

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-2-9-4-7-1-1 ドレンタンク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	16
3. 評価部位	17
4. 地震応答解析及び構造強度評価	17
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	17
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	17
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	17
4.2.2 許容応力	17
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	18
4.3 解析モデル及び諸元	23
4.4 固有周期	24
4.4.1 水平方向固有周期	24
4.4.2 鉛直方向固有周期	29
4.4.3 固有周期の計算結果	33
4.5 設計用地震力	34
4.6 計算方法	35
4.6.1 胴の応力	35
4.6.2 ラグの応力	51
4.6.3 取付ボルトの応力	54
4.7 計算条件	55
4.8 応力の評価	55
4.8.1 胴の応力評価	55
4.8.2 ラグの応力評価	55
4.8.3 取付ボルトの応力評価	55
5. 評価結果	56
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	56
6. 参考文献	56

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、格納容器圧力逃がし装置のドレンタンク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。

ドレンタンクは、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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドレンタンクの構造計画を表 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4個のラグで支持し、ラグをフィルタベント遮蔽壁に固定された架台に取付ボルトで固定する。</p>	<p>たて置円筒形（振れ止めを有するラグ支持たて置円筒形容器）</p>	

2.2 評価方針

ラグ支持たて置円筒形容器であるドレンタンクの応力評価は、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」にて示すドレンタンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ドレンタンクの耐震評価フローを図2-1に示す。

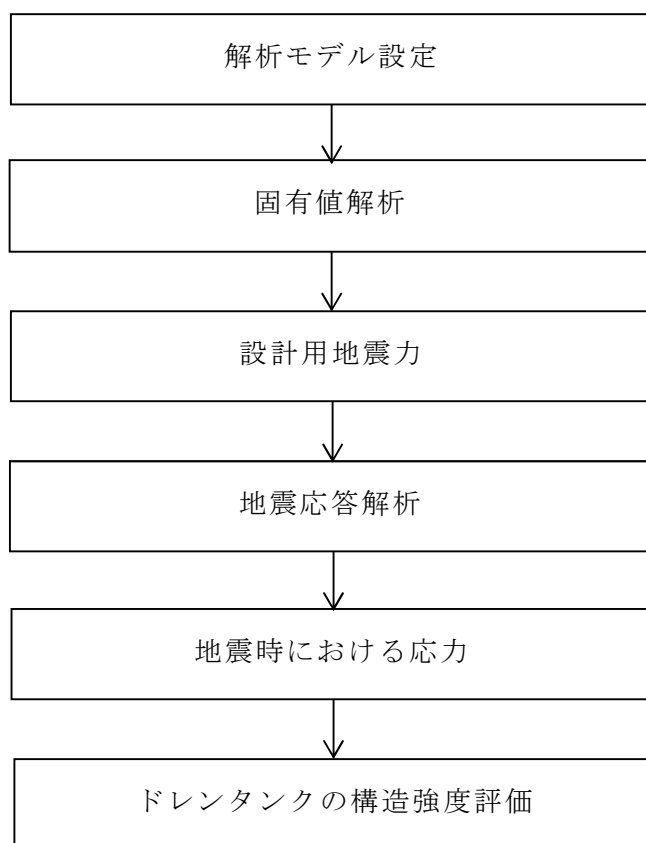


図2-1 ドレンタンクの耐震評価フロー

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 _b	ボルトの軸断面積	mm ²
A _{be}	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 _{s1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
A _{s2}	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の板厚中心までの距離	mm
b	ラグの半径方向端面からボルト中心までの距離	mm
C ₁	ラグの胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の周方向)	mm
C ₂	ラグの胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の軸方向)	mm
C _{c, j}	周方向モーメントによる応力の補正係数 (参考文献(1), (2)より得られる値) (j = 1 : 周方向応力, j = 2 : 軸方向応力)	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _{ℓ, j}	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数 (参考文献(1), (2)より得られる値) (j = 1 : 周方向応力, j = 2 : 軸方向応力)	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
c	架台端面からボルト中心までの距離	mm
D _i	胴の内径	mm
d	ボルト中心間の距離	mm
d _o	ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _b	ボルトの縦弾性係数	MPa
e	ラグ底板幅の 1/2	mm
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 ₀	振動モデル系におけるラグに加わる水平力 (振れ止め架台に加わる水平力を除いた水平力)	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 (振れ止め架台に加わる水平力を除いた水平力)	N
F ₀₁	運転時質量によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{01D}	鉛直下向き地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{01U}	鉛直上向き地震力により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_{01V}	鉛直方向地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{02}	運転時質量により架台端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{02U}	鉛直上向き地震力によりラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{11}	水平力 F_1 , F_2 により第1ラグのボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{12}	水平力 F_1 , 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 , F_2 により第3ラグのボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{22}	水平力 F_1 , F_2 により第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 , F_2 により第2, 第4ラグのボルトに作用する鉛直方向反力 (図4-4に示す鉛直方向反力)	N
F_V	単位鉛直力	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	ラグの許容引張応力	MPa
f_{t0}	引張力のみを受ける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ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
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振れ止め架台を考慮した仮想的な下部重心までの距離	mm
H_{2i}	ラグのアタッチメント中心より下部の各質点間の距離 ($i = 1, 2, \dots, 5$)	mm
H_{2V}	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	胴のラグつ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 (参考文献(1)より得られる値)	—
K_l	胴のラグつ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 (参考文献(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_5	胴の鉛直方向変位に対するばね定数	N/mm

記号	記号の説明	単位
k_6	鉛直荷重による上部胴の伸び変形に対するばね定数	N/mm
k_7	鉛直荷重による下部胴の伸び変形に対するばね定数	N/mm
k_c, k_θ	参考文献(1), (2)におけるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
L	胴の長さ	mm
L_b	ボルトの有効長さ	mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント (参考文献(1), (2)の図表より)	N・mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント (参考文献(1), (2)の図表より)	N・mm
M	水平力による胴のラグつけ根部の転倒モーメント	N・mm
M_0	鉛直方向荷重による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_1, M_2	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_3	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部のねじり方向モーメント	N・mm
M_c	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部の周方向モーメント	N・mm
M_θ	運転時質量による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\theta D}$	鉛直下向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\theta U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\theta V}$	鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
m_0	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振れ止め架台を考慮した仮想的な運転時質量	kg
m_{2i}	ラグのアタッチメント中心より下部の各質点の運転時質量 ($i = 1, 2, \dots, 6$)	kg
m_{2V}	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 (参考文献(1), (2)の図表より)	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力 (参考文献(1), (2)の図表より)	N/mm
n	ラグ1個当りのボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部の周方向荷重	N
R	運転時質量によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N
R_0	鉛直方向荷重によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N
R_1	水平力 F_1, F_2 によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N

記号	記号の説明	単位
R_D	鉛直下向き地震力によるラグつ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つ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つ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
$S_y (R T)$	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
T_H	水平方向振動系の固有周期	s
T_{H1}	水平方向振動系の固有周期 (1 次)	s
T_{H2}	水平方向振動系の固有周期 (2 次)	s
T_V	鉛直方向振動系の固有周期 (1 次)	s
t	胴の板厚	mm
Z_{sl}	胴の軸方向軸に対するラグの断面係数	mm ³
Z_{sp}	ラグのねじり断面係数	mm ³
Z_{st}	胴の周方向軸に対するラグの断面係数	mm ³
α	参考文献(1), (2)におけるシェルパラメータ	—
$\beta, \beta_1, \beta_2,$ β_l, β_c	参考文献(1), (2)におけるアタッチメントパラメータ	—
γ	参考文献(1), (2)におけるシェルパラメータ	—
Δ_{x1}	水平力 F_1, 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_{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_{12V}	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_{21V}	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_{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, しない場合: 0)	—
θ	水平力 F_1, 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つけ根部の局部傾き角	rad

記号	記号の説明	単位
θ_{0U}	鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の局部傾き角	rad
θ_1	水平力 F_1 , F_2 による胴の第1ラグつけ根部の局部傾き角	rad
θ_2	水平力 F_1 , F_2 による胴の第3ラグつけ根部の局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_1 , F_2 による胴の第2, 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架台に対する傾き角	rad
θ_{s0U}	鉛直上向き地震力によるラグの架台に対する傾き角	rad
θ_{s1}	水平力 F_1 , F_2 による第1ラグの架台に対する傾き角	rad
θ_{s2}	水平力 F_1 , F_2 による第3ラグの架台に対する傾き角	rad
π	円周率	—
ρ	液体の比重	—
σ_0	胴の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
σ_2	胴の一次+二次応力の変動値の最大値	MPa
σ_{11}, σ_{12}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{13}, σ_{14}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{15}, σ_{16}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{17}, σ_{18}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{19}, \sigma_{110}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{21}, σ_{22}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa
σ_{23}, σ_{24}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{25}, σ_{26}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力＋二次応力の変動値	MPa
σ_{27}, σ_{28}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{29}, \sigma_{210}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力＋二次応力の変動値	MPa
σ_{1s}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第1ラグの組合せ応力	MPa
σ_{2s}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第2ラグ及び第4ラグの組合せ応力	MPa
σ_{3s}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第3ラグの組合せ応力	MPa
σ_{4s}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第1ラグ及び第4ラグの組合せ応力	MPa
σ_{5s}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第2ラグ及び第3ラグの組合せ応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力により第1ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力により第2ラグ及び第4ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b3}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力により第3ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第1ラグ及び第4ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b5}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第2ラグ及び第3ラグのボルトに生じる引張応力	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
σ_{s2}	Z方向地震力による第1ラグの曲げ応力	MPa
σ_{s3}	Z方向地震力による第2ラグ及び第4ラグの曲げ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{s4}	Z方向地震力による第3ラグの曲げ応力	MPa
σ_{s5}	X方向地震力による第1ラグ及び第4ラグの曲げ応力	MPa
σ_{s6}	X方向地震力による第2ラグ及び第3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
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力及び軸方向応力	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
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x5}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x5}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 6}, \sigma_{x6}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 6}, \sigma_{2x6}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 7}, \sigma_{x7}$	Z方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる第2ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 7}, \sigma_{2x7}$	Z方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる第2ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x8}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 8}, \sigma_{2x8}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x9}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2ラグ及び第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 9}, \sigma_{2x9}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2ラグ及び第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x10}$	X方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによるラグつけ根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{2\phi 10}$, σ_{2x10} σ_{x11}	X方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによるラグつけ根部の周方向及び軸方向二次応力 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力	MPa MPa
$\sigma_{\phi 12}$, σ_{x12}	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
$\sigma_{2\phi 12}$, σ_{2x12}	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
$\sigma_{\phi 12D}$, σ_{x12D}	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
$\sigma_{2\phi 12D}$, σ_{2x12D}	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
$\sigma_{\phi 12U}$, σ_{x12U}	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
$\sigma_{2\phi 12U}$, σ_{2x12U}	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
σ_{xx1} , σ_{xx2}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xx1} , σ_{2xx2}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
σ_{xx3} , σ_{xx4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xx3} , σ_{2xx4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
σ_{xz1} , σ_{xz2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xz1} , σ_{2xz2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{xz3}, \sigma_{xz4}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2xz3}, \sigma_{2xz4}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{xz5}, \sigma_{xz6}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2xz5}, \sigma_{2xz6}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi x1}, \sigma_{\phi x2}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi x1}, \sigma_{2\phi x2}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi x3}, \sigma_{\phi x4}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi x3}, \sigma_{2\phi x4}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi z1}, \sigma_{\phi z2}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi z1}, \sigma_{2\phi z2}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi z3}, \sigma_{\phi z4}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{2\phi z3},$ $\sigma_{2\phi z4}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi z5}, \sigma_{\phi z6}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi z5},$ $\sigma_{2\phi z6}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
τ_3	Z方向地震力により胴のラグつけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	X方向地震力により胴のラグつ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_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第1ラグ及び第4ラグのボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b5}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第2ラグ及び第3ラグのボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	Z方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	X方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 1}$	運転時質量により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 2}$	Z方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 5}$	X方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6}$	鉛直方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6D}$	鉛直下向き地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6U}$	鉛直上向き地震力により胴のラグつ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
τ_{s2}	Z方向地震力による第1ラグのせん断応力	MPa
τ_{s3}	Z方向地震力による第2ラグ及び第4ラグのせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_{s4}	Z方向地震力による第3ラグのせん断応力	MPa
τ_{s5}	X方向地震力による第1ラグ及び第4ラグのせん断応力	MPa
τ_{s6}	X方向地震力による第2ラグ及び第3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 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
比重	—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第 1 位
面積 ^{*2}	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	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：ボルトの有効断面積は、J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：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許容引張応力及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ドレンタンクの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴板、ラグ、取付ボルトについて実施する。ドレンタンクの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 容器及び内容物の質量は鉛直方向を複数の領域に区分し、各領域の全質量が、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 容器の胴は 4 個のラグで支持され、ラグ 1 個に対し、取付ボルト 2 本で架台に取り付ける。
- (3) ラグと架台との取付部で取付ボルトの伸びを考慮する。
- (4) 架台は剛構造とする。
- (5) ラグは胴の半径方向にスライド可能とし、半径方向の荷重は受け持たないものとする。
- (6) ラグはボルト間の中心を軸に回転し得るものとする。
- (7) 胴をはりと考え、水平方向の変形モードは胴の曲げ及びせん断変形を、鉛直方向は胴の伸び変形を考慮する。
- (8) 胴板とラグの取付部において胴板の局部変形を考慮する。
- (9) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (10) 組合せ応力の計算においては、安全側に絶対値和で組合せるものとする。
- (11) 本計算書は、鉛直方向反力 F_{11} 、 F_{12} 、 F_{21} 、 F_{22} がすべて正の値の場合のみ適用する。
- (12) 容器は胴の半径方向の変位を拘束する振れ止め架台を有するものとする。
- (13) 容器は満水の状態を想定する。
- (14) 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

ドレンタンク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

ドレンタンクの許容応力は、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 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドレンタンク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。

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	圧力逃がし 装置	ドレンタンク	常設／緩和	^{*2} 重大事故等 クラス2容器	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)
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	ドレンタンク	常設／緩和	^{*2} 重大事故等 クラス2容器	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	ドレンタンク	常設耐震／防止	^{*2} 重大事故等 クラス2容器	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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：積雪荷重を含む。

*4：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」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, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	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。*3	
V _A S (V _A S として IV _A S の 許容限界を用いる。)				

注記*1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：2・S_y を超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。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	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	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 4-4 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)
		最高使用温度					
胴板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120	407	—
ラグ	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
取付ボルト	SNB7 (63mm < 径 ≤ 100mm)	最高使用温度	200	—	569	708	—

4.3 解析モデル及び諸元

ドレンタンクの解析モデルを図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【ドレンタンク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。

- (1) ドレンタンクをはり要素でモデル化する。
- (2) 上部のラグ位置でばね支持，下部の2段の振れ止め架台位置で半径方向を支持された多質点系振動モデルとして考える。
- (3) 容器及び内容物の質量は鉛直方向を複数の領域に区分し，各領域の全質量が，それぞれの重心 ($m_1, m_{21}, m_{22}, m_{23}, m_{24}, m_{25}, m_{26}$) に集中するものとする。
- (4) 拘束条件として，ラグ取付部、振れ止め架台と建屋の接合部を完全拘束する。
- (5) 解析コードは、「ABAQUS」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，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

K6 ① VI-2-9-4-7-1-1 R0

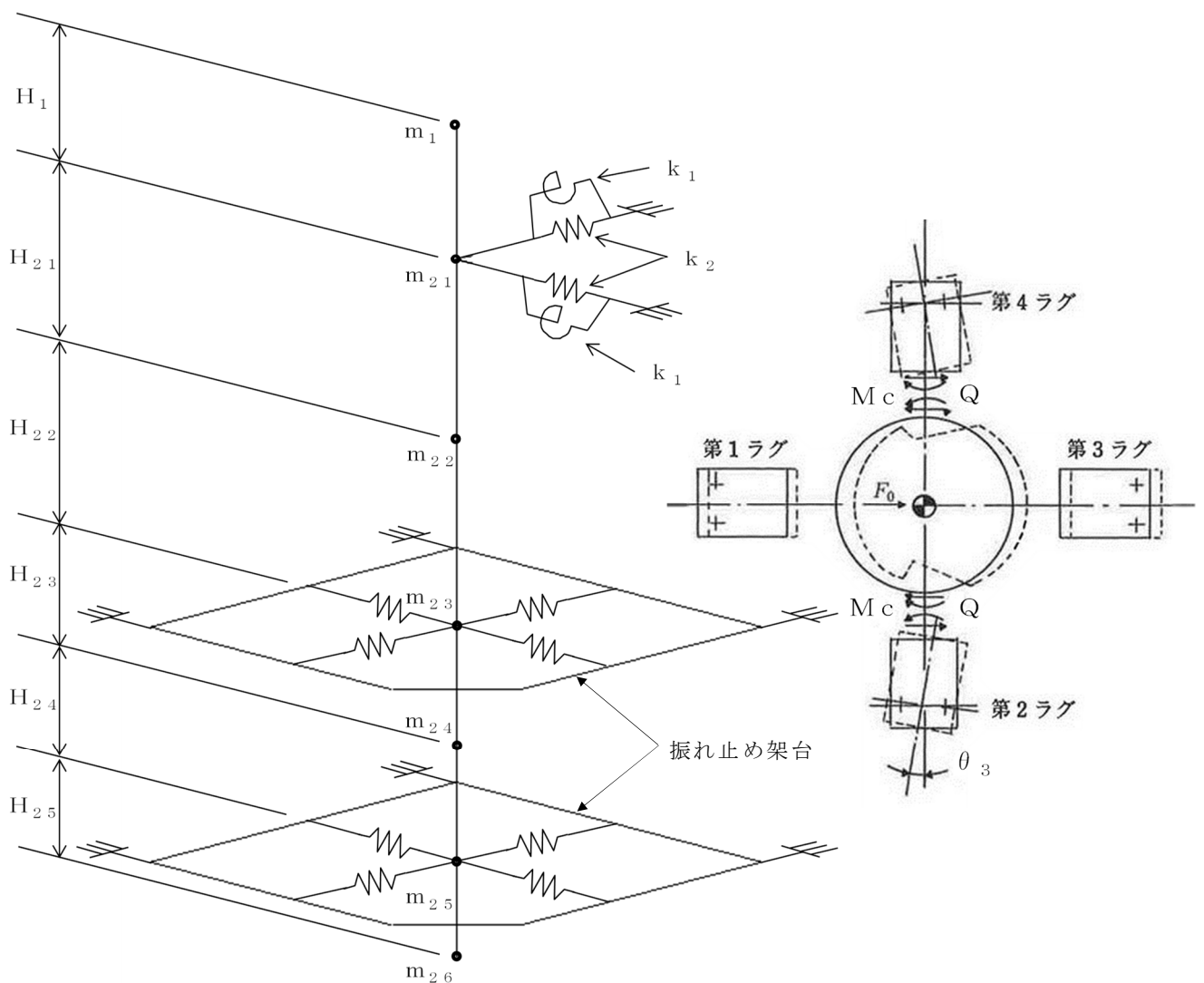


図 4-1 水平方向解析モデル及び水平方向変形モード図

4.4 固有周期

4.4.1 水平方向固有周期

図 4-1 に示されるように容器全体を各質点に区分し，胴，ラグ及び振れ止め架台からなる全体系についての固有値解析を行い，固有周期を求める。

固有周期評価に用いるラグつけ根部における胴の中心軸の傾きに対するばね定数 k_1 及び水平移動に対するばね定数 k_2 は次により求める。

(1) ばね定数 k_1

ラグつけ根部における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。

$$k_1 = \frac{|M|}{\theta} \dots\dots\dots (4.4.1)$$

$$M = F_1 \cdot H_1 - F_2 \cdot H_2 \dots\dots\dots (4.4.2)$$

ここで， θ はラグ，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条件の方程式を作ることにより，次のようにして求める。

なお，ばね定数 k_1 は連立方程式の解として得られ， F_1 ， H_1 ， F_2 及び H_2 には依存しないため，固有周期評価においては F_1 ， H_1 ， F_2 及び H_2 は任意の値を用いることとする。

a. 胴への荷重，モーメント及び胴の変位量について

ラグつけ根部における水平力の釣合より

$$F_0 = F_1 + F_2 = 2 \cdot Q \dots\dots\dots (4.4.3)$$

ラグつけ根部における転倒モーメントの釣合より

$$F_1 \cdot H_1 - F_2 \cdot H_2 - M_1 - M_2 - 2 \cdot M_3 - 2 \cdot R_1 \cdot r_m = 0 \dots\dots\dots (4.4.4)$$

ここで， r_m は次による。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \dots\dots\dots (4.4.5)$$

シェルパラメータ α , γ 及びアタッチメントパラメータ β によって, 参考文献 (1), (2) の表より K_ℓ 及び k_ℓ が求まり, 転倒モーメントによる第 1 ラグ及び第 3 ラグの胴つけ根部の局部傾き角は, 次のようにして求めることができる。

$$\alpha = L / r_m \cdots \cdots \cdots (4.4.6)$$

$$\gamma = r_m / t \cdots \cdots \cdots (4.4.7)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \cdots \cdots \cdots (4.4.8)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \cdots \cdots \cdots (4.4.9)$$

$$\beta_\ell = k_\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \cdots \cdots \cdots (4.4.10)$$

$$\theta_1 = \frac{M_1 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \cdots \cdots \cdots (4.4.11)$$

$$\theta_2 = \frac{M_2 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \cdots \cdots \cdots (4.4.12)$$

ただし, $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は, M_1 を $-M_1$, M_2 を $-M_2$ に置き換える。

- b. 第 1 ラグについて図 4-2 のように傾いたとき
モーメントの釣合より

$$F_{12} \cdot a - F_{11} \cdot (a - b) + M_1 = 0 \cdots \cdots \cdots (4.4.13)$$

ただし, $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は第 1 項の a を $(a - b - c)$ に置き換える。

鉛直力の釣合より

$$F_{12} - F_{11} + R_1 = 0 \cdots \cdots \cdots (4.4.14)$$

- c. 第 3 ラグについて図 4-3 のように傾いたとき
モーメントの釣合より

$$F_{21} \cdot (a - b) - F_{22} \cdot (a - b - c) + M_2 = 0 \cdots \cdots \cdots (4.4.15)$$

ただし, $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は第 2 項の $(a - b - c)$ を a に置き換える。

鉛直力の釣合より

$$F_{22} - F_{21} - R_1 = 0 \dots \dots \dots (4.4.16)$$

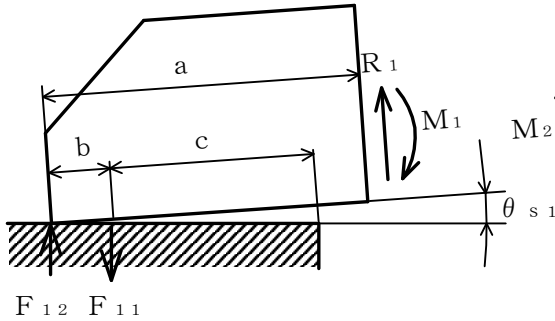


図 4-2 第 1 ラグに作用する
モーメントと力

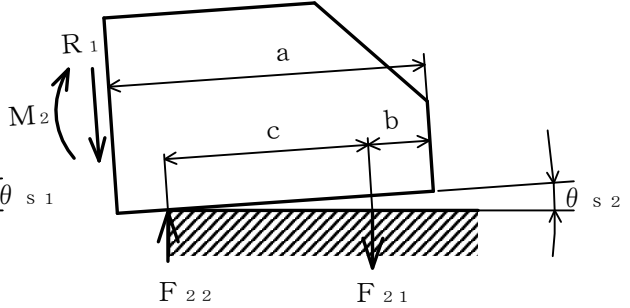


図 4-3 第 3 ラグに作用する
モーメントと力

- d. 第 2 及び第 4 ラグについて図 4-4 のように傾いたとき
モーメントの釣合より

$$-F_{31} \cdot \frac{d}{2} + F_{32} \cdot \frac{d}{2} - (F_{31} + F_{32}) \cdot e + M_3 = 0 \dots \dots \dots (4.4.17)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は左辺第 3 項の「 $-(F_{31} + F_{32})$ 」を「 $+(F_{31} + F_{32})$ 」に置き換える。

ボルトの伸びと力の関係より

$$\frac{F_{31}}{e + \frac{d}{2}} = \frac{F_{32}}{e - \frac{d}{2}} \dots \dots \dots (4.4.18)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は左辺分母の「 $e + \frac{d}{2}$ 」を「 $e - \frac{d}{2}$ 」に、

右辺分母「 $e - \frac{d}{2}$ 」を「 $e + \frac{d}{2}$ 」に置き換える。

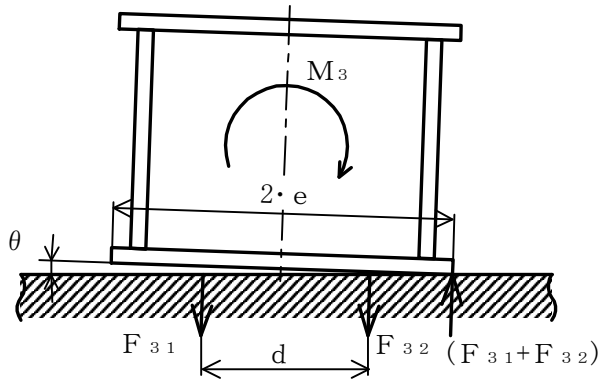


図 4-4 第 2 及び第 4 ラグに作用するモーメントと力

ラグの架台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

$$\theta_{s1} = \frac{F_{11} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \dots\dots\dots (4.4.19)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は b を c に置き換える。

第 3 ラグについて

$$\theta_{s2} = \frac{F_{21} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \dots\dots\dots (4.4.20)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は c を b に置き換える。

第 2 及び第 4 ラグについて

$$\theta = \frac{F_{31} \cdot L_b}{A_{be} \cdot E_b \cdot \left(e + \frac{d}{2} \right)} \dots\dots\dots (4.4.21)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は F_{31} を F_{32} に置き換える。

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

$$\theta_{s1} - \theta_1 + \theta = 0 \dots\dots\dots (4.4.22)$$

$$\theta_{s2} - \theta_2 + \theta = 0 \dots\dots\dots (4.4.23)$$

$$a \cdot \theta_{s1} - 2 \cdot r_m \cdot \theta + (a - b - c) \cdot \theta_{s2} = 0 \dots \dots \dots (4.4.24)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は第 1 項の a を $(a - b - c)$ 、第 3 項の $(a - b - c)$ を a に置き換える。

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。

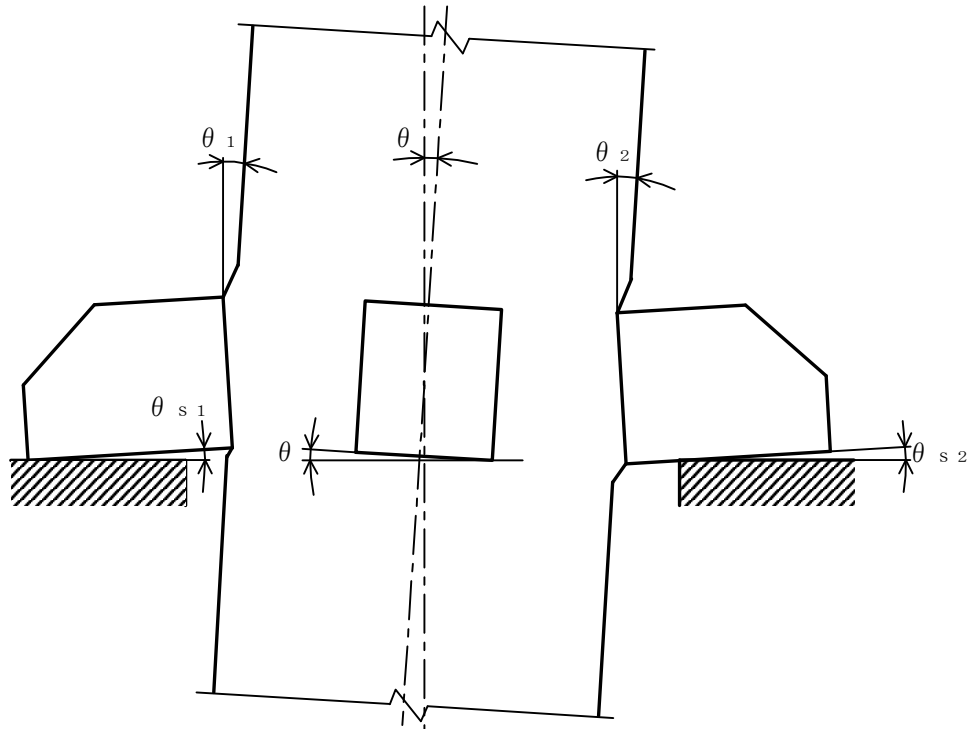


図 4-5 転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角

(2) ばね定数 k_2

ラグつけ根部における胴の水平移動に対するばね定数 k_2 は次式で示される。

$$k_2 = F_0 / \Delta_{x1} \dots \dots \dots (4.4.25)$$

ここで、 F_0 は(4.4.3)式で求められる値を用い、 Δ_{x1} は次式による。

$$\Delta_{x1} = (a - b) \cdot \theta_3 \dots \dots \dots (4.4.26)$$

θ_3 は(4.4.3)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より

$$M_c = Q \cdot (a - b) \cdot (1 - \varepsilon) \dots \dots \dots (4.4.27)$$

シェルパラメータ α 、 γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献 (1)、(2) の表より K_c 及び k_c が求まり、水平力による第 2 ラグ及び第 4 ラグの胴つけ根部の局部傾き角は、次のようにして求めることができる。

$$\theta_3 = \frac{M_c \cdot K_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} \dots \dots \dots (4.4.28)$$

ここで、 β_c は次式による。

$$\beta_c = k_c \cdot \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots \dots \dots (4.4.29)$$

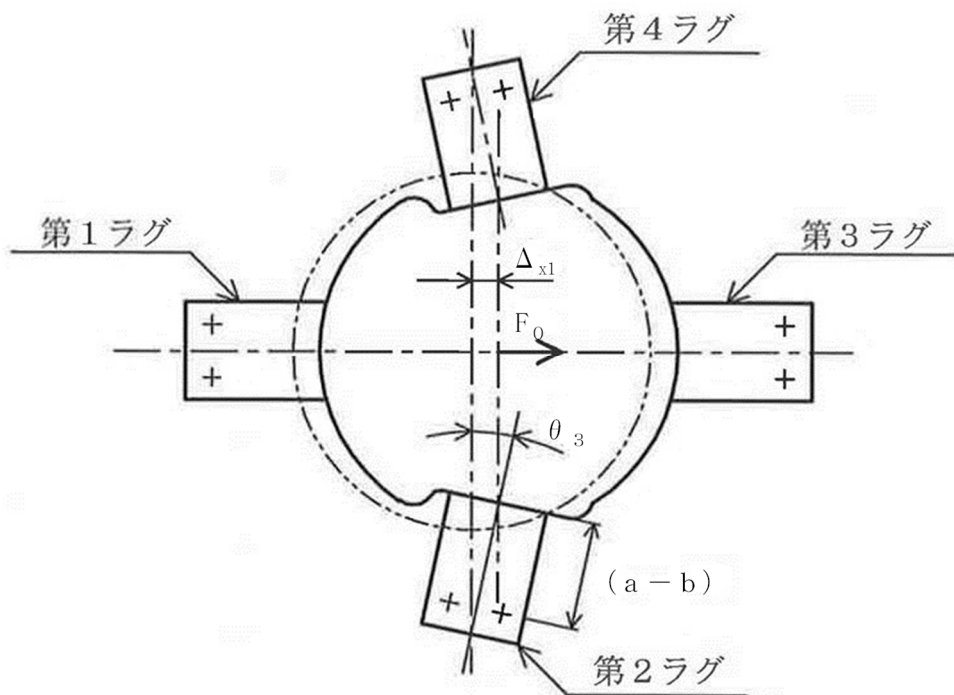


図 4-6 水平力による胴の中心軸の変位量

4.4.2 鉛直方向固有周期

鉛直方向の 2 質点系振動の固有周期は、次式で求める。

$$T_v = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_v} \dots \dots \dots (4.4.30)$$

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

$$10^{-6} \cdot m_1 \cdot m_{2v} \cdot (\delta_{11v} \cdot \delta_{22v} - \delta_{12v} \cdot \delta_{21v}) \cdot \omega_v^4 - 10^{-3} \cdot (\delta_{11v} \cdot m_1 + \delta_{22v} \cdot m_{2v}) \cdot \omega_v^2 + 1 = 0 \dots \dots \dots (4.4.31)$$

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あり、 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。

$$\delta_{11v} = \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_6} \dots\dots\dots (4.4.32)$$

$$\delta_{21v} = \delta_{12v} = \frac{1}{k_5} \dots\dots\dots (4.4.33)$$

$$\delta_{22v} = \frac{1}{k_5} - \frac{1}{k_7} \dots\dots\dots (4.4.34)$$

ばね定数 k_5 、 k_6 及び k_7 は次により求める。

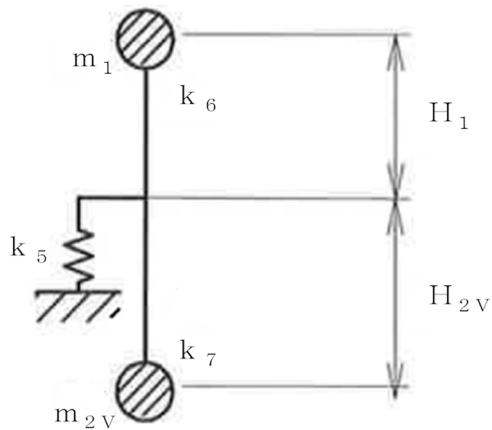


図 4-7 鉛直方向固有周期計算モデル

(1) 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より

$$4 \cdot R_0 - F_v = 0 \dots\dots\dots (4.4.35)$$

ラグについて、図 4-8 のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$(a - b - c) \cdot F_{02} - (a - b) \cdot F_{01} - M_0 = 0 \dots\dots\dots (4.4.36)$$

$$F_{02} - F_{01} - R_0 = 0 \dots\dots\dots (4.4.37)$$

ラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 及びラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は、
 4.4.1(1)a. 及び d. 項の θ_2 及び θ_{s2} と同様の方法で求められる。

$$\theta_0 = \frac{M_0 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.4.38)$$

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \dots\dots\dots (4.4.39)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 とラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \dots\dots\dots (4.4.40)$$

以上の式を連立させて解くことにより θ_{s0} が得られ、これより鉛直方向変位量 $(a - b - c) \cdot \theta_{s0}$ が求まる。したがって、鉛直方向変位に対するばね定数 k_5 は次式で求められる。

$$k_5 = \frac{F_V}{(a - b - c) \cdot \theta_{s0}} \dots\dots\dots (4.4.41)$$

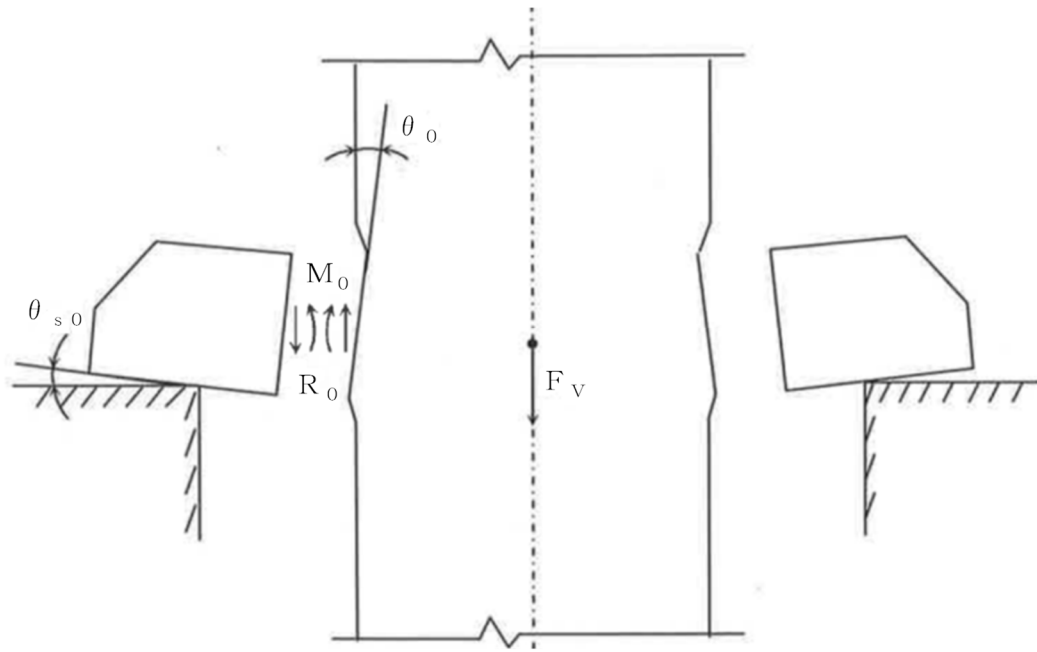


図 4-8 鉛直下向き荷重により胴に生じるモーメントと力

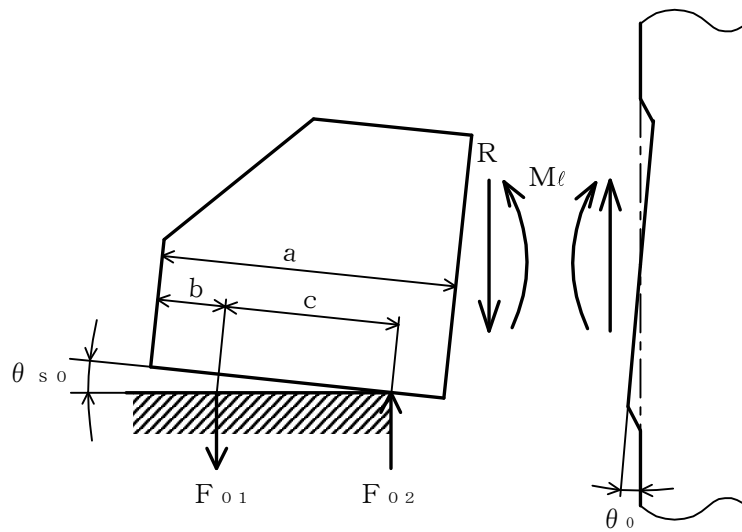


図 4-9 鉛直下向き荷重によりラグに作用するモーメントと力

(2) ばね定数 k_6

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

$$\frac{1}{k_6} = \frac{H_1}{A \cdot E} \dots \dots \dots (4.4.42)$$

(3) ばね定数 k_7

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

$$\frac{1}{k_7} = \frac{H_{2V}}{A \cdot E} \dots\dots\dots (4.4.43)$$

4.4.3 固有周期の計算結果

固有値解析により求めた水平方向固有周期と理論式により計算した鉛直方向固有周期を表4-5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 4-5 固有周期 (単位 : s)

水平 1 次	
水平 2 次	
鉛直 1 次	

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-6に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-6 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
フィルタベント 遮蔽壁 T. M. S. L. 12.0 (T. M. S. L. 26.3 [*])			—	—	$C_H = 4.58$	$C_V = 1.83$

注記*：基準床レベルを示す。

4.6 計算方法

4.6.1 胴の応力

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

(2) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi \cdot t \cdot (D_i + t)} \dots\dots\dots (4.6.1.7)$$

(3) 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

$$\sigma_{x 1 1} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot t \cdot (D_i + t)} \dots\dots\dots (4.6.1.8)$$

(4) 運転時質量による胴のラグつけ根部の応力

運転時質量 m_0 による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R - m_0 \cdot g = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.9)$$

また、ラグについて図 4-10 のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{0 2} \cdot (a - b - c) - F_{0 1} \cdot (a - b) - M_0 = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.10)$$

$$F_{0 2} - F_{0 1} - R = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.11)$$

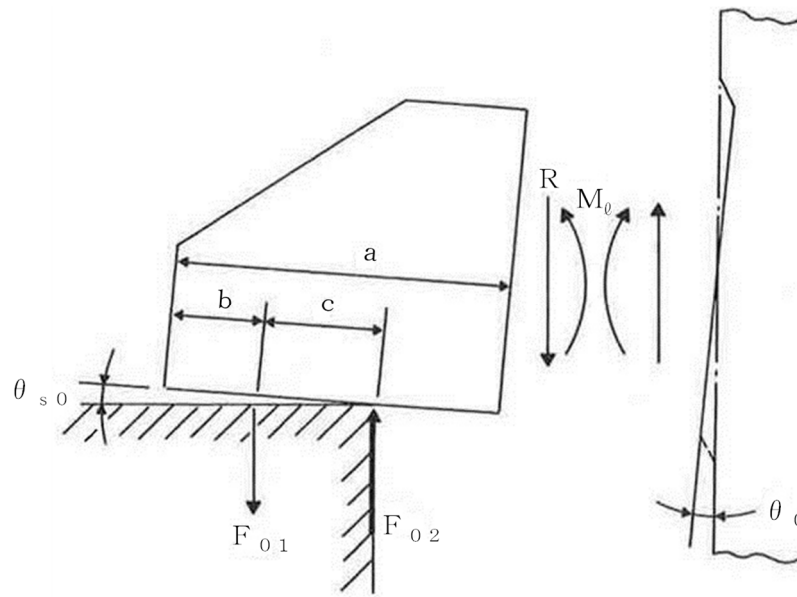


図 4-10 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量によるラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 は、4.4.1(1)項の θ_1 又は θ_2 と同様に、次式で求める。

$$\theta_0 = \frac{M_\theta \cdot K_\theta}{r_m^3 \cdot \beta_\theta^2 \cdot E} \dots \dots \dots (4.6.1.12)$$

運転時質量によるラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は、4.4.1(1)項の θ_{s1} 又は θ_{s2} と同様に、次式で求める。

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \dots \dots \dots (4.6.1.13)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 とラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \dots \dots \dots (4.6.1.14)$$

以上の式を連立させて解くことにより R 、 M_θ 、 F_{01} は次式で求められる。

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.15)$$

$$M_{\theta} = \frac{R \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots\dots\dots (4.6.1.16)$$

$$F_{\theta 1} = \frac{R \cdot (a - b - c) - M_{\theta}}{c} \dots\dots\dots (4.6.1.17)$$

運転時質量による鉛直方向曲げモーメント M_{θ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次のようにして求めることができる。なお、*を付記した変数は、シェルパラメータ α 、 γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1)、(2)の表より求まる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_{\theta} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\theta}} \right] \cdot C_{\theta 1} \dots\dots\dots (4.6.1.18)$$

$$\sigma_{x 3} = \left[\frac{N_x}{M_{\theta} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\theta}} \right] \cdot C_{\theta 2} \dots\dots\dots (4.6.1.19)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{θ} は次式で表される。

$$\beta_{\theta} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.6.1.20)$$

反力 R によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\theta 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.21)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の応力は、下記 a. 項及び b. 項より得られる $\sigma_{\phi 1 2 D}$ 、 $\sigma_{\phi 1 2 U}$ 、 $\sigma_{x 1 2 D}$ 、 $\sigma_{x 1 2 U}$ 、 $\sigma_{2 \phi 1 2 D}$ 、 $\sigma_{2 \phi 1 2 U}$ 、 $\sigma_{2 x 1 2 D}$ 、 $\sigma_{2 x 1 2 U}$ 、 $\tau_{\theta 6 D}$ 、 $\tau_{\theta 6 U}$ を用いて下記のように求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2} = \max[|\sigma_{\phi 1 2 D}|, |\sigma_{\phi 1 2 U}|] \dots \dots \dots (4.6.1.22)$$

$$\sigma_{x 1 2} = \max[|\sigma_{x 1 2 D}|, |\sigma_{x 1 2 U}|] \dots \dots \dots (4.6.1.23)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2} = \max[|\sigma_{2 \phi 1 2 D}|, |\sigma_{2 \phi 1 2 U}|] \dots \dots \dots (4.6.1.24)$$

$$\sigma_{2 x 1 2} = \max[|\sigma_{2 x 1 2 D}|, |\sigma_{2 x 1 2 U}|] \dots \dots \dots (4.6.1.25)$$

反力によるせん断応力

$$\tau_{\theta 6} = \max[\tau_{\theta 6 D}, \tau_{\theta 6 U}] \dots \dots \dots (4.6.1.26)$$

a. 鉛直下向き地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直下向き地震力により生じる応力は、4.6.1(4)項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。

$$R_D = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.27)$$

$$M_{\theta D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots \dots \dots (4.6.1.28)$$

$$F_{0 1 D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c) - M_{\theta D}}{c} \dots \dots \dots (4.6.1.29)$$

鉛直下向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\theta D}$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次のようにして求めることができる。なお、*を付記した変数は、シェルパラメータ α 、 γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1)、(2)の表より求まる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2 D} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_{\theta D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta D}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\theta 1} \dots \dots \dots (4.6.1.30)$$

$$\sigma_{x 1 2 D} = \left[\frac{N_x}{M_{\theta D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta D}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\theta 2} \dots \dots \dots (4.6.1.31)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 1 2 D} = \left[\frac{M_\phi}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_\ell} \right] \dots \dots \dots (4.6.1.32)$$

$$\sigma_{2x 1 2 D} = \left[\frac{M_x}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_\ell} \right] \dots \dots \dots (4.6.1.33)$$

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。

$$\beta_\ell = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots \dots \dots (4.6.1.34)$$

反力 R_D によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6 D} = \frac{R_D}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots \dots \dots (4.6.1.35)$$

- b. 鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の応力
鉛直上向き地震力による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R_U - (C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g = 0 \dots \dots \dots (4.6.1.36)$$

また、ラグについて図 4-11 のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02U} \cdot a - F_{01U} \cdot (a - b) + M_{\ell U} = 0 \dots \dots \dots (4.6.1.37)$$

$$F_{02U} - F_{01U} + R_U = 0 \dots \dots \dots (4.6.1.38)$$

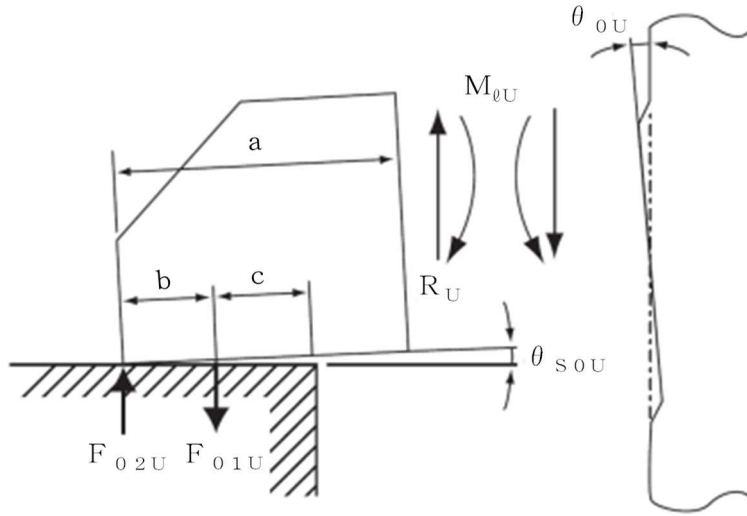


図 4-11 鉛直上向き地震力により胴及びラグに作用するモーメントと力

ラグつけ根部の局部傾き角 θ_{0U} は、4.4.1(1)項の θ_1 又は θ_2 と同様に、次式で求める。

$$\theta_{0U} = \frac{M_{\ell U} \cdot K_{\ell}}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E} \dots \dots \dots (4.6.1.39)$$

ラグの架台に対する傾き角 θ_{s0U} は、4.4.1(1)項の θ_{s1} 又は θ_{s2} と同様に、次式で求める。

$$\theta_{s0U} = \frac{F_{01U} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \dots \dots \dots (4.6.1.40)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角 θ_{0U} とラグの架台に対する傾き角 θ_{s0U} は等しいから

$$\theta_{0U} = \theta_{s0U} \dots \dots \dots (4.6.1.41)$$

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

$$R_U = \frac{(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.42)$$

$$M_{\theta U} = \frac{R_U \cdot a}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_\ell \cdot b^2}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots\dots\dots (4.6.1.43)$$

$$F_{01U} = \frac{R_U \cdot a - M_{\theta U}}{b} \dots\dots\dots (4.6.1.44)$$

鉛直上向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\theta U}$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次のようにして求めることができる。なお、*を付記した変数は、シェルパラメータ α 、 γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1)、(2)の表より求まる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 12U} = \left[\frac{N_\phi}{M_{\theta U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta U}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right] \cdot C_{\theta 1} \dots\dots\dots (4.6.1.45)$$

$$\sigma_{x 12U} = \left[\frac{N_x}{M_{\theta U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta U}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right] \cdot C_{\theta 2} \dots\dots\dots (4.6.1.46)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 12U} = \left[\frac{M_\phi}{M_{\theta U} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\theta U}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_\ell} \right] \dots\dots\dots (4.6.1.47)$$

$$\sigma_{2x 12U} = \left[\frac{M_x}{M_{\theta U} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\theta U}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_\ell} \right] \dots\dots\dots (4.6.1.48)$$

