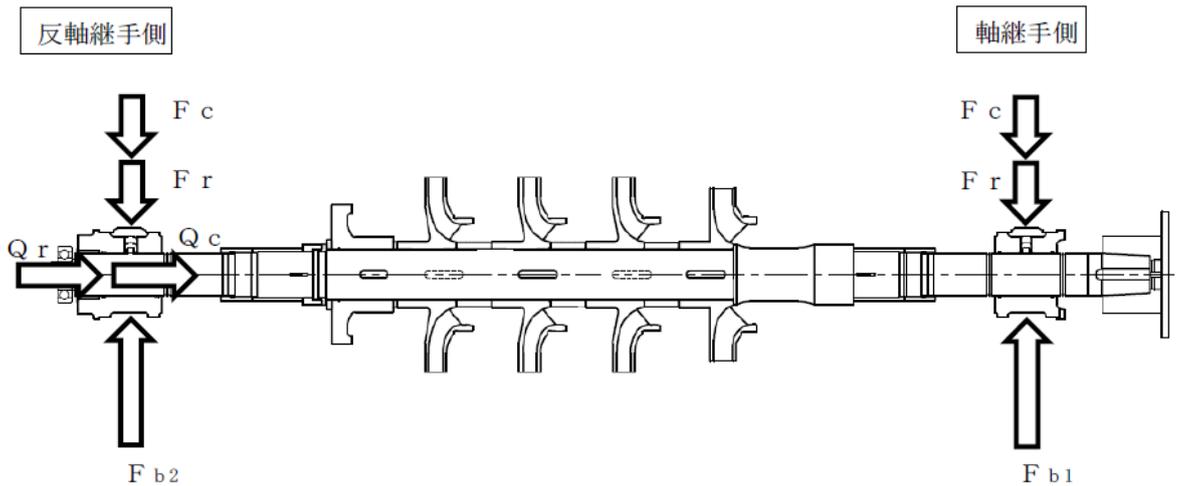


図4-3 軸受の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.2.4.15)$$

地震力を考慮したロータの全質量による荷重

$$F_r = m_r \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.2.4.16)$$

地震力を考慮した軸継手質量による荷重

$$F_c = m_c \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.17)$$

軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重

$$F_{b1} = F_r + F_c \quad \dots\dots\dots (4.2.4.18)$$

地震力を考慮した軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧

$$P_{b1} = \frac{F_{b1}}{\ell_b \cdot \ell_d} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.19)$$

反軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重

$$F_{b2} = F_r + F_c \quad \dots\dots\dots (4.2.4.20)$$

地震力を考慮した反軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧

$$P_{b2} = \frac{F_{b2}}{\ell_b \cdot \ell_d} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.21)$$

ロータの全質量によるスラスト荷重

$$Q_r = m_r \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.22)$$

軸継手の質量によるスラスト荷重

$$Q_c = m_c \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.23)$$

スラスト軸受に作用するスラスト荷重

$$Q = Q_r + Q_c \quad \dots\dots\dots (4.2.4.24)$$

スラスト軸受の静等価荷重

$$F_t = \text{Max} (0.6 \cdot F_{rt} + 0.5 \cdot Q, F_{rt}) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.25)$$

ラジアル荷重 F_{rt} はラジアル軸受で負荷するため、スラスト軸受の評価においては考慮しない。 ($F_{rt} = 0$)

4.3 原動機の動的機能維持評価

低圧原子炉代替注水ポンプ用原動機は、地震後機能維持が要求される設備であるが、原動機の動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 固定子
- b. 軸（回転子）
- c. 端子箱
- d. 軸受
- e. 固定子と回転子間のクリアランス
- f. モータフレーム
- g. 基礎ボルト
- h. 原動機取付ボルト
- i. 冷却ファン，クーラユニット

このうち「g. 基礎ボルト」及び「h. 原動機取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。「i. 冷却ファン，クーラユニット」については、冷却ファンは遠心直動式ファンであり、インペラ・ケーシング間の接触が回転機能の喪失に関わるが、原動機においては、同じ軸上に取り付けられている固定子と回転子のクリアランスの方が許容可能変位の観点から厳しいことから、当該クリアランスで回転機能維持の評価を代表するため、冷却ファンの評価を省略する。

以上より、本計算書においては、固定子，軸（回転子），端子箱，軸受，固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

端子箱及びモータフレームの許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。固定子及び軸（回転子）の許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値を表4-4に示す。

表4-4 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子			MPa	
軸（回転子）			MPa	248
端子箱	引張		MPa	
	せん断		MPa	
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム			MPa	

4.3.3 記号の説明

低圧原子炉代替注水ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-5に示す。

表4-5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _k	キーの断面積	mm ²
A _{m f}	モータフレームの断面積	mm ²
A _{m s}	軸の断面積	mm ²
A _t	端子箱取付ボルトの断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _{m s}	軸の直径	mm
d _t	端子箱取付ボルトの呼び径	mm
E _{m s}	軸の縦弾性係数	MPa
F ₁	回転子質量による荷重	N
F ₂	軸継手質量による荷重	N
F _{B1}	軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F _{B1} '	軸継手側軸受の静等価荷重	N
F _{B2}	反軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F _{B2} '	反軸継手側軸受の静等価荷重	N
F _H	水平方向に発生する荷重	N
F _K	キーに発生する荷重の合計	N
F _M	原動機回転によりキーに発生する荷重	N
F _{m s}	軸（回転子）質量によるラジアル荷重	N
F _t	端子箱取付ボルト1本当たりの引張力（軸方向）	N
F _t	端子箱取付ボルト1本当たりの引張力（軸直角方向）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H _P	予想最大両振幅	μm
h _m	原動機取付面から重心までの距離	mm
h _t	端子箱取付面から重心までの距離	mm
I _{m s}	軸（回転子）の断面二次モーメント	mm ⁴
L ₁	重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
L ₂	端子箱取付ボルト間の距離	mm
L _B	軸受間の距離	mm
ℓ _{m s 1}	反軸継手側軸受から軸受間距離の1/2までの距離	mm
ℓ _{m s 2}	軸継手側軸受から軸受間距離の1/2までの距離	mm
MM	原動機回転により作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
MP	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	原動機の質量 (軸継手含む)	kg
m _a	回転子コア・アーム等の質量	kg
m _{c p}	軸継手の質量	kg
m _j	軸の質量	kg
m _k	固定子の質量	kg
m _{m r}	回転子の質量	kg
m _t	端子箱の質量	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
n _t	端子箱取付ボルトの本数	—
n _{t f}	引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
Q _B	スラスト荷重	N
Q _{m s}	軸 (回転子) 質量によるスラスト荷重	N
Q _t	端子箱取付ボルトのせん断力	N
R	固定子の半径	mm
T _{m a}	原動機最大トルク (定格トルクに対する割合)	%
y	軸 (回転子) の変位量	mm
Z _{m f}	モータフレームの断面係数	mm ³
Z _{m s}	軸の断面係数	mm ³
Z _{m s p}	軸の極断面係数	mm ³
π	円周率 (=3.141593)	—
σ _{m f}	モータフレーム (脚部) に生じる組合せ応力	MPa
σ _{m f 1}	水平方向の荷重による曲げ応力 (圧縮)	MPa
σ _{m f 2}	自重及び鉛直方向の荷重による圧縮応力	MPa
σ _{m f 3}	原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力	MPa
σ _{m s}	軸 (回転子) に生じる組合せ応力	MPa
σ _{m s 1}	軸 (回転子) に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
σ _t	端子箱取付ボルトに発生する引張応力	MPa
τ _k	キーに発生するせん断応力	MPa
τ _{m f 1}	水平方向の荷重によるせん断応力	MPa
τ _{m m s}	原動機の回転モーメントにより発生するねじり応力	MPa
τ _t	端子箱取付ボルトに発生するせん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

図4-4に示す計算モデルにて、キーに生じるせん断力を算出し、キーに生じるせん断応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

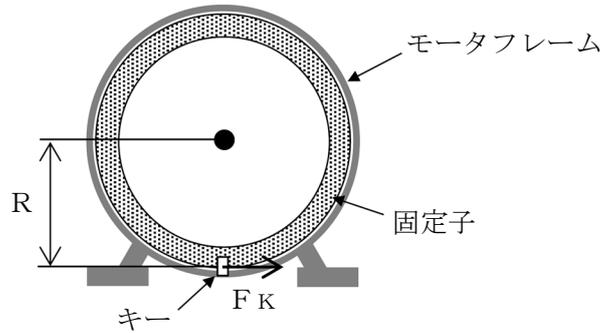


図4-4 固定子の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.1)$$

原動機回転により作用するモーメント

$$M_M = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \cdot \frac{T_{ma}}{100} \dots\dots\dots (4.3.4.2)$$

原動機回転によりキーに発生する荷重

$$F_M = \frac{M_M}{R} \dots\dots\dots (4.3.4.3)$$

水平方向に発生する荷重

$$F_H = m_k \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.4)$$

キーに発生する荷重の合計

$$F_K = F_M + F_H \dots\dots\dots (4.3.4.5)$$

キーに発生するせん断応力

$$\tau_k = \frac{F_K}{A_k} \dots\dots\dots (4.3.4.6)$$

(2) 軸（回転子）

図4-5に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸（回転子）に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

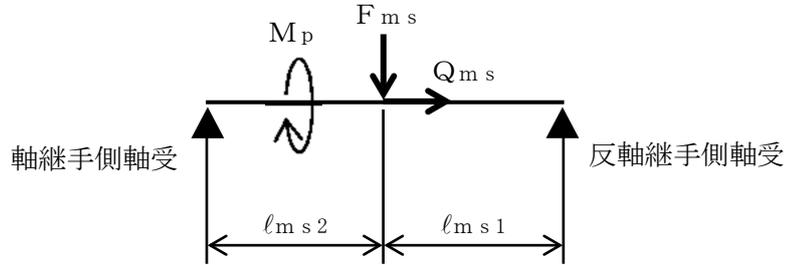


図4-5 軸（回転子）の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.7)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.8)$$

軸の断面係数

$$Z_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{32} \dots\dots\dots (4.3.4.9)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.3.4.10)$$

軸（回転子）質量によるスラスト荷重

$$Q_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.11)$$

軸の極断面係数

$$Z_{msp} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{16} \dots\dots\dots (4.3.4.12)$$

原動機の回転モーメントにより発生するねじり応力

$$\tau_{mms} = \frac{MP}{Z_{m s p}} \dots\dots\dots (4.3.4.13)$$

軸の断面積

$$A_{ms} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ms}^2 \dots\dots\dots (4.3.4.14)$$

軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力

$$\sigma_{ms1} = \frac{l_{ms1} \cdot l_{ms2}}{Z_{ms} \cdot (l_{ms1} + l_{ms2})} \cdot F_{ms} + \frac{Q_{ms}}{A_{ms}} \dots\dots\dots (4.3.4.15)$$

軸（回転子）に生じる組合せ応力

$$\sigma_{ms} = \sqrt{\sigma_{ms1}^2 + 3 \cdot \tau_{mms}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.16)$$

(3) 端子箱

図4-6に示す計算モデルにて、端子箱取付ボルトに生じる荷重を算出し、端子箱取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

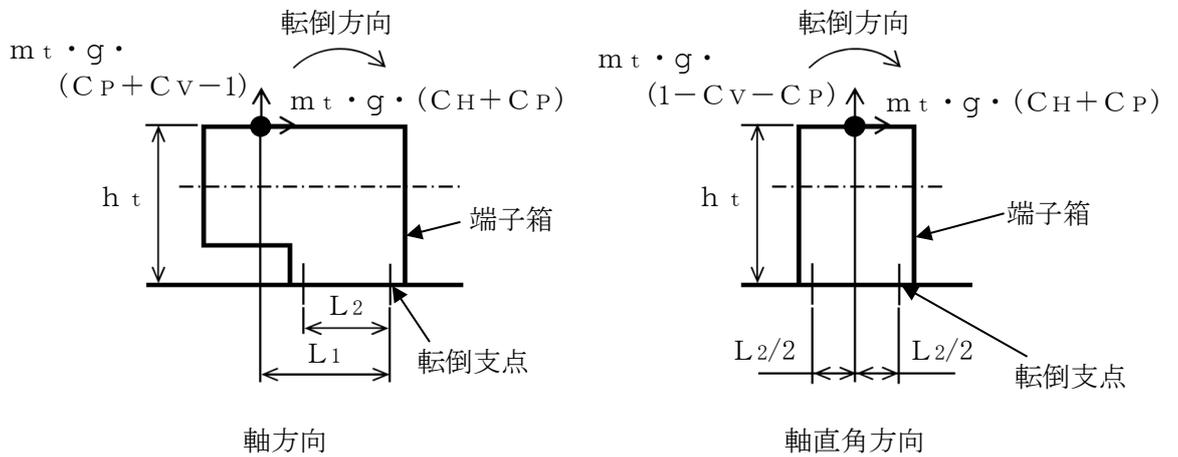


図4-6 端子箱の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.17)$$

端子箱取付ボルトの断面積

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2 \quad \dots\dots\dots (4.3.4.18)$$

端子箱取付ボルト1本当たりの引張力

軸方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t + m_t \cdot g \cdot (C_P + C_V - 1) \cdot L_1}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.19)$$

軸直角方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t - m_t \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \cdot \frac{L_2}{2}}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.20)$$

端子箱取付ボルトに発生する引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.21)$$

端子箱取付ボルトのせん断力

$$Q_t = m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.22)$$

端子箱取付ボルトに発生するせん断応力

$$\tau_t = \frac{Q_t}{n_t \cdot A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.23)$$

(4) 軸受

図4-7に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

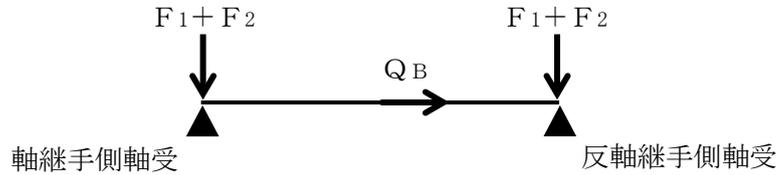


図4-7 軸受の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.24)$$

回転子質量による荷重

$$F_1 = m_{mr} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.25)$$

軸継手質量による荷重

$$F_2 = m_{cp} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.26)$$

軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B1} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.27)$$

反軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B2} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.28)$$

スラスト荷重

$$Q_B = (m_{mr} + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.29)$$

軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B1}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B1} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B1}) \dots\dots\dots (4.3.4.30)$$

反軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B2}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B2} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B2}) \dots\dots\dots (4.3.4.31)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

図4-8に示す計算モデルにて、軸（回転子）に生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

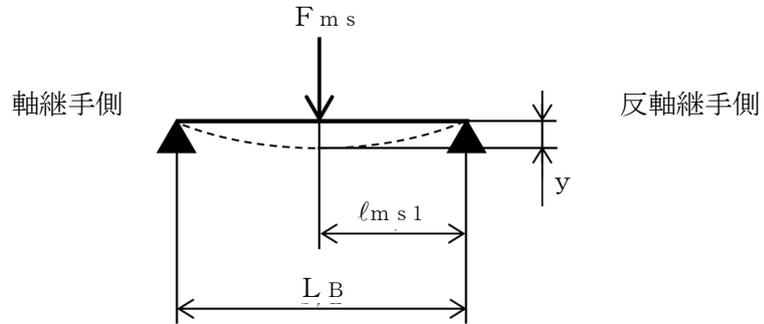


図4-8 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.32)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{CH^2 + (CV+1)^2 + CP}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.33)$$

軸（回転子）の断面二次モーメント

$$I_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^4}{64} \dots\dots\dots (4.3.4.34)$$

軸（回転子）の変位量

$$y = \frac{F_{ms} \cdot l_{ms1} \cdot (LB^2 - l_{ms1}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E_{ms} \cdot I_{ms} \cdot LB} \dots\dots\dots (4.3.4.35)$$

(6) モータフレーム

図4-9に示す計算モデルにて、モータフレーム（脚部）に生じる応力を算出し、モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。なお、モータフレーム（脚部）の評価は、構造上厳しくなる軸直角方向について評価を実施する。

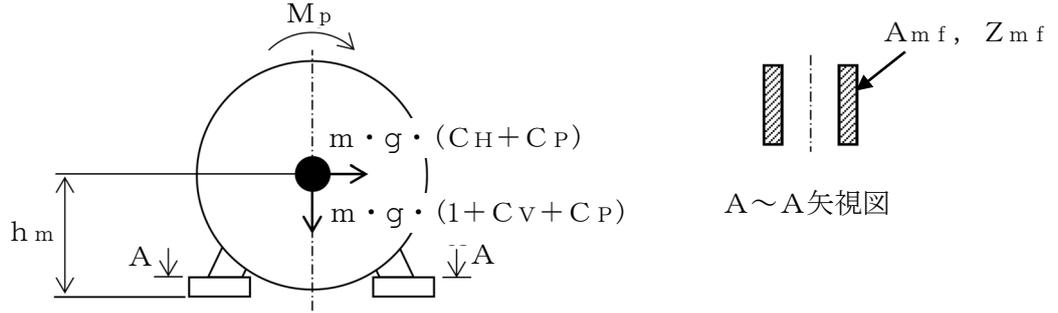


図4-9 モータフレームの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.36)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.37)$$

水平方向の荷重によるせん断応力

$$\tau_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.38)$$

水平方向の荷重による曲げ応力（圧縮）

$$\sigma_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_m}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.39)$$

自重及び鉛直方向の荷重による圧縮応力

$$\sigma_{mf2} = \frac{m \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.40)$$

ポンプ回転により作用するモーメントによる圧縮応力

$$\sigma_{mf3} = \frac{M_P}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.41)$$

モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力

$$\sigma_{mf} = \sqrt{(\sigma_{mf1} + \sigma_{mf2} + \sigma_{mf3})^2 + 3 \cdot \tau_{mf1}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.42)$$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧原子炉代替注水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を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(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。

【低圧原子炉代替注水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 構造強度評価

1.1.1 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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
低圧原子炉代替注水ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 0.7*1	—*2	—*2	—	—	C _H =5.50*3	C _V =4.10*3	C _P =0.11	66	□

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							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	
基礎ボルト (i=1)					—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の

要目を示し、下段は軸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

*3: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (ポンプ) (rpm)	N (原動機) (rpm)

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.1.4 結論

1.1.4.1 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 (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=142$	$f_{ts1}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=65$	$f_{sb1}=338$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=68$	$f_{ts2}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=40$	$f_{sb2}=324$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=58$	$f_{ts3}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=32$	$f_{sb3}=338$

すべて許容応力以下である。

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

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
低圧原子炉代替注水ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	230	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 0.7*1	—*2	—*2	C _H =4.60*3	C _V =3.50*3	C _P =0.11	66	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
低圧原子炉代替注水 ポンプ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	210	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 0.7*1	—*2	—*2	C _H =4.60*3	C _V =3.50*3	C _P =0.11	140	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

1.2.2.1 横形多段遠心式ポンプの機器要目

(1) 軸

部材	m _r (kg)	m _s (kg)	m _c (kg)	m _w (kg)	m _f (kg)	d _s (mm)	ℓ _s (mm)	ℓ _{b b} (mm)	ℓ _o (mm)	N (rpm)	P (kW)
軸											210

(2) 軸受

部材	m _r (kg)	m _c (kg)	ℓ _b (mm)	ℓ _d (mm)	N (rpm)
軸受					

1.2.2.2 横形ころがり軸受電動機の機器要目

(1) 固定子

部材	A_k (mm ²)	m_k (kg)	N (rpm)	P (kW)	R (mm)	T_{ma} (%)
固定子						

(2) 軸 (回転子)

部材	D_{ms} (mm)	ℓ_{ms1} (mm)	ℓ_{ms2} (mm)	m_a (kg)	m_{cp} (kg)	m_j (kg)	N (rpm)	P (kW)	Z_{ms} (mm ³)
軸 (回転子)									

(3) 端子箱

部材	A_t (mm ²)	h_t (mm)	L_1 (mm)	L_2^* (mm)	m_t (kg)	n_t	n_{tf}
端子箱							

注記* : 端子箱の機器要目における上段は軸直角方向に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向に対する評価時の要目を示す。

(4) 軸受

部材	m_{cp} (kg)	m_{mr} (kg)
軸受		

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	D_{ms} (mm)	E_{ms} (MPa)	L_B (mm)	ℓ_{ms1} (mm)
固定子と回転子間のクリアランス				

(6) モータフレーム

部材	A_{mf} (mm ²)	h_m (mm)	m (kg)	Z_{mf} (mm ³)
モータフレーム				

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	4.60	1.4
	鉛直方向	3.50	1.0
原動機	水平方向	4.60	4.7
	鉛直方向	3.50	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.2 横形多段遠心式ポンプの動的機能維持評価で評価する。
原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価で評価する。

1.2.3.2 横形多段遠心式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸	69	298

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出面圧	許容面圧
ラジアル軸受（軸継手側）	1.71	
ラジアル軸受（反軸継手側）	1.71	

すべて許容面圧以下である。

(単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
スラスト軸受	5.172×10^3	

許容荷重以下である。

1.2.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	40	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸 (回転子) の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸 (回転子)	71	248

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位: MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
端子箱	引張	23	
	せん断	5	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位: N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側	2.959×10^4	
反軸継手側	2.959×10^4	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.45	

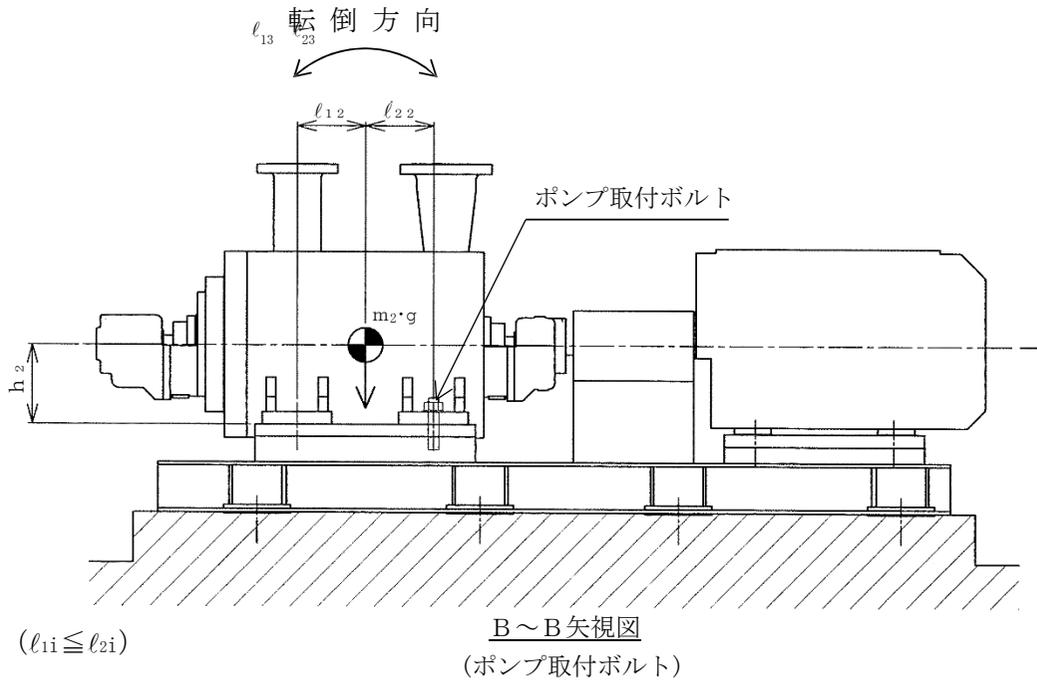
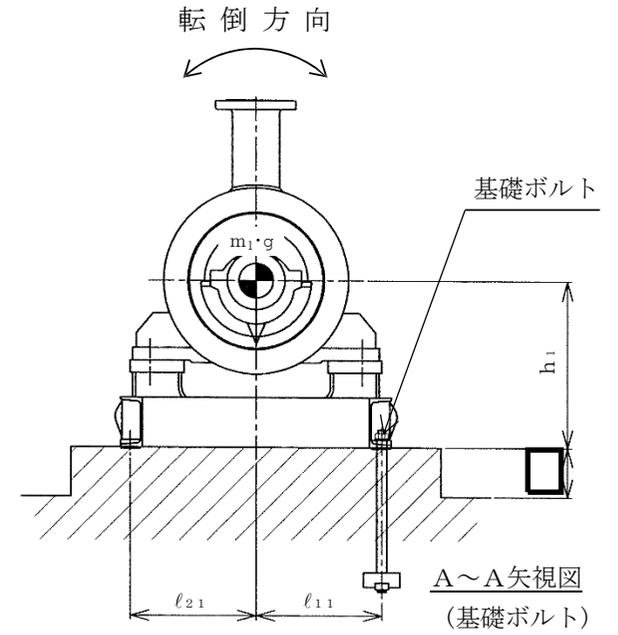
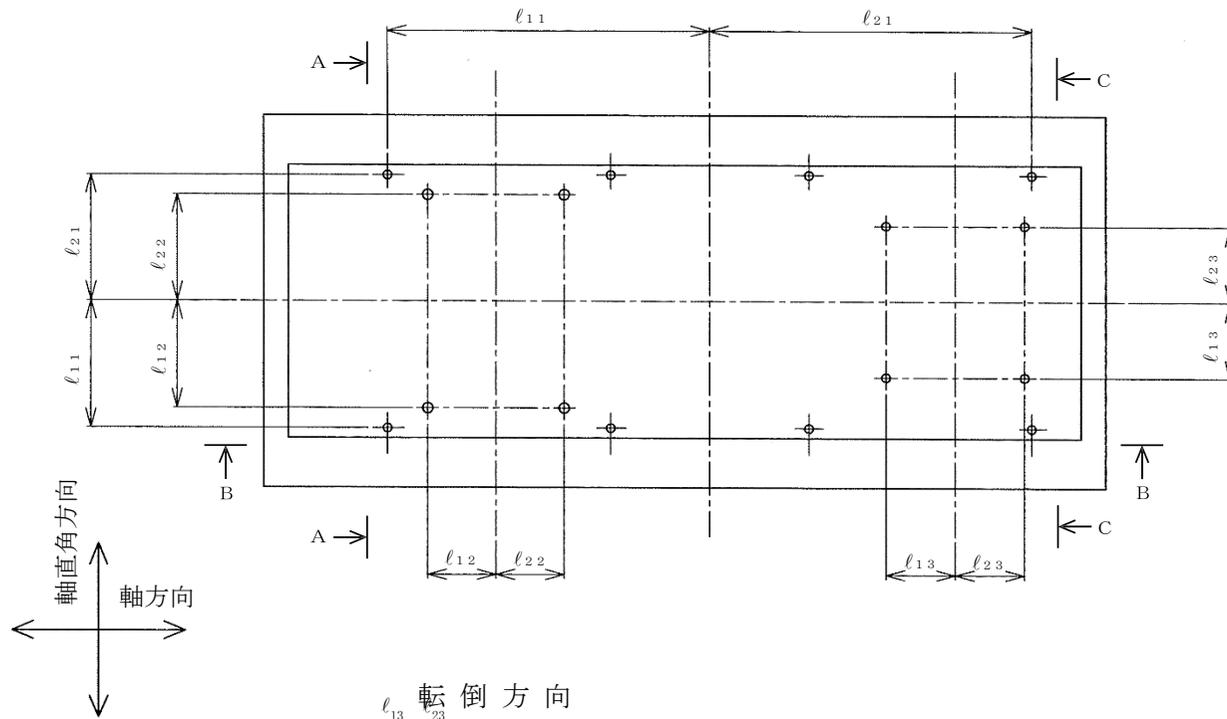
すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位: MPa)

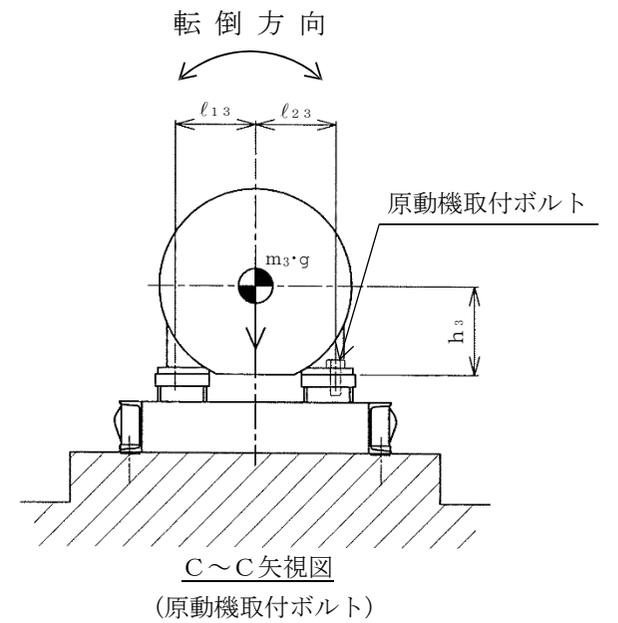
評価部位	算出応力	許容応力
モータフレーム	15	

すべて許容応力以下である。

S2 補 VI-2-5-5-5-1 ROE



$(l_{1i} \leq l_{2i})$



VI-2-5-7 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-1 原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系の
耐震性についての計算書

VI-2-5-7-1-6 管の耐震性についての計算書
(原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系)

(1) 原子炉補機冷却系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	9
3. 計算条件	20
3.1 計算方法	20
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	21
3.3 設計条件	23
3.4 材料及び許容応力	39
3.5 設計用地震力	40
4. 解析結果及び評価	41
4.1 固有周期及び設計震度	41
4.2 評価結果	53
4.2.1 管の応力評価結果	53
4.2.2 支持構造物評価結果	55
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	56
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	57

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全26モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

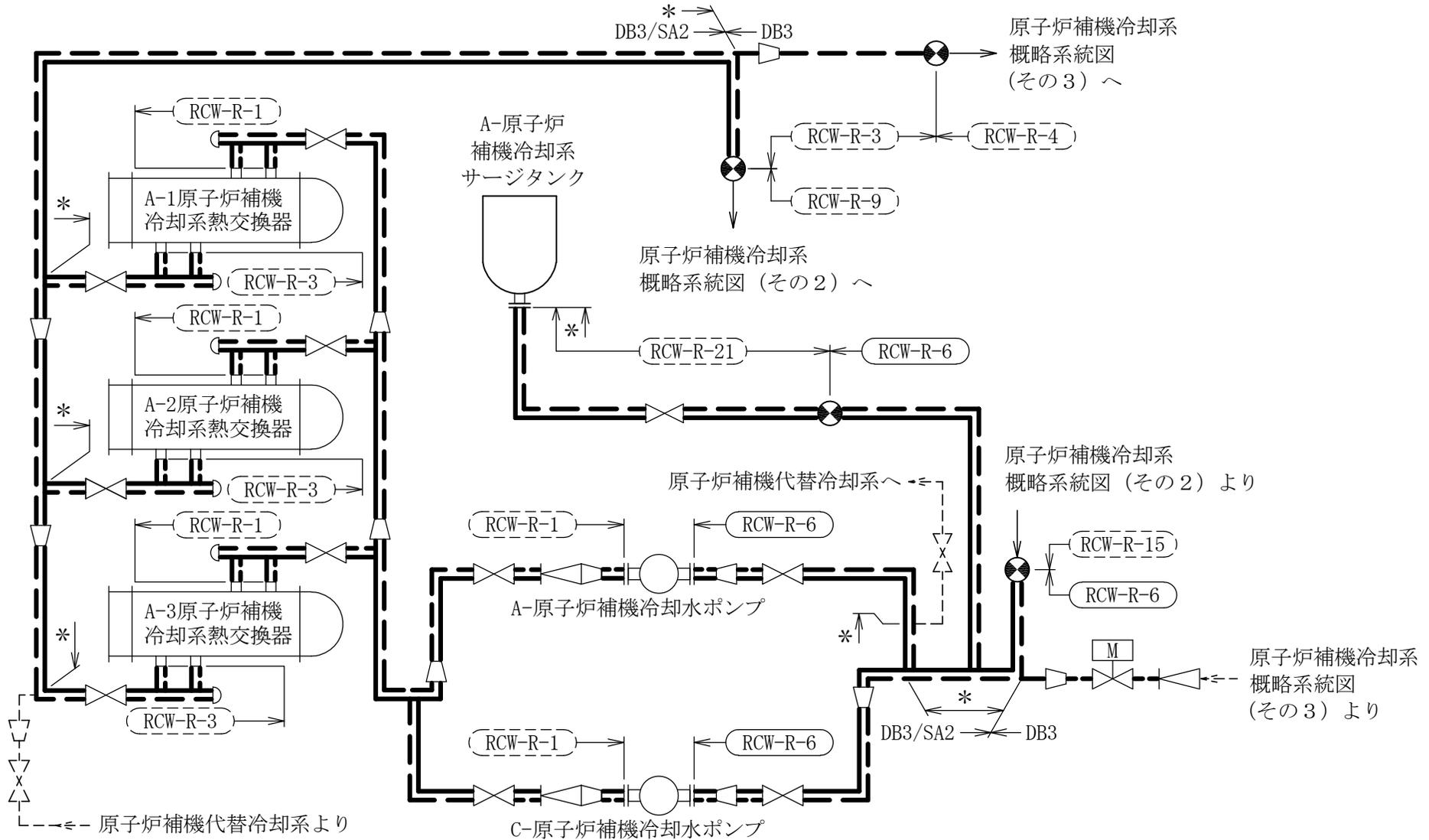
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

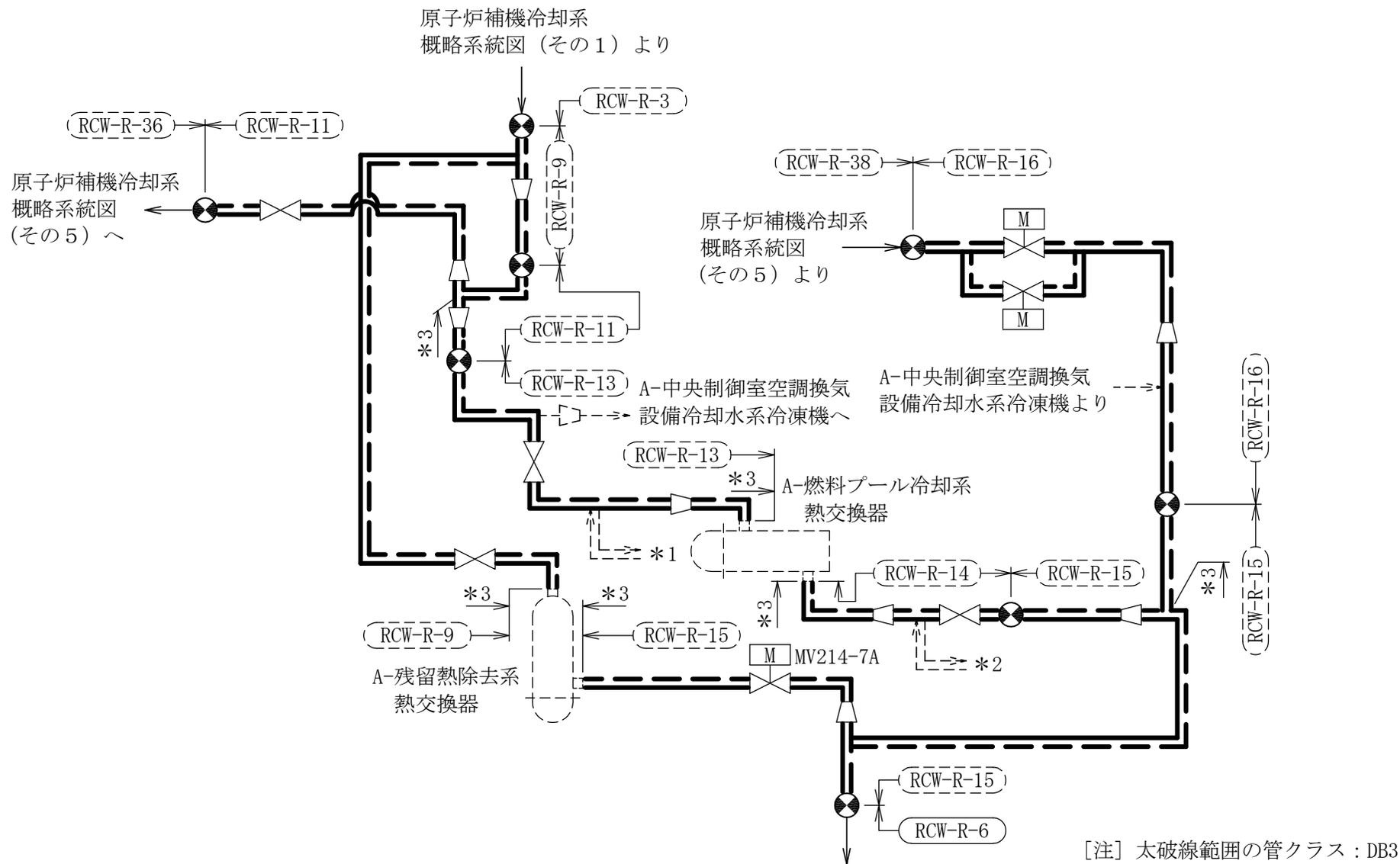
概略系統図記号凡例

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 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



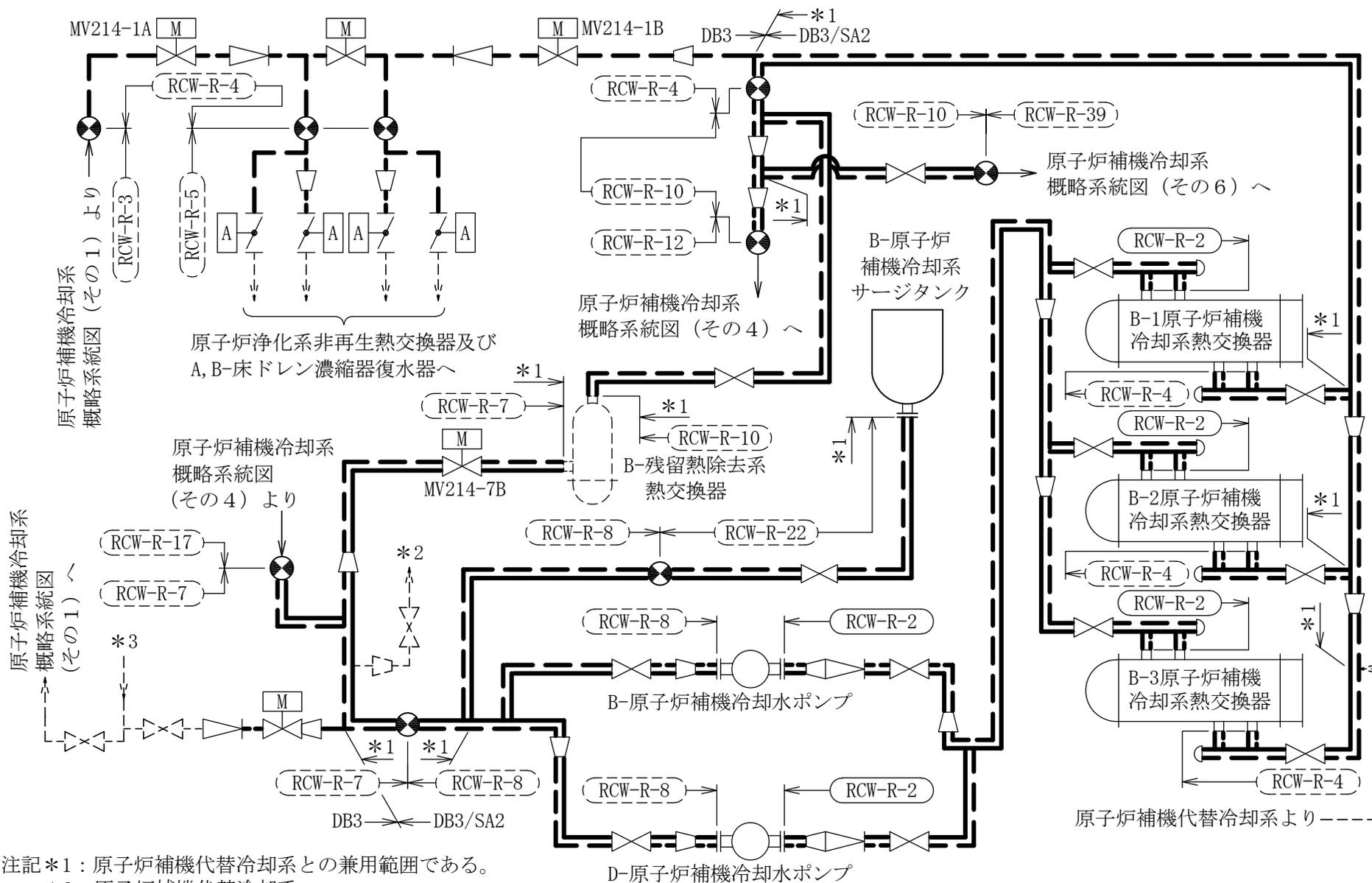
注記* : 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。

原子炉補機冷却系概略系統図 (その1)



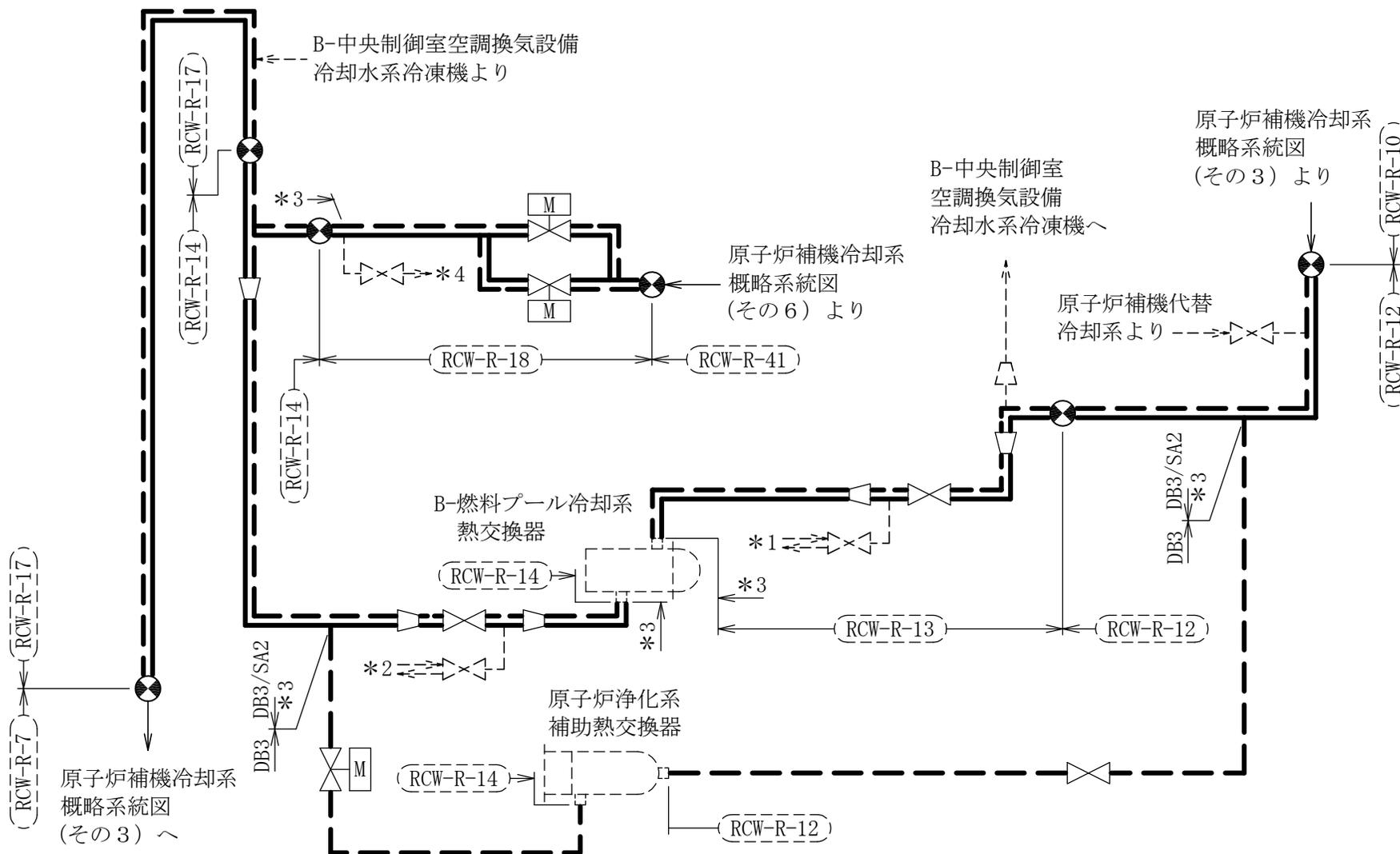
- 注記*1 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その4) の*1より (〜)
 *2 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その4) の*2より (〜)
 *3 : 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。

原子炉補機冷却系
概略系統図 (その1) へ 原子炉補機冷却系概略系統図 (その2)



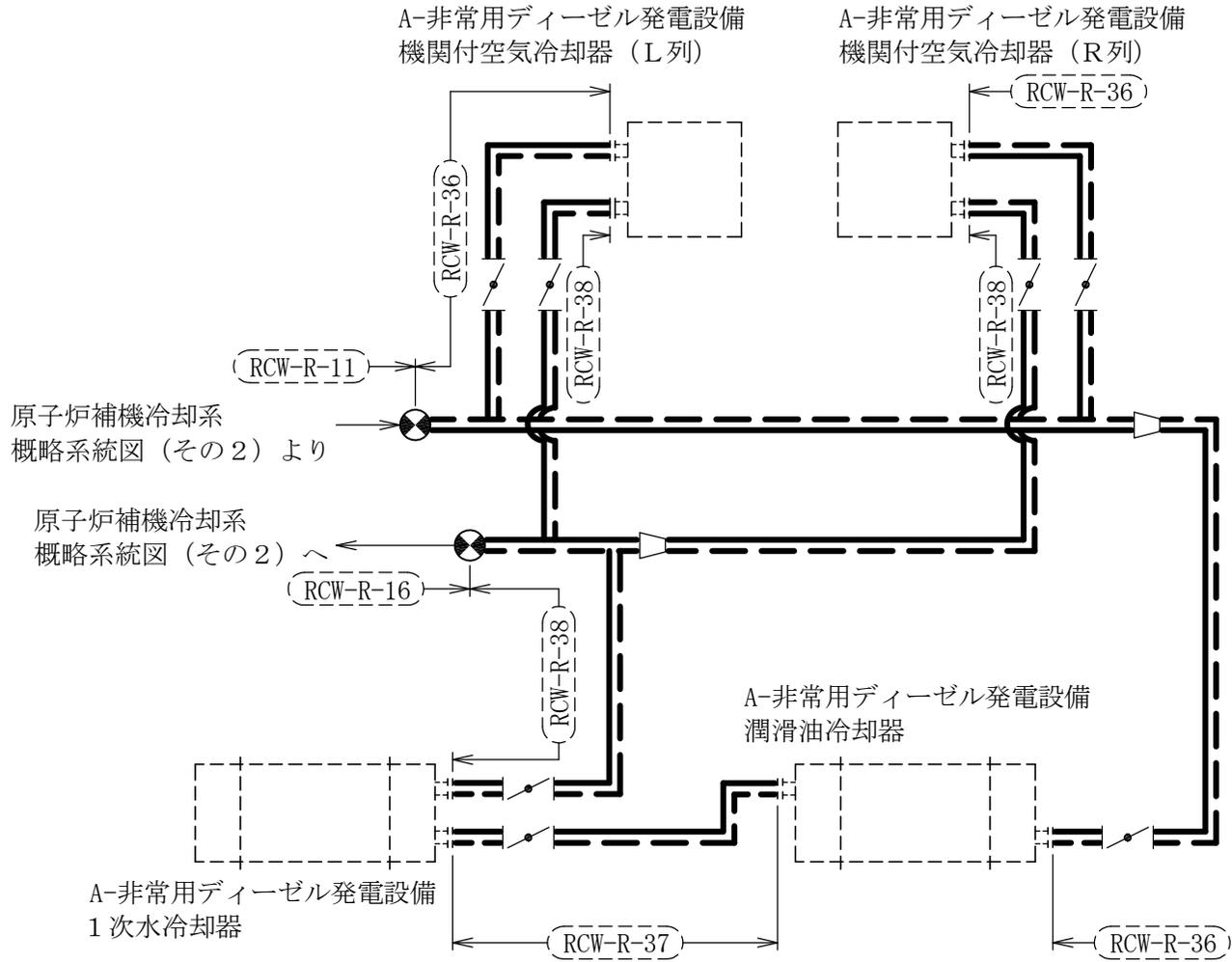
注記*1：原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。
 *2：原子炉補機代替冷却系へ
 *3：原子炉浄化系非再生熱交換器及びA, B-床ドレン濃縮器復水器より

原子炉補機冷却系概略系統図 (その3)



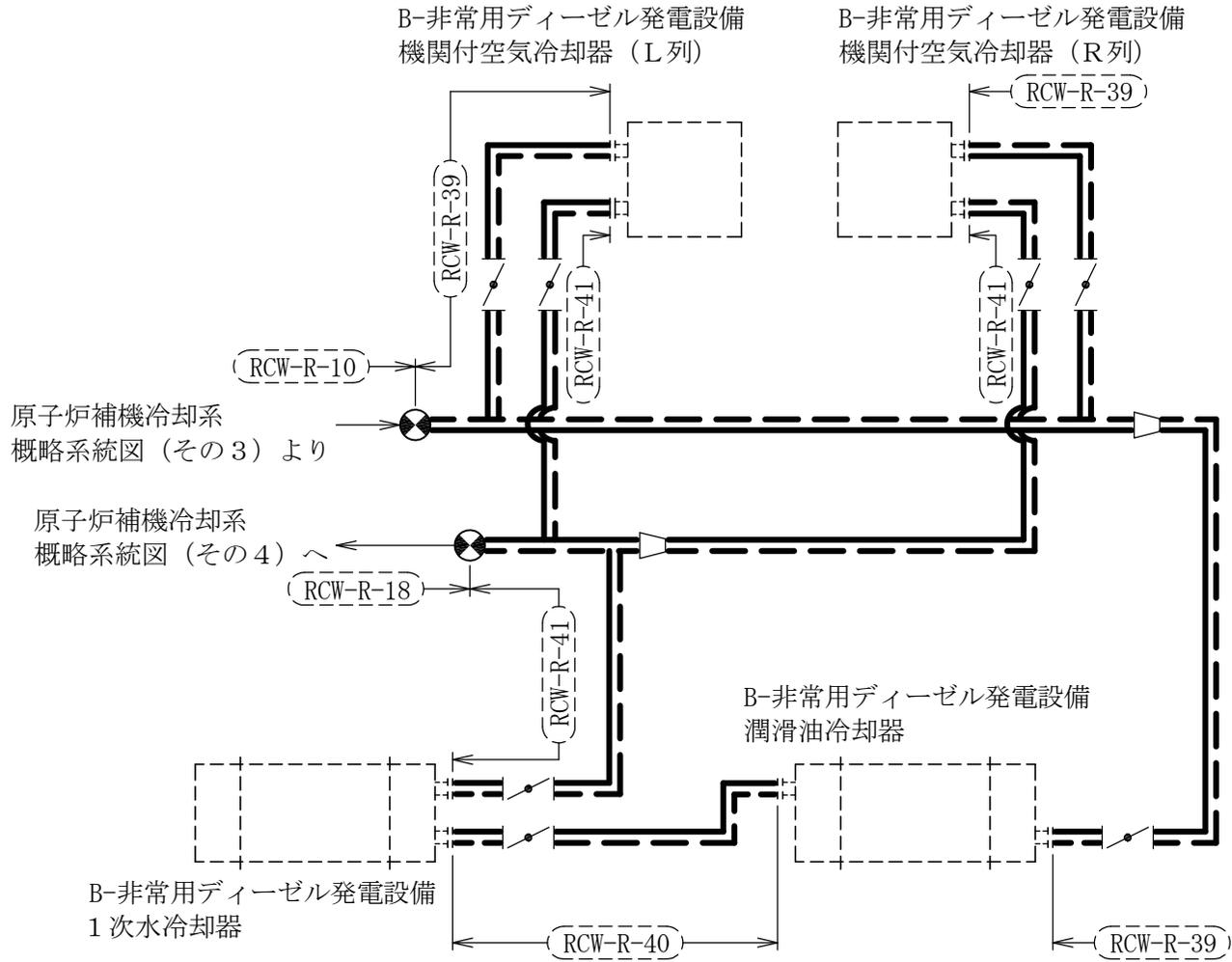
- 注記 *1 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その2) の*1より (〜)
 *2 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その2) の*2より (〜)
 *3 : 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。
 *4 : 原子炉補機代替冷却系へ

原子炉補機冷却系概略系統図 (その4)



[注] 太破線範囲の管クラス : DB3
太線範囲の管クラス : SA2

原子炉補機冷却系概略系統図 (その5)

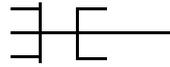
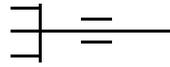
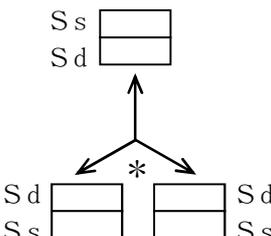


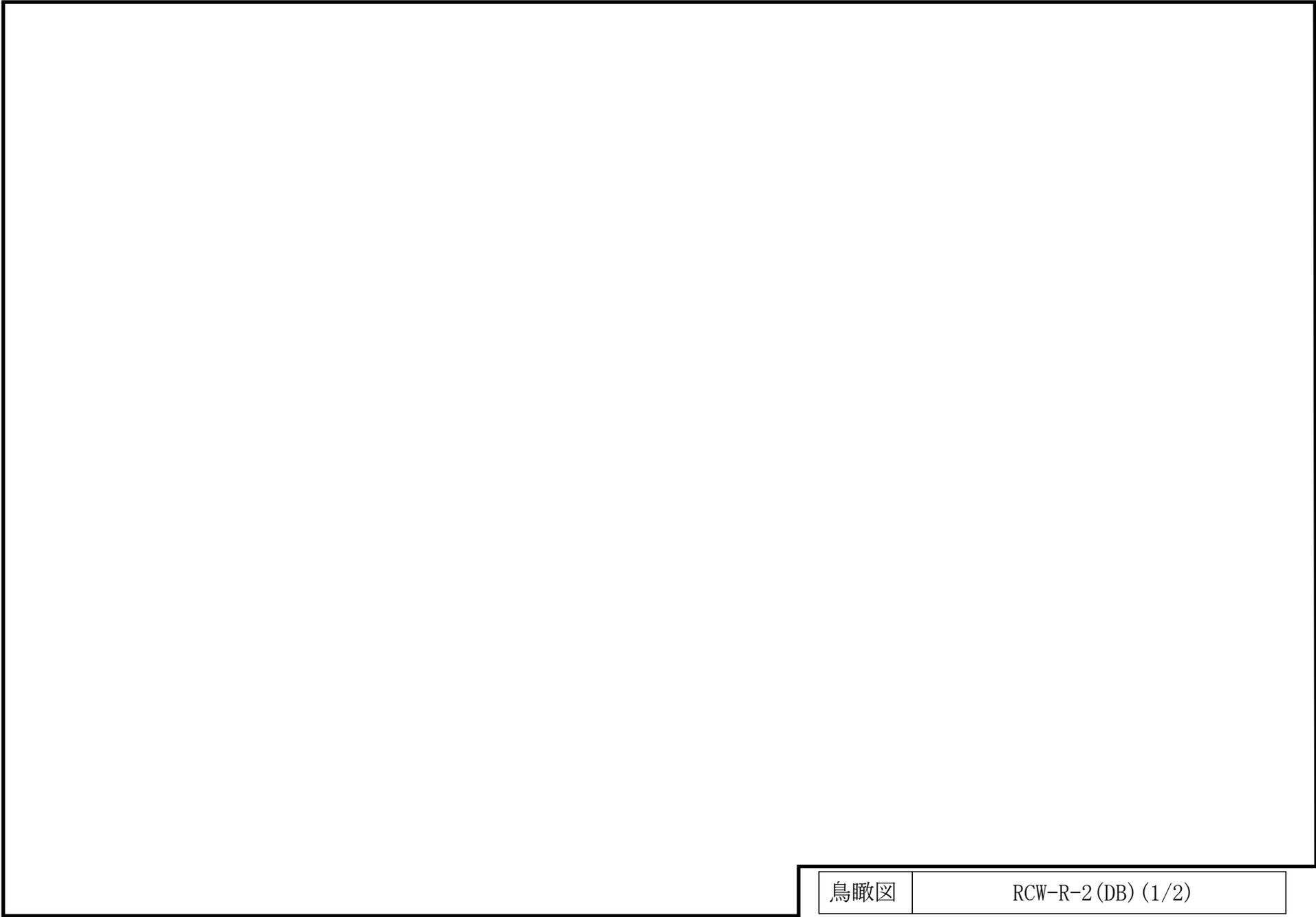
[注] 太破線範囲の管クラス : DB3
太線範囲の管クラス : SA2

原子炉補機冷却系概略系統図 (その6)

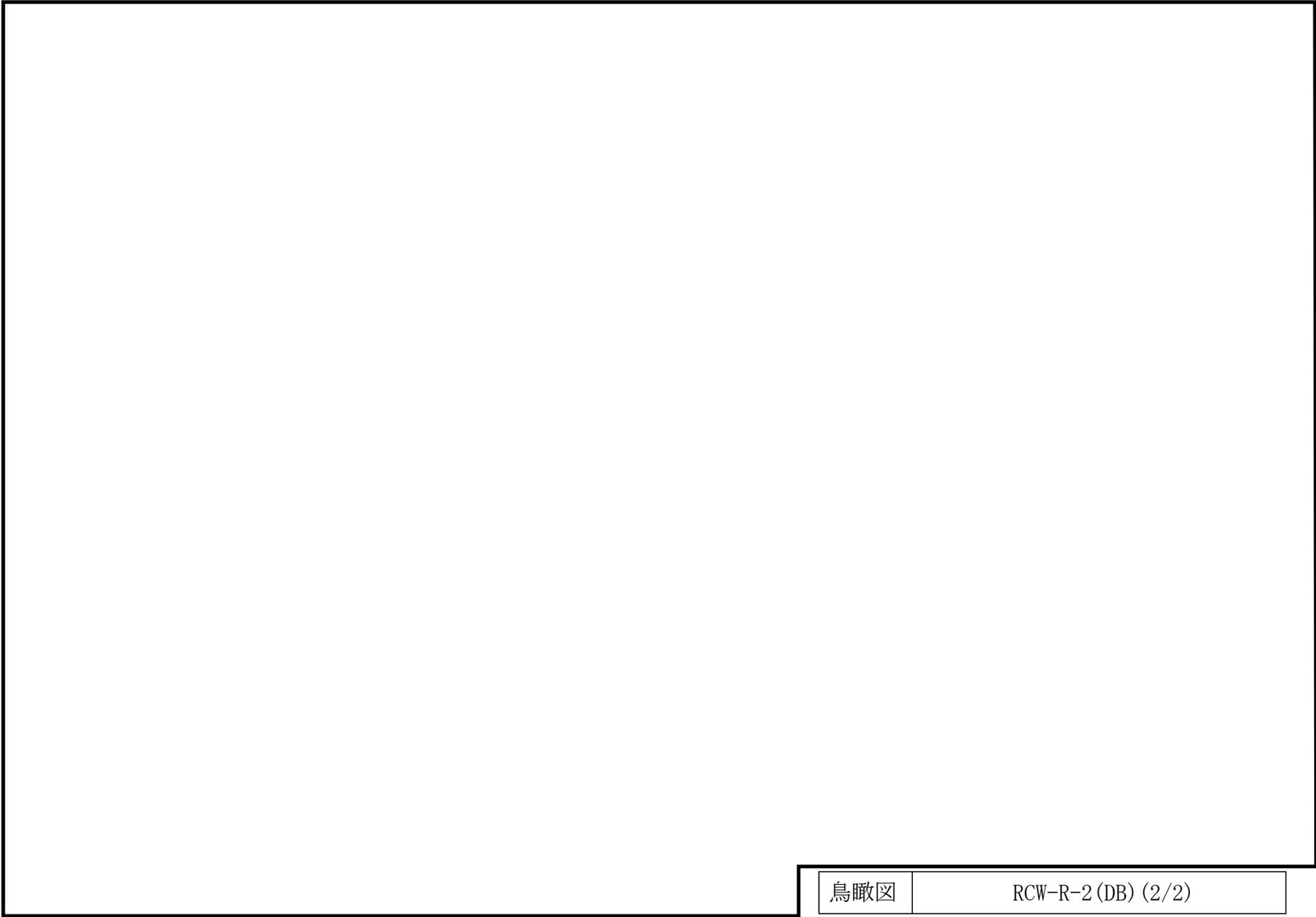
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

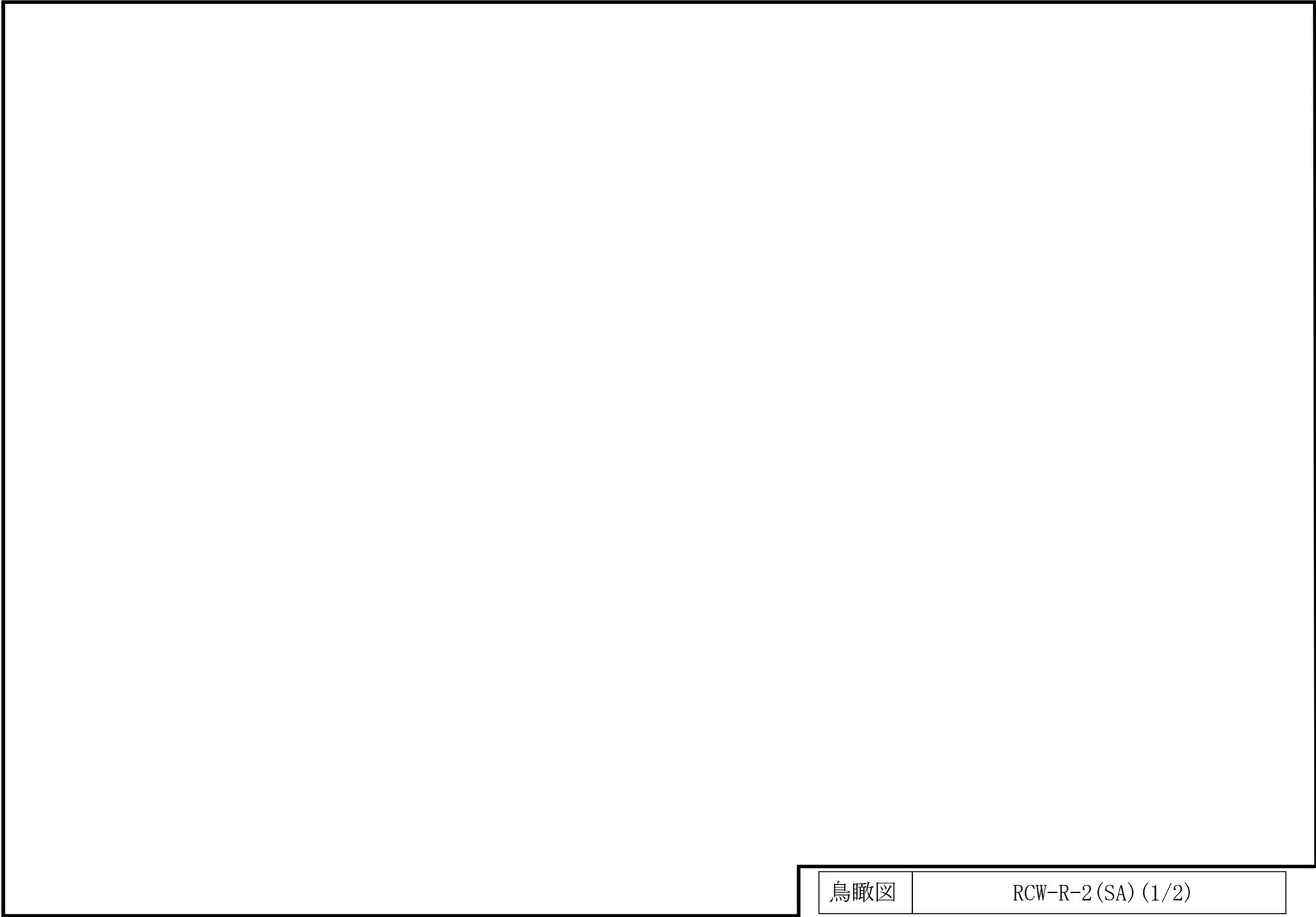
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また,  内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	RCW-R-2 (DB) (1/2)
-----	--------------------

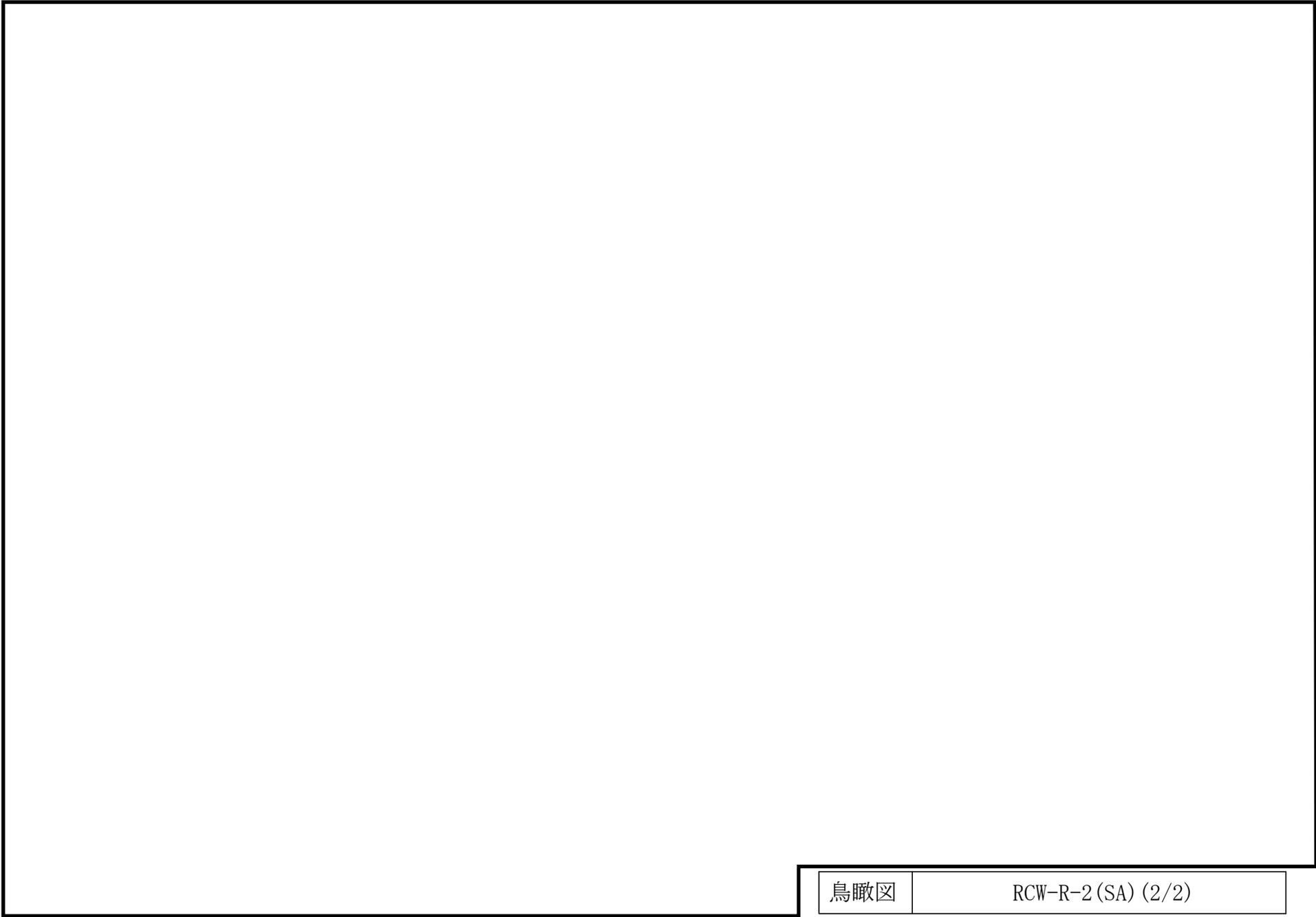


鳥瞰図	RCW-R-2 (DB) (2/2)
-----	--------------------

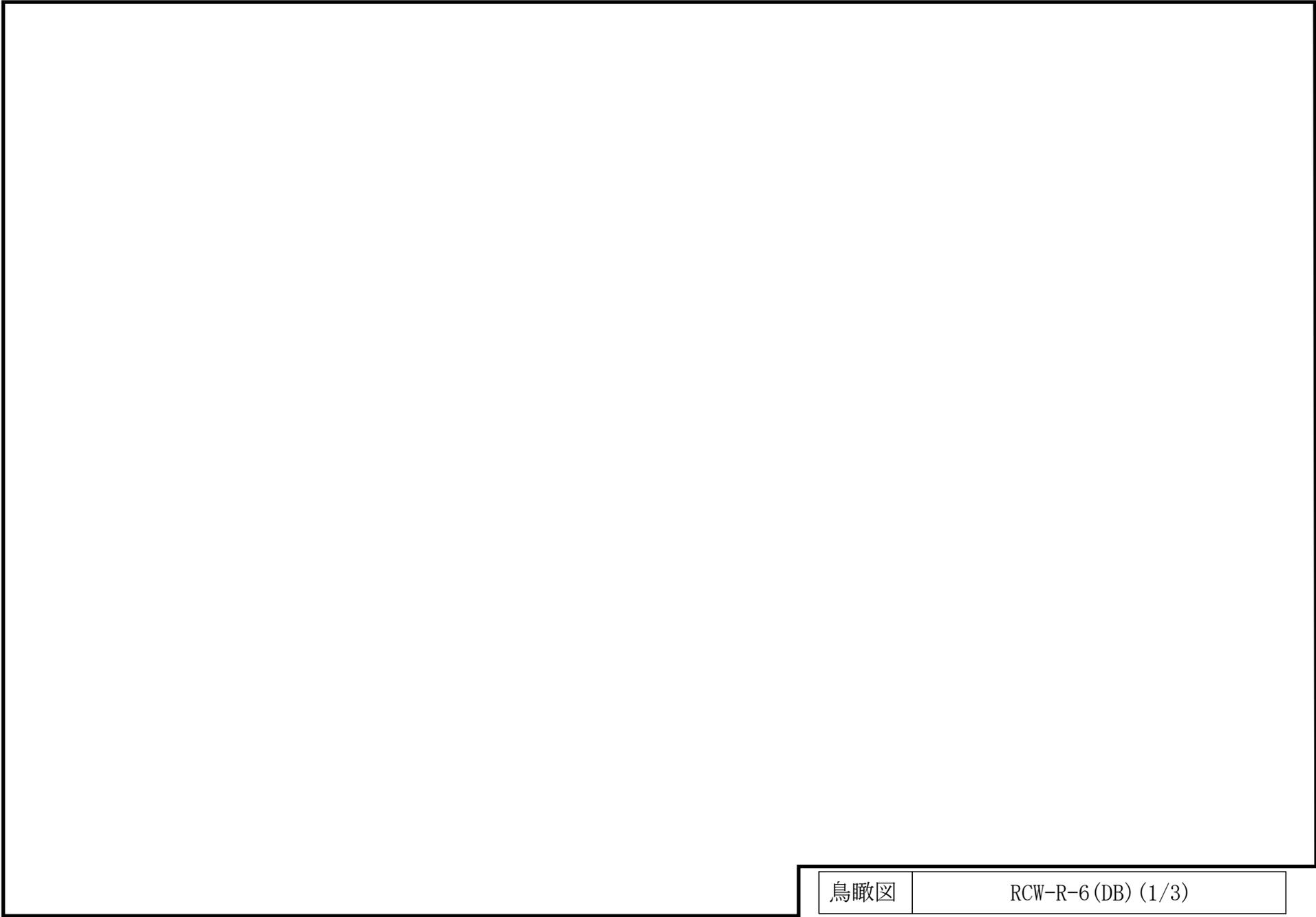


鳥瞰図

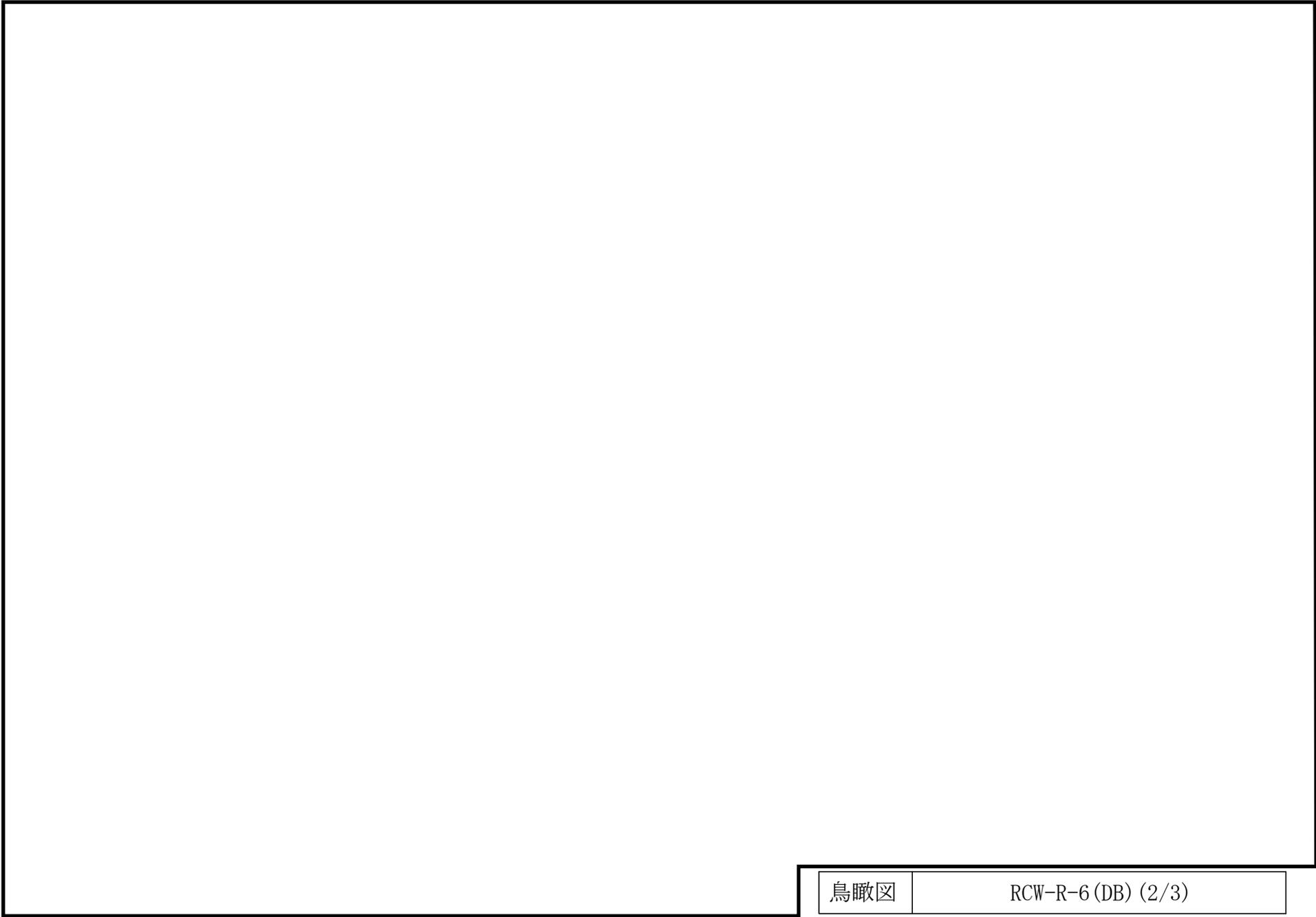
RCW-R-2 (SA) (1/2)

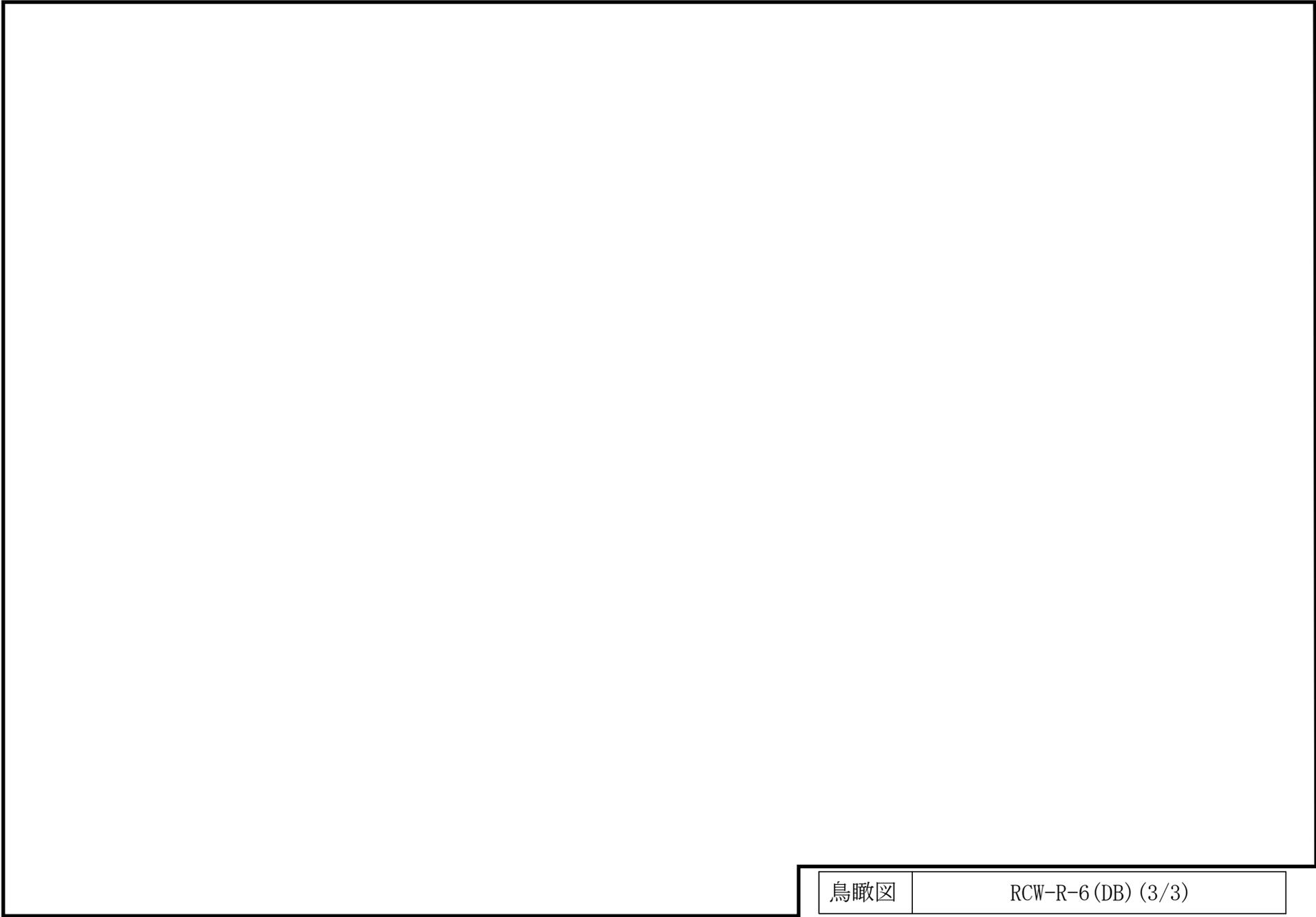


鳥瞰図	RCW-R-2 (SA) (2/2)
-----	--------------------

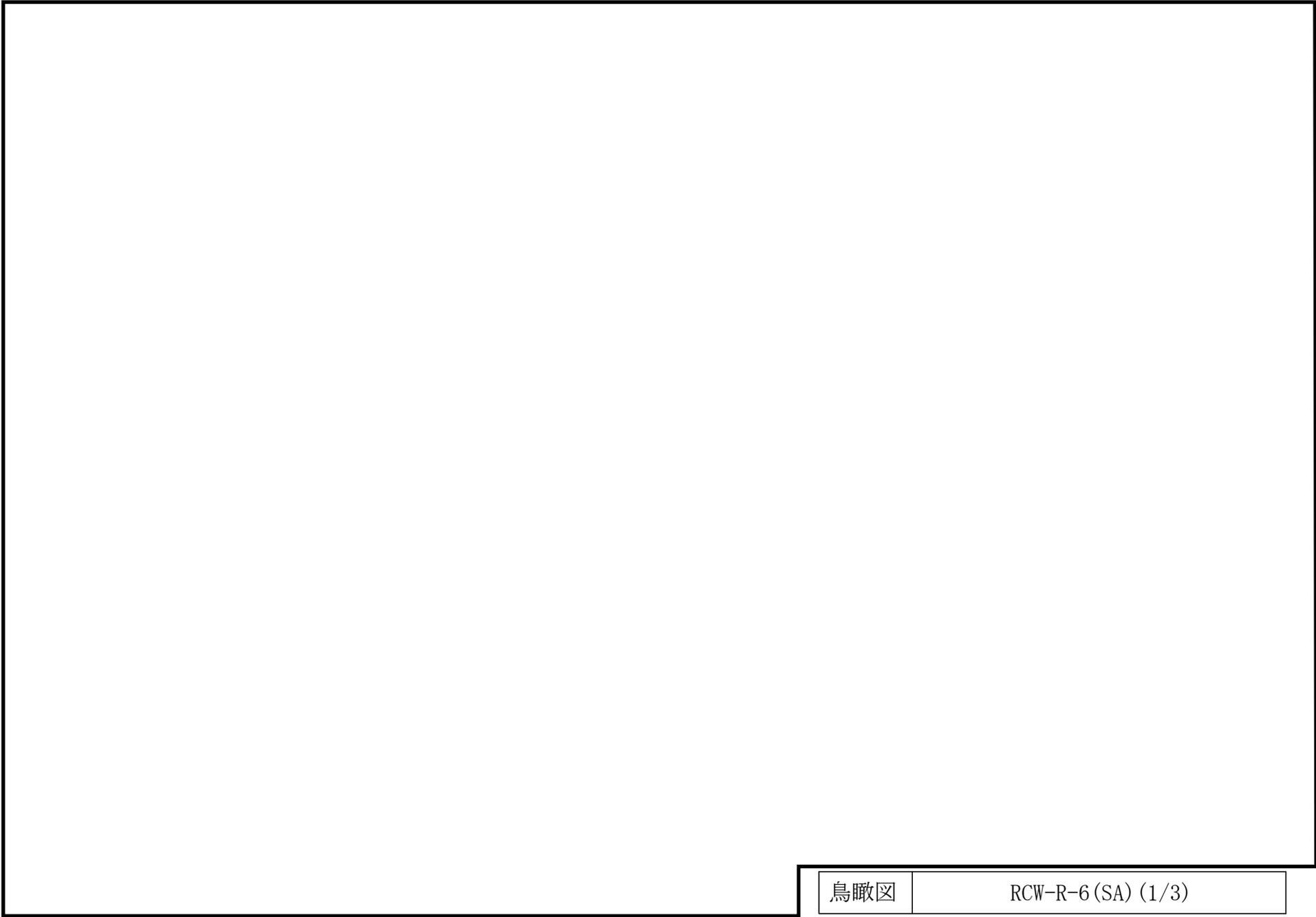


鳥瞰図	RCW-R-6 (DB) (1/3)
-----	--------------------

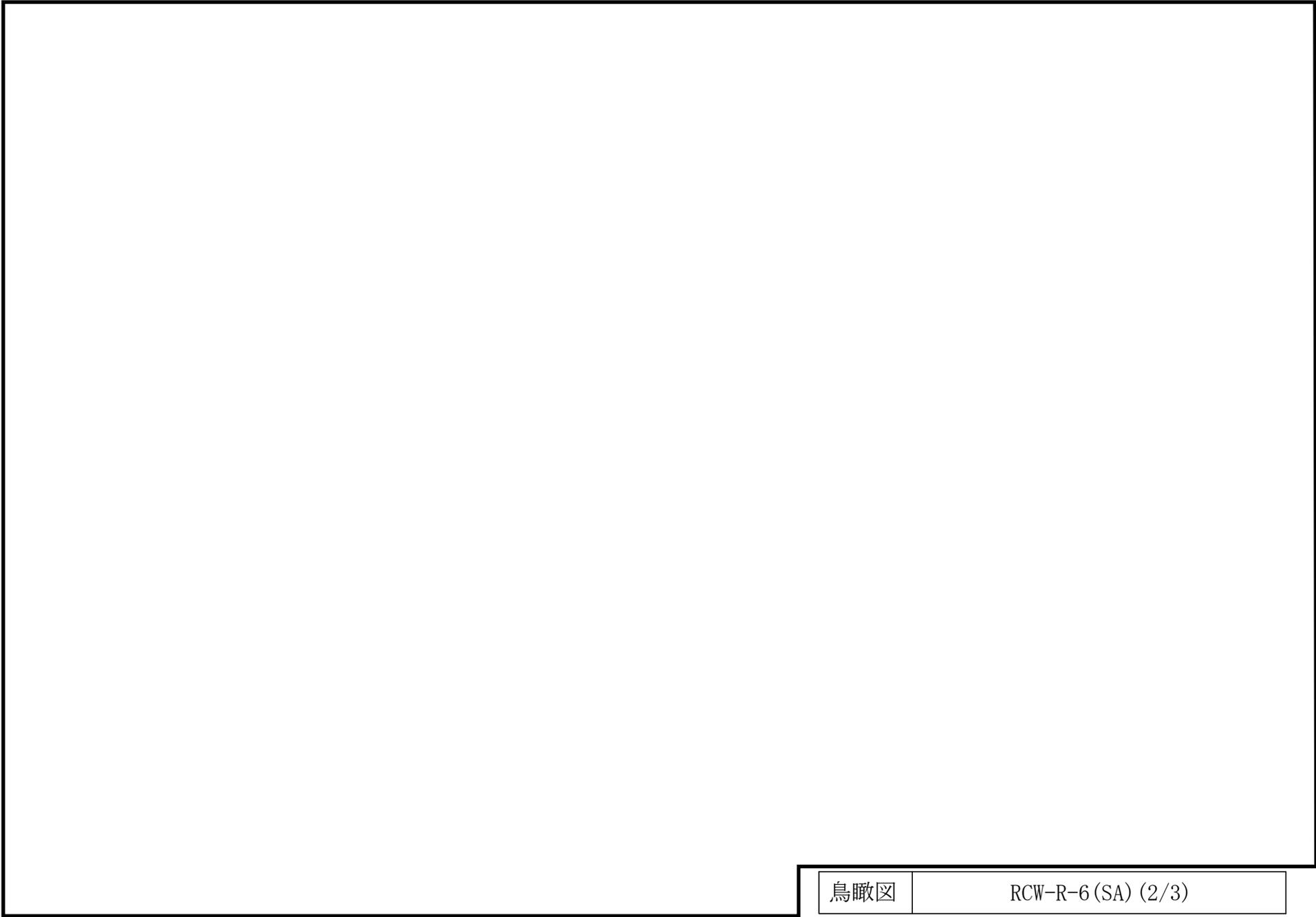




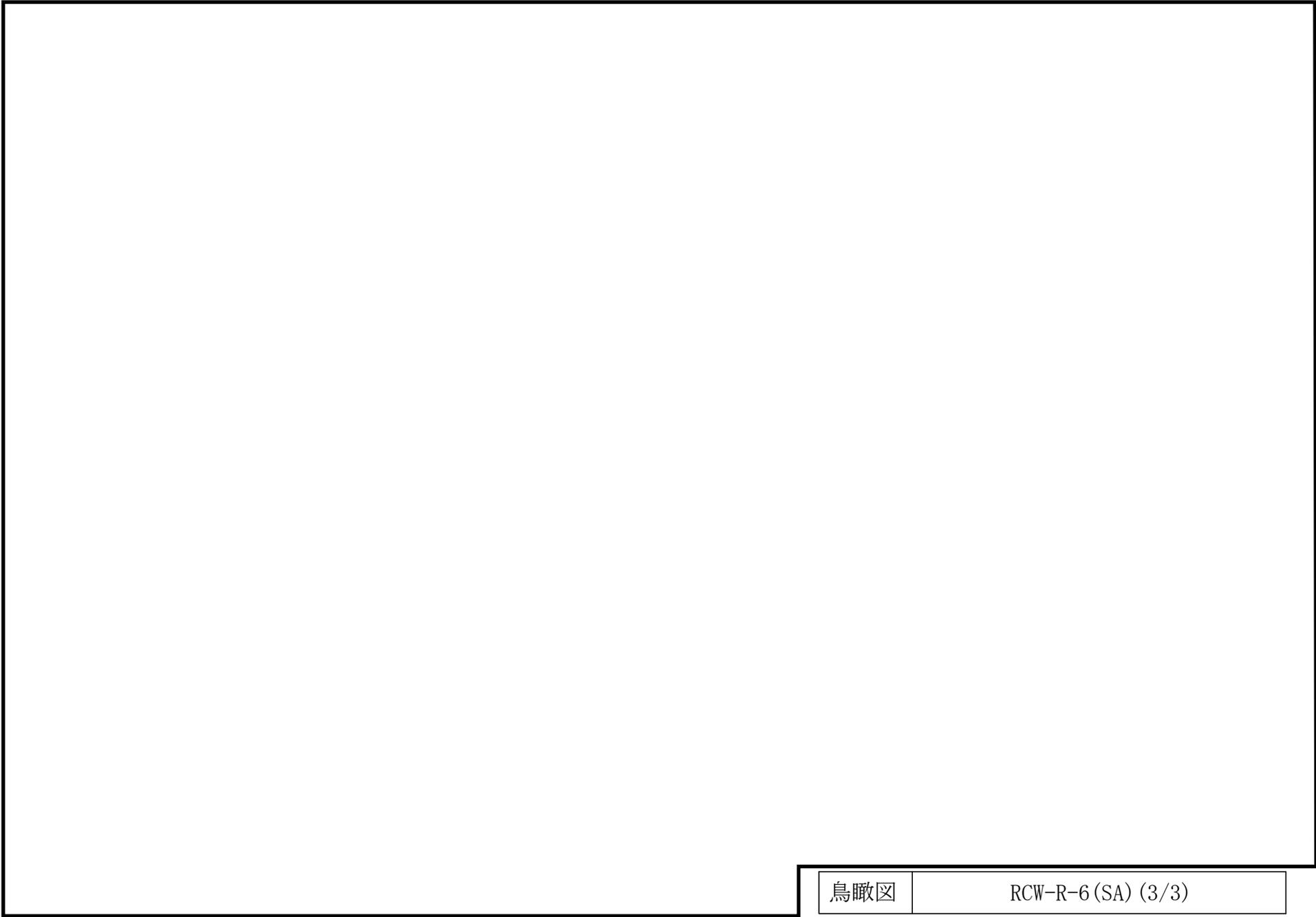
鳥瞰図	RCW-R-6 (DB) (3/3)
-----	--------------------



鳥瞰図	RCW-R-6 (SA) (1/3)
-----	--------------------



鳥瞰図	RCW-R-6 (SA) (2/3)
-----	--------------------



鳥瞰図	RCW-R-6 (SA) (3/3)
-----	--------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
			SA	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機代替冷却系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	VA 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(DB拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態VA Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 RCW-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~3, 32~34N 50~52, 54~64N 62~70N, 68~71 80~82, 84~92N 90~98N, 96~99 104~108, 110~121N 119~127N, 125~128	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
2	5~7, 9~12 16~26, 28~30	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
3	13~16, 16~48	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
4	48~49, 49~75	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
5	49~50	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
6	76~79, 79~103	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85

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 RCW-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
7	79~80	III _A S	1.37	85
		IV _A S	1.37	85
		V _A S	1.37	85

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 RCW-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~3, 32~34N 50~52, 54~64N 62~70N, 68~71 80~82, 84~92N 90~98N, 96~99 104~108, 110~121N 119~127N, 125~128	406.4	12.7	STPT42	S	201000
2	5~7, 9~12 16~26, 28~30	508.0	9.5	SM41C	S	201000
3	13~16, 16~48	711.2	12.7	SM41C	S	201000
4	48~49, 49~75	723.8	19.0	SM41C	S	201000
5	49~50	419.0	19.0	SM41C	S	201000
6	76~79, 79~103	558.8	12.7	SM41C	S	201000
7	79~80	406.4	12.7	SM41C	S	201000

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCW-R-2

質量	対応する評価点
<div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 50px; margin: 0 auto;"></div>	1N～3, 32～34N, 49～52, 54～64N, 62～70N 68～71, 79～82, 84～92N, 90～98N, 96～99 104～108, 110～121N, 119～127N, 125～128
<div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 50px; margin: 0 auto;"></div>	5～7, 9～12, 16～26, 28～30, 76～79 79～103
<div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 50px; margin: 0 auto;"></div>	13～16, 16～49, 49～75

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-2

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1N, 34N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	4~5, 30~31		7~9, 26~28
	52~54, 82~84		108~110

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCW-R-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)
4~5				7~9			
26~28				30~31			
52~54				82~84			
108~110							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCW-R-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
1N						
1001						
10						
11						
24						
25						
3401						
34N						
37						
46						
59						
64N						
70N						
77						
81						
92N						
98N						
106						
107						
112						
121N						
127N						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(1) R0

設計条件

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

鳥 瞰 図 RCW-R-6

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	3~5, 6~7	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	—	—
2	8~9	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	—	—
3	9~20	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
4	21~22, 23~38 19~102, 104~111 112~127	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
5	39~44N, 128~133N	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
6	102~104	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
7	9~209A	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85

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 RCW-R-6

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	11～301	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
9	301～3061, 307～318A	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85

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 RCW-R-6

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～5, 6～7	609.6	12.7	SM41C	S	201533
2	8～9	711.2	12.7	SM41C	S	201533
3	9～20	711.2	12.7	SM41C	S	201533
4	21～22, 23～38 19～102, 104～111 112～127	508.0	9.5	SM41C	S	201533
5	39～44N, 128～133N	457.2	9.5	SM41C	S	201533
6	102～104	508.0	9.5	STPT410	S	201533
7	9～209A	558.8	12.7	SM41C	S	201533
8	11～301	165.2	7.1	SF45A	S	200533
9	301～3061, 307～318A	165.2	7.1	STPT42	S	201533

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCW-R-6

質量	対応する評価点
□	3～5, 6～7, 8～20
□	21～22, 23～38, 19～111, 112～127, 9～209A
□	39～44N, 128～133N
□	11～3061, 307～318A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-6

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	33F, 36F, 122F, 125F
<input type="checkbox"/>	44N, 133N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-6

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2~3		5, 6
	5001		5002
	5004		22~23, 111~112
	3061~307		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCW-R-6

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				5~5001			
5001~5002				5002~5003			
5003~5004				5001~6			
22~23				111~112			
3061~307							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCW-R-6

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
** 5003 **						
5003						
12						
12						
17						
18						
24						
25						
26						
29						
40						
44N						
** 107 **						
113						
115						
118						
129						
133N						
201						
209A						
308						
318A						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(1) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT42	85	—	224	406	—
SM41C	85	—	227	377	—
SM41C	85	—	218	377	—
STPT410	85	—	224	406	—
SF45A	85	—	212	401	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RCW-R-2	原子炉建物				
RCW-R-6	原子炉建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCW-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCW-R-2

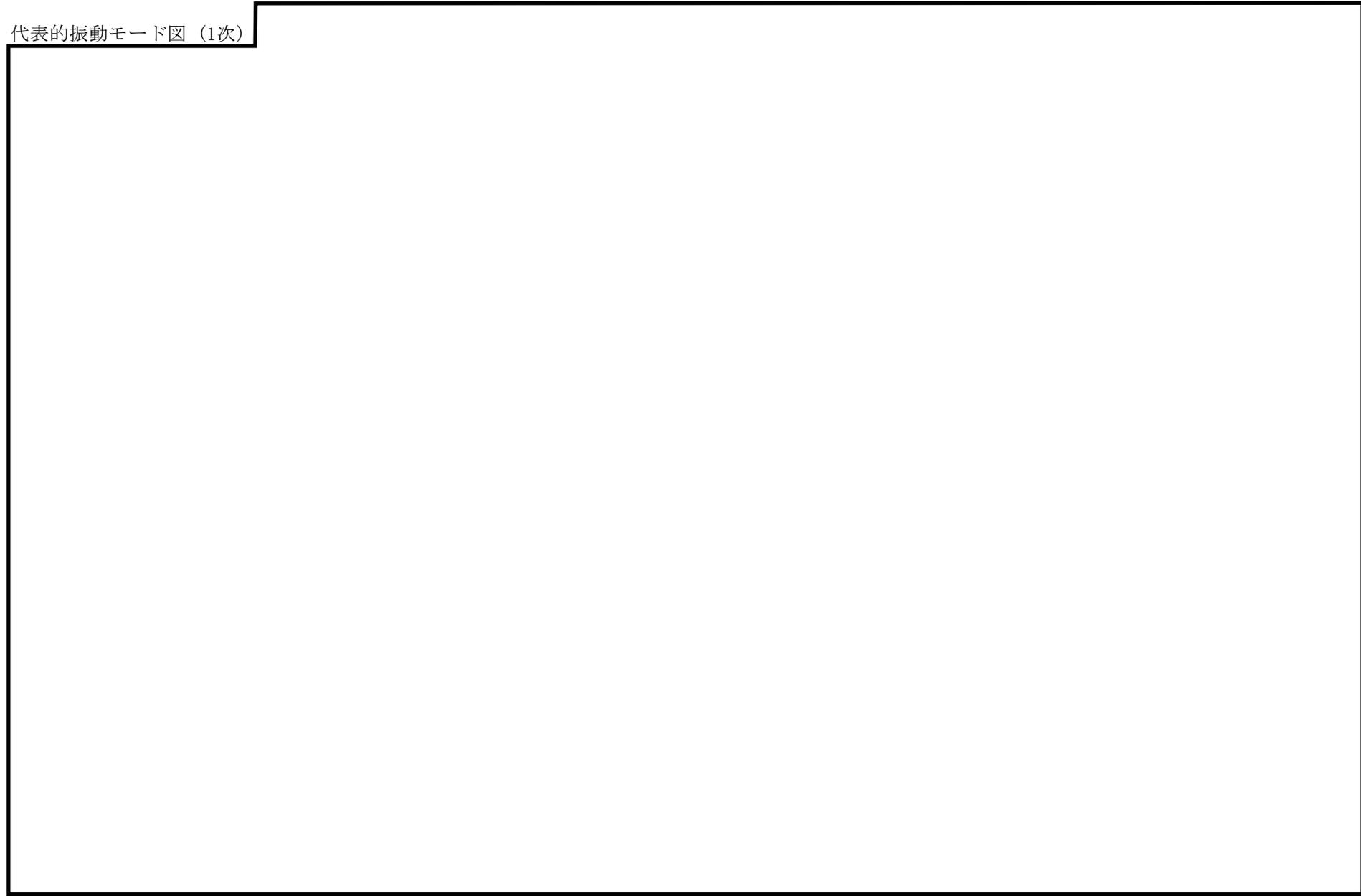
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

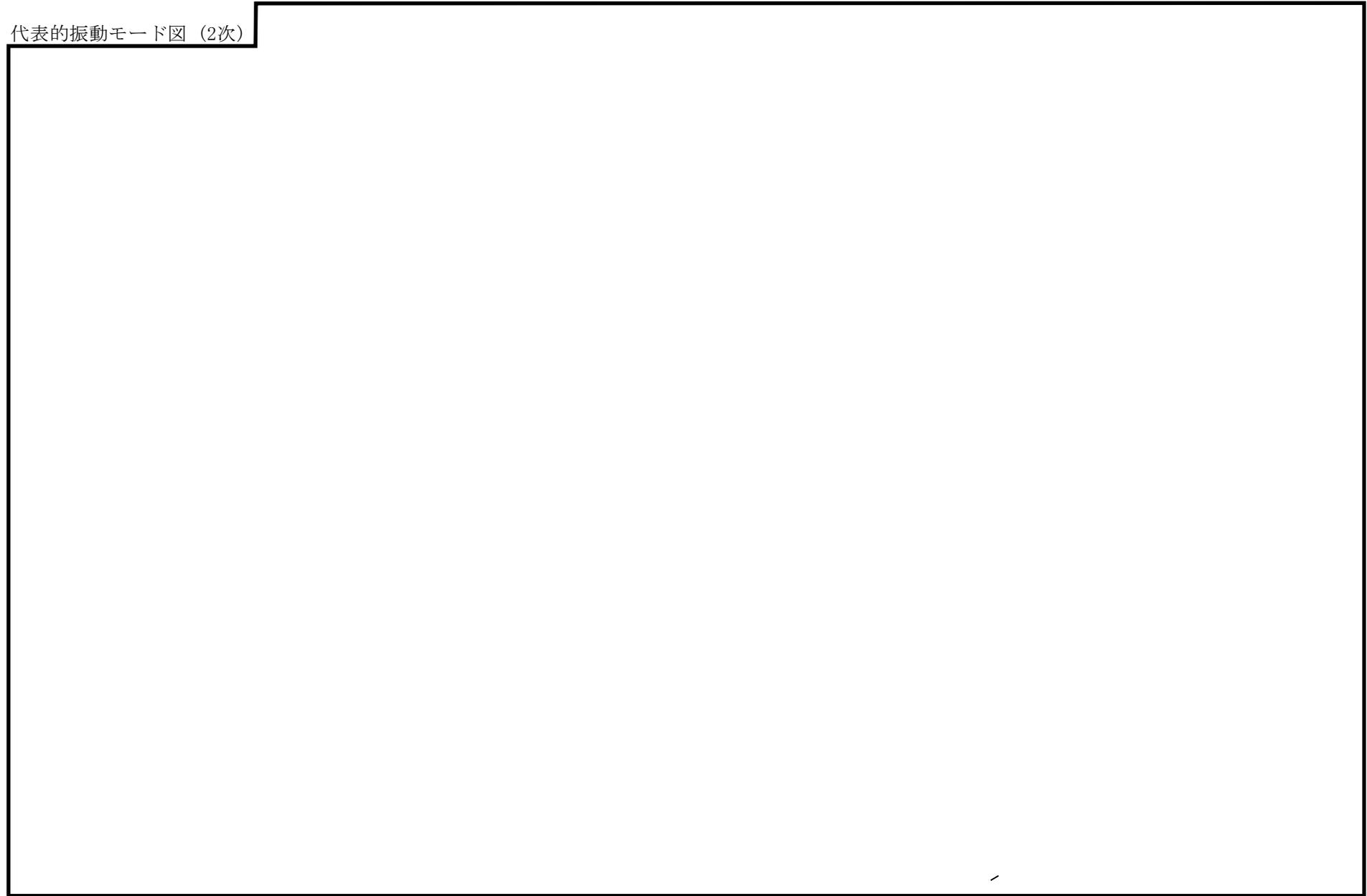
代表的振動モード図

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、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



45

代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCW-R-6

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
9次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCW-R-6

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

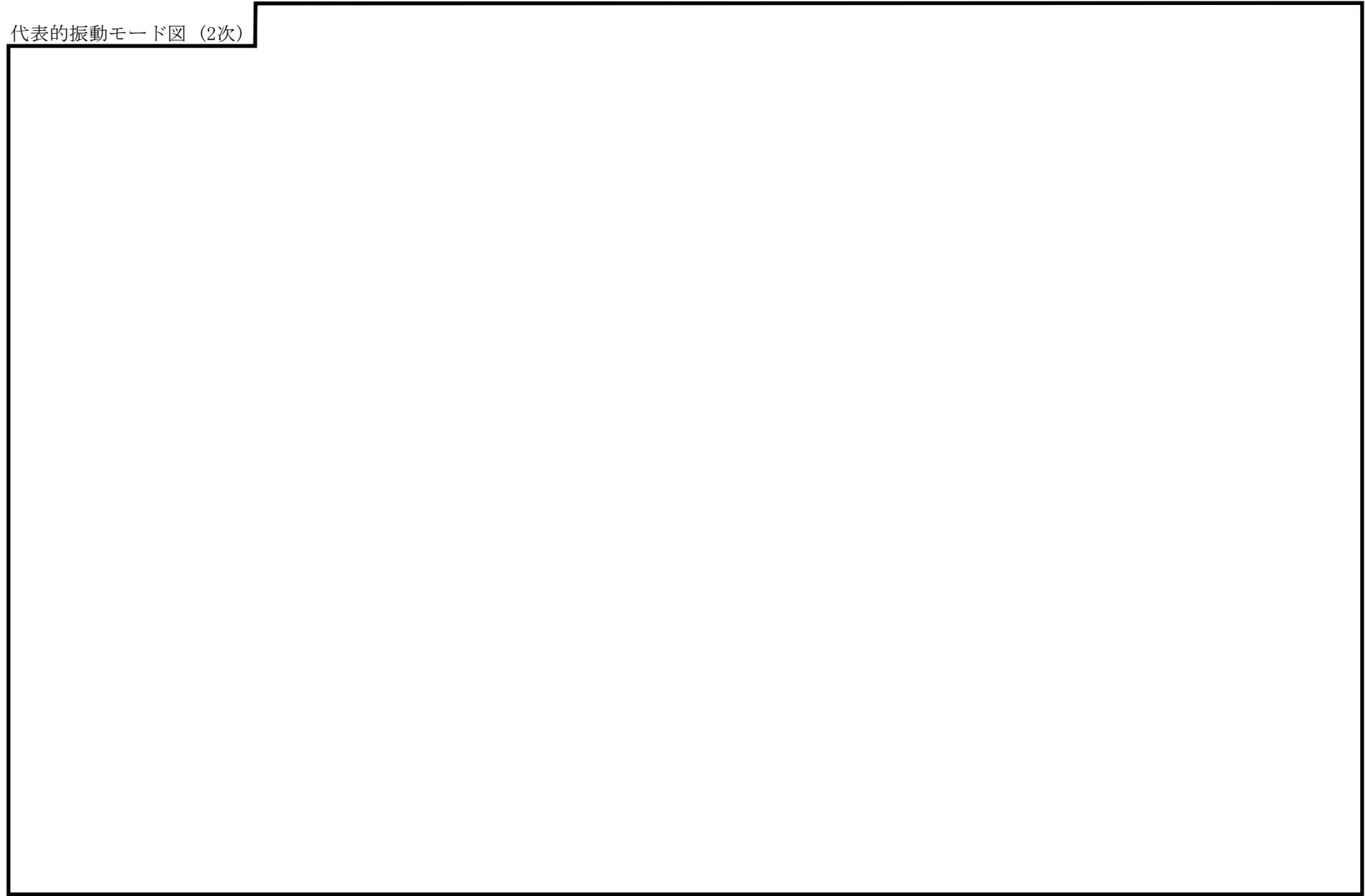
代表的振動モード図

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，次頁以降に示す。

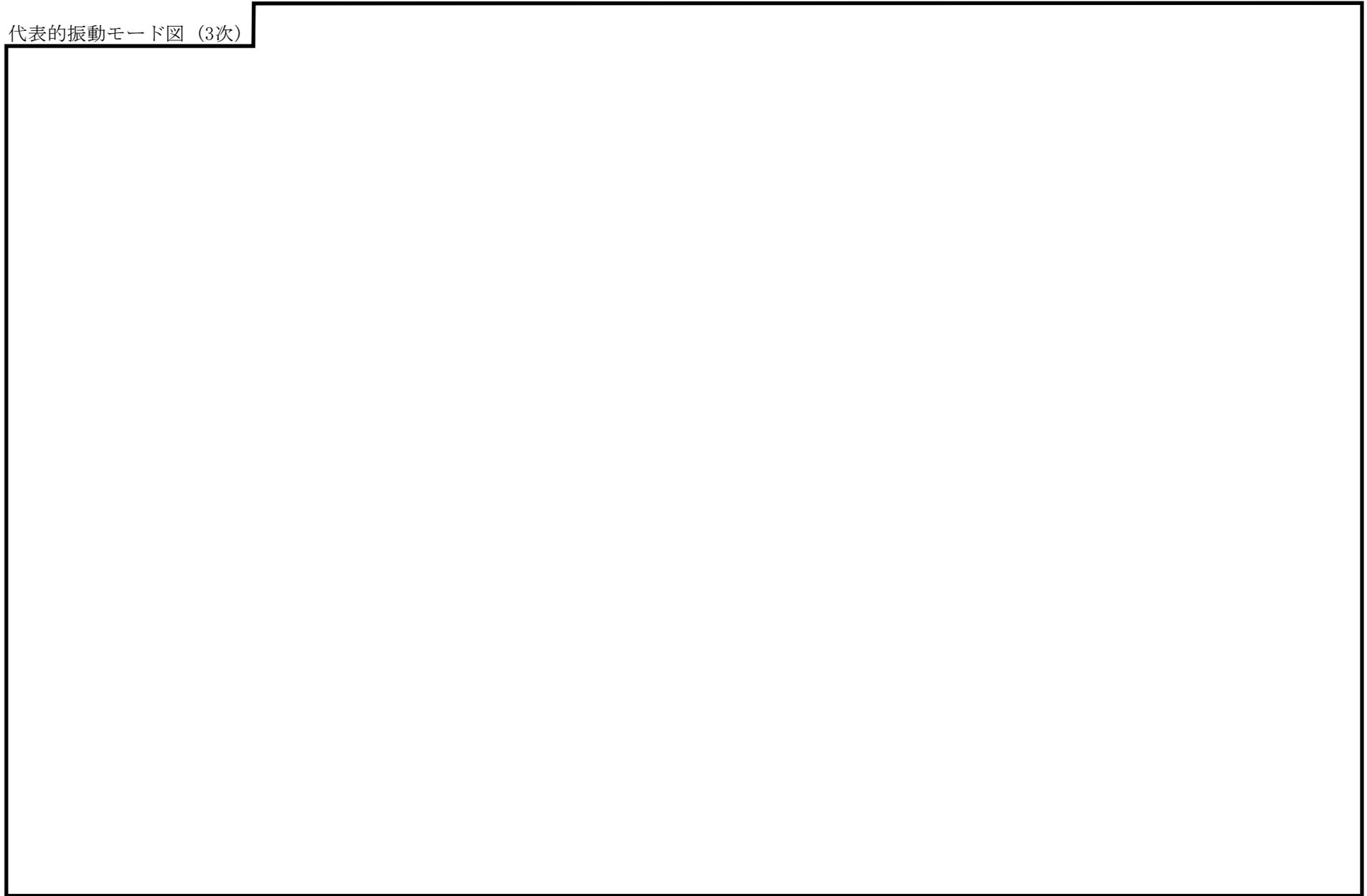
代表的振動モード図 (1次)

50

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
ⅢA S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RCW-R-6	9	129	227	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	199	454	—
ⅣA S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-2	79	216	339	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	382	454	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-2	79	216	339	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	382	454	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-2	79	216	339	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	382	454	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-RCW-817	オイルスナッパ	SN-25		197	375	—	
RE-RCW-908	ロッドレストレイント	RTS-25		175	450	—	
SH-RCW-815	スプリングハンガ	VSB1F-19		57	72		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RCW-284	レストレイント	ラグ	SGV410	85	0	205	17	—	—	—	圧縮	42	142
AN-RCW-234	アンカ	ラグ	SGV410	85	237	107	54	26	58	75	組合せ	58	142

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
							動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
MV214-1B	電動ゲート弁	β (S s)	3.1	1.3	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
MV214-7B	電動グローブ弁	β (S s)	3.8	2.4	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	RCW-R-1	45	117	227	1.94	—	79	159	436	2.74	—	—
2	RCW-R-2	79	124	227	1.83	—	79	199	454	2.28	—	○
3	RCW-R-3	31	125	227	1.81	—	31	196	454	2.31	—	—
4	RCW-R-4	123	112	227	2.02	—	123	179	454	2.53	—	—
5	RCW-R-5	17	116	227	1.95	—	17	149	454	3.04	—	—
6	RCW-R-6	9	129	227	1.75	○	9	190	454	2.38	—	—
7	RCW-R-7	76	105	218	2.07	—	76	165	436	2.64	—	—
8	RCW-R-8	50	119	227	1.90	—	50	143	454	3.17	—	—
9	RCW-R-9	101	106	227	2.14	—	24	156	454	2.91	—	—
10	RCW-R-10	115	117	227	1.94	—	79	153	454	2.96	—	—
11	RCW-R-11	66	82	224	2.73	—	66	108	448	4.14	—	—
12	RCW-R-12	33	98	224	2.28	—	33	136	448	3.29	—	—
13	RCW-R-13	126	118	224	1.89	—	126	179	448	2.50	—	—
14	RCW-R-14	97	114	224	1.96	—	158	165	454	2.75	—	—
15	RCW-R-15	95	113	227	2.00	—	95	143	454	3.17	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
16	RCW-R-16	102	68	224	3.29	—	102	95	448	4.71	—	—
17	RCW-R-17	42A	126	227	1.80	—	42A	166	454	2.73	—	—
18	RCW-R-18	82	74	224	3.02	—	82	95	448	4.71	—	—
19	RCW-R-21	67A	102	224	2.19	—	67A	170	448	2.63	—	—
20	RCW-R-22	48	76	224	2.94	—	48	107	448	4.18	—	—
21	RCW-R-36	101	78	224	2.87	—	11	136	448	3.29	—	—
22	RCW-R-37	3	45	224	4.97	—	7	57	448	7.85	—	—
23	RCW-R-38	62	57	224	3.92	—	62	86	448	5.20	—	—
24	RCW-R-39	12	42	224	5.33	—	211	56	448	8.00	—	—
25	RCW-R-40	3	45	224	4.97	—	7	57	448	7.85	—	—
26	RCW-R-41	58	34	224	6.58	—	58	36	448	12.44	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	RCW-R-1	79	200	339	1.69	—	79	362	436	1.20	—	—
2	RCW-R-2	79	216	339	1.56	○	79	382	454	1.18	—	○
3	RCW-R-3	31	216	339	1.56	—	31	378	454	1.20	—	—
4	RCW-R-4	123	207	339	1.63	—	123	323	454	1.40	—	—
5	RCW-R-5	17	174	339	1.94	—	17	270	454	1.68	—	—
6	RCW-R-6	9	194	339	1.74	—	318A	353	448	1.26	—	—
7	RCW-R-7	76	194	339	1.74	—	76	316	436	1.37	—	—
8	RCW-R-8	50	192	339	1.76	—	50	291	454	1.56	—	—
9	RCW-R-9	24	178	339	1.90	—	24	303	454	1.49	—	—
10	RCW-R-10	115	189	339	1.79	—	115	285	454	1.59	—	—
11	RCW-R-11	66	132	365	2.76	—	66	208	448	2.15	—	—
12	RCW-R-12	33	161	365	2.26	—	33	261	448	1.71	—	—
13	RCW-R-13	126	197	365	1.85	—	126	339	448	1.32	—	—
14	RCW-R-14	89	183	365	1.99	—	158	305	454	1.48	—	—
15	RCW-R-15	95	161	339	2.10	—	95	238	454	1.90	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
16	RCW-R-16	110	108	365	3.37	—	102	177	448	2.53	—	—
17	RCW-R-17	42A	203	339	1.66	—	42A	320	454	1.41	—	—
18	RCW-R-18	82	119	365	3.06	—	82	188	448	2.38	—	—
19	RCW-R-21	67A	182	365	2.00	—	67A	329	448	1.36	—	—
20	RCW-R-22	48	118	365	3.09	—	48	191	448	2.34	—	—
21	RCW-R-36	101	144	365	2.53	—	11	267	448	1.67	—	—
22	RCW-R-37	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
23	RCW-R-38	62	117	365	3.11	—	62	204	448	2.19	—	—
24	RCW-R-39	211	65	365	5.61	—	211	102	448	4.39	—	—
25	RCW-R-40	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
26	RCW-R-41	58	52	365	7.01	—	58	70	448	6.40	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	RCW-R-1	79	200	339	1.69	—	79	362	436	1.20	—	—
2	RCW-R-2	79	216	339	1.56	○	79	382	454	1.18	—	○
3	RCW-R-3	31	216	339	1.56	—	31	378	454	1.20	—	—
4	RCW-R-4	56	201	339	1.68	—	98	270	454	1.68	—	—
5	RCW-R-6	9	194	339	1.74	—	318A	353	448	1.26	—	—
6	RCW-R-7	76	194	339	1.74	—	76	316	436	1.37	—	—
7	RCW-R-8	50	192	339	1.76	—	50	291	454	1.56	—	—
8	RCW-R-9	24	178	339	1.90	—	24	303	454	1.49	—	—
9	RCW-R-10	115	189	339	1.79	—	115	285	454	1.59	—	—
10	RCW-R-11	66	132	365	2.76	—	66	208	448	2.15	—	—
11	RCW-R-12	33	161	365	2.26	—	33	261	448	1.71	—	—
12	RCW-R-13	126	197	365	1.85	—	126	339	448	1.32	—	—
13	RCW-R-14	89	183	365	1.99	—	158	305	454	1.48	—	—
14	RCW-R-15	95	161	339	2.10	—	95	238	454	1.90	—	—
15	RCW-R-16	110	108	365	3.37	—	102	177	448	2.53	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
16	RCW-R-17	42A	203	339	1.66	—	42A	320	454	1.41	—	—
17	RCW-R-18	82	119	365	3.06	—	82	188	448	2.38	—	—
18	RCW-R-21	67A	182	365	2.00	—	67A	329	448	1.36	—	—
19	RCW-R-22	48	118	365	3.09	—	48	191	448	2.34	—	—
20	RCW-R-36	101	144	365	2.53	—	11	267	448	1.67	—	—
21	RCW-R-37	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
22	RCW-R-38	62	117	365	3.11	—	62	204	448	2.19	—	—
23	RCW-R-39	211	65	365	5.61	—	211	102	448	4.39	—	—
24	RCW-R-40	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
25	RCW-R-41	58	52	365	7.01	—	58	70	448	6.40	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	RCW-R-1	79	200	339	1.69	—	79	362	436	1.20	—	—
2	RCW-R-2	79	216	339	1.56	○	79	382	454	1.18	—	○
3	RCW-R-3	31	216	339	1.56	—	31	378	454	1.20	—	—
4	RCW-R-4	56	201	339	1.68	—	98	270	454	1.68	—	—
5	RCW-R-6	9	194	339	1.74	—	318A	353	448	1.26	—	—
6	RCW-R-7	76	194	339	1.74	—	76	316	436	1.37	—	—
7	RCW-R-8	50	192	339	1.76	—	50	291	454	1.56	—	—
8	RCW-R-9	24	178	339	1.90	—	24	303	454	1.49	—	—
9	RCW-R-10	115	189	339	1.79	—	115	285	454	1.59	—	—
10	RCW-R-11	66	132	365	2.76	—	66	208	448	2.15	—	—
11	RCW-R-12	33	161	365	2.26	—	33	261	448	1.71	—	—
12	RCW-R-13	126	197	365	1.85	—	126	339	448	1.32	—	—
13	RCW-R-14	89	183	365	1.99	—	158	305	454	1.48	—	—
14	RCW-R-15	95	161	339	2.10	—	95	238	454	1.90	—	—
15	RCW-R-16	110	108	365	3.37	—	102	177	448	2.53	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
16	RCW-R-17	42A	203	339	1.66	—	42A	320	454	1.41	—	—
17	RCW-R-18	82	119	365	3.06	—	82	188	448	2.38	—	—
18	RCW-R-21	67A	182	365	2.00	—	67A	329	448	1.36	—	—
19	RCW-R-22	48	118	365	3.09	—	48	191	448	2.34	—	—
20	RCW-R-36	101	144	365	2.53	—	11	267	448	1.67	—	—
21	RCW-R-37	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
22	RCW-R-38	62	117	365	3.11	—	62	204	448	2.19	—	—
23	RCW-R-39	211	65	365	5.61	—	211	102	448	4.39	—	—
24	RCW-R-40	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
25	RCW-R-41	58	52	365	7.01	—	58	70	448	6.40	—	—

(2) 原子炉補機海水系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	15
3.1 計算方法	15
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
3.3 設計条件	17
3.4 材料及び許容応力	31
3.5 設計用地震力	32
4. 解析結果及び評価	33
4.1 固有周期及び設計震度	33
4.2 評価結果	45
4.2.1 管の応力評価結果	45
4.2.2 支持構造物評価結果	47
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	48
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	49

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機海水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全6モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

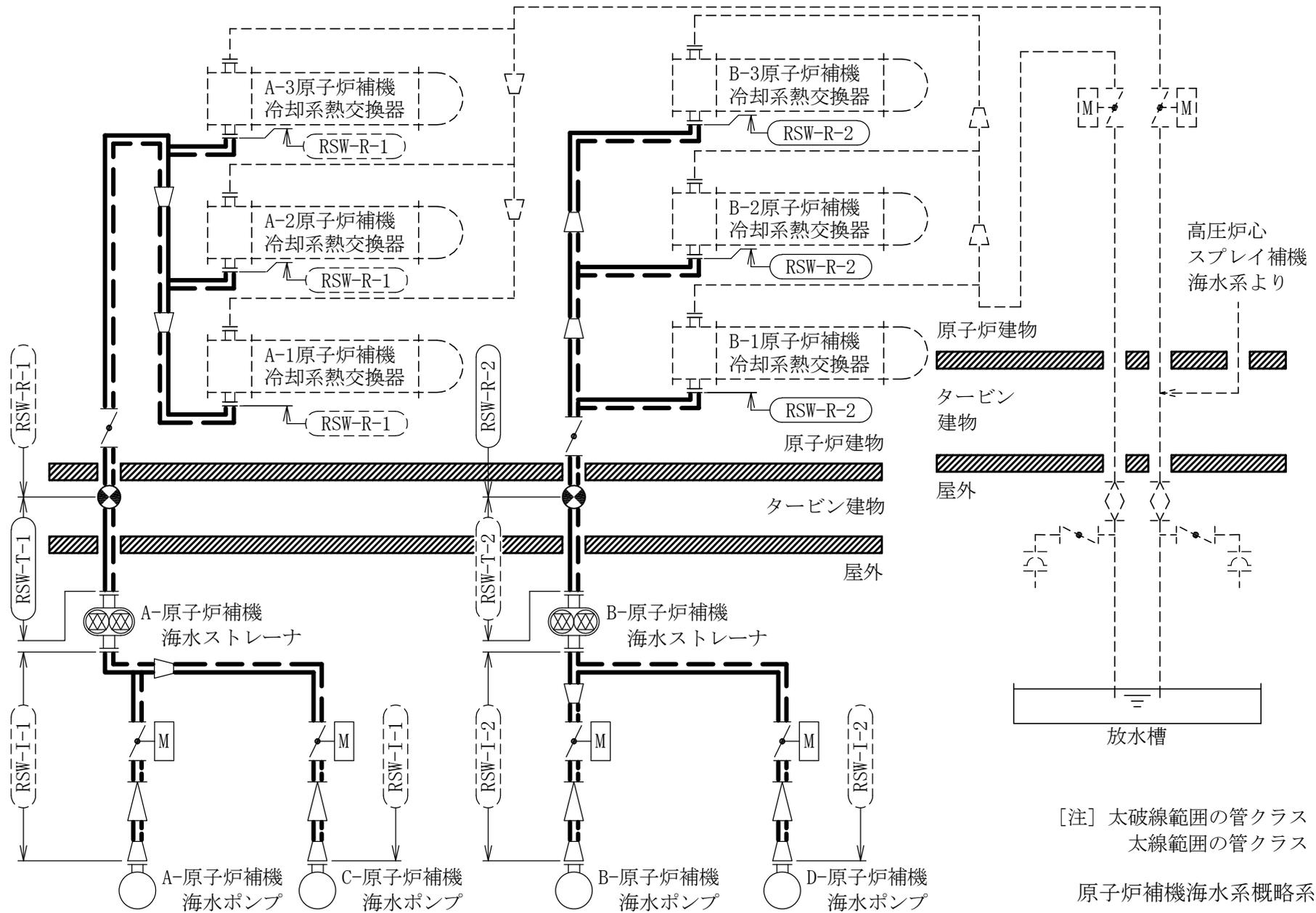
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

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 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	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

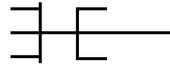
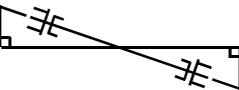
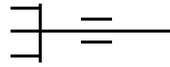
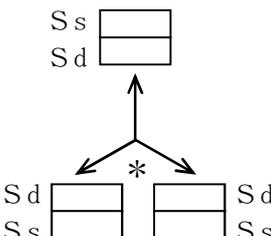


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3
 太線範囲の管クラス：SA2

原子炉補機海水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

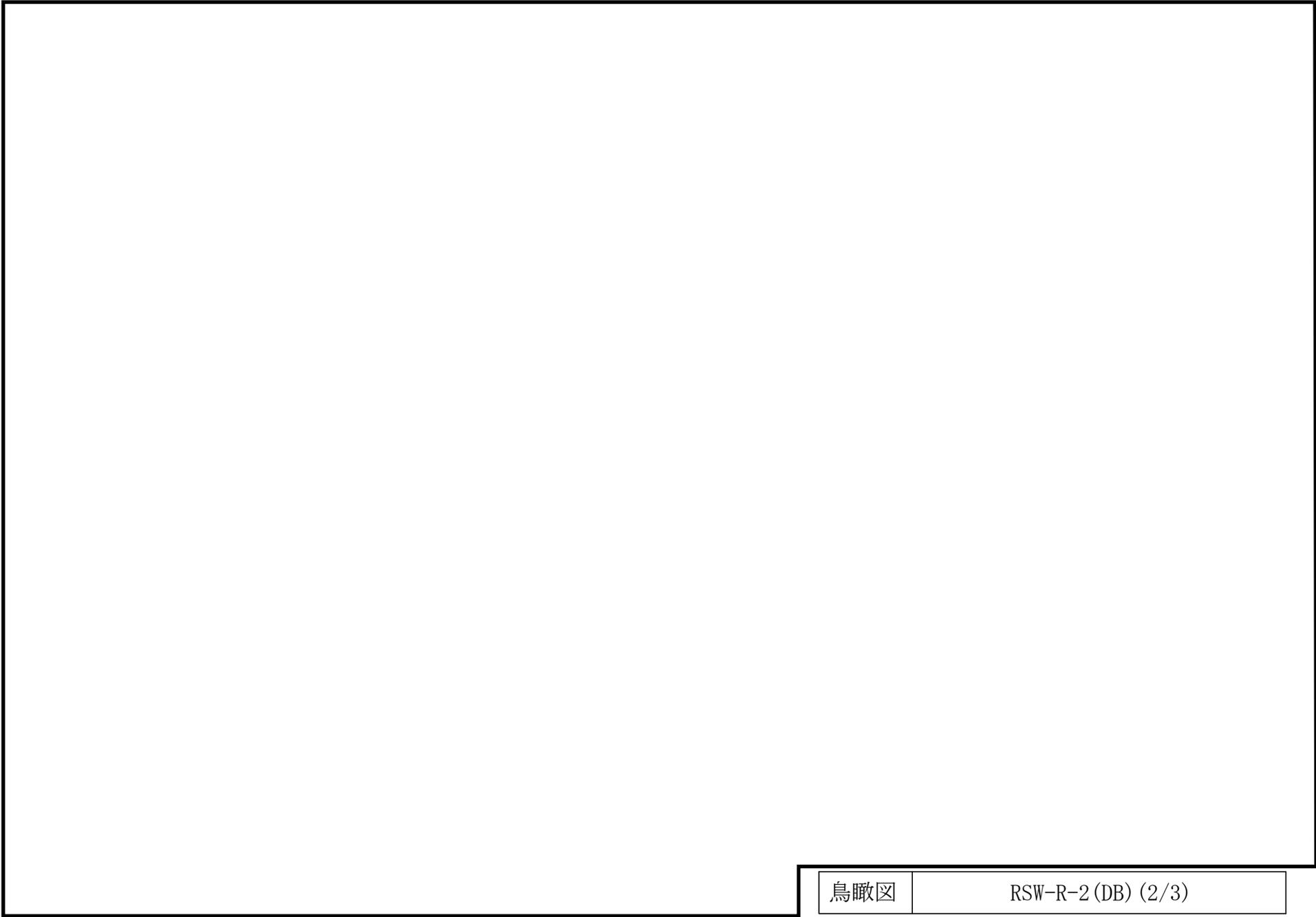
鳥瞰図記号凡例

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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	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。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	

5

鳥瞰図

RSW-R-2(DB) (1/3)



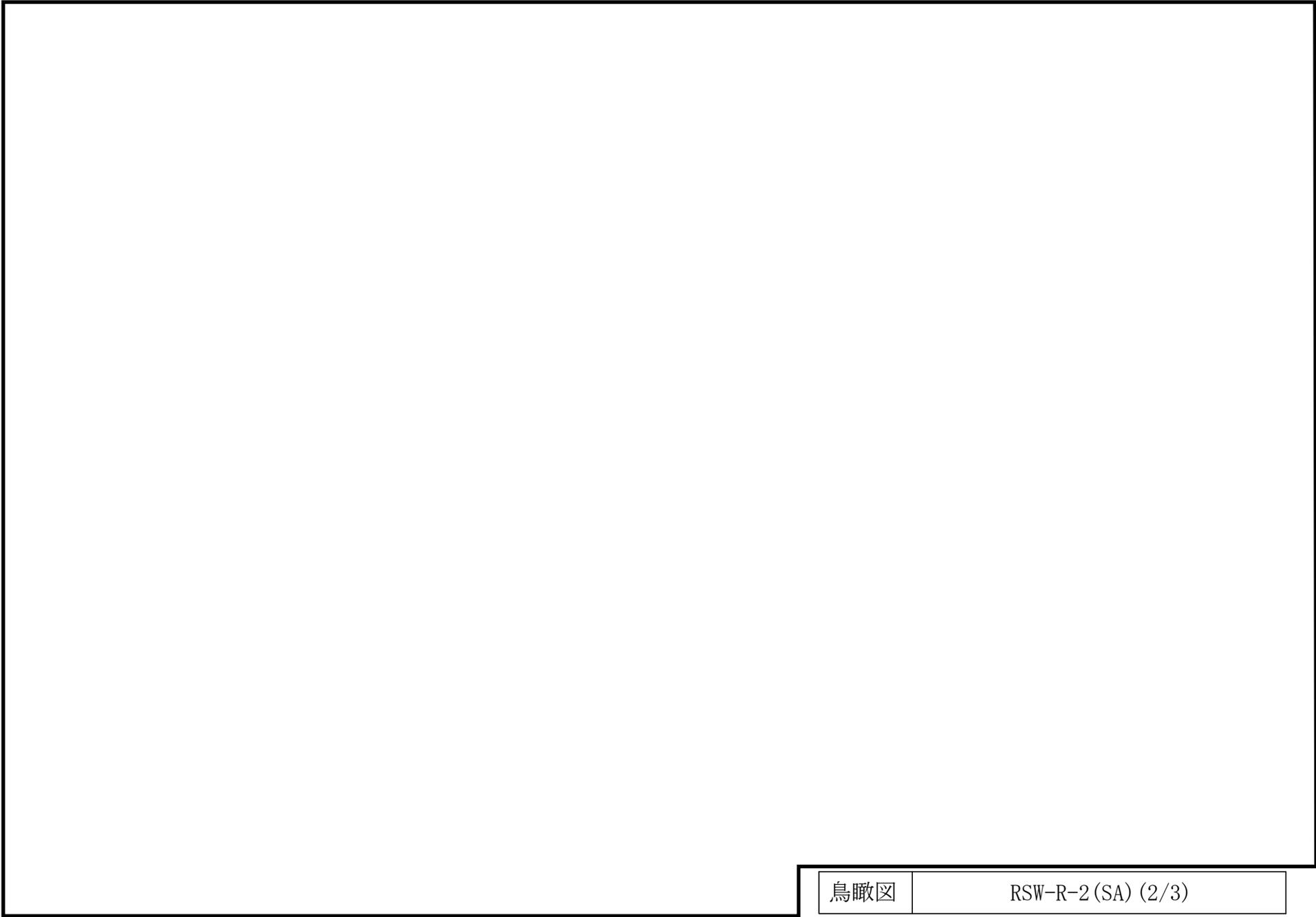
鳥瞰図

RSW-R-2(DB) (3/3)

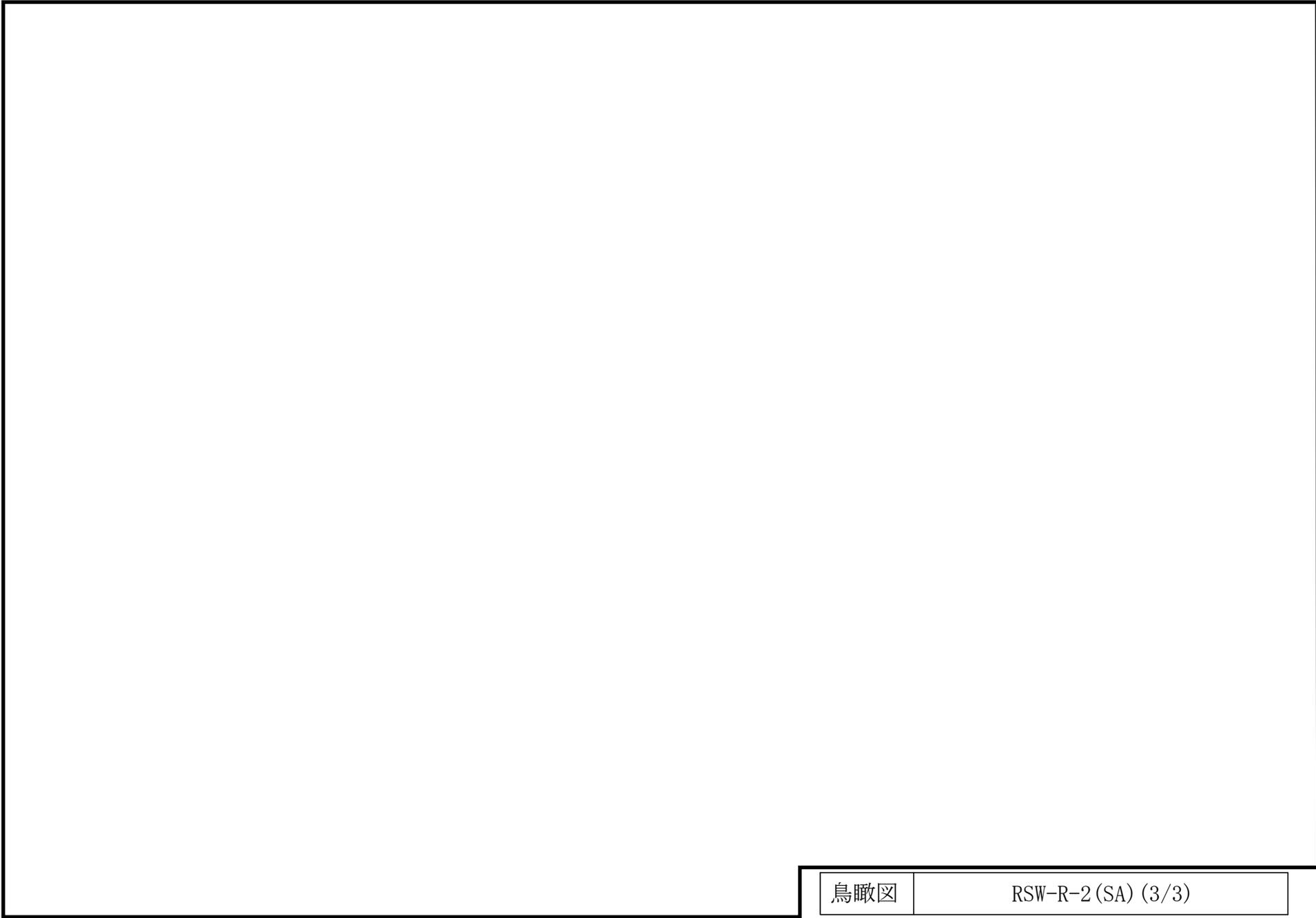
∞

鳥瞰図

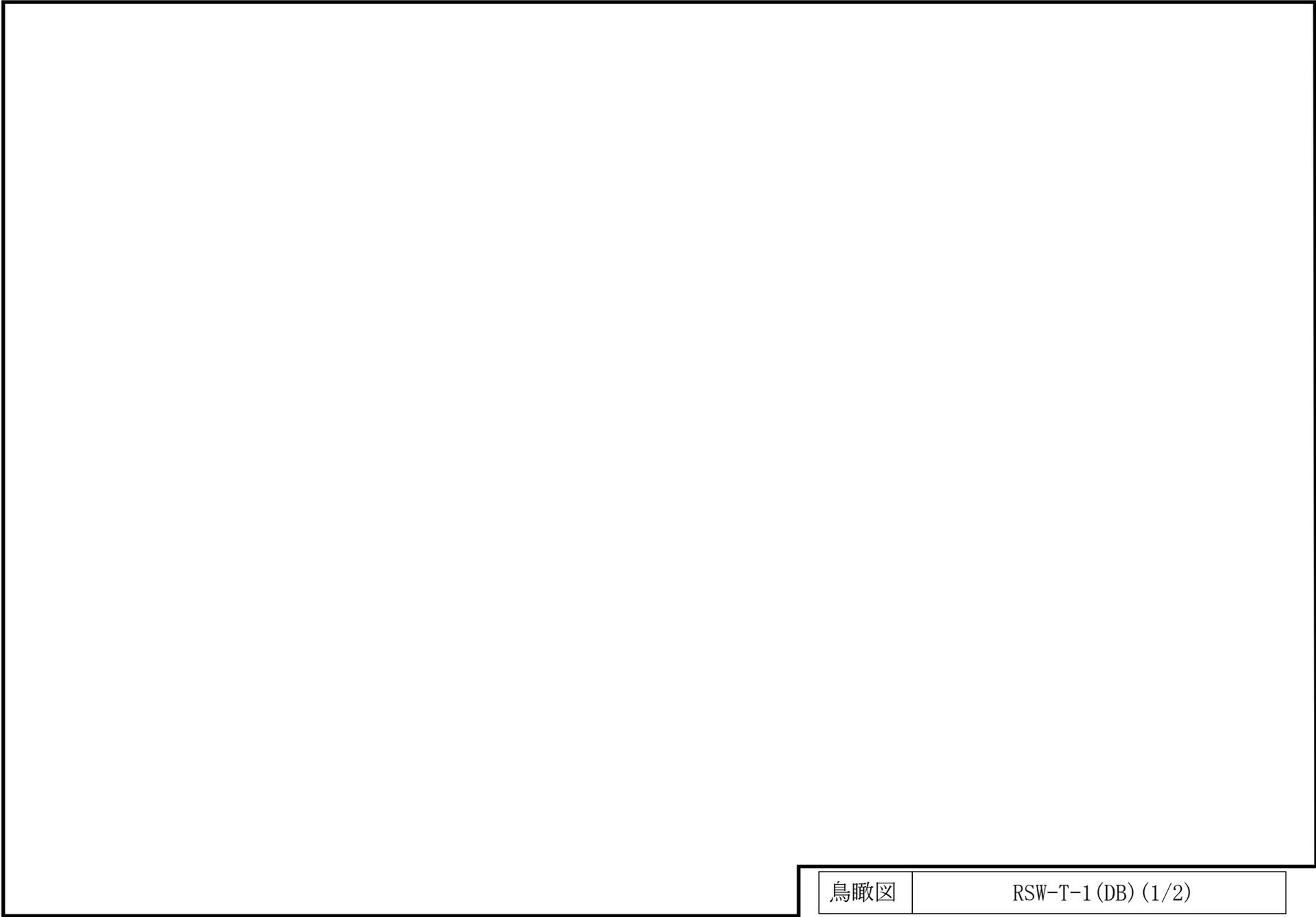
RSW-R-2(SA) (1/3)



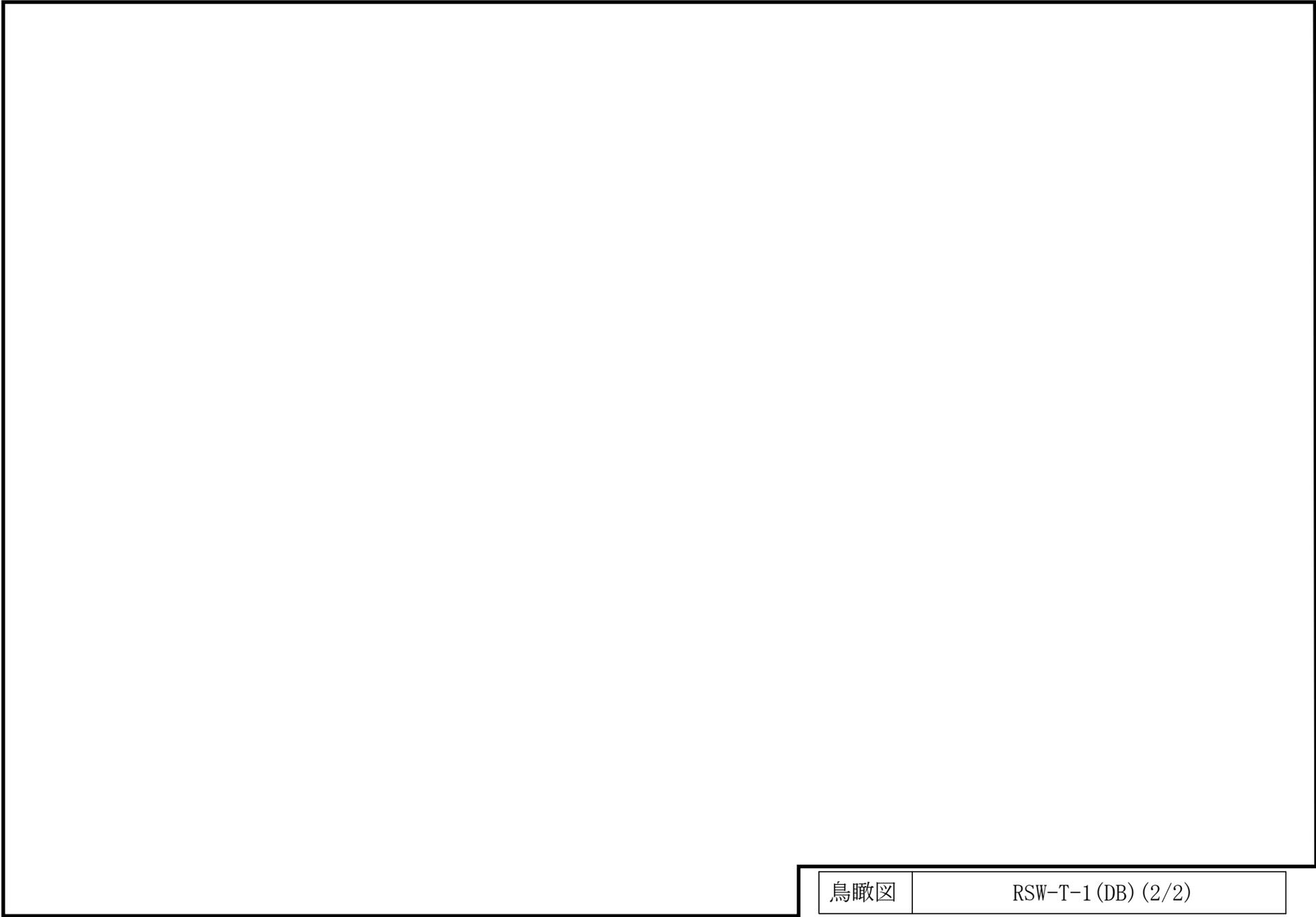
鳥瞰図	RSW-R-2(SA) (2/3)
-----	-------------------



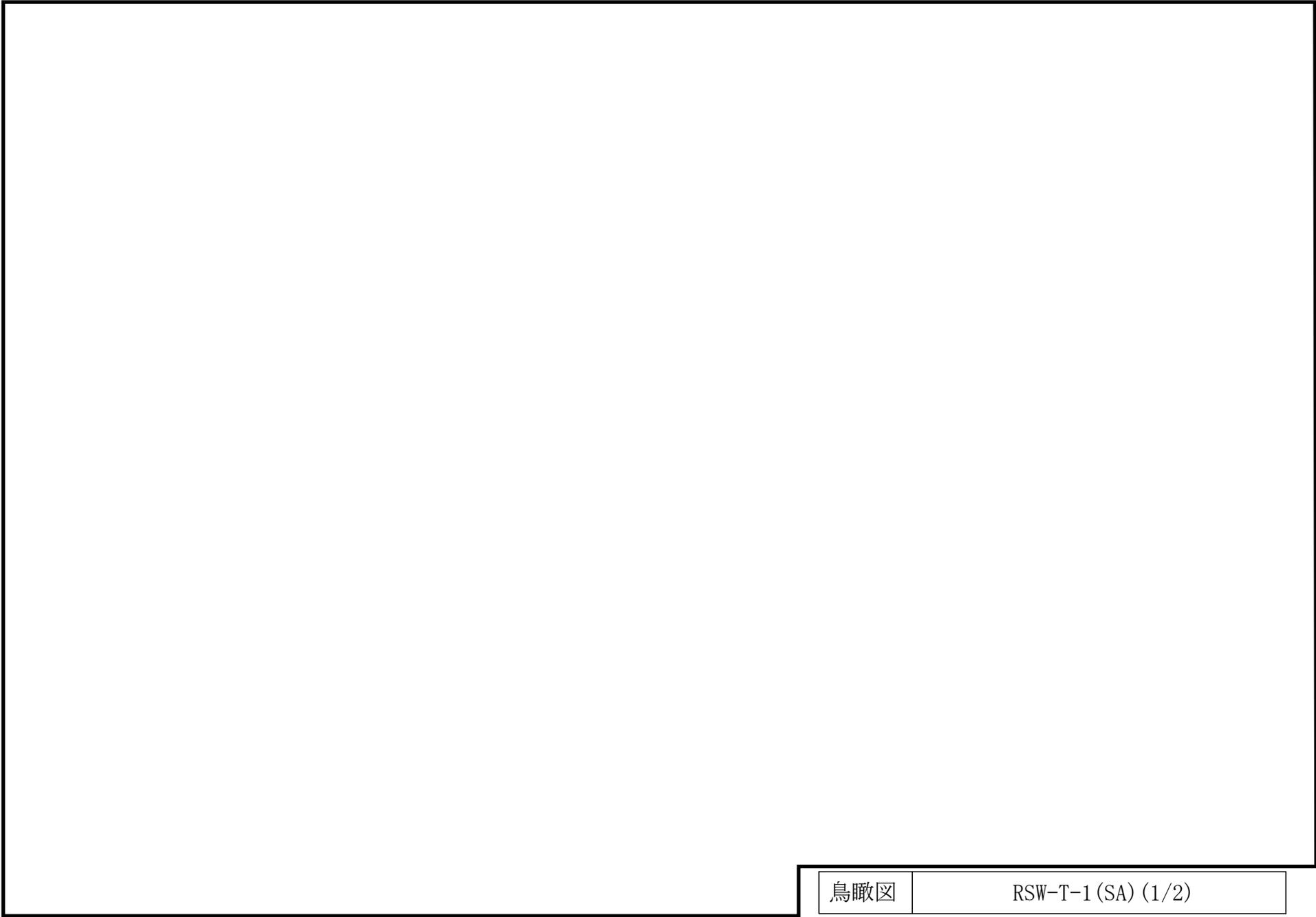
鳥瞰図	RSW-R-2(SA) (3/3)
-----	-------------------



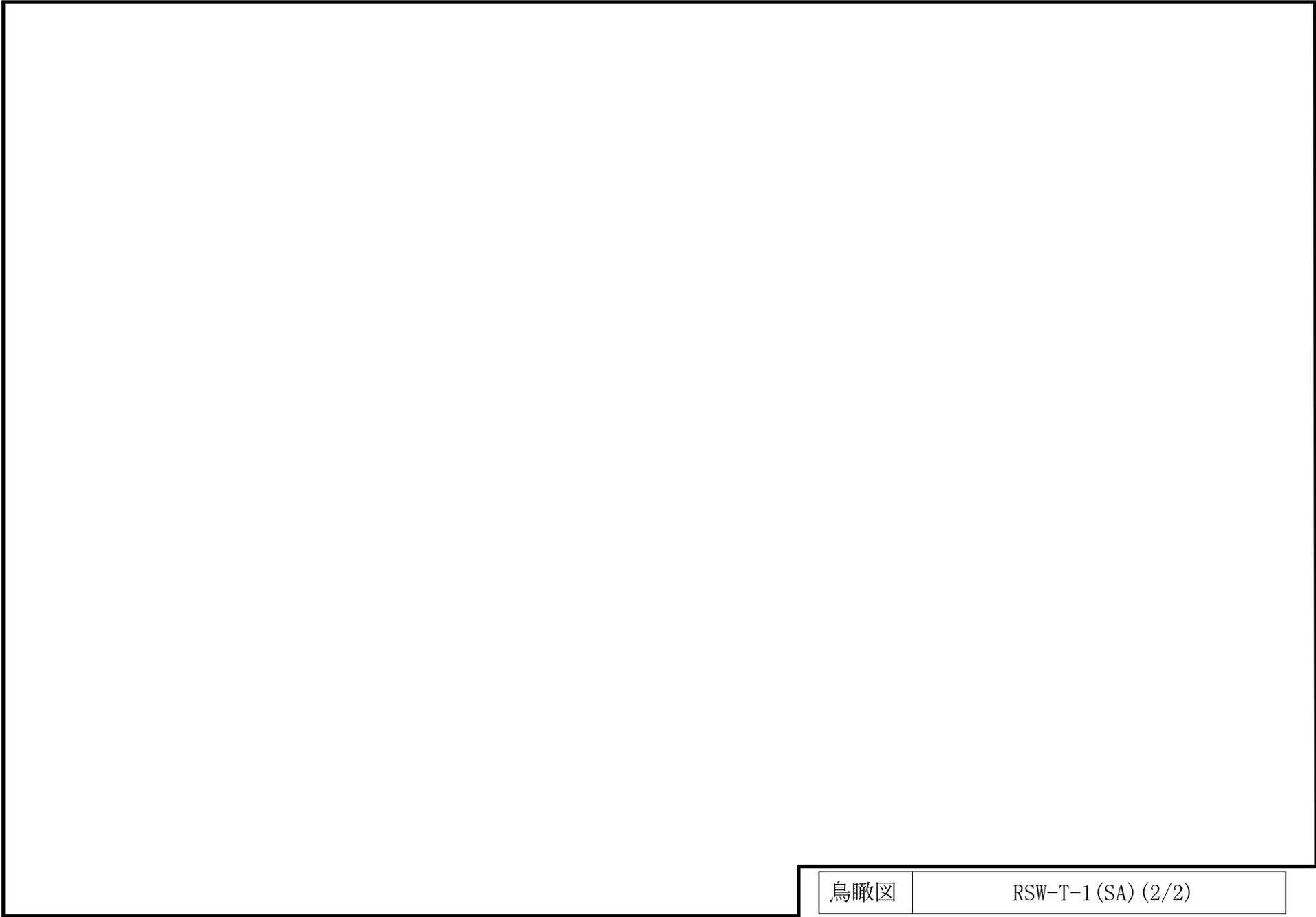
鳥瞰図	RSW-T-1 (DB) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図	RSW-T-1 (DB) (2/2)
-----	--------------------



鳥瞰図	RSW-T-1 (SA) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図

RSW-T-1 (SA) (2/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機海水系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
			SA	常設／防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	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／防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 RSW-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~37F, 38F~44 4501~46	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
2	44~4501	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
3	47~58, 60~61	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
4	58~60	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
5	62~72N, 73~82N 83~97N	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
6	59~73, 45~83	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

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 RSW-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～37F, 38F～44 4501～46	711.2	9.5	SM41C	S	201667
2	44～4501	720.8	14.3	SM41C	S	201667
3	47～58, 60～61	558.8	9.5	SM41C	S	201667
4	58～60	568.4	14.3	SM41C	S	201667
5	62～72N, 73～82N 83～97N	457.2	9.5	SM41C	S	201667
6	59～73, 45～83	466.8	14.3	SM41C	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-2

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～37F, 38F～46
<input type="checkbox"/>	47～61
<input type="checkbox"/>	62～72N, 59～82N, 45～97N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-2

質量	対応する評価点
	1F, 3F, 8F, 10F, 12F, 14F, 17F, 22F, 25F, 27F, 29F, 32F 34F, 39F, 41F
	37F, 38F
	48F, 49F, 51F, 54F, 57F
	63F, 64F, 66F, 67F, 69F, 73F, 74F, 76F, 77F, 79F, 83F, 85F 87F, 89F, 92F, 94F
	72N, 82N, 97N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	37F, 38F	<input type="text"/>	3701
<input type="text"/>	3702		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-R-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)
37F~3701				3701~3702			
3701~38F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-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
1A						
101						
3001						
** 3001 **						
7001						
8						
** 1001 **						
1001						
1201						
15						
15						
17						
20						
24						
** 26 **						
** 26 **						
2701						
32						
3601						
39						
49						
54						
** 57 **						
** 57 **						
630						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(2) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-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
64						
67						
72N						
7401						
77						
7701						
82N						
8301						
8301						
8501						
** 87 **						
** 87 **						
890						
9200						
97N						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(2) R0

設計条件

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

鳥 瞰 図 RSW-T-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~65A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

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 RSW-T-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~65A	711.2	9.5	SM41C	S	202333

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-T-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	4S~65A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-T-1

質量	対応する評価点
□	1N
□	101F
□	6F, 801F, 901F, 110F, 130F, 150F, 170F, 190F, 210F, 220F, 240F, 261F 280F, 290F, 310F, 330F, 350F, 380F, 410F, 431F, 460F, 480F, 51F, 530F 560F, 580F, 601F, 620F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
9						
1102						
12						
13						
15						
16						
17						
** 22 **						
** 22 **						
2402						
2601						
2802						
32						
321						
331						
35						
381						
44						
441						
46						
471						
50						
52						
54						
551						
6000						
6001						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(2) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-T-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
** 6202 **						
6203						
65A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41C	40	—	245	400	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RSW-R-2	原子炉建物				
	タービン建物				
RSW-T-1	タービン建物				
	取水槽				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-2