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。

$$\beta_\ell = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.6.1.49)$$

反力 R_U によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\theta 6U} = \frac{R_U}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.50)$$

(6) 水平方向地震力による胴の曲げ応力

図 4-1 に示す解析モデルについて、表 4-6 に示す水平方向設計震度 C_H を用いた水平方向地震に対する静解析を行い、ラグつけ根部の転倒モーメント M 及び水平力 F_0 を算出する。 M 、 F_0 、 F_1 、 H_1 を (4.4.2) 式及び (4.4.3) 式に代入することで、 F_2 及び H_2 を算出する。多質点系振動モデルのラグから下部の複数の質点を、振れ止め架台の効果を考慮した形で 1 質点に縮約した場合の下部重心の水平力が F_2 、ラグのアタッチメント中心から下部重心までの距離が H_2 である。

$$\sigma_{x4} = \frac{C_H \cdot m_1 \cdot g \cdot H_1 \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \dots\dots\dots (4.6.1.51)$$

ただし、 $m_1 \cdot g \cdot H_1 < m_2 \cdot g \cdot H_2$ の場合は $m_1 \cdot g \cdot H_1$ を $m_2 \cdot g \cdot H_2$ に置き換える。

(7) 水平方向地震力 (Z 方向) (表 2-1 参照) による胴のラグつけ根部の応力

4.4 項の固有周期計算における水平力 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。

鉛直方向曲げモーメント 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、4.6.1(4) 項の $\sigma_{\phi3}$ 及び σ_{x3} と同様にして

一次応力

$$\sigma_{\phi5} = \left[\frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right] \cdot C_{\ell1} \dots\dots\dots (4.6.1.52)$$

$$\sigma_{x5} = \left[\frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right] \cdot C_{\ell2} \dots\dots\dots (4.6.1.53)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi5} = \left[\frac{M_\phi}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_\ell} \right] \dots\dots\dots (4.6.1.54)$$

$$\sigma_{2x5} = \left[\frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_\ell} \right] \dots\dots\dots (4.6.1.55)$$

一次応力

$$\sigma_{\phi 6} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 1} \dots \dots \dots (4.6.1.56)$$

$$\sigma_{x 6} = \left[\frac{N_x}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 2} \dots \dots \dots (4.6.1.57)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 6} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (4.6.1.58)$$

$$\sigma_{2x 6} = \left[\frac{M_x}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (4.6.1.59)$$

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。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots \dots \dots (4.6.1.60)$$

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

$$\sigma_{\phi 7} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_C / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_C|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_C} \right] \cdot C_{C 1} \dots \dots \dots (4.6.1.61)$$

$$\sigma_{x 7} = \left[\frac{N_x}{M_C / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_C|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_C} \right] \cdot C_{C 2} \dots \dots \dots (4.6.1.62)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 7} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_C / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_C|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_C} \right] \dots \dots \dots (4.6.1.63)$$

$$\sigma_{2 \times 7} = \left[\frac{M_x}{M_C / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_C|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_C} \right] \dots \dots \dots (4.6.1.64)$$

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。

$$\beta_C = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots \dots \dots (4.6.1.65)$$

(4.4.3)式より求まる周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{|Q|}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots \dots \dots (4.6.1.66)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{c2} = \frac{|R_1|}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots \dots \dots (4.6.1.67)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴の局部せん断応力は

$$\tau_3 = \frac{|M_3|}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \dots \dots \dots (4.6.1.68)$$

ただし、 $C_1 > C_2$ の場合は C_1 を C_2 に置き換える。(図 4-12 参照)

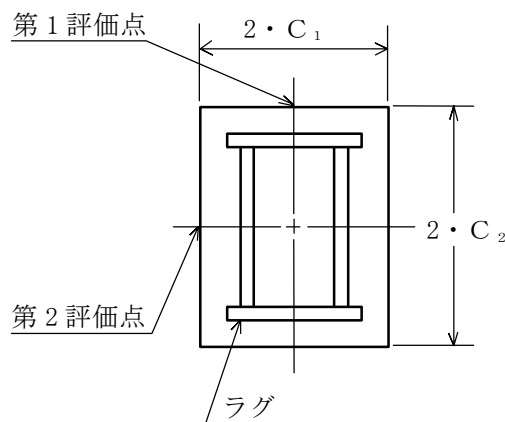


図 4-12 胴の評価点

(8) 水平方向地震力（X方向）（表2-1参照）による胴のラグつけ根部の応力
鉛直方向曲げモーメントM₁により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

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

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

鉛直方向曲げモーメントM₂により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

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

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

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方向応力は

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

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

周方向せん断力Qによる胴のせん断応力は

$$\tau_{c 4} = \tau_{c 1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R₁による胴のせん断応力は

$$\tau_{\theta 5} = \tau_{\theta 2} / \sqrt{2}$$

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)～(8)によって算出される胴のラグつけ根部に生じる応力は、以下により組合わされる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \max(\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}) \dots\dots\dots (4.6.1.69)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.70)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x11} + \sigma_{x4} \dots \dots \dots (4.6.1.71)$$

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \max(\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}) \dots \dots \dots (4.6.1.72)$$

(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組合せ一次応力

イ. 第1ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.73)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (4.6.1.74)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x11} + \sigma_{x12} \dots \dots \dots (4.6.1.75)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 1} + \tau_{\theta 2} + \tau_{\theta 6})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.76)$$

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.77)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x11} \dots \dots \dots (4.6.1.78)$$

ロ. 第2及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c1} + \tau_3)^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.79)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (4.6.1.80)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x11} + \sigma_{x12} \dots \dots \dots (4.6.1.81)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 1} + \tau_3 + \tau_{\theta 6})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.82)$$

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.83)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (4.6.1.84)$$

ハ. 第3ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.85)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 6} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (4.6.1.86)$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots \dots \dots (4.6.1.87)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 1} + \tau_{\theta 2} + \tau_{\theta 6})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.88)$$

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.89)$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (4.6.1.90)$$

(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

イ. 第1及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{17} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.91)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (4.6.1.92)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots \dots \dots (4.6.1.93)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{18} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.94)$$

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.95)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (4.6.1.96)$$

ロ. 第2及び第3ラゲのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{19} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.97)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (4.6.1.98)$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots \dots \dots (4.6.1.99)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{110} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.100)$$

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.101)$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (4.6.1.102)$$

c. 一次+二次応力の変動値

$$\sigma_2 = \max (\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}, \sigma_{27}, \sigma_{28}, \sigma_{29}, \sigma_{210}) \dots \dots \dots (4.6.1.103)$$

(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力のみによる一次＋二次応力の変動値

イ. 第1ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{21} = \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{2xz 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{2xz 1})^2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.104)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 1} = \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.105)$$

$$\sigma_{2xz 1} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 5} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.106)$$

第2評価点については

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi z 2} + \sigma_{2xz 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 2} - \sigma_{2xz 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 6})^2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.107)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 2} = \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.108)$$

$$\sigma_{2xz 2} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 1} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.109)$$

ロ. 第2及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi z 3} + \sigma_{2xz 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 3} - \sigma_{2xz 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.110)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 3} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.111)$$

$$\sigma_{2xz 3} = \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.112)$$

第2評価点については

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi z 4} + \sigma_{2xz 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 4} - \sigma_{2xz 4})^2 + 4 \cdot (\tau_3 + \tau_{\ell 6})^2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.113)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 4} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{2\phi 7} + \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.114)$$

$$\sigma_{2xz 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{2x 7} + \sigma_{x 1 1} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.115)$$

ハ. 第3ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{25} = \sigma_{2\phi z 5} + \sigma_{2xz 5} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 5} - \sigma_{2xz 5})^2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.116)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 5} = \sigma_{\phi 6} + \sigma_{2\phi 6} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.117)$$

$$\sigma_{2xz 5} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 6} + \sigma_{2x 6} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.118)$$

第2評価点については

$$\sigma_{26} = \sigma_{2\phi z 6} + \sigma_{2xz 6} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 6} - \sigma_{2xz 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 6})^2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.119)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.120)$$

$$\sigma_{2xz 6} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 1} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.121)$$

(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

イ. 第1及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{27} = \sigma_{2\phi x 1} + \sigma_{2xx 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 1} - \sigma_{2xx 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.122)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 1} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{2\phi 8} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.123)$$

$$\sigma_{2xx 1} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{2x 8} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.124)$$

第 2 評価点については

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

..... (4.6.1.125)

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 2} = \sigma_{\phi 10} + \sigma_{2\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.126)$$

$$\sigma_{2xx 2} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{2x 10} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (4.6.1.127)$$

ロ. 第 2 及び第 3 ラグのつけ根部

第 1 評価点については

$$\sigma_{29} = \sigma_{2\phi x 3} + \sigma_{2xx 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 3} - \sigma_{2xx 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2}$$

..... (4.6.1.128)

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 3} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{2\phi 9} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12} \dots \dots \dots (4.6.1.129)$$

$$\sigma_{2xx 3} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{2x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2x 12}$$

..... (4.6.1.130)

第 2 評価点については

$$\sigma_{210} = \sigma_{2\phi x 4} + \sigma_{2xx 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 4} - \sigma_{2xx 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 6})^2}$$

..... (4.6.1.131)

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 4} = \sigma_{\phi 10} + \sigma_{2\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.132)$$

$$\sigma_{2xx 4} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{2x 10} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (4.6.1.133)$$

4.6.2 ラグの応力

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{M_{\ell}}{Z_{s t}} \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

$$\tau_{s 1} = \frac{R}{A_{s 1}} \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s7} = \frac{M_{\ell V}}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

$$\tau_{s7} = \frac{R_V}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.2.4)$$

ここで、 $M_{\ell V}$ 、 R_V は 4.6.1(5)項で得られた $M_{\ell D}$ 、 $M_{\ell U}$ 、 R_D 、 R_U を用いて次式で求められる。

$$M_{\ell V} = \max(|M_{\ell D}|, |M_{\ell U}|) \dots\dots\dots (4.6.2.5)$$

$$R_V = \max(|R_D|, |R_U|) \dots\dots\dots (4.6.2.6)$$

(3) 水平方向地震力（Z方向）による応力

第1ラグについて

$$\sigma_{s2} = \frac{|M_1|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.2.7)$$

$$\tau_{s2} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.2.8)$$

第2及び第4ラグについて

$$\sigma_{s3} = \frac{|M_C|}{Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (4.6.2.9)$$

$$\tau_{s3} = \frac{|M_3|}{Z_{sp}} + \frac{|Q|}{A_{s2}} \dots\dots\dots (4.6.2.10)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{s4} = \frac{|M_2|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.2.11)$$

$$\tau_{s4} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.2.12)$$

(4) 水平方向地震力（X方向）による応力

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{s5} = \frac{|M_1|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_C|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (4.6.2.13)$$

$$\tau_{s5} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \dots\dots\dots (4.6.2.14)$$

第2及び第3ラグについて

$$\sigma_{s6} = \frac{|M_2|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_C|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\theta}} \dots\dots\dots (4.6.2.15)$$

$$\tau_{s6} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \dots\dots\dots (4.6.2.16)$$

(5) 組合せ応力

ラグの最大応力は次式で表される。

$$\sigma_s = \max(\sigma_{1s}, \sigma_{2s}, \sigma_{3s}, \sigma_{4s}, \sigma_{5s}) \dots\dots\dots (4.6.2.17)$$

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

【絶対値和】

第1ラグについて

$$\sigma_{1s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (4.6.2.18)$$

第2及び第4ラグについて

$$\sigma_{2s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s3} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (4.6.2.19)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{3s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s4} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (4.6.2.20)$$

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

【絶対値和】

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{4s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s5} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s5} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (4.6.2.21)$$

第2及び第3ラグについて

$$\sigma_{5s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s6} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s6} + \tau_{s7})^2} \dots\dots\dots (4.6.2.22)$$

4.6.3 取付ボルトの応力

ボルトの最大引張応力及び最大せん断応力は、次式で表される。

$$\sigma_b = \max(\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}) \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

$$\tau_b = \max(\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}) \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

(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

【絶対値和】

第1ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{|F_{11}| + F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.3.3)$$

第2及び第4ラグについて

$$\sigma_{b2} = \frac{\max(|F_{31}|, |F_{32}|)}{A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.3.4)$$

$$\tau_{b2} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.3.5)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{b3} = \frac{|F_{21}| + F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.3.6)$$

ここで、 F_{01V} は4.6.1(5)項で得られた F_{01D} 、 F_{01U} を用いて次式で求める。

$$F_{01V} = \max(F_{01D}, F_{01U}) \dots\dots\dots (4.6.3.7)$$

(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

【絶対値和】

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{b4} = \frac{|F_{11}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max(|F_{31}|, |F_{32}|)}{\sqrt{2} \cdot A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots (4.6.3.8)$$

$$\tau_{b4} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.3.9)$$

第2及び第3ラグについて

$$\sigma_{b5} = \frac{|F_{21}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max(|F_{31}|, |F_{32}|)}{\sqrt{2} \cdot A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots (4.6.3.10)$$

$$\tau_{b5} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.3.11)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（胴，ラグ及び取付ボルト）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【ドレンタンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 胴の応力評価

4.6.1(9)項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし， S_a は 4.2.2 項 表 4-2 による。

4.8.2 ラグの応力評価

4.6.2(5)項で求めた組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし， f_t は下表による。

許容引張応力 f_t	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合 $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
-----------------	--

4.8.3 取付ボルトの応力評価

4.6.3 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし， f_{t0} は下表による。

$$f_{ts} = \min (1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}) \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

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

許容引張応力 f_{t0}	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合 $\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ドレンタンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 参考文献

- (1) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

【ドレンタンク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			
ドレンタンク	常設耐震/防止 常設/緩和	フィルタベント遮蔽壁 T. M. S. L. 12.0 (T. M. S. L. 26.3*)			—	—	C _H = 4.58	C _V = 1.83	0.25	200	—

注記 * : 基準レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _b (MPa)	G (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)	K _c (—)	K _l (—)
			1612	12.0 (10.8)* ₁	183000* ₂	192000* ₂	70400* ₂	630	430	350	350	300	7430	1090

ε (—)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{sp} (mm ³)	Z _{s0} (mm ³)	Z _{st} (mm ³)	k _l (—)	k _c (—)	C _{l1} (—)	C _{l2} (—)	C _{c1} (—)	C _{c2} (—)
0	3.120×10 ⁴	3.120×10 ⁴	2.080×10 ⁵	5.818×10 ⁶	2.471×10 ⁶	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

n (—)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	d _o (mm)	A _b (mm ²)	A _{b e} (mm ²)	H (mm)
2	208	123	40	300	32	36 (M36)	1.018×10 ³	817	4466

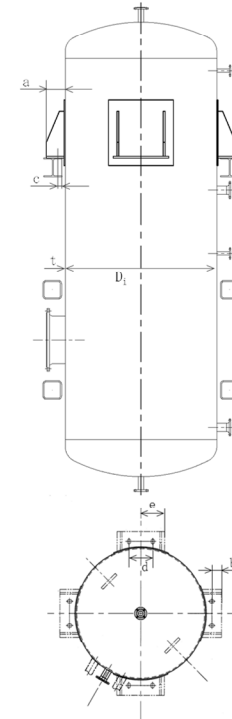
S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)	S _y (ボルト) (MPa)	S _u (ボルト) (MPa)	F* (ボルト) (MPa)
120* ₂	407* ₂	—	144* ₂	402* ₂	194	569* ₂ (63mm < 径 ≤ 100mm)	708* ₂ (63mm < 径 ≤ 100mm)	495

注記 *1 : ()内は最小厚さ

*2 : 最高使用温度で算出

m ₂₁ (kg)	m ₂₂ (kg)	m ₂₃ (kg)	m ₂₄ (kg)	m ₂₅ (kg)	m ₂₆ (kg)	m _{2v} (kg)

H ₂₁ (mm)	H ₂₂ (mm)	H ₂₃ (mm)	H ₂₄ (mm)	H ₂₅ (mm)	H _{2v} (mm)
840	840	540	540	430	1850



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 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	静水頭又は内圧 による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次
			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	一般膜応力
周方向	—	—	—	—	—	—
軸方向	—	—	—	—	—	
せん断	—	—	—	—	—	

(2) 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	静水頭又は内圧 による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次
			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	一般膜応力
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	—	—	$\sigma_0 = 23$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 11} = 5$	
せん断	—	—	—	—	—	

(3) 一次応力 (弾性設計用地震動 S d 又は静的震度)

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力		
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力			
弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第1ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		第2及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		第3ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

(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	回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Sd又は静的震度	X方向及び鉛直方向	第1及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—		—		—		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—		—		—		—		
		第2及び第3ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—		—		—		—		
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—		—		—		—		

(4) 一次応力 (基準地震動 Ss)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	回転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力		
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力			
基準地震動 Ss	Z 方向及び鉛直方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 5} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{11} = 26$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 5} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$			
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		第2ラゲ側	第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 28$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	—	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—		
			せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_{12} = 2$			$\tau_{16} = 4$		—		
		第2及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{13} = 30$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$	—		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_3 = 1$ $\tau_{c1} = 8$		—	—	—	—		
		第2ラゲ側	第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 7$	—	—	$\sigma_{14} = 39$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 19$	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—		
			せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_3 = 1$			$\tau_{16} = 4$		—		
	第3ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 6} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{15} = 26$		
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 6} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$	—			
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	第2ラゲ側	第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 28$		
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	—	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—			
		せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_{12} = 2$			$\tau_{16} = 4$		—			

K6 ① VI-2-9-4-7-1-1 R0

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力	
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
基準地震動 Ss	X方向及び鉛直方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{17} = 30$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 8} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 6$	$\tau_{\phi} = 1$	—	—	—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 5$	—	—	—	$\sigma_{18} = 38$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	$\sigma_{x 10} = 14$	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—	
			せん断	—	—	—	$\tau_{l 1} = 2$	—	$\tau_{l 5} = 1$	$\tau_{\phi} = 1$	—	$\tau_{l 6} = 4$	—	
		第2及び第3ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 9} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{19} = 30$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 9} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$		
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 6$	$\tau_{\phi} = 1$	—	—	—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 17$	$\sigma_{\phi 2} = 6$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 5$	—	—	—	$\sigma_{110} = 38$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 9$	—	$\sigma_{x 2} = 3$	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	$\sigma_{x 10} = 14$	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—	
			せん断	—	—	—	$\tau_{l 1} = 2$	—	$\tau_{l 5} = 1$	$\tau_{\phi} = 1$	—	$\tau_{l 6} = 4$	—	

(5) 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 Sd 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
	第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—		
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—		—					
	第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—		
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—		—					
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
第 1 及び第 3 ラグ側	第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—		
	軸方向	—	—	—	—	—				
	せん断	—		—						
第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—			
	軸方向	—	—	—	—	—				
	せん断	—		—						

(6) 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	
					$\sigma_{\phi 12}$	$\sigma_{2\phi 12}$		$\sigma_{x 4}$	$\sigma_{x 5}$			$\sigma_{2x 5}$
基準地震動 Ss	Z方向及び鉛直方向	第1ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 1$	$\sigma_{2\phi 5} = 1$	—	$\sigma_{21} = 26$
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 3$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 5} = 1$	$\sigma_{2x 5} = 1$	—		
			せん断	—			—					
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{22} = 24$
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	—	—		
			せん断	$\tau_{16} = 4$			$\tau_{12} = 2$					
		第2及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{2\phi 12} = 2$	—	—	—	$\sigma_{23} = 33$	
				軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 3$	—	—	—		
				せん断	—			$\tau_{3} = 1$	$\tau_{c1} = 8$			
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 7$	$\sigma_{2\phi 7} = 72$	$\sigma_{24} = 169$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 19$	$\sigma_{2x 7} = 31$		
			せん断	$\tau_{16} = 4$			$\tau_{6} = 1$					
	第3ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 1$	$\sigma_{2\phi 6} = 1$	—	$\sigma_{25} = 26$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 3$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 6} = 1$	$\sigma_{2x 6} = 1$	—		
			せん断	—			—					
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{26} = 24$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	—	—		
			せん断	$\tau_{16} = 4$			$\tau_{12} = 2$					
	X方向及び鉛直方向	第1及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{2\phi 8} = 1$	—	$\sigma_{27} = 34$
				軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 3$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 8} = 1$	$\sigma_{2x 8} = 1$	—	
				せん断	—			$\tau_{c4} = 6$	$\tau_{6} = 1$			
			第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 5$	$\sigma_{2\phi 10} = 51$	$\sigma_{28} = 125$
				軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	$\sigma_{x 10} = 14$	$\sigma_{2x 10} = 22$	
				せん断	$\tau_{16} = 4$			$\tau_{15} = 1$	$\tau_{6} = 1$			
第2及び第3ラグ側		第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 1$	$\sigma_{2\phi 9} = 1$	—	$\sigma_{29} = 34$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 3$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{x 9} = 1$	$\sigma_{2x 9} = 1$	—		
			せん断	—			$\tau_{c4} = 6$	$\tau_{6} = 1$				
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 5$	$\sigma_{2\phi 10} = 51$	$\sigma_{210} = 125$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 5$	—	—	$\sigma_{x 4} = 4$	—	$\sigma_{x 10} = 14$	$\sigma_{2x 10} = 22$		
			せん断	$\tau_{16} = 4$			$\tau_{15} = 1$	$\tau_{6} = 1$				

1.3.2 ラグに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		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	—	—	—	—	—	—	—
		第2及び第4ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
		第3ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
	X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
		第2及び第3ラグ側	—	—	—	—	—	—	—

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		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	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 2$	$\sigma_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{1s} = 7$
		第2及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 2$	$\sigma_{s3} = 2$	$\tau_{s3} = 29$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{2s} = 55$
		第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 2$	$\sigma_{s4} = 1$	$\tau_{s4} = 1$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{3s} = 7$
	X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 2$	$\sigma_{s5} = 2$	$\tau_{s5} = 21$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{4s} = 42$
		第2及び第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 2$	$\sigma_{s6} = 2$	$\tau_{s6} = 21$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{5s} = 42$

1.3.3 取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		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	—	—
		第2及び第4ラグ側	—	—
		第3ラグ側	—	—
	X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	—	—
		第2及び第3ラグ側	—	—

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		引張応力	せん断応力
基準地震動 S _s	Z方向及び 鉛直方向	第1ラグ側	$\sigma_{b1} = 49$	—
		第2及び第4ラグ側	$\sigma_{b2} = 41$	$\tau_{b2} = 62$
		第3ラグ側	$\sigma_{b3} = 37$	—
	X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{b4} = 51$	$\tau_{b4} = 44$
		第2及び第3ラグ側	$\sigma_{b5} = 42$	$\tau_{b5} = 44$

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	水平	$T_{H1} =$ <input type="text"/>
2次	水平	$T_{H2} =$ <input type="text"/>
1次	鉛直	$T_V =$ <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	—	—	$\sigma_0 = 23$	$S_a = 244$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 39$	$S_a = 366$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 169$	$S_a = 240$
ラグ	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_s = 55$	$f_t = 194$
取付ボルト	SNB7	引張	—	—	$\sigma_b = 51$	$f_{ts} = 371^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 62$	$f_{sb} = 286$

すべて許容応力以下である。

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

1.5 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	0.0	660.0	0.0
2	0.0	869.2	0.0
3	0.0	1090.0	0.0
4	0.0	1266.3	0.0
5	0.0	1445.7	0.0
6	0.0	1630.0	0.0
7	0.0	1804.3	0.0
8	0.0	1983.7	0.0
9	0.0	2170.0	0.0
10	0.0	2373.9	0.0
11	0.0	2584.8	0.0
12	0.0	2795.6	0.0
13	0.0	3010.0	0.0
14	0.0	3217.4	0.0
15	0.0	3428.3	0.0
16	0.0	3639.1	0.0
17	0.0	3850.0	0.0
18	0.0	4005.4	0.0
19	0.0	4160.7	0.0
20	0.0	4316.0	0.0
21	0.0	4480.0	0.0
22	0.0	3850.0	-100.0
23	100.0	3850.0	0.0
24	-957.0	1087.0	-957.0
25	-957.0	1087.0	-765.6
26	-957.0	1087.0	-574.2
27	-957.0	1087.0	-382.8
28	-957.0	1087.0	-191.4
29	-957.0	1087.0	0.0
30	-957.0	1087.0	191.4

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
31	-957.0	1087.0	382.8
32	-957.0	1087.0	574.2
33	-957.0	1087.0	765.6
34	-957.0	1087.0	957.0
35	-765.6	1087.0	957.0
36	-574.2	1087.0	957.0
37	-382.8	1087.0	957.0
38	-191.4	1087.0	957.0
39	0.0	1087.0	957.0
40	185.7	1087.0	957.0
41	371.3	1087.0	957.0
42	557.0	1087.0	957.0
43	690.3	1087.0	823.7
44	823.7	1087.0	690.3
45	957.0	1087.0	557.0
46	957.0	1087.0	371.3
47	957.0	1087.0	185.7
48	957.0	1087.0	0.0
49	957.0	1087.0	-191.4
50	957.0	1087.0	-382.8
51	957.0	1087.0	-574.2
52	957.0	1087.0	-765.6
53	957.0	1087.0	-957.0
54	765.6	1087.0	-957.0
55	574.2	1087.0	-957.0
56	382.8	1087.0	-957.0
57	191.4	1087.0	-957.0
58	0.0	1087.0	-957.0
59	-191.4	1087.0	-957.0
60	-382.8	1087.0	-957.0
61	-574.2	1087.0	-957.0
62	-765.6	1087.0	-957.0

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
63	-957.0	2163.0	-957.0
64	-957.0	2163.0	-765.6
65	-957.0	2163.0	-574.2
66	-957.0	2163.0	-382.8
67	-957.0	2163.0	-191.4
68	-957.0	2163.0	0.0
69	-957.0	2163.0	191.4
70	-957.0	2163.0	382.8
71	-957.0	2163.0	574.2
72	-957.0	2163.0	765.6
73	-957.0	2163.0	957.0
74	-765.6	2163.0	957.0
75	-574.2	2163.0	957.0
76	-382.8	2163.0	957.0
77	-191.4	2163.0	957.0
78	0.0	2163.0	957.0
79	185.7	2163.0	957.0
80	371.3	2163.0	957.0
81	557.0	2163.0	957.0
82	690.3	2163.0	823.7
83	823.7	2163.0	690.3
84	957.0	2163.0	557.0
85	957.0	2163.0	371.3
86	957.0	2163.0	185.7
87	957.0	2163.0	0.0
88	957.0	2163.0	-191.4
89	957.0	2163.0	-382.8
90	957.0	2163.0	-574.2
91	957.0	2163.0	-765.6
92	957.0	2163.0	-957.0
93	765.6	2163.0	-957.0
94	574.2	2163.0	-957.0

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
95	382.8	2163.0	-957.0
96	191.4	2163.0	-957.0
97	0.0	2163.0	-957.0
98	-191.4	2163.0	-957.0
99	-382.8	2163.0	-957.0
100	-574.2	2163.0	-957.0
101	-765.6	2163.0	-957.0

(2) 要素の断面形状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点番号		材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1	2	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
2	2	3	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
3	3	4	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
4	4	5	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
5	5	6	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
6	6	7	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
7	7	8	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
8	8	9	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
9	9	10	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
10	10	11	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
11	11	12	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
12	12	13	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
13	13	14	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
14	14	15	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
15	15	16	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
16	16	17	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
17	17	18	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
18	18	19	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
19	19	20	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
20	20	21	1	61223	2.02×10^{10}	4.04×10^{10}
21	39	40	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
22	40	41	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
23	41	42	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
24	45	44	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
25	44	43	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
26	43	42	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
27	48	47	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
28	47	46	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
29	46	45	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
30	53	52	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
31	52	51	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点番号		材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
32	51	50	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
33	50	49	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
34	49	48	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
35	58	57	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
36	57	56	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
37	56	55	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
38	55	54	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
39	54	53	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
40	24	62	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
41	62	61	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
42	61	60	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
43	60	59	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
44	59	58	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
45	29	28	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
46	28	27	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
47	27	26	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
48	26	25	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
49	25	24	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
50	34	33	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
51	33	32	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
52	32	31	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
53	31	30	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
54	30	29	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
55	39	38	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
56	38	37	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
57	37	36	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
58	36	35	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
59	35	34	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
60	78	79	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
61	79	80	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
62	80	81	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点番号		材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
63	84	83	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
64	83	82	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
65	82	81	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
66	87	86	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
67	86	85	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
68	85	84	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
69	92	91	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
70	91	90	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
71	90	89	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
72	89	88	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
73	88	87	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
74	97	96	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
75	96	95	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
76	95	94	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
77	94	93	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
78	93	92	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
79	63	101	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
80	101	100	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
81	100	99	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
82	99	98	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
83	98	97	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
84	68	67	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
85	67	66	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
86	66	65	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
87	65	64	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
88	64	63	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
89	73	72	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
90	72	71	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
91	71	70	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
92	70	69	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
93	69	68	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点番号		材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
94	78	77	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
95	77	76	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
96	76	75	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
97	75	74	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7
98	74	73	2	8653	4.98×10^7	9.96×10^7

(3) ばね結合部の指定

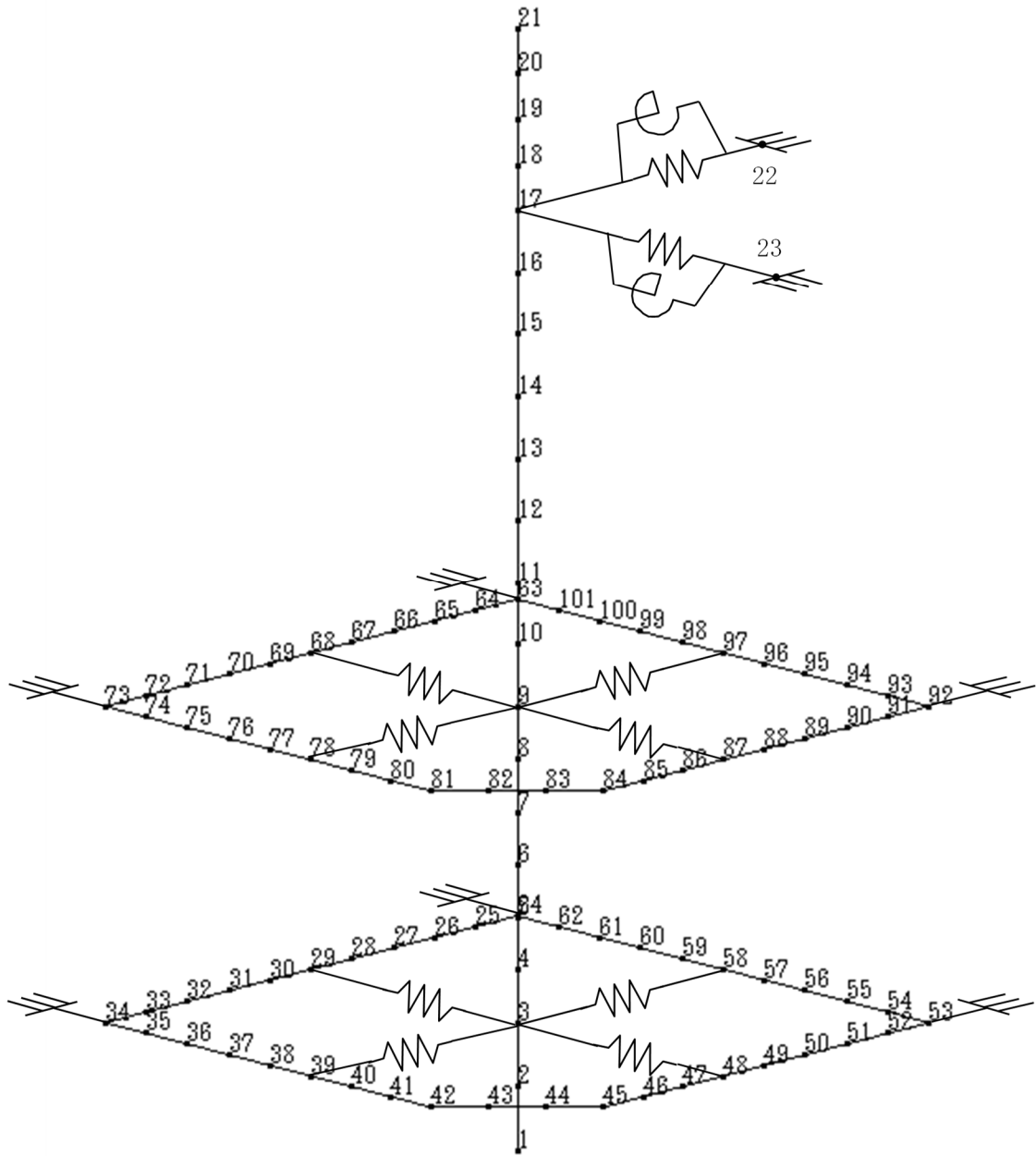
ばねの両端の節点番号		ばね定数
3	29	1.00×10^{15} (N/mm)
3	39	1.00×10^{15} (N/mm)
3	48	1.00×10^{15} (N/mm)
3	58	1.00×10^{15} (N/mm)
9	68	1.00×10^{15} (N/mm)
9	78	1.00×10^{15} (N/mm)
9	87	1.00×10^{15} (N/mm)
9	97	1.00×10^{15} (N/mm)
17	22	6.78×10^5 (N/mm)
17	22	1.08×10^{13} (N・mm/rad)
17	23	6.78×10^5 (N/mm)
17	23	1.08×10^{13} (N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
3	
6	
9	
13	
17	
21	

(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	200	183000	0 (節点に集中質量 として与えている)	0.3	SUS316L
2	200	191000	7.85×10^{-6}	0.3	SS400



VI-2-9-4-7-1-2 管の耐震性についての計算書

重大事故等対処設備

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	8
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力	25
3.5 設計用地震力	26
4. 解析結果及び評価	27
4.1 固有周期及び設計震度	27
4.2 評価結果	37
4.2.1 管の応力評価結果	37
4.2.2 支持構造物評価結果	39
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	40
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	41

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「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、格納容器圧力逃がし装置の管、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及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全 12 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

設計及び工事の計画書に記載される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。




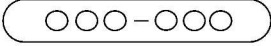

(3) 弁

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。

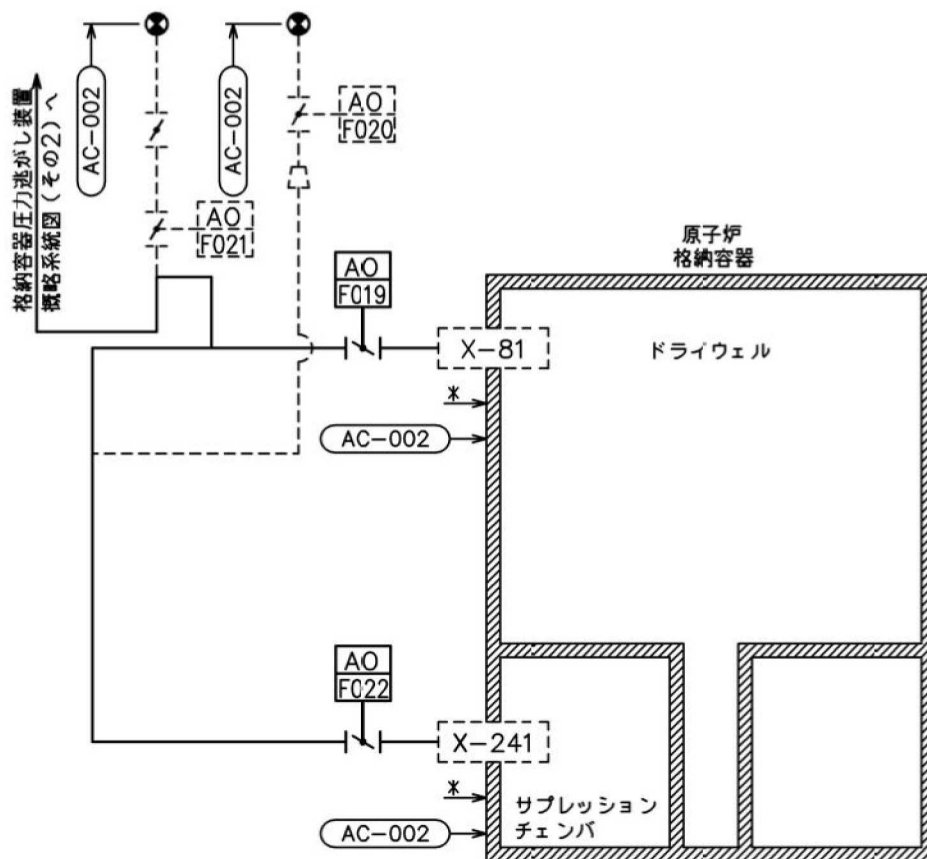
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

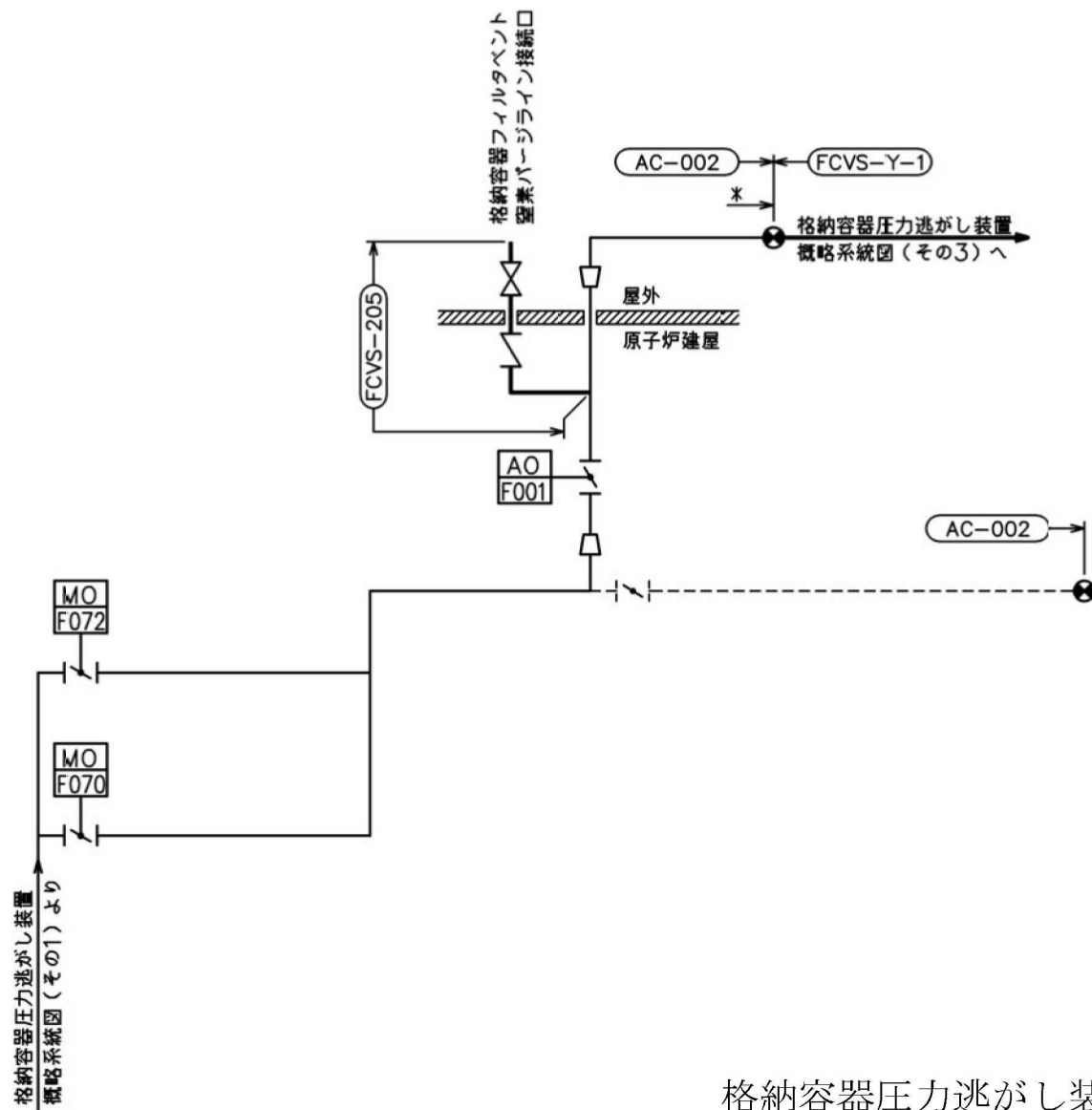
概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、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
	鳥瞰図番号
	アンカ

注記 * : 解析モデル上
不活性ガス系に含める。

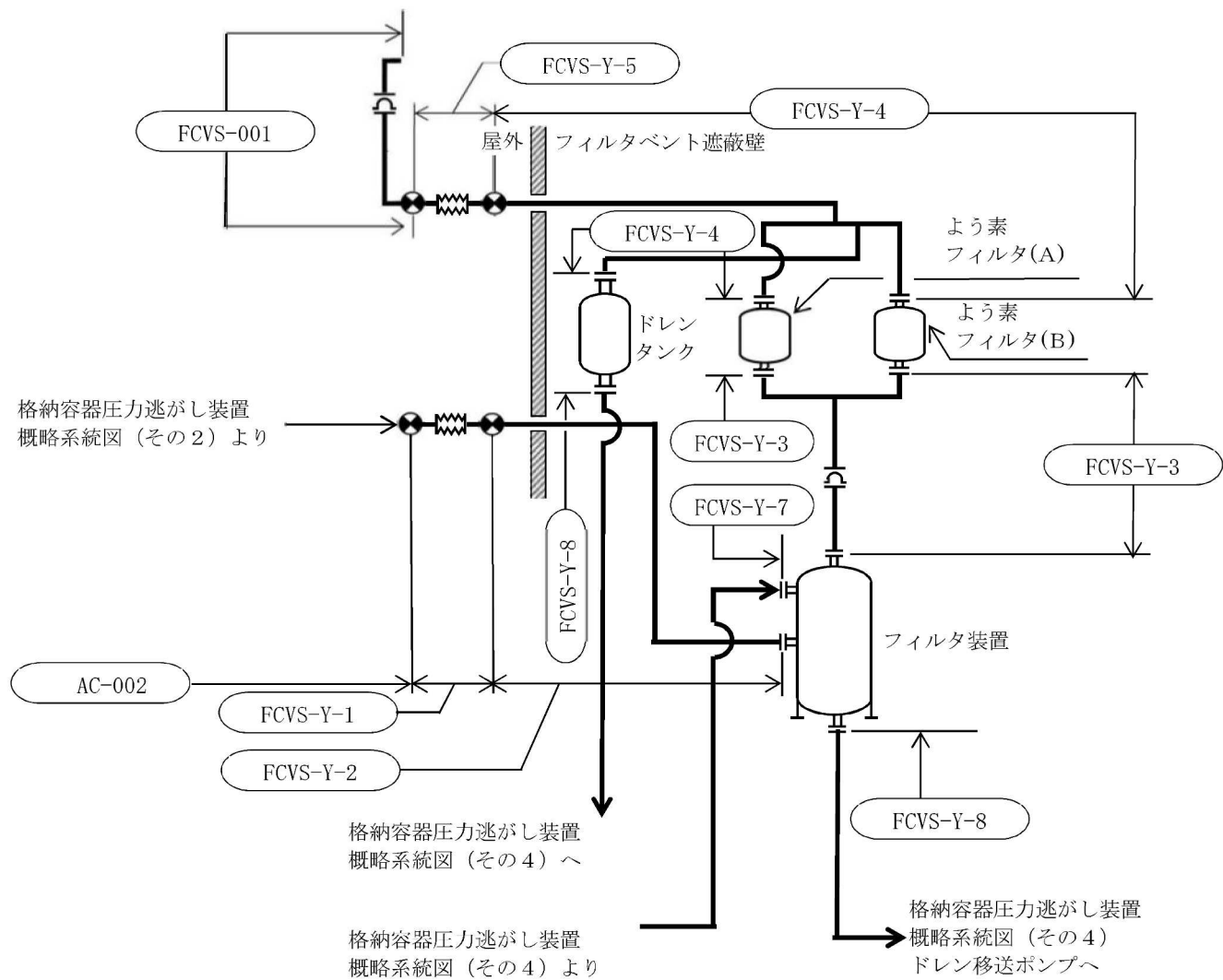


格納容器圧力逃がし装置概略系統図 (その1)

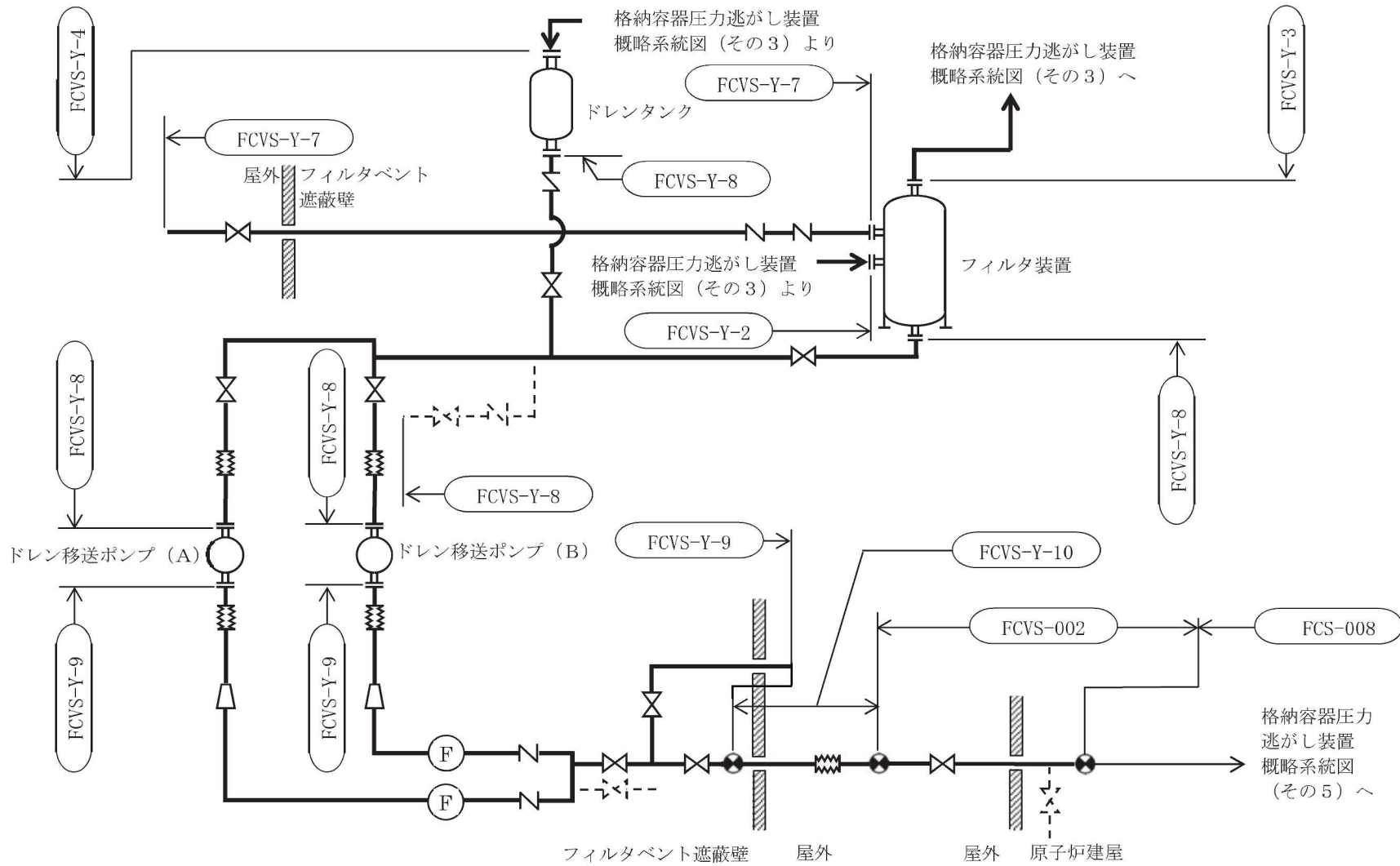


注記 * : 解析モデル上
不活性ガス系に含める。

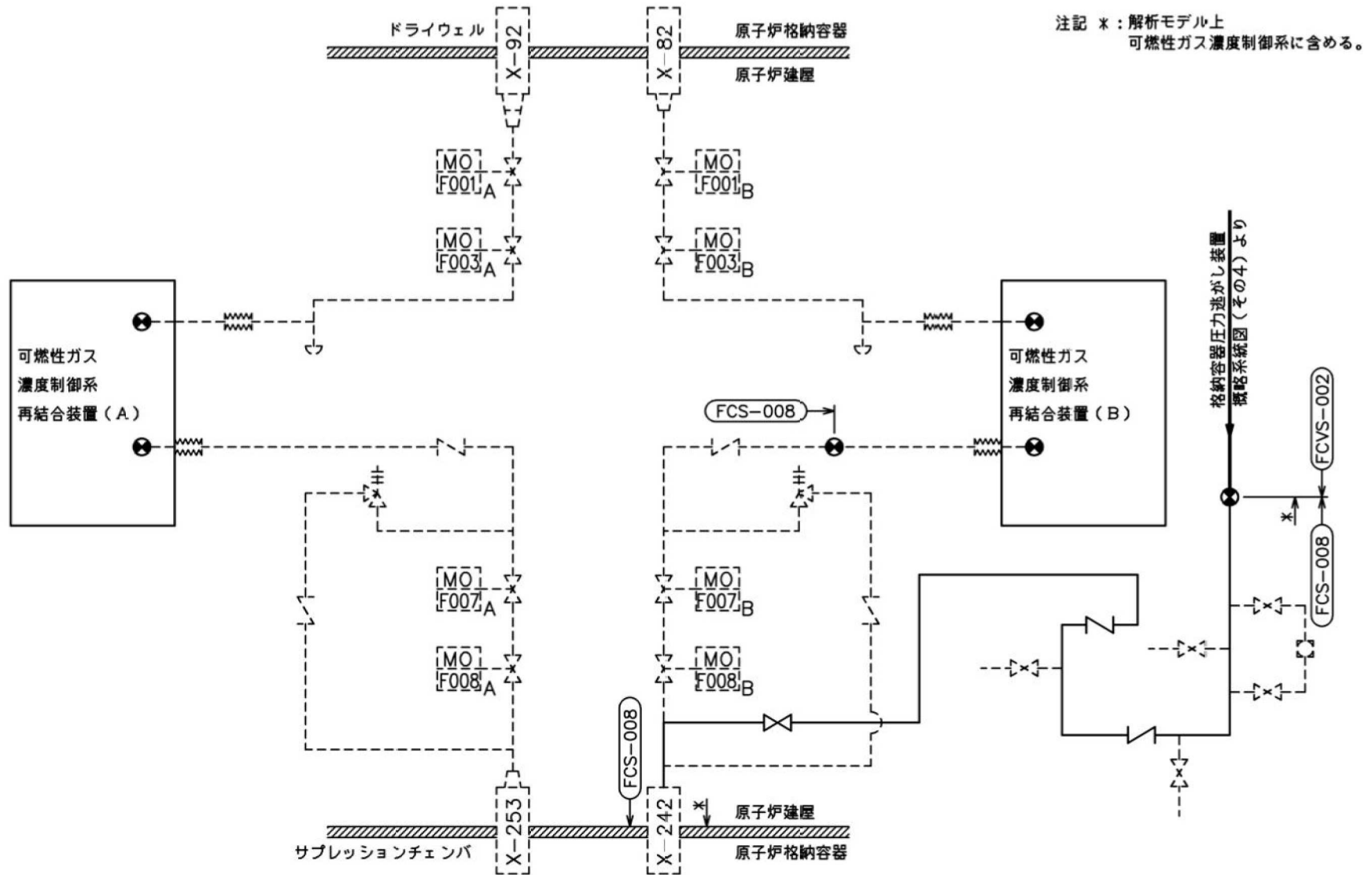
格納容器圧力逃がし装置概略系統図 (その2)



格納容器圧力逃がし装置概略系統図 (その3)




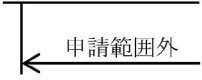
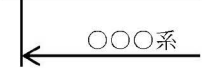


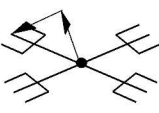
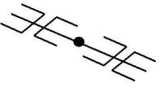

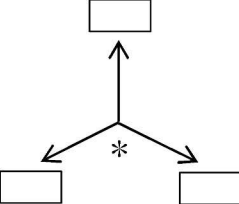
格納容器圧力逃がし装置概略系統図 (その4)



格納容器圧力逃がし装置概略系統図 (その5)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であつて本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

K6 ① VI-2-9-4-7-1-2 (重) R0



10

12

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、「I S A P」, 「N u P I A S」及び「S O L V E R」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, 別紙「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	許容応力 状態*4
原子炉 格納施設	圧力逃がし装置	格納容器圧力 逃がし装置	S A	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
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	格納容器圧力 逃がし装置	S A	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	格納容器圧力 逃がし装置	S A	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/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は荷重を示す。

*4：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。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 F C V S - Y - 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.62	200	406.4	9.5	STPT410	—	201667
2	0.62	200	406.4	12.7	STPT410	—	201667

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F C V S - Y - 1

管名称	対 応 す る 評 価 点
1	1 2 3 4 7 8
2	2 3

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 F C V S - Y - 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)
1	
2	
3	
4	
7	
8	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F C V S - Y - 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
8						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.00	150	60.5	3.9	SUS316LTP	—	186000
2	1.00	200	60.5	3.9	SUS316LTP	—	183000

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	
	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	201	202	
	203	204	205	206												
2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
	86	87	88	89	130	131	132	133	800	801	810	811				

K6 ① VI-2-9-4-7-1-2 (重) R0

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
11		35		59		83		118	
12		36		60		84		119	
13		37		61		85		120	
14		38		62		86		121	
15		39		63		87		122	
16		40		64		88		123	
17		41		65		89		124	
18		42		66		101		125	
19		43		67		102		126	
20		44		68		103		127	
21		45		69		104		131	
22		46		70		105		132	
23		47		71		106		133	
24		48		72		107		201	
25		49		73		108		202	
26		50		74		109		203	
27		51		75		110		204	
28		52		76		111		205	
29		53		77		112		206	
30		54		78		113		800	
31		55		79		114		801	
32		56		80		115		810	
33		57		81		116		811	
34		58		82		117			

K6 ① VI-2-9-4-7-1-2 (重) R0

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
128	
129	
130	

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	129			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
12						
15						
17						
20						
28						
30						
34						
38						
44						
46						
48						
51						
54						
56						
59						
65						
68						
71						
** 75 **						
79						
82						
85						
89						
101						
104						
110						
113						
119						
122						
124						
126						
131						
201						

K6 ① VI-2-9-4-7-1-2 (重) 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_h
STPT410	200	—	207	404	—
SUS316LTP	150	—	130	424	—
	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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数は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。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
FCVS-Y-1	原子炉建屋		
	フィルタベント遮蔽壁		
FCVS-002	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F C V S - Y - 1

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F C V S - Y - 1

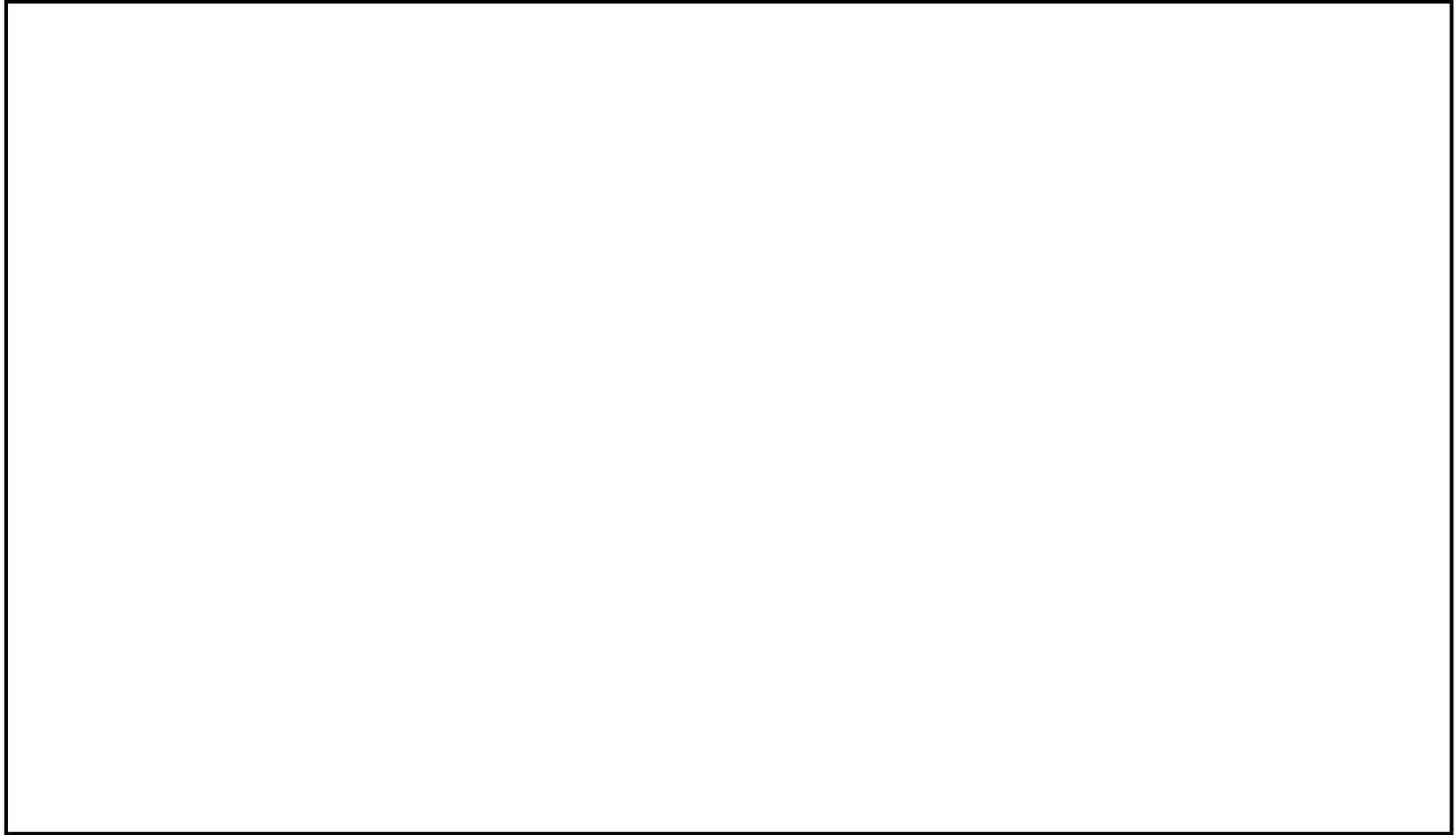
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*：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。

代表的振動モード図

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

代表的振動モード図(1次)



30

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		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				
35 次				
36 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

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

注記* : 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。

代表的振動モード図

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

代表的振動モード図(1次)

代表的振動モード図(2次)

35

鳥瞰図 FCVS-002

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管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m} (S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n (S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
FCVS-Y-1	V _A S	1	$S_{pr m} (S_s)$	207	363	—	—	—
	V _A S	1	$S_n (S_s)$	—	—	190	414	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
FCVS- 002	$V_A S$	109	$S_{pr m}(S_s)$	132	381	—	—	—
	$V_A S$	109	$S_n(S_s)$	—	—	226	260	—

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)
K6FV-SNB26A	オイルスナッパ	20LODP100- 060B	VI-2-1-12「配管及び支 持構造物の耐震計算につ いて」参照		24	90

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			
K6FV-A12	アンカ	ラグ	STPT410 (SM400C)	200	-197	-36	69	54	42	191	組合せ	100	133
K6FV-R27	レストレイント	架構	STKR400	65	73	0	73	-	-	-	組合せ	74	150

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	FCVS-Y-1	1	207	363	1.75	○	1	190	414	2.17	—	—	—	—
2	FCVS-Y-2	1	95	363	3.82	—	1	182	414	2.27	—	—	—	—
3	FCVS-Y-3	2	63	363	5.76	—	2	130	414	3.18	—	—	—	—
4	FCVS-Y-4	36	65	366	5.63	—	8	196	414	2.11	—	—	—	—
5	FCVS-Y-5	1	99	335	3.38	—	1	159	386	2.42	—	—	—	—
6	FCVS-001	32	128	363	2.83	—	24	247	414	1.67	—	—	—	—
7	FCVS-Y-7	1	91	366	4.02	—	1	159	240	1.50	—	—	—	—
8	FCVS-Y-8	23	112	366	3.26	—	23	193	240	1.24	—	—	—	—
9	FCVS-Y-9	123	122	413	3.38	—	123	224	318	1.41	—	—	—	—
10	FCVS-Y-10	11	133	381	2.86	—	11	217	260	1.19	—	—	—	—
11	FCVS-002	109	132	381	2.88	—	109	226	260	1.15	○	—	—	—

(続き)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表
12	FCVS-205	116	92	361	3.92	—	188	208	288	1.38	—	—	—	—

VI-2-9-4-7-1-3 フィルタ装置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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、格納容器圧力逃がし装置のフィルタ装置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。

フィルタ装置は、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、フィルタ装置は、VI-2-1-14「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「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

フィルタ装置の構造計画を表 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）</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【フィルタ装置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

フィルタ装置の構造強度評価は、VI-2-1-14「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。組合せ応力の計算においては、安全側に絶対値和で組合せるものとする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置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

フィルタ装置の許容応力は、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

フィルタ装置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【フィルタ装置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	圧力逃がし装置	フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器 ^{*2}	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A S の許容限界を用いる。)
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	フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器 ^{*2}	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A S の許容限界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	フィルタ装置	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 容器 ^{*2}	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	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：積雪荷重を含む。

*4：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」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, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	<p style="text-align: right;">*3</p> 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。	
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記*1：座屈による評価は，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。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, *3 (ボルト等以外)	許容限界*2, *3 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	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：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：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。

*3：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 4-4 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	SUS316L	最高使用温度	200	—	120	407	175
基礎ボルト	SNB21-1 (径≦100mm)	最高使用温度	200	—	929	1005	—

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置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。

【フィルタ装置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			
フィルタ装置	常設耐震/防止 常設/緩和	フィルタベント遮蔽壁 T. M. S. L. 12.7 (T. M. S. L. 12.0*)			—	—	C _H = 4.05	C _V = 1.83	0.62	200	—

注記*：基準床レベルを示す。

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)
		4000	32.0	4000	30.0	183000*	183000*	70400*	70400*

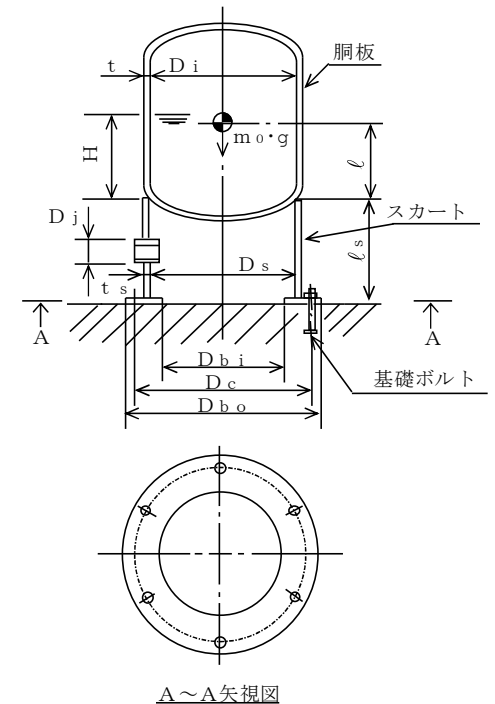
ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	D ₆ (mm)	D ₇ (mm)	H (mm)	s
2263	1337	150	180	150	190	500	190	190	2382	15

n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)	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
36	4260	4560	3600	48 (M48)	1.810×10 ³	1552	—	1.400×10 ¹⁰

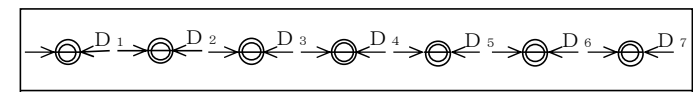
S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
120*	407*	—	120*	407*	—	162

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)
929* (径≤100mm)	1005* (径≤100mm)	—	703

注記*：最高使用温度で算出



A~A 矢視図



スカート開口部の形状を示す。

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	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 40$	$\sigma_{x1} = 20$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2} = 2$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 3$	$\sigma_{x5} = 3$	—
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	—	—	—	—	$\sigma_{x4} = 22$	$\tau = 20$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} = 42$	$\sigma_{x1} = 45$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} = -42$	$\sigma_{xc} = 5$	—
組合せ応力	引張	—			$\sigma_{ot} = 63$	
	圧縮	—			$\sigma_{oc} = 12$	

(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	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 3$	$\sigma_{x5} = 3$	—
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	—	—	—	—	$\sigma_{x4} = 22$	$\tau = 20$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 3$	$\sigma_{2x1} = 25$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = -3$	$\sigma_{2xc} = 24$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	—			$\sigma_{2t} = 71$	
	圧縮	—			$\sigma_{2c} = 67$	

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	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_s = 70$
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		—	
	せん断	—	$\tau_s = 24$	

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	—	$\sigma_b = 171$
せん断応力	—	$\tau_b = 60$

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	—	—	$\sigma_o = 63$	$S_a = 244$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 71$	$S_a = 240$
スカート	SUS316L	組合せ	—	—	$\sigma_s = 70$	$f_t = 162$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\alpha_B \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\alpha_B \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\alpha_B \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\alpha_B \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—		0.35 (無次元)	
基礎ボルト	SNB21-1	引張	—	—	$\sigma_b = 171$	$f_{ts} = 527^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 60$	$f_{sb} = 406$

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 よう素フィルタの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	14
3. 評価部位	14
4. 固有周期	15
4.1 固有周期の計算方法	15
4.2 固有周期の計算条件	26
4.3 固有周期の計算結果	26
5. 構造強度評価	27
5.1 構造強度評価方法	27
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	27
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	27
5.2.2 許容応力	27
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	27
5.3 設計用地震力	32
5.4 計算方法	32
5.4.1 胴の計算方法	32
5.4.2 ラグの計算方法	47
5.4.3 取付ボルトの計算方法	49
5.5 計算条件	51
5.6 応力の評価	51
5.6.1 胴の応力評価	51
5.6.2 ラグの応力評価	51
5.6.3 取付ボルトの応力評価	51
6. 評価結果	52
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	52
7. 参考文献	52

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、格納容器圧力逃がし装置のよう素フィルタが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

よう素フィルタは、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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

よう素フィルタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を4個のラグで支持し、ラグをフィルタベント遮蔽壁に固定された架台に取付ボルトで固定する。</p>	<p>たて置円筒形（管板、胴を有するラグ支持たて置円筒形容器）</p>	
		<p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

ラグ支持たて置円筒形容器であるよう素フィルタの応力評価は、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」にて示すよう素フィルタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」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。

よう素フィルタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

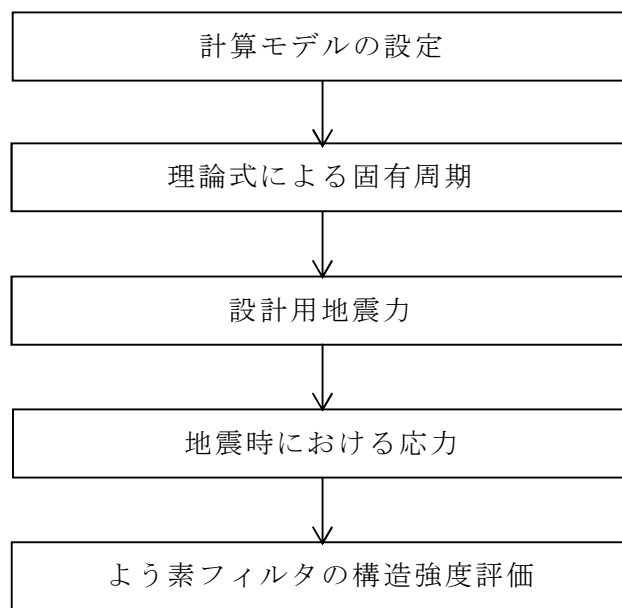


図 2-1 よう素フィルタの耐震評価フロー

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 _b	ボルトの軸断面積	mm ²
A _{be}	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 _{s1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
A _{s2}	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の板厚中心までの距離	mm
b	ラグの半径方向端面からボルト中心までの距離	mm
C ₁	ラグの胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の周方向)	mm
C ₂	ラグの胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の軸方向)	mm
C _{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数 (参考文献(1), (2)より得られる値) (j = 1: 周方向応力, j = 2: 軸方向応力)	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _{lj}	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数 (参考文献(1), (2)より得られる値) (j = 1: 周方向応力, j = 2: 軸方向応力)	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
c	架台端面からボルト中心までの距離	mm
D _i	胴の内径	mm
d	ボルト中心間の距離	mm
d _o	ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _b	ボルトの縦弾性係数	MPa
e	ラグ底板幅の 1/2	mm
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 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 ₀₁	運転時質量によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{01D}	鉛直下向き地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{01U}	鉛直上向き地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{01V}	鉛直方向地震力によりボルトに作用する鉛直方向反力	N
F ₀₂	運転時質量により架台端面に作用する鉛直方向反力	N

記号	記号の説明	単位
F_{02U}	鉛直上向き地震力によりラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{11}	水平力 F_1 , F_2 により第 1 ラグのボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{12}	水平力 F_1 , 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 , F_2 により第 3 ラグのボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{22}	水平力 F_1 , F_2 により第 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 , F_2 により第 2, 第 4 ラグのボルトに作用する鉛直方向反力 (図 4-5 に示す鉛直方向反力)	N
F_V	単位鉛直力	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	ラグの許容引張応力	MPa
f_{t0}	引張力のみを受ける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ボルトの許容引張応力	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	胴のラグつ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 (参考文献(1)より得られる値)	—
K_ℓ	胴のラグつ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 (参考文献(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対する変形ばね定数	N/mm
k_4	下部胴の曲げ及びせん断に対する変形ばね定数	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対するばね定数	N/mm
k_7	鉛直荷重による下部胴の伸び変形に対するばね定数	N/mm
k_c, k_ℓ	参考文献(1), (2)におけるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
L	胴の長さ	mm

記号	記号の説明	単位
L_b	ボルトの有効長さ	mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント(参考文献(1),(2)の図表より)	N・mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント(参考文献(1),(2)の図表より)	N・mm
M_0	鉛直方向荷重による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_1, M_2	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_3	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部のねじり方向モーメント	N・mm
M_C	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部の周方向モーメント	N・mm
M_ϕ	運転時質量による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\phi D}$	鉛直下向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\phi U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\phi V}$	鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
m_0	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(参考文献(1),(2)の図表より)	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力(参考文献(1),(2)の図表より)	N/mm
n	ラグ1個当りのボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	水平力 F_1, F_2 による胴のラグつけ根部の周方向荷重	N
R	運転時質量によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N
R_0	鉛直方向荷重によるラグつけ根部の鉛直方向反力	N
R_1	水平力 F_1, F_2 によるラグつ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つ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つ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つ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	水平方向振動系の固有周期	s
T_{H1}	水平方向振動系の固有周期(1次)	s

記号	記号の説明	単位
T_{H2}	水平方向振動系の固有周期（2次）	s
T_V	鉛直方向振動系の固有周期（1次）	s
t	胴の板厚	mm
$Z_{s\ell}$	胴の軸方向軸に対するラグの断面係数	mm ³
Z_{sp}	ラグのねじり断面係数	mm ³
Z_{st}	胴の周方向軸に対するラグの断面係数	mm ³
α	参考文献(1), (2)におけるシェルパラメータ	—
$\beta, \beta_1, \beta_2,$ β_ℓ, β_c	参考文献(1), (2)におけるアタッチメントパラメータ	—
γ	参考文献(1), (2)におけるシェルパラメータ	—
Δ_{x1}	水平力 F_1, 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}	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_{12V}	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_{21}	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_{21V}	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_{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, しない場合：0）	—
θ	水平力 F_1, 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つ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つけ根部の局部傾き角	rad
θ_1	水平力 F_1, F_2 による胴の第1ラグつけ根部の局部傾き角	rad
θ_2	水平力 F_1, F_2 による胴の第3ラグつけ根部の局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_1, F_2 による胴の第2, 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架台に対する傾き角	rad
θ_{s0U}	鉛直上向き地震力によるラグの架台に対する傾き角	rad
θ_{s1}	水平力 F_1, F_2 による第1ラグの架台に対する傾き角	rad
θ_{s2}	水平力 F_1, F_2 による第3ラグの架台に対する傾き角	rad

記号	記号の説明	単位
π	円周率	—
σ_0	胴の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
σ_{11}, σ_{12}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{13}, σ_{14}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{15}, σ_{16}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{17}, σ_{18}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{19}, \sigma_{110}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_2	胴の一次+二次応力の変動値の最大値	MPa
σ_{21}, σ_{22}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa
σ_{23}, σ_{24}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa
σ_{25}, σ_{26}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa
σ_{27}, σ_{28}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{29}, \sigma_{210}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力+二次応力の変動値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{1s}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第1ラグの組合せ応力	MPa
σ_{2s}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第2ラグ及び第4ラグの組合せ応力	MPa
σ_{3s}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第3ラグの組合せ応力	MPa
σ_{4s}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第1ラグ及び第4ラグの組合せ応力	MPa
σ_{5s}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第2ラグ及び第3ラグの組合せ応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力により第1ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力により第2ラグ及び第4ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b3}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力により第3ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第1ラグ及び第4ラグのボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b5}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第2ラグ及び第3ラグのボルトに生じる引張応力	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
σ_{s2}	Z方向地震力による第1ラグの曲げ応力	MPa
σ_{s3}	Z方向地震力による第2ラグ及び第4ラグの曲げ応力	MPa
σ_{s4}	Z方向地震力による第3ラグの曲げ応力	MPa
σ_{s5}	X方向地震力による第1ラグ及び第4ラグの曲げ応力	MPa
σ_{s6}	X方向地震力による第2ラグ及び第3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
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力及び軸方向応力	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

記号	記号の説明	単位
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
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x5}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x5}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 6}, \sigma_{x6}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 6}, \sigma_{2x6}$	Z方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 7}, \sigma_{x7}$	Z方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる第2ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 7}, \sigma_{2x7}$	Z方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる第2ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x8}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 8}, \sigma_{2x8}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ及び第4ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x9}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2ラグ及び第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 9}, \sigma_{2x9}$	X方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2ラグ及び第3ラグつけ根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x10}$	X方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによるラグつけ根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 10},$ σ_{2x10}	X方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによるラグつけ根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{\phi 12}, \sigma_{x12}$	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
$\sigma_{2\phi 12},$ σ_{2x12}	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
$\sigma_{\phi 12D},$ σ_{x12D}	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

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{2\phi 12D}$, σ_{2x12D}	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
$\sigma_{\phi 12U}$, σ_{x12U}	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
$\sigma_{2\phi 12U}$, σ_{2x12U}	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
σ_{xx1} , σ_{xx2}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xx1} , σ_{2xx2}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
σ_{xx3} , σ_{xx4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xx3} , σ_{2xx4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
σ_{xz1} , σ_{xz2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xz1} , σ_{2xz2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
σ_{xz3} , σ_{xz4}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xz3} , σ_{2xz4}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa
σ_{xz5} , σ_{xz6}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{2xz5} , σ_{2xz6}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi x 1}, \sigma_{\phi x 2}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi x 1},$ $\sigma_{2\phi x 2}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi x 3}, \sigma_{\phi x 4}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi x 3},$ $\sigma_{2\phi x 4}$	X方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi z 1}, \sigma_{\phi z 2}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi z 1},$ $\sigma_{2\phi z 2}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第1ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi z 3}, \sigma_{\phi z 4}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi z 3},$ $\sigma_{2\phi z 4}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第2ラグ及び第4ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi z 5}, \sigma_{\phi z 6}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi z 5},$ $\sigma_{2\phi z 6}$	Z方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の第3ラグつけ根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力	MPa
τ_3	Z方向地震力により胴のラグつけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	X方向地震力により胴のラグつ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_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_{b2}	Z方向地震力及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第1ラグ及び第4ラグのボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b5}	X方向地震力及び鉛直方向地震力により第2ラグ及び第3ラグのボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	Z方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	X方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 1}$	運転時質量により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 2}$	Z方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 5}$	X方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6}$	鉛直方向地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6D}$	鉛直下向き地震力により胴のラグつけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 6U}$	鉛直上向き地震力により胴のラグつ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
τ_{s2}	Z方向地震力による第1ラグのせん断応力	MPa
τ_{s3}	Z方向地震力による第2ラグ及び第4ラグのせん断応力	MPa
τ_{s4}	Z方向地震力による第3ラグのせん断応力	MPa
τ_{s5}	X方向地震力による第1ラグ及び第4ラグのせん断応力	MPa
τ_{s6}	X方向地震力による第2ラグ及び第3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 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積 ^{*2}		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}		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：ボルトの有効断面積は、J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：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許容引張応力及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

よう素フィルタの耐震評価は、「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板、ラグ及び取付ボルトについて実施する。よう素フィルタの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

よう素フィルタの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 容器及び内容物の質量はラグのアタッチメント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. 容器の胴は4個のラグで支持され，ラグ1個に対し，取付ボルト2本で架台に取り付ける。
- c. ラグと架台との取付部で取付ボルトの伸びを考慮する。
- d. 架台は剛構造とする。
- e. ラグは胴の半径方向にスライド可能とし，半径方向の荷重は受け持たないものとする。
- f. ラグはボルト間の中心を軸に回転し得るものとする。
- g. 胴をはりと考え，水平方向の変形モードは胴の曲げ及びせん断変形を，鉛直方向は胴の伸び変形を考慮する。
- h. 胴板とラグの取付部において胴板の局部変形を考慮する。
- i. 本計算書は，鉛直方向反力 F_{11} ， F_{12} ， F_{21} ， F_{22} がすべて正の値の場合のみ適用する。
- j. 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及び図4-2に示す。本容器は，2.1項及び5.1項の条件により中間部でばね支持をされた2質点系振動モデルとして考える。

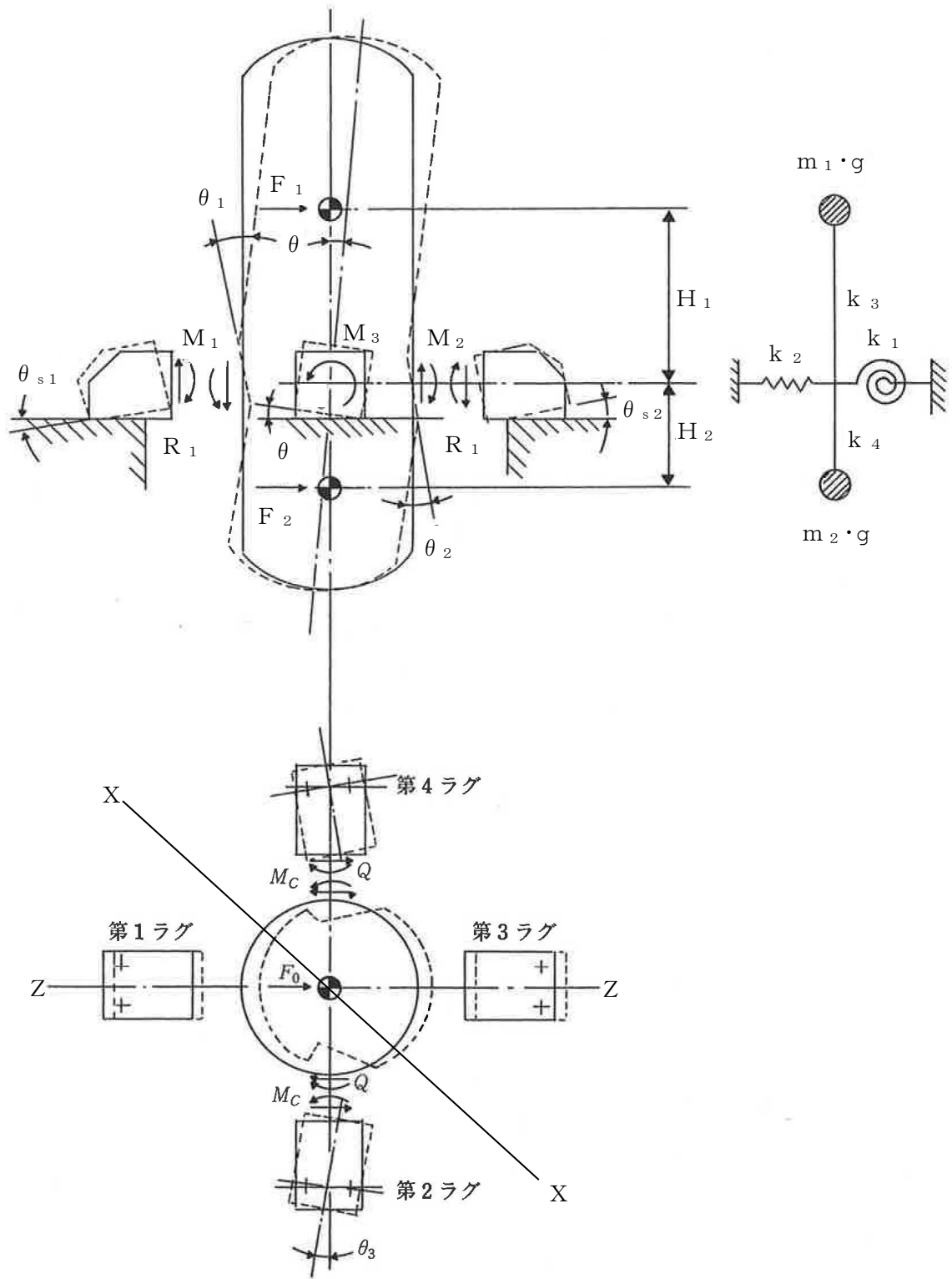


図 4-1 水平方向変形モード及びモデル図

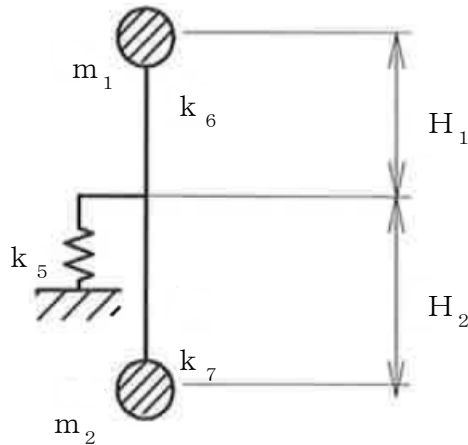


図 4-2 鉛直方向固有周期計算モデル

(2) 水平方向固有周期

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、 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あり、 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、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について

水平力の釣合より

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

転倒モーメントの釣合より

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

ここで、 r_m は次による。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \dots\dots\dots (4.1.9)$$

シェルパラメータ α , γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1), (2)の表より K_θ 及び k_θ が求まり、転倒モーメントによる第1ラグ及び第3ラグの胴つけ根部の局部傾き角は、次のようにして求めることができる。

$$\alpha = L / r_m \dots\dots\dots (4.1.10)$$

$$\gamma = r_m / t \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \dots\dots\dots (4.1.13)$$

$$\beta_\theta = k_\theta \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.1.14)$$

$$\theta_1 = \frac{M_1 \cdot K_\theta}{r_m^3 \cdot \beta_\theta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

$$\theta_2 = \frac{M_2 \cdot K_\theta}{r_m^3 \cdot \beta_\theta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.16)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は、 M_1 を $-M_1$, M_2 を $-M_2$ に置き換える。

- (b) 第1ラグについて図4-3のように傾いたとき
モーメントの釣合より

$$F_{12} \cdot a - F_{11} \cdot (a - b) + M_1 = 0 \dots \dots \dots (4.1.17)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は第1項の a を $(a - b - c)$ に置き換える。

鉛直力の釣合より

$$F_{12} - F_{11} + R_1 = 0 \dots \dots \dots (4.1.18)$$

- (c) 第3ラグについて図4-4のように傾いたとき
モーメントの釣合より

$$F_{21} \cdot (a - b) - F_{22} \cdot (a - b - c) + M_2 = 0 \dots \dots \dots (4.1.19)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は第2項の $(a - b - c)$ を a に置き換える。

鉛直力の釣合より

$$F_{22} - F_{21} - R_1 = 0 \dots \dots \dots (4.1.20)$$

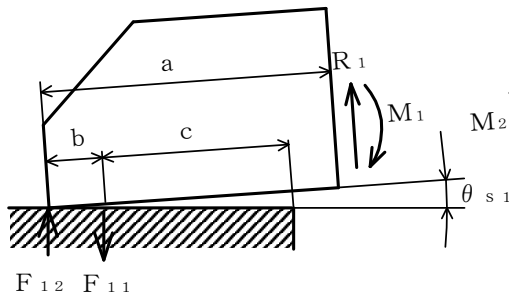


図4-3 第1ラグに作用する
モーメントと力

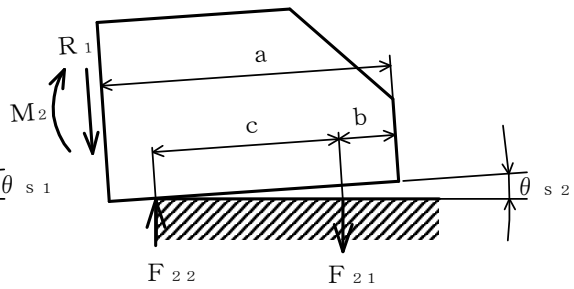


図4-4 第3ラグに作用する
モーメントと力

(d) 第2及び第4ラグについて図4-5のように傾いたとき
モーメントの釣合より

$$-F_{31} \cdot \frac{d}{2} + F_{32} \cdot \frac{d}{2} - (F_{31} + F_{32}) \cdot e + M_3 = 0 \dots \dots \dots (4.1.21)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は左辺第3項の「 $-(F_{31} + F_{32})$ 」を
「 $+(F_{31} + F_{32})$ 」に置き換える。

ボルトの伸びと力の関係より

$$\frac{F_{31}}{e + \frac{d}{2}} = \frac{F_{32}}{e - \frac{d}{2}} \dots \dots \dots (4.1.22)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は左辺分母の「 $e + \frac{d}{2}$ 」を「 $e - \frac{d}{2}$ 」に、

右辺分母「 $e - \frac{d}{2}$ 」を「 $e + \frac{d}{2}$ 」に置き換える。

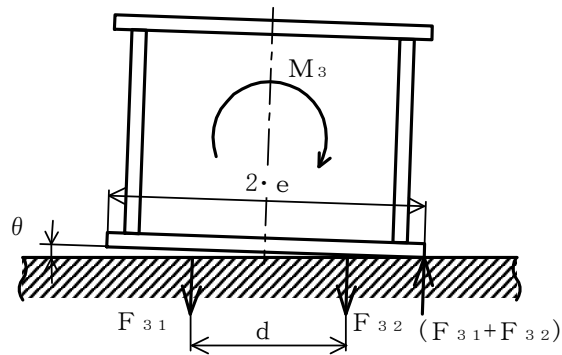


図4-5 第2及び第4ラグに作用するモーメントと力

ラグの架台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

$$\theta_{s1} = \frac{F_{11} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \dots \dots \dots (4.1.23)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合はbをcに置き換える。

第3ラグについて

$$\theta_{s2} = \frac{F_{21} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \dots \dots \dots (4.1.24)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合はcをbに置き換える。

第 2 及び第 4 ラグについて

$$\theta = \frac{F_{31} \cdot L_b}{A_{be} \cdot E_b \cdot \left(e + \frac{d}{2}\right)} \dots\dots\dots (4.1.25)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は F_{31} を F_{32} に置き換える。

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

$$\theta_{s1} - \theta_1 + \theta = 0 \dots\dots\dots (4.1.26)$$

$$\theta_{s2} - \theta_2 + \theta = 0 \dots\dots\dots (4.1.27)$$

$$a \cdot \theta_{s1} - 2 \cdot r_m \cdot \theta + (a - b - c) \cdot \theta_{s2} = 0 \dots\dots\dots (4.1.28)$$

ただし、 $F_1 \cdot H_1 < F_2 \cdot H_2$ の場合は第 1 項の a を $(a - b - c)$ ，第 3 項の $(a - b - c)$ を a に置き換える。

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。

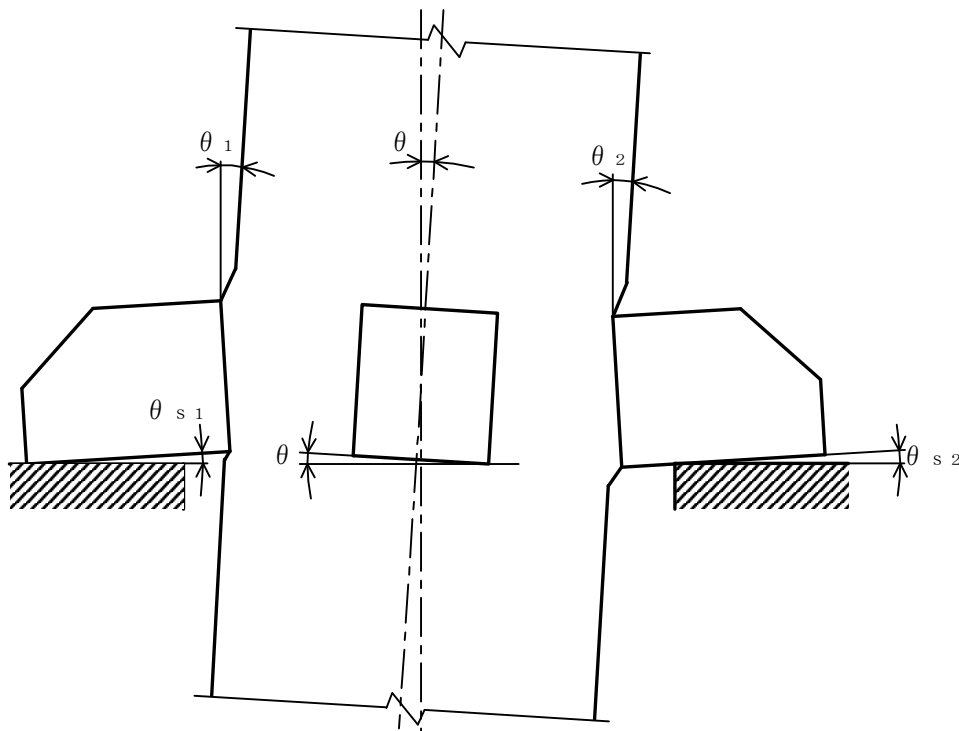


図 4-6 転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角

b. ばね定数 k_2

胴の水平移動に対するばね定数 k_2 は次式で示される。

$$k_2 = F_0 / \Delta_{x1} \dots\dots\dots (4.1.29)$$

ここで、 F_0 は(4.1.7)式で求められる値を用い、 Δ_{x1} は次式による。

$$\Delta_{x1} = (a - b) \cdot \theta_3 \dots\dots\dots (4.1.30)$$

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より

$$M_c = Q \cdot (a - b) \cdot (1 - \varepsilon) \dots\dots\dots (4.1.31)$$

シェルパラメータ α 、 γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1)、(2)の表より K_c 及び k_c が求まり、水平力による第2ラグ及び第4ラグの胴つけ根部の局部傾き角は、次のようにして求めることができる。

$$\theta_3 = \frac{M_c \cdot K_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.32)$$

ここで、 β_c は次式による。

$$\beta_c = k_c \cdot \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (4.1.33)$$

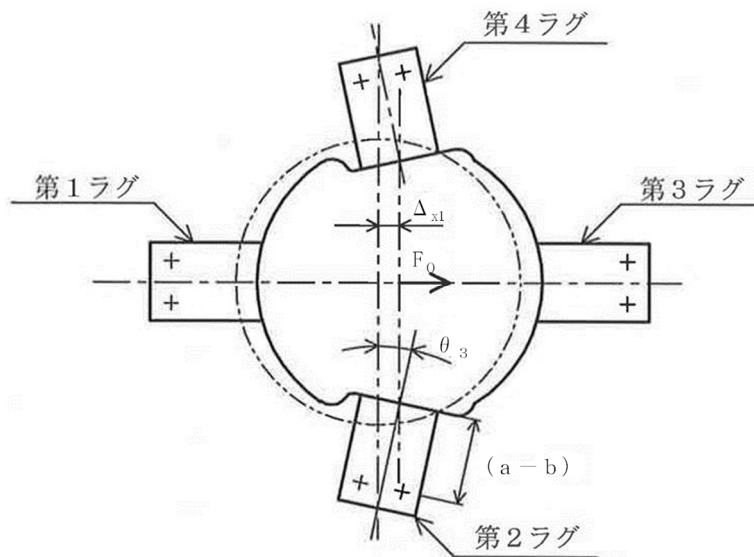


図 4-7 水平力による胴の中心軸の変位量

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。

$$k_3 = F_1 / \Delta_{x2} \dots \dots \dots (4.1.34)$$

ここで、 Δ_{x2} は次式による。

$$\Delta_{x2} = \frac{F_1 \cdot H_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F_1 \cdot H_1}{G \cdot A_e} \dots \dots \dots (4.1.35)$$

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。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \dots \dots \dots (4.1.36)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots \dots \dots (4.1.37)$$

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。

$$k_4 = F_2 / \Delta_{x3} \dots \dots \dots (4.1.38)$$

ここで、 Δ_{x3} は次式による。

$$\Delta_{x3} = \frac{F_2 \cdot H_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F_2 \cdot H_2}{G \cdot A_e} \dots \dots \dots (4.1.39)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向の 2 質点系振動の固有周期は、次式で求める。

$$T_v = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_v} \dots \dots \dots (4.1.40)$$

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

$$10^{-6} \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot (\delta_{11v} \cdot \delta_{22v} - \delta_{12v} \cdot \delta_{21v}) \cdot \omega_v^4 - 10^{-3} \cdot (\delta_{11v} \cdot m_1 + \delta_{22v} \cdot m_2) \cdot \omega_v^2 + 1 = 0 \dots \dots \dots (4.1.41)$$

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あり、 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。

$$\delta_{11V} = \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_6} \dots\dots\dots (4.1.42)$$

$$\delta_{21V} = \delta_{12V} = \frac{1}{k_5} \dots\dots\dots (4.1.43)$$

$$\delta_{22V} = \frac{1}{k_5} - \frac{1}{k_7} \dots\dots\dots (4.1.44)$$

ばね定数 k_5 、 k_6 及び k_7 は次により求める。

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より

$$4 \cdot R_0 - F_V = 0 \dots\dots\dots (4.1.45)$$

ラグについて、図 4-8 のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$(a - b - c) \cdot F_{02} - (a - b) \cdot F_{01} - M_0 = 0 \dots\dots\dots (4.1.46)$$

$$F_{02} - F_{01} - R_0 = 0 \dots\dots\dots (4.1.47)$$

ラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 及びラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は、4.1(2)a. (a) 及び (d) 項の θ_2 及び θ_{s2} と同様の方法で求められる。

$$\theta_0 = \frac{M_0 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.48)$$

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \dots\dots\dots (4.1.49)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 とラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \dots\dots\dots (4.1.50)$$