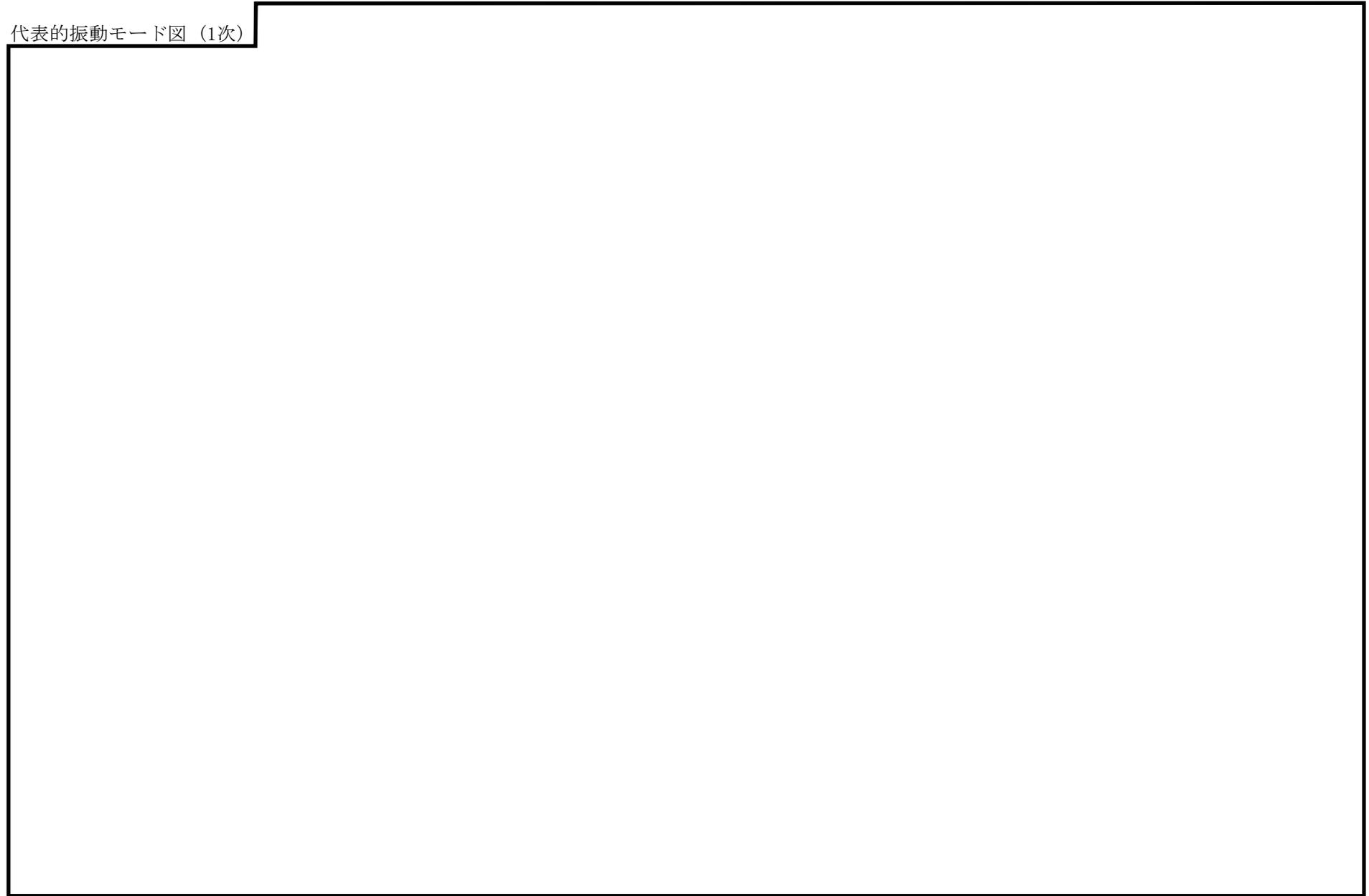
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-T-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-T-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				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RSW-T-1	1N	101	245	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	224	490	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RSW-T-1	1N	159	360	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	400	490	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RSW-T-1	1N	159	360	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	400	490	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RSW-T-1	1N	159	360	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	400	490	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	40	—	—	—
SNO-RSW-769	オイルスナッパ	SN-25			344	375	—
RE-RSW-212-2	ロッドレストレイント	RSA-16			203	288	—
SH-RSW-811	スプリングハンガ	VSA1B-14×2*3			33	34	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点、同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RSW-711	レストレイント	ラグ	SGV410	40	751	53	49	—	—	—	組合せ	55	70
AN-RSW-722	アンカ	ラグ	SGV410	40	65	191	66	127	48	469	組合せ	100	155

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
			水平	鉛直	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
							水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	RSW-R-1	69	84	245	2.91	—	9	189	490	2.59	—	—
2	RSW-R-2	59	93	245	2.63	—	9	224	490	2.18	—	○
3	RSW-T-1	1N	101	245	2.42	○	1N	176	490	2.78	—	—
4	RSW-T-2	26	59	245	4.15	—	1N	64	490	7.65	—	—
5	RSW-I-1	15	82	245	2.98	—	15	66	490	7.42	—	—
6	RSW-I-2	15	58	245	4.22	—	15	88	490	5.56	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-1	69	128	360	2.81	—	9	394	490	1.24	—	—
2	RSW-R-2	59	142	360	2.53	—	9	400	490	1.22	—	○
3	RSW-T-1	1N	159	360	2.26	○	1N	352	490	1.39	—	—
4	RSW-T-2	230F	87	360	4.13	—	7	137	490	3.57	—	—
5	RSW-I-1	15	107	360	3.36	—	15	122	490	4.01	—	—
6	RSW-I-2	15	90	360	4.00	—	15	152	490	3.22	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-1	69	128	360	2.81	—	9	394	490	1.24	—	—
2	RSW-R-2	59	142	360	2.53	—	9	400	490	1.22	—	○
3	RSW-T-1	1N	159	360	2.26	○	1N	352	490	1.39	—	—
4	RSW-T-2	230F	87	360	4.13	—	7	137	490	3.57	—	—
5	RSW-I-1	15	107	360	3.36	—	15	122	490	4.01	—	—
6	RSW-I-2	15	90	360	4.00	—	15	152	490	3.22	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-1	69	128	360	2.81	—	9	394	490	1.24	—	—
2	RSW-R-2	59	142	360	2.53	—	9	400	490	1.22	—	○
3	RSW-T-1	1N	159	360	2.26	○	1N	352	490	1.39	—	—
4	RSW-T-2	230F	87	360	4.13	—	7	137	490	3.57	—	—
5	RSW-I-1	15	107	360	3.36	—	15	122	490	4.01	—	—
6	RSW-I-2	15	90	360	4.00	—	15	152	490	3.22	—	—

VI-2-5-7-2 高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ
補機海水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの
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	11
3.6 サポート部の計算方法	13
3.7 計算条件	15
3.8 応力の評価	15
4. 機能維持評価	16
4.1 動的機能維持評価方法	16
5. 評価結果	17
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	17

1. 概要

本計算書は、VI-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、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、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重大事故防止設備（設計基準拡張）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。

なお、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機海水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	
<p>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ取付ボルトで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。コラムパイプはサポートに支持され、サポートはサポート取付ボルトでサポートベースに固定され、サポートベースはサポート基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>(単位 : mm)</p>

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

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形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行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。コラムパイプはサポートに支持されるため、サポート取付ボルト及びサポート基礎ボルト（以下「サポート部ボルト」という。）について評価を実施する。サポート部ボルトの耐震計算方法は上記方針によらないため、「3.6 サポート部の計算方法」に基づき実施する。

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

高圧炉心スプレイ補機海水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

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの許容応力は、VI-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

高圧炉心スプレイ補機海水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	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ポンプ	S	クラス外*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 3 ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、クラス 3 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	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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*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
ⅢAS	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 との大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 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・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)			*2 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・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

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・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 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	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A 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 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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		コラムパイプ	最高使用温度	40	—	245	400
基礎ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
サポート基礎ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	205
サポート取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	205

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
コラムパイプ		最高使用温度	40	—	—	400	—
基礎ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
サポート基礎ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—
サポート取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 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【高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表3-7、振動モード図を図3-1及び図3-2に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は2次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表3-7 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS方向	EW方向	
1次	水平	0.163	1.739	1.739	—
2次	水平	0.051	0.117	0.117	—

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。

*2：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

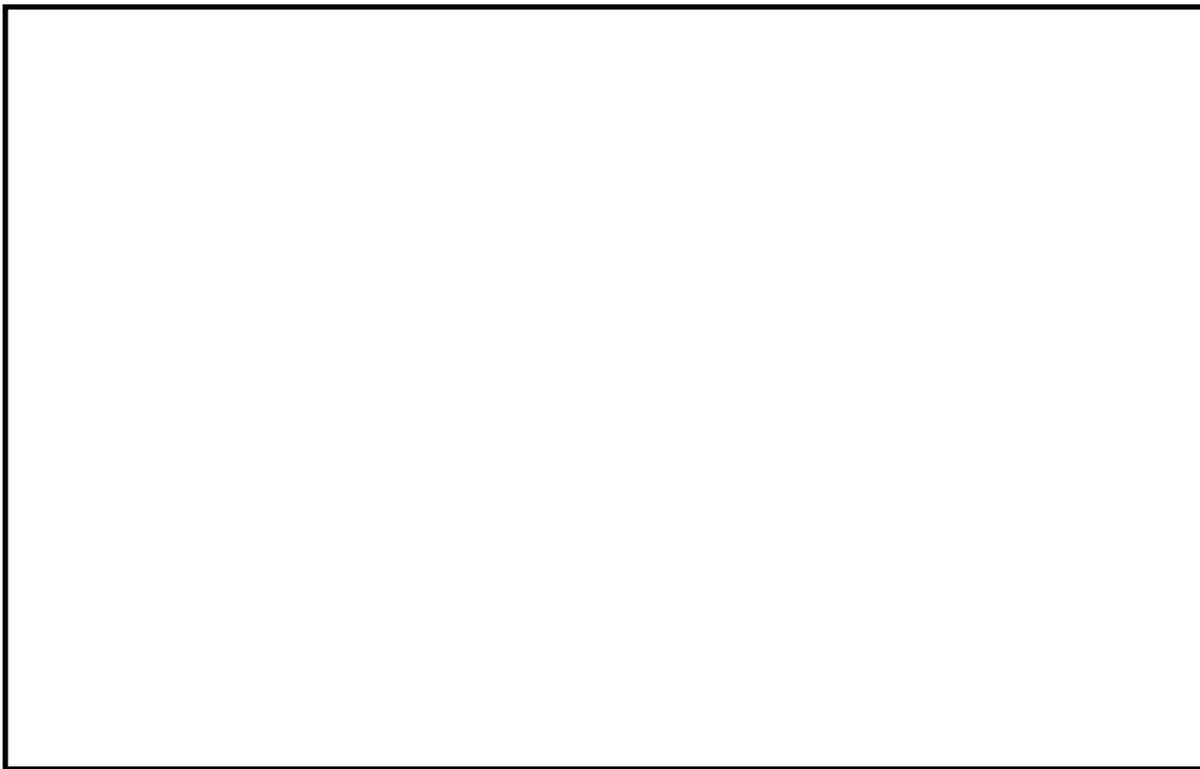


図 3-1 振動モード (1次モード 水平方向 0.163s)

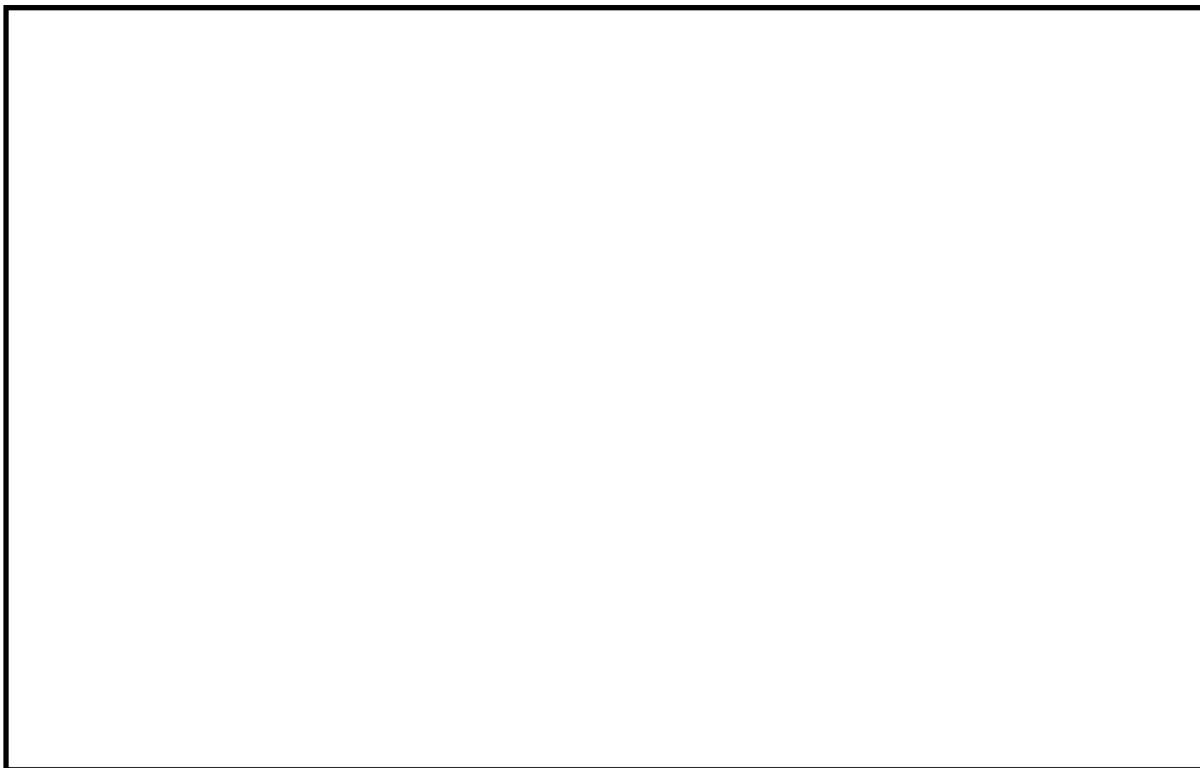


図 3-2 振動モード (2次モード 水平方向 0.051s)

3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 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、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-8 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)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.163 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.163	4.58	6.59	—	4.58	6.59	—
2 次	0.051	2.28	2.11	—	2.28	2.11	—
動的震度 ^{*6, *7}		1.41	1.67	1.28	1.41	1.67	1.28
静的震度 ^{*8}		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 3-9 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)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.163 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.163	—	—	—	4.58	6.59	—
2 次	0.051	—	—	—	2.28	2.11	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	—	—	1.41	1.67	1.28
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

3.6 サポート部の計算方法

3.6.1 記号の説明

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプのサポート部の応力評価に使用する記号を表 3-10 に示す。

表 3-10 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{s b j}$	サポート部ボルトの軸断面積*	mm^2
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
$D_{s j}$	サポート部ボルトのピッチ円直径*	mm
$d_{s j}$	サポート部ボルトの呼び径*	mm
F_j	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値*	MPa
F_j^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値*	MPa
$F_{s b j}$	サポート部ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) *	N
$f_{s s b j}$	せん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力*	MPa
$f_{s t o j}$	引張力のみを受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
$f_{s t s j}$	引張力とせん断力を同時に受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
$M_{s j}$	サポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{s C p j}$	ポンプ振動による震度によりサポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$m_{s j}$	サポート部ボルトに作用するサポート質量*	kg
$n_{s j}$	サポート部ボルトの本数*	—
$n_{s f j}$	評価上引張力を受けるとして期待するサポート部ボルトの本数*	—
$Q_{s b j}$	サポート部ボルトに作用するせん断力*	N
$S_u, S_{u j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値*	MPa
$S_y, S_{y j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値*	MPa
$S_{y j} (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値*	MPa
$\sigma_{s b j}$	サポート部ボルトに生じる引張応力*	MPa
$\tau_{s b j}$	サポート部ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 j の意味は、以下のとおりとする。

$j = 1$ ：サポート基礎ボルト

$j = 2$ ：サポート取付ボルト

3.6.2 応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，サポート部ボルトに生じる応力を次式で求める。なお，図 3-3 にサポート部の応力計算モデルを示す。

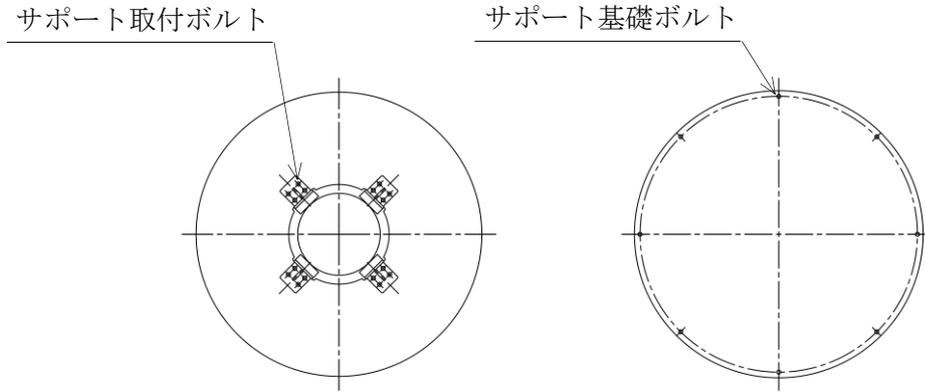


図 3-3 サポート部の応力計算モデル

(1) 引張応力

サポート基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし，最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

なお，サポート取付ボルトについては，荷重の発生方向がせん断方向のみのため引張応力は発生しない。

引張力

$$F_{sbj} =$$

$$\frac{\sqrt{M_{sj}^2 + (C_v \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2})^2} + M_{scpj} + (C_p - 1) \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{sfj} \cdot D_{sj}}$$

..... (3.6.2.1)

引張応力

$$\sigma_{sbj} = \frac{F_{sbj}}{A_{sbj}} \quad \text{..... (3.6.2.2)}$$

ここで，サポート部ボルトの軸断面積 A_{sbj} は次式により求める。

$$A_{sbj} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{sj}^2 \quad \text{..... (3.6.2.3)}$$

(2) せん断応力

サポート部ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau_{s b j} = \frac{Q_{s b j}}{n_{s j} \cdot A_{s b j}} \dots\dots\dots (3.6.2.4)$$

3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ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。

3.8 応力の評価

3.8.1 サポート部ボルトの応力評価

3.6.2 項で求めたサポート部ボルトの引張応力 $\sigma_{s b j}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{s t s j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s t o j}$ は下表による。

$$f_{s t s j} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{s t o j} - 1.6 \cdot \tau_{s b j}, f_{s t o j}] \dots\dots\dots (3.8.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{s b j}$ はせん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力 $f_{s s b j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s s b j}$ 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 $f_{s t o j}$	$\frac{F_j}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s s b j}$	$\frac{F_j}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイ補機海水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、VI-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 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	立形斜流 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

高圧炉心スプレイ補機海水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を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(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

高圧炉心スプレイ補機海水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を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(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。

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R0

【高圧炉心スプレイ補機海水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				
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.163	0.05 以下	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _H =1.67*4 又は*5	C _V =1.28*4	C _D =0.06	40		0.98

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び静的震度を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトルⅠ(弾性設計用地震動 S_d)を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4: 設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)を上回る設計震度

*5: 設計用床応答スペクトルⅠ(基準地震動 S_s)を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	5.968×10 ⁵	205*2	520*2	205	205	205
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	5.968×10 ⁵	198*1	504*1	205	205	205

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	245* (厚さ≤ 16mm)	400* (厚さ≤ 16mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R0

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	$S_{yj}(RT)$ (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	205	205	205
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	205	205	205

注記* : 最高使用温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{C_pi} (N・mm)	F _{b_i} (N)		Q _{b_i} (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)							
原動機取付ボルト (i=4)							

(2) コラムパイプに作用する力

(単位 : N・mm)

部材	M		M _{C_p}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ			

(3) サポート部ボルトに作用する力

部材	M _{s_j} (N・mm)		M _{s_{C_pj}} (N・mm)	F _{s_{b_j}} (N)		Q _{s_{b_j}} (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
サポート基礎ボルト (j=1)							
サポート取付ボルト (j=2)							

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1}=0.163$
鉛直方向	$T_{V1}=0.05$ 以下

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 (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=46$	$f_{ts1}=153^*$	$\sigma_{b1}=46$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト (i=4)	引張	$\sigma_{b4}=12$	$f_{ts4}=153^*$	$\sigma_{b4}=12$	$f_{ts4}=153^*$	
	せん断	$\tau_{b4}=8$	$f_{sb4}=118$	$\tau_{b4}=8$	$f_{sb4}=118$	

すべて許容応力以下である。

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

1.4.3 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	
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 180$	$S_a = 240$
		基準地震動 S _s	$\sigma = 180$	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 サポート部ボルトの応力 (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
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	$\sigma_{sb1}=13$	$f_{sts1}=123^*$	$\sigma_{sb1}=13$	$f_{sts1}=123^*$
		せん断	$\tau_{sb1}=20$	$f_{ssb1}=94$	$\tau_{sb1}=20$	$f_{ssb1}=94$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$
		せん断	$\tau_{sb2}=18$	$f_{ssb2}=118$	$\tau_{sb2}=18$	$f_{ssb2}=118$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{stsj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj} - 1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

1.4.5 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.32	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.32	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度
又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持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			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			

(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)
1	1-2	1		2.011×10 ⁶
2	2-3	1		2.011×10 ⁶
3	3-4	1		4.436×10 ⁶
4	4-5	1		4.436×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	7-8	1		4.436×10 ⁶
8	8-9	1		4.436×10 ⁶
9	9-10	1		4.436×10 ⁶
10	10-11	1		4.436×10 ⁶
11	11-12	1		4.909×10 ⁶
12	12-13	1		4.436×10 ⁶
13	13-14	1		4.436×10 ⁶
14	14-15	1		4.436×10 ⁶
15	15-16	1		4.436×10 ⁶
16	16-17	1		4.909×10 ⁶
17	70-18	1		4.436×10 ⁶
18	18-19	1		4.436×10 ⁶
19	19-20	1		4.436×10 ⁶
20	20-21	1		4.909×10 ⁶
21	21-22	1		4.909×10 ⁶
22	22-23	1		1.771×10 ⁶
23	23-24	1		1.771×10 ⁶
24	24-25	1		2.011×10 ⁶
25	25-26	1		2.011×10 ⁶
26	26-27	2		2.485×10 ⁷
27	27-28	3		2.562×10 ⁶
28	28-29	3		8.888×10 ⁶
29	29-30	3		8.888×10 ⁶
30	30-31	3		1.553×10 ⁶
31	32-33	1		5.098×10 ⁷
32	33-34	1		1.173×10 ⁹
33	34-35	1		1.173×10 ⁹
34	35-36	6		1.584×10 ⁸
35	36-37	6		1.584×10 ⁸
36	37-38	6		1.584×10 ⁸
37	38-39	6		1.584×10 ⁸
38	39-40	6		1.584×10 ⁸
39	40-41	6		1.584×10 ⁸
40	41-42	6		1.584×10 ⁸

(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)
41	42-43	6		1.584×10 ⁸
42	43-44	6		1.584×10 ⁸
43	44-45	6		1.584×10 ⁸
44	45-46	6		1.584×10 ⁸
45	46-47	6		1.584×10 ⁸
46	47-48	6		1.584×10 ⁸
47	48-49	6		1.584×10 ⁸
48	71-50	6		1.584×10 ⁸
49	50-51	6		1.584×10 ⁸
50	51-52	6		1.584×10 ⁸
51	52-53	6		1.584×10 ⁸
52	53-54	6		1.584×10 ⁸
53	54-55	6		1.555×10 ⁸
54	55-56	6		1.555×10 ⁸
55	56-57	6		1.555×10 ⁸
56	58-59	6		2.429×10 ⁹
57	59-60	6		2.429×10 ⁹
58	60-61	6		2.429×10 ⁹
59	61-62	5		5.480×10 ⁸
60	62-63	5		5.480×10 ⁸
61	63-64	5		5.480×10 ⁸
62	64-65	4		3.235×10 ⁸
63	66-58	2		1.964×10 ¹¹
64	17-70	1		4.436×10 ⁶
65	49-71	6		1.584×10 ⁸

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	34		
5	37		
11	43		
16	48		
21	53		
28	62		
30	64		
33	69		
28	62		
55	58		
55	58		

(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	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
70	
71	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1	40	1.94×10^5		0.3	
2	<input type="text"/>	2.01×10^5		0.3	
3	-	2.06×10^5		0.3	
4	-	9.80×10^4		0.3	
5	-	2.06×10^5		0.3	
6	40	2.02×10^5		0.3	

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		ポンプ振動による震度	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	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				
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	常設/防止(D B拡張)	取水槽 EL 1.1*1	0.163	0.05 以下	—	—	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _D =0.06	40	□	0.98

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトルⅠ(基準地震動 S_s)を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	—	246
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	5.968×10 ⁵	205*2	520*2	—	—	246
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	5.968×10 ⁵	198*1	504*1	205	—	246

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	—	400* (厚さ≤ 16mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R0

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	$S_{yj}(RT)$ (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	—	—	246
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	—	—	246

注記* : 最高使用温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{C_pi} (N・mm)	F _{b_i} (N)		Q _{b_i} (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)	—			—		—	
原動機取付ボルト (i=4)	—			—		—	

(2) コラムパイプに作用する力

(単位 : N・mm)

部材	M		M _{C_p}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ	—		

(3) サポート部ボルトに作用する力

部材	M _{s_j} (N・mm)		M _{s_{C_pj}} (N・mm)	F _{s_{b_j}} (N)		Q _{s_{b_j}} (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
サポート基礎ボルト (j=1)	—			—		—	
サポート取付ボルト (j=2)	—			—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1}=0.163$
鉛直方向	$T_{V1}=0.05$ 以下

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 (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=46$	$f_{ts1}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=142$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=142$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4}=12$	$f_{ts4}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=8$	$f_{sb4}=142$

すべて許容応力以下である。

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

2.4.4 サポート部ボルトの応力 (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
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	—	—	$\sigma_{sb1}=13$	$f_{sts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{sb1}=20$	$f_{ssb1}=113$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	—	—	$\sigma_{sb2}=—$	$f_{sts2}=—$
		せん断	—	—	$\tau_{sb2}=18$	$f_{ssb2}=142$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{stsj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj} - 1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

2.4.3 コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力	許容応力
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	$\sigma = 180$	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

2.4.5 動的機能維持の評価結果

 $(\times 9.8\text{m/s}^2)$

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.32	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.32	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度
又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持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			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			

(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)
1	1-2	1		2.011×10 ⁶
2	2-3	1		2.011×10 ⁶
3	3-4	1		4.436×10 ⁶
4	4-5	1		4.436×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	7-8	1		4.436×10 ⁶
8	8-9	1		4.436×10 ⁶
9	9-10	1		4.436×10 ⁶
10	10-11	1		4.436×10 ⁶
11	11-12	1		4.909×10 ⁶
12	12-13	1		4.436×10 ⁶
13	13-14	1		4.436×10 ⁶
14	14-15	1		4.436×10 ⁶
15	15-16	1		4.436×10 ⁶
16	16-17	1		4.909×10 ⁶
17	70-18	1		4.436×10 ⁶
18	18-19	1		4.436×10 ⁶
19	19-20	1		4.436×10 ⁶
20	20-21	1		4.909×10 ⁶
21	21-22	1		4.909×10 ⁶
22	22-23	1		1.771×10 ⁶
23	23-24	1		1.771×10 ⁶
24	24-25	1		2.011×10 ⁶
25	25-26	1		2.011×10 ⁶
26	26-27	2		2.485×10 ⁷
27	27-28	3		2.562×10 ⁶
28	28-29	3		8.888×10 ⁶
29	29-30	3		8.888×10 ⁶
30	30-31	3		1.553×10 ⁶
31	32-33	1		5.098×10 ⁷
32	33-34	1		1.173×10 ⁹
33	34-35	1		1.173×10 ⁹
34	35-36	6		1.584×10 ⁸
35	36-37	6		1.584×10 ⁸
36	37-38	6		1.584×10 ⁸
37	38-39	6		1.584×10 ⁸
38	39-40	6		1.584×10 ⁸
39	40-41	6		1.584×10 ⁸
40	41-42	6		1.584×10 ⁸

(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)
41	42-43	6		1.584×10 ⁸
42	43-44	6		1.584×10 ⁸
43	44-45	6		1.584×10 ⁸
44	45-46	6		1.584×10 ⁸
45	46-47	6		1.584×10 ⁸
46	47-48	6		1.584×10 ⁸
47	48-49	6		1.584×10 ⁸
48	71-50	6		1.584×10 ⁸
49	50-51	6		1.584×10 ⁸
50	51-52	6		1.584×10 ⁸
51	52-53	6		1.584×10 ⁸
52	53-54	6		1.584×10 ⁸
53	54-55	6		1.555×10 ⁸
54	55-56	6		1.555×10 ⁸
55	56-57	6		1.555×10 ⁸
56	58-59	6		2.429×10 ⁹
57	59-60	6		2.429×10 ⁹
58	60-61	6		2.429×10 ⁹
59	61-62	5		5.480×10 ⁸
60	62-63	5		5.480×10 ⁸
61	63-64	5		5.480×10 ⁸
62	64-65	4		3.235×10 ⁸
63	66-58	2		1.964×10 ¹¹
64	17-70	1		4.436×10 ⁶
65	49-71	6		1.584×10 ⁸

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	34		
5	37		
11	43		
16	48		
21	53		
28	62		
30	64		
33	69		
28	62		
55	58		
55	58		

(4) 節点の質量

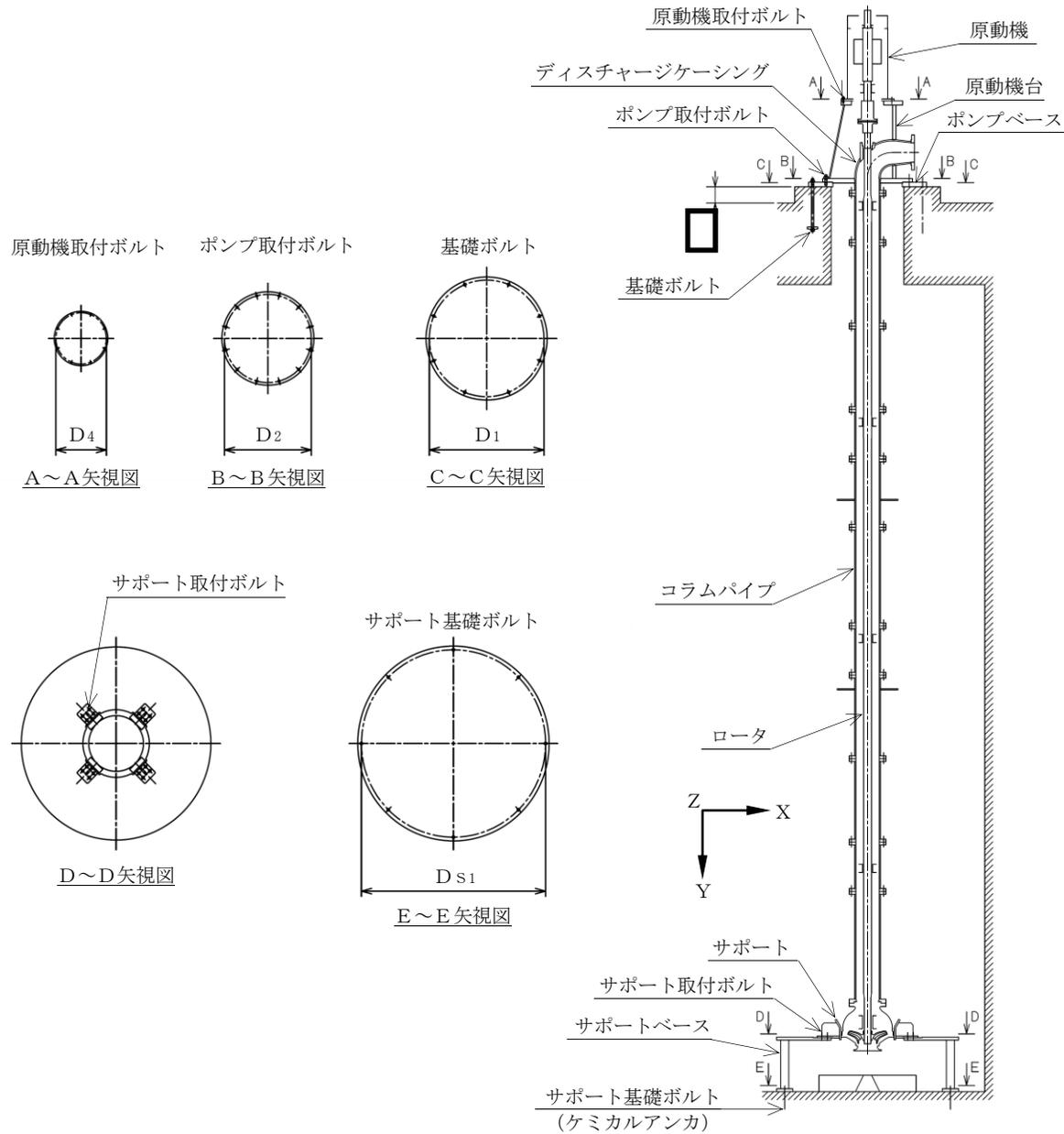
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
70	
71	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1	40	1.94×10^5		0.3	
2		2.01×10^5		0.3	
3	-	2.06×10^5		0.3	
4	-	9.80×10^4		0.3	
5	-	2.06×10^5		0.3	
6	40	2.02×10^5		0.3	



VI-2-5-7-2-6 管の耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系)

(1) 高圧炉心スプレイ補機冷却系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	14
3.1 計算方法	14
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	30
3.5 設計用地震力	31
4. 解析結果及び評価	32
4.1 固有周期及び設計震度	32
4.2 評価結果	42
4.2.1 管の応力評価結果	42
4.2.2 支持構造物評価結果	44
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	45
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	46

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ補機冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全6モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

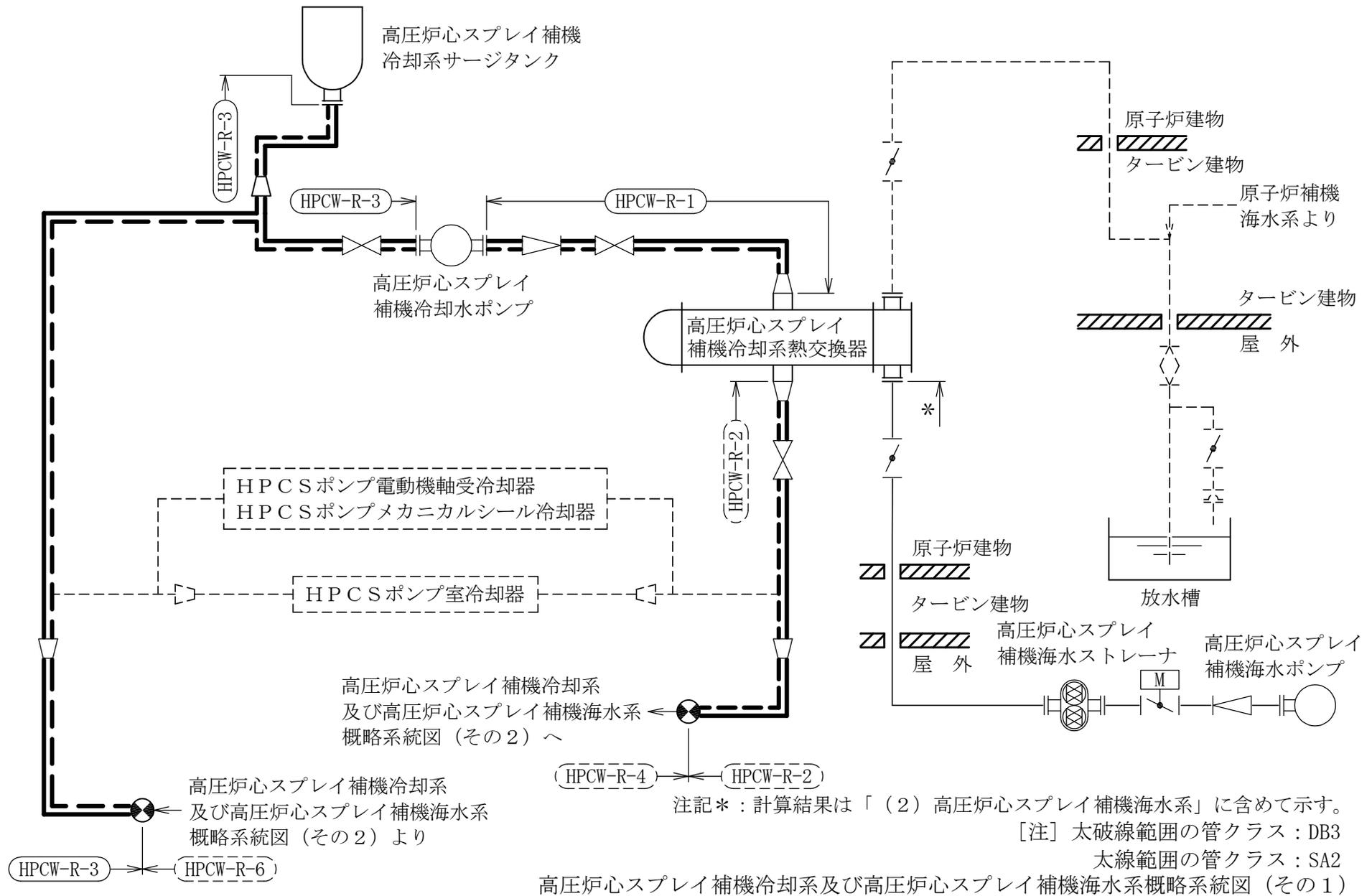
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

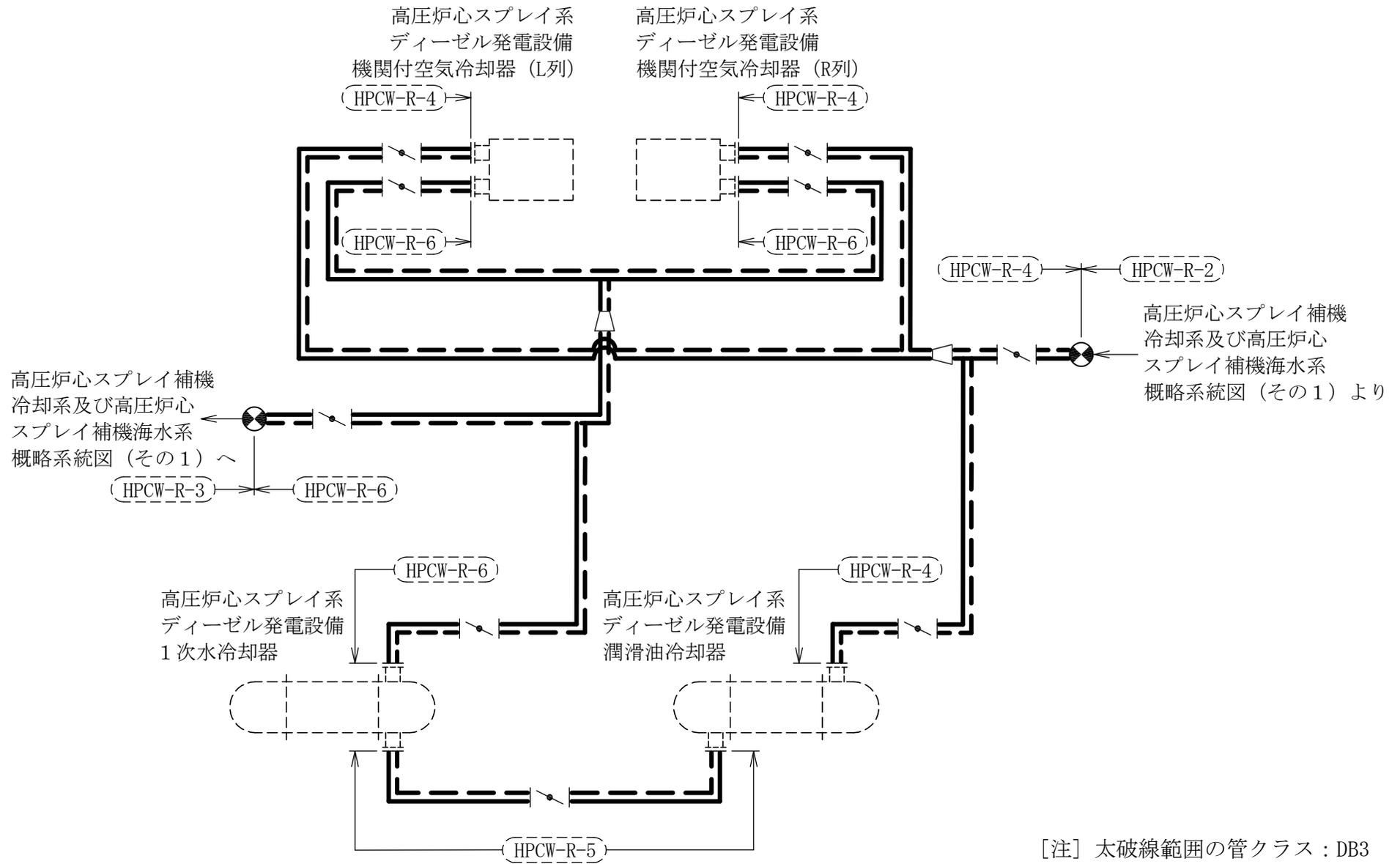
2.1 概略系統図

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 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	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



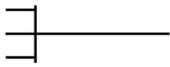
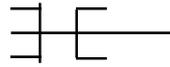
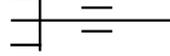
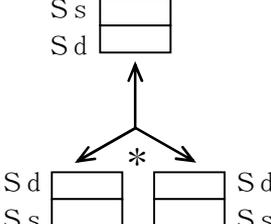
4

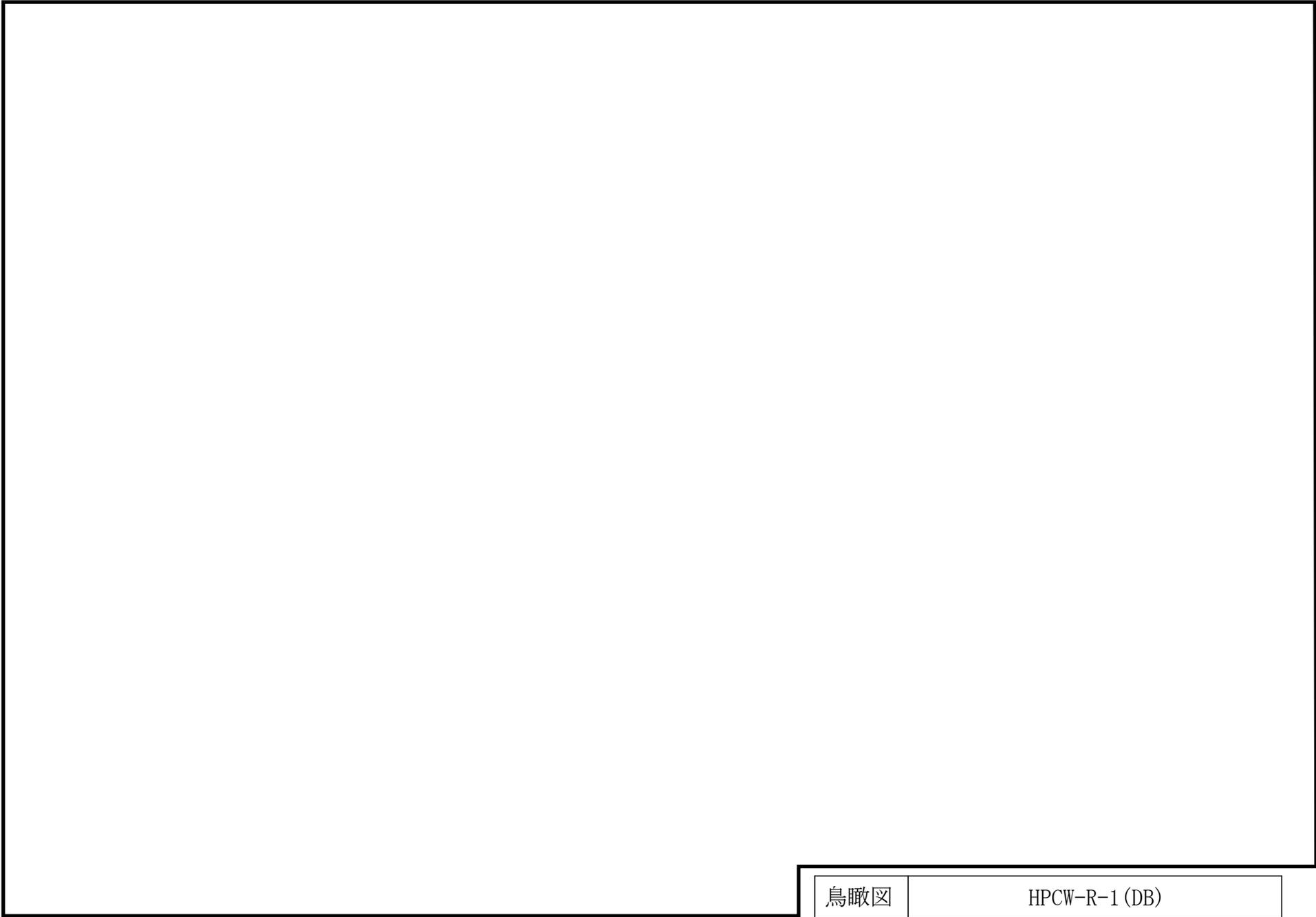


高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

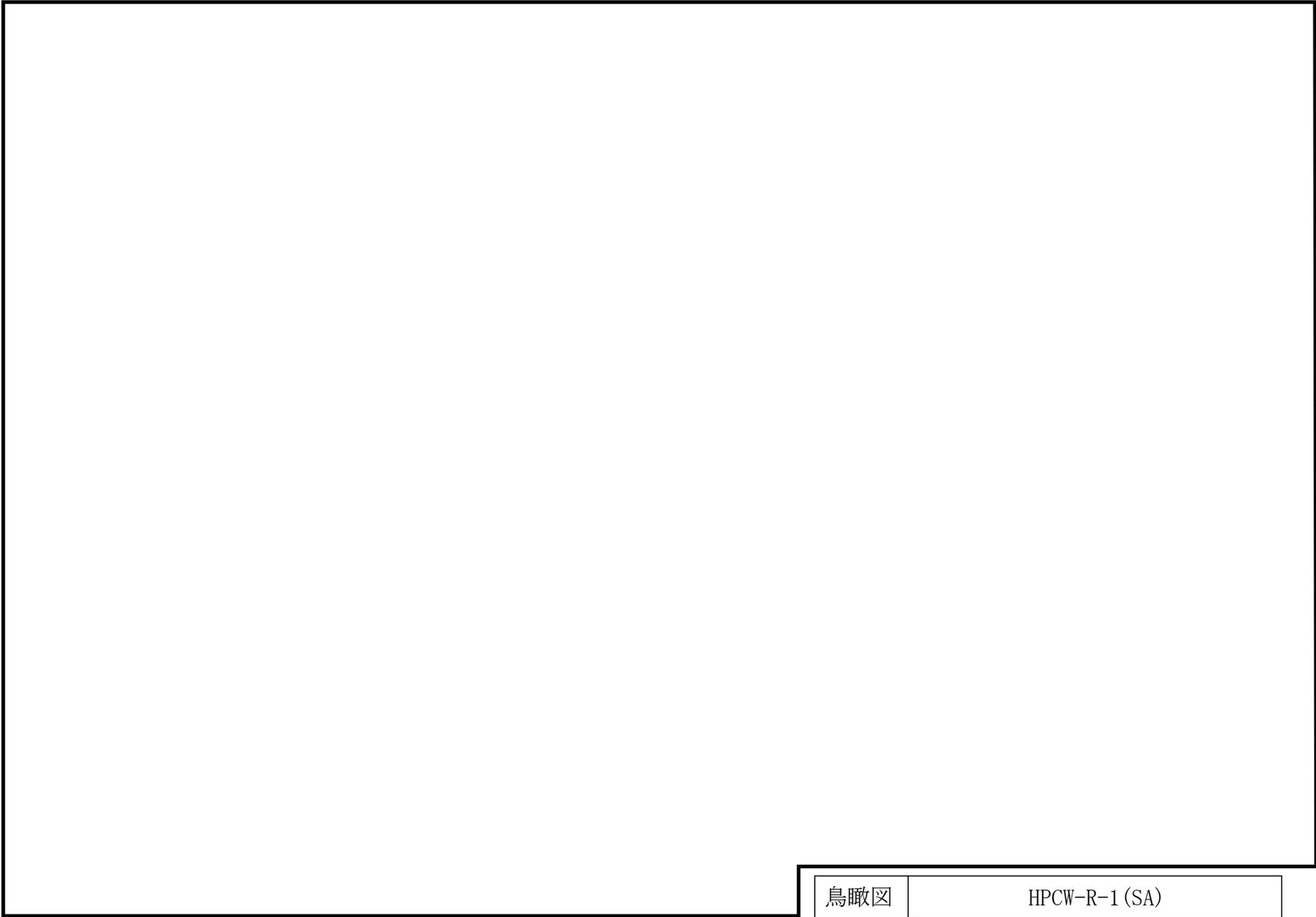
鳥瞰図記号凡例

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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	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。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	



鳥瞰図

HPCW-R-1 (DB)



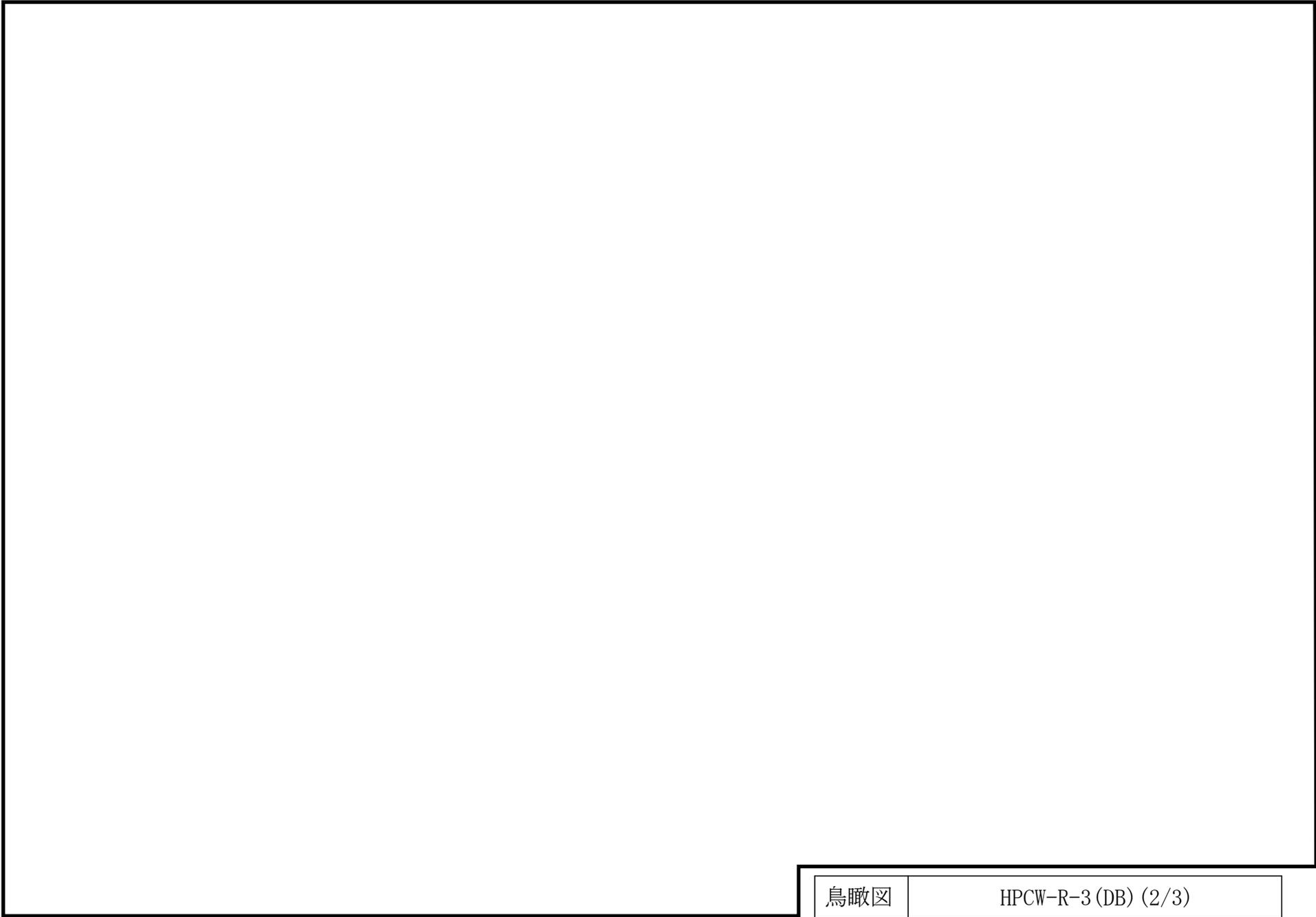
鳥瞰図

HPCW-R-1 (SA)

∞

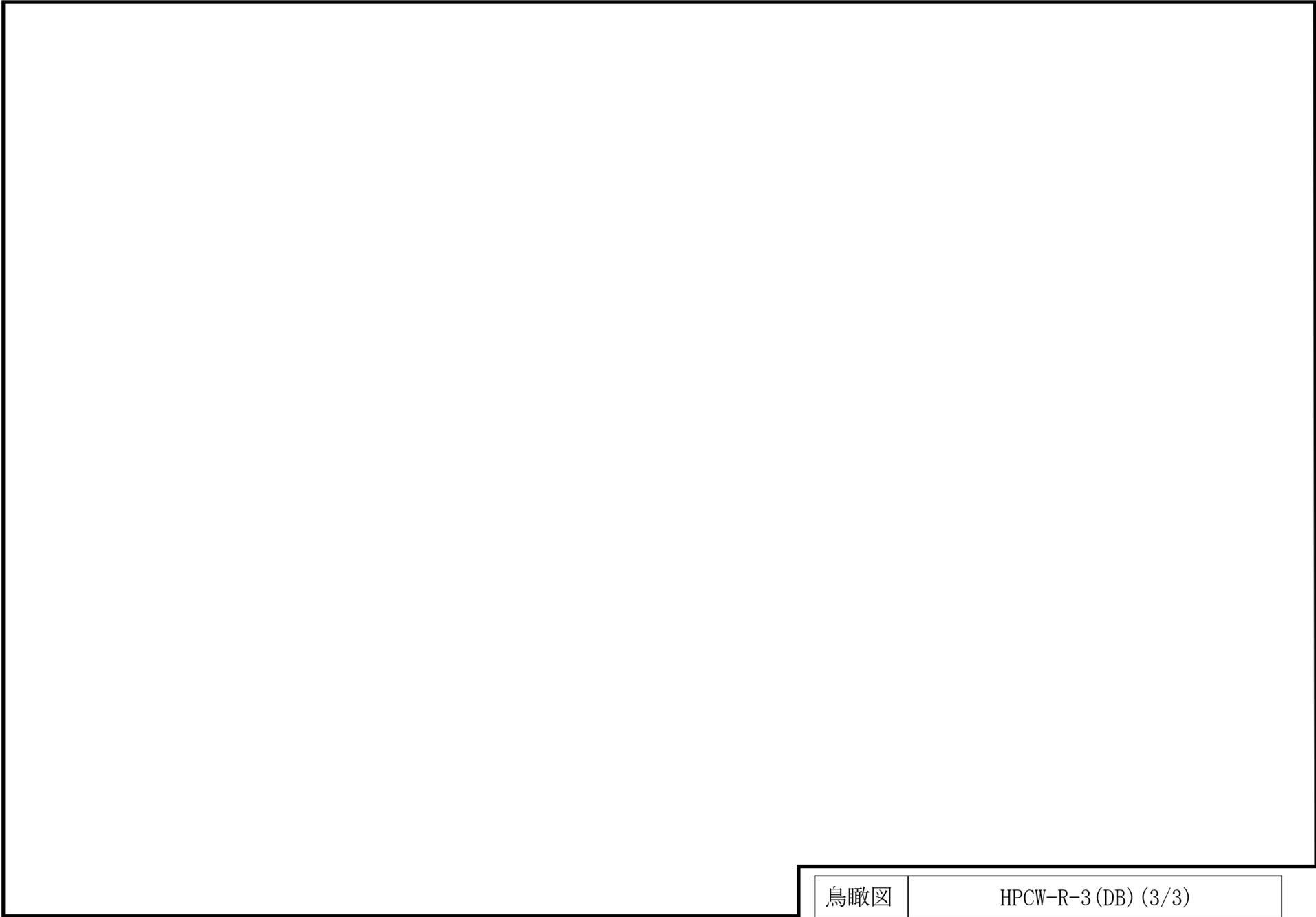
鳥瞰図

HPCW-R-3 (DB) (1/3)



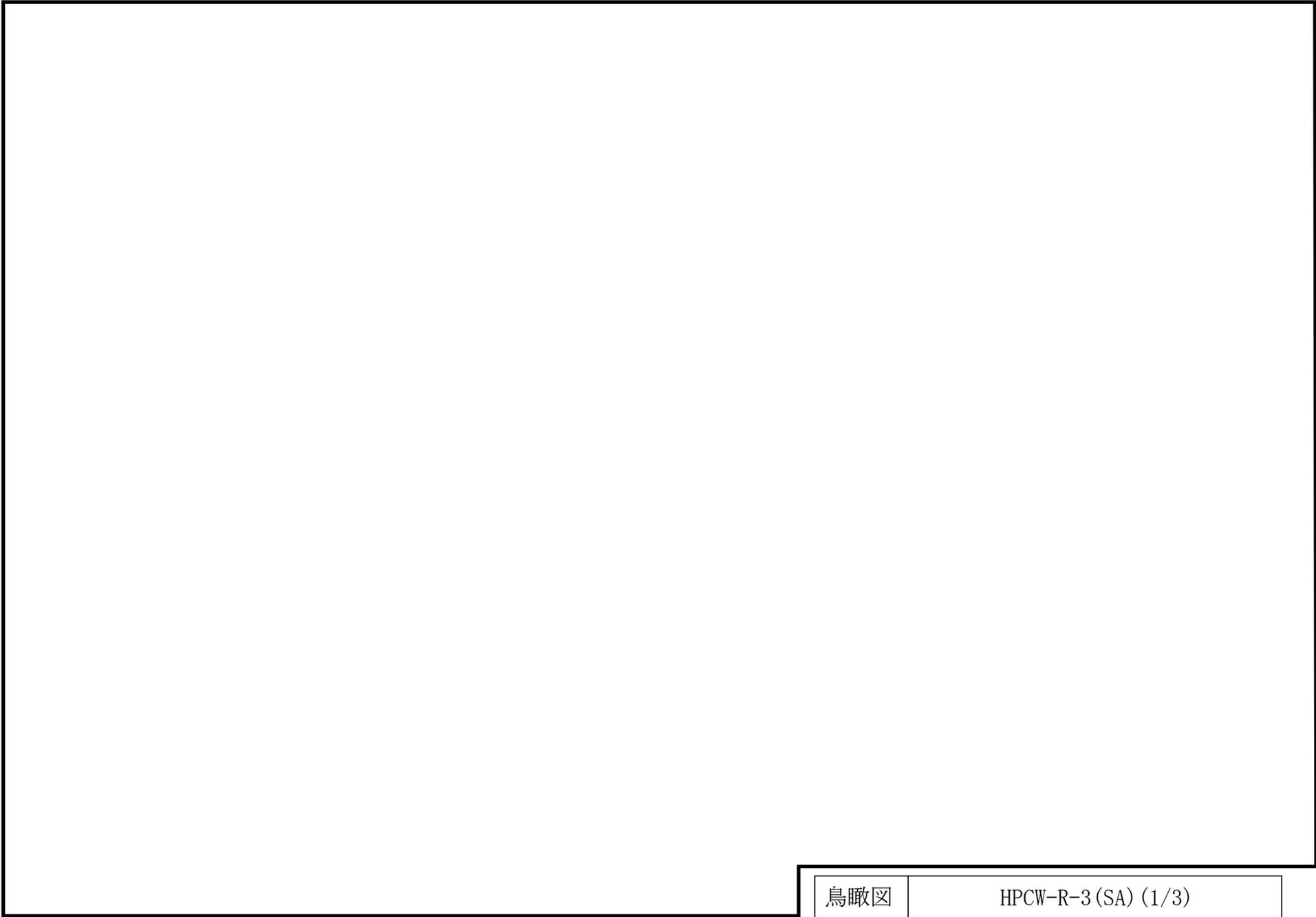
鳥瞰図

HPCW-R-3 (DB) (2/3)



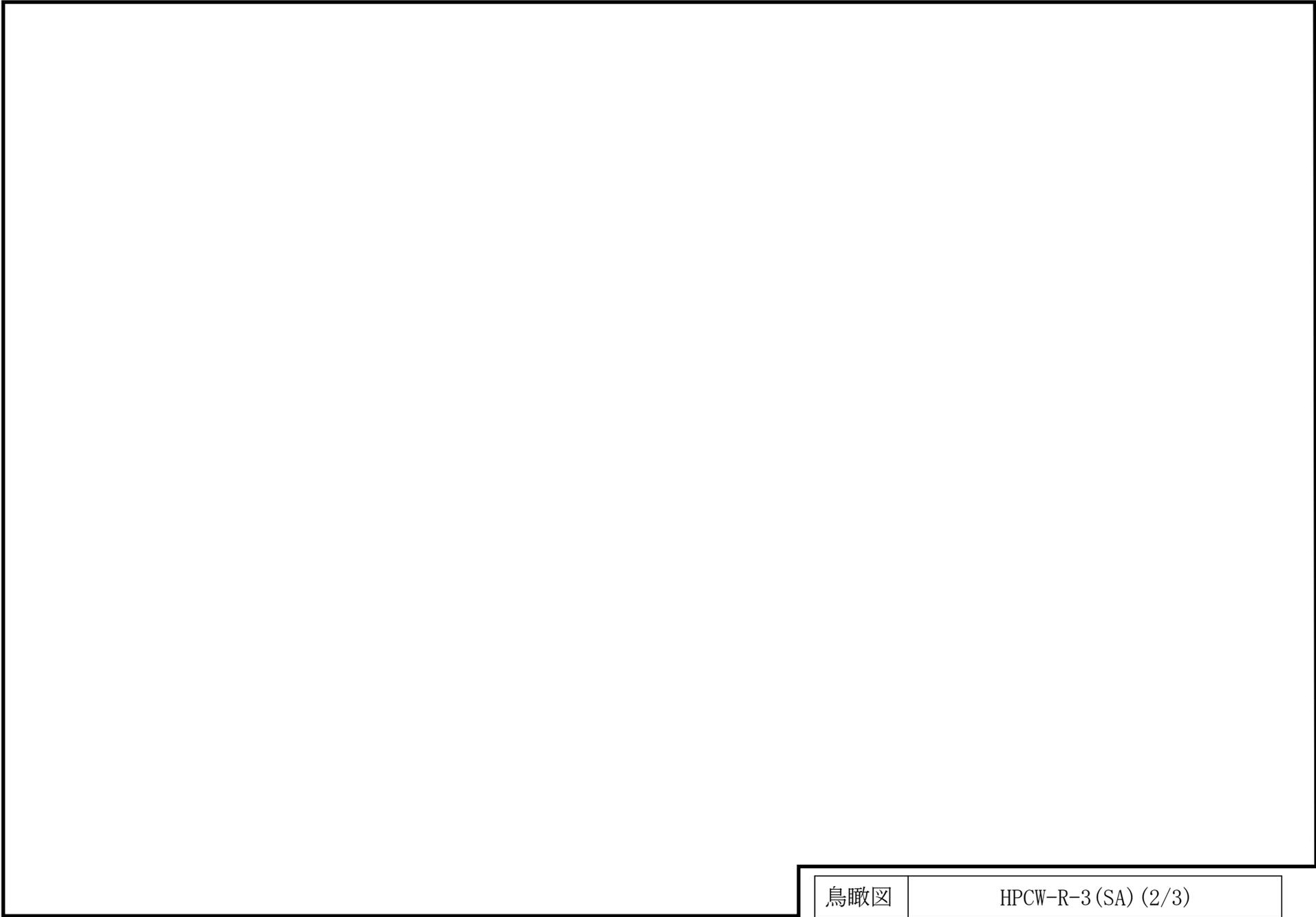
鳥瞰図

HPCW-R-3 (DB) (3/3)



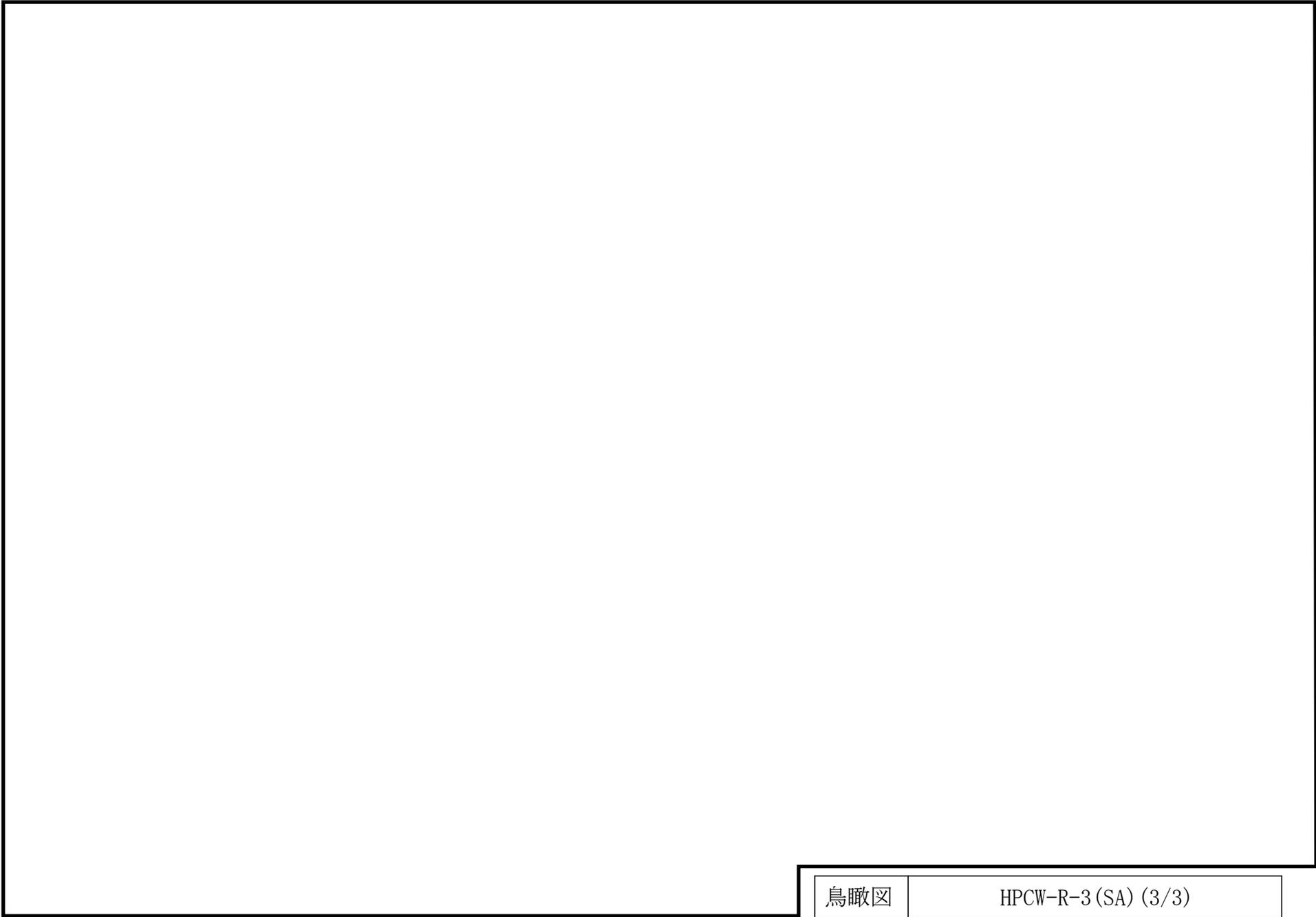
鳥瞰図

HPCW-R-3(SA) (1/3)



鳥瞰図

HPCW-R-3 (SA) (2/3)



鳥瞰図

HPCW-R-3(SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	高圧炉心スプレイ補機冷却系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
			II _L +S _s					
			SA	常設/防止(D _B 拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	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/防止(D_B拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~4, 5~12 13~18	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66

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 HPCW-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~4, 5~12 13~18	216.3	8.2	STPT42	S	201400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N~4, 5~12, 13~18

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

質量	対応する評価点
	1N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	4~5	<input type="text"/>	12~13

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4~5				12~13			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
6						
14						
19N						

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 HPCW-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66
2	3~9S	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66
3	9S~48, 49~53N 42~57	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66
4	58~84N	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66

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 HPCW-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2	165.2	7.1	STPT42	S	201333
2	3~9S	216.3	8.2	STPT42	S	201333
3	9S~48, 49~53N 42~57	216.3	8.2	STPT42	S	201667
4	58~84N	114.3	6.0	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～2, 3～48, 49～53N, 42～57
<input type="checkbox"/>	58～84N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
□	51, 52
□	53N
□	84N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	48～49

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
48~49			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCW-R-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
1A						
8001						
11						
17						
22						
28						
35						
50						
53N						
61						
68						
73						
77						
84N						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT42	66	—	231	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
HPCW-R-1	原子炉建物				
HPCW-R-3	原子炉建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



35

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
13次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

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				
13次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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，次頁以降に示す。

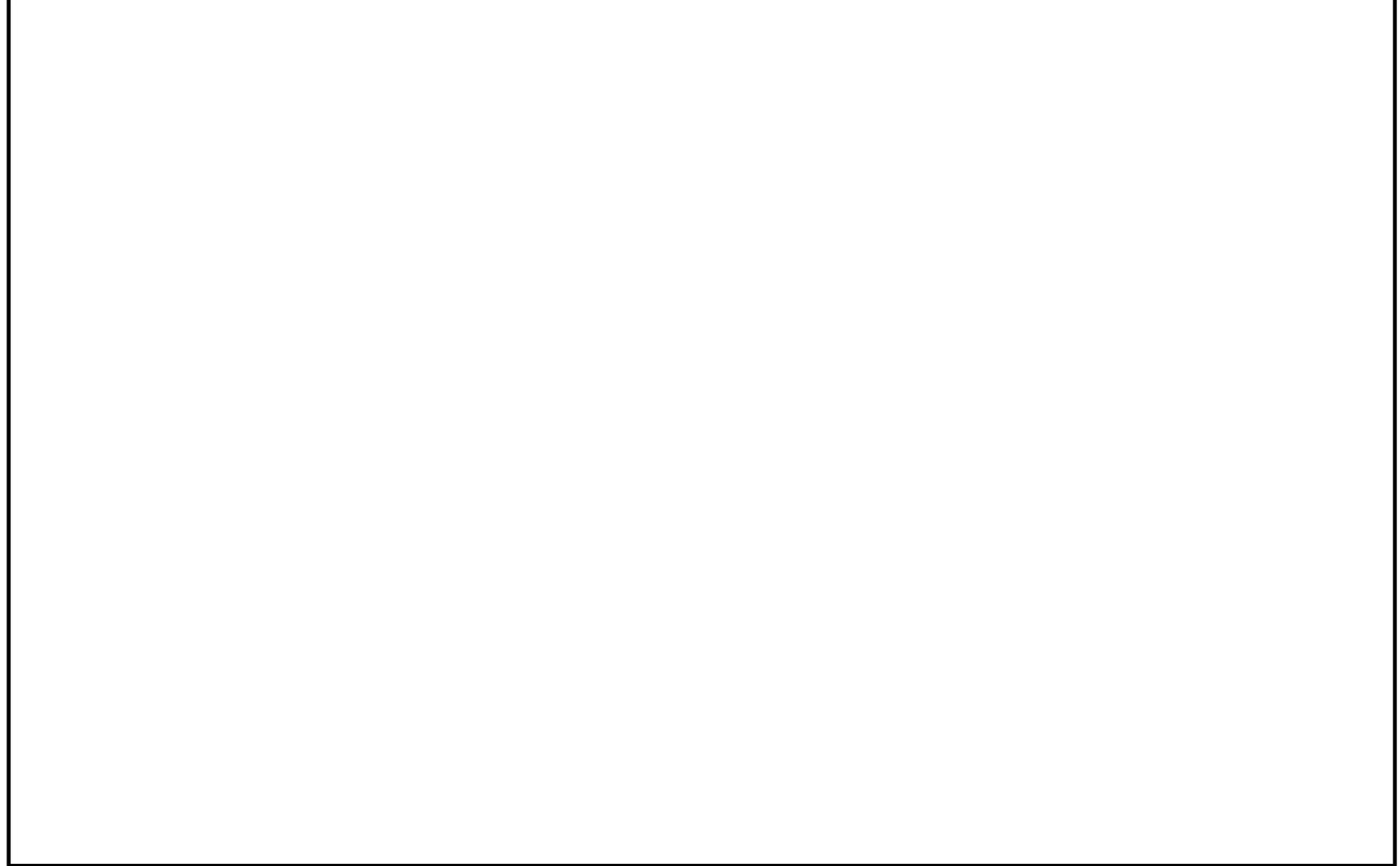
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)

40

代表的振動モード図 (3次)



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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
ⅢA S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	HPCW-R-3	58	66	231	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-3	58	93	462	—
ⅣA S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCW-R-3	58	108	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-1	1N	179	462	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCW-R-3	58	108	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-1	1N	179	462	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCW-R-3	58	108	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-1	1N	179	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	—	—	—	—
—	オイルスナッパ	—			—	—	—
RE-HPCW-206	ロッドレストレイント	RSA-06			12.3	10.8	16.2
—	スプリングハンガ	—			—	—	/
—	コンスタントハンガ	—			—	—	/
—	リジットハンガ	—			—	—	/

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-HPCW-219	レストレイント	Uボルト	SS400	66	0	37	21	—	—	—	引張	142	185
AN-HPCW-210	アンカ	ラグ	SGV410	66	22	6	14	2	16	5	組合せ	45	65

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
							動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	HPCW-R-1	14	63	231	3.66	—	1N	85	462	5.43	—	—
2	HPCW-R-2	56A	55	231	4.20	—	56A	88	462	5.25	—	—
3	HPCW-R-3	58	66	231	3.50	○	58	93	462	4.96	—	○
4	HPCW-R-4	16	47	231	4.91	—	16	70	462	6.60	—	—
5	HPCW-R-5	361	34	231	6.79	—	26	36	462	12.83	—	—
6	HPCW-R-6	101	48	231	4.81	—	101	72	462	6.41	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	HPCW-R-1	1N	97	366	3.77	—	1N	179	462	2.58	—	○
2	HPCW-R-2	56A	97	366	3.77	—	56A	171	462	2.70	—	—
3	HPCW-R-3	58	108	366	3.38	○	58	177	462	2.61	—	—
4	HPCW-R-4	16	101	366	3.62	—	16	177	462	2.61	—	—
5	HPCW-R-5	361	47	366	7.78	—	26	68	462	6.79	—	—
6	HPCW-R-6	57	81	366	4.51	—	57	146	462	3.16	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	HPCW-R-1	1N	97	366	3.77	—	1N	179	462	2.58	—	○
2	HPCW-R-2	56A	97	366	3.77	—	56A	171	462	2.70	—	—
3	HPCW-R-3	58	108	366	3.38	○	58	177	462	2.61	—	—
4	HPCW-R-4	16	101	366	3.62	—	16	177	462	2.61	—	—
5	HPCW-R-5	361	47	366	7.78	—	26	68	462	6.79	—	—
6	HPCW-R-6	57	81	366	4.51	—	57	146	462	3.16	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	HPCW-R-1	1N	97	366	3.77	—	1N	179	462	2.58	—	○
2	HPCW-R-2	56A	97	366	3.77	—	56A	171	462	2.70	—	—
3	HPCW-R-3	58	108	366	3.38	○	58	177	462	2.61	—	—
4	HPCW-R-4	16	101	366	3.62	—	16	177	462	2.61	—	—
5	HPCW-R-5	361	47	366	7.78	—	26	68	462	6.79	—	—
6	HPCW-R-6	57	81	366	4.51	—	57	146	462	3.16	—	—

(2) 高圧炉心スプレイ補機海水系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力	19
3.5 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	21
4.1 固有周期及び設計震度	21
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	29
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	30
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	31

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ補機海水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

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

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

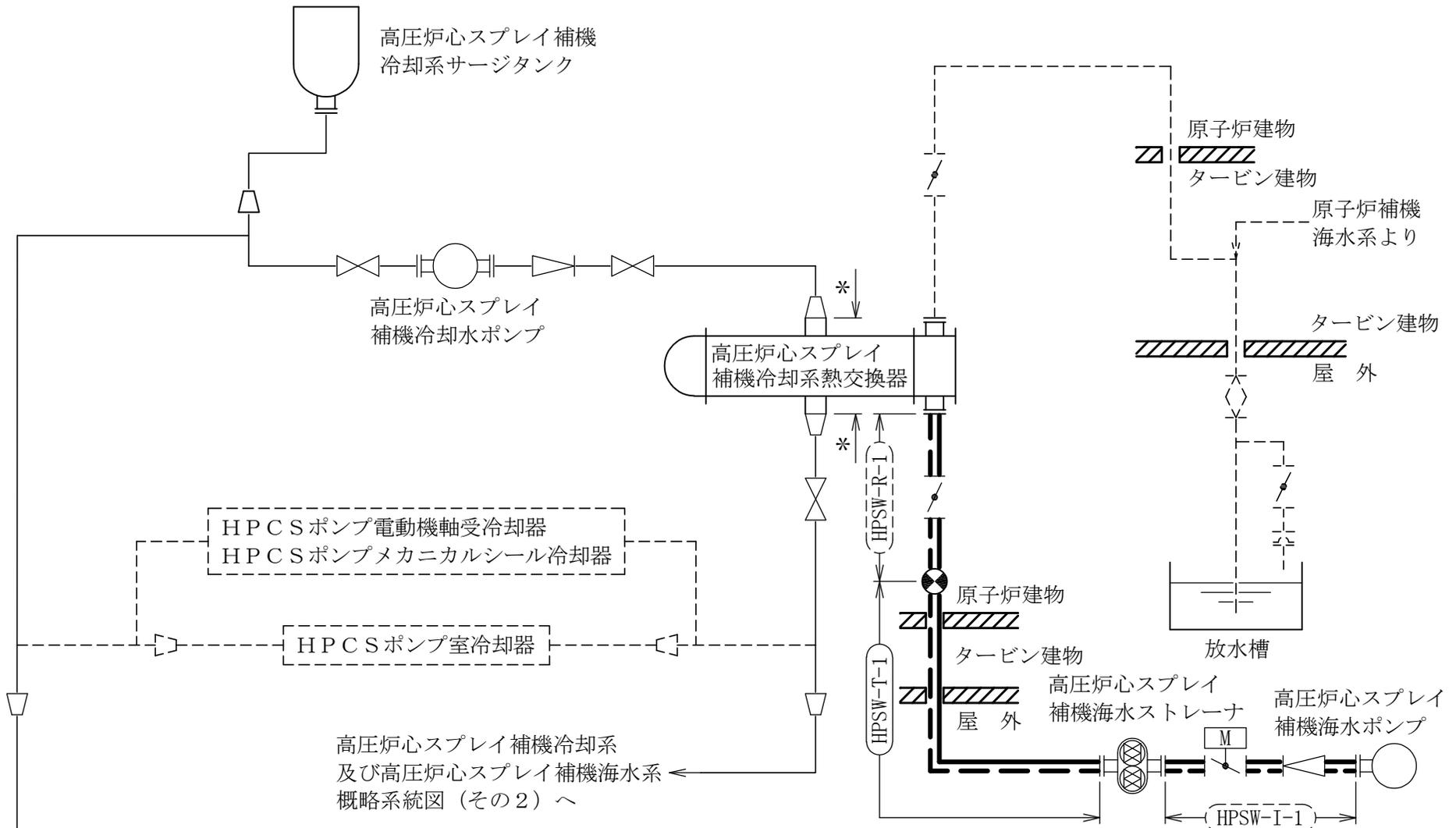
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

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 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



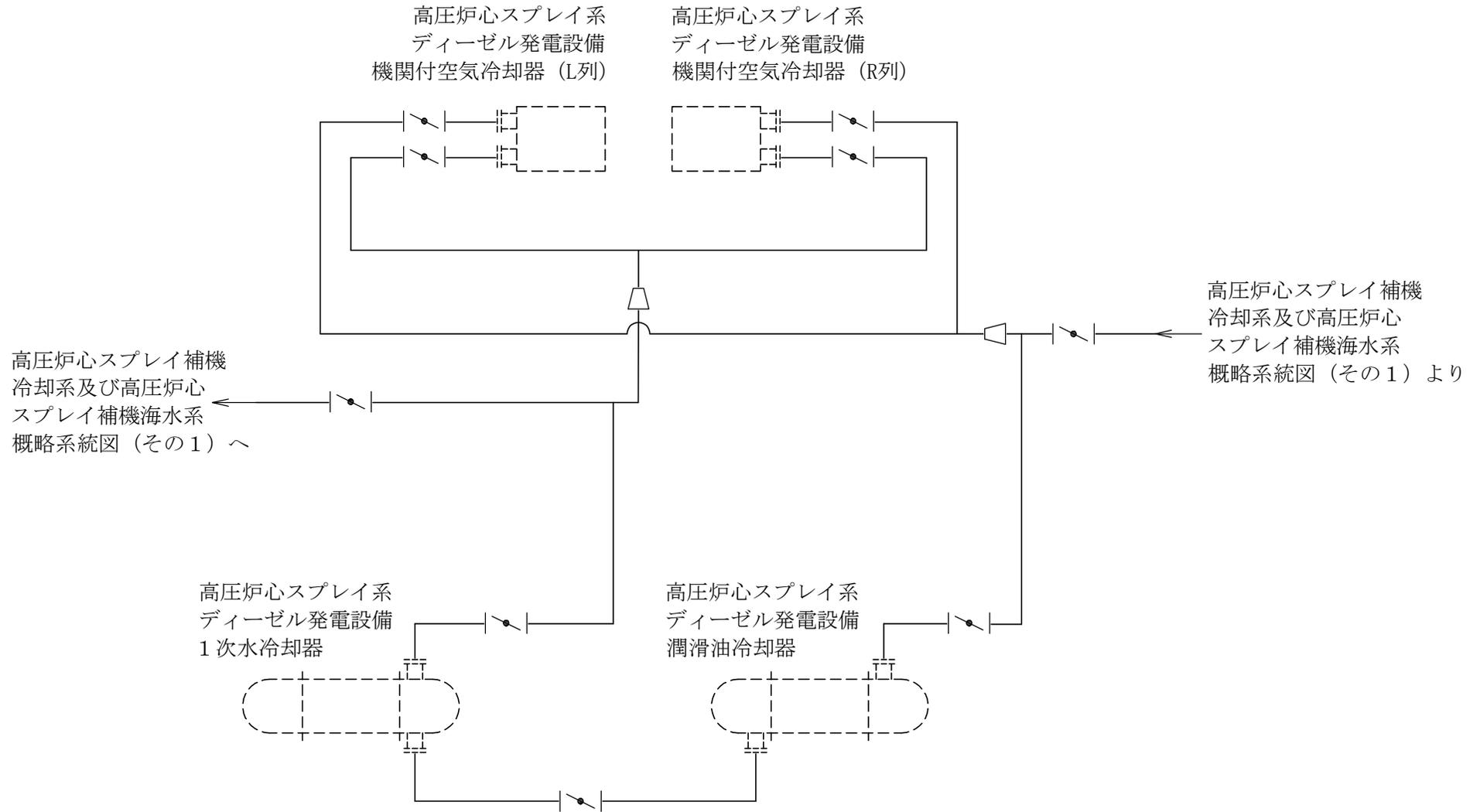
高圧炉心スプレー補機冷却系
及び高圧炉心スプレー補機海水系
概略系統図 (その2) より

注記* : 計算結果は「(1) 高圧炉心スプレー補機冷却系」に含めて示す。

[注] 太破線範囲の管クラス : DB3

太線範囲の管クラス : SA2

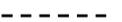
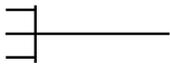
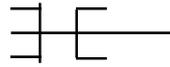
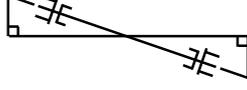
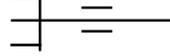
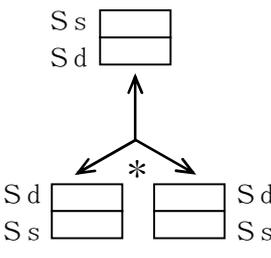
高圧炉心スプレー補機冷却系及び高圧炉心スプレー補機海水系概略系統図 (その1)



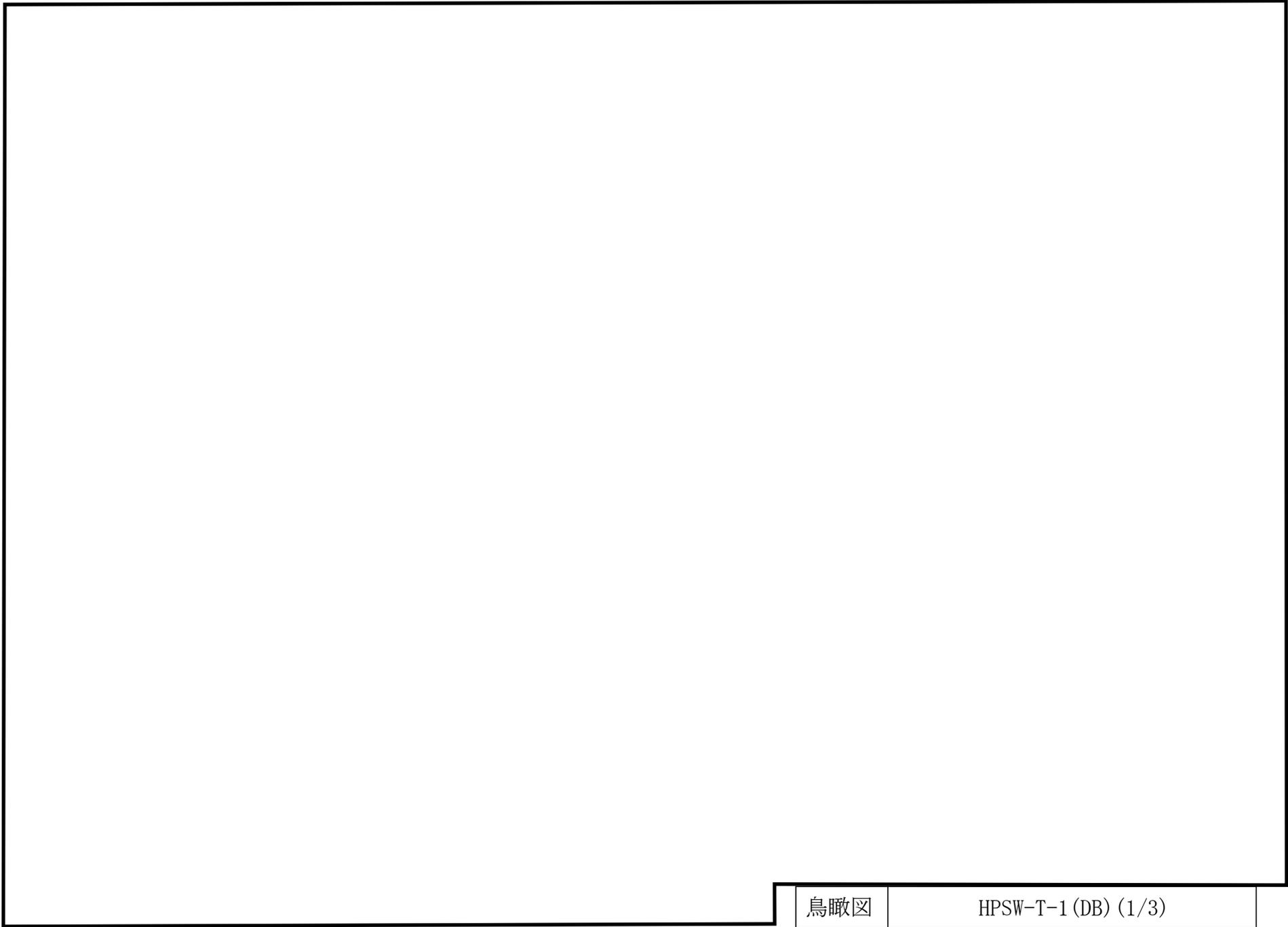
高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

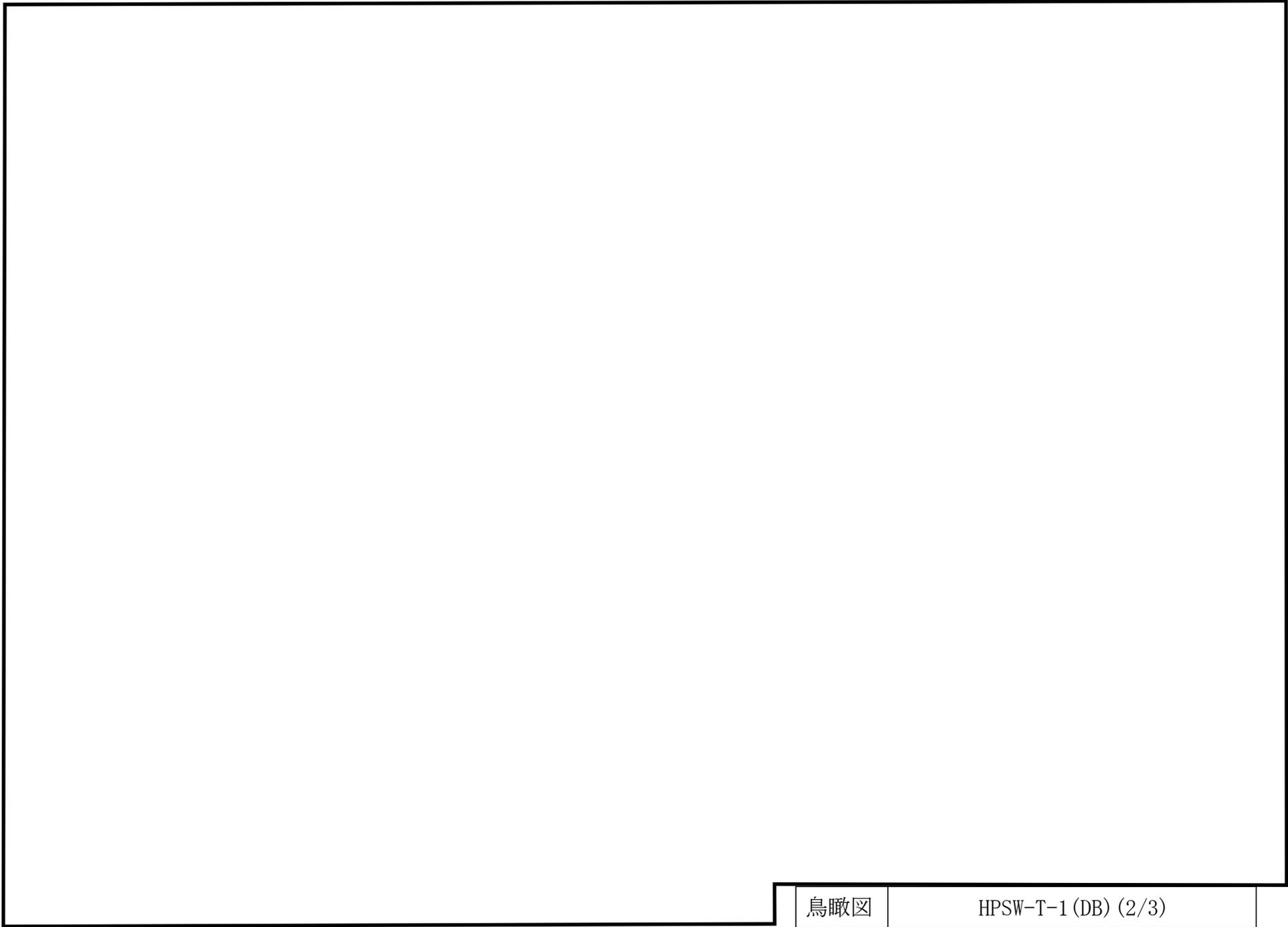
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また,  内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)

S2 補 VI-2-5-7-2-6(2) R0



鳥瞰図

HPSW-T-1 (DB) (1/3)



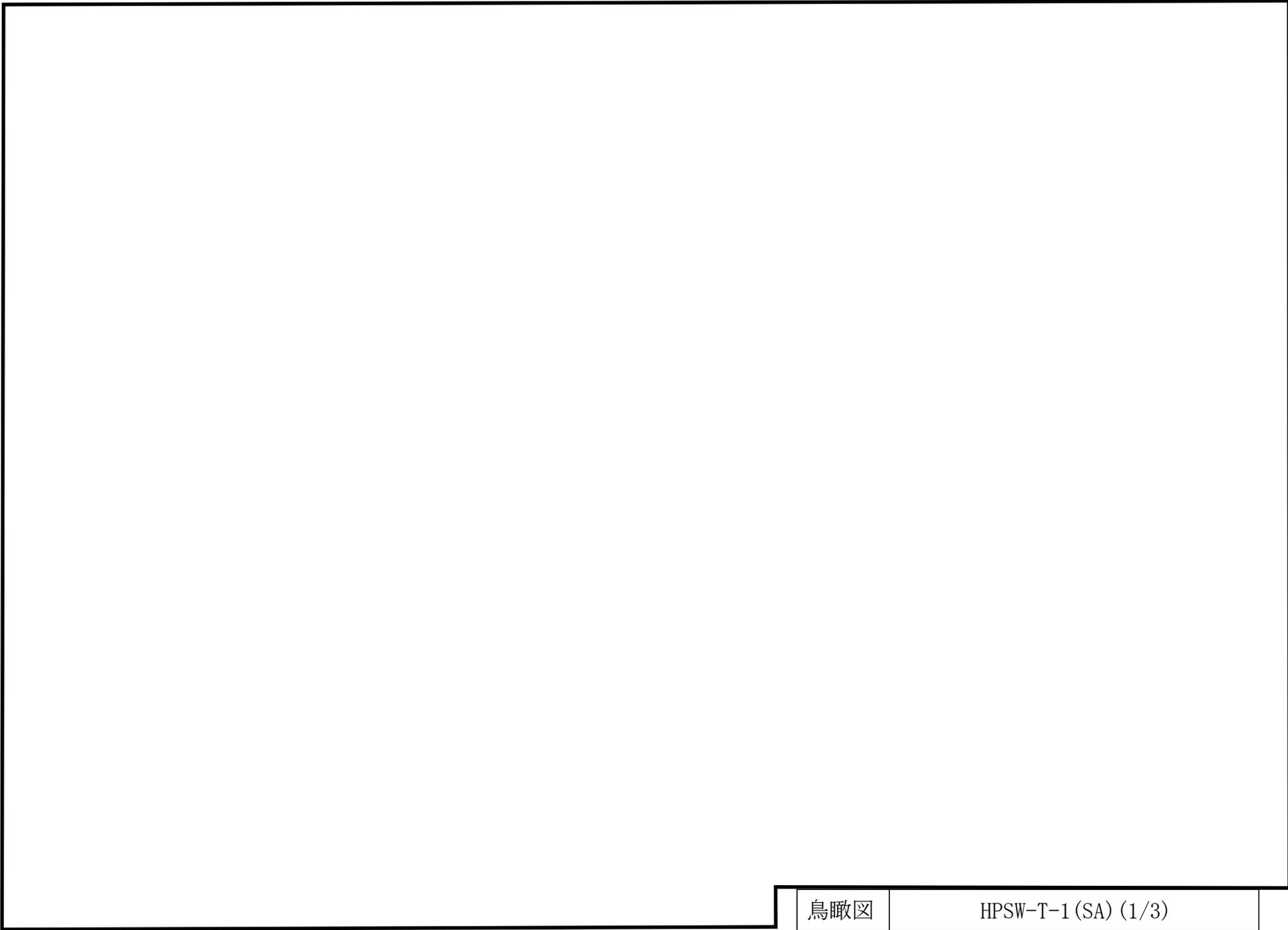
鳥瞰図

HPSW-T-1 (DB) (2/3)

∞

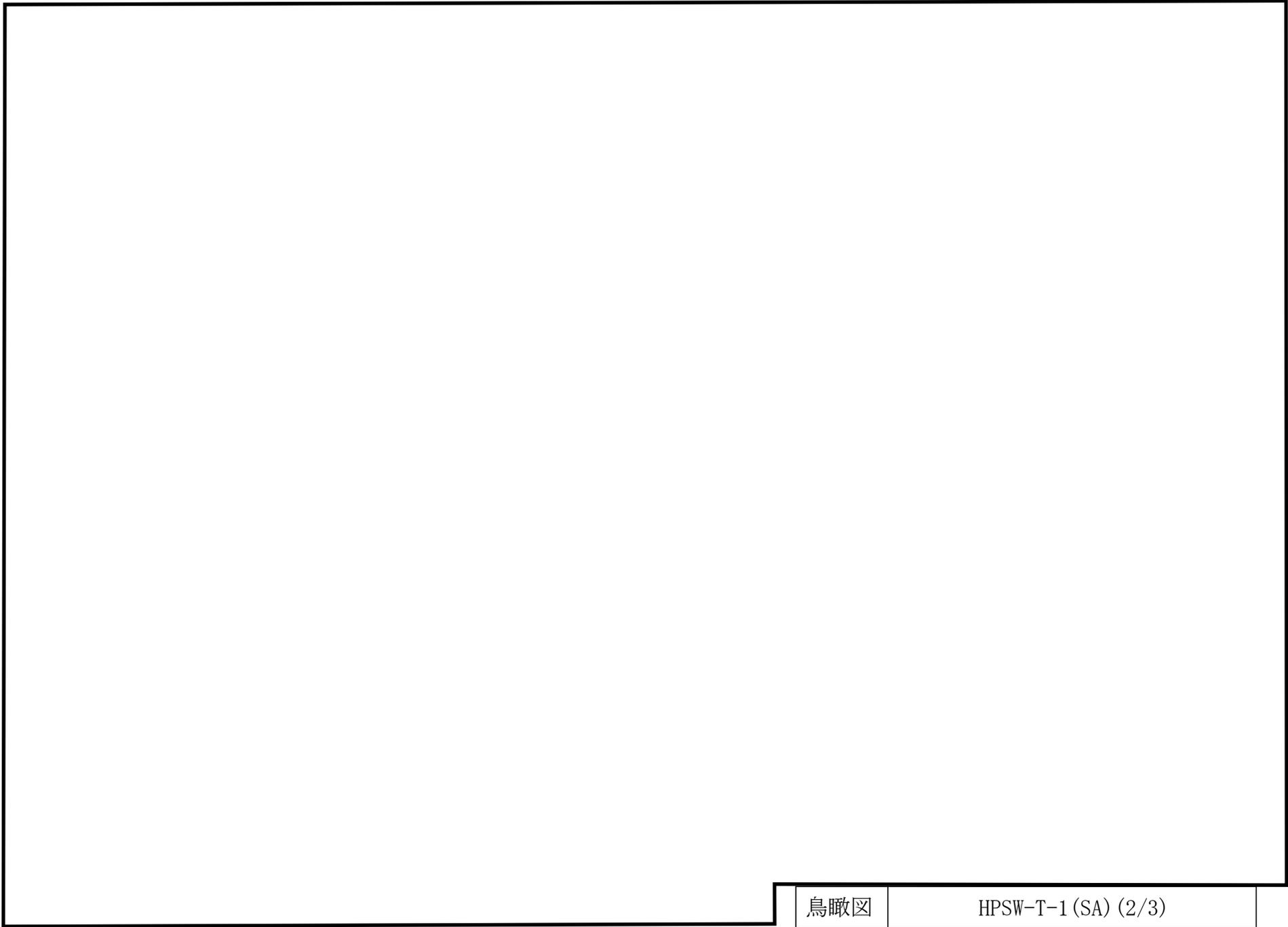
鳥瞰図

HPSW-T-1 (DB) (3/3)



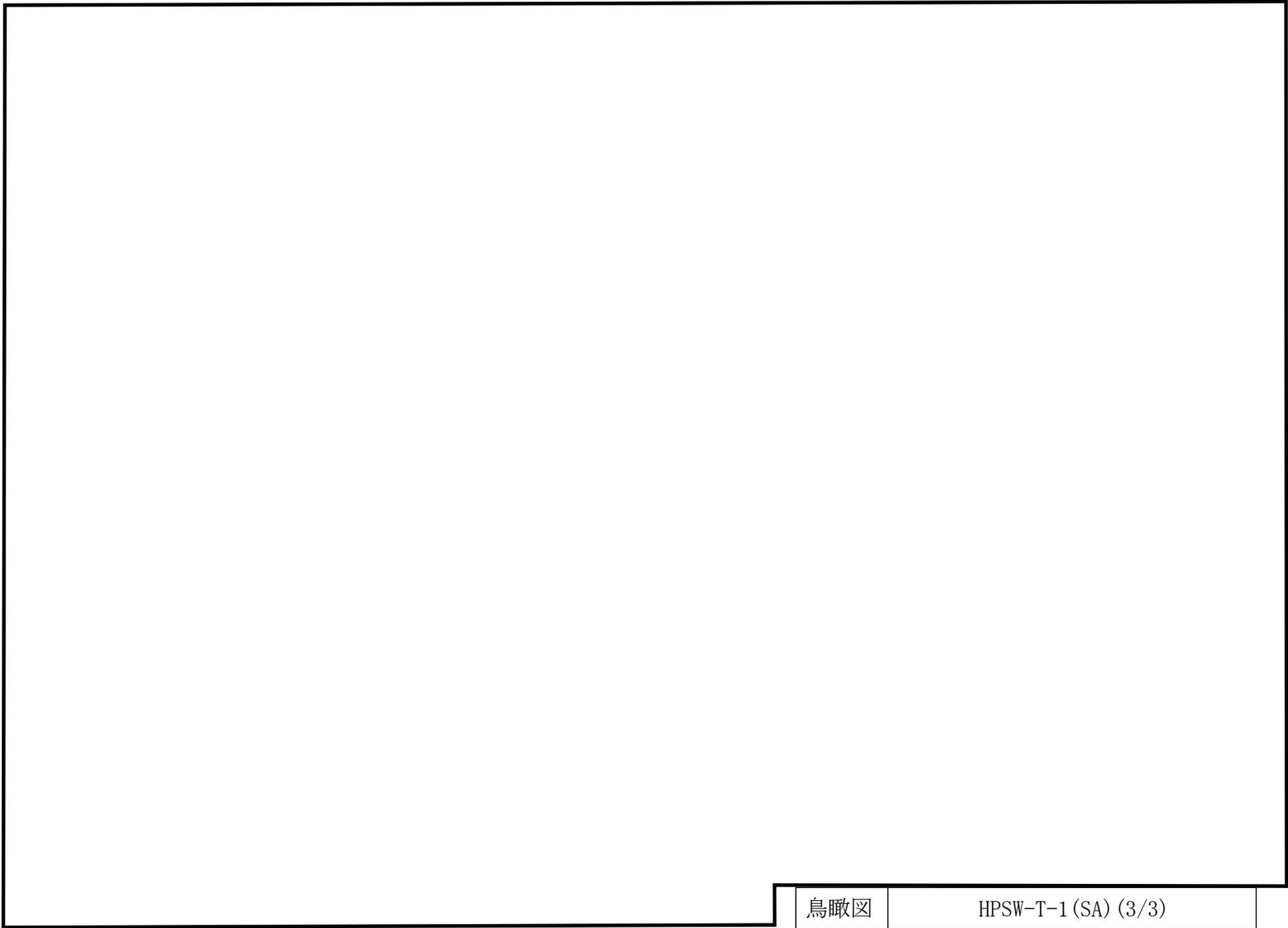
鳥瞰図

HPSW-T-1 (SA) (1/3)



鳥瞰図

HPSW-T-1 (SA) (2/3)



鳥瞰図

HPSW-T-1 (SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	高圧炉心スプレイ補機海水系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
			II _L +S _s					
			SA	常設／防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	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／防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから、重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~9S	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
2	9S~106A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

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 HPSW-T-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～9S	267.4	9.3	STPT42	S	201867
2	9S～106A	267.4	9.3	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	9S~106A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

質量	対応する評価点
	1N
	301, 401, 601, 1111, 1201, 1301, 1701, 2101, 2601, 2801, 3101, 3601 3901, 4101, 4301, 4401, 4601, 4801, 4901, 5101, 5501, 5801, 6001, 6201 6301, 6501, 68, 7201, 7601, 8001, 8301, 8501, 8601, 8801, 8901, 9101 9401, 9601, 1011, 1021, 1041
	1001

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
1102						
1202						
14						
16						
18						
20						
22						
26						
29						
34						
38						
44						
52						
56						
63						
69						
73						
77						
81						
89						
94						
1042						
106A						

S2 補 VI-2-2-5-7-2-6 (2) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT42	40	—	245	410	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
HPSW-T-1	原子炉建物				
	取水槽				
	タービン建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPSW-T-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				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

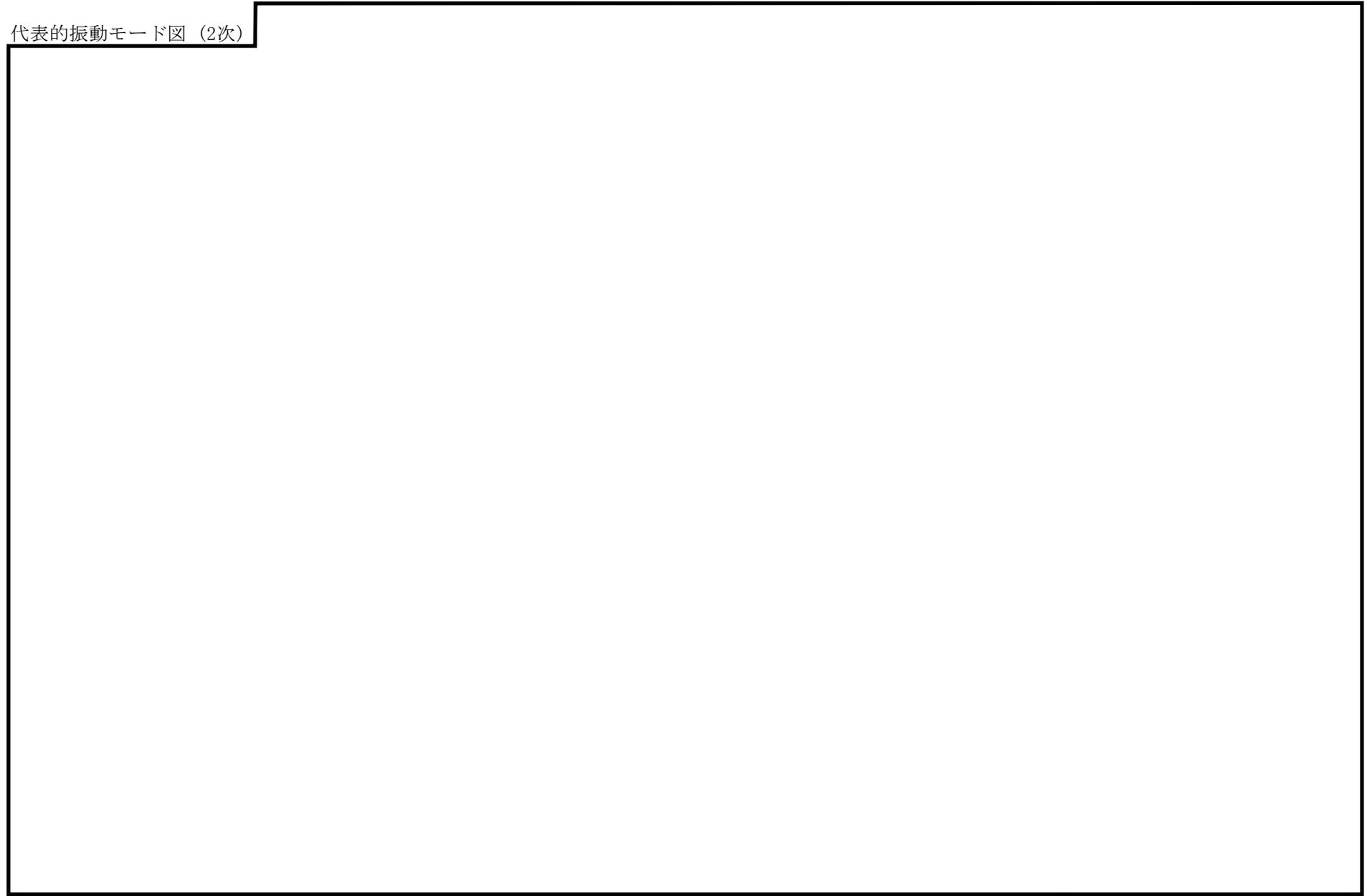
代表的振動モード図

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、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



25

代表的振動モード図 (3次)



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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	HPSW-T-1	2	100	245	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	2	199	490	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPSW-T-1	104	154	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	104	323	490	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	HPSW-T-1	104	154	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	104	323	490	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	HPSW-T-1	104	154	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	104	323	490	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	—	—	—	
—	オイルスナッパ	—		—	—	—	
RE-HPSW-203-1	ロッドレストレイント	RSA-06×2*3		30.6	21.6	32.4	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点，同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-HPSW-2002	レストレイント	パイプバンド	SM400B	40	167	20	0	—	—	—	圧縮	67	148
AN-HPSW-201	アンカ	ラグ	SGV410	40	13	20	40	15	10	20	組合せ	76	155

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
							動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	HPSW-R-1	17	52	245	4.71	—	17	71	490	6.90	—	—
2	HPSW-T-1	2	100	245	2.45	○	2	199	490	2.46	—	○
3	HPSW-I-1	1701	83	245	2.95	—	1001	131	490	3.74	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	HPSW-R-1	17	80	369	4.61	—	17	126	490	3.88	—	—
2	HPSW-T-1	104	154	369	2.39	○	104	323	490	1.51	—	○
3	HPSW-I-1	1001	142	369	2.59	—	1001	258	490	1.89	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	HPSW-R-1	17	80	369	4.61	—	17	126	490	3.88	—	—
2	HPSW-T-1	104	154	369	2.39	○	104	323	490	1.51	—	○
3	HPSW-I-1	1001	142	369	2.59	—	1001	258	490	1.89	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	HPSW-R-1	17	80	369	4.61	—	17	126	490	3.88	—	—
2	HPSW-T-1	104	154	369	2.39	○	104	323	490	1.51	—	○
3	HPSW-I-1	1001	142	369	2.59	—	1001	258	490	1.89	—	—

VI-2-6 計測制御系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-6-7 その他の計測制御系統施設の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-1 その他の計測装置の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-1-2 スクラバ容器水位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. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	10
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、VI-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、スクラバ容器水位が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

スクラバ容器水位は、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氣的機能維持評価を示す。

なお、スクラバ容器水位は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計器スタンションであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

スクラバ容器水位の構造計画を表 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																																									
<p>検出器は、計器取付ボルトにて計器取付板に固定され、計器取付板は、取付板取付ボルトにて計器ステーションに固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【スクラバ容器水位】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-1A)</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-1B)</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-1C)</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-1D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-2A)</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-2B)</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-2C)</th> <th>スクラバ容器水位 (LX2B3-2D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>	機器名称	スクラバ容器水位 (LX2B3-1A)	スクラバ容器水位 (LX2B3-1B)	スクラバ容器水位 (LX2B3-1C)	スクラバ容器水位 (LX2B3-1D)	たて					横					高さ					機器名称	スクラバ容器水位 (LX2B3-2A)	スクラバ容器水位 (LX2B3-2B)	スクラバ容器水位 (LX2B3-2C)	スクラバ容器水位 (LX2B3-2D)	たて					横					高さ				
機器名称	スクラバ容器水位 (LX2B3-1A)	スクラバ容器水位 (LX2B3-1B)	スクラバ容器水位 (LX2B3-1C)	スクラバ容器水位 (LX2B3-1D)																																						
たて																																										
横																																										
高さ																																										
機器名称	スクラバ容器水位 (LX2B3-2A)	スクラバ容器水位 (LX2B3-2B)	スクラバ容器水位 (LX2B3-2C)	スクラバ容器水位 (LX2B3-2D)																																						
たて																																										
横																																										
高さ																																										

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

スクラバ容器水位の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期

(単位：s)

スクラバ容器水位 (LX2B3-1A)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1B)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1C)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1D)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2A)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2B)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2C)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2D)	水平	
	鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

スクラバ容器水位の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 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行う。

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

スクラバ容器水位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 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

スクラバ容器水位の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

スクラバ容器水位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 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【スクラバ容器水位 (LX2B3-1A) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器水位 (LX2B3-1B) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器水位 (LX2B3-1C) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器水位 (LX2B3-1D) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器水位 (LX2B3-2A) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器水位 (LX2B3-2B) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器水位 (LX2B3-2C) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器水位 (LX2B3-2D) 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。

表 4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	スクラバ容器水位	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：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 4-2 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	せん断
IVAS	1.5・f _t * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	1.5・f _s * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
VAS		

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 4-3 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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	60	237	389	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

スクラバ容器水位の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 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行う。

計器スタンションに設置される検出器の水平方向の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。計器スタンションに設置される検出器の鉛直方向の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

(×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-1A)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1B)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1C)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1D)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2A)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2B)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2C)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2D)	水平	
	鉛直	

S2 補 VI-2-6-7-1-2 R0

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

スクラバ容器水位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，電氣的機能を維持できることを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【スクラバ容器水位（LX2B3-1A）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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1A)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL. 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		862	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	38	238	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 54$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

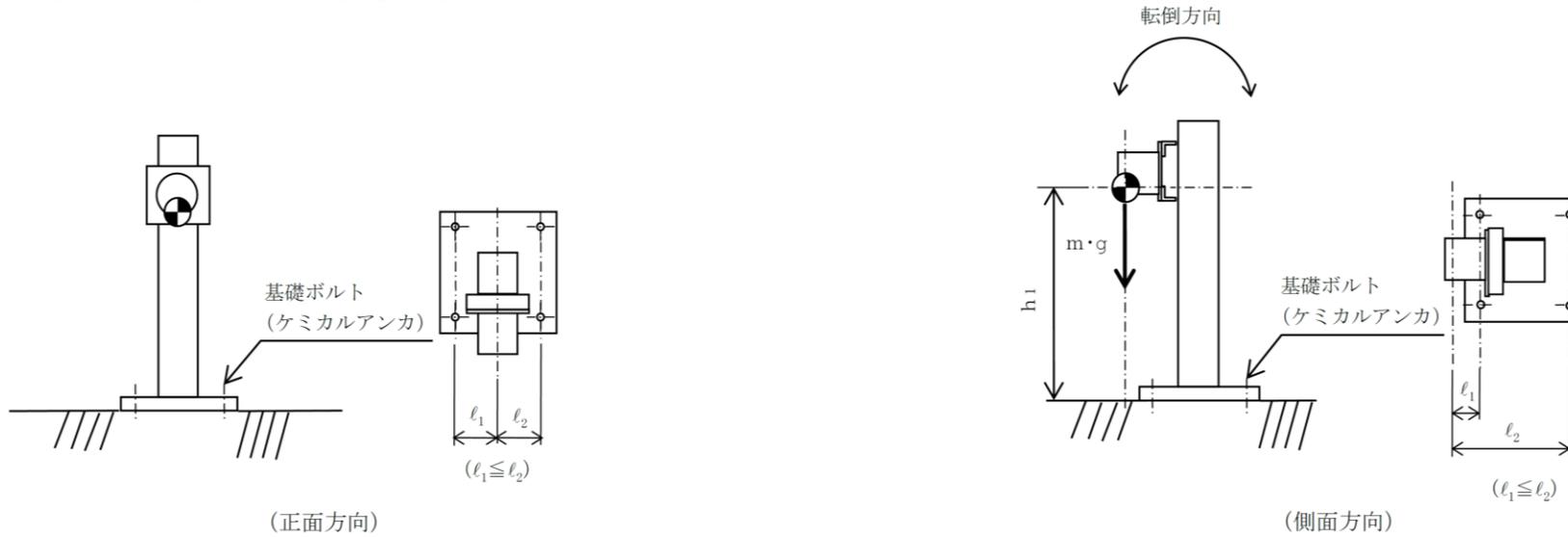
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-1A)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

12



【スクラバ容器水位（LX2B3-1B）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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1B)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL 2.7*1			—	—	C _H =3.60*2	C _V =5.97*2	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		862	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	38	238	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 54$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

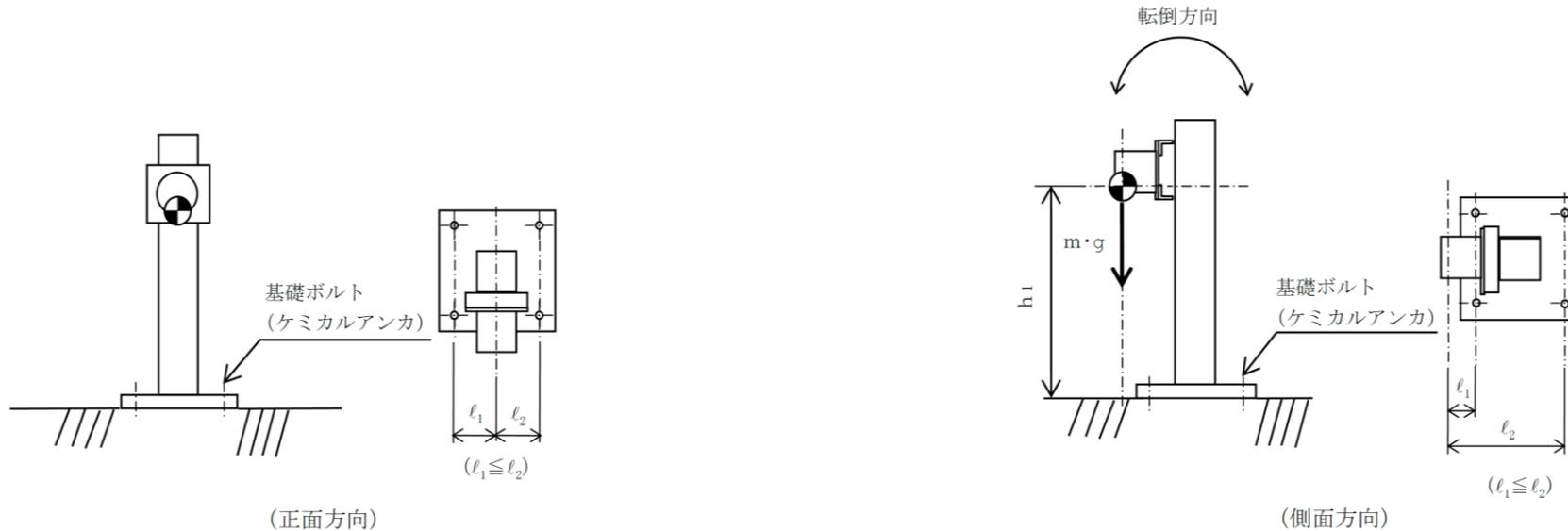
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-1B)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

14



【スクラバ容器水位（LX2B3-1C）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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1C)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		862	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	38	238	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 54$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

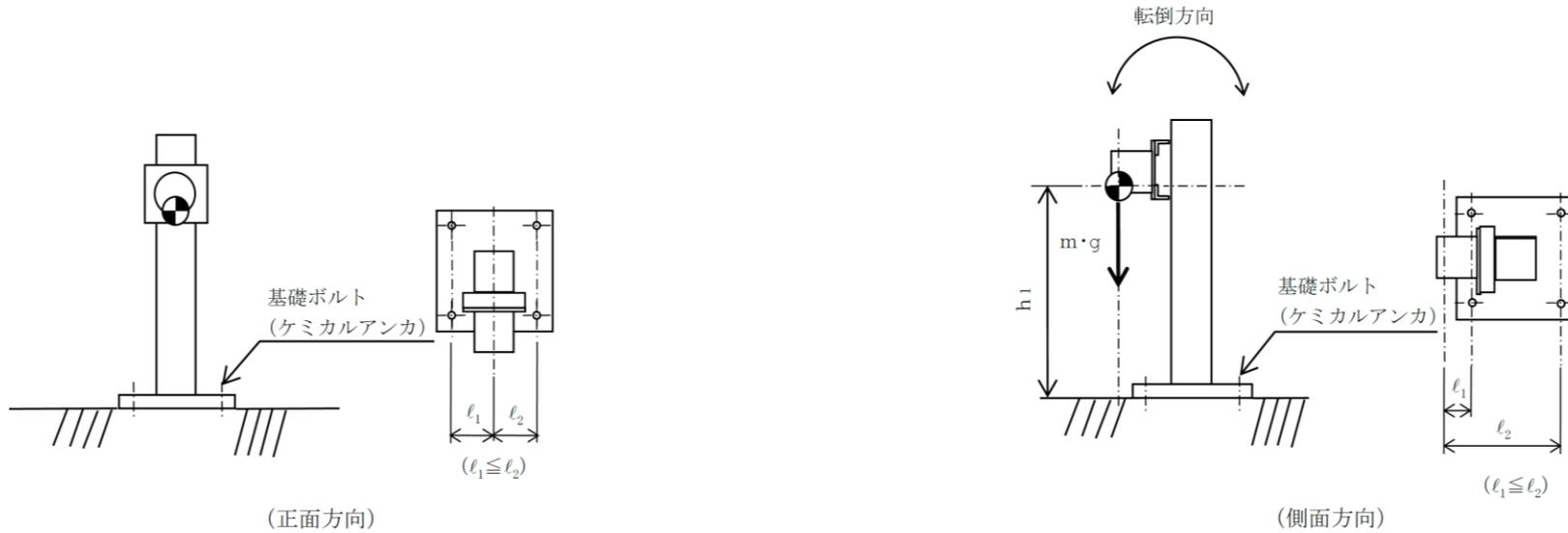
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-1C)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【スクラバ容器水位（LX2B3-1D）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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-1D)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		862	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	38	238	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 54$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

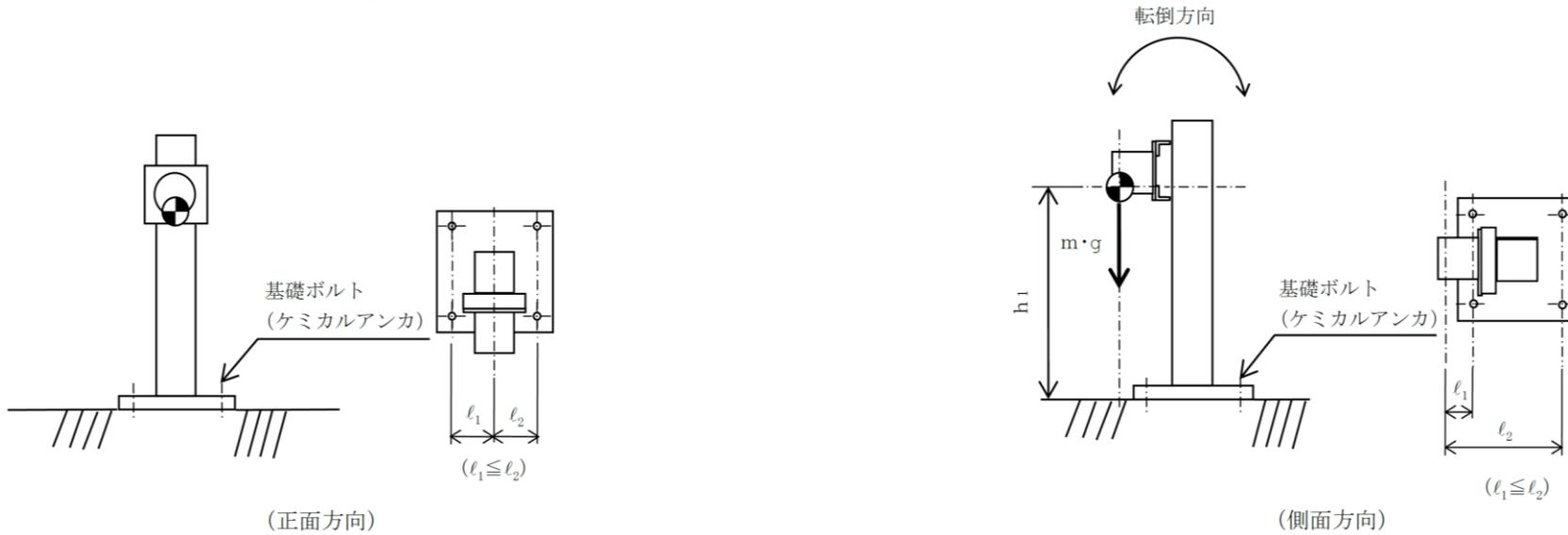
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-1D)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【スクラバ容器水位（LX2B3-2A）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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2A)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		826	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	22	222	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 45$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

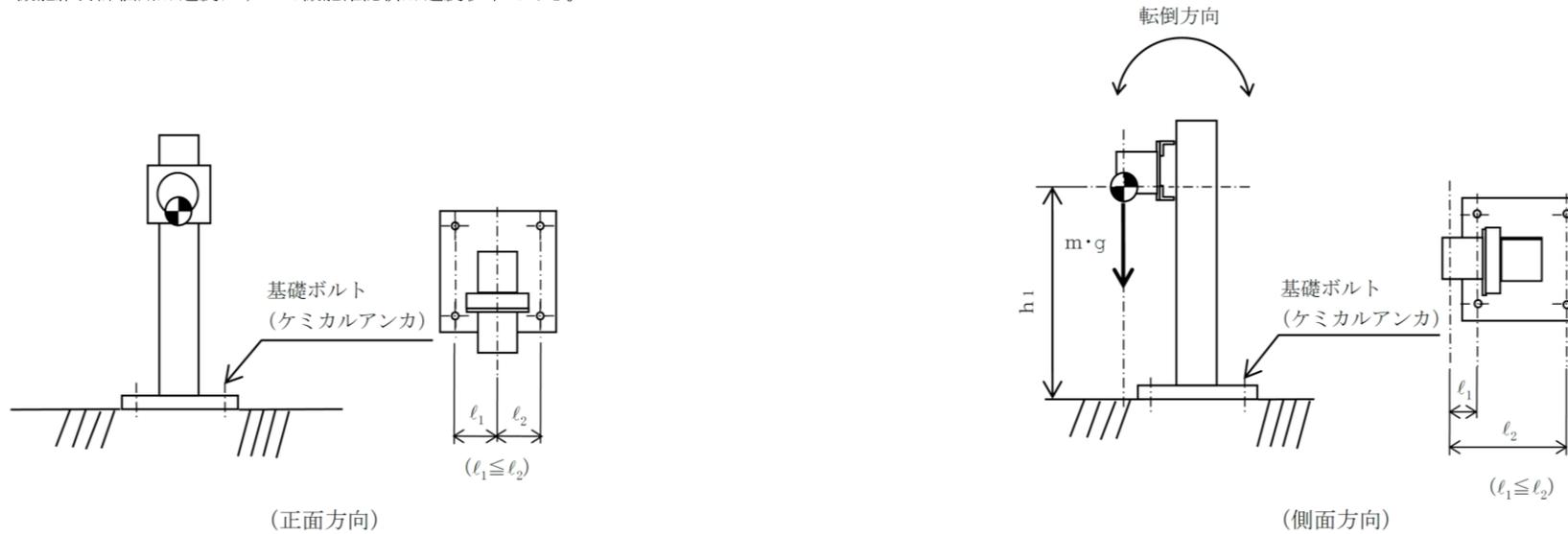
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-2A)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

20



【スクラバ容器水位（LX2B3-2B）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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2B)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		826	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	22	222	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 45$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

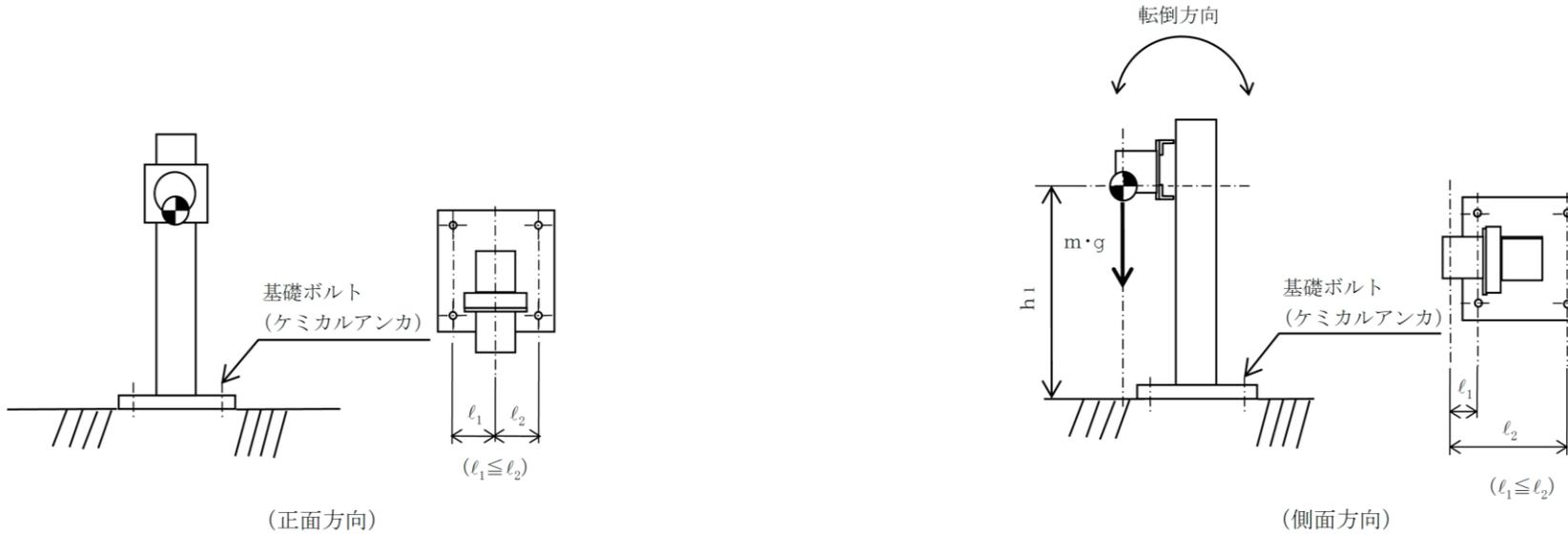
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-2B)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

22



【スクラバ容器水位 (LX2B3-2C) 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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2C)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL. 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		826	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	22	222	2				

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 45$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

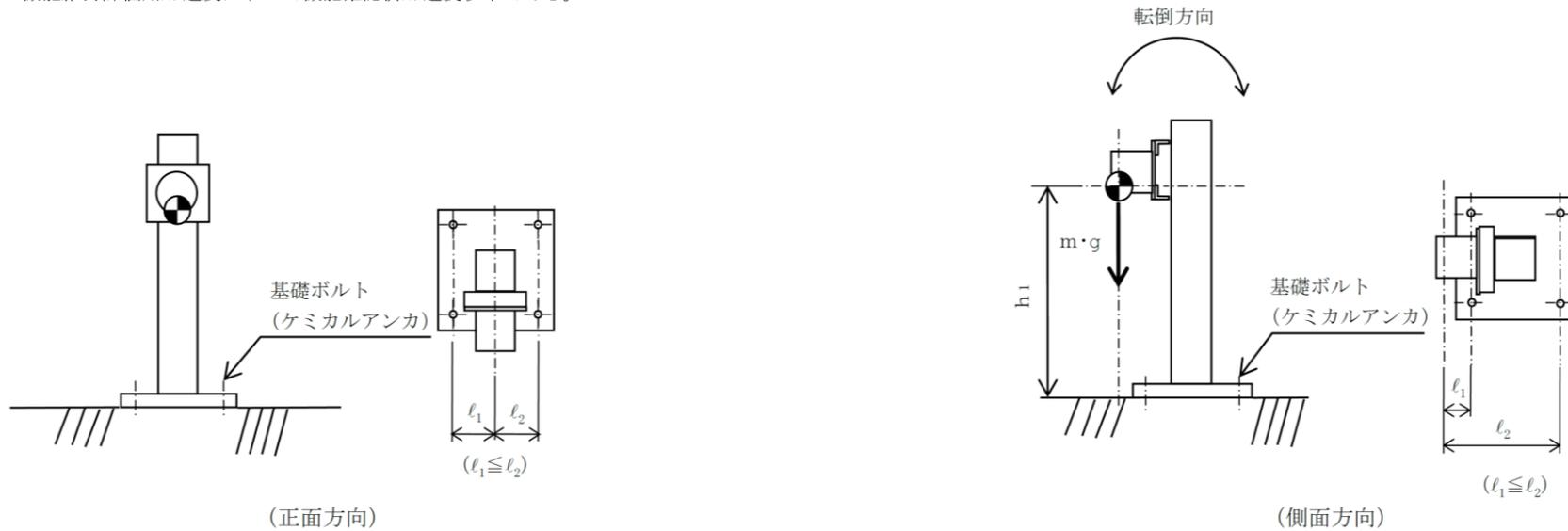
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-2C)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【スクラバ容器水位 (LX2B3-2D) 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 (°C)
			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	
スクラバ容器水位 (LX2B3-2D)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		826	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	100	100	2	—	272	—	側面方向
	22	222	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 45$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

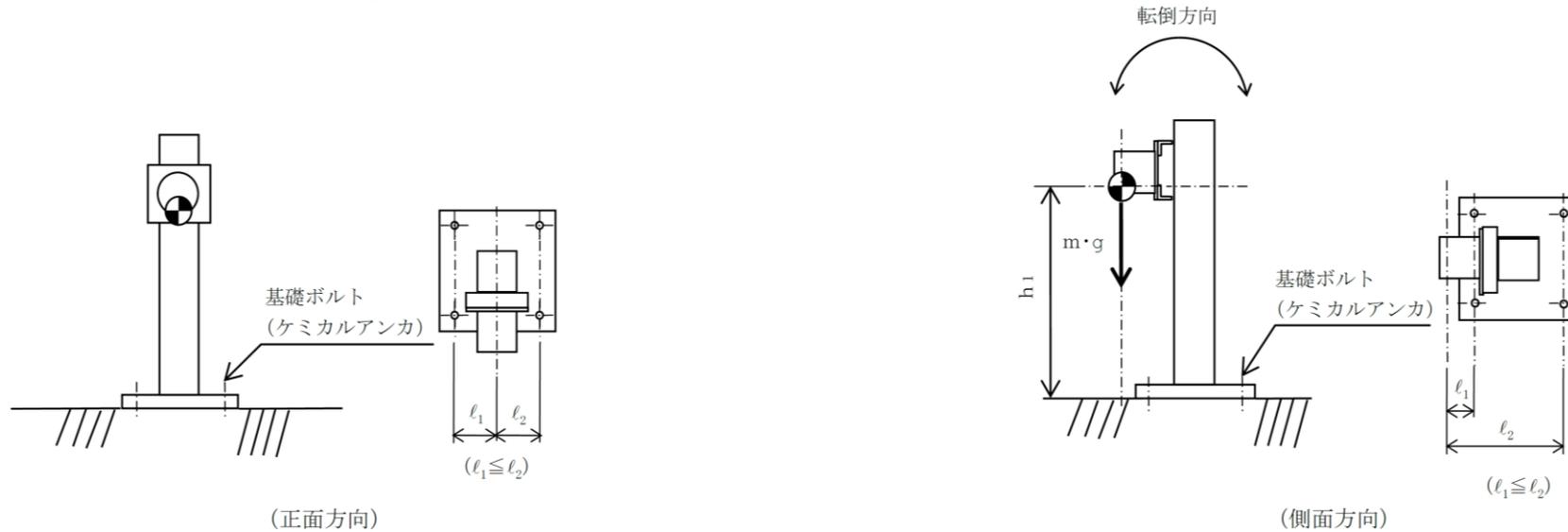
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器水位 (LX2B3-2D)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-1-3 スクラバ容器圧力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. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-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、スクラバ容器圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

スクラバ容器圧力は、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氣的機能維持評価を示す。

なお、スクラバ容器圧力は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計器スタンションであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

スクラバ容器圧力の構造計画を表 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																					
<p>検出器は、計器取付ボルトにて計器取付板に固定され、計器取付板は、取付板取付ボルトにて計器スターションに固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>【スクラバ容器圧力】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A)</th> <th>スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B)</th> <th>スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C)</th> <th>スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>	機器名称	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A)	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B)	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C)	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D)	たて					横					高さ				
機器名称	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A)	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B)	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C)	スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D)																		
たて																						
横																						
高さ																						

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

スクラバ容器圧力の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期

(単位：s)

スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D)	水平	
	鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

スクラバ容器圧力の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 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行う。

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

スクラバ容器圧力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 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

スクラバ容器圧力の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

スクラバ容器圧力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 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C) の耐震性についての計算結果】、【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D) 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。

表 4-1 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
計測制御 系統施設	計測装置	スクラバ容器圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：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 4-2 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	せん断
IVAS	1.5・f _t * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	1.5・f _s * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
VAS		

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 4-3 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 (°C)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16 mm)	周囲環境温度	60	237	389	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

スクラバ容器圧力の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 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行う。

計器スタンションに設置される検出器の水平方向の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。計器スタンションに設置される検出器の鉛直方向の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表5-1に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C)	水平	
	鉛直	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

スクラバ容器圧力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，電氣的機能を維持できることを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A) 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 (°C)
			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	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL. 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		693	12 (M12)	113.1	4	237 (径≦16mm)	389 (径≦16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	50	150	2	—	272	—	側面方向
	20	180	2				

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

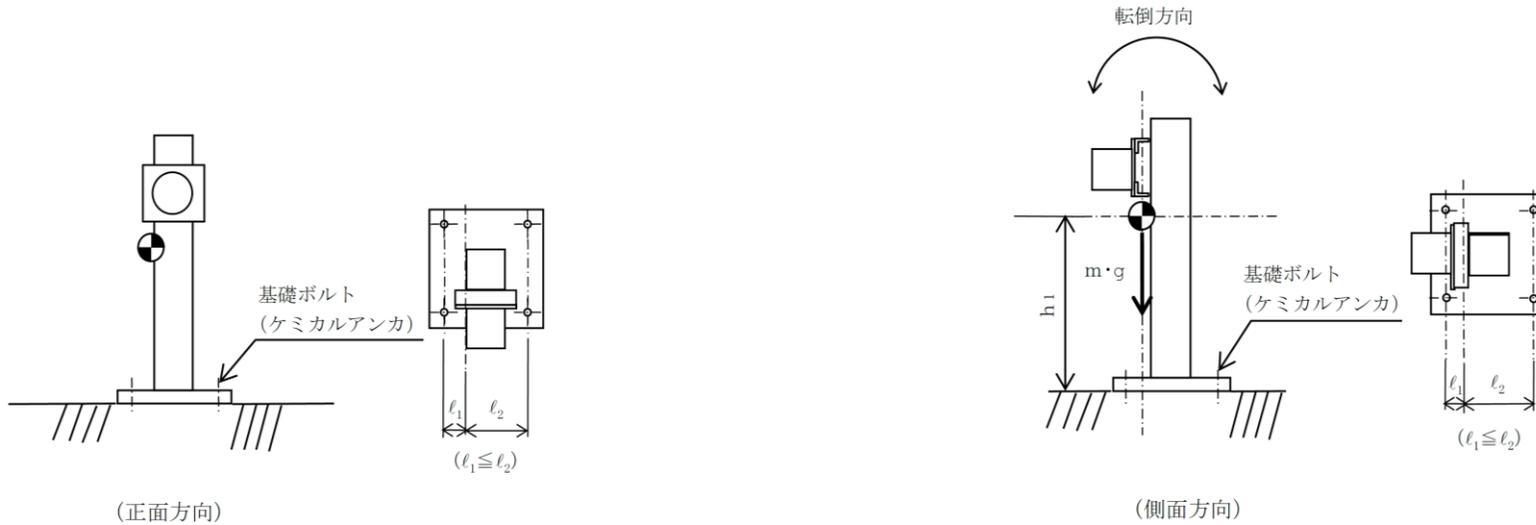
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1A)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

11



【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B) 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 (°C)
			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	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL. 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		693	12 (M12)	113.1	4	237 (径≦16mm)	389 (径≦16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	50	150	2	—	272	—	側面方向
	20	180	2				

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

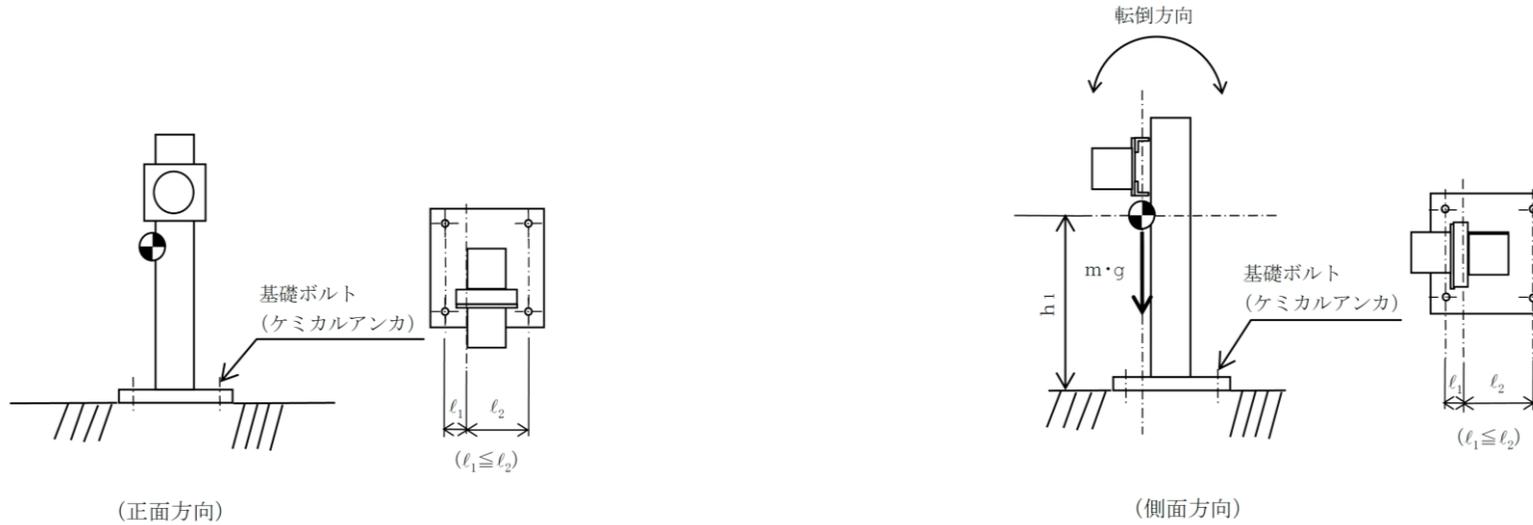
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1B)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C) 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 (°C)
			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	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL. 2.7* ¹			—	—	C _H =3.60* ²	C _V =5.97* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		693	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	50	150	2	—	272	—	側面方向
	20	180	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

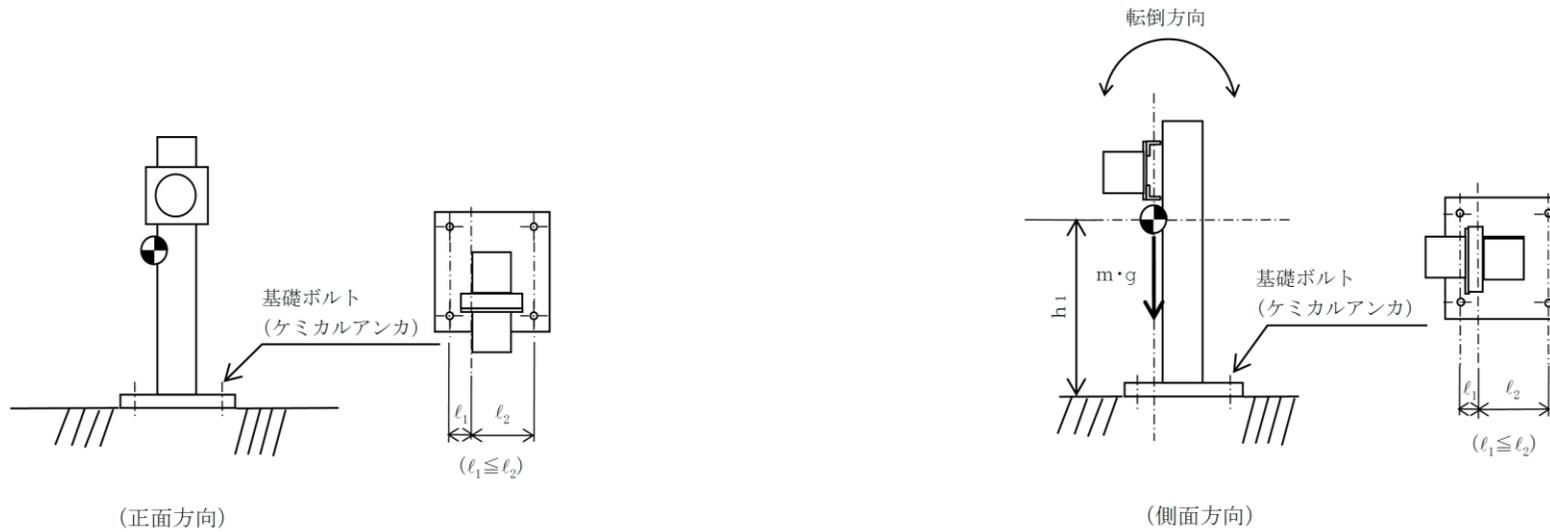
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1C)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D) 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 (°C)
			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	
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL. 2.7*1			—	—	C _H =3.60*2	C _V =5.97*2	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		693	12 (M12)	113.1	4	237 (径≤16mm)	389 (径≤16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	50	150	2	—	272	—	側面方向
	20	180	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

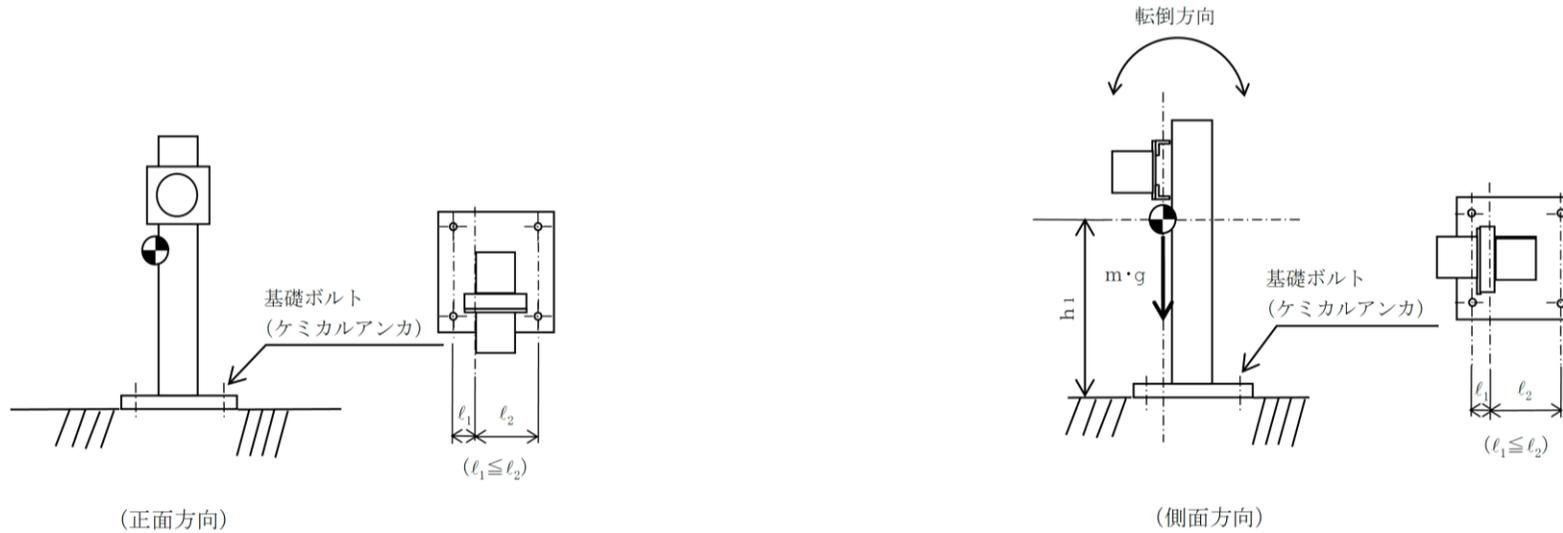
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラバ容器圧力 (PX2B3-1D)	水平方向	1.33	
	鉛直方向	2.21	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-3 通信連絡設備の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-3-3 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備
の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-3-3-5 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテ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 適用規格・基準等	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. 固有周期	8
4.1 固有値解析方法	8
4.2 解析モデル及び諸元	8
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	18
6. 機能維持評価	19
6.1 電氣的機能維持評価方法	19
7. 評価結果	20
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	20

1. 概要

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナは、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対象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以外の常設重大事故等対処設備に分類され、VI-1-1-11

「通信連絡設備に関する説明書」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

本計算書は、VI-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、統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナが基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>パラボラアンテナは、取付金具にてアンテナ支持架台に固定する。アンテナ支持架台、補助支持柱は、基礎ボルトにて基礎に設置する。</p> <p>ODU（給電部支持板含む）とパラボラアンテナは、ステー及びアームにて連結する。</p>	<p>パラボラアンテナ</p>	<p>The diagram illustrates the structural design of a parabolic antenna system. It consists of two main views: a front view (正面図) and a side view (側面図). In the front view, a large parabolic dish is shown mounted on a base (基礎) using foundation bolts (基礎ボルト). The dish is supported by a frame structure. A rectangular box above the dish indicates its width, and another box to the right indicates its height. The side view shows the antenna (パラボラアンテナ) mounted on an antenna support frame (アンテナ支持架台) using mounting brackets (取付金具). This frame is connected to a power supply support plate (給電部支持板) via struts (ステー) and arms (アーム). The power supply support plate is mounted on a base (基礎) using foundation bolts (基礎ボルト). An auxiliary support column (補助支持柱) is also shown supporting the structure. The ODU (On-Unit Display) is also indicated. A rectangular box above the antenna indicates its width, and another box to the right indicates its height. Labels in the diagrams include: 基礎 (Foundation), 基礎ボルト (Foundation Bolt), 給電部支持板 (Power Supply Support Plate), ステー及びアーム (Struts and Arms), 補助支持柱 (Auxiliary Support Column), アンテナ支持架台 (Antenna Support Frame), 取付金具 (Mounting Bracket), and パラボラアンテナ (Parabolic Antenna). (正面図) (Front View) and (側面図) (Side View) are labeled at the bottom of their respective diagrams. (単位：mm) (Unit: mm) is noted at the bottom right.</p>

2.2 評価方針

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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」にて示す統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 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、「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、統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「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「7. 評価結果」に示す。

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの耐震評価フローを図2-1に示す。

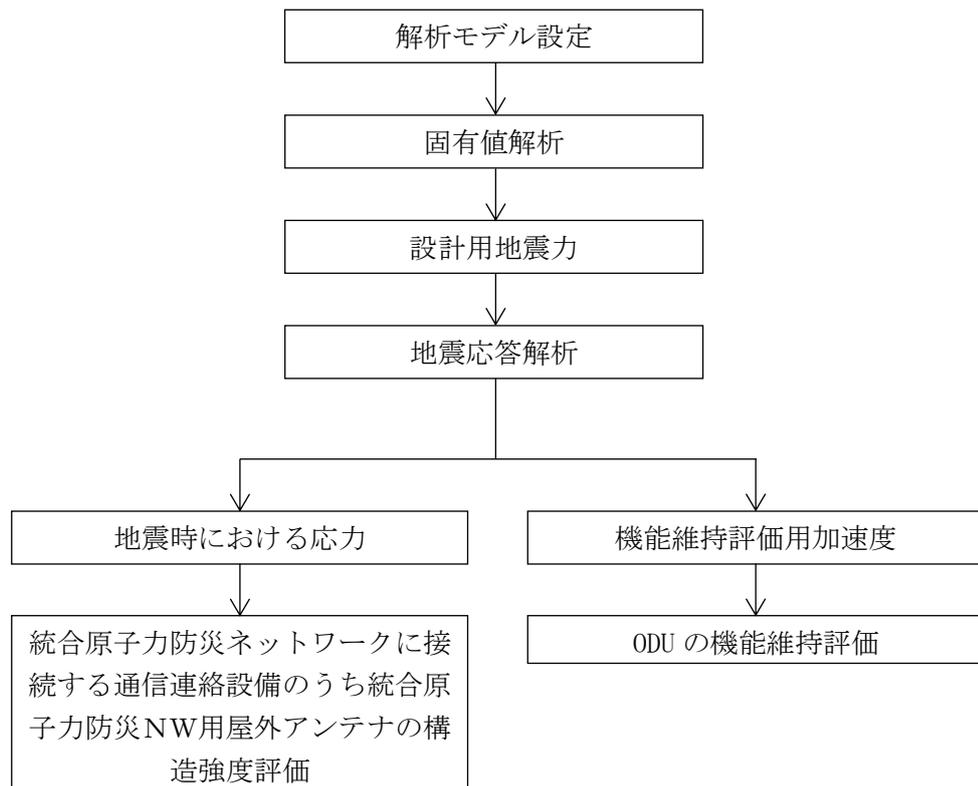


図2-1 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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_{bi}	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_i	基礎ボルトの呼び径*	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値*	MPa
F_{bi}	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）*	N
F_{xi}	基礎ボルトに作用する力（x方向）*	N
F_{yi}	基礎ボルトに作用する力（y方向）*	N
F_{zi}	基礎ボルトに作用する力（z方向）*	N
f_{sbi}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力*	MPa
f_{toi}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力*	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）*	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
l_i	ボルト間距離*	mm
m	質量	kg
n_i	基礎ボルトの本数*	—
Q_{bi}	基礎ボルトに作用するせん断力*	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*	MPa
S_{yi}	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°Cにおける値*	MPa
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_{bi}	基礎ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ_{bi}	基礎ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*： A_{bi} 、 d_i 、 F_i^* 、 F_{bi} 、 F_{xi} 、 F_{yi} 、 F_{zi} 、 f_{sbi} 、 f_{toi} 、 f_{tsi} 、 l_i 、 n_i 、 Q_{bi} 、 S_{ui} 、 S_{yi} 、 $S_{yi}(RT)$ 、 σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$ ：アンテナ支持架台基礎ボルト

$i=2$ ：補助支持柱基礎ボルト

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 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
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
速度圧	N/m ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
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

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ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 固有値解析方法

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示すソリッド要素でモデル化した FEM モデルとする。

4.2 解析モデル及び諸元

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ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。

- (1) 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの質量は、実際の形状及び位置を考慮して付加する。
- (2) 拘束条件は、基礎ボルト固定部の並進方向を拘束する。なお、基礎ボルトは剛体として評価する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 解析コードは、「ANSYS」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

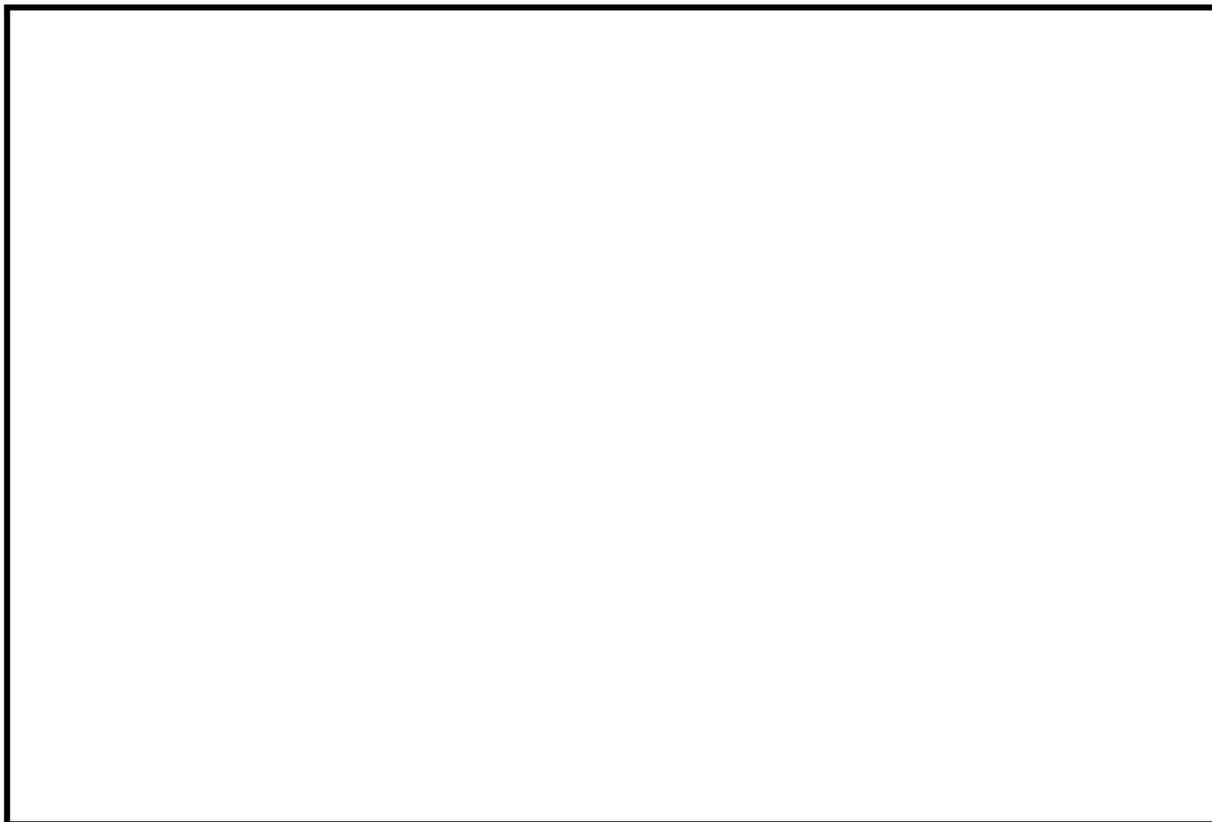


図4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表4-1，振動モード図を図4-2に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平方向		—	—	—

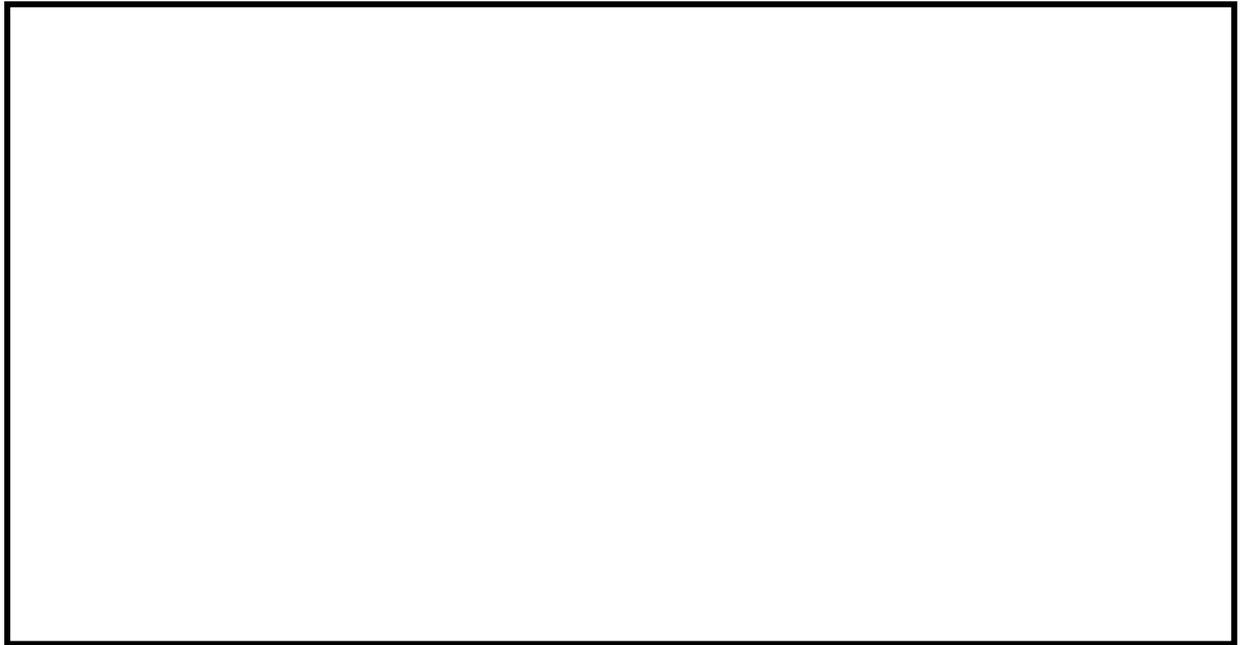


図 4-2 振動モード (1 次モード 水平方向 s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナに対して水平方向及び鉛直方向から同時に作用させる。
- (2) 地震力により基礎ボルトに生じる荷重は、x 及び y 方向地震力の入力により発生する荷重と z 及び y 方向の地震力入力により発生する荷重を S R S S 法により組み合わせて算出する。
- (3) 風荷重は、計算条件が厳しくなる方向からアンテナ各部に分布荷重として作用させ、また、ODU には集中荷重として作用させる。
- (4) 地震力による解析と風荷重による解析は別々に実施する。荷重は、地震力により基礎ボルトに生じる荷重と風荷重により基礎ボルトに生じる荷重を絶対値和にて組み合わせる。

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

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ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

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ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 5-3 に示す。

5.2.4 風荷重

風荷重は、風速 30 m/s を上回る風速を使用し、統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの形状、風向きを踏まえ算出する。風荷重の算出の基準となる基準速度圧を表 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
計測制御 系統施設	その他の計 測制御系統 施設	統合原子力防災ネットワ ークに接続する通信連絡設備 のうち統合原子力防災NW 用屋外アンテナ	常設／その他	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s + P_K^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備を示す。

*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：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K$ 」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	せん断
IVAS	1.5・f _t * 1.5・f _s *	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 5-3 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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (アンテナ支持架台)	SNR400B* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—
基礎ボルト (補助支持柱)	SNR400B* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

注記* : SS400 相当

表 5-4 基準速度圧

(単位 : N/m²)

作用する部位	基準速度圧
統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ	3.924×10 ³

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-別添 3-2「可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に基づき設定する。

表 5-5 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
第 1 保管エリア EL 50.0* ¹		0.05 以下	—	—	C _H =2.05* ²	C _V =1.25* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの荷重の計算方法

基礎ボルトの荷重は，ソリッドモデルによる個別解析から基礎ボルトの内力を求めて，その結果を用いて手計算にて計算する。

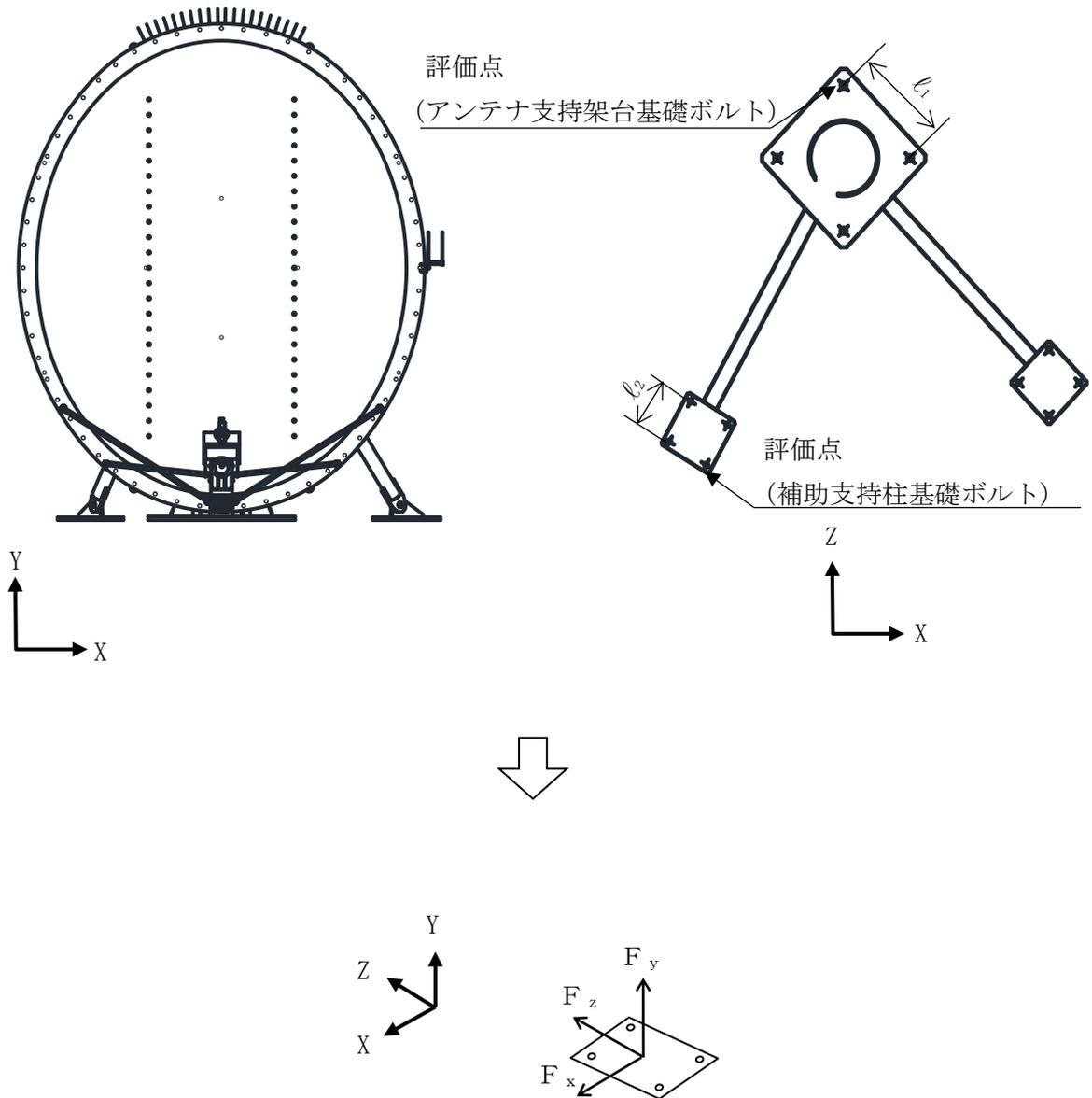


図 5-1 計算モデル (基礎ボルト)

個別解析によって得られた基礎ボルトの評価点の最大荷重を表5-6に示す。

表5-6 基礎ボルト発生荷重

対象機器	荷重(N)		
	F _{x i}	F _{y i}	F _{z i}
統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ (i = 1)			
統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ (i = 2)			

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は、下式により計算する。

引張力

$$F_{b i} = F_{y i} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_{b i} = \sqrt{F_{z i}^2 + F_{x i}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ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 基礎ボルトの応力評価

5.4.1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組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

f_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-別添 3-2「可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式のODU単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
ODU	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ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、電氣的機能を維持できることを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ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 (°C)
			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	
統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナ	常設/その他	第1保管エリア EL 50.0* ¹		0.05 以下	—	—	C _H =2.05* ²	C _V =1.25* ²	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	ℓ _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)		550	27 (M27)	572.6	4	215 (40mm < 径 ≤ 100mm)	400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	258
基礎ボルト (i=2)		250	16 (M16)	201.1	8	215 (40mm < 径 ≤ 100mm)	400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	258

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{x i}$		$F_{y i}$		$F_{z i}$	
	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)	—		—		—	
基礎ボルト (i =2)	—		—		—	

(単位：N)

部材	$F_{b i}$		$Q_{b i}$	
	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)	—		—	
基礎ボルト (i =2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(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 (i=1)	SNR400B	引張	—	—	$\sigma_{b1}=65$	$f_{ts1}=193^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=38$	$f_{sb1}=148$
基礎ボルト (i=2)	SNR400B	引張	—	—	$\sigma_{b2}=37$	$f_{ts2}=193^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=46$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

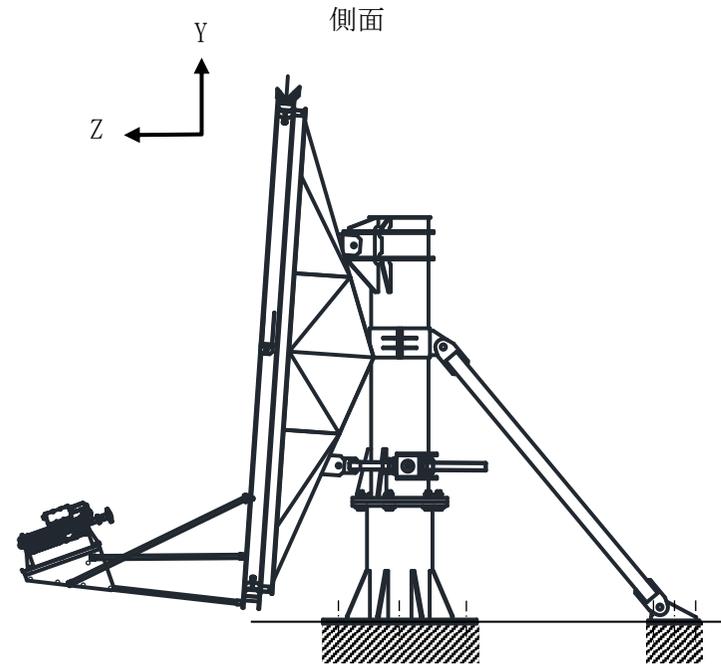
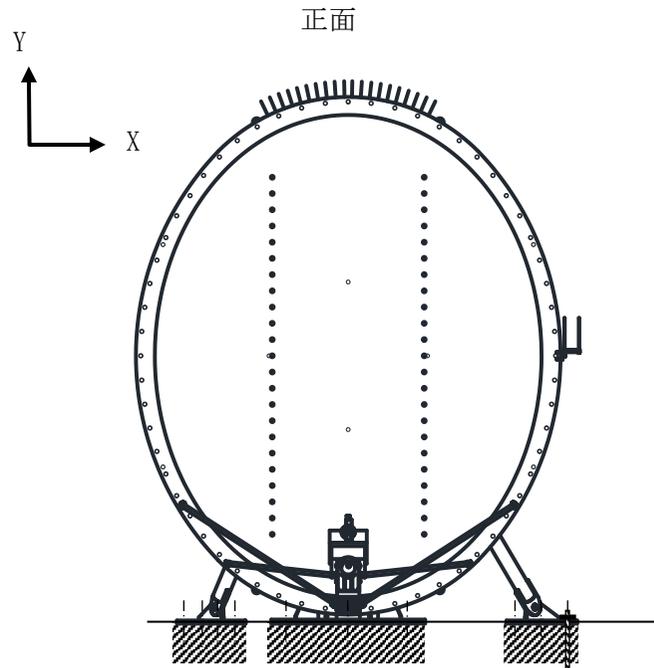
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ODU	水平方向	1.04	
	鉛直方向	0.77	

注記*: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度
機能維持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

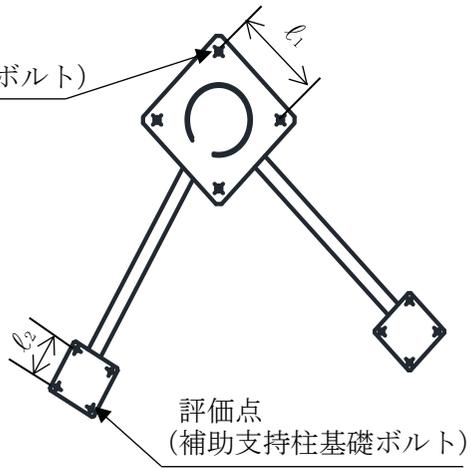
項目			記号	単位	入力値
部位	材質				
パラボラアンテナ	A1100P-0	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
	A5052P-H112	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
	A5052P-0	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
	A6063TE-T5	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
	A5052P-H34	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
	A6063S-T5	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
	SUS304	縦弾性係数	E	MPa	1.93×10^5
		ポアソン比	ν	—	0.30
SS400	縦弾性係数	E	MPa	2.05×10^5	
	ポアソン比	ν	—	0.30	
STK400	縦弾性係数	E	MPa	2.05×10^5	
	ポアソン比	ν	—	0.30	
給電部支持板	A5052P-H34	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
アーム	A6063S-T5	縦弾性係数	E	MPa	7.00×10^4
		ポアソン比	ν	—	0.33
	SUS304	縦弾性係数	E	MPa	1.93×10^5
		ポアソン比	ν	—	0.30
ステー	SUS304	縦弾性係数	E	MPa	1.93×10^5
		ポアソン比	ν	—	0.30
アンテナ支持架台	SS400	縦弾性係数	E	MPa	2.05×10^5
		ポアソン比	ν	—	0.30
	STK400	縦弾性係数	E	MPa	2.05×10^5
		ポアソン比	ν	—	0.30
補助支持柱	SS400	縦弾性係数	E	MPa	2.05×10^5
		ポアソン比	ν	—	0.30
	STK400	縦弾性係数	E	MPa	2.05×10^5
		ポアソン比	ν	—	0.30
温度条件 (雰囲気温度)			T	℃	40
質量			m	kg	
要素数			—	個	
節点数			—	個	

注記*：総質量を示す。



基礎ボルト

評価点
(アンテナ支持架台基礎ボルト)



評価点
(補助支持柱基礎ボルト)

VI-2-8 放射線管理施設の耐震性に関する説明書

VI-2-8-2 放射線管理用計測装置の耐震性についての計算書

VI-2-8-2-7 第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 基本方針	8
4.2 固有周期の確認方法	8
4.3 固有周期の確認結果	8
5. 構造強度評価	9
5.1 構造強度評価方法	9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	21
6. 機能維持評価	22
6.1 電氣的機能維持評価方法	22
7. 評価結果	23
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	23

1. 概要

本計算書は、VI-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、第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより検出器用架台に固定され、検出器用架台は架台取付ボルトにより検出器収納箱に固定される。</p> <p>検出器収納箱は、収納箱取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。</p> <p>チャンネルベースはベース取付ボルトにて基礎架台に設置され、基礎架台は基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>電離箱</p>	<p>The diagram consists of two views: a front view (正面図) and a side view (側面図). The front view shows a detector assembly with a width of 920 mm and a height of 1194 mm. It includes labels for the detector housing (検出器収納箱), detector (検出器), detector frame (検出器用架台), housing mounting bolt (収納箱取付ボルト), channel base (チャンネルベース), base mounting bolt (ベース取付ボルト), and base frame (基礎架台). The side view shows a width of 620 mm and includes labels for the instrument mounting bolt (計器取付ボルト) and frame mounting bolt (架台取付ボルト). The entire assembly is mounted on a floor (床) using foundation bolts (基礎ボルト) and chemical anchors (ケミカルアンカ).</p> <p>(長辺方向) (短辺方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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」にて示す第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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」で測定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。また、第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「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「7. 評価結果」に示す。

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の耐震評価フローを図2-1に示す。

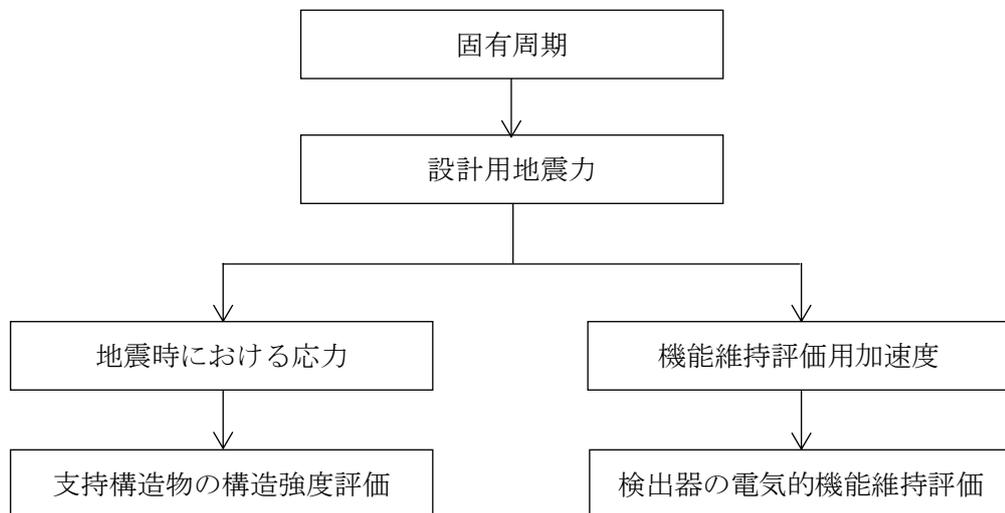


図2-1 第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本あたり）* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）* ¹	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
m_i	検出器収納箱の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	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* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa
P_k	風荷重	N
P_s	積雪荷重	N

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: ベース取付ボルト

$i = 3$: 収納箱取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ベース取付ボルト取付面

$i = 3$: 収納箱取付ボルト取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字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
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	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
速度	m/s	—	—	小数点以下第1位
速度圧	N/m ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2

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

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、ベース取付ボルト及び収納箱取付ボルトについて実施する。

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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 基本方針

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、固有周期を確認する。第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の外形図を表2-1の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表4-1に示す。試験の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-1 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 検出器収納箱の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は検出器収納箱に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 検出器収納箱は基礎ボルト、ベース取付ボルト及び収納箱取付ボルトで床面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 検出器収納箱の重心位置については、転倒方向を考慮して、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。
- (6) 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

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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5-3に示す。

5.2.4 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速30m/sを使用し、第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表5-4に示す。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の形状を踏まえ、算出する。算出した積雪荷重を表5-5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
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	第1ベントフィルタ 出口放射線モニタ (低レンジ)	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s + P_k + P_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_k + P_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：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：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_k + P_s$ 」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	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A 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 5-3 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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径≤16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—
ベース取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—
収納箱取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	50	198	504	205

表 5-4 基準速度圧（単位：N/m²）

作用する部位	基準速度圧
第1 ベントフィルタ出口 放射線モニタ（低レンジ） (RE295-29)	645.0

表 5-5 積雪荷重（単位：N）

作用する部位	積雪荷重
第1 ベントフィルタ出口 放射線モニタ（低レンジ） (RE295-29)	1.691×10 ³

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 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
第1ベント フィルタ 格納槽 EL 19.4 ^{*1}	□	□	—	—	$C_H=6.30^{*2}$	$C_V=4.68^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

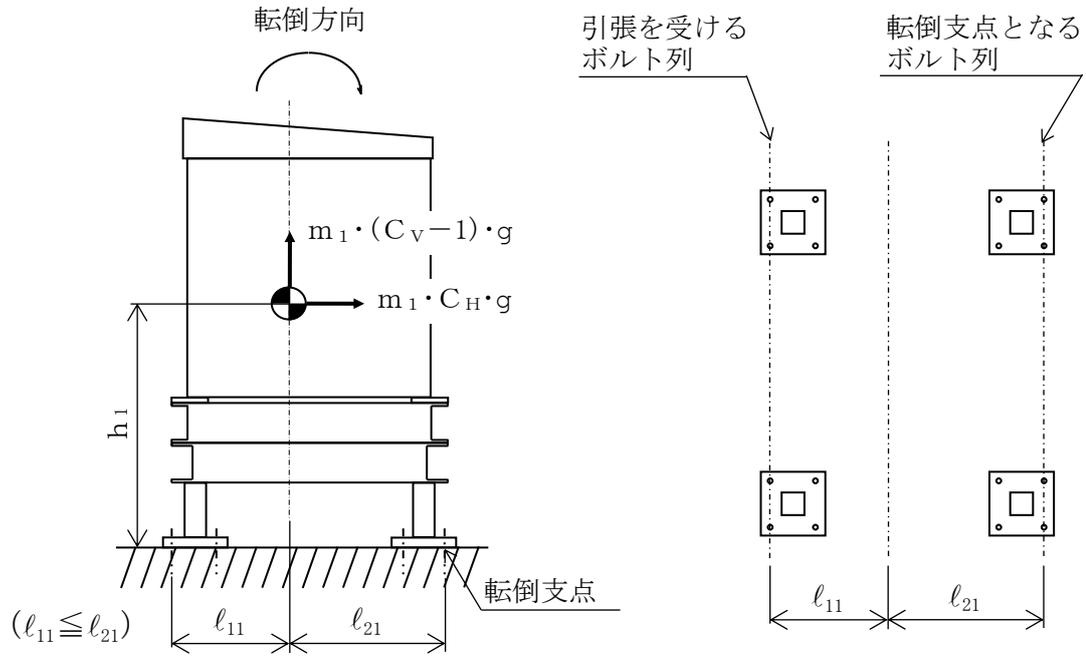


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

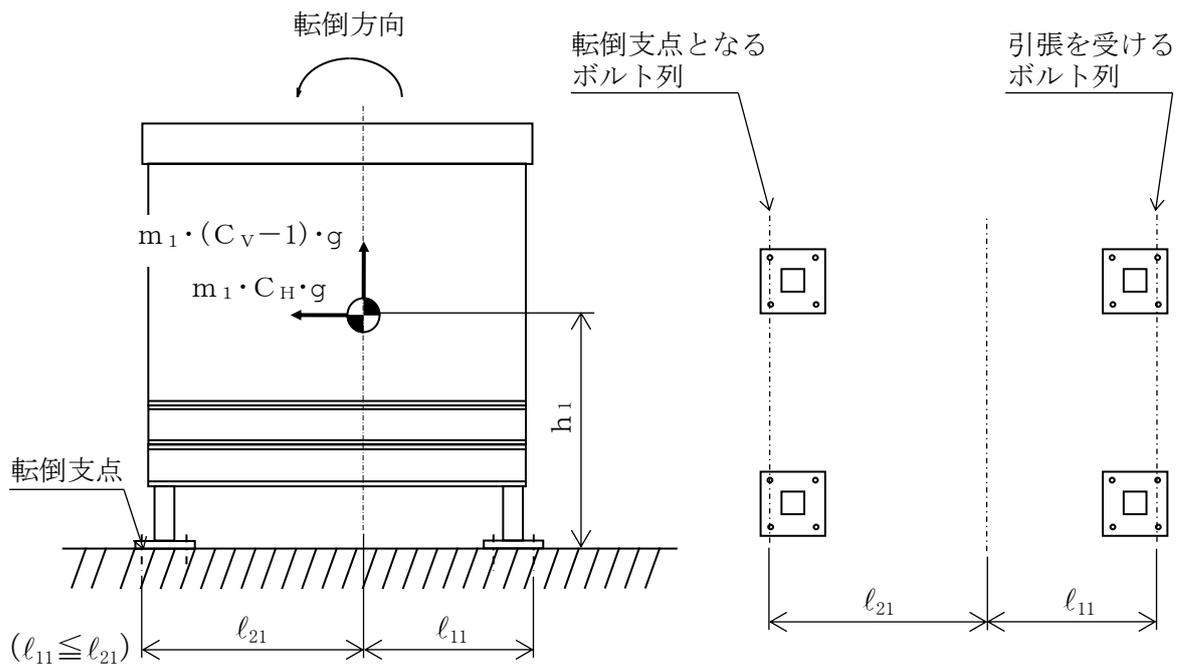


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(m_1 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot h_1 + P_k \cdot h_1}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} - \frac{(m_1 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{21}}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \quad \dots \quad (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots \quad (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots \quad (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = C_H \cdot (m_1 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) + P_k \quad \dots \quad (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots \quad (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ベース取付ボルトの計算方法

ベース取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

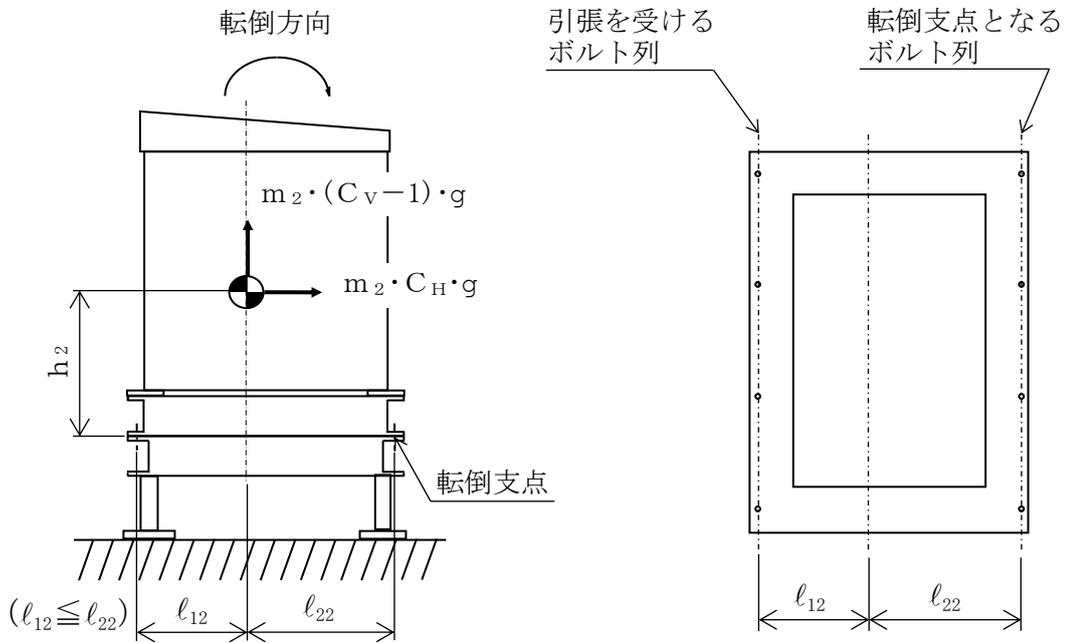


図5-3 計算モデル（短辺方向転倒）

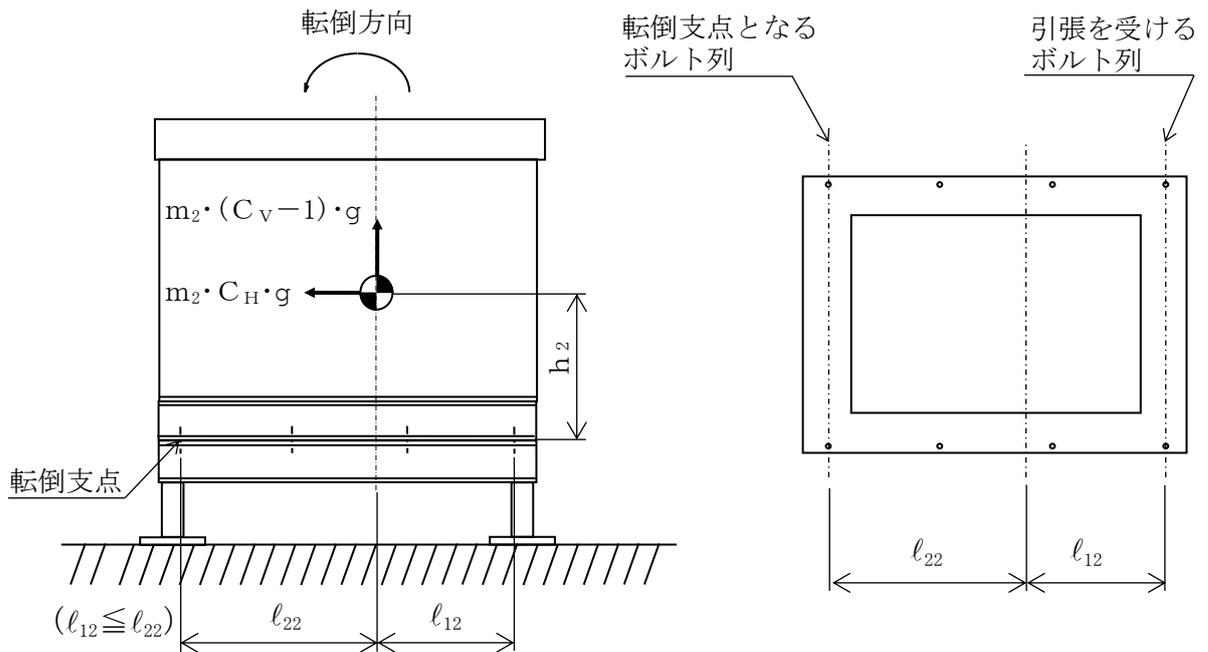


図5-4 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ベース取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(m_2 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot h_2 + P_k \cdot h_2}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} - \frac{(m_2 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{22}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad \dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、ベース取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

ベース取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = C_H \cdot (m_2 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) + P_k \quad \dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 収納箱取付ボルトの計算方法

収納箱取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

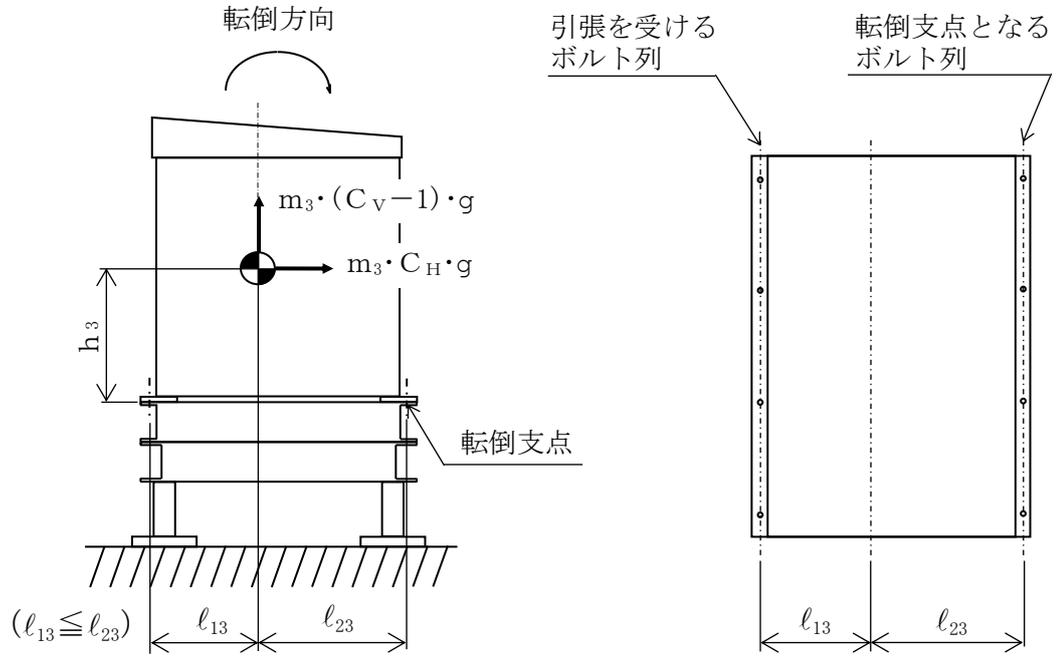


図5-5 計算モデル（短辺方向転倒）

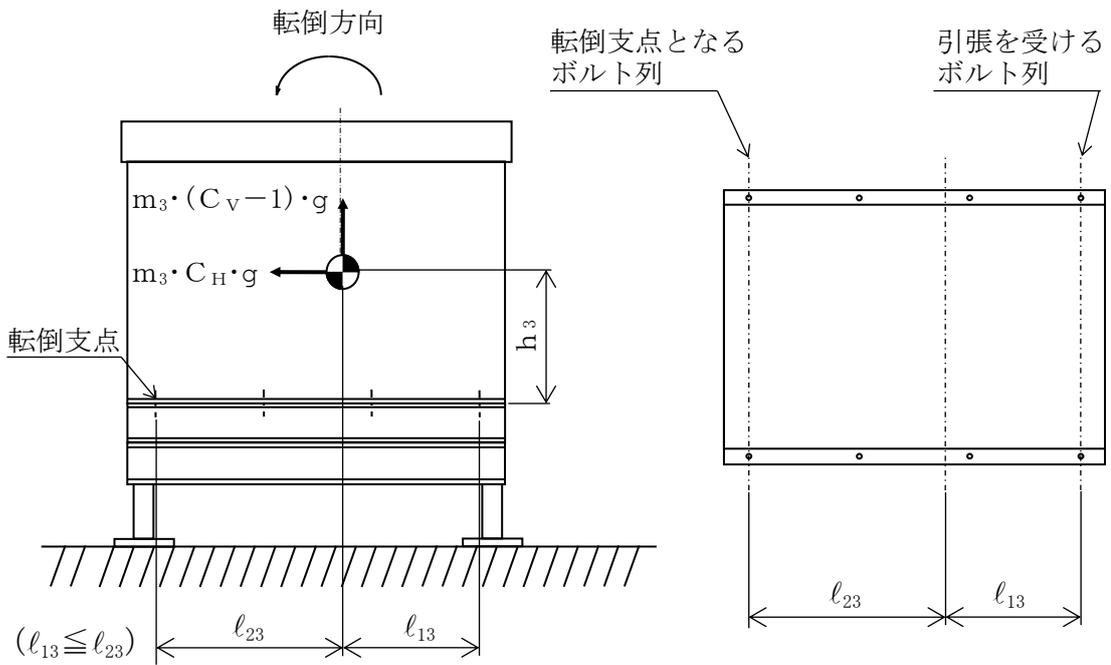


図5-6 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

収納箱取付ボルトに対する引張力は、図5-5及び図5-6でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b3} = \frac{(m_3 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot h_3 + P_k \cdot h_3}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} - \frac{(m_3 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 - C_V) \cdot l_{23}}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} \dots\dots (5.4.1.3.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、収納箱取付ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

(2) せん断応力

収納箱取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b3} = C_H \cdot (m_3 \cdot g + 0.35 \cdot P_s) + P_k \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）（RE295-29）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。

5.5.2 ベース取付ボルトの応力計算条件

ベース取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）（RE295-29）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。

5.5.3 収納箱取付ボルトの応力計算条件

収納箱取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）（RE295-29）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 ボルトの応力評価

5.4.1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組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	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_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (低レンジ) (RE295-29)	水平	□
	鉛直	□

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）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，電氣的機能を維持できることを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（低レンジ）（RE295-29）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 (°C)
			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	
第1ベントフィルタ 出口放射線モニタ (低レンジ) (RE295-29)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1ベントフィルタ格納槽 EL 19.4*1	□	□	—	—	C _H =6.30*2	C _V =4.68*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	□	823	12 (M12)	113.1	16	241 (径≤16mm)	394 (径≤16mm)
ベース取付ボルト (i=2)	□	440	16 (M16)	201.1	8	231 (16mm<径≤40mm)	394 (16mm<径≤40mm)
収納箱取付ボルト (i=3)	□	390	16 (M16)	201.1	8	198	504

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	P _k (N)	P _s (N)	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)	352.5	402.5	4	2.432×10 ³	1.691×10 ³	—	276	—	短辺方向
	437.5	517.5	4						
ベース取付ボルト (i=2)	305	355	4	2.432×10 ³	1.691×10 ³	—	276	—	長辺方向
	355	435	2						
収納箱取付ボルト (i=3)	300	360	4	2.432×10 ³	1.691×10 ³	—	205	—	長辺方向
	335	415	2						

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 _{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)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ベース取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
収納箱取付ボルト (i=3)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 (i=1)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=120$	$f_{ts1}=165^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=22$	$f_{sb1}=127$
ベース取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=58$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=159$
収納箱取付ボルト (i=3)	SUS304	引張	—	—	$\sigma_{b3}=50$	$f_{ts3}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=16$	$f_{sb3}=118$

すべて許容応力以下である。

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

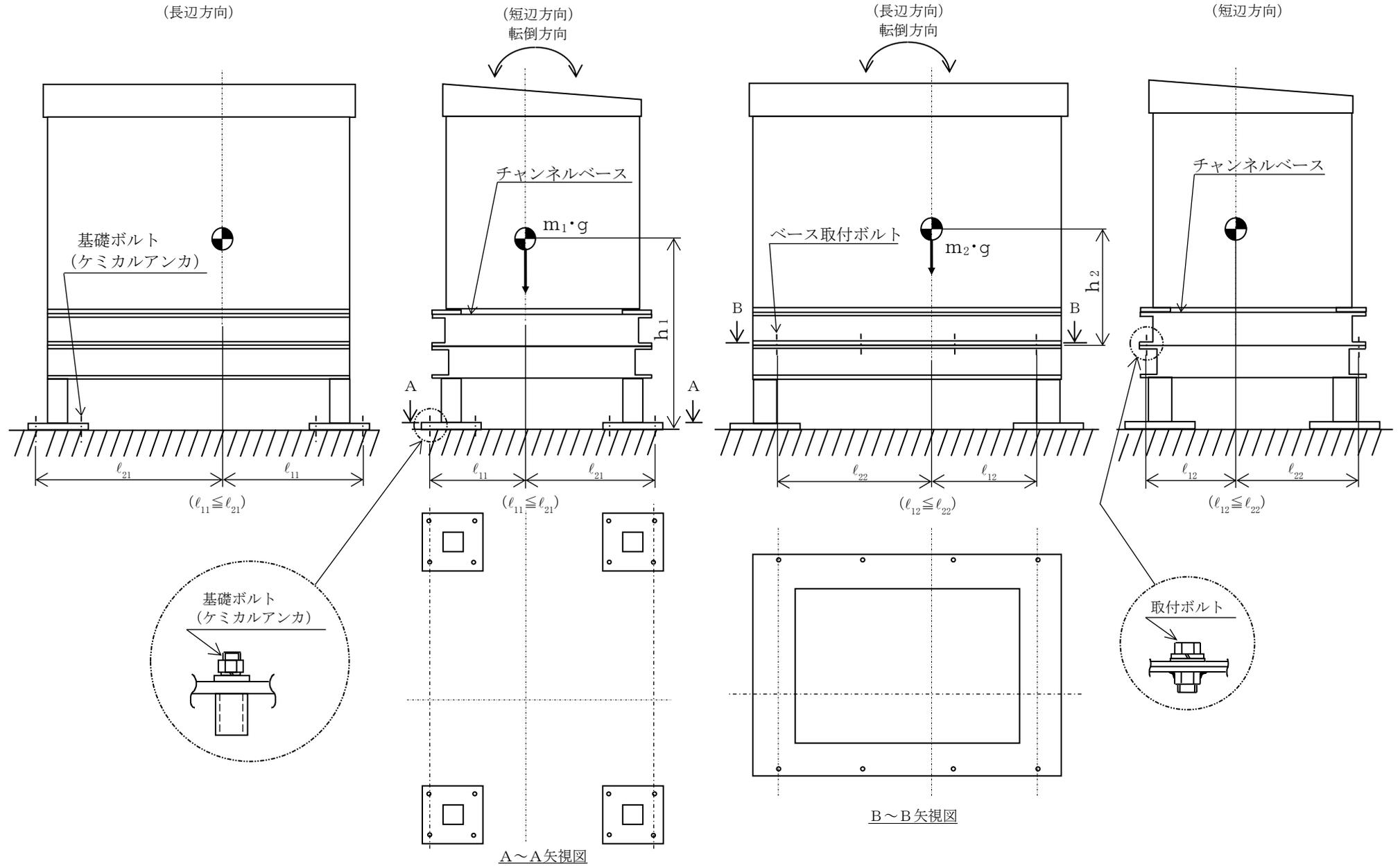
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

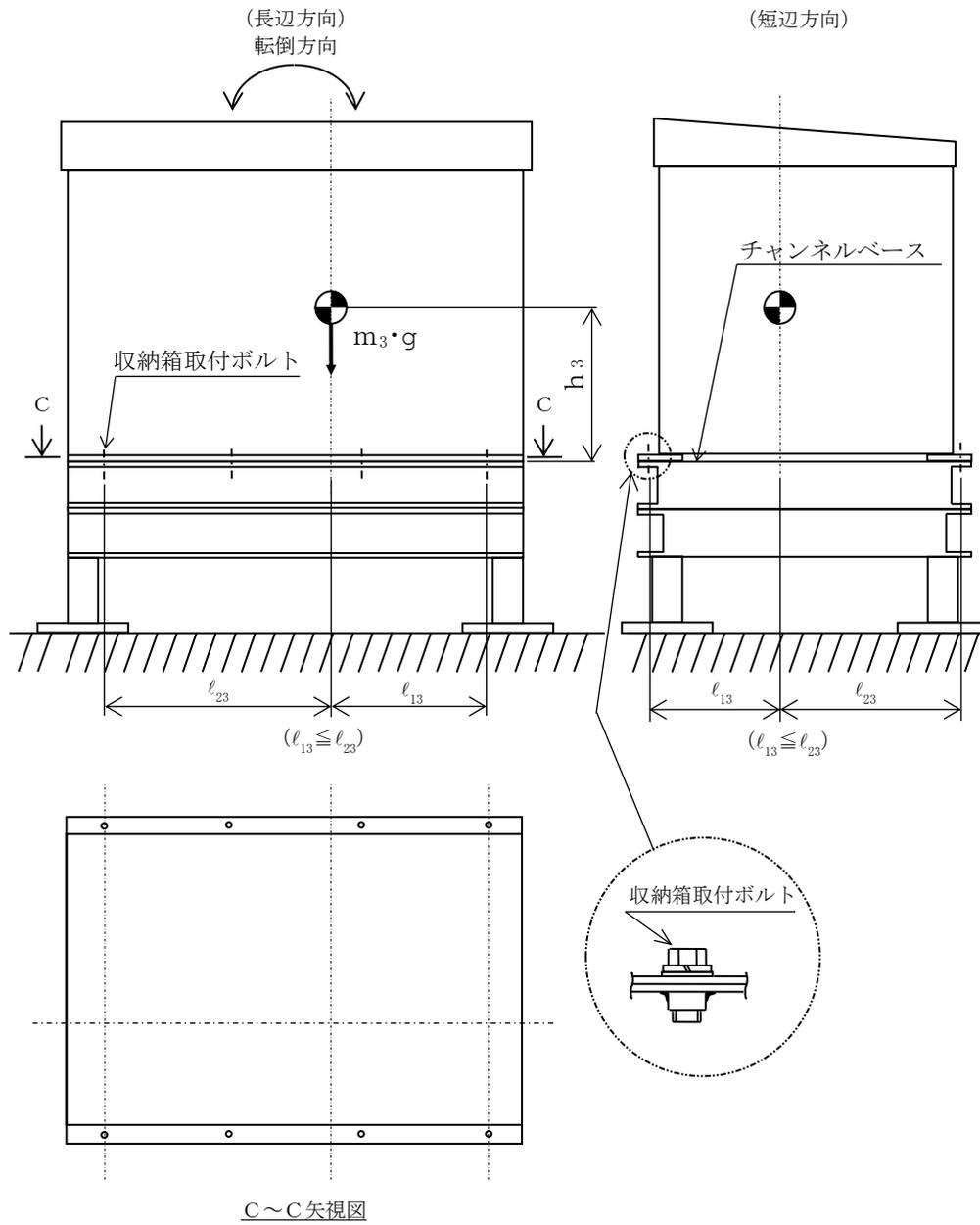
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
第1ベントフィルタ 出口放射線モニタ (低レンジ) (RE295-29)	水平方向	3.50	<input type="text"/>
	鉛直方向	2.60	<input type="text"/>

注記*：設計用震度II（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。





VI-2-8-2-8 第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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 適用規格・基準等	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. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の確認方法	7
4.3 固有周期の確認結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算方法	13
5.5 計算条件	15
5.6 応力の評価	16
6. 機能維持評価	17
6.1 電氣的機能維持評価方法	17
7. 評価結果	18
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、VI-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、第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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													
<p>検出器収納箱は、収納箱取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎架台に固定され、基礎架台は溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p> <p>検出器は、検出器取付ボルトにより検出器取付板に設置され、検出器取付板は、取付板取付ボルトにより検出器収納箱に設置する。</p>	<p>電離箱</p>	<p>(長辺方向) (短辺方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28A)</th> <th>第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>600</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>900</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>456</td> <td>456</td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位：mm)</p>	機器名称	第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28A)	第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28B)	たて	600	600	横	900	900	高さ	456	456
機器名称	第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28A)	第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28B)												
たて	600	600												
横	900	900												
高さ	456	456												

2.2 評価方針

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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」にて示す第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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」で測定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。また、第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「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「7. 評価結果」に示す。

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の耐震評価フローを図2-1に示す。

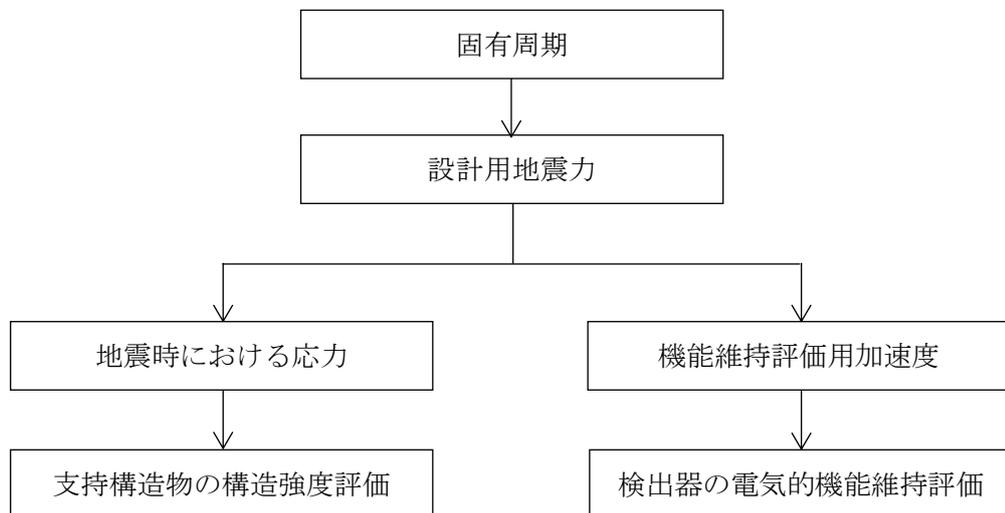


図2-1 第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 （（社）日本機械学会，2005/2007）（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_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) * ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	検出器収納箱の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	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* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 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
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	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

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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、耐震評価上厳しくなる収納箱取付ボルト（以下「取付ボルト」という。）について実施する。

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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 基本方針

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、固有周期を確認する。第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の外形図を表2-1の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表4-1に示す。試験の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-1 固有周期

(単位：s)

第1ベントフィルタ出口 放射線モニタ（高レンジ） (RE295-28A)	水平	
	鉛直	
第1ベントフィルタ出口 放射線モニタ（高レンジ） (RE295-28B)	水平	
	鉛直	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 検出器収納箱の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は検出器収納箱に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 検出器収納箱は取付ボルト及び基礎架台で天井に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 検出器収納箱の重心位置については、転倒方向を考慮して、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。
- (6) 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

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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5-3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
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	第1ベントフィルタ 出口放射線モニタ (高レンジ)	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1:「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備,「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: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 5-2 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	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A 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 5-3 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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	60	227	389	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	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
第 1 ベントフィルタ 出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28A)	第 1 ベント フィルタ 格納槽 EL 14.7*1	□	□	—	—	$C_H=6.30^{*2}$	$C_V=4.68^{*2}$
第 1 ベントフィルタ 出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28B)	第 1 ベント フィルタ 格納槽 EL 14.7*1	□	□	—	—	$C_H=6.30^{*2}$	$C_V=4.68^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

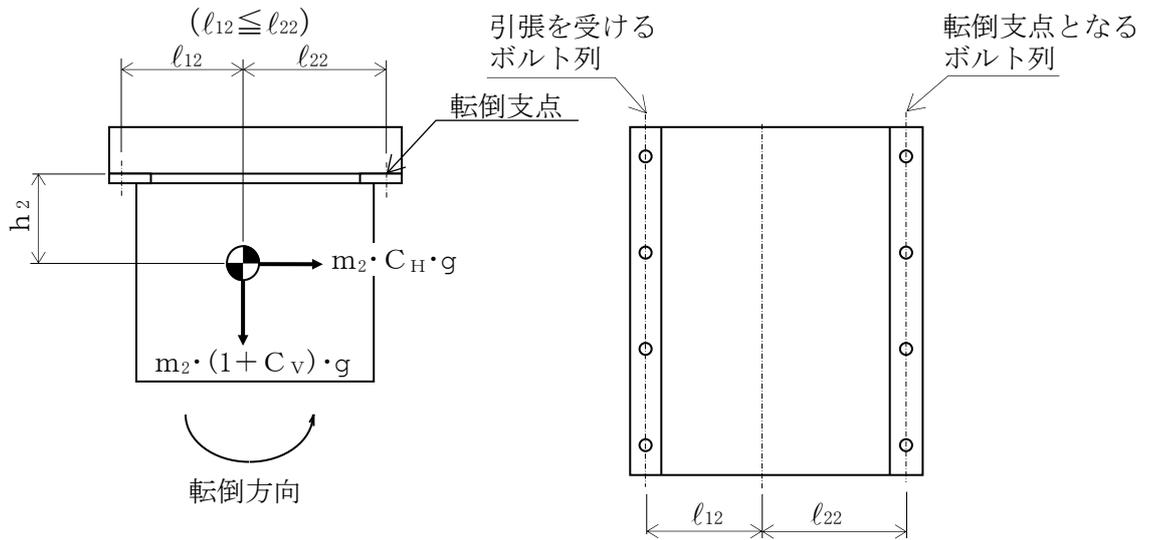


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

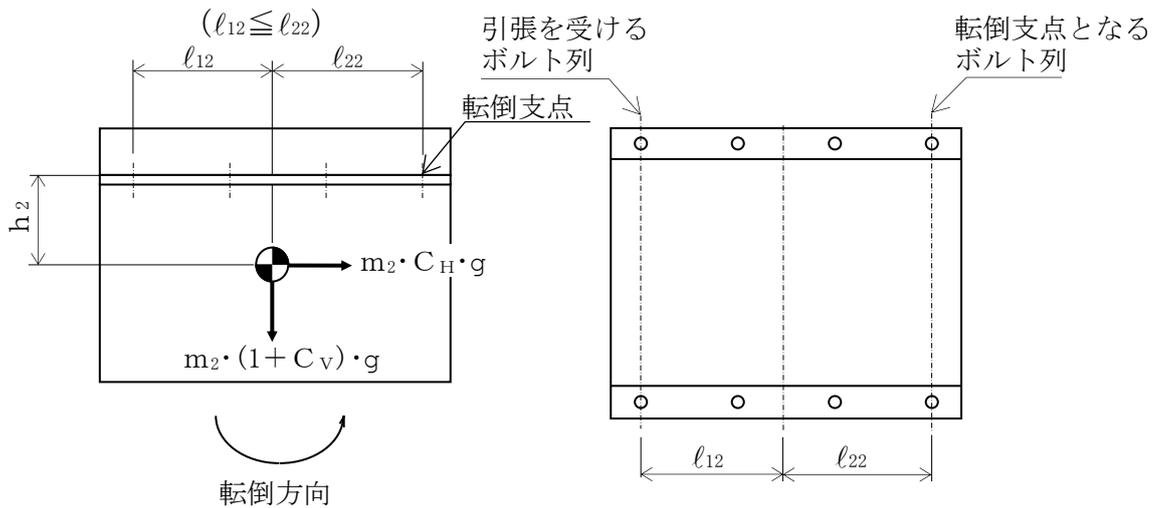


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれの取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (1 + C_V) \cdot l_{22} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{12} + l_{22})} \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）（RE295-28A）の耐震性についての計算結果】、【第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）（RE295-28B）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 ボルトの応力評価

5.4.1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組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	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_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似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最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28A)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>
第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28B)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）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，電氣的機能を維持できることを確認した。

(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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【第1ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）（RE295-28A）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 (°C)
			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	
第1ベントフィルタ 出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28A)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1ベントフィルタ格納槽 EL 14.7* ¹	□	□	—	—	C _H =6.30* ²	C _V =4.68* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)	□	209	16 (M16)	201.1	8	227 (16mm<径≤40mm)	389 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	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
取付ボルト (i=2)	326	334	4	—	272	—	長辺方向
	368	382	2				

注記*：取付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 i}		Q _{b i}	
	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
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=29$	$f_{ts2}=204^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=157$

すべて許容応力以下である。

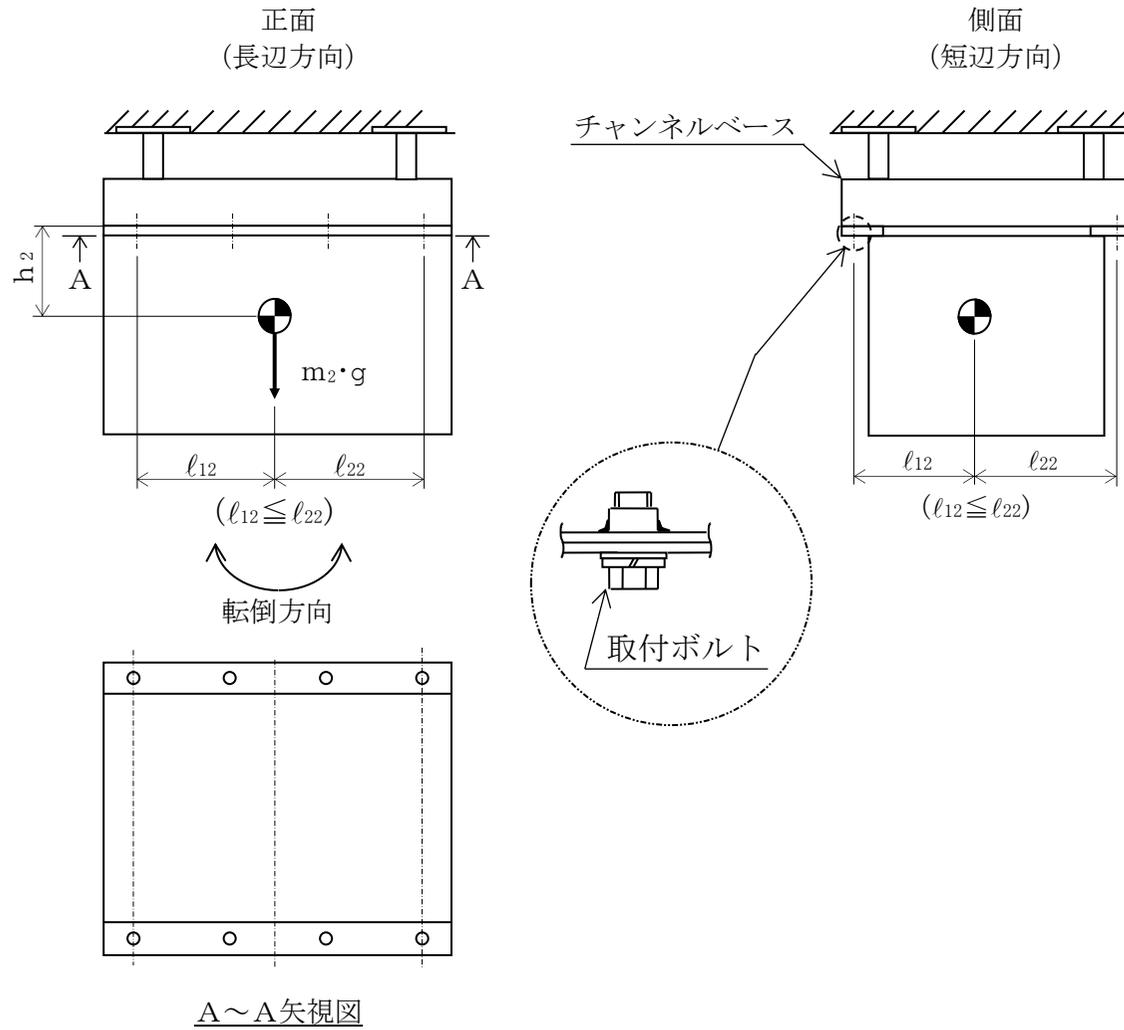
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
第1ベントフィルタ 出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28A)	水平方向	3.50	<input type="text"/>
	鉛直方向	2.60	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【第1 ベントフィルタ出口放射線モニタ（高レンジ）（RE295-28B）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 (°C)
			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	
第1 ベントフィルタ 出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28B)	常設耐震/防止 常設/緩和	第1 ベントフィルタ格納槽 EL 14.7* ¹	□	□	—	—	C _H =6.30* ²	C _V =4.68* ²	60

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)	□	209	16 (M16)	201.1	8	227 (16mm<径≦40mm)	389 (16mm<径≦40mm)

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	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
取付ボルト (i=2)	326	334	4	—	272	—	長辺方向
	368	382	2				

注記*：取付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 i}		Q _{b i}	
	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
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=29$	$f_{ts2}=204^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=157$

すべて許容応力以下である。

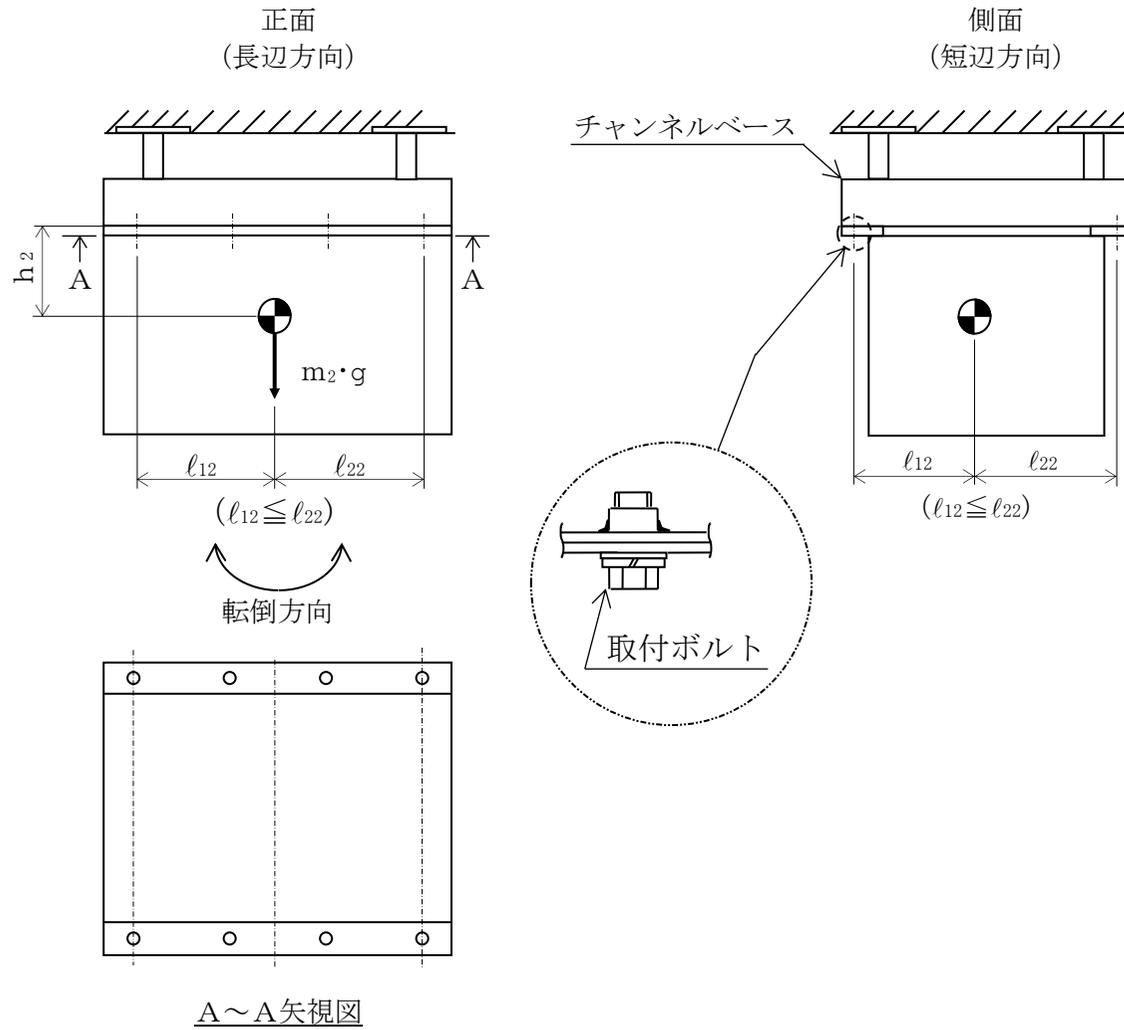
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
第1ベントフィルタ 出口放射線モニタ (高レンジ) (RE295-28B)	水平方向	3.50	<input type="text"/>
	鉛直方向	2.60	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-9 原子炉格納施設の耐震性に関する説明書

VI-2-9-4 圧力低減設備その他安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5 放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備
並びに格納容器再循環設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1 非常用ガス処理系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書
(非常用ガス処理系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	34
3.1 計算方法	34
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	35
3.3 設計条件	38
3.4 材料及び許容応力	51
3.5 設計用地震力	52
4. 解析結果及び評価	53
4.1 固有周期及び設計震度	53
4.2 評価結果	65
4.2.1 管の応力評価結果	65
4.2.2 支持構造物評価結果	67
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	68
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	69

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、非常用ガス処理系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全9モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

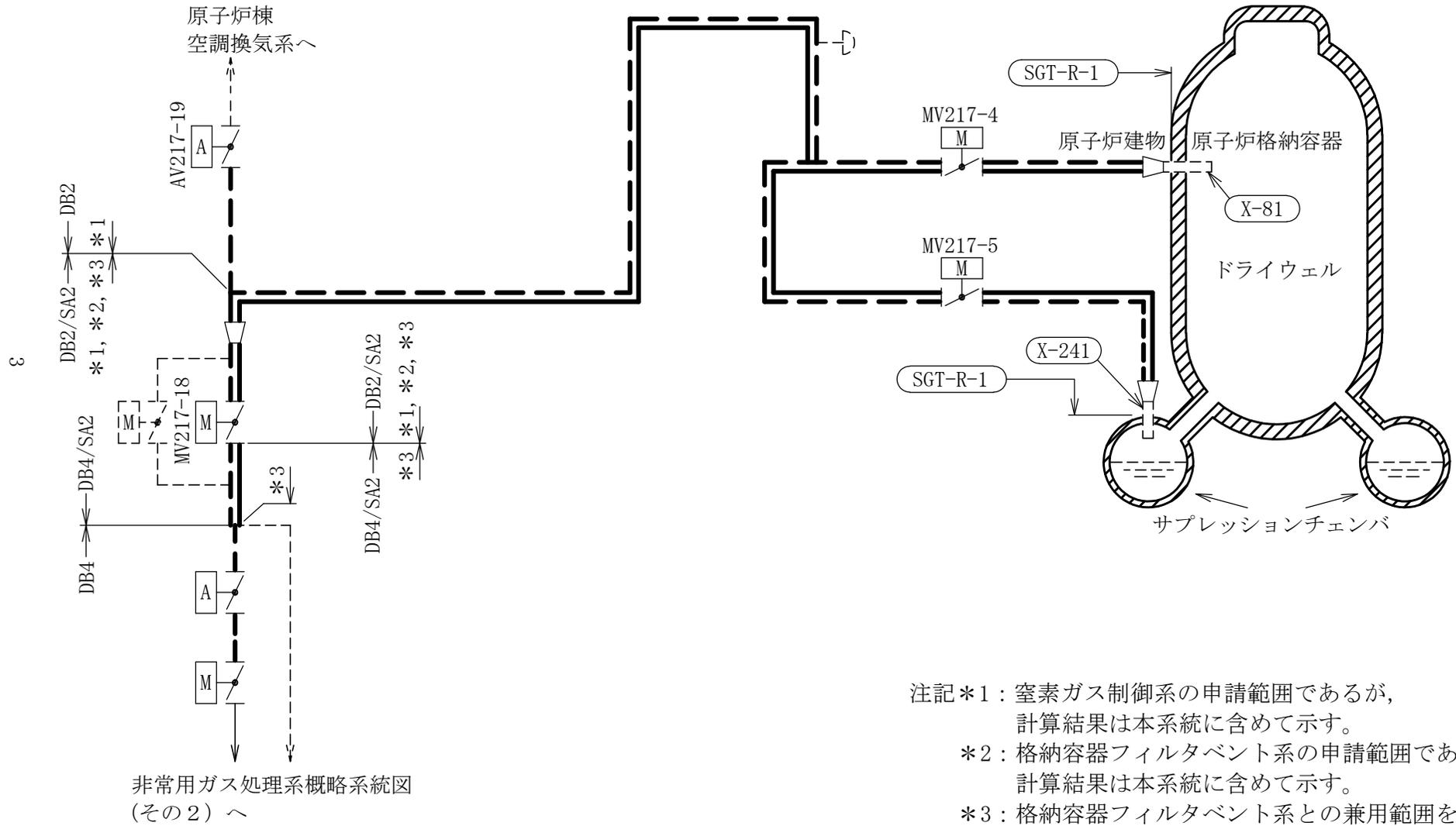
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

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

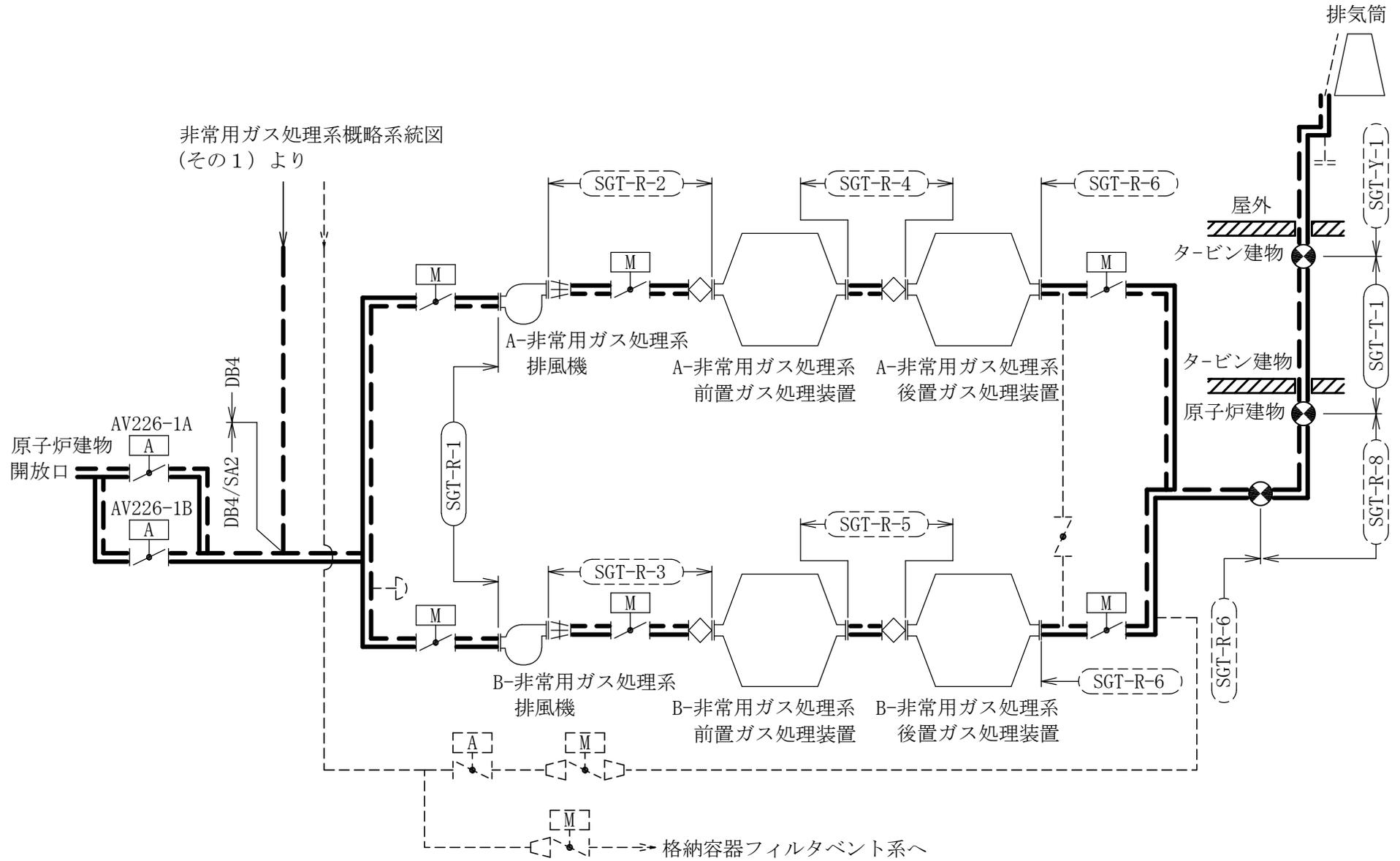
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



- 注記*1：窒素ガス制御系の申請範囲であるが、
計算結果は本系統に含めて示す。
- *2：格納容器フィルタベント系の申請範囲であるが、
計算結果は本系統に含めて示す。
- *3：格納容器フィルタベント系との兼用範囲を示す。

非常用ガス処理系概略系統図 (その1)

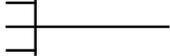
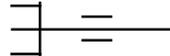
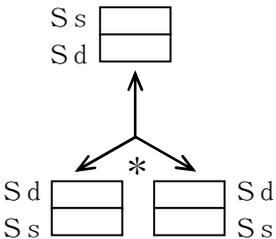
4



非常用ガス処理系概略系統図 (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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	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。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

9

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (1/12)

7

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (2/12)

∞

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (3/12)

6

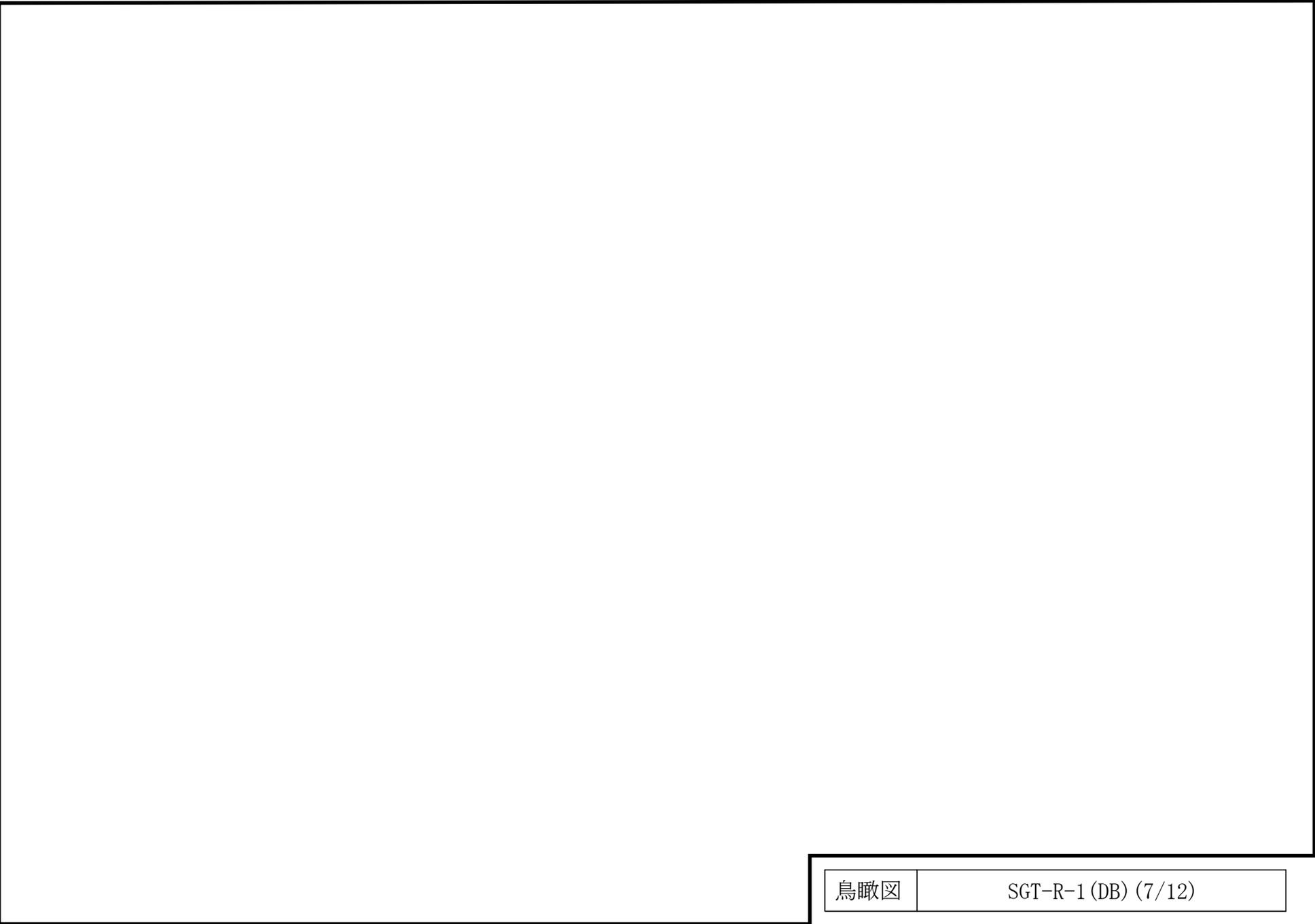
鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (4/12)

10

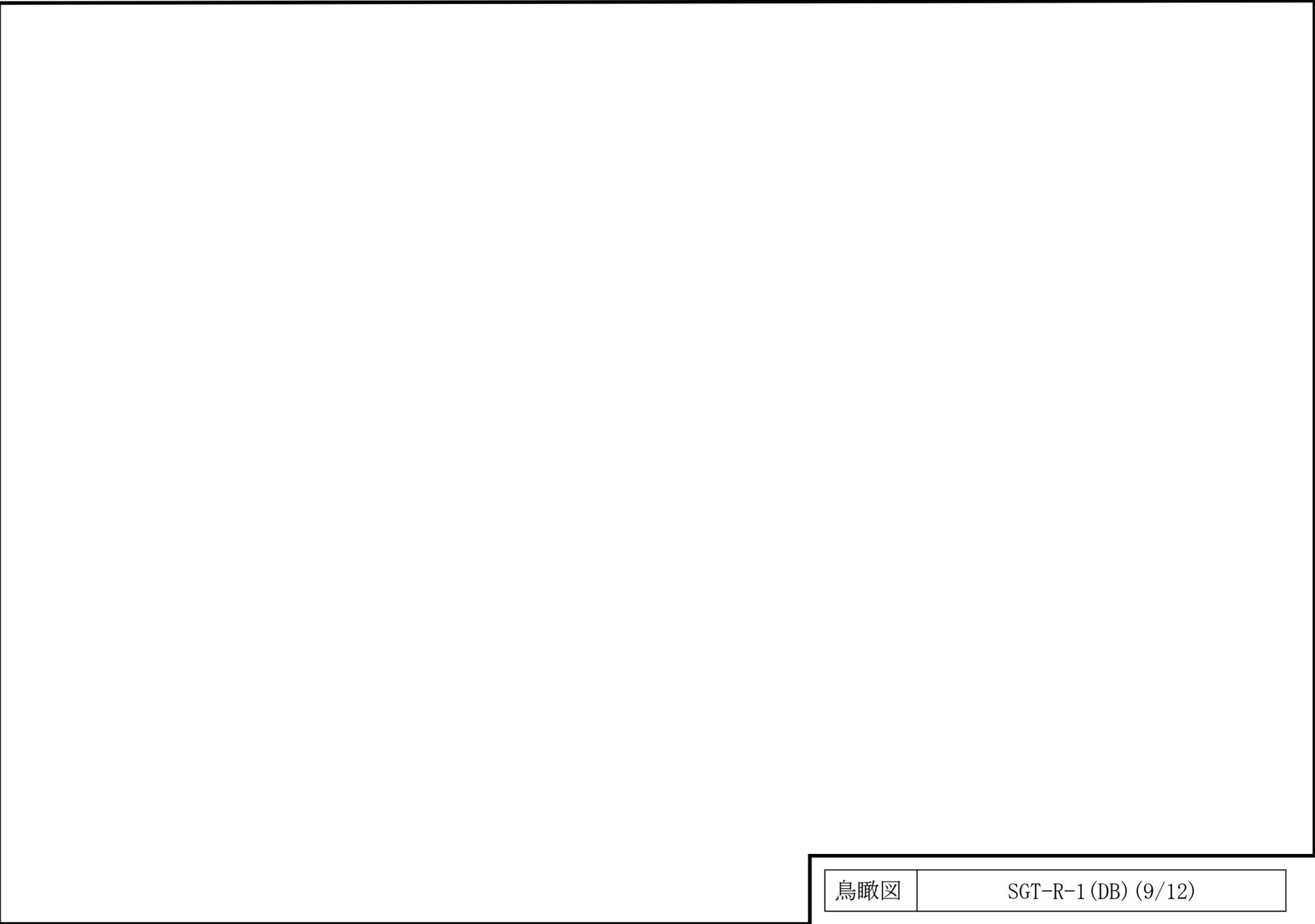
鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (5/12)



鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (7/12)



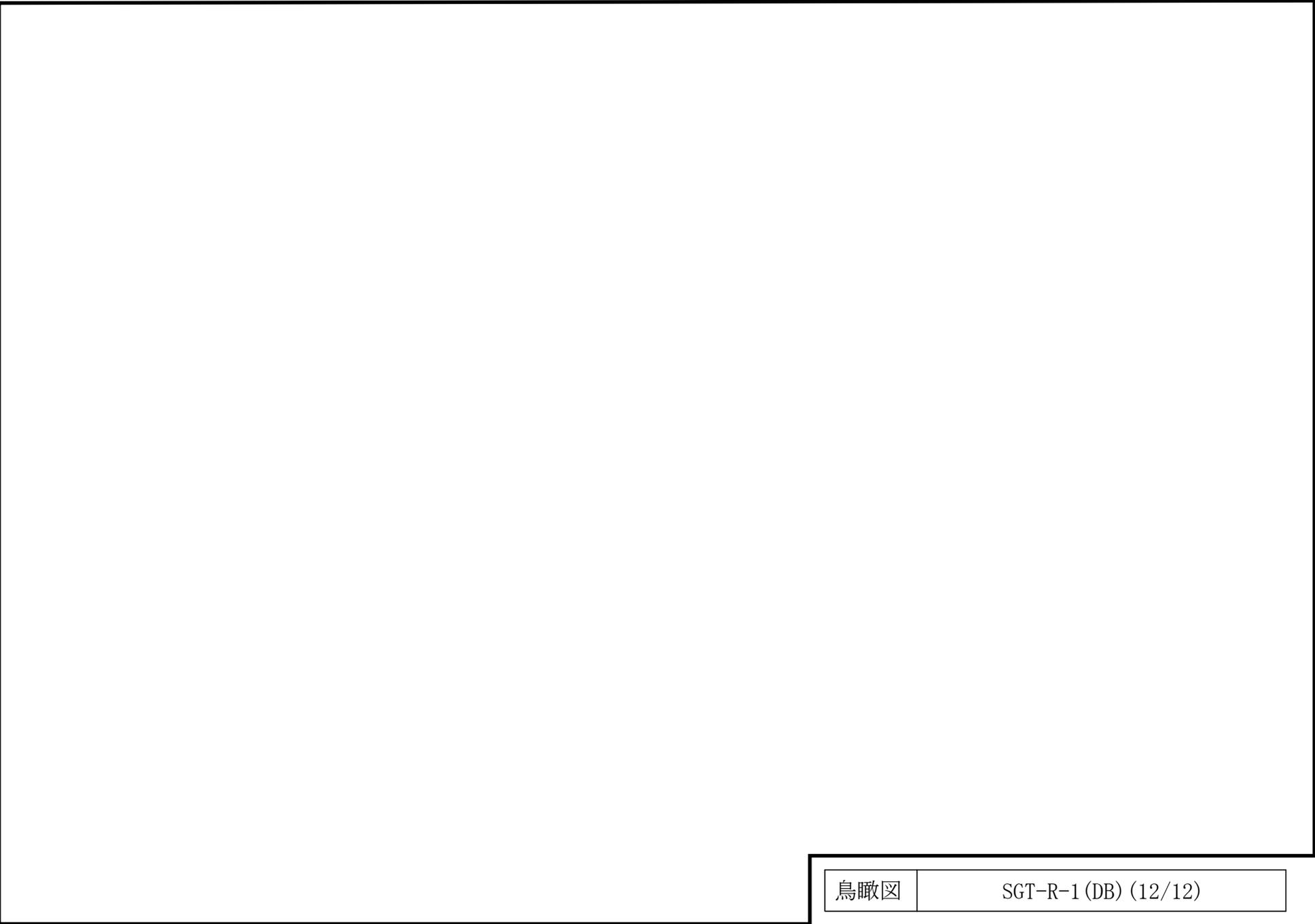
鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (9/12)

15

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (10/12)



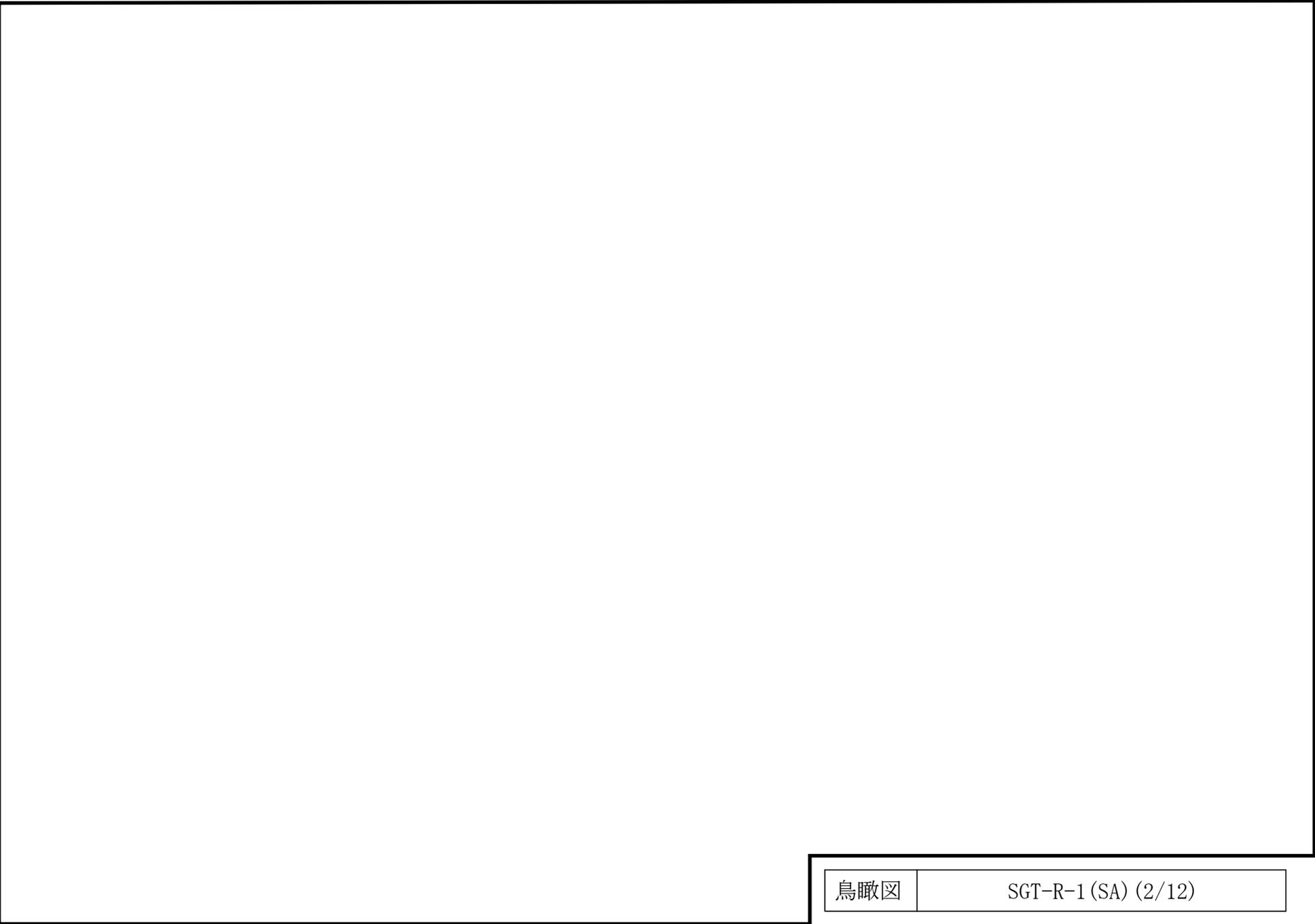
鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (12/12)

18

鳥瞰図

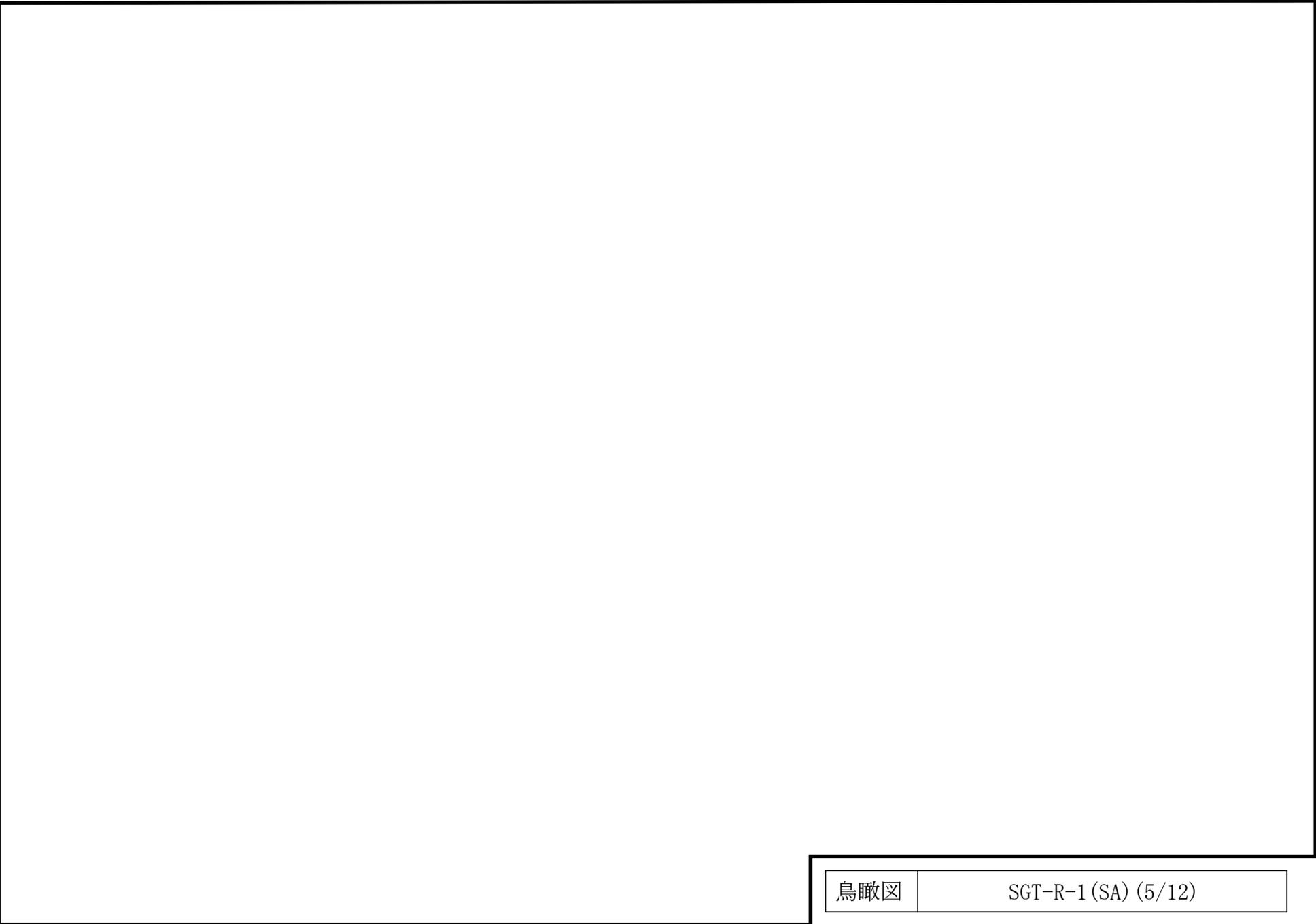
SGT-R-1 (SA) (1/12)



20

鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (3/12)



鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (5/12)

23

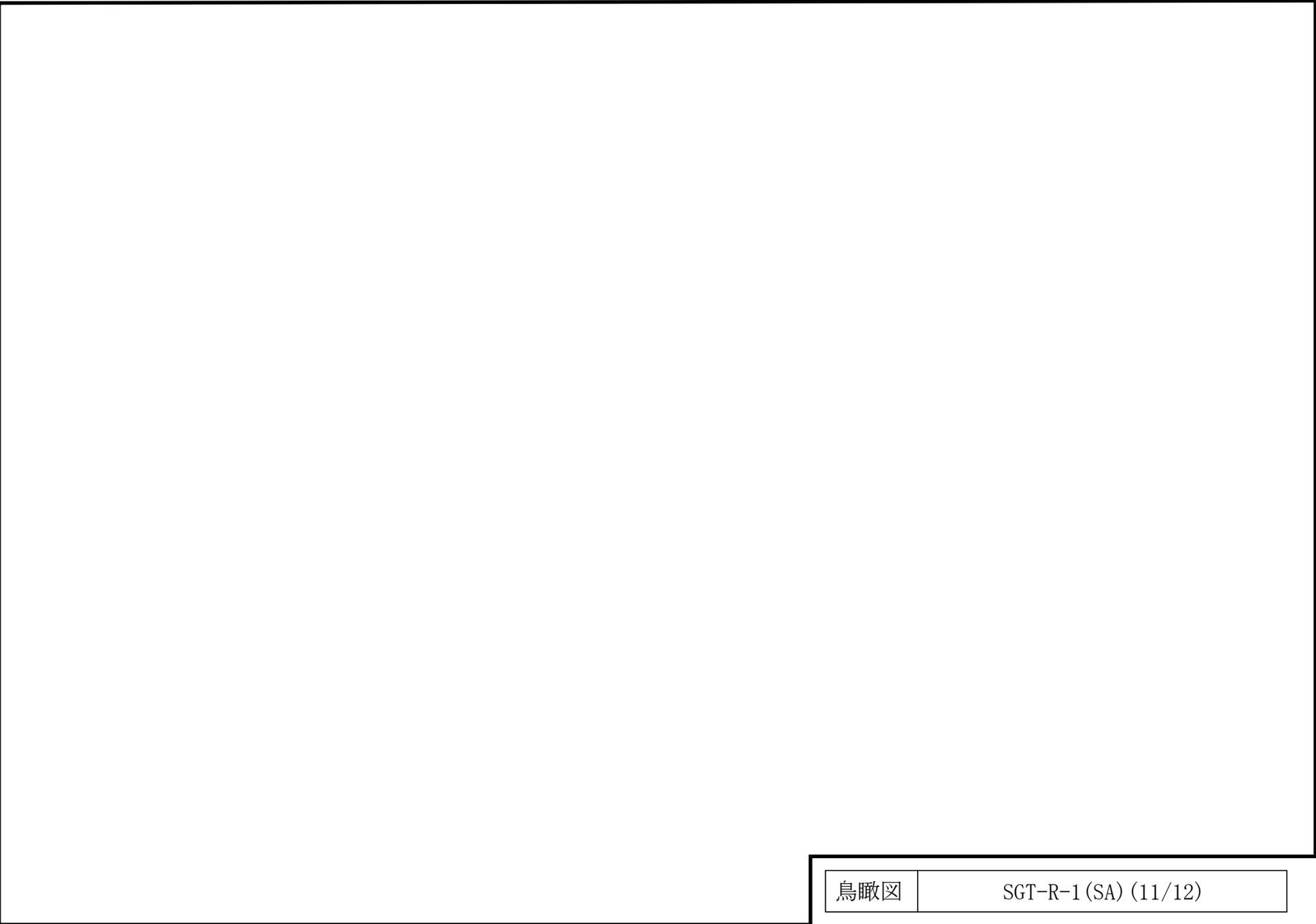
鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (6/12)

25

鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (8/12)



鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (11/12)

30

鳥瞰図

SGT-T-1 (DB) (1/2)

鳥瞰図

SGT-T-1 (SA) (1/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}	
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	非常用ガス処理系	DB	—	クラス4管	S	$I_L + S_d$	III _A S	
							$II_L + S_d$		
			SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S	
							$II_L + S_s$		
		格納容器フィルタベント系	SA	常設／緩和	—	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$ ^{*6}	IV _A S
								$I_L + S_s$	
								$II_L + S_s$	V _A S
								$V_L(L) + S_d$ ^{*7, *8, *9}	
		$V_L(LL) + S_s$ ^{*7, *10}							
		$V_L + S_s$ ^{*6}							

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器調気設備	窒素ガス制御系	DB	—	クラス2管	S	$I_L + S_d$	III _A S
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
	圧力逃がし装置	格納容器フィルタベント系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$	
$V_L + S_s^{*6}$								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器 フィルタ ベント系	S A	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d$ ^{*7, *8, *9}	V _A S
							$V_L(LL) + S_s$ ^{*7, *10}	
							$V_L + S_s$ ^{*6}	

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／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 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用しない場合)における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における荷重条件を適用する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 SGT-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	3~4F	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	0.853	200
2	6F~57, 59~63F 70~97, 107~1071	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200
3	57~59, 58~70 97~98, 98~107	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200
4	65F~66	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200
5	98~9801	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
6	9801~100F	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
7	108~109F	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200

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 SGT-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	111F~117	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	0.853	200
9	117~118, 128~133F 135F~136F, 138F~1381	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	—	—
10	1731~177F, 251~253	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	0.0137	66
11	118~128, 1381~138	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	—	—
12	138~164F, 166F~1731 157~179F, 181F~169 138~235F, 237F~240N 205~251, 253~270F 272F~275N	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	0.0137	66

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 SGT-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～4F	609.6	9.5	SM400C	S	201667
2	6F～57, 59～63F 70～97, 107～1071	609.6	9.5	SM41C	S	201667
3	57～59, 58～70 97～98, 98～107	619.2	14.3	SM41C	S	201667
4	65F～66	609.6	9.5	SM41C	S	200400
5	98～9801	619.2	14.3	SM41C	S	201667
6	9801～100F	609.6	9.5	SM41C	S	201667
7	108～109F	406.4	9.5	STPT410	S	201667
8	111F～117	406.4	9.5	STPT410	S	201667
9	117～118, 128～133F 135F～136F, 138F～1381	406.4	9.5	STPT410	S	201667
10	1731～177F, 251～253	406.4	9.5	STPT410	S	201667
11	118～128, 1381～138	406.4	9.5	STPT42	S	201667
12	138～164F, 166F～1731 157～179F, 181F～169 138～235F, 237F～240N 205～251, 253～270F 272F～275N	406.4	9.5	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 SGT-R-1

質量	対応する評価点
	3～4F, 6F～63F, 65F～66, 58～100F 98～1071
	108～109F, 111F～133F, 135F～136F

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 SGT-R-1

質量	対応する評価点
	4F, 6F, 63F, 65F
	100F
	102F
	109F, 111F, 133F, 135F, 136F, 138F
	164F, 166F, 179F, 181F, 235F, 237F, 270F, 272F
	177F
	240N, 275N

弁部の質量

鳥 瞰 図 SGT-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	5, 64		5001, 6401
	5002, 6402		5004
	6404		100F, 102F
	101		1001
	110, 137		1101, 1371
	1102, 1372		1104
	133F, 135F		134
	1341		1373
	164F, 166F, 179F, 181F		165, 180
	1653, 1803		235F, 237F, 270F, 272F
	236, 271		2361, 2711

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SGT-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4F~5				5~5001			
5001~5002				5002~5003			
5003~5004				5~6F			
63F~64				64~6401			
6401~6402				6402~6403			
6403~6404				64~65F			
100F~101				101~1001			
101~102F				109F~110			
110~1101				1101~1102			
1102~1103				1103~1104			
110~111F				133F~134			
134~1341				134~135F			
136F~137				137~1371			
1371~1372				1372~1373			
137~138F				164F~165			
165~1651				1651~1652			
1652~1653				165~166F			
179F~180				180~1801			
1801~1802				1802~1803			
180~181F				235F~236			
236~2361				236~237F			
270F~271				271~2711			
271~272F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
** 5003 **						
** 5003 **						
80Z						
801						
9						
18						
** 18 **						
25						
31						
3101						
3102						
37						
38						
43						
50						
50						
56						
5601						
60						
** 6403 **						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 6403 **						
69N						
** 69N **						
** 69N **						
71						
72						
76						
7601						
83						
91						
** 1103 **						
1103						
113						
1221						
125						
** 1271 **						
1352						
141						
144						
145						
148						
159						
162						
1651						
1652						
1671						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
174						
1801						
1802						
183						
202						
207						
213						
219						
225						
231						
240N						
256						
260						
266						
275N						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R0

設計条件

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

鳥 瞰 図 SGT-T-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~59A	Ⅲ _A S	0.02	120
		Ⅳ _A S	0.02	120
		Ⅴ _A S	0.02	120

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 SGT-T-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～59A	406.4	9.5	STPT42	S	201667

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
12						
17						
1901						
24						
2601						
30						
34						
3401						
38						
4201						
47						
51						
59A						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM400C	104	—	219	373	—
SM400C	200	—	193	373	—
SM41C	200	—	193	373	—
SM41C	171	—	201	373	—
STPT410	171	—	211	404	—
STPT410	200	—	207	404	—
STPT410	66	—	231	407	—
STPT42	66	—	231	407	—
STPT42	120	—	217	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
SGT-R-1	原子炉建物				
SGT-T-1	原子炉建物				
	タービン建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SGT-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
10次				

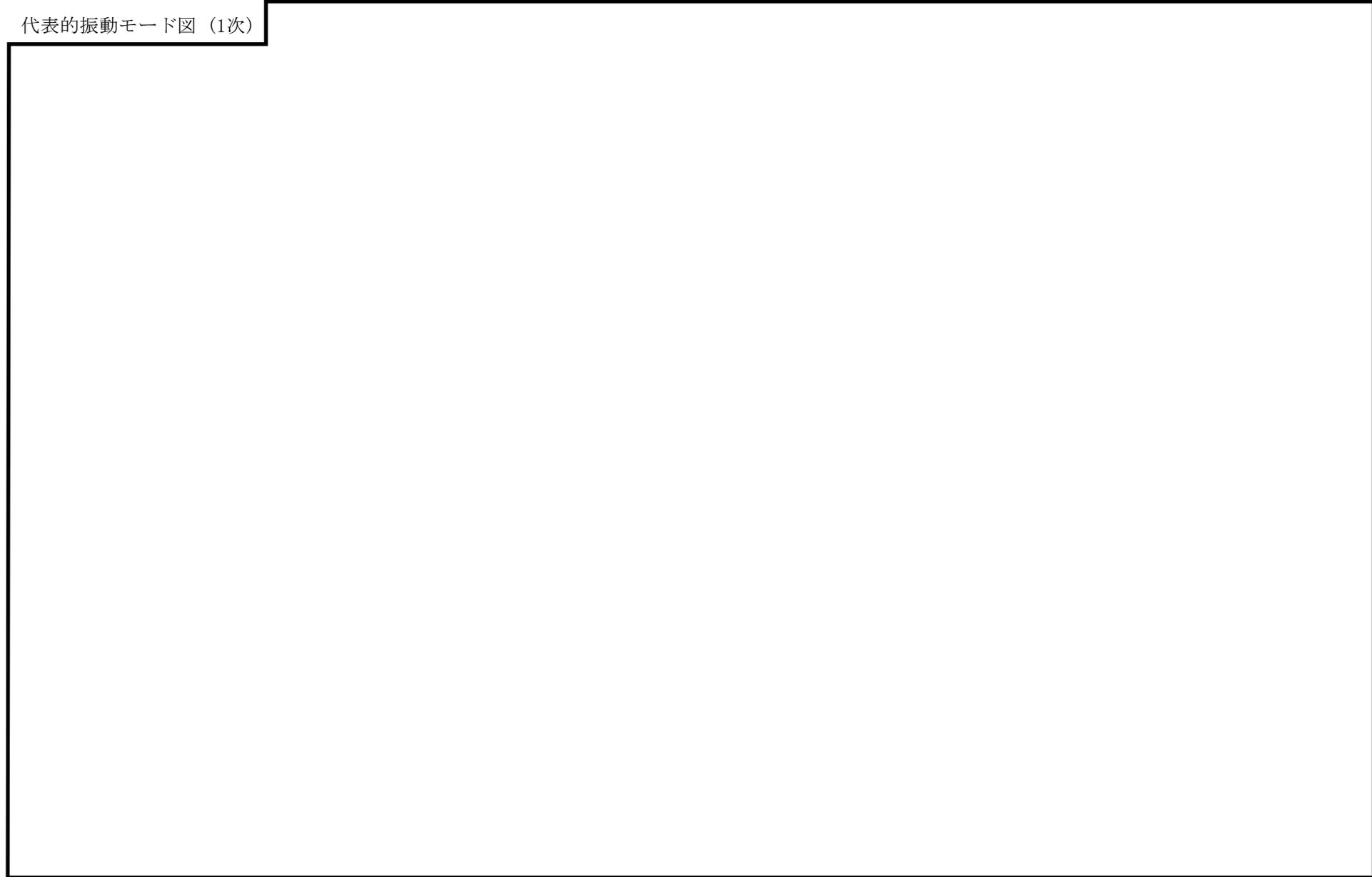
注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

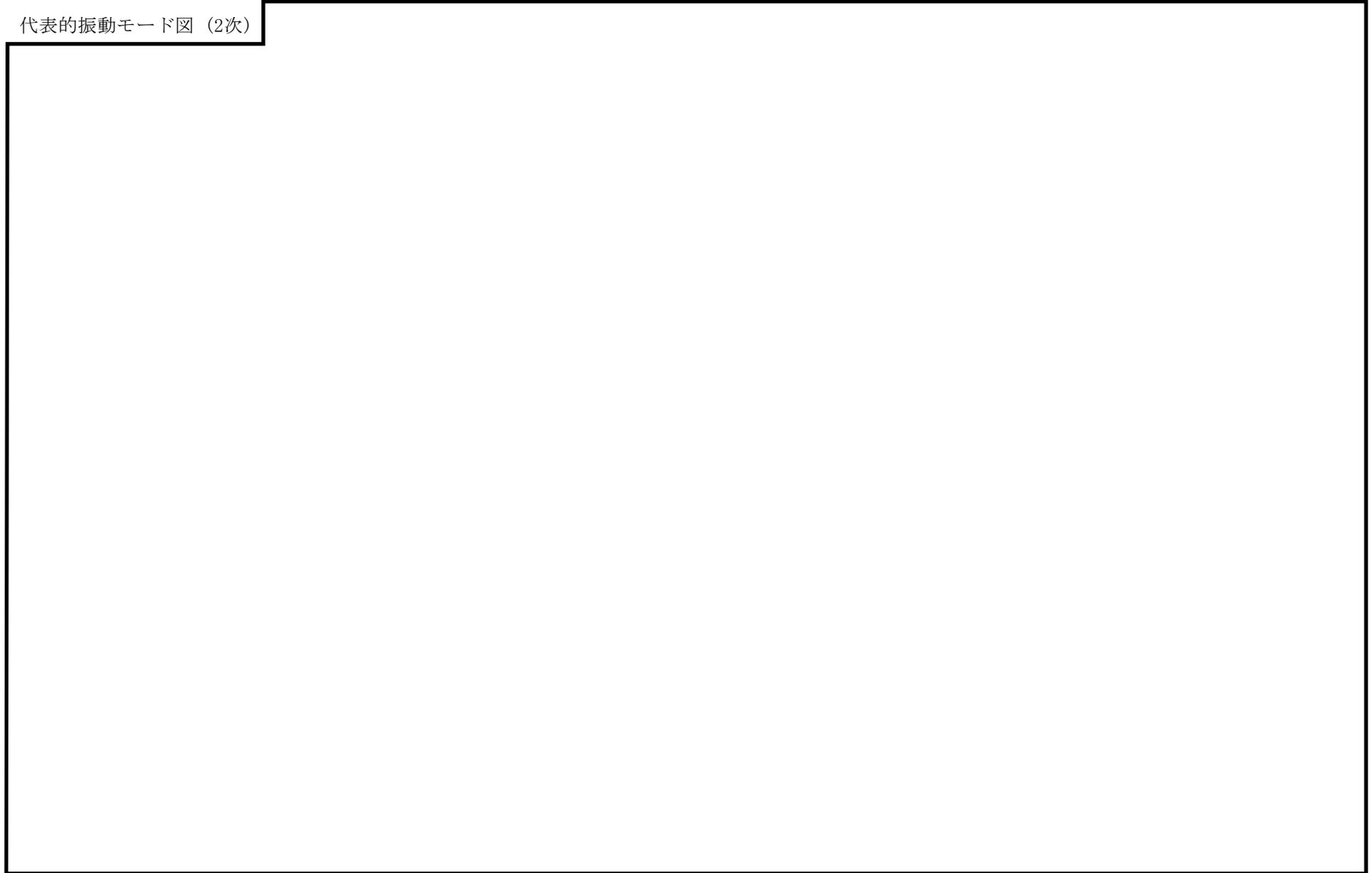
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

56



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

58

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SGT-T-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SGT-T-1

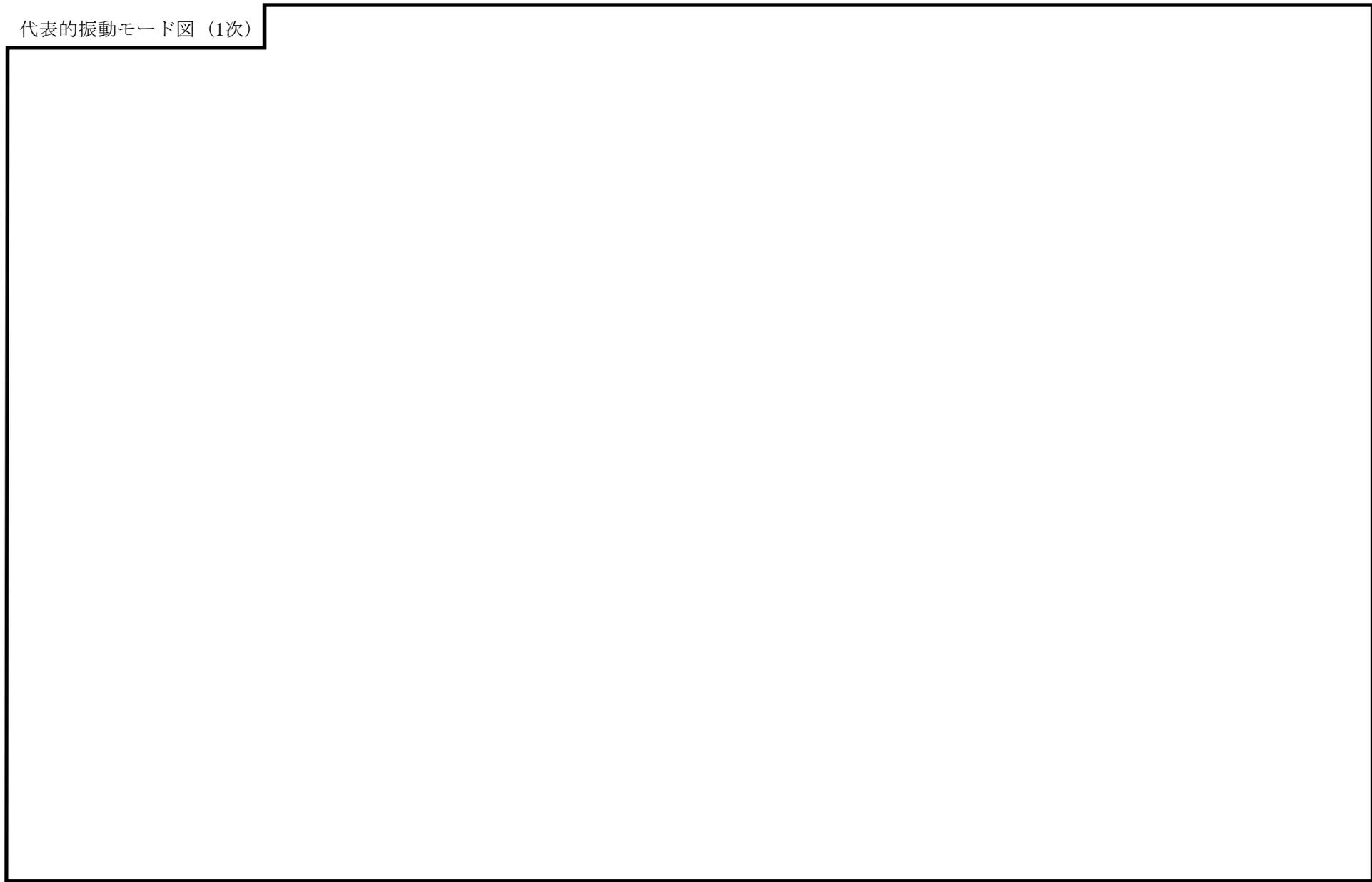
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

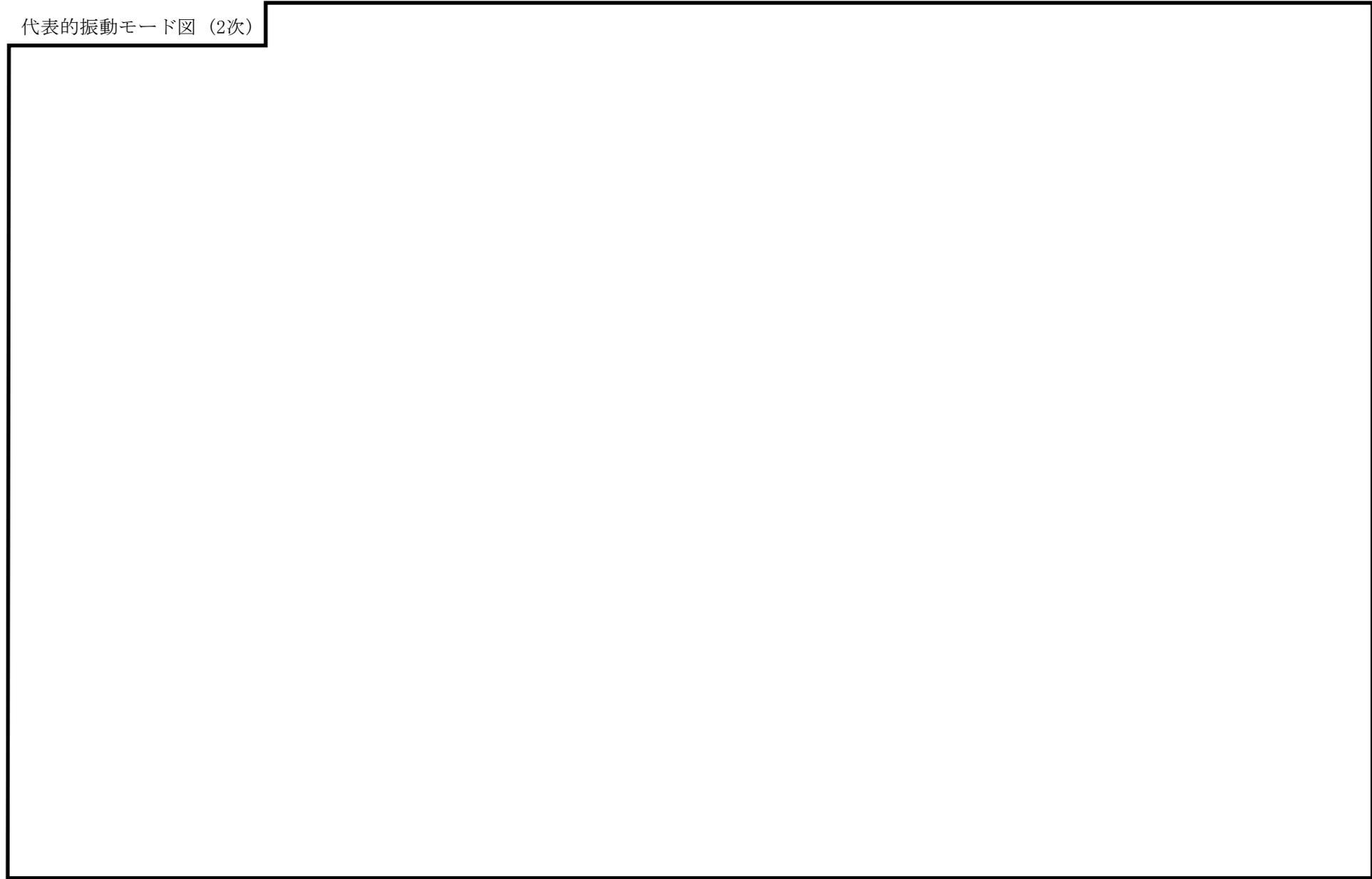
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

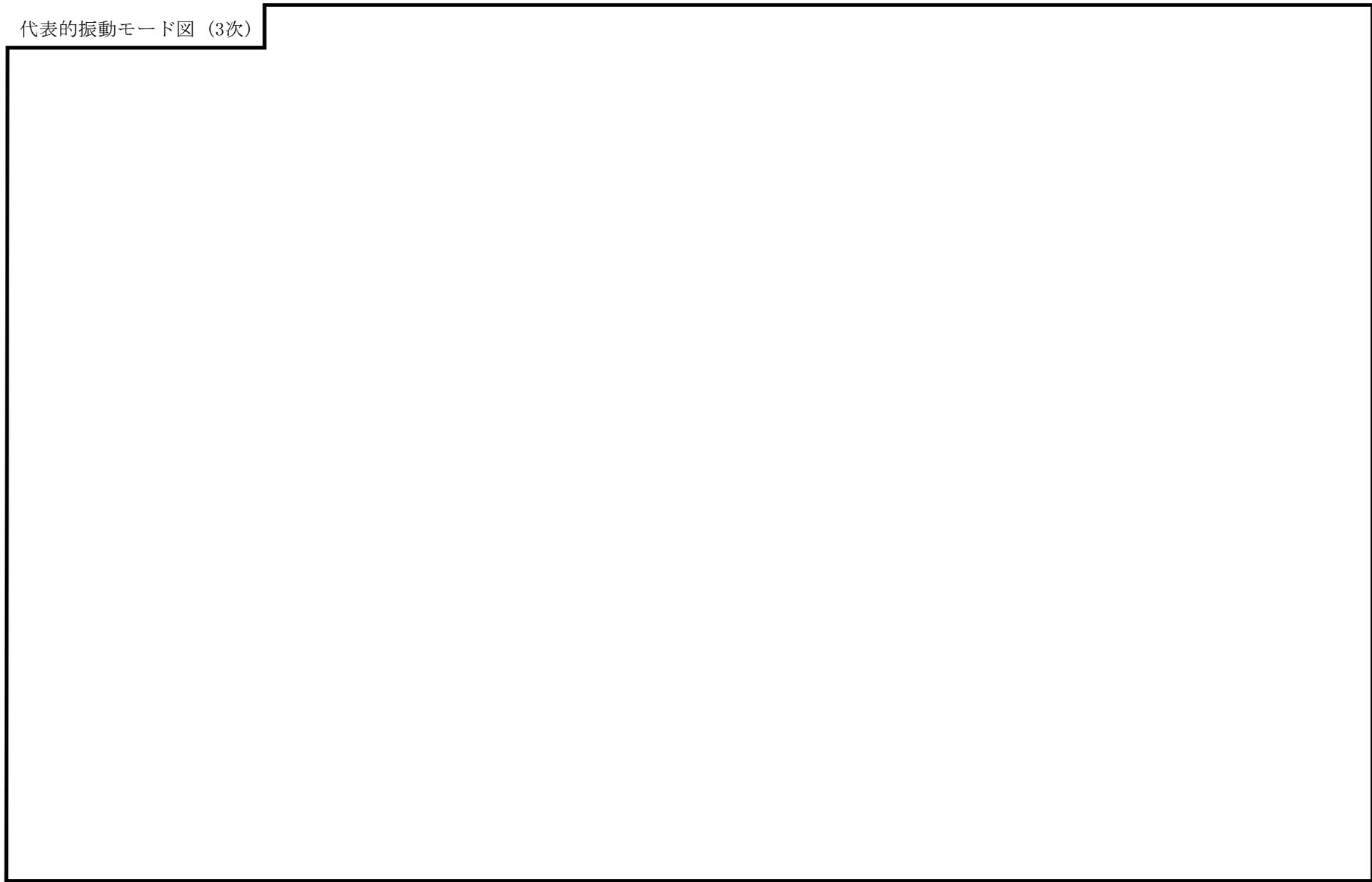


代表的振動モード図 (2次)

63



代表的振動モード図 (3次)



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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	SGT-R-1	1081	77	211	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-R-1	7	147	402	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SGT-T-1	8	124	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-R-1	7	312	402	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SGT-T-1	8	124	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-R-1	7	312	402	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SGT-T-1	8	124	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-R-1	7	312	386	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	60	—	—	—
SNO-SGT-1707	オイルスナッパ	SN-16×2*3			161	480	—
RE-SGT-278	ロッドレストレイント	RSA-6			78	108	—
SH-SGT-220	スプリングハンガ	VS1F-15			21	23	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点，同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-SGT-710	レストレイント	ビーム	STKR400	60	0	24	116	—	—	—	組合せ	12	154
AN-SGT-237	アンカ	ラグ	SM400A	120	26	53	38	120	66	41	組合せ	59	130

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
							動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
AV226-1A	空気作動バタフライ弁	β (S s)	1.9	1.8	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
AV226-1B	空気作動バタフライ弁	β (S s)	1.9	1.8	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	SGT-R-1	1081	77	211	2.74	○	7	147	402	2.73	—	○
2	SGT-R-2	3	9	231	25.66	—	3	12	462	38.50	—	—
3	SGT-R-3	3	9	231	25.66	—	3	12	462	38.50	—	—
4	SGT-R-4	12	59	217	3.67	—	12	99	434	4.38	—	—
5	SGT-R-5	12	59	217	3.67	—	12	99	434	4.38	—	—
6	SGT-R-6	31	70	217	3.10	—	31	117	434	3.70	—	—
7	SGT-R-8	43	70	217	3.10	—	43	123	434	3.52	—	—
8	SGT-T-1	8	69	217	3.14	—	8	138	434	3.14	—	—
9	SGT-Y-1	1A	56	217	3.87	—	20	140	434	3.10	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	SGT-R-1	1081	118	363	3.07	—	7	312	402	1.28	—	○
2	SGT-R-2	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
3	SGT-R-3	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
4	SGT-R-4	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
5	SGT-R-5	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
6	SGT-R-6	31	122	363	2.97	—	31	191	434	2.27	—	—
7	SGT-R-8	43	105	363	3.45	—	43	234	434	1.85	—	—
8	SGT-T-1	8	124	363	2.92	○	8	305	434	1.42	—	—
9	SGT-Y-1	20	90	363	4.03	—	20	286	434	1.51	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	SGT-R-1	1081	118	363	3.07	—	7	312	402	1.28	—	○
2	SGT-R-2	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
3	SGT-R-3	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
4	SGT-R-4	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
5	SGT-R-5	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
6	SGT-R-6	31	122	363	2.97	—	31	191	434	2.27	—	—
7	SGT-R-8	43	105	363	3.45	—	43	234	434	1.85	—	—
8	SGT-T-1	8	124	363	2.92	○	8	305	434	1.42	—	—
9	SGT-Y-1	20	90	363	4.03	—	20	286	434	1.51	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	SGT-R-1	1081	123	363	2.95	—	7	312	386	1.23	—	○
2	SGT-R-2	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
3	SGT-R-3	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
4	SGT-R-4	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
5	SGT-R-5	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
6	SGT-R-6	31	122	363	2.97	—	31	191	434	2.27	—	—
7	SGT-R-8	43	105	363	3.45	—	43	234	434	1.85	—	—
8	SGT-T-1	8	124	363	2.92	○	8	305	434	1.42	—	—
9	SGT-Y-1	20	90	363	4.03	—	20	286	434	1.51	—	—

VI-2-9-4-7 圧力逃がし装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-7-1 格納容器フィルタベント系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-7-1-1 管の耐震性についての計算書
(格納容器フィルタベント系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	6
3. 計算条件	18
3.1 計算方法	18
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	19
3.3 設計条件	21
3.4 材料及び許容応力	34
3.5 設計用地震力	35
4. 解析結果及び評価	36
4.1 固有周期及び設計震度	36
4.2 評価結果	47
4.2.1 管の応力評価結果	47
4.2.2 支持構造物評価結果	48
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	49
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	50

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、格納容器フィルタベント系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全42モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

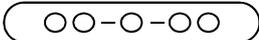
(3) 弁

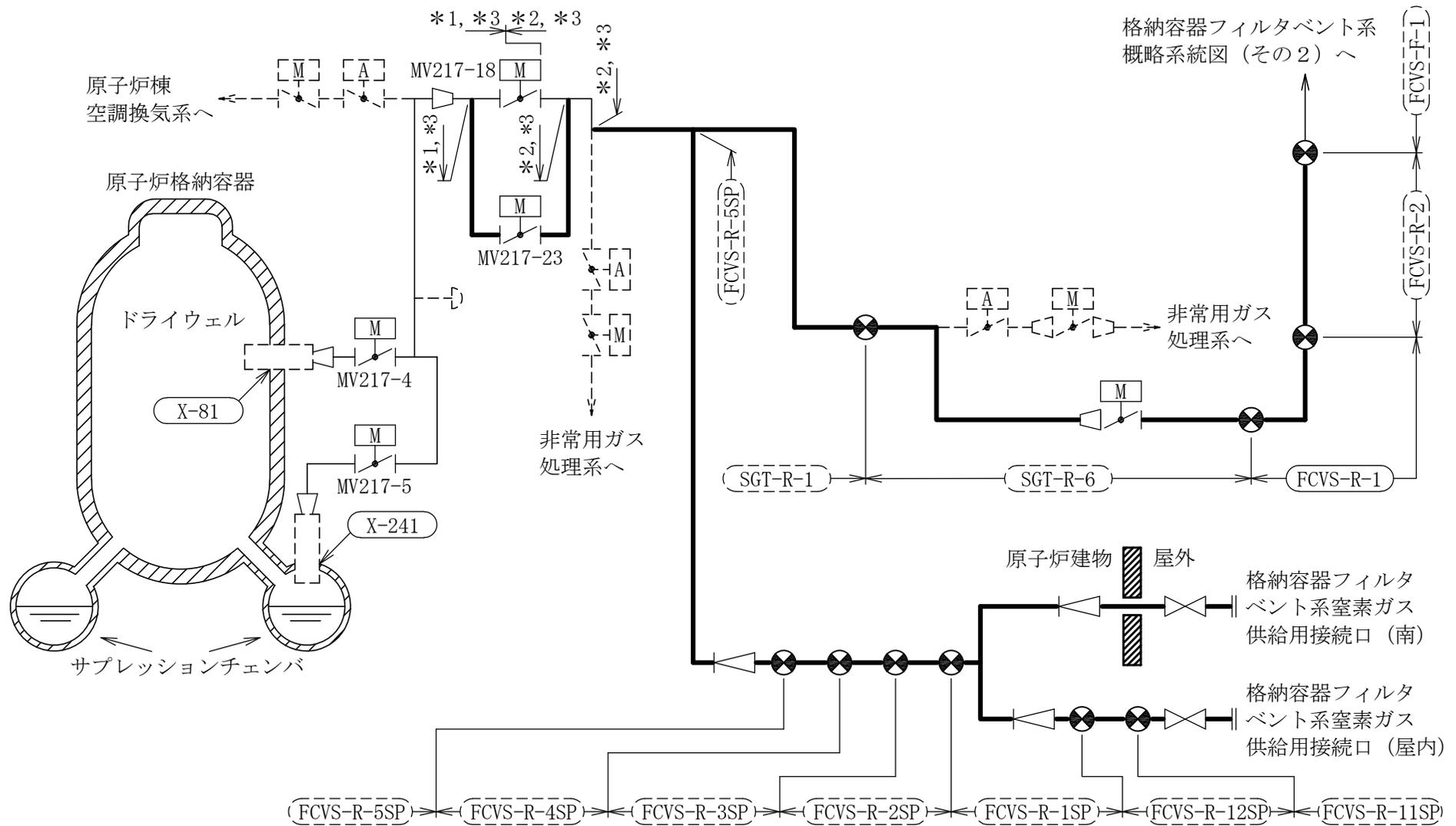
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

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

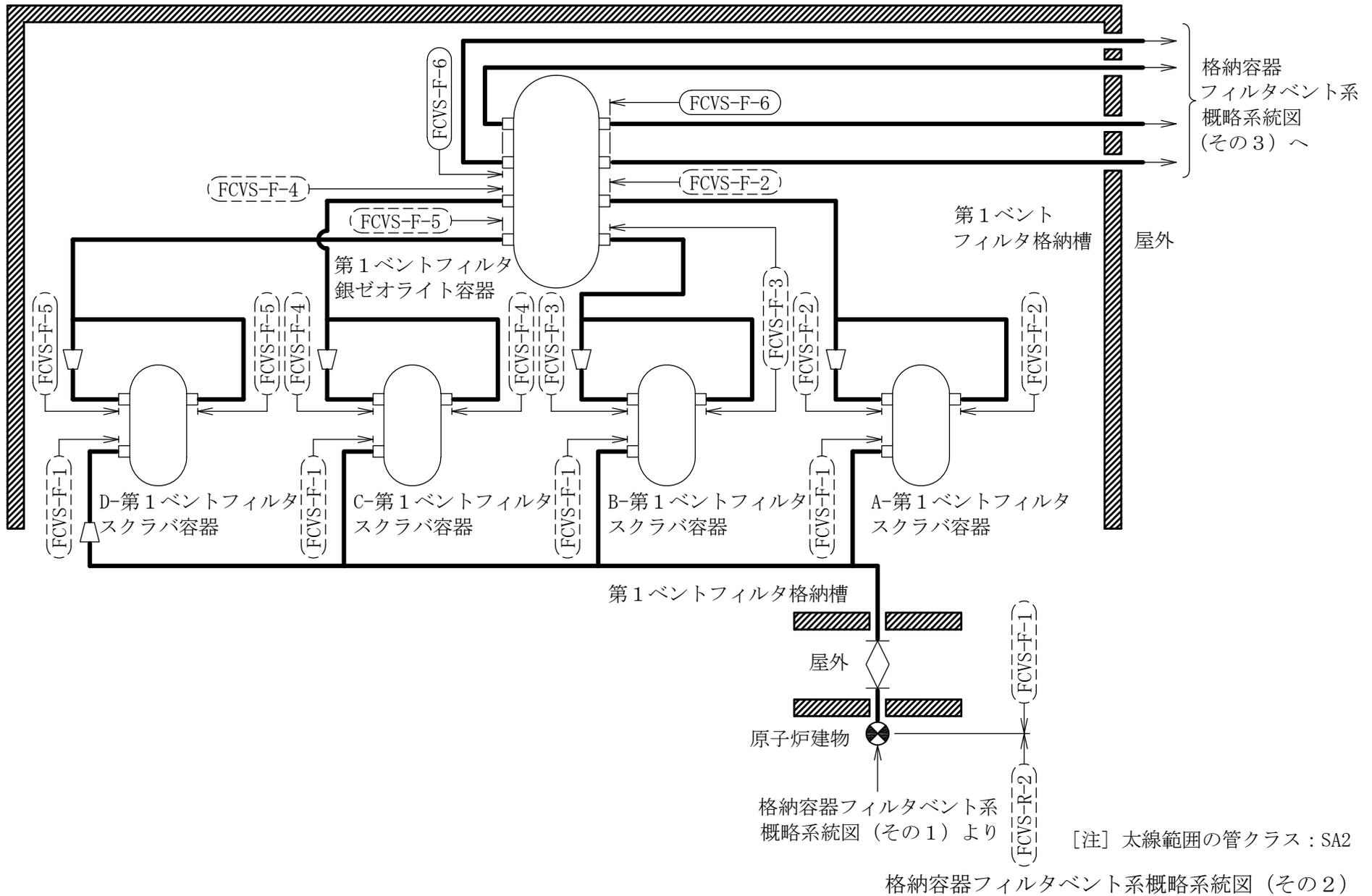
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



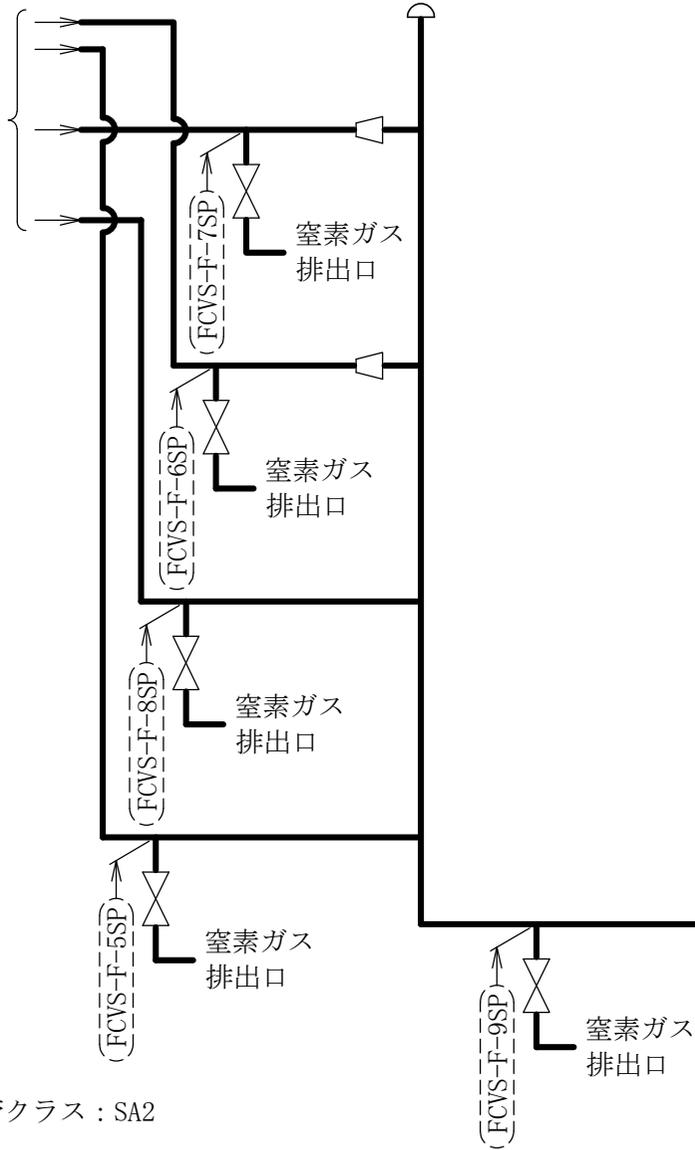
注記*1：窒素ガス制御系との兼用範囲である。
 *2：非常用ガス処理系との兼用範囲である。
 *3：計算結果は非常用ガス処理系に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス：SA2

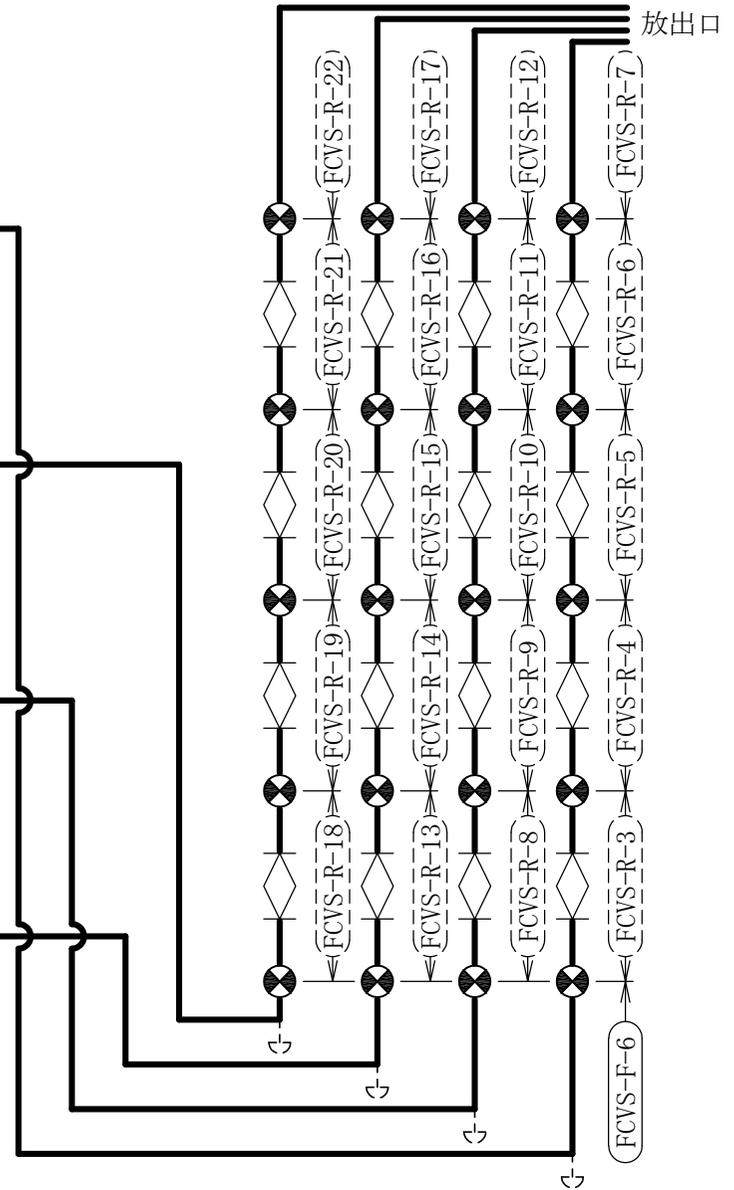
格納容器フィルタベント系概略系統図 (その1)



格納容器
フィルタベント系
概略系統図
(その2) より



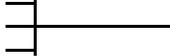
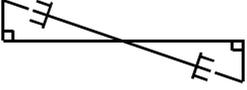
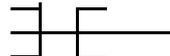
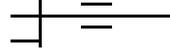
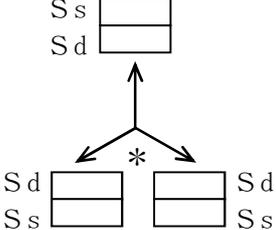
[注] 太線範囲の管クラス : SA2

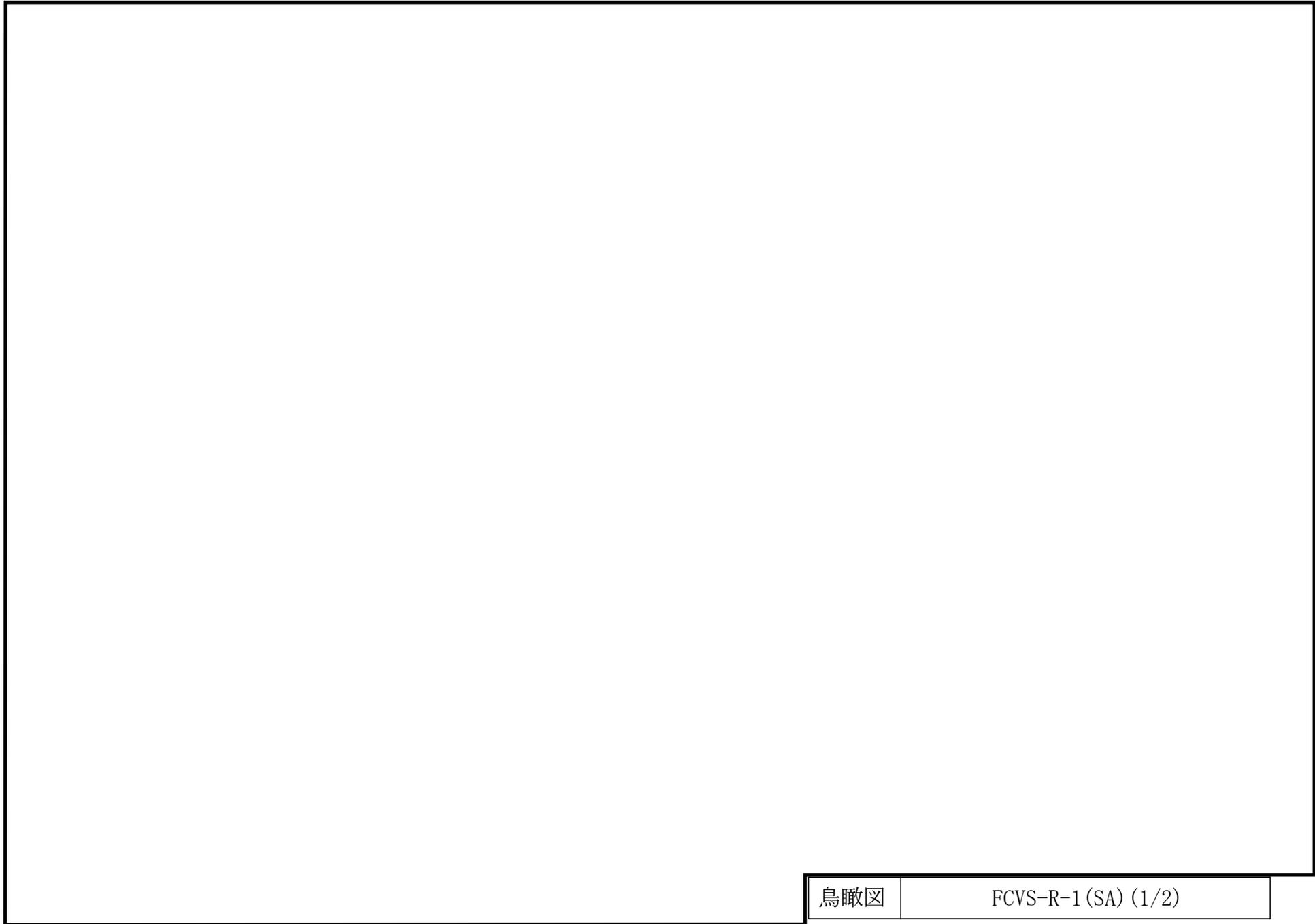


格納容器フィルタベント系概略系統図 (その3)

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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	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。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	

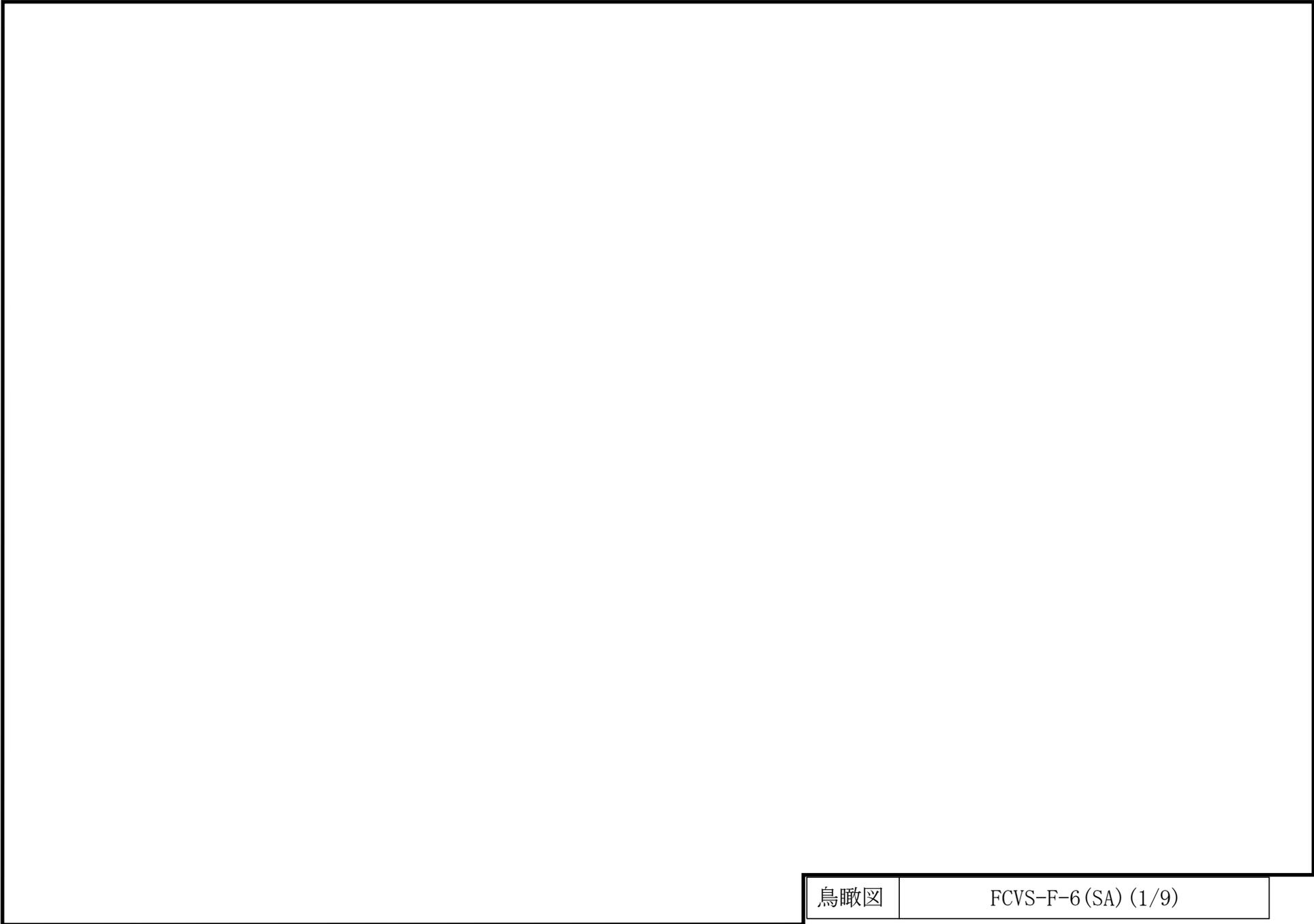


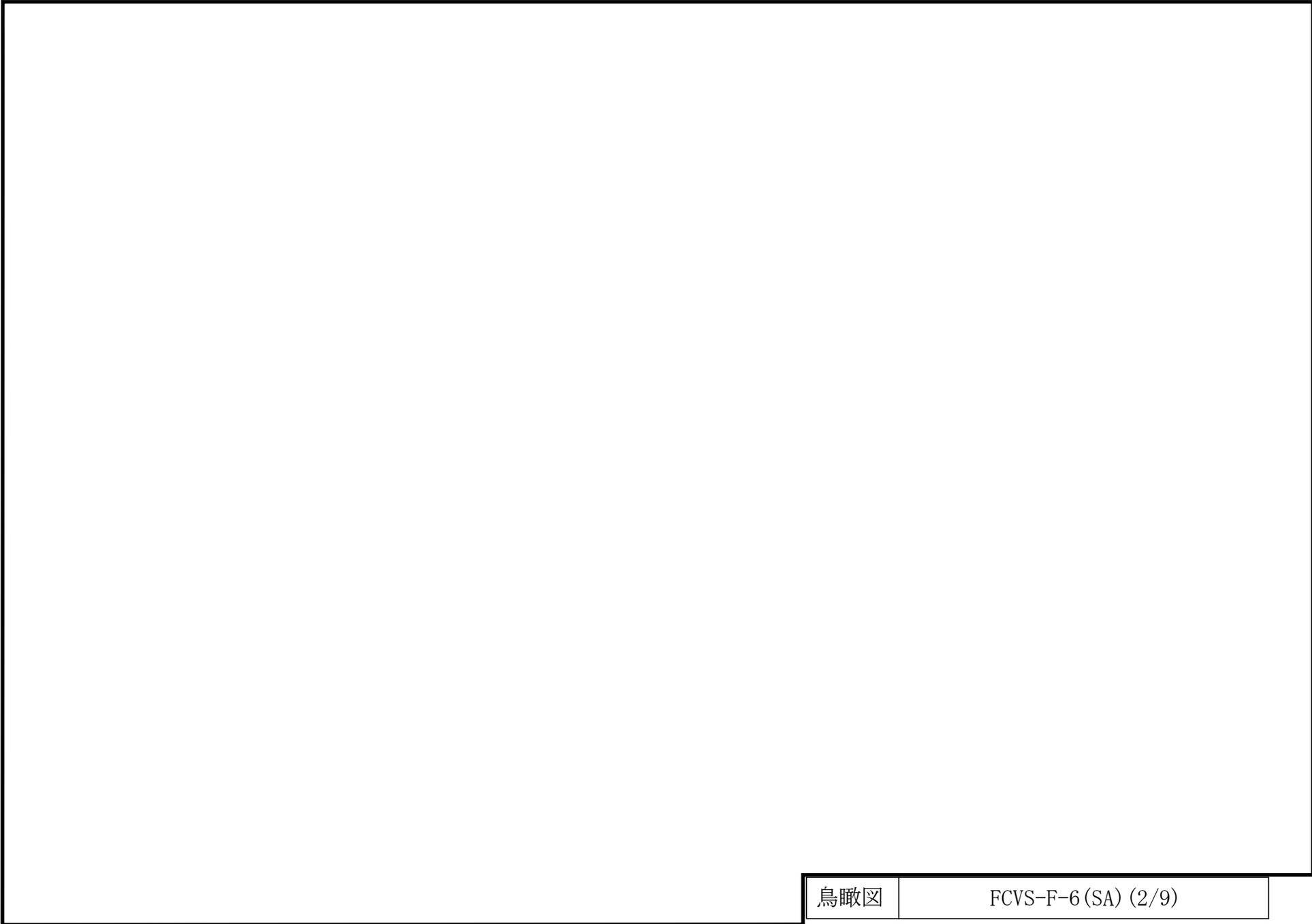
鳥瞰図	FCVS-R-1(SA) (1/2)
-----	--------------------