以上の式を連立させて解くことにより θ_{s0} が得られ、これより鉛直方向変位量 $(a - b - c) \cdot \theta_{s0}$ が求まる。したがって、鉛直方向変位に対するばね定数 k_5 は次式で求められる。

$$k_5 = \frac{F_V}{(a - b - c) \cdot \theta_{s0}} \dots\dots\dots (4.1.51)$$

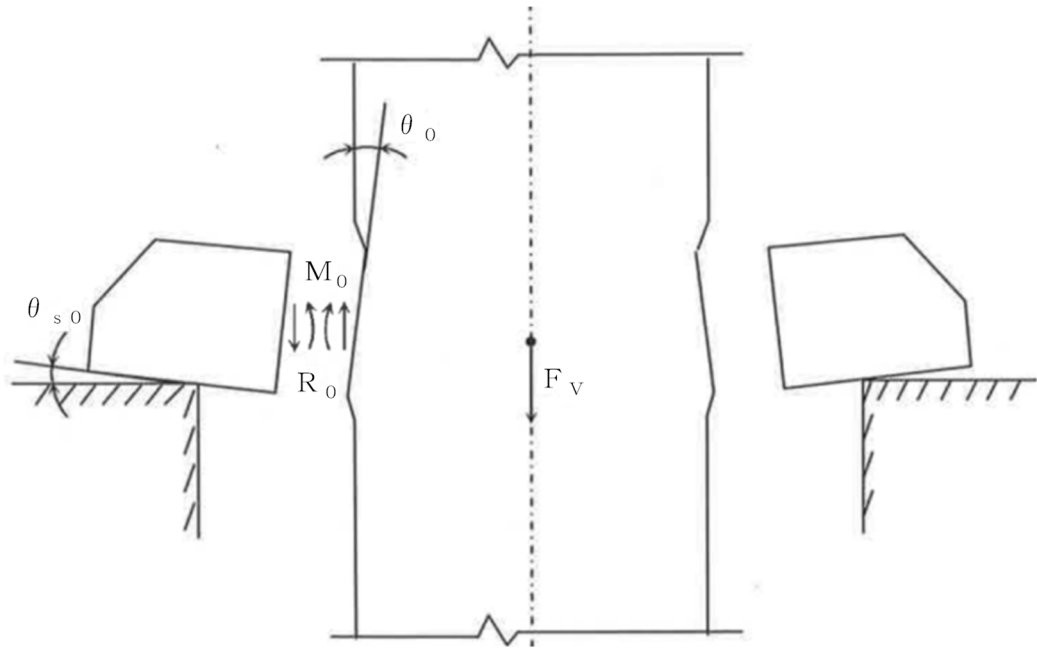


図 4-8 鉛直下向き荷重により胴に生じるモーメントと力

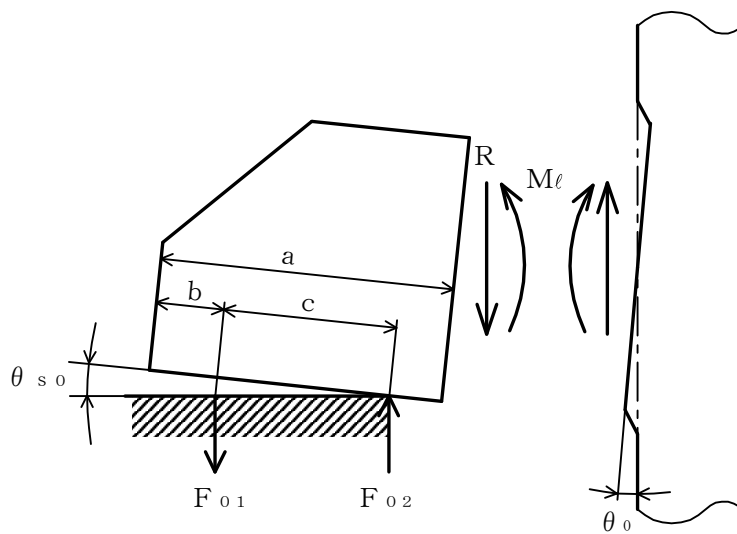


図 4-9 鉛直下向き荷重によりラグに作用するモーメントと力

b. ばね定数 k_6

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

$$\frac{1}{k_6} = \frac{H_1}{A \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.52)$$

c. ばね定数 k_7

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

$$\frac{1}{k_7} = \frac{H_2}{A \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.53)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を【よう素フィルタの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

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。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平 1 次	
水平 2 次	
鉛直 1 次	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a. ～ j. 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作用するものとする。
- (2) 組合せ応力の計算においては，安全側に絶対値和で組合せるものとする。

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

よう素フィルタ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

よう素フィルタの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 及び表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

よう素フィルタの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-4 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	よう素フィルタ	常設／緩和	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界を 用いる。)
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	よう素 フィルタ	常設／緩和	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界を 用いる。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	よう素 フィルタ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IV _A S
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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：積雪荷重を含む。

*4：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界 *1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	*3 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。	
V _A S (V _A S として IV _A S の許容限界を用いる。)				

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

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

表5-3 許容応力（重大事故等クラス2支持構造物）

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
IV _A S	1.5・f _t *		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 5-4 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)
		最高使用温度					
胴板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120	407	—
ラグ	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
取付ボルト	SNB7 (63mm<径≦100mm)	最高使用温度	200	—	569	708	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-5に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」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
フィルタベント 遮蔽壁 T. M. S. L. 12.0 * (T. M. S. L. 26.3)			—	—	C _H = 4.58	C _V = 1.83

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 胴の計算方法

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

(2) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi \cdot t \cdot (D_i + t)} \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

(3) 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

$$\sigma_{x 1 1} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot t \cdot (D_i + t)} \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

(4) 運転時質量による胴のラグつけ根部の応力

運転時質量 m₀ による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R - m_0 \cdot g = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

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

$$F_{02} \cdot (a - b - c) - F_{01} \cdot (a - b) - M_t = 0 \dots \dots \dots (5.4.1.7)$$

$$F_{02} - F_{01} - R = 0 \dots \dots \dots (5.4.1.8)$$

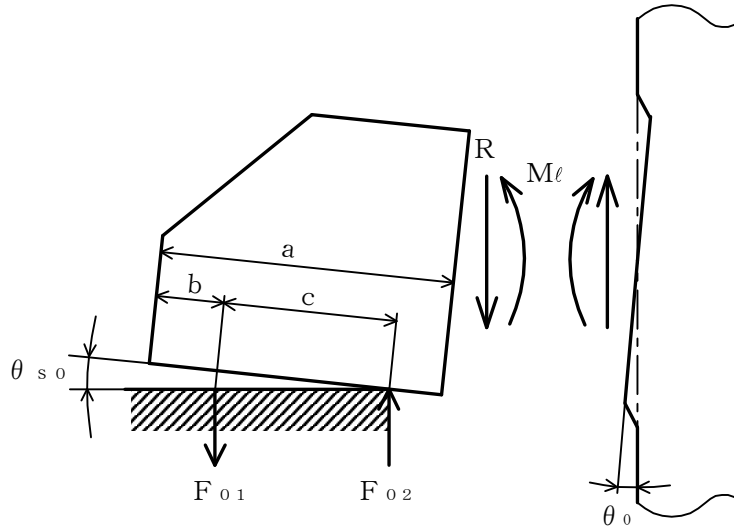


図 5-1 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量によるラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 は、4.1(2)a.(a)項の θ_1 又は θ_2 と同様に、次式で求める。

$$\theta_0 = \frac{M_\ell \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots \dots \dots (5.4.1.9)$$

運転時質量によるラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は、4.1(2)a.(d)項の θ_{s1} 又は θ_{s2} と同様に、次式で求める。

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \dots \dots \dots (5.4.1.10)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角 θ_0 とラグの架台に対する傾き角 θ_{s0} は等しいから

$$\theta_0 = \theta_{s0} \dots \dots \dots (5.4.1.11)$$

以上の式を連立させて解くことにより R, M_θ , F_{01} は次式で求められる。

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4} \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

$$M_\theta = \frac{R \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_\ell \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots\dots\dots (5.4.1.13)$$

$$F_{01} = \frac{R \cdot (a - b - c) - M_\theta}{c} \dots\dots\dots (5.4.1.14)$$

運転時質量による鉛直方向曲げモーメント M_θ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次のようにして求めることができる。なお、*を付記した変数は、シェルパラメータ α , γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1), (2)の表より求まる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left[\frac{N_\phi}{M_\theta / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_\theta}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right] \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.15)$$

$$\sigma_{x 3} = \left[\frac{N_x}{M_\theta / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_\theta}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right] \cdot C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.16)$$

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。

$$\beta_\ell = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.17)$$

反力 R によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\theta 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.18)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直方向地震力による胴のラグつけ根部の応力は、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

$$\sigma_{\phi 1 2} = \max[|\sigma_{\phi 1 2 D}|, |\sigma_{\phi 1 2 U}|] \dots \dots \dots (5.4.1.19)$$

$$\sigma_{x 1 2} = \max[|\sigma_{x 1 2 D}|, |\sigma_{x 1 2 U}|] \dots \dots \dots (5.4.1.20)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2} = \max[|\sigma_{2 \phi 1 2 D}|, |\sigma_{2 \phi 1 2 U}|] \dots \dots \dots (5.4.1.21)$$

$$\sigma_{2 x 1 2} = \max[|\sigma_{2 x 1 2 D}|, |\sigma_{2 x 1 2 U}|] \dots \dots \dots (5.4.1.22)$$

反力によるせん断応力

$$\tau_{\ell 6} = \max[\tau_{\ell 6 D}, \tau_{\ell 6 U}] \dots \dots \dots (5.4.1.23)$$

a. 鉛直下向き地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直下向き地震力により生じる応力は、5.4.1(4)項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。

$$R_D = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.24)$$

$$M_{\ell D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots \dots \dots (5.4.1.25)$$

$$F_{01D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c) - M_{\ell D}}{c} \dots \dots \dots (5.4.1.26)$$

鉛直下向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell D}$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次のようにして求めることができる。なお、*を付記した変数は、シェルパラメータ α , γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1), (2)の表より求まる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2 D} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 1} \dots \dots \dots (5.4.1.27)$$

$$\sigma_{x 1 2 D} = \left[\frac{N_x}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 2} \dots \dots \dots (5.4.1.28)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2 D} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.29)$$

$$\sigma_{2 x 1 2 D} = \left[\frac{M_x}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.30)$$

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。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots \dots \dots (5.4.1.31)$$

反力 R_D によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6 D} = \frac{R_D}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots \dots \dots (5.4.1.32)$$

b. 鉛直上向き地震力による胴のラグつけ根部の応力

鉛直上向き地震力による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R_U - (C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g = 0 \dots \dots \dots (5.4.1.33)$$

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

$$F_{0 2 U} \cdot a - F_{0 1 U} \cdot (a - b) + M_{t U} = 0 \dots \dots \dots (5.4.1.34)$$

$$F_{0 2 U} - F_{0 1 U} + R_U = 0 \dots \dots \dots (5.4.1.35)$$

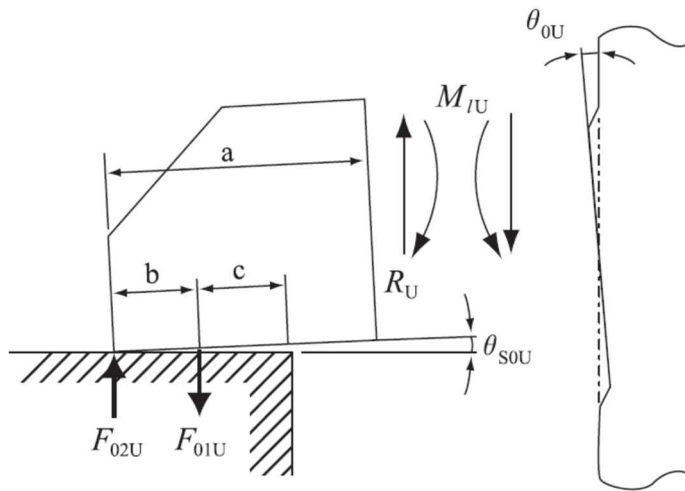


図 5-2 鉛直上向き地震力により胴及びラグに作用するモーメントと力

ラグつけ根部の局部傾き角 θ_{0U} は、4.1(2)a.(a)項の θ_1 又は θ_2 と同様に、次式で求める。

$$\theta_{0U} = \frac{M_{lU} \cdot K_{\ell}}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E} \dots \dots \dots (5.4.1.36)$$

ラグの架台に対する傾き角 θ_{s0U} は、4.1(2)a.(d)項の θ_{s1} 又は θ_{s2} と同様に、次式で求める。

$$\theta_{s0U} = \frac{F_{01U} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \dots \dots \dots (5.4.1.37)$$

ここで、ラグつけ根部の局部傾き角 θ_{0U} とラグの架台に対する傾き角 θ_{s0U} は等しいから

$$\theta_{0U} = \theta_{s0U} \dots \dots \dots (5.4.1.38)$$

以上の式を連立させて解くことにより R_U , M_{lU} , F_{01U} は、次式で求められる。

$$R_U = \frac{(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.39)$$

$$M_{lU} = \frac{R_U \cdot a}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot b^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots \dots \dots (5.4.1.40)$$

$$F_{01U} = \frac{R_U \cdot a - M_{lU}}{b} \dots \dots \dots (5.4.1.41)$$

鉛直上向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\theta U}$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、次のようにして求めることができる。なお、*を付記した変数は、シェルパラメータ α 、 γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(1)、(2)の表より求まる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2 U} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_{\theta U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta U}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\theta}} \right] \cdot C_{\theta 1} \dots \dots \dots (5.4.1.42)$$

$$\sigma_{x 1 2 U} = \left[\frac{N_x}{M_{\theta U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{M_{\theta U}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\theta}} \right] \cdot C_{\theta 2} \dots \dots \dots (5.4.1.43)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2 U} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_{\theta U} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\theta U}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\theta}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.44)$$

$$\sigma_{2 x 1 2 U} = \left[\frac{M_x}{M_{\theta U} / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot M_{\theta U}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\theta}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.45)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{θ} は次式で表される。

$$\beta_{\theta} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots \dots \dots (5.4.1.46)$$

反力 R_U によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\theta 6 U} = \frac{R_U}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots \dots \dots (5.4.1.47)$$

(6) 水平方向地震力による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x 4} = \frac{C_H \cdot m_1 \cdot g \cdot H_1 \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \dots \dots \dots (5.4.1.48)$$

ただし、 $m_1 \cdot g \cdot H_1 < m_2 \cdot g \cdot H_2$ の場合は、 $m_1 \cdot g \cdot H_1$ を $m_2 \cdot g \cdot H_2$ に置き換える。

(7) 水平方向地震力（Z方向）（図4-1参照）による胴のラグつけ根部の応力

4.1(2)項の固有周期計算における水平力 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。

鉛直方向曲げモーメント 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(4)項の $\sigma_{\phi 3}$ 及び $\sigma_{x 3}$ と同様にして

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 1} \dots \dots \dots (5.4.1.49)$$

$$\sigma_{x 5} = \left[\frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 2} \dots \dots \dots (5.4.1.50)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 5} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.51)$$

$$\sigma_{2 x 5} = \left[\frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.52)$$

一次応力

$$\sigma_{\phi 6} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 1} \dots \dots \dots (5.4.1.53)$$

$$\sigma_{x 6} = \left[\frac{N_x}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right] \cdot C_{\ell 2} \dots \dots \dots (5.4.1.54)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 6} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.55)$$

$$\sigma_{2 x 6} = \left[\frac{M_x}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_{\ell}} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.56)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_θ は次式で表される。

$$\beta_\theta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots \dots \dots (5.4.1.57)$$

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

$$\sigma_{\phi 7} = \left[\frac{N_\phi}{M_C / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_C|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_C} \right] \cdot C_{C1} \dots \dots \dots (5.4.1.58)$$

$$\sigma_{x 7} = \left[\frac{N_x}{M_C / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{|M_C|}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_C} \right] \cdot C_{C2} \dots \dots \dots (5.4.1.59)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 7} = \left[\frac{M_\phi}{M_C / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_C|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_C} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.60)$$

$$\sigma_{2x 7} = \left[\frac{M_x}{M_C / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \cdot \left[\frac{6 \cdot |M_C|}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_C} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.61)$$

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。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots \dots \dots (5.4.1.62)$$

(4.1.7)式より求まる周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{|Q|}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots \dots \dots (5.4.1.63)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{\theta 2} = \frac{|R_1|}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots \dots \dots (5.4.1.64)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴の局部せん断応力は

$$\tau_3 = \frac{|M_3|}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \dots \dots \dots (5.4.1.65)$$

ただし、 $C_1 > C_2$ の場合は C_1 を C_2 に置き換える。(図 5-3 参照)

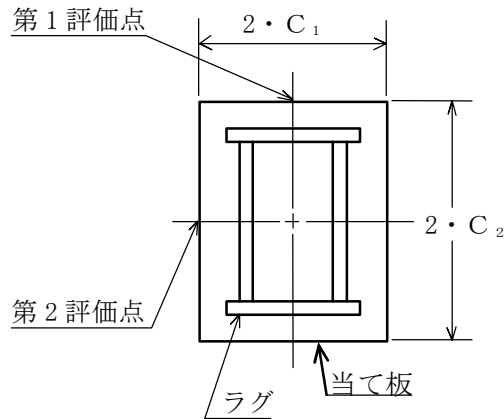


図 5-3 胴の評価点

- (8) 水平方向地震力（X方向）（図 4-1 参照）による胴のラグつけ根部の応力
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方向応力は

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

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

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方向応力は

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

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

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方向応力は

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

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

周方向せん断力 Q による胴のせん断応力は

$$\tau_{c 4} = \tau_{c 1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力 R_1 による胴のせん断応力は

$$\tau_{\theta 5} = \tau_{\theta 2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメント M_3 による胴のせん断応力は

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

(9) 組合せ応力

(1)～(8)によって算出される胴のラグつけ根部に生じる応力は、以下により組合わされる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \max(\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}) \dots\dots\dots (5.4.1.66)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.67)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x11} + \sigma_{x4} \dots\dots\dots (5.4.1.68)$$

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \max(\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}) \dots\dots\dots (5.4.1.69)$$

(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組合せ一次応力

イ. 第1ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.70)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots\dots\dots (5.4.1.71)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x11} + \sigma_{x12} \dots\dots\dots (5.4.1.72)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 1} + \tau_{\theta 2} + \tau_{\theta 6})^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.73)$$

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.74)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x11} \dots\dots\dots (5.4.1.75)$$

ロ. 第2及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c1} + \tau_3)^2} \right\} \dots \quad (5.4.1.76)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (5.4.1.77)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots \dots \dots (5.4.1.78)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 1} + \tau_3 + \tau_{\theta 6})^2} \right\} \dots \dots \dots (5.4.1.79)$$

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (5.4.1.80)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (5.4.1.81)$$

ハ. 第3ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \right\} \dots \dots \dots (5.4.1.82)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 6} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots \dots \dots (5.4.1.83)$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots \dots \dots (5.4.1.84)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 1} + \tau_{\theta 2} + \tau_{\theta 6})^2} \right\} \dots \dots \dots (5.4.1.85)$$

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (5.4.1.86)$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (5.4.1.87)$$

(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

イ. 第1及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{17} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \dots (5.4.1.88)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots (5.4.1.89)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots (5.4.1.90)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{18} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots (5.4.1.91)$$

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots (5.4.1.92)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \dots (5.4.1.93)$$

ロ. 第2及び第3ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{19} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \dots (5.4.1.94)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots (5.4.1.95)$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots (5.4.1.96)$$

第2評価点については

【絶対値和】

$$\sigma_{110} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 6})^2} \right\} \dots (5.4.1.97)$$

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 2} \dots (5.4.1.98)$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \dots (5.4.1.99)$$

c. 一次+二次応力の変動値

$$\sigma_2 = \max(\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}, \sigma_{27}, \sigma_{28}, \sigma_{29}, \sigma_{210}) \dots \dots \dots (5.4.1.100)$$

(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力のみによる一次+二次応力の変動値

イ. 第1ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{21} = \sigma_{2\phi z 1} + \sigma_{2xz 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 1} - \sigma_{2xz 1})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.101)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 1} = \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12} \dots \dots \dots (5.4.1.102)$$

$$\sigma_{2xz 1} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 5} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2x 12} \dots \dots \dots (5.4.1.103)$$

第2評価点については

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi z 2} + \sigma_{2xz 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 2} - \sigma_{2xz 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 2} + \tau_{\theta 6})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.104)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 2} = \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (5.4.1.105)$$

$$\sigma_{2xz 2} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 11} \dots \dots \dots (5.4.1.106)$$

ロ. 第2及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi z 3} + \sigma_{2xz 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 3} - \sigma_{2xz 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \dots \dots \dots (5.4.1.107)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 3} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12} \dots \dots \dots (5.4.1.108)$$

$$\sigma_{2xz 3} = \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2x 12} \dots \dots \dots (5.4.1.109)$$

第2評価点については

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi z 4} + \sigma_{2xz 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 4} - \sigma_{2xz 4})^2 + 4 \cdot (\tau_3 + \tau_{\theta 6})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.110)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 4} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{2\phi 7} + \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.111)$$

$$\sigma_{2xz 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{2x 7} + \sigma_{x 1 1} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.112)$$

ハ. 第3ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{25} = \sigma_{2\phi z 5} + \sigma_{2xz 5} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 5} - \sigma_{2xz 5})^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.113)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 5} = \sigma_{\phi 6} + \sigma_{2\phi 6} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.114)$$

$$\sigma_{2xz 5} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 6} + \sigma_{2x 6} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.115)$$

第2評価点については

$$\sigma_{26} = \sigma_{2\phi z 6} + \sigma_{2xz 6} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 6} - \sigma_{2xz 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 2} + \tau_{\theta 6})^2} (5.4.1.116)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.117)$$

$$\sigma_{2xz 6} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 1} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.118)$$

(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

イ. 第1及び第4ラグのつけ根部

第1評価点については

$$\sigma_{27} = \sigma_{2\phi x 1} + \sigma_{2xx 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 1} - \sigma_{2xx 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.119)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 1} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{2\phi 8} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.120)$$

$$\sigma_{2xx 1} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{2x 8} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.121)$$

第2評価点については

$$\sigma_{28} = \sigma_{2\phi x 2} + \sigma_{2xx 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 2} - \sigma_{2xx 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 5} + \tau_6 + \tau_{\theta 6})^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.122)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 2} = \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (5.4.1.123)$$

$$\sigma_{2x x 2} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2x 1 0} + \sigma_{x 1 1} \dots \dots \dots (5.4.1.124)$$

ロ. 第2及び第3ラグのつけ根部

第1評価点については

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

\dots \dots \dots (5.4.1.125)

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 3} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{2\phi 9} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \dots \dots \dots (5.4.1.126)$$

$$\sigma_{2x x 3} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{2x 9} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2}$$

\dots \dots \dots (5.4.1.127)

第2評価点については

$$\sigma_{2 1 0} = \sigma_{2\phi x 4} + \sigma_{2x x 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 4} - \sigma_{2x x 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 5} + \tau_6 + \tau_{\theta 6})^2}$$

\dots \dots \dots (5.4.1.128)

【絶対値和】

$$\sigma_{2\phi x 4} = \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (5.4.1.129)$$

$$\sigma_{2x x 4} = \sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2x 1 0} + \sigma_{x 1 1} \dots \dots \dots (5.4.1.130)$$

5.4.2 ラグの計算方法

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{M_{\theta}}{Z_{s t}} \dots \dots \dots (5.4.2.1)$$

$$\tau_{s 1} = \frac{R}{A_{s 1}} \dots \dots \dots (5.4.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s 7} = \frac{M_{\theta V}}{Z_{s t}} \dots \dots \dots (5.4.2.3)$$

$$\tau_{s 7} = \frac{R_V}{A_{s 1}} \dots \dots \dots (5.4.2.4)$$

ここで、 $M_{\ell V}$ 、 R_V は、5.4.1(5)項で得られた $M_{\ell D}$ 、 $M_{\ell U}$ 、 R_D 、 R_U を用いて次式で求められる。

$$M_{\ell V} = \max(|M_{\ell D}|, |M_{\ell U}|) \dots\dots\dots (5.4.2.5)$$

$$R_V = \max(|R_D|, |R_U|) \dots\dots\dots (5.4.2.6)$$

(3) 水平方向地震力（Z方向）による応力

第1ラグについて

$$\sigma_{s2} = \frac{|M_1|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.2.7)$$

$$\tau_{s2} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.2.8)$$

第2及び第4ラグについて

$$\sigma_{s3} = \frac{|M_C|}{Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.2.9)$$

$$\tau_{s3} = \frac{|M_3|}{Z_{sp}} + \frac{|Q|}{A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.2.10)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{s4} = \frac{|M_2|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (5.4.2.11)$$

$$\tau_{s4} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.2.12)$$

(4) 水平方向地震力（X方向）による応力

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{s5} = \frac{|M_1|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_C|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.2.13)$$

$$\tau_{s5} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.2.14)$$

第2及び第3ラグについて

$$\sigma_{s6} = \frac{|M_2|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_C|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (5.4.2.15)$$

$$\tau_{s6} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.2.16)$$

(5) 組合せ応力

ラグの最大応力は次式で表される。

$$\sigma_s = \max (\sigma_{1s}, \sigma_{2s}, \sigma_{3s}, \sigma_{4s}, \sigma_{5s}) \cdots \cdots \cdots (5.4.2.17)$$

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

【絶対値和】

第1ラグについて

$$\sigma_{1s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s7})^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.2.18)$$

第2及び第4ラグについて

$$\sigma_{2s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s3} + \tau_{s7})^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.2.19)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{3s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s4} + \tau_{s7})^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.2.20)$$

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

【絶対値和】

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{4s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s5} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s5} + \tau_{s7})^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.2.21)$$

第2及び第3ラグについて

$$\sigma_{5s} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s6} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s6} + \tau_{s7})^2} \cdots \cdots \cdots (5.4.2.22)$$

5.4.3 取付ボルトの計算方法

ボルトの最大引張応力及び最大せん断応力は次式で表される。

$$\sigma_b = \max (\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}) \cdots \cdots \cdots (5.4.3.1)$$

$$\tau_b = \max (\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}) \cdots \cdots \cdots (5.4.3.2)$$

- (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
【絶対値和】

第1ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{|F_{11}| + F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.3)$$

第2及び第4ラグについて

$$\sigma_{b2} = \frac{\max(|F_{31}|, |F_{32}|)}{A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.4)$$

$$\tau_{b2} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.5)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{b3} = \frac{|F_{21}| + F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.6)$$

ここで、 F_{01V} は5.4.1(5)項で得られた F_{01D} 、 F_{01U} を用いて次式で求める。

$$F_{01V} = \max(F_{01D}, F_{01U}) \dots\dots\dots (5.4.3.7)$$

- (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
【絶対値和】

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{b4} = \frac{|F_{11}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max(|F_{31}|, |F_{32}|)}{\sqrt{2} \cdot A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.8)$$

$$\tau_{b4} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.9)$$

第2及び第3ラグについて

$$\sigma_{b5} = \frac{|F_{21}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max(|F_{31}|, |F_{32}|)}{\sqrt{2} \cdot A_b} + \frac{F_{01} + F_{01V}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.10)$$

$$\tau_{b5} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.3.11)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【よう素フィルタの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1(9)項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は 5.2.2 項 表 5-2 による。

5.6.2 ラグの応力評価

5.4.2(5)項で求めた組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t 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_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 取付ボルトの応力評価

5.4.3 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{t0} は次表による。

$$f_{ts} = \min (1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}) \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{t0} 、 f_{sb} は次表による。

	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_{t0}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

よう素フィルタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 参考文献

- (1) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.

【よう素フィルタの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 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			
よう素フィルタ	常設耐震/防止 常設/緩和	フィルタベント遮蔽壁 T.M.S.L. 12.0 (T.M.S.L. 26.3*)			—	—	C _H = 4.58	C _V = 1.83	0.25	200	—

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _b (MPa)	G (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)	K _c (—)	K _θ (—)
			3000	18.0 (17.2)*1	183000*2	192000*2	70400*2	650	790	350	350	300	7433	1701

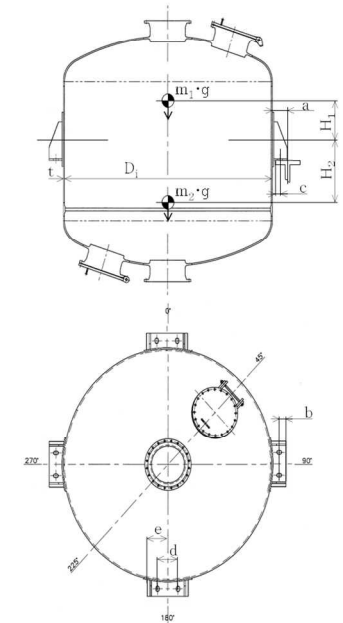
ε (—)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{sp} (mm ³)	Z _{st} (mm ³)	Z _{st} (mm ³)	k _θ (—)	k _c (—)	C _{θ1} (—)	C _{θ2} (—)	C _{c1} (—)	C _{c2} (—)
0	3.120×10 ⁴	3.120×10 ⁴	2.080×10 ⁵	5.818×10 ⁶	2.471×10 ⁶	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

n (—)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	d _o (mm)	A _b (mm ²)	A _{b,e} (mm ²)
2	217	100	60	300	38	42 (M42)	1.385×10 ³	1.120×10 ³

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)	S _y (ボルト) (MPa)	S _u (ボルト) (MPa)	F* (ボルト) (MPa)
*2 120	*2 407	—	*2 144	*2 402	194	569*2 (83mm<径≤100mm)	708*2 (83mm<径≤100mm)	495

注記 *1 : ()内は最小厚さ

*2 : 最高使用温度で算出



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 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	内圧による応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
			自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	—	—	—	—	—	—
軸方向	—	—	—	—	—	
せん断	—	—	—	—	—	

(2) 一次一般膜応力 (基準地震動 S_s)

(単位: MPa)

応力	内圧による応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次 一般膜応力
			自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	—	—	$\sigma_0 = 21$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 11} = 2$	
せん断	—	—	—	—	—	

(3) 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	内圧による応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	曲げモーメント による応力	転倒モーメント による応力	鉛直方向モーメント による応力	周方向モーメント による応力	鉛直方向荷重 による応力	鉛直方向モーメント による応力		
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第 2 及び第 4 ラグ側	第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第 3 ラグ側	第 1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		第 2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	内圧による応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	回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 Sd又は静的震度	X方向及び鉛直方向	第1及び第4 ラグ側	第1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		第2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	第2及び第3 ラグ側	第1 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	第2 評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

(4) 一次応力 (基準地震動 Ss)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	内圧による応力	内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力	
						自重による応力	曲げモーメント による応力	転倒モーメント による応力	鉛直方向モーメント による応力	周方向モーメント による応力	鉛直方向荷重 による応力	鉛直方向モーメント による応力		
基準地震動 Ss	Z方向及び鉛直方向	第1ラグ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 5} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{11} = 23$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 5} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{12} = 24$	
			せん断	—	—	—		—		—		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 31$	
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	—	$\sigma_{x 11} = 2$	—	$\sigma_{14} = 42$		
		せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_{12} = 2$		$\tau_{16} = 3$		—			
		第2及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{15} = 23$
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{16} = 24$		
		せん断	—	—	—		$\tau_{31} = 1$ $\tau_{c1} = 12$		—		—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 10$	—	—	—	$\sigma_{16} = 24$	
		軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	—	—	$\sigma_{x 7} = 28$	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—			
		せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_{31} = 1$		$\tau_{16} = 3$		—			
	第3ラグ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 6} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{16} = 24$	
	軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 6} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{16} = 24$			
	せん断	—	—	—		—		—		—				
	第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 24$		
	軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	—	$\sigma_{x 11} = 2$	—	$\sigma_{16} = 24$			
	せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_{12} = 2$		$\tau_{16} = 3$		—				

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	内圧による応力	運転時質量による応力		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	
						内圧による応力 (鉛直方向地震時)	自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力		鉛直方向モーメントによる応力
基準地震動 Ss	X方向及び鉛直方向	第1及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{17} = 29$
				軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 8} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	
				せん断	—	—	—		$\tau_{c 4} = 9$	$\tau_{\phi} = 1$	—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 7$	—	—	$\sigma_{18} = 38$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	$\sigma_{x 10} = 20$	$\sigma_{x 11} = 2$	—		
			せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_{15} = 1$	$\tau_{\phi} = 1$	$\tau_{16} = 3$				
		第2及び第3ラグ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 1$	—	$\sigma_{\phi 9} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{19} = 29$
				軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 9} = 1$	—	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	
				せん断	—	—	—		$\tau_{c 4} = 9$	$\tau_{\phi} = 1$	—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 21$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 7$	—	—	$\sigma_{110} = 38$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 11$	—	$\sigma_{x 2} = 1$	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	$\sigma_{x 10} = 20$	$\sigma_{x 11} = 2$	—		
			せん断	—	—	$\tau_{11} = 2$		$\tau_{15} = 1$	$\tau_{\phi} = 1$	$\tau_{16} = 3$				

(5) 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 Sd 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第1ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第2及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
	第3ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—		—					
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—		
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—		—					
	X 方向及び鉛直方向	第1及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—		
			せん断	—		—				
第2及び第3ラグ側		第1評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—		—					
第2評価点		周方向	—	—	—	—	—	—		
		軸方向	—	—	—	—	—			
		せん断	—		—					

(6) 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 Ss	Z方向及び鉛直方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{2\phi 12} = 1$	—	$\sigma_{\phi 5} = 1$	$\sigma_{2\phi 5} = 1$	—	$\sigma_{21} = 12$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 5} = 1$	$\sigma_{2x 5} = 1$	—			
			せん断	—			—						
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{22} = 12$	
		軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	—	—				
		せん断	$\tau_{16} = 3$			$\tau_{12} = 2$							
		第2及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{2\phi 12} = 1$	—	—	—	—	$\sigma_{23} = 29$	
		軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 1$	—	—	—					
		せん断	—			$\tau_{3} = 1$	$\tau_{c 1} = 12$						
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 10$	$\sigma_{2\phi 7} = 97$	—	$\sigma_{24} = 213$	
		軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 28$	$\sigma_{2x 7} = 44$	—			
		せん断	$\tau_{16} = 3$			$\tau_{6} = 1$							
	第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{2\phi 12} = 1$	—	$\sigma_{\phi 6} = 1$	$\sigma_{2\phi 6} = 1$	—	$\sigma_{25} = 13$		
	軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 6} = 1$	$\sigma_{2x 6} = 1$	—					
	せん断	—			—								
	第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{26} = 12$		
	軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	—	—					
	せん断	$\tau_{16} = 3$			$\tau_{12} = 2$								
	X方向及び鉛直方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{2\phi 12} = 1$	—	$\sigma_{\phi 8} = 1$	$\sigma_{2\phi 8} = 1$	—	$\sigma_{27} = 25$	
				軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 8} = 1$	$\sigma_{2x 8} = 1$	—		
				せん断	—			$\tau_{c 4} = 9$	$\tau_{6} = 1$				
			第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 7$	$\sigma_{2\phi 10} = 69$	—	$\sigma_{28} = 152$
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	$\sigma_{x 10} = 20$	$\sigma_{2x 10} = 31$	—		
			せん断	$\tau_{16} = 3$			$\tau_{15} = 1$	$\tau_{6} = 1$					
第2及び第3ラゲ側		第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 1$	$\sigma_{2\phi 12} = 1$	—	$\sigma_{\phi 9} = 1$	$\sigma_{2\phi 9} = 1$	—	$\sigma_{29} = 26$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{2x 12} = 1$	$\sigma_{x 4} = 3$	$\sigma_{x 9} = 1$	$\sigma_{2x 9} = 1$	—			
			せん断	—			$\tau_{c 4} = 9$	$\tau_{6} = 1$					
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 7$	$\sigma_{2\phi 10} = 69$	—	$\sigma_{210} = 152$	
		軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 4} = 3$	—	$\sigma_{x 10} = 20$	$\sigma_{2x 10} = 31$	—			
		せん断	$\tau_{16} = 3$			$\tau_{15} = 1$	$\tau_{6} = 1$						

1.3.2 ラグに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		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	—	—	—	—	—	—	—
		第2及び第4ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
		第3ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
	X 方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	—	—	—	—	—	—	—
		第2及び第3ラグ側	—	—	—	—	—	—	—

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		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	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$	$\sigma_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 2$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{1s} = 8$
		第2及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$	$\sigma_{s3} = 6$	$\tau_{s3} = 40$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{2s} = 74$
		第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$	$\sigma_{s4} = 1$	$\tau_{s4} = 2$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{3s} = 8$
	X 方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$	$\sigma_{s5} = 5$	$\tau_{s5} = 29$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{4s} = 55$
		第2及び第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$	$\sigma_{s6} = 5$	$\tau_{s6} = 29$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 2$	$\sigma_{5s} = 55$

1.3.3 取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		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
	Z 方向及び 鉛直方向	第2及び第4ラグ側	—	—
		第3ラグ側	—	—
		X 方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	—
	第2及び第3ラグ側	—	—	

(単位：MPa)

地震力の種類	地震力の方向		引張応力	せん断応力
			基準地震動 S _s	Z 方向及び 鉛直方向
	Z 方向及び 鉛直方向	第2及び第4ラグ側	$\sigma_{b2} = 35$	$\tau_{b2} = 107$
		第3ラグ側	$\sigma_{b3} = 50$	—
		X 方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{b4} = 38$
	第2及び第3ラグ側	$\sigma_{b5} = 49$	$\tau_{b5} = 76$	

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	水平	$T_{H1} =$ <input type="text"/>
2次	水平	$T_{H2} =$ <input type="text"/>
1次	鉛直	$T_V =$ <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	—	—	$\sigma_0 = 21$	$S_a = 244$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 42$	$S_a = 366$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 213$	$S_a = 240$
ラグ	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_s = 74$	$f_t = 194$
取付ボルト	SNB7	引張	—	—	$\sigma_b = 50$	$f_{ts} = 349^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 107$	$f_{sb} = 286$

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-2-9-4-8 原子炉格納容器附属構造物の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-8-1 下部ドライウェルアクセストンネルの
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	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力度	7
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2 許容応力度	7
4.2.3 使用材料の許容応力度評価条件	7
4.2.4 設計荷重	11
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	16
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	28
4.6.1 応力評価点	28
4.6.2 応力度計算方法	30
4.7 計算条件	30
4.8 応力度の評価	30
5. 評価結果	31
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	31
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	38
6. 参照図書	43

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び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準じて、下部ドライウェルアクセストンネル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。

下部ドライウェルアクセストンネルは設計基準対象施設においてはSクラス相当施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備相当に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応設工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による下部ドライウェルアクセストンネルの評価は、平成4年3月27日付け3資庁第13033号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

下部ドライウェルアクセストンネルの構造計画を表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>下部ドライウェルアクセストンネルは、原子炉本体の基礎（以下「原子炉本体基礎」という。）及び原子炉格納容器に支持される。</p> <p>下部ドライウェルアクセストンネルの鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、原子炉本体基礎及び原子炉格納容器シェル部を介して原子炉建屋に伝達させる。</p>	<p>下部ドライウェルアクセストンネルは、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm の円筒胴で構成される鋼製構造物である。</p>	<p>下部ドライウェルアクセストンネル</p> <p>(原子炉本体基礎) (原子炉格納容器)</p> <p>下部ドライウェルアクセストンネル 拡大図</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

下部ドライウェルアクセストンネルの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び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「2.3 適用規格・基準等」にて設定される許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力度等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

下部ドライウェルアクセストンネルの耐震評価フローを図2-1に示す。

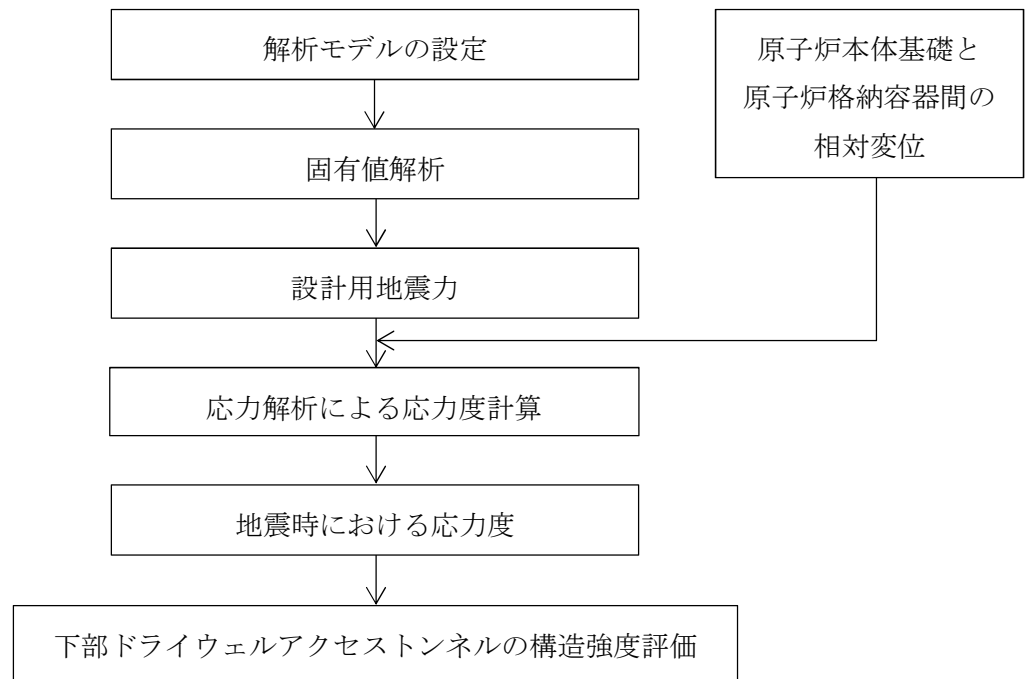


図2-1 下部ドライウェルアクセストンネルの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・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)
- ・鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005改定)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
D_i	直径 ($i = 1, 2$)	mm
E	縦弾性係数	N/mm ²
f_b	許容曲げ応力度	N/mm ²
f_c	許容圧縮応力度	N/mm ²
f_p	許容支圧応力度	N/mm ²
f_s	許容せん断応力度	N/mm ²
f_t	許容引張応力度	N/mm ²
F	許容応力度の基準値	N/mm ²
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
m_i	質量 ($i = 0, 1$)	kg
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	kPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	N/mm ²
S_y	設計降伏点	N/mm ²
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
T	温度	°C
ν	ポアソン比	—

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
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
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
縦弾性係数	N/mm ²	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力度	N/mm ²	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力度	N/mm ²	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁*

注記*：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

3. 評価部位

下部ドライウェルアクセストンネルの形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。

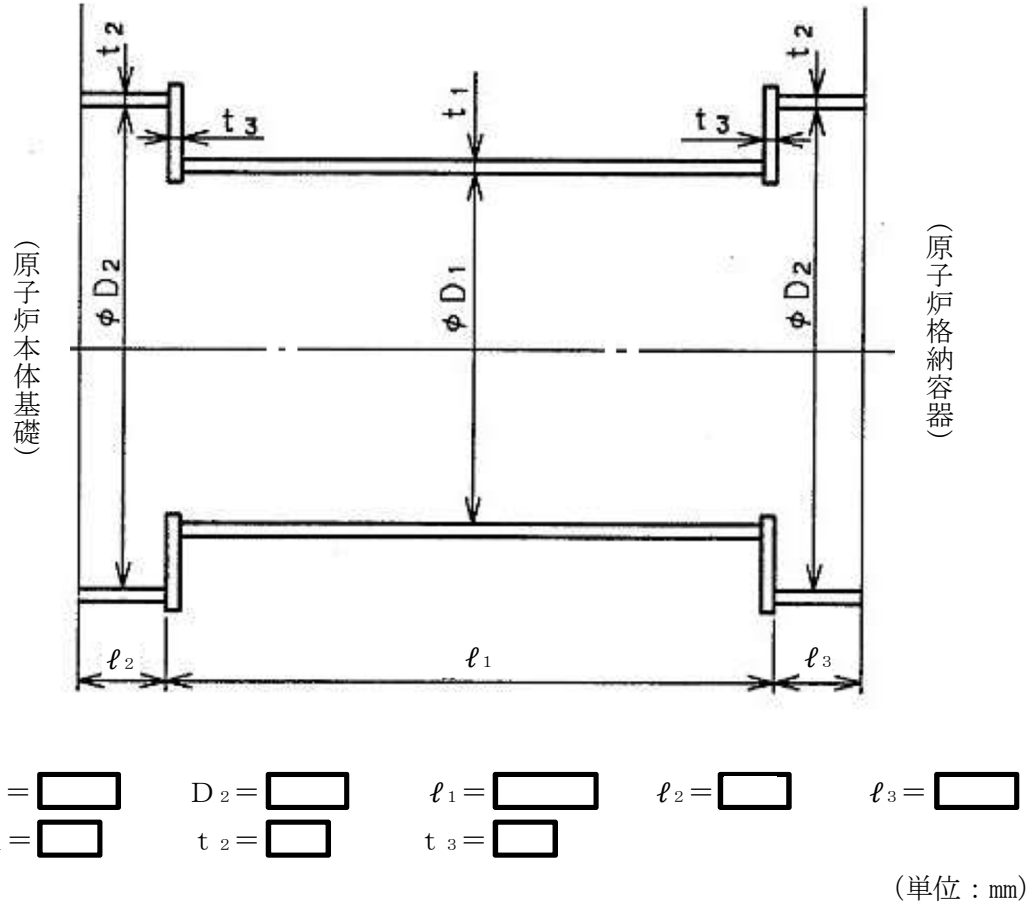


図 3-1 下部ドライウェルアクセストンネルの形状及び主要寸法

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
下部ドライウェル アクセストンネル	□	□

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) 下部ドライウェルアクセストンネルの地震荷重は、原子炉本体基礎及び原子炉格納容器コンクリート部を介して原子炉建屋に伝達される。下部ドライウェルアクセストンネルの耐震評価として、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」及びVI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。また、重大事故等対処設備としての評価においては、没水時における下部ドライウェルアクセストンネル内部の水重量及び浮力を考慮する。
- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力度

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

下部ドライウェルアクセストンネルの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力度

下部ドライウェルアクセストンネルの許容応力度は、「2.3 適用規格・基準等」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力度評価条件

下部ドライウェルアクセストンネルの使用材料の許容応力度評価条件を表 4-4 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ*2		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	下部ドライウエル アクセストンネル	—*1	建物・ 構築物	D + P + M + S _d **3	(10)	Ⅲ _A S <短期>*4
						(11)	
					(14)		
					D + P _L + M _L + S _d **3	(16)	Ⅲ _A S <短期>*4
					D + P + M + S _s *3	(12)	Ⅳ _A S <短期>*4
						(13)	
						(15)	

注記*1：Sクラス相当として評価する。

∞ *2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3に従い、温度荷重を組み合わせる。

*4：鋼構造設計規準によるため、< >内の許容応力状態を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		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	下部ドライウエルアクセストンネル	—*1	建物・構築物	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(V(L)-1)	$V_A S$ <短期>*4
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s^{*3}$	(V(LL)-1)	$V_A S$ <短期>*4

注記*1：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相当として評価する。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-4の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-4に従い、重大事故等時の温度荷重は組み合わせない。

*4：鋼構造設計規準によるため、< >内の許容応力状態を適用する。

表 4-3 許容応力度

許容応力状態	引張/ 組合せ	せん断	圧縮	曲げ	支圧
短期	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$

表4-4 使用材料の許容応力度評価条件
(設計基準対象施設及び重大事故等対処設備)

評価部材	材料	F (N/mm ²)	S _y (N/mm ²)	S _u (N/mm ²)
下部ドライウェル アクセストンネル				

注記* :

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設として地震荷重によるもの以外の設計荷重については、既工認（参照図書(1)）からの変更はなく、次のとおりである。

また、設計荷重による相対変位を表 4-5 に示す。

a. 圧力

外圧（差圧） 14 kPa

b. 死荷重

下部ドライウェルアクセストンネル胴 N

内部機器・配管 N

c. 活荷重

活荷重 N

d. 浮力

通常運転時 N

上昇水流作用時 N

e. 熱荷重

通常運転時 46 °C

異常時 (2) * 52 °C

注記*：地震荷重と組合せる異常時温度を示す。

f. 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

g. 水位

水位 T.M.S.L. (サプレッションチェンバ) -1100 mm

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価圧力

重大事故等対処設備としての評価圧力は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	620kPa (SA後長期 : D/W 620kPa, S/C 620kPa)
内圧 P_{SALL}	150kPa (SA後長々期 : D/W 150kPa, S/C 150kPa)
差圧 P_{SAL}	173kPa (SA後長期 : D/W 620kPa, S/C 447kPa)
差圧 P_{SALL}	100kPa (SA後長々期 : D/W 150kPa, S/C 50kPa)

注 : D/W はドライウエル, S/C はサブプレッションチェンバを示す。

b. 水荷重

重大事故等対処設備の評価に用いる水荷重として、下部ドライウエルアクセストンネル内部の水重量を考慮する。

下部ドライウエルアクセストンネル内部水重量 N

c. 浮力

重大事故等対処設備の評価においては、没水時における下部ドライウエルアクセストンネルの浮力を考慮する。

下部ドライウエルアクセストンネルに加わる浮力 N

d. 水力学的動荷重

重大事故等対処設備としてのチャギング荷重は設計基準対象施設としての荷重と同じであるため、参照図書(1)に示すとおりである。

e. 原子炉本体基礎と原子炉格納容器間の相対変位

重大事故等対処設備の評価における、下部ドライウエルアクセストンネルの原子炉本体基礎と原子炉格納容器間の相対変位を表 4-6 に示す。

f. 水位

重大事故等対処設備の評価における水位は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、以下のとおりとする。

水位 (下部ドライウエル)	T. M. S. L.	7400 mm
水位 (サブプレッションチェンバ)	T. M. S. L.	8750 mm

表 4-5 原子炉本体基礎と原子炉格納容器間の相対変位（設計基準対象施設）

(単位：mm)

荷重	水平方向 X	軸方向 Y	鉛直方向 Z
最高使用圧力（外圧）			
鉛直方向 S d *地震			
水平方向 S d *地震			
鉛直方向 S s 地震			
水平方向 S s 地震			
熱荷重（通常運転時）			
熱荷重（異常時（2））			
逃がし安全弁作動時荷重			

注：変位は図 4-1 に示す方向を正方向とする。

表 4-6 原子炉本体基礎と原子炉格納容器間の相対変位（重大事故等対処設備）

(単位：mm)

荷重	水平方向 X	軸方向 Y	鉛直方向 Z
内圧（S A 後長期：D/W 620kPa, S/C 620kPa）			
内圧（S A 後長々期：D/W 150kPa, S/C 150kPa）			
差圧（S A 後長期：D/W 620kPa, S/C 447kPa）			
差圧（S A 後長々期：D/W 150kPa, S/C 50kPa）			
鉛直方向 S d 地震（S A 後長期）			
水平方向 S d 地震（S A 後長期）			
鉛直方向 S s 地震（S A 後長々期）			
水平方向 S s 地震（S A 後長々期）			
チャギング荷重（S A 後長期）			

注 1：変位は図 4-1 に示す方向を正方向とする。

注 2：D/W はドライウェル，S/C はサプレッションチェンバを示す。

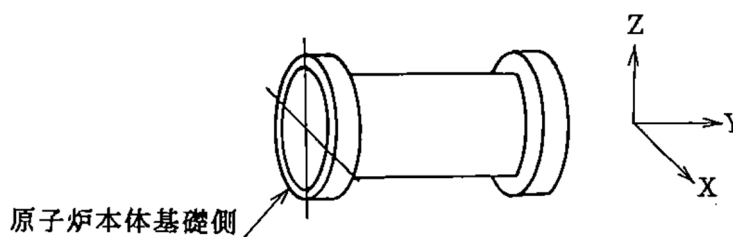


図 4-1 相対変位の方法

4.3 解析モデル及び諸元

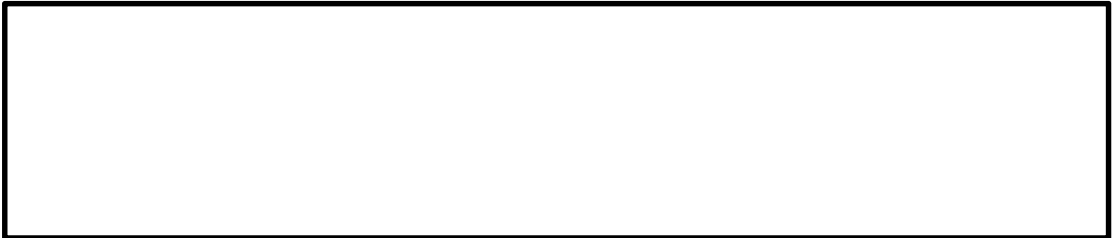
(1) 設計基準対象施設としての解析モデル

設計基準対象施設としての評価は、下部ドライウェルアクセストンネルの質量及び外部の水の影響を考慮して固有値解析及び地震による応力解析（静解析やスペクトルモーダル解析）を実施する。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. 下部ドライウェルアクセストンネルの解析モデルは、3次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。下部ドライウェルアクセストンネルは円筒形状であるため、既工認と同様に、解析は1/2モデルを用いて行う。解析モデルを図4-2に、機器の諸元について表4-7に示す。

b.