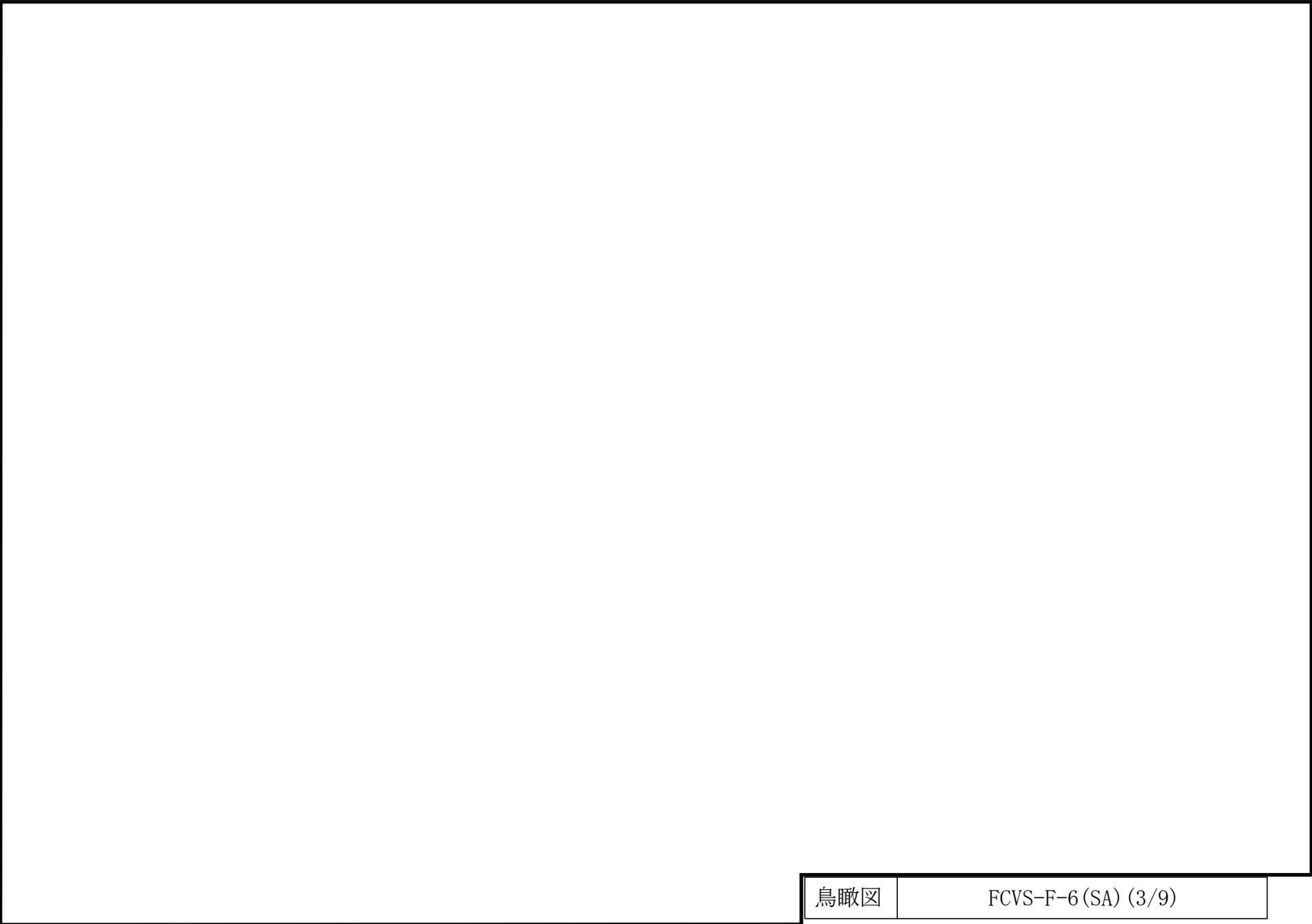
∞

鳥瞰図

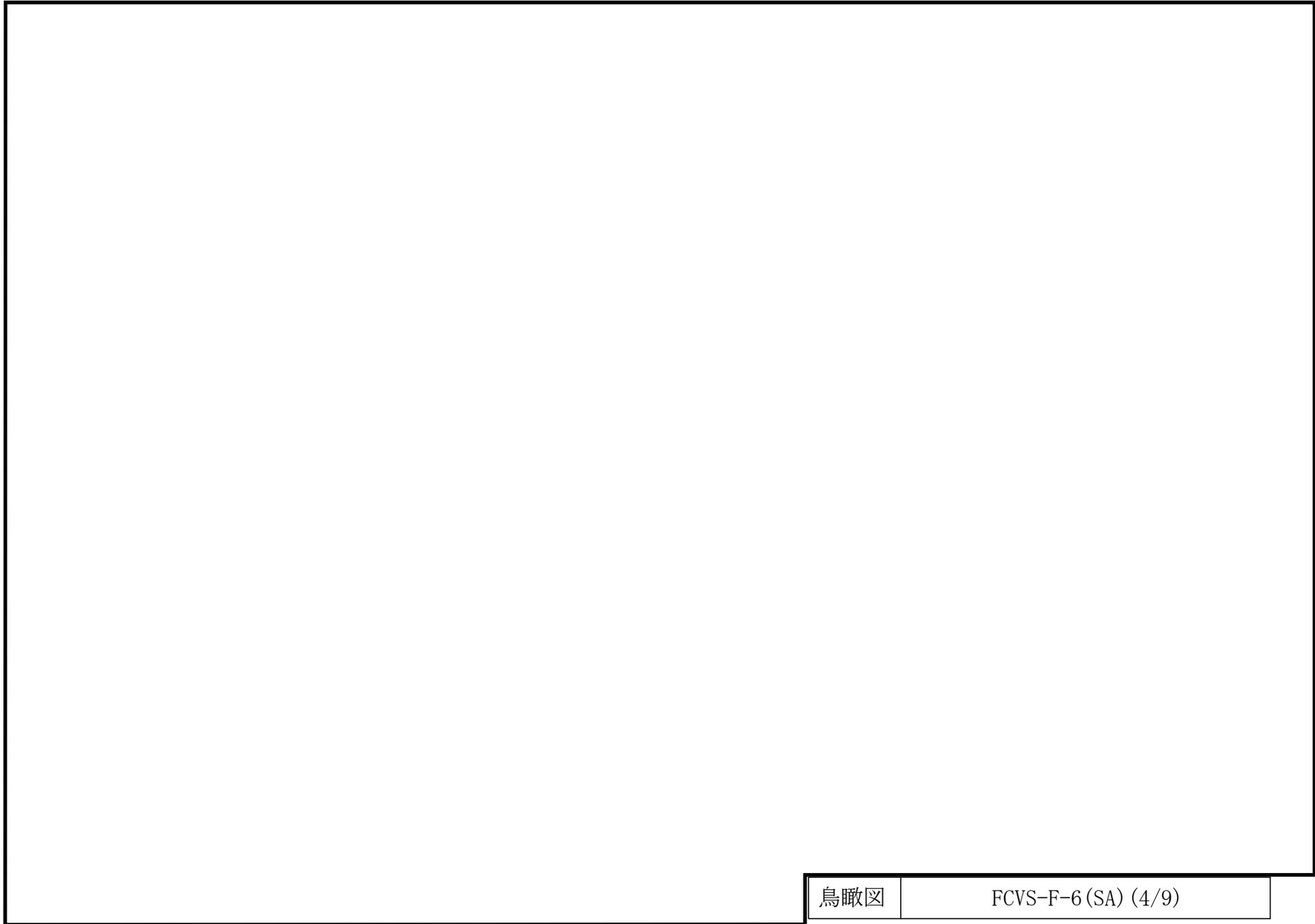
FCVS-R-1(SA) (2/2)



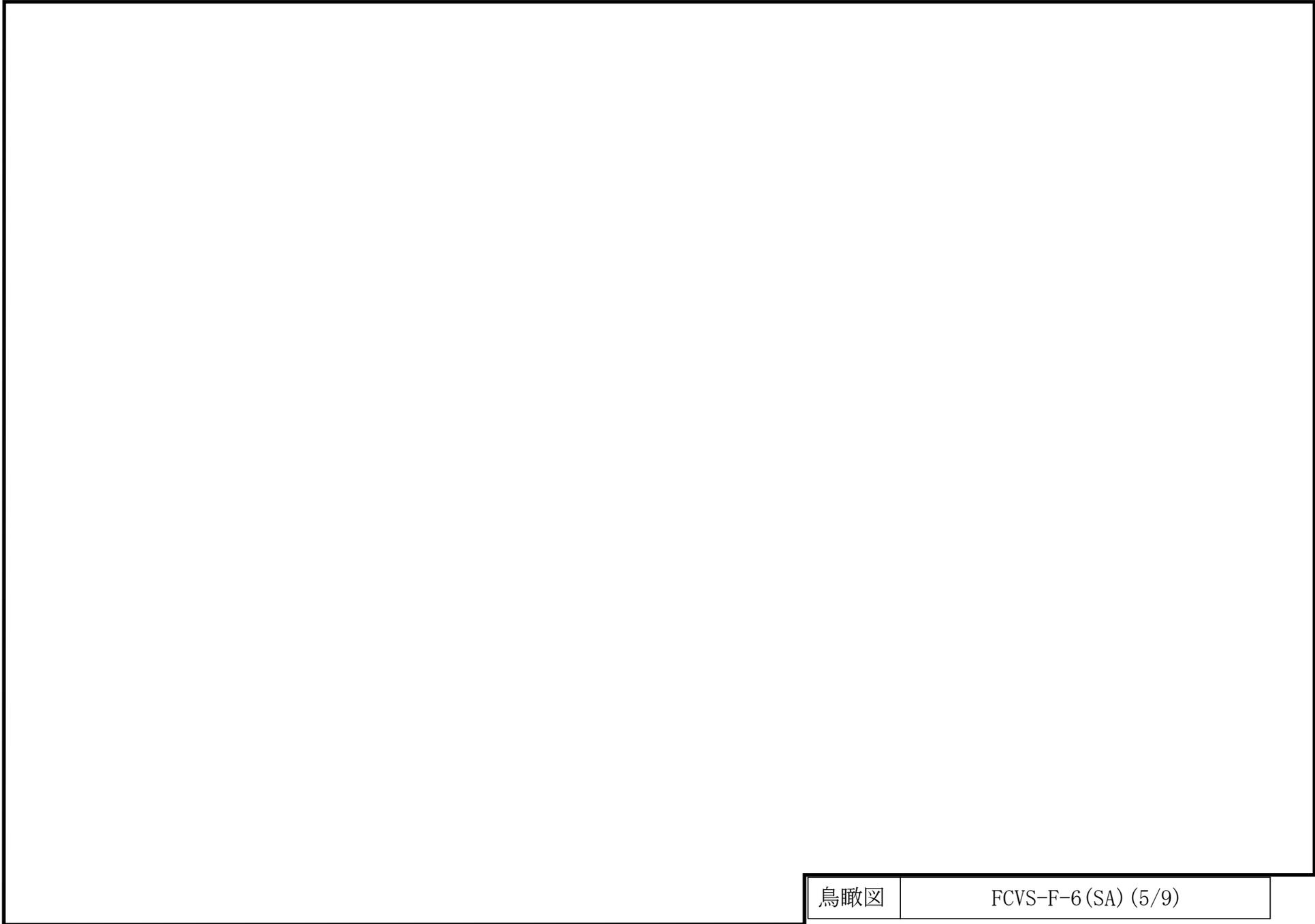




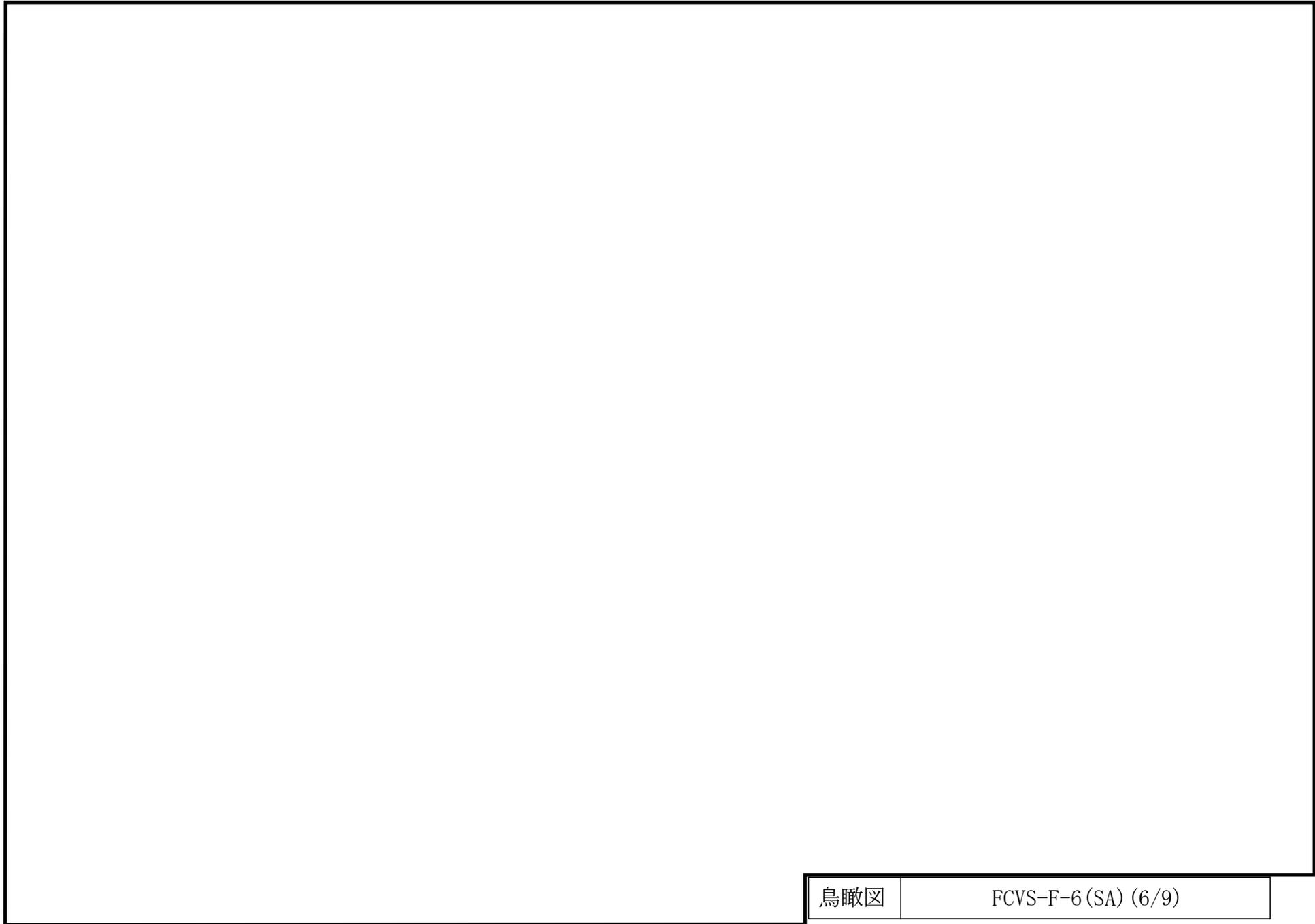
鳥瞰図	FCVS-F-6 (SA) (3/9)
-----	---------------------

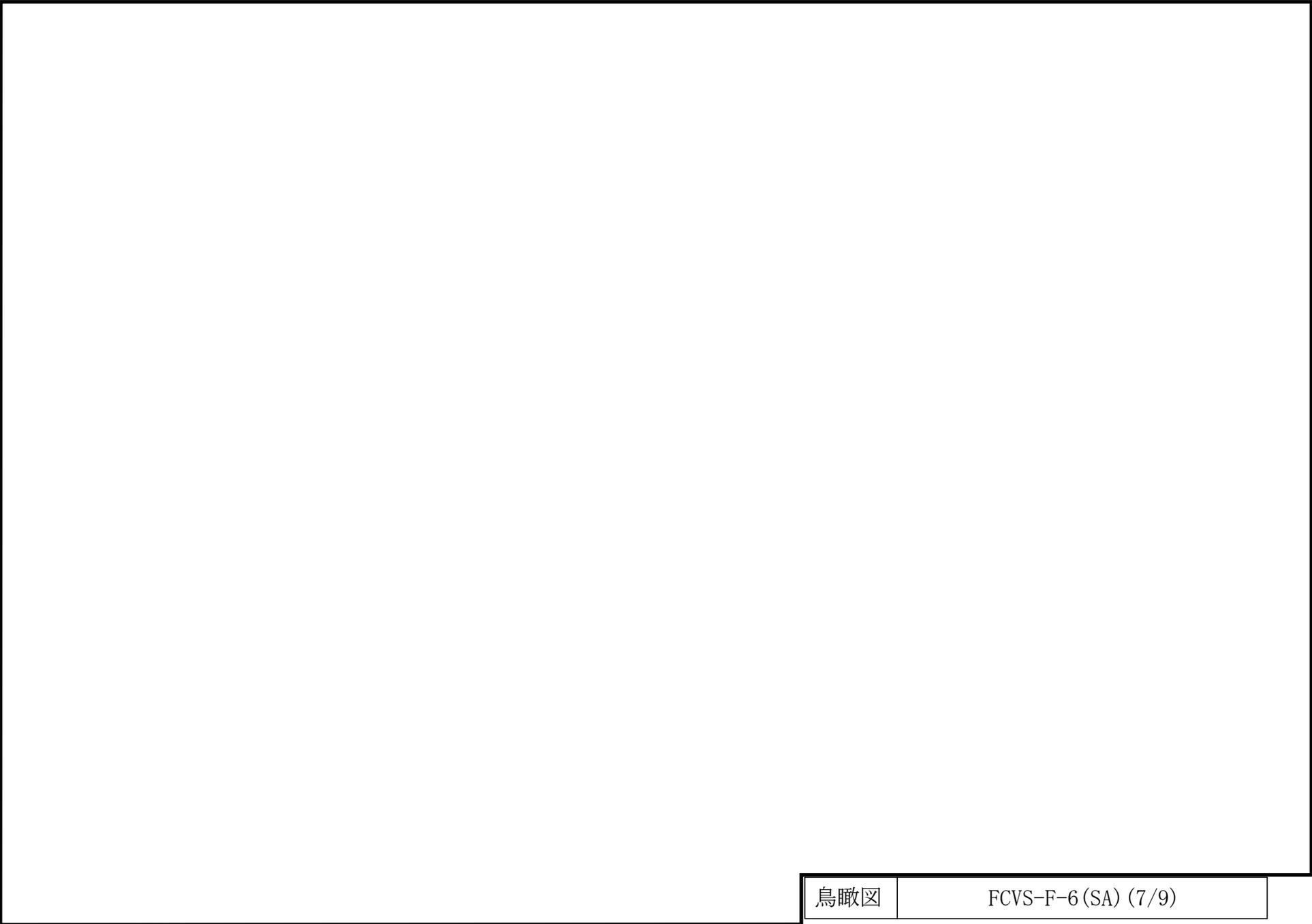


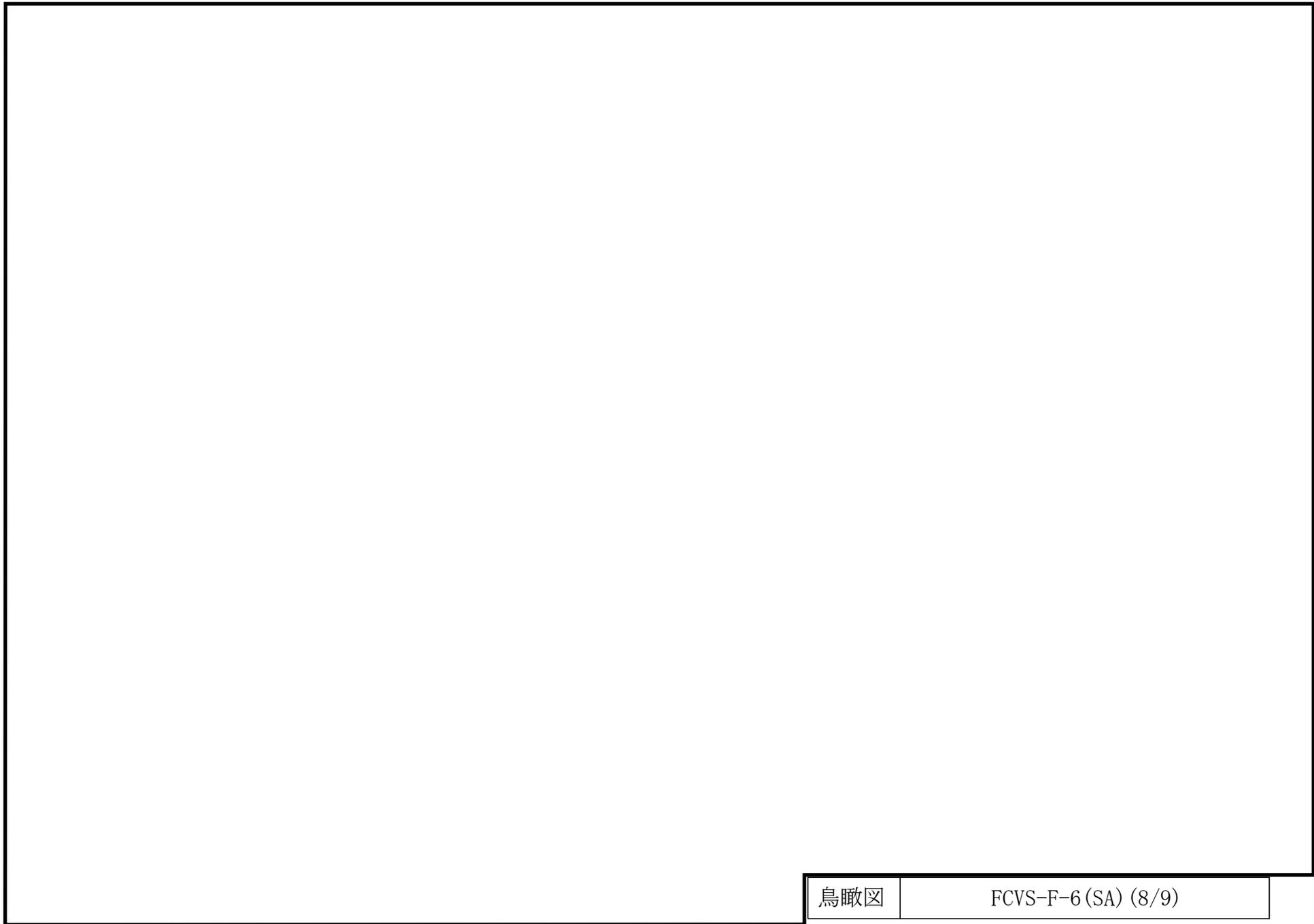
鳥瞰図	FCVS-F-6(SA) (4/9)
-----	--------------------



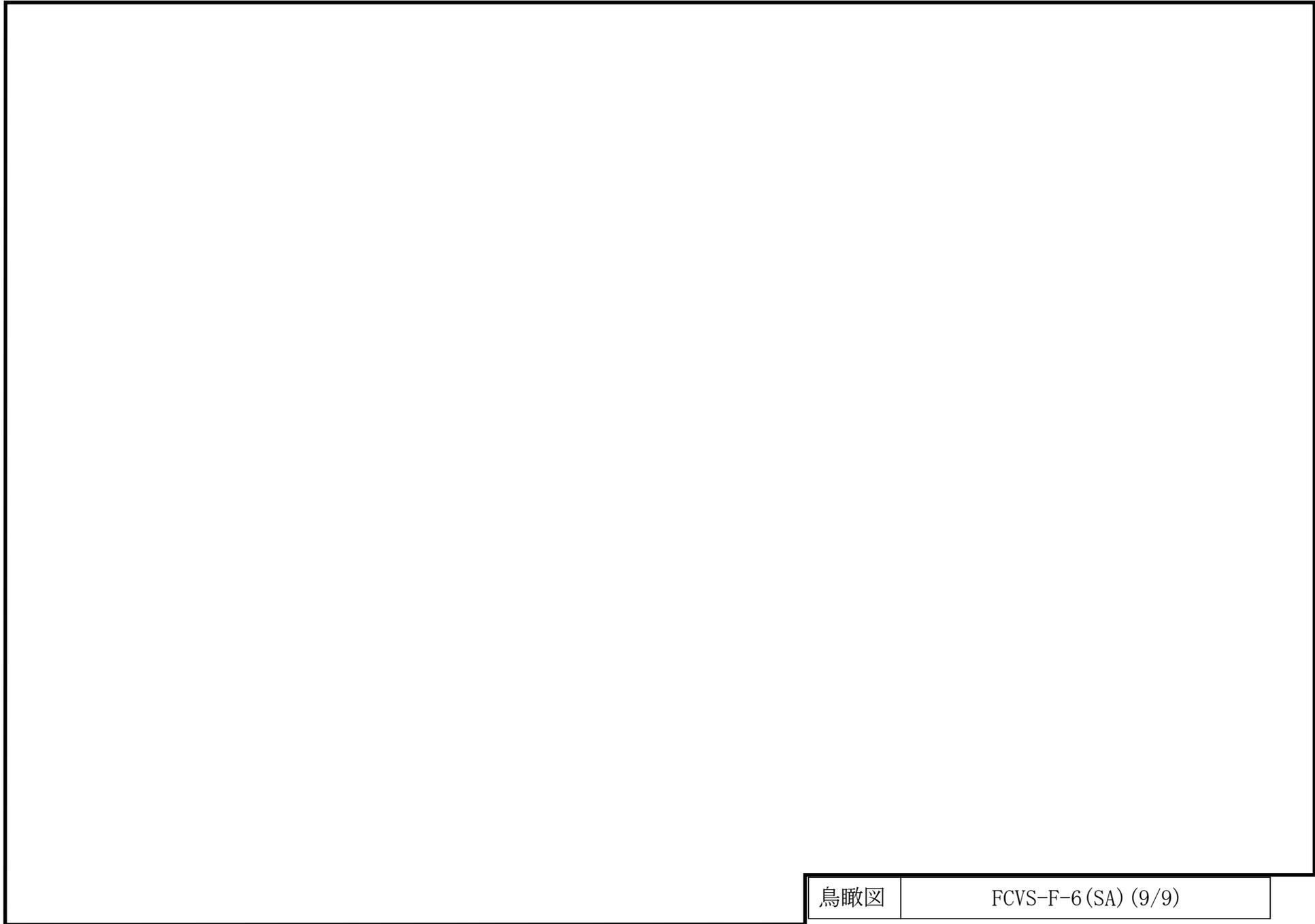
鳥瞰図	FCVS-F-6(SA) (5/9)
-----	--------------------







鳥瞰図	FCVS-F-6 (SA) (8/9)
-----	---------------------



鳥瞰図	FCVS-F-6 (SA) (9/9)
-----	---------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器フィルタベント系	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IVAS
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8}$	VAS
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *9}$	
							$V_L + S_s^{*10}$	
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	格納容器フィルタベント系	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IVAS
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8}$	VAS
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *9}$	
							$V_L + S_s^{*10}$	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	格納容器 フィルタ ベント系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *9}	
							V _L + S _s ^{*10}	

注記*1 : S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／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 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*8 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用しない場合)における荷重条件を適用する。

*9 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~76A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.853	200
		V _A S	0.853	200

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 FCVS-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～76A	318.5	10.3	STPT410	—	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1A~76A

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
11						
17						
22						
31						
37						
42						
46						
52						
57						
66						
73						
76A						

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 FCVS-F-6

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1~35, 2~102 4~202	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200
2	103~112S, 203~210S 6~304S, 10~404S 26~505, 508~520 520~525A, 30~605 608~620, 620~625A 32~710, 713~728 728~733A, 34~809 812~827, 827~833A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200
3	112S~172, 210S~265 304S~363, 404S~457	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200
4	172~173, 265~266 363~364, 457~459	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200
5	173~177N, 266~270N 364~367N, 459~462N	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200
6	505~5051, 5073~508 605~6051, 6073~608 710~7101, 7123~713 809~8091, 8113~812	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200

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 FCVS-F-6

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
7	5051～5052, 5072～5073 6051～6052, 6072～6073 7101～7102, 7122～7123 8091～8092, 8112～8113	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200
8	5052～506, 507～5072 6052～606, 607～6072 7102～711, 712～7122 8092～810, 811～8112	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.427	200
		Ⅴ _A S	0.427	200

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 FCVS-F-6

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～35, 2～102 4～202	406.4	12.7	STPT410	—	201867
2	103～112S, 203～210S 6～304S, 10～404S 26～505, 508～520 520～525A, 30～605 608～620, 620～625A 32～710, 713～728 728～733A, 34～809 812～827, 827～833A	318.5	10.3	STPT410	—	201867
3	112S～172, 210S～265 304S～363, 404S～457	318.5	10.3	STPT410	—	201667
4	172～173, 265～266 363～364, 457～459	318.5	10.3	SF440A	—	200667
5	173～177N, 266～270N 364～367N, 459～462N	318.5	10.3	SUS304TP	—	193667
6	505～5051, 5073～508 605～6051, 6073～608 710～7101, 7123～713 809～8091, 8113～812	318.5	10.3	SF440A	—	200867

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 FCVS-F-6

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
7	5051～5052, 5072～5073 6051～6052, 6072～6073 7101～7102, 7122～7123 8091～8092, 8112～8113	318.5	17.4	SUS316LTP	—	193867
8	5052～506, 507～5072 6052～606, 607～6072 7102～711, 712～7122 8092～810, 811～8112	303.0	2.4	SUS316LTP	—	193867

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FCVS-F-6

質量	対応する評価点
	1～19F, 20F～35, 2～102, 4～202
	103～112S, 203～210S, 6～304S, 10～404S, 26～5053 5071～520, 520～525A, 30～6053, 6071～620, 620～625A 32～7103, 7121～728, 728～733A, 34～8093, 8111～827 827～833A
	112S～173, 210S～266, 304S～364, 404S～459
	173～177N, 266～270N, 364～367N, 459～462N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 FCVS-F-6

質量	対応する評価点
□	19F
□	20F
□	23F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCVS-F-6

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
8						
16						
28						
114						
119						
124						
128						
134						
140						
144						
149						
153						
159						
164						
169						
169						
177N						
** 177N **						
** 177N **						
212						
217						
222						
226						
232						
238						
242						
250						
255						
259						

S2 補 VI-2-9-4-7-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCVS-F-6

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
270N						
** 270N **						
** 270N **						
306						
311						
316						
320						
324						
328						
332						
338						
343						
348						
352						
357						
367N						
** 367N **						
** 367N **						
406						
411						
416						
420						
424						
428						
438						
444						
448						

S2 補 VI-2-9-4-7-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCVS-F-6

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
448						
462N						
** 462N **						
** 462N **						
504						
509						
515						
518						
525A						
604						
609						
615						
618						
625A						
709						
714						
720						
723						
733A						
808						
813						
819						
822						
833A						

S2 補 VI-2-9-4-7-1-1 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	200	—	207	404	—
SF440A	200	—	196	401	—
SUS304TP	200	—	144	402	—
SUS316LTP	200	—	120	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
FCVS-R-1	原子炉建物				
FCVS-F-6	原子炉建物				
	第1ベント フィルタ格納槽				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

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

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)

40

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FCVS-F-6

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		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				
13次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FCVS-F-6

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				
13次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

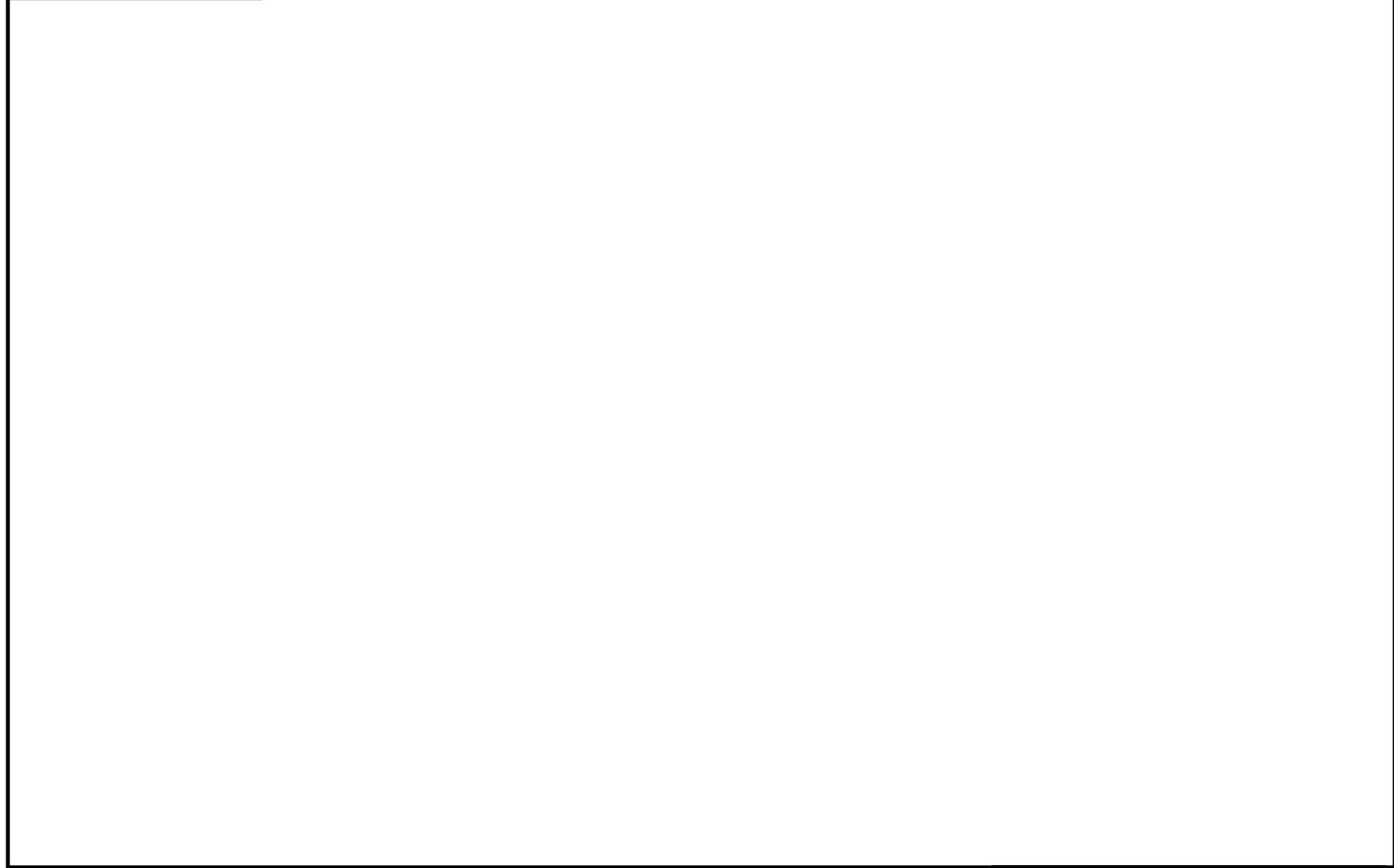


代表的振動モード図 (2次)



45

代表的振動モード図 (3次)



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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FCVS-R-1	65	147	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCVS-F-6	270N	219	288	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FCVS-R-1	65	147	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCVS-F-6	270N	219	288	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SN0-FCVS-197	オイルスナッパ	SN-3			29	45	—
RE-FCVS-174	ロッドレストレイント	RSA-3			28	54	—
SH-FCVS-35	スプリングハンガ	VSAL2B-13			12	13	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-FCVS-76	レストレイント	ビーム	STKR400	37.1	127	28	0	—	—	—	組合せ	65	161
AN-FCVS-64	アンカ	ラグ	SGV410	200	18	38	20	15	0	13	組合せ	37	130

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
							動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	FCVS-R-1	65	147	363	2.46	○	65	309	414	1.33	—	—
2	FCVS-R-2	2	81	363	4.48	—	3	132	414	3.13	—	—
3	FCVS-R-3	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
4	FCVS-R-4	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
5	FCVS-R-5	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
6	FCVS-R-6	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
7	FCVS-R-7	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
8	FCVS-R-8	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
9	FCVS-R-9	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
10	FCVS-R-10	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
11	FCVS-R-11	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
12	FCVS-R-12	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
13	FCVS-R-13	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
14	FCVS-R-14	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
15	FCVS-R-15	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
16	FCVS-R-16	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
17	FCVS-R-17	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
18	FCVS-R-18	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
19	FCVS-R-19	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
20	FCVS-R-20	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
21	FCVS-R-21	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
22	FCVS-R-22	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
23	FCVS-R-1SP	45	77	366	4.75	—	45	146	462	3.16	—	—
24	FCVS-R-2SP	54W	128	366	2.85	—	54W	272	462	1.69	—	—
25	FCVS-R-3SP	1A	124	366	2.95	—	1A	290	462	1.59	—	—
26	FCVS-R-4SP	43W	136	366	2.69	—	43W	263	462	1.75	—	—
27	FCVS-R-5SP	27W	113	366	3.23	—	64W	293	462	1.57	—	—
28	FCVS-R-11SP	48	78	366	4.69	—	48	144	462	3.20	—	—
29	FCVS-R-12SP	191W	132	366	2.77	—	234A	302	462	1.52	—	—
30	SGT-R-1	1155	76	363	4.77	—	1155	104	414	3.98	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
31	SGT-R-6	424	116	363	3.12	—	424	170	414	2.43	—	—
32	FCVS-F-1	66	86	366	4.25	—	40	138	414	3.00	—	—
33	FCVS-F-2	39	95	361	3.80	—	39	150	288	1.92	—	—
34	FCVS-F-3	41	59	361	6.11	—	41	95	288	3.03	—	—
35	FCVS-F-4	66	81	361	4.45	—	66	120	288	2.40	—	—
36	FCVS-F-5	34	77	361	4.68	—	34	134	288	2.14	—	—
37	FCVS-F-6	270N	114	361	3.16	—	270N	219	288	1.31	—	○
38	FCVS-F-5SP	102	60	363	6.05	—	102	185	414	2.23	—	—
39	FCVS-F-6SP	102	110	363	3.30	—	102	285	414	1.45	—	—
40	FCVS-F-7SP	14	32	431	13.46	—	102	190	414	2.17	—	—
41	FCVS-F-8SP	27W	24	431	17.95	—	102	269	414	1.53	—	—
42	FCVS-F-9SP	102	125	363	2.90	—	102	222	414	1.86	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	FCVS-R-1	65	147	363	2.46	○	65	309	414	1.33	—	—
2	FCVS-R-2	2	81	363	4.48	—	3	132	414	3.13	—	—
3	FCVS-R-3	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
4	FCVS-R-4	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
5	FCVS-R-5	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
6	FCVS-R-6	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
7	FCVS-R-7	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
8	FCVS-R-8	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
9	FCVS-R-9	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
10	FCVS-R-10	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
11	FCVS-R-11	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
12	FCVS-R-12	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
13	FCVS-R-13	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
14	FCVS-R-14	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
15	FCVS-R-15	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
16	FCVS-R-16	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
17	FCVS-R-17	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
18	FCVS-R-18	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
19	FCVS-R-19	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
20	FCVS-R-20	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
21	FCVS-R-21	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
22	FCVS-R-22	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
23	FCVS-R-1SP	45	77	366	4.75	—	45	146	462	3.16	—	—
24	FCVS-R-2SP	54W	128	366	2.85	—	54W	272	462	1.69	—	—
25	FCVS-R-3SP	1A	124	366	2.95	—	1A	290	462	1.59	—	—
26	FCVS-R-4SP	43W	136	366	2.69	—	43W	263	462	1.75	—	—
27	FCVS-R-5SP	27W	113	366	3.23	—	64W	293	462	1.57	—	—
28	FCVS-R-11SP	48	78	366	4.69	—	48	144	462	3.20	—	—
29	FCVS-R-12SP	191W	132	366	2.77	—	234A	302	462	1.52	—	—
30	SGT-R-1	1155	76	363	4.77	—	1155	104	414	3.98	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
31	SGT-R-6	424	116	363	3.12	—	424	170	414	2.43	—	—
32	FCVS-F-1	66	86	366	4.25	—	40	138	414	3.00	—	—
33	FCVS-F-2	39	95	361	3.80	—	39	150	288	1.92	—	—
34	FCVS-F-3	41	59	361	6.11	—	41	95	288	3.03	—	—
35	FCVS-F-4	66	81	361	4.45	—	66	120	288	2.40	—	—
36	FCVS-F-5	34	77	361	4.68	—	34	134	288	2.14	—	—
37	FCVS-F-6	270N	114	361	3.16	—	270N	219	288	1.31	—	○
38	FCVS-F-5SP	102	60	363	6.05	—	102	185	414	2.23	—	—
39	FCVS-F-6SP	102	110	363	3.30	—	102	285	414	1.45	—	—
40	FCVS-F-7SP	14	32	431	13.46	—	102	190	414	2.17	—	—
41	FCVS-F-8SP	27W	24	431	17.95	—	102	269	414	1.53	—	—
42	FCVS-F-9SP	102	125	363	2.90	—	102	222	414	1.86	—	—

VI-2-9-4-7-1-2 第1 ベントフィルタ スクラバ容器の
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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-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、第1ベントフィルタ スクラバ容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。

第1ベントフィルタ スクラバ容器は、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を示す。

なお、第1ベントフィルタ スクラバ容器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第1ベントフィルタ スクラバ容器の構造計画を表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	
胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。	たて置円筒形 （上面及び下面に鏡板 を有するスカート支持 たて置円筒形容器）	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ スクラバ容器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表3-1 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

第1ベントフィルタ スクラバ容器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器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行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

第1ベントフィルタ スクラバ容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4-1に示す。

4.2.2 許容応力

第1ベントフィルタ スクラバ容器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2及び表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第1ベントフィルタ スクラバ容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4-4に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ スクラバ容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。

表 4-1 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
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	第1ベントフィルタ スクラバ容器	常設／緩和	重大事故等* ² クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	第1ベントフィルタ スクラバ容器	常設耐震／防止	重大事故等* ² クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 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
IVAS	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	*2 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不要	
VAS (VAS として IVAS の許容限界を用いる。)				

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・S_y を超えるとき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 4-3 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} (ボルト等以外)		許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	
	引張	座屈 ^{*3}	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t [*]	1.5・f _b , 1.5・f _s 又は 1.5・f _c	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。

*3：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 4-4 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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		胴板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120
スカート	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
基礎ボルト	SNB7 (径 ≤ 63mm)	周囲環境温度	60	—	705	816	—

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第1 ベントフィルタ スクラバ容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。

【第1ベントフィルタ スクラバ容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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
第1ベントフィルタ スクラバ容器	常設耐震/防止 常設/緩和	第1ベントフィルタ格納槽 EL 2.7 *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = 4.50 *2	C _V = 3.00 *2	0.853	200	60

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	2200	20.0	2200	25.0	183000 *1	183000 *1	70400 *1	70400 *1

∅ (mm)	∅ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)
2456	851	550	550	150	15	20	2420	2600

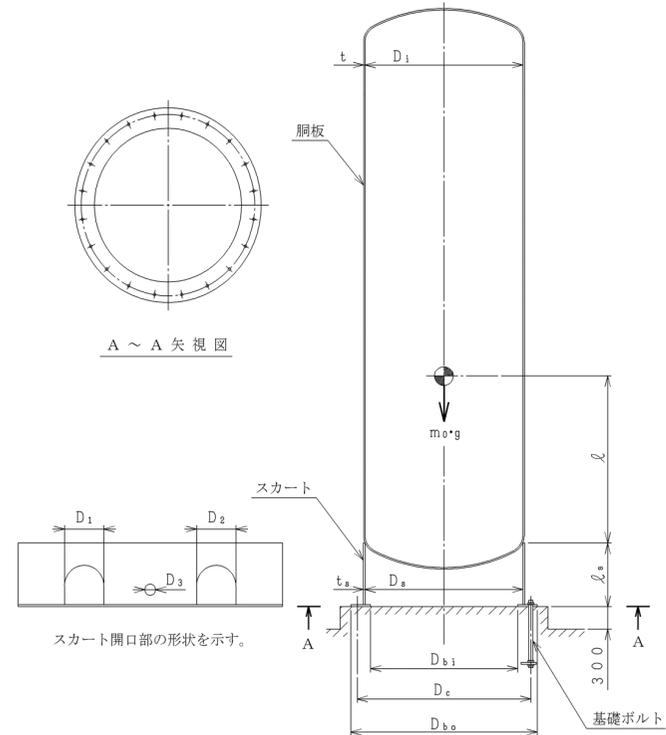
D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
2050	30 (M30)	706.9	1262	—	3.736 × 10 ⁹

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	S _y (RT) (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
120 *1	407 *1	144 *1	402 *1	205	—	194

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
705 *2 (径 ≤ 63mm)	816 *2 (径 ≤ 63mm)	—	571

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出



S2 補 VI-2-9-4-7-1-2 R0

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)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 48$	$\sigma_{X1} = 24$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X2} = 1$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 3$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 36$	$\tau = 17$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} = 48$	$\sigma_{Xt} = 63$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} = -48$	$\sigma_{Xc} = 16$	—
組合せ応力	引張	—	—	—	$\sigma_{0t} = 74$	—
	圧縮	—	—	—	—	—

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 3$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 36$	$\tau = 17$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xt} = 39$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xc} = 39$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	—	—	—	$\sigma_{2t} = 89$	—
	圧縮	—	—	—	$\sigma_{2c} = 90$	—

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	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	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_s = 73$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3} = 6$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = 61$	
	せん断		$\tau_s = 16$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b = 372$
せん断応力	—	$\tau_b = 80$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_V =$ <input type="text"/>

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	SUS316L	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 74$	$S_a = 244$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 90$	$S_a = 240$
		組合せ	—	—	$\sigma_s = 73$	$f_{tm} = 194$
スカート	SUS304	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
			—	—	0.35 (無次元)	
基礎ボルト	SNB7	引張	—	—	$\sigma_b = 372$	$f_{ts} = 428^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 80$	$f_{sb} = 329$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-9-4-7-1-3 第1 ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の
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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-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、第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容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。

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器は、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を示す。

なお、第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の構造計画を表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	
<p>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に鏡板 を有するスカート支持 たて置円筒形容器)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位: s)

水平			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器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行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容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4-1に示す。

4.2.2 許容応力

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2及び表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容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4-4に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容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。

表 4-1 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
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器	常設／緩和	重大事故等* ² クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器	常設耐震／防止	重大事故等* ² クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 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
IVAS	0.6・Su	左欄の 1.5 倍の値	*2 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不要	
VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)				

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。

の

*2：2・S_yを超えるとき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 4-3 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 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	
	引張	座屈*3	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t [*]	1.5・f _b , 1.5・f _s 又は 1.5・f _c	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。

*3：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 4-4 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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		胴板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120
スカート	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
基礎ボルト	SNB7 (径 ≤ 63mm)	周囲環境温度	60	—	705	816	—

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第1 ベントフィルタ 銀ゼオライト容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。

S2 補 VI-2-9-4-7-1-3 R0

【第1ペントフィルタ 銀ゼオライト容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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
第1ペントフィルタ 銀ゼオライト容器	常設耐震/防止 常設/緩和	第1ペントフィルタ格納槽 EL 2.7(EL 7.6 ^{*1})	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =4.50 ^{*2}	C _V =3.00 ^{*2}	0.427	200	60

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)を上回る設計震度

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	3000	20.0	3000	25.0	183000 ^{*1}	183000 ^{*1}	70400 ^{*1}	70400 ^{*1}

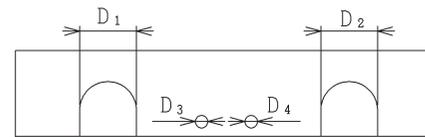
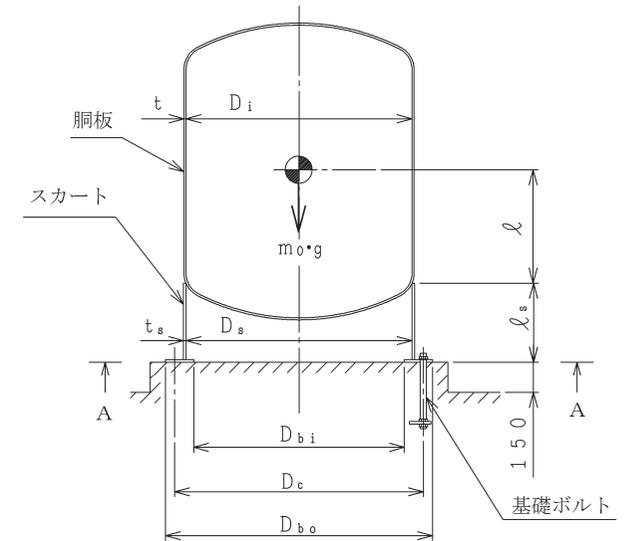
ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)
1260	940	550	550	150	150	15	24	3240	3400

D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (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
2700	36 (M36)	1018	1406	—	2.282×10 ⁹

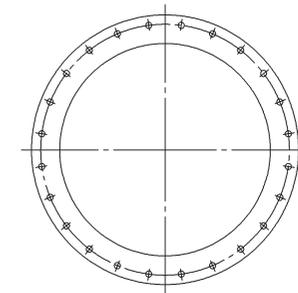
S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	S _y (RT) (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
120 ^{*1}	407 ^{*1}	144 ^{*1}	402 ^{*1}	205	—	194

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
705 ^{*2} (径≤63mm)	816 ^{*2} (径≤63mm)	—	571

注記*1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A ~ A 矢視図

S2 補 VI-2-9-4-7-1-3 R0

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)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 33$	$\sigma_{X1} = 17$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X2} = 1$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 10$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} = 33$	$\sigma_{Xt} = 29$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} = -33$	$\sigma_{Xc} = -6$	—
組合せ応力	引張	—	—	$\sigma_{0t} = 42$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 10$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xt} = 12$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xc} = 11$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	—	—	$\sigma_{2t} = 37$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c} = 35$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	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	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_s = 29$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3} = 4$	
水平方向地震 による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = 18$	
	せん断		$\tau_s = 11$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b = 110$
せん断応力	—	$\tau_b = 43$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_V =$ <input type="text"/>

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	SUS316L	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 42$	$S_a = 244$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 37$	$S_a = 240$
スカート	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_s = 29$	$f_{tm} = 194$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
		—	—	0.12 (無次元)		
基礎ボルト	SNB7	引張	—	—	$\sigma_b = 110$	$f_{ts} = 428^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 43$	$f_{sb} = 329$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-9-4-7-1-4 遠隔手動弁操作設備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	6
2.3	適用規格・基準等	7
2.4	記号の説明	8
2.5	計算精度と数値の丸め方	10
3.	評価部位	11
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	12
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	18
4.5	設計用地震力	19
4.6	計算方法	20
4.7	計算条件	24
4.8	応力の評価	24
5.	機能維持評価	25
5.1	動的機能維持評価方法	25
6.	評価結果	26
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-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、遠隔手動弁操作設備が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

遠隔手動弁操作設備は、重大事故等対処設備において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を示す。

なお、遠隔手動弁操作設備は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない設備であるため、加振試験で得られた機能確認済加速度と評価用加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

遠隔手動弁操作設備の構造計画を表2-1から表2-4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	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。L型ジョイントは対象弁に固定される。中間ギアは貫通シャフトに固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>フレキシブルシャフトガイド</p> <p>貫通シャフト</p> <p>中間ギア</p> <p>カップリングユニット</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>L型ジョイント</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p>遠隔手動弁操作設備（その1）</p>

表2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。L型ジョイントは対象弁に固定される。中間ギアは貫通シャフトに固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>フレキシブルシャフトガイド</p> <p>貫通シャフト</p> <p>中間ギア</p> <p>カップリングユニット</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>L型ジョイント</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p>遠隔手動弁操作設備（その2）</p>

表2-3 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフトを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>貫通シャフト</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>カップリングユニット</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p>遠隔手動弁操作設備 (その3)</p> <p>(単位: mm)</p>

表2-4 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフトを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>貫通シャフト</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>カップリングユニット</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p> <p style="text-align: center;">遠隔手動弁操作設備 (その4)</p>

2.2 評価方針

遠隔手動弁操作設備の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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」にて示す遠隔手動弁操作設備の部位を踏まえ「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。また、遠隔手動弁操作設備の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の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、「5. 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「6. 評価結果」に示す。

遠隔手動弁操作設備の耐震評価フローを図2-1に示す。

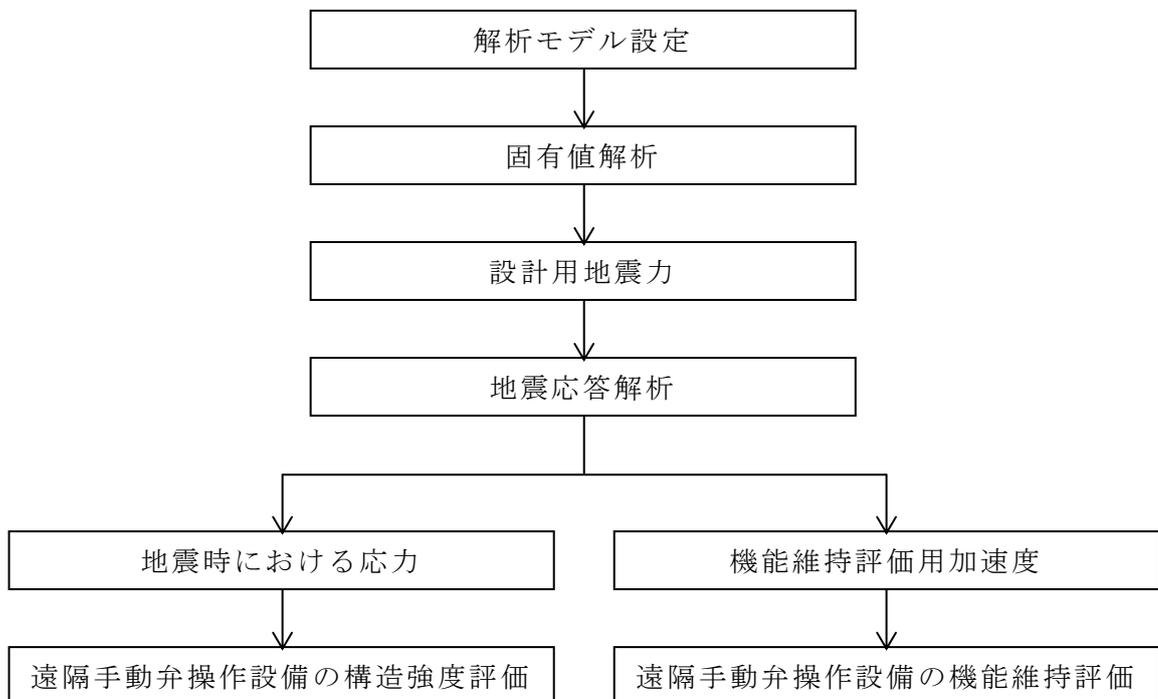


図2-1 遠隔手動弁操作設備の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{b i}$	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_i	ボルトの呼び径*	mm
B_P	アンカープレート内のボルト間距離	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)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
$f_{s b i}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
$f_{t o i}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
$f_{t s i}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）*	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
F_x	サポート材の軸力（x方向）	N
F_y	サポート材のせん断力（y方向）	N
F_z	サポート材のせん断力（z方向）	N
M_x	サポート材に作用するモーメント（x軸廻り）	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_y	サポート材に作用するモーメント（y軸廻り）	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_z	サポート材に作用するモーメント（z軸廻り）	$\text{N} \cdot \text{m}$
$F_{b i}$	ボルトに作用する引張力*	N
$P_{1 \max}$	M_y による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$P_{2 \max}$	M_z による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
Q_{\max}	M_x による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大せん断力	N
r_j	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの長さ	mm
n_i	せん断力を受けるボルトの本数*	—
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	—
$Q_{b i}$	ボルトに作用するせん断力*	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	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

記号	記号の説明	単位
y_j	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの y 方向長さ	mm
z_j	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの z 方向長さ	mm
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記* : A_{bi} , d_i , F_{bi} , Q_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , n_i , σ_{bi} , τ_{bi}
の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効桁数6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-5に示すとおりである。

表2-5 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 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第1位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント	N・m	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	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 ^{*5}	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：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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

遠隔手動弁操作設備の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。

今回の評価では、遠隔手動弁操作設備の支持構造物のうち最も高所に設置され、また、1つの支持構造物に対して複数のフレキシブルシャフトの支持点を持つため反力が大きくなり、評価上最も厳しくなるMV217-18, 23の支持構造物を代表とする。なお、支持構造物自体は、構造物として十分な剛性を有しており、取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば支持機能を維持できるため、取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。遠隔手動弁操作設備の耐震評価部位については、図3-1に示す。

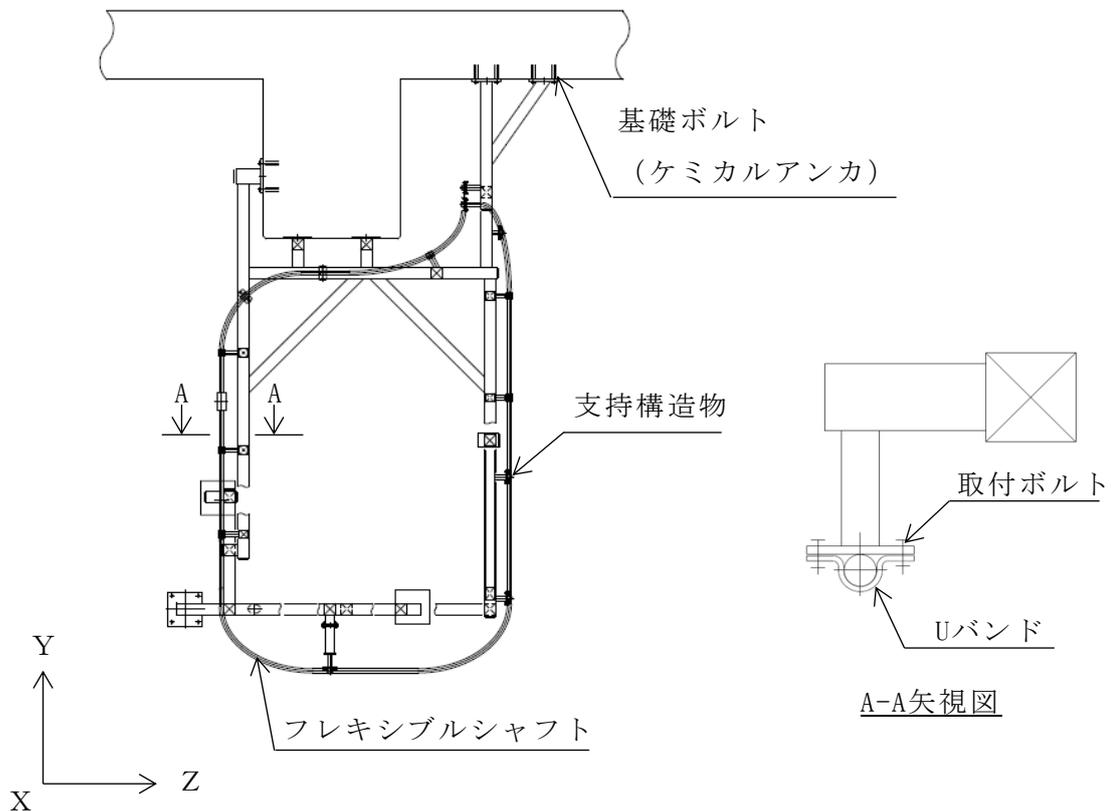


図3-1 評価部位（取付ボルト，基礎ボルト）

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) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、フレキシブルシャフトはL型ジョイント及び中間ギアに接続する。
- (2) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、支持構造物は壁及び床に基礎ボルトにより固定する。
- (3) 地震力は、遠隔手動弁操作設備に対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による組合せには絶対値和を適用する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

遠隔手動弁操作設備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4-1に示す。

4.2.2 許容応力

遠隔手動弁操作設備の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

遠隔手動弁操作設備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4-3に示す。

表4-1 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
原子炉格納 施設	圧力低減設備その 他の安全設備	遠隔手動弁操作 設備	常設／緩和	－*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記*1：「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4-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A 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4-3 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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
取付ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	100°C	—	194	373	—
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	100°C	—	194	373	—

4.3 解析モデル及び諸元

遠隔手動弁操作設備の解析モデルを図4-1及び図4-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 解析モデルでは、支持構造物をはり要素でモデル化した地震応答解析を実施する。
- (2) フレキシブルシャフトから支持構造物への反力は、フレキシブルシャフトの重量と設計用床応答スペクトルを包絡する加速度を加味した反力として与える。
- (3) 拘束条件として、建物躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (4) 支持構造物の取付ボルト及び基礎ボルトの応力は、解析結果で得られた荷重(反力, モーメント)を用いて理論式により算出する。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値、遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち支持構造物に生じる荷重(反力, モーメント)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、VI-5「計算プログラム(解析コード)の概要」に示す。

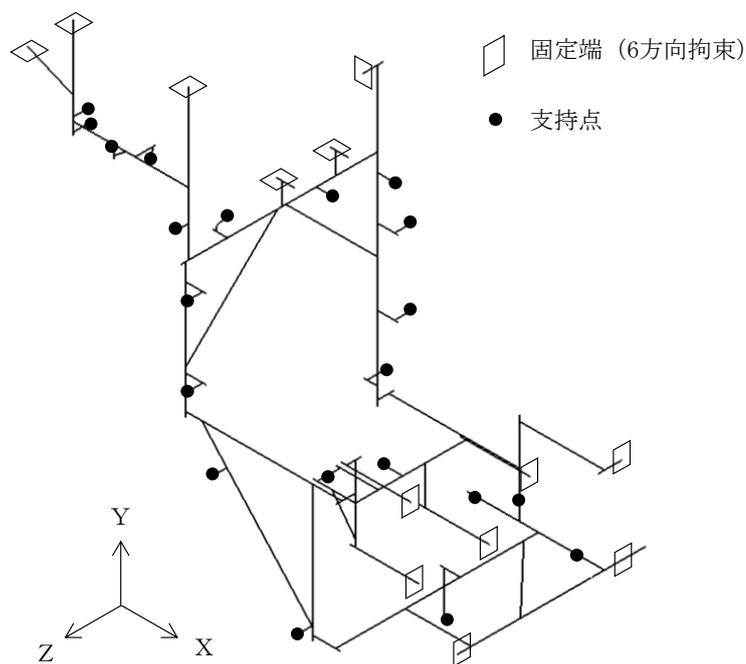


図4-1 解析モデル (全体構造)

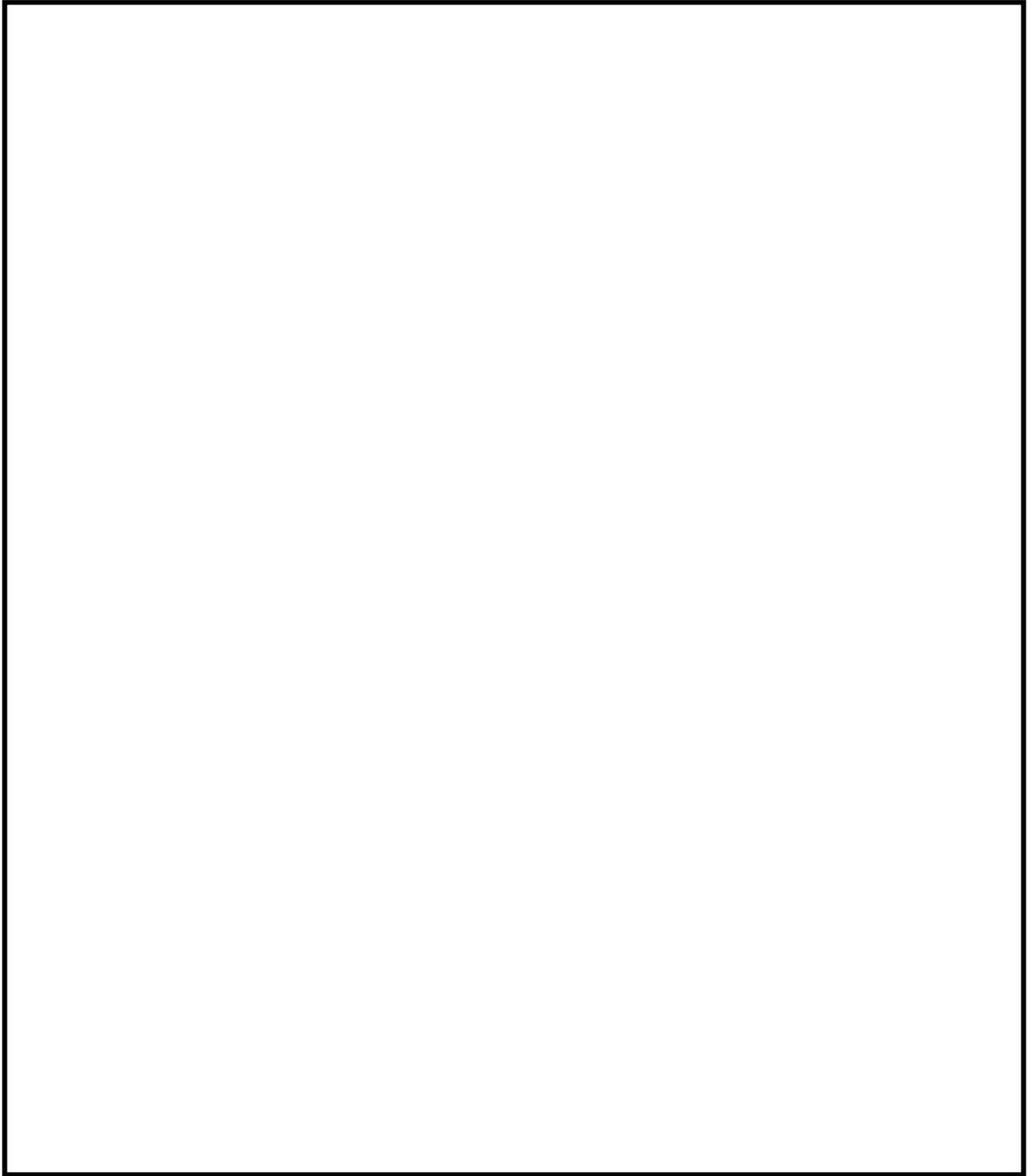


図4-2 解析モデル（主要寸法）

注：図中の寸法の単位はmmである。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-4に、振動モード図を図4-2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4-4 固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次			-	-	-



図4-3 振動モード（1次モード ）

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-5に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表4-5 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
	X方向	Z方向		X方向	Z方向		X方向	Z方向	
原子炉建物 □									

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 取付ボルトの応力

取付ボルトの応力は、Uバンドから加わる荷重が、引張力及びせん断力として取付ボルトに作用するものとする。Uバンドから加わる荷重は、接続されるフレキシブルシャフトのピッチ長さに相当する質量に対し、基準床レベルにおける床応答スペクトル（減衰 5%）の最大値を応答加速度として荷重を算出する。なお、取付ボルトについては保守的にx, y, z全方向の荷重を考慮するものとする。評価に用いるUバンドに生じる荷重を表4-6、基準床レベルにおける最大応答加速度を表4-7に示す。また、Uバンドの概要を図4-4に示す。

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張応力は最も厳しい条件として、図4-4に示す3方向荷重を考慮し、これを2本の取付ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_{b2} = \frac{F_x}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_{b2} = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b2} は、(4.6.1.1.3) 式による。

表4-6 Uバンドに生じる荷重

対象機器	荷重(N)		
	F_x	F_y	F_z
遠隔手動弁操作 設備	500	700	500

表4-7 基準床レベルにおける最大応答加速度 ($\times 9.8m/s^2$)

据付高さ及び 基準床面高さ (m)	応答加速度		
	水平方向		鉛直 方向
	X方向	Z方向	
	6.33	6.46	7.66

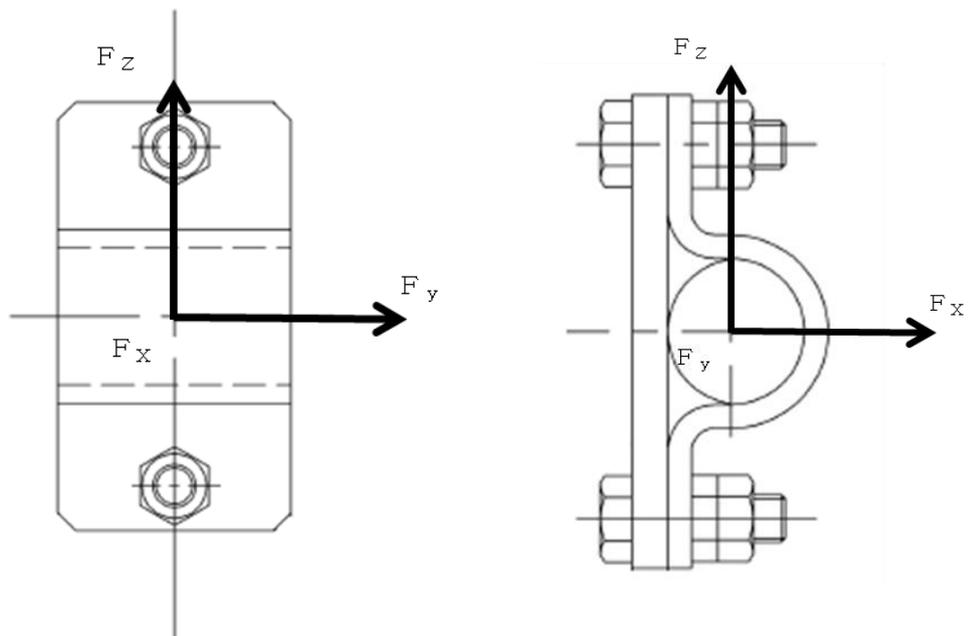


図4-4 Uバンド部の概要

4.6.1.2 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から理論式により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。遠隔手動弁操作設備の基礎ボルト部の概要を図4-5に示す。また、表4-8に要素端での反力及びモーメントを示す。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図4-4に示すサポート材の軸力 F_x と曲げモーメント M_y 、 M_z を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

アンカープレートを中心に解析による計算で得られる軸力及び曲げモーメントがかかるものとし、最も中心から遠い基礎ボルトが最大の引張力を受ける前提として、最大引張力から引張応力を計算する。

a. 引張力

$$F_{b1} = \frac{|F_x|}{n_1} + P_{1max} + P_{2max} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

ここで、

$$P_{1max} = M_y / B_P / n_f$$

$$P_{2max} = M_z / B_P / n_f$$

b. 引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、図4-5に示すサポート材のせん断力 F_y 、 F_z とねじりモーメント M_x を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_{b1} = \frac{\sqrt{(F_y^2 + F_z^2)}}{n_1} + Q_{max} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

ここで、

$$Q_{max} = M_x / (B_p / \sqrt{2}) / n_1$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b1} は、(4.6.1.2.3) 式による。

表4-8 解析で得られる要素端での反力、モーメント (基礎ボルト)

対象機器	反力(N)			モーメント(N・m)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
遠隔手動弁操作 設備	1.085×10^4	5.544×10^3	2.809×10^3	149.1	1.210×10^3	2.186×10^3

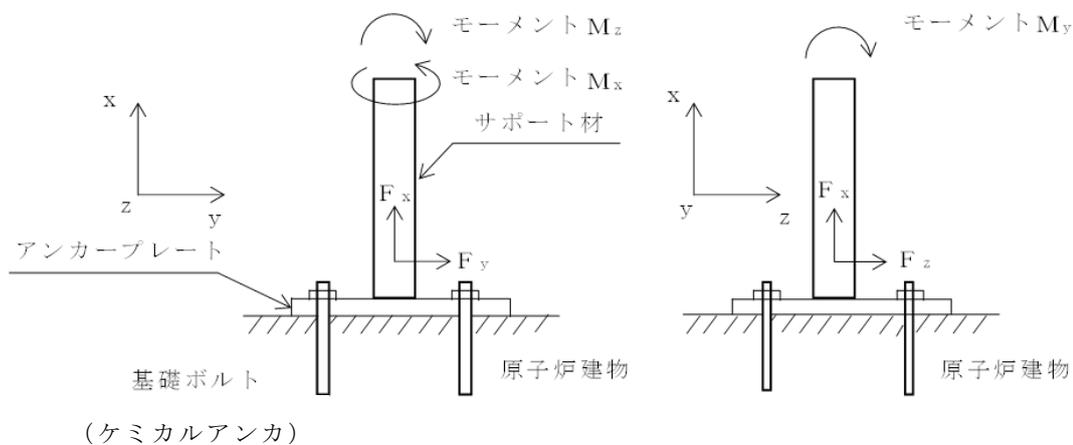


図4-5 基礎ボルト部の概要

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件を、本計算書の【遠隔手動弁操作設備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 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.1項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{b1} 及び4.6.1.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{b2} が、次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受ける取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

f_{toi}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sbi}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

遠隔手動弁操作設備の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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確認することで実施する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。なお、L型ジョイントは弁に直接取り付くことから、当該弁を含む配管モデルの地震応答解析から得られた当該弁の応答加速度を機能維持評価用加速度とする。

遠隔手動弁操作設備が、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない設備であることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を機能確認済加速度とする。

5.1.1 機能確認済加速度

遠隔手動弁操作設備の機能確認済加速度として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該機器が設置される床における加速度以上での連続正弦波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5-1に示す。

表5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
貫通シャフト	水平	
	鉛直	
中間ギア	水平	
	鉛直	
L型ジョイント	水平	
	鉛直	
フレキシブルシャフト連結部	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

遠隔手動弁操作設備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，動的機能を維持できることを確認した。

(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。

【遠隔手動弁操作設備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(°C)
			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	
			X方向	Z方向		X方向	Z方向		X方向	Z方向		
遠隔手動弁操作設備	常設/緩和	原子炉建物										100

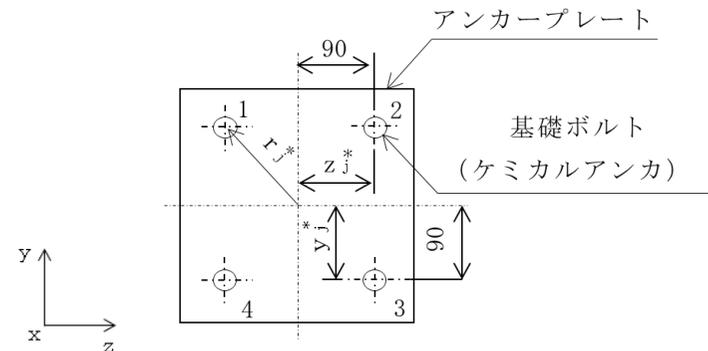
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

d ₁ (基礎ボルト) (mm)	A _{b1} (基礎ボルト) (mm ²)	n ₁ (基礎ボルト) (本)	n _f (本)	B _p (mm)	y _{1,2,3,4} (mm)	z _{1,2,3,4} (mm)	r _{1,2,3,4} (mm)	d ₂ (取付ボルト) (mm)	A _{b2} (取付ボルト) (mm ²)	n ₂ (取付ボルト) (本)
16 (M16)	201.1	4	2	180	90	90	127.3	12 (M12)	113.1	2

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	194 (40mm<径≦100mm)	373	194	232
取付ボルト	SS400	194 (40mm<径≦100mm)	373	194	232



注記*：j は基礎ボルト番号を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

要素 番号	節点 番号	F_x		F_y		F_z	
		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
1	1	—	1.085×10^4	—	5.544×10^3	—	2.809×10^3

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

要素 番号	節点 番号	M_x		M_y		M_z	
		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
1	1	—	149.1	—	1.210×10^3	—	2.186×10^3

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルト及び基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{b i}$		$Q_{b i}$	
	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)	—	1.214×10^4	—	1.847×10^3
取付ボルト (i = 2)	—	250	—	430.1

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1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 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=61$	$f_{ts}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb}=133$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=3$	$f_{ts}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb}=133$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.3 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度	
遠隔手動弁操作設備 (貫通シャフト)	水平方向	1.46 ^{*1}		
	鉛直方向	1.51 ^{*1}		
遠隔手動弁操作設備 (中間ギア)	水平方向	1.46 ^{*1}		
	鉛直方向	1.51 ^{*1}		
遠隔手動弁操作設備 (L型ジョイント)	水平方向	5.10 ^{*2}		
	鉛直方向	5.30 ^{*2}		
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト連結部)	水平方向	1.46 ^{*1}		
	鉛直方向	1.51 ^{*1}		

注記*1：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度

*2：L型ジョイントは弁に直接取り付くことから、当該弁を含む配管モデルの地震応答解析から得られた当該弁の応答加速度を機能維持評価用加速度とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能維持確認済加速度以下である。

VI-2-10 その他発電用原子炉の附属施設の耐震性に関する説明書

VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性に関する説明書

VI-2-10-1-2 非常用発電装置の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1-6 非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料
移送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	5
3.1 構造強度評価方法	5
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 計算条件	5
4. 機能維持評価	10
4.1 基本方針	10
4.2 ポンプの動的機能維持評価	11
4.3 原動機の動的機能維持評価	19
5. 評価結果	28
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-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、非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプは、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重大事故防止設備（設計基準拡張）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。

なお、非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため、構造強度評価は VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を行う。また、非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きスクリー式ポンプであるため、新たに評価項目を検討し、評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプの構造計画を表 2-1 から表 2-3 に示す。

表 2-1 構造計画

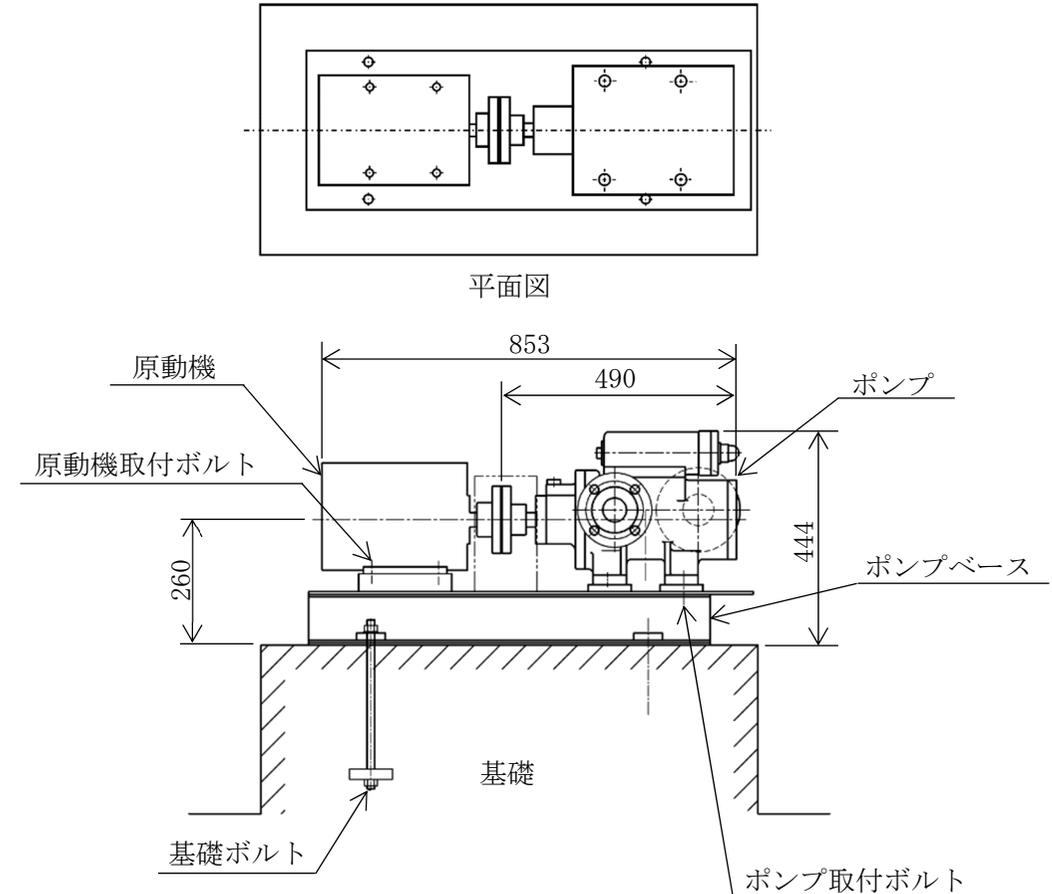
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>スクリー式 (スクリー式横形ポンプ)</p>	<p style="text-align: center;">概略構造図</p>  <p style="text-align: center;">平面図</p> <p style="text-align: center;">全体図 (単位: mm)</p> <p>Labels in the diagram: 原動機 (Motor), 原動機取付ボルト (Motor mounting bolt), 基礎ボルト (Foundation bolt), 基礎 (Foundation), ポンプ (Pump), ポンプベース (Pump base), ポンプ取付ボルト (Pump mounting bolt).</p> <p>Dimensions in the diagram: 853 (total width), 490 (pump width), 260 (motor height), 444 (pump base height).</p>

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプの軸は軸受に支持される。	スクリー式 (スクリー式横形ポンプ)	<p>メカニカルシール</p> <p>主ねじ (主軸)</p> <p>軸受 (原動機側)</p> <p>軸受 (負荷側)</p> <p>490</p> <p>319</p> <p>ポンプ側断面図</p>

表 2-3 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機の軸（回転子）は軸受に支持され、軸受及び固定子はモータフレームに支持される。端子箱は端子箱取付ボルトでモータフレームに固定する。</p>	<p>スクリー式 (スクリー式横形ポンプ)</p>	<p>端子箱取付ボルト</p> <p>端子箱</p> <p>モータフレーム</p> <p>348</p> <p>247</p> <p>軸(回転子)</p> <p>軸受</p> <p>固定子</p> <p>360</p> <p>正面図</p> <p>A-A断面</p> <p>原動機構造図</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形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行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

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

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送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

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送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 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ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。

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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他のポンプ及び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。

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
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ	常設／防止 (DB拡張)	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他のポンプ及び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 3-3 許容応力（その他の支持構造物及び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	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A 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 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—
ポンプ取付ボルト	SNB7 (径≤63mm)	最高使用温度	40	725	860	—
原動機取付ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	50	715	838	—

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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—
ポンプ取付ボルト	SNB7 (径≤63mm)	最高使用温度	40	725	860	—
原動機取付ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	50	715	838	—

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため、新たに評価項目を検討し、評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる応答加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

4.2 ポンプの動的機能維持評価

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプは、地震後機能維持が要求される設備であるが、ポンプの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプは、原子力発電耐震設計特別調査委員会報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書（昭和 62 年 2 月）」及び電力共通研究「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）」における類似構造の既往知見を踏まえ、地震時異常要因分析に基づいて、評価項目を以下のとおり抽出して評価を実施する。

- a. 基礎ボルト
- b. 取付ボルト
- c. 軸
- d. 軸受
- e. 摺動部（主ねじ部）
- f. メカニカルシール
- g. 軸継手

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。また、「g. 軸継手」は、軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受、摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、軸の変形等による回転機能への影響を考慮し、軸の変形を弾性範囲内に留めるよう、その他の支持構造物の許容応力状態ⅢA S に準拠し設定する。摺動部（主ねじ部）については、主ねじとスリーブの接触による、回転機能、移送機能への影響を考慮して主ねじとスリーブ間隙間を評価基準値とする。軸受は、回転機能確保の観点より面圧を、メカニカルシールは、流体保持機能確保の観点よりシール回転環の変位可能量を評価基準値とする。

評価基準値を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価基準値

評価対象部位	材料	単位	評価基準値
軸		MPa	
軸受	—	MPa	
摺動部（主ねじ部）	—	mm	
メカニカルシール	—	mm	

4.2.3 記号の説明

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Aまでの距離 ($=l_2$)	mm
A	軸の断面積	mm ²
A _{RA}	ラジアル荷重を受ける軸受 (原動機側) の投影面積	mm ²
A _{RB}	ラジアル荷重を受ける軸受 (負荷側) の投影面積	mm ²
A _S	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm ²
b	軸端から支点Bまでの距離	mm
C _H	水平方向震度	—
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向震度	—
d	軸の評価における軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 ($=9.80665$)	m/s ²
I ₁	摺動部 (主ねじ部) の評価における軸の断面二次モーメント	mm ⁴
I ₂	メカニカルシールの評価における軸の断面二次モーメント	mm ⁴
ℓ	軸長さ	mm
ℓ ₁	支点間距離	mm
ℓ ₂	軸端から支点Aまでの距離 ($=a$)	mm
M	最大曲げモーメント	N・mm
m ₀	軸系総質量	kg
m ₁	軸質量	kg
m ₂	軸継手質量	kg
M _{A1}	支点Aの軸等分布荷重による曲げモーメント	N・mm
M _{A2}	支点Aの軸継手端部荷重による曲げモーメント	N・mm
M _{B1}	支点Bの軸等分布荷重による曲げモーメント	N・mm
M _P	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	rpm
P	原動機出力	kW
P _{RA}	ラジアル荷重による軸受 (原動機側) の面圧	MPa
P _{RB}	ラジアル荷重による軸受 (負荷側) の面圧	MPa
P _S	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
W ₀	軸受にかかる通常運転時荷重	N
W ₁	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
W ₂	地震力を考慮した軸継手端部荷重	N

記号	記号の説明	単位
W_3	地震力を考慮した軸質量による支点A, B間中央位置にかかる荷重	N
W_4	地震力を考慮した軸系総質量による端部荷重	N
W_{RA}	軸受（原動機側）にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_{RB}	軸受（負荷側）にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x_1	軸端から支点A, B間中央位置までの距離	mm
x_2	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
Z	軸の断面係数	mm ³
Z_P	軸の極断面係数	mm ³
δ_1	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面における軸のたわみ量	mm
π	円周率	—
σ	軸に生じる引張及び曲げ応力の和	MPa
σ_S	軸に生じる組合せ応力	MPa
τ	軸に生じるねじり応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

軸の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の引張及び曲げ応力の和とねじり応力の組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が、その許容応力値を下回ることを確認する。

軸の評価モデルを図4-1に示す。

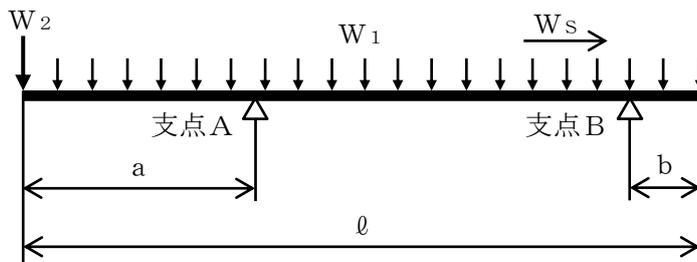


図4-1 軸の評価モデル

軸に生じる組合せ応力 σ_s は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.1)$$

軸に生じる引張及び曲げ応力の和 σ は次式で求める。

$$\sigma = \frac{M}{Z} + \frac{W_s}{A} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.2)$$

ここで、最大曲げモーメントMは

$$M = \max (M_{A1} + M_{A2}, M_{B1}) \quad \dots \dots \dots (4.2.4.3)$$

ここで、支点Aの軸等分布荷重による曲げモーメント M_{A1} は

$$M_{A1} = \frac{W_1 \cdot a^2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.4)$$

ここで、支点Aの軸継手端部荷重による曲げモーメント M_{A2} は

$$M_{A2} = W_2 \cdot a \quad \dots \dots \dots (4.2.4.5)$$

ここで、支点Bの軸等分布荷重による曲げモーメント M_{B1} は

$$M_{B1} = \frac{W_1 \cdot b^2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.6)$$

ここで、地震力を考慮した軸等分布荷重 W_1 は

$$W_1 = \frac{m_1 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P)}{l} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.7)$$

ここで、地震力を考慮した軸継手端部荷重 W_2 は

$$W_2 = m_2 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (4.2.4.8)$$

ここで、軸の断面係数 Z は

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.9)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 W_s は

$$W_s = m_0 \cdot g \cdot (C_H + C_P) + W_0 \quad \dots \dots \dots (4.2.4.10)$$

ここで、軸の断面積 A は

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.11)$$

軸に生じるねじり応力 τ は次式で求める。

$$\tau = \frac{M_P}{Z_P} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.12)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots \dots \dots (4.2.4.13)$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

ここで、軸の極断面係数 Z_P は

$$Z_P = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.14)$$

(2) 軸受

軸受の評価は、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. 軸受（原動機側）のラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受（原動機側）の面圧 P_{RA} は次式で求める。

$$P_{RA} = \frac{W_{RA}}{A_{RA}} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.15)$$

ここで、軸受（原動機側）にかかる地震時のラジアル荷重 W_{RA} は

$$W_{RA} = m_0 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (4.2.4.16)$$

b. 軸受（負荷側）のラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受（負荷側）の面圧 P_{RB} は次式で求める。

$$P_{RB} = \frac{W_{RB}}{A_{RB}} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.17)$$

ここで、軸受（負荷側）にかかる地震時のラジアル荷重 W_{RB} は

$$W_{RB} = m_0 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (4.2.4.18)$$

c. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧 P_S は次式で求める。

$$P_S = \frac{W_S}{A_S} \quad \dots \dots \dots (4.2.4.19)$$

(3) 摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し、発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

摺動部（主ねじ部）の評価モデルを図4-2に示す。

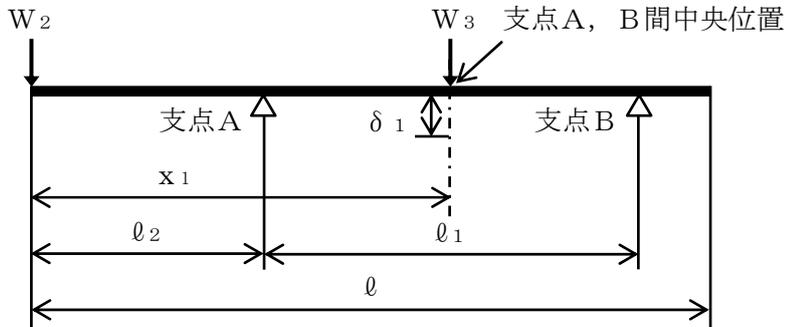


図4-2 摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量 δ_1 は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{W_3 \cdot \ell_1^3}{48 \cdot E \cdot I_1} + \left[-\frac{x_1 - \ell_2}{6 \cdot E \cdot I_1 \cdot \ell_1} \cdot \{W_2 \cdot \ell_2 \cdot (x_1 - \ell_2)^2 - 3 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1 \cdot (x_1 - \ell_2) + 2 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1^2\} \right] \dots \dots \dots (4.2.4.20)$$

ここで、地震力を考慮した軸質量による支点A、B間中央位置にかかる荷重 W_3 は

$$W_3 = m_1 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) \dots \dots \dots (4.2.4.21)$$

(4) メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し、発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

メカニカルシールの評価モデルを図 4-3 に示す。

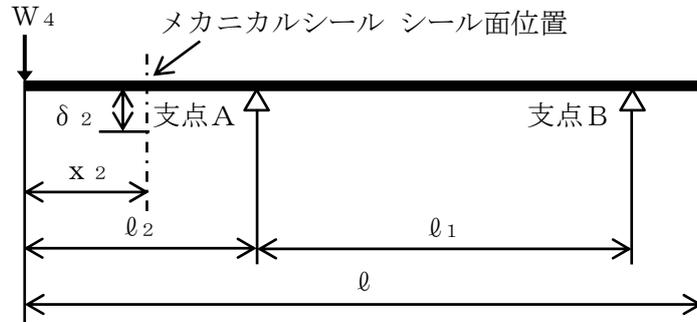


図 4-3 メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量 δ_2 は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_4 \cdot l_2^3}{3 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left\{ \frac{(l_2 + l_1)}{l_2} - \left(\frac{3}{2} + \frac{l_1}{l_2} \right) \cdot \frac{x_2}{l_2} + \frac{x_2^3}{2 \cdot l_2^3} \right\}$$

..... (4.2.4.22)

ここで、地震力を考慮した軸系総質量による軸端部荷重 W_4 は

$$W_4 = m_0 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (4.2.4.23)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプは、地震後機能維持が要求される設備であるが、原動機の動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて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ている。また、「h. 軸継手」は、軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス、モータフレームを評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

固定子、軸（回転子）の許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し、端子箱及びモータフレームの許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。また軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスについては、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値を表 4-3 に示す。

表 4-3 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子			MPa	
軸（回転子）			MPa	
端子箱	引張		MPa	
	せん断		MPa	
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム			MPa	

4.3.3 記号の説明

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表 4-4 に示す。

表 4-4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_p	廻り止めピンの断面積	mm^2
A_{bt}	端子箱取付ボルトの軸断面積	mm^2
A_F	モータフレーム（脚部）の断面積	mm^2
A_t	軸（回転子）の断面積	mm^2
C_H	水平方向震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向震度	—
D_S	軸（回転子）の直径	mm
d_p	廻り止めピンの外形	mm
d_t	端子箱取付ボルトの呼び径	mm
E_b	軸（回転子）の縦弾性係数	MPa
F_{B1}	軸継手側軸受に生じる静等価荷重	N
F_{B2}	反軸継手側軸受に生じる静等価荷重	N
F_{bt}	端子箱取付ボルトに生じる引張力（1本当たり）	N
F_H	水平方向（軸直角方向）地震力によりピンに生じるせん断力	N
F_M	原動機の回転によりピンに生じるせん断力	N
F_p	ピンに生じるせん断力	N
F_R	軸（回転子）に生じるラジアル荷重	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_F	原動機取付面から原動機重心までの高さ	mm
h_t	端子箱取付面から端子箱重心までの長さ	mm
I	軸（回転子）の断面二次モーメント	mm^4
l_b	モータフレームの脚部の長さ	mm
$l_{b,L}$	軸受間の距離	mm
l_{b1}	モータフレームの脚部間の距離（内側）	mm
l_{b2}	モータフレームの脚部間の距離（外側）	mm
$l_{r,C}$	軸受間の距離の1/2	mm
l_{t1}	端子箱重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
l_{t2}	端子箱取付ボルト間距離	mm
M_G	原動機の回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_b	軸系総質量	kg
m_C	軸継手質量	kg
m_F	フレーム（原動機）の質量	kg

記号	記号の説明	単位
m_p	固定子の質量	kg
m_t	端子箱の質量	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
n_{bt}	端子箱取付ボルトの本数	—
n_{ft}	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
Q_B	軸（回転子）に生じるスラスト荷重	N
Q_{bt}	端子箱取付ボルトに作用するせん断力	N
r	固定子の半径	mm
X_0	静ラジアル荷重係数	—
y	軸（回転子）の変位量	mm
Y_0	アキシアル荷重係数	—
Z_F	モータフレーム（脚部）の断面係数	mm ³
Z_t	軸（回転子）の極断面係数	mm ³
Z_s	軸（回転子）の断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ_b	軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
σ_{bt}	端子箱取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_F	モータフレームに生じる組合せ応力	MPa
σ_{F1}	モータフレームに生じる曲げ応力	MPa
σ_{F2}	モータフレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_{F3}	原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力	MPa
σ_t	軸（回転子）に生じる組合せ応力	MPa
τ_{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_p	廻り止めピンに生じるせん断応力	MPa
τ_F	モータフレームに生じるせん断応力	MPa
τ_t	軸（回転子）に生じるねじり応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

図4-4に示す計算モデルについて、廻り止めピンに生じるせん断力を算出し、廻り止めピンに生じるせん断応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

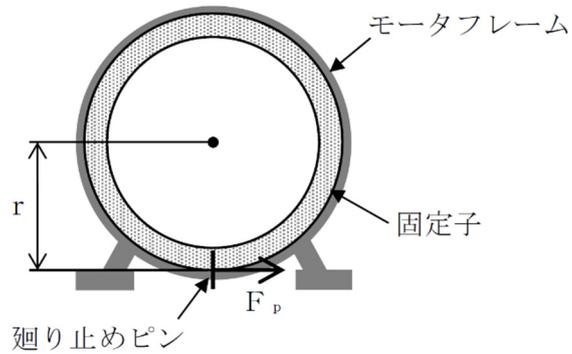


図4-4 固定子の評価モデル

廻り止めピンに生じるせん断応力 τ_p は次式で求める。

$$\tau_p = \frac{F_p}{A_p} \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

ここで、廻り止めピンに生じるせん断力 F_p は

$$F_p = F_H + F_M \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

水平方向（軸直角方向）地震力により廻り止めピンに生じるせん断力 F_H は

$$F_H = m_p \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

原動機の回転により廻り止めピンに生じるせん断力 F_M は

$$F_M = \frac{M_G}{r} \dots \dots \dots (4.3.4.4)$$

ここで、原動機の回転により作用するモーメント M_G は

$$M_G = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P \dots \dots \dots (4.3.4.5)$$

(1kW = 10⁶N・mm/s)

廻り止めピンの断面積 A_p は

$$A_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \dots \dots \dots (4.3.4.6)$$

(2) 軸（回転子）

図 4-5 に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

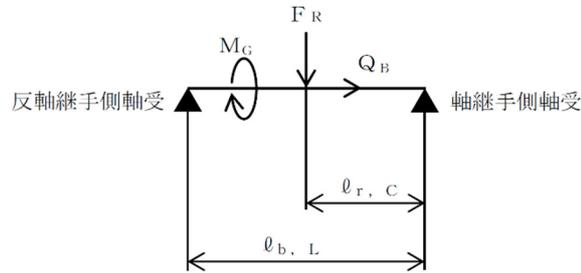


図 4-5 軸（回転子）の評価モデル

軸（回転子）に生じる組合せ応力 σ_t は次式で求める。

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.7)$$

ここで、軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{(\ell_{b,L} - \ell_{r,C}) \cdot \ell_{b,C}}{Z_s \cdot \ell_{b,L}} \cdot F_R + \frac{Q_B}{A_t} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.8)$$

軸（回転子）に生じるねじり応力 τ_t は

$$\tau_t = \frac{M_G}{Z_t} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.9)$$

軸（回転子）の断面係数 Z_s は

$$Z_s = \frac{\pi \cdot D_s^3}{32} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.10)$$

軸（回転子）の断面係数 Z_t は

$$Z_t = \frac{\pi \cdot D_s^3}{16} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.11)$$

軸（回転子）に生じるラジアル荷重 F_R 及びスラスト荷重 Q_B は

$$F_R = (m_b + m_c) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (4.3.4.12)$$

$$Q_B = (m_b + m_c) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \dots \dots (4.3.4.13)$$

軸（回転子）の断面積 A_t は

$$A_t = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.14)$$

(3) 端子箱

図 4-6 に示す計算モデルにて，端子箱取付ボルトに生じる荷重を算出し，端子箱取付ボルトに生じる応力を求め，許容値以下であることを確認する。

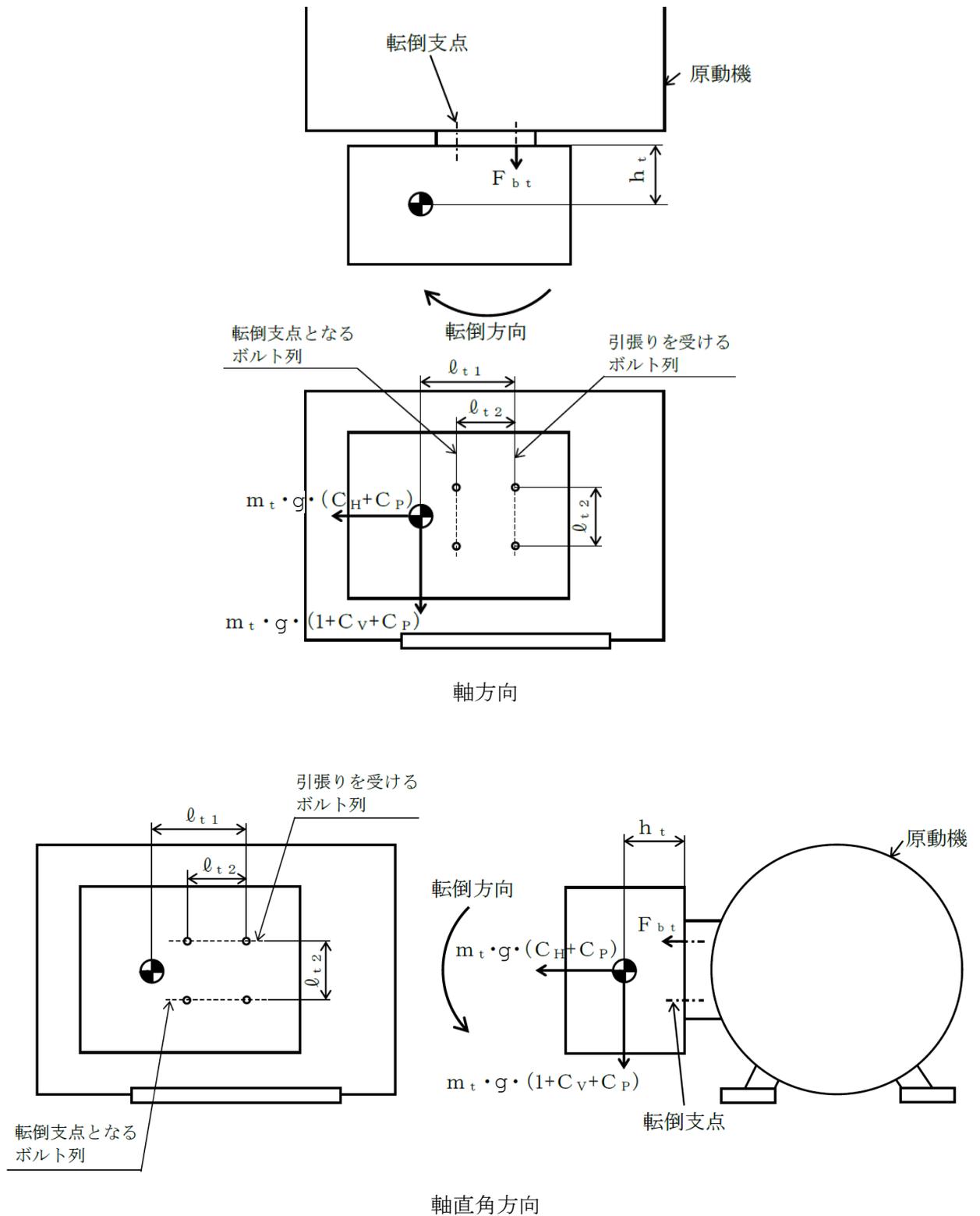


図 4-6 端子箱の計算モデル

端子箱取付ボルト 1 本当たりの引張応力 σ_{bt} は次式で求める。

$$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.15)$$

ここで、端子箱取付ボルト 1 本当たりに生じる引張力 F_{bt} は
軸方向

$$F_{bt} = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_{t1} + m_t \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot h_t}{n_{ft} \cdot \ell_{t2}} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.16)$$

軸直角方向

$$F_{bt} = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \ell_{t1} + m_t \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot h_t}{n_{ft} \cdot \ell_{t2}} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.17)$$

端子箱取付ボルトに生じるせん断応力 τ_{bt} は次式で求める。

$$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_{bt} \cdot A_{bt}} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.18)$$

ここで、端子箱取付ボルトに生じるせん断力 Q_{bt} は

$$Q_{bt} = \sqrt{(m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P))^2 + (m_t \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P))^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.19)$$

ここで、端子箱取付ボルトの断面積 A_{bt} は

$$A_{bt} = \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.20)$$

(4) 軸受

図 4-7 に示す計算モデルにて，地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし，軸受に生じる静等価荷重を求め，メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

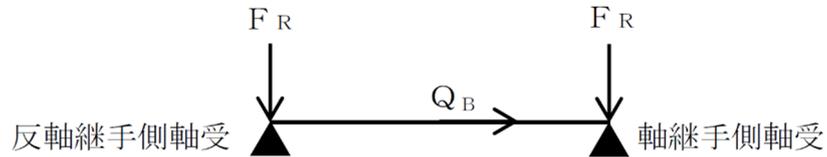


図 4-7 軸受の計算モデル

軸受に生じる静等価荷重は次式で求める。

軸継手側軸受に生じる静等価荷重 F_{B1}

$$F_{B1} = \max (X_0 \cdot F_R + Y_0 \cdot Q_B, F_R) \dots \dots \dots (4.3.4.21)$$

反軸継手側軸受に生じる静等価荷重 F_{B2}

$$F_{B2} = \max (X_0 \cdot F_R + Y_0 \cdot Q_B, F_R) \dots \dots \dots (4.3.4.22)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

図 4-8 に示す計算モデルにて，軸（回転子）に生じる変位量を求め，変位可能寸法以下であることを確認する。

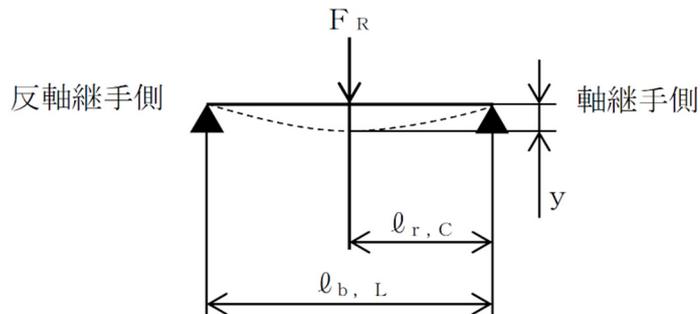


図 4-8 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

軸（回転子）の変位量 y は次式で求める。

$$y = \frac{F_R \cdot l_{r,C} \cdot (l_{b,L}^2 - l_{r,C}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E_b \cdot I \cdot l_{b,L}} \dots \dots \dots (4.3.4.23)$$

ここで，軸（回転子）の断面二次モーメント I は

$$I = \frac{\pi \cdot D_s^4}{64} \dots \dots \dots (4.3.4.24)$$

(6) モータフレーム

図4-9に示す計算モデルにて、モータフレームに生じる応力を算出し、モータフレームに生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。なお、モータフレームの評価は、構造上厳しくなる軸直角方向について評価を実施する。

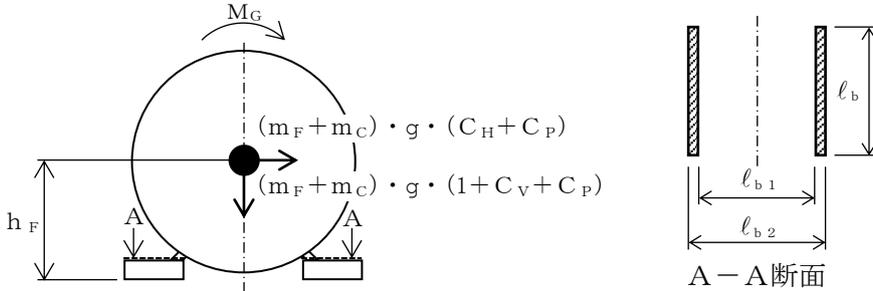


図4-9 モータフレームの計算モデル

モータフレームに生じる組合せ応力 σ_F は次式で求める。

$$\sigma_F = \sqrt{(\sigma_{F1} + \sigma_{F2} + \sigma_{F3})^2 + 3 \cdot \tau_F^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.25)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレームに生じる曲げ応力 σ_{F1} は

$$\sigma_{F1} = \frac{(m_C + m_F) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_F}{Z_F} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.26)$$

鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる圧縮応力 σ_{F2} は

$$\sigma_{F2} = \frac{(m_C + m_F) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P)}{A_F} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.27)$$

原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力 σ_{F3} は

$$\sigma_{F3} = \frac{M_G}{Z_F} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.28)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレームに生じるせん断応力 τ_F は

$$\tau_F = \frac{(m_C + m_F) \cdot g \cdot (C_H + C_P)}{A_F} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.29)$$

フレームの断面係数 Z_F は

$$Z_F = \frac{1}{6} \cdot \frac{l_b \cdot (l_{b2}^3 - l_{b1}^3)}{l_{b2}} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.30)$$

フレームの断面積 A_F は

$$A_F = l_b \cdot (l_{b2} - l_{b1}) \quad \dots \dots \dots (4.3.4.31)$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送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を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(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

非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送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を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(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。

【非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送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 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送 ポンプ	S	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 13.4 (EL 14.7*1)	—*2	—*2	C _H =1.58*3	C _V =1.85*4	C _H =3.37*5	C _V =4.29*5		40	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)		260	140	140	16 (M16)	201.1	4	2
			290	290				2
ポンプ取付ボルト (i=2)		135	95	95	16 (M16)	201.1	4	2
			80	80				2
原動機取付ボルト (i=3)		100	80	80	10 (M10)	78.54	4	2
			70	70				2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (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	
基礎ボルト (i=1)	231*2 (16mm<径≦40mm)	394*2 (16mm<径≦40mm)	231	276	軸直角		—
ポンプ取付ボルト (i=2)	725*3 (径≦63mm)	860*3 (径≦63mm)	602	602	軸		—
原動機取付ボルト (i=3)	715*2 (径≦63mm)	838*2 (径≦63mm)	586	586	軸直角	軸	1.167×10 ⁴

H _p (μm)	N (ポンプ) (rpm)	N (原動機) (rpm)

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

*3：最高使用温度で算出

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.1.4 結論

1.1.4.1 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 (i=1)	SS400	引張	$\sigma_{b1}=11$	$f_{ts1}=173^*$	$\sigma_{b1}=26$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=133$	$\tau_{b1}=9$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SNB7	引張	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=451^*$	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=451^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=347$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=347$
原動機取付ボルト (i=3)	SNB7	引張	$\sigma_{b3}=5$	$f_{ts3}=440^*$	$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=440^*$
		せん断	$\tau_{b3}=3$	$f_{sb3}=338$	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=338$

すべて許容応力以下である。

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

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ	スクリー式	4.0	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 13.4 (EL 14.7*1)	—*2	—*2	C _H =2.81*3	C _V =3.57*3		40	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送 ポンプ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 13.4 (EL 14.7*1)	—*2	—*2	C _H =2.81*3	C _V =3.57*3		150	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

1.2.2 機器要目

1.2.2.1 ポンプ

m 0 (kg)	m 1 (kg)	m 2 (kg)	ℓ (mm)	ℓ 1 (mm)	ℓ 2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x 1 (mm)	x 2 (mm)

ARA (mm ²)	ARB (mm ²)	AS (mm ²)	E (MPa)	I 1 (mm ⁴)	I 2 (mm ⁴)	N (rpm)	P (kW)	W 0 (N)
							2.2	

1.2.2.2 原動機

D _s (mm)	d _p (mm)	d _t (mm)	E _b (MPa)	h _F (mm)	h _t (N)	ℓ _b (mm)	ℓ _{b,L} (mm)	ℓ _{b1} (mm)	ℓ _{b2} (mm)	ℓ _{r,C} (mm)	ℓ _{t1} (mm)

ℓ _{t2} (mm)	m _b (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _p (kg)	m _t (kg)	N (rpm)	n _{bt}	n _{ft}	P (kW)	r (mm)	X ₀	Y ₀
									2.2			

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	2.81	—
	鉛直方向	3.57	—
原動機	水平方向	2.81	4.7
	鉛直方向	3.57	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）により定まる加速度

ポンプは、本文4.2.1項に基づき、1.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価で評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価で評価する。

1.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸	□	□

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：MPa)

評価部位	荷重	評価項目	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル	軸受（原動機側）面圧	□	□
		軸受（負荷側）面圧	□	□
	スラスト	軸受（負荷側）面圧	□	□

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3 摺動部（主ねじ部）の評価

(単位：mm)

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ部）	□	□

すべてスリーブ間隙間以下である。

1.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価

(単位：mm)

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	□	□

すべて変位可能量以下である。

1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位: MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸 (回転子) の評価 (単位: MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸 (回転子)		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位: MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張		
	せん断		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位: N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側		
反軸継手側		

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス		

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位: MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム		

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送 ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 13.4 (EL 14.7* ¹)	—* ²	—* ²	—	—	C _H =3.37* ³	C _V =4.29* ³		40	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S_s)

2.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * ¹ (mm)	ℓ _{2i} * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} * ¹
基礎ボルト (i=1)		260	140	140	16 (M16)	201.1	4	2
			290	290				2
ポンプ取付ボルト (i=2)		135	95	95	16 (M16)	201.1	4	2
			80	80				2
原動機取付ボルト (i=3)		100	80	80	10 (M10)	78.54	4	2
			70	70				2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (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	
基礎ボルト (i=1)	231* ² (16mm<径≤40mm)	394* ² (16mm<径≤40mm)	—	276	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	725* ³ (径≤63mm)	860* ³ (径≤63mm)	—	602	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	715* ² (径≤63mm)	838* ² (径≤63mm)	—	586	—	軸	—

H _p (μm)	N (ポンプ) (rpm)	N (原動機) (rpm)

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

*3: 最高使用温度で算出

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.1.4 結論

2.1.4.1 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 (i=1)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=26$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=9$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SNB7	引張	—	—	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=451^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=347$
原動機取付ボルト (i=3)	SNB7	引張	—	—	$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=338$

すべて許容応力以下である。

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

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ	スクリー式	4.0	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 13.4 (EL 14.7 ^{*1})	— ^{*2}	— ^{*2}	C _H =2.81 ^{*3}	C _V =3.57 ^{*3}		40	50

注記*1: 基準床レベルを示す。
 *2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。
 *3: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送 ポンプ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 13.4 (EL 14.7 ^{*1})	— ^{*2}	— ^{*2}	C _H =2.81 ^{*3}	C _V =3.57 ^{*3}		150	50

注記*1: 基準床レベルを示す。
 *2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。
 *3: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

2.2.2 機器要目

2.2.2.1 ポンプ

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	ℓ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x ₁ (mm)	x ₂ (mm)

ARA (mm ²)	ARB (mm ²)	AS (mm ²)	E (MPa)	I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	N (rpm)	P (kW)	W ₀ (N)
							2.2	

2.2.2.2 原動機

D _s (mm)	d _p (mm)	d _t (mm)	E _b (MPa)	h _F (mm)	h _t (N)	ℓ _b (mm)	ℓ _{b,L} (mm)	ℓ _{b1} (mm)	ℓ _{b2} (mm)	ℓ _{r,C} (mm)	ℓ _{t1} (mm)

ℓ _{t2} (mm)	m _b (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _p (kg)	m _t (kg)	N (rpm)	n _{bt}	n _{ft}	P (kW)	r (mm)	X ₀	Y ₀
									2.2			

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	2.81	—
	鉛直方向	3.57	—
原動機	水平方向	2.81	4.7
	鉛直方向	3.57	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）により定まる加速度

ポンプは、本文4.2.1項に基づき、2.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価で評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価で評価する。

2.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸	□	□

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位：MPa)

評価部位	荷重	評価項目	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル	軸受（原動機側）面圧	□	□
		軸受（負荷側）面圧	□	□
	スラスト	軸受（負荷側）面圧	□	□

すべて許容面圧以下である。

2.2.3.2.2.3 摺動部（主ねじ部）の評価 (単位：mm)

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ部）	□	□

すべてスリーブ間隙間以下である。

2.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価 (単位：mm)

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	□	□

すべて変位可能量以下である。

2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

2.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.3 端子箱の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	せん断	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.4 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	<input type="text"/>	<input type="text"/>
反軸継手側	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価

(単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	<input type="text"/>	<input type="text"/>

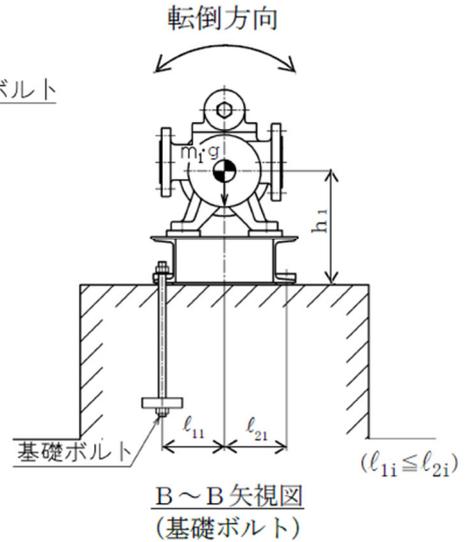
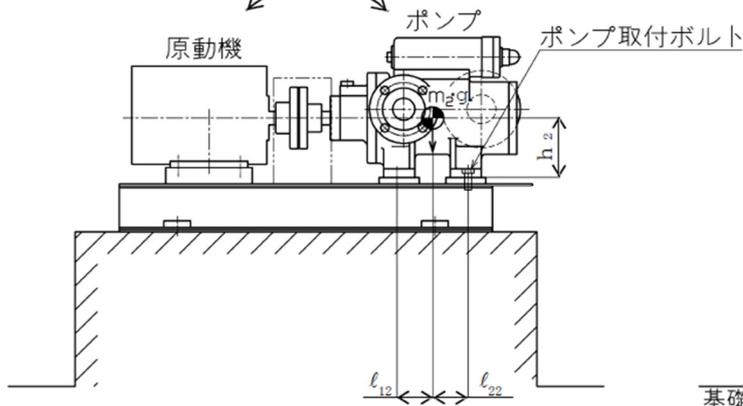
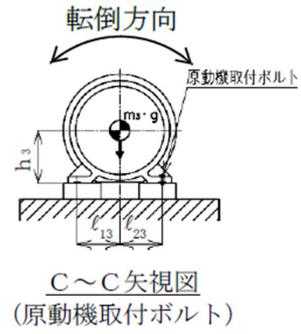
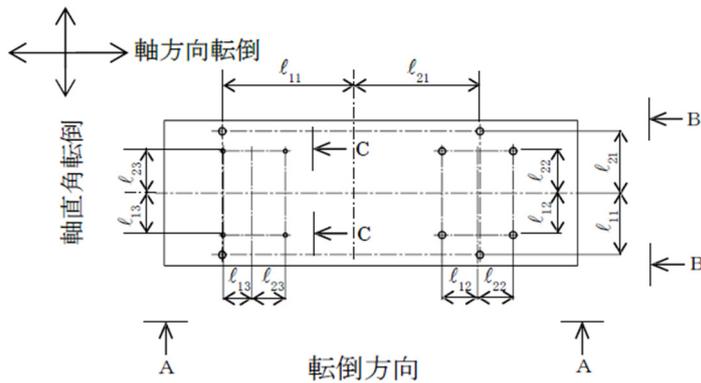
すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3.2.6 モータフレームの評価

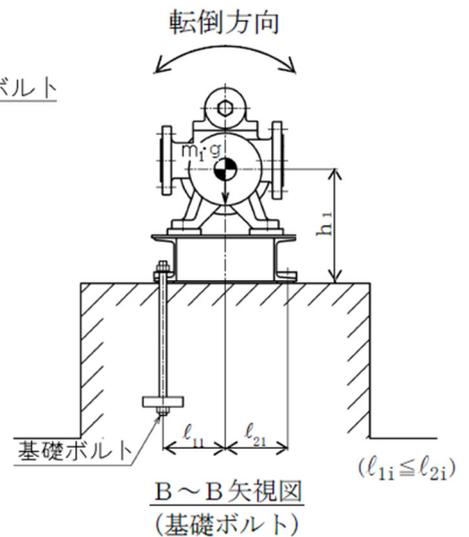
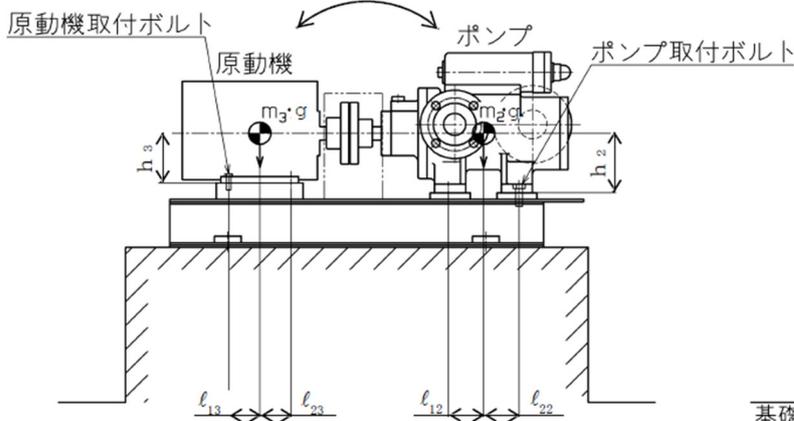
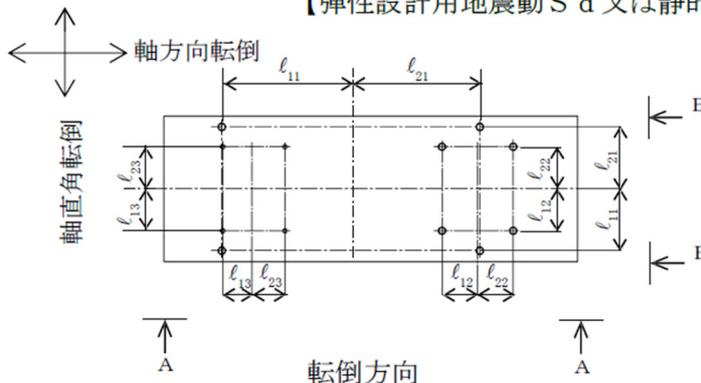
(単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
モータフレーム	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容応力以下である。



【弾性設計用地震動 S d 又は静的震度の場合】



【基準地震動 S s の場合】

VI-2-10-1-2-1-9 管の耐震性についての計算書
(非常用ディーゼル発電設備)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	18
3.1 計算方法	18
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	19
3.3 設計条件	21
3.4 材料及び許容応力	31
3.5 設計用地震力	32
4. 解析結果及び評価	33
4.1 固有周期及び設計震度	33
4.2 評価結果	45
4.2.1 管の応力評価結果	45
4.2.2 支持構造物評価結果	47
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	48
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	49

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、非常用ディーゼル発電設備の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全10モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

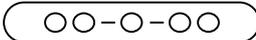
(3) 弁

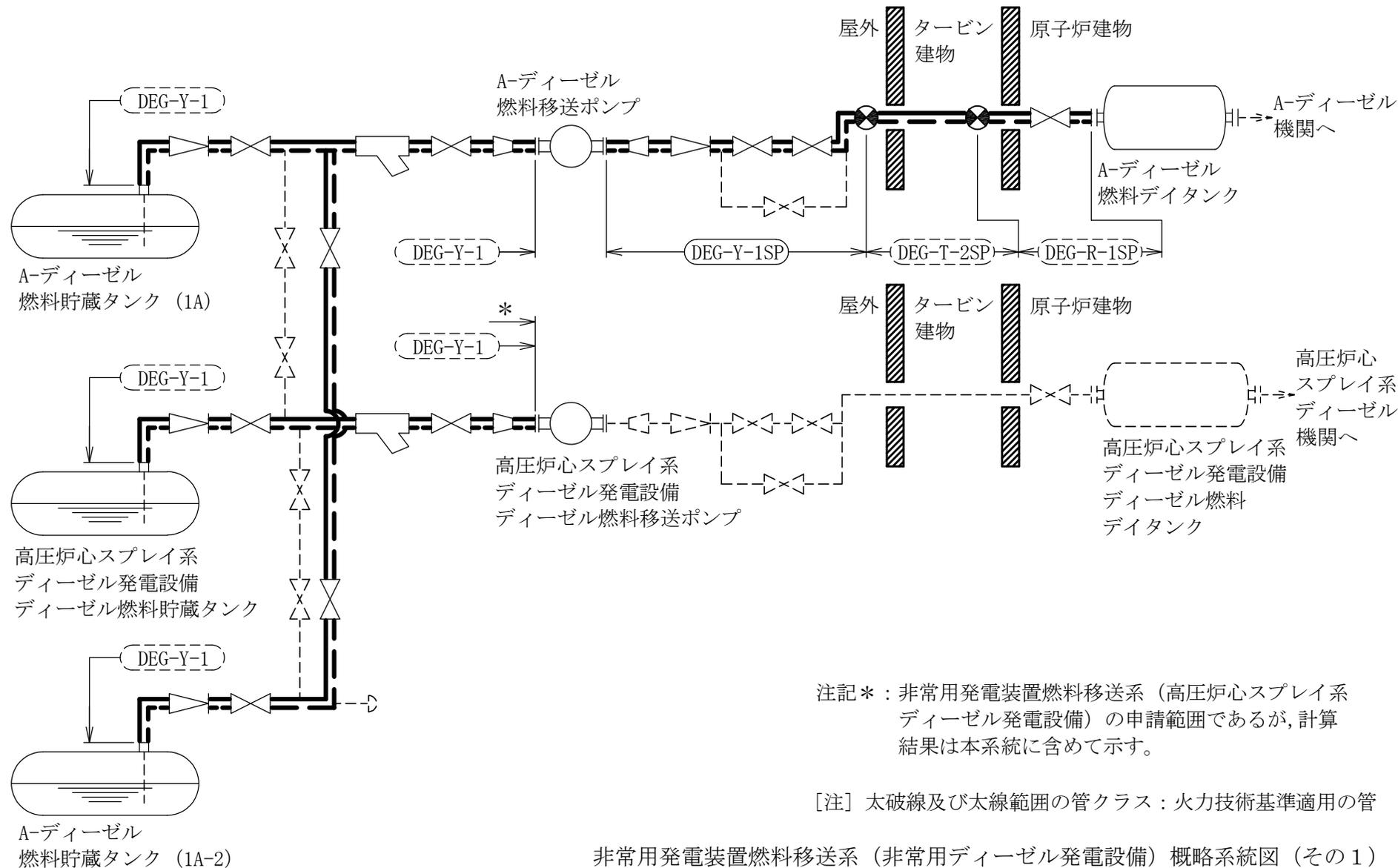
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

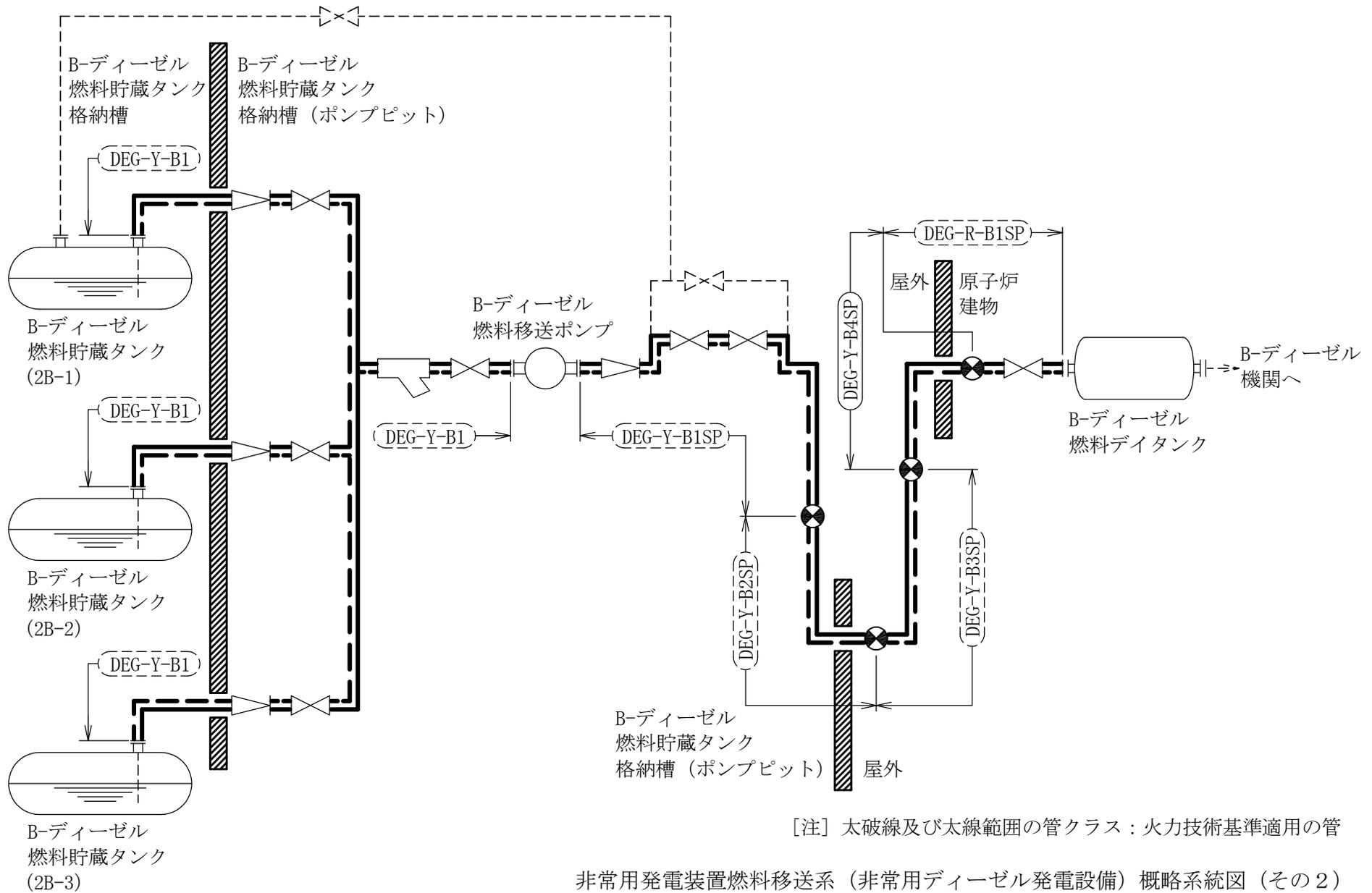
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

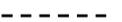
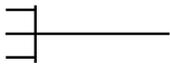
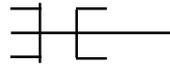
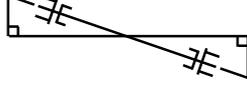
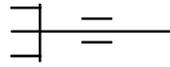
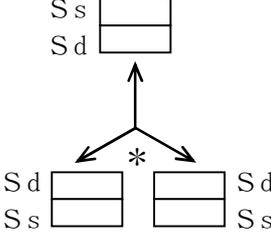
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

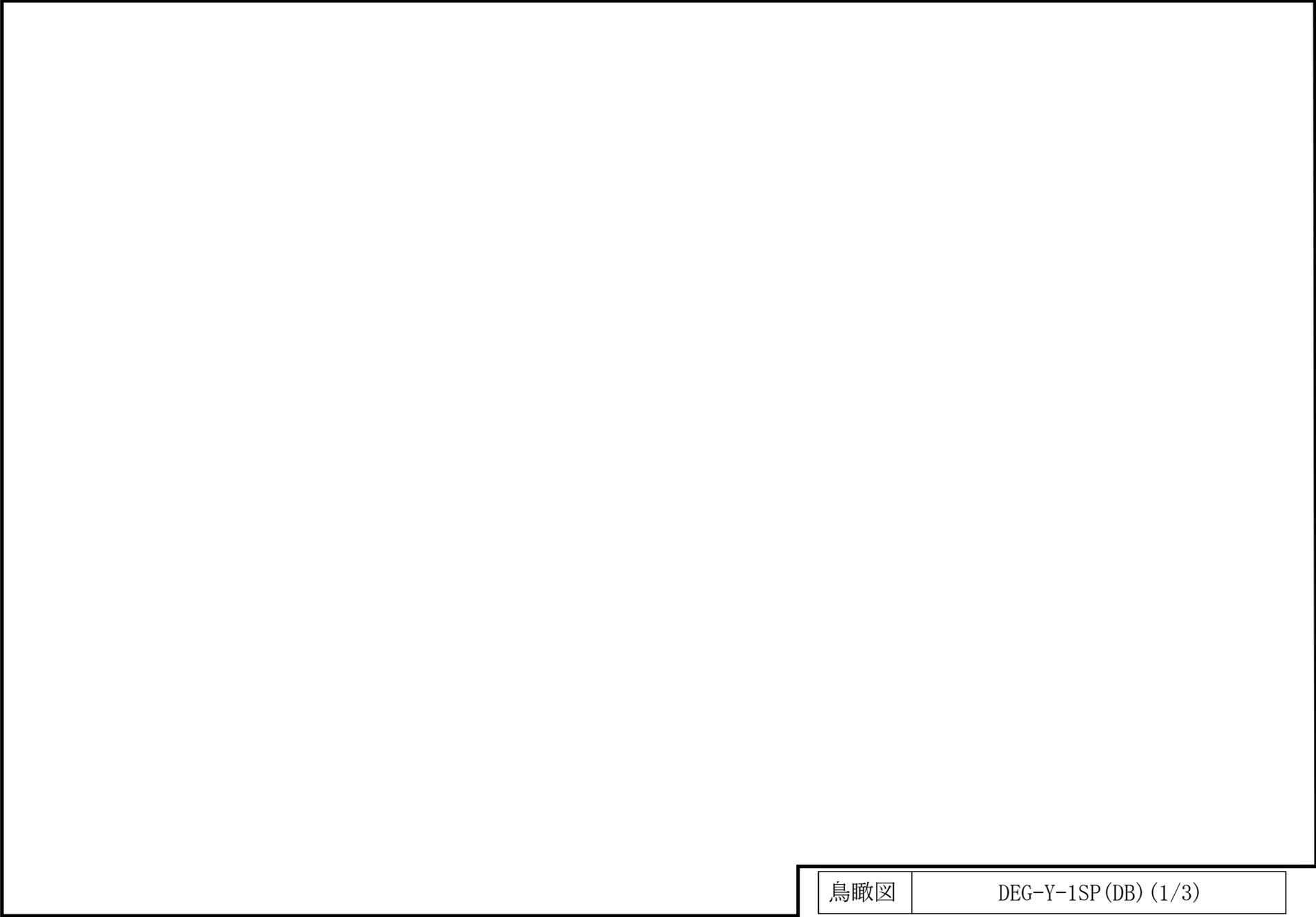


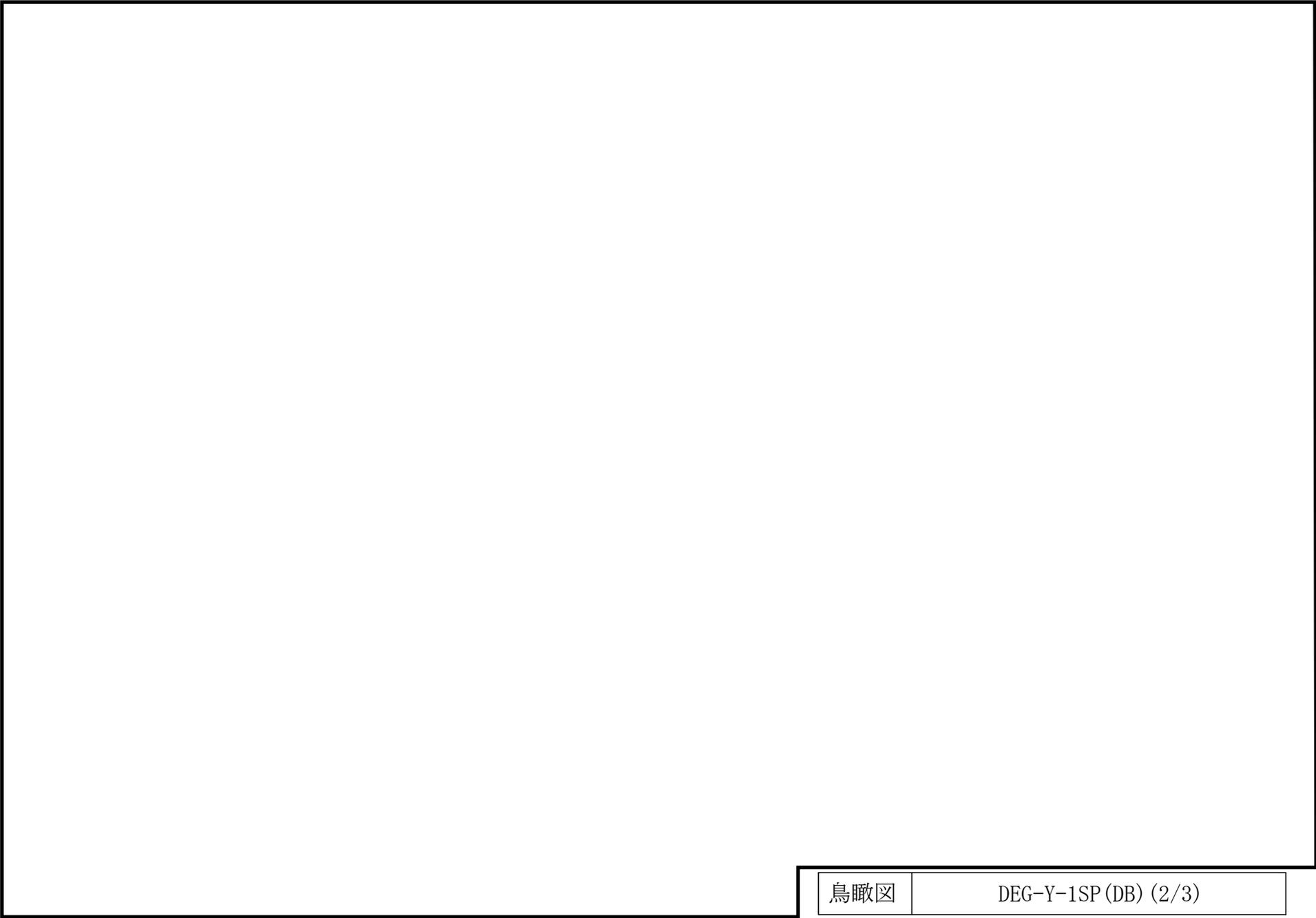


2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	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。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	

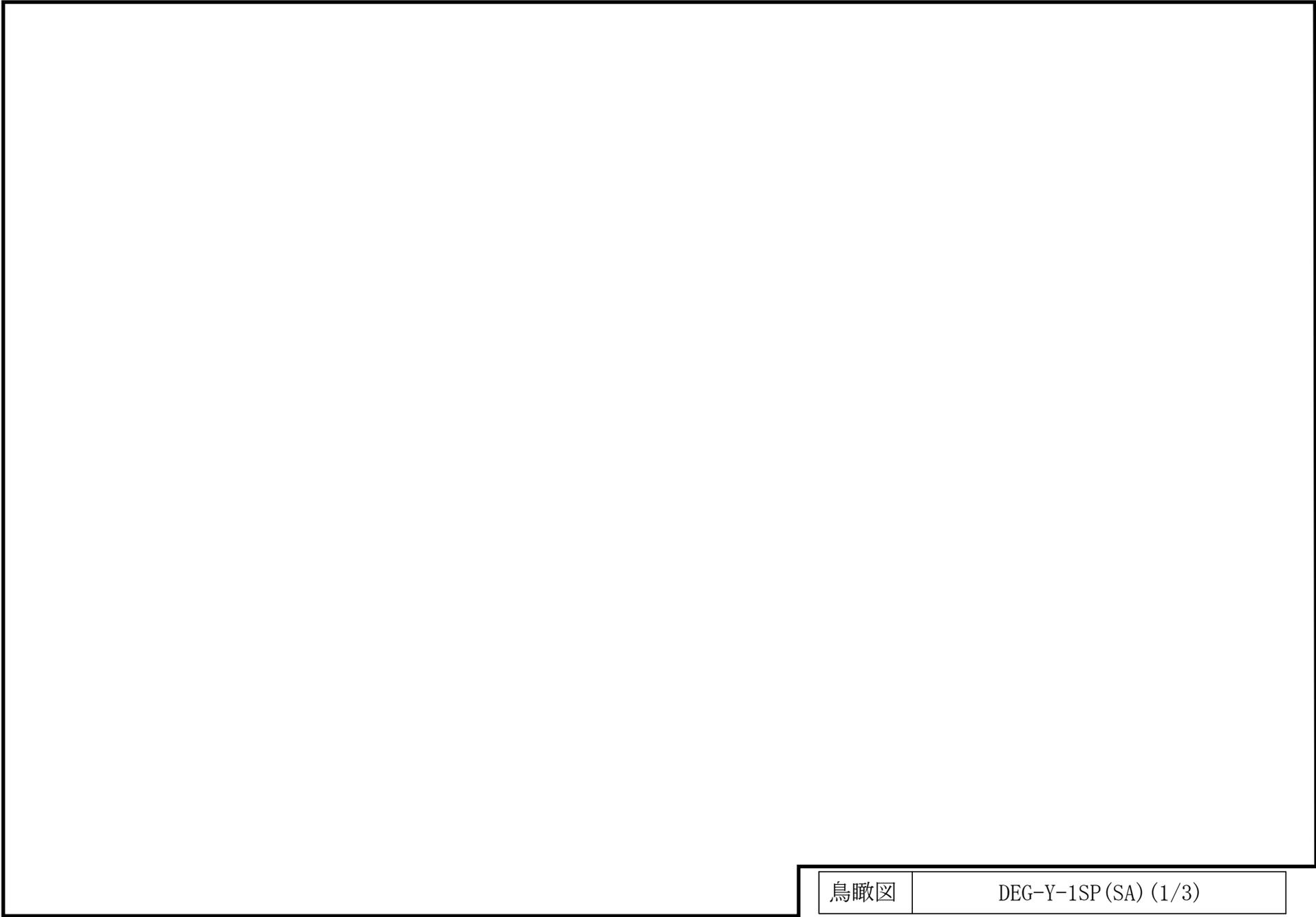


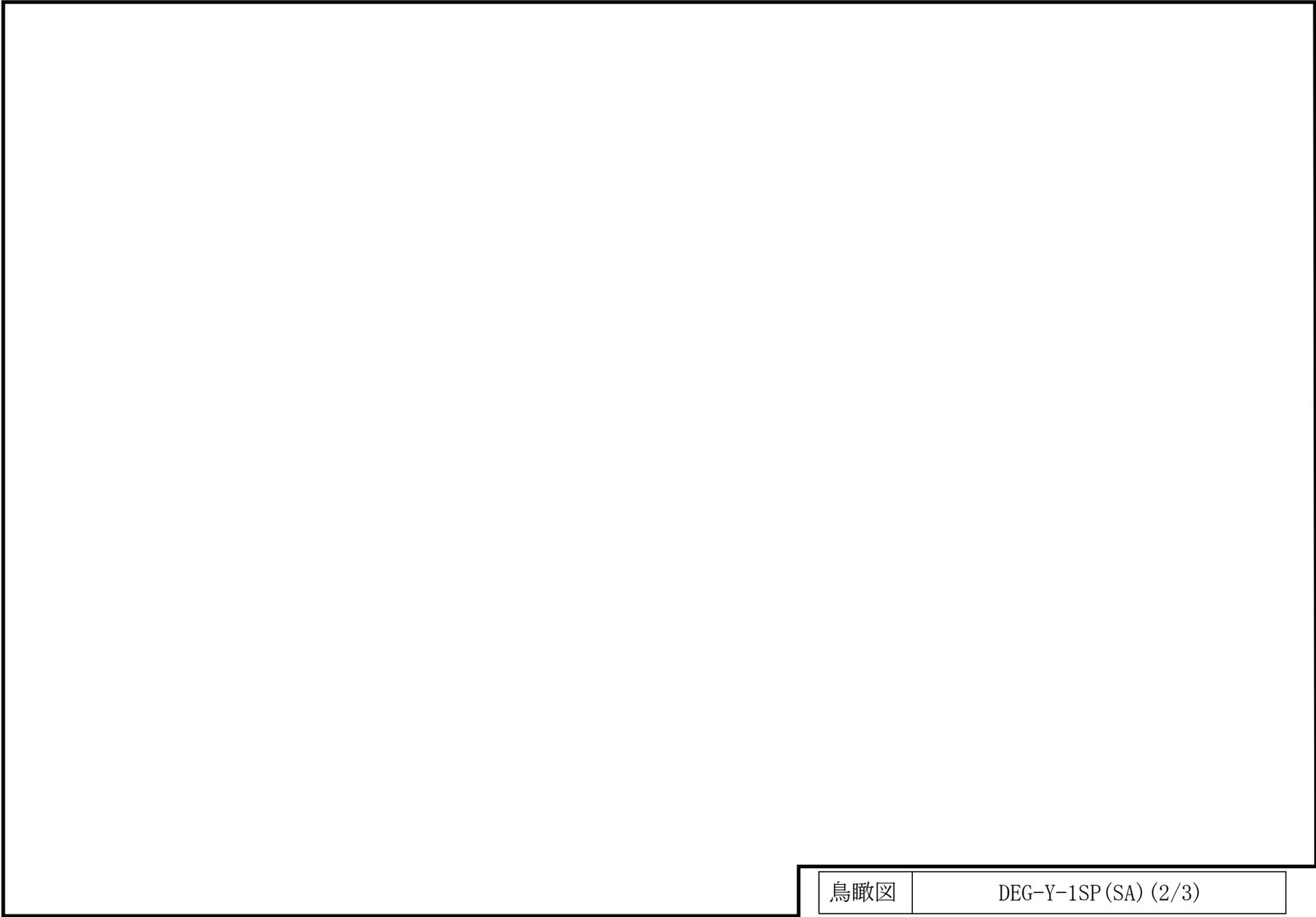


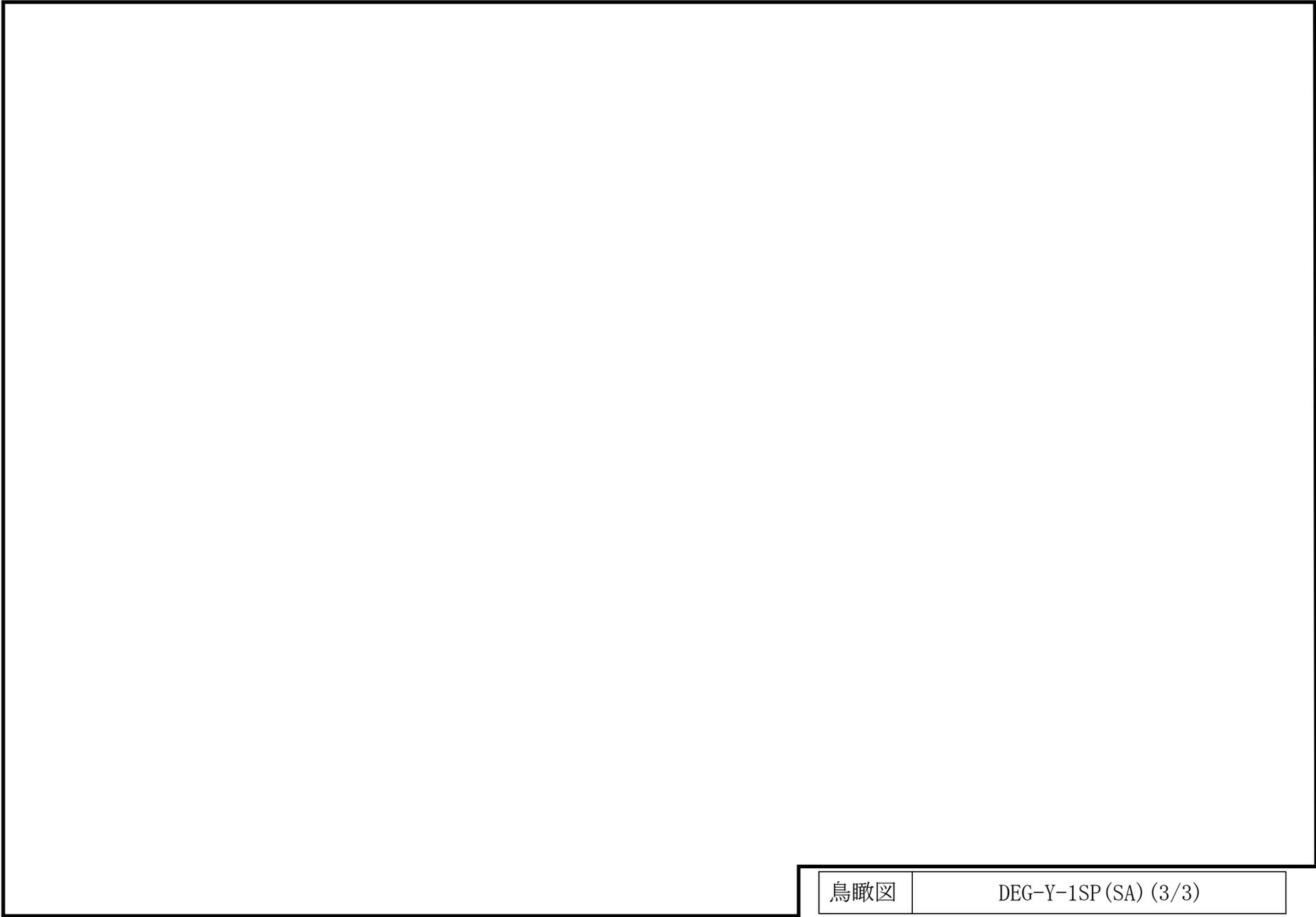
∞

鳥瞰図

DEG-Y-1SP(DB) (3/3)

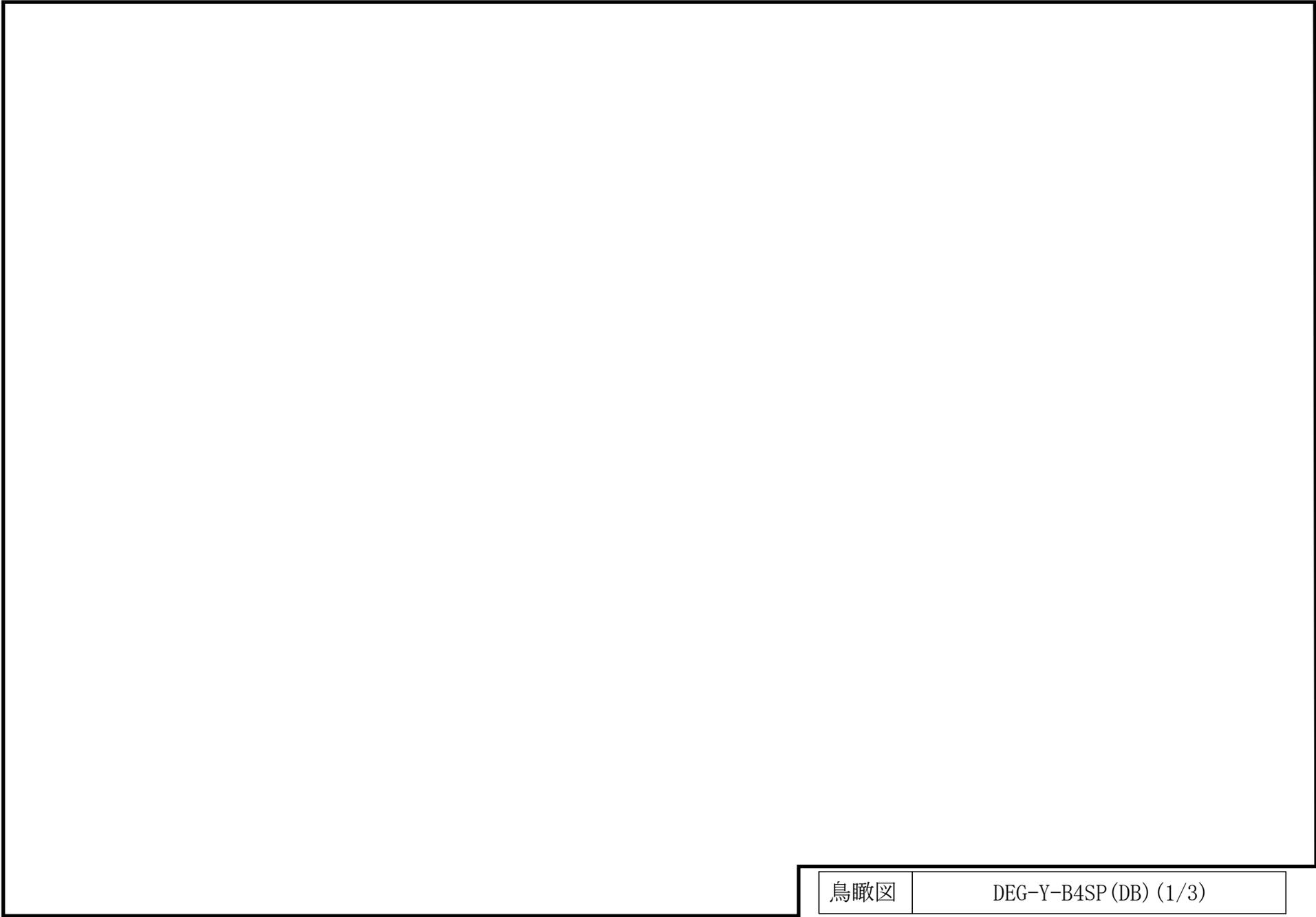


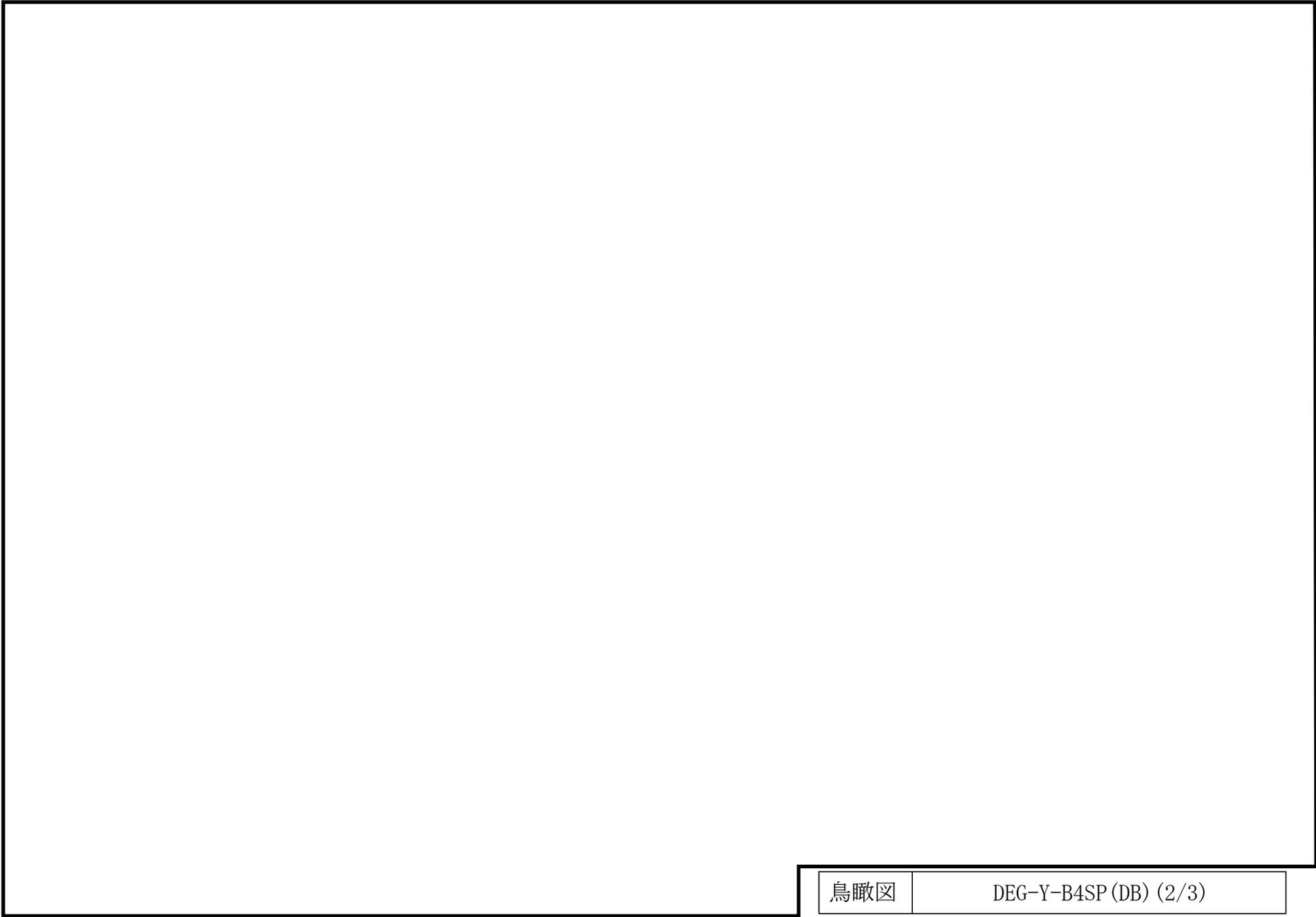




鳥瞰図

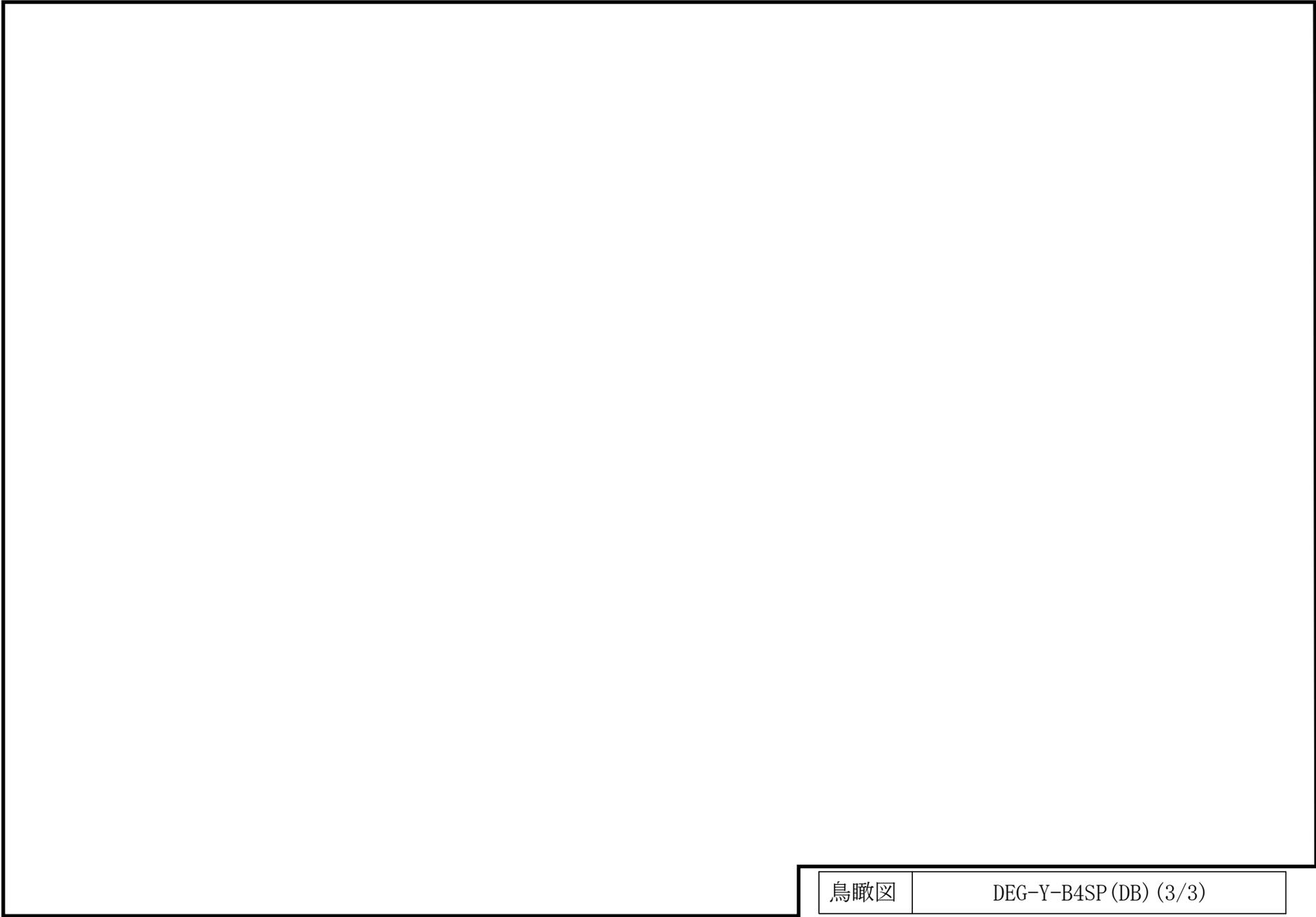
DEG-Y-1SP(SA) (3/3)

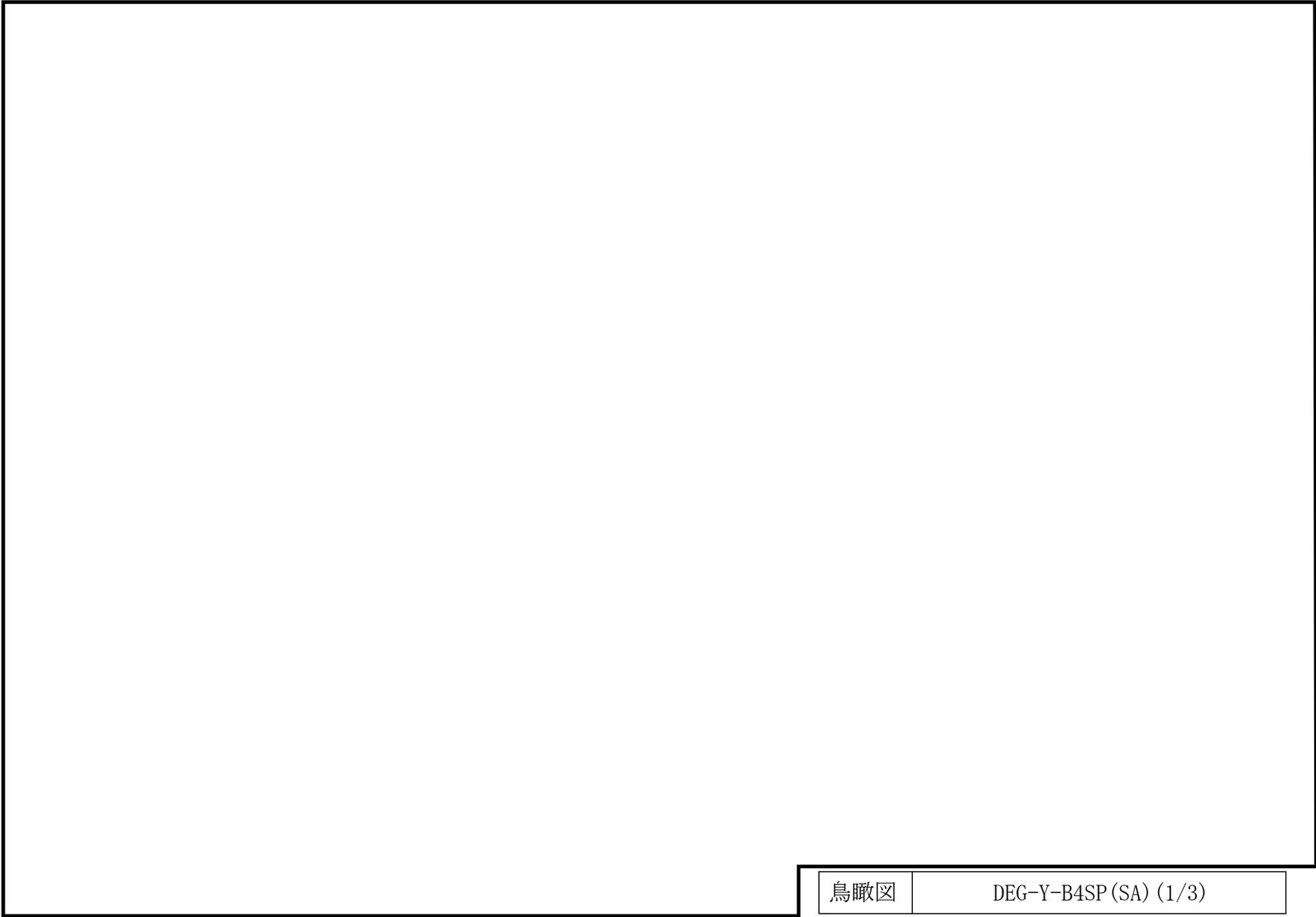




鳥瞰図

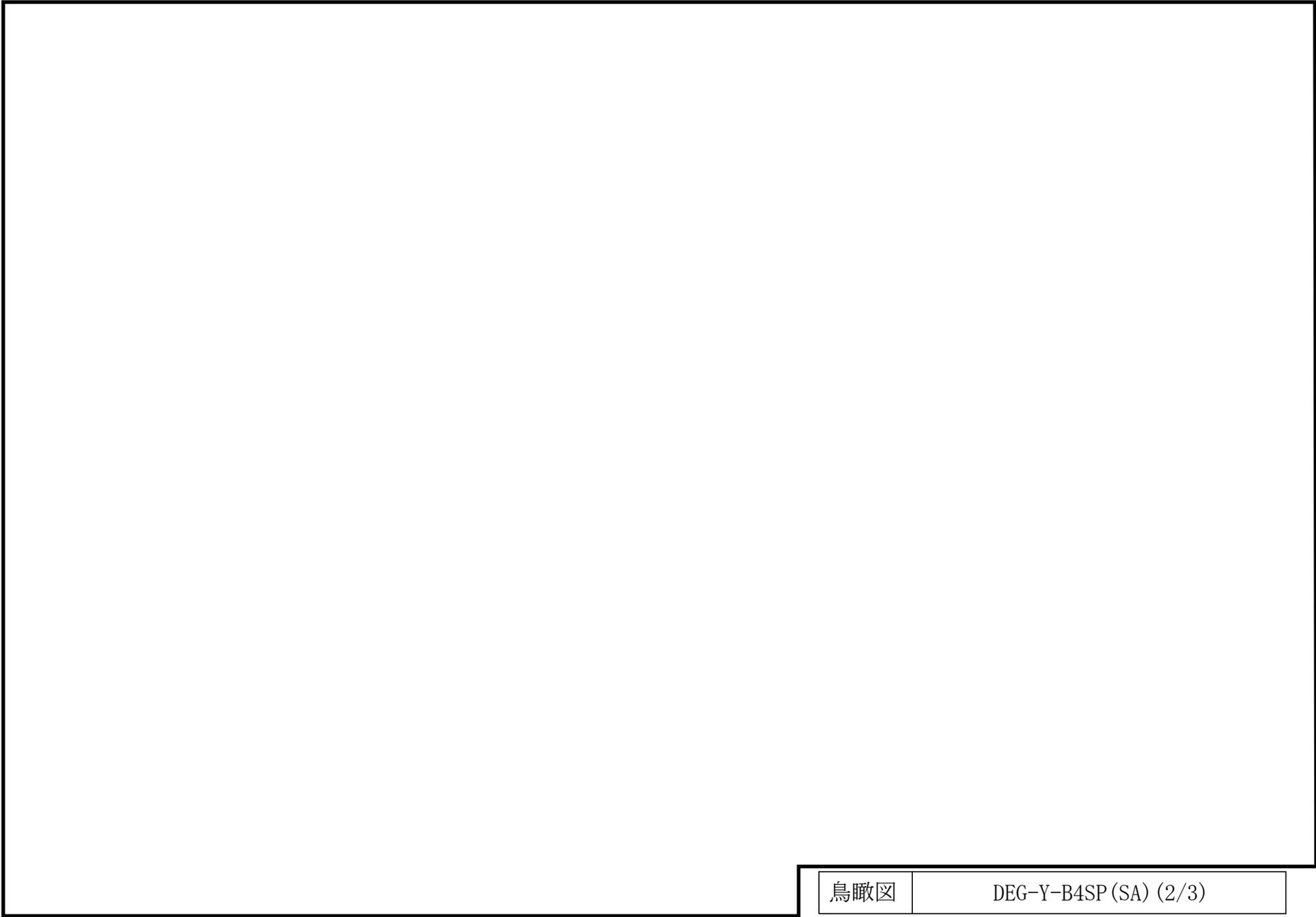
DEG-Y-B4SP (DB) (2/3)





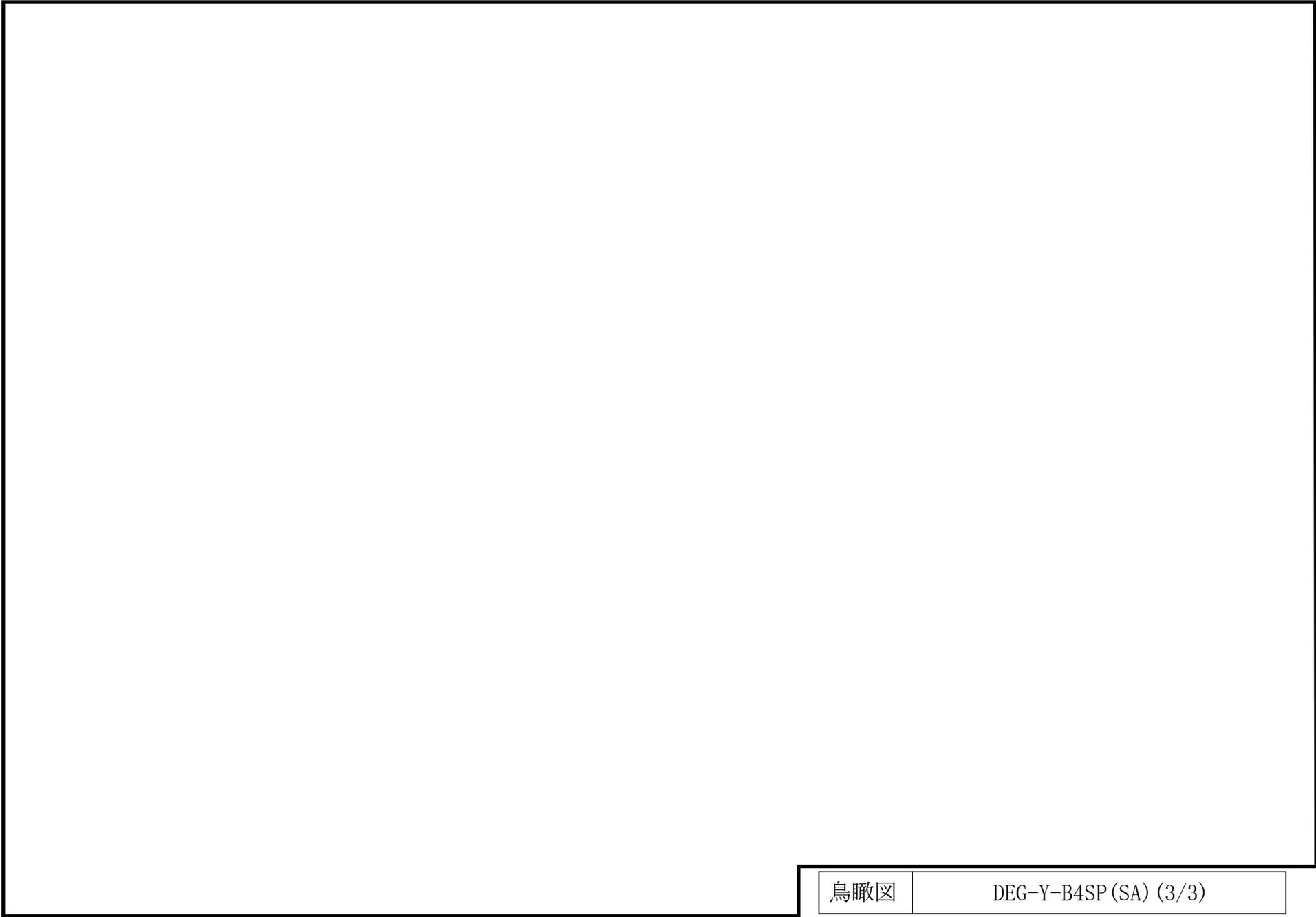
鳥瞰図

DEG-Y-B4SP(SA) (1/3)



鳥瞰図

DEG-Y-B4SP (SA) (2/3)



鳥瞰図	DEG-Y-B4SP (SA) (3/3)
-----	-----------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
非常用電源設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電設備	DB	—	火力技術基準適用の管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
			SA	常設／防止(D _B 拡張)	火力技術基準適用の管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
非常用電源設備	非常用発電装置	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	DB	—	火力技術基準適用の管	S	I _L + S _d	III _A S
							II _L + S _d	
							I _L + S _s	IV _A S
			II _L + S _s					
			SA	常設／防止(D _B 拡張)	火力技術基準適用の管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
V _L + S _s ^{*6}	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／防止(D_B拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~2	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
2	3~9, 10~17 18~20, 21~23 24~451, 84~98 102~129	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
3	451~84, 98~102 129~132A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

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 DEG-Y-1SP

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	48.6	5.1	STPT42	S	201867
2	3~9, 10~17 18~20, 21~23 24~451, 84~98 102~129	60.5	5.5	STPT42	S	201867
3	451~84, 98~102 129~132A	60.5	5.5	STPT410	S	201867

配管の付加質量

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

質量	対応する評価点
	1N~2, 3~9, 10~17, 18~20, 21~23 24~132A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1N, 20, 21

弁部の質量

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	9～10		17～18
	23～24		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
9~10				17~18			
23~24							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

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						
19						
22						
37						
43						
4581						
467						
88						
92						
100						
108						
118						
1241						
1311						
132A						

S2 補 VI-2-10-1-2-1-1-9 R0

設計条件

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

鳥 瞰 図 DEG-Y-B4SP

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	200A~1241	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
2	1241~135A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

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 DEG-Y-B4SP

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	200A～1241	60.5	5.5	STPT410	S	201867
2	1241～135A	60.5	5.5	STPT410	S	201667

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 DEG-Y-B4SP

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
200A						
1						
14						
16						
28						
36						
39						
47						
56						
66						
73						
81						
84						
92						
103						
111						
119						
122						
135A						

S2 補 VI-2-10-1-2-1-1-9 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT42	40	—	245	410	—
STPT410	40	—	245	410	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
DEG-Y-1SP	タービン建物				
	排気筒				
	屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)				
DEG-Y-B4SP	原子炉建物				
	復水貯蔵タンク 連絡ダクト (F)				
	復水貯蔵タンク 連絡ダクト (G)				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
9次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6：3.6・C_I及び1.2・C_Vより定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 DEG-Y-1SP

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 DEG-Y-B4SP

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
14次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 DEG-Y-B4SP

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				
14次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



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。

火力技術基準適用の管（設計基準対象施設）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	DEG-Y-1SP	100	158	245	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-Y-1SP	100	293	490	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	DEG-Y-1SP	100	163	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-Y-B4SP	6W	340	490	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

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。

火力技術基準適用の管（重大事故等対処設備）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	DEG-Y-1SP	100	163	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-Y-B4SP	6W	340	490	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	DEG-Y-1SP	100	163	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-Y-B4SP	6W	340	490	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-DEG-00918	オイルスナッパ	SN-1		12	15	—	
—	ロッドレストレイント	—		—	—	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-DEG-4402	レストレイント	Uボルト	SS400	40	1	0	13	—	—	—	圧縮	77	160
AN-DEG-4431	アンカ	ラグ	SGV410	40	4	2	6	1	2	1	組合せ	108	155

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
			水平	鉛直	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
							水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（設計基準対象施設）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	DEG-R-1SP	292	92	245	2.66	—	2841	160	490	3.06	—	—
2	DEG-R-B1SP	83W	84	245	2.91	—	83W	123	490	3.98	—	—
3	DEG-T-2SP	269	63	245	3.88	—	269	112	490	4.37	—	—
4	DEG-Y-1	14	101	245	2.42	—	50	136	490	3.60	—	—
5	DEG-Y-B1	29	88	245	2.78	—	29	134	490	3.65	—	—
6	DEG-Y-1SP	100	158	245	1.55	○	100	293	490	1.67	—	○
7	DEG-Y-B1SP	14	20	245	12.25	—	15W	26	490	18.84	—	—
8	DEG-Y-B2SP	61A	56	245	4.37	—	61A	123	490	3.98	—	—
9	DEG-Y-B3SP	38	48	245	5.10	—	38	62	490	7.90	—	—
10	DEG-Y-B4SP	32W	82	245	2.98	—	6W	197	490	2.48	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（設計基準対象施設）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	DEG-R-1SP	2841	160	369	2.30	—	2841	308	490	1.59	—	—
2	DEG-R-B1SP	83W	141	369	2.61	—	83W	237	490	2.06	—	—
3	DEG-T-2SP	179	110	369	3.35	—	243	184	490	2.66	—	—
4	DEG-Y-1	14	154	369	2.39	—	161	258	490	1.89	—	—
5	DEG-Y-B1	29	143	369	2.58	—	29	302	490	1.62	—	—
6	DEG-Y-1SP	100	163	369	2.26	○	100	309	490	1.58	—	—
7	DEG-Y-B1SP	15W	32	369	11.53	—	15W	50	490	9.80	—	—
8	DEG-Y-B2SP	61A	101	369	3.65	—	61A	240	490	2.04	—	—
9	DEG-Y-B3SP	38	78	369	4.73	—	38	120	490	4.08	—	—
10	DEG-Y-B4SP	32W	143	369	2.58	—	6W	340	490	1.44	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（重大事故等対処設備）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	DEG-R-1SP	2841	160	369	2.30	—	2841	308	490	1.59	—	—
2	DEG-R-B1SP	83W	141	369	2.61	—	83W	237	490	2.06	—	—
3	DEG-T-2SP	179	110	369	3.35	—	243	184	490	2.66	—	—
4	DEG-Y-1	14	154	369	2.39	—	161	258	490	1.89	—	—
5	DEG-Y-B1	29	143	369	2.58	—	29	302	490	1.62	—	—
6	DEG-Y-1SP	100	163	369	2.26	○	100	309	490	1.58	—	—
7	DEG-Y-B1SP	15W	32	369	11.53	—	15W	50	490	9.80	—	—
8	DEG-Y-B2SP	61A	101	369	3.65	—	61A	240	490	2.04	—	—
9	DEG-Y-B3SP	38	78	369	4.73	—	38	120	490	4.08	—	—
10	DEG-Y-B4SP	32W	143	369	2.58	—	6W	340	490	1.44	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（重大事故等対処設備）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	DEG-R-1SP	2841	160	369	2.30	—	2841	308	490	1.59	—	—
2	DEG-R-B1SP	83W	141	369	2.61	—	83W	237	490	2.06	—	—
3	DEG-T-2SP	179	110	369	3.35	—	243	184	490	2.66	—	—
4	DEG-Y-1	14	154	369	2.39	—	161	258	490	1.89	—	—
5	DEG-Y-B1	29	143	369	2.58	—	29	302	490	1.62	—	—
6	DEG-Y-1SP	100	163	369	2.26	○	100	309	490	1.58	—	—
7	DEG-Y-B1SP	15W	32	369	11.53	—	15W	50	490	9.80	—	—
8	DEG-Y-B2SP	61A	101	369	3.65	—	61A	240	490	2.04	—	—
9	DEG-Y-B3SP	38	78	369	4.73	—	38	120	490	4.08	—	—
10	DEG-Y-B4SP	32W	143	369	2.58	—	6W	340	490	1.44	—	○

VI-2-10-1-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の
耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-2-7 管の耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	17
3.1 計算方法	17
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.3 設計条件	19
3.4 材料及び許容応力	26
3.5 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	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	36
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	37
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	38

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

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

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

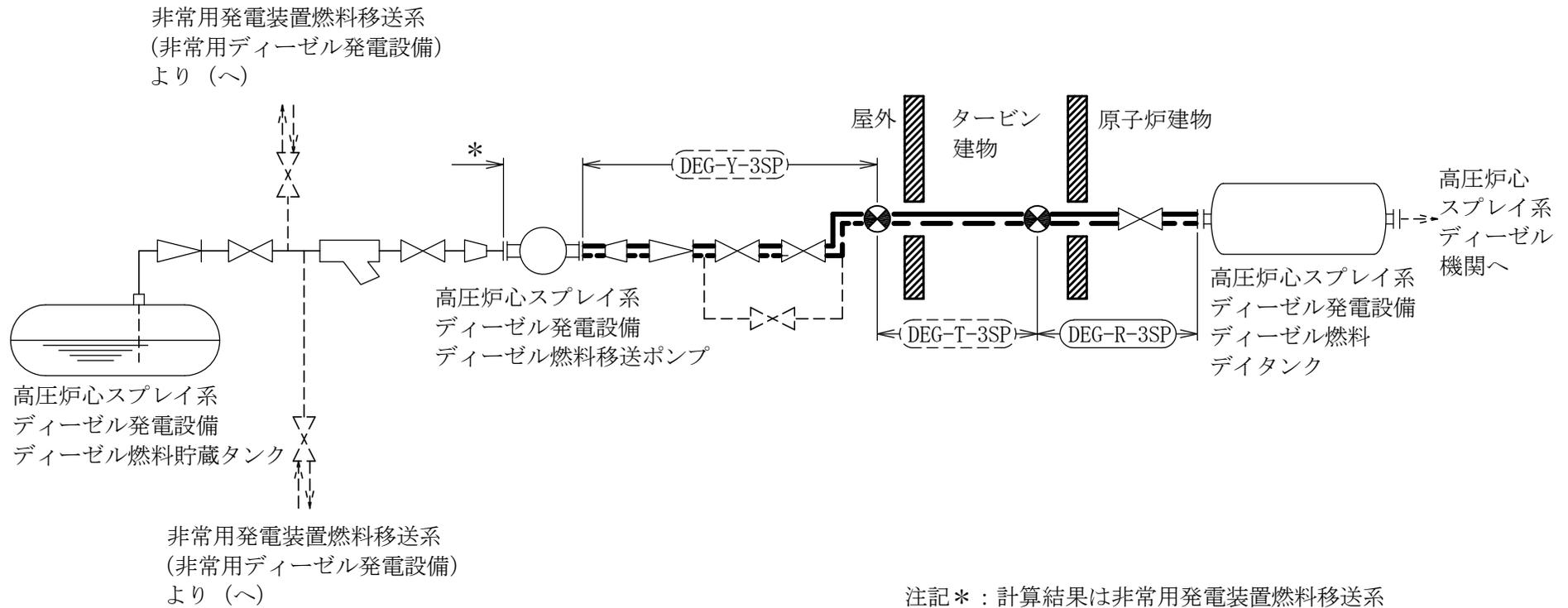
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

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

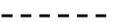
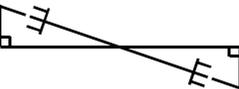
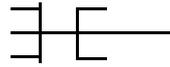
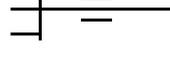
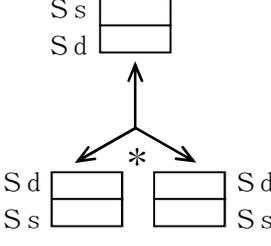
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



非常用発電装置燃料移送系（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備）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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	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。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

5

鳥瞰図

DEG-R-3SP (DB) (1/6)

9

鳥瞰図

DEG-R-3SP (DB) (2/6)

7

鳥瞰図

DEG-R-3SP (DB) (3/6)

∞

鳥瞰図

DEG-R-3SP (DB) (4/6)

6

鳥瞰図

DEG-R-3SP (DB) (5/6)

10

鳥瞰図

DEG-R-3SP (DB) (6/6)

鳥瞰図

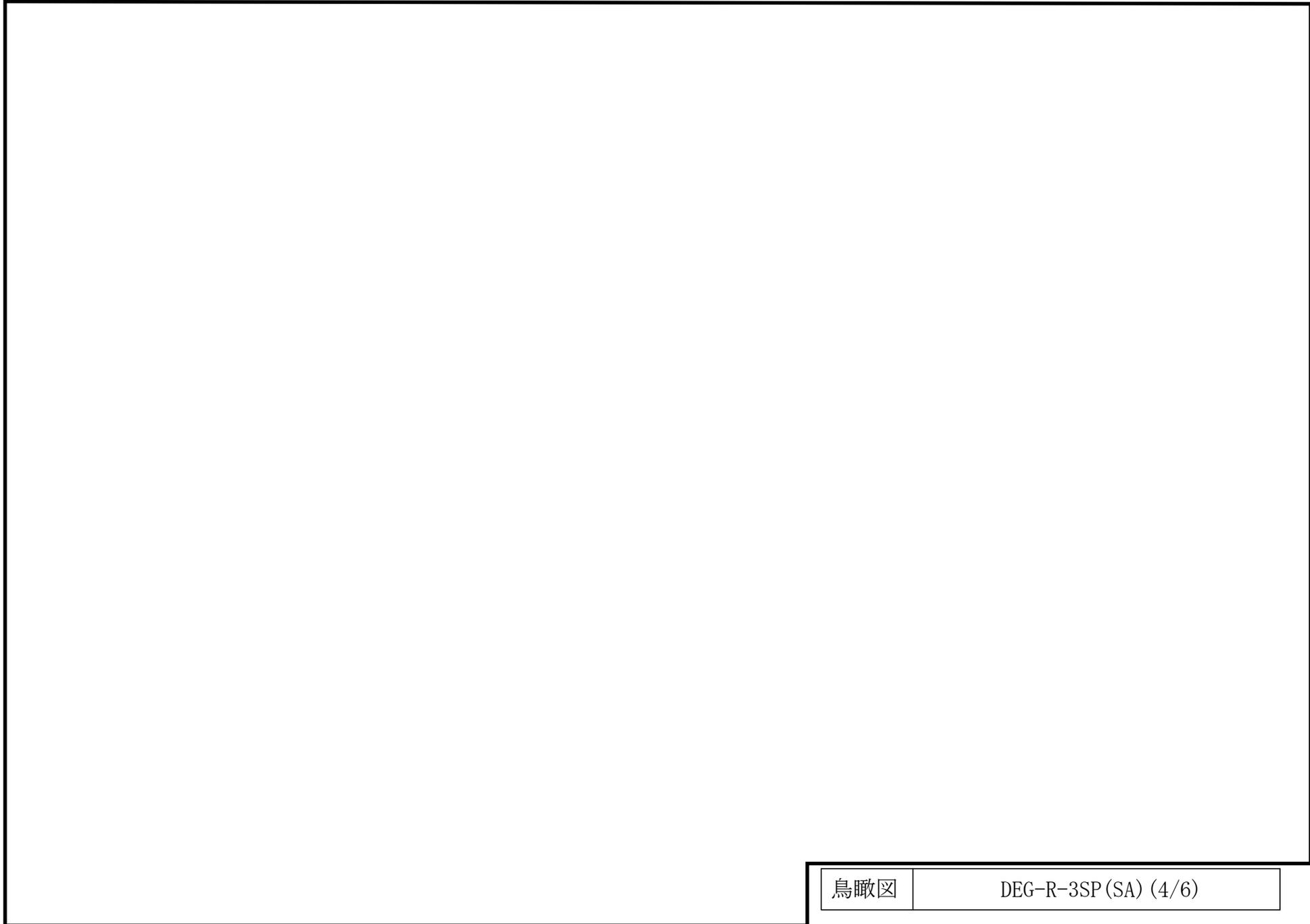
DEG-R-3SP(SA) (1/6)

鳥瞰図

DEG-R-3SP (SA) (2/6)



鳥瞰図	DEG-R-3SP (SA) (3/6)
-----	----------------------



鳥瞰図	DEG-R-3SP (SA) (4/6)
-----	----------------------

鳥瞰図

DEG-R-3SP (SA) (5/6)

鳥瞰図

DEG-R-3SP (SA) (6/6)

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
非常用電源設備	非常用発電装置	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	DB	—	火力技術基準適用の管	S	I _L + S _d	III _A S
							II _L + S _d	
							I _L + S _s	IV _A S
			II _L + S _s					
			SA	常設／防止(D _B 拡張)	火力技術基準適用の管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
V _L + S _s ^{*6}	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／防止(D_B拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	225A~2271, 4511~4766	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
2	2271~4511, 4766~4771 4772~477N	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

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 DEG-R-3SP

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	225A~2271, 4511~4766	60.5	5.5	STPT410	S	201667
2	2271~4511, 4766~4771 4772~477N	60.5	5.5	STPT42	S	201667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	4774
<input type="checkbox"/>	477N

弁部の質量

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	4771~4772

弁部の寸法

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4771~4772			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

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
225A						
238						
242						
250						
255						
258						
273						
279						
290						
296						
301						
305						
318						
325						
332						
338						
345						
350						
3540						
358						
362						
3651						
374						
382						
389						
3921						
398						
405						
413						
419						
428						

S2 補 VI-2-10-1-2-2-7 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

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
432						
440						
450						
453						
459						
4651						
4671						
4731						
4767						
4770						
477N						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	40	—	245	410	—
STPT42	40	—	245	410	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき策定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
DEG-R-3SP	原子炉建物				
	タービン建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 DEG-R-3SP

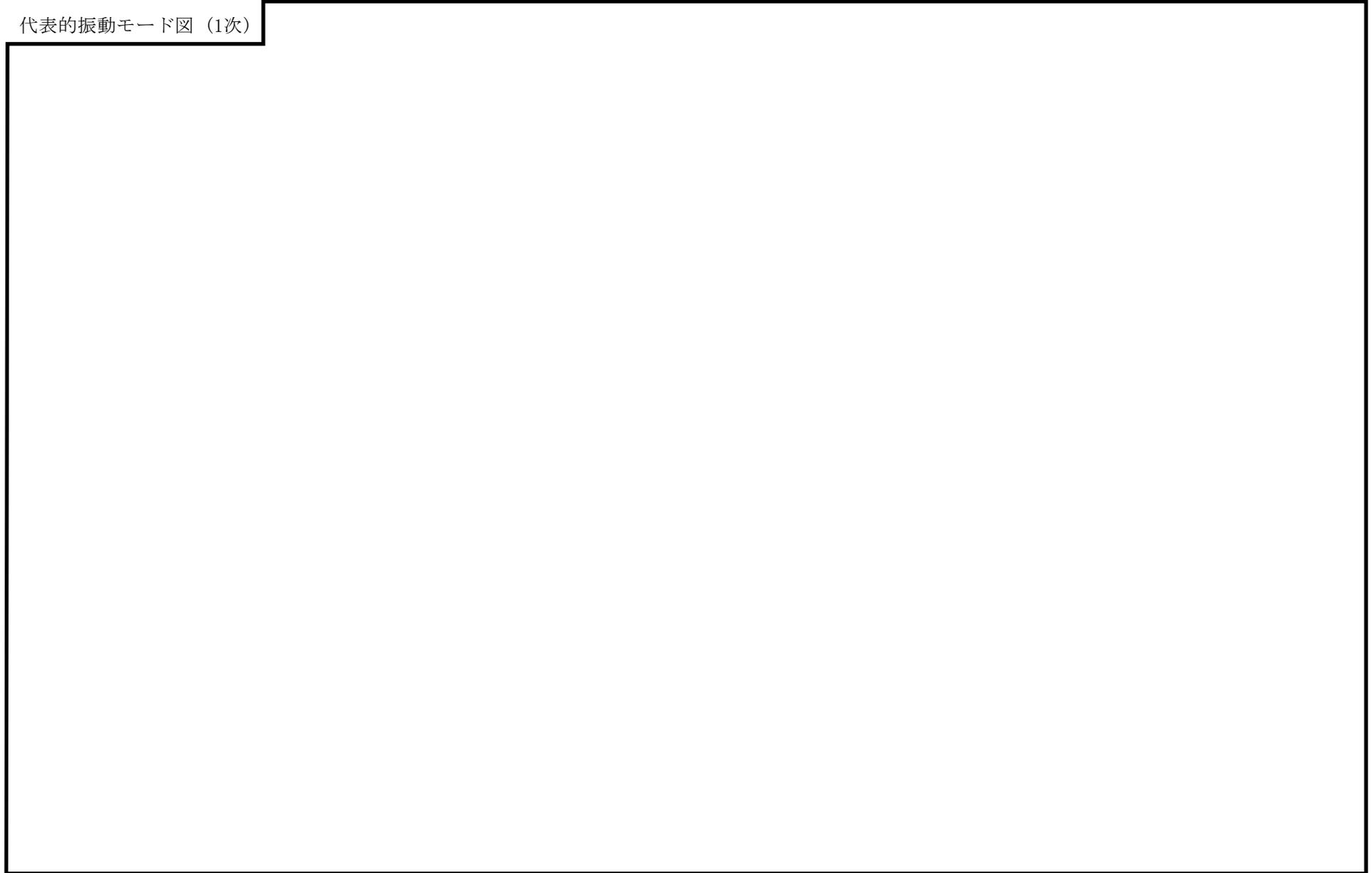
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
36次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

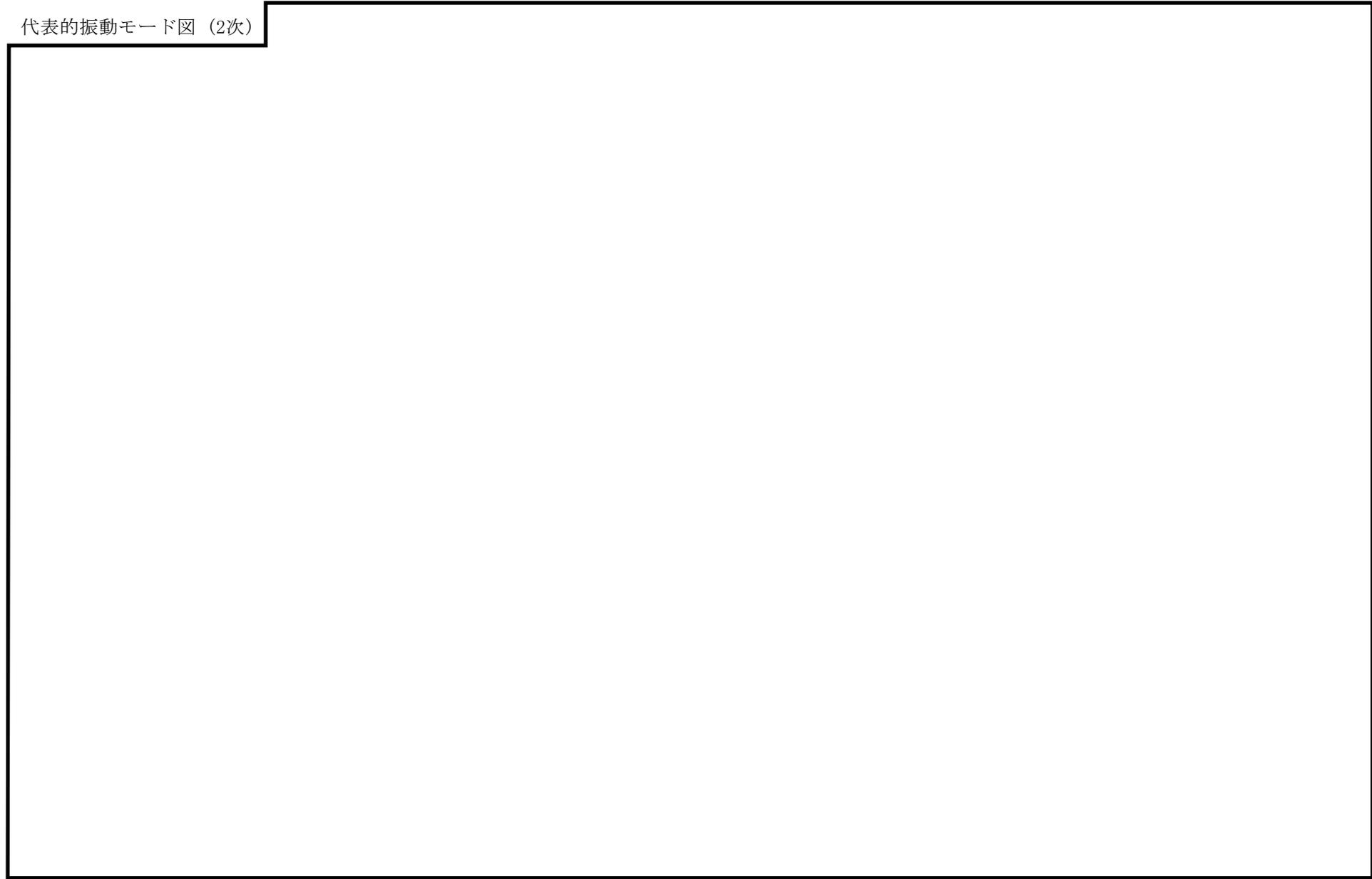
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



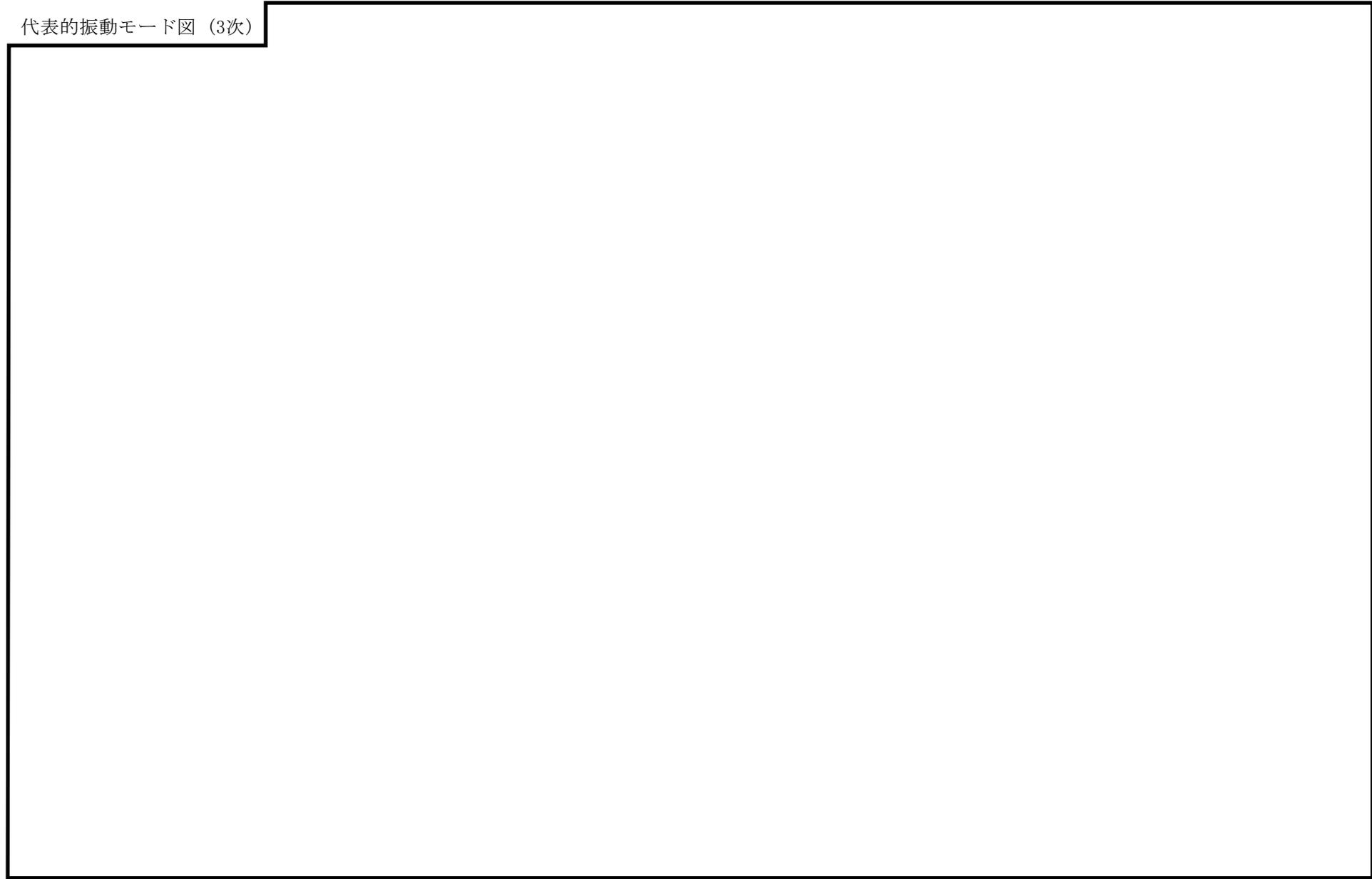
代表的振動モード図 (2次)

32



代表的振動モード図 (3次)

33



鳥瞰図

DEG-R-3SP

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。

火力技術基準適用の管（設計基準対象施設）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	DEG-R-3SP	3540	92	245	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-R-3SP	3540	174	490	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	DEG-R-3SP	3540	187	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-R-3SP	3540	363	490	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

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。

火力技術基準適用の管（重大事故等対処設備）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	DEG-R-3SP	3540	187	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-R-3SP	3540	363	490	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	DEG-R-3SP	3540	187	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	DEG-R-3SP	3540	363	490	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
—	オイルスナッパ	—		—	—	—	
—	ロッドレストレイント	—		—	—	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—	—	
—	コンスタントハンガ	—		—	—	—	
—	リジットハンガ	—		—	—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-DEG-4491	レストレイント	Uボルト	SS400	40	14	0	1	—	—	—	圧縮	82	160
AN-DEG-0268	アンカ	ラグ	SGV410	40	3.7	1.6	5.9	1.1	2.5	0.9	組合せ	134	155

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（設計基準対象施設）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	DEG-R-3SP	3540	92	245	2.66	○	3540	174	490	2.81	—	○
2	DEG-T-3SP	193	79	245	3.10	—	195	173	490	2.83	—	—
3	DEG-Y-3SP	77	89	245	2.75	—	36	150	490	3.26	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（設計基準対象施設）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	DEG-R-3SP	3540	187	369	1.97	○	3540	363	490	1.34	—	○
2	DEG-T-3SP	221	158	369	2.33	—	221	292	490	1.67	—	—
3	DEG-Y-3SP	36	154	369	2.39	—	36	357	490	1.37	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（重大事故等対処設備）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	DEG-R-3SP	3540	187	369	1.97	○	3540	363	490	1.34	—	○
2	DEG-T-3SP	221	158	369	2.33	—	221	292	490	1.67	—	—
3	DEG-Y-3SP	36	154	369	2.39	—	36	357	490	1.37	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度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。

火力技術基準適用の管（重大事故等対処設備）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	DEG-R-3SP	3540	187	369	1.97	○	3540	363	490	1.34	—	○
2	DEG-T-3SP	221	158	369	2.33	—	221	292	490	1.67	—	—
3	DEG-Y-3SP	36	154	369	2.39	—	36	357	490	1.37	—	—

VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性に関する説明書

VI-2-10-2-2 防波壁の地震応答計算書

VI-2-10-2-2-1 防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 解析方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 解析方法	10
3.1 評価対象断面	10
3.2 解析方法	16
3.2.1 施設	16
3.2.2 地盤物性及び地盤物性のばらつき	17
3.2.3 減衰定数	18
3.2.4 解析ケース	19
3.3 荷重及び荷重の組合せ	21
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	21
3.3.2 荷重	21
3.3.3 荷重の組合せ	22
3.4 入力地震動	23
3.4.1 ②－②断面	24
3.4.2 ③－③断面	38
3.4.3 ④－④断面	52
3.4.4 ⑤－⑤断面	66
3.5 解析モデル及び諸元	78
3.5.1 解析モデル	78
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	81
3.5.3 地盤及び改良地盤⑥の物性値	81
3.5.4 地下水位	81
4. 解析結果	82
4.1 ②－②断面の解析結果	82
4.2 ③－③断面の解析結果	128
4.3 ④－④断面の解析結果	146
4.4 ⑤－⑤断面の解析結果	190

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析は、防波壁（波返重力擁壁）が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答を抽出するものである。

防波壁（波返重力擁壁）のうちケーソンについては、2次元地震応答解析により地震時荷重を算定し、その荷重を3次元構造解析モデルに作用させて耐震評価を実施する。地震応答解析により抽出する応答値は、基礎地盤に発生する接地圧並びに3次元構造解析モデルに作用させる地震時土圧及び慣性力である。

また、浸水防止設備（屋外排水路逆止弁）及び津波監視設備（津波監視カメラ）の設計震度設定に用いる。

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（波返重力擁壁）の位置図を図 2-1 に示す。

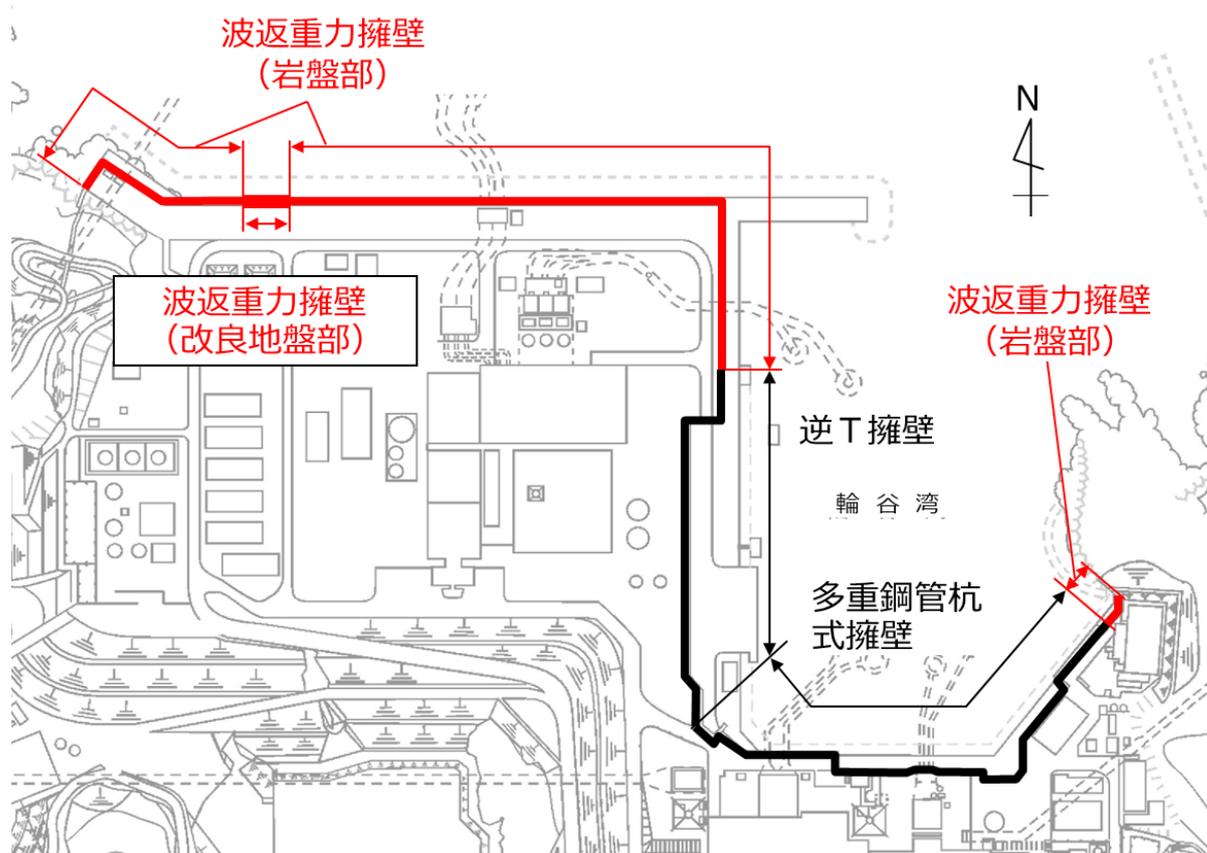


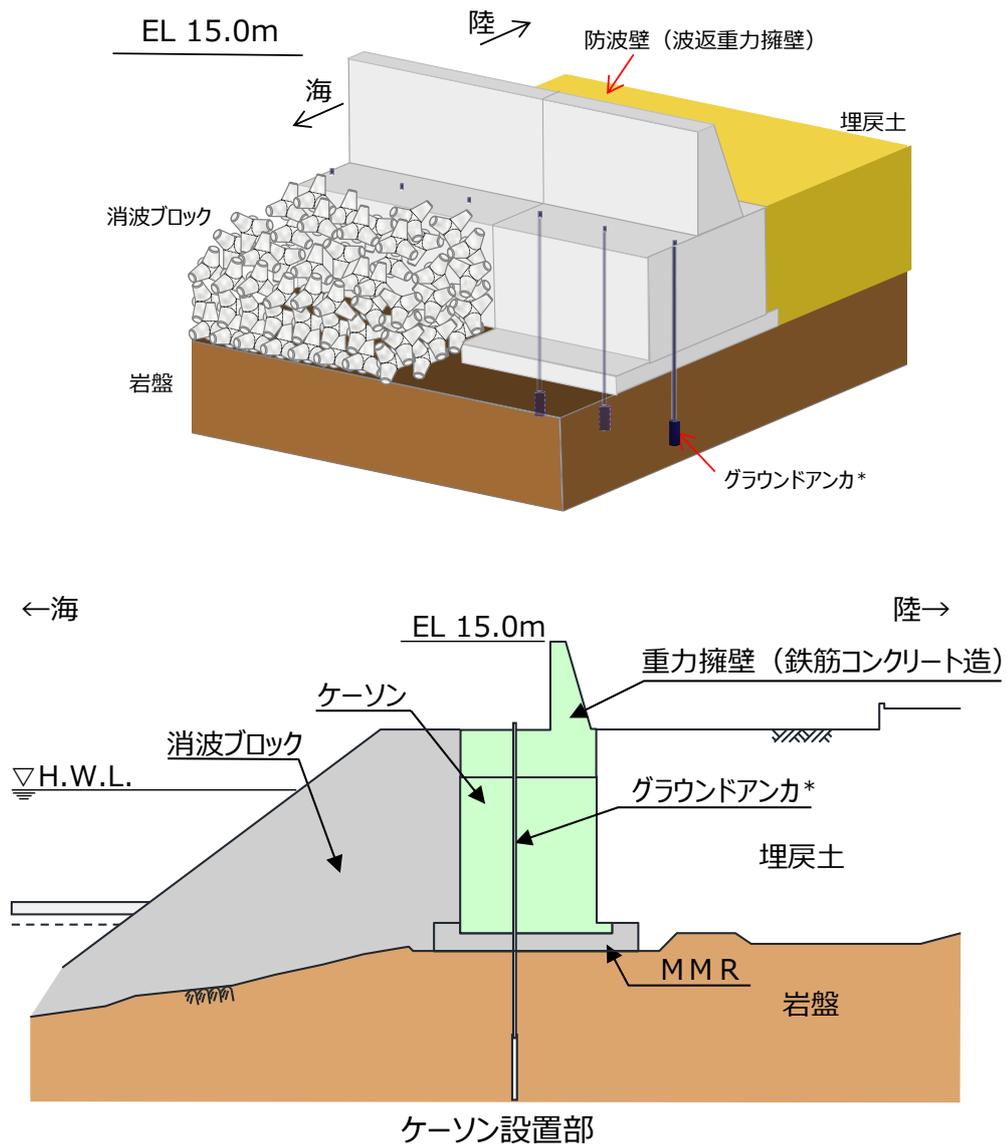
図 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の位置図

2.2 構造概要

防波壁（波返重力擁壁）は，マンメイドロック（以下「MMR」という。）等を介して堅固な地山の岩盤に支持され，鉄筋コンクリート造のケーソン及び重力擁壁から構成されるケーソン設置部と，重力擁壁が岩盤に直接支持される岩盤直接支持部に分類される。隣接する構造との境界には，止水性を保持するための止水目地を重力擁壁の陸側に設置する。

防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図を図 2-2 に，構造図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。

なお，構造概要図にはグラウンドアンカを示しているが，その効果を期待しない設計とする。



注記* : 防波壁 (波返重力擁壁) は, グラウンドアンカの効果を期待しない設計とする。

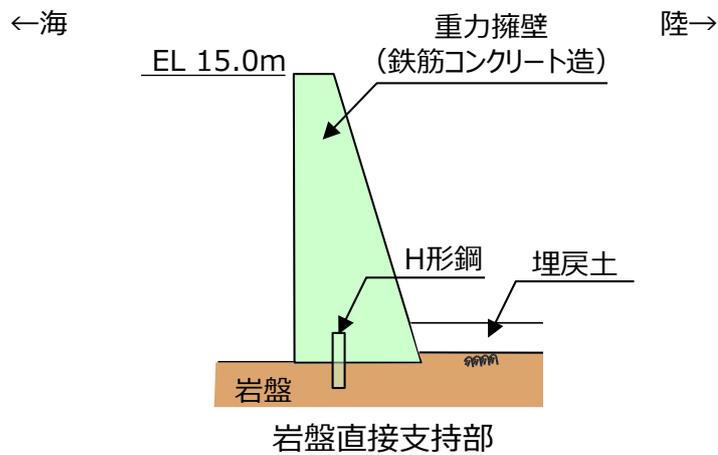


図 2-2 防波壁 (波返重力擁壁) の構造概要図

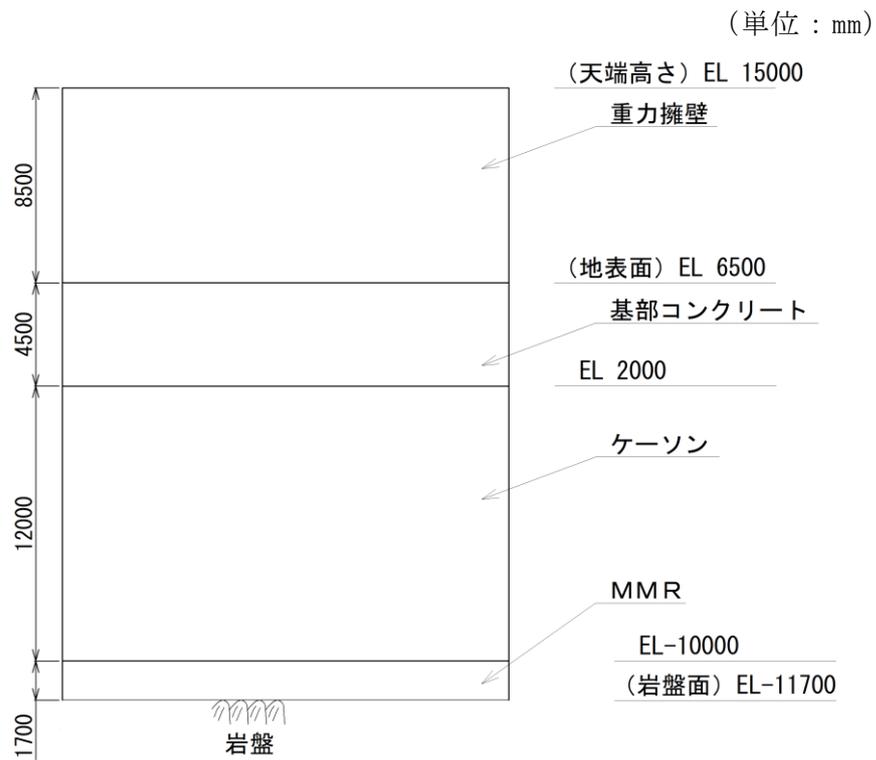


図 2-3(1) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (正面図) (ケーソン設置部)

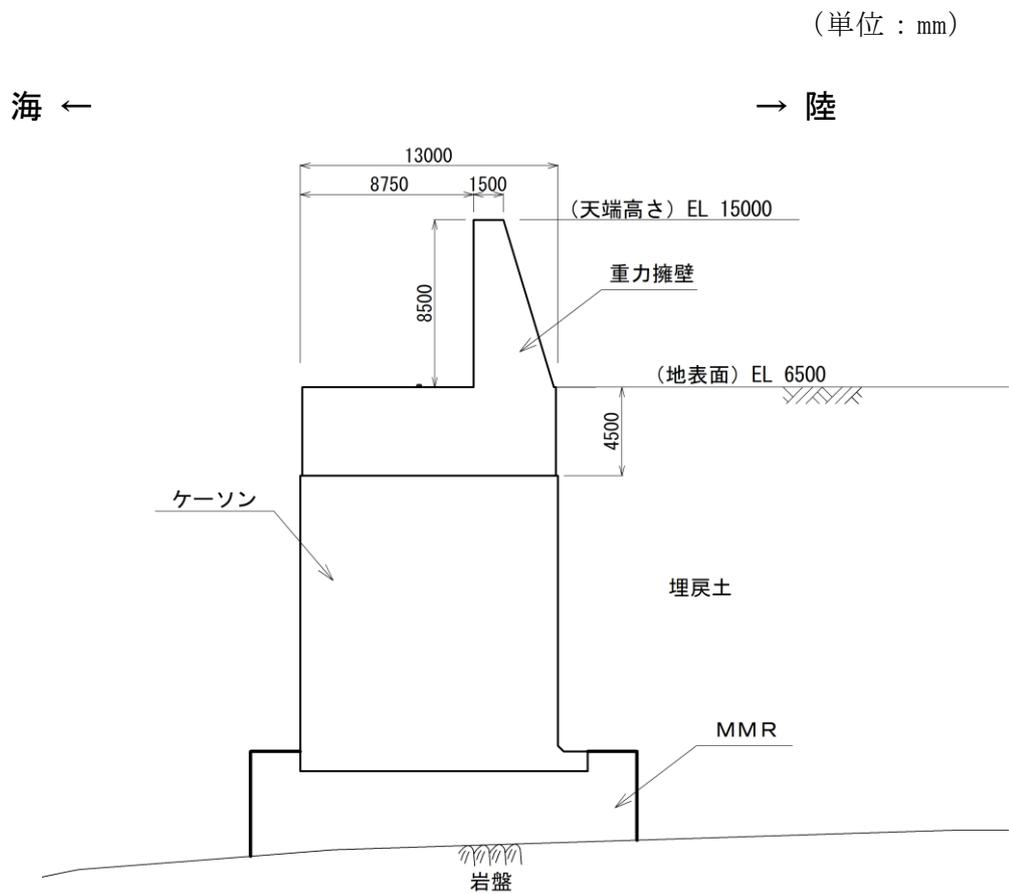


図 2-3(2) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (断面図) (ケーソン設置部)

(単位：mm)

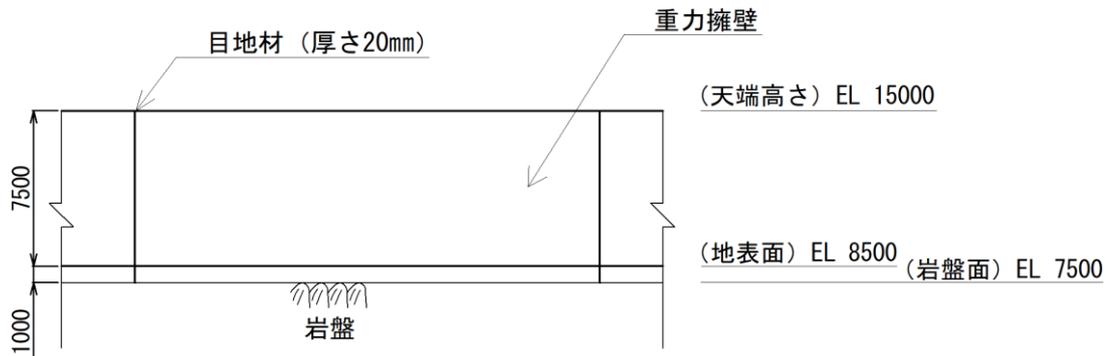


図 2-4(1) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (正面図) (岩盤直接支持部)

(単位：mm)

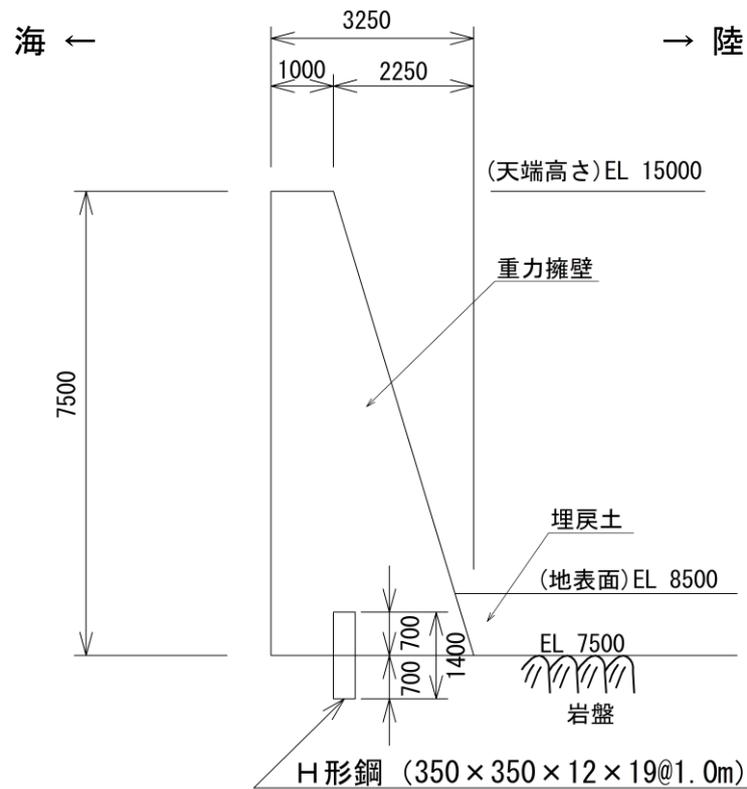


図 2-4(2) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (断面図) (岩盤直接支持部)

2.3 解析方針

防波壁（波返重力擁壁）は，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，基準地震動 S_s 及び津波と余震の重畳を考慮する際（以下「重畳時」という。）に用いる余震荷重として弾性設計用地震動 S_d-D に対して地震応答解析を実施する。

図 2-5 に防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は，「2. 基本方針」に基づき，「3.1 評価対象断面」に示す断面において，「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による 2次元有限要素法を用いた時刻歴応答解析により行うこととし，地盤物性のばらつきを適切に考慮する。

2次元有限要素法による時刻歴応答解析は，「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に，「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は，浸水防止設備（屋外排水路逆止弁）の設計用床応答スペクトルの作成及び津波監視設備（津波監視カメラ）の設計震度設定に用いる。

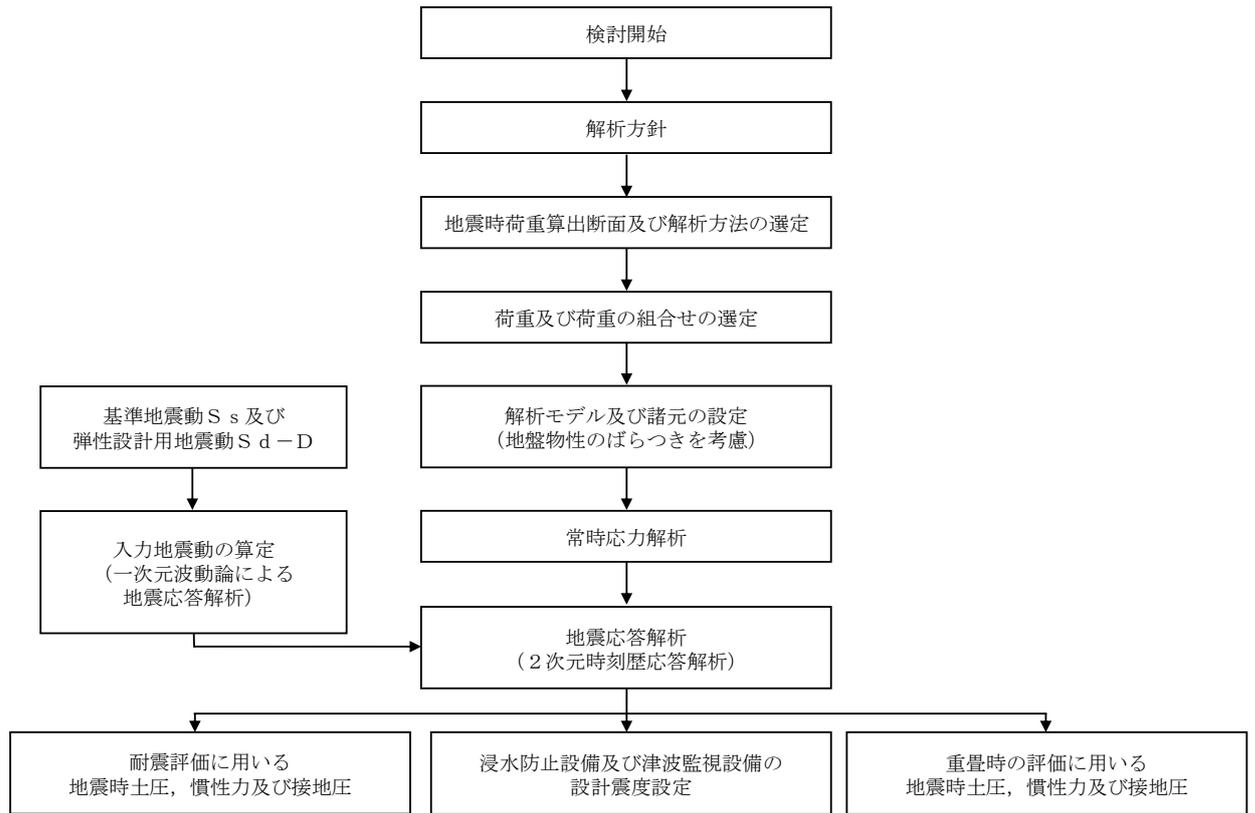


図 2-5 防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- ・松江市建築基準法施行細則 (平成17年3月31日, 松江市規則第234号)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 ((社)日本港湾協会, H19年版)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成19年3月)

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面は，防波壁（波返重力擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図を図3-1に，縦断面図を図3-2に，防波壁（波返重力擁壁）の各区分における横断面図を図3-3～図3-8に示す。以下の理由から，②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面を評価対象断面として選定する。

- ・②-②断面は，支持構造がケーソンとなる断面のうち，ケーソン高さに対するケーソン幅が狭く，地表面から岩盤上面までの深さが最も深いことに加え，ケーソン直下に改良地盤⑥が配置されているため，評価対象断面として選定した。
- ・③-③断面は，ケーソンに開口部（放水路）を有するため，評価対象断面として選定した。
- ・④-④断面は，地表面高さが最も高いため，評価対象断面として選定した。
- ・⑤-⑤断面は，重力擁壁が岩盤上に直接設置され，支持構造がH形鋼であり，重力擁壁の天端幅及び下端幅が狭いため，評価対象断面として選定した。

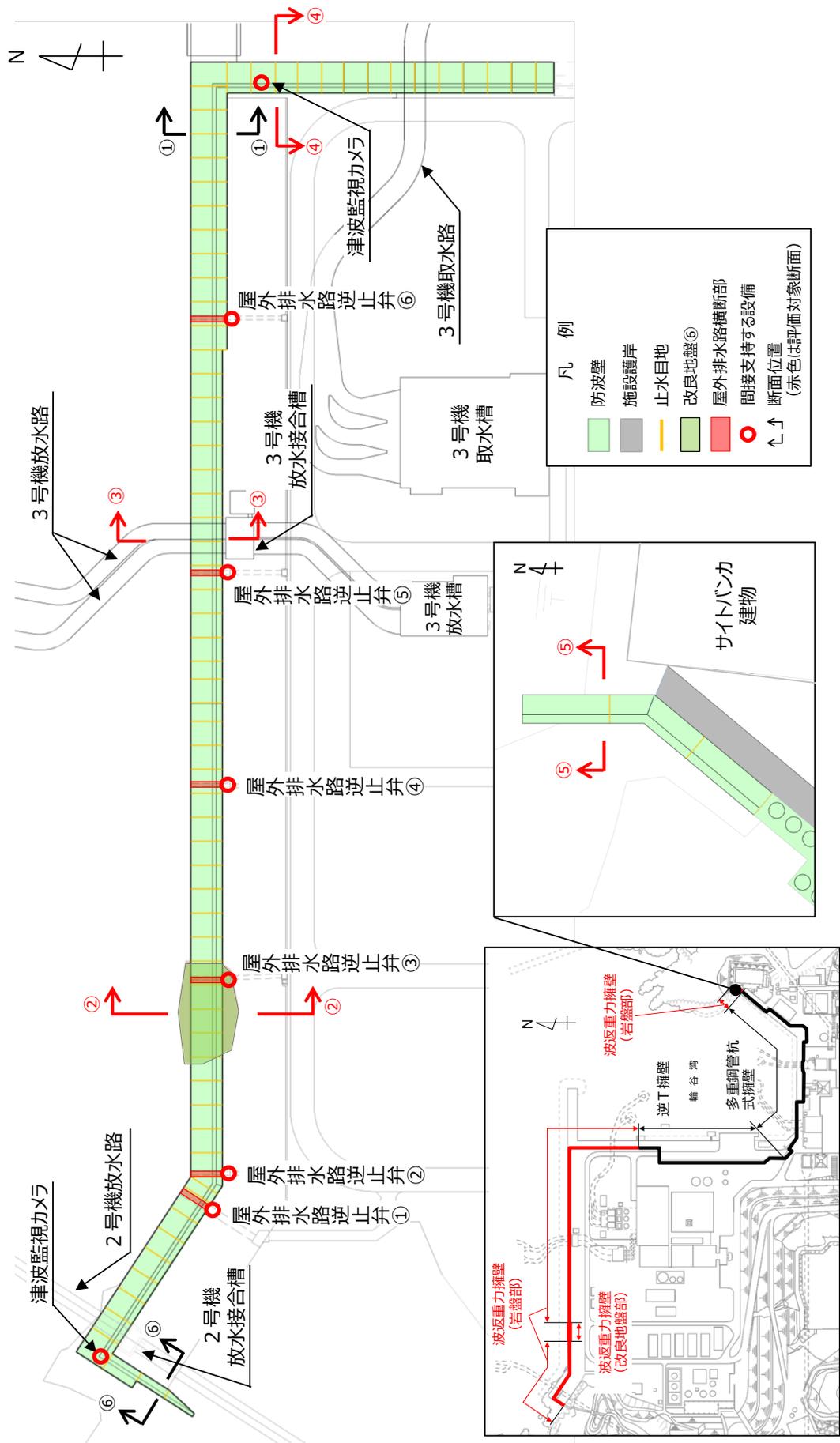


図 3-1 防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図

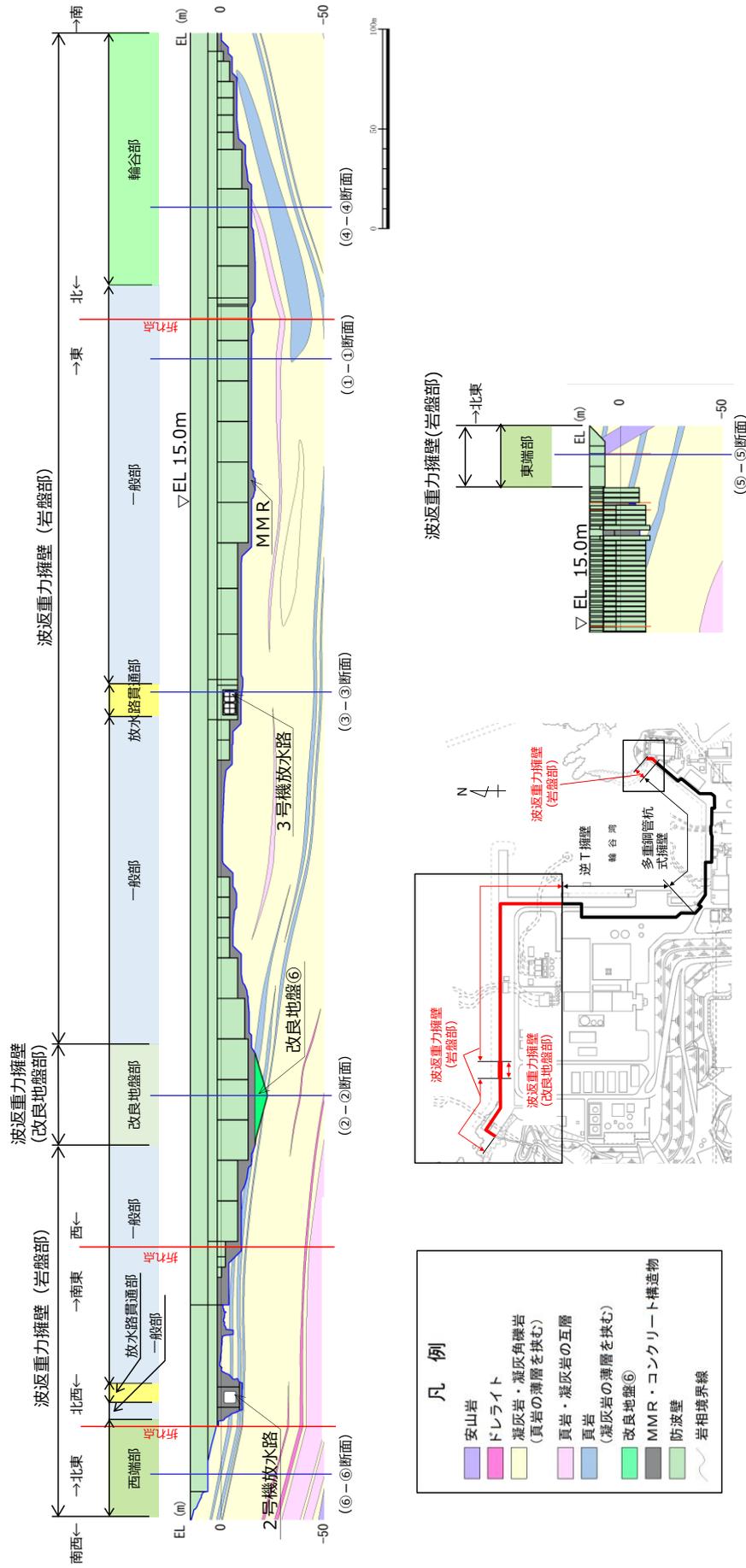


図 3-2 防波壁 (波返重力擁壁) の縦断面図

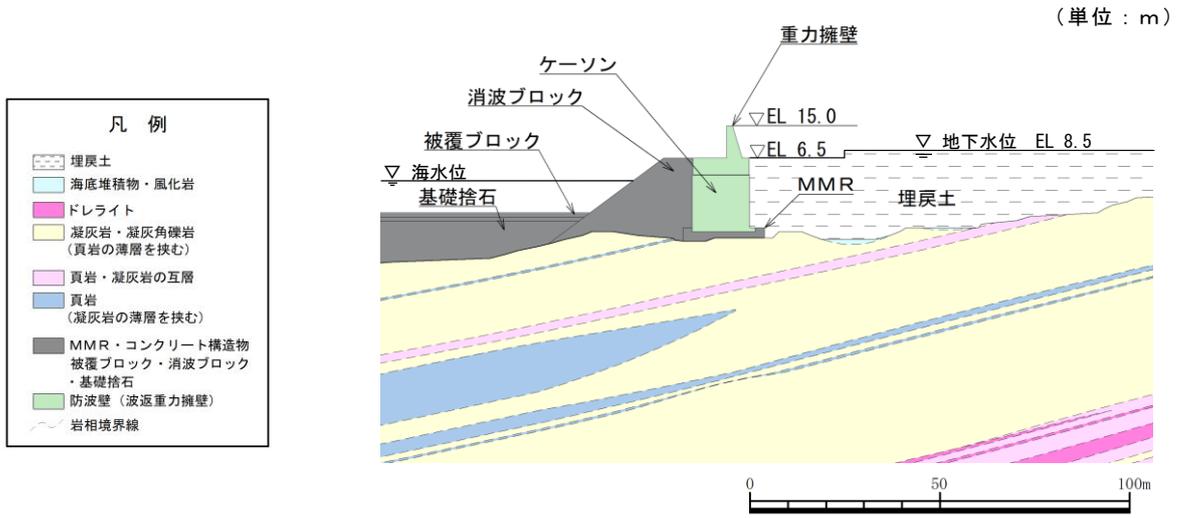


図 3-3 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (①-①断面)

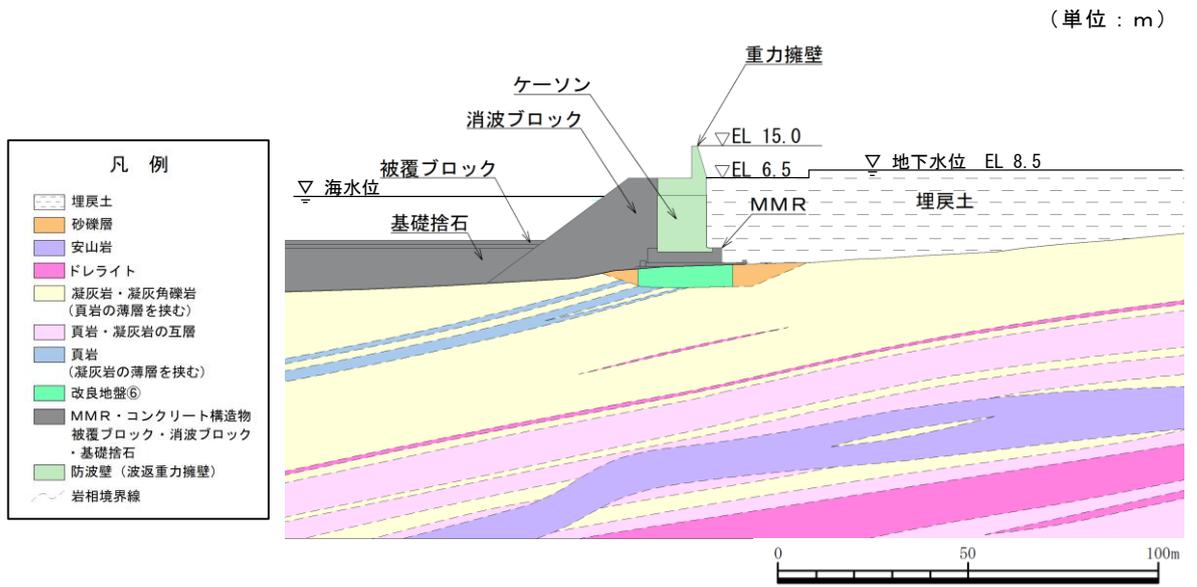


図 3-4 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (②-②断面)

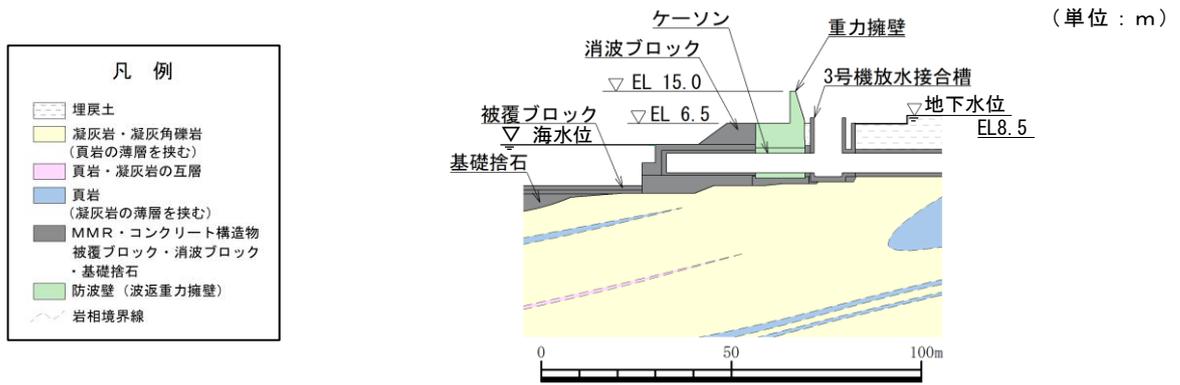


図 3-5 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（③-③断面）

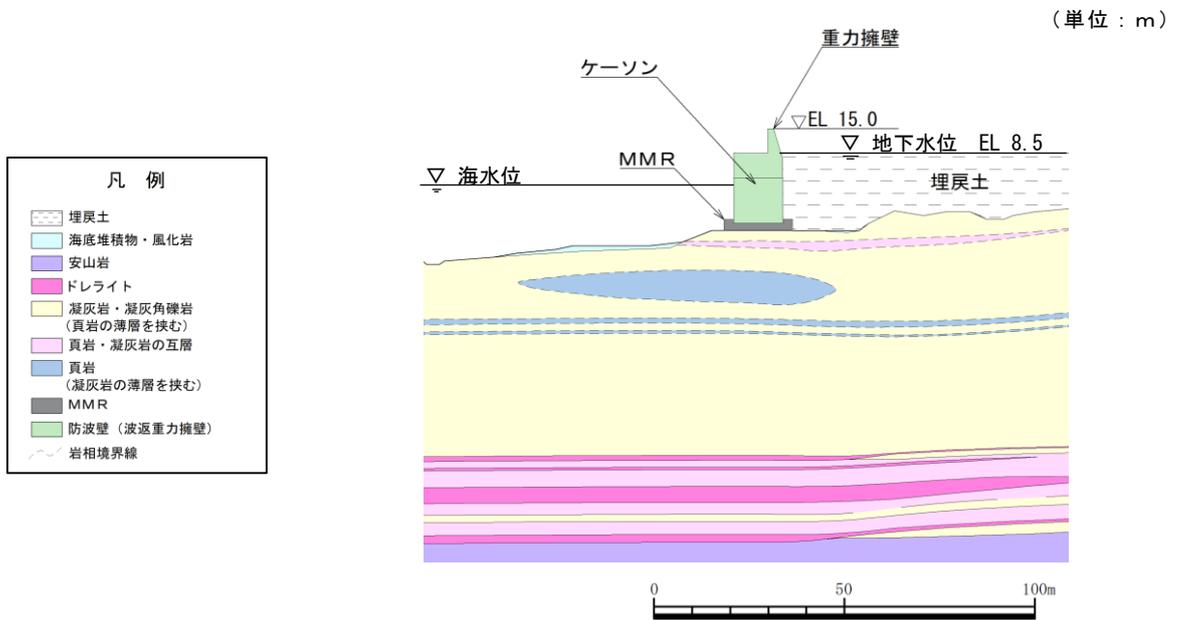


図 3-6 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（④-④断面）

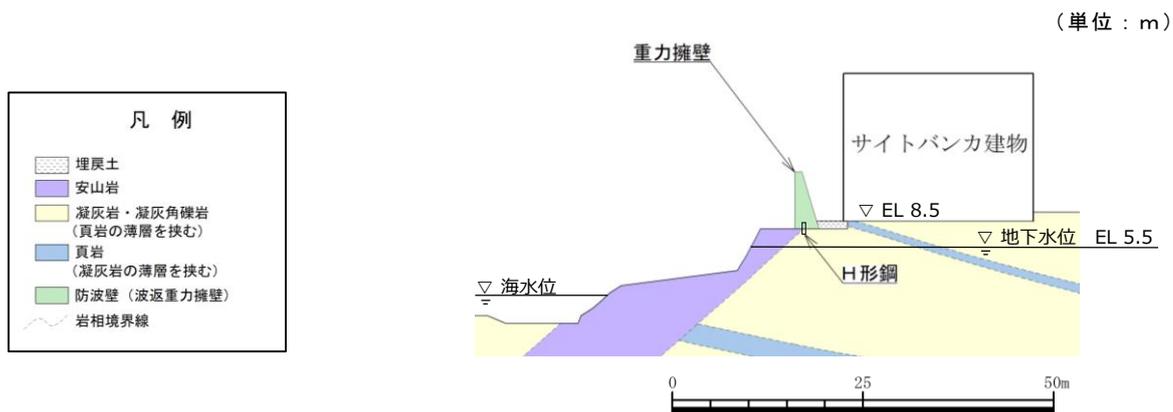


図 3-7 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（⑤-⑤断面）

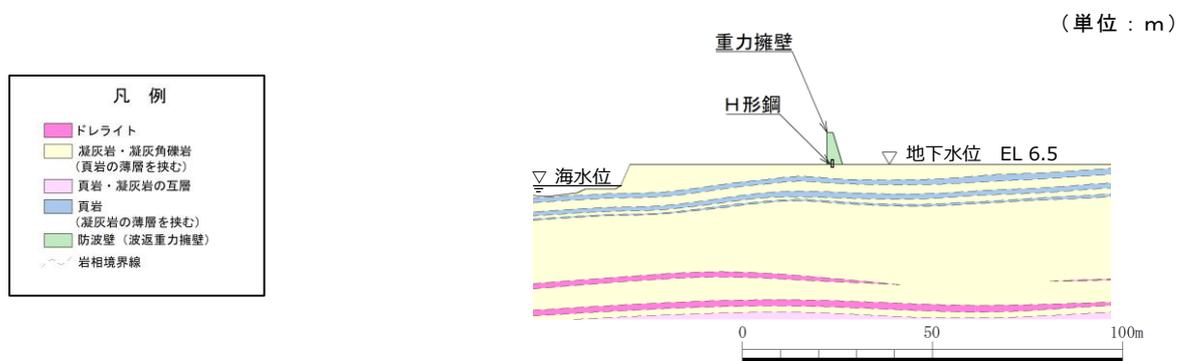


図 3-8 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（⑥-⑥断面）

3.2 解析方法

防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析は、VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。②-②断面、③-③断面及び④-④断面は、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。⑤-⑤断面は、地下水位以深に液状化対象層が分布しないことから、解析方法は全応力解析とする。

構造部材については、線形平面ひずみ要素でモデル化する。ケーソンについては、3次元構造解析モデルとの変位を整合させるためのヤング係数の調整を行い、3次元構造モデルと等価な剛性となるようモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、有効応力解析では「FLIP」、全応力解析では「TDAPP III」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.2.1 施設

重力擁壁及びケーソンは、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

3.2.2 地盤物性及び地盤物性のばらつき

防波壁（波返重力擁壁）の地震時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表 3-1 に示す解析ケースにおいて考慮する。

図 3-2 及び図 3-4～図 3-7 に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に防波壁（波返重力擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 解析ケース」に示す。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

3.2.3 減衰定数

有効応力解析では、Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) を設定する。

全応力解析では、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果
(解析手法 : 全応力解析)

評価対象断面	α	β
⑤-⑤断面	2.916	2.852×10^{-4}

3.2.4 解析ケース

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。すべての基準地震動 S_s に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。重畳時の評価においては、 $S_d - D$ （++）に対し、解析ケース①を実施する。耐震評価及び重畳時の評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1 σ		平均値-1 σ	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。 重畳時の評価においては、 $S_d - D$ (++) の 1 ケースのみ実施する。			
		-+*	○				
		+ - *	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○				
-+*		○					
$S_d - D$	++*	○	-	-			

注記*：地震動の位相について、(++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

(2) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

②-②断面及び④-④断面を対象とし、機器・配管系に対する応答加速度抽出は、床応答への保守的な配慮として解析ケース①に加え、表 3-4 に示す解析ケース②及び③を実施する。機器・配管系の耐震評価における解析ケースを表 3-4 に示す。

表 3-4 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1 σ		平均値-1 σ	
地震動 (位相)	S _s -D	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	
		+ -*	○	○	○	○	
		--*	○	○	○	○	
	S _s -F 1	++*	○	○	○	○	
	S _s -F 2	++*	○	○	○	○	
	S _s -N 1	++*	○	○	○	○	
		-+*	○	○	○	○	
	S _s -N 2 (NS)	++*	○	○	○	○	
		-+*	○	○	○	○	
	S _s -N 2 (EW)	++*	○	○	○	○	
		-+*	○	○	○	○	

注記*：地震動の位相について、(++)の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管及び漂流物対策工の荷重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。

積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重(P_k)

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

(4) 地震荷重(S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

(5) 余震荷重(S_d)

弾性設計用地震動S_d-Dによる荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P _s + P _k + S _s
地震時 (S _d) *	G + P _s + P _k + S _d

注記* : 重畳時に用いる。

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

S_d : 余震荷重 (弾性設計用地震動 S_d - D)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-9 に入力地震動算定の概念図を、図 3-10～図 3-63 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

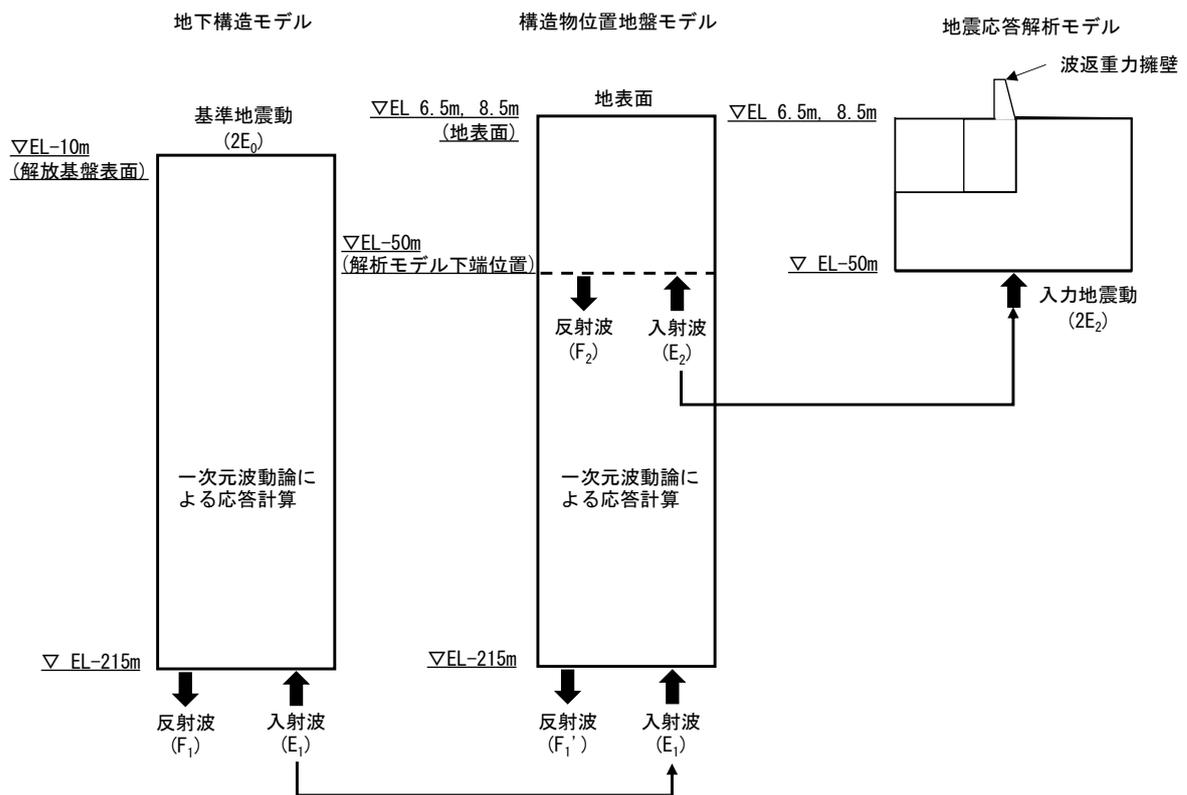
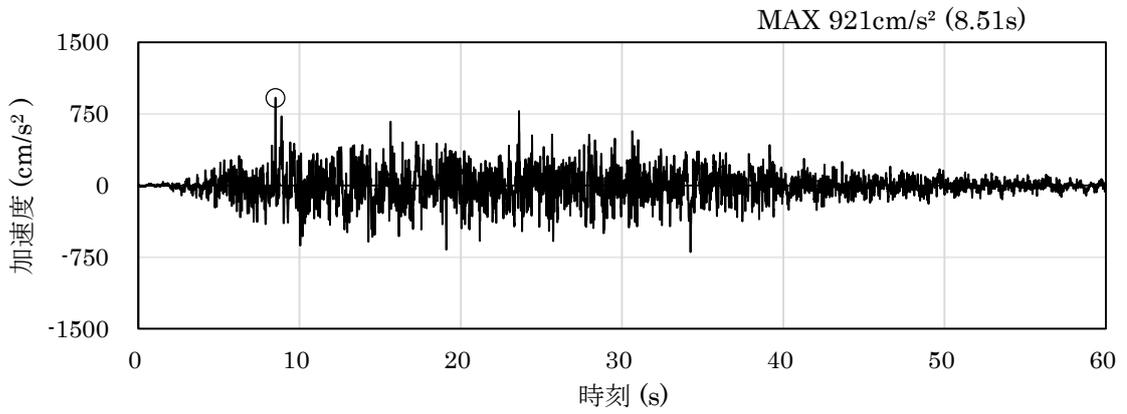
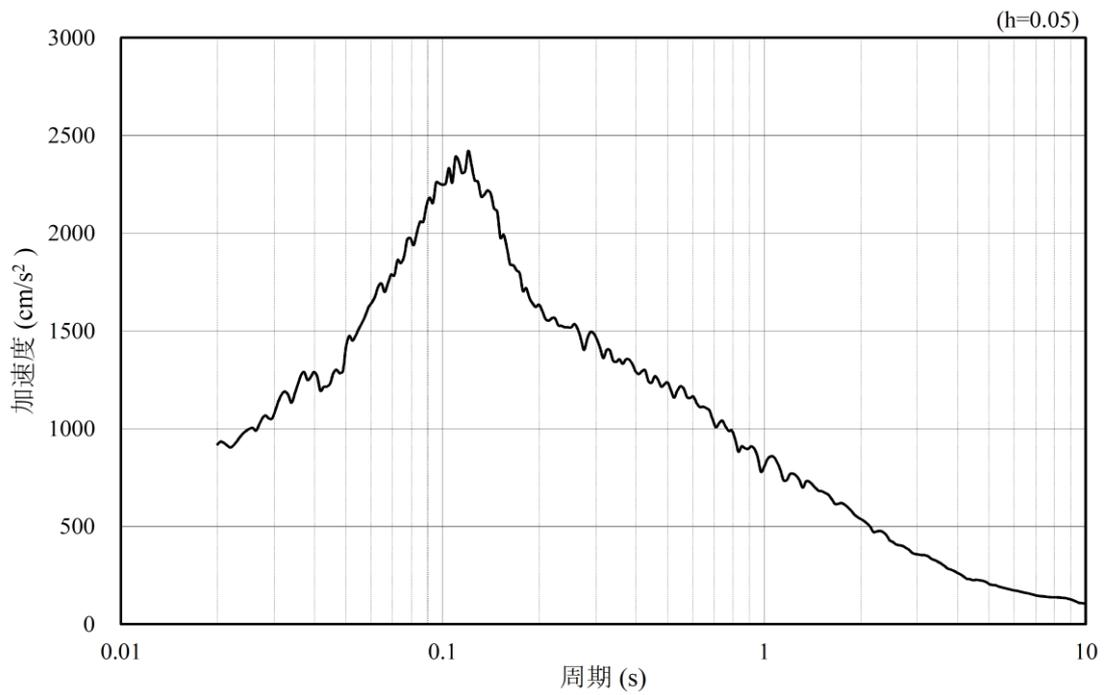


図 3-9 入力地震動算定の概念図

3.4.1 ②-②断面

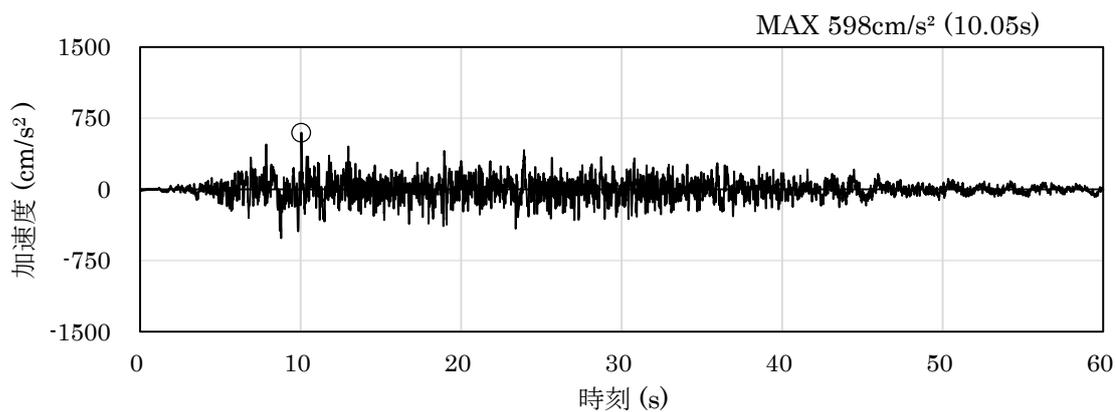


(a) 加速度時刻歴波形

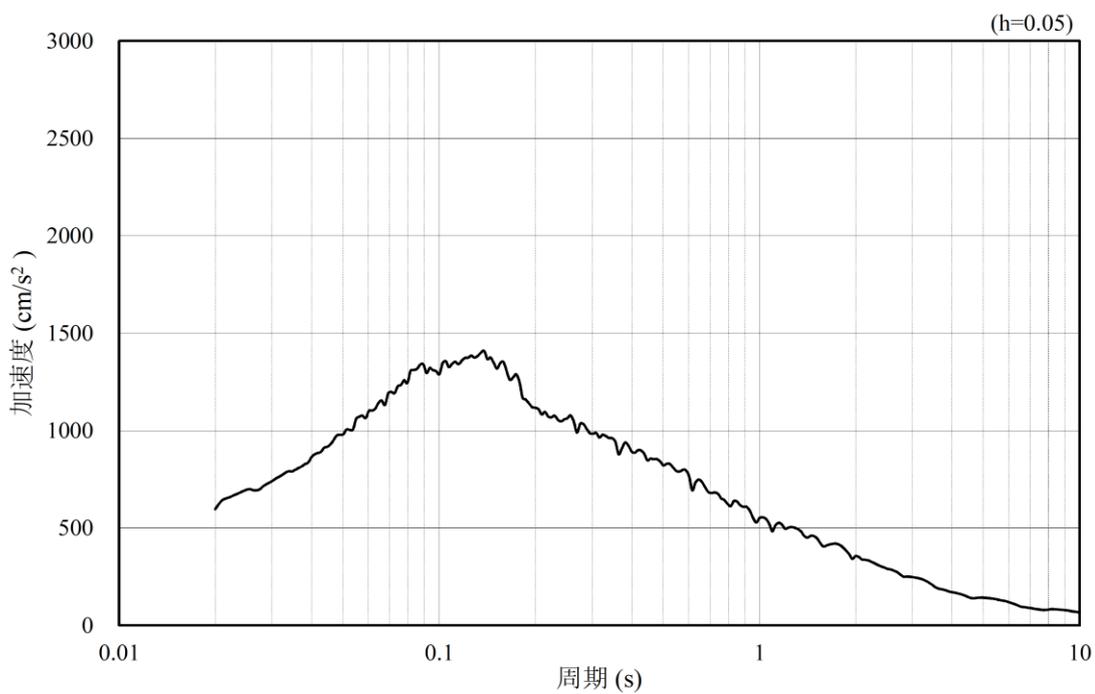


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

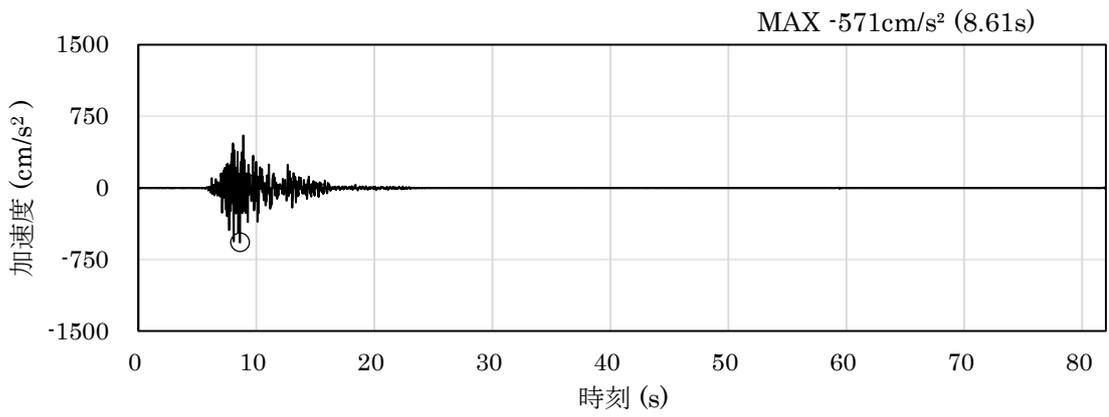


(a) 加速度時刻歴波形

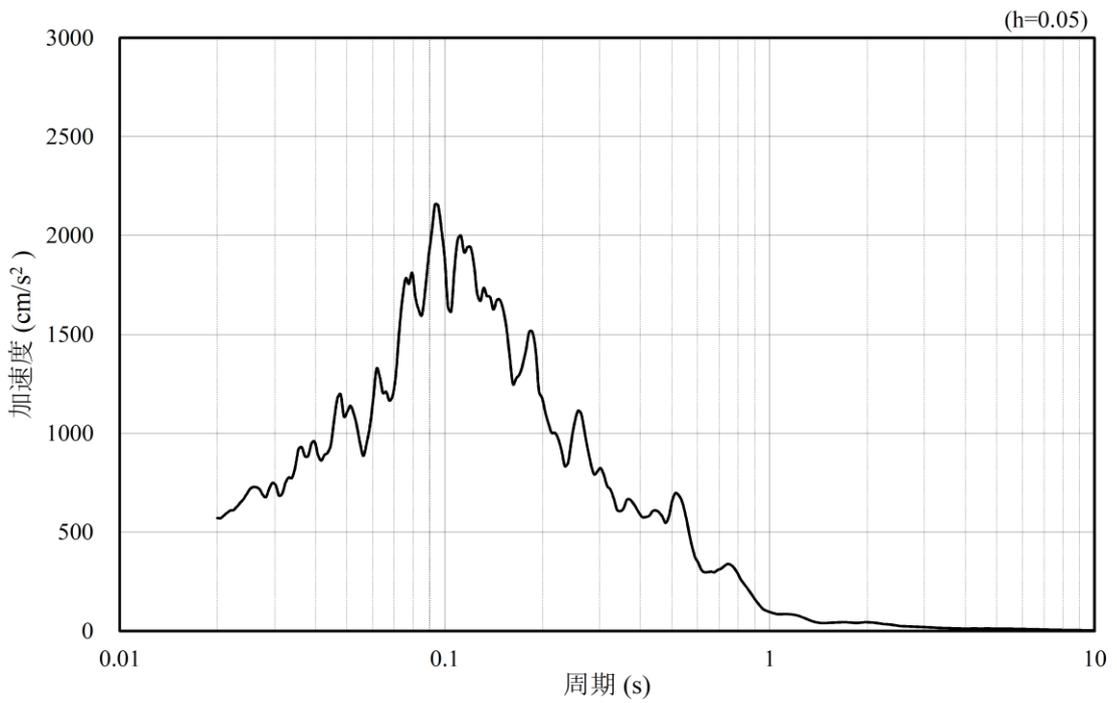


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

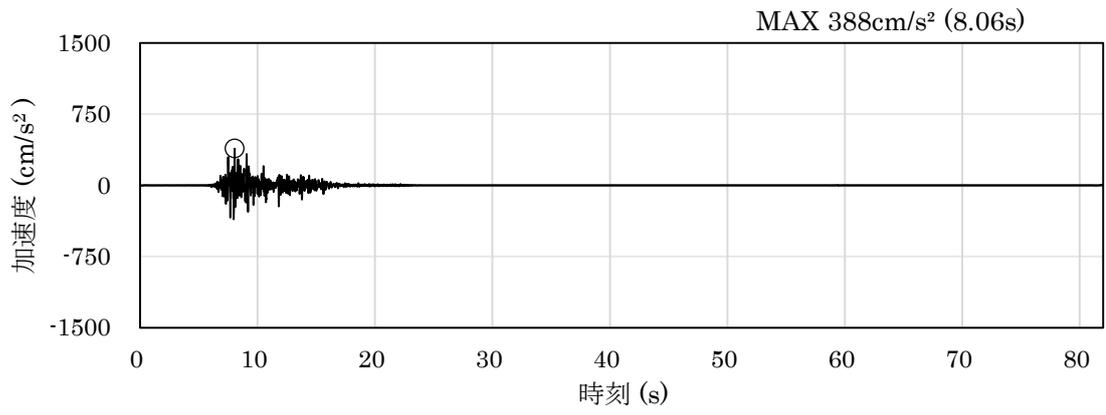


(a) 加速度時刻歴波形

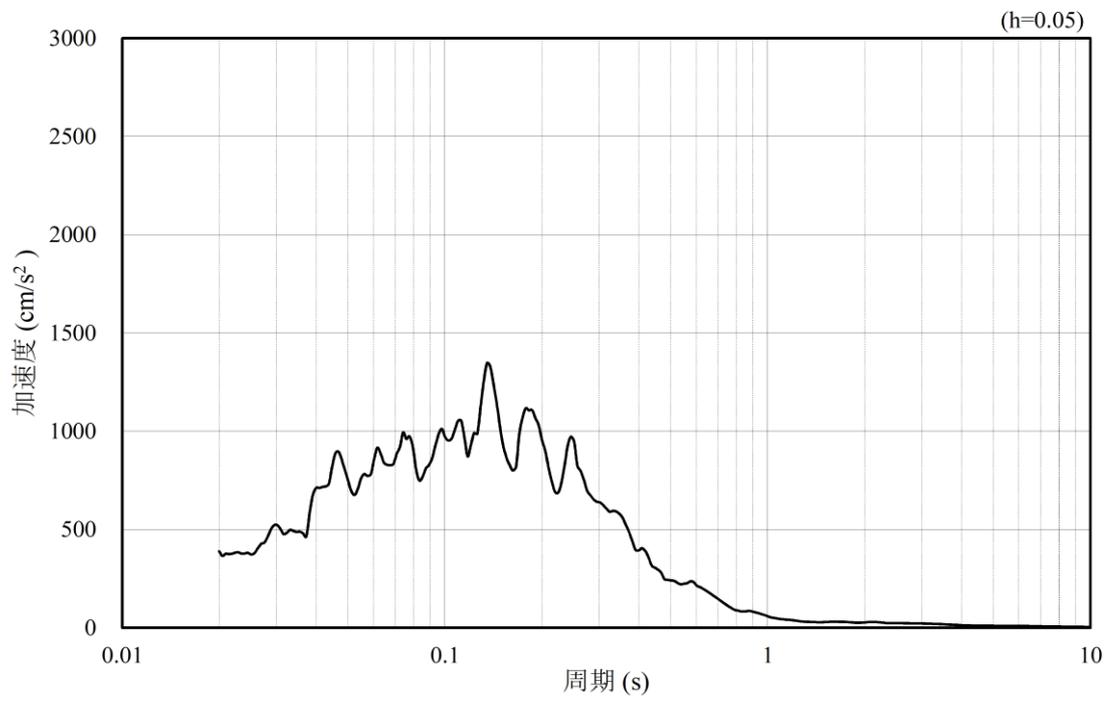


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

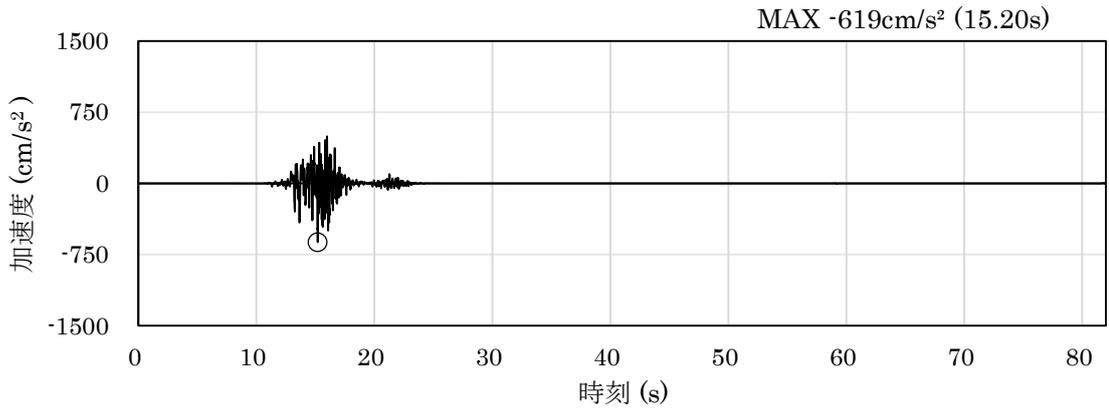


(a) 加速度時刻歴波形

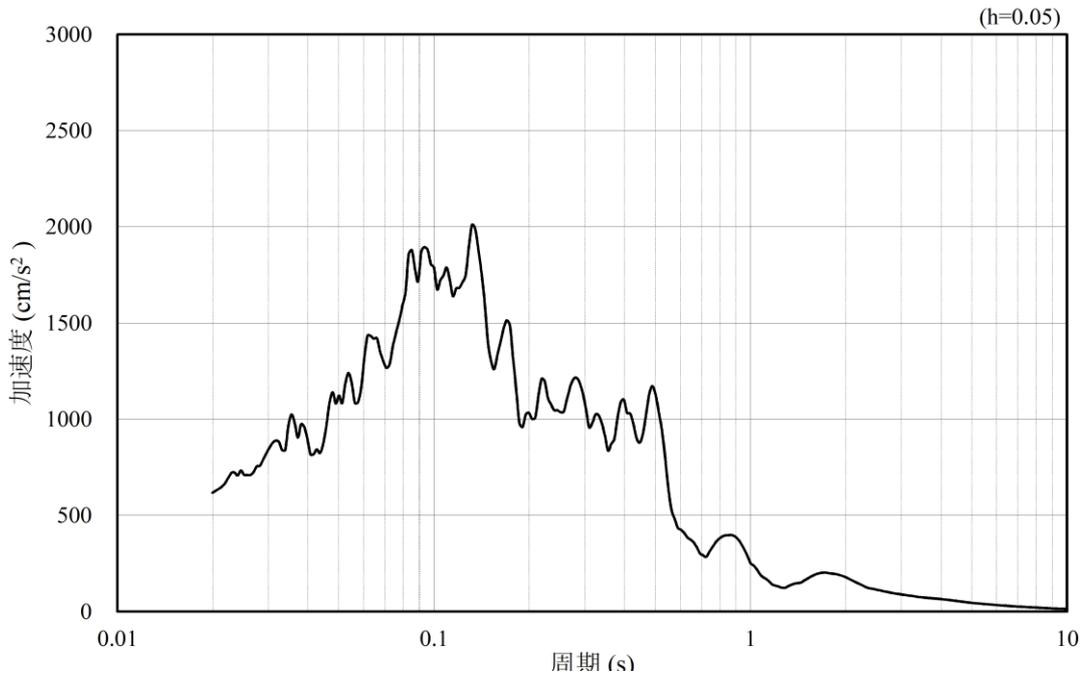


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

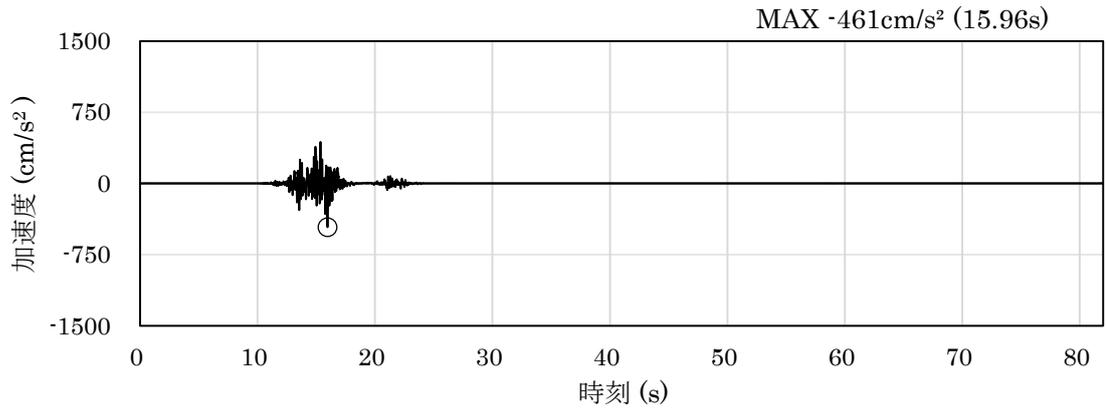


(a) 加速度時刻歴波形

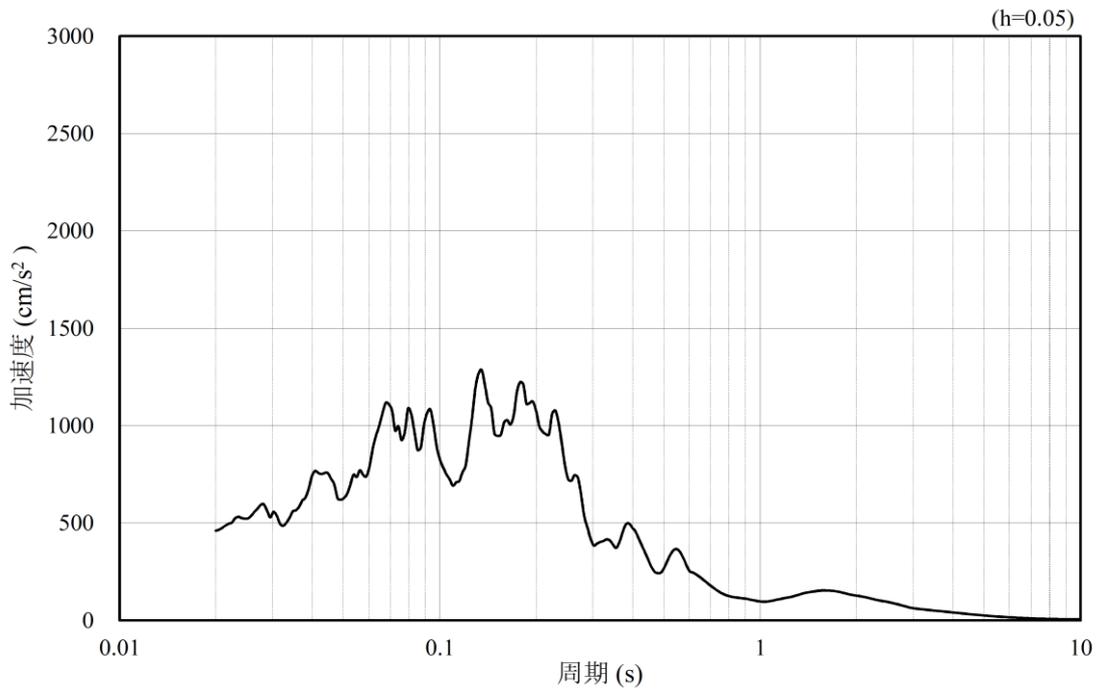


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2)

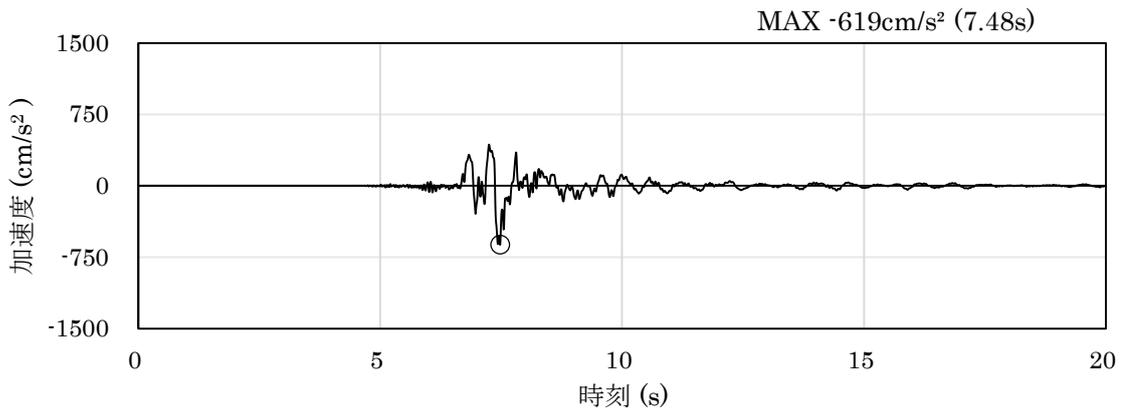


(a) 加速度時刻歴波形

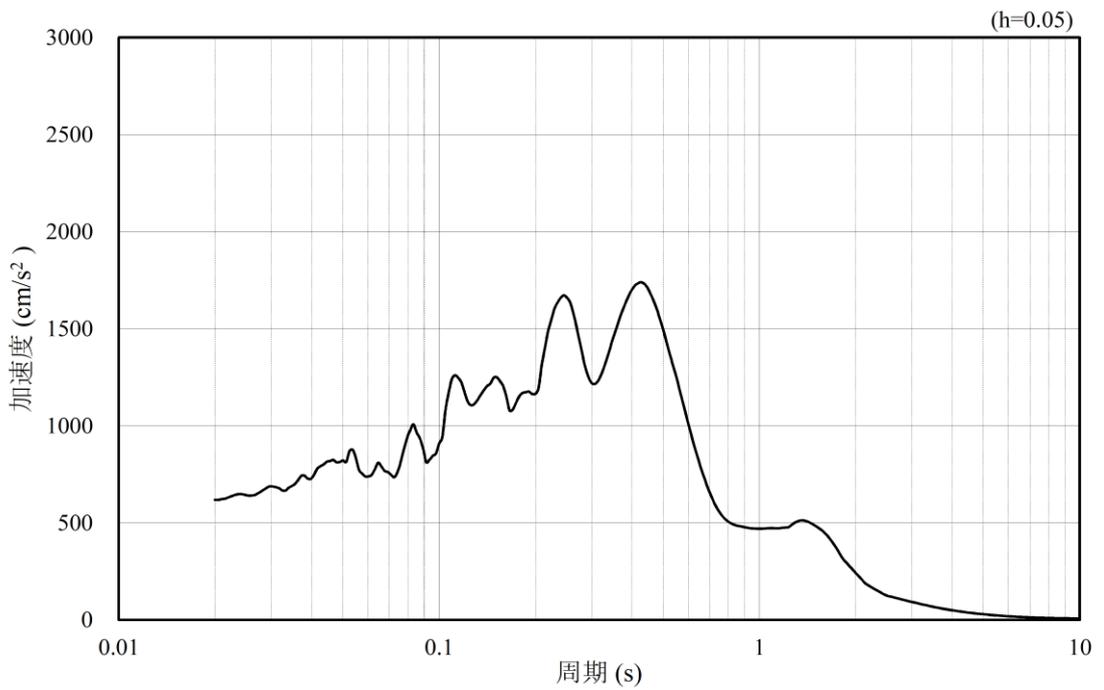


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

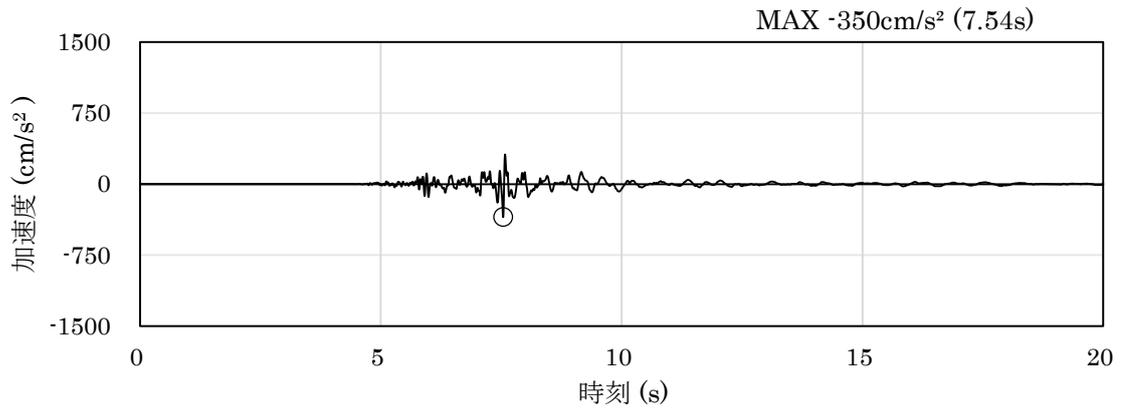


(a) 加速度時刻歴波形

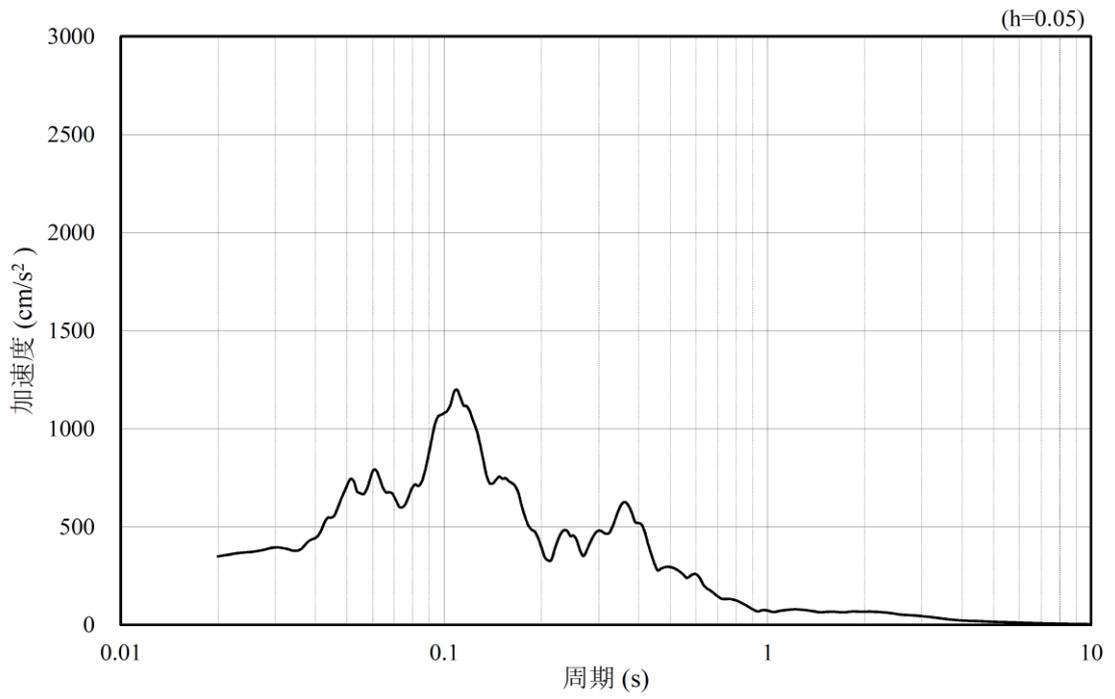


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

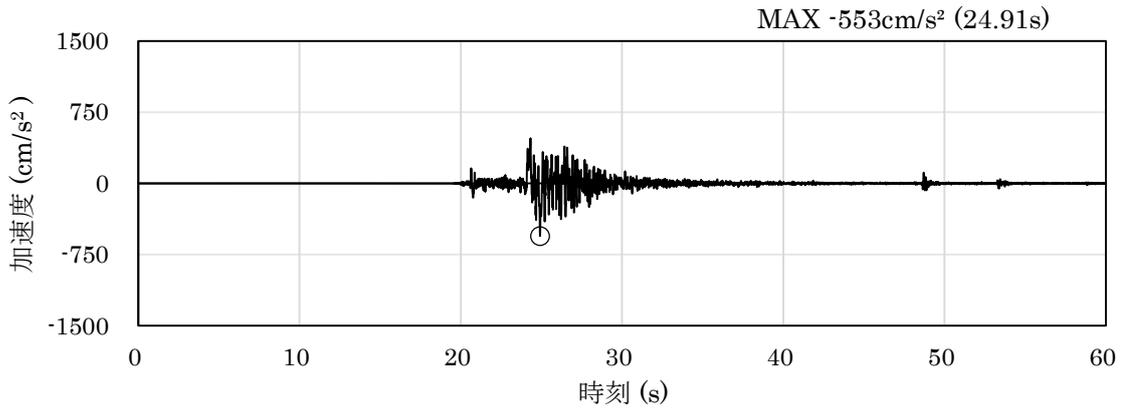


(a) 加速度時刻歴波形

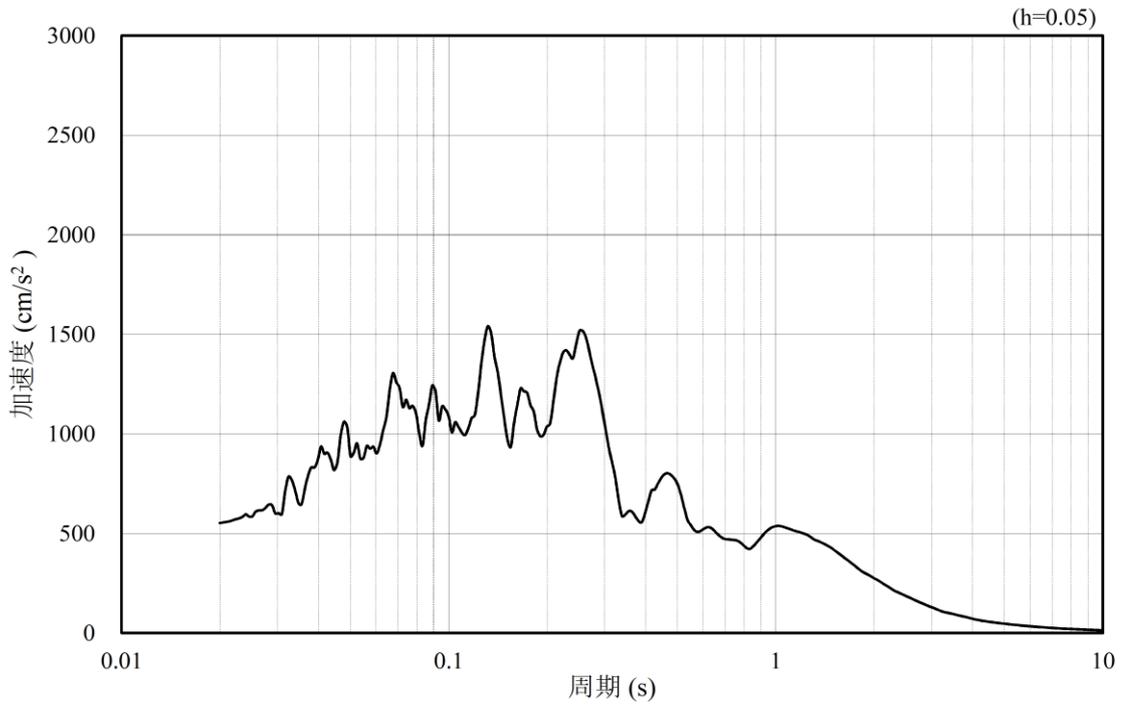


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

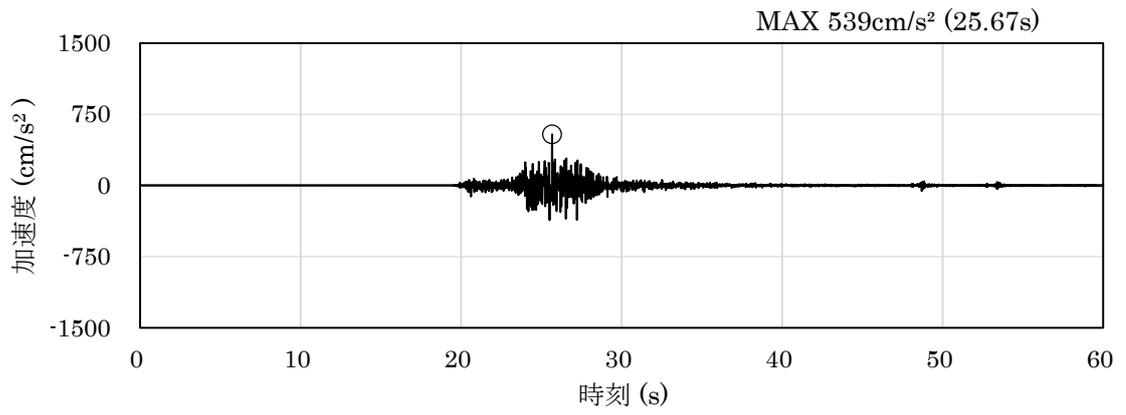


(a) 加速度時刻歴波形

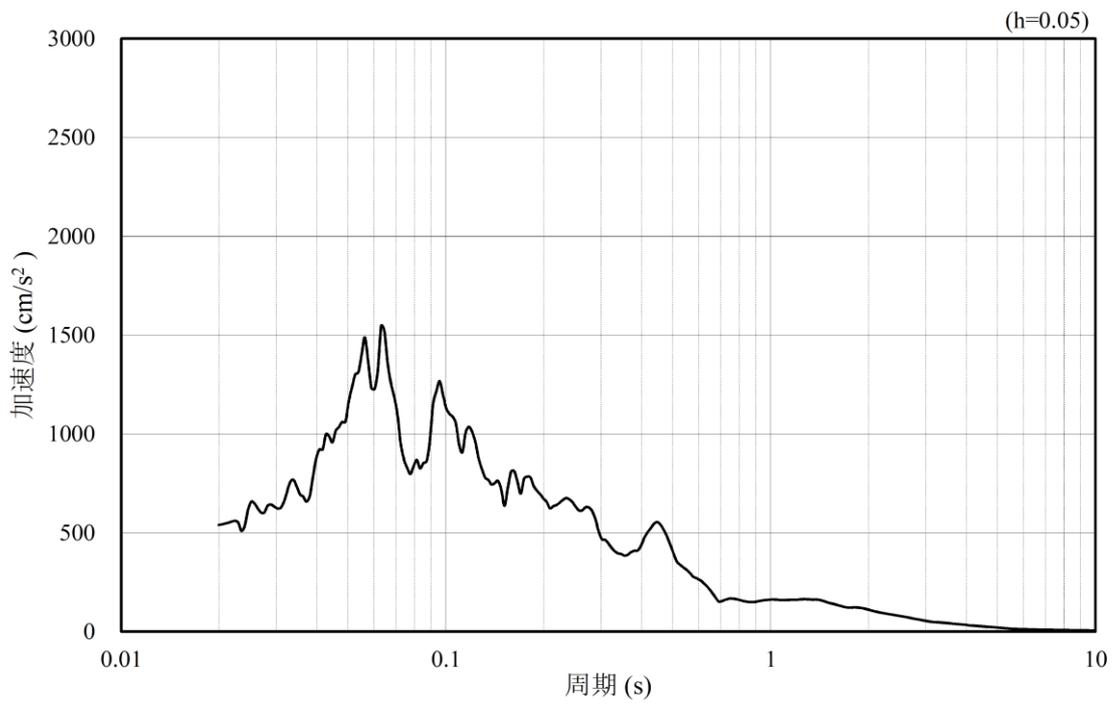


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S))

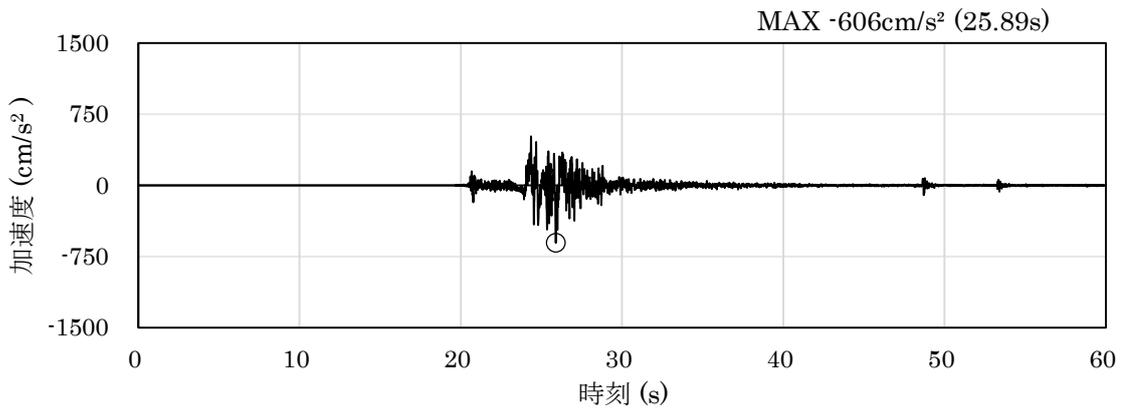


(a) 加速度時刻歴波形

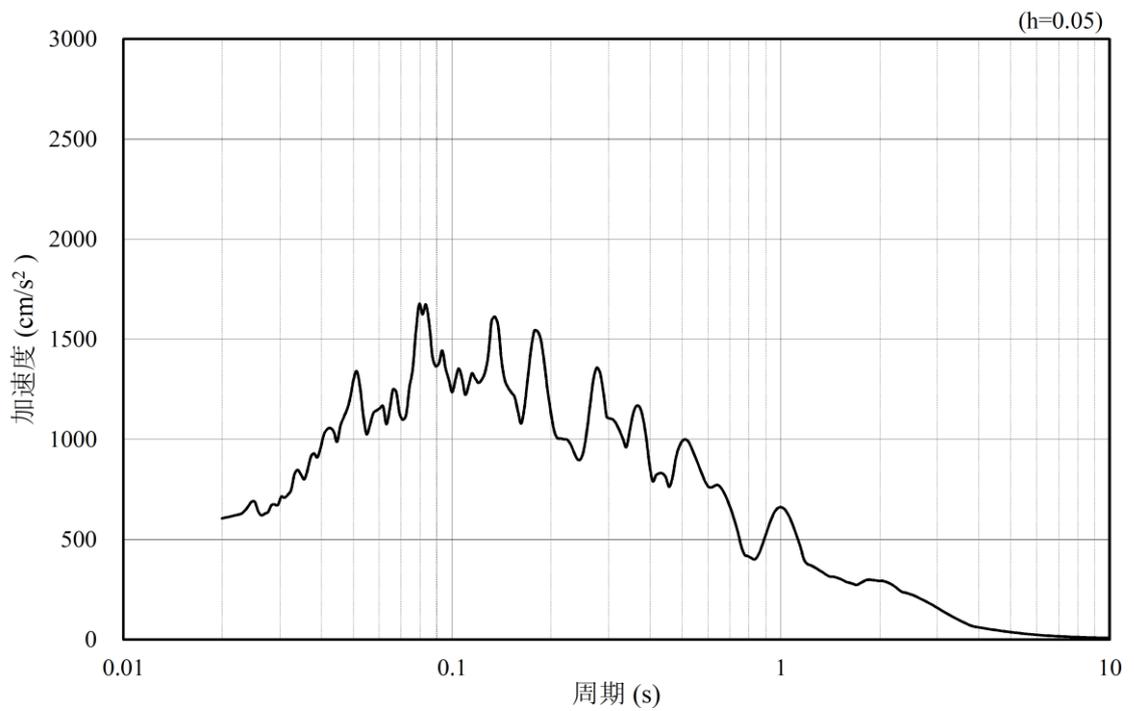


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

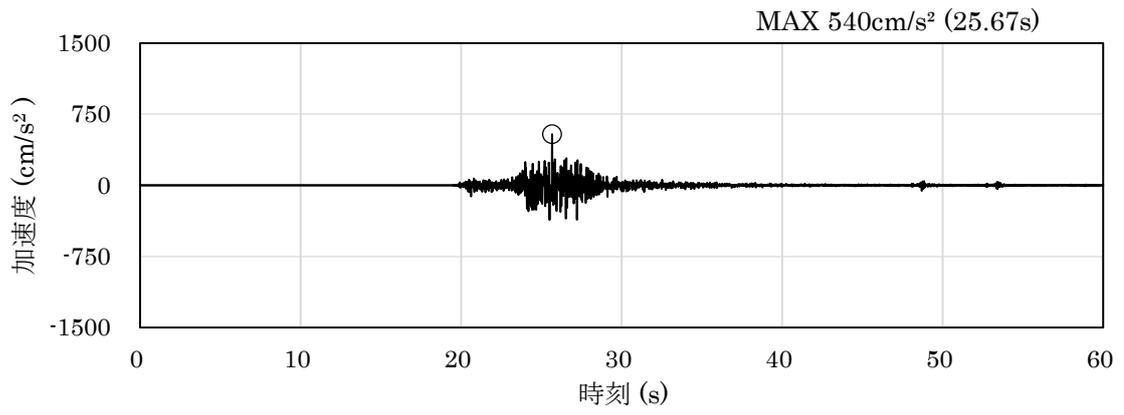


(a) 加速度時刻歴波形

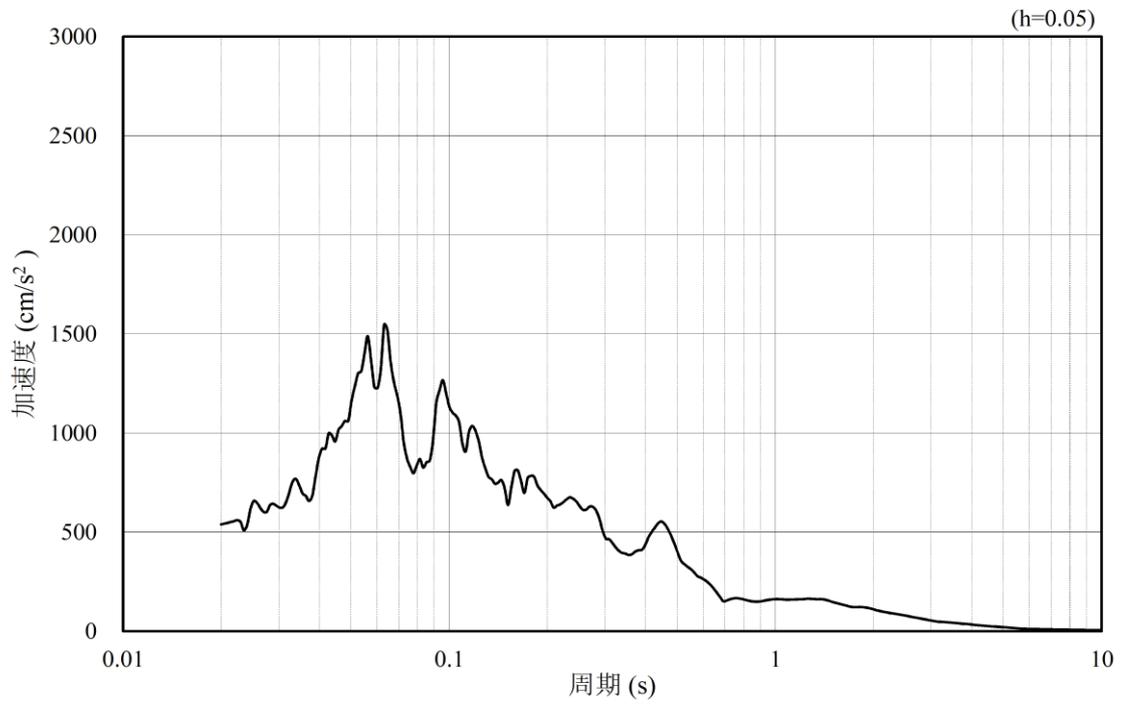


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))

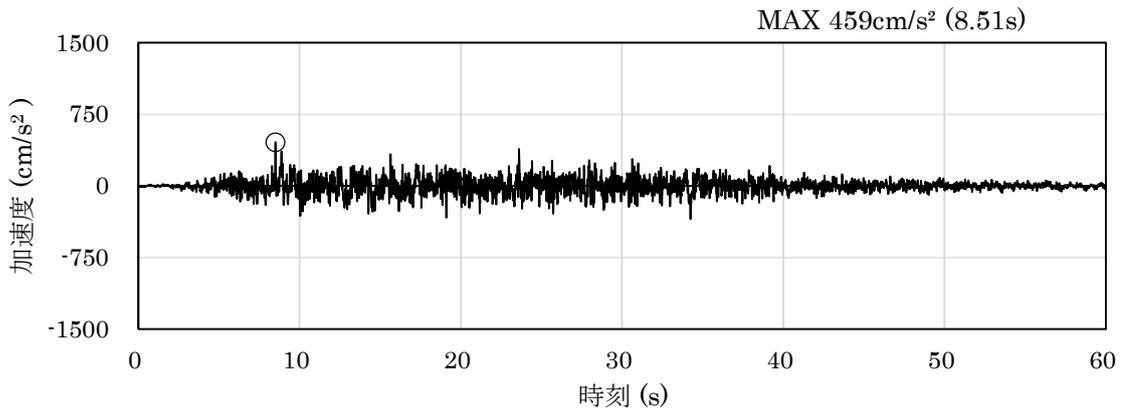


(a) 加速度時刻歴波形

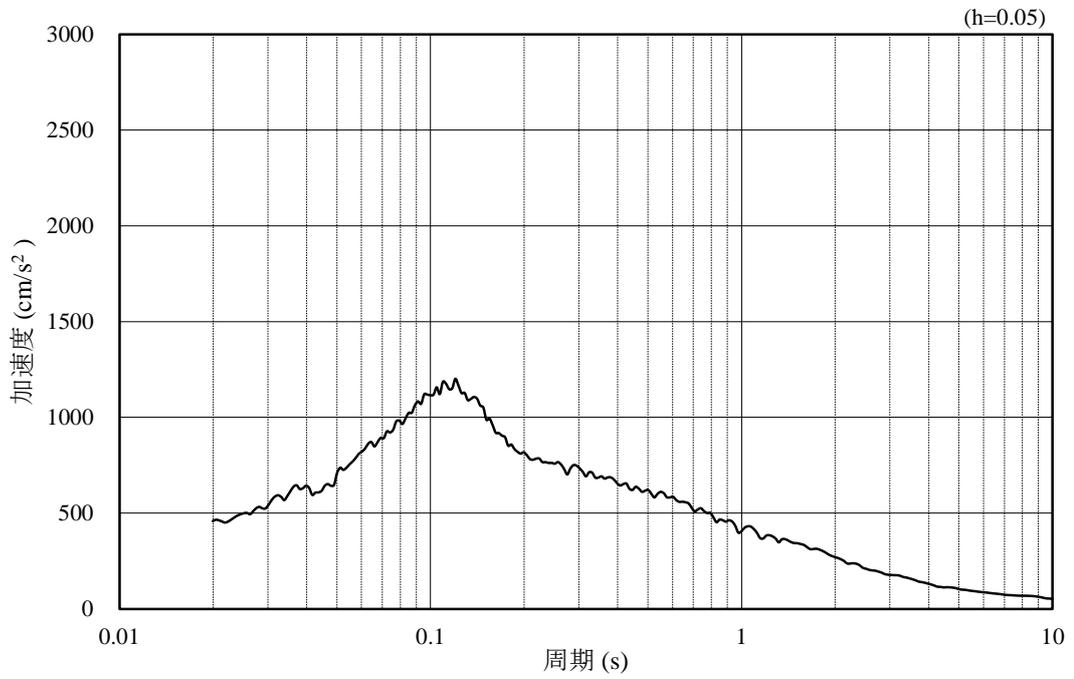


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

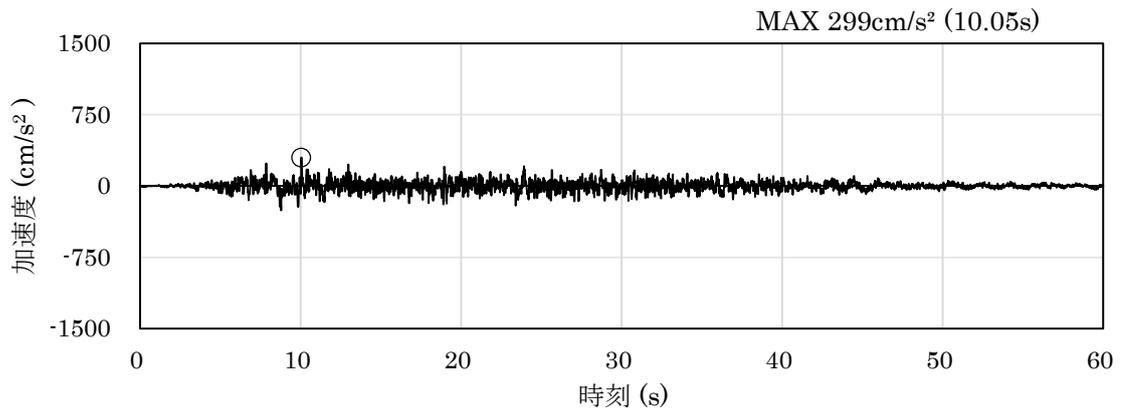


(a) 加速度時刻歴波形

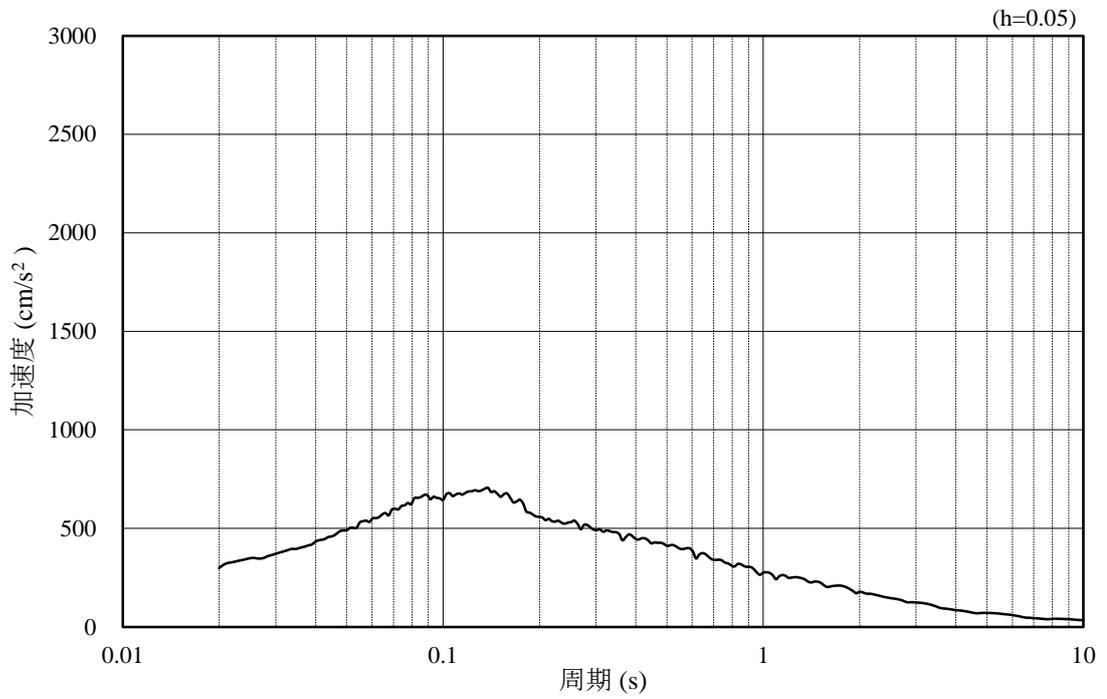


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S d - D)



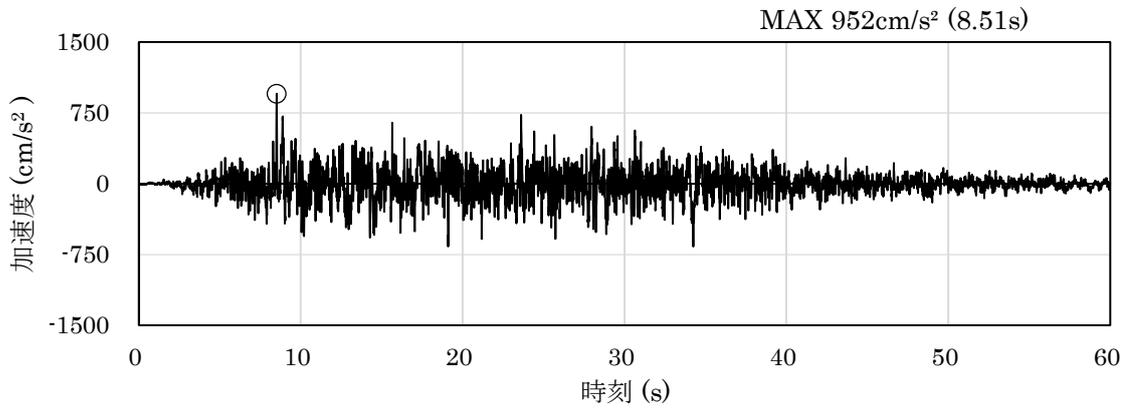
(a) 加速度時刻歴波形



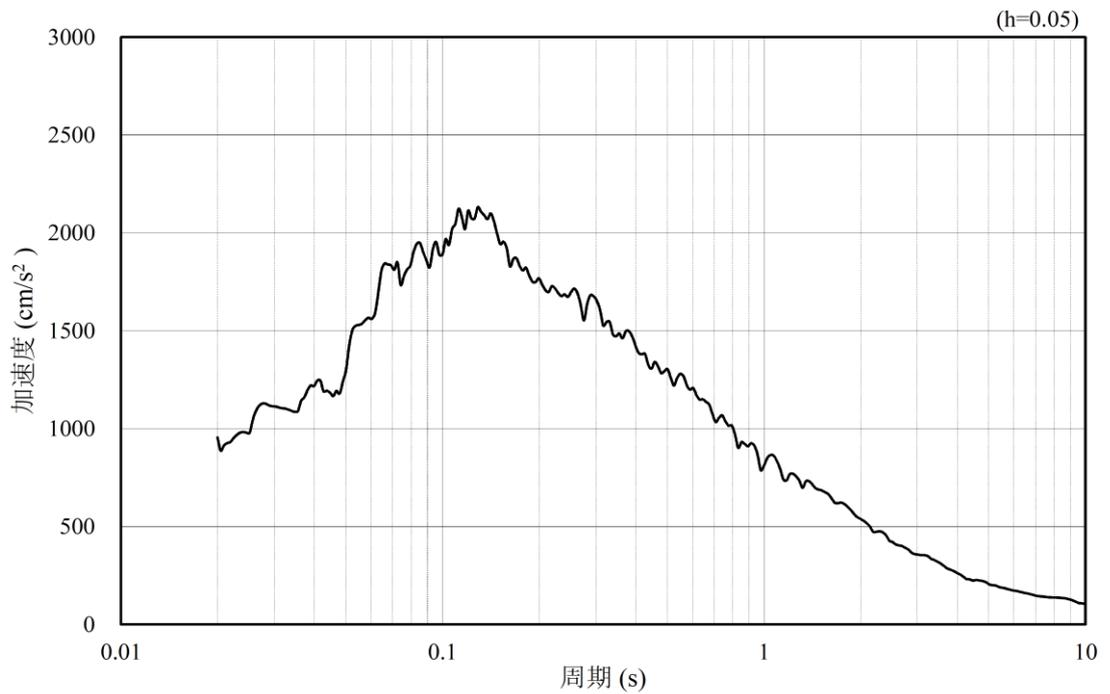
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S d - D)