- c. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び応力度を求める。下部ドライウェルアクセストンネル内部及び外部の水の影響は「MSC NASTRAN」の機能の1つである付加質量法（Virtual Mass Method）を用いて考慮する。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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル

重大事故等対処設備としての評価は、没水による下部ドライウェルアクセストンネル内部及び外部の水の影響を考慮して固有値解析及び応力解析（静解析やスペクトルモーダル解析等）を行う。重大事故対処設備としての解析モデルは、設計基準対象施設と同じとする。諸元を表4-7に示す。

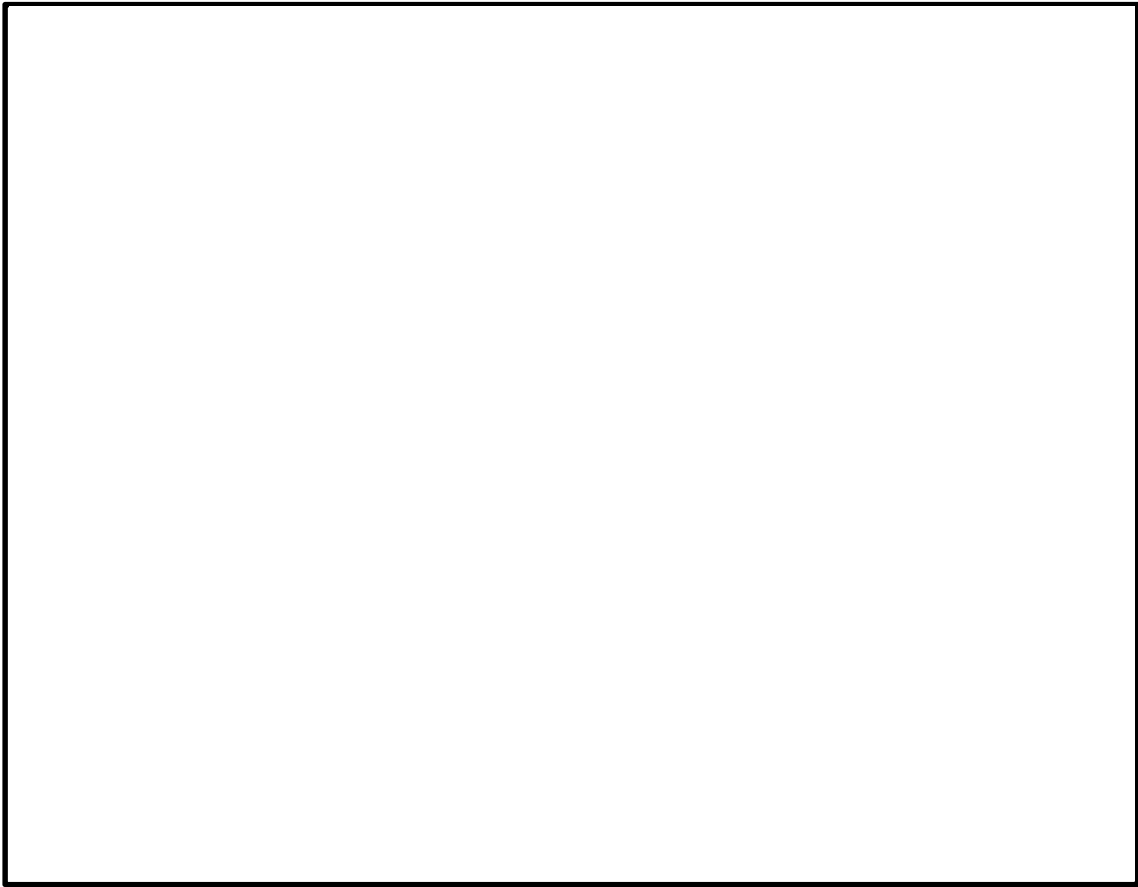


図 4-2 解析モデル

表 4-7 機器諸元

項目	記号	単位	入力値	
			設計基準対象 施設	重大事故等 対処設備
材質	—	—	[]	
機器質量	m_0	kg	[]	
水質量 (内部水)	m_1	kg	0	118×10^3
温度条件	T	℃	171	200
縦弾性係数	E	N/mm ²	[]	
ポアソン比	ν	—	0.3	
要素数	—	—	[]	
節点数	—	—	[]	

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期を表 4-8 に、振動モード図を 3 次まで代表して図 4-3 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。

表 4-8(1) 固有周期（設計基準対象施設：通常運転時）

境界条件	モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X方向	Y方向	Z方向
逆対称 境界	1次	0.070	0.556	—	—
	2次	0.056	-1.043	—	—
	3次	0.048	—	—	—
対称 境界	1次	0.071	—	0.003	-0.009
	2次	0.054	—	0.065	-0.910
	3次	0.052	—	3.978	-0.008
	4次	0.047	—	—	—

注記*：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。

表 4-8(2) 固有周期（設計基準対象施設：燃料交換時）

境界条件	モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X方向	Y方向	Z方向
逆対称 境界	1次	0.078	0.460	—	—
	2次	0.065	0.823	—	—
	3次	0.058	-0.589	—	—
	4次	0.050	—	—	—
対称 境界	1次	0.079	—	0.004	0.038
	2次	0.064	—	-4.862	0.033
	3次	0.063	—	0.140	0.566
	4次	0.057	—	0.026	1.001
	5次	0.050	—	0.002	0.278
	6次	0.038	—	—	—

注記*：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。

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-9 に、振動モード図を 3 次まで代表して図 4-4 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。

表 4-9 固有周期（重大事故等対処設備）

境界条件	モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X方向	Y方向	Z方向
逆対称 境界	1次	0.098	0.067	—	—
	2次	0.089	0.039	—	—
	3次	0.085	0.007	—	—
	4次	0.062	0.080	—	—
	5次	0.060	0.053	—	—
	6次	0.044	—	—	—
対称 境界	1次	0.098	—	0.000	0.055
	2次	0.089	—	0.000	-0.027
	3次	0.085	—	0.000	0.000
	4次	0.062	—	-0.001	-0.058
	5次	0.060	—	0.091	-0.084
	6次	0.054	—	4.316	0.004
	7次	0.044	—	—	—

注記*：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。



逆対称境界

1 次モード

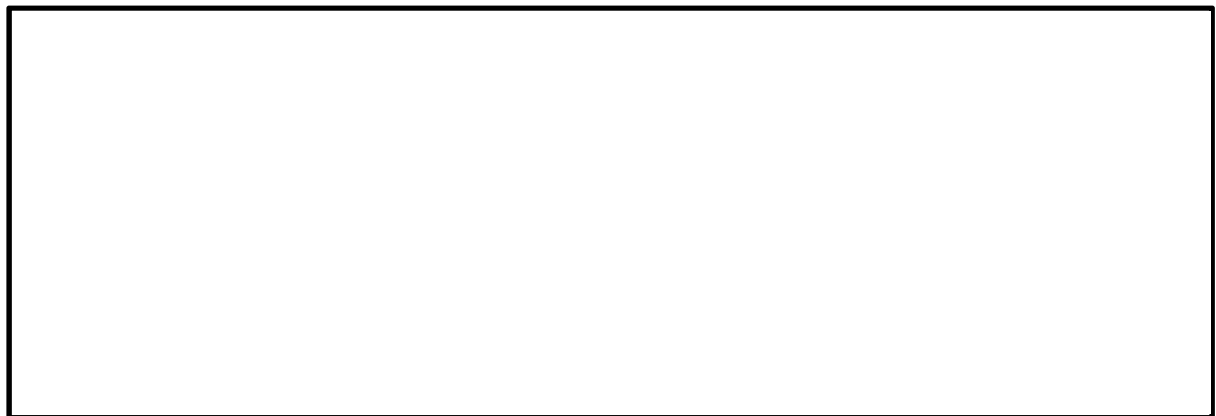
対称境界



逆対称境界

2 次モード

対称境界



逆対称境界

3 次モード

対称境界

図 4-3 (1) 振動モード図 (設計基準対象施設: 通常運転時)



逆対称境界

対称境界

1 次モード



逆対称境界

対称境界

2 次モード



逆対称境界

対称境界

3 次モード

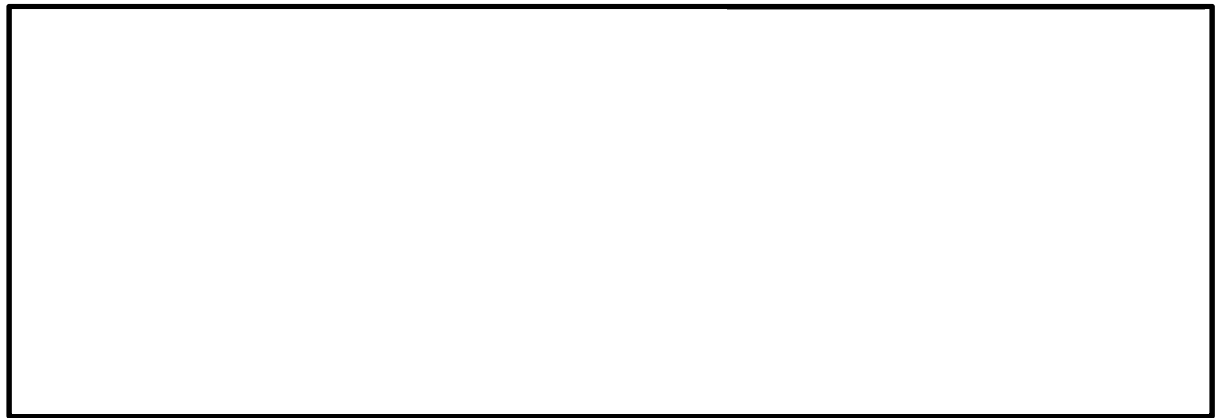
図 4-3 (2) 振動モード図 (設計基準対象施設：燃料交換時)



逆対称境界

対称境界

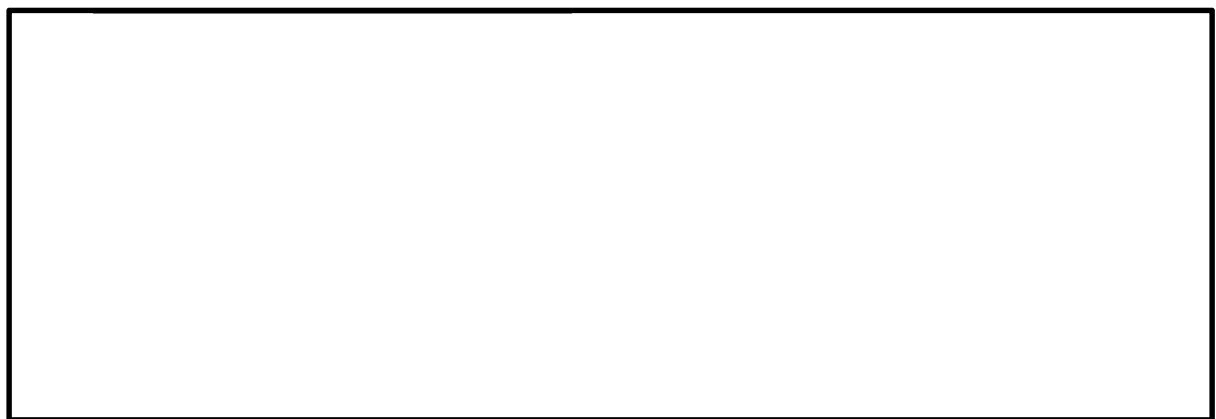
1次モード



逆対称境界

対称境界

2次モード



逆対称境界

対称境界

3次モード

図 4-4 振動モード図 (重大事故等対処設備)

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-10 及び表 4-11 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「設計用床応答曲線の作成方針」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 4-10 (1) 設計用地震力 (設計基準対象施設：通常運転時 (逆対称境界))

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉本体基礎及び原子炉格納容器 T. M. S. L. -0.18					
減衰定数 (%)		水平：1.0* ¹ 鉛直：1.0* ¹					
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	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* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.070						
2次	0.056						
3次* ³	0.048						
動的地震力* ⁴							
静的地震力* ⁵							

注記*1：アクセストネルは溶接構造物に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3：2次までは固有周期が0.050sより長いモード、3次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4：S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5：静的震度 (3.0C_i及び1.0C_v)を示す。

表 4-10 (2) 設計用地震力 (設計基準対象施設：通常運転時 (対称境界))

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉本体基礎及び原子炉格納容器 T. M. S. L. -0.18					
減衰定数 (%)		水平：1.0* ¹ 鉛直：1.0* ¹					
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	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* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.071						
2次	0.054						
3次	0.052						
4次* ³	0.047						
動的地震力* ⁴							
静的地震力* ⁵							

注記*1：アクセストンネルは溶接構造物に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3：3次までは固有周期が0.050sより長いモード、4次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4：S_d又はS_s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5：静的震度 (3.0C_i及び1.0C_v)を示す。

表 4-10 (3) 設計用地震力 (設計基準対象施設：燃料交換時 (逆対称境界))

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉本体基礎及び原子炉格納容器 T. M. S. L. -0.18					
減衰定数 (%)		水平：1.0* ¹ 鉛直：1.0* ¹					
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	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* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.078						
2次	0.065						
3次	0.058						
4次* ³	0.050						
動的地震力* ⁴							
静的地震力* ⁵							

注記*1：アクセストンネルは溶接構造物に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3：3次までは固有周期が0.050sより長いモード、4次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4：S_d又はS_s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5：静的震度 (3.0C_i及び1.0C_v) を示す。

表 4-10 (4) 設計用地震力 (設計基準対象施設: 燃料交換時 (対称境界))

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉本体基礎及び原子炉格納容器 T. M. S. L. -0.18					
減衰定数 (%)		水平: 1.0* ¹ 鉛直: 1.0* ¹					
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	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* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.079						
2次	0.064						
3次	0.063						
4次	0.057						
5次	0.050						
6次* ³	0.038						
動的地震力* ⁴							
静的地震力* ⁵							

注記*1: アクセストンネルは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*2: 各モードの固有周期に対し, 設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3: 5次までは固有周期が0.050sより長いモード, 6次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4: S_d又はS_s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5: 静的震度 (3.0C_i及び1.0C_v)を示す。

表 4-11 (1) 設計用地震力 (重大事故等対処設備 (逆対称境界))

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉本体基礎及び原子炉格納容器 T. M. S. L. -0.18					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0* ¹ 鉛直 : 1.0* ¹					
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	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* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	1.34					
2次	0.089	0.97					
3次	0.085	0.74					
4次	0.062	0.67					
5次	0.060	0.62					
6次* ³	0.044	—					
動的地震力* ⁴		0.43					
静的地震力* ⁵		0.52					

注記*1 : アクセストンネルは溶接構造物に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*2 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3 : 5次までは固有周期が0.050sより長いモード、6次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4 : S_d又はS_s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5 : 静的震度 (3.0C_i及び1.0C_v)を示す。

表 4-11 (2) 設計用地震力 (重大事故等対処設備 (対称境界))

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉本体基礎及び原子炉格納容器 T. M. S. L. -0.18					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0* ¹ 鉛直 : 1.0* ¹					
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	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* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098						
2次	0.089						
3次	0.085						
4次	0.062						
5次	0.060						
6次	0.054						
7次* ³	0.044						
動的地震力* ⁴							
静的地震力* ⁵							

注記*1 : アクセストンネルは溶接構造物に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*2 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*3 : 6次までは固有周期が0.050sより長いモード、7次は固有周期0.050s以下のモードを示す。

*4 : S_d又はS_s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5 : 静的震度 (3.0C_i及び1.0C_v)を示す。

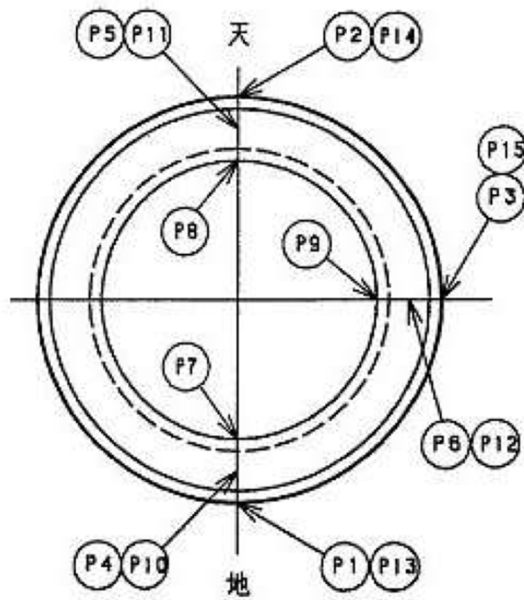
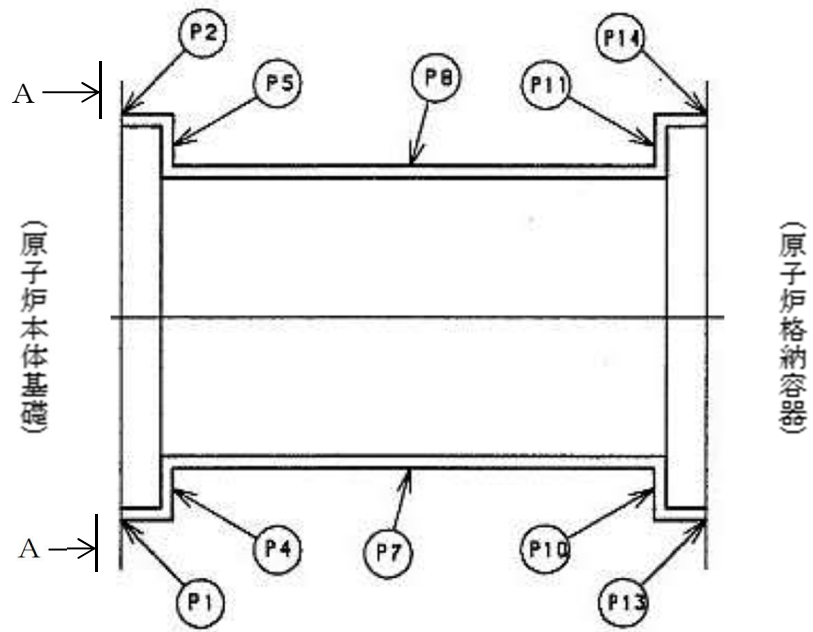
4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

下部ドライウエルアクセストンネルの応力評価点は、下部ドライウエルアクセストンネルを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力度が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-12 及び図 4-5 に示す。

表 4-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 ~ P 3	原子炉本体基礎側端部
P 4 ~ P 6	原子炉本体基礎側フレキシブルジョイント部
P 7 ~ P 9	下部ドライウエルアクセストンネル円筒胴
P 1 0 ~ P 1 2	原子炉格納容器側フレキシブルジョイント部
P 1 3 ~ P 1 5	原子炉格納容器側端部



A~A矢視図

図4-5 下部ドライウェルアクセストンネルの応力評価点

4.6.2 応力度計算方法

下部ドライウェルアクセストンネルの応力度計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力度計算

設計基準対象施設における応力度計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

各荷重による応力度は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す下部ドライウェルアクセストンネルの解析モデルにより算出した値を用い評価する。

(2) 重大事故等対処設備としての応力度計算

下部ドライウェルアクセストンネルに作用する圧力，死荷重，地震荷重及び水力学的動荷重による応力度は，「4.3 解析モデル及び諸元」に示す下部ドライウェルアクセストンネルの解析モデルにより算出する。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を，「4.2 荷重の組合せ及び許容応力度」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力度の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力度が許容応力度以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

下部ドライウェルアクセストンネルの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 5-1(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定	荷重の 組合せ
				算出応力度	許容応力度		
				N/mm ²	N/mm ²		
下部ドライウ ェルアクセ ス トンネル	P1	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	115		○	(14)
	P2	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	100		○	(14)
	P3	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	59		○	(14)
	P4	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	274		○	(14)
	P5	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	211		○	(14)
	P6	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	235		○	(14)
	P7	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	33		○	(14)
	P8	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	23		○	(14)
	P9	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	23		○	(14)

表 5-1(1) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定	荷重の 組合せ
				算出応力度	許容応力度		
				N/mm ²	N/mm ²		
下部ドライウ ェルアクセ ストンネル	P10	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	218		○	(14)
	P11	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	245		○	(14)
	P12	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	248		○	(14)
	P13	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	72		○	(14)
	P14	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	72		○	(10), (14)
	P15	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	109		○	(14)

表 5-1(2) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P_L+M_L+S_d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定
				算出応力度	許容応力度	
				N/mm ²	N/mm ²	
下部ドライ ウェルアクセ ス トンネル	P1	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	109		○
	P2	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	105		○
	P3	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	69		○
	P4	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	118		○
	P5	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	174		○
	P6	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	136		○
	P7	下部ドライウェル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	13		○
	P8	下部ドライウェル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	15		○
	P9	下部ドライウェル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	16		○

表 5-1(2) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定
				算出応力度	許容応力度	
				N/mm ²	N/mm ²	
下部ドライウ ェルアクセス トンネル	P10	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	183		○
	P11	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	121		○
	P12	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	144		○
	P13	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	84		○
	P14	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	85		○
	P15	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	110		○

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定	荷重の 組合せ
				算出応力度	許容応力度		
				N/mm ²	N/mm ²		
下部ドライウ ェルアクセ ス トンネル	P1	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	135		○	(15)
	P2	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	113		○	(15)
	P3	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	60		○	(15)
	P4	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	390		○	(15)
	P5	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	328		○	(15)
	P6	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	347		○	(15)
	P7	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	36		○	(15)
	P8	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	29		○	(15)
	P9	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	28		○	(15)

表 5-2 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定	荷重の 組合せ
				算出応力度	許容応力度		
				N/mm ²	N/mm ²		
下部ドライウ ェルアクセ ス トンネル	P10	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	333		○	(15)
	P11	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	360		○	(15)
	P12	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	363		○	(15)
	P13	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	77		○	(15)
	P14	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	73		○	(15)
	P15	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	129		○	(15)

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

下部ドライウェルアクセストネル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表 5-3 に示す。

表 5-3(1) 許容応力状態V_ASに対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定
				算出応力度	許容応力度	
				N/mm ²	N/mm ²	
下部ドライウ ェルアクセ ス トンネル	P1	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	45		○
	P2	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	41		○
	P3	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	23		○
	P4	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	191		○
	P5	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	137		○
	P6	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	165		○
	P7	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	40		○
	P8	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	39		○
	P9	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	37		○

表 5-3(1) 許容応力状態V_{AS}に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (その2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定
				算出応力度	許容応力度	
				N/mm ²	N/mm ²	
下部ドライウ ェルアクセス トンネル	P10	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	133		○
	P11	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	200		○
	P12	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	163		○
	P13	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	29		○
	P14	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	26		○
	P15	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	45		○

表 5-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定
				算出応力度	許容応力度	
				N/mm ²	N/mm ²	
下部ドライウ ェルアクセ ス トンネル	P1	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	53		○
	P2	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	52		○
	P3	原子炉本体基礎側端部	組合せ応力度	23		○
	P4	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	225		○
	P5	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	219		○
	P6	原子炉本体基礎側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	205		○
	P7	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	16		○
	P8	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	16		○
	P9	下部ドライウエル アクセストンネル円筒胴	組合せ応力度	16		○

表 5-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期		判定
				算出応力度	許容応力度	
				N/mm ²	N/mm ²	
下部ドライウ ェルアクセス トンネル	P10	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	217		○
	P11	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	233		○
	P12	原子炉格納容器側 フレキシブルジョイント部	組合せ応力度	210		○
	P13	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	30		○
	P14	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	25		○
	P15	原子炉格納容器側端部	組合せ応力度	56		○

6. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-4-4-1 「下部ドライウェルアクセストンネルの強度計算書」

VI-2-9-5 その他の原子炉格納施設の耐震性についての計算書

VI-2-9-5-1 コリウムシールドの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	4
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	10
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	10
5.2.1 荷重の組合せ及び荷重の種類	10
5.2.2 許容応力	10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
5.2.4 設計荷重	13
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力評価点	15
5.4.2 補強フレームの応力計算（応力評価点 P 1）	17
5.4.3 縦材の応力計算（応力評価点 P 2）	19
5.4.4 水平材の応力計算（応力評価点 P 3）	21
5.4.5 ガセットプレートの応力計算（応力評価点 P 4）	23
5.4.6 ベースプレート及びアンカーボルト の応力計算（応力評価点 P 5 及び P 9）	24
5.4.7 水平プレート及び鋼棒の応力計算（応力評価点 P 6 及び P 7）	26
5.4.8 ボルトの応力計算（応力評価点 P 8）	28
5.4.9 アンカーボルト の応力計算（応力評価点 P 1 0）	29
5.5 計算条件	30
5.6 応力の評価	30
6. 評価結果	31
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	31

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、コリウムシールドが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

コリウムシールドは、重大事故等対処設備においては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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

コリウムシールドの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/2)

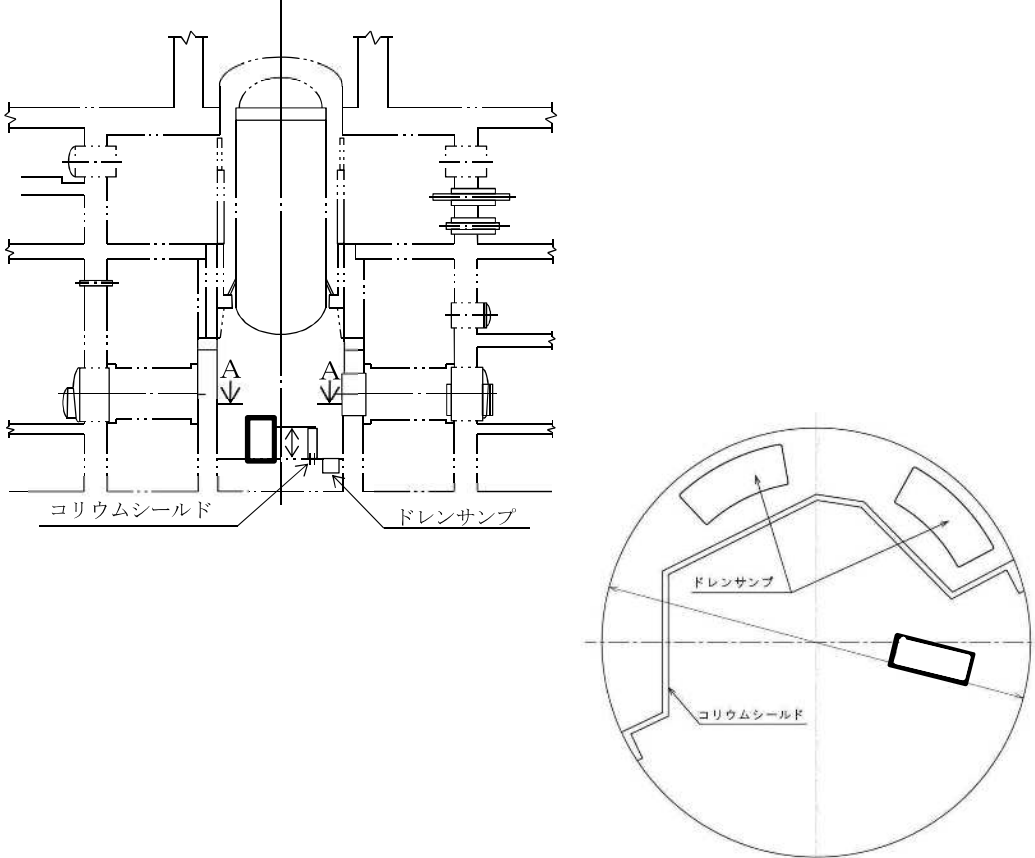
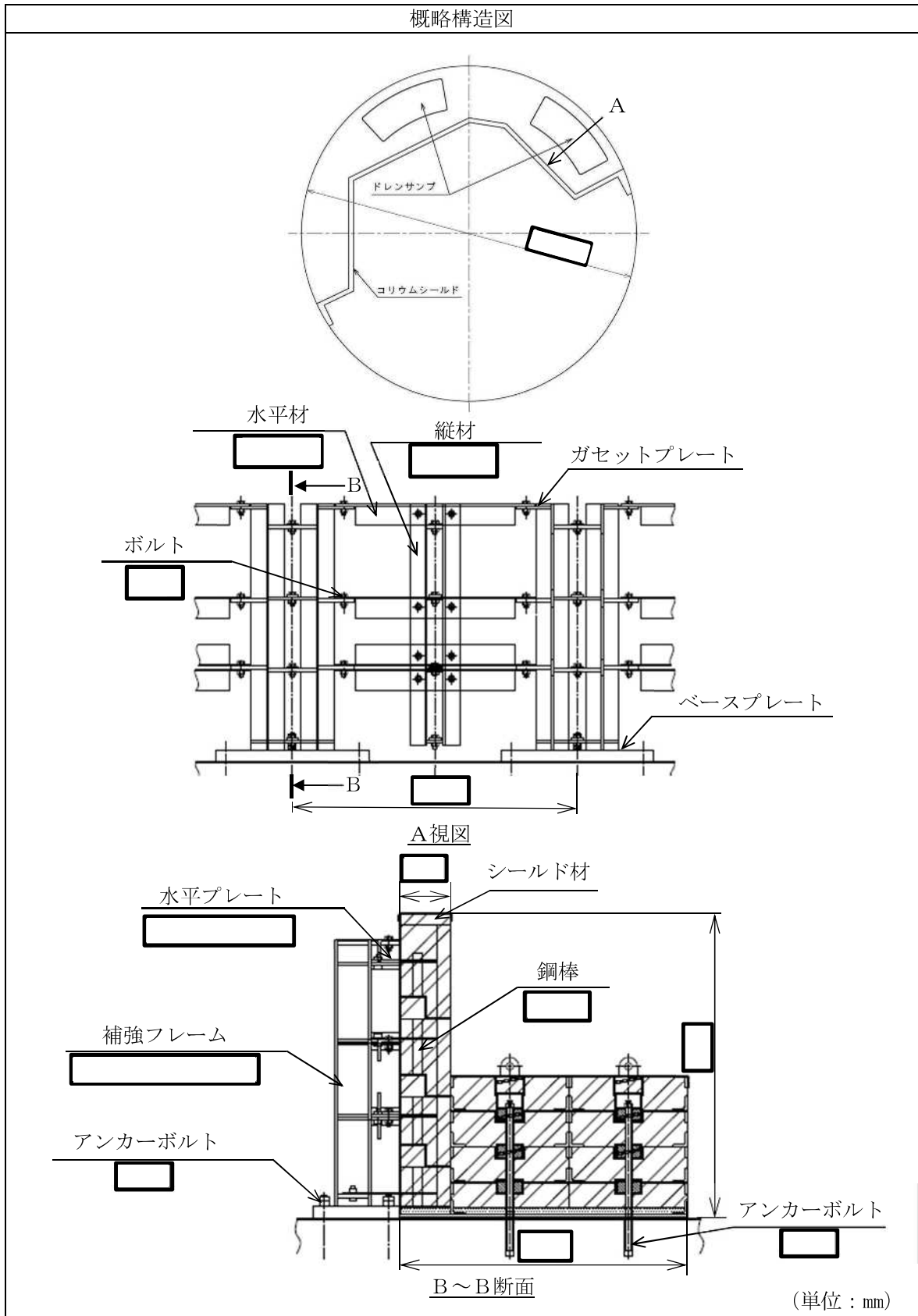
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>コリウムシールドは下部ドライウェルのコンクリート床上に設置したベースプレート及びアンカーボルトを基礎として、その基礎上に、補強フレームが設置される。</p> <p>縦材及び水平材に加わるシールド材の水平荷重は、ガセットプレートを経由して補強フレームに伝達される。鋼棒に加わるシールド材の水平荷重は水平プレートを経由して補強フレームに伝達される。また、連結された各部材の荷重はボルト等により伝達される。</p>	<p>コリウムシールドは高さ mm の構造物であり、熔融炉心がドレンサンプへ流入することを防ぐために、下部ドライウェルコンクリート床上に設置される。</p> <p>コリウムシールドは融点の高いブロック状のシールド材とサポートからなる構造物である。</p>	 <p style="text-align: right;">A～A断面図 (単位：mm)</p>

表 2-1 構造計画 (2/2)

概略構造図



K6 ① VI-2-9-5-1 R0

2.2 評価方針

地震荷重に対するコリウムシールドの構造強度評価を行う。なお、強度評価部位はシールド材を下部ドライウェルコンクリート床上に固定するためのサポートとする。

また、設計荷重は、シールド材に作用する水平地震荷重及び鉛直地震荷重とする。

コリウムシールドの構造強度評価は、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」にて示すコリウムシールドの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

コリウムシールドの耐震評価フローを図2-1に示す。

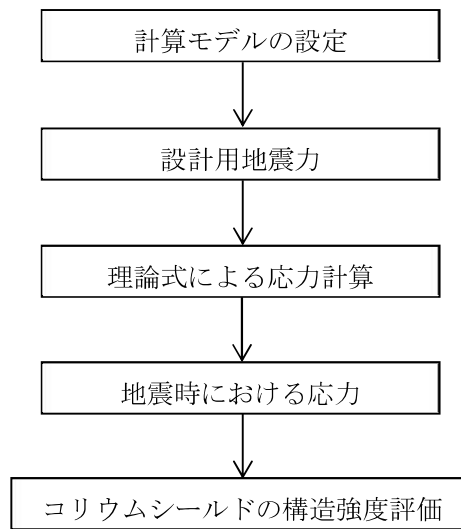


図2-1 コリウムシールドの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・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)
- ・鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005年改定)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Pi}	断面積 ($i = 2, 3, 4, \dots$)	mm^2
A_{tPi}	断面積 ($i = 1, 6$)	mm^2
$A_{\tau Pi}$	断面積 ($i = 1, 6$)	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
f_b	許容曲げ応力度	MPa
f_s	許容せん断応力度	MPa
f_t	許容引張応力度, 許容組合せ応力度	MPa
F	基準応力	MPa
F_{P1a}	せん断力, 引張力	N
F_{P1b}	せん断力, 引張力	N
F_{P1c}	せん断力, 引張力	N
F_{P1d}	せん断力, 引張力	N
F_{PH}	せん断力, 引張力	N
F_{Pi}	せん断力, 引張力 ($i = 2, 3, 4, \dots$)	N
F_{PiH}	せん断力 ($i = 1, 3$)	N
F_{PiV}	せん断力, 引張力 ($i = 1, 3$)	N
F_{tPi}	引張力 ($i = 9, 10$)	N
$F_{\tau Pi}$	せん断力 ($i = 9, 10$)	N
ℓ_{P1a}	長さ (モーメントアーム)	mm
ℓ_{P1b}	長さ (モーメントアーム)	mm
ℓ_{P1c}	長さ (モーメントアーム)	mm
ℓ_{P1d}	長さ (モーメントアーム)	mm
L_{B1a}	長さ (支持スパン)	mm
L_{B1b}	長さ (支持スパン)	mm
L_{B1c}	長さ (支持スパン)	mm
L_{B1d}	長さ (支持スパン)	mm
L_{Bi}	長さ (支持スパン) ($i = 2, 3$)	mm
L_{H3}	長さ (負担スパン)	mm
L_i	長さ ($i = 1, 5$)	mm
M_{P1a}	曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{P1b}	曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{P1c}	曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{P1d}	曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{Pi}	曲げモーメント ($i = 1, 2, 3, \dots$)	$\text{N}\cdot\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
$M_{P i H}$	曲げモーメント ($i = 3, 5$)	$N \cdot mm$
$M_{P i V}$	曲げモーメント ($i = 3, 5$)	$N \cdot mm$
M_{SAD}	機械的荷重 (SA時)	—
N_i	アンカーボルトの本数 ($i = 9, 10$)	—
P_{SAD}	圧力 (SA時)	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
w_i	分布荷重 ($i = 1, 2, 3$)	N/mm
w_{3H}	分布荷重	N/mm
w_{3V}	分布荷重	N/mm
W	荷重	N
Z_{P3H}	断面係数	mm^3
Z_{P3V}	断面係数	mm^3
$Z_{P i}$	断面係数 ($i = 1, 2, 5$)	mm^3
ρ_s	密度	kg/m^3
$\sigma_{b P i}$	曲げ応力度 ($i = 1, 2, 5$)	MPa
$\sigma_{b P i H}$	曲げ応力度 ($i = 3, 5$)	MPa
$\sigma_{b P i V}$	曲げ応力度 ($i = 3, 5$)	MPa
$\sigma_{P i}$	組合せ応力度 ($i = 1, 2, 3, \dots$)	MPa
$\sigma_{t P i}$	引張応力度 ($i = 1, 6, 9, \dots$)	MPa
τ_{P3H}	せん断応力度	MPa
τ_{P3V}	せん断応力度	MPa
$\tau_{P i}$	せん断応力度 ($i = 1, 2, 4, \dots$)	MPa

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
断面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位

3. 評価部位

コリウムシールドの形状及び主要寸法を図3-1に、評価部位及び使用材料を表3-1に示す。

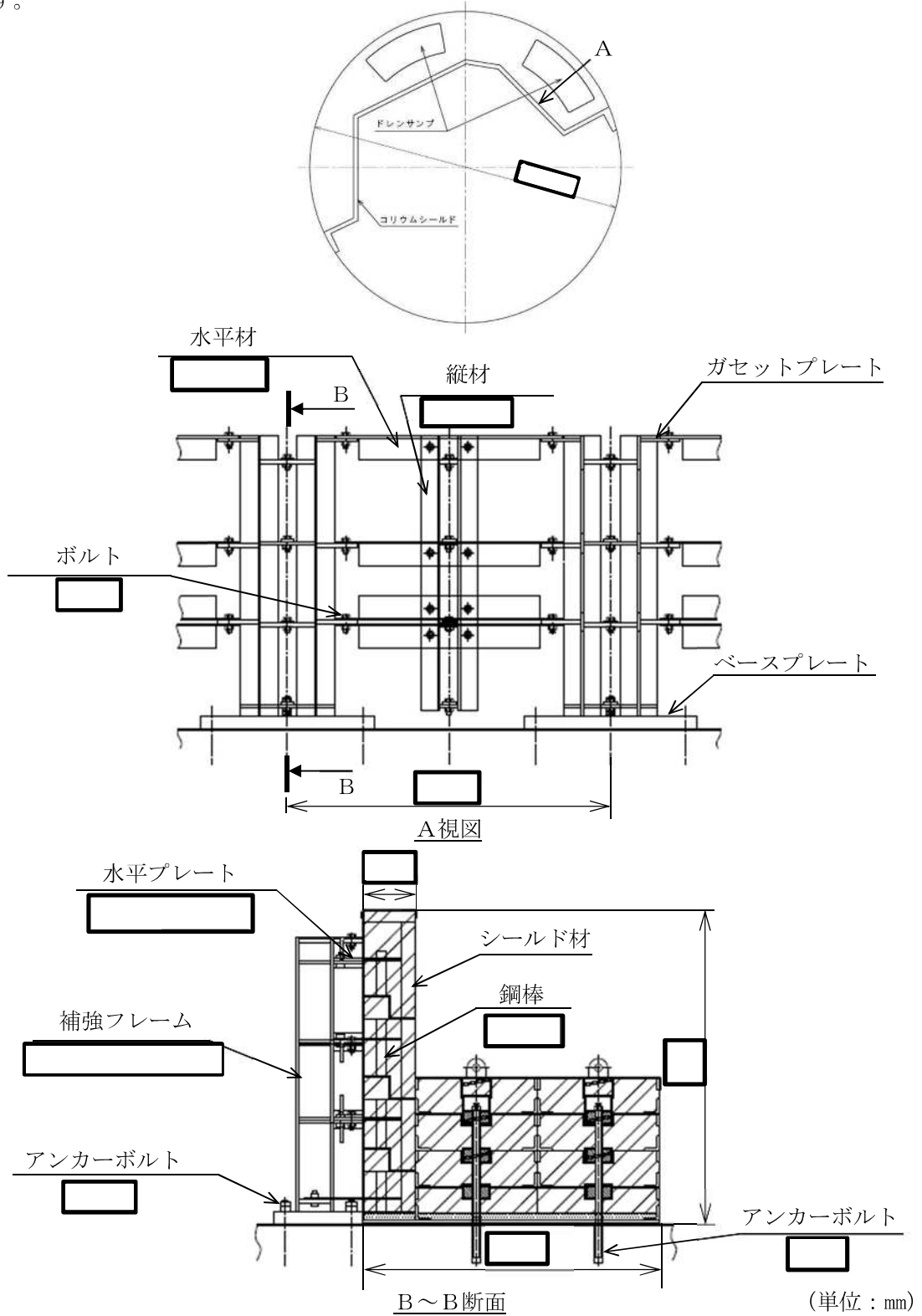


図3-1 コリウムシールドの形状及び主要寸法

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
補強フレーム	[Redacted]	
縦材		
水平材		
ガセットプレート		
ベースプレート		
水平プレート		
鋼棒		
ボルト		
アンカーボルト		

4. 固有周期

コリウムシールドは補強フレーム、縦材、水平材、ガセットプレート、ベースプレート、水平プレート、鋼棒、ボルト、アンカーボルトにより固定されており、全体的に一つの剛体とみなせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) コリウムシールドの耐震評価は、「5.2.4 設計荷重」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる補強フレーム、縦材、水平材、ガセットプレート、ベースプレート、水平プレート、鋼棒、ボルト、アンカーボルトについて実施する。
- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び荷重の種類

コリウムシールドの荷重の組合せ及び荷重の種類を表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

コリウムシールドの許容応力度を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

コリウムシールドの使用材料の許容応力評価条件を表 5-3 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び荷重の種類（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	荷重の種類
原子炉格納施設	—	コリウムシールド	常設／緩和	—	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	短期荷重

注記*：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表5-2 許容応力度

応力分類 荷重の種類	基準応力	ボルト等以外*2				ボルト等*2	
		引張り	曲げ	せん断	組合せ	引張り	せん断
短期荷重	F^{*1}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：基準応力Fは以下の計算式で求める。

$$F = \text{Min} (S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

*2： f_t 、 f_b 、 f_s はそれぞれ以下の計算式で求める。

$$f_t = F / 1.5$$

$$f_b = F / 1.5 \text{ 又は } F / 1.3$$

$$f_s = F / (1.5 \cdot \sqrt{3})$$

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	S_y (MPa)	S_u (MPa)
補強フレーム，縦材，水平材， ガセットプレート，ベース プレート，水平プレート，鋼棒			
ボルト			
アンカーボルト			

5.2.4 設計荷重

(1) 地震荷重

図 3-1 に示すとおり，部材が負担する荷重範囲は，構造の周期性及び支持スパンの長さをそれぞれ考慮し，幅 mm とする。その範囲のシールド材に作用する荷重Wを以下に示す。本荷重に対して地震加速度が作用することにより発生する荷重が地震荷重となる。

シールド材の密度 ρ_s

kg/m³

荷重を負担する範囲の荷重W*

N

注記*：荷重Wは，幅 mm，高さ mm，奥行き mm の範囲のシールド材及び補強フレーム等の支持材の死荷重を包絡するよう設定したものである。

(2) 水荷重

コリウムシールドは水による荷重を負担する構造でないため，水荷重による応力は評価対象としない。

5.3 設計用地震力

コリウムシールドに加わる地震荷重は、VI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された計算結果を用いる。コリウムシールドの設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		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
原子炉本体 基礎 T. M. S. L. -6.60*1	—*2	—*2	C _H =0.99	C _V =1.02

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算を省略する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価点

コリウムシールドの応力評価点は、コリウムシールドを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-5 及び図 5-1 に示す。

表 5-5 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	補強フレーム
P 2	縦材
P 3	水平材
P 4	ガセットプレート
P 5	ベースプレート
P 6	水平プレート
P 7	鋼棒
P 8	ボルト
P 9	アンカーボルト <input type="checkbox"/>
P 1 0	アンカーボルト <input type="checkbox"/>