3.4.2 ③-③断面

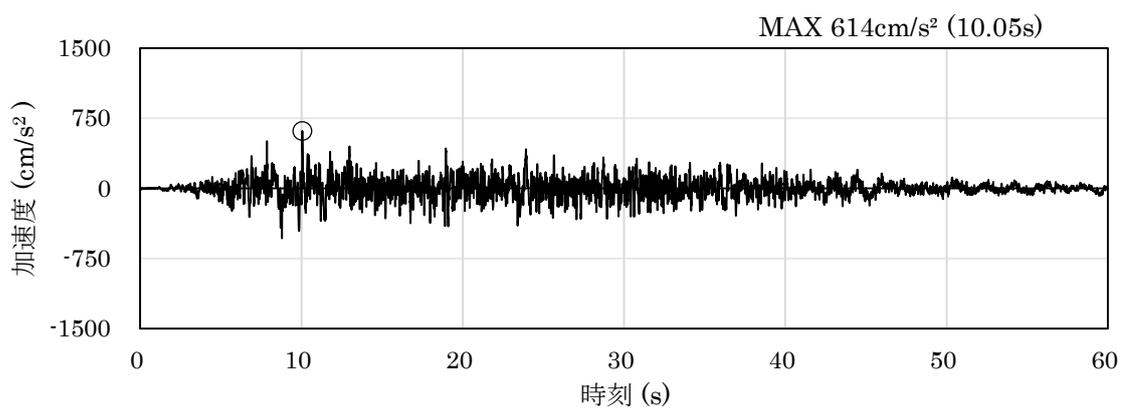


(a) 加速度時刻歴波形

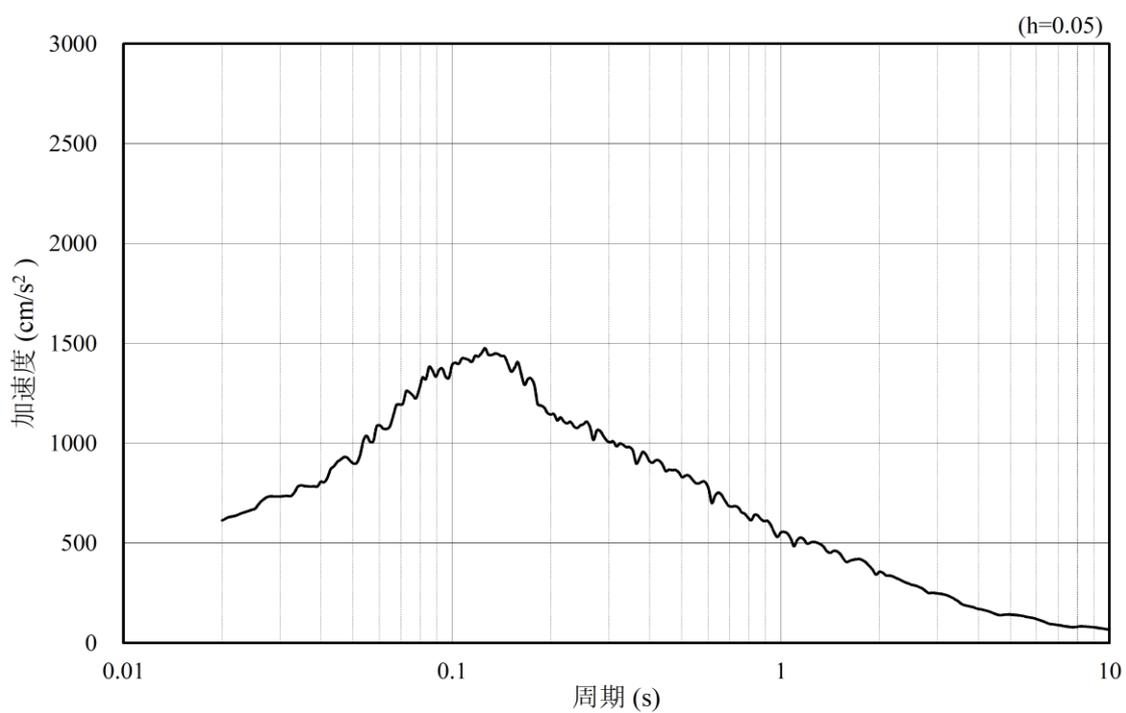


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

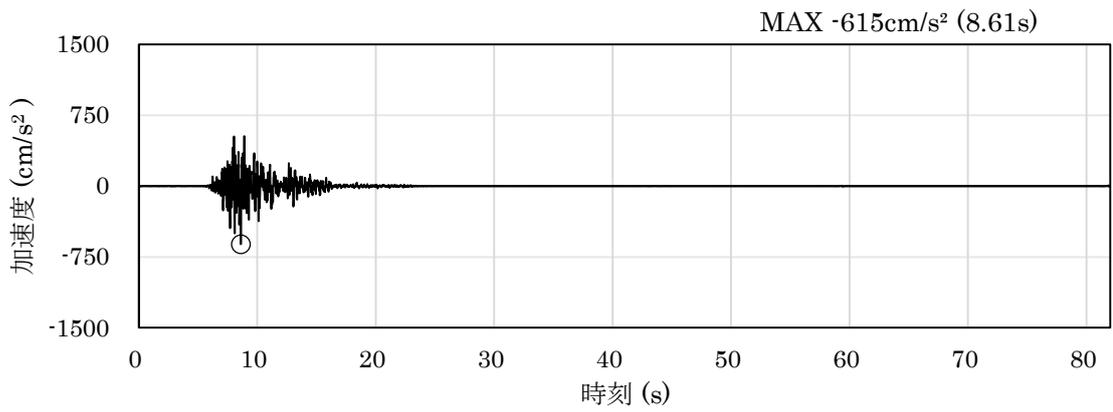


(a) 加速度時刻歴波形

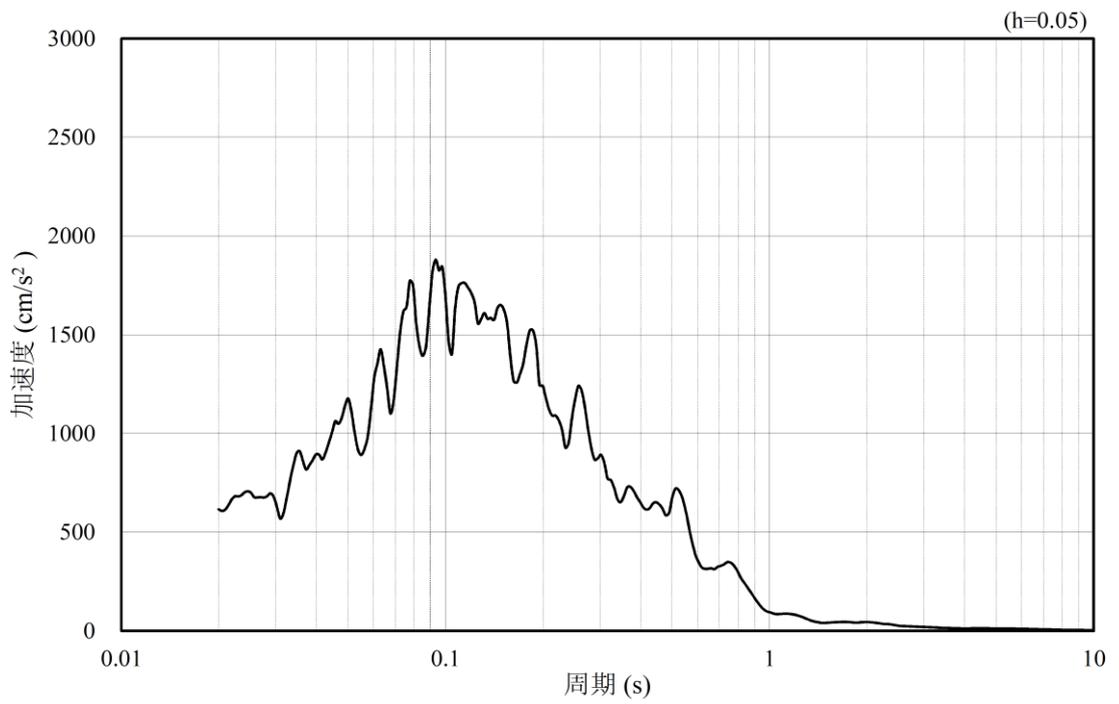


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

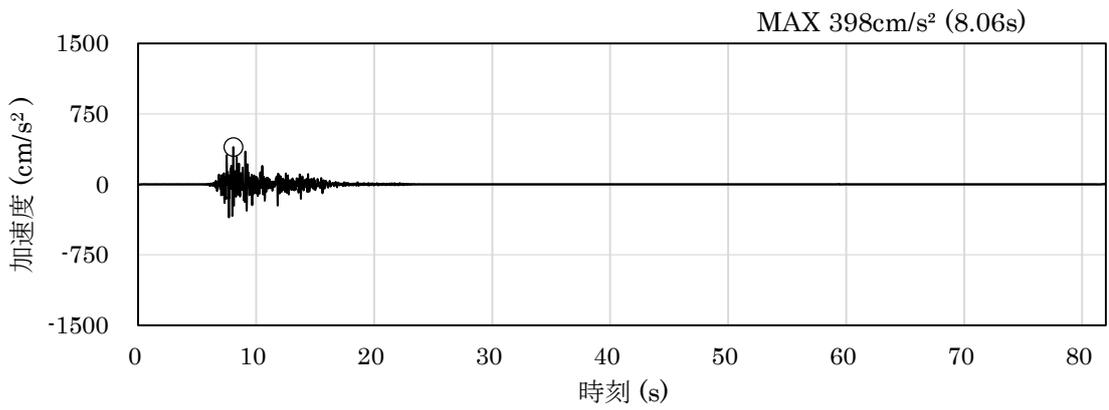


(a) 加速度時刻歴波形

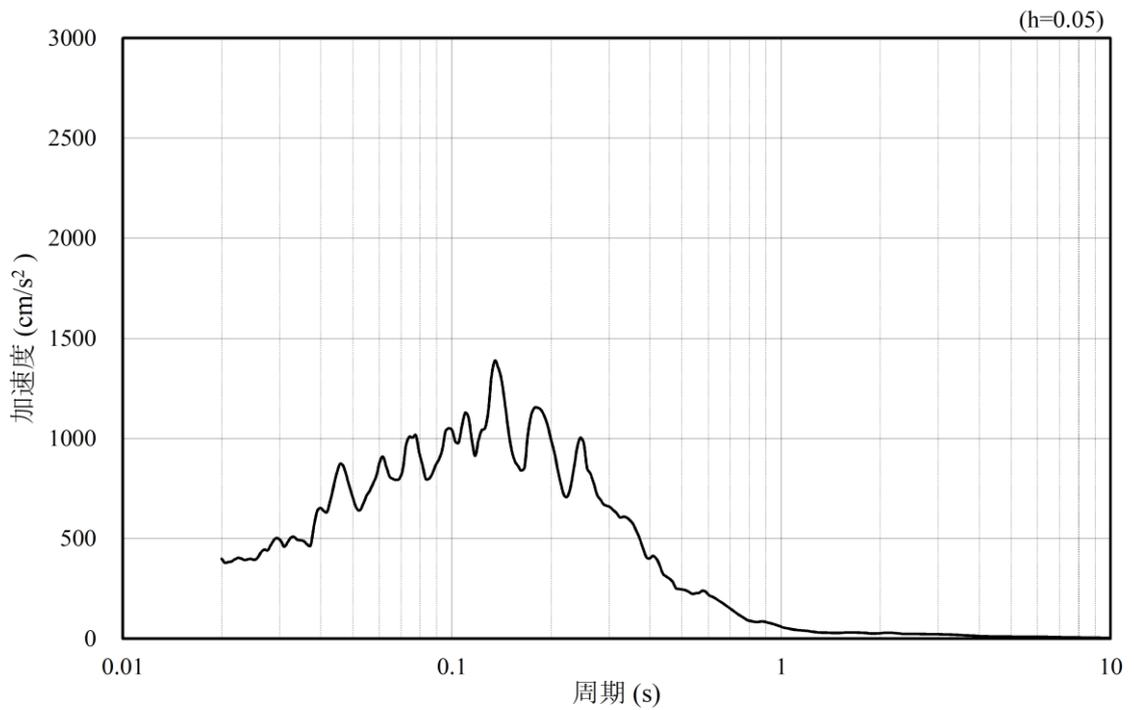


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

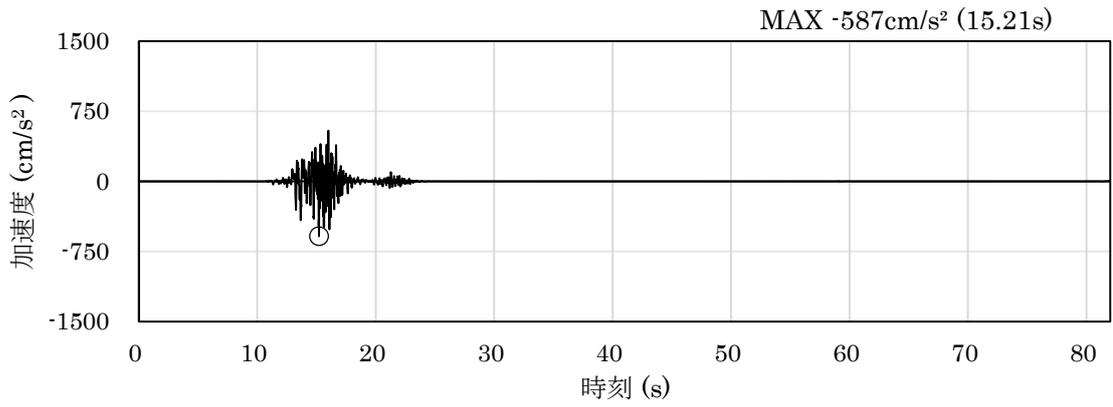


(a) 加速度時刻歴波形

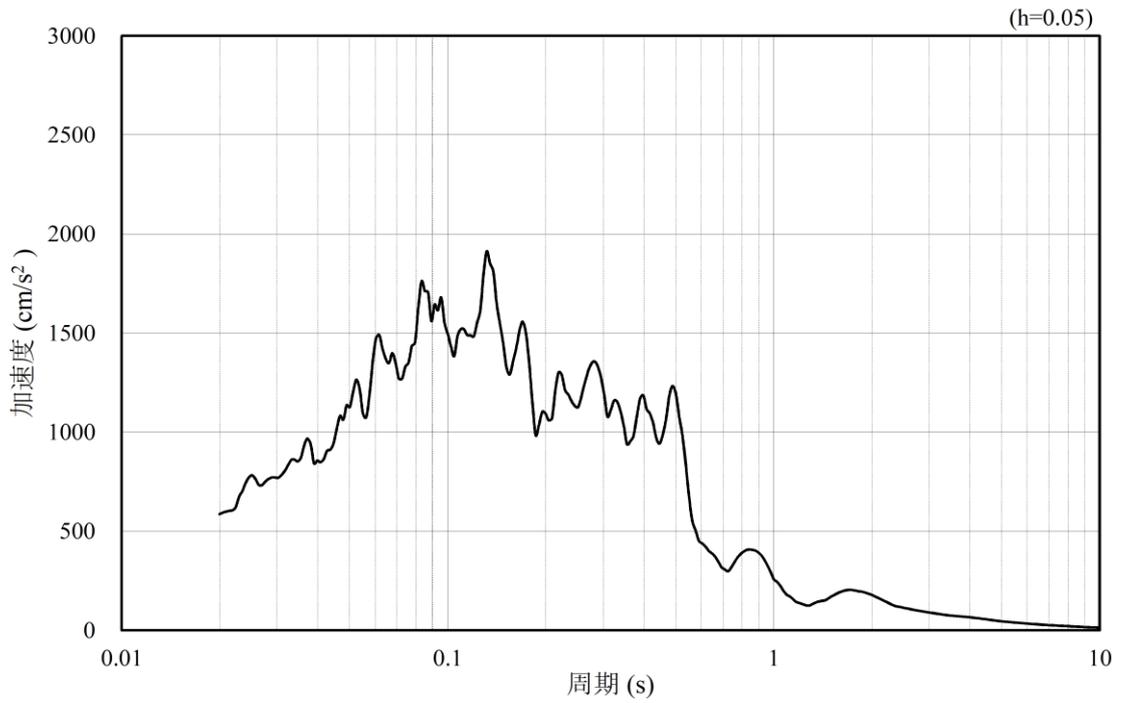


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

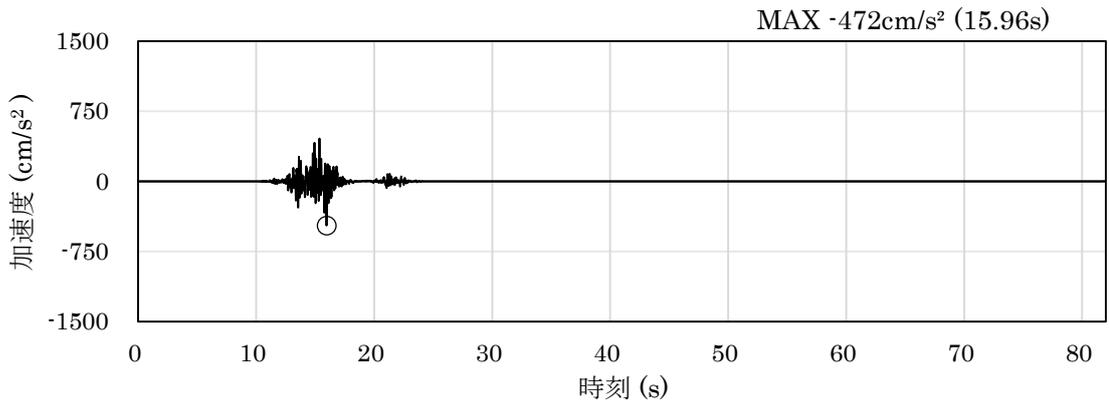


(a) 加速度時刻歴波形

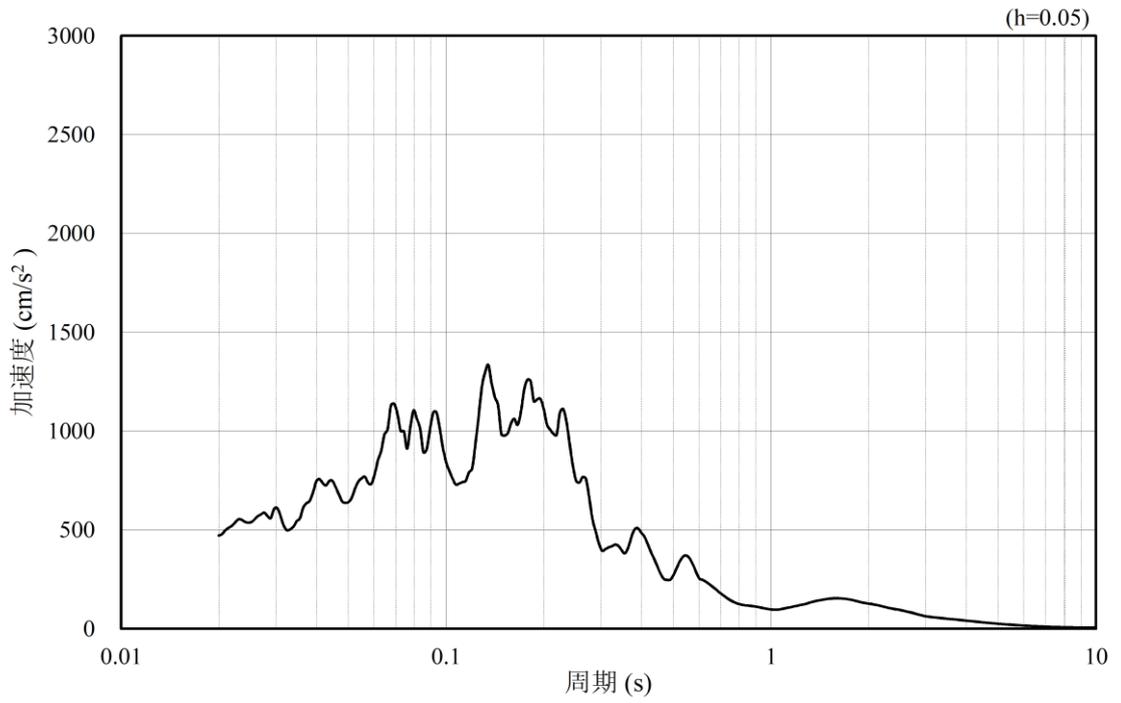


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2)

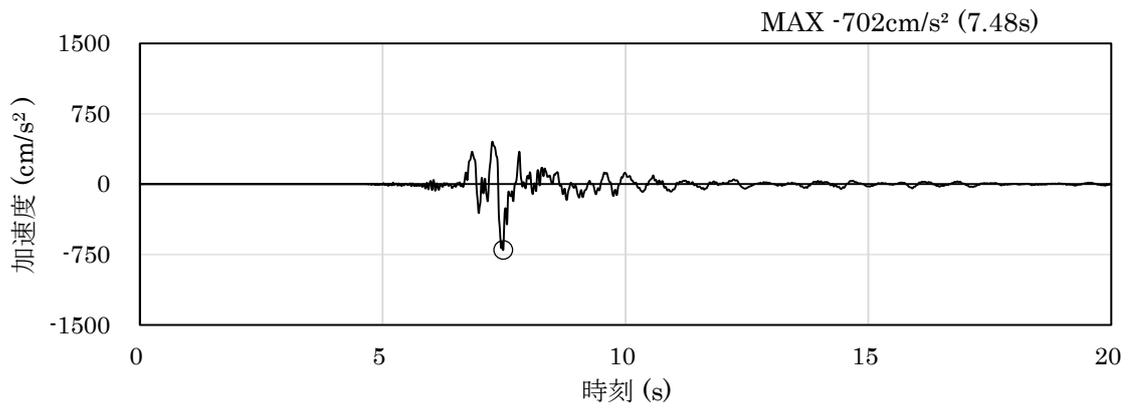


(a) 加速度時刻歴波形

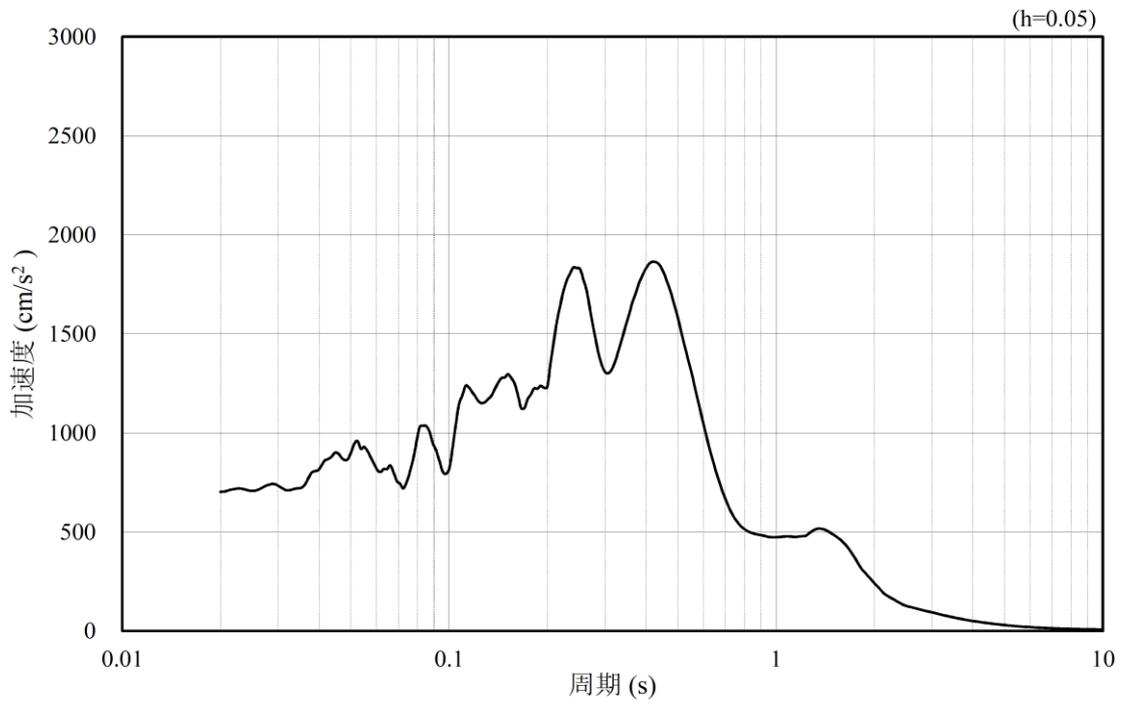


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S_s-F2)

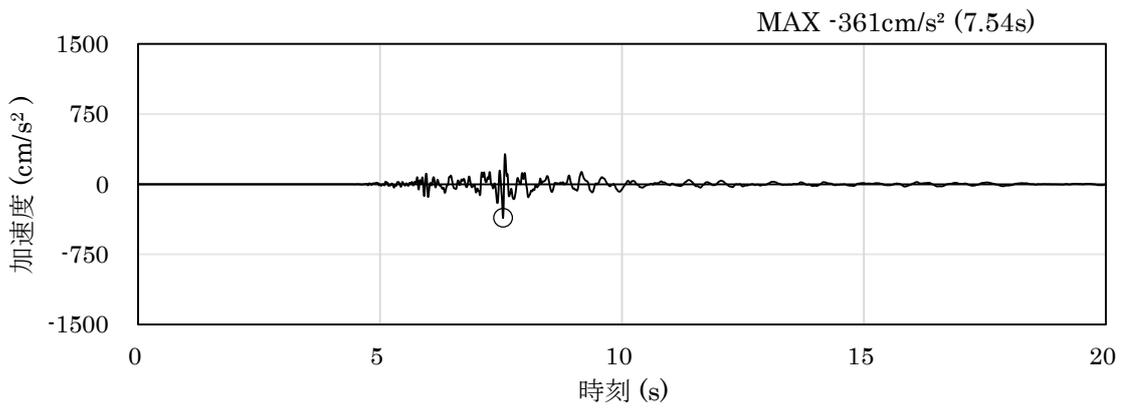


(a) 加速度時刻歴波形

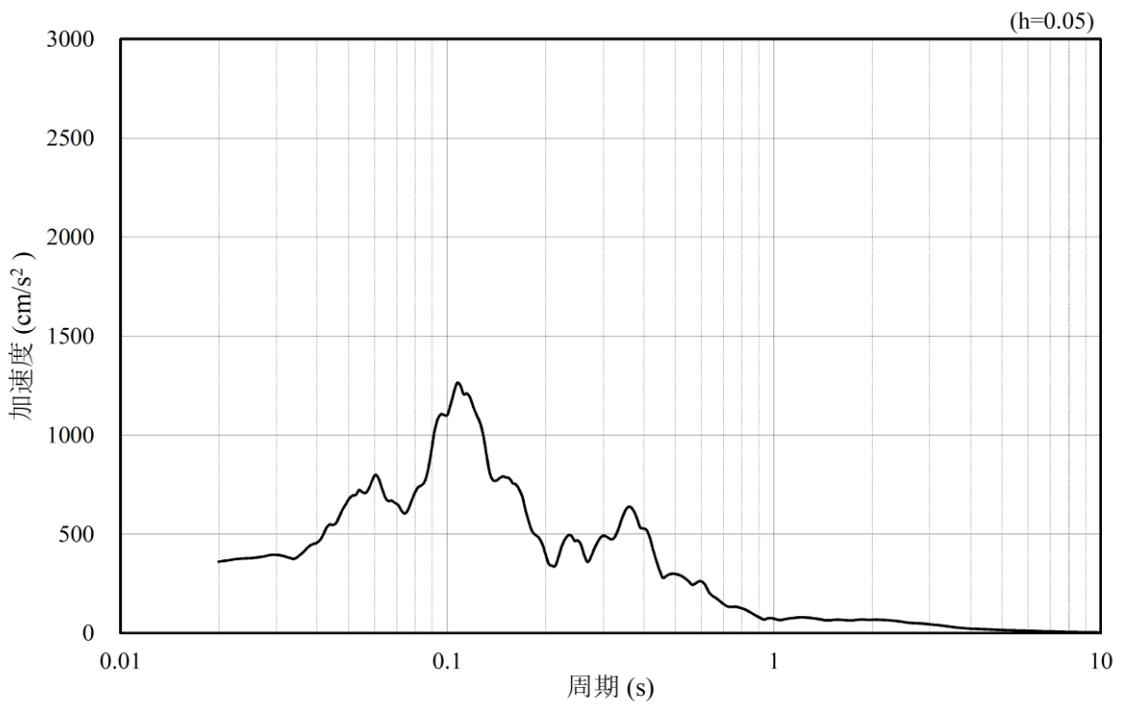


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

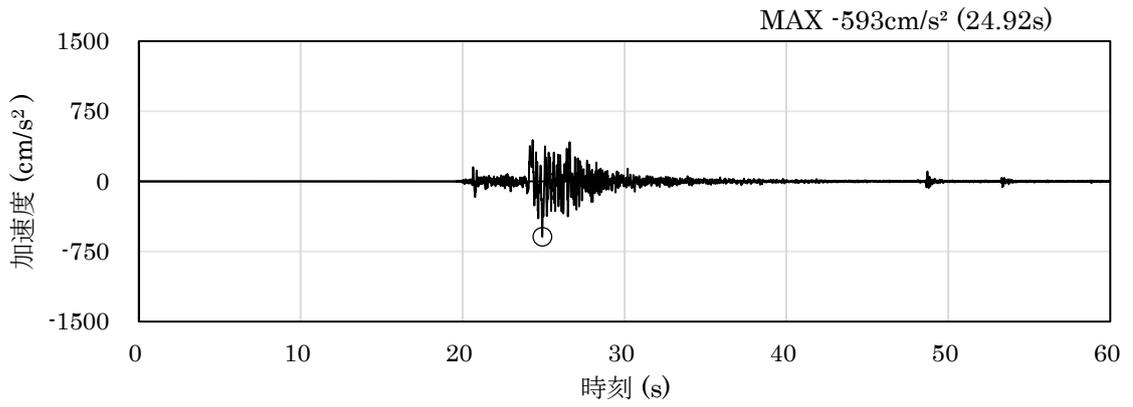


(a) 加速度時刻歴波形

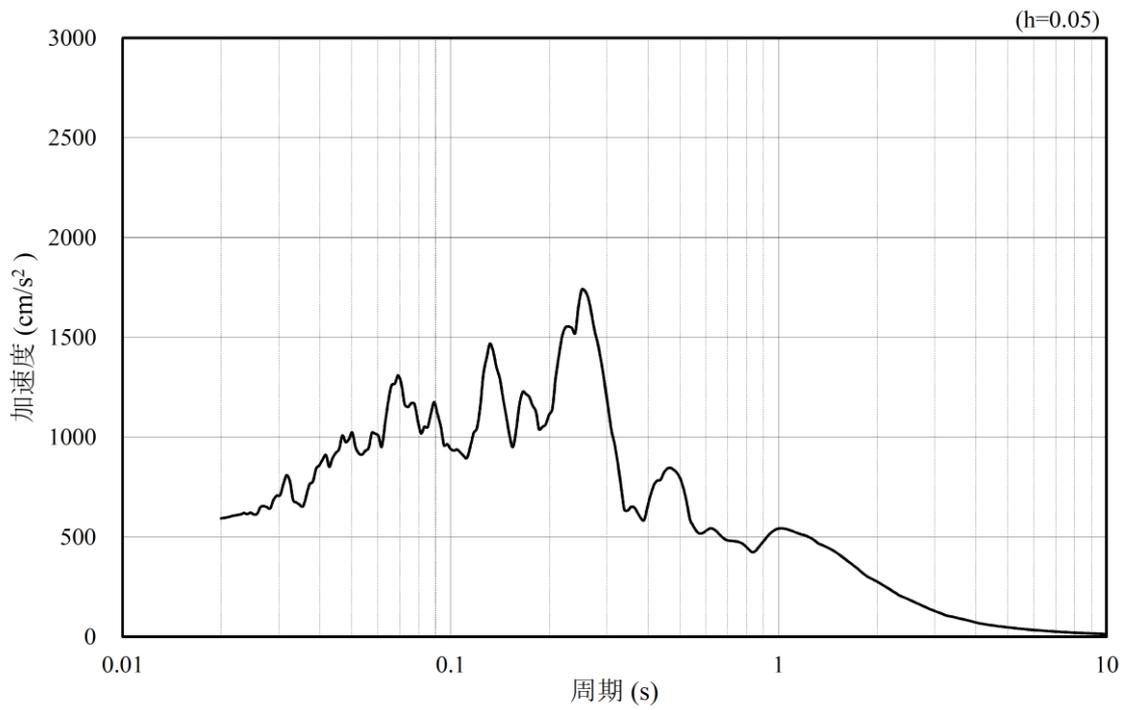


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

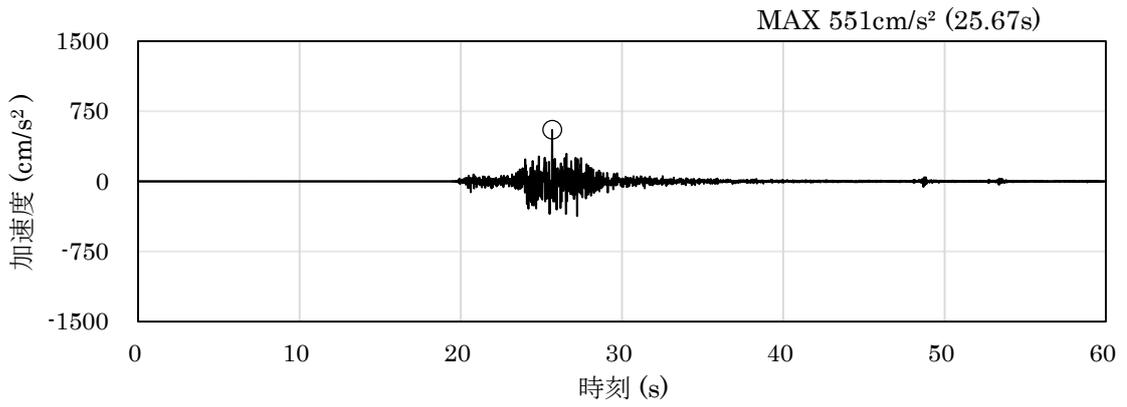


(a) 加速度時刻歴波形

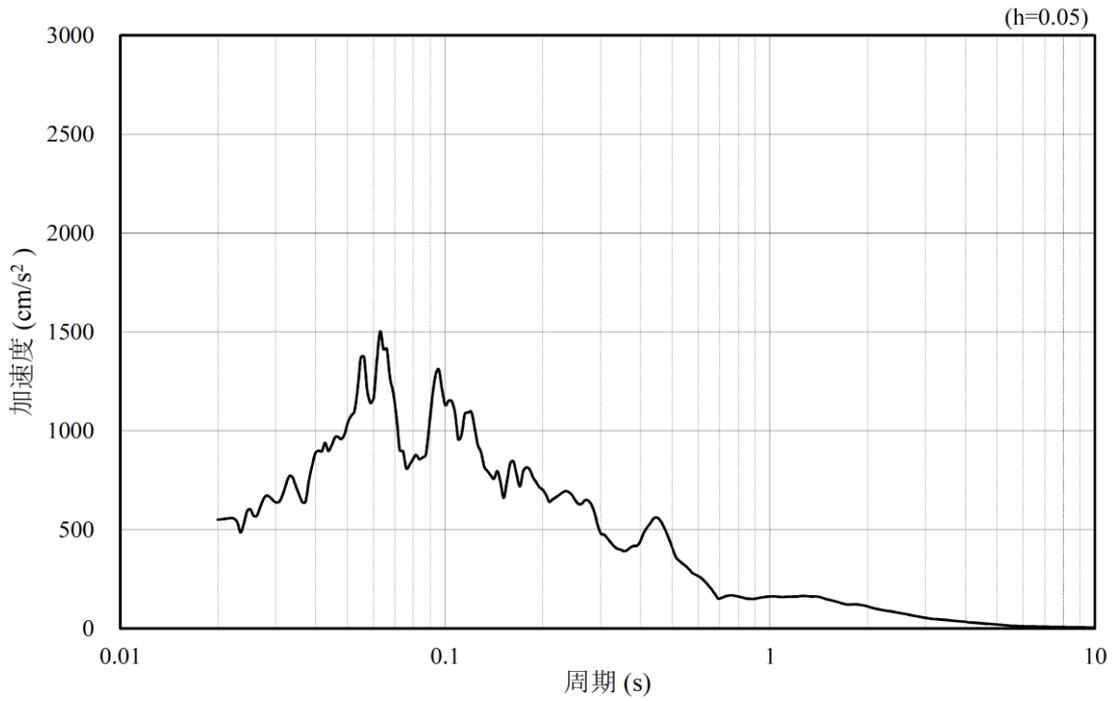


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S))

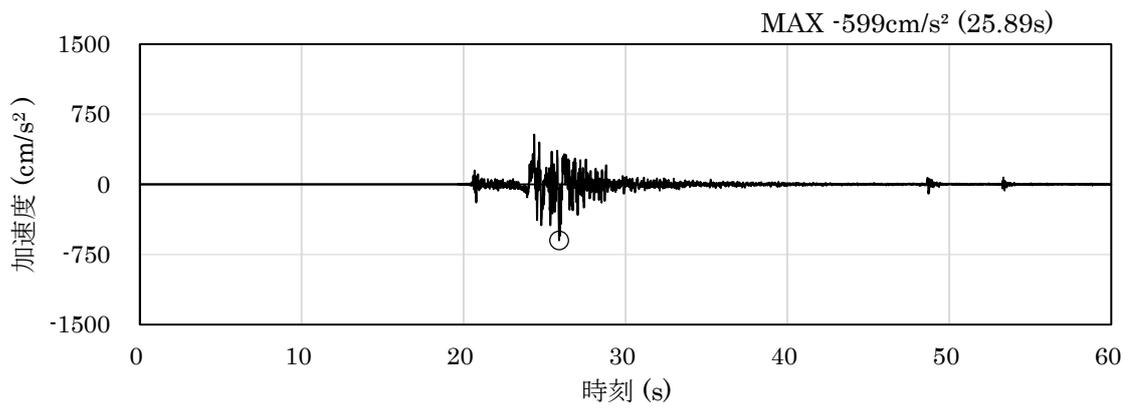


(a) 加速度時刻歴波形

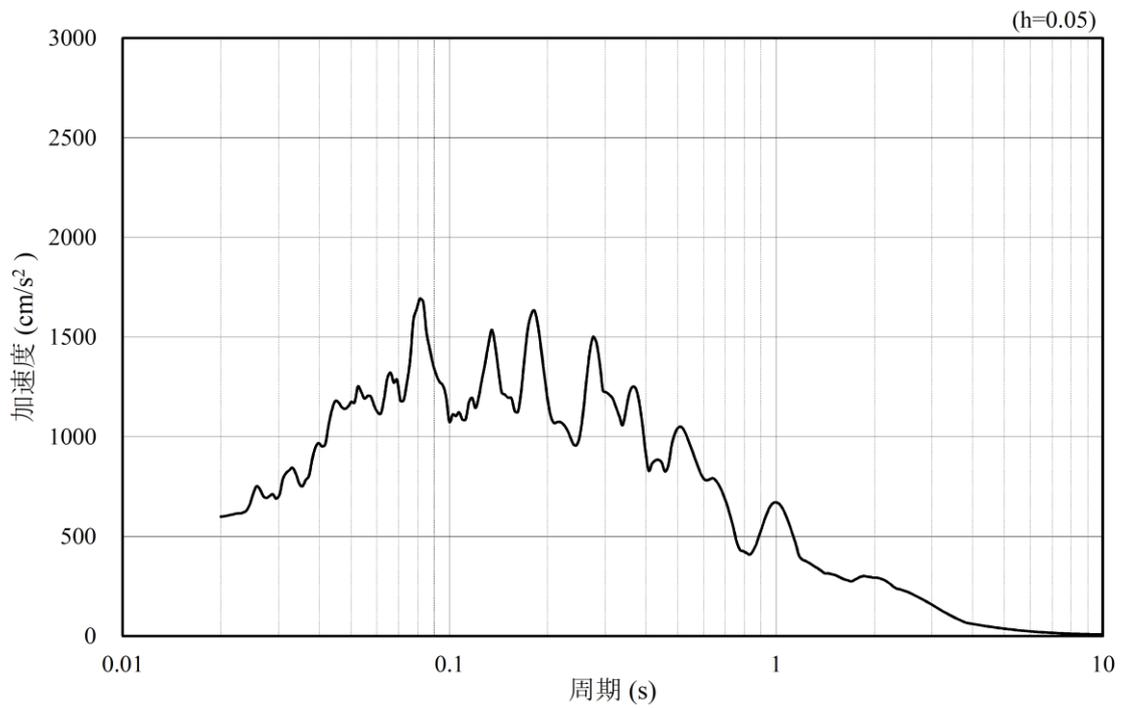


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

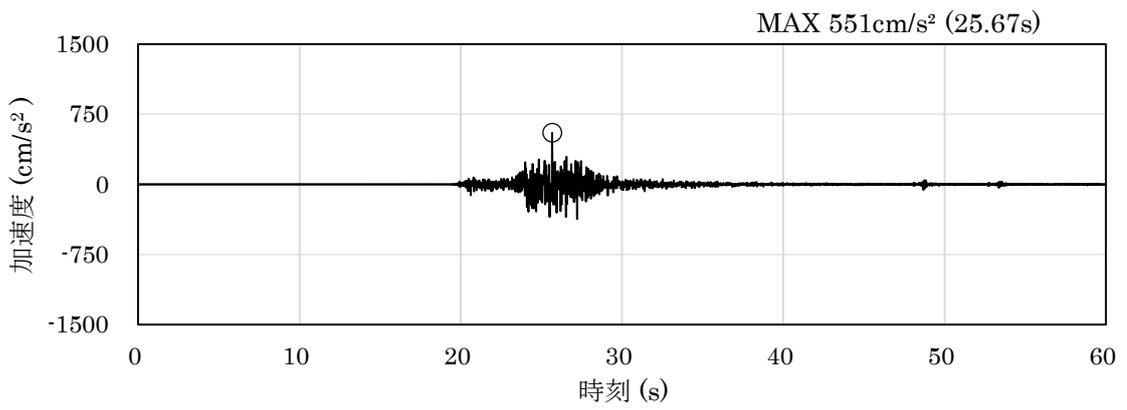


(a) 加速度時刻歴波形

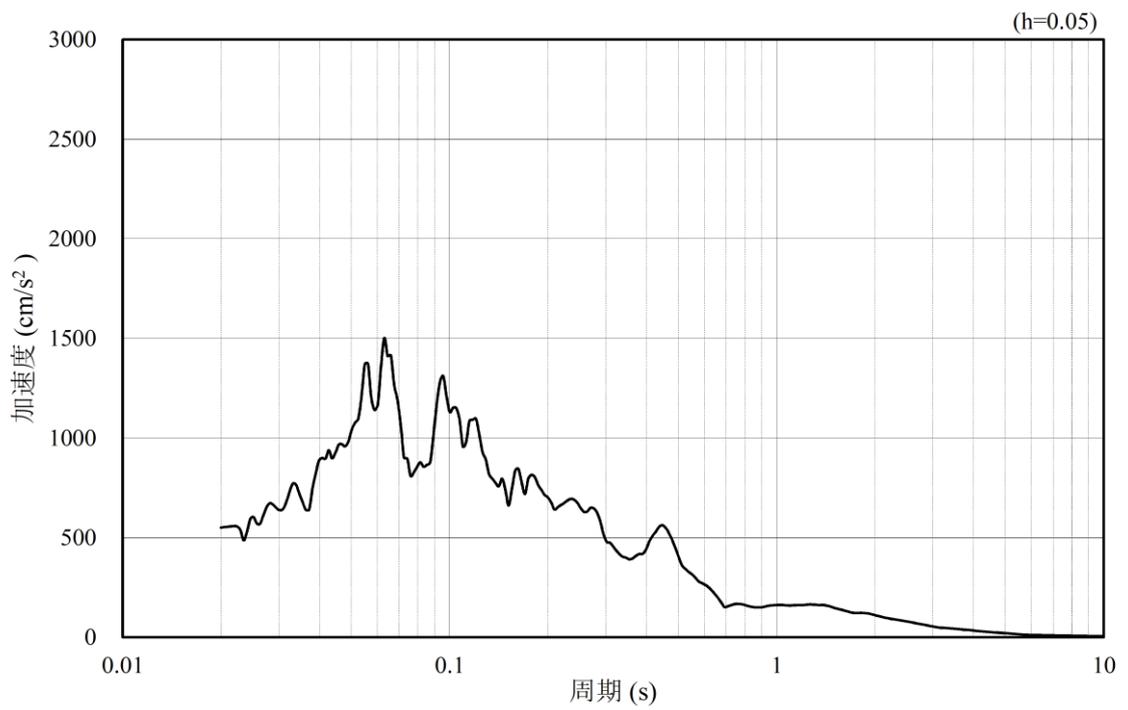


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))

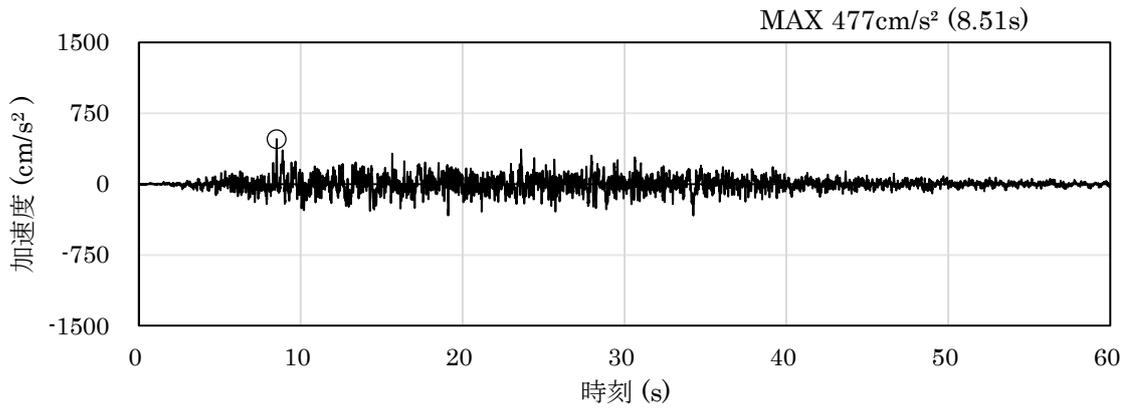


(a) 加速度時刻歴波形

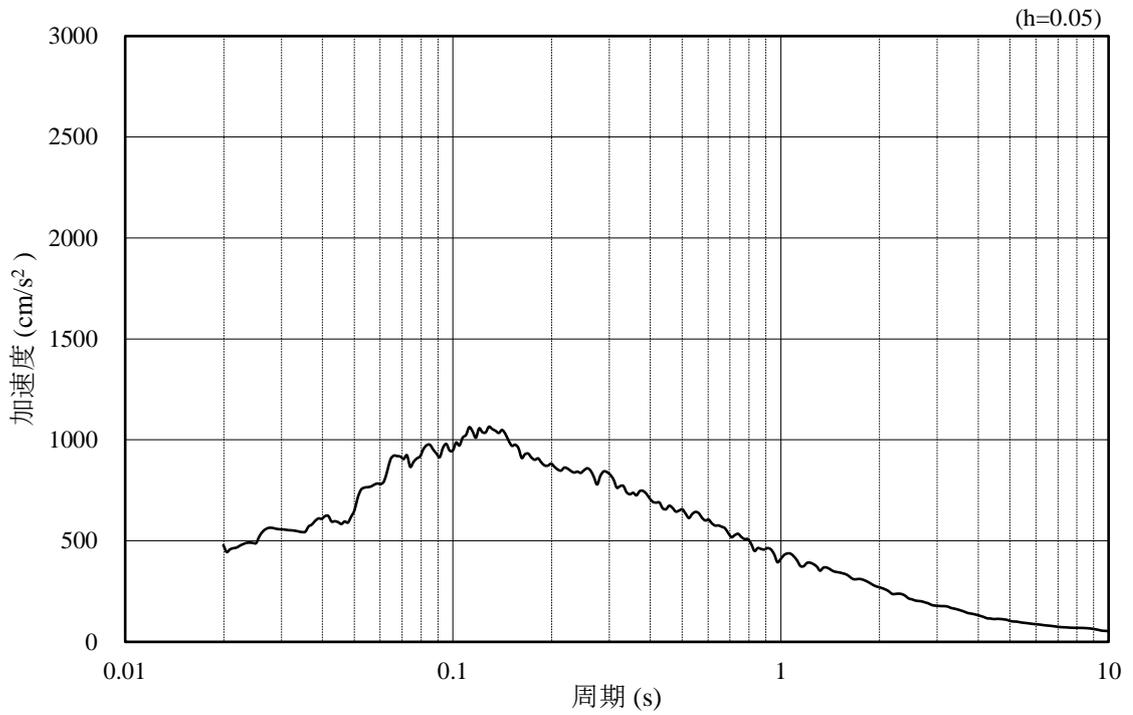


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-35 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

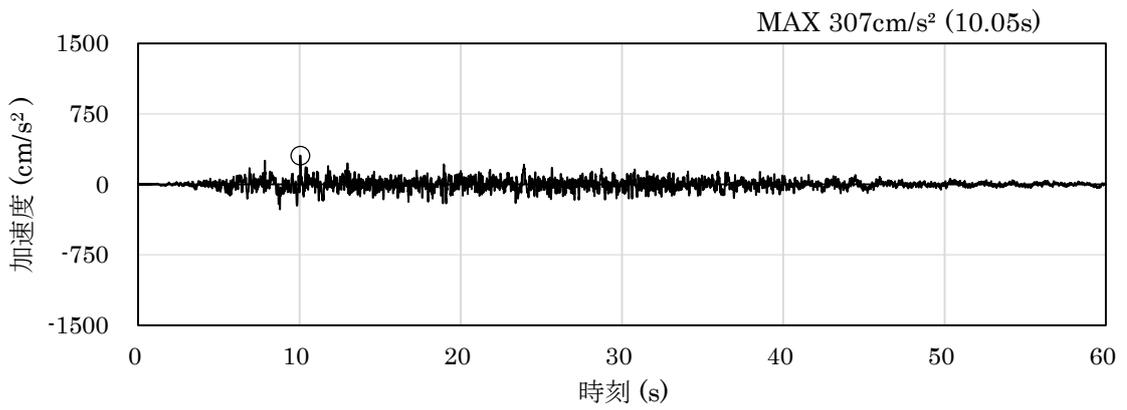


(a) 加速度時刻歴波形

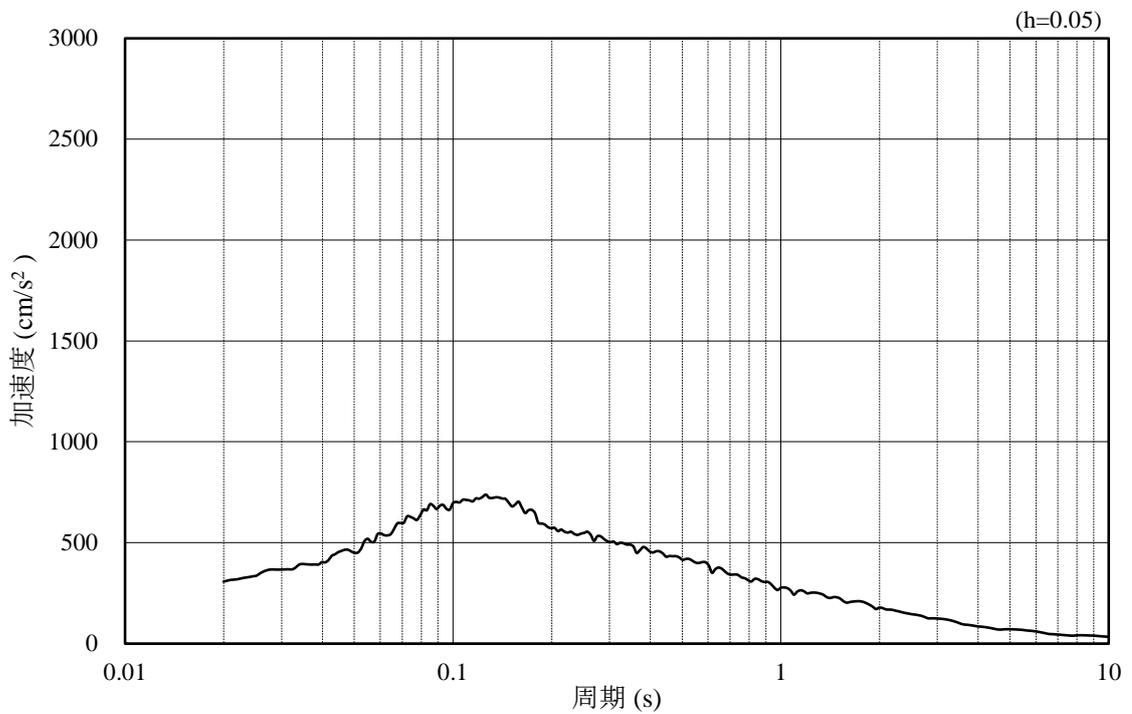


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-36 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S d - D)



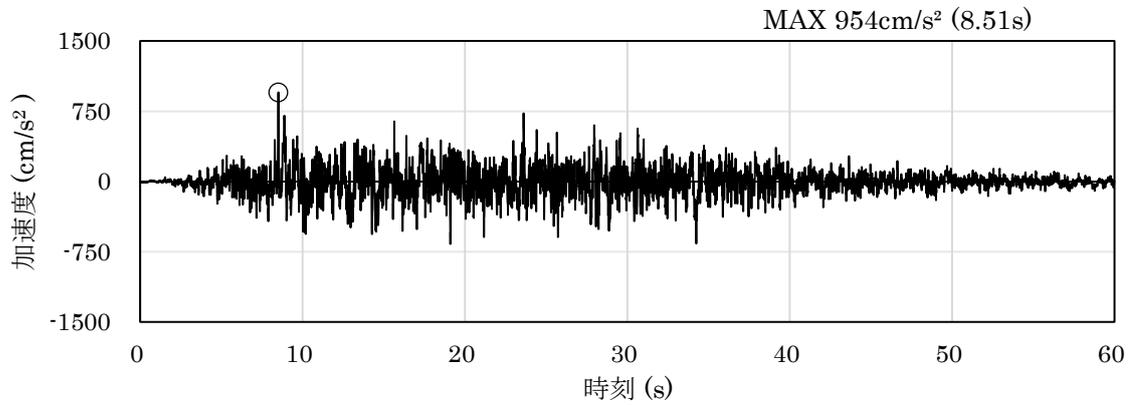
(a) 加速度時刻歴波形



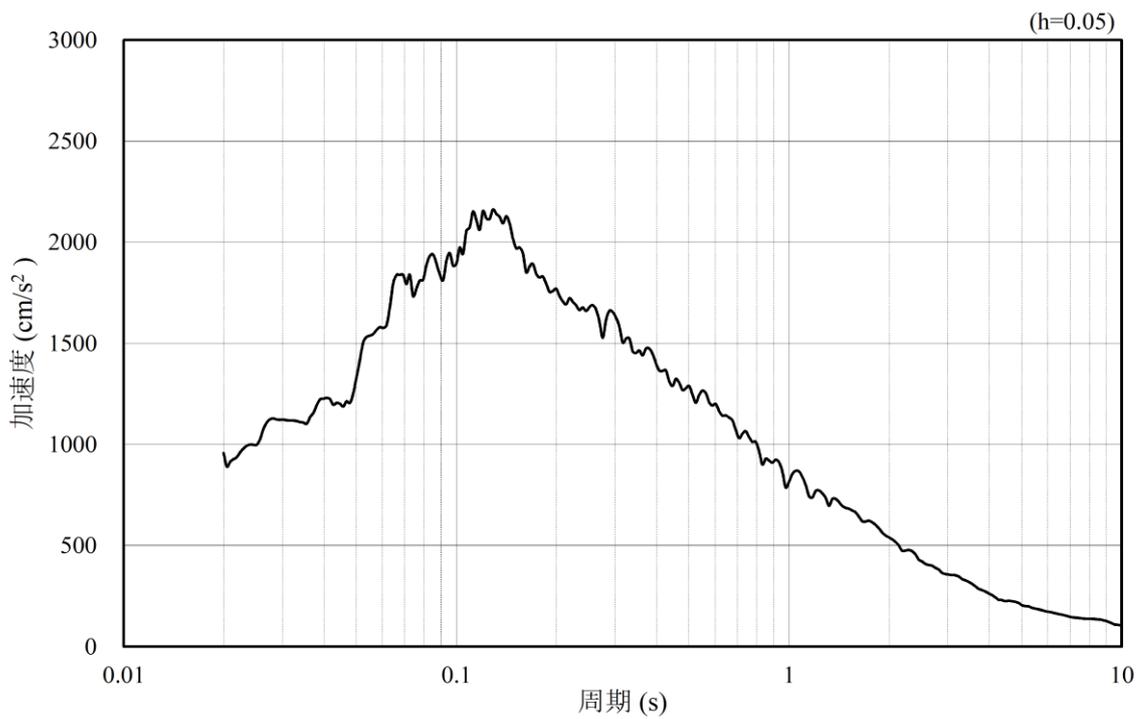
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-37 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S d - D)

3.4.3 ④-④断面

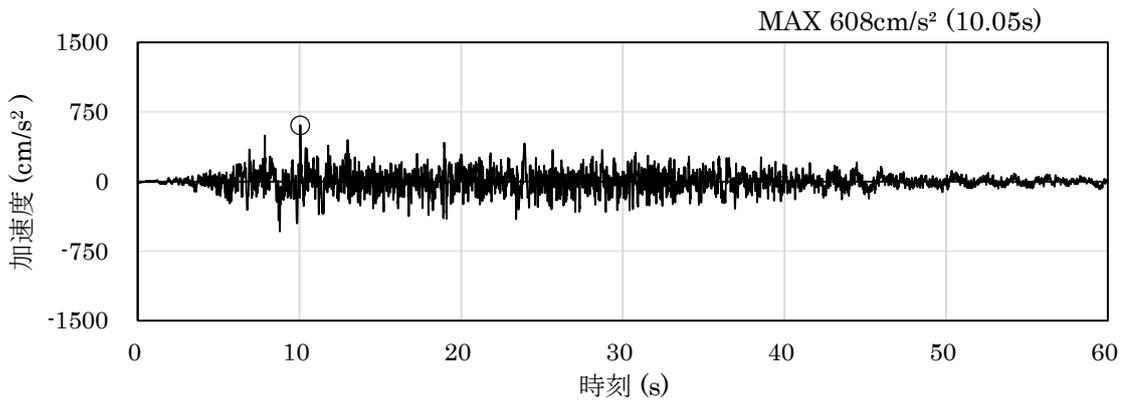


(a) 加速度時刻歴波形

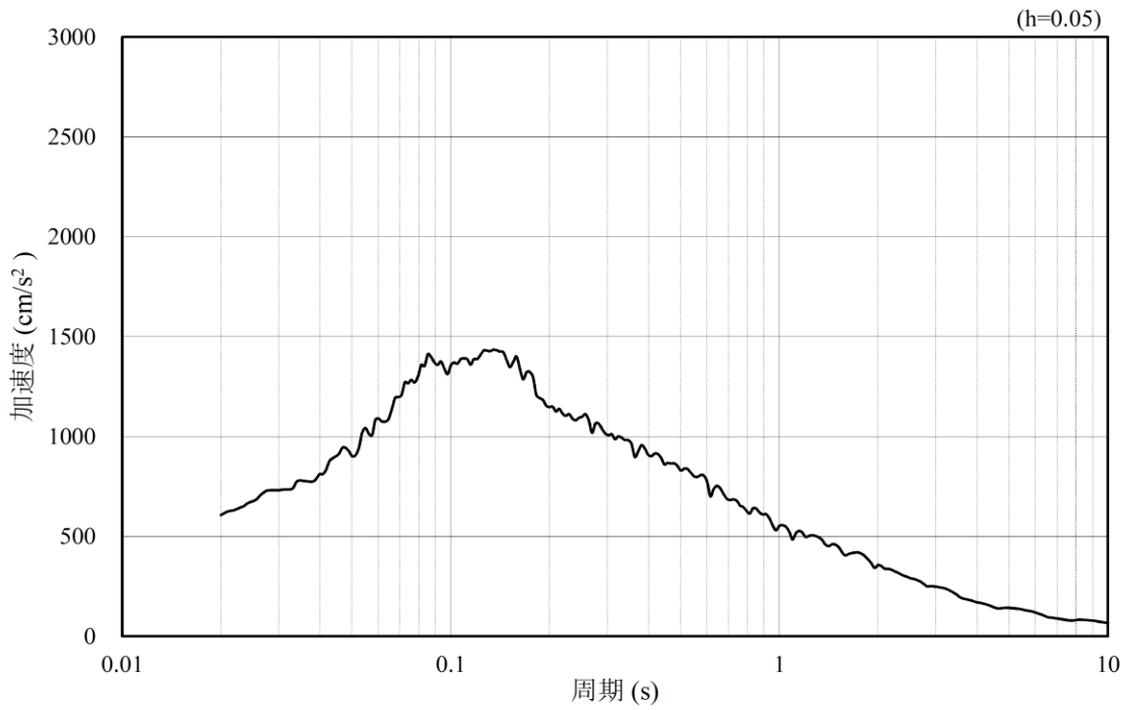


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-38 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

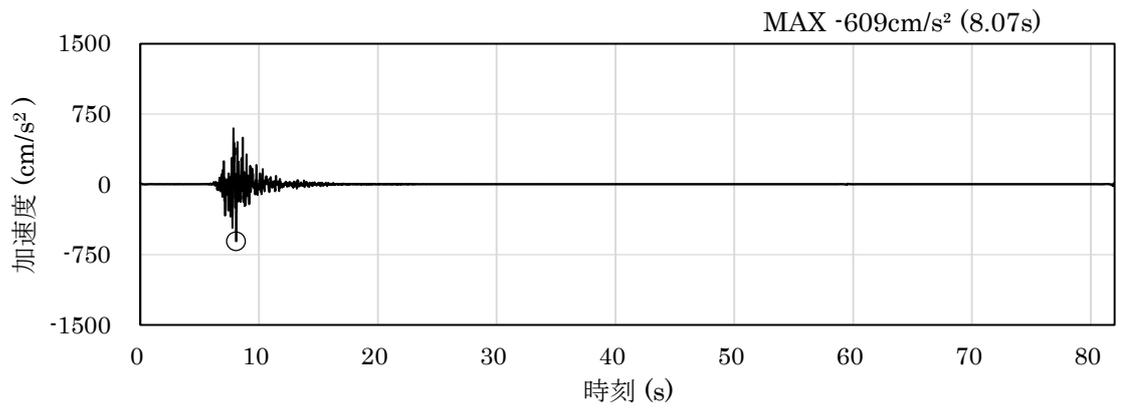


(a) 加速度時刻歴波形

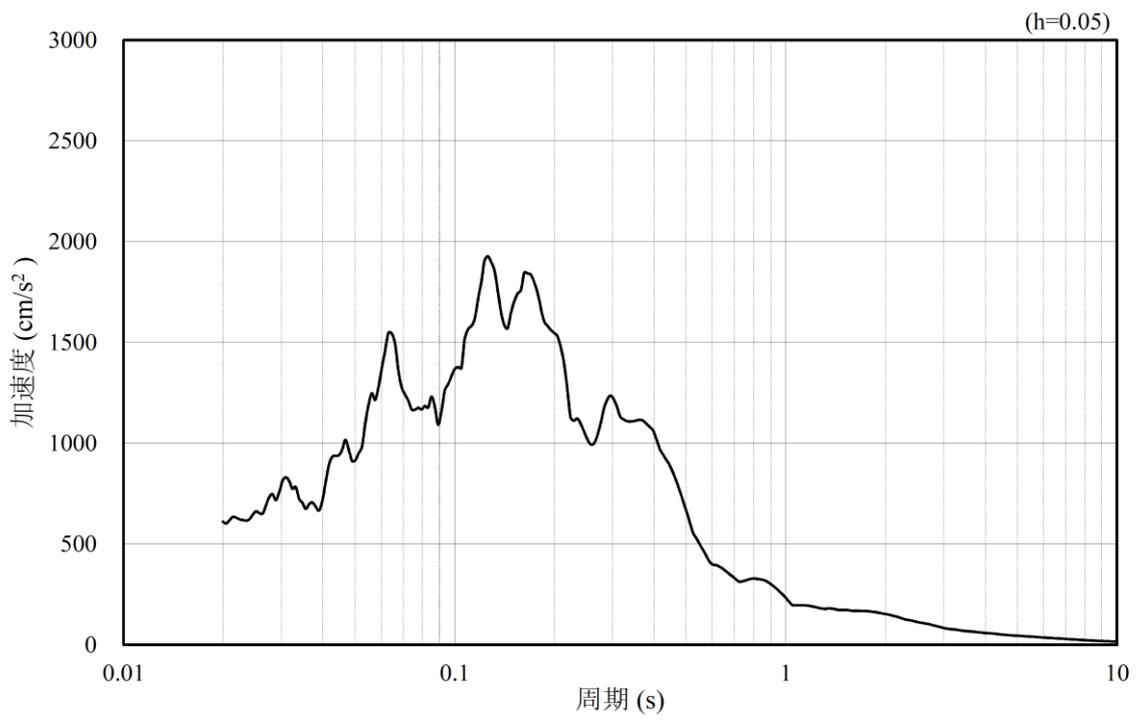


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-39 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

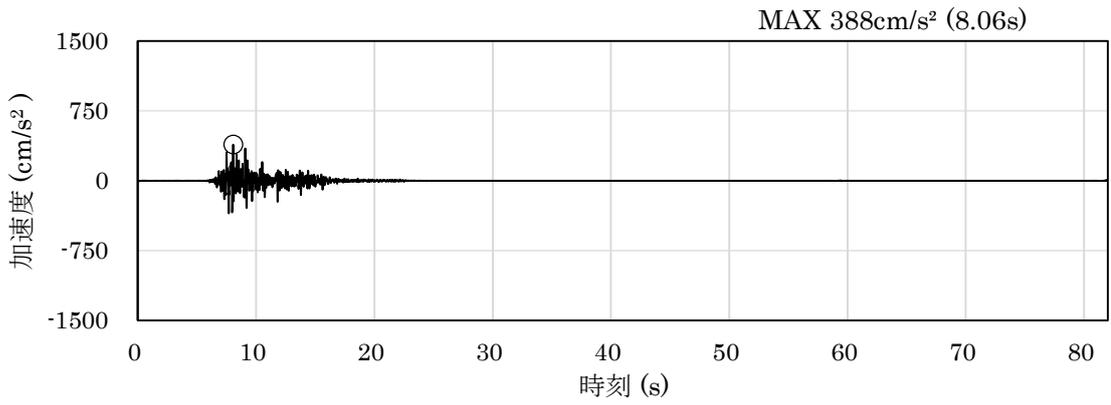


(a) 加速度時刻歴波形

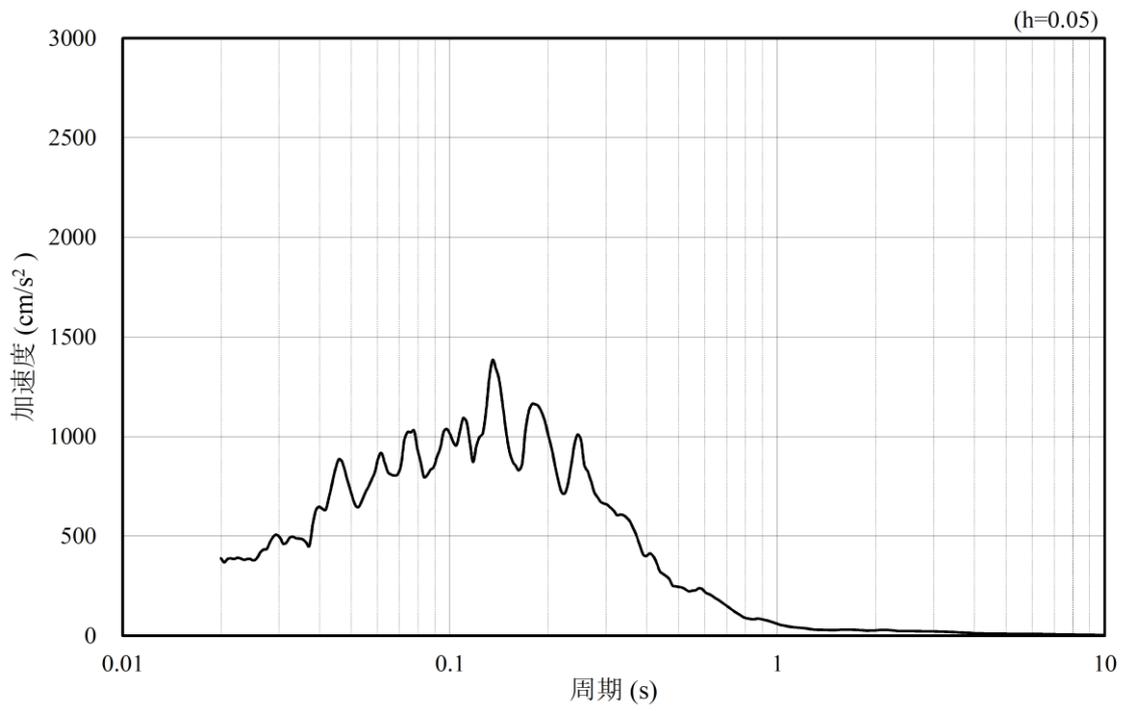


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-40 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

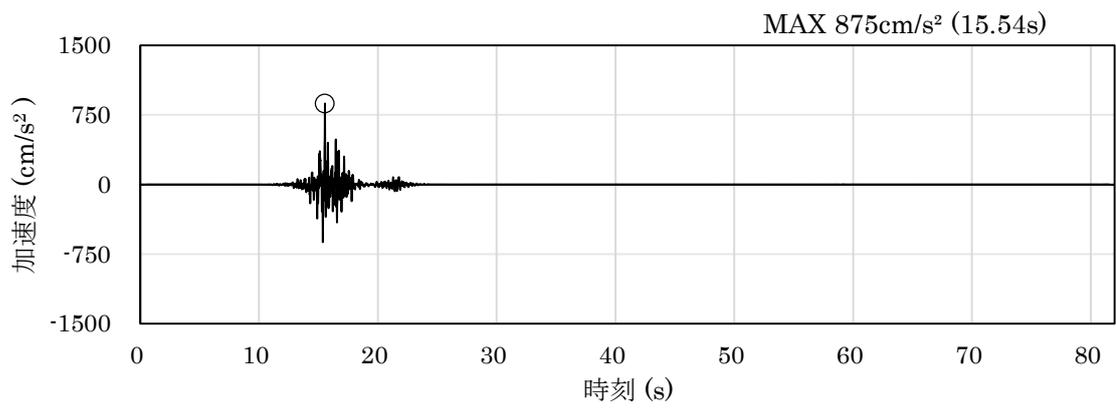


(a) 加速度時刻歴波形

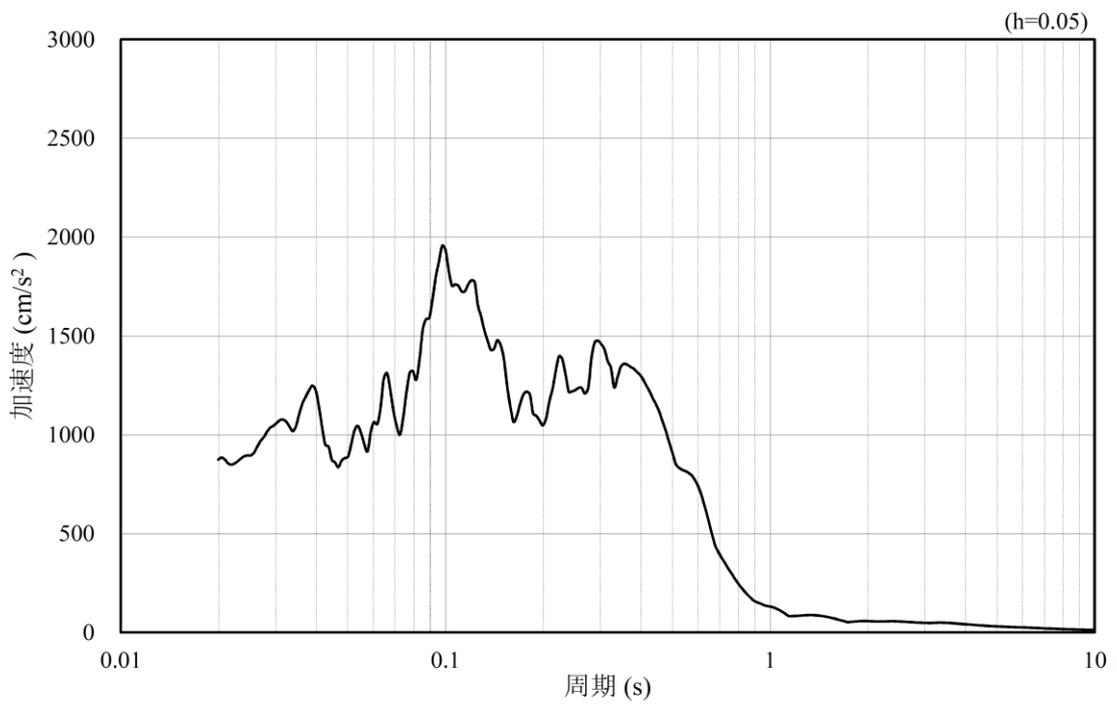


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-41 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

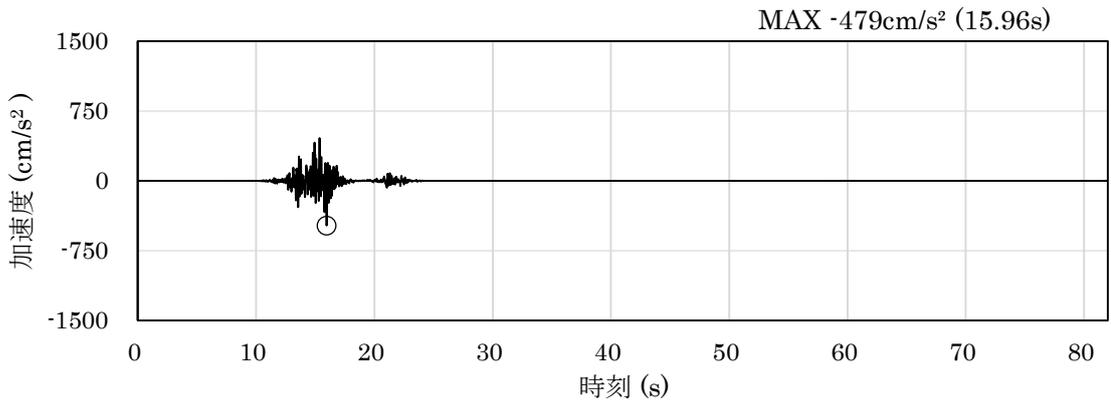


(a) 加速度時刻歴波形

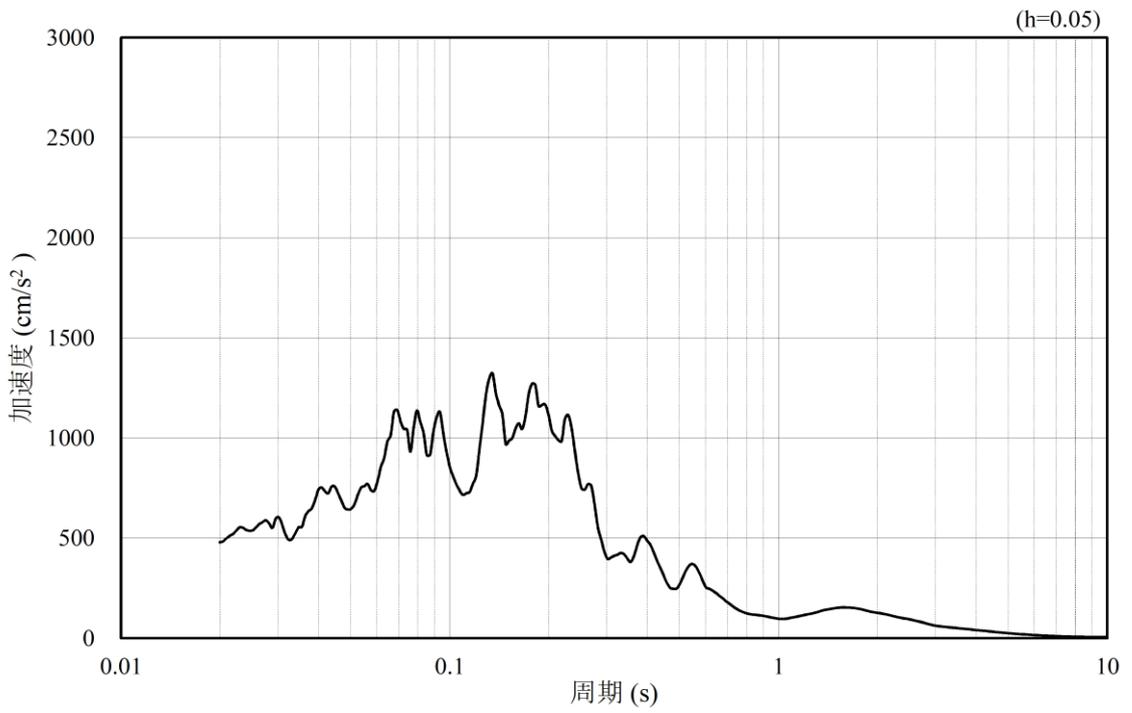


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-42 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

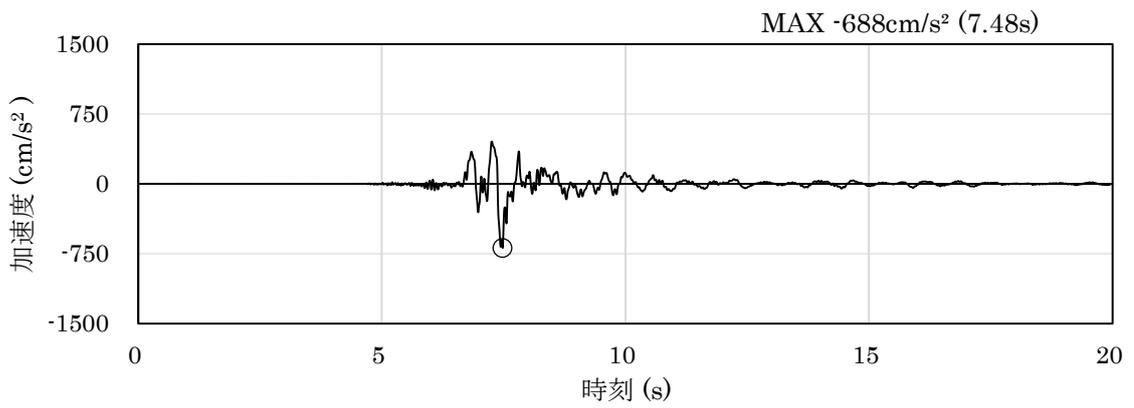


(a) 加速度時刻歴波形

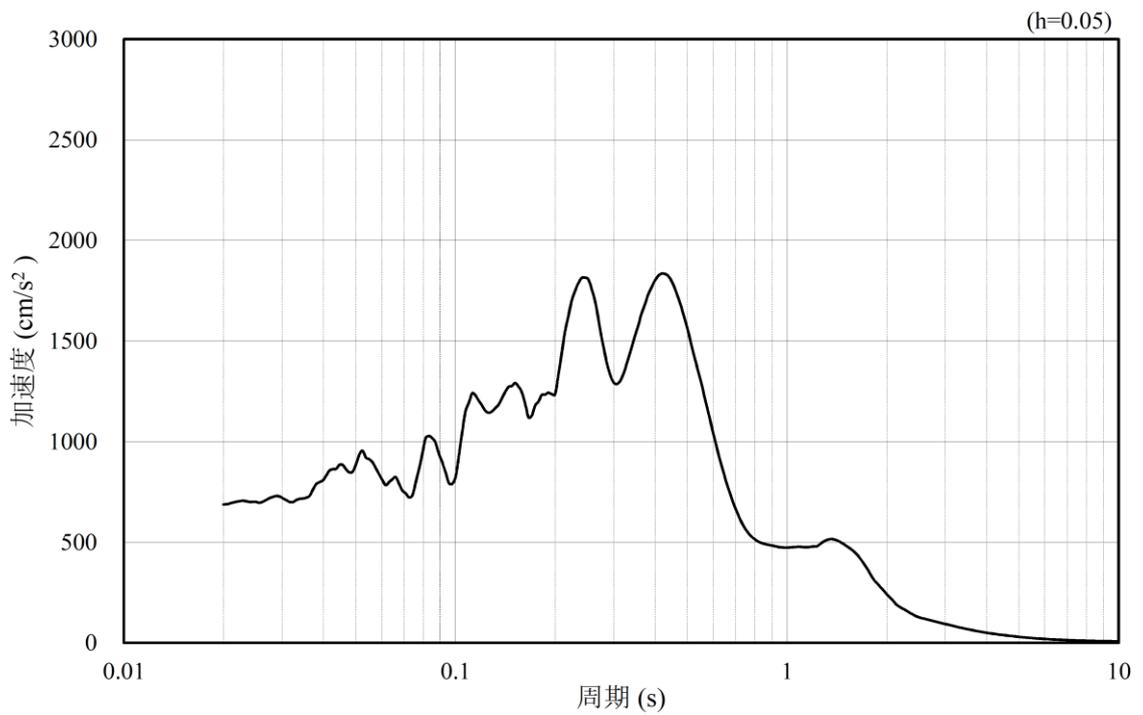


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-43 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

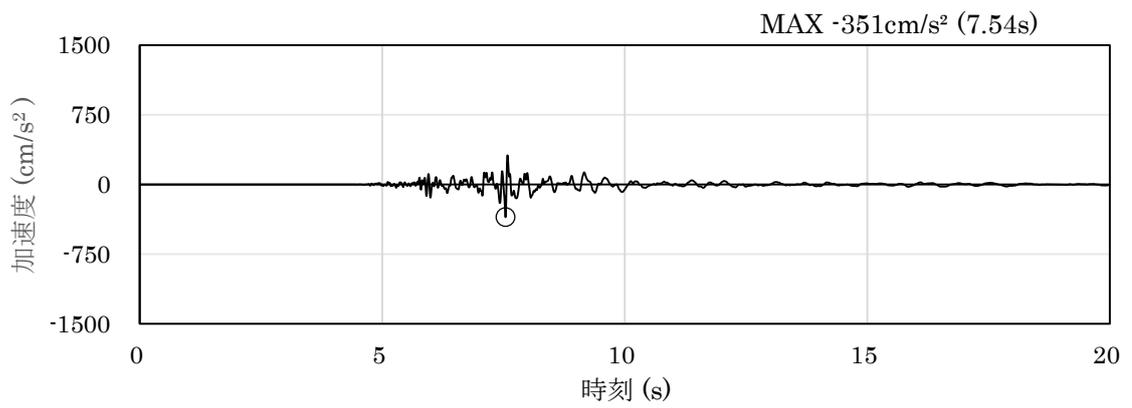


(a) 加速度時刻歴波形

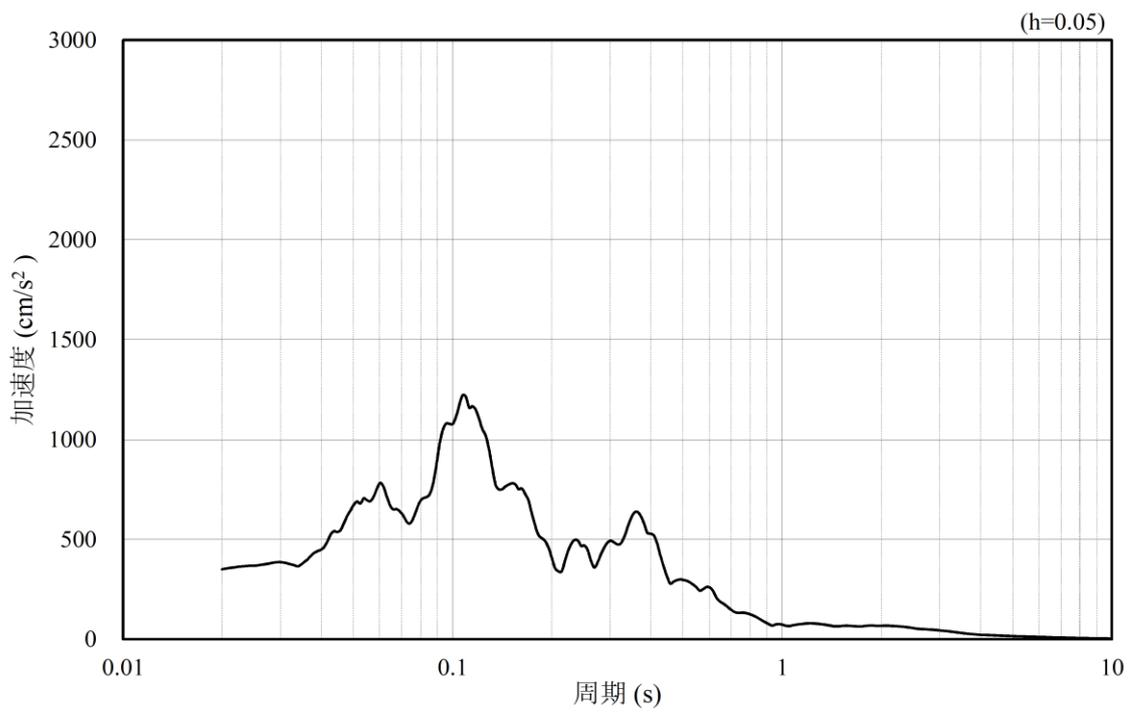


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-44 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

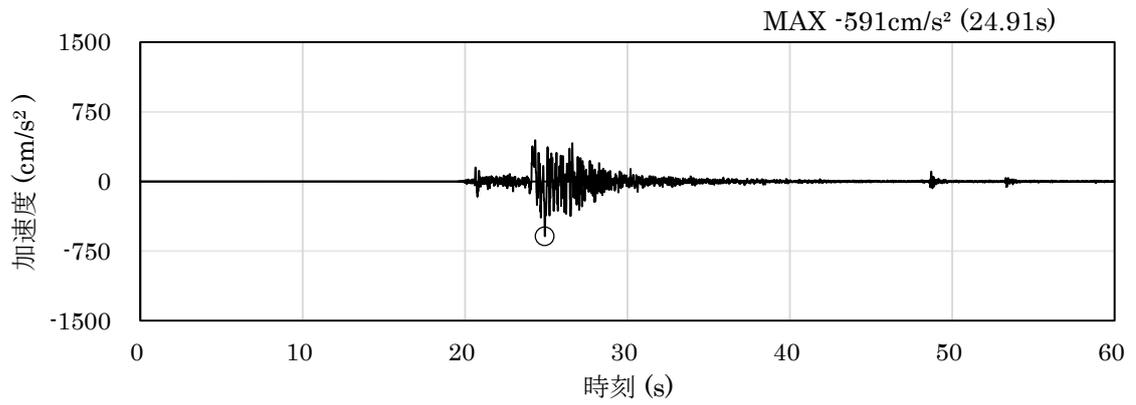


(a) 加速度時刻歴波形

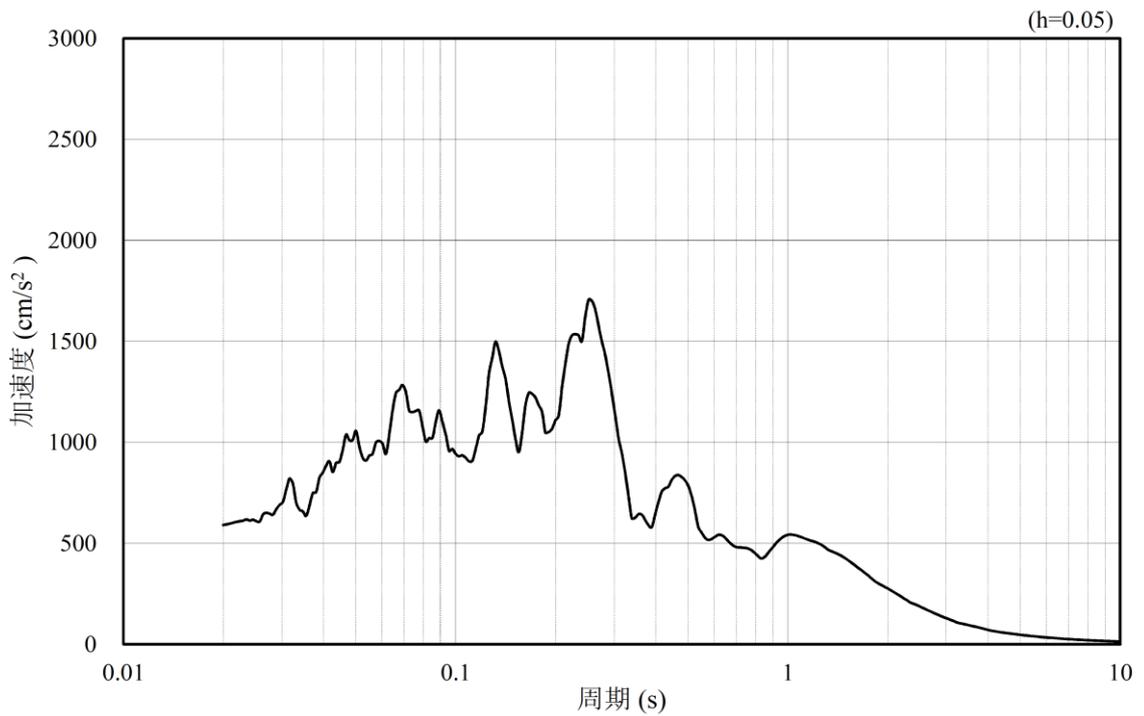


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-45 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

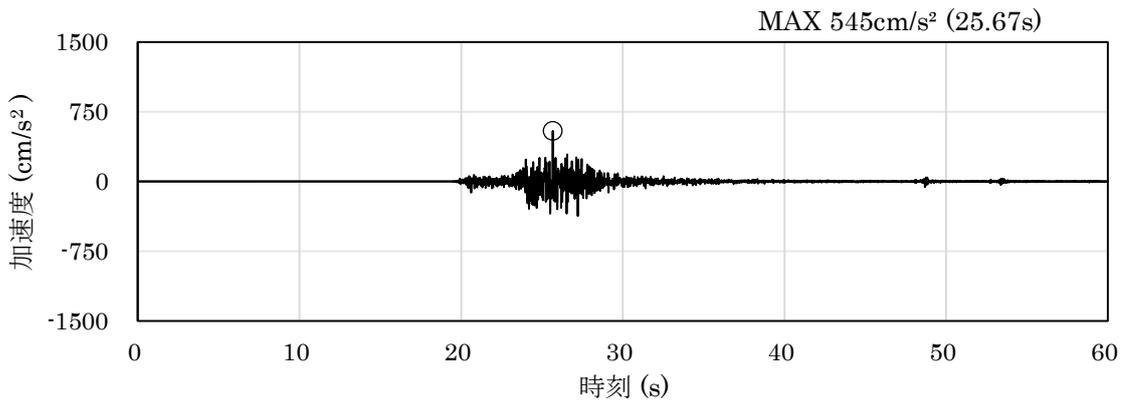


(a) 加速度時刻歴波形

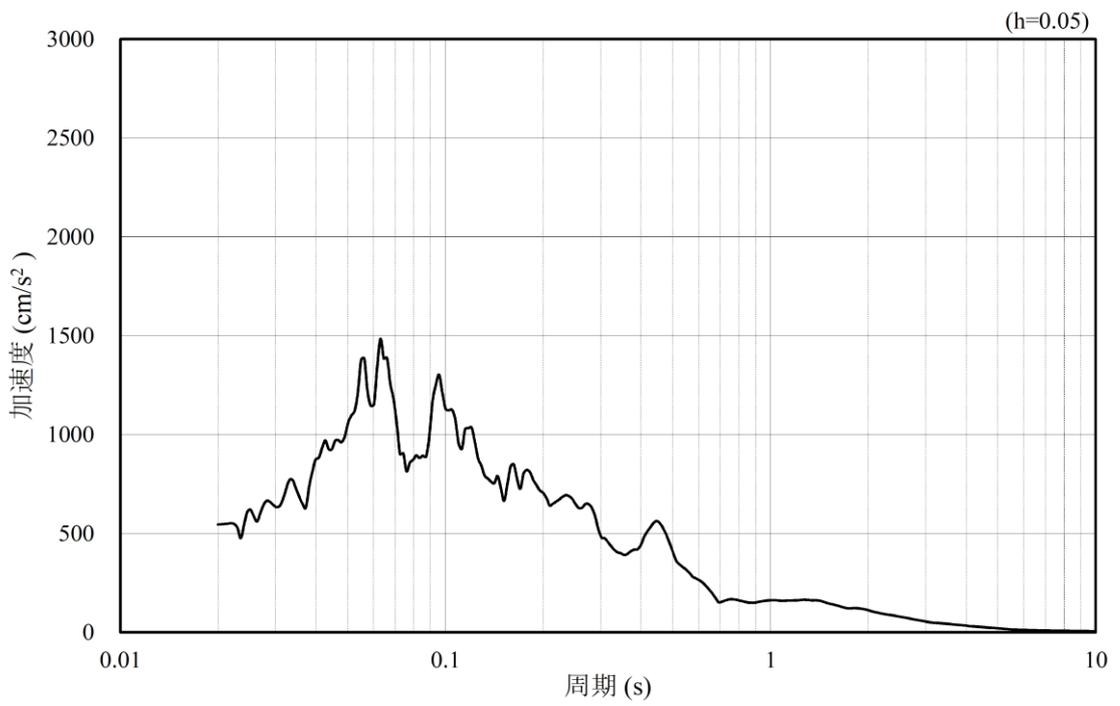


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-46 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S))

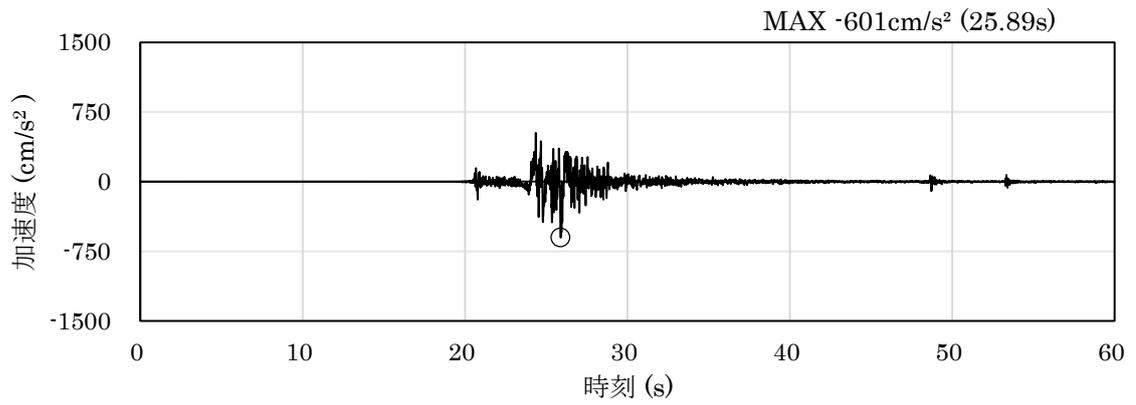


(a) 加速度時刻歴波形

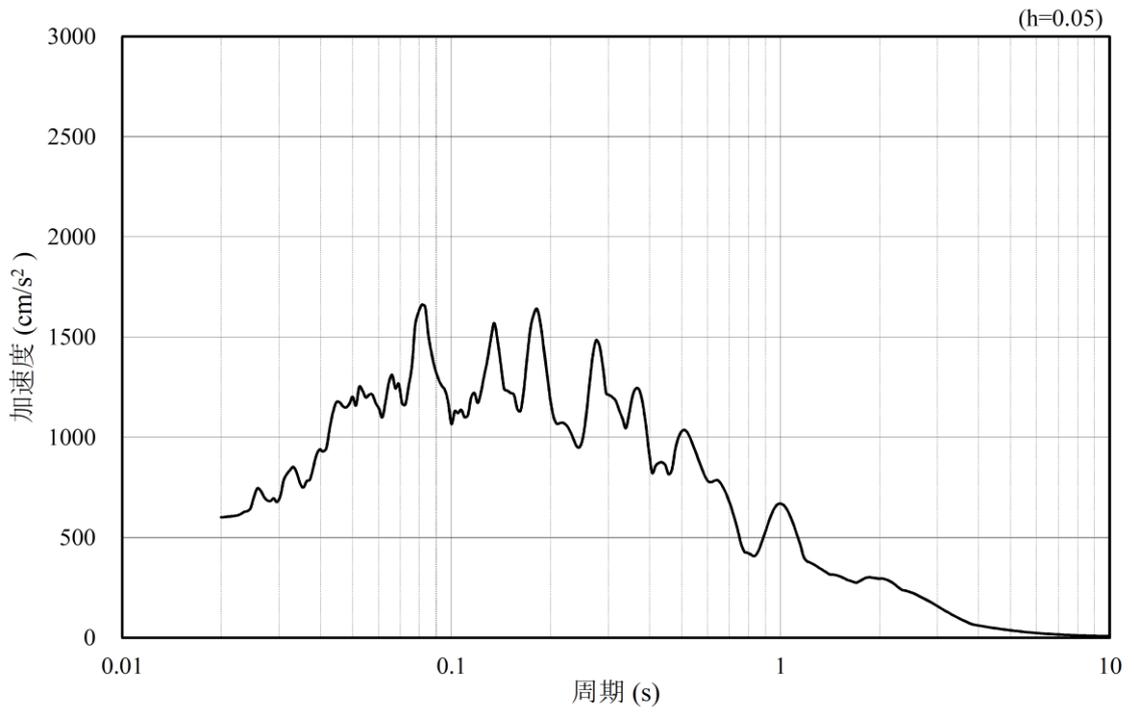


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

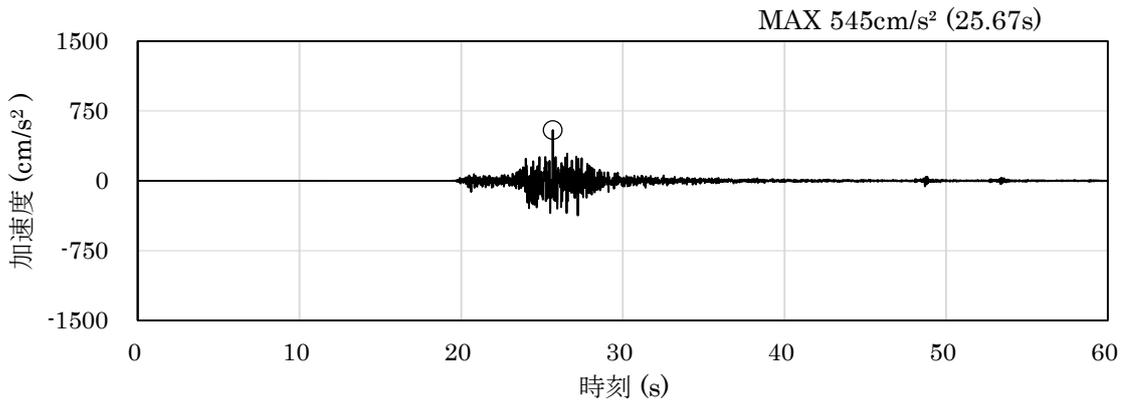


(a) 加速度時刻歴波形

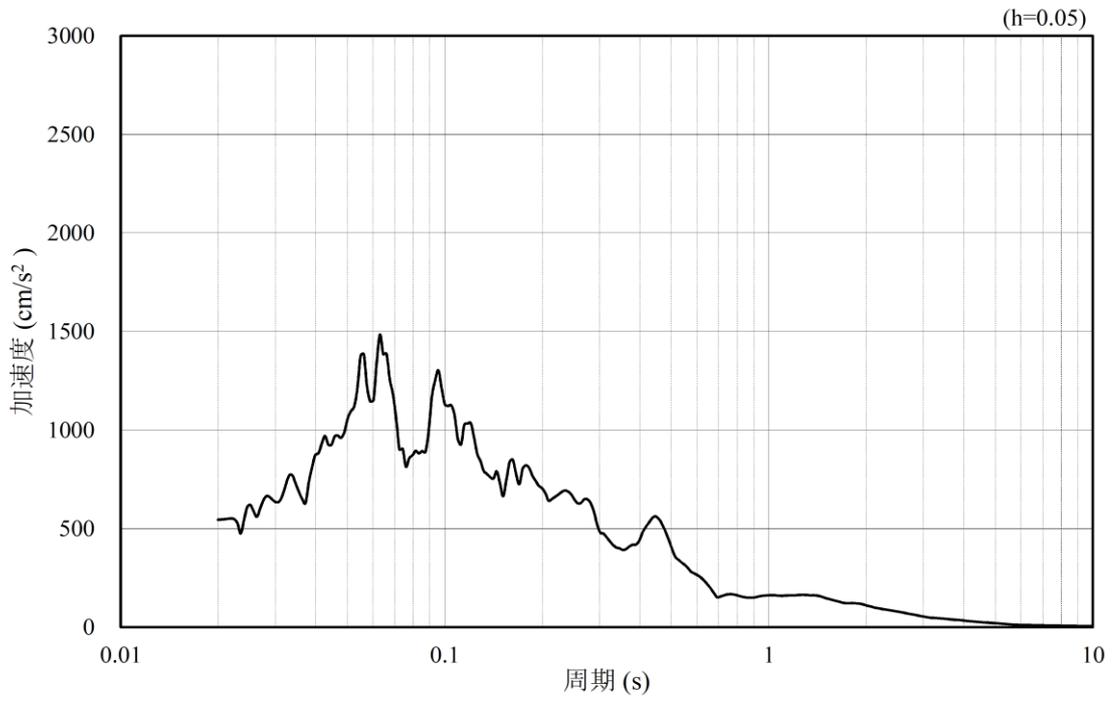


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))

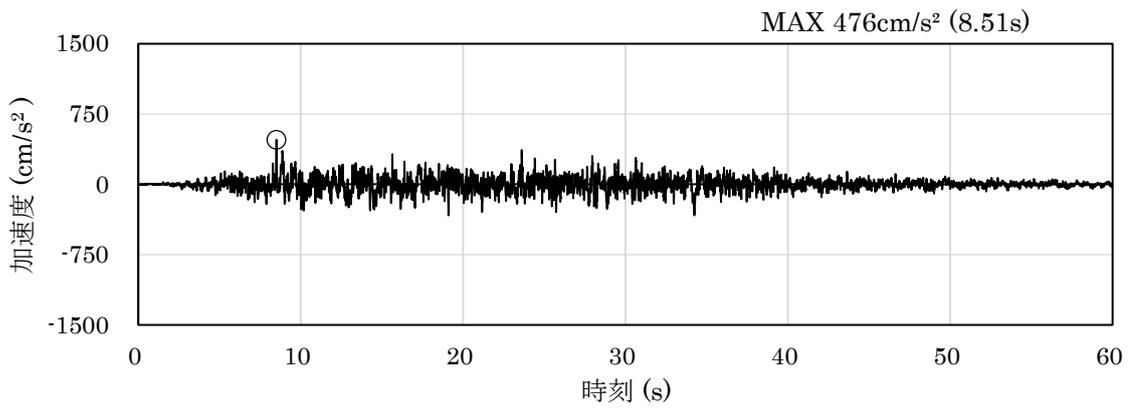


(a) 加速度時刻歴波形

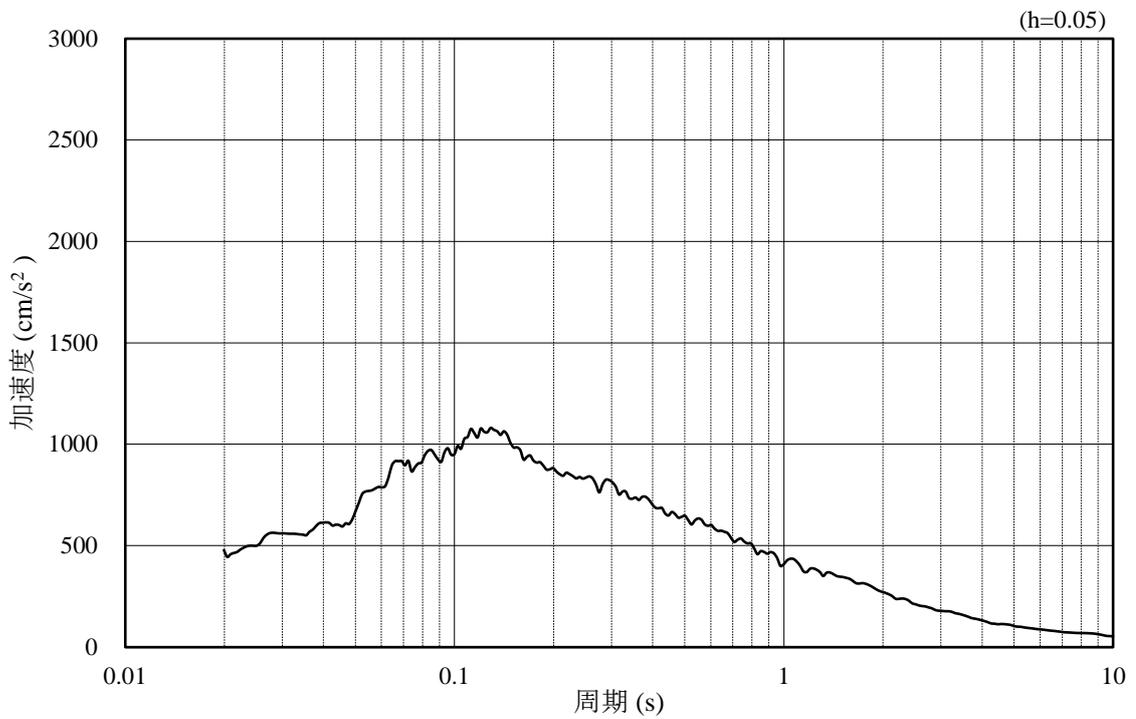


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

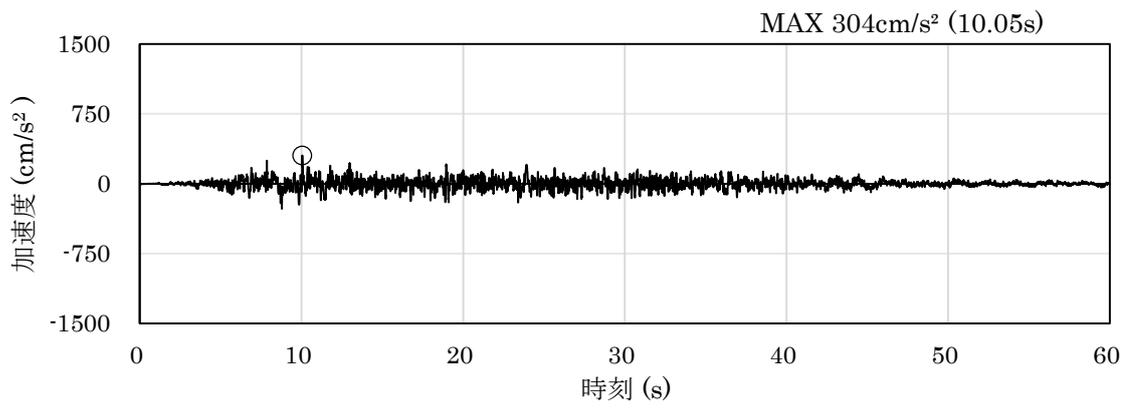


(a) 加速度時刻歴波形

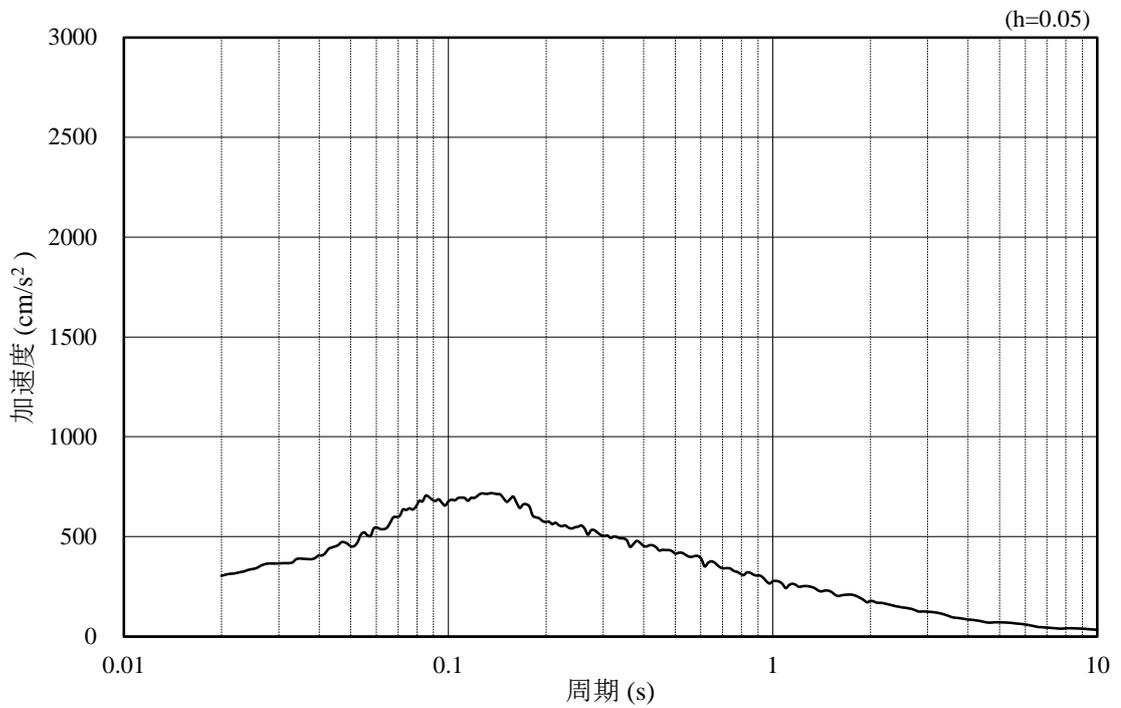


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-50 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S d - D)



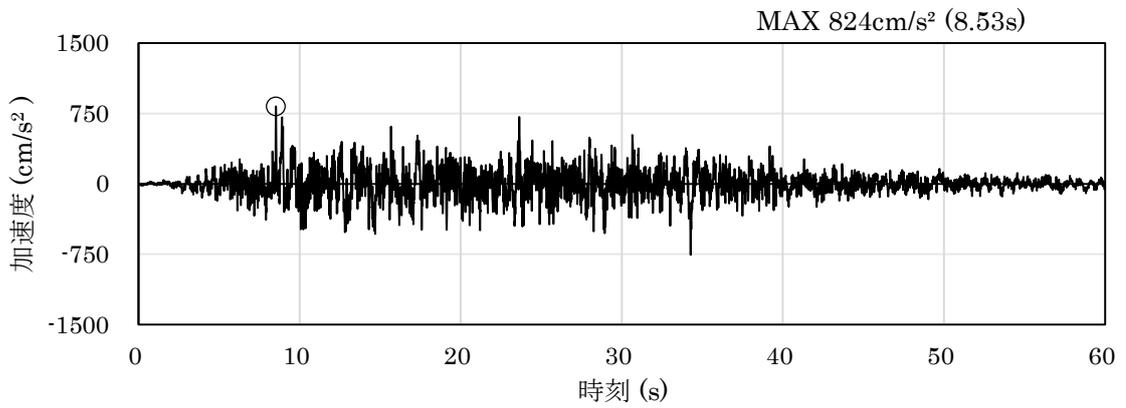
(a) 加速度時刻歴波形



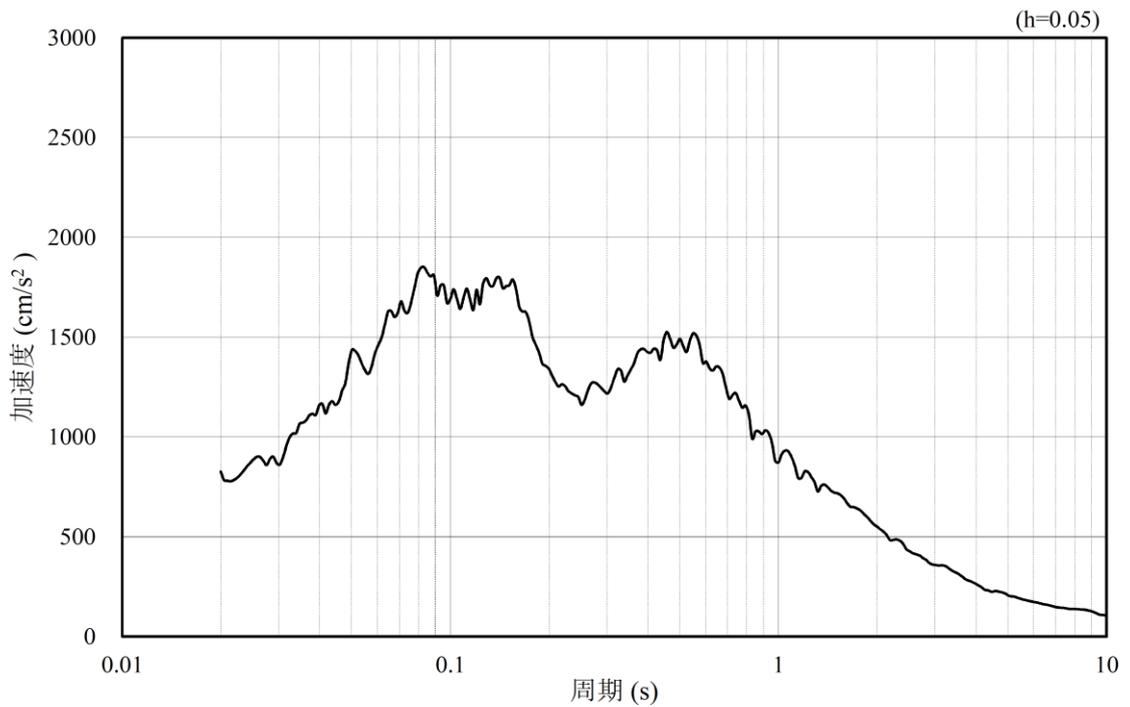
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-51 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S d - D)

3.4.4 ⑤-⑤断面

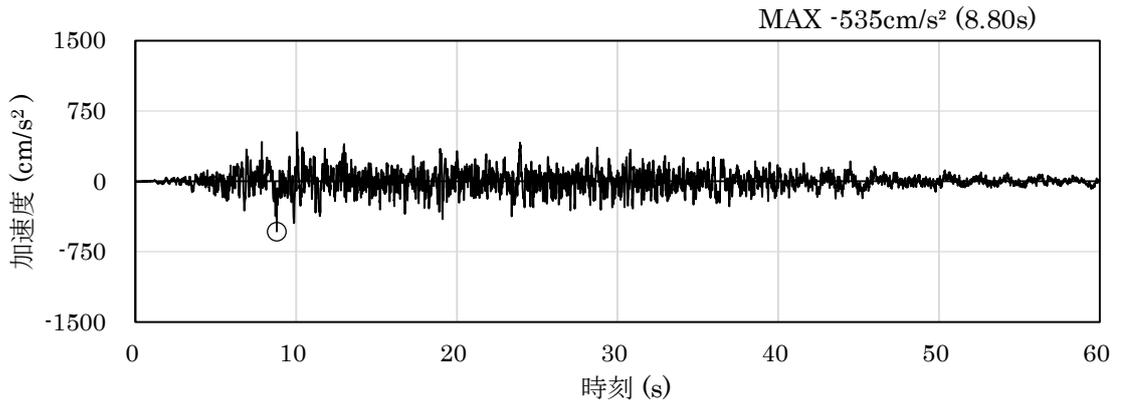


(a) 加速度時刻歴波形

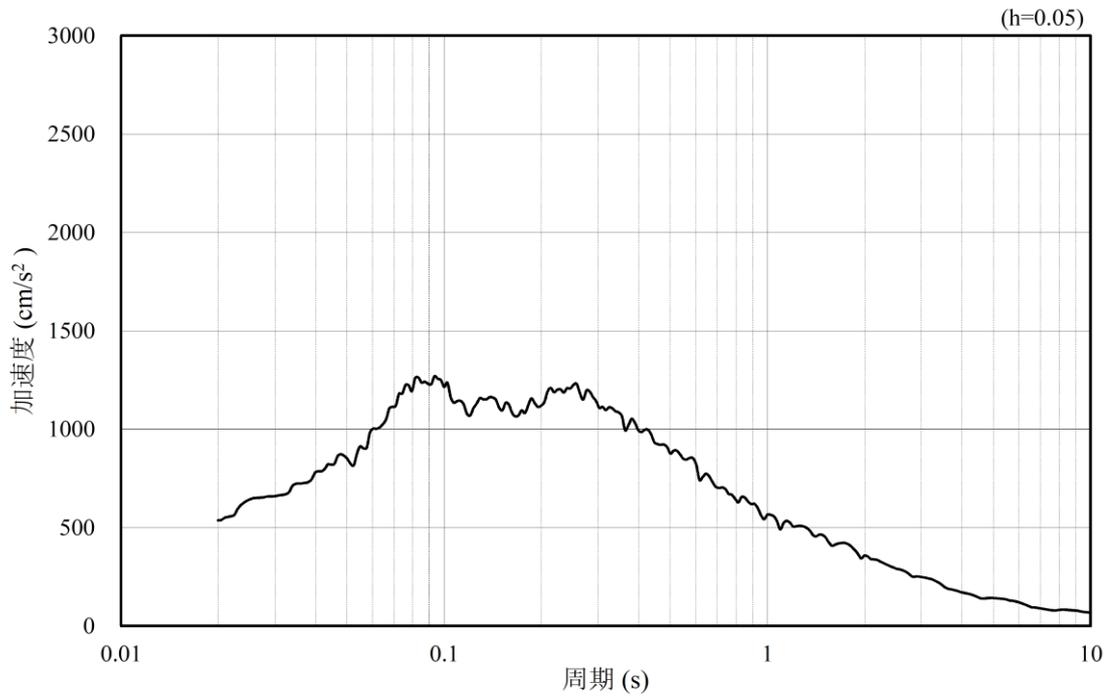


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

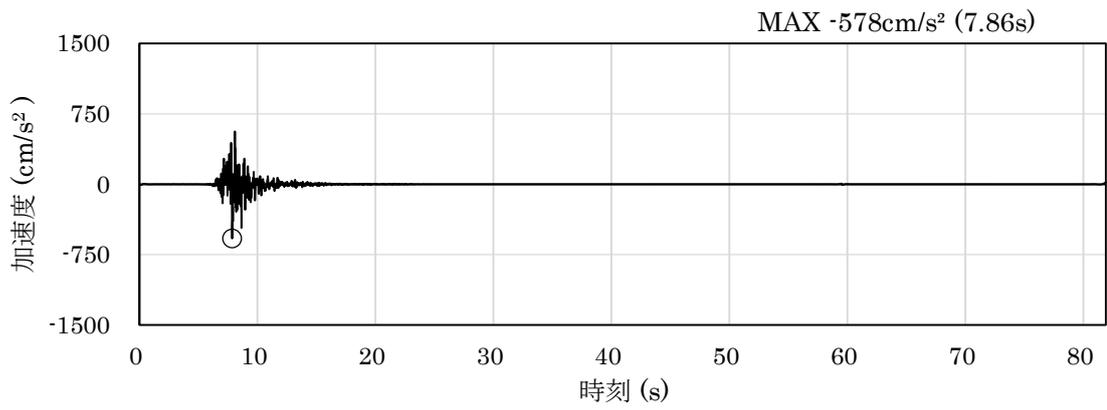


(a) 加速度時刻歴波形

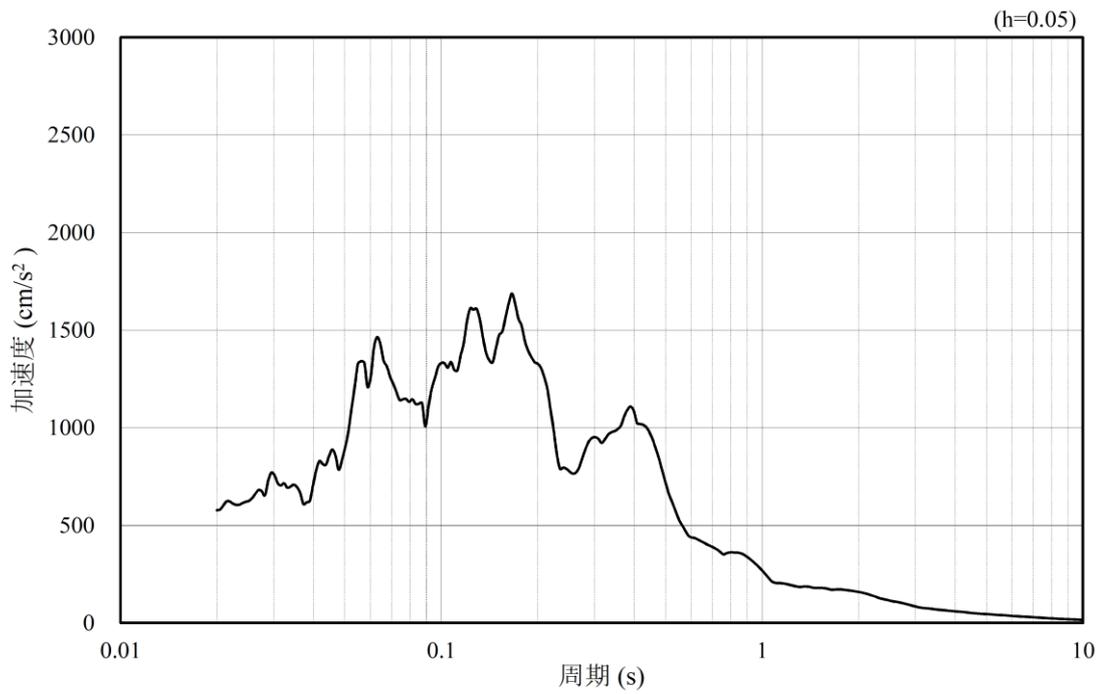


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-53 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

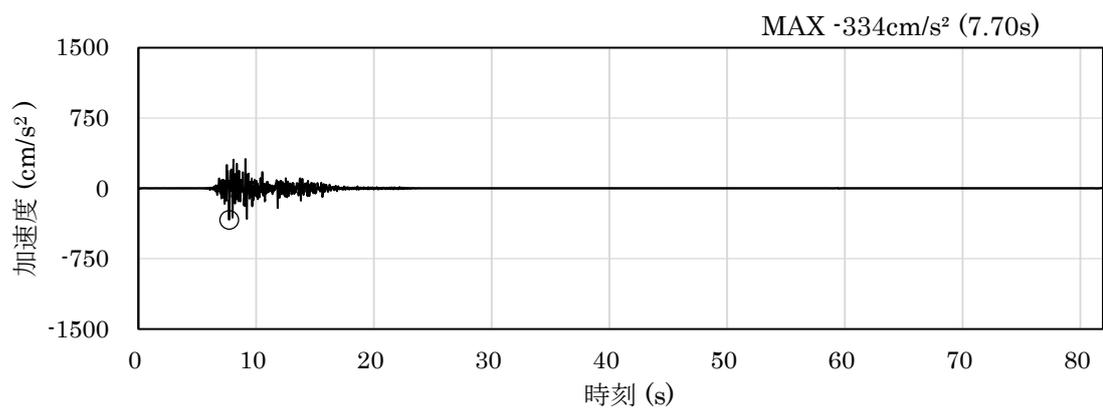


(a) 加速度時刻歴波形

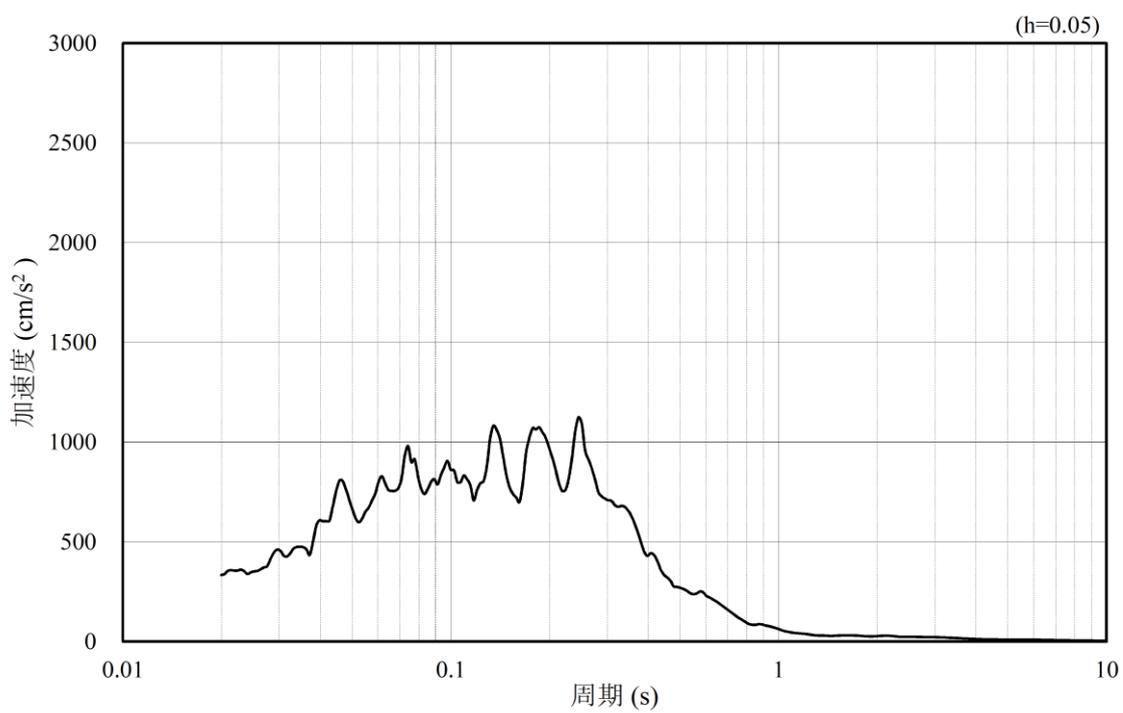


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-54 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1)

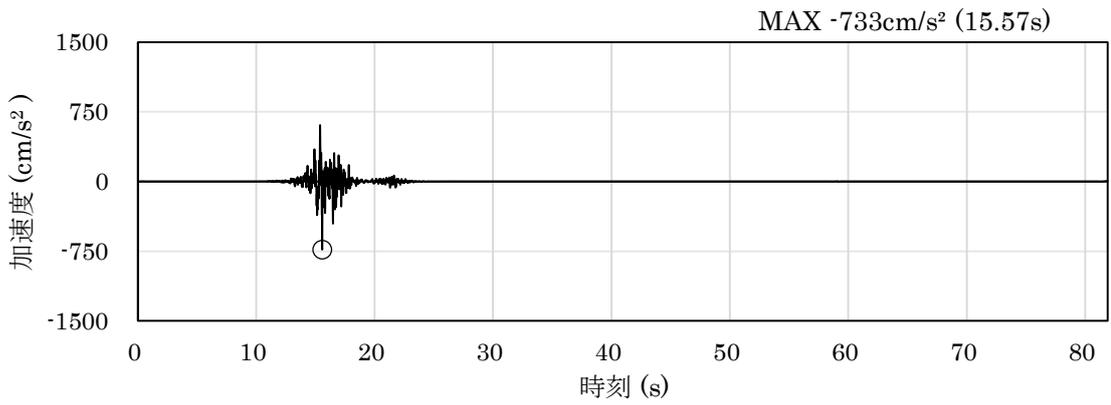


(a) 加速度時刻歴波形

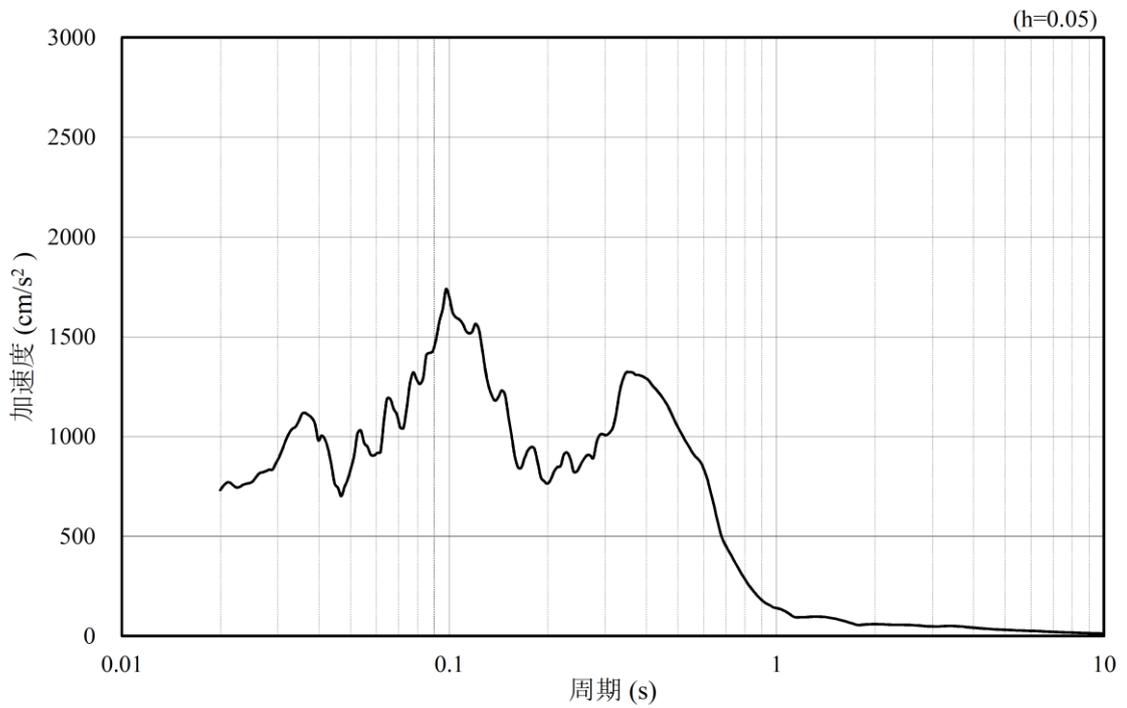


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-55 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

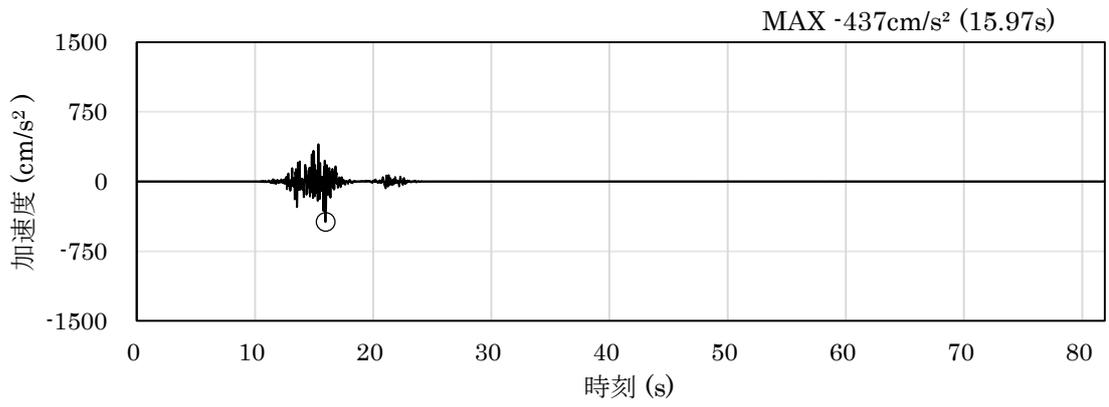


(a) 加速度時刻歴波形

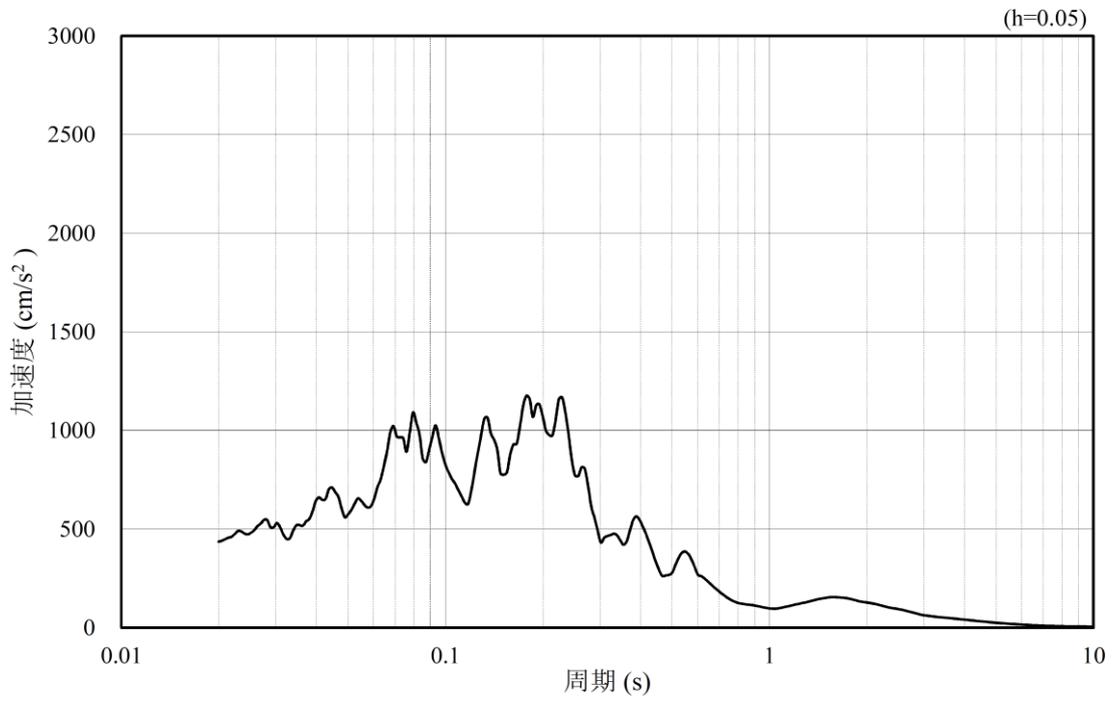


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-56 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

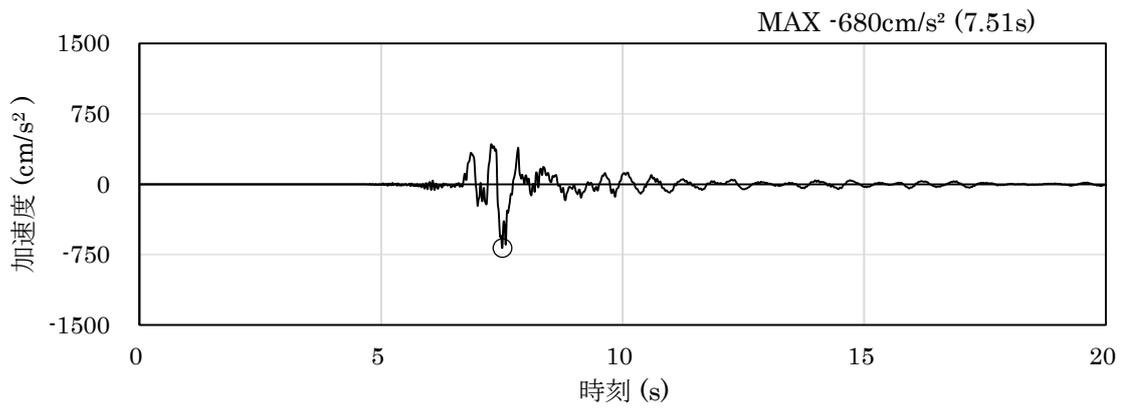


(a) 加速度時刻歴波形

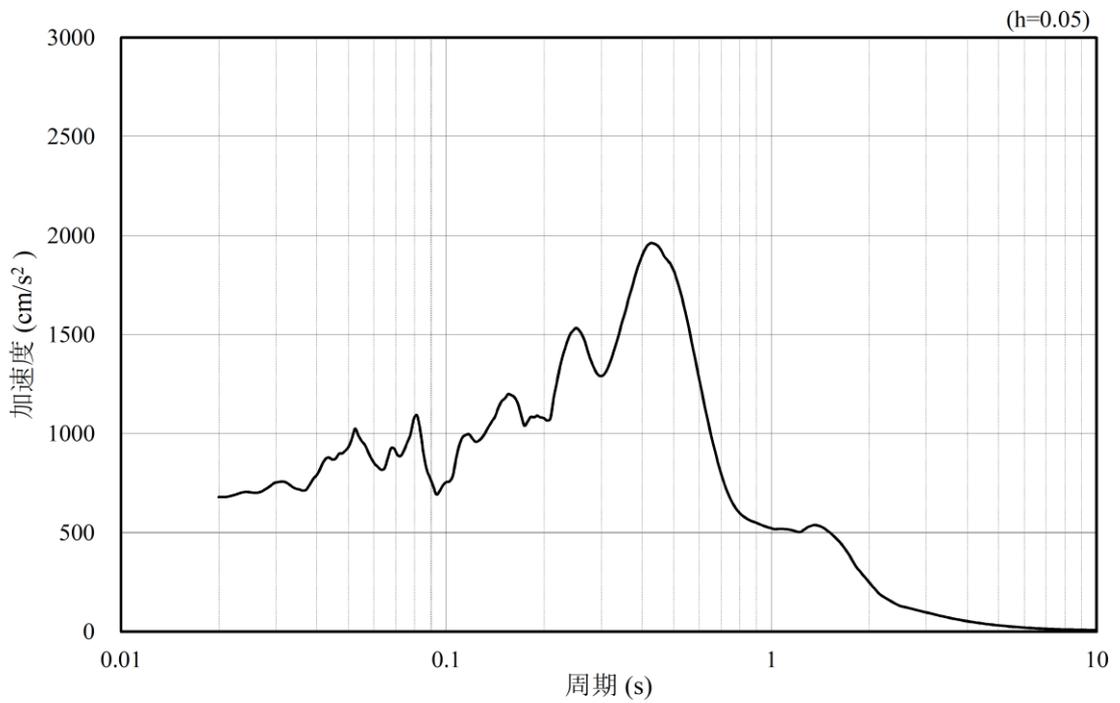


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-57 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

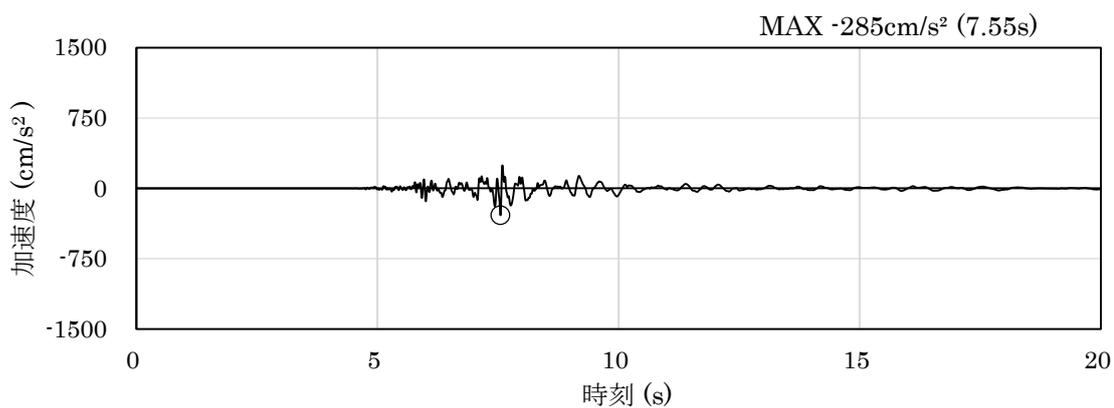


(a) 加速度時刻歴波形

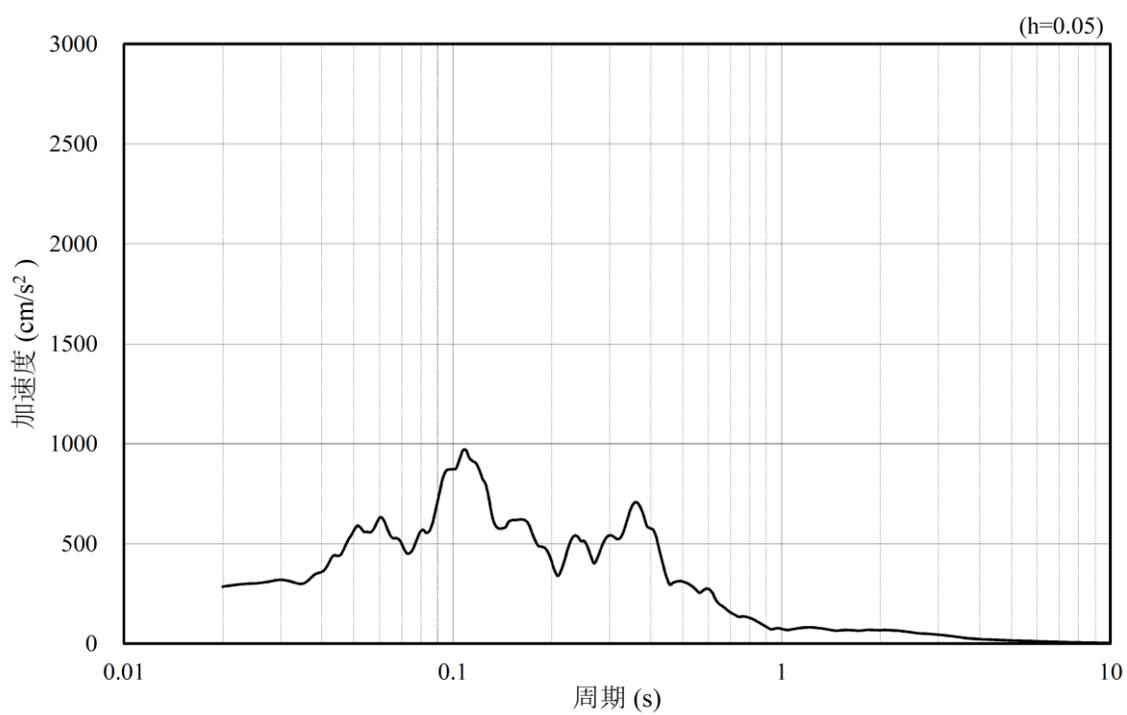


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-58 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

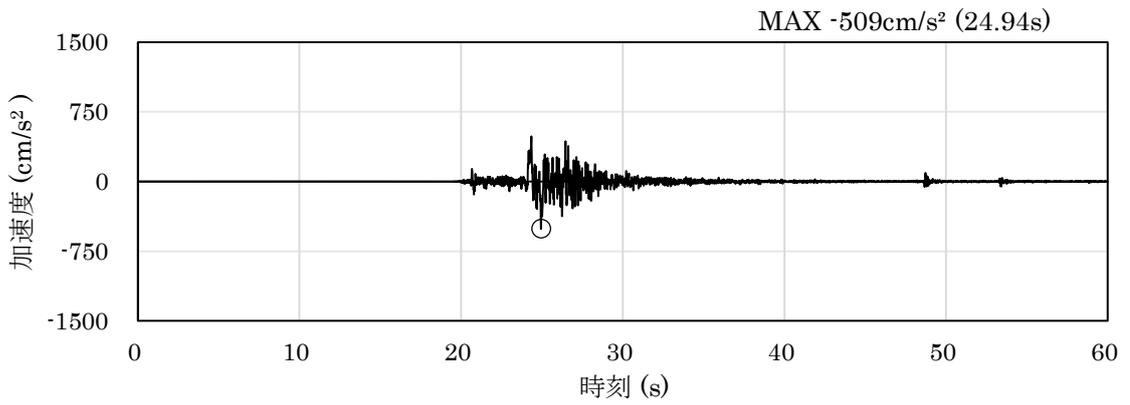


(a) 加速度時刻歴波形

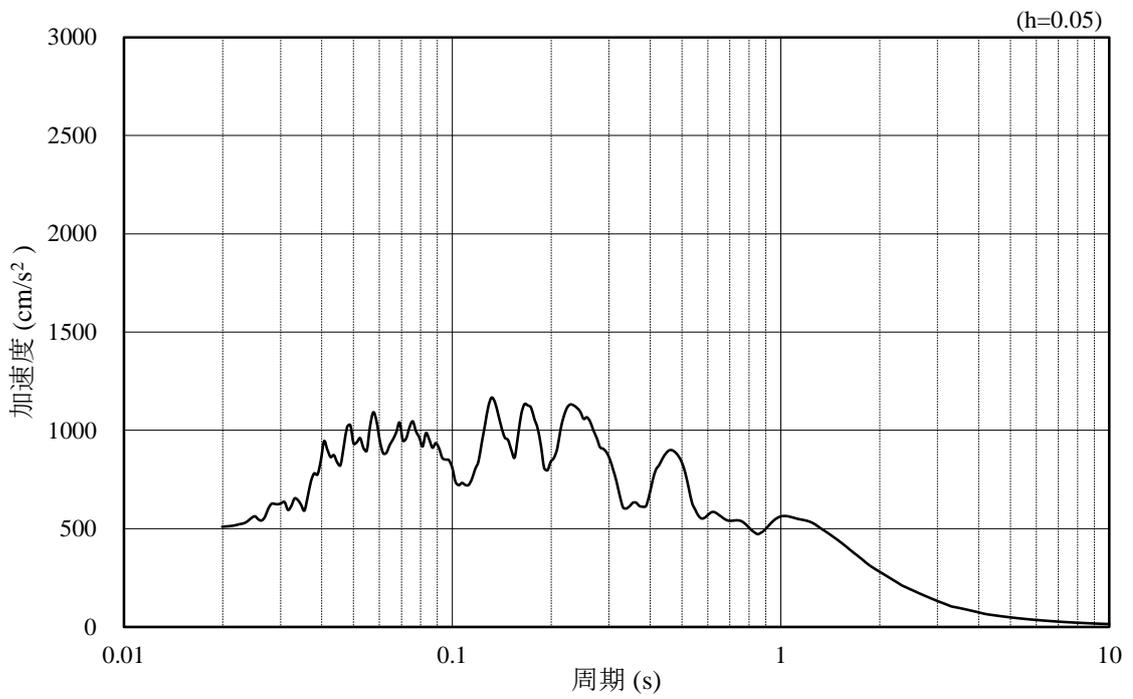


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-59 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

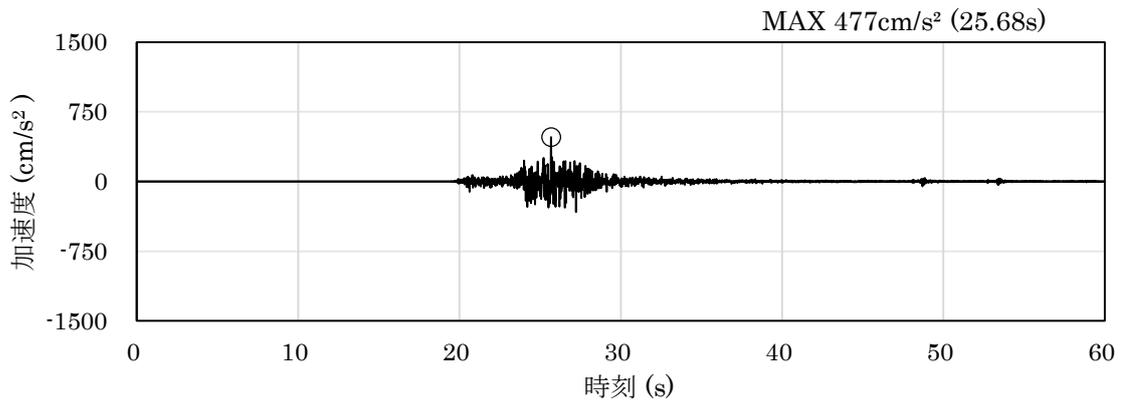


(a) 加速度時刻歴波形

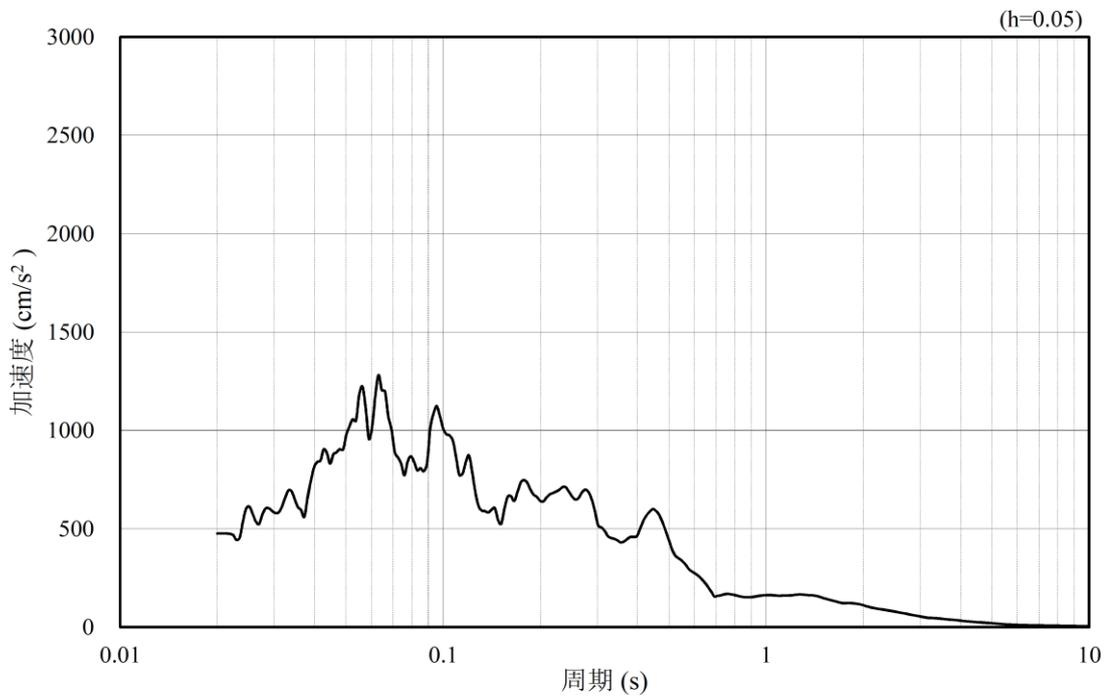


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-60 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S))

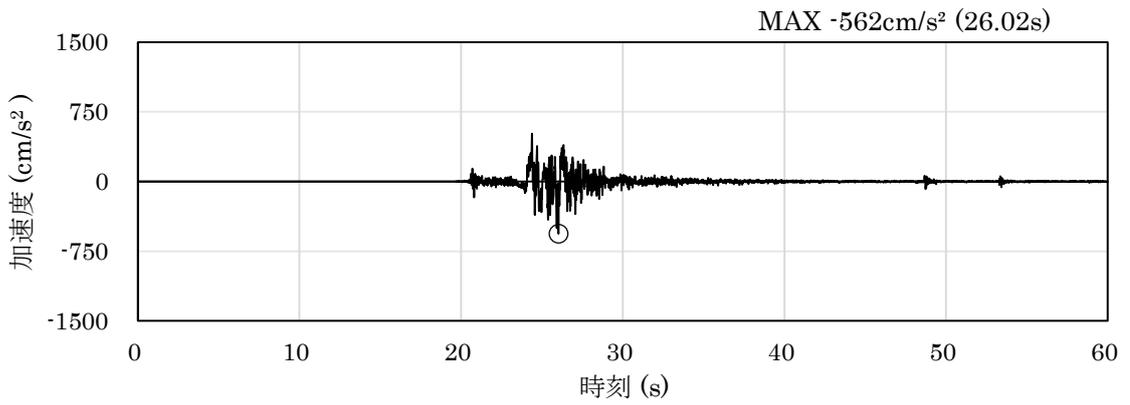


(a) 加速度時刻歴波形

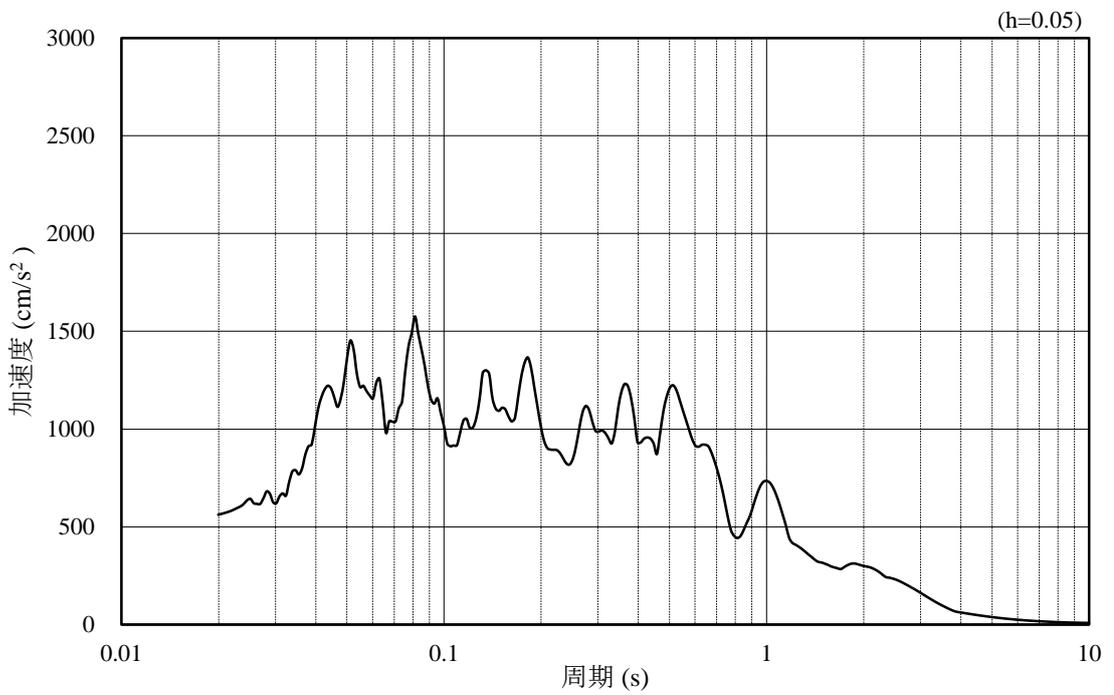


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-61 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