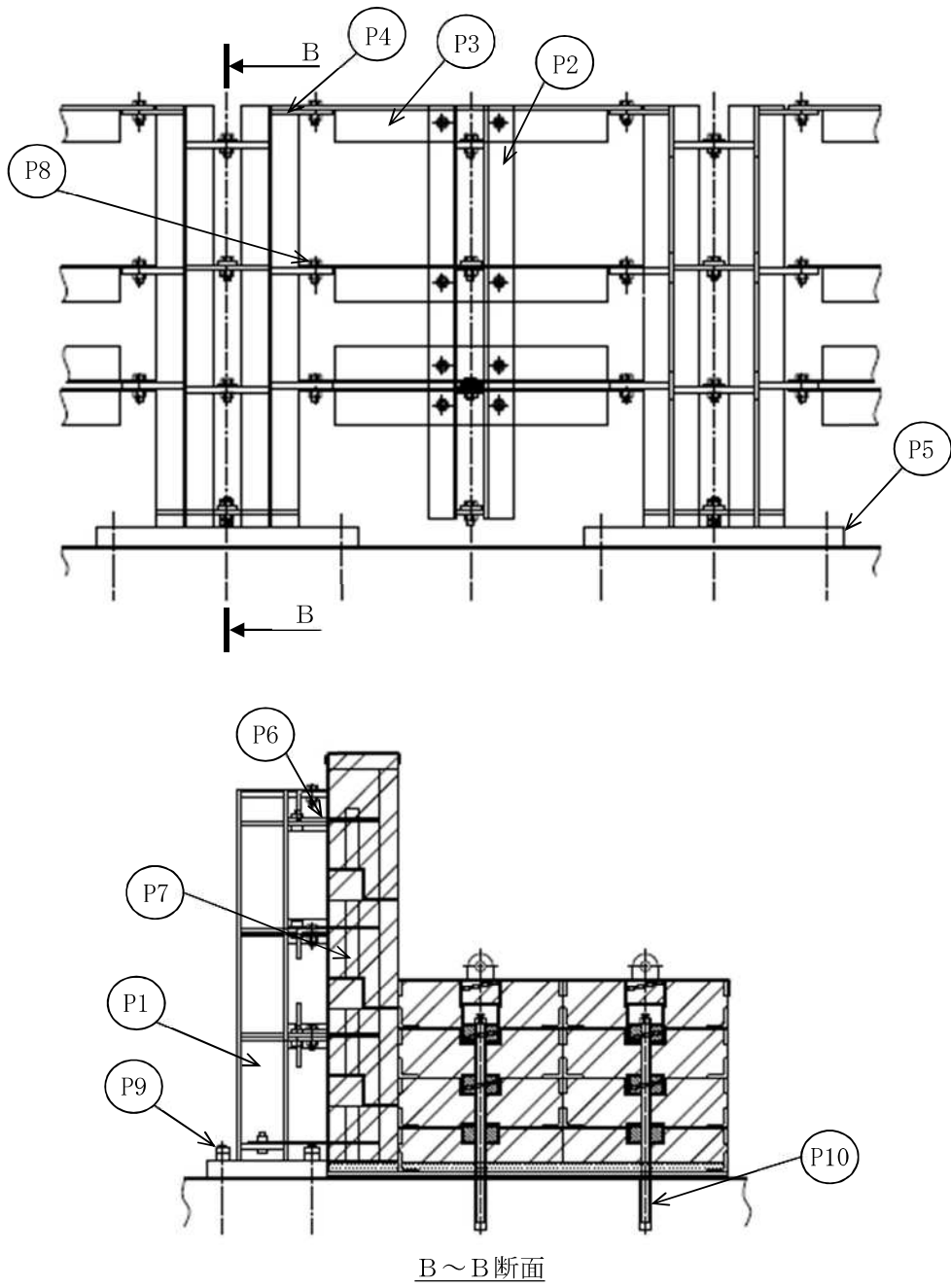


図5-1 コリウムシールドの応力評価点

5.4.2 補強フレームの応力計算（応力評価点P1）

(1) 計算モデル

評価幅（ mm）のシールド材の地震荷重が、水平プレートを通じて補強フレームに集中荷重として作用するものとして計算する。補強フレームは、評価幅に対して2箇所地震荷重を受けるため、荷重を1/2したもので評価する。

計算モデルは図5-2に示す片持ちはりとして計算する。

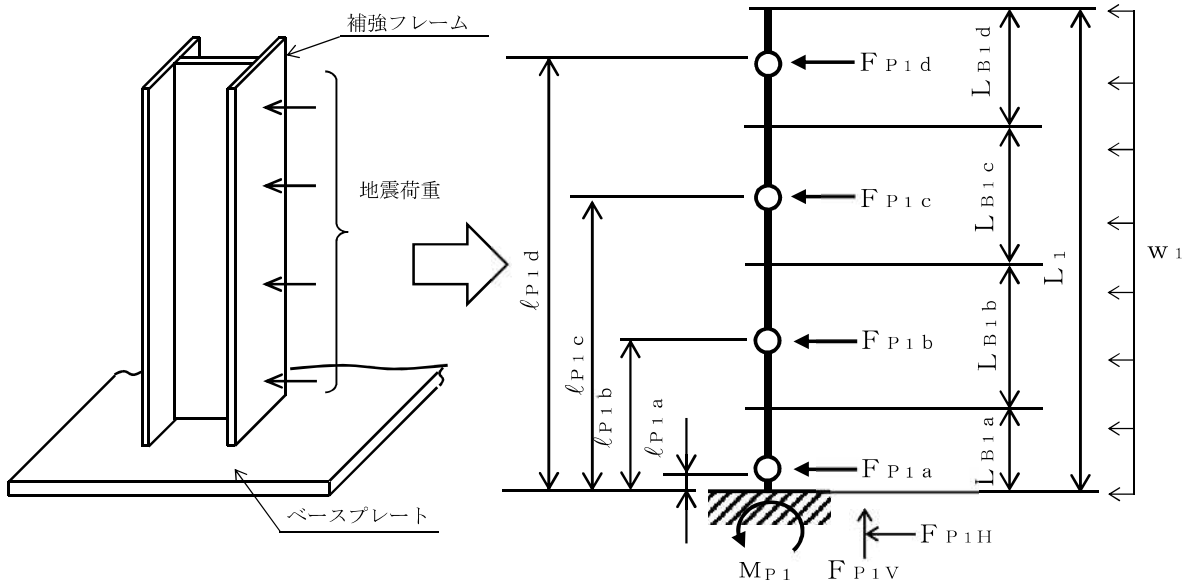


図5-2 補強フレームの計算モデル

a. 補強フレームに作用する等分布荷重

$$w_1 = \frac{F_{PH}}{L_1}$$

ここで、

$$F_{PH} : \text{水平方向地震による荷重の総和} = \sqrt{2} \cdot W \cdot C_H$$

$$L_1 : \text{補強フレームの全長} = \text{ mm}$$

なお、水平二方向の影響を考慮するため、震度に対して $\sqrt{2}$ を乗じている。

b. 補強フレームに作用する水平方向地震による集中荷重

$$F_{P1a} = w_1 \cdot L_{B1a}$$

$$F_{P1b} = w_1 \cdot L_{B1b}$$

$$F_{P1c} = w_1 \cdot L_{B1c}$$

$$F_{P1d} = w_1 \cdot L_{B1d}$$

ここで、

$$L_{B1a} : \text{水平プレート支持スパン} = \text{ mm}$$

$$L_{B1b} : \text{水平プレート支持スパン} = \text{ mm}$$

$$L_{B1c} : \text{水平プレート支持スパン} = \text{ mm}$$

$$L_{B1d} : \text{水平プレート支持スパン} = \text{ mm}$$

c. 補強フレームに作用する曲げモーメント

$$M_{P1a} = F_{P1a} \cdot \ell_{P1a}$$

$$M_{P1b} = F_{P1b} \cdot \ell_{P1b}$$

$$M_{P1c} = F_{P1c} \cdot \ell_{P1c}$$

$$M_{P1d} = F_{P1d} \cdot \ell_{P1d}$$

$$M_{P1} : \text{最大曲げモーメント} = (M_{P1a} + M_{P1b} + M_{P1c} + M_{P1d}) / 2$$

ここで,

$$\ell_{P1a} : \text{モーメントアーム} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\ell_{P1b} : \text{モーメントアーム} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\ell_{P1c} : \text{モーメントアーム} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\ell_{P1d} : \text{モーメントアーム} = \boxed{} \text{ mm}$$

d. 補強フレームに作用するせん断力

$$F_{P1H} : \text{水平方向地震によるせん断力} = F_{PH} / 2$$

e. 補強フレームに作用する引張力

$$F_{P1V} : \text{鉛直方向地震による引張力} = W \cdot (C_V - 1) / 2$$

(2) 応力計算

a. 補強フレームの曲げ応力度

$$\sigma_{bP1} = \frac{M_{P1}}{Z_{P1}}$$

ここで,

$$Z_{P1} : \text{補強フレームの断面係数} = \boxed{} \text{ mm}^3$$

b. 補強フレームのせん断応力度

$$\tau_{P1} = \frac{F_{P1H}}{A_{\tau P1}}$$

ここで,

$$A_{\tau P1} : \text{補強フレームのせん断断面積} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

c. 補強フレームの引張応力度

$$\sigma_{tP1} = \frac{F_{P1V}}{A_{tP1}}$$

ここで,

$$A_{tP1} : \text{補強フレームの断面積} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

d. 補強フレームの組合せ応力度

$$\sigma_{P1} = \sqrt{(\sigma_{tP1} + \sigma_{bP1})^2 + 3 \cdot \tau_{P1}^2}$$

5.4.3 縦材の応力計算（応力評価点P2）

(1) 計算モデル

評価幅（ mm）のシールド材の地震荷重が，縦材に等分布荷重として作用するものとして計算する。縦材は，評価幅に対して2箇所地震荷重を受けるため，荷重を1/2したもので評価する。

計算モデルは図5-3に示す両端支持はりとして計算する。

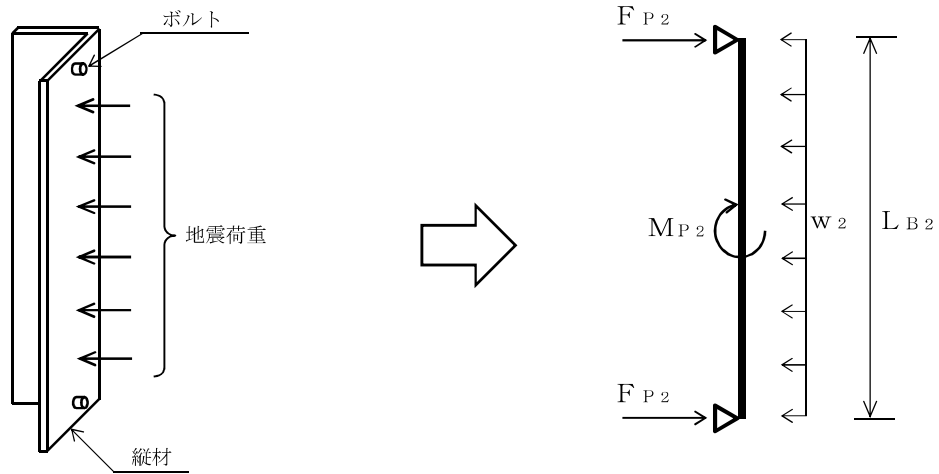


図5-3 縦材の計算モデル

a. 縦材に作用する等分布荷重

$$w_2 = \frac{w_1}{2}$$

b. 縦材に作用する曲げモーメント

$$M_{P2} = \frac{w_2 \cdot L_{B2}^2}{8}$$

ここで，

$$L_{B2} : \text{支持スパン} = \text{ mm}$$

c. 縦材に作用するせん断力

$$F_{P2} = \frac{w_2 \cdot L_{B2}}{2}$$

(2) 応力計算

a. 縦材の曲げ応力度

$$\sigma_{b P 2} = \frac{M_{P 2}}{Z_{P 2}}$$

ここで,

$$Z_{P 2} : \text{縦材の断面係数} = \boxed{} \text{mm}^3$$

b. 縦材のせん断応力度

$$\tau_{P 2} = \frac{F_{P 2}}{A_{P 2}}$$

ここで,

$$A_{P 2} : \text{縦材のせん断断面積} = \boxed{} \text{mm}^2$$

c. 縦材の組合せ応力度

$$\sigma_{P 2} = \sqrt{\sigma_{b P 2}^2 + 3 \cdot \tau_{P 2}^2}$$

5.4.4 水平材の応力計算（応力評価点P3）

(1) 計算モデル

評価幅（ mm）のシールド材の地震荷重が，水平材に等分布荷重として作用するものとして計算する。水平材は，評価幅に対して4箇所地震荷重を受けるため，荷重を1/4したもので評価する。

計算モデルは図5-4に示す両端支持はりとして計算する。

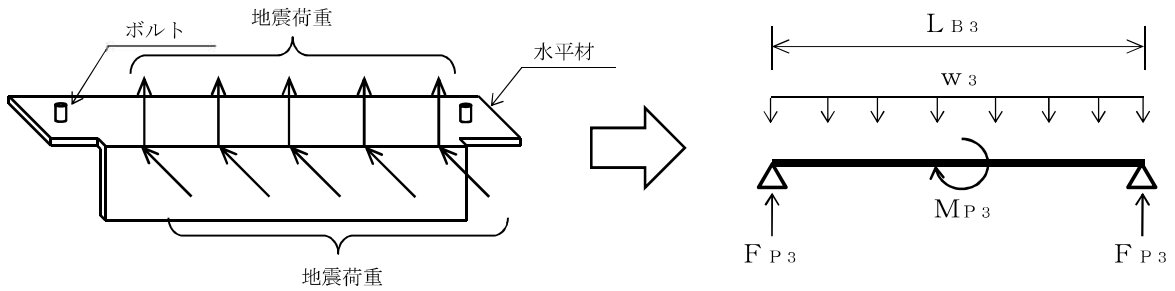


図5-4 水平材の計算モデル

a. 水平材に作用する等分布荷重

$$w_{3H} : \text{水平方向地震による分布荷重} = \frac{\sqrt{2} \cdot W \cdot C_H}{4 \cdot L_{H3}}$$

$$w_{3V} : \text{鉛直方向地震による分布荷重} = \frac{W \cdot (C_V - 1)}{4 \cdot L_{H3}}$$

ここで，

$$L_{H3} : \text{負担スパン} = \text{ mm}$$

なお，水平二方向の影響を考慮するため，震度に対して $\sqrt{2}$ を乗じている。

b. 水平材に作用する曲げモーメント

$$M_{P3H} : \text{水平方向地震による曲げモーメント} = \frac{w_{3H} \cdot L_{B3}^2}{8}$$

$$M_{P3V} : \text{鉛直方向地震による曲げモーメント} = \frac{w_{3V} \cdot L_{B3}^2}{8}$$

ここで，

$$L_{B3} : \text{支持スパン} = \text{ mm}$$

c. 水平材に作用するせん断力

$$F_{P3H} : \text{水平方向地震によるせん断力} = \frac{w_{3H} \cdot L_{B3}}{2}$$

$$F_{P3V} : \text{鉛直方向地震によるせん断力} = \frac{w_{3V} \cdot L_{B3}}{2}$$

(2) 応力計算

a. 水平材の曲げ応力度

$$\sigma_{bP3H} : \text{水平方向地震による曲げ応力度} = \frac{M_{P3H}}{Z_{P3H}}$$

$$\sigma_{bP3V} : \text{鉛直方向地震による曲げ応力度} = \frac{M_{P3V}}{Z_{P3V}}$$

ここで,

$$Z_{P3H} : \text{水平方向荷重に対する水平材の断面係数} = \boxed{} \text{mm}^3$$

$$Z_{P3V} : \text{鉛直方向荷重に対する水平材の断面係数} = \boxed{} \text{mm}^3$$

b. 水平材のせん断応力度

$$\tau_{P3H} : \text{水平方向地震によるせん断応力度} = \frac{F_{P3H}}{A_{P3}}$$

$$\tau_{P3V} : \text{鉛直方向地震によるせん断応力度} = \frac{F_{P3V}}{A_{P3}}$$

ここで,

$$A_{P3} : \text{水平材のせん断断面積} = \boxed{} \text{mm}^2$$

c. 水平材の組合せ応力度

$$\sigma_{P3} = \sqrt{(\sigma_{bP3H} + \sigma_{bP3V})^2 + 3 \cdot (\tau_{P3H} + \tau_{P3V})^2}$$

5.4.5 ガセットプレートの応力計算（応力評価点P4）

(1) 計算モデル

水平材に加わるせん断力がボルトを介してガセットプレートへ作用するものとして計算する。

計算は図5-5に示すガセットプレートに対して行う。

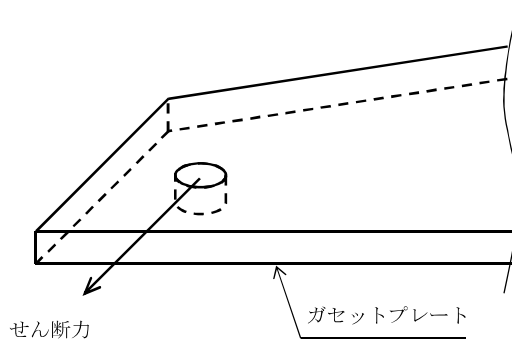


図5-5 ガセットプレートの計算モデル

a. ガセットプレートに作用するせん断力

$$F_{P4} = F_{P3H}$$

(2) 応力計算

a. ガセットプレートのせん断応力度

$$\tau_{P4} = \frac{F_{P4}}{A_{P4}}$$

ここで、

A_{P4} ：せん断力に対するガセットプレートのせん断断面積 = mm²

5.4.6 ベースプレート及びアンカーボルト の応力計算（応力評価点 P 5 及び P 9）

(1) 計算モデル

補強フレームの基部に生じるモーメントが、ベースプレートに対して作用するものとして計算する。荷重は、補強フレームに作用するシールド材の地震荷重である。コリウムシールドの高さに対して、コリウムシールドの長手方向は十分に長いので短手方向のみ転倒を考慮する。また、アンカーボルトには補強フレームの基部に生じるモーメントによる引張力とせん断力が作用するものとして計算する。

計算モデルは図 5-6 に示す両端支持はりとして計算する。

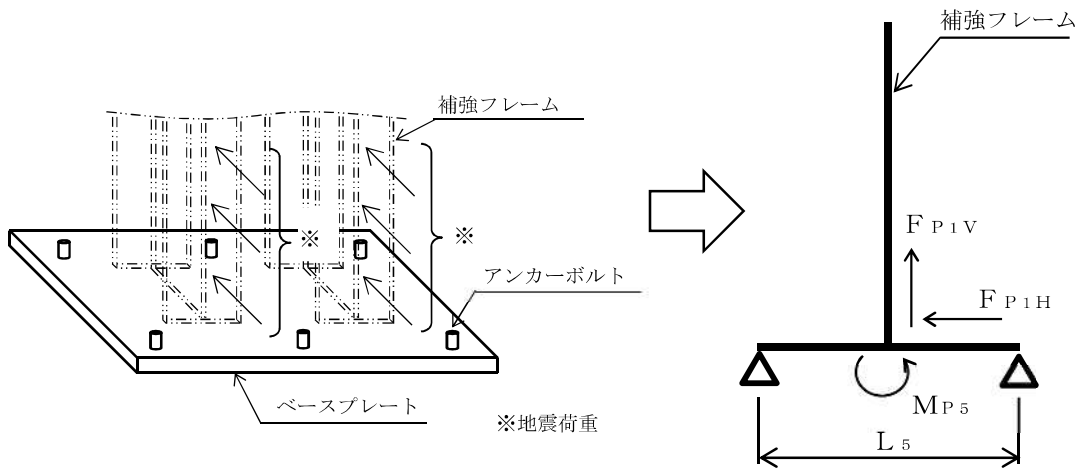


図 5-6 ベースプレート及びアンカーボルトの計算モデル

a. ベースプレートに作用する曲げモーメント

$$M_{P5H} : \text{水平方向地震による曲げモーメント} = 2 \cdot M_{P1}$$

$$M_{P5V} : \text{鉛直方向地震による曲げモーメント} = \frac{2 \cdot F_{P1V} \cdot L_5}{4}$$

ここで、

$$L_5 : \text{アンカーボルト間距離} = \text{} \text{ mm}$$

b. アンカーボルトに作用する引張力

$$F_{tP9} = \frac{M_{P5H}}{L_5 \cdot (N_9 / 2)} + \frac{2 \cdot F_{P1V}}{N_9}$$

ここで、

$$N_9 : \text{アンカーボルト本数} = \text{} \text{ 本}$$

c. アンカーボルトに作用するせん断力

$$F_{\tau P9} = \frac{2 \cdot F_{P1H}}{N_9}$$

(2) 応力計算

- a. ベースプレートの曲げ応力度

$$\sigma_{bP5} = \sigma_{bP5H} + \sigma_{bP5V}$$

ここで,

$$\sigma_{bP5H} : \text{水平方向地震による曲げ応力} = \frac{M_{P5H}}{Z_{P5}}$$

$$\sigma_{bP5V} : \text{鉛直方向地震による曲げ応力} = \frac{M_{P5V}}{Z_{P5}}$$

$$Z_{P5} : \text{ベースプレートの断面係数} = \boxed{} \text{mm}^3$$

- b. アンカーボルトの引張応力度

$$\sigma_{tP9} = \frac{F_{tP9}}{A_{P9}}$$

ここで,

$$A_{P9} : \text{ボルト有効断面積} = \boxed{} \text{mm}^2$$

- c. アンカーボルトのせん断応力度

$$\tau_{P9} = \frac{F_{\tau P9}}{A_{P9}}$$

5.4.7 水平プレート及び鋼棒の応力計算（応力評価点P 6 及びP 7）

(1) 計算モデル

鋼棒は、シールド材に開けられた穴に挿入されることにより、シールド材と補強フレームの分離を防止すると同時に、シールド材からの荷重を水平プレートに伝達させるための部材である。

評価幅（ mm）のシールド材の地震荷重が、鋼棒を介して水平プレートに引張力として作用するものとして計算する。水平プレートは評価幅に対して4箇所設置されており、水平方向地震荷重を補強フレームへ伝達させるため、補強フレームに作用する水平方向地震による集中荷重の最大値を用いて評価する。また、鋼棒はシールド材及び水平プレートに固定されていないため、水平プレートを介してせん断力のみが作用するものとして計算する。

計算は図5-7に示す水平プレート及び鋼棒に対して行う。

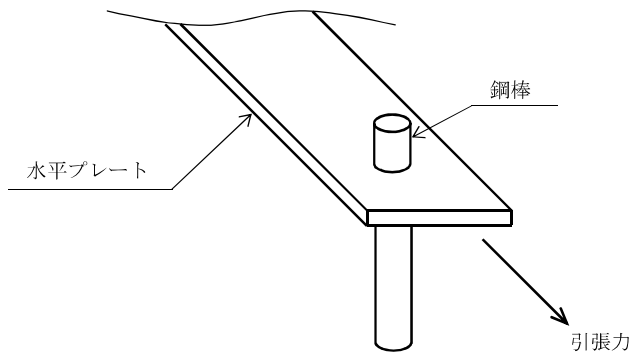


図5-7 水平プレート及び鋼棒の計算モデル

a. 水平プレートに作用する引張力

$$F_{P6} = \text{Max}(F_{P1a}, F_{P1b}, F_{P1c}, F_{P1d})$$

b. 鋼棒に作用するせん断力

$$F_{P7} = F_{P6}$$

(2) 応力計算

- a. 水平プレートの引張応力度

$$\sigma_{tP6} = \frac{F_{P6}}{A_{tP6}}$$

ここで,

$$A_{tP6} : \text{引張力に対する水平プレートの最小断面積} = \boxed{} \text{mm}^2$$

- b. 水平プレートのせん断応力度

$$\tau_{P6} = \frac{F_{P6}}{A_{\tau P6}}$$

ここで,

$$A_{\tau P6} : \text{せん断力に対する水平プレートのせん断断面積} = \boxed{} \text{mm}^2$$

- c. 水平プレートの組合せ応力度

$$\sigma_{P6} = \sqrt{\sigma_{tP6}^2 + 3 \cdot \tau_{P6}^2}$$

- d. 鋼棒のせん断応力度

$$\tau_{P7} = \frac{F_{P7}}{A_{P7}}$$

ここで,

$$A_{P7} : \text{鋼棒の断面積} = \boxed{} \text{mm}^2$$

5.4.8 ボルトの応力計算（応力評価点P8）

(1) 荷重計算

コリウムシールドの補強フレーム等の各部材はボルトにより互いに接合される構造であるため、各部材からボルトに対してせん断力が作用するものとして計算する。

a. ボルトに作用するせん断力

$$F_{P8} = \text{Max} (F_{P3H}, F_{P4}, F_{P6})$$

(2) 応力計算

a. ボルトのせん断応力度

$$\tau_{P8} = \frac{F_{P8}}{A_{P8}}$$

ここで、

A_{P8} : ボルトの有効断面積 = mm²

5.4.9 アンカーボルト の応力計算（応力評価点 P10）

(1) 計算モデル

シールド材の浮き上がりによる引張力及び水平方向地震によるせん断力が、アンカーボルトに作用するものとして計算する。

計算は図 5-8 に示すアンカーボルトに対して行う。

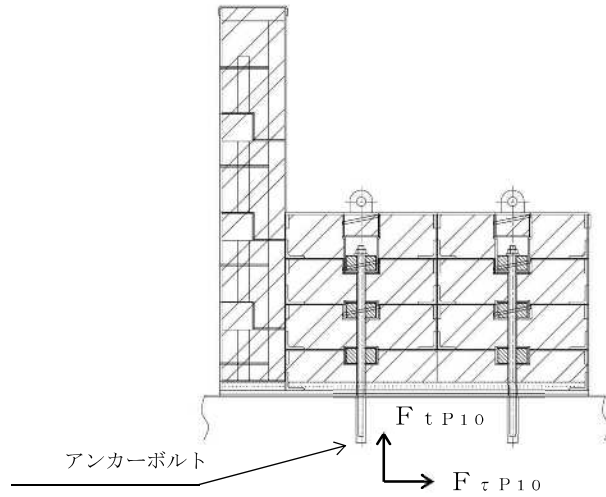


図 5-8 アンカーボルトの計算モデル

a. アンカーボルトに作用する引張力

$$F_{tP10} = \frac{W \cdot (C_V - 1)}{N_{10}}$$

ここで、

N_{10} : アンカーボルト本数 = 本

b. アンカーボルトに作用するせん断力

$$F_{\tau P10} = \frac{\sqrt{2} \cdot W \cdot C_H}{N_{10}}$$

なお、水平二方向の影響を考慮するため、震度に対して $\sqrt{2}$ を乗じている。

(2) 応力計算

a. アンカーボルトの引張応力度

$$\sigma_{tP10} = \frac{F_{tP10}}{A_{P10}}$$

ここで、

A_{P10} : ボルト有効断面積 = mm^2

b. アンカーボルトのせん断応力度

$$\tau_{P10} = \frac{F_{\tau P10}}{A_{P10}}$$

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

コリウムシールド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表 6-1 に示す。

表 6-1 短期荷重に対する応力評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期荷重		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
コリウムシールド	P1	補強フレーム	引張応力度	1		○	
			曲げ応力度	108		○	
			せん断応力度	41		○	
			組合せ応力度	130		○	
	P2	縦材	曲げ応力度	78		○	
			せん断応力度	20		○	
			組合せ応力度	86		○	
	P3	水平材	曲げ応力度	220		○	
			せん断応力度	19		○	
			組合せ応力度	223		○	
	P4	ガセットプレート	せん断応力度	7		○	
P5	ベースプレート	曲げ応力度	161	○			

表 6-1 短期荷重に対する応力評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	短期荷重		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
コリウムシールド	P6	水平プレート	引張応力度	174		○	
			せん断応力度	58		○	
			組合せ応力度	201		○	
	P7	鋼棒	せん断応力度	26		○	
	P8	ボルト	せん断応力度	148		○	
	P9	アンカーボルト □	引張応力度	189		○	
			せん断応力度	46		○	
	P10	アンカーボルト □	引張応力度	2		○	
せん断応力度			85	○			

VI-2-9-5-2 管の耐震性についての計算書
(格納容器圧力逃がし装置)

重大事故等対処設備

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	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	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	44
4.2.1 管の応力評価結果	44
4.2.2 支持構造物評価結果	46
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	47
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	48

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「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、格納容器圧力逃がし装置の管、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及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全12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

設計及び工事の計画書に記載される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。



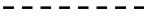
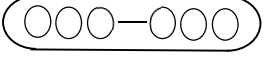

(3) 弁

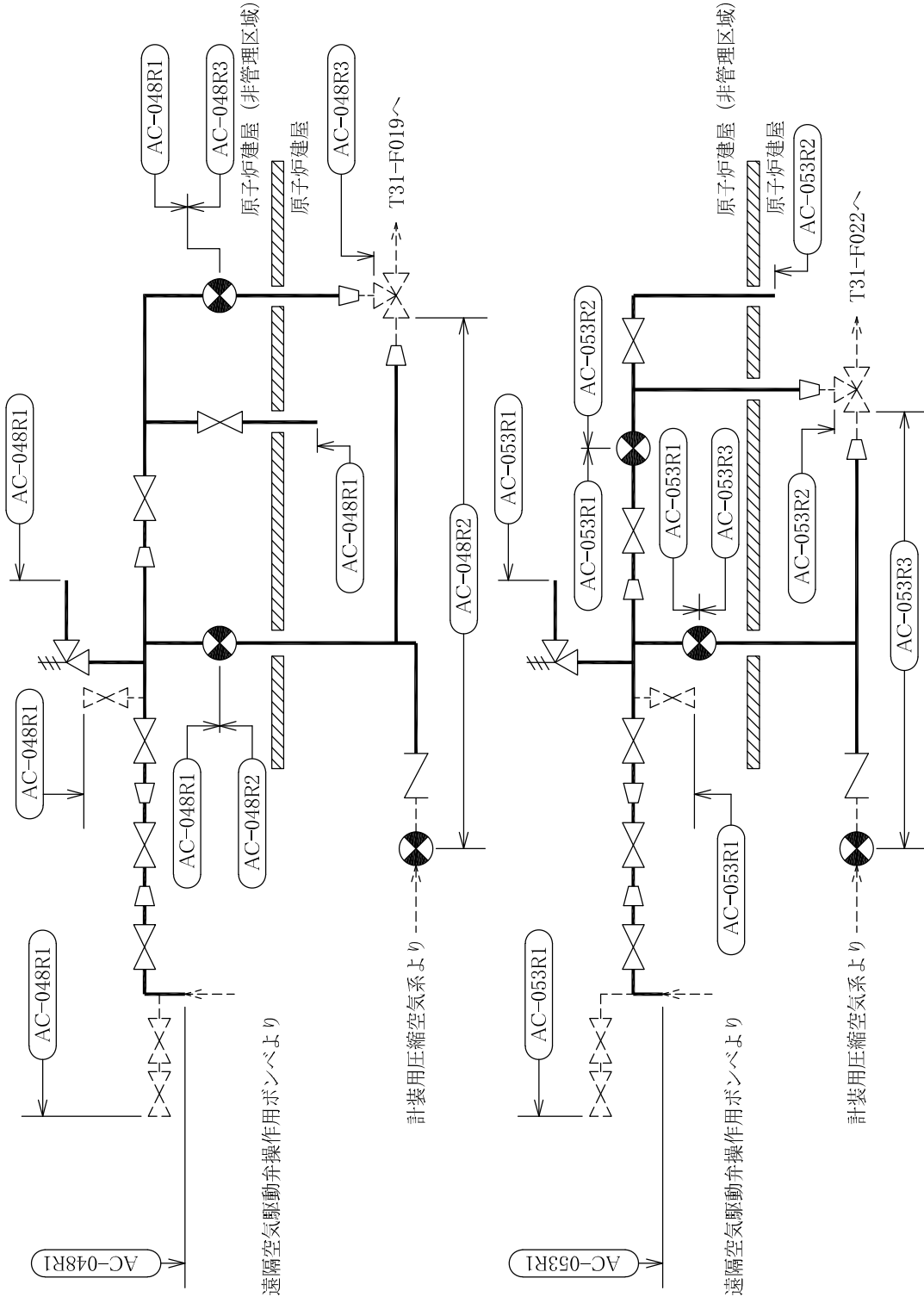
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

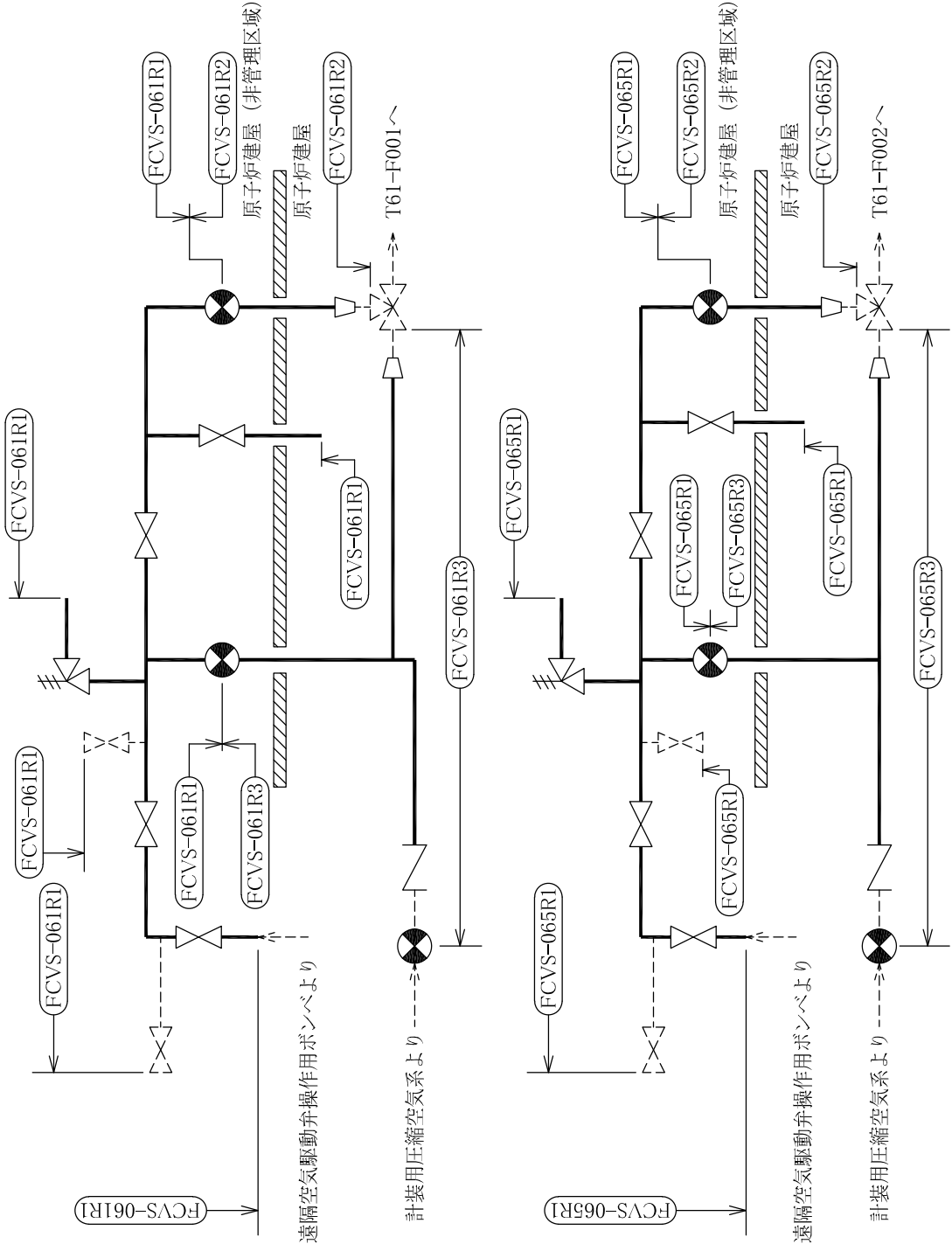
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、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
	鳥瞰図番号
	アンカ




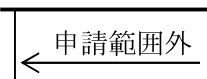
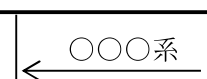


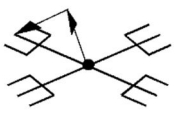
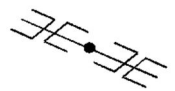

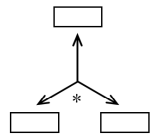
格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備)
概略系統図 (その1)



格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備)
概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	設計及び工事の計画書記載範囲外の管
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

AC-048R1-1/6

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

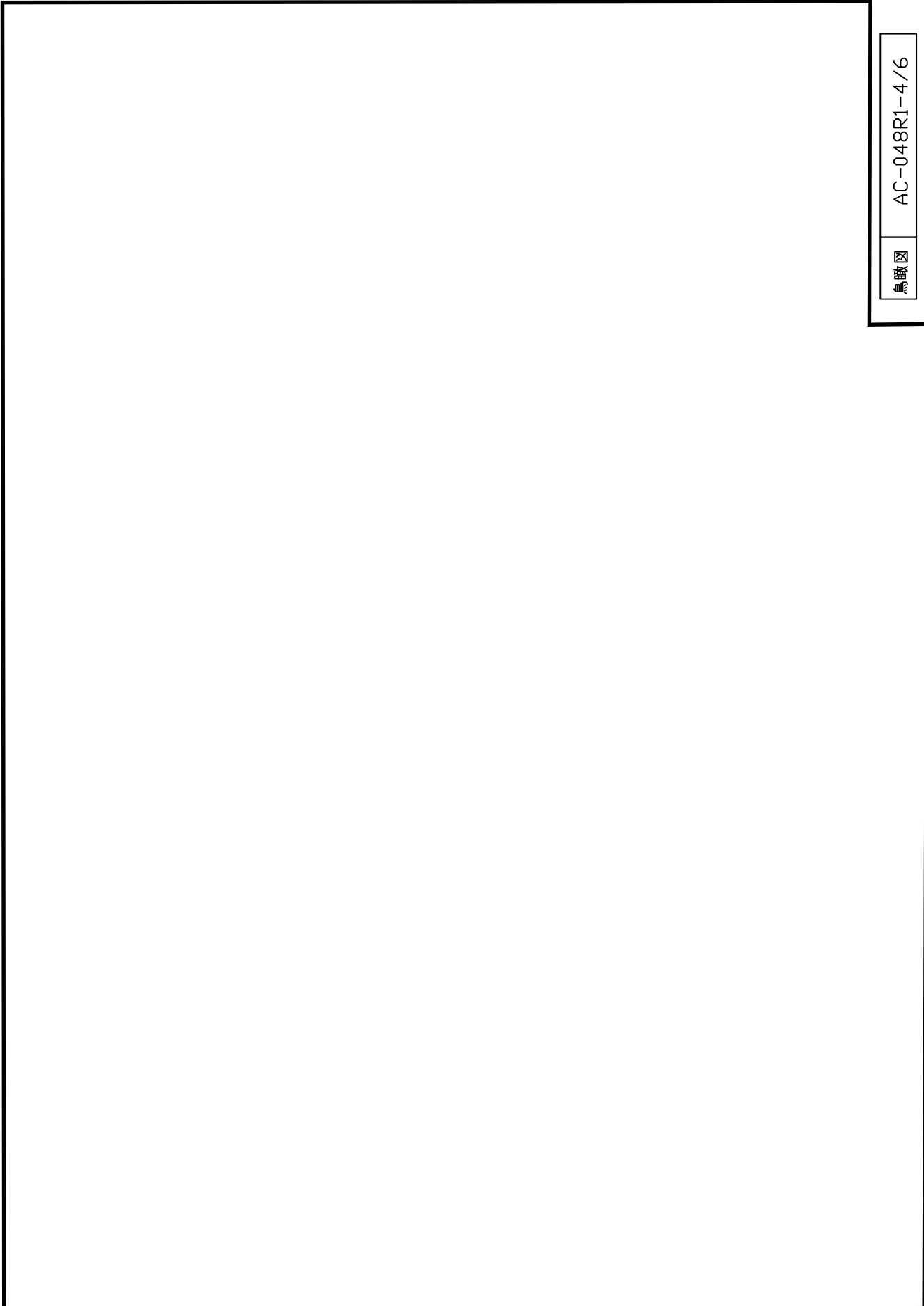
AC-048R1-2/6

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

AC-048R1-3/6

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0



鳥瞰図

AC-048R1-4/6

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

AC-048R1-5/6

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

AC-048R1-6/6

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

AC-053R1-1/3

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

AC-053R1-2/3

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図

AC-053R1-3/3

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、「S O L V E R」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、別紙「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}	許容応力状態 ^{*4}
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	格納容器圧力逃がし装置	SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
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	格納容器圧力逃がし装置	SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器圧力逃がし装置	SA	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
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	耐圧強化ベント系	SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化ベント系	SA	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／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は荷重を示す。

*4：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。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 A C - 0 4 8 R 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	大気圧	100	60.5	3.9	SUS304TP	—	190000
2	0.87	100	34.0	3.4	SUS304TP	—	190000
3	15.00	40	34.0	6.4	SUS304TP	—	193670
4	大気圧	100	27.2	2.9	SUS304TP	—	190000
5	0.87	100	27.2	2.9	SUS304TP	—	190000
6	15.00	40	27.2	5.5	SUS304TP	—	193670

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 A C - 0 4 8 R 1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	121	122	123	124	125	126	127									
2	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
	114	115	116	117	118	119	128	129	130	131	132	133	134	135	136	
	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	
	152															
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	
	17	18	19	20	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	37	38	39													
4	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	
	173	174	175	176												
5	55	56	57	58	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	153	154	
	155	156														
6	20	21	22	24	25	26										

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 A C - 0 4 8 R 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		36		71		115		147	
2		37		72		116		148	
3		38		73		117		149	
4		42		74		118		150	
5		43		75		122		151	
6		44		76		123		152	
7		45		77		124		153	
8		46		78		125		154	
9		47		79		126		155	
10		48		80		127		159	
14		49		81		128		160	
15		50		82		129		161	
16		51		83		130		162	
17		52		84		131		163	
18		53		85		132		164	
19		54		86		133		165	
20		55		87		134		166	
21		56		88		135		167	
25		57		89		136		168	
26		61		90		137		169	
27		62		91		138		170	
28		63		92		139		171	
29		64		93		140		172	
30		65		94		141		173	
31		66		95		142		174	
32		67		96		143		175	
33		68		97		144		176	
34		69		98		145			
35		70		114		146			

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

鳥 瞰 図 AC-048R1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
22		39		11		58		156	
23		40		12		59		157	
24		41		13		60		158	
177		107							
178		109							

弁 6

評価点	質量(kg)
119	
120	
121	

鳥 瞰 図 AC-048R1

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁 1	23			
弁 2	40			
弁 3	12			
弁 4	59			
弁 5	157			
弁 6	120			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-048R1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
2						
4						
6						
10						
14						
16						
18						
28						
30						
32						
36						
38						
42						
46						
61						
64						
70						
73						
75						
79						
83						
86						
89						
93						
98						
108						
118						
122						
124						

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 A C - 0 4 8 R 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
126						
129						
131						
135						
139						
143						
149						
152						
155						
161						
163						
167						
173						
175						

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

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

鳥 瞰 図 A C - 0 5 3 R 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	大気圧	100	60.5	3.9	SUS304TP	—	190000
2	15.00	40	34.0	6.4	SUS304TP	—	193670
3	0.87	100	34.0	3.4	SUS304TP	—	190000
4	15.00	40	27.2	5.5	SUS304TP	—	193670
5	0.87	100	27.2	2.9	SUS304TP	—	190000

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 A C - 0 5 3 R 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	97	98	99	100	101										
2	1	2	3	4	5	6	15	16	17	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	38	39	40	41							
3	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
	58	92	93	94	95	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
	112	113	114	115	116										
4	28	29	30	31	32	33	34	36	37	38					
5	58	59	60	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
	74	75	76	77	78	79	80	81	82						

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 A C - 0 5 3 R 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		30		54		75		105	
2		31		55		76		106	
3		32		56		77		107	
4		33		57		78		108	
5		37		58		79		109	
6		38		59		80		110	
15		39		63		81		111	
16		40		64		82		112	
20		44		65		92		113	
21		45		66		93		114	
22		46		67		94		115	
23		47		68		98		116	
24		48		69		99			
25		49		70		100			
26		50		71		101			
27		51		72		102			
28		52		73		103			
29		53		74		104			

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

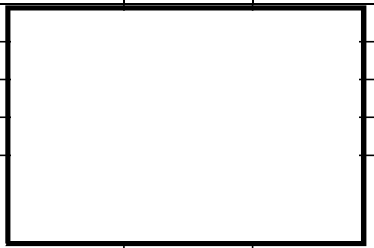
鳥 瞰 図 AC-053R1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
34		41		17		60		95	
35		42		18		61		96	
36		43		19		62		97	
117		83							
118		85							

鳥 瞰 図 AC-053R1

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁 1	35			
弁 2	42			
弁 3	18			
弁 4	61			
弁 5	96			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-053R1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
2						
16						
21						
24						
26						
33						
40						
44						
49						
64						
69						
74						
78						
82						
84						
94						
98						
100						
104						
106						
111						
113						
116						

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) 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_h
SUS304TP	40	—	205	520	—
SUS304TP	100	—	171	441	—

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数は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。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高(m)	減衰定数(%)
AC-048R1	原子炉建屋		
AC-053R1	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 AC-048R1

適用する地震動等		S s				
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1				
		X方向	Z方向			
1次	[Redacted]	[Redacted]				
2次						
3次						
4次						
5次						
6次						
7次						
8次						
19次						
20次						
動的震度*2				応答鉛直震度*1		
						Y方向

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：S s地震動に基づき設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 AC-048R1

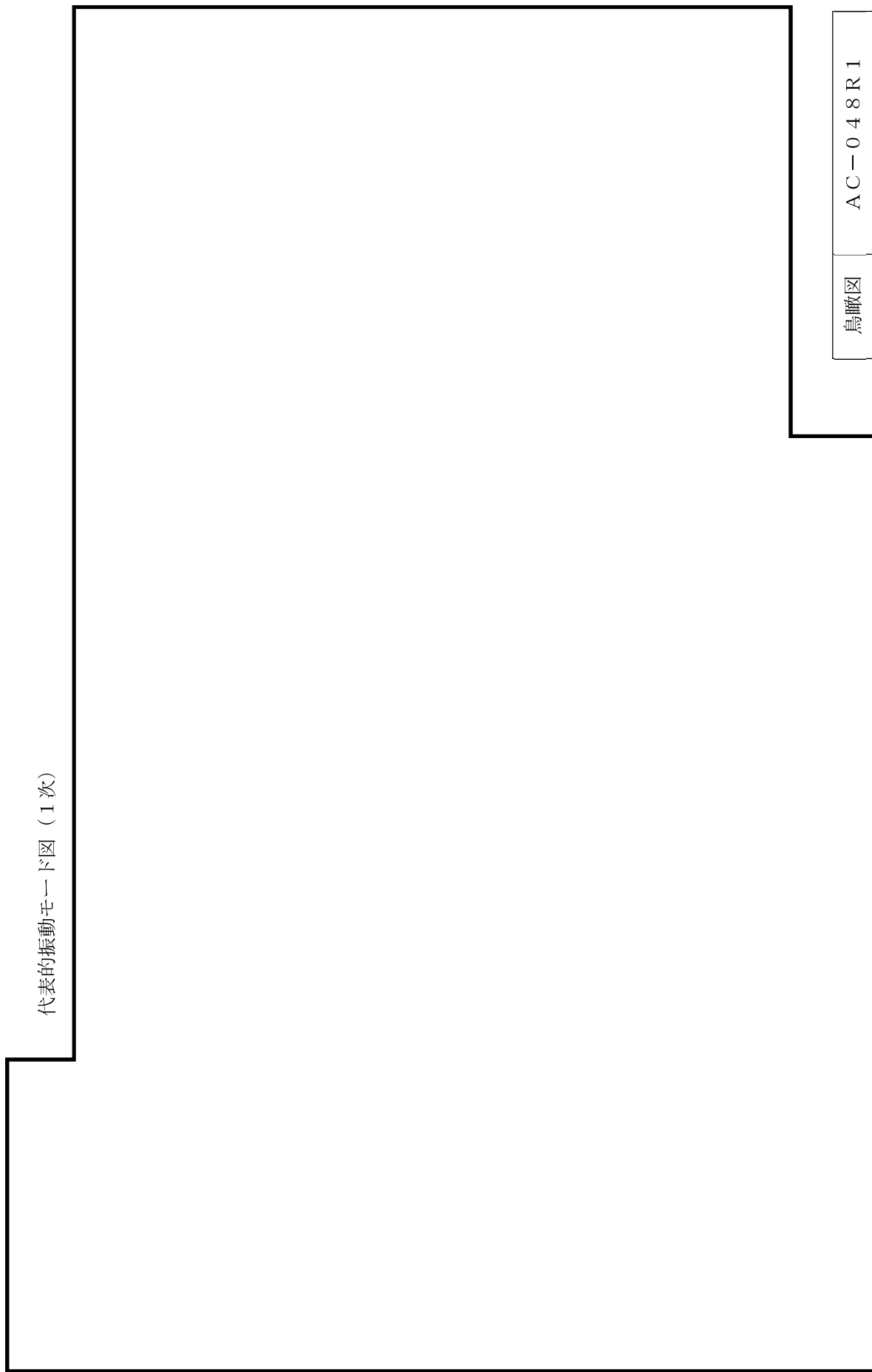
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
19次				