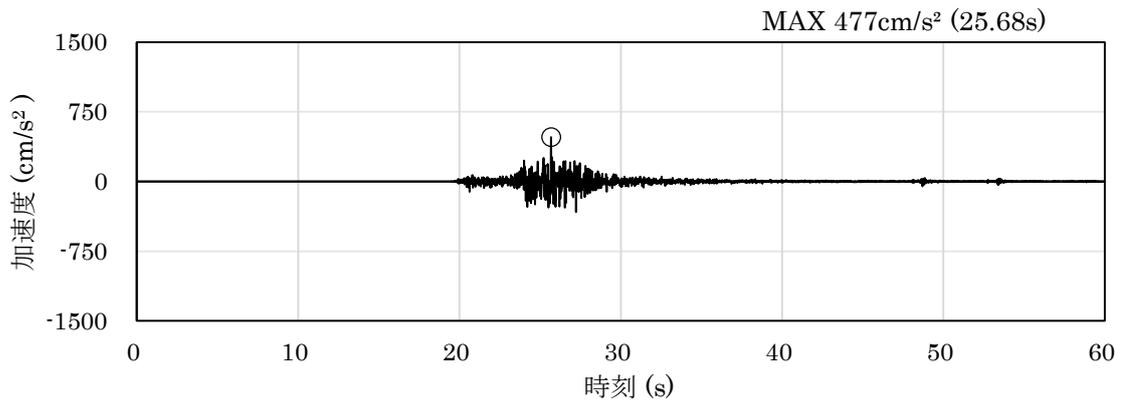


(a) 加速度時刻歴波形

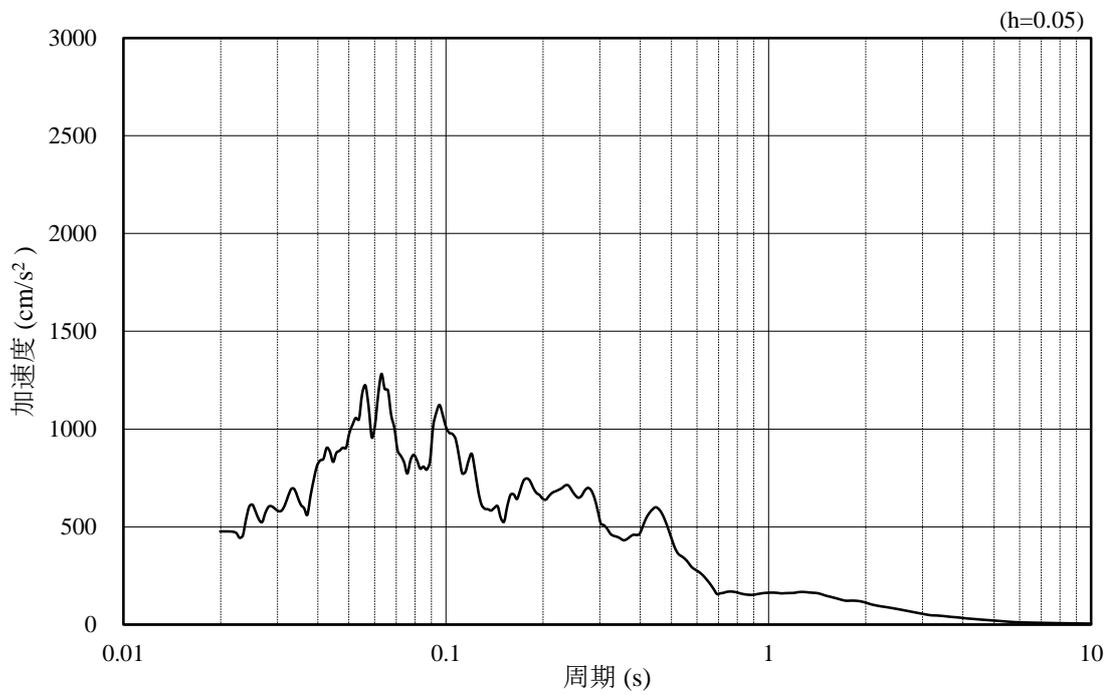


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-62 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-63 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析モデルを図3-64～図3-67に示す。

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については、2次元有限要素法における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

重力擁壁は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

H形鋼のモデル化は行わない。

ケーソンは、構造部材を線形平面ひずみ要素でモデル化し、等価な剛性を有する2次元等価剛性モデルとする。

機器・配管荷重及び漂流物対策工は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

a. 有効応力解析

岩盤及びMMRは線形平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤はマルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

消波ブロック、基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

b. 全応力解析

岩盤及びMMRは線形平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤はマルチスプリング要素にてモデル化する。

消波ブロック、基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

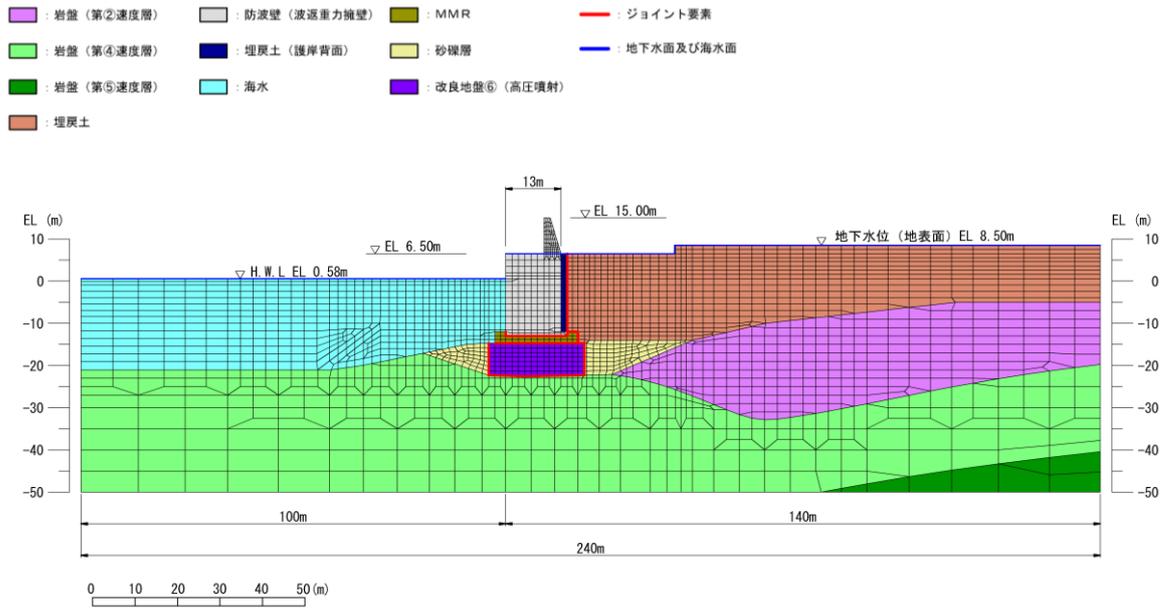


図 3-64 地震応答解析モデル (②-②断面)

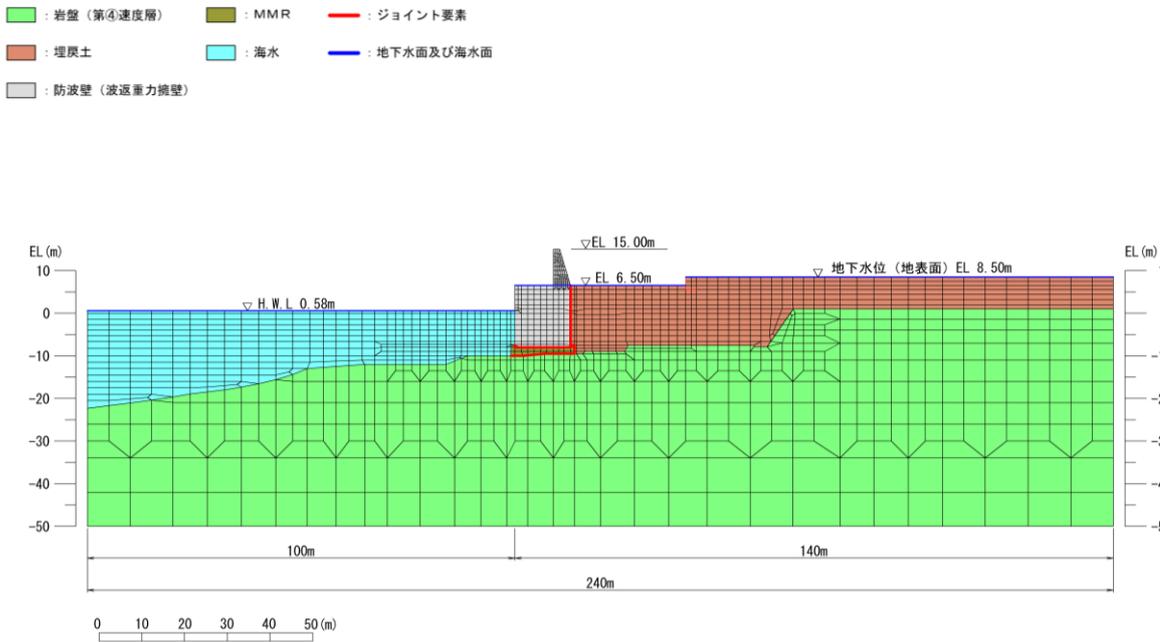


図 3-65 地震応答解析モデル (③-③断面)

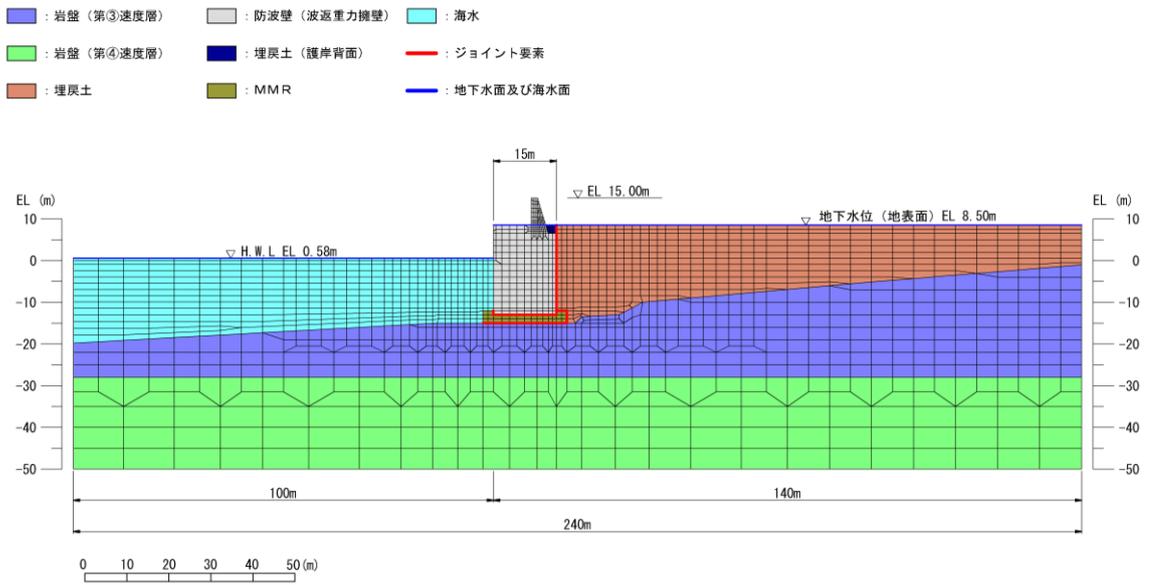


図 3-66 地震応答解析モデル (④-④断面)

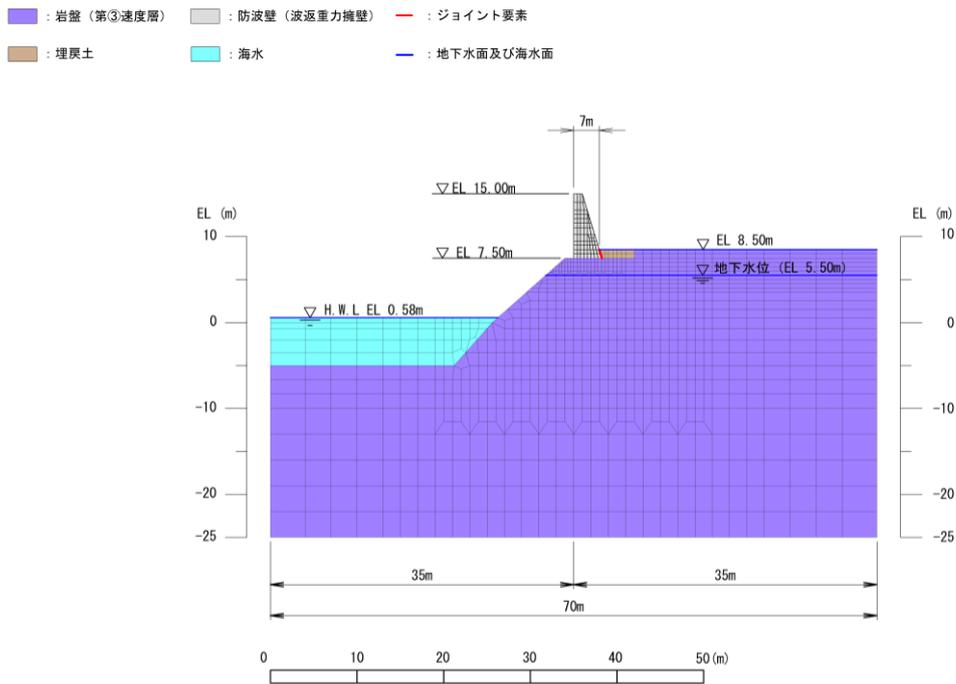


図 3-67 地震応答解析モデル (⑤-⑤断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料

材料		仕様
コンクリート	重力擁壁 (基部コンクリート)	設計基準強度 18.0 N/mm ²
	重力擁壁 ケーソン	設計基準強度 24.0 N/mm ²
鉄筋		SD345
H形鋼		SM490

表 3-7 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10^4 *	0.2*
無筋コンクリート	22.6*	2.2×10^4 *	0.2*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会，2002年制定)

3.5.3 地盤及び改良地盤⑥の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表 3-8 に示す。

表 3-8 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
防波壁（波返重力擁壁） (②-②断面，③-③断面，④-④断面)	EL 8.5m*
防波壁（波返重力擁壁） (⑤-⑤断面)	EL 5.5m

注記*：地表面が 8.5m よりも低い地点については、地下水位を地表面とする。

4. 解析結果

4.1 ②-②断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、応答加速度抽出位置を図 4-1 に示し、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D に対する最大加速度分布図を図 4-2～図 4-13 及び図 4-22 に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図 4-14～図 4-21 に示す。これらに加え、機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース②及び③のすべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-23～図 4-46 に示す。

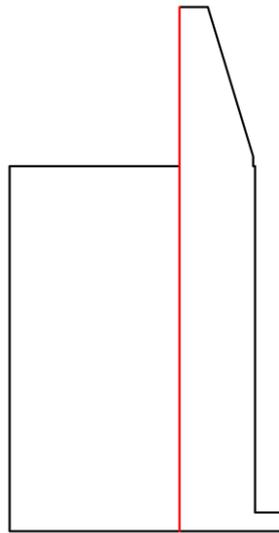
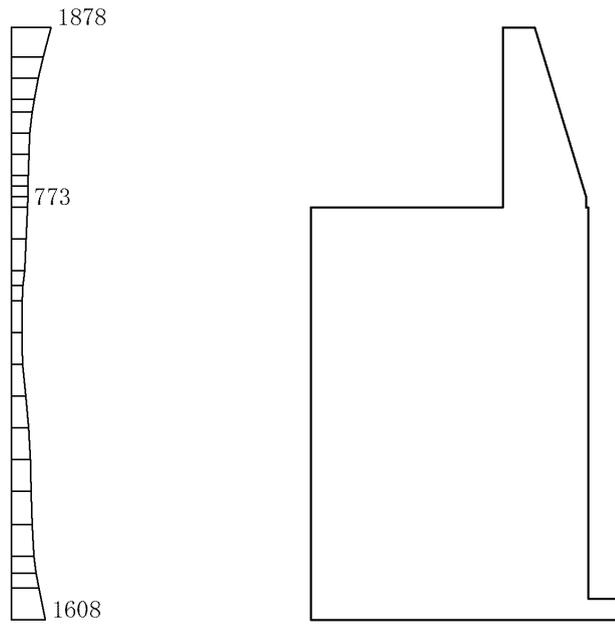
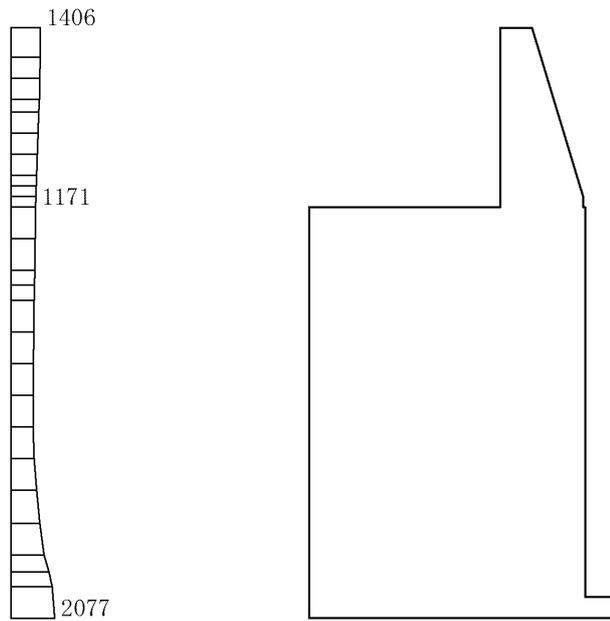


図 4-1 応答加速度抽出位置図



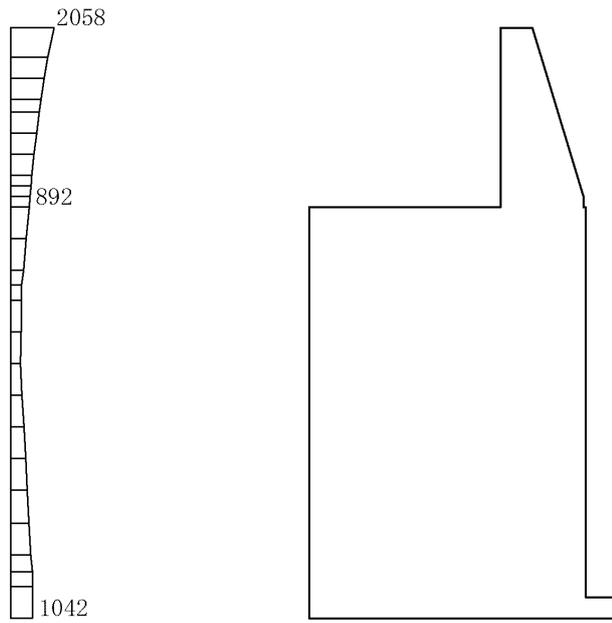
(a) S s - D (++) 水平



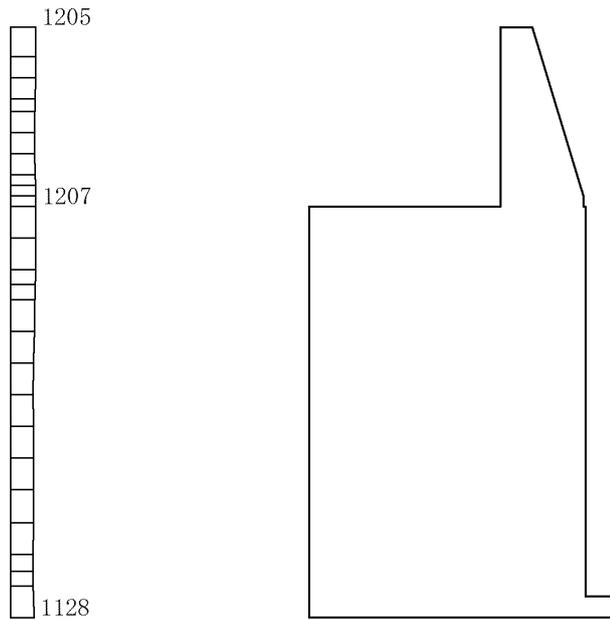
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-2 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



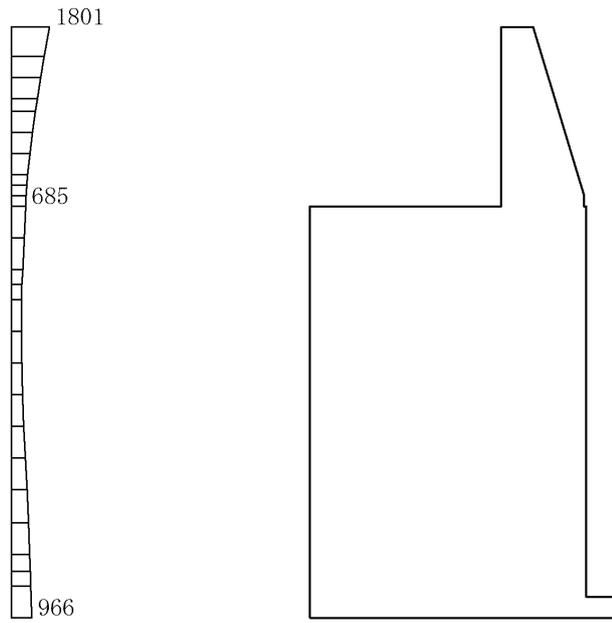
(a) S s - D (-+) 水平



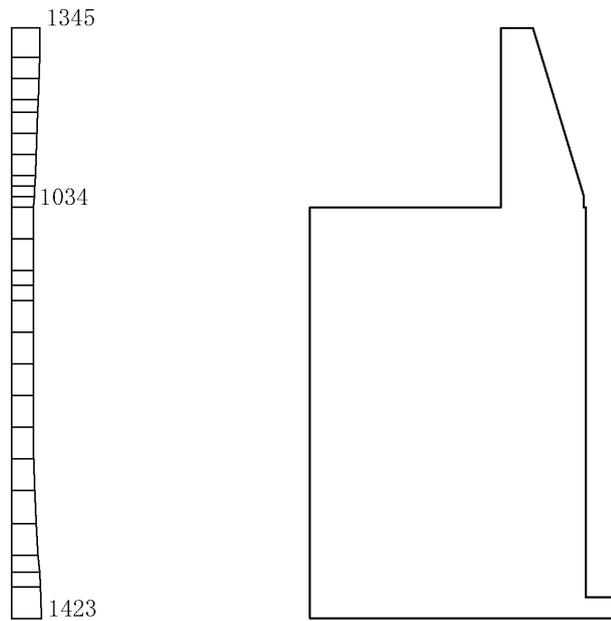
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-3 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



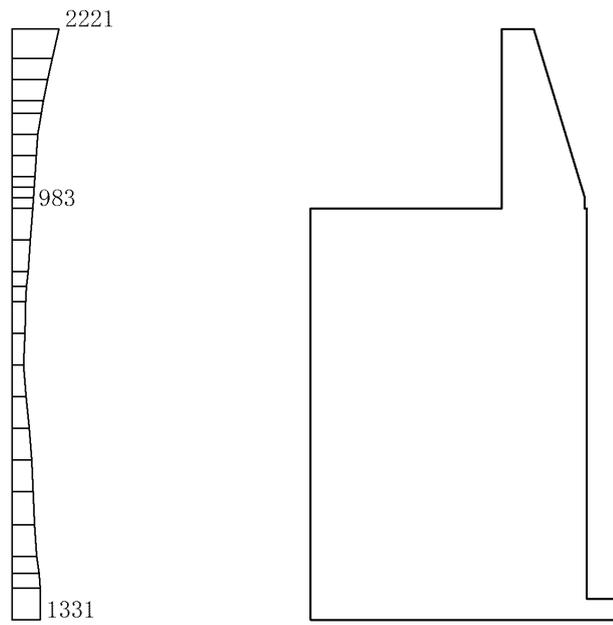
(a) S s - D (+-) 水平



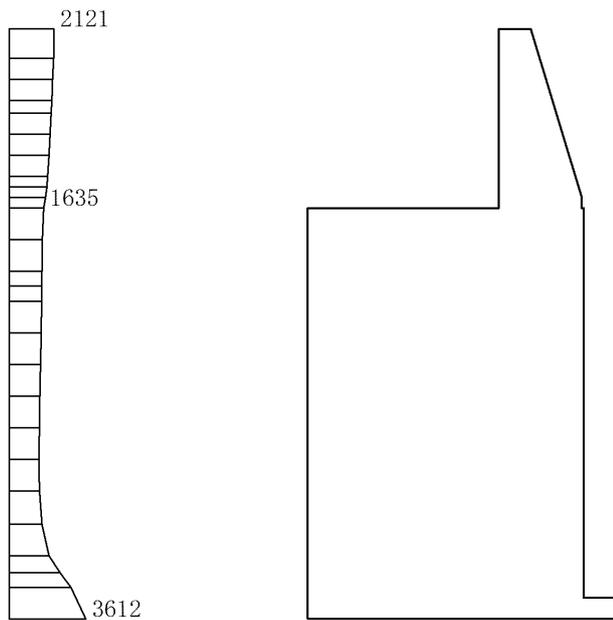
(b) S s - D (+-) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-4 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



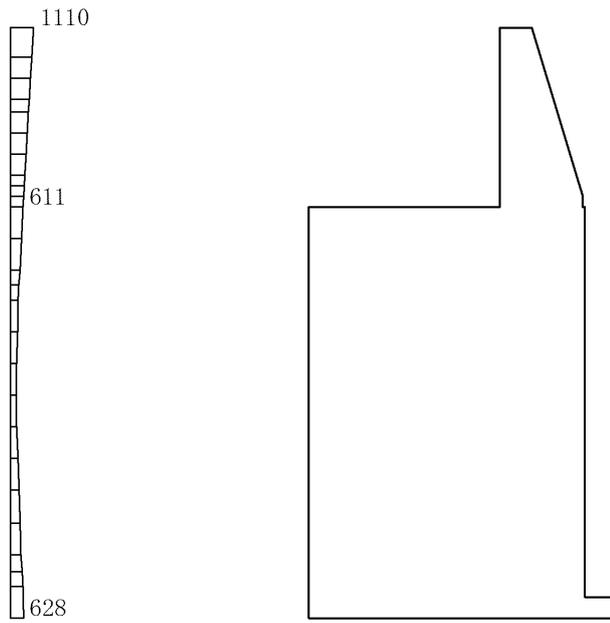
(a) S s - D (--) 水平



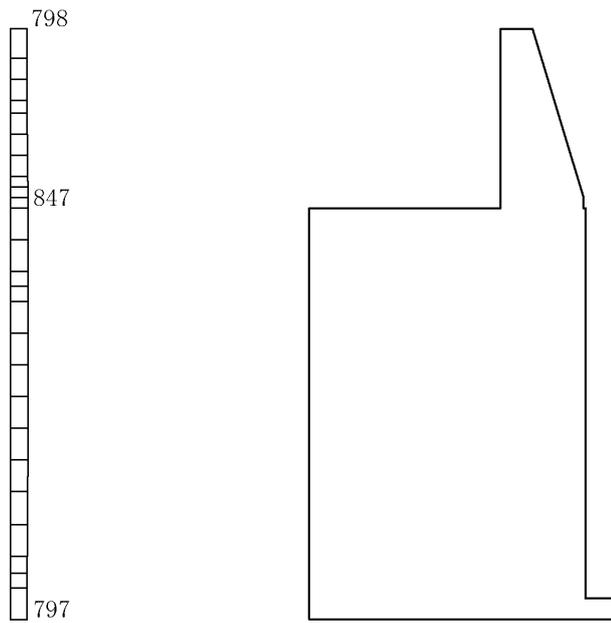
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-5 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



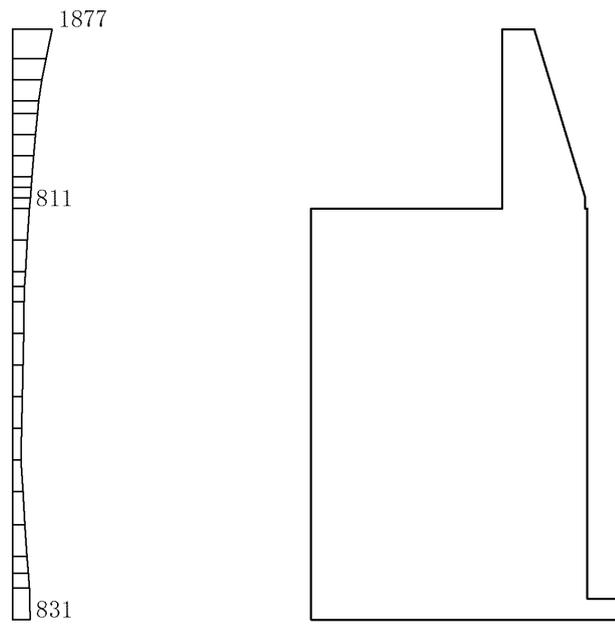
(a) S s - F 1 (++) 水平



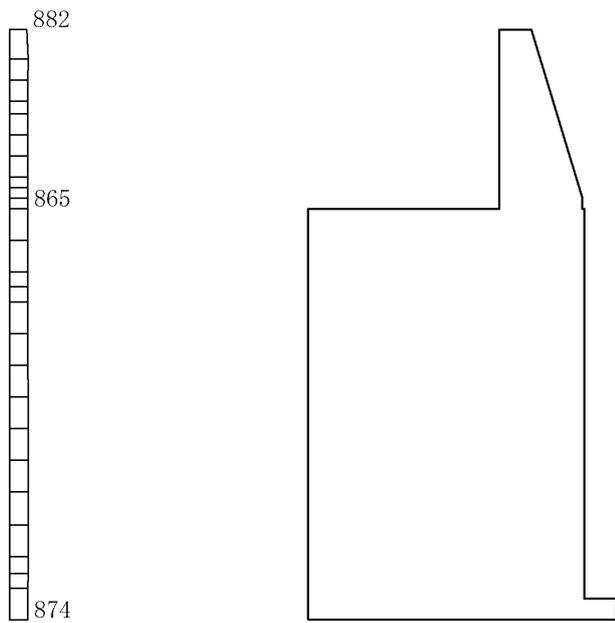
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0.1(m) 応答値スケール 0.2000(cm/s²)

図 4-6 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



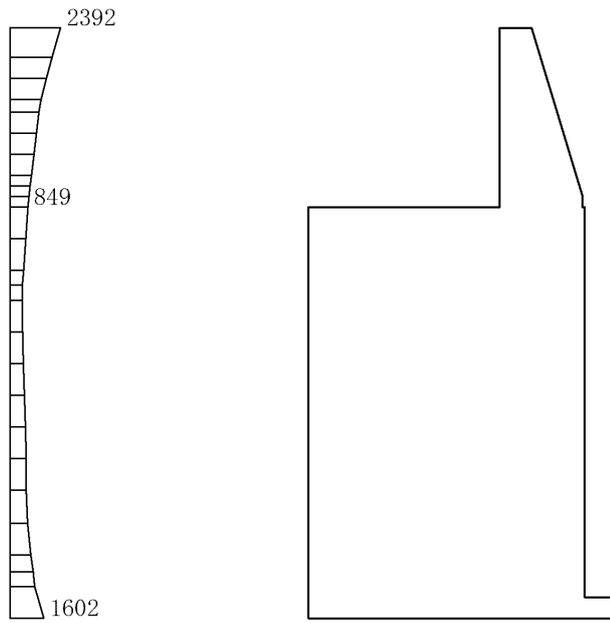
(a) $S_s - F_2 (++)$ 水平



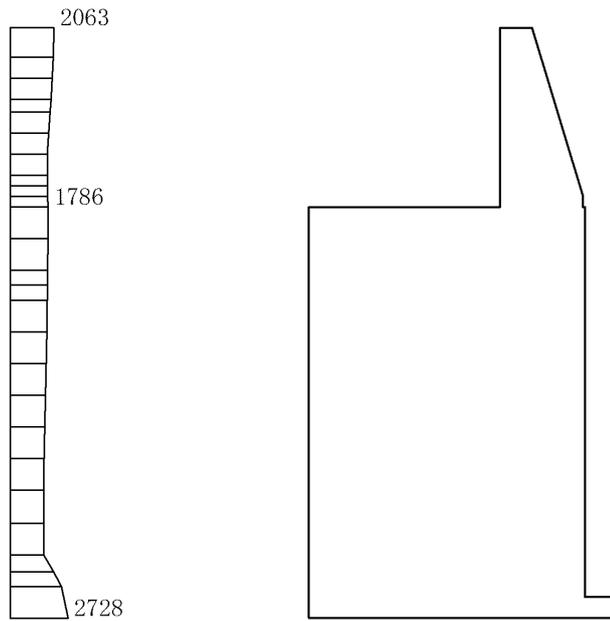
(b) $S_s - F_2 (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-7 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



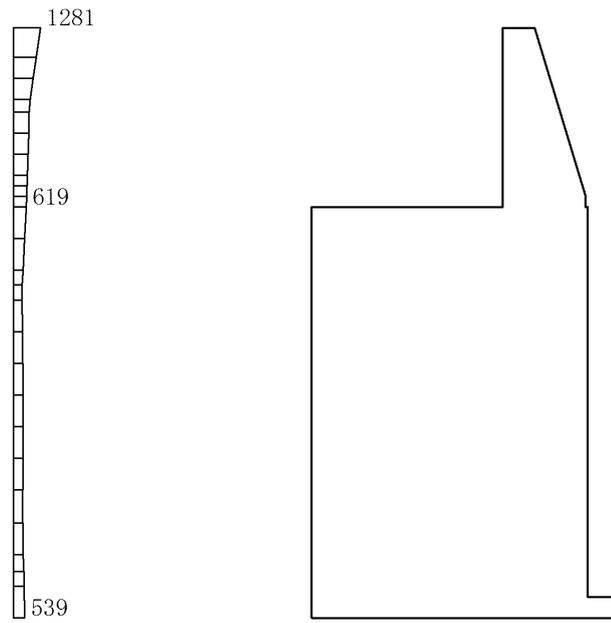
(a) S s - N 1 (++) 水平



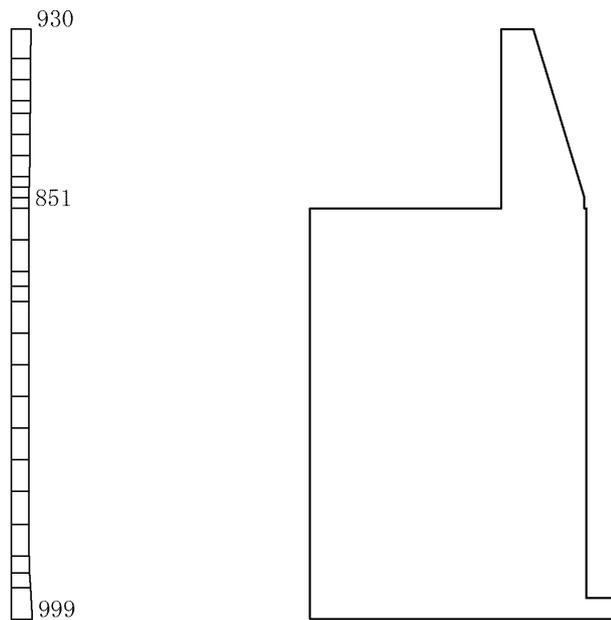
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-8 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



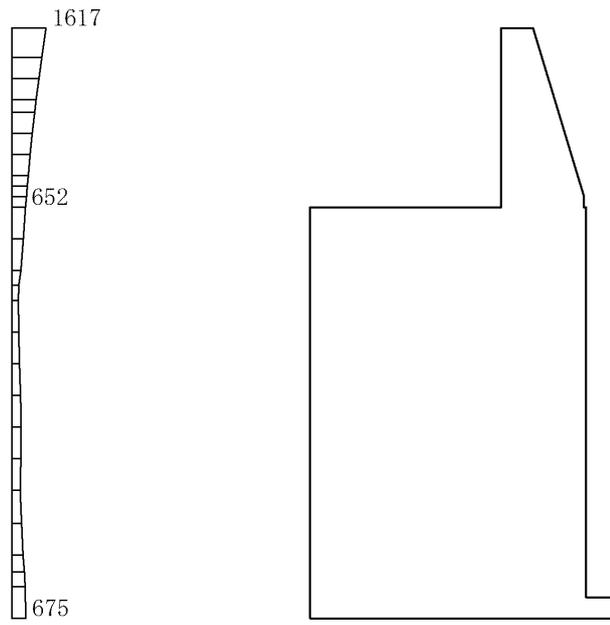
(a) S s - N 1 (- +) 水平



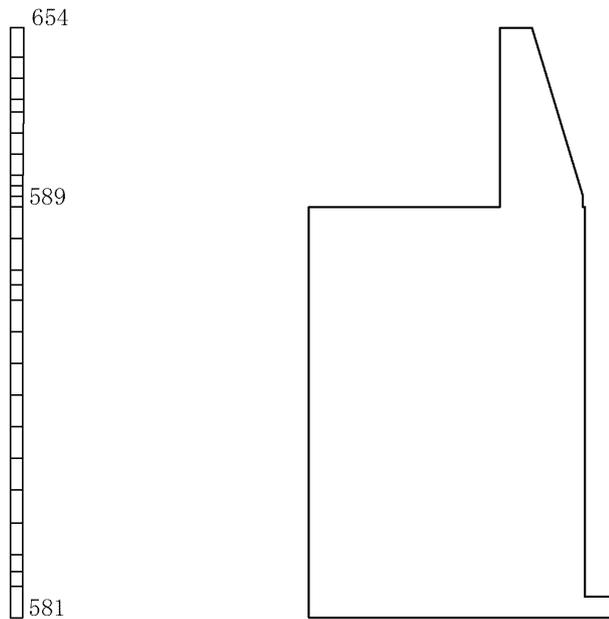
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-9 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



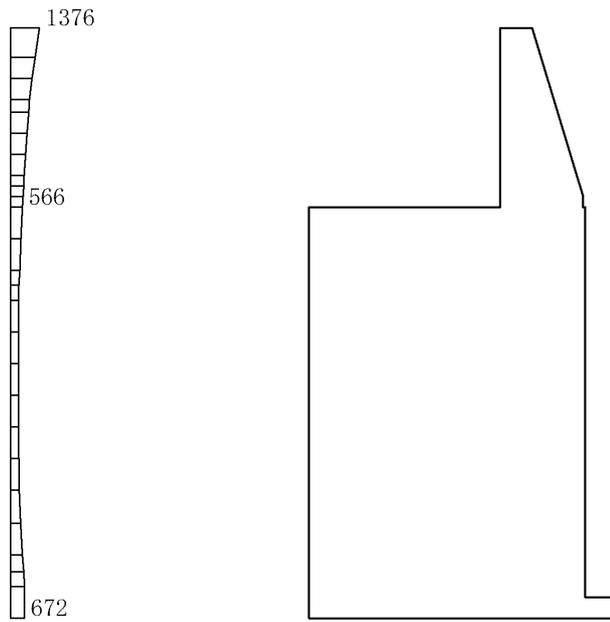
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 水平



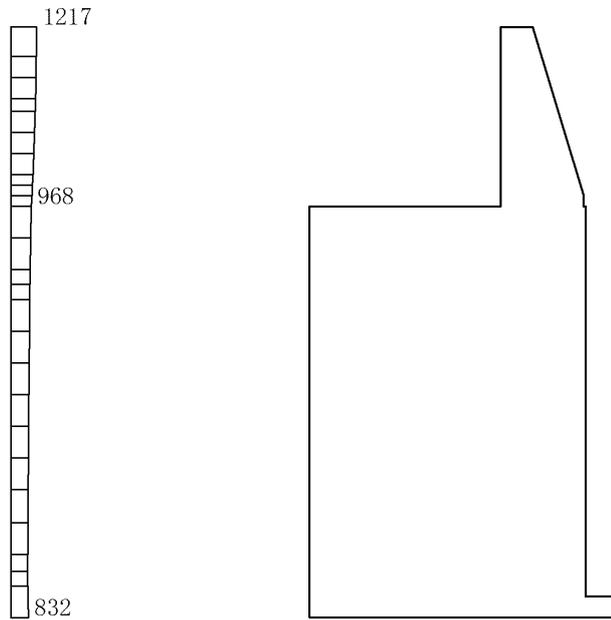
(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-10 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



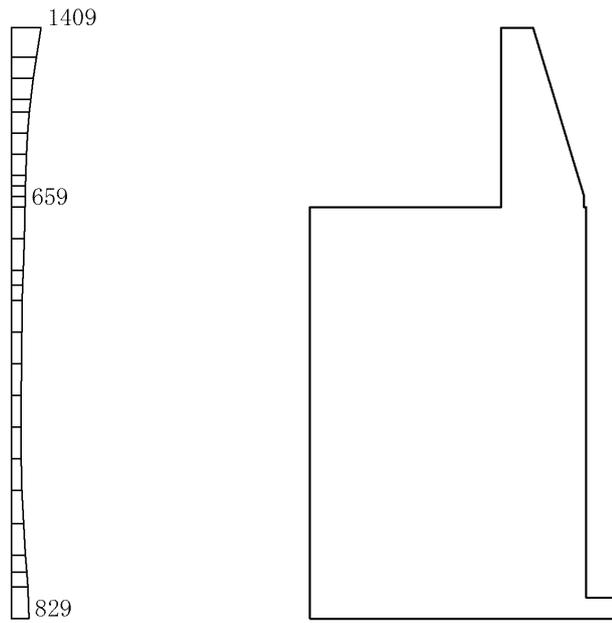
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



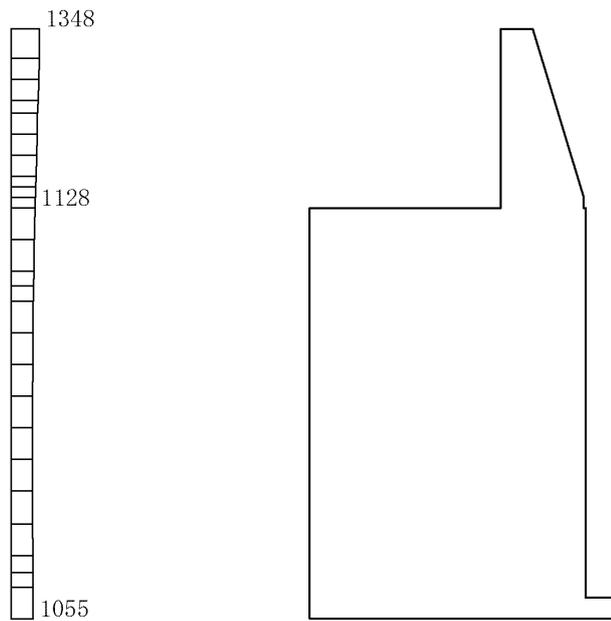
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-11 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



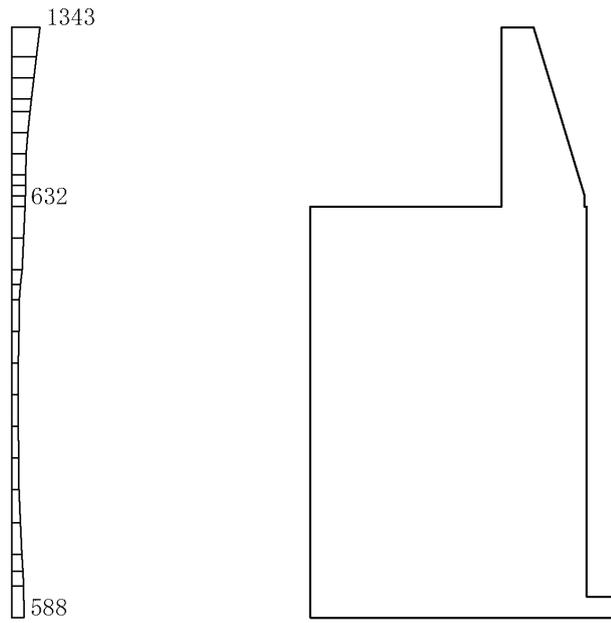
(a) $S_s - N_2 (EW) (++)$ 水平



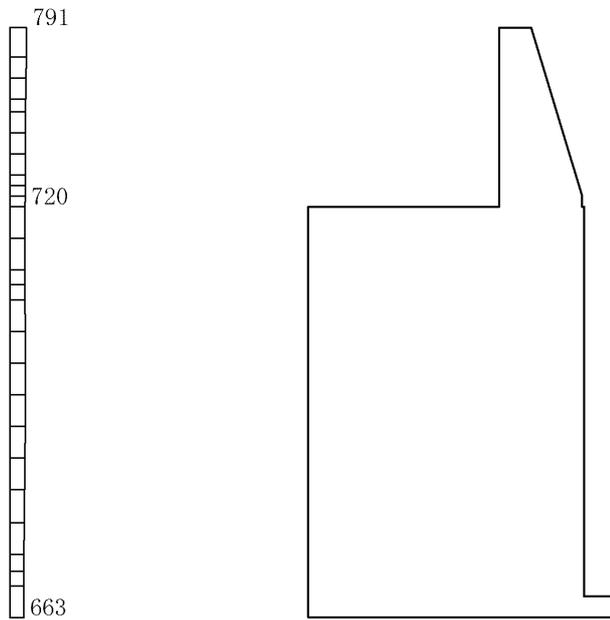
(b) $S_s - N_2 (EW) (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000 (cm/s^2)$

図 4-12 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



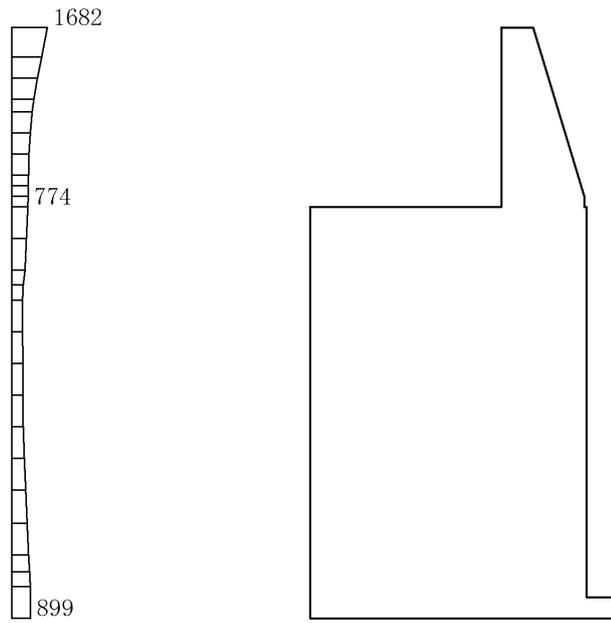
(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平



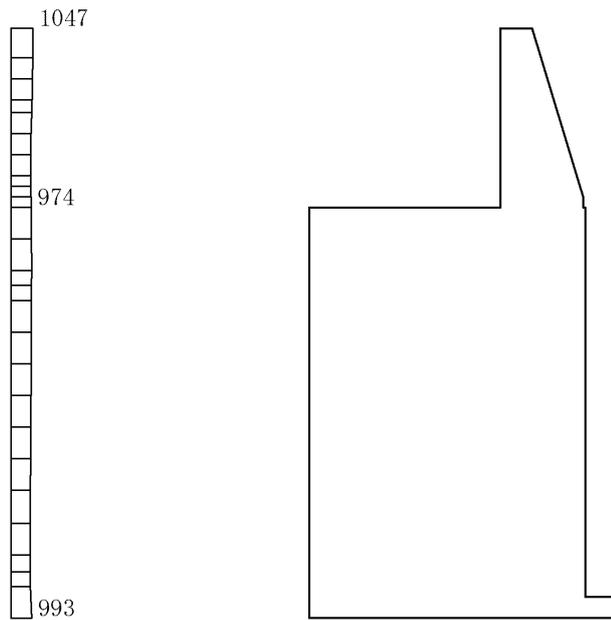
(b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-13 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



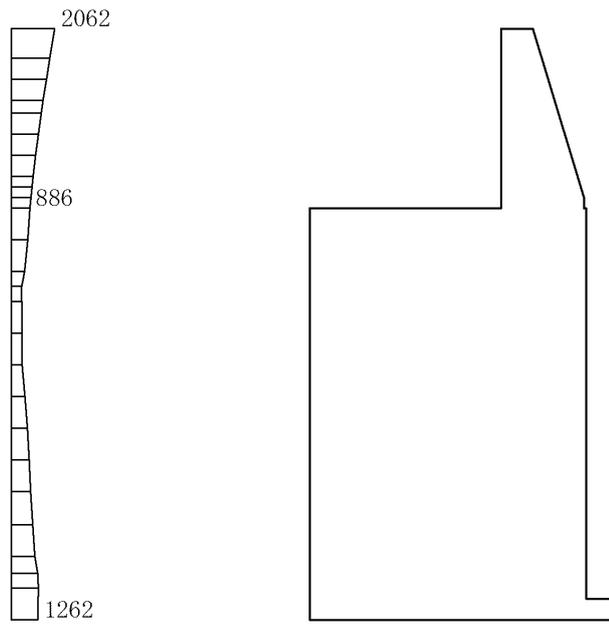
(a) S s - D (++) 水平



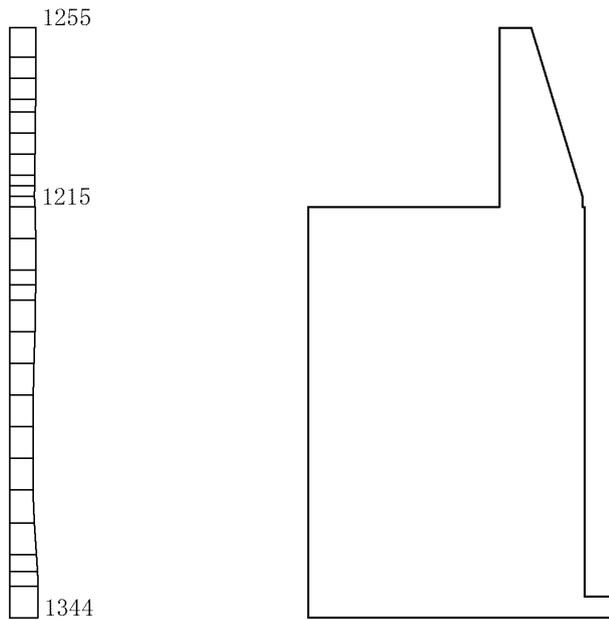
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-14 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



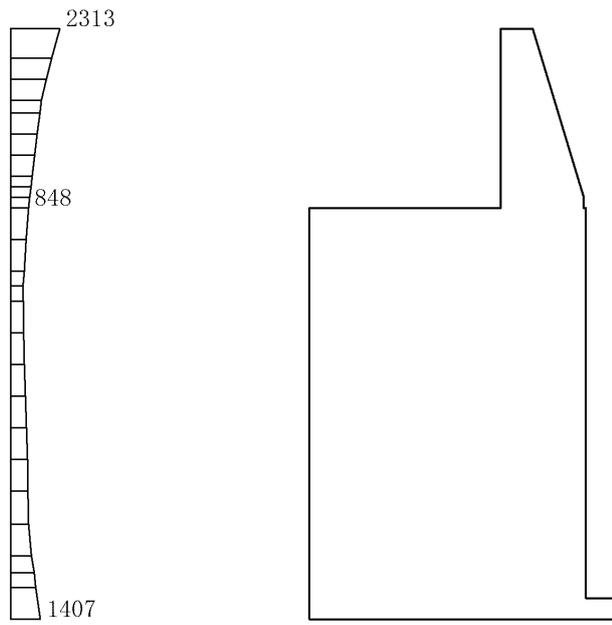
(a) S s - D (-+) 水平



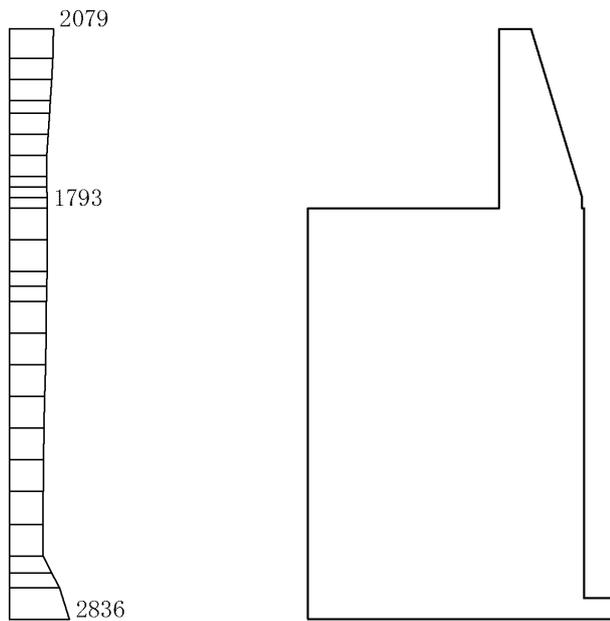
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-15 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



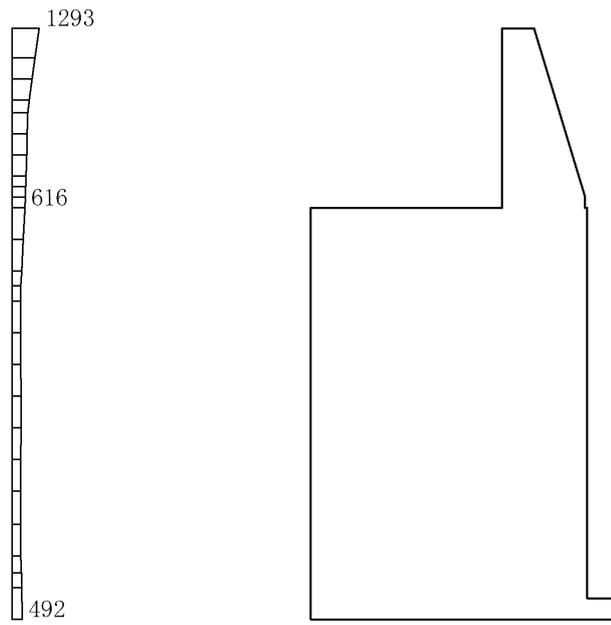
(a) S s - N 1 (++) 水平



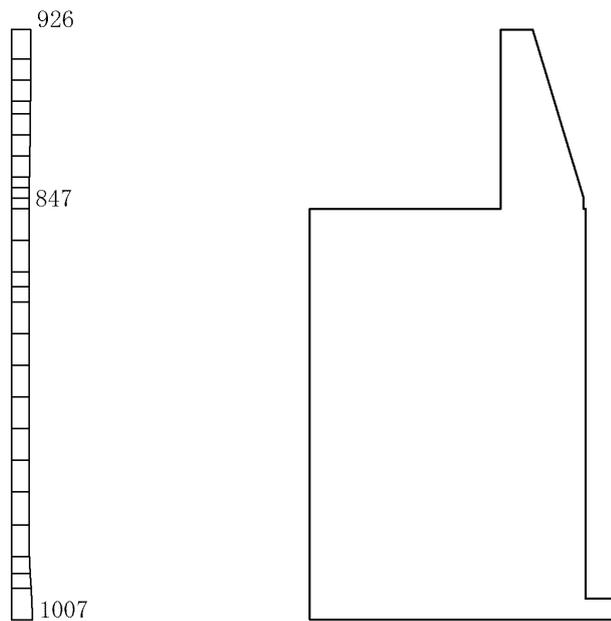
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0.1(m) 応答値スケール 0.2000(cm/s²)

図 4-16 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



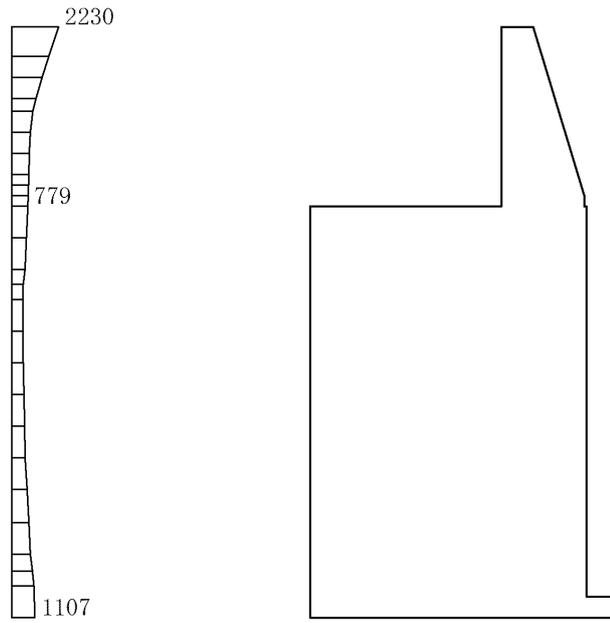
(a) S s - N 1 (- +) 水平



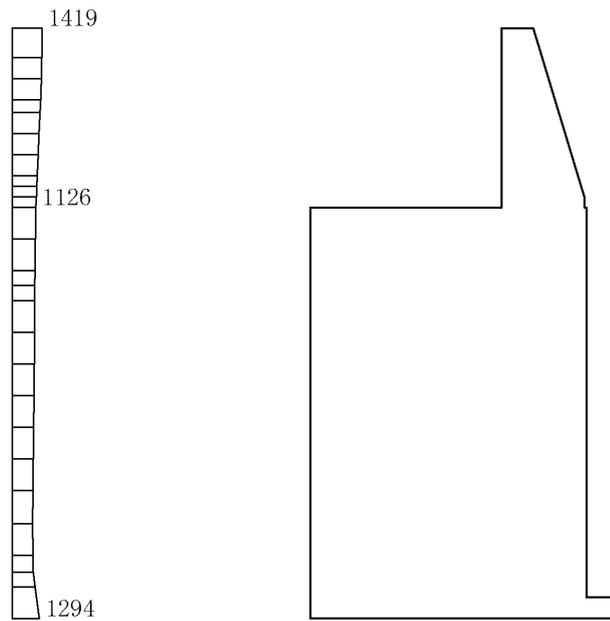
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-17 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



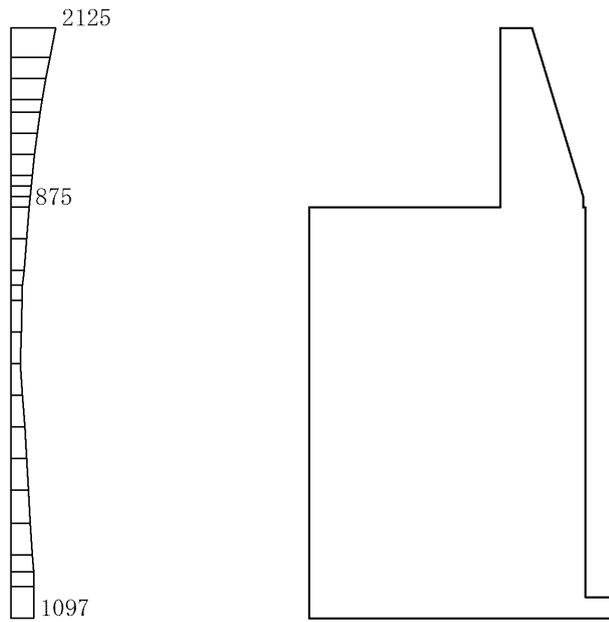
(a) S s - D (++) 水平



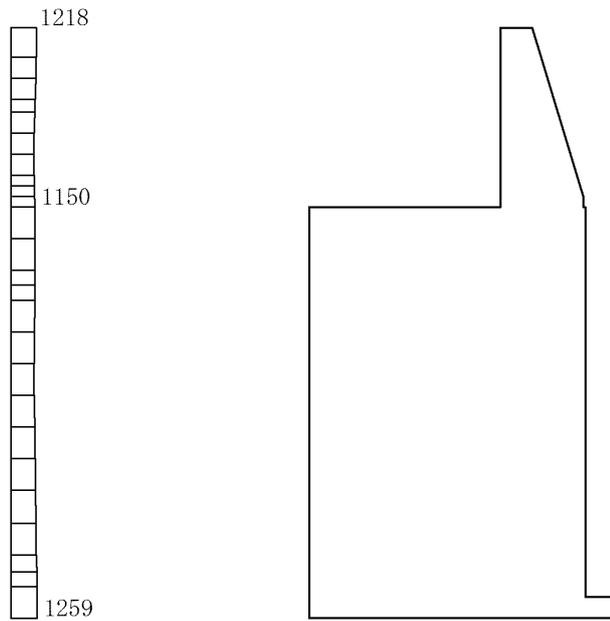
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-18 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



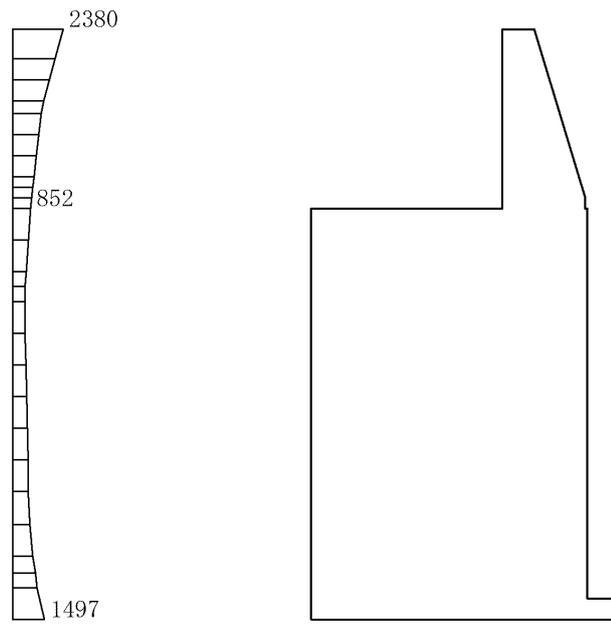
(a) S s - D (-+) 水平



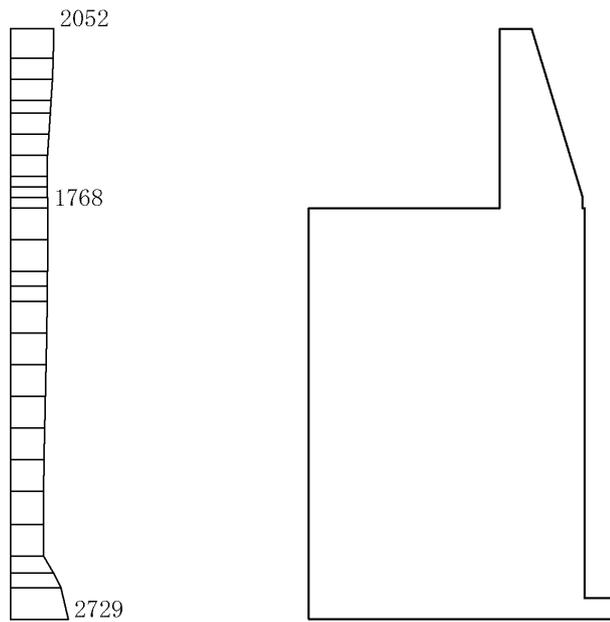
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-19 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



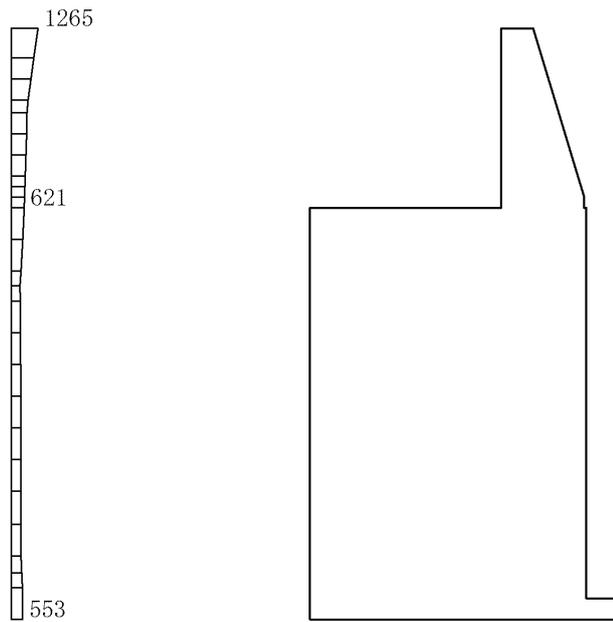
(a) S s - N 1 (++) 水平



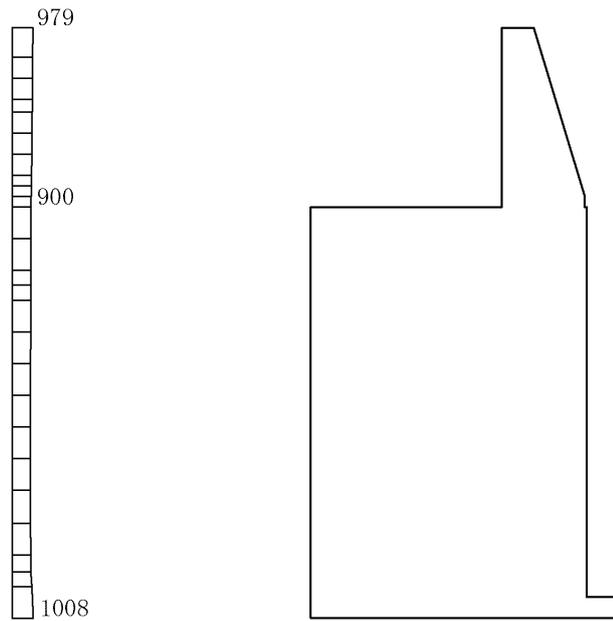
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-20 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



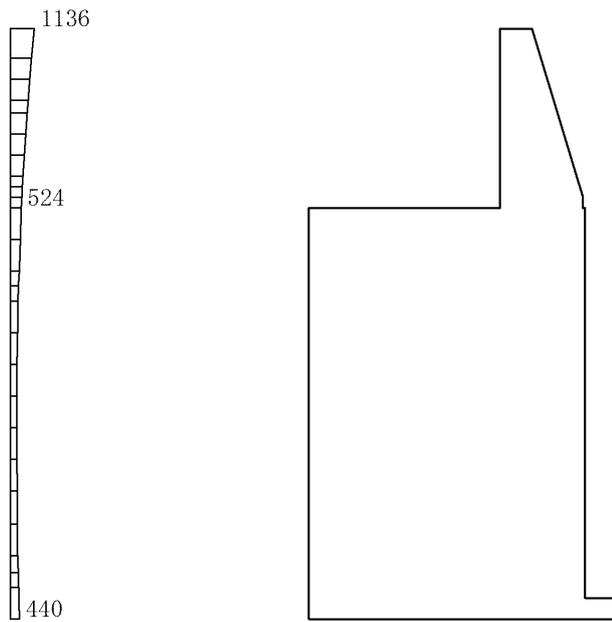
(a) S s - N 1 (- +) 水平



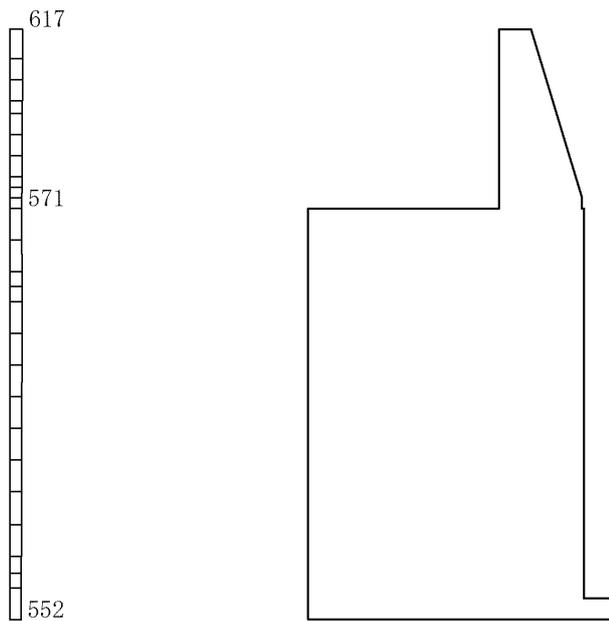
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0.1(m) 応答値スケール 0.2000(cm/s²)

図 4-21 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



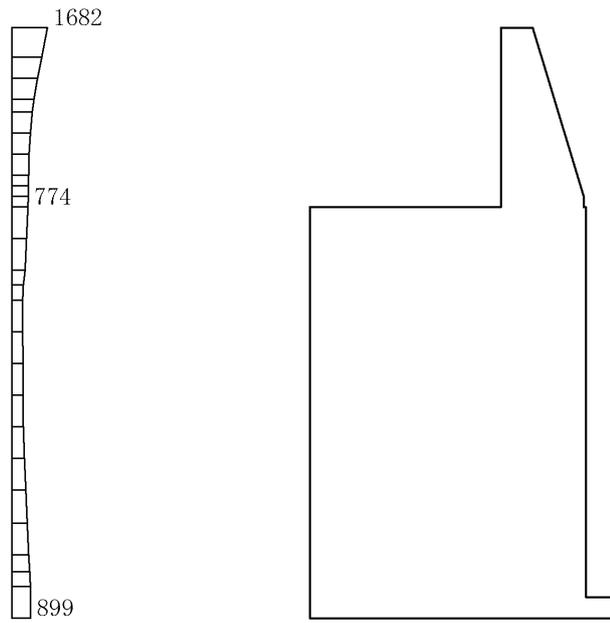
(a) S d - D (++) 水平



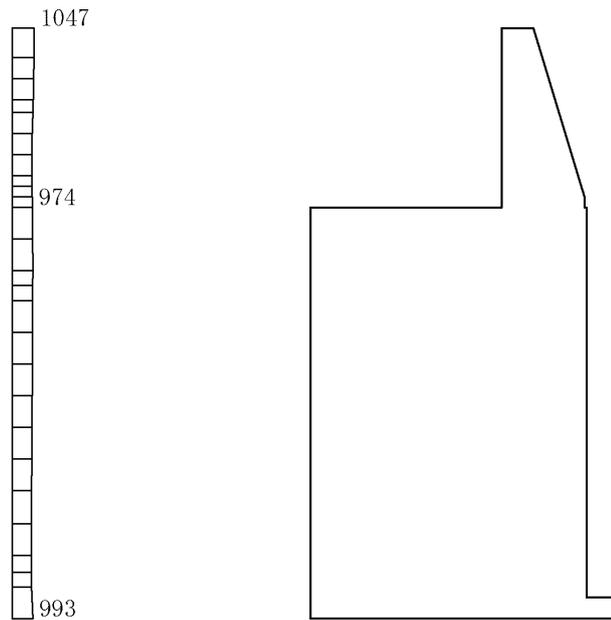
(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-22 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



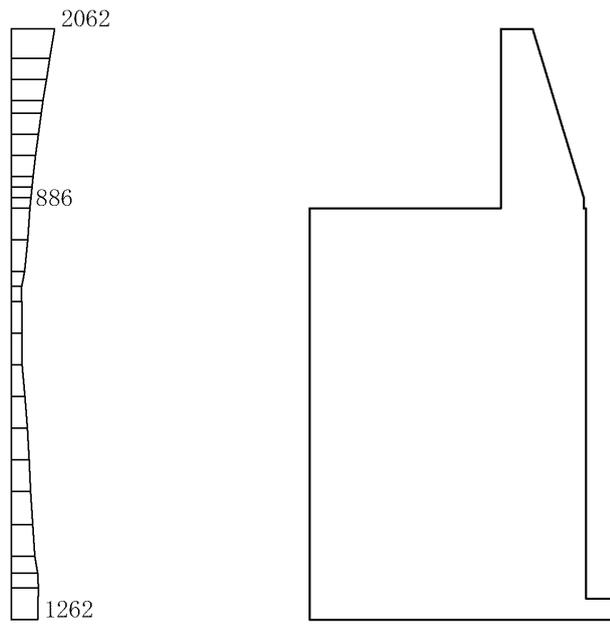
(a) S s - D (++) 水平



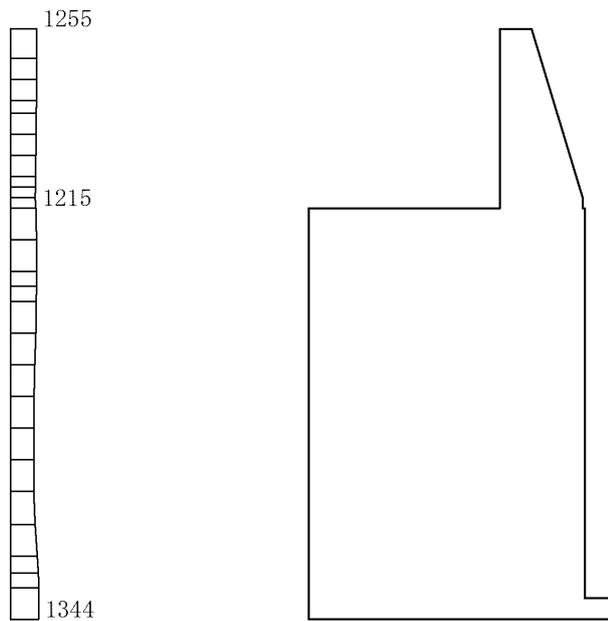
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-23 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



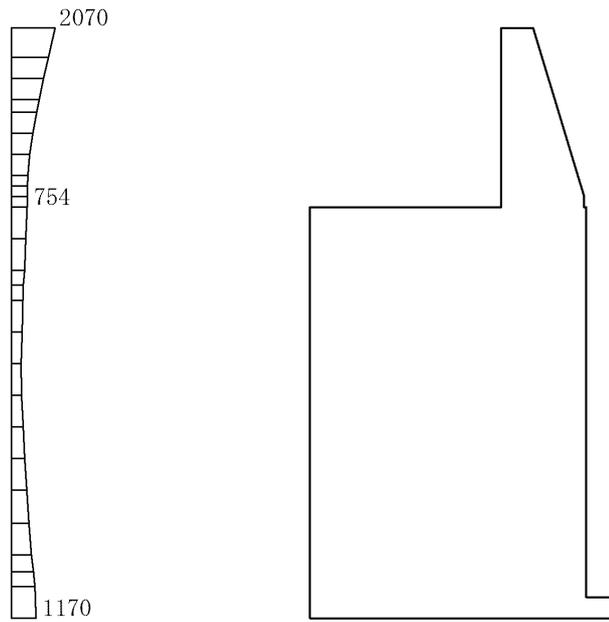
(a) S s - D (-+) 水平



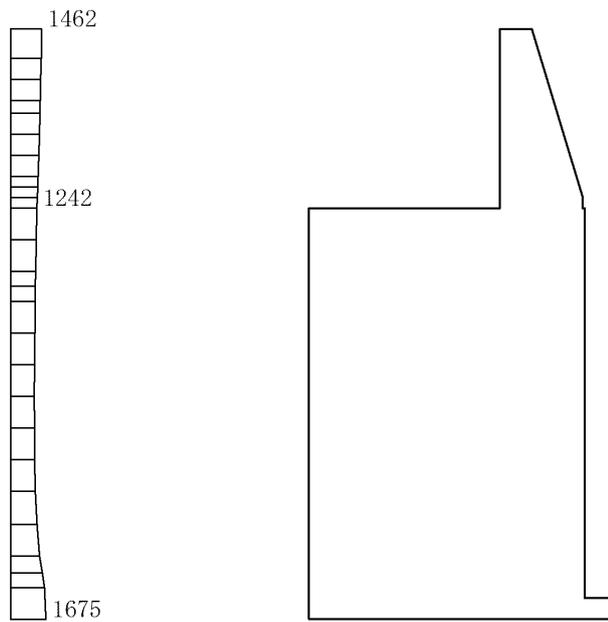
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-24 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



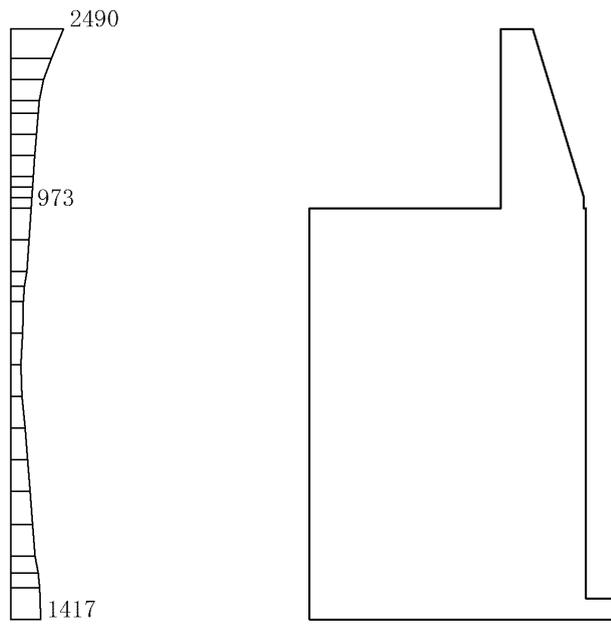
(a) S s - D (+-) 水平



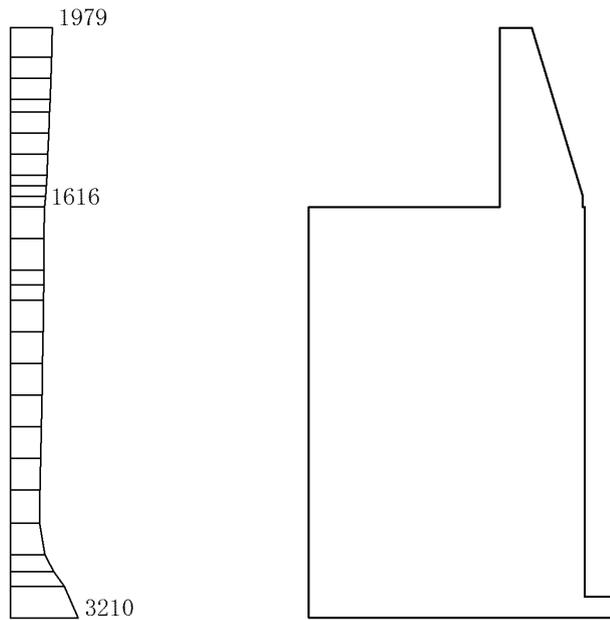
(b) S s - D (+-) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-25 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



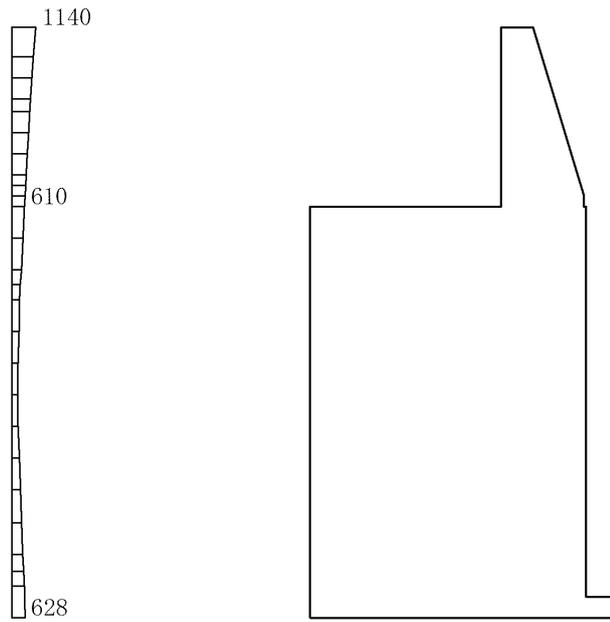
(a) S s - D (--) 水平



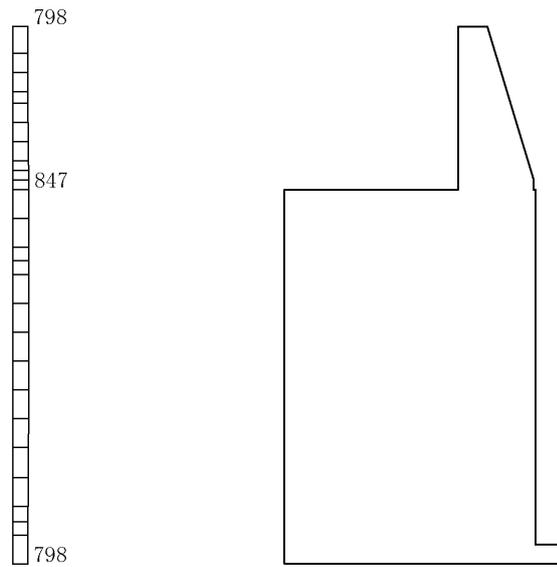
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-26 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



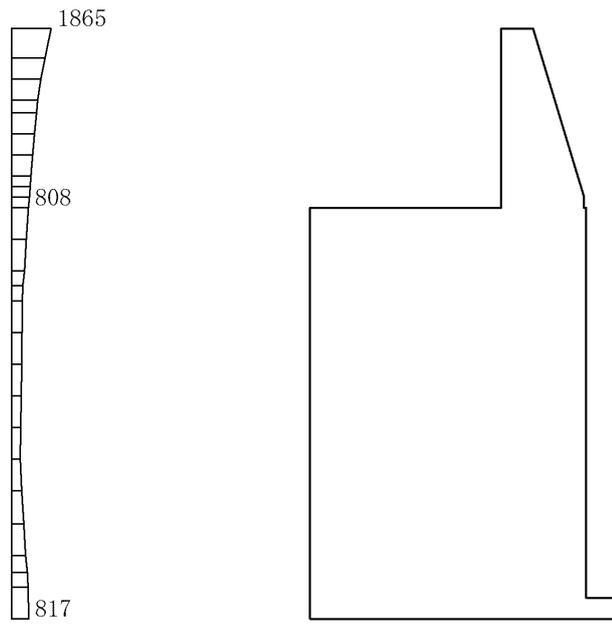
(a) S s - F 1 (++) 水平



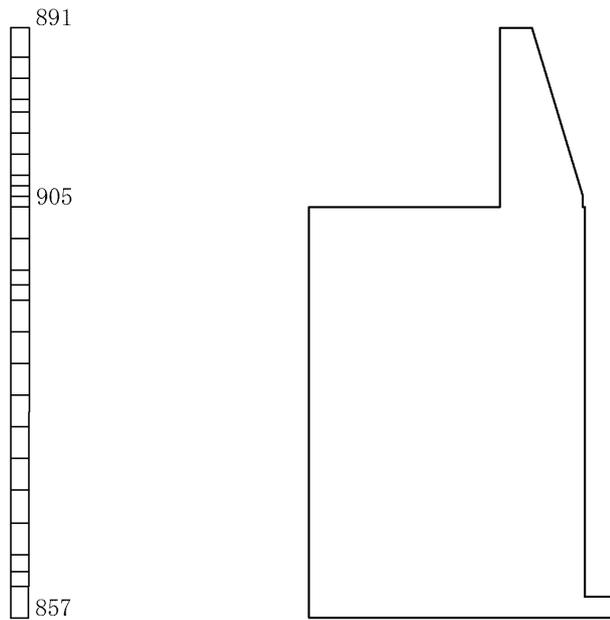
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-27 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



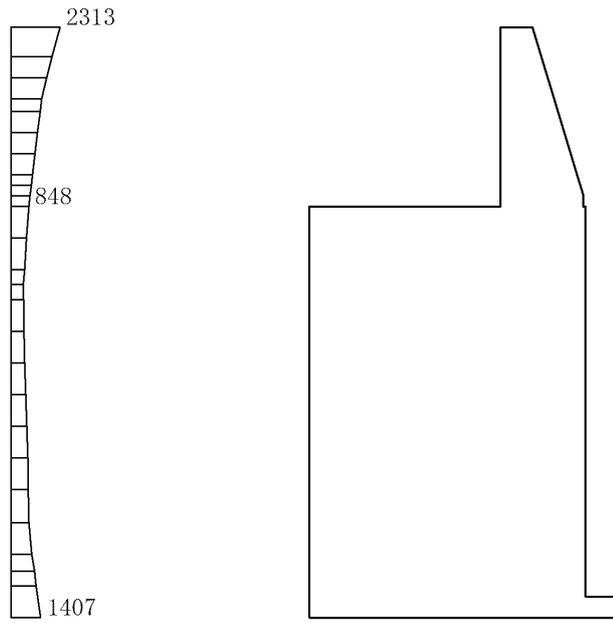
(a) $S_s - F_2 (++)$ 水平



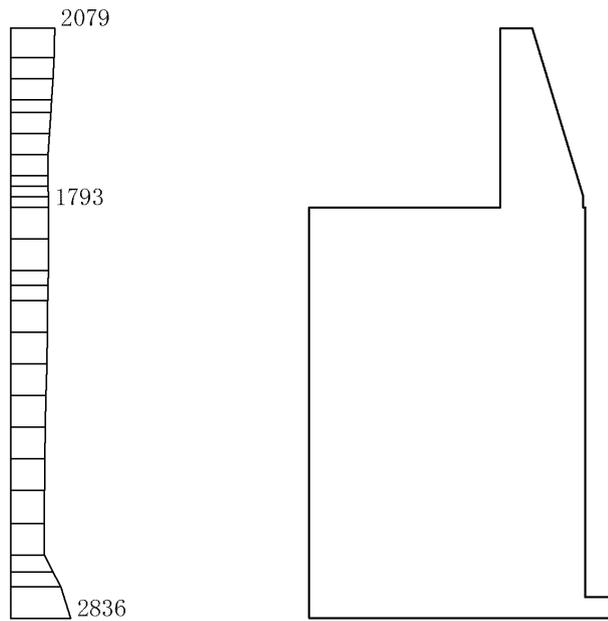
(b) $S_s - F_2 (++)$ 鉛直

構造スケール 0.1(m) 応答値スケール 0.2000(cm/s²)

図 4-28 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



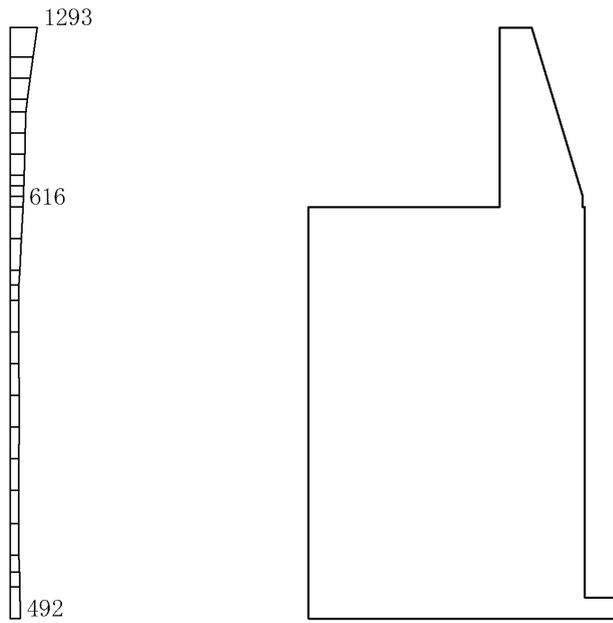
(a) S s - N 1 (++) 水平



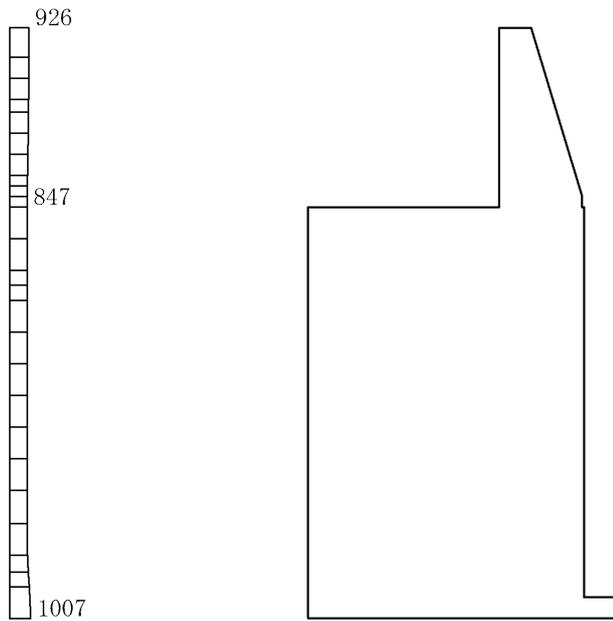
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-29 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



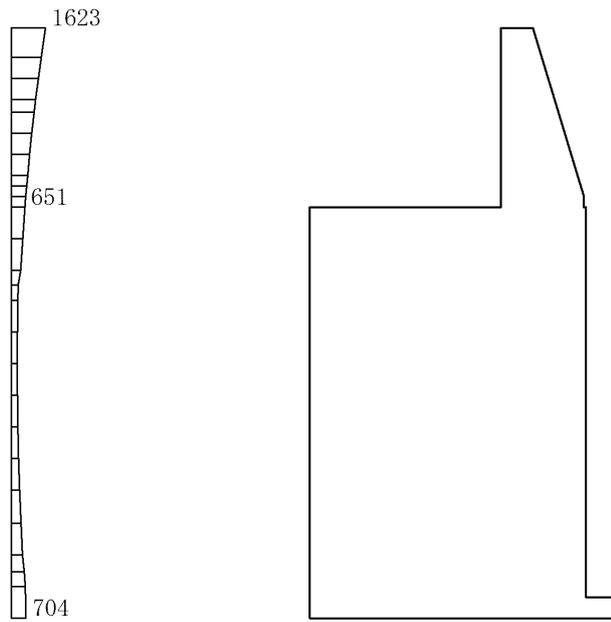
(a) S s - N 1 (- +) 水平



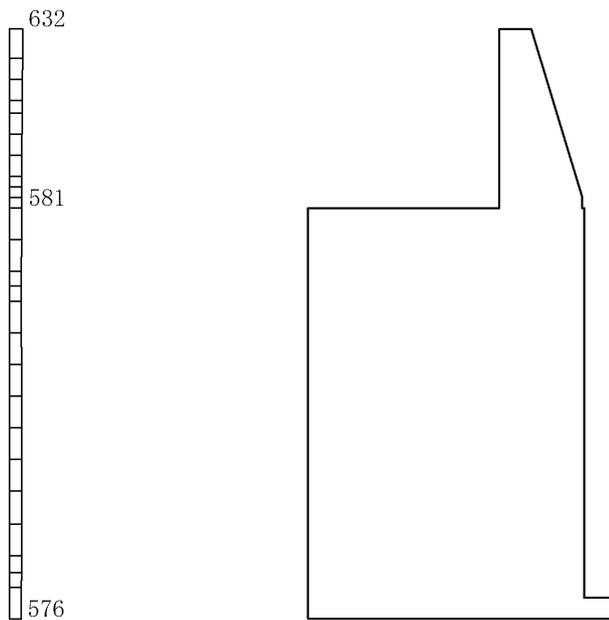
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-30 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



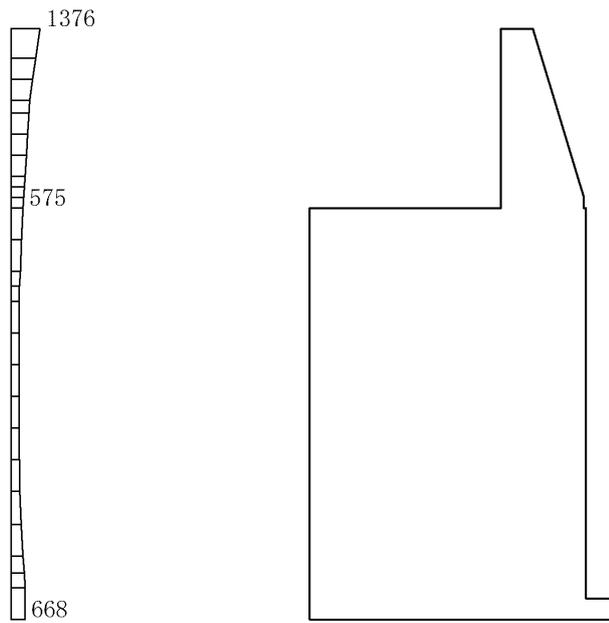
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 水平



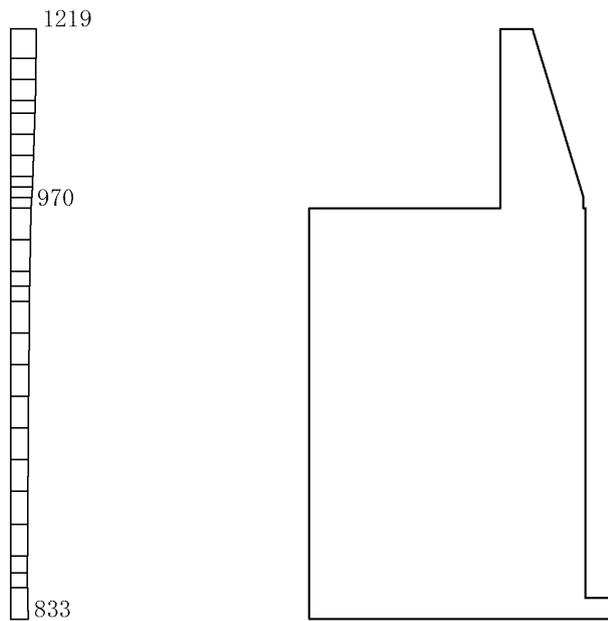
(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-31 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



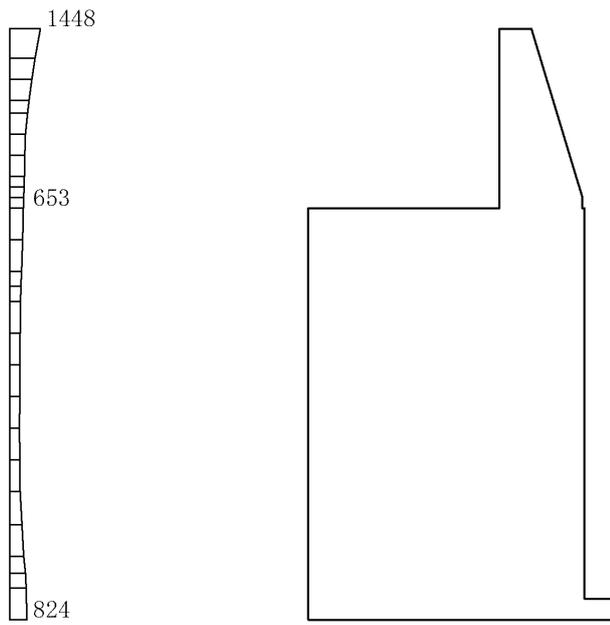
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



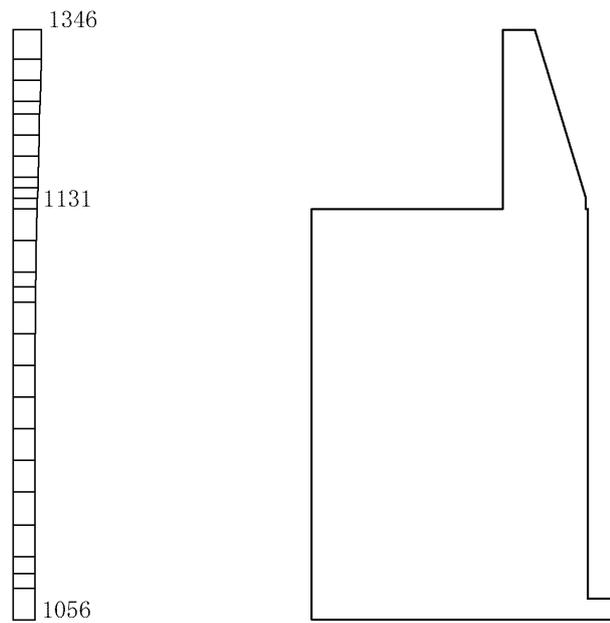
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-32 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



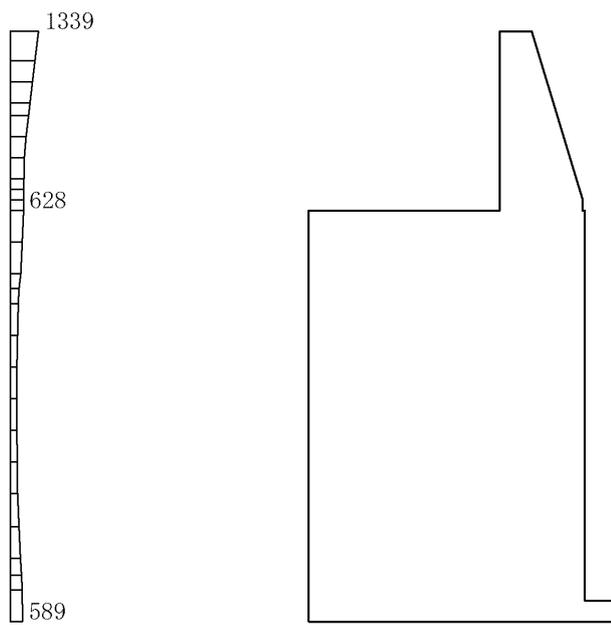
(a) S s - N 2 (E W) (+ +) 水平



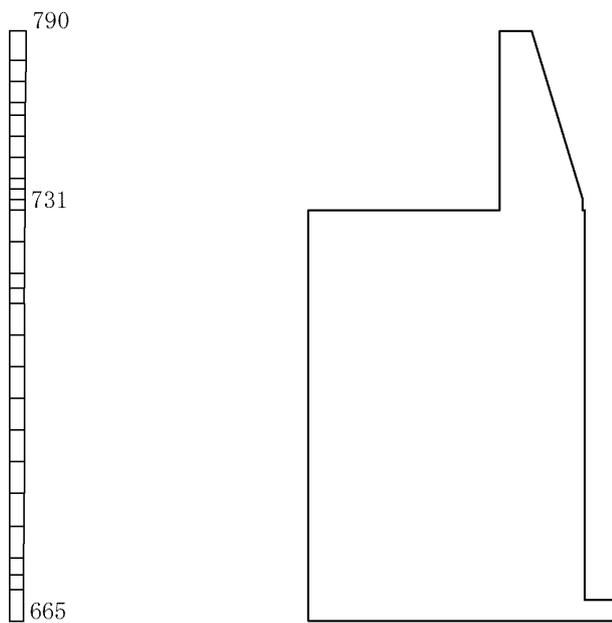
(b) S s - N 2 (E W) (+ +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-33 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



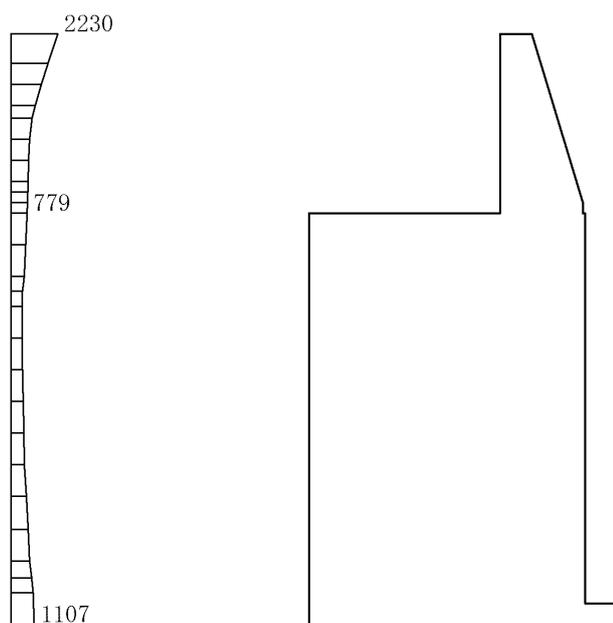
(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



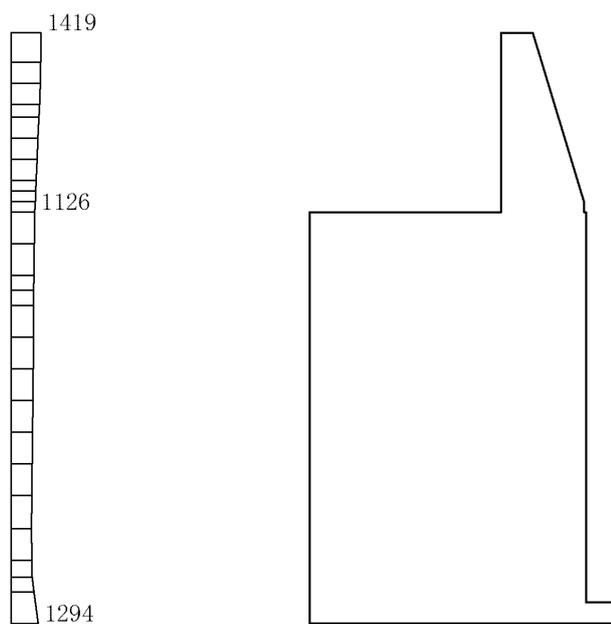
(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \sim 1$ (m) 応答値スケール $0 \sim 2000$ (cm/s^2)

図 4-34 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



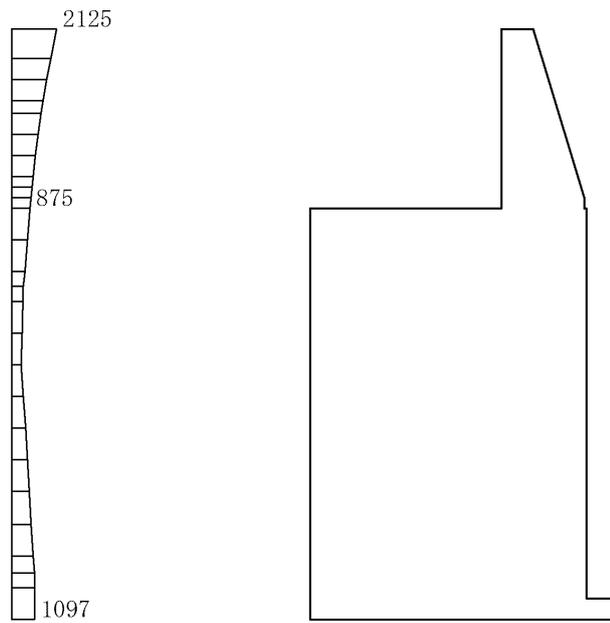
(a) S s - D (++) 水平



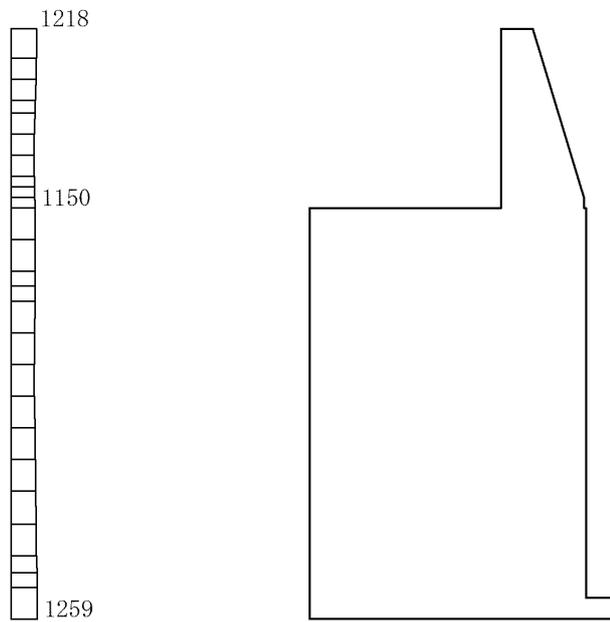
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-35 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



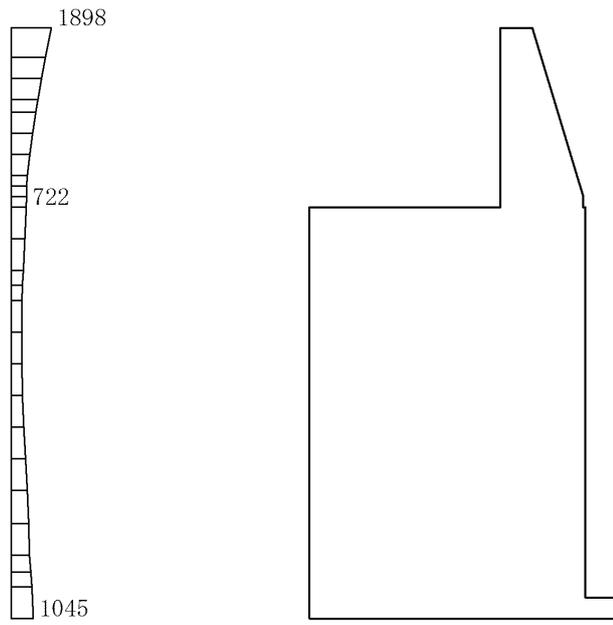
(a) $S_s - D (-+)$ 水平



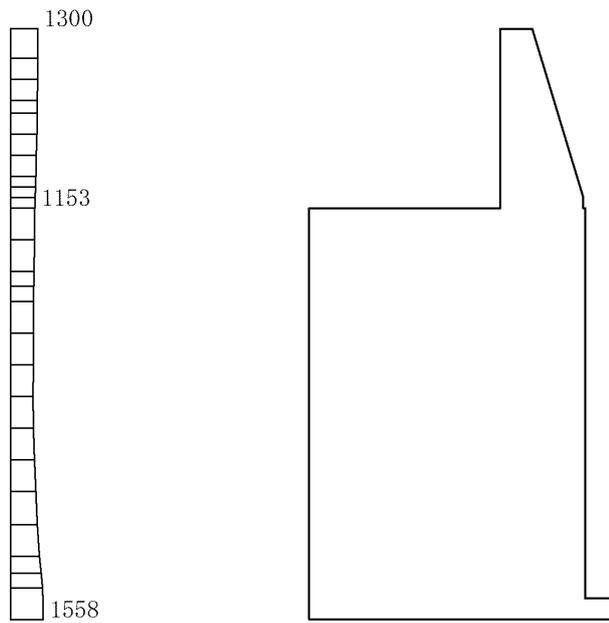
(b) $S_s - D (-+)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-36 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



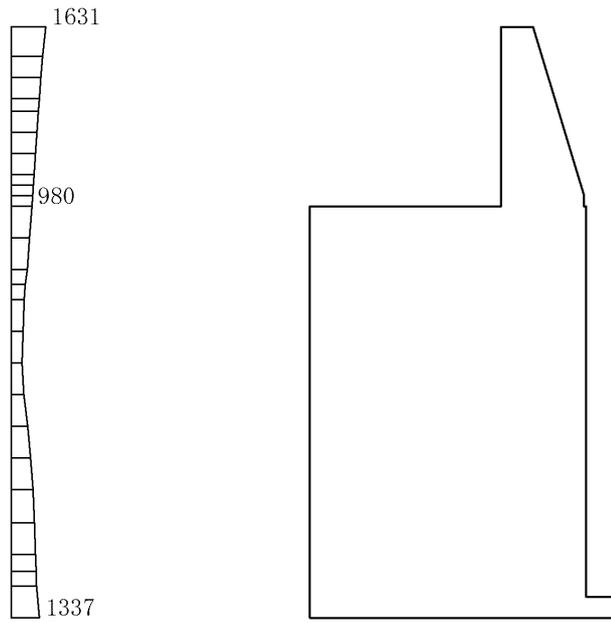
(a) S s - D (+ -) 水平



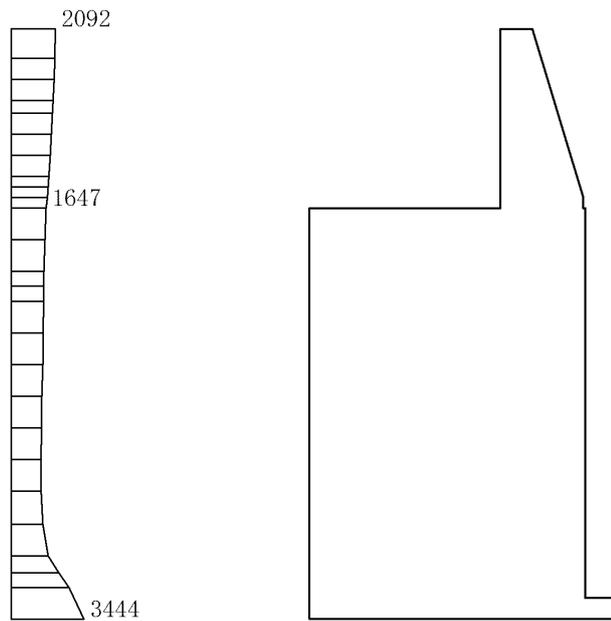
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-37 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



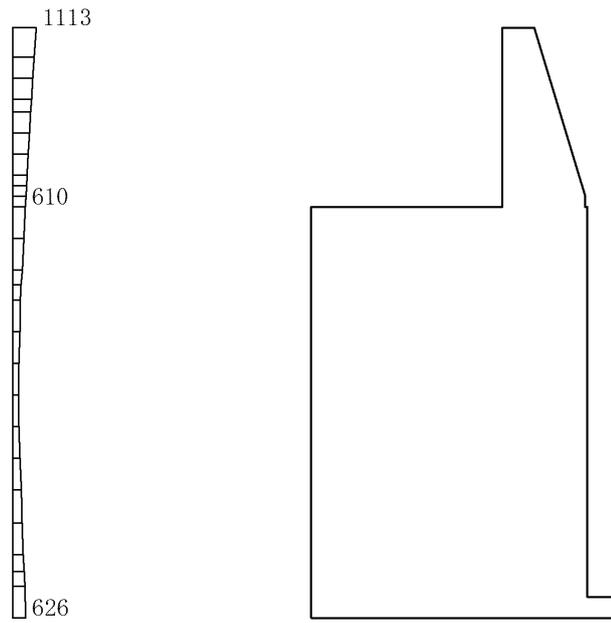
(a) S s - D (--) 水平



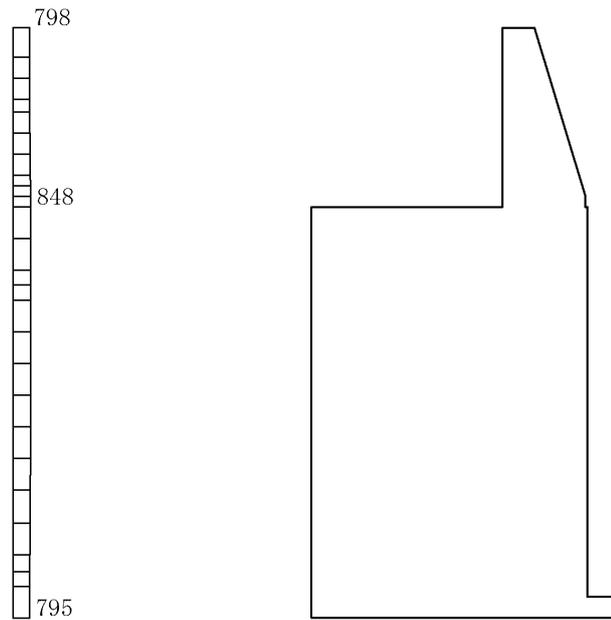
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-38 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



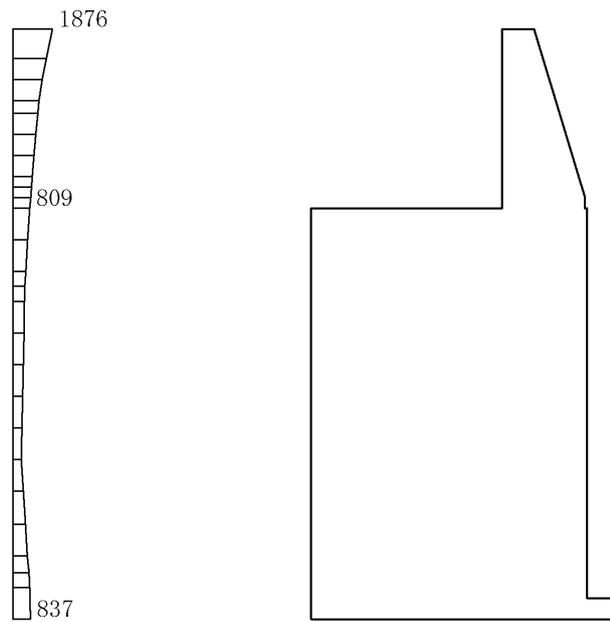
(a) S s - F 1 (++) 水平



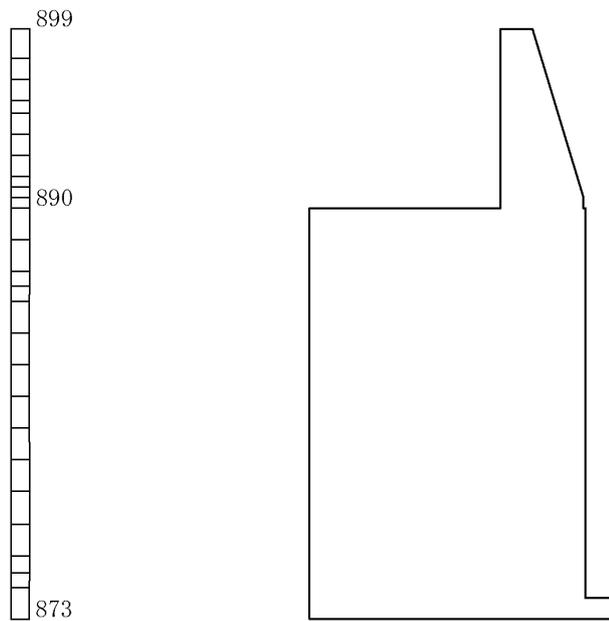
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0.1(m) 応答値スケール 0.2000(cm/s²)

図 4-39 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



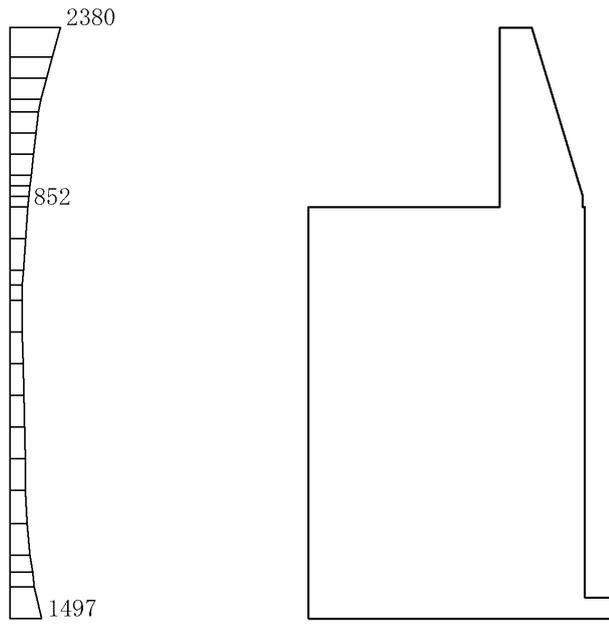
(a) S s - F 2 (++) 水平



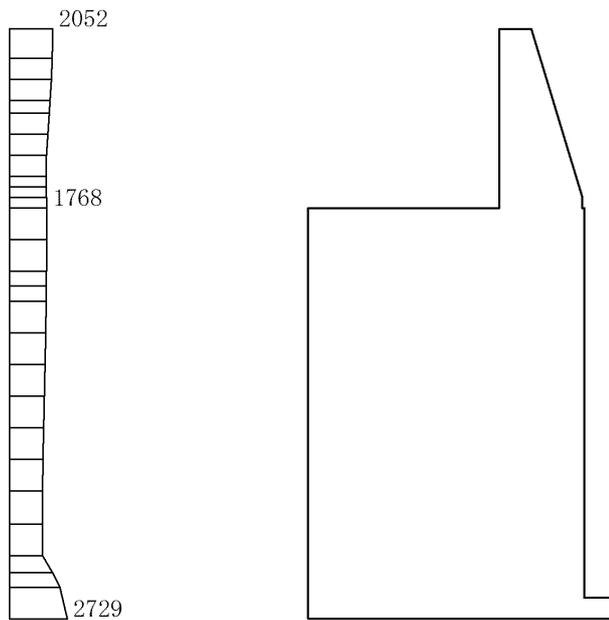
(b) S s - F 2 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-40 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



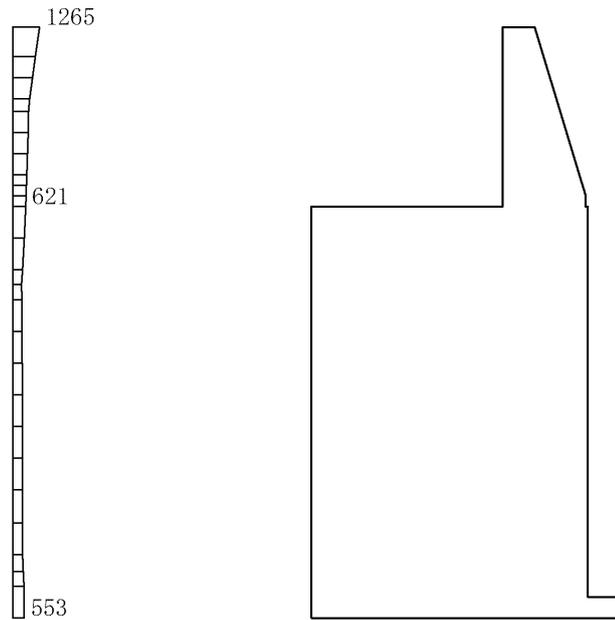
(a) S s - N 1 (++) 水平



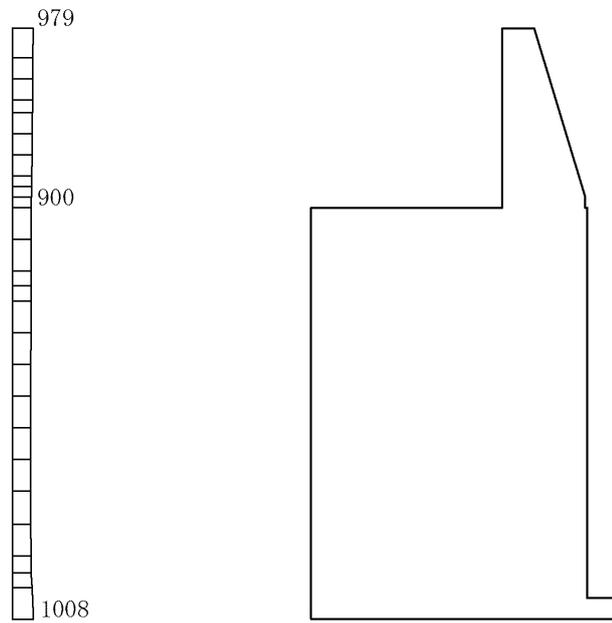
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-41 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



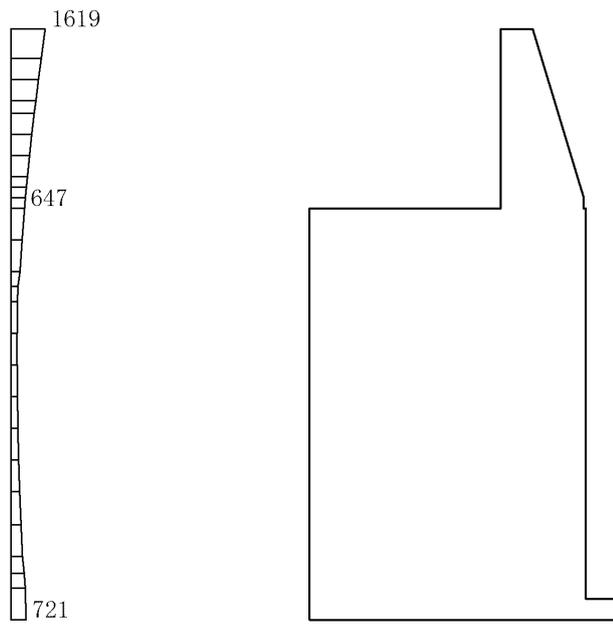
(a) S s - N 1 (- +) 水平



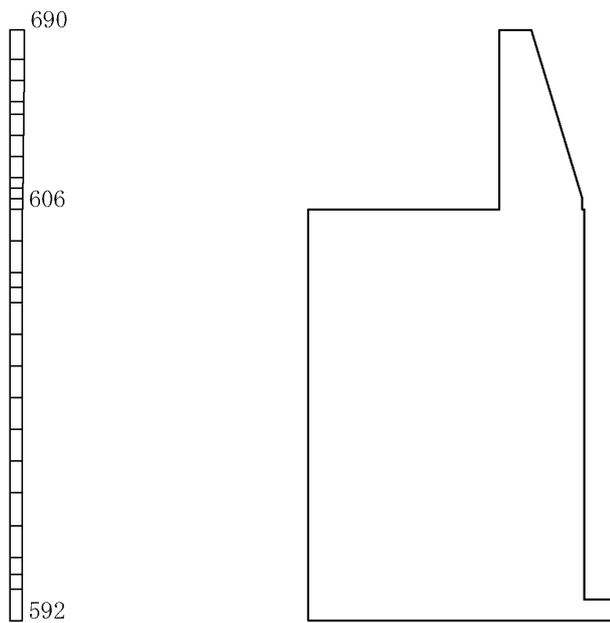
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 ~ 1(m) 応答値スケール 0 ~ 2000(cm/s²)

図 4-42 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



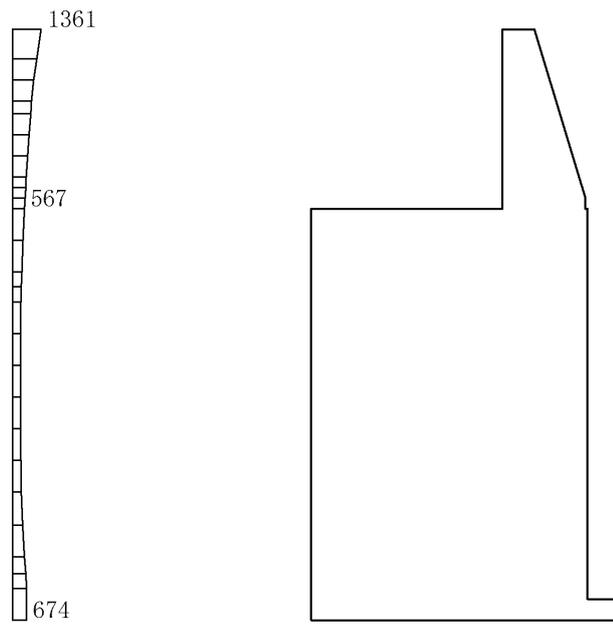
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 水平



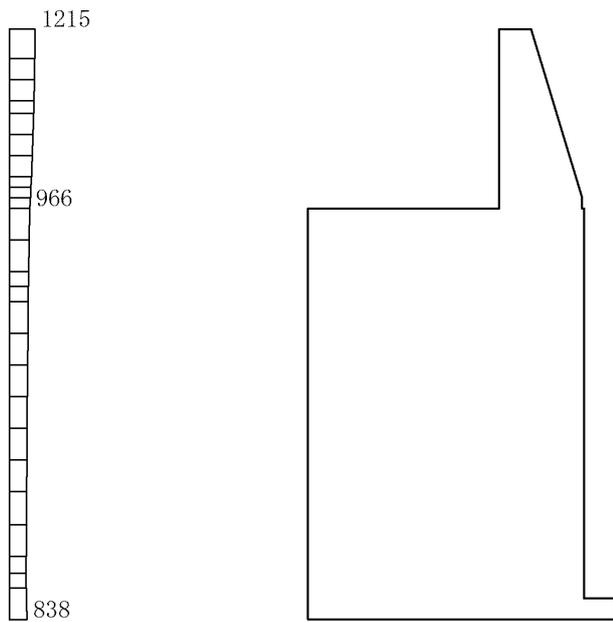
(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-43 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



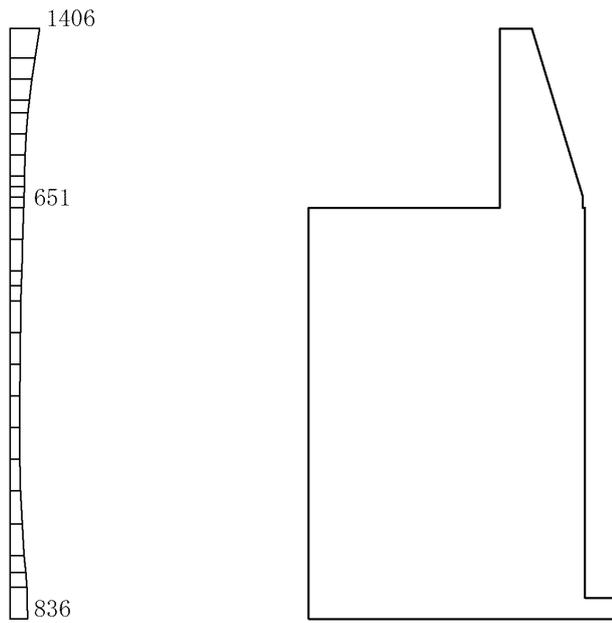
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



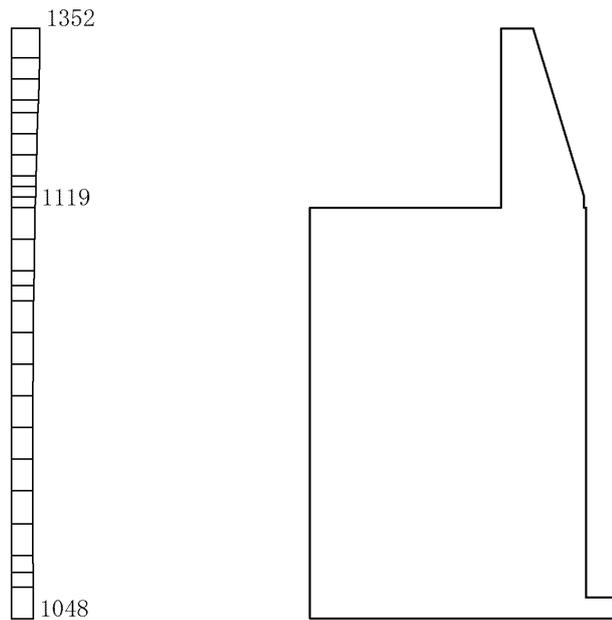
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-44 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



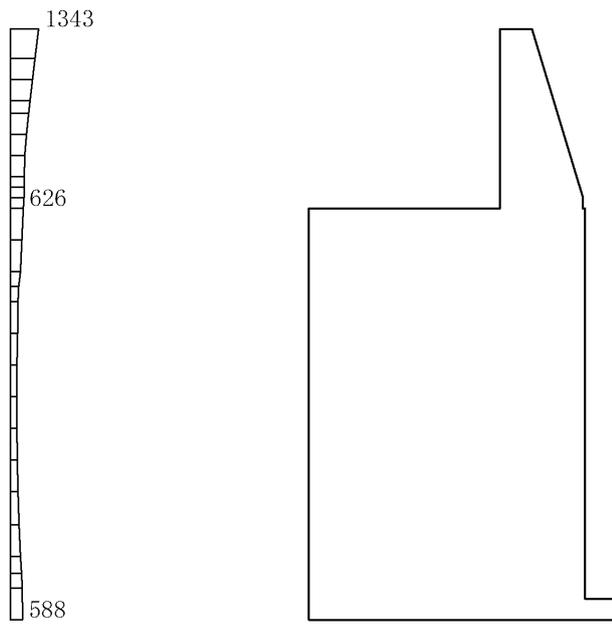
(a) S s - N 2 (E W) (+ +) 水平



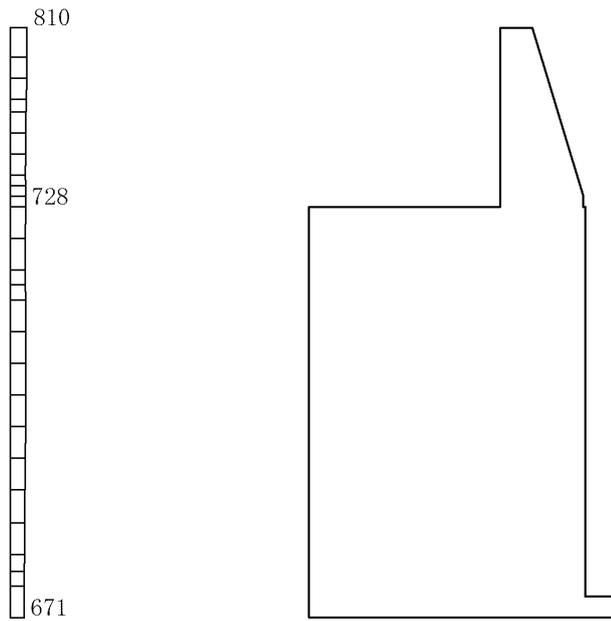
(b) S s - N 2 (E W) (+ +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-45 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \sim 1$ (m) 応答値スケール $0 \sim 2000$ (cm/s^2)

図 4-46 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)

4.2 ③-③断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、応答加速度抽出位置を図 4-47 に示し、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する最大加速度分布図を図 4-48～図 4-59 及び図 4-64 に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図 4-60～図 4-63 に示す。

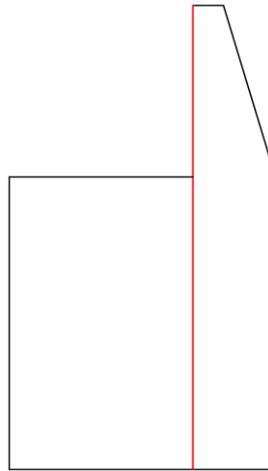
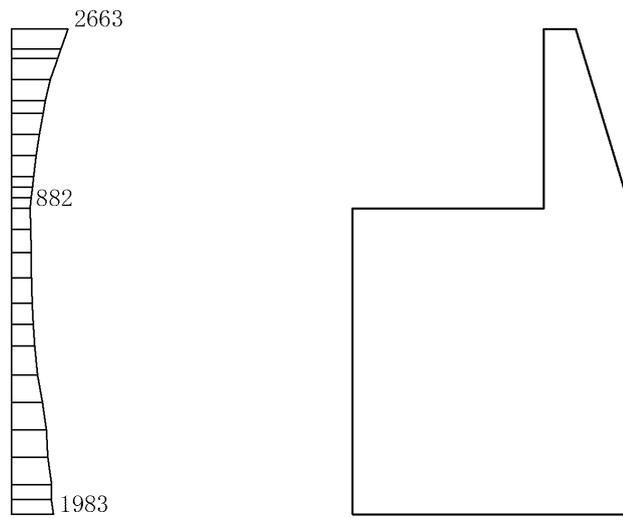
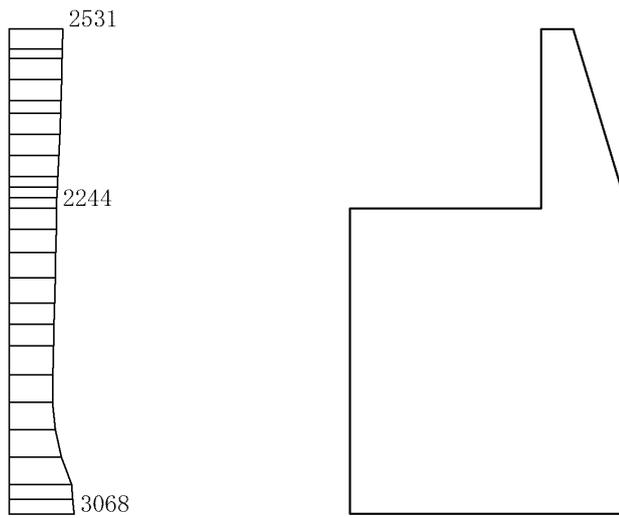


図 4-47 応答加速度抽出位置図



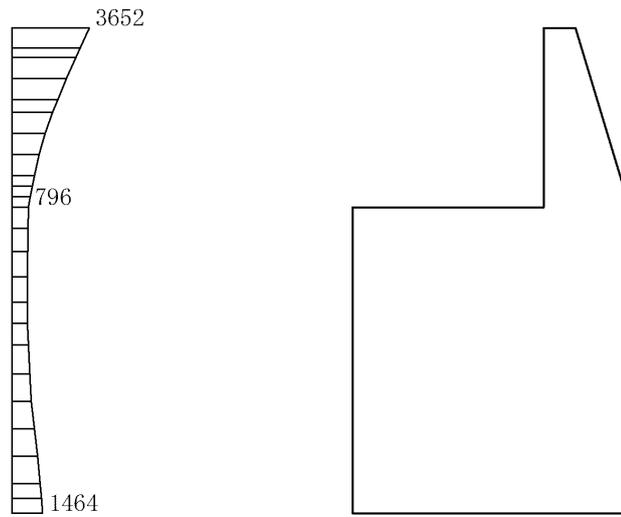
(a) $S_s - D(++)$ 水平



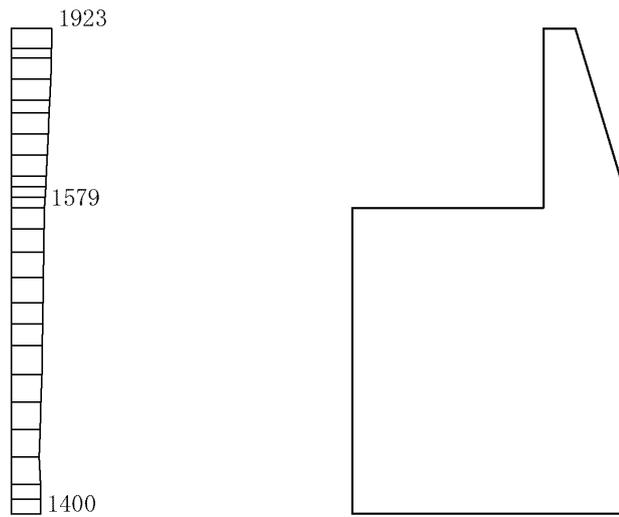
(b) $S_s - D(++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 2000(\text{cm/s}^2)$

図 4-48 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



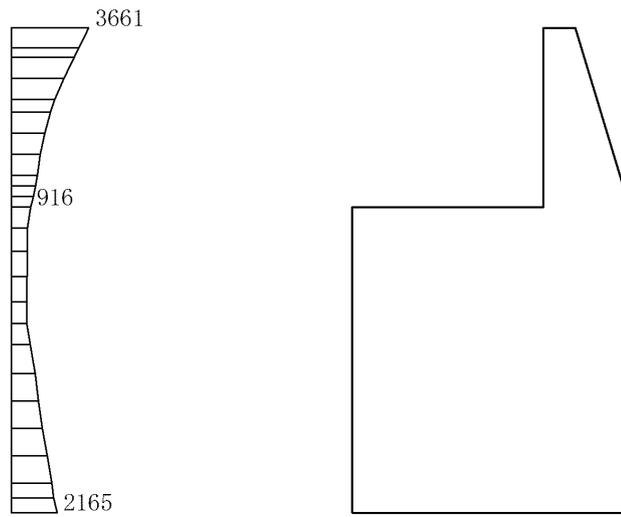
(a) S s - D (-+) 水平



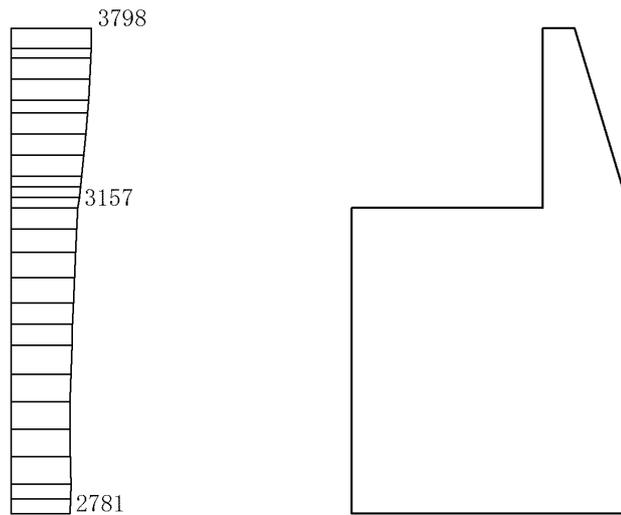
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-49 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



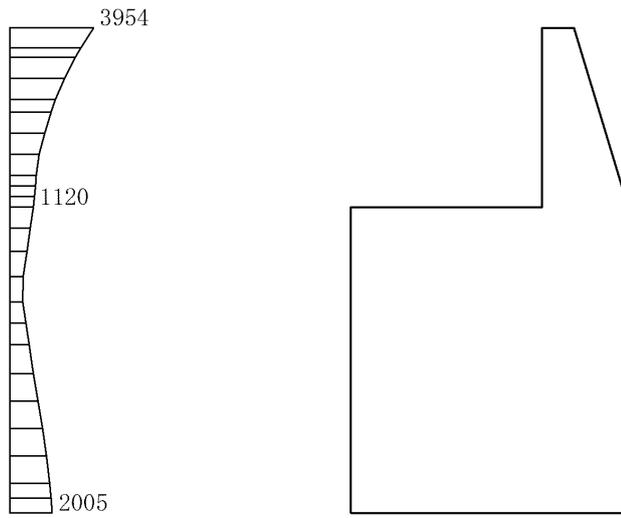
(a) S s - D (+ -) 水平



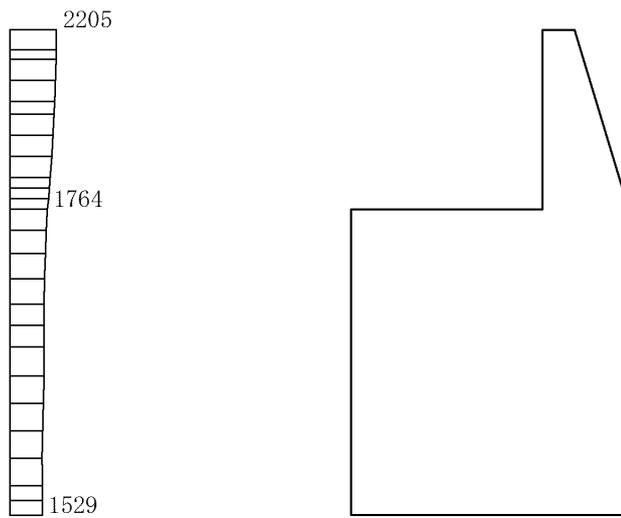
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-50 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



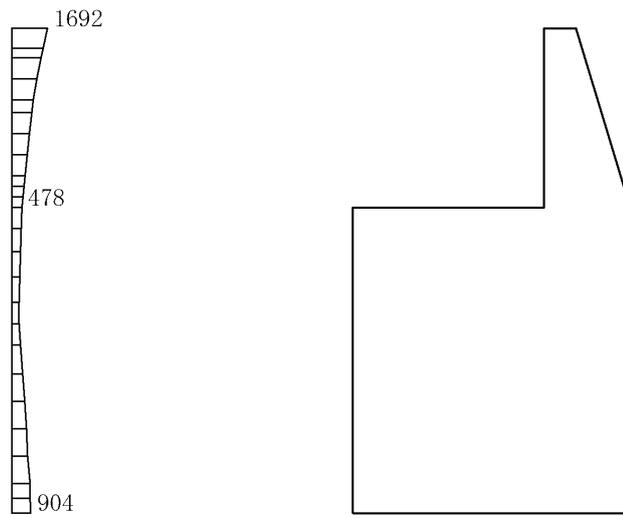
(a) S s - D (--) 水平



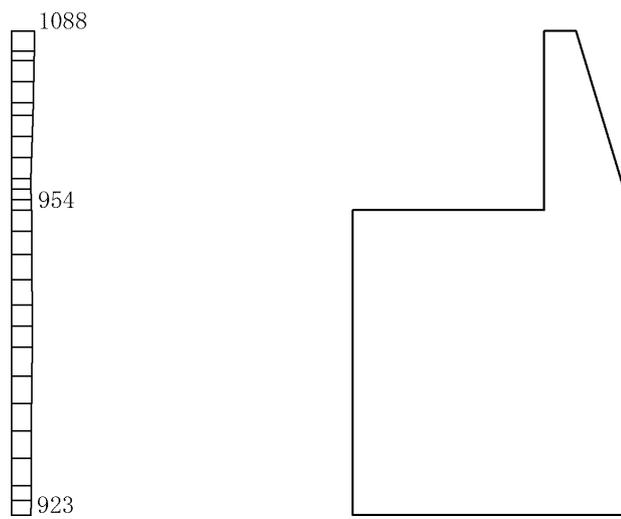
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-51 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



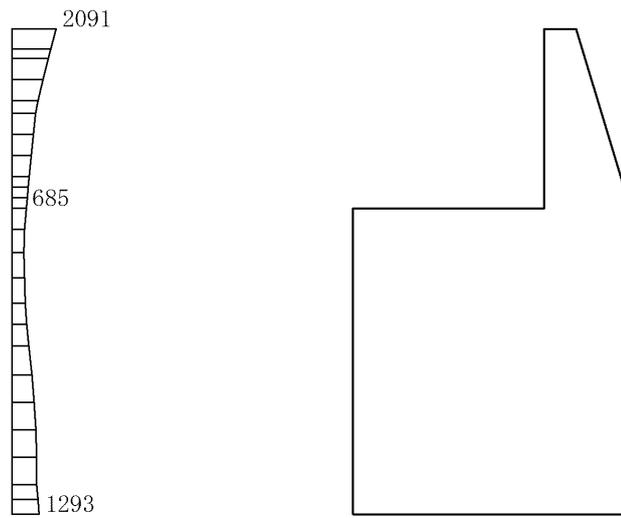
(a) S s - F 1 (++) 水平



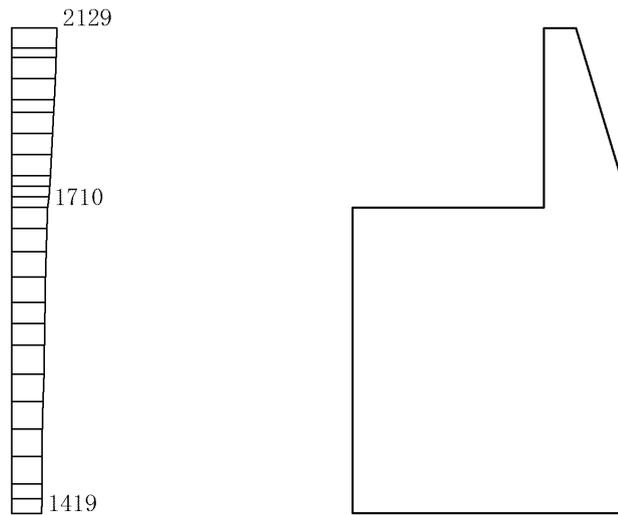
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-52 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



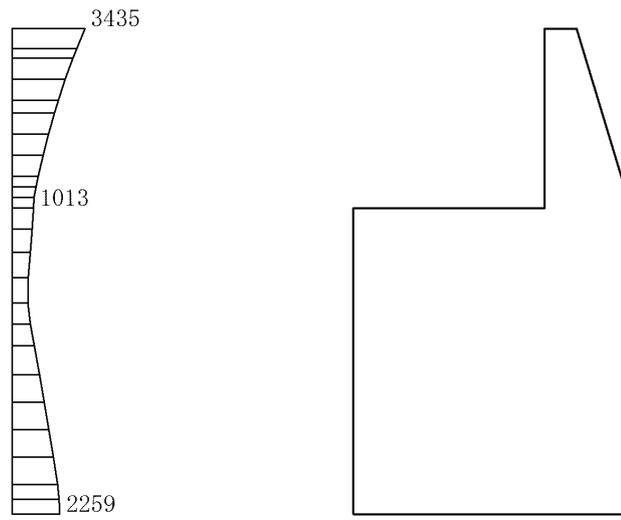
(a) $S_s - F_2 (++)$ 水平



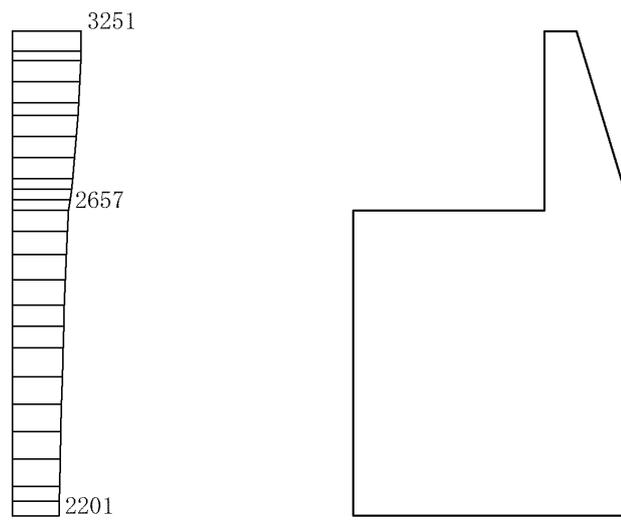
(b) $S_s - F_2 (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-53 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



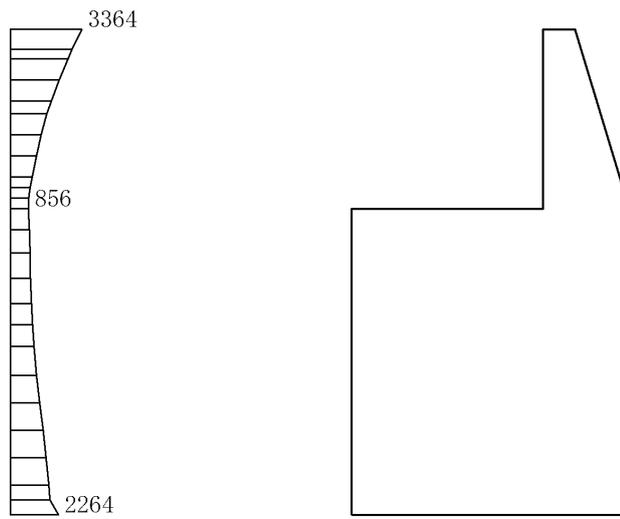
(a) S s - N 1 (++) 水平



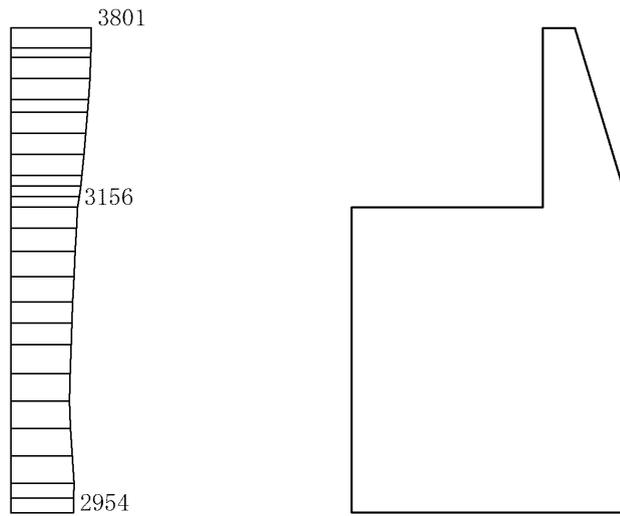
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-54 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



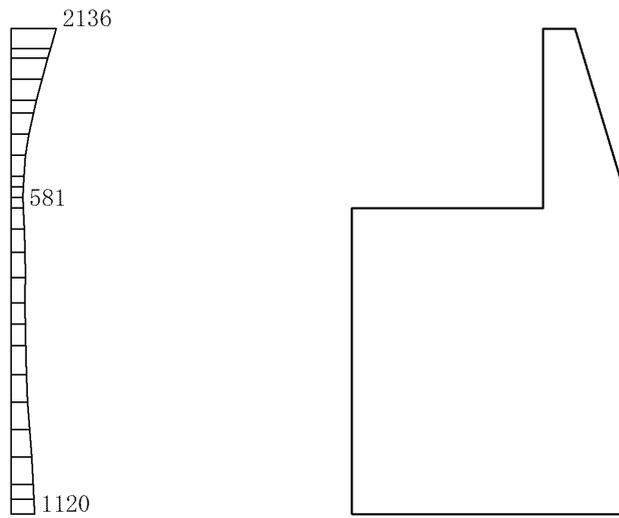
(a) S s - N 1 (- +) 水平



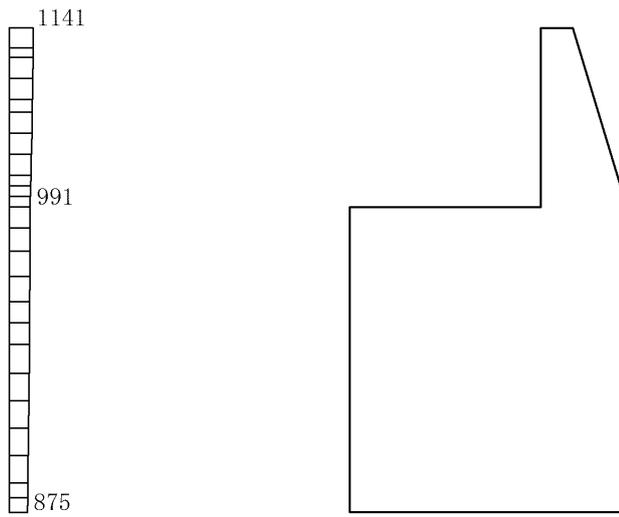
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-55 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



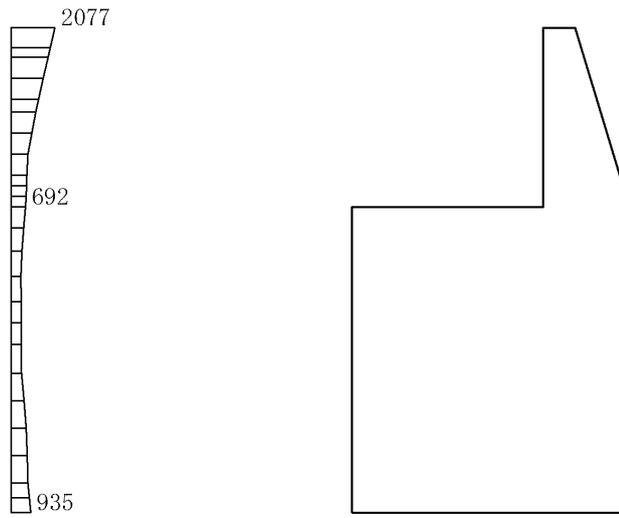
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 水平



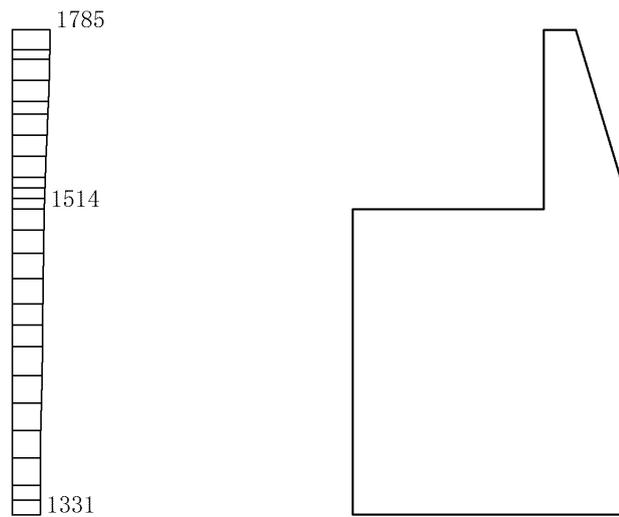
(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000 (cm/s^2)$

図 4-56 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



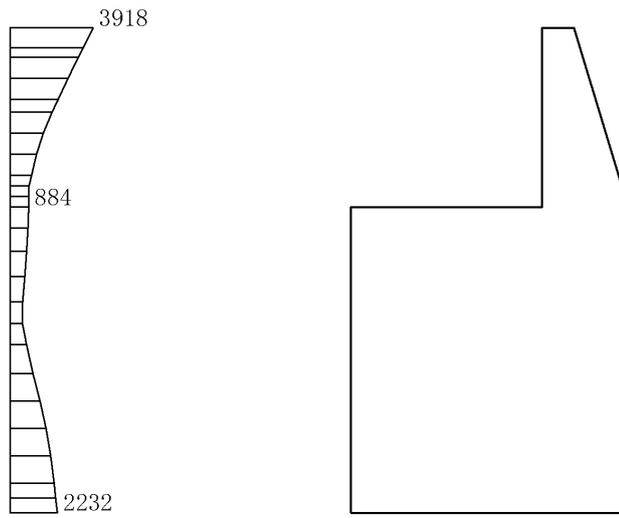
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



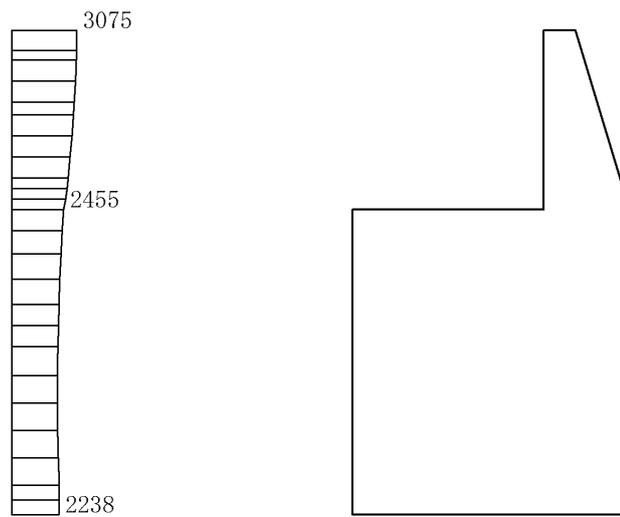
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-57 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



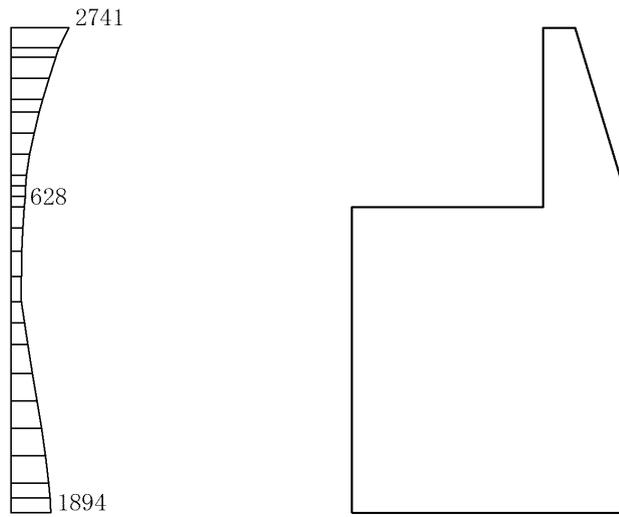
(a) $S_s - N_2 (EW) (++)$ 水平



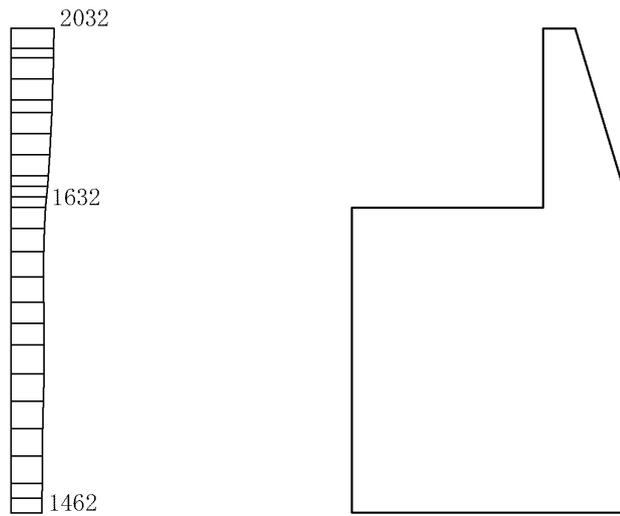
(b) $S_s - N_2 (EW) (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000 (cm/s^2)$