注記*：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。

代表的振動モード図

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

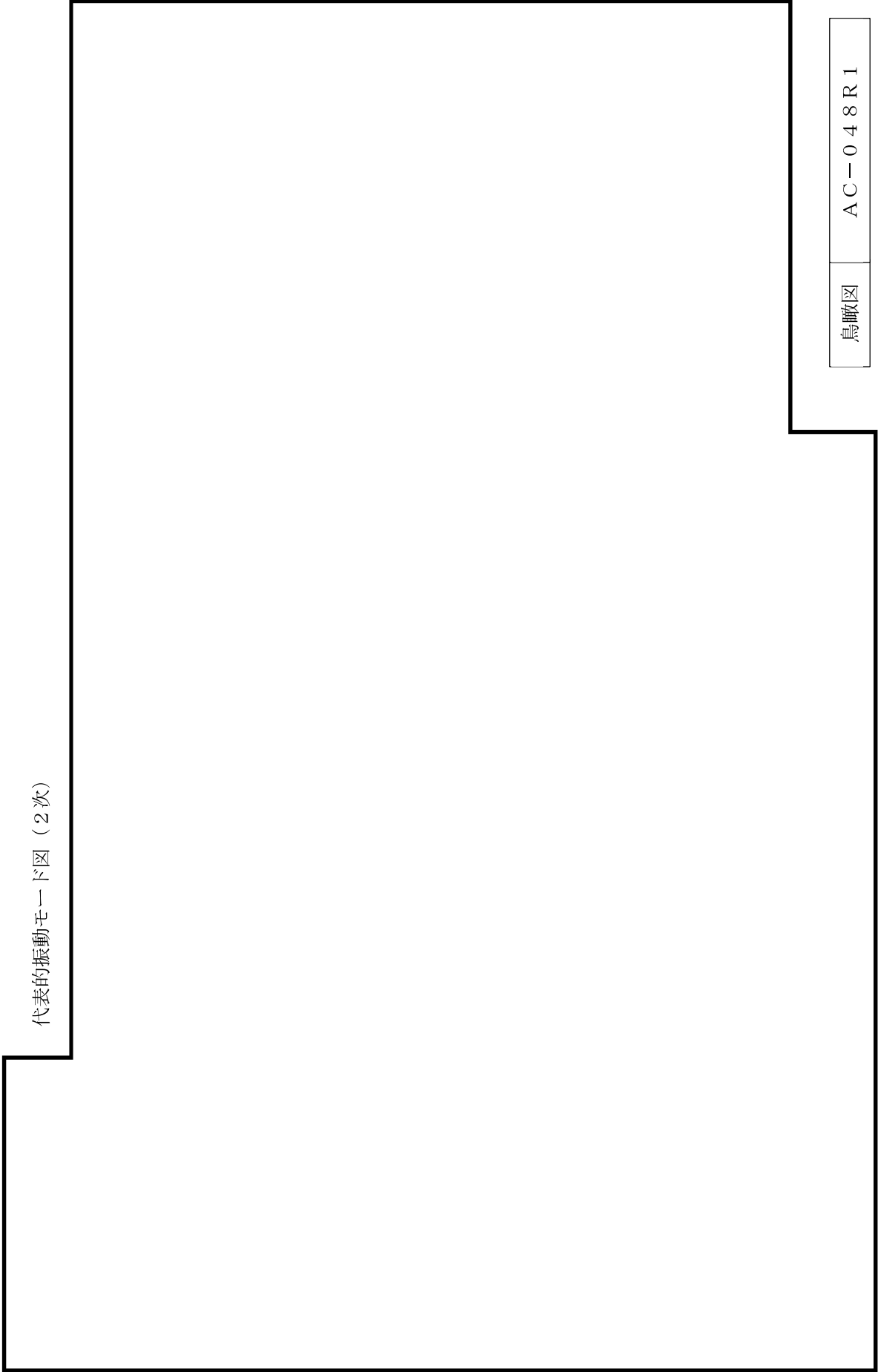
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

AC-048R1

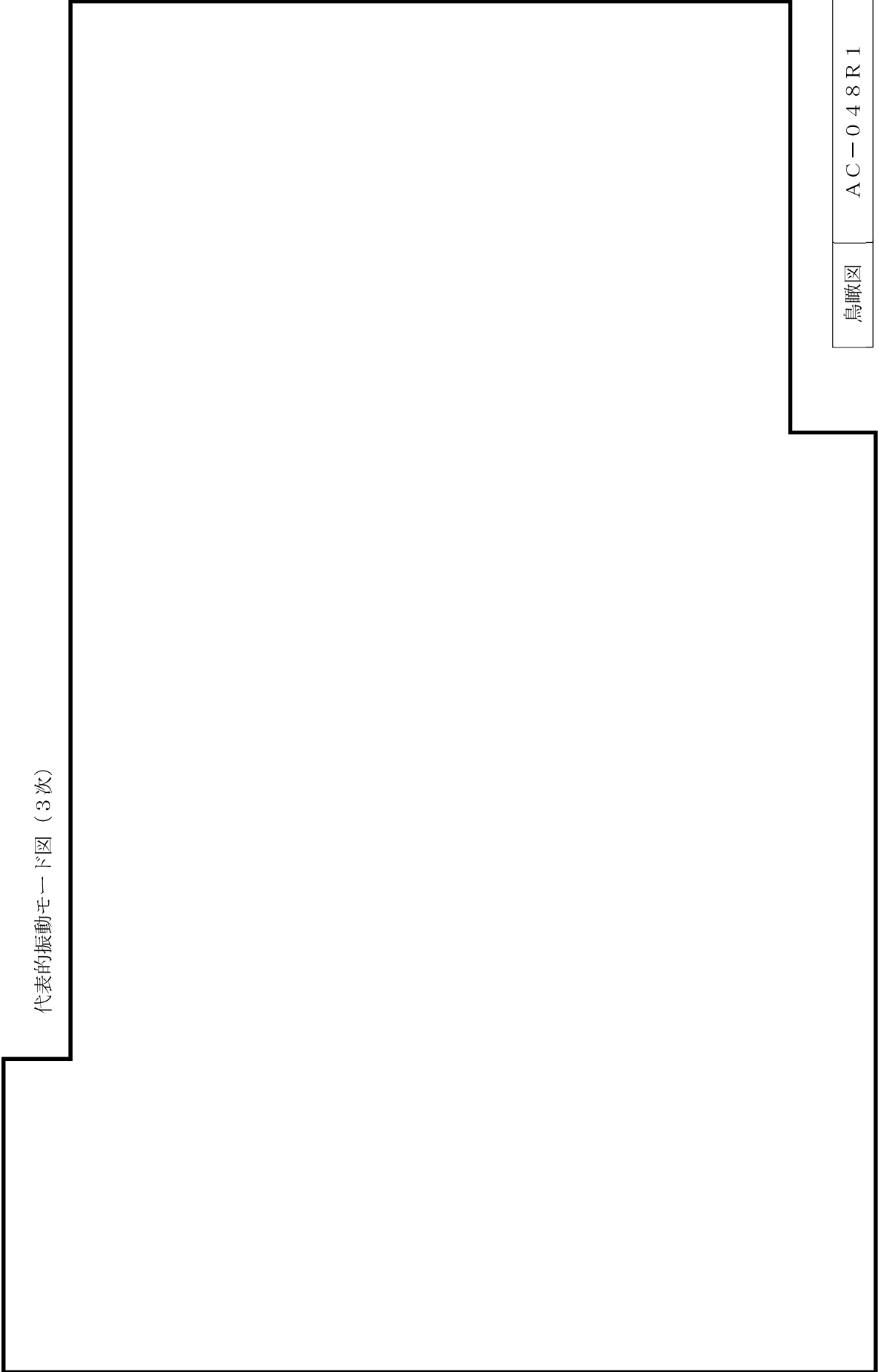
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

AC-048R1

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図 AC-048R1

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 AC-053R1

適用する地震動等		S s	
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1	
		X方向	Z方向 Y方向
1次	[Redacted]	[Redacted]	
2次			
3次			
4次			
5次			
6次			
7次			
8次			
10次			
11次			
動的震度*2			

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s地震動に基づき設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 AC-053R1

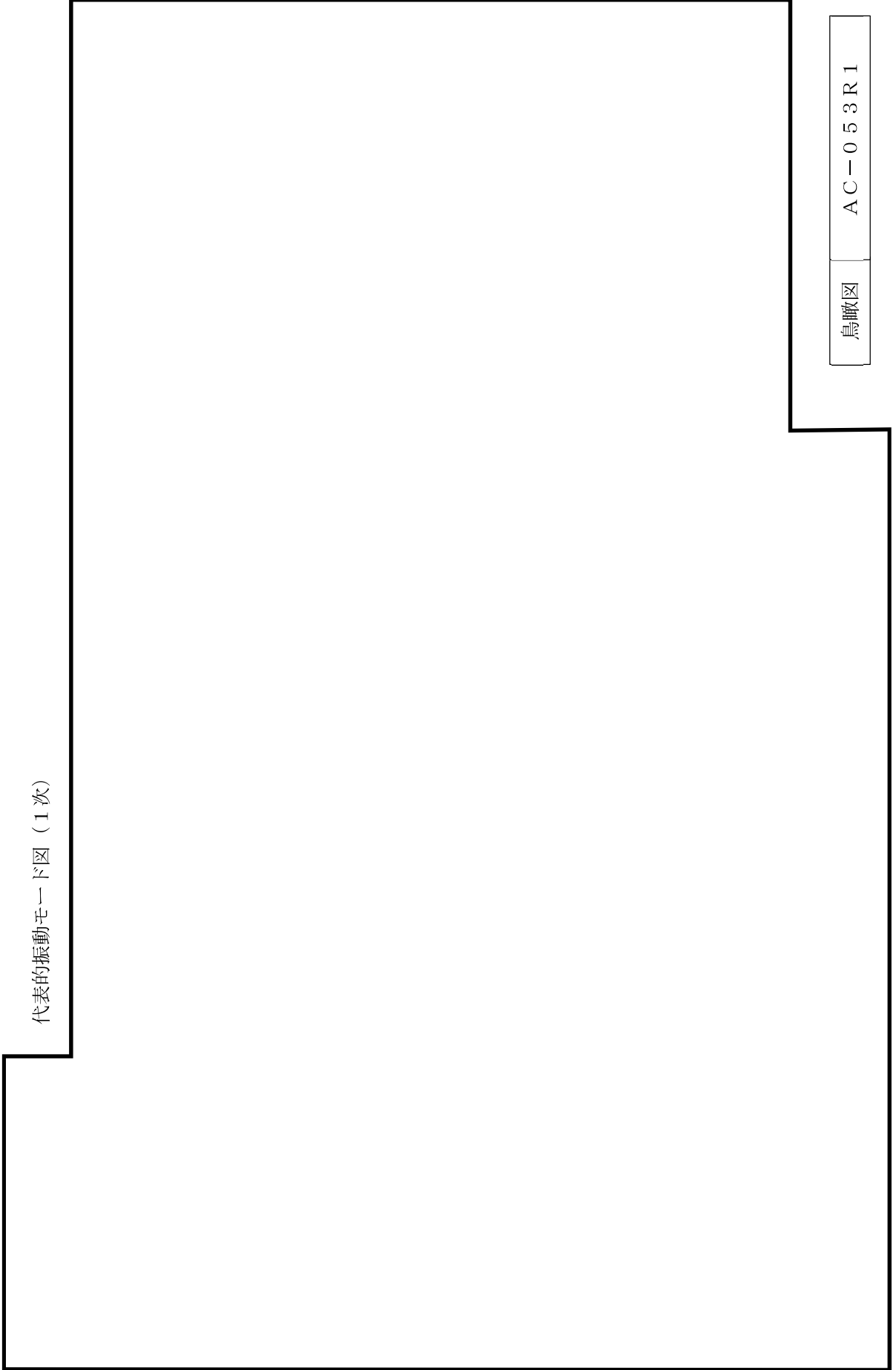
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
10次				

注記*：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。

代表的振動モード図

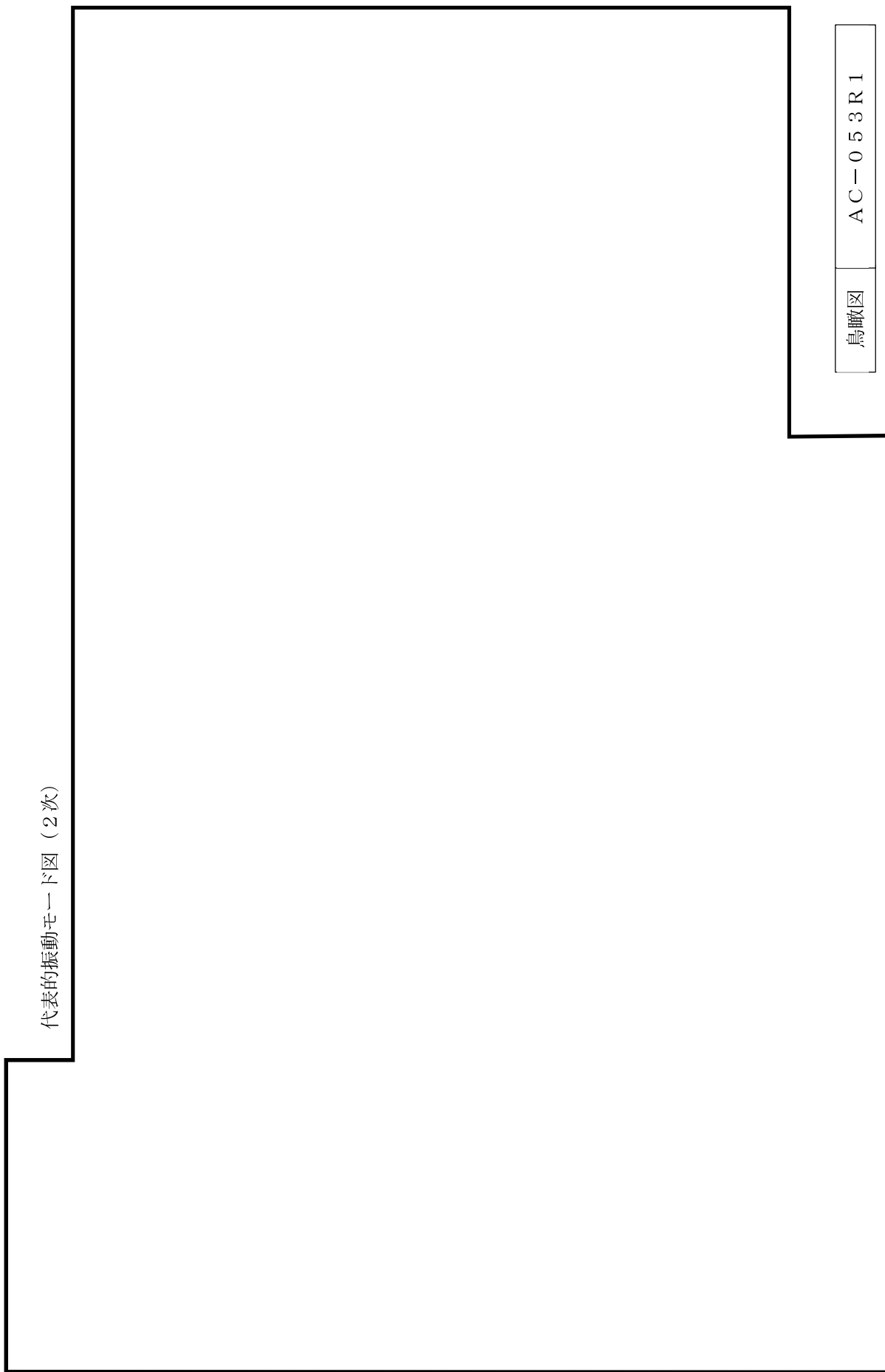
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図 AC-053R1

代表的振動モード図 (2次)

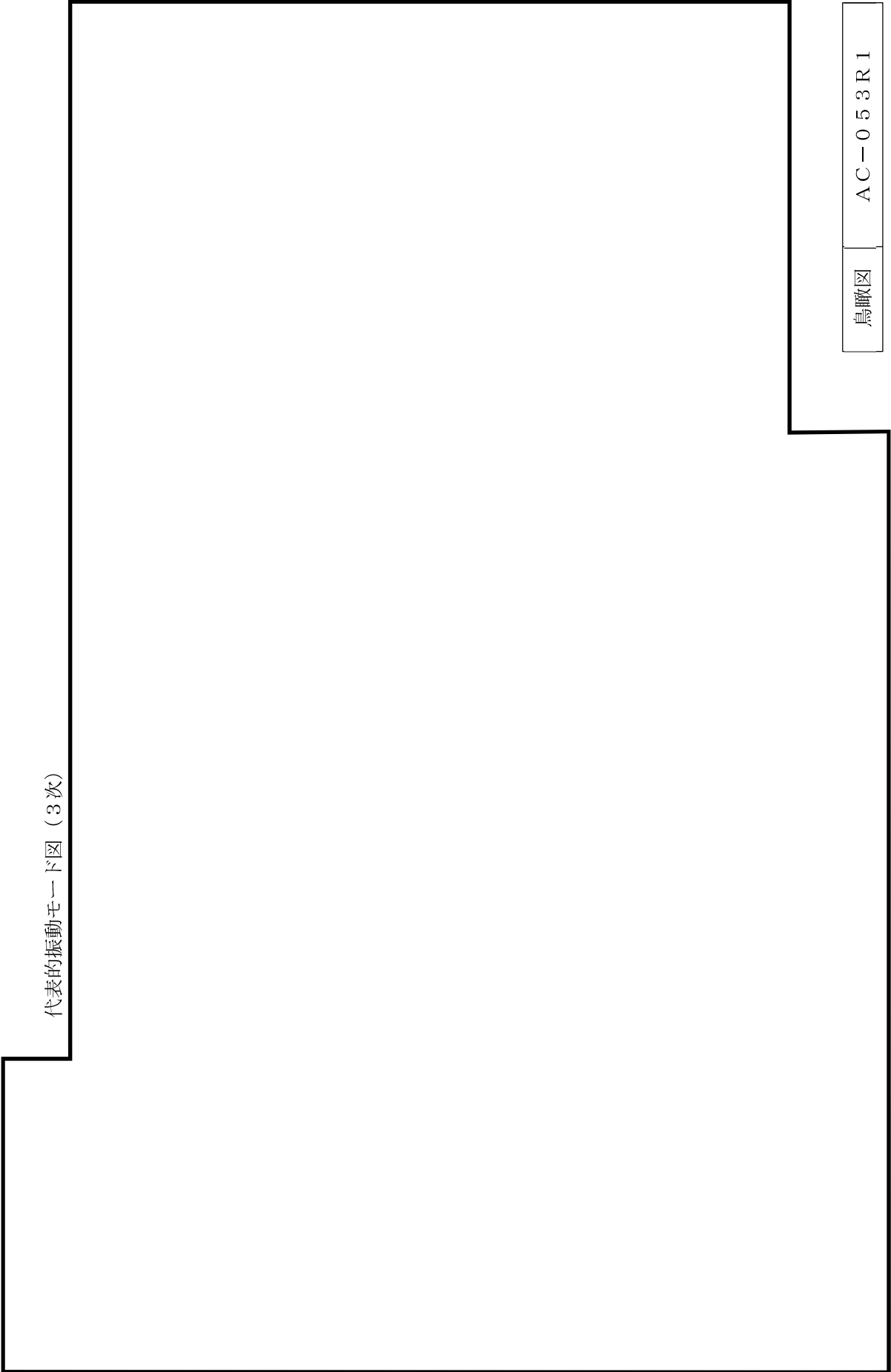


鳥瞰図

AC-053R1

K6 ① VI-2-9-5-2 (重) R0

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図 AC-053R1

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数 US _s
				計算応力 S _{pr_m} (S s)	許容応力 0.9・S _u	計算応力 S _n (S s)	許容応力 2・S _y	
AC-048R1	V _Λ S	22	S _{pr_m} (S s)	165	468	—	—	—
	V _Λ S	22	S _n (S s)	—	—	215	410	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数 U S s
				計算応力 S _{pr m} (S s)	許容応力 0.9・S _u	計算応力 S _n (S s)	許容応力 2・S _y	
AC-053R1	V _Λ S	43	S _{pr m} (S s)	139	396	—	—	—
	V _Λ S	95	S _n (S s)	—	—	267	342	—

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)
—	—	—	—	—	—	—

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			
SP-FV2F-023-01	アソカ	ラゲ	SUS304	100	1	1	1	0	0	0	組合せ	12	118
SP-FVB1F-060-01	レストレイント	ボルト	SS400	50	3	-	4	-	-	-	せん断	31	133

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS																	
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価					
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 勞 累 積 係 数	代 表
1	FCVS-061R1	248	138	396	2.86	—	245	259	342	1.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	FCVS-061R2	1	126	396	3.14	—	1	211	342	1.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	FCVS-061R3	1	102	396	3.88	—	158	200	342	1.71	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	FCVS-065R1	15	116	396	3.41	—	88	206	342	1.66	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	FCVS-065R2	95	66	396	6.00	—	180	179	342	1.91	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	FCVS-065R3	162	81	396	4.88	—	191	181	342	1.88	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	AC-048R1	22	165	468	2.83	○	22	215	410	1.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	AC-048R2	18	53	396	7.47	—	76	125	342	2.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	AC-048R3	48	46	396	8.60	—	75	162	342	2.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	AC-053R1	43	139	396	2.84	—	95	267	342	1.28	○	—	—	—	—	—	—	—	—
11	AC-053R2	91	99	396	4.00	—	91	163	342	2.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	AC-053R3	48	85	396	4.65	—	48	132	342	2.59	—	—	—	—	—	—	—	—	—

VI-2-9-5-3 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	8
2.3 適用規格・基準等	9
2.4 記号の説明	10
2.5 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	15
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	15
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
4.2.2 許容応力	15
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	15
4.3 解析モデル及び諸元	19
4.4 固有周期	20
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	22
4.6.1 等速ジョイント	22
4.6.2 取付ボルト	23
4.6.3 基礎ボルト	28
4.7 計算条件	35
4.8 応力の評価	35
4.8.1 等速ジョイントの応力評価	35
4.8.2 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	35
5. 機能維持評価	36
5.1 動的機能維持評価方法	36
5.1.1 機能確認済加速度	36
6. 評価結果	37
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	37

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及び動的機能を有してい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、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機能維持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 2-6 に示す。遠隔手動弁操作設備は、隔離弁を原子炉建屋二次格納施設外から人力により開閉操作するための設備であり、隔離弁から操作位置までの経路の違いにより構成の異なる 6 種類の遠隔手動弁操作設備が設置されている。

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等速ジョイントは、マイタギヤボックス又はヘリカルパワードライブを経由して対象弁に接続される。</p> <p>マイタギヤボックス及びヘリカルパワードライブは剛構造の支持構造物を經由して基礎ボルト(ケミカルアンカ)により原子炉建屋の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、等速ジョイント、マイタギヤボックス、ヘリカルパワードライブ及び支持構造物から構成される。</p>	<p>平面図</p> <p>正面図</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その 1) (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>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等速ジョイントは、マイタギヤボックス、ベアリングユニット及びヘリカルパワードライブを經由して対象弁に接続される。</p> <p>マイタギヤボックス、ベアリングユニット及びヘリカルパワードライブは剛構造の支持構造物を經由して基礎ボルト(ケミカルアンカ)により原子炉建屋の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、等速ジョイント、マイタギヤボックス、ベアリングユニット、ヘリカルパワードライブ及び支持構造物から構成される。</p>	<p>等速ジョイント</p> <p>ハンドル</p> <p>マイタギヤボックス</p> <p>ヘリカルパワードライブ</p> <p>平面図</p> <p>T31-F022</p> <p>支持構造物</p> <p>マイタギヤボックス</p> <p>ベアリングユニット</p> <p>正面図</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その2)</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>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ジョイントは、支持構造物を経由して基礎ボルト(ケミカルアンカ)により原子炉建屋の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、フレキシブルジョイント及び支持構造物から構成される。</p>	<p>図 2-3-3 遠隔手動弁操作設備 (その 3) の概略構造図。図は平面図と正面図を示している。平面図には「ハンドル」、「フレキシブルジョイント」、「支持構造物」のラベルがある。正面図には「支持構造物」のラベルがある。右側の弁は「T31-F070」とラベルされている。図の下部には「遠隔手動弁操作設備 (その 3)」と「(単位: mm)」と記載されている。</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ジョイントは、支持構造物を経由して基礎ボルト(ケミカルアンカ)により原子炉建屋の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、フレキシブルジョイント及び支持構造物から構成される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備 (その 4) (単位: mm)</p>

表 2-5 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等速ジョイントは、マイタギヤボックス、ベアリングユニット及びヘリカルパワードライブを経由して対象弁に接続される。</p> <p>マイタギヤボックス、ベアリングユニット及びヘリカルパワードライブは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルト(ケミカルアンカ)により原子炉建屋の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、等速ジョイント、マイタギヤボックス、ベアリングユニット、ヘリカルパワードライブ及び支持構造物から構成される。</p>	<p style="text-align: center;">遠隔手動弁操作設備 (その 5)</p> <p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

表 2-6 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等速ジョイントは、マイタギヤボックス、ベアリングユニット及びヘリカルパワードライブを経由して対象弁に接続される。</p> <p>マイタギヤボックス、ベアリングユニット及びヘリカルパワードライブは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルト(ケミカルアンカ)により原子炉建屋の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備は、等速ジョイント、マイタギヤボックス、ベアリングユニット、ヘリカルパワードライブ及び支持構造物から構成される。</p>	<p>遠隔手動弁操作設備 (その 6) (単位: mm)</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。

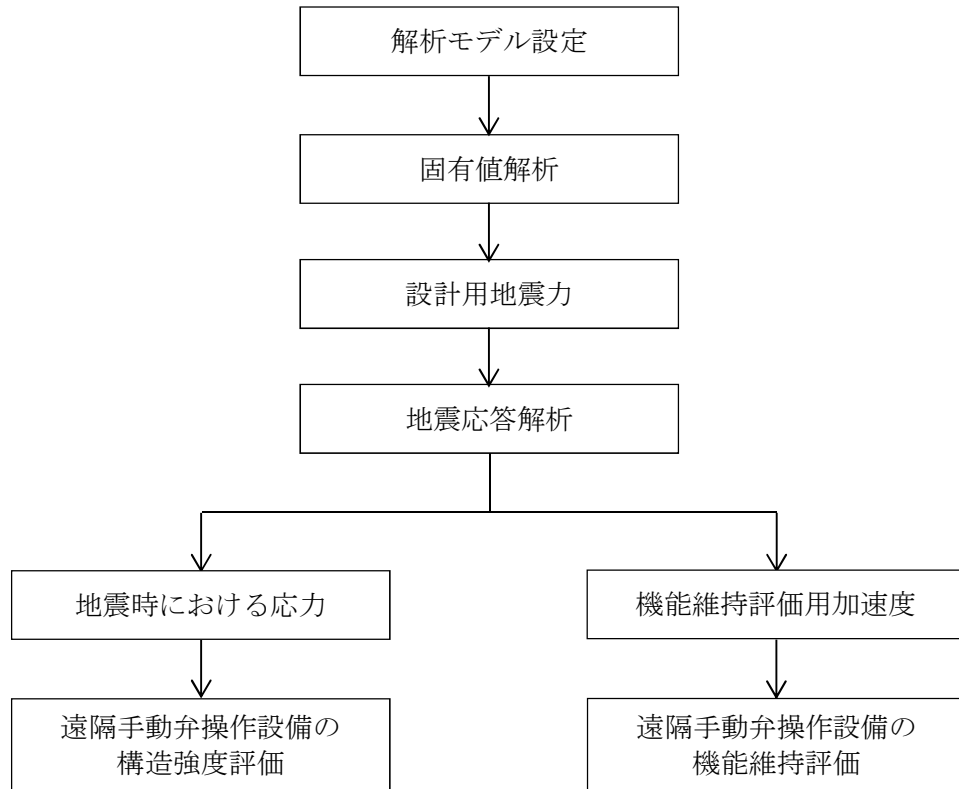


図2-1 遠隔手動弁操作設備の耐震評価フロー

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 (1/2)

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A	等速ジョイントの断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_1	等速ジョイントの外径	mm
D_2	等速ジョイントの（中空部）の内径	mm
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_1	解析結果から得られる等速ジョイント接続部に生じる引張力	N
F_{bi}	ボルトに作用する引張力* ¹	N
F_{bli}	ボルトに作用する引張力* ¹ （長辺方向転倒の場合）	N
F_{b2i}	ボルトに作用する引張力* ¹ （短辺方向転倒の場合）	N
f_s	等速ジョイントの許容せん断応力	MPa
f_b	等速ジョイントの許容曲げ応力	MPa
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* ¹	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h	支持構造物の据付面から重心までの距離	mm
l_1	支持構造物・取付構造物の重心とボルト間の距離* ²	mm
l_2	支持構造物・取付構造物の重心とボルト間の距離* ²	mm
l_3	最外側ボルト間の距離* ²	mm
l_4	最外側ボルト間の距離* ²	mm
m_0	等速ジョイントの質量	kg
m_1	支持構造物の質量	kg
M	解析結果から得られる等速ジョイントに作用する最大のモーメント	N・mm
M_1	解析結果から得られる等速ジョイント接続部に生じるモーメント	N・mm
N	支持構造物に接続される等速ジョイントの本数	—
n_i	せん断力を受けるボルトの本数* 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	解析結果から得られる等速ジョイントに作用する最大のせん断荷重	N
Q_1	解析結果から得られる等速ジョイント接続部に生じるせん断荷重	N
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

2.4 記号の説明 (2/2)

記号	記号の説明	単位
S_y (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
Z	等速ジョイントの断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_p	等速ジョイントに生じる引張応力	MPa
τ_p	等速ジョイントに生じるせん断応力	MPa
σ_{bp}	等速ジョイントに生じる曲げ応力	MPa
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_{bi} , F_{bli} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , 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: $l_1 \leq l_2$, $l_3 \leq l_4$

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2-7に示すとおりとする。

表2-7 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
縦弾性係数*1	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
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*3
長さ	mm	—	—	整数位*3
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*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：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縦弾性係数は、比例法により補間した値の有効数字4桁目を四捨五入し、有効数字3桁までの値とする。

*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。

*4：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

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最長の等速ジョイント、その両端の機器、支持構造物を固定する取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。

遠隔手動弁操作設備の耐震評価部位については、図 3-1 から図 3-3 に示す。

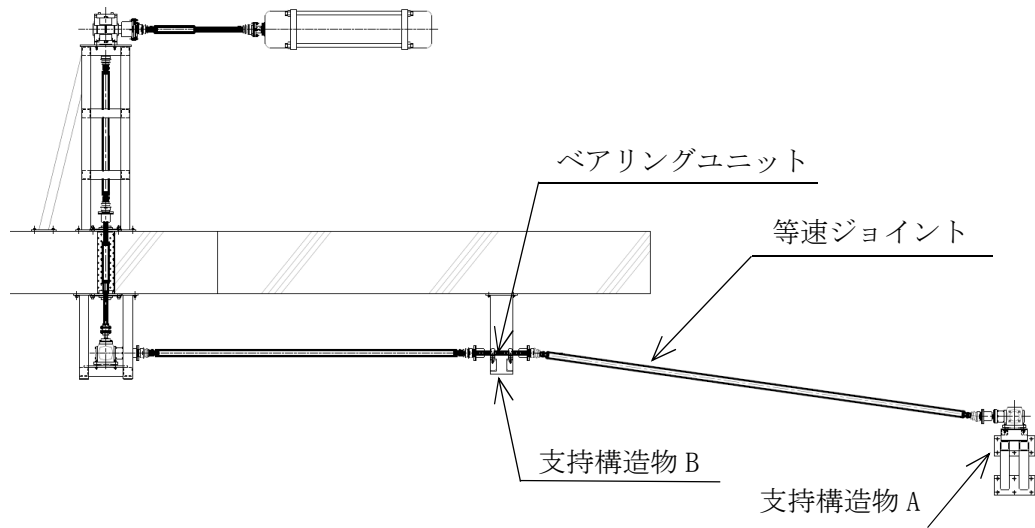


図 3-1 評価部位（遠隔手動弁操作設備（その 2）（等速ジョイント））

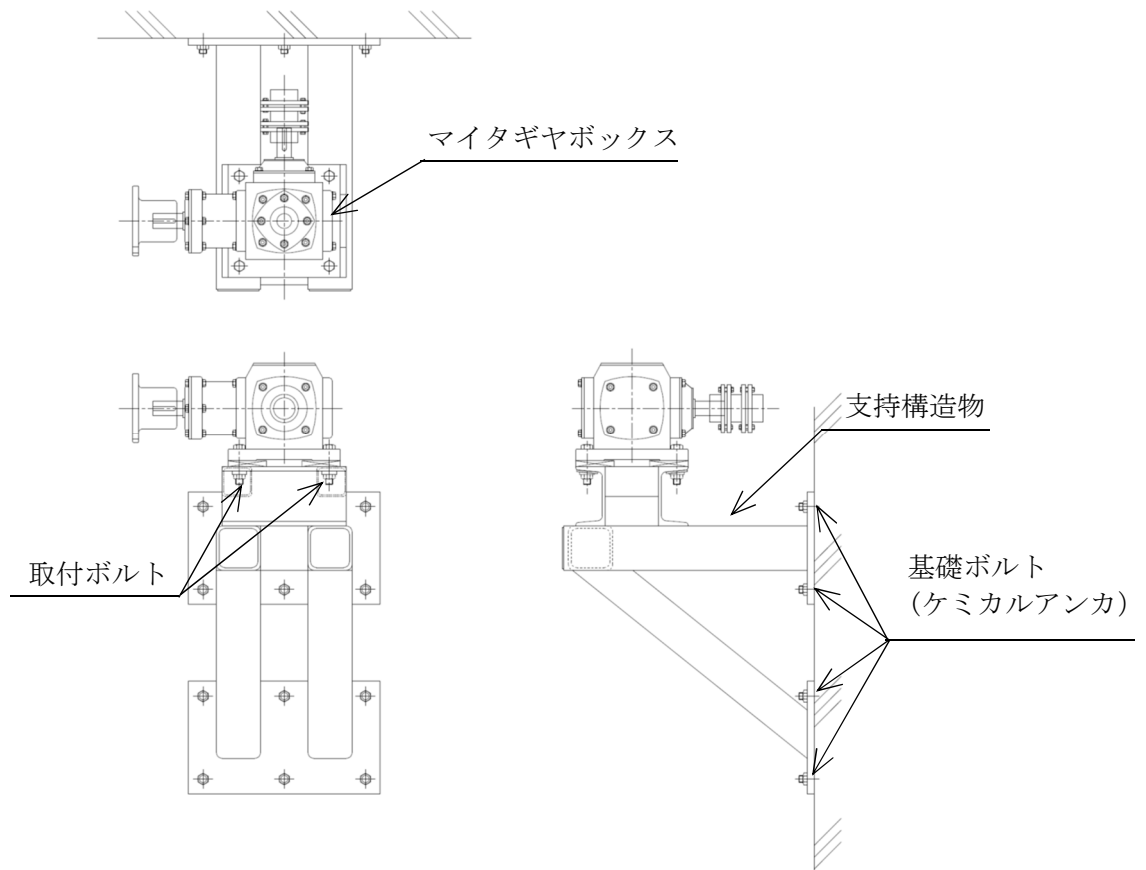


図 3-2 評価部位（遠隔手動弁操作設備（その 2）（支持構造物 A（取付ボルト、基礎ボルト）））

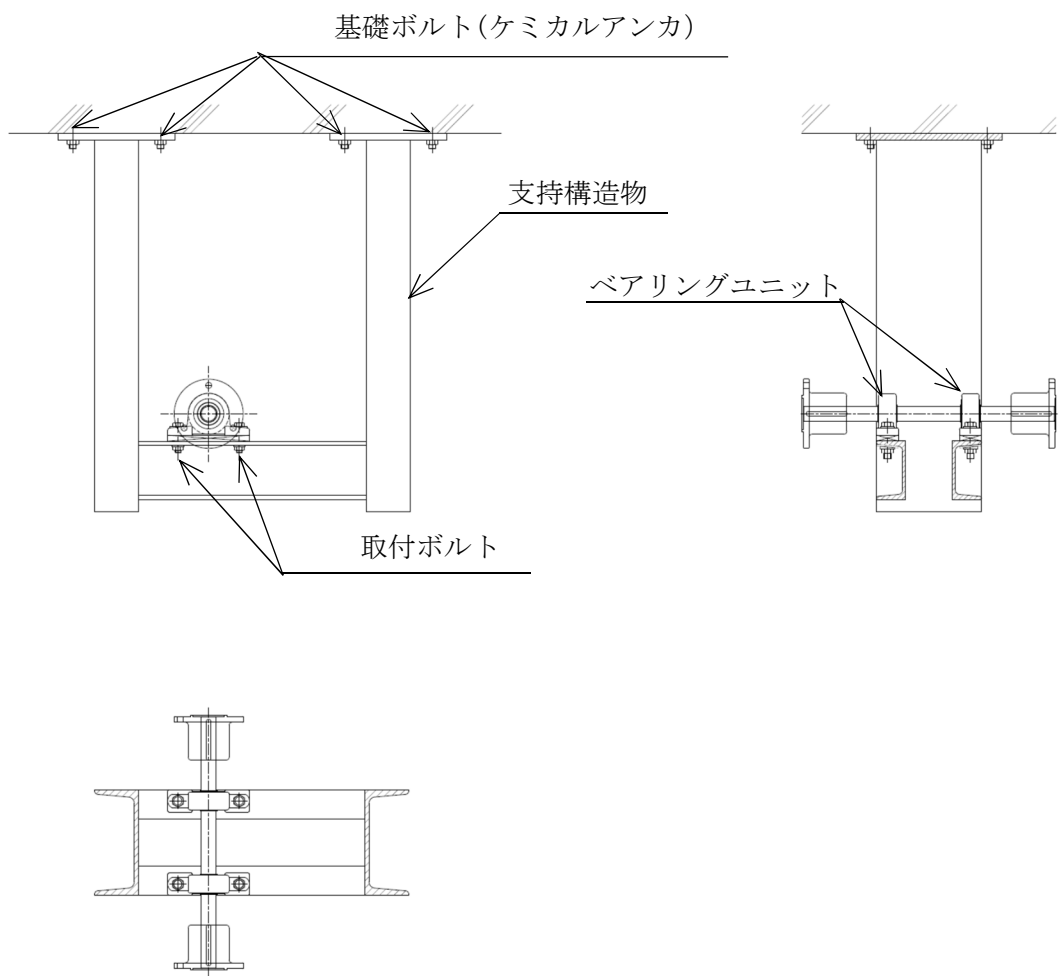


図 3-3 評価部位 (遠隔手動弁操作設備 (その 2) (支持構造物 B (取付ボルト, 基礎ボルト)))

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、等速ジョイントは十分剛なマイタギヤボックス及びベアリングユニットに接続されるものとする。
- (2) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、マイタギヤボックス及びベアリングユニットは十分剛な支持構造物に取付ボルトにより固定されるものとする。
- (3) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、支持構造物は十分剛な壁及び床に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (4) 地震力は、遠隔手動弁操作設備に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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	圧力逃がし装置	遠隔手動弁操作設備	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。)
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	遠隔手動弁操作設備	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。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	遠隔手動弁操作設備	常設耐震／防止	—*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 (ボルト以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	曲げ	せん断	引張り	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 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)
等速ジョイント	STPG370	周囲環境温度	100	173	345	—
	SCM440	周囲環境温度	100	729	891	—
取付ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	100	194	373	—
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	100	194	373	—

4.3 解析モデル及び諸元

等速ジョイントの解析モデルを図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【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) 等速ジョイントの構成要素のうち、アンカとなるマイタギヤボックス、ベアリングユニット及び支持構造物は、原子炉建屋と共振しないよう十分な剛性をもたせた設計であるため、剛体とする。
- (2) 解析モデルでは、等速ジョイントをはり要素でモデル化し、要素の自重は要素荷重として考慮する。
- (3) はり要素の断面形状については、等速ジョイントを軸（中空部）、軸（中実部）、外輪、及びカップリングの4つに分類して、各断面を考慮して設定する。
- (4) 拘束条件として、アンカとなるモデル端部を完全拘束とし、等速ジョイントのうちボールジョイント部をピン結合とする。
- (5) 等速ジョイント、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。
- (6) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、固有値、遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち等速ジョイントに生じる荷重（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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

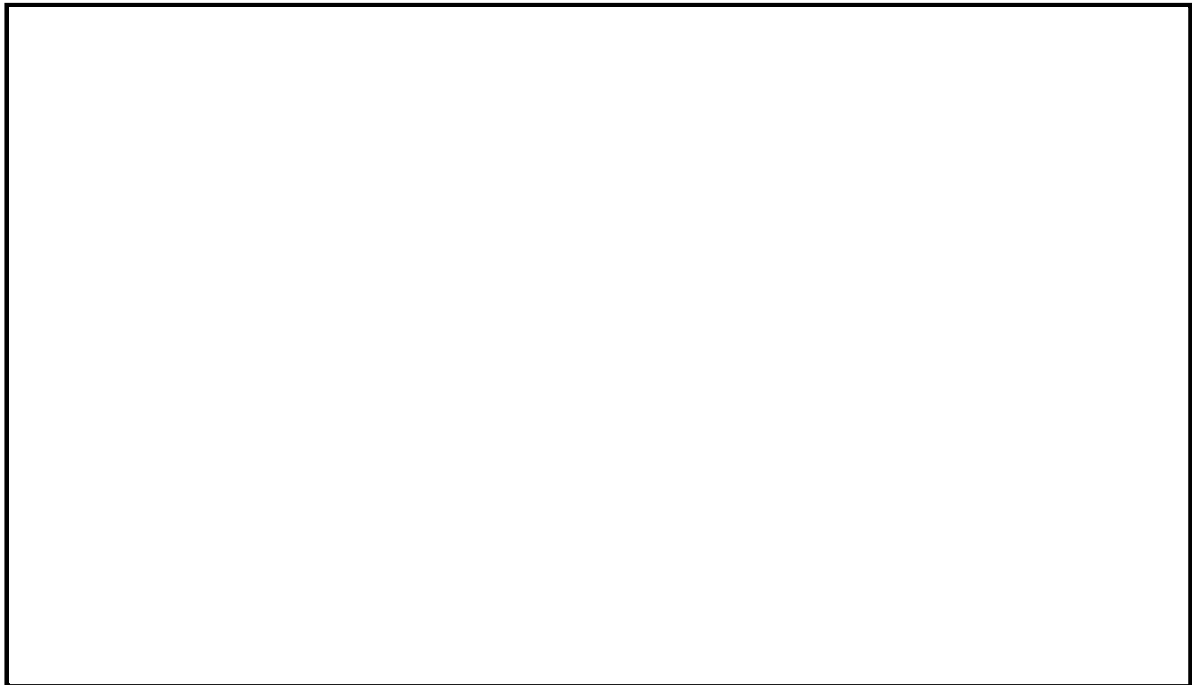


図4-1 等速ジョイント解析モデル（単位：mm）

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、図 4-3 に示す。

固有周期は 0.05 秒を超えており、柔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*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.108			
2 次	鉛直	0.108			
3 次	水平	0.030	—	—	—

注記*：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 4-2 振動モード (1 次モード 水平方向 0.108s)



図 4-3 振動モード (2 次モード 鉛直方向 0.108s)

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「設計用床応答曲線の作成方針」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)		原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8 (T.M.S.L. 12.3 ^{*1})					
固有周期 (s)		水平 : 0.108 ^{*2} 鉛直 : 0.108					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : 1.0					
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	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.108	—	—	—			
2 次	0.108	—	—	—			
3 次	0.030	—	—	—			
動的地震力 ^{*4}		—	—	—			
静的地震力		—	—	—	—	—	—

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：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_sに基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 等速ジョイント

等速ジョイントの応力は，解析結果で得られた最大のせん断荷重及びモーメントから理論式により，せん断応力及び曲げ応力を算出する。

解析で得られたせん断応力，曲げ応力からそれぞれの最小裕度箇所における等速ジョイントのせん断荷重及びモーメントを表 4-6 に示す。

表 4-6 最小裕度箇所における等速ジョイントに作用する荷重及びモーメント

対象機器	荷重(N)	モーメント(N・mm)
	Q	M
遠隔手動弁操作設備	483.1	5.342×10 ⁵

a. せん断応力

等速ジョイントのせん断応力は，次式により求める。

$$\tau_p = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

b. 曲げ応力

等速ジョイントの曲げ応力は，次式により求める。

$$\sigma_{bp} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

4.6.2 取付ボルト

(1) 支持構造物 A の場合

取付ボルトの応力は、等速ジョイント接続部に生じる引張力、せん断力、及びモーメントと地震による震度によって支持構造物 A に生じる引張力、せん断力を考慮して計算する。