図 4-58 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



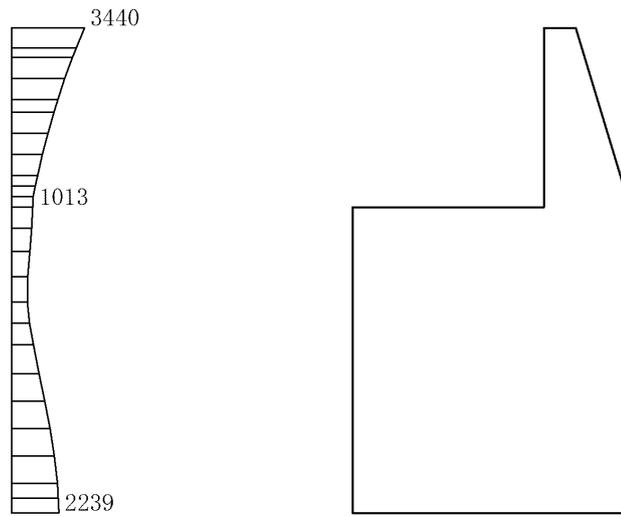
(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



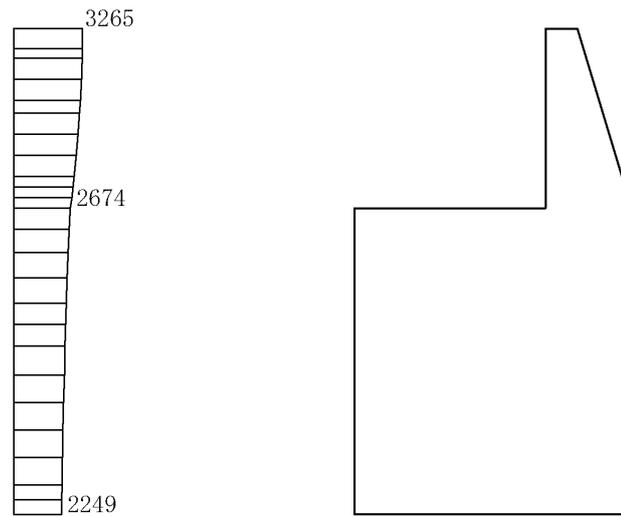
(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $\underline{\hspace{1cm}} 1(m)$ 応答値スケール $\underline{\hspace{1cm}} 2000(cm/s^2)$

図 4-59 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



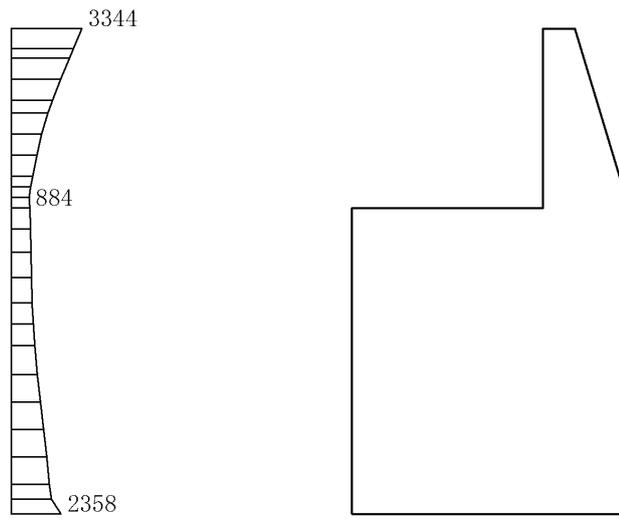
(a) S s - N 1 (++) 水平



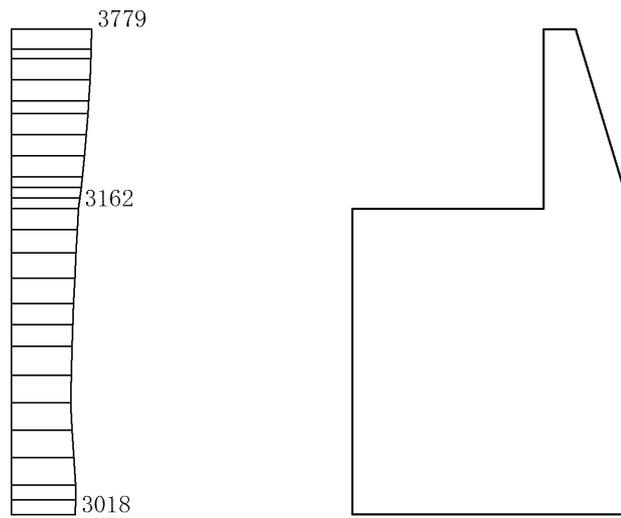
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-60 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



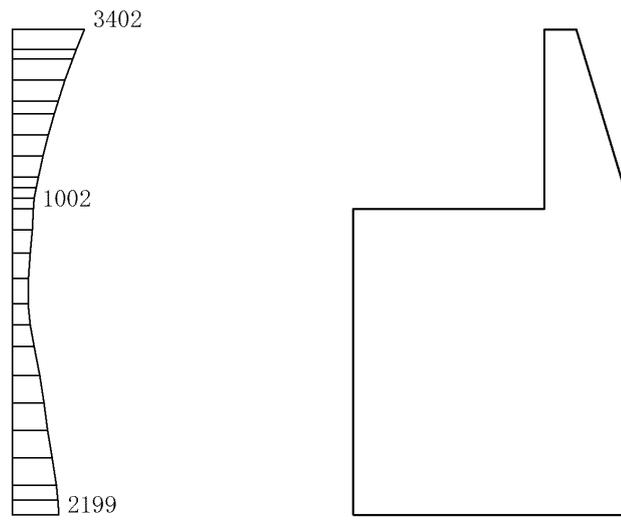
(a) S s - N 1 (- +) 水平



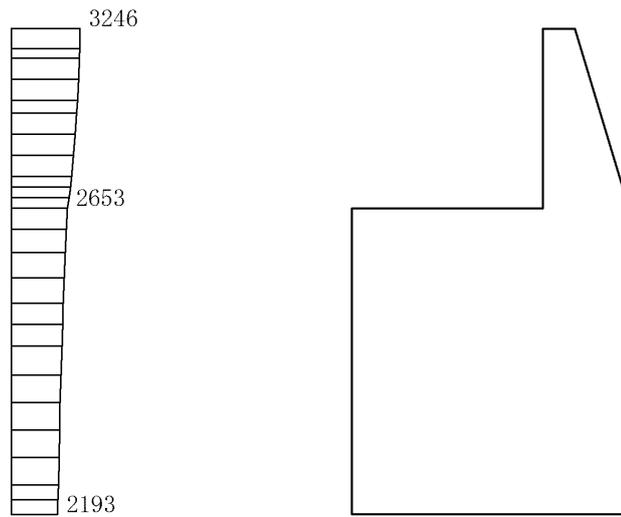
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-61 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



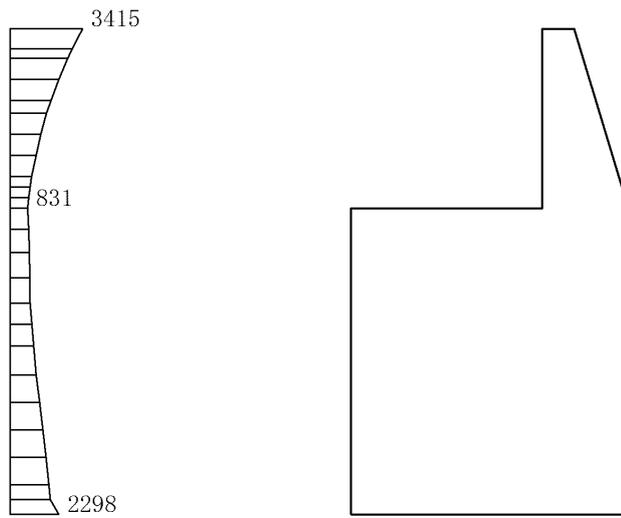
(a) S s - N 1 (++) 水平



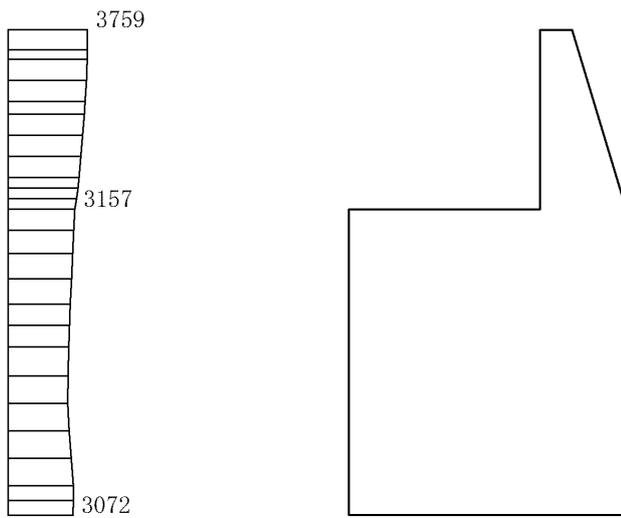
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-62 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



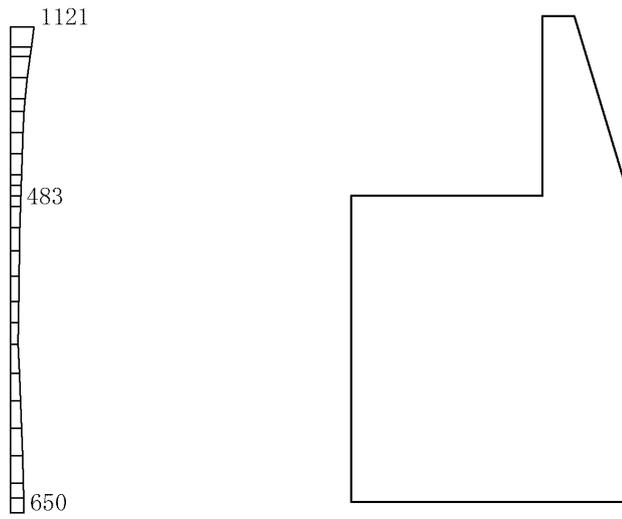
(a) S s - N 1 (- +) 水平



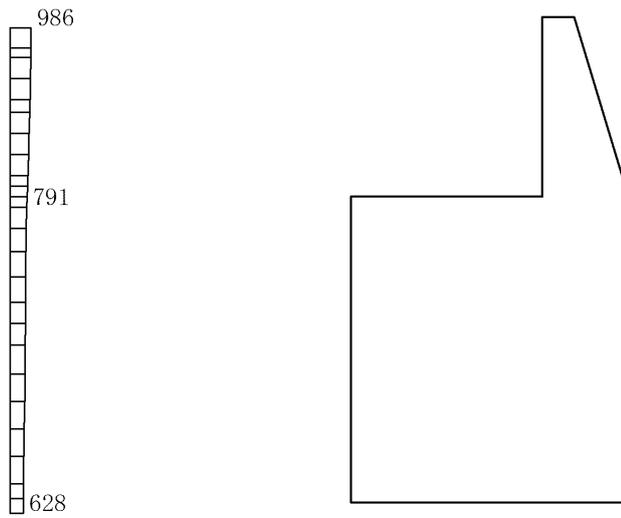
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-63 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



(a) S d - D (++) 水平



(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-64 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

4.3 ④-④断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、応答加速度抽出位置を図 4-65 に示し、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する最大加速度分布図を図 4-66～図 4-77 及び図 4-84 に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図 4-78～図 4-83 に示す。これらに加え、機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース②及び③のすべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-85～図 4-108 に示す。

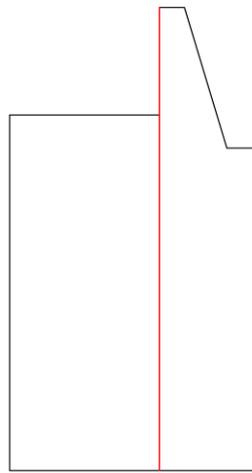
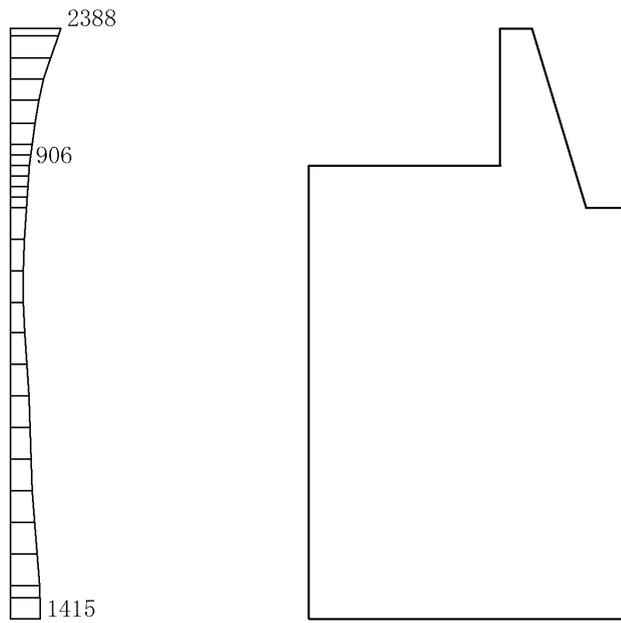
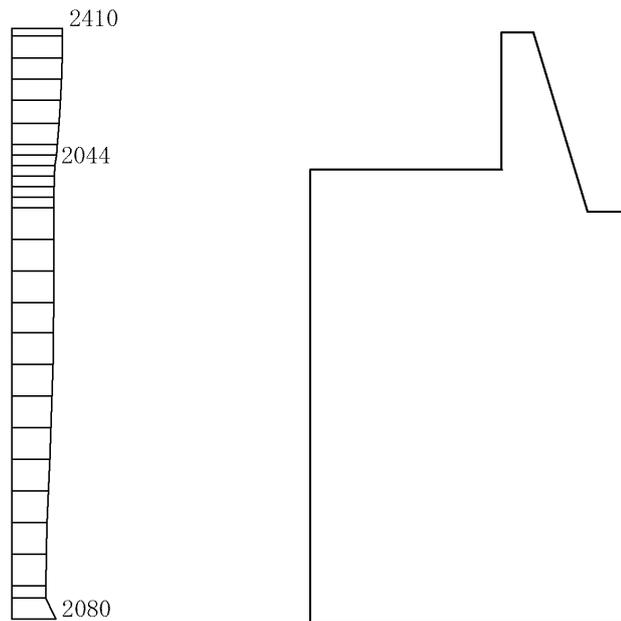


図 4-65 応答加速度抽出位置図



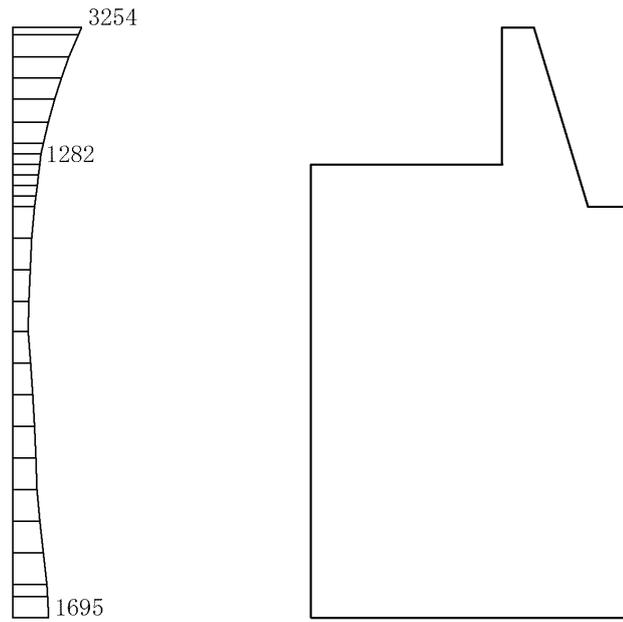
(a) S s - D (++) 水平



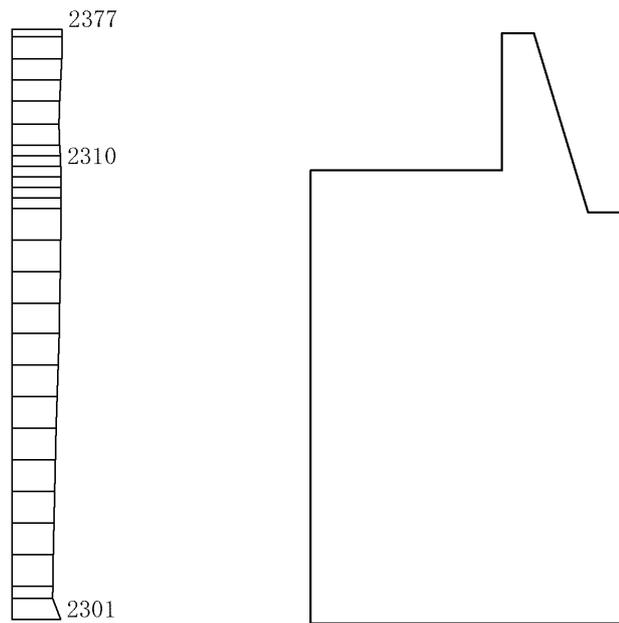
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-66 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



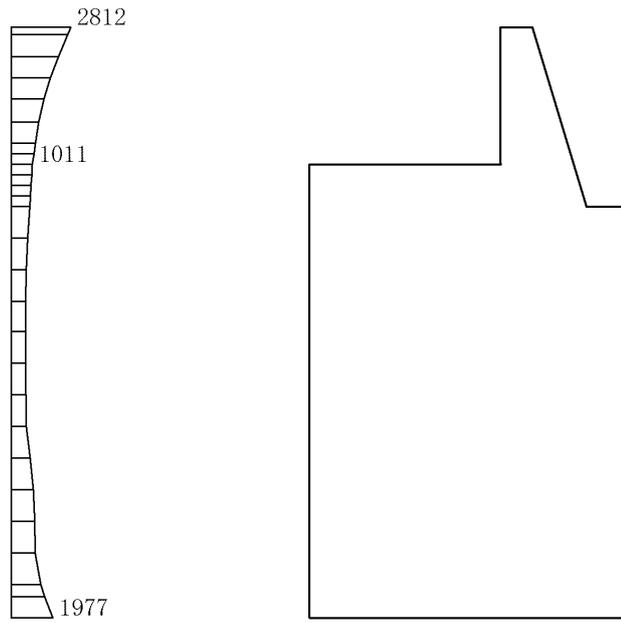
(a) S s - D (-+) 水平



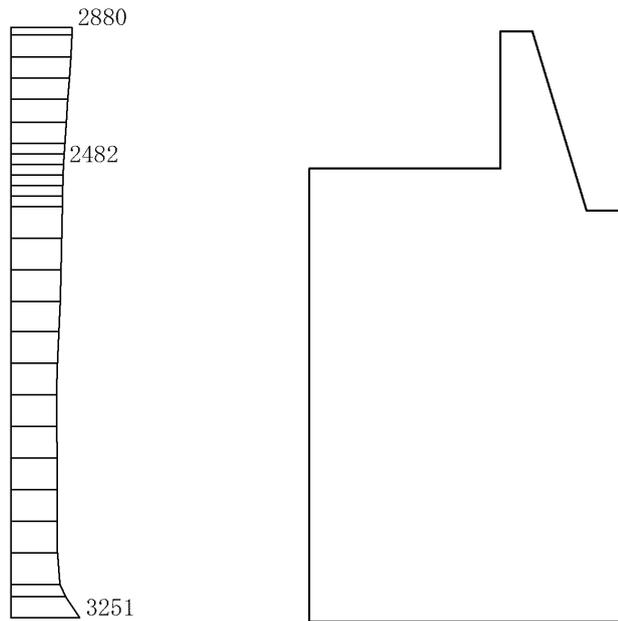
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-67 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



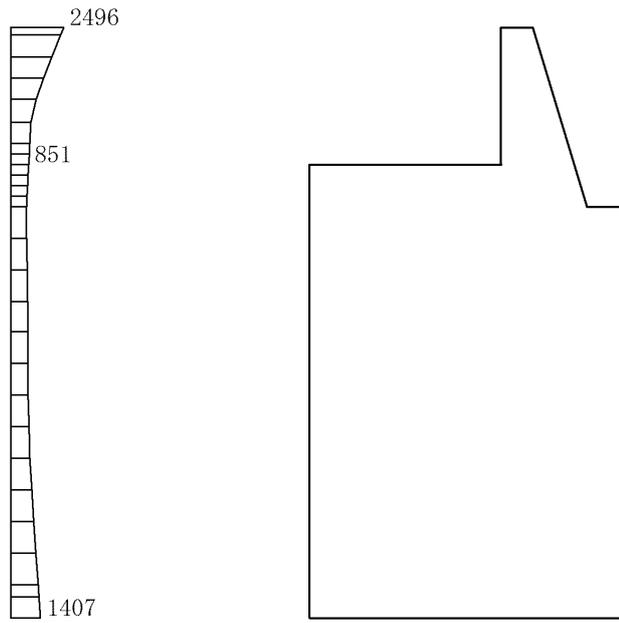
(a) S s - D (+ -) 水平



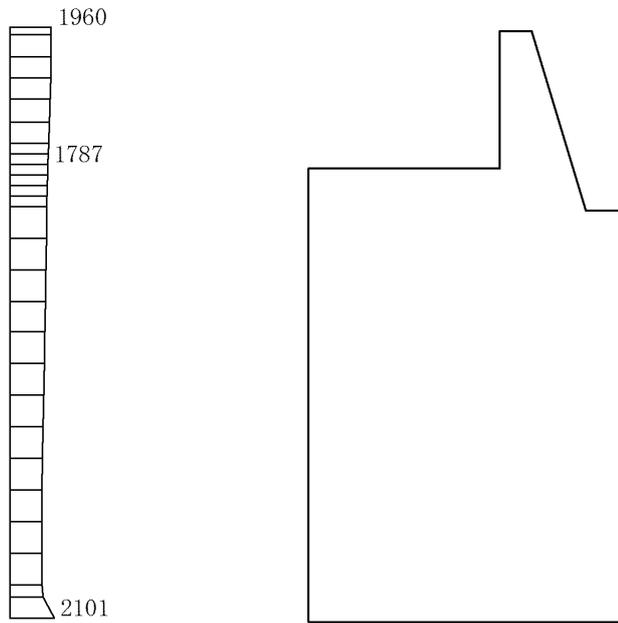
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-68 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



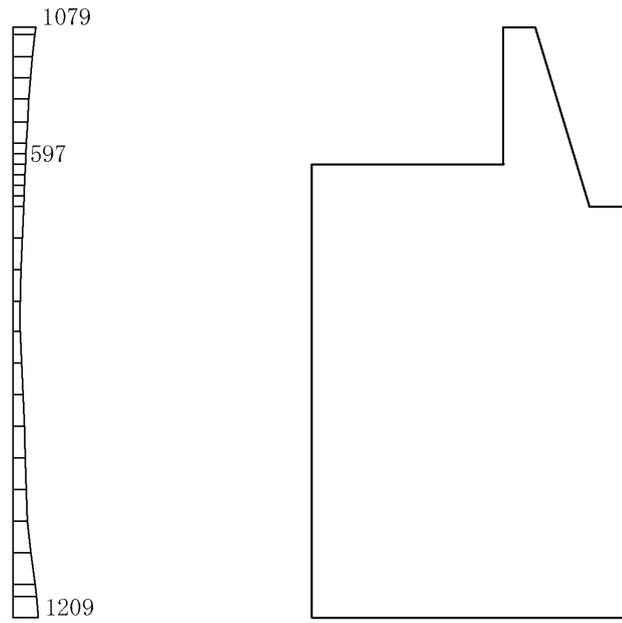
(a) S s - D (--) 水平



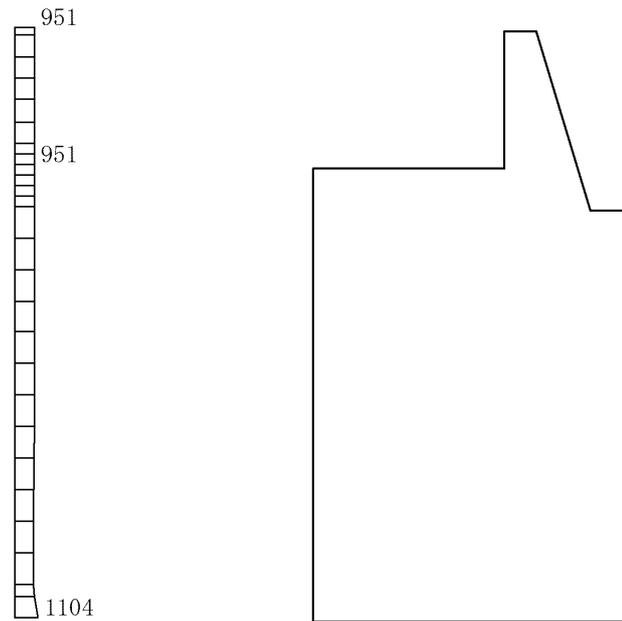
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 ~ 1(m) 応答値スケール 0 ~ 2000(cm/s²)

図 4-69 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



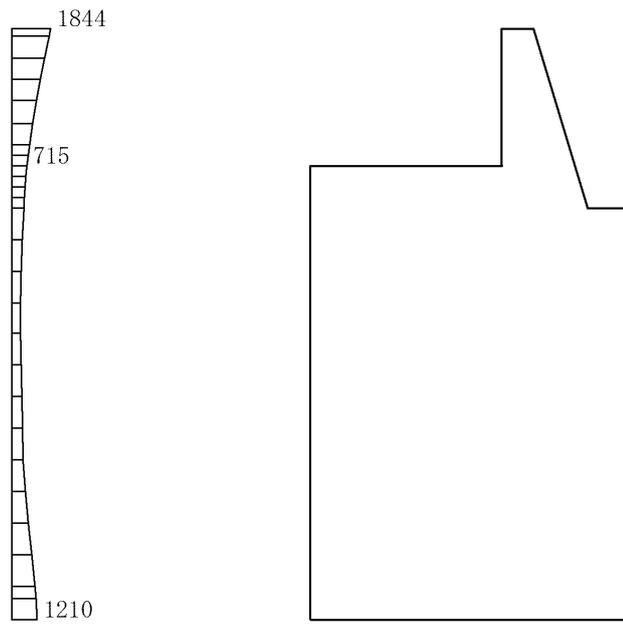
(a) S s - F 1 (++) 水平



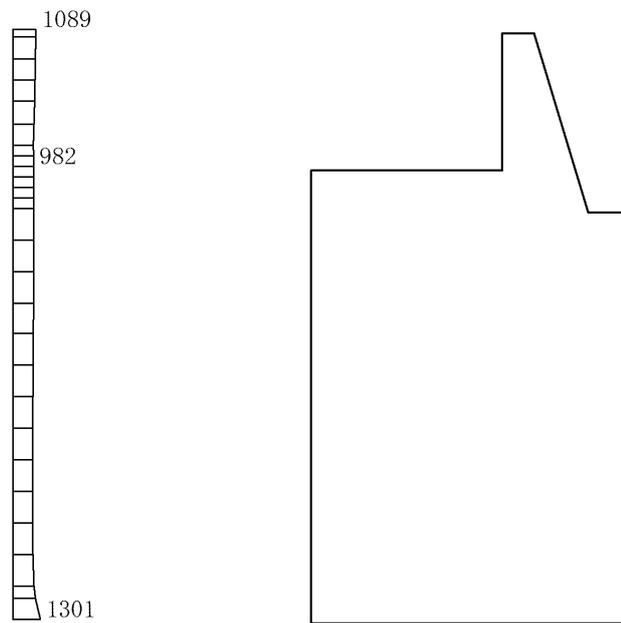
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-70 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



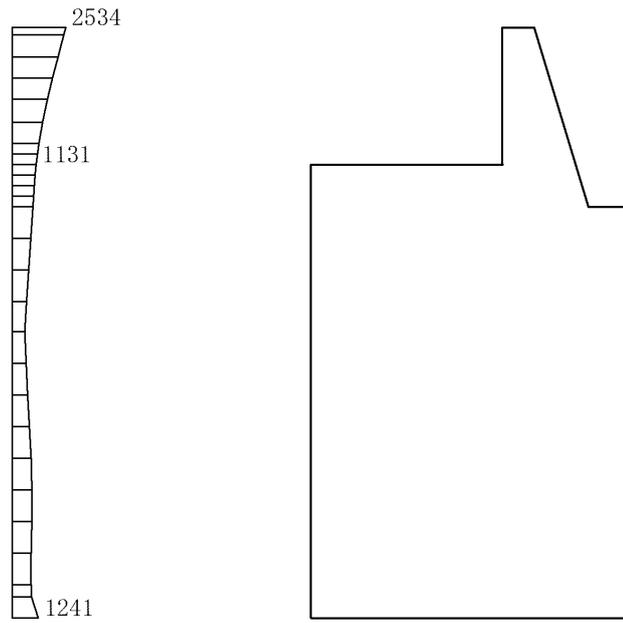
(a) $S_s - F_2 (++)$ 水平



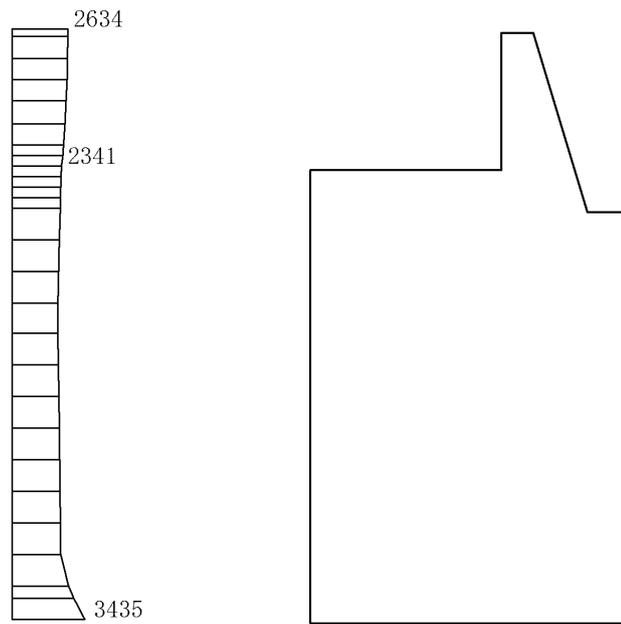
(b) $S_s - F_2 (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-71 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



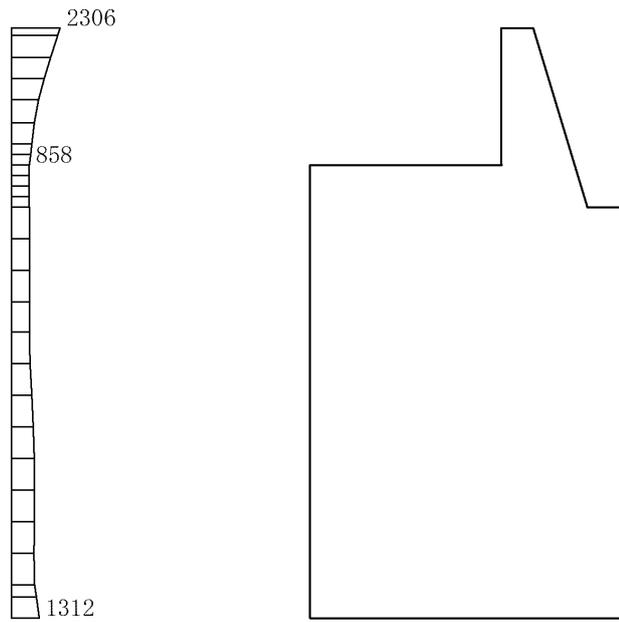
(a) S s - N 1 (++) 水平



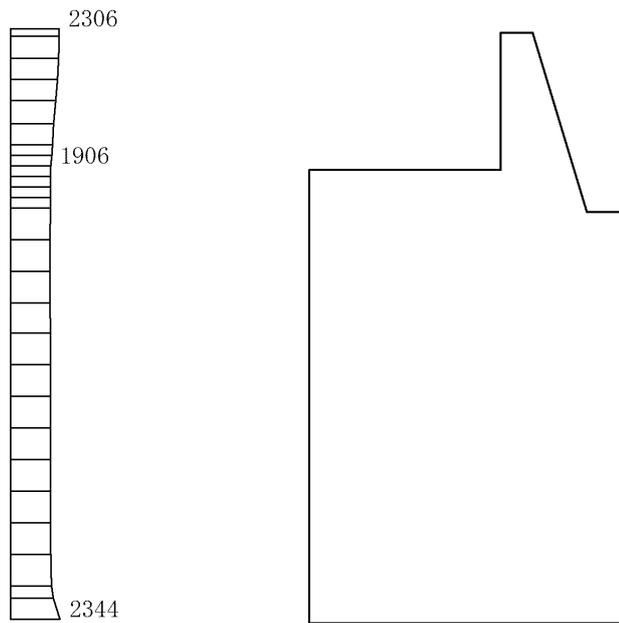
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-72 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



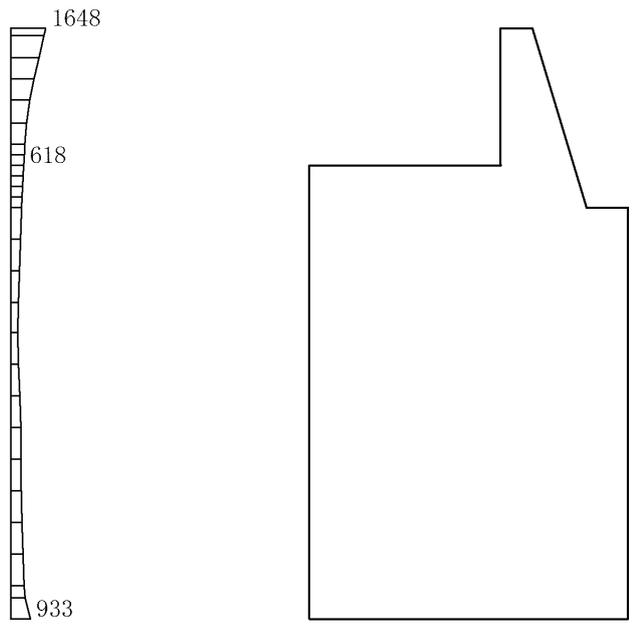
(a) S s - N 1 (- +) 水平



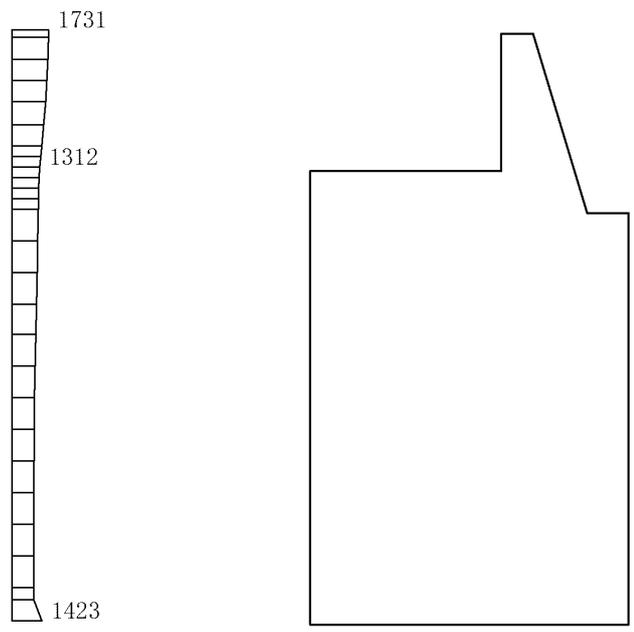
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-73 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



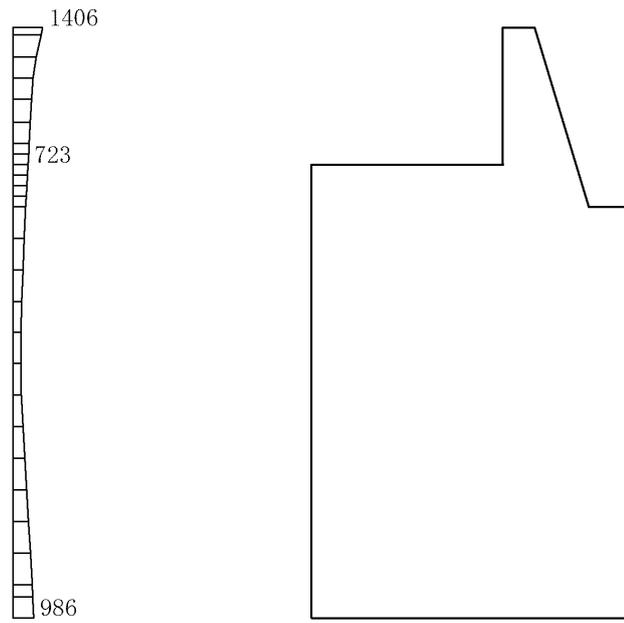
(a) S s - N 2 (N S) (+ +) 水平



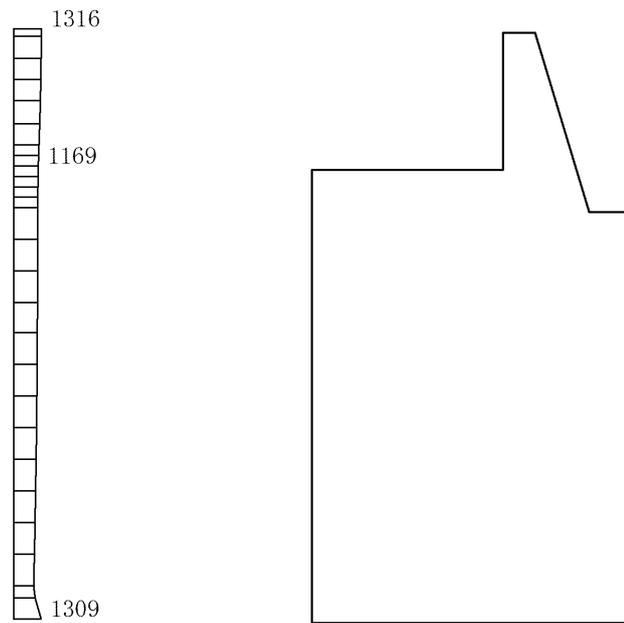
(b) S s - N 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-74 最大応答加速度分布 (解析ケース①)



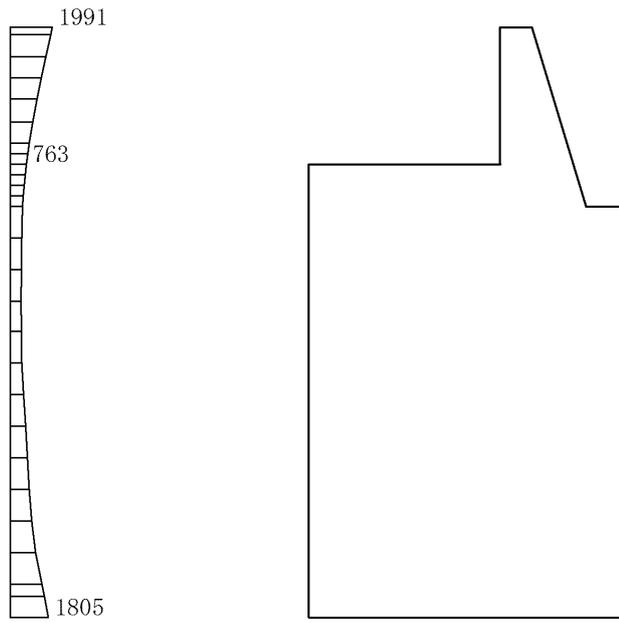
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



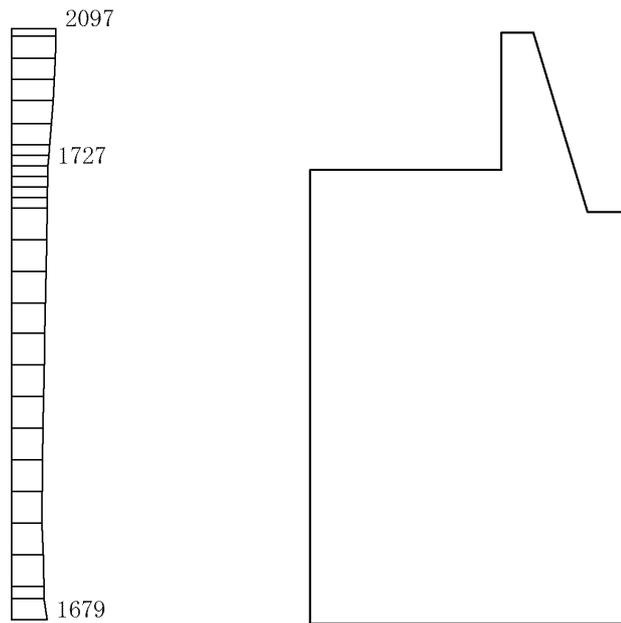
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-75 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



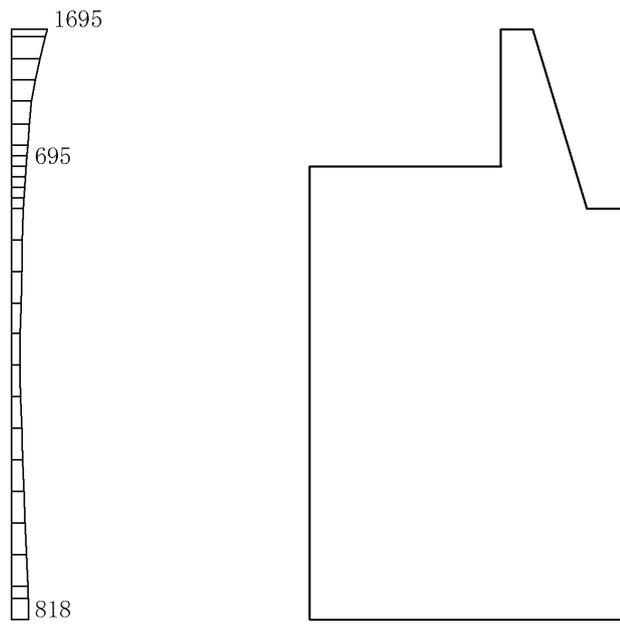
(a) S s - N 2 (E W) (+ +) 水平



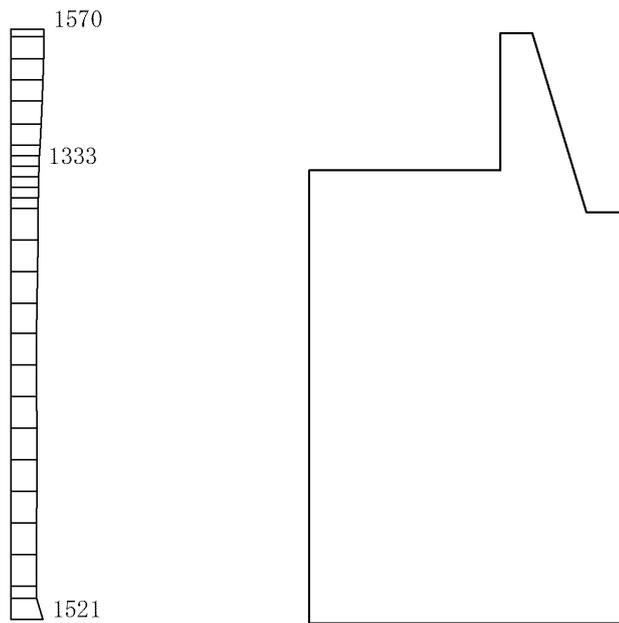
(b) S s - N 2 (E W) (+ +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-76 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



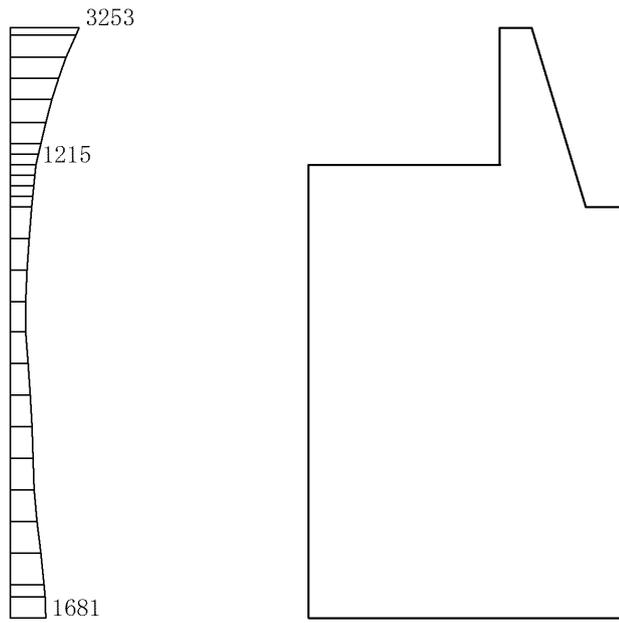
(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



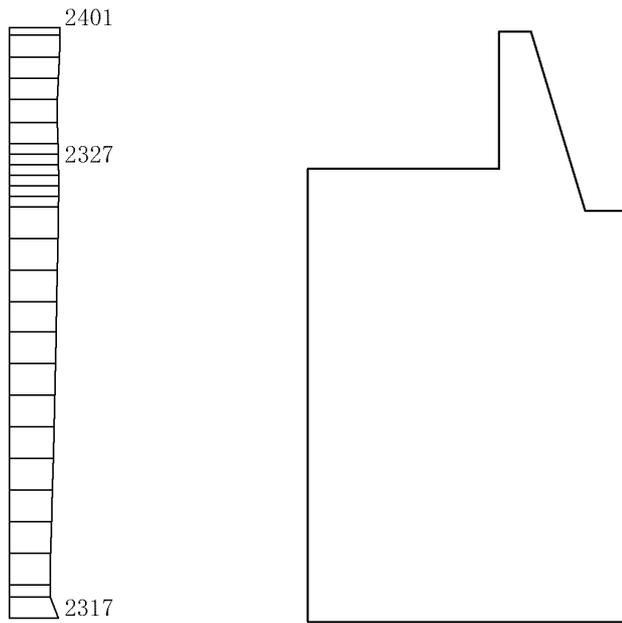
(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-77 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



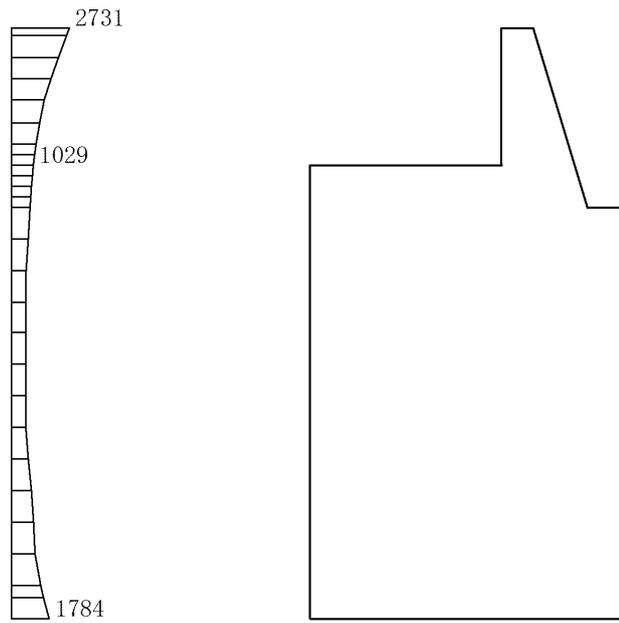
(a) $S_s - D (-+)$ 水平



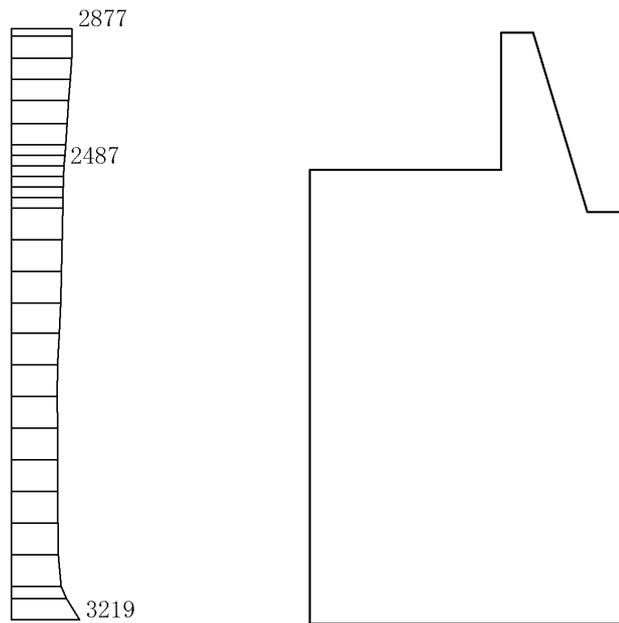
(b) $S_s - D (-+)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 2000(\text{cm/s}^2)$

図 4-78 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



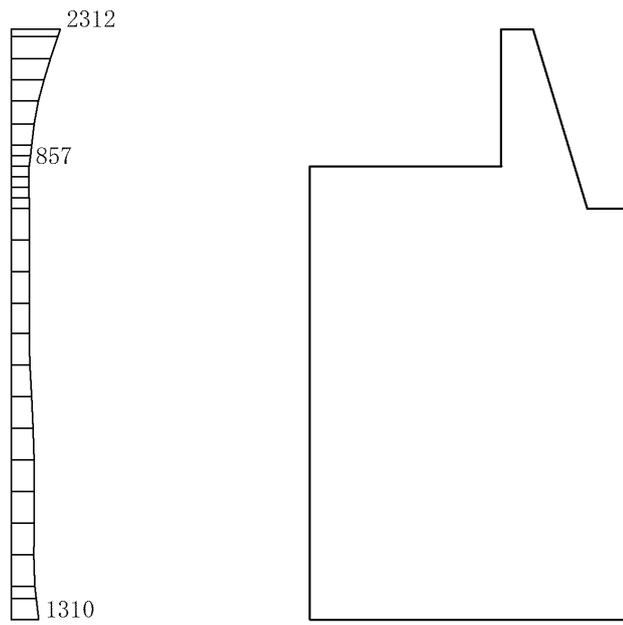
(a) S s - D (+ -) 水平



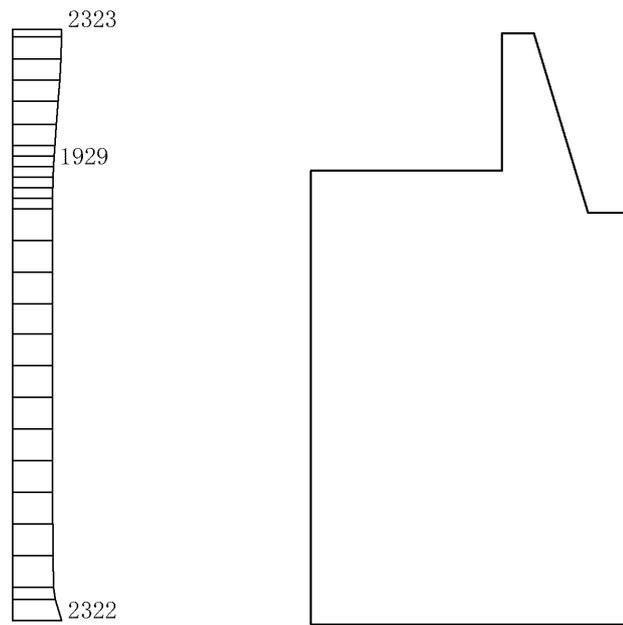
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-79 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



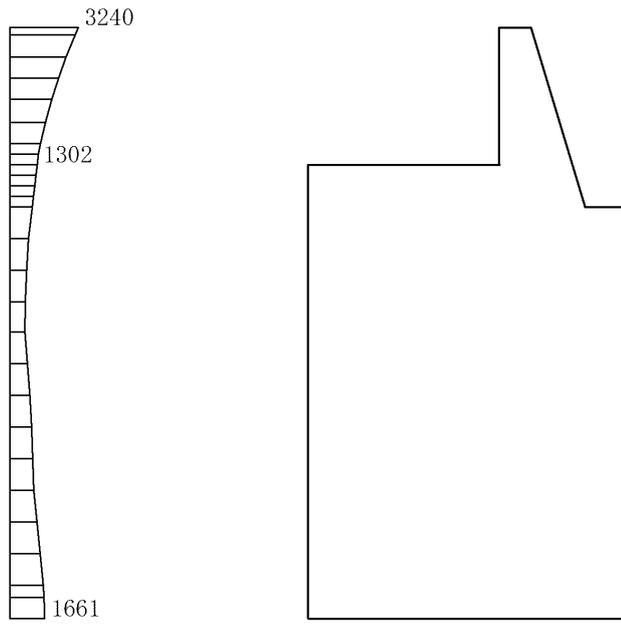
(a) S s - N 1 (- +) 水平



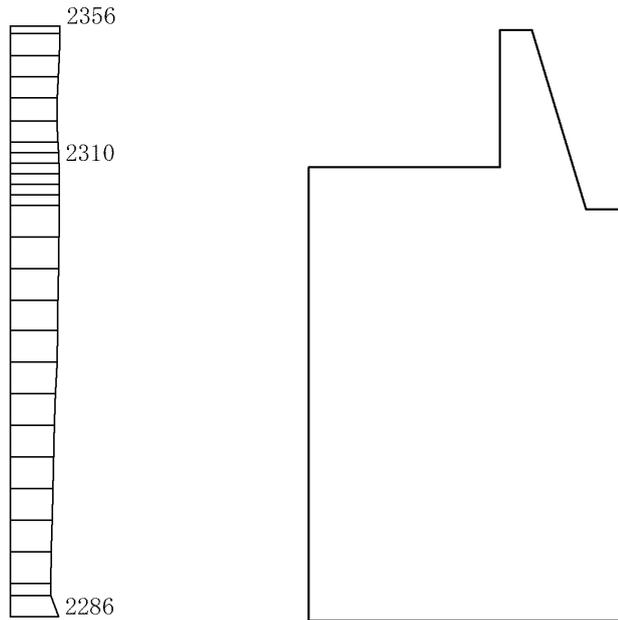
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-80 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



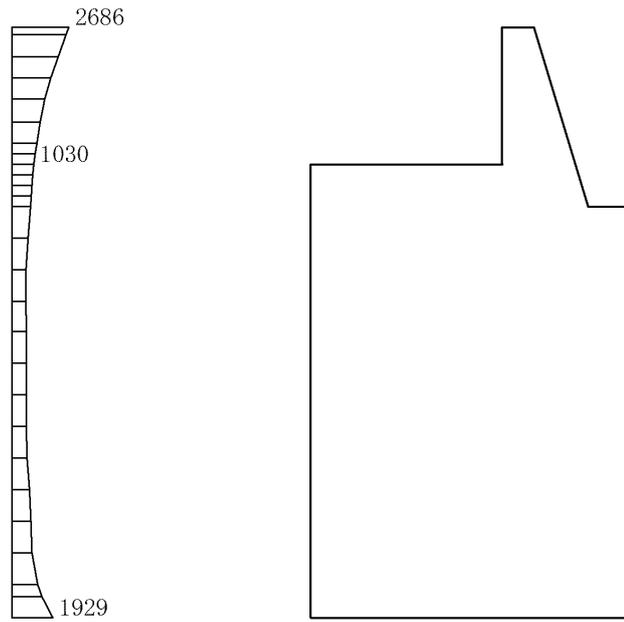
(a) S s - D (-+) 水平



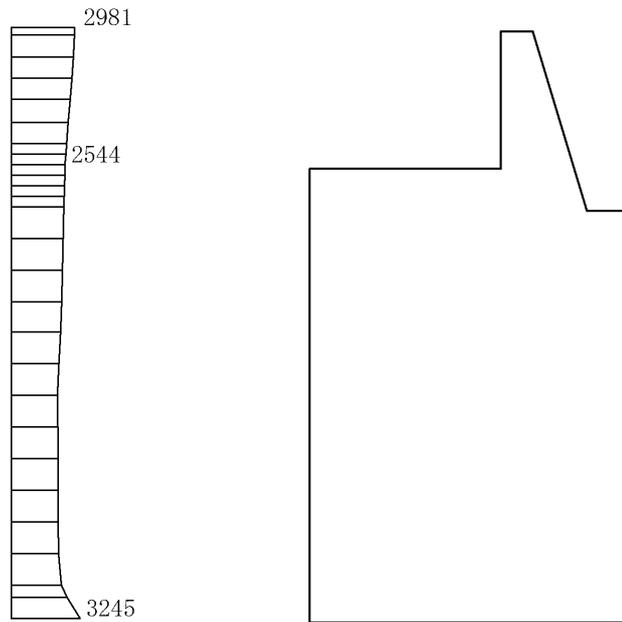
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-81 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



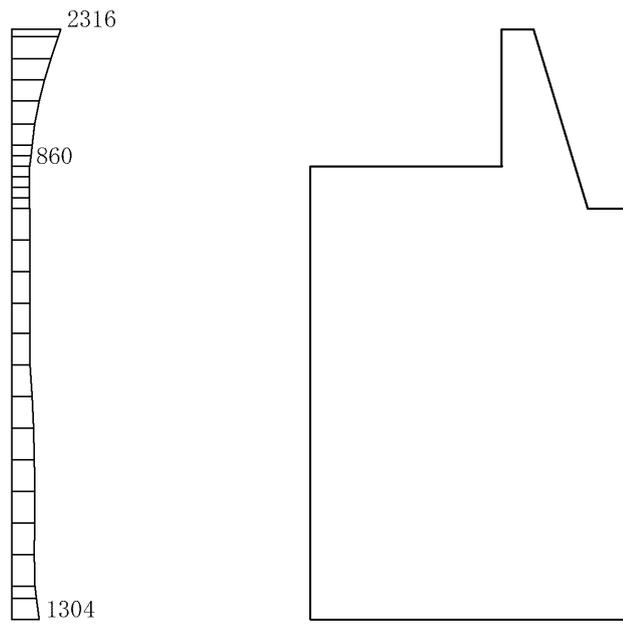
(a) $S_s - D (+ -)$ 水平



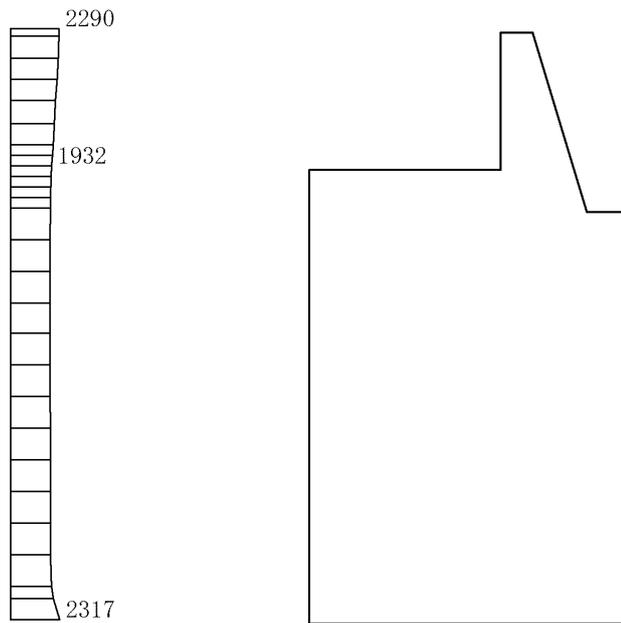
(b) $S_s - D (+ -)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 2000(\text{cm/s}^2)$

図 4-82 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



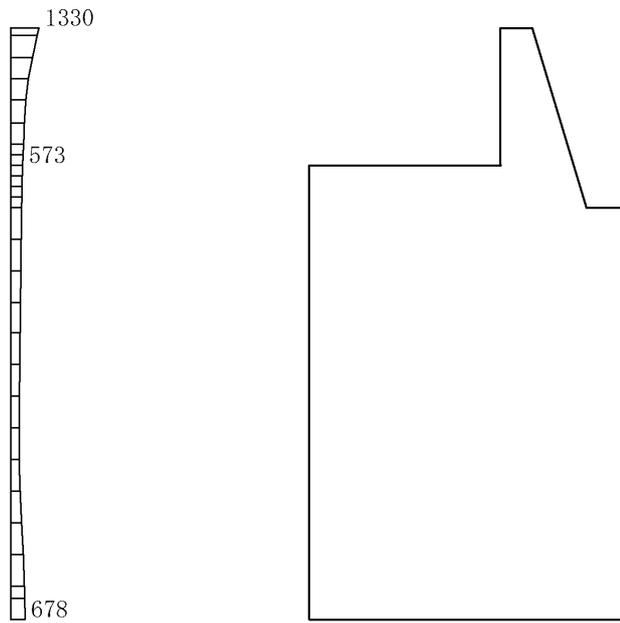
(a) S s - N 1 (- +) 水平



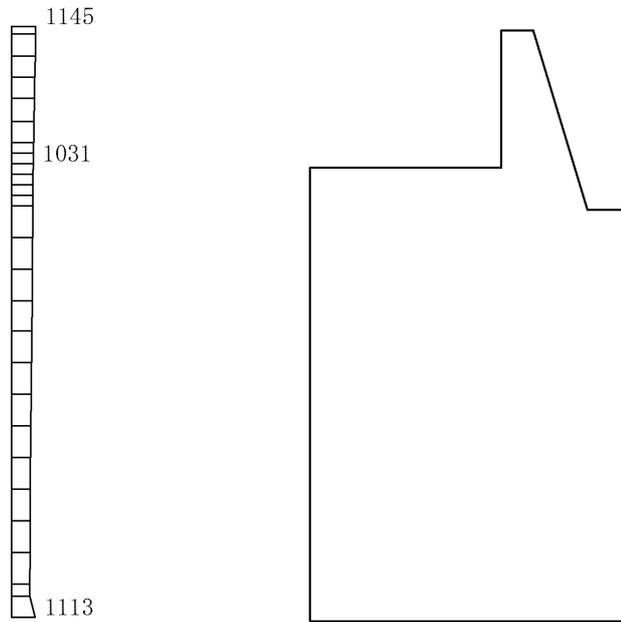
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-83 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



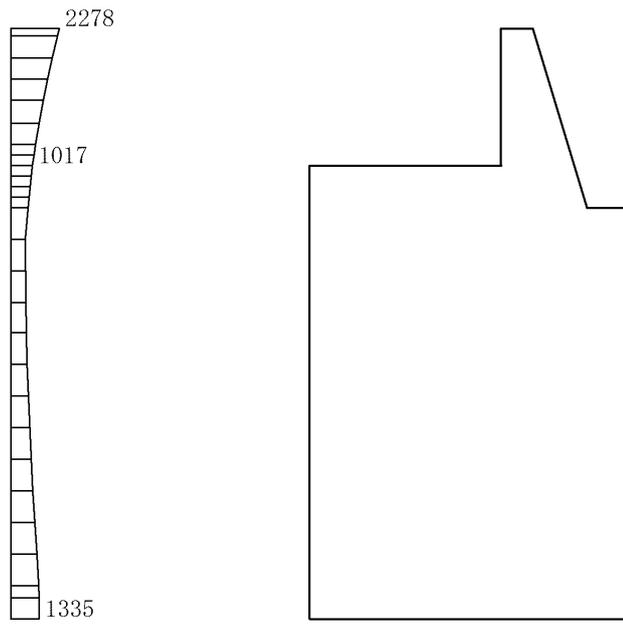
(a) S d - D (++) 水平



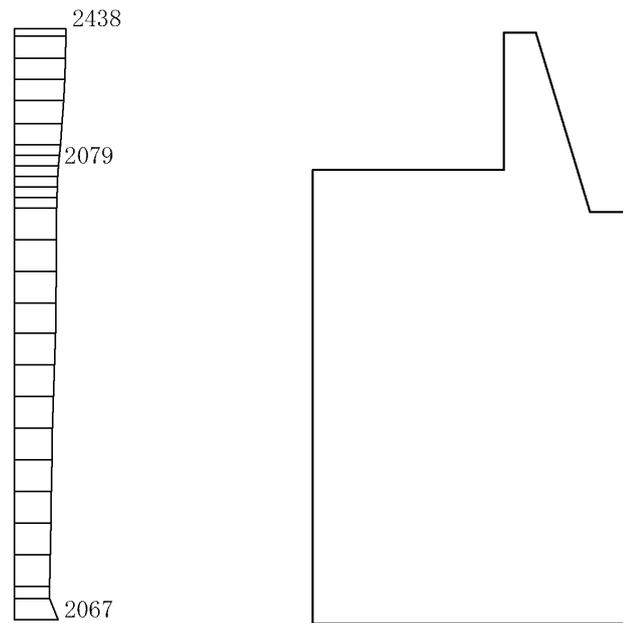
(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 ~ 1(m) 応答値スケール 0 ~ 2000(cm/s²)

図 4-84 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



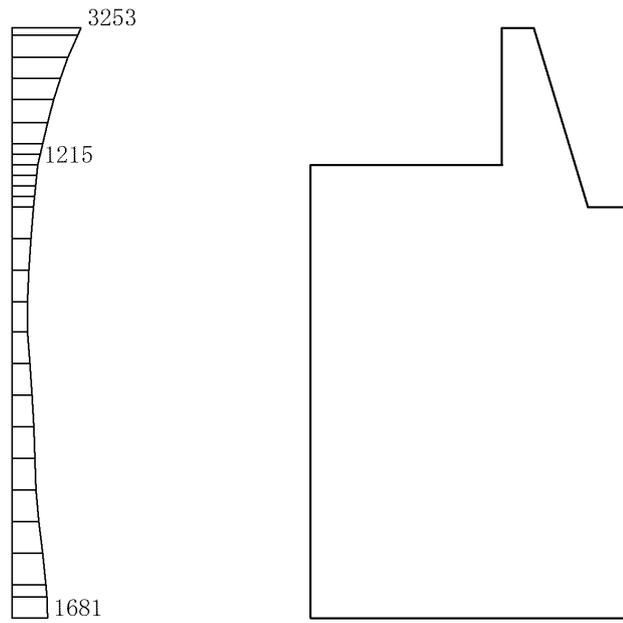
(a) S s - D (++) 水平



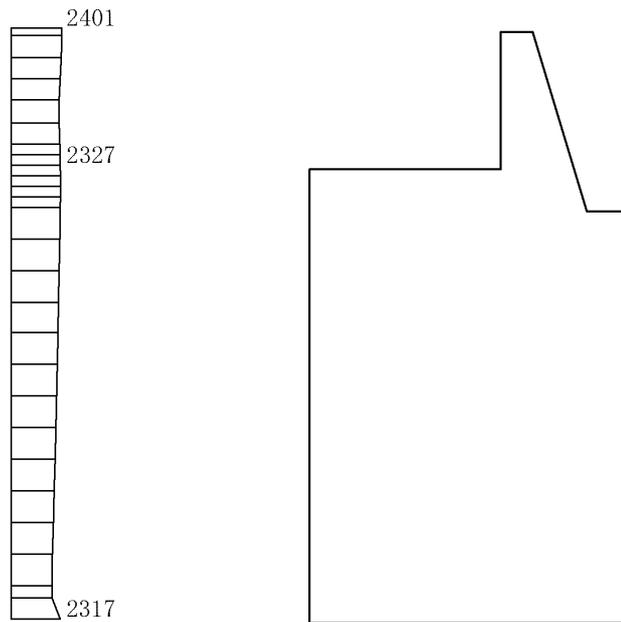
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-85 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



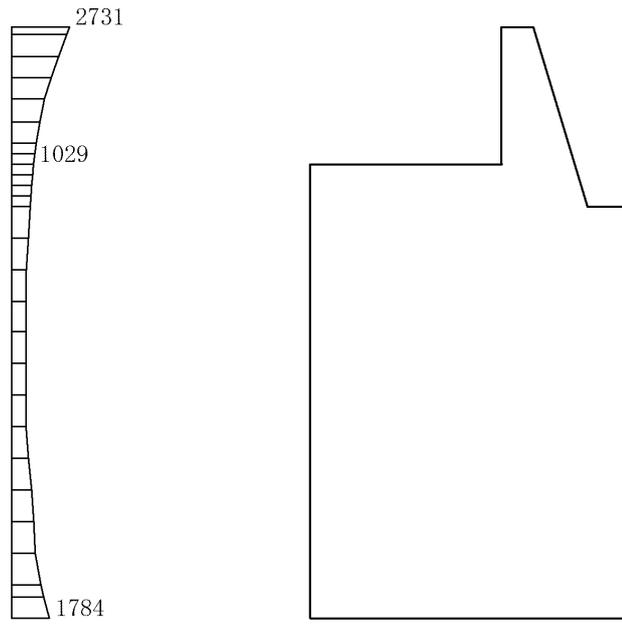
(a) S s - D (-+) 水平



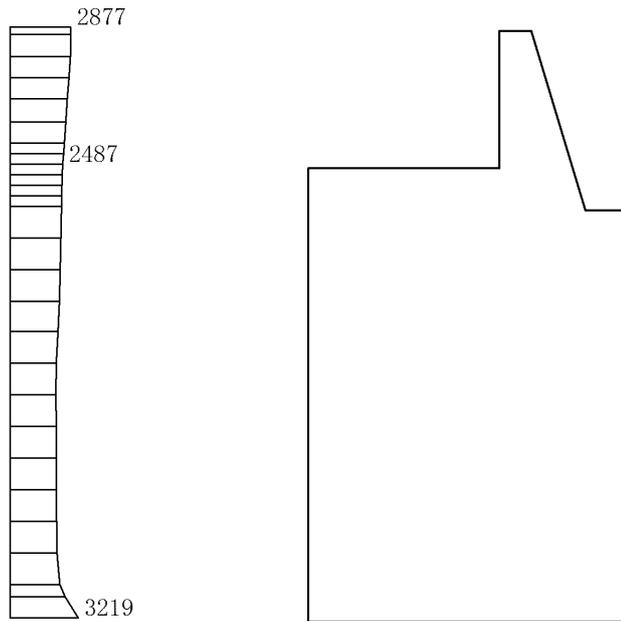
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-86 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



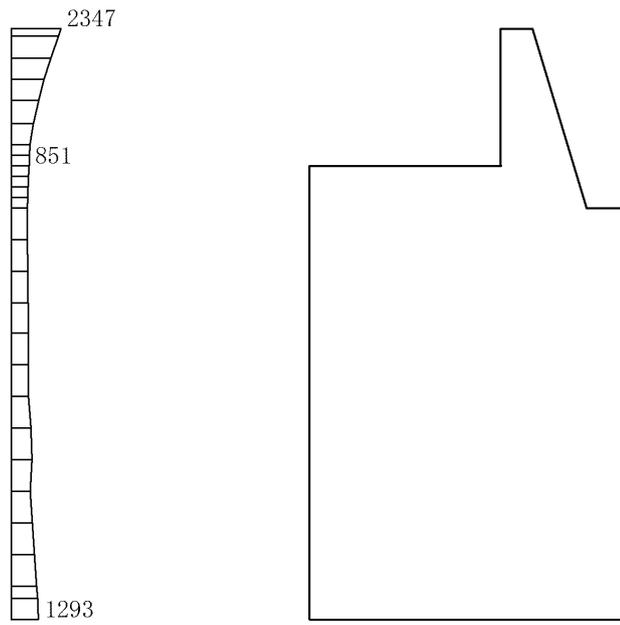
(a) $S_s - D (+ -)$ 水平



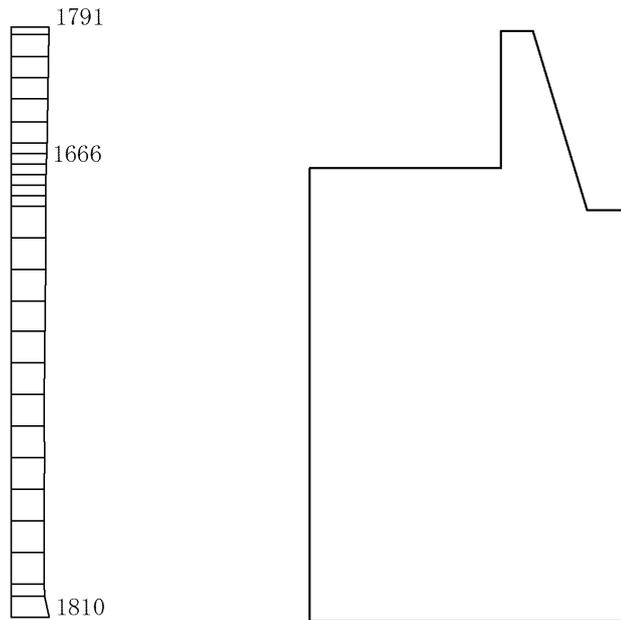
(b) $S_s - D (+ -)$ 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-87 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



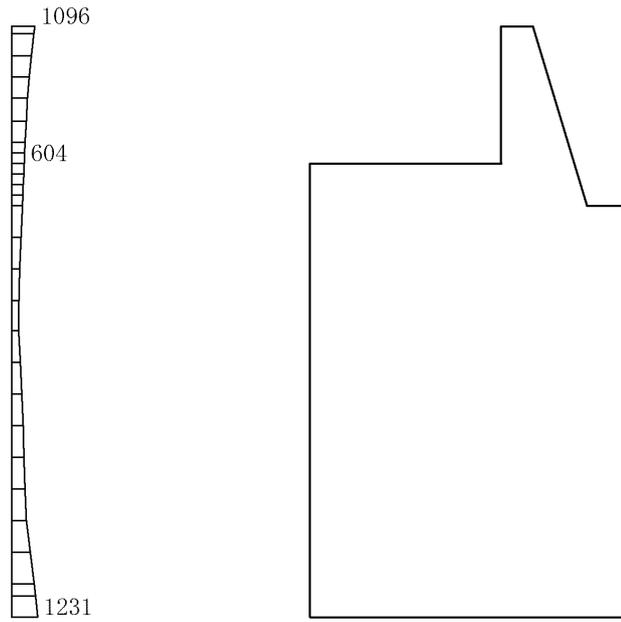
(a) S s - D (--) 水平



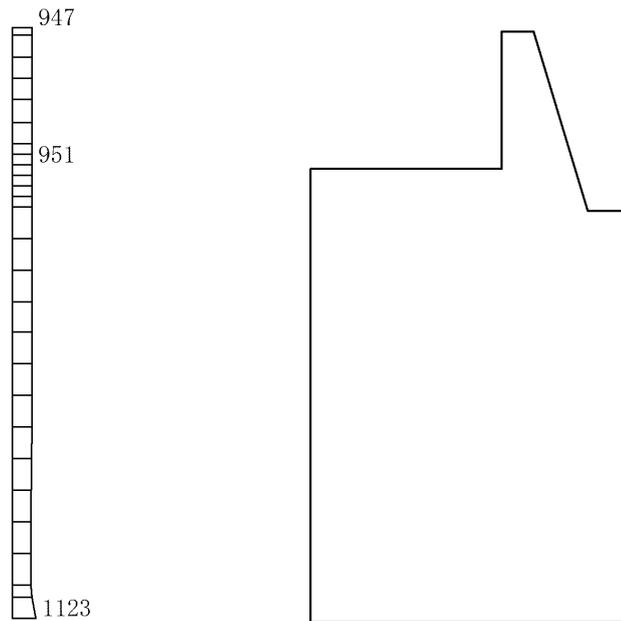
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 ~ 1(m) 応答値スケール 0 ~ 2000(cm/s²)

図 4-88 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



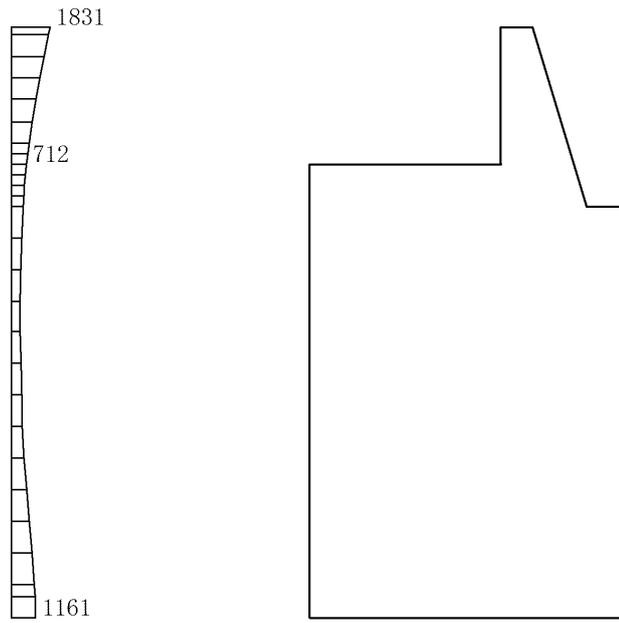
(a) S s - F 1 (++) 水平



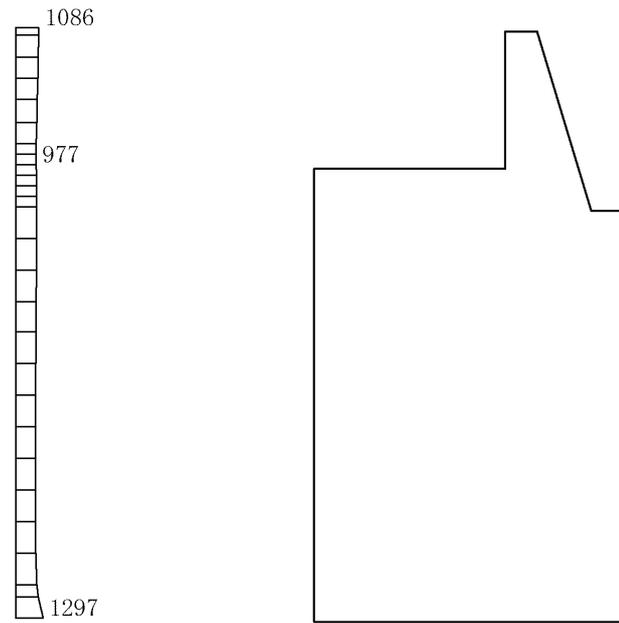
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-89 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



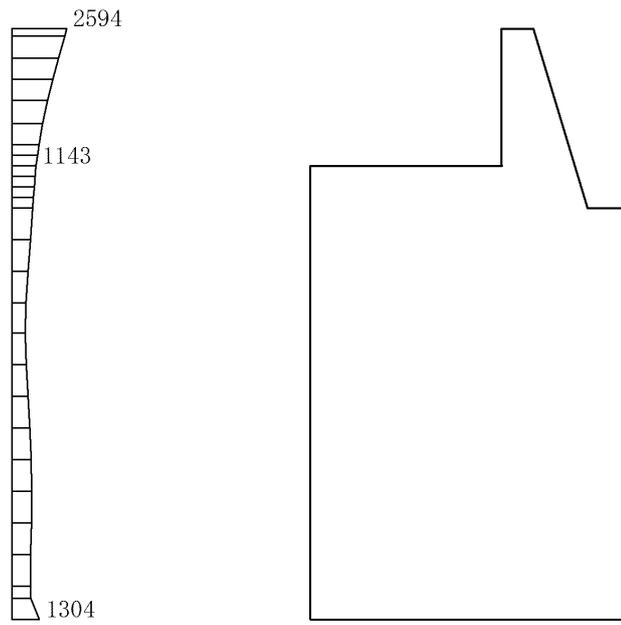
(a) S s - F 2 (++) 水平



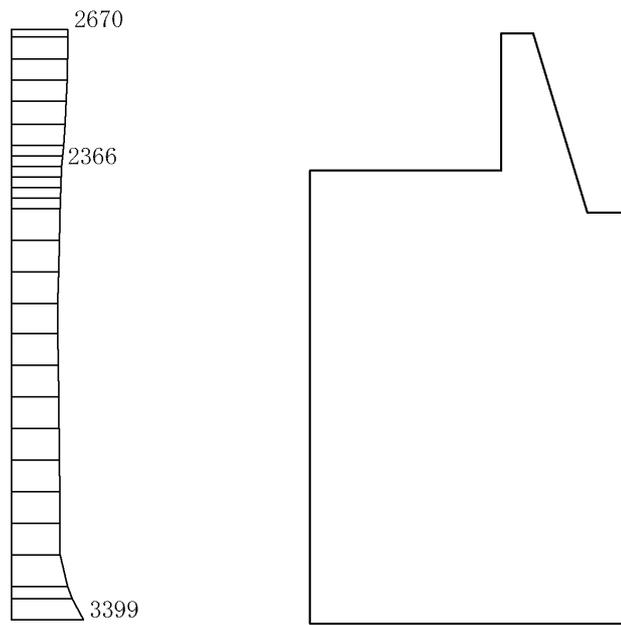
(b) S s - F 2 (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-90 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



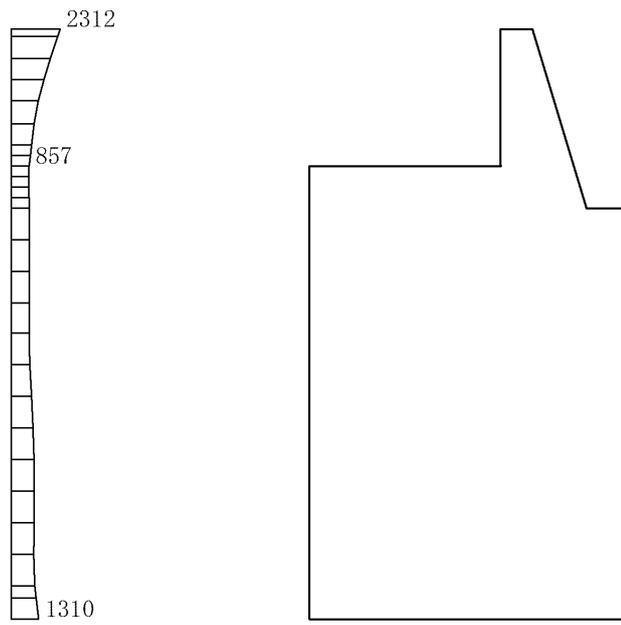
(a) S s - N 1 (++) 水平



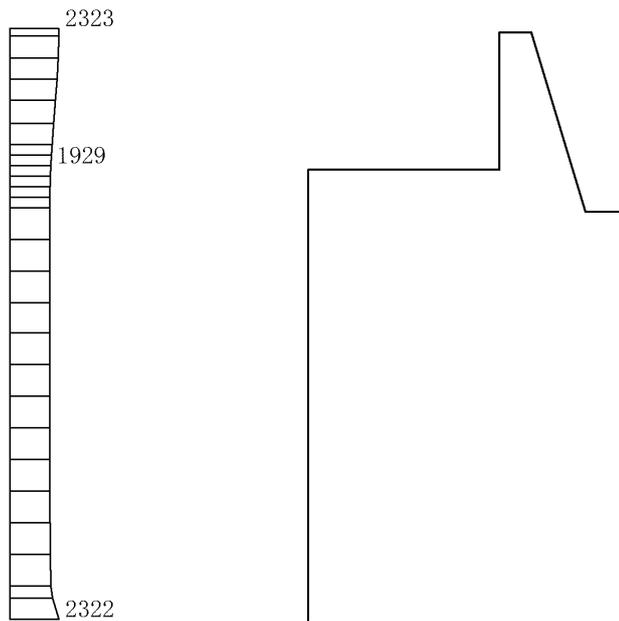
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-91 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



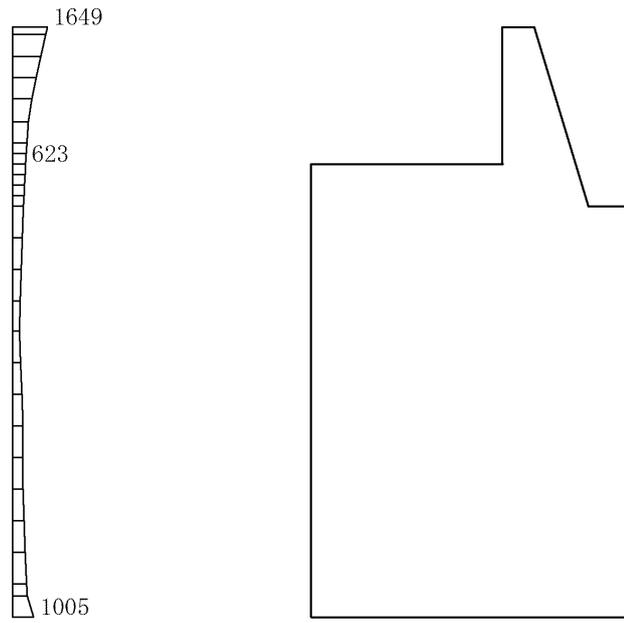
(a) S s - N 1 (- +) 水平



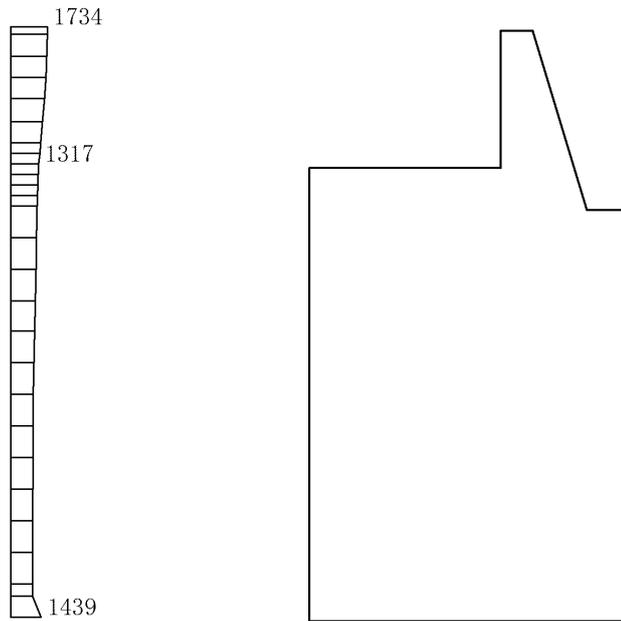
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0.1(m) 応答値スケール 0.2000(cm/s²)

図 4-92 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



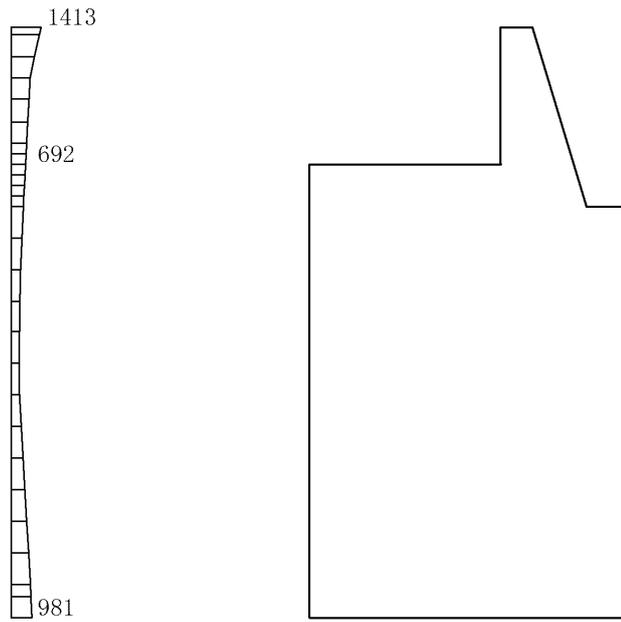
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 水平



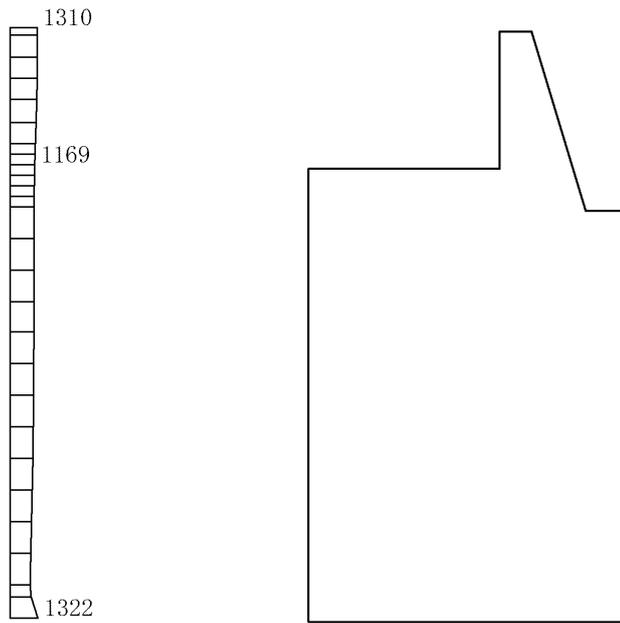
(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-93 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



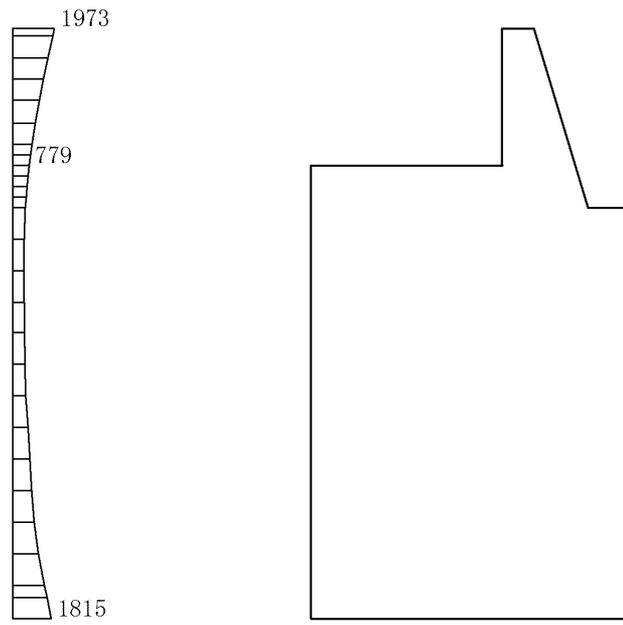
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



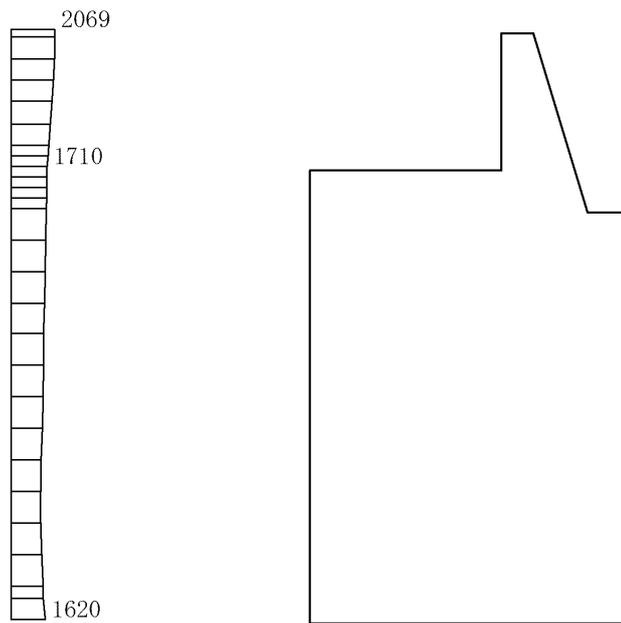
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-94 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



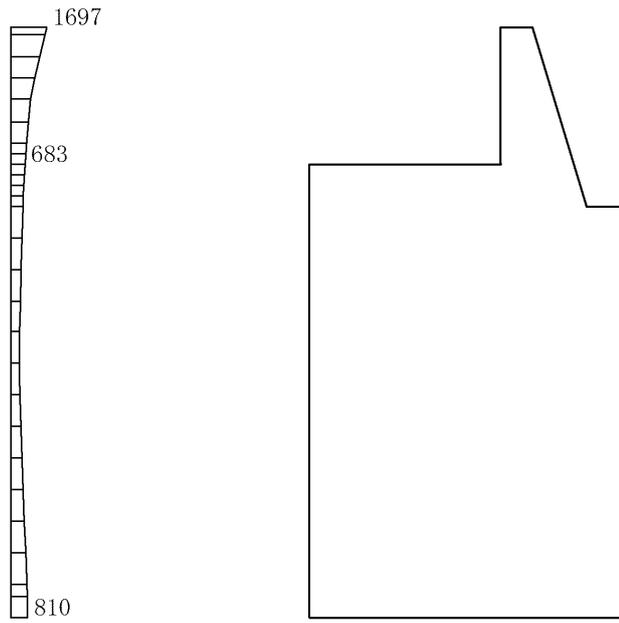
(a) $S_s - N_2 (EW) (++)$ 水平



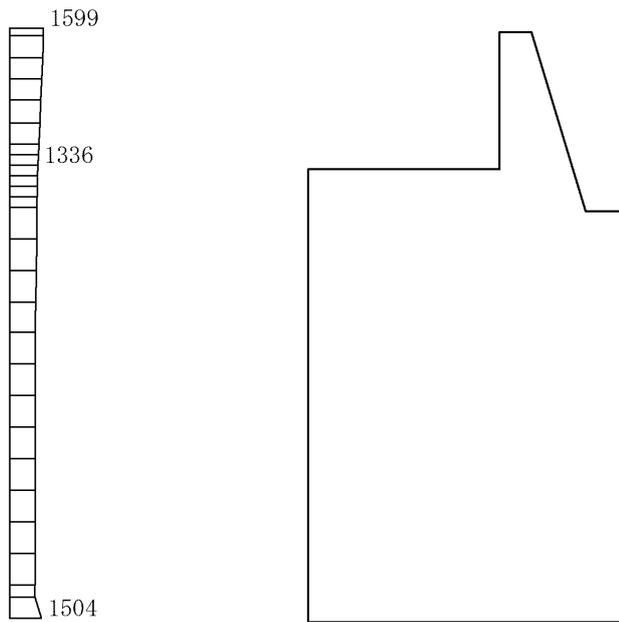
(b) $S_s - N_2 (EW) (++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(m)$ 応答値スケール $0 \sim 2000(cm/s^2)$

図 4-95 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



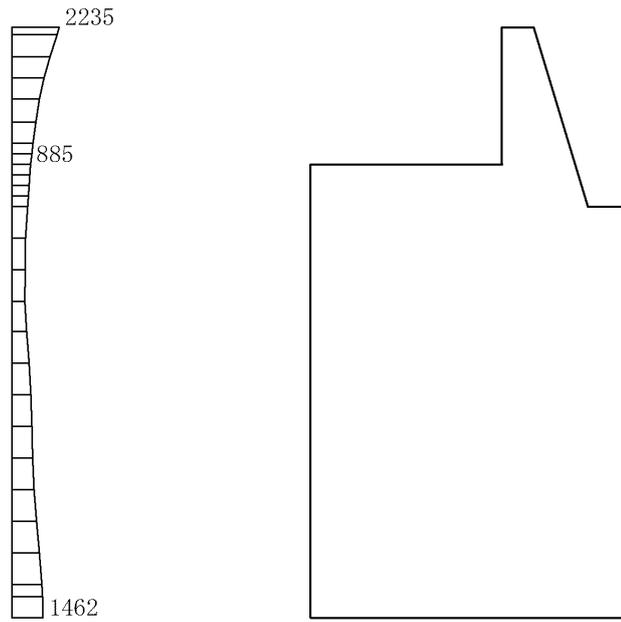
(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



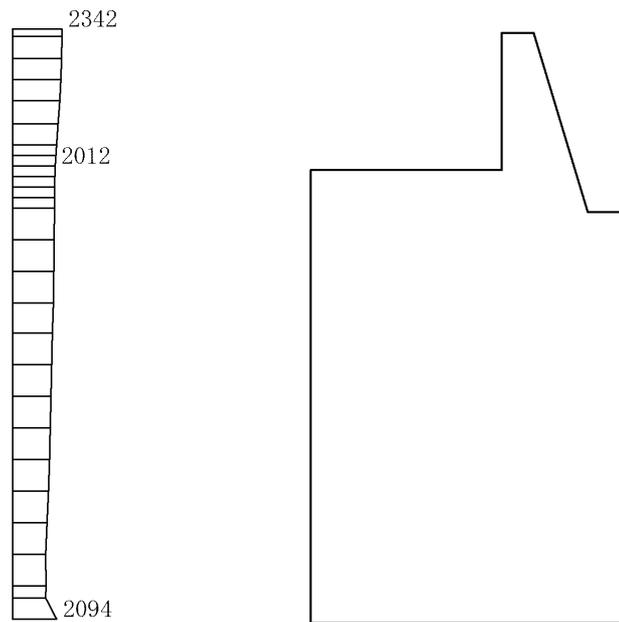
(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \sim 1$ (m) 応答値スケール $0 \sim 2000$ (cm/s^2)

図 4-96 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



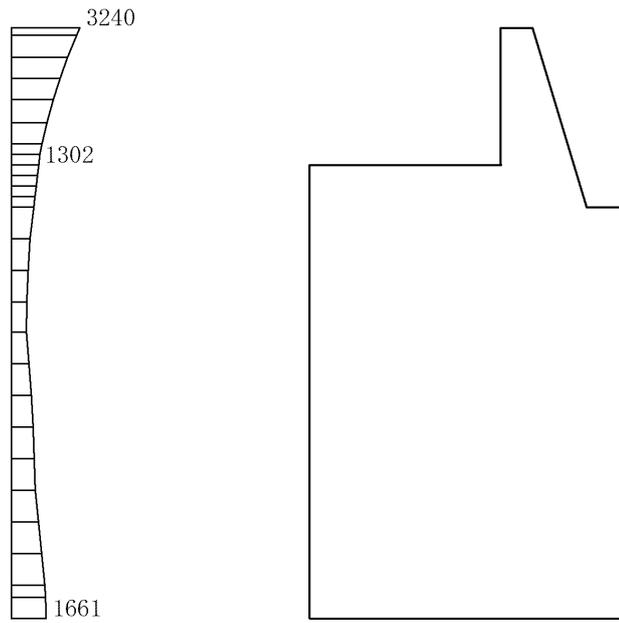
(a) S s - D (++) 水平



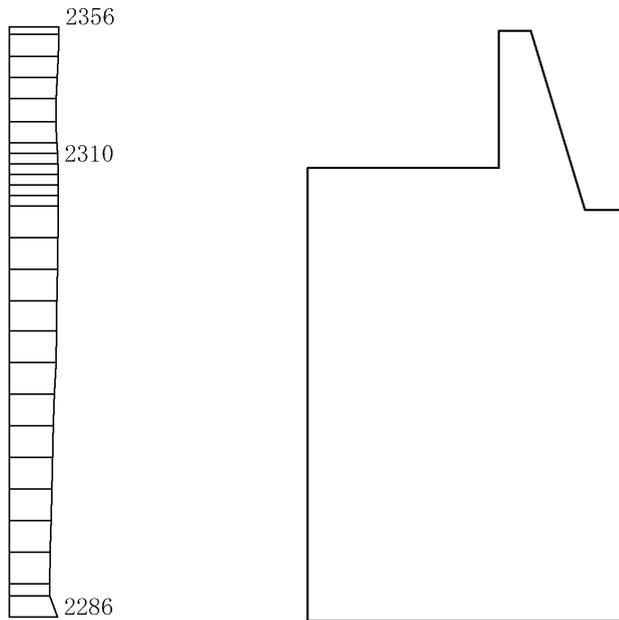
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-97 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



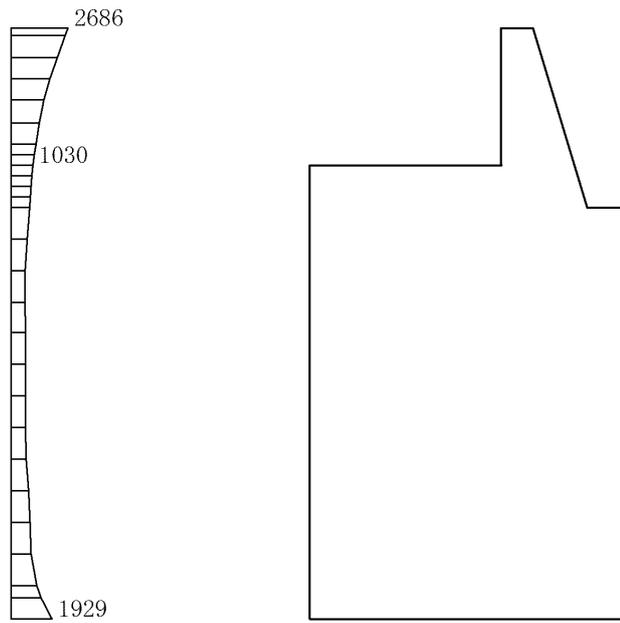
(a) S s - D (-+) 水平



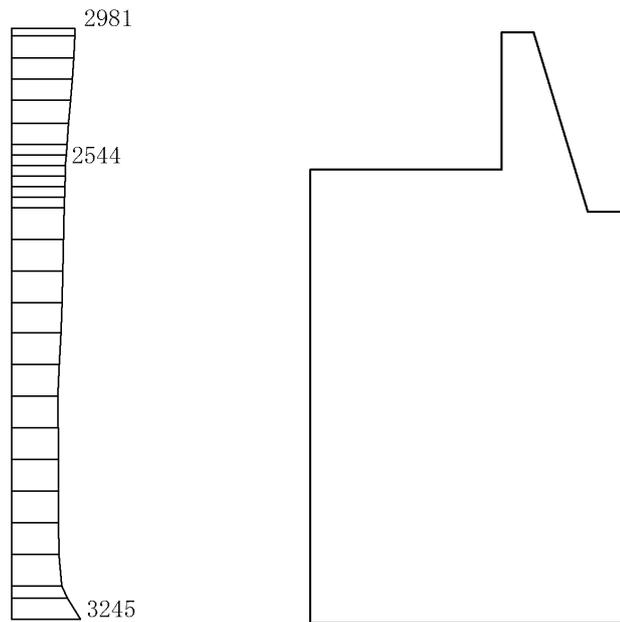
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-98 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



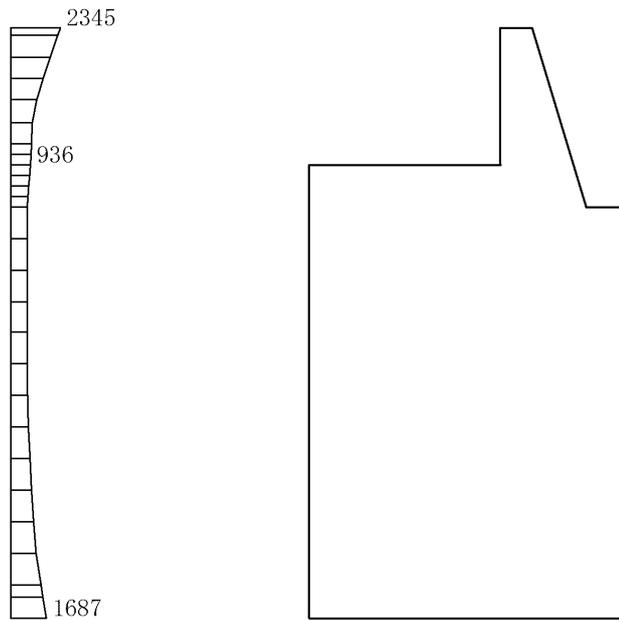
(a) $S_s - D (+ -)$ 水平



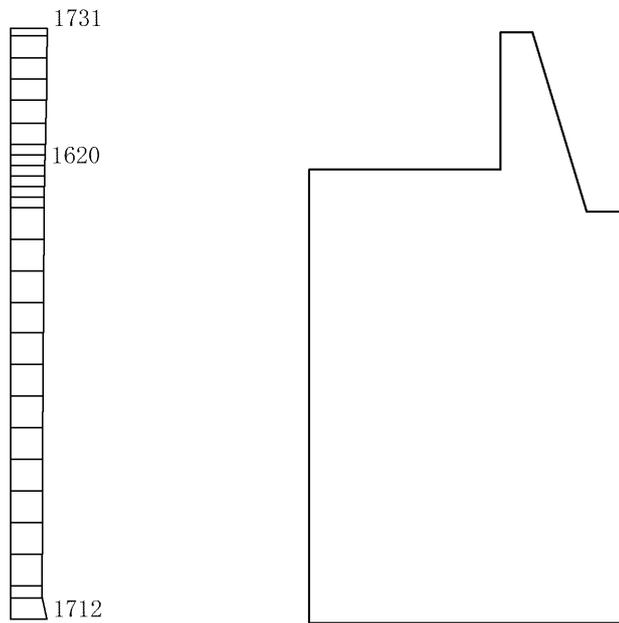
(b) $S_s - D (+ -)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 2000(\text{cm/s}^2)$

図 4-99 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



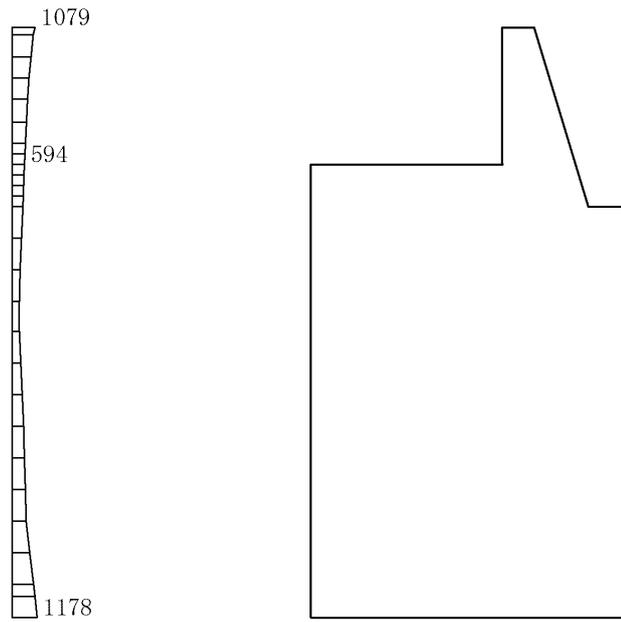
(a) S s - D (--) 水平



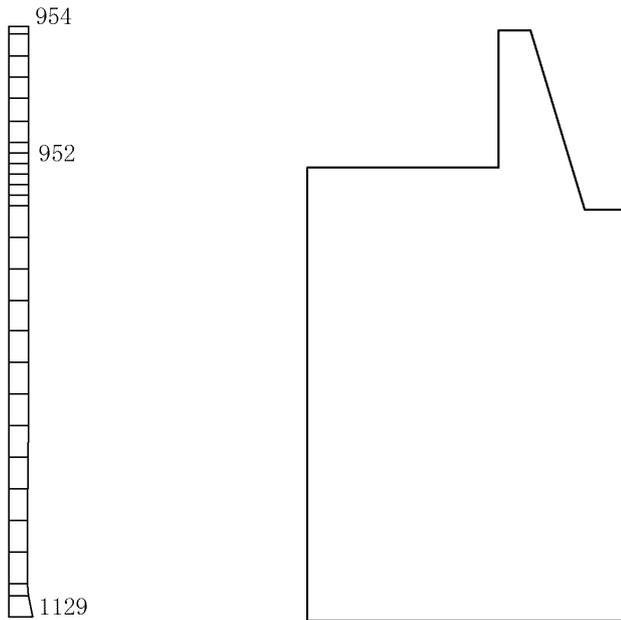
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 ~ 1(m) 応答値スケール 0 ~ 2000(cm/s²)

図 4-100 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



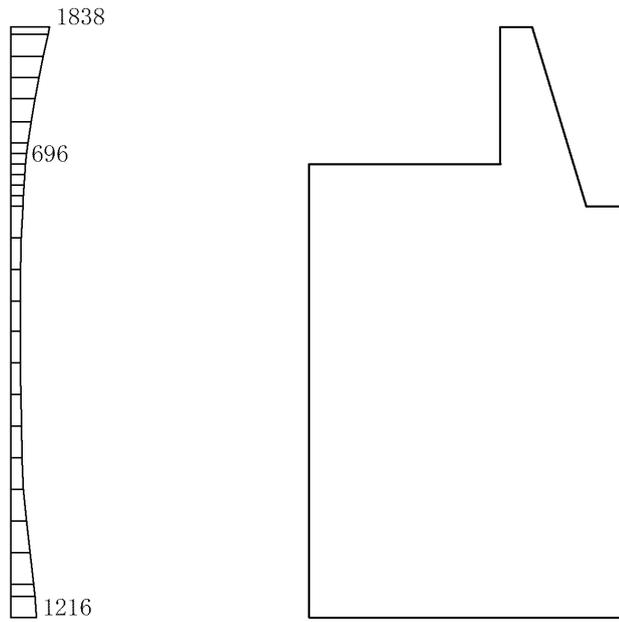
(a) S s - F 1 (++) 水平



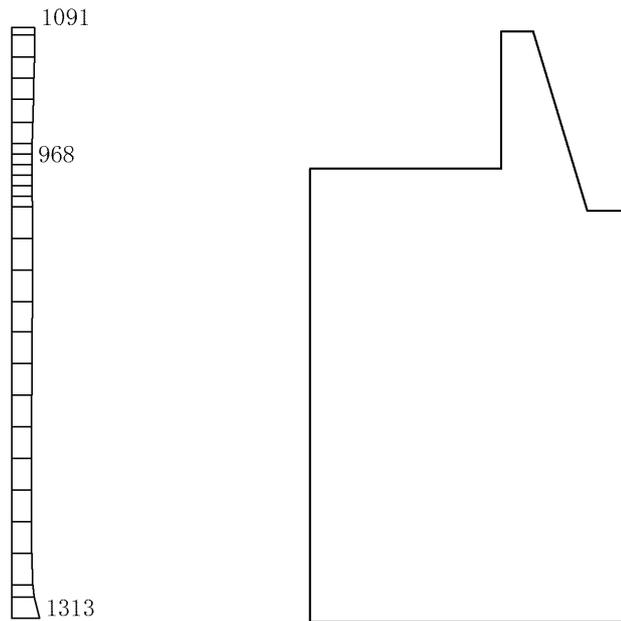
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-101 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



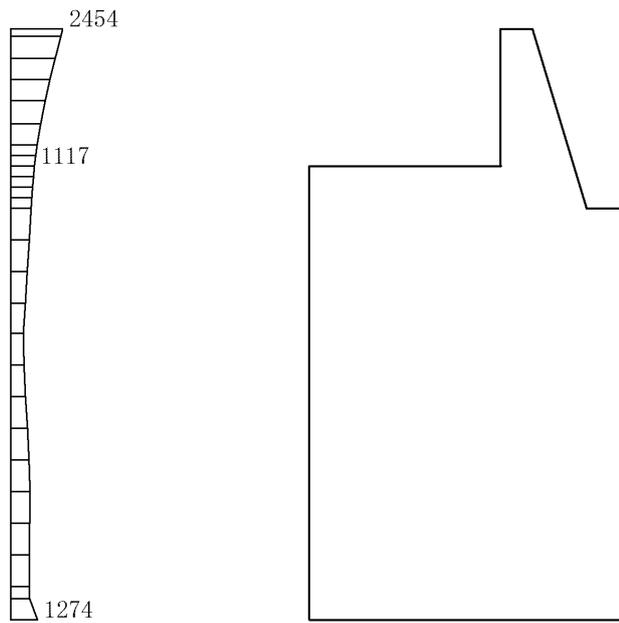
(a) $S_s - F_2 (++)$ 水平



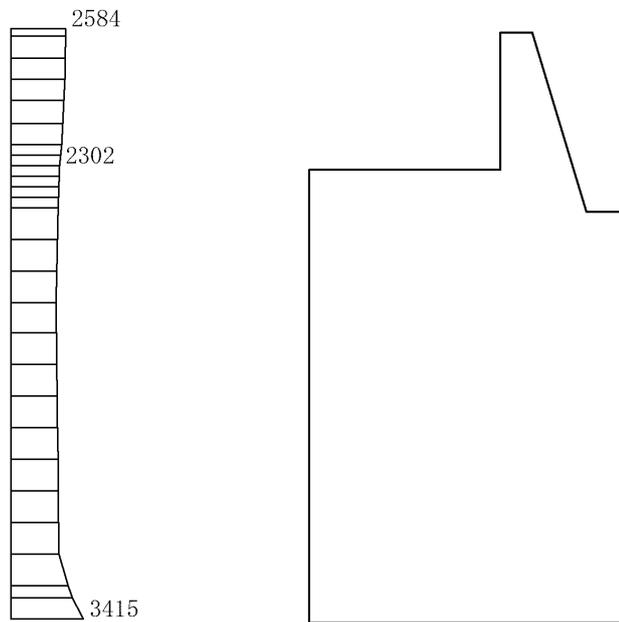
(b) $S_s - F_2 (++)$ 鉛直

構造スケール 0-1(m) 応答値スケール 0-2000(cm/s²)

図 4-102 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



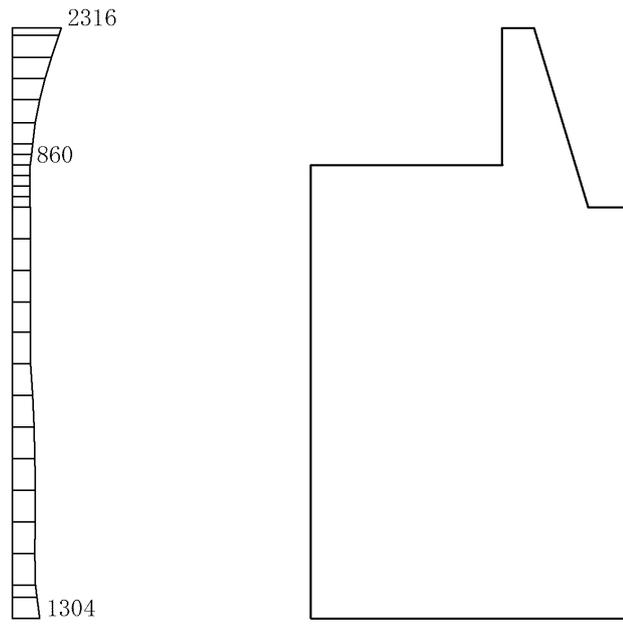
(a) S s - N 1 (++) 水平



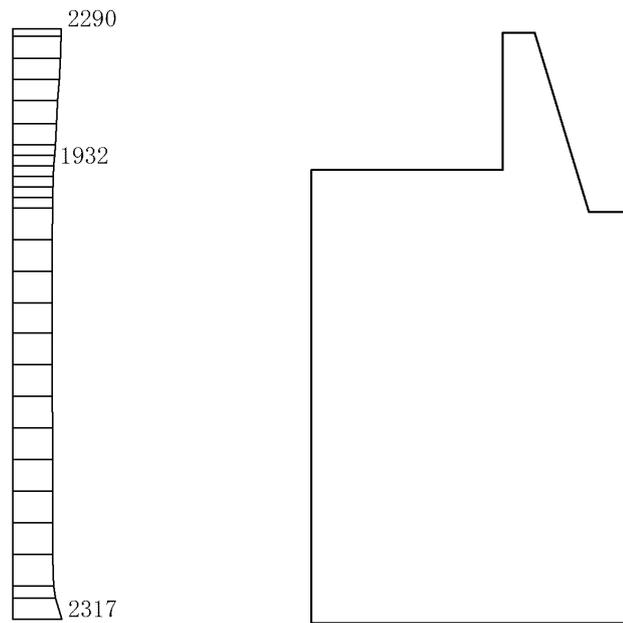
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \sim 1(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 2000(\text{cm/s}^2)$

図 4-103 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



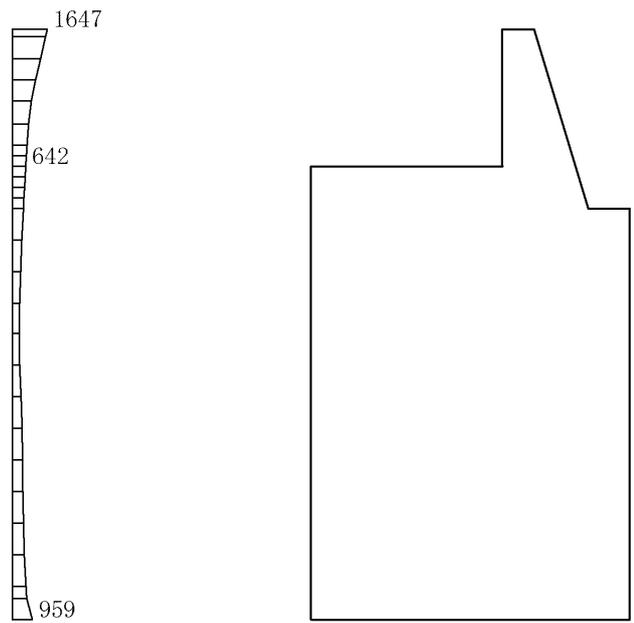
(a) S s - N 1 (- +) 水平



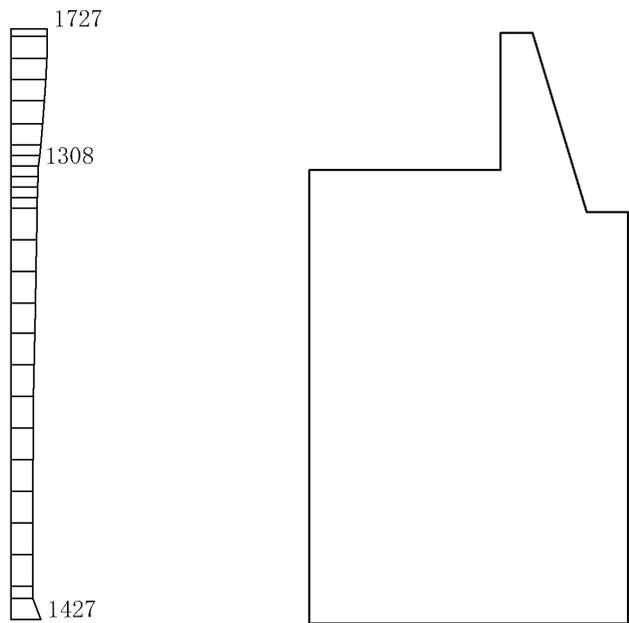
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-104 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



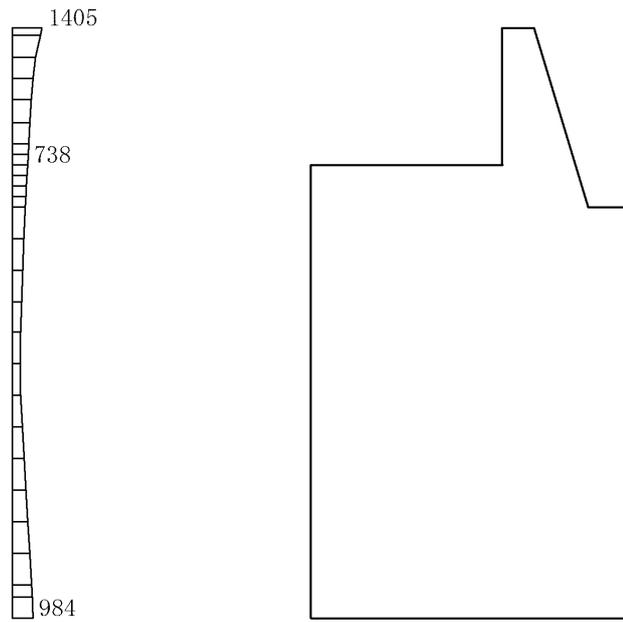
(a) S s - N 2 (N S) (+ +) 水平



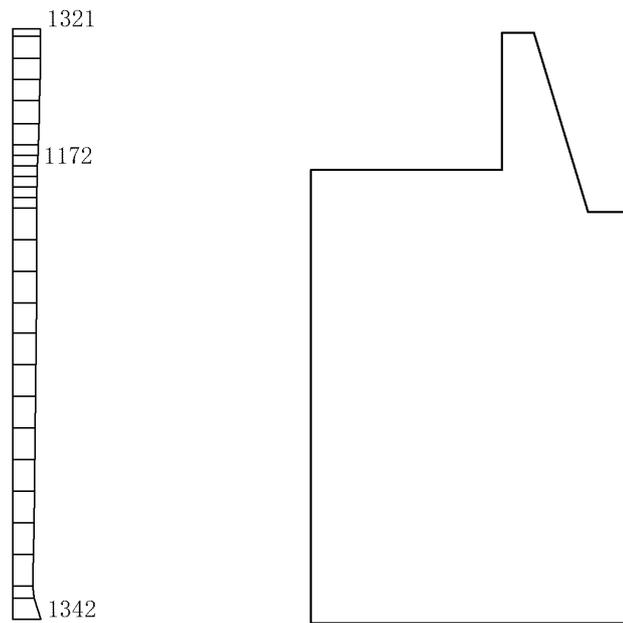
(b) S s - N 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール 0.1(m) 応答値スケール 0.2000(cm/s²)

図 4-105 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



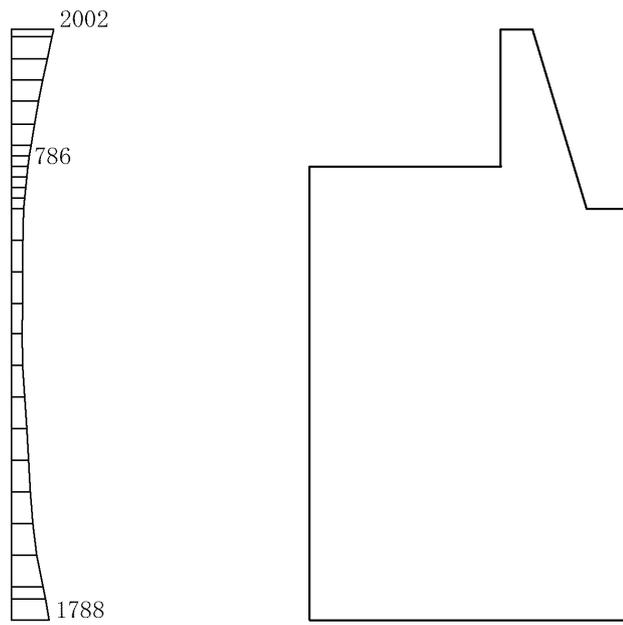
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



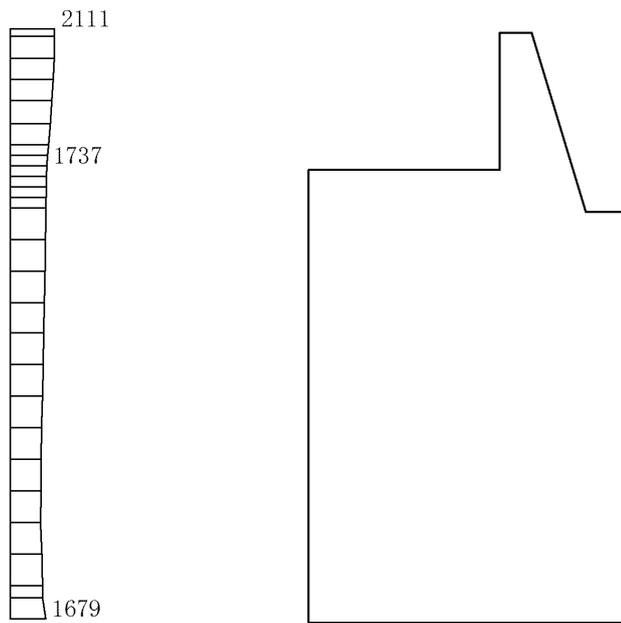
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-106 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



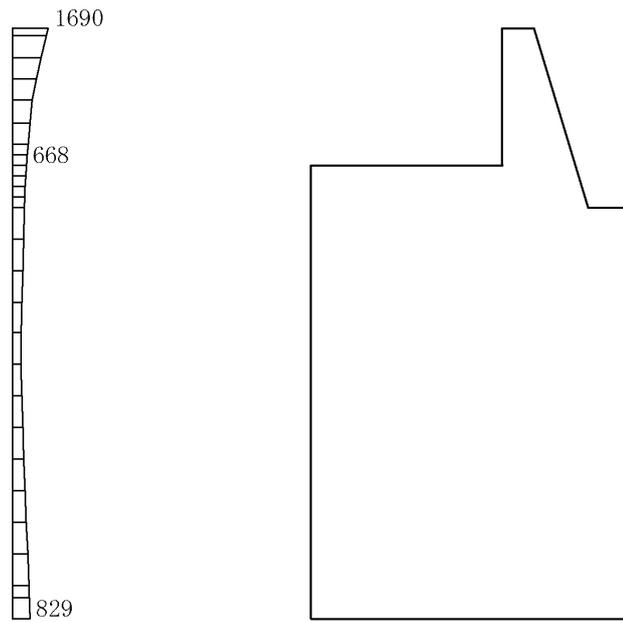
(a) S s - N 2 (E W) (+ +) 水平



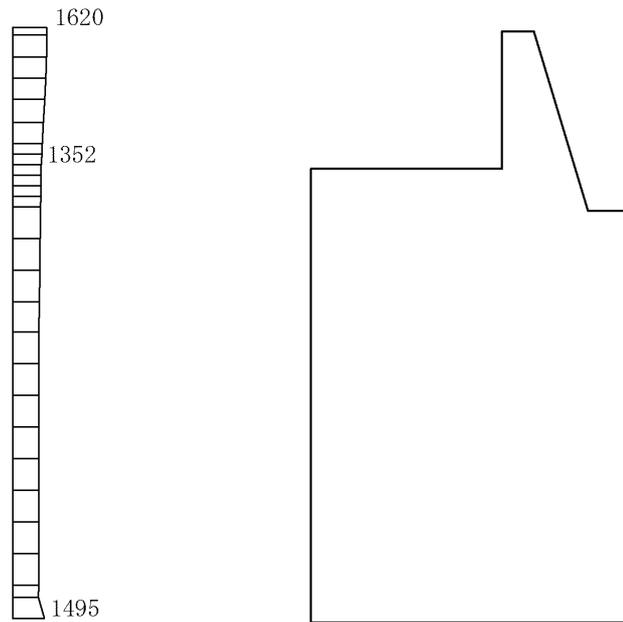
(b) S s - N 2 (E W) (+ +) 鉛直

構造スケール 0_1(m) 応答値スケール 0_2000(cm/s²)

図 4-107 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \sim 1$ (m) 応答値スケール $0 \sim 2000$ (cm/s^2)

図 4-108 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)

4.4 ⑤-⑤断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、応答加速度抽出位置を図4-109に示し、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図4-110～図4-121に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図4-122及び図4-123に示す。

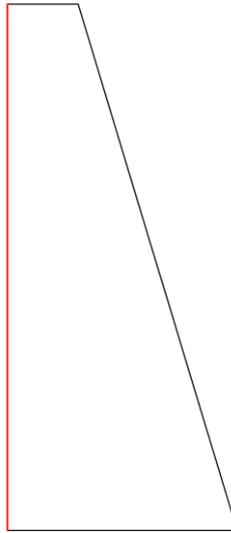
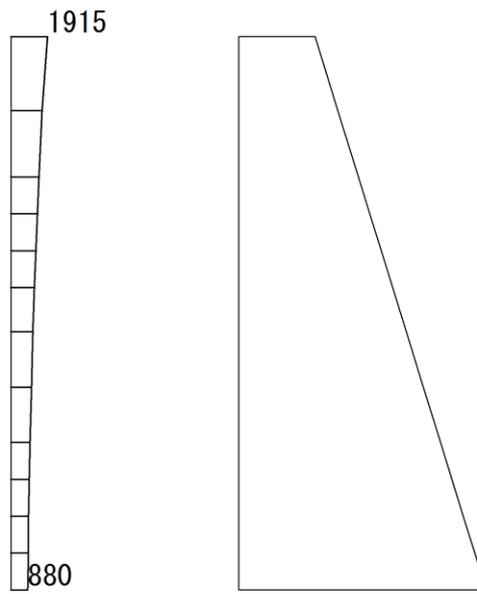
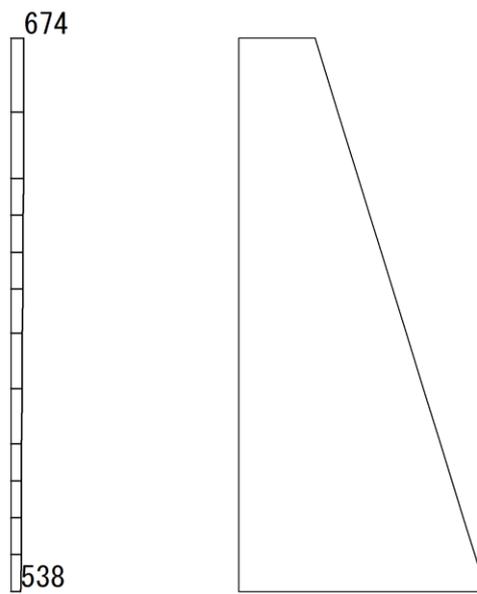


図4-109 応答加速度抽出位置図



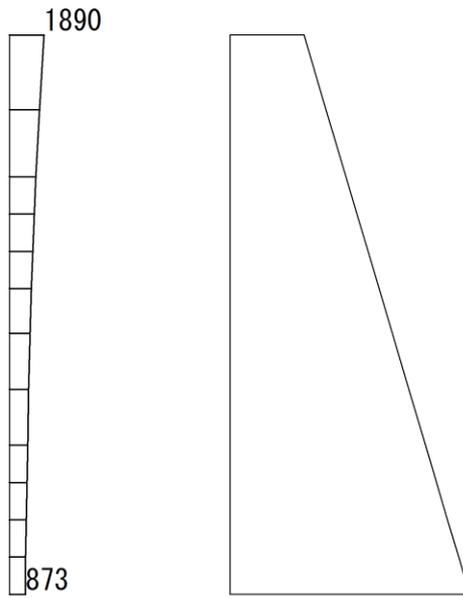
(a) $S_s - D(++)$ 水平



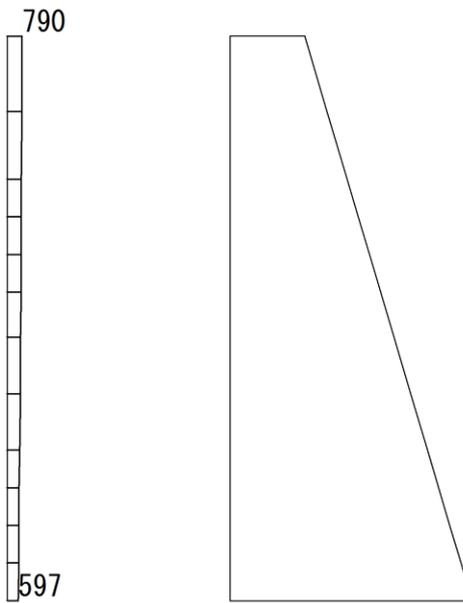
(b) $S_s - D(++)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1$ (m) 応答値スケール $0 \sim 4000$ (cm/s²)

図 4-110 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



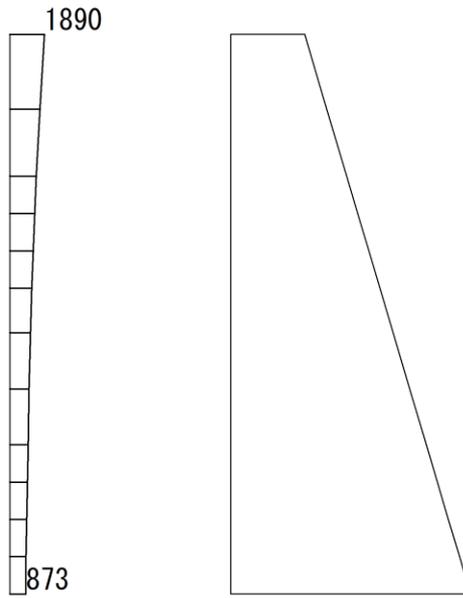
(a) S s - D (-+) 水平



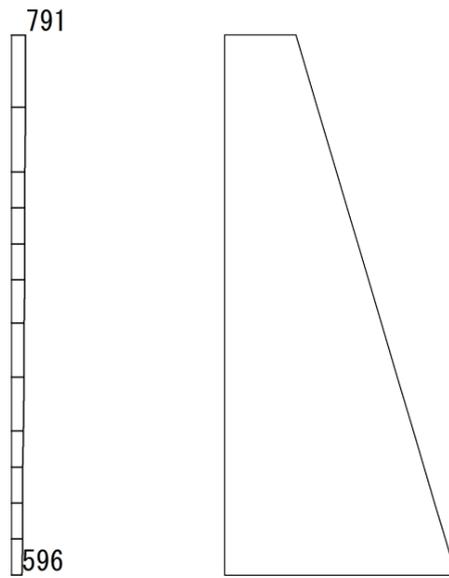
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-111 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



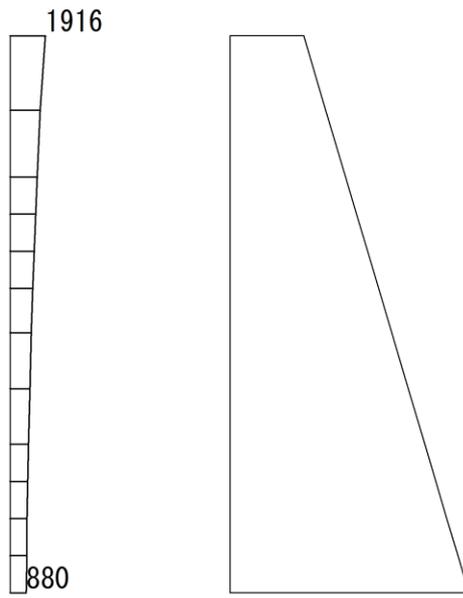
(a) $S_s - D (+ -)$ 水平



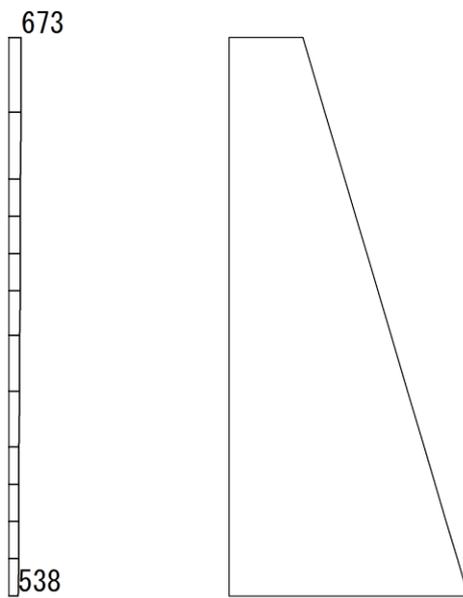
(b) $S_s - D (+ -)$ 鉛直

構造スケール $0 \sim 1$ (m) 応答値スケール $0 \sim 4000$ (cm/s²)

図 4-112 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



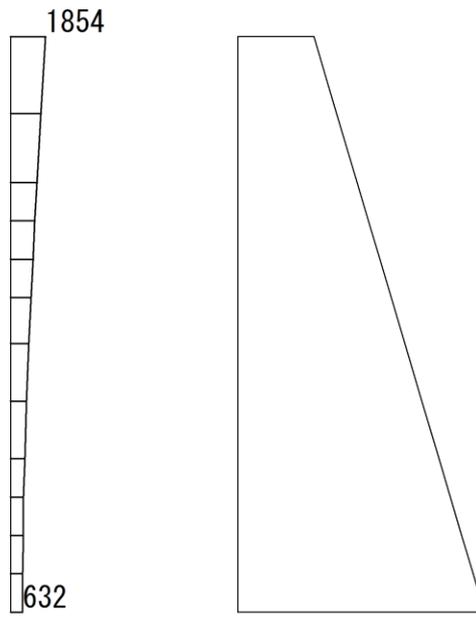
(a) S s - D (--) 水平



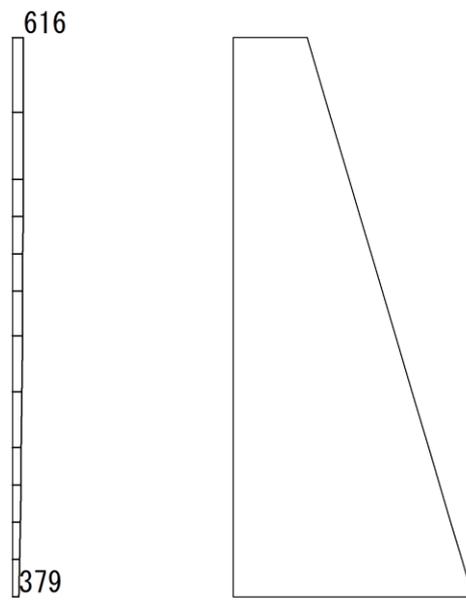
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-113 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



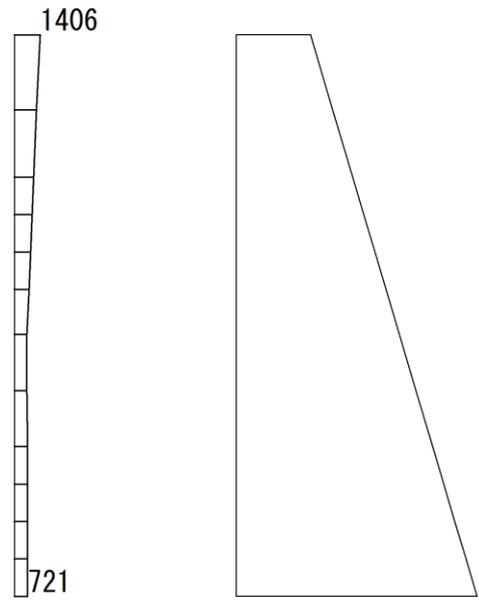
(a) $S_s - F1$ (++) 水平



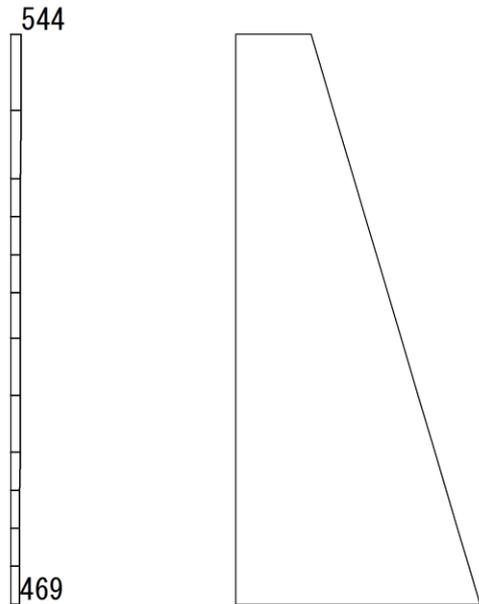
(b) $S_s - F1$ (++) 鉛直

構造スケール $0 \sim 1$ (m) 応答値スケール $0 \sim 4000$ (cm/s²)

図 4-114 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



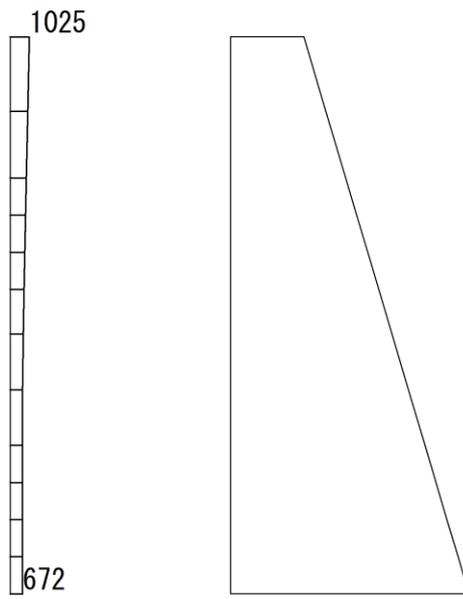
(a) $S_s - F_2 (++)$ 水平



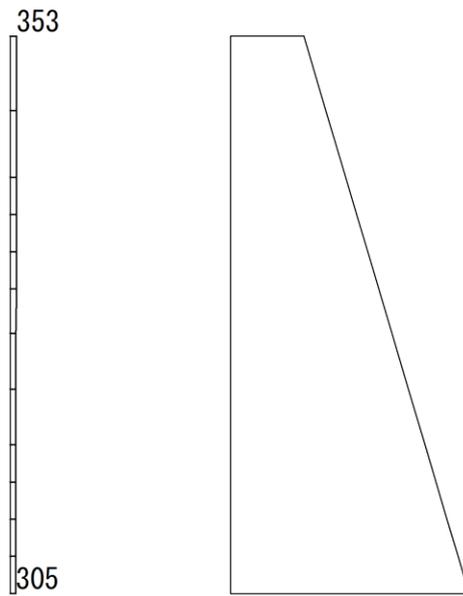
(b) $S_s - F_2 (++)$ 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-115 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



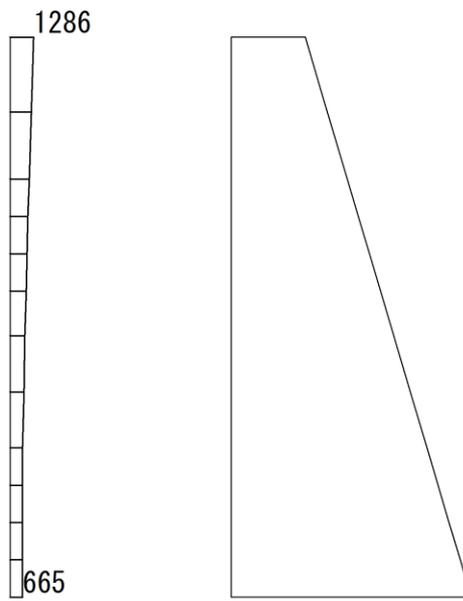
(a) S s - N 1 (++) 水平



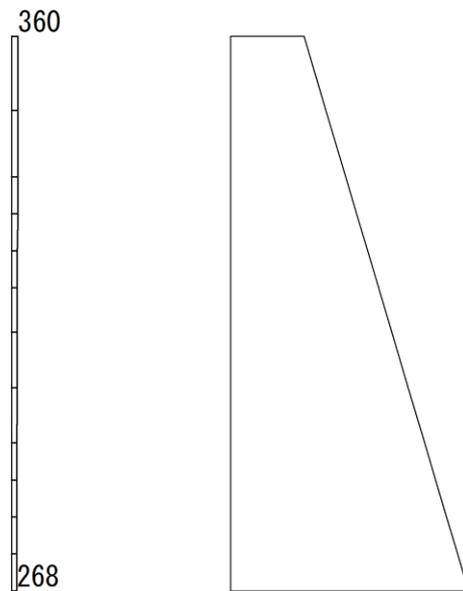
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-116 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



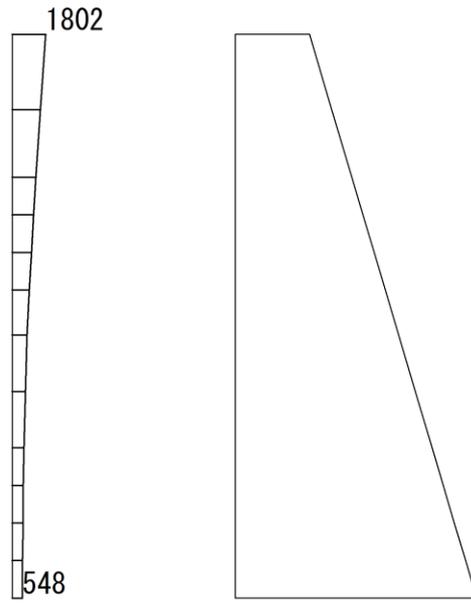
(a) S s - N 1 (- +) 水平



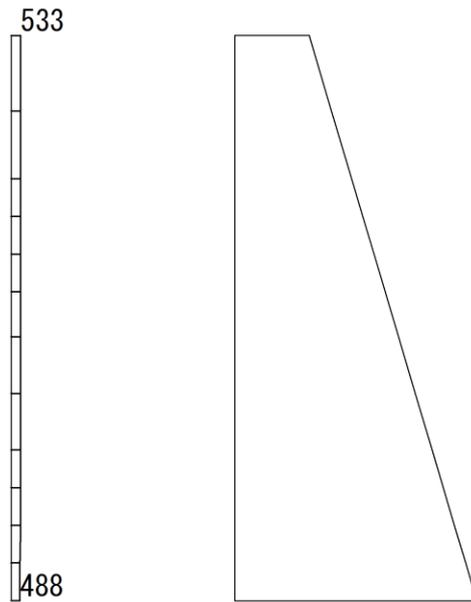
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-117 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



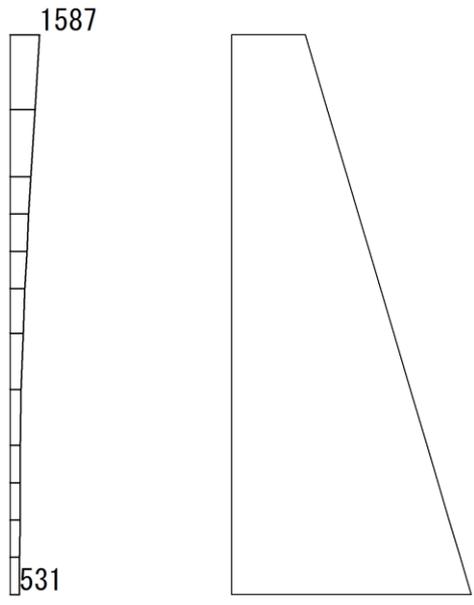
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 水平



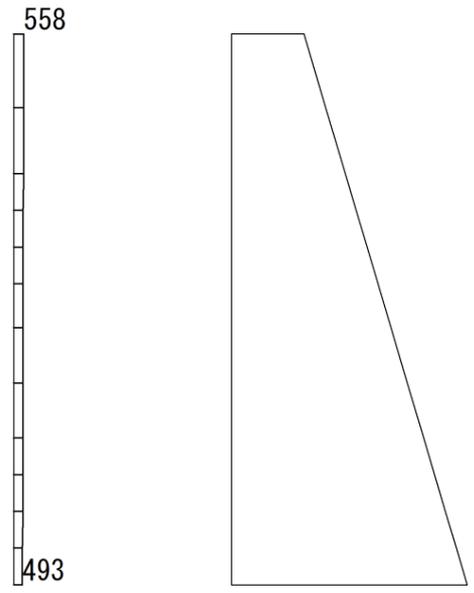
(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s^2)

図 4-118 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



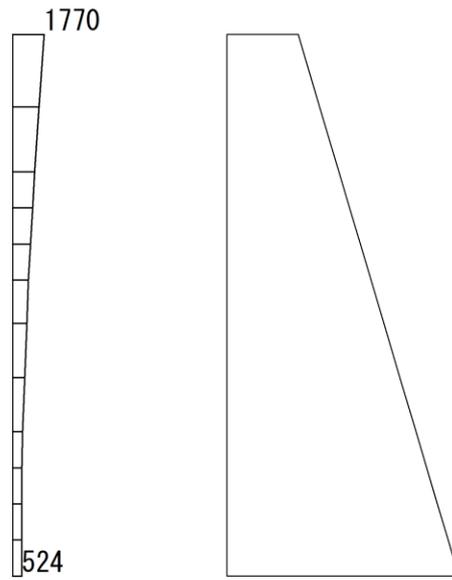
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平



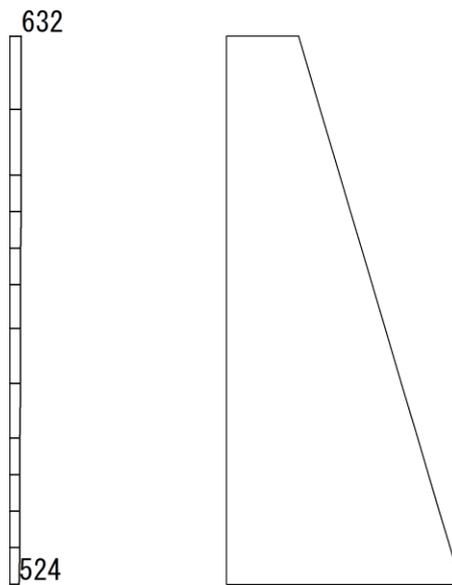
(b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-119 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



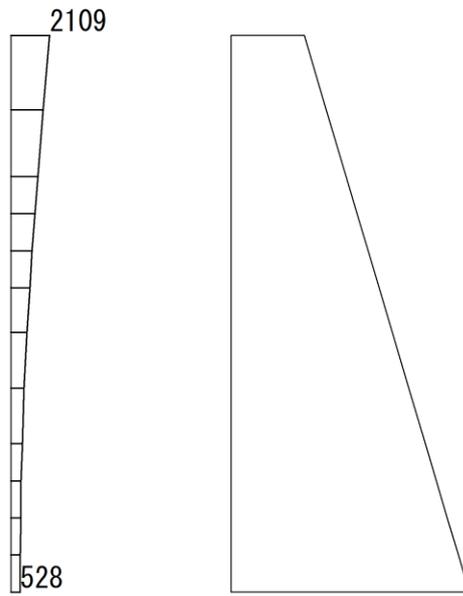
(a) $S_s - N_2$ (EW) (++) 水平



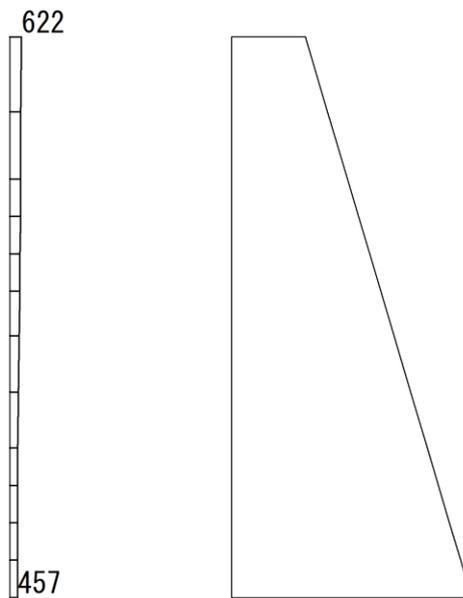
(b) $S_s - N_2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s^2)

図 4-120 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



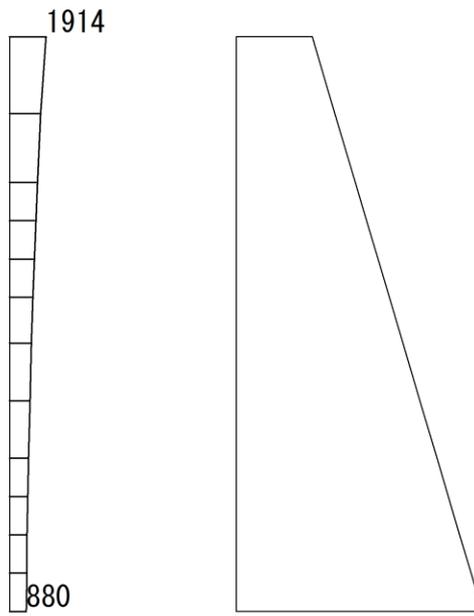
(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平



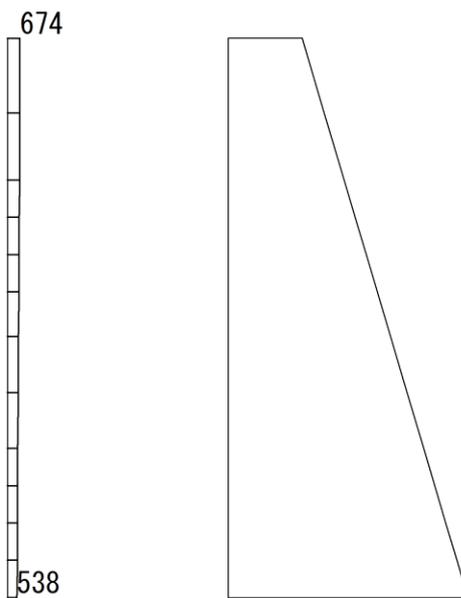
(b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール 0  1 (m) 応答値スケール 0  4000(cm/s²)

図 4-121 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



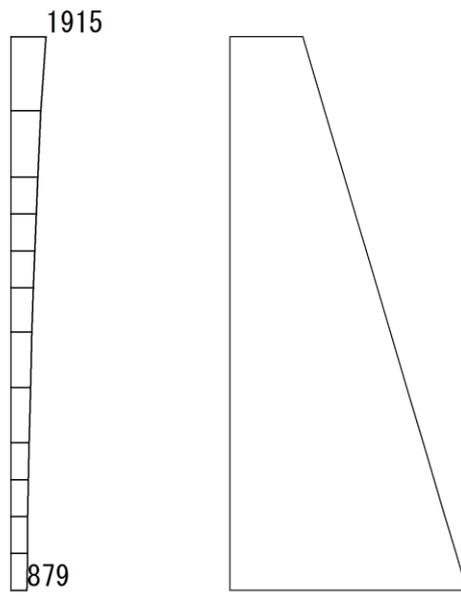
(a) S s - D (++) 水平



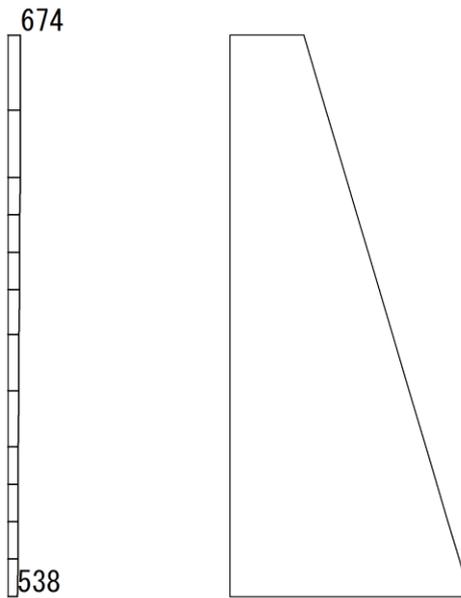
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-122 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



(a) S s - D (++) 水平



(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 1 (m) 応答値スケール 0 4000(cm/s²)

図 4-123 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)