計算モデルを図 4-4、図 4-5 に示す。

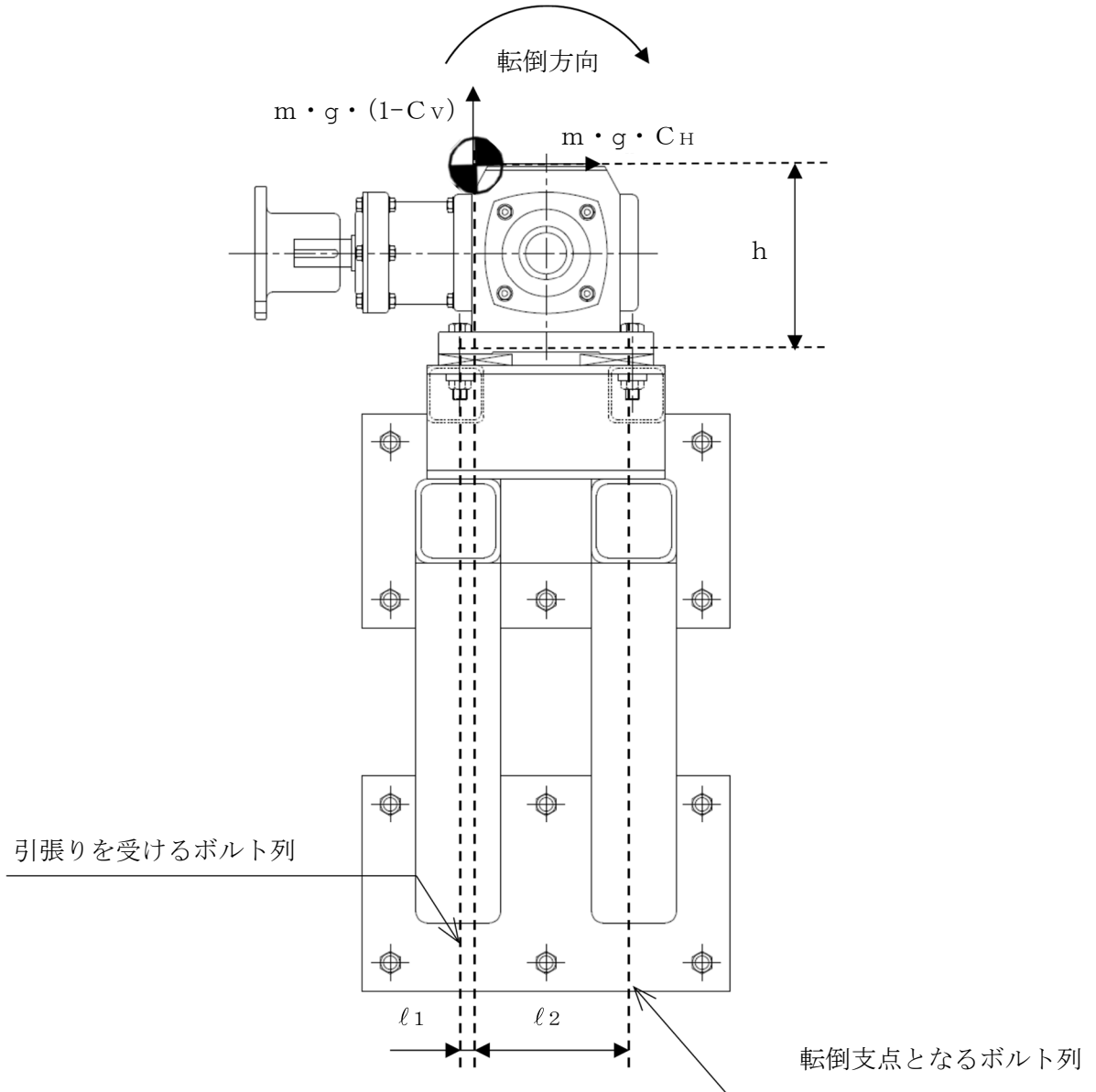


図 4-4 計算モデル（長辺方向転倒の場合）

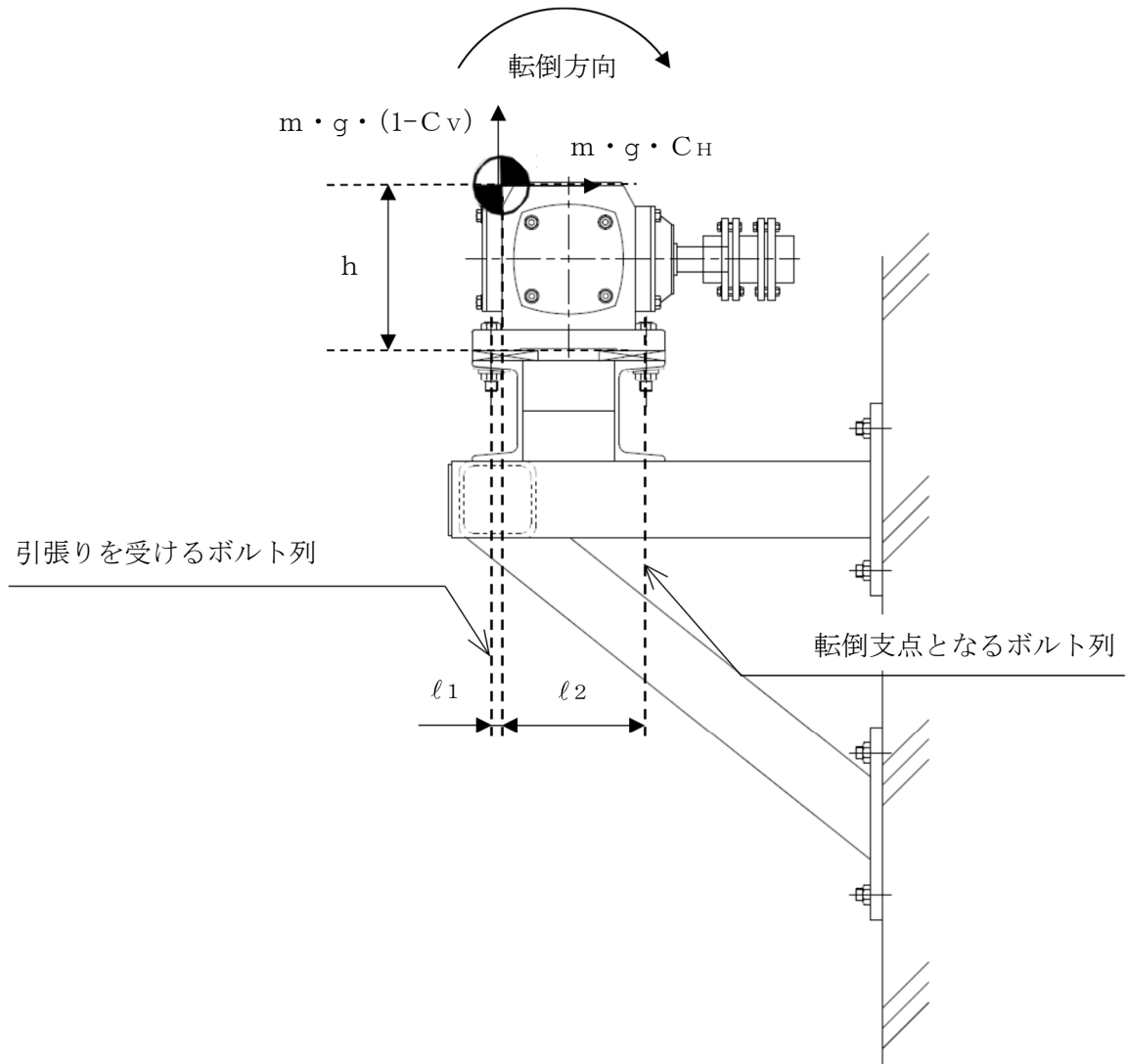


図 4-5 計算モデル（短辺方向転倒の場合）

a. 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-4 及び図 4-5 に示すモデルのように転倒支点を考え、これを片側の最外列の取付ボルトで受けるものとして計算する。なお、重心は保守的な位置に設定する。

また、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントが、引張力として取付ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントは、支持構造物 A に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N 倍するものとする。解析で得られた等速ジョイント接続部の荷重によるモーメントは、重心位置に inputs を想定し、取付ボルト位置までのモーメントアーム長を考慮する。

解析で得られた等速ジョイント接続部の荷重及びモーメントを表 4-7 に示す。

表 4-7 等速ジョイント接続部に生じる荷重及びモーメント

対象機器	荷重 (N)		モーメント (N・mm)
	F ₁	Q ₁	M ₁
遠隔手動弁操作設備	450.9	269.1	1.378×10 ⁵

引張力

$$F_{bi} = \frac{(C_H \cdot m \cdot g + N \cdot Q_1) \cdot h - \{(1 - C_V) \cdot m \cdot g - N \cdot F_1\} \cdot \ell_2}{n_{fi} \cdot (\ell_2 + \ell_1)} + N \cdot \left[\frac{F_1}{n_{fi}} + \frac{M_1}{n_{fi} \cdot (\ell_2 + \ell_1)} \right]$$

..... (4.6.2.1)

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \text{..... (4.6.2.2)}$$

b. せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。また、等速ジョイント接続部から加わる荷重が、せん断力として取付ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重は、支持構造物 A に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N倍するものとする。

せん断力

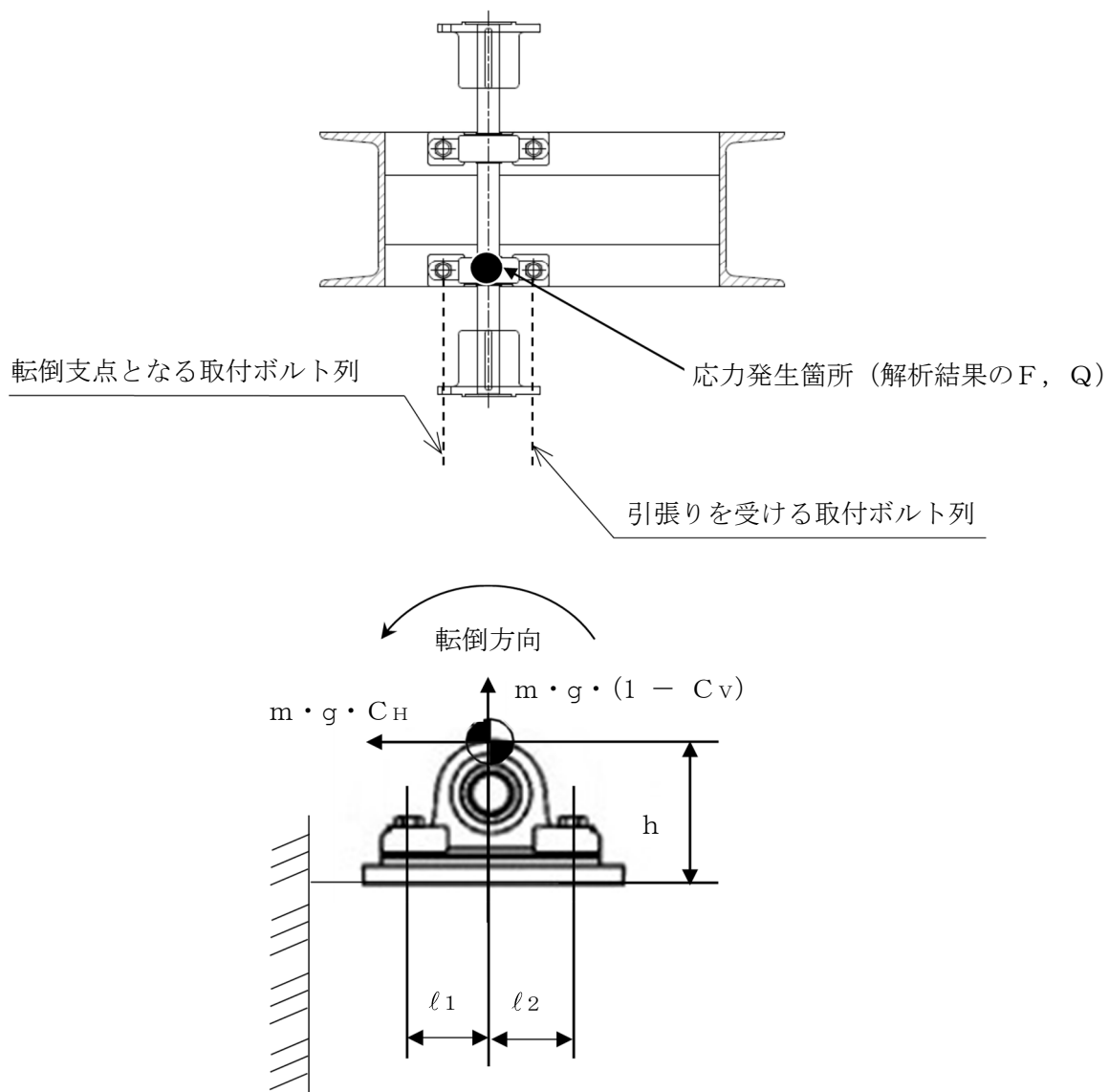
$$Q_{bi} = \frac{C_H \cdot m \cdot g + N \cdot Q_1}{n_i} \text{..... (4.6.2.3)}$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_{bi}} \text{..... (4.6.2.4)}$$

(2) 支持構造物 B の場合

取付ボルトの応力は、等速ジョイント接続部に生じる引張力，せん断力，及びモーメントと地震による震度によって支持構造物 B に生じる引張力，せん断力を考慮して計算する。
計算モデルを図 4-6 示す。



a. 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-6 に示すモデルのように転倒支点を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。なお、重心は保守的な位置に設定する。

また、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントが、引張力として取付ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントは、支持構造物 B に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N 倍するものとする。解析で得られた等速ジョイント接続部の荷重によるモーメントは、重心位置に入力を想定し、取付ボルト位置までのモーメントアーム長を考慮する。

引張力

$$F_{bi} = \frac{(C_H \cdot m \cdot g + N \cdot Q_1) \cdot h - \{(1 - C_V) \cdot m \cdot g - N \cdot F_1\} \cdot \ell_1}{n_{fi} \cdot (\ell_1 + \ell_2)} + N \cdot \left[\frac{F_1}{n_{fi}} + \frac{M_1}{n_{fi} \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \right] \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots \dots \dots (4.6.2.6)$$

b. せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。また、等速ジョイント接続部から加わる荷重が、せん断力として取付ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重は、支持構造物 B に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N 倍するものとする。

せん断力

$$Q_{bi} = \frac{C_H \cdot m \cdot g + N \cdot Q_1}{n_i} \dots \dots \dots (4.6.2.7)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_{bi}} \dots \dots \dots (4.6.2.8)$$

4.6.3 基礎ボルト

(1) 支持構造物 A の場合

基礎ボルトの応力は、等速ジョイント接続部に生じる引張力，せん断力，及びモーメントと地震による震度によって支持構造物 A に生じる引張力，せん断力を考慮して計算する。

計算モデルを図 4-7，図 4-8 示す。

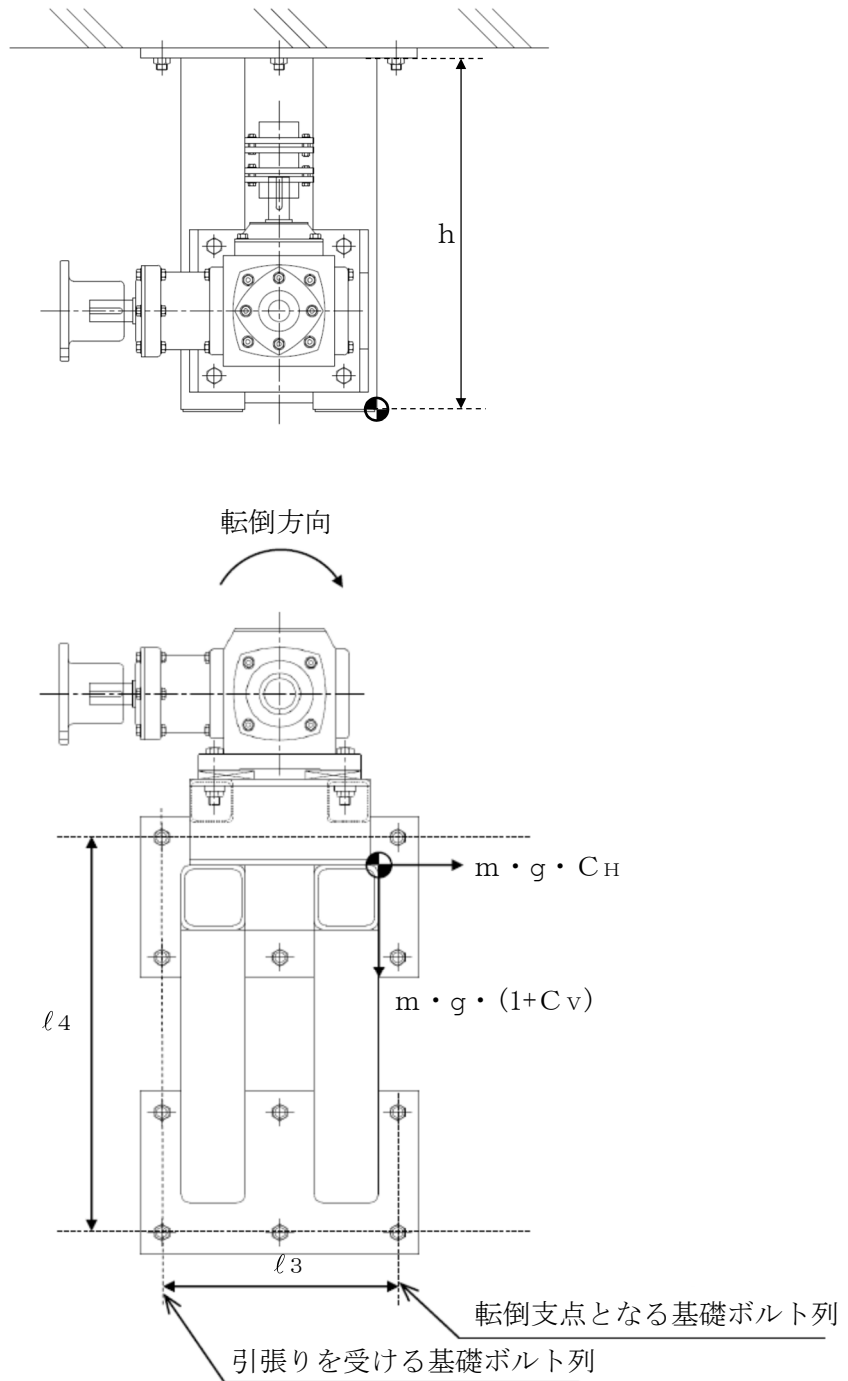


図 4-7 計算モデル（正面方向転倒の場合）

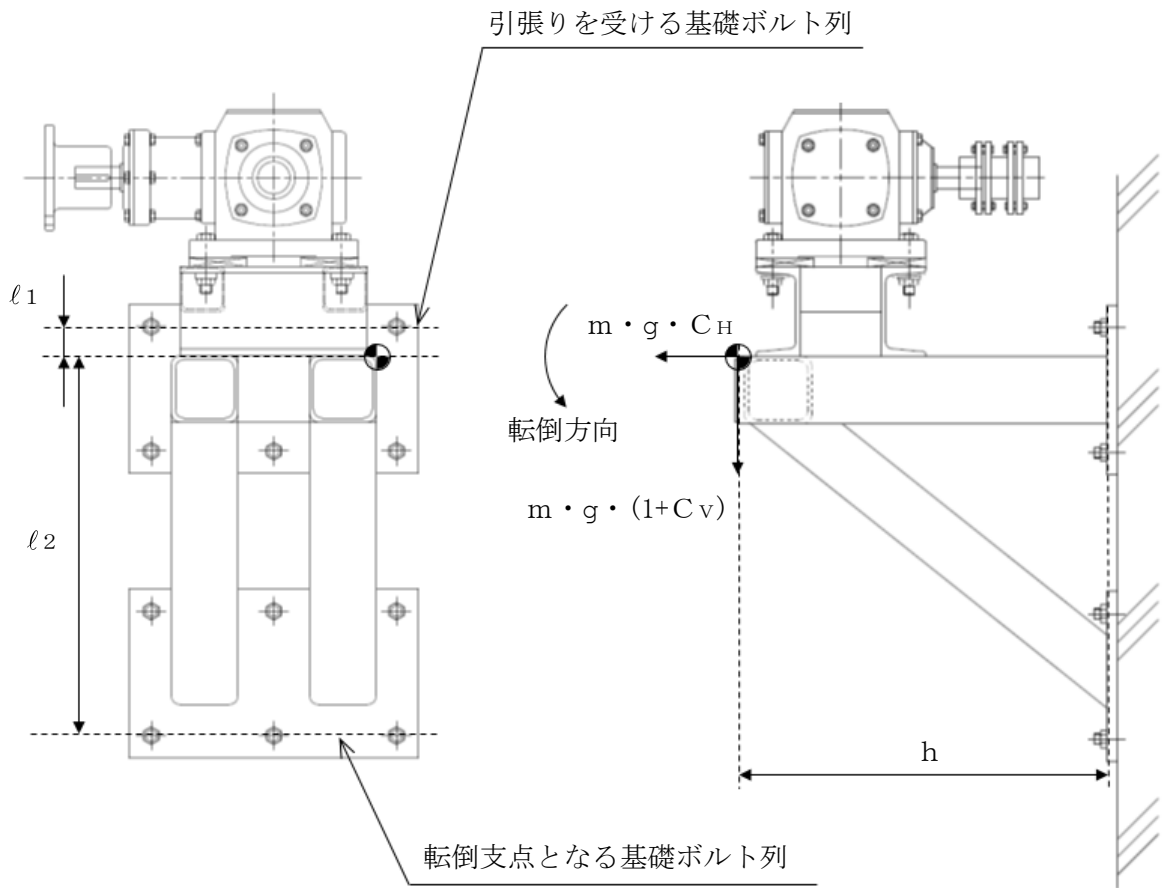


図 4-8 計算モデル (側面方向転倒の場合)

a. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図 4-7 及び図 4-8 で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。なお、重心は保守的な位置に設定する。

また、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントが、引張力として基礎ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントは、支持構造物 A に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N 倍するものとする。解析で得られた等速ジョイント接続部の荷重によるモーメントは、重心位置に入力を想定し、基礎ボルト位置までのモーメントアーム長を考慮する。

解析で得られた等速ジョイント接続部の荷重及びモーメントを表 4-8 に示す。

表 4-8 等速ジョイント接続部に生じる荷重及びモーメント

対象機器	荷重 (N)		モーメント (N・mm)
	F ₁	Q ₁	M ₁
遠隔手動弁操作設備	269.1	450.9	1.378×10 ⁵

引張力

$$F_{bi} = \frac{(C_H \cdot m \cdot g + N \cdot F_1) \cdot h}{n_{fi} \cdot \ell_3} + \frac{\{(1 + C_V) \cdot m \cdot g + N \cdot Q_1\} \cdot h}{n_{fi} \cdot \ell_4} + N \cdot \left[\frac{F_1}{n_{fi}} + \frac{M_1}{n_{fi} \cdot \ell_3} \right] \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

$$F_{b2i} = \frac{(C_H \cdot m \cdot g + N \cdot F_1) \cdot \ell_2 + \{(1 + C_V) \cdot m \cdot g + N \cdot Q_1\} \cdot h}{n_{fi} \cdot (\ell_1 + \ell_2)} + N \cdot \left[\frac{F_1}{n_{fi}} + \frac{M_1}{n_{fi} \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \right] \dots \dots \dots (4.6.3.2)$$

$$F_{bi} = \text{Max}(F_{b1i}, F_{b2i}) \dots \dots \dots (4.6.3.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots \dots \dots (4.6.3.4)$$

b. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。また、等速ジョイント接続部から加わる荷重が、せん断力として基礎ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重は、支持構造物 A に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N倍するものとする。

せん断力

$$Q_{bi} = \frac{\sqrt{(C_H \cdot m \cdot g)^2 + \{(1 + C_V) \cdot m \cdot g\}^2} + N \cdot Q_1}{n_i} \dots\dots\dots (4.6.3.5)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (4.6.3.6)$$

(2) 支持構造物 B の場合

基礎ボルトの応力は、等速ジョイント接続部に生じる引張力、せん断力、及びモーメントと地震による震度によって支持構造物 B に生じる引張力、せん断力を考慮して計算する。
計算モデルを図 4-9 及び図 4-10 に示す。

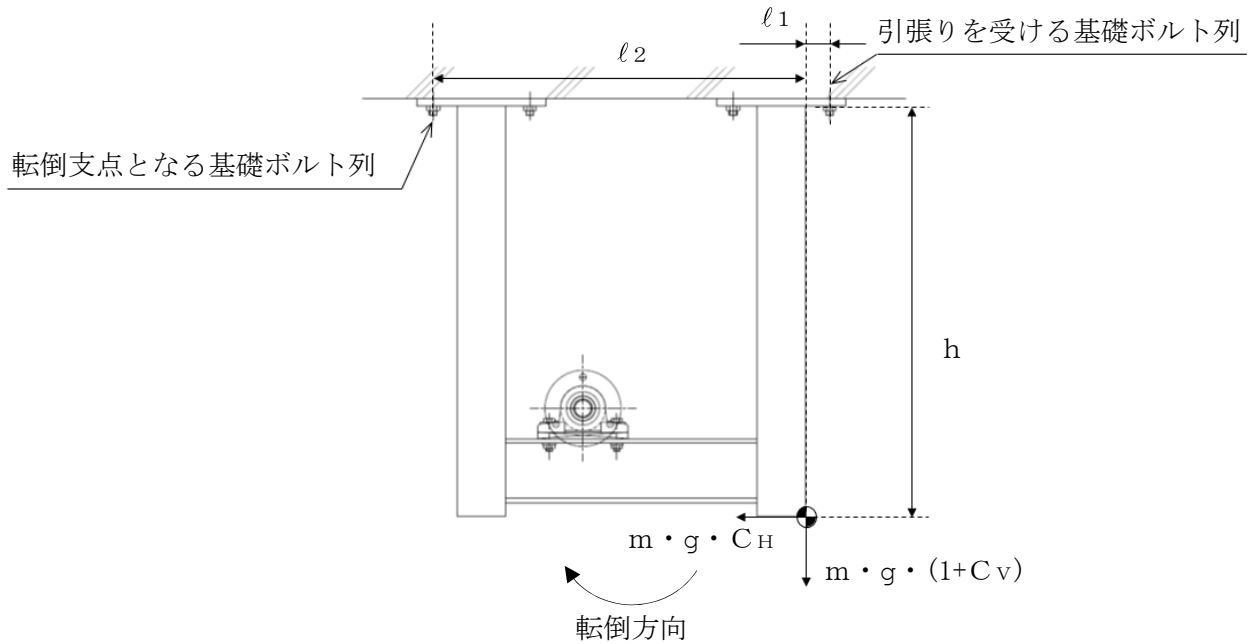


図 4-9 計算モデル（長辺方向転倒の場合）

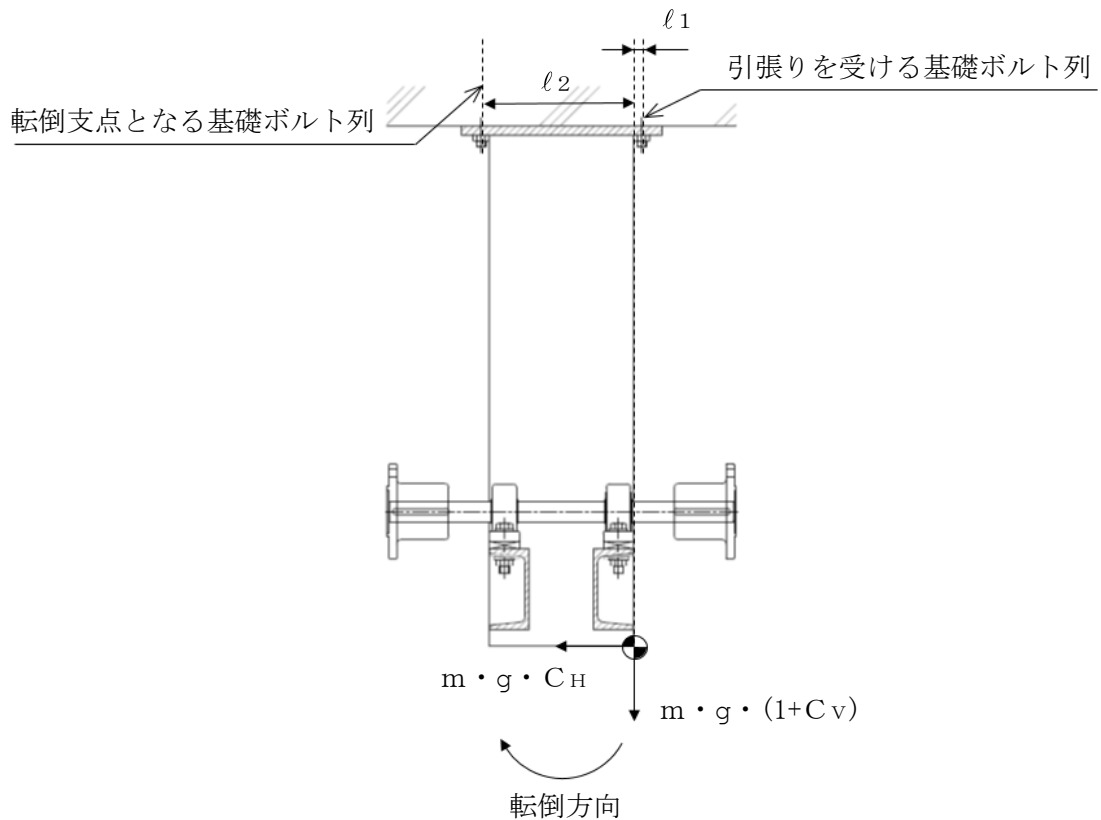


図 4-10 計算モデル（短辺方向転倒の場合）

a. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図 4-9 及び図 4-10 で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。なお、重心は保守的な位置に設定する。

また、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントが、引張力として基礎ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重及びモーメントは、支持構造物 B に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N 倍するものとする。解析で得られた等速ジョイント接続部の荷重によるモーメントは、重心位置に入力を想定し、基礎ボルト位置までのモーメントアーム長を考慮する。

解析で得られた等速ジョイント接続部の荷重及びモーメントを表 4-9 に示す。

表 4-9 等速ジョイント接続部に生じる荷重及びモーメント

対象機器	荷重 (N)		モーメント (N・mm)
	F ₁	Q ₁	M ₁
遠隔手動弁操作設備	450.9	269.1	1.378×10 ⁵

引張力

$$F_{b1i}, F_{b2i} = \frac{(C_H \cdot m \cdot g + N \cdot Q_1) \cdot h + \{(1 + C_V) \cdot m \cdot g + N \cdot F_1\} \cdot \ell_2}{n_{fi} \cdot (\ell_1 + \ell_2)} + N \cdot \left[\frac{F_1}{n_{fi}} + \frac{M_1}{n_{fi} \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \right] \dots \dots \dots (4.6.3.7)$$

$$F_{bi} = \text{Max}(F_{b1i}, F_{b2i}) \dots \dots \dots (4.6.3.8)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots \dots \dots (4.6.3.9)$$

b. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。また、等速ジョイント接続部から加わる荷重が、せん断力として基礎ボルトに作用するものとする。なお、等速ジョイント接続部から加わる荷重は、支持構造物 B に接続される等速ジョイントの本数 (N) を考慮し、N倍するものとする。

せん断力

$$Q_{bi} = \frac{C_H \cdot m \cdot g + N \cdot Q_l}{n_i} \dots\dots\dots (4.6.3.10)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (4.6.3.11)$$

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 等速ジョイントの応力評価

4.6.1項で求めた等速ジョイントの各応力が下表で定めた許容応力以下であること。

	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_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.2項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_b 及び4.6.3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引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

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_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} 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_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

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。

なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動S_sによる応答加速度を設定する。

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、又は、当該機器が設置される床における設計用床応答曲線を包絡する模擬地震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加速度を用いる。

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)

評価部位	方向	機能確認済加速度
遠隔手動弁操作設備 (マイタギヤボックス)	水平	
	鉛直	
遠隔手動弁操作設備 (ヘリカルパワードライブ)	水平	
	鉛直	
遠隔手動弁操作設備 (等速ジョイント (伸縮機構なし))	水平	
	鉛直	
遠隔手動弁操作設備 (等速ジョイント (伸縮機構あり))	水平	
	鉛直	
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト(カップリングなし))	水平	
	鉛直	
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト(カップリングあり))	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及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【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	
遠隔手動弁操作設備 (等速ジョイント)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 4.8 (T. M. S. L. 12.3*1)	0.108	0.108	—	—	C _H =1.07 又は*2 C _H =1.07*3	C _V =1.05 又は*2 C _V =1.05*3	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：等速ジョイントの評価で使用する，設計用床応答曲線（基準地震動 S_s）より得られる値。

*3：取付ボルト及び基礎ボルトの評価で使用する，基準地震動 S_sに基づく設計用最大応答加速度より得られる値。

1.2 機器要目

部材	m ₀ (kg)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	E (MPa)	ν (—)	A (mm ²)	Z (mm ³)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
等速ジョイント (軸 (中空部))		48.6	38.4		0.3	697.0	6.877×10 ³	173	345	207
等速ジョイント (軸 (中実部))		21	—		0.3	346.4	9.092×10 ²	729	891	623
等速ジョイント (外輪)		70	62		0.3	829.4	1.295×10 ⁴	729	891	623
等速ジョイント (カップリング)		25	—		0.3	490.9	1.534×10 ³	729	891	623

部材	m ₁ (kg)	h (mm)	ℓ ₁ * ¹ (mm)	ℓ ₂ * ¹ (mm)	ℓ ₃ * ¹ (mm)	ℓ ₄ * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} * ²	N	S _y (MPa)	S _u (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
マイタギヤ ボックス 取付ボルト (i = 1)							12 (M12)	113.1	4	2 2	2	194 (径>40mm)	373	232	—	長辺方向
ベアリング ユニット 取付ボルト (i = 1)							10 (M10)	78.54	2	1	1	194 (径>40mm)	373	232	—	長辺方向
支持構造物 A 基礎ボルト (i = 2)							12 (M12)	113.1	12	4 3	2	194 (径>40mm)	373	232	—	正面方向
支持構造物 B 基礎ボルト (i = 2)							12 (M12)	113.1	8	2 4	2	194 (径>40mm)	373	232	—	長辺方向

- 注記*1：マイタギヤボックス取付ボルト及び支持構造物 B 基礎ボルトにおける l_1 , l_2 は、上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。
支持構造物 A 基礎ボルトにおける l_1 , l_2 は、側面方向転倒に対する評価時の要目を示し、 l_3 , l_4 は正面方向転倒に対する評価時の要目を示す。
- *2：マイタギヤボックス取付ボルトにおける n_{fi} は、上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。
支持構造物 A 基礎ボルトにおける n_{fi} は、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。
支持構造物 B 基礎ボルトにおける n_{fi} は、上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

取付ボルト及び基礎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
マイタギヤボックス 取付ボルト (i = 1)	—	2.210×10 ³	—	189.6
ベアリングユニット 取付ボルト (i = 1)	—	2.193×10 ³	—	150.3
支持構造物 A 基礎ボルト (i = 2)	—	1.434×10 ³	—	184.8
支持構造物 B 基礎ボルト (i = 2)	—	2.107×10 ³	—	131.5

1.4 結論

1.4.1 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
等速ジョイント	STPG370	せん断	—	—	$\tau_p=1$	$f_s=119$
		曲げ	—	—	$\sigma_{bp}=78$	$f_b=207$
マイタギヤボックス 取付ボルト ($i=1$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=20$	$f_{ts1}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=134$
ベアリングユニット 取付ボルト ($i=1$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=28$	$f_{ts1}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=134$
支持構造物 A 基礎ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=139^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=107$
支持構造物 B 基礎ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=19$	$f_{ts2}=139^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=107$

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 動的機能の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
遠隔手動弁操作設備 (マイタギヤボックス)	水平方向	0.89	
	鉛直方向	0.88	
遠隔手動弁操作設備 (ヘリカルパワードライブ)	水平方向	0.89	
	鉛直方向	0.88	
遠隔手動弁操作設備 (等速ジョイント (伸縮機構なし))	水平方向	4.23	
	鉛直方向	4.70	
遠隔手動弁操作設備 (等速ジョイント (伸縮機構あり))	水平方向	2.01	
	鉛直方向	1.90	
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト (カップリングなし))	水平方向	3.57	
	鉛直方向	3.91	
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト (カップリングあり))	水平方向	7.43	
	鉛直方向	2.74	

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
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	0.0	0.0	0.0
2	53.8	0.0	0.0
3	107.5	0.0	0.0
4	161.3	0.0	0.0
5	215.0	0.0	0.0
6	220.5	0.0	0.0
7	226.0	0.0	0.0
8	231.5	0.0	0.0
9	237.0	0.0	0.0
10	241.5	0.0	0.0
11	246.0	0.0	0.0
12	250.5	0.0	0.0
13	255.0	0.0	0.0
14	284.3	0.0	0.0
15	313.5	0.0	0.0
16	342.8	0.0	0.0
17	372.0	0.0	0.0
18	456.0	0.0	0.0
19	540.0	0.0	0.0
20	623.9	0.0	0.0
21	707.9	0.0	0.0
22	791.9	0.0	0.0
23	875.9	0.0	0.0
24	959.8	0.0	0.0
25	1043.8	0.0	0.0
26	1127.8	0.0	0.0
27	1211.8	0.0	0.0
28	1295.7	0.0	0.0
29	1379.7	0.0	0.0
30	1463.7	0.0	0.0
31	1547.7	0.0	0.0
32	1631.6	0.0	0.0
33	1715.6	0.0	0.0
34	1799.6	0.0	0.0
35	1883.6	0.0	0.0
36	1967.5	0.0	0.0
37	2051.5	0.0	0.0
38	2135.5	0.0	0.0
39	2219.5	0.0	0.0

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
40	2303.4	0.0	0.0
41	2387.4	0.0	0.0
42	2471.4	0.0	0.0
43	2555.4	0.0	0.0
44	2639.3	0.0	0.0
45	2723.3	0.0	0.0
46	2807.3	0.0	0.0
47	2891.3	0.0	0.0
48	2975.2	0.0	0.0
49	3059.2	0.0	0.0
50	3143.2	0.0	0.0
51	3227.2	0.0	0.0
52	3311.1	0.0	0.0
53	3395.1	0.0	0.0
54	3479.1	0.0	0.0
55	3563.1	0.0	0.0
56	3647.0	0.0	0.0
57	3731.0	0.0	0.0
58	3760.3	0.0	0.0
59	3789.5	0.0	0.0
60	3818.8	0.0	0.0
61	3848.0	0.0	0.0
62	3852.5	0.0	0.0
63	3857.0	0.0	0.0
64	3861.5	0.0	0.0
65	3866.0	0.0	0.0
66	3871.5	0.0	0.0
67	3877.0	0.0	0.0
68	3882.5	0.0	0.0
69	3888.0	0.0	0.0
70	3941.8	0.0	0.0
71	3995.5	0.0	0.0
72	4049.3	0.0	0.0
73	4103.0	0.0	0.0
113	255.0	0.0	0.0
161	3848.0	0.0	0.0

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端 の節点 番号		材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1	3	4	490.9	1.92×10 ⁴	3.83×10 ⁴
2	3	5	4	490.9	1.92×10 ⁴	3.83×10 ⁴
3	5	7	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
4	7	9	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
5	9	11	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
6	11	13	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
7	113	15	2	346.4	9.55×10 ³	1.91×10 ⁴
8	15	17	2	346.4	9.55×10 ³	1.91×10 ⁴
9	17	19	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
10	19	21	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
11	21	23	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
12	23	25	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
13	25	27	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
14	27	29	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
15	29	31	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
16	31	33	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
17	33	35	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
18	35	37	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
19	37	39	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
20	39	41	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
21	41	43	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
22	43	45	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
23	45	47	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
24	47	49	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
25	49	51	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
26	51	53	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
27	53	55	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
28	55	57	1	697.0	1.67×10 ⁵	3.34×10 ⁵
29	57	59	2	346.4	9.55×10 ³	1.91×10 ⁴
30	59	161	2	346.4	9.55×10 ³	1.91×10 ⁴
31	61	63	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
32	63	65	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
33	65	67	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
34	67	69	3	829.4	4.53×10 ⁵	9.07×10 ⁵
35	69	71	4	490.9	1.92×10 ⁴	3.83×10 ⁴
36	71	73	4	490.9	1.92×10 ⁴	3.83×10 ⁴

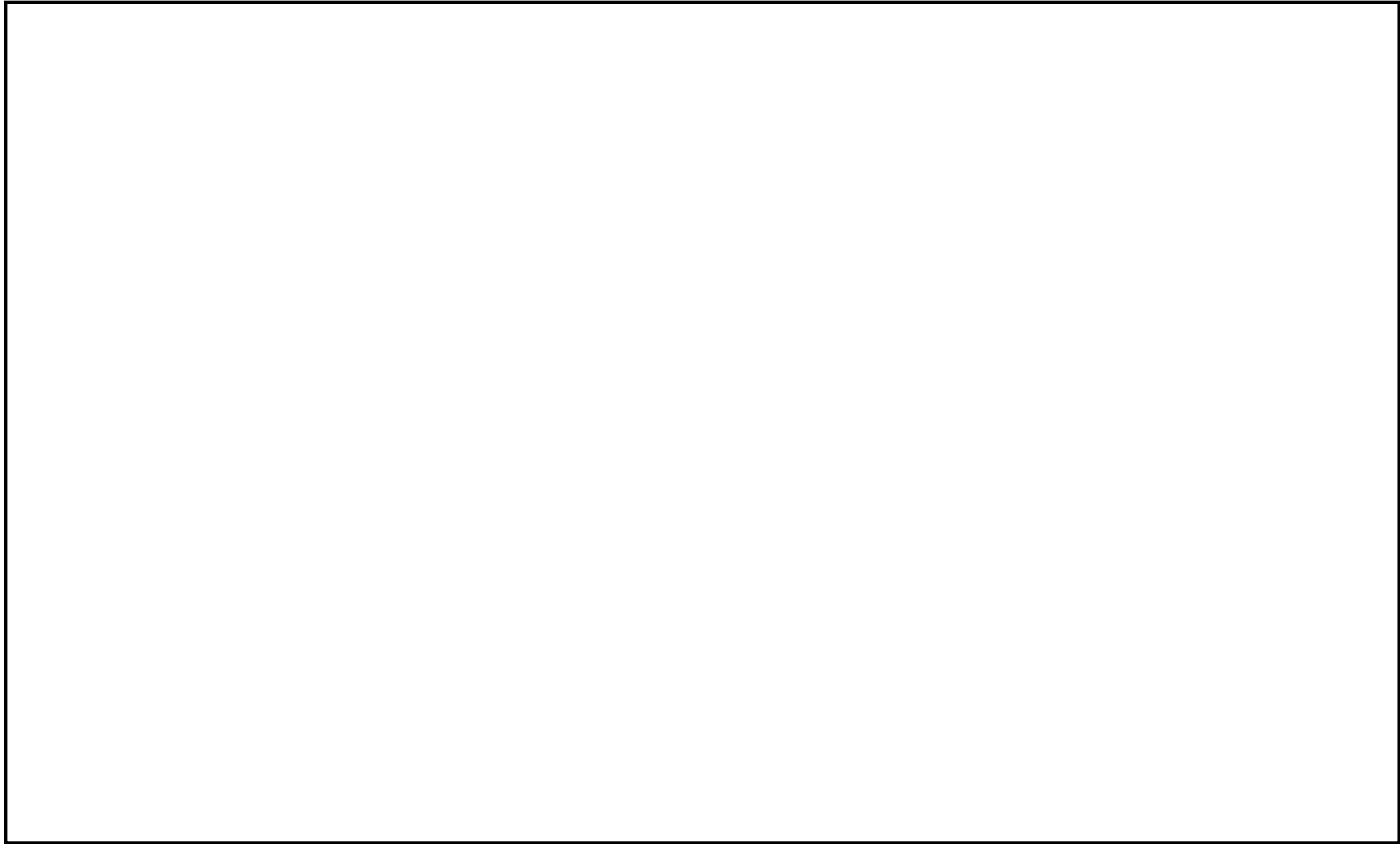
(3) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
5	4.9
69	4.9

(4) 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	100	198000	7.85×10^{-6}	0.3	STPG370
2	100	199000	7.85×10^{-6}	0.3	SCM440
3	100	199000	7.85×10^{-6}	0.3	SCM440
4	100	199000	7.85×10^{-6}	0.3	SCM440

等速ジョイント解析モデル



VI-2-9-5-4 遠隔手動弁操作設備遮蔽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. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.3 解析モデル及び諸元	13
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	15
4.6 計算方法	16
4.6.1 架台	16
4.6.2 基礎ボルト(その1,2)	18
4.6.3 基礎ボルト(その3)及び取付ボルト(その1,2)	21
4.7 計算条件	22
4.8 応力の評価	22
4.8.1 架台の応力評価	22
4.8.2 基礎ボルト及び取付ボルトの応力評価	23
5. 評価結果	24
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	24

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、遠隔手動弁操作設備遮蔽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。

遠隔手動弁操作設備遮蔽は、重大事故等対処設備においては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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

遠隔手動弁操作設備遮蔽の構造計画を表 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>遠隔手動弁操作設備遮蔽(その1,2)の遮蔽板は、取付ボルトで架台に固定され、架台は、十分剛な原子炉建屋の壁に基礎ボルトにより固定される。</p> <p>遠隔手動弁操作設備遮蔽(その3)の遮蔽板は、十分剛な原子炉建屋の壁に架台を介さず直接基礎ボルトで固定される。</p>	<p>遮蔽板 (鋼製) 架台</p>	<p>遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その1, 2, 3) (単位 mm)</p>

2.2 評価方針

遠隔手動弁操作設備遮蔽の応力評価は、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遮蔽の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震評価フローを図2-1に示す。

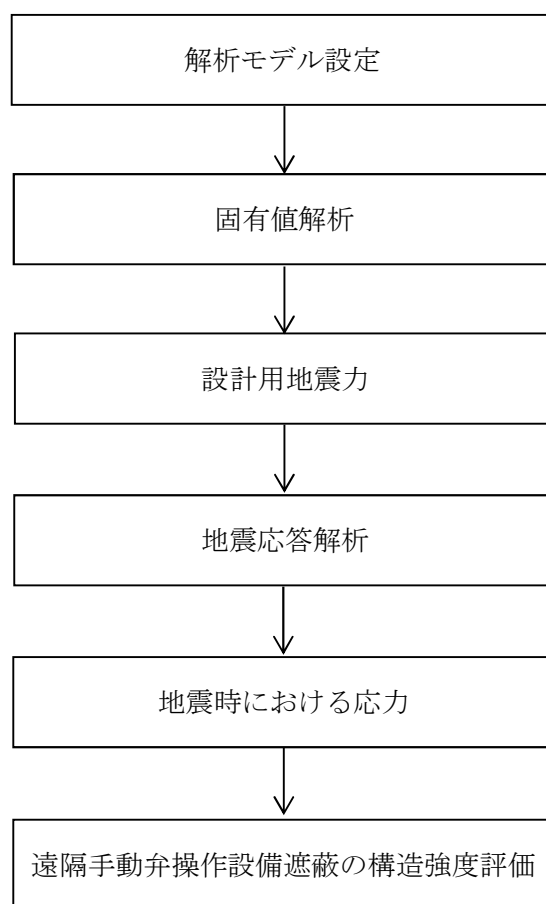


図2-1 遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震評価フロー

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	架台の断面積	mm ²
A _b	基礎ボルト又は取付ボルトの軸断面積	mm ²
A _y	架台鋼材の y 軸方向有効せん断断面積	mm ²
A _z	架台鋼材の z 軸方向有効せん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _o	基礎ボルト又は取付ボルトの呼び径	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 _b	基礎ボルト又は取付ボルトに作用する引張力	N
F _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y	架台のせん断力 (y 方向)	N
F _z	架台のせん断力 (z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルト及び取付ボルトの許容せん断 応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルト及び取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルト及び取付ボルトの 許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I _p	架台鋼材の極断面二次モーメント	mm ⁴
I _y	架台鋼材の y 軸方向断面二次モーメント	mm ⁴
I _x	架台鋼材の x 軸方向断面二次モーメント	mm ⁴
i	座標軸についての断面二次半径	mm
l _k	座屈長さ	mm
M _x	架台に作用するモーメント (x 軸周り)	N・m
M _y	架台に作用するモーメント (y 軸周り)	N・m
M _z	架台に作用するモーメント (z 軸周り)	N・m
m	遠隔手動弁操作設備遮蔽解析モデルの各節点の付加質量の 合計(系の質量)	kg
n	基礎ボルト又は取付ボルトの本数	—
P _{1max}	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

記号	記号の説明	単位
P_{2max}	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
Q_b	基礎ボルト又は取付ボルトに作用するせん断力	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
r_{max}	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの長さが最大となる値	mm
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°Cにおける値	MPa
W	各モデルにおける遮蔽板の質量	kg
X, Y, Z	絶対(節点)座標軸	—
x, y, z	局所(要素)座標軸	—
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
y_{max}	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの y 方向長さが最大となる値	mm
Z_p	架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y	架台の y 軸周り断面係数	mm ³
Z_z	架台の z 軸周り断面係数	mm ³
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
z_{max}	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの z 方向長さが最大となる値	mm
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_f	架台に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	架台に生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tb}	基礎ボルト又は取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルト又は取付ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、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に示すとおりとする。

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
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 ^{*3}	四捨五入 小数点以下第1位 ^{*2}
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・mm	有効数字5桁目 ^{*5}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4,5}
力	N	有効数字5桁目 ^{*5}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4,5}
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 ^{*6}	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2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*3：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。

*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*5：べき数表示でない場合は、小数点以下第1位表示とする。

*6：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遮蔽の耐震評価は、「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架台、取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 遠隔手動弁操作設備遮蔽の架台は、十分剛な壁及び床に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 遠隔手動弁操作設備遮蔽の質量は、架台及び遮蔽板の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、遠隔手動弁操作設備遮蔽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、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (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遮蔽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遮蔽の許容応力は、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遮蔽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	圧力逃がし装置	遠隔手動弁操作設備 遮蔽	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。)
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	遠隔手動弁操作設備 遮蔽	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／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状態を適用する。

*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	引張り	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 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	50				
架台	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
	SS400 (厚さ>40mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
取付ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

4.3 解析モデル及び諸元

遠隔手動弁操作設備遮蔽(その1, 2)の解析モデルを図4-1から図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遮蔽の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。なお、遠隔手動弁操作設備遮蔽(その3)については、遮蔽板を直接壁に固定していることから、構造上剛であるため解析モデルを用いない。

- (1) 遠隔手動弁操作設備遮蔽の架台をはり要素でモデル化する。
- (2) 解析モデル各要素の質量は、遮蔽板の質量を、取付ボルト固定点に集中荷重として付加する。
- (3) 架台は壁と床に基礎ボルトで固定され、当該箇所の拘束条件は完全固定とする。
- (4) 解析コードは「NX NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及び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、別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

- 取付ボルト固定点(遮蔽板重さ入力要素)
- 固定点 (6方向拘束)
- 鋼材重さ入力要素
- ①～⑮ 要素
- 1～15 節点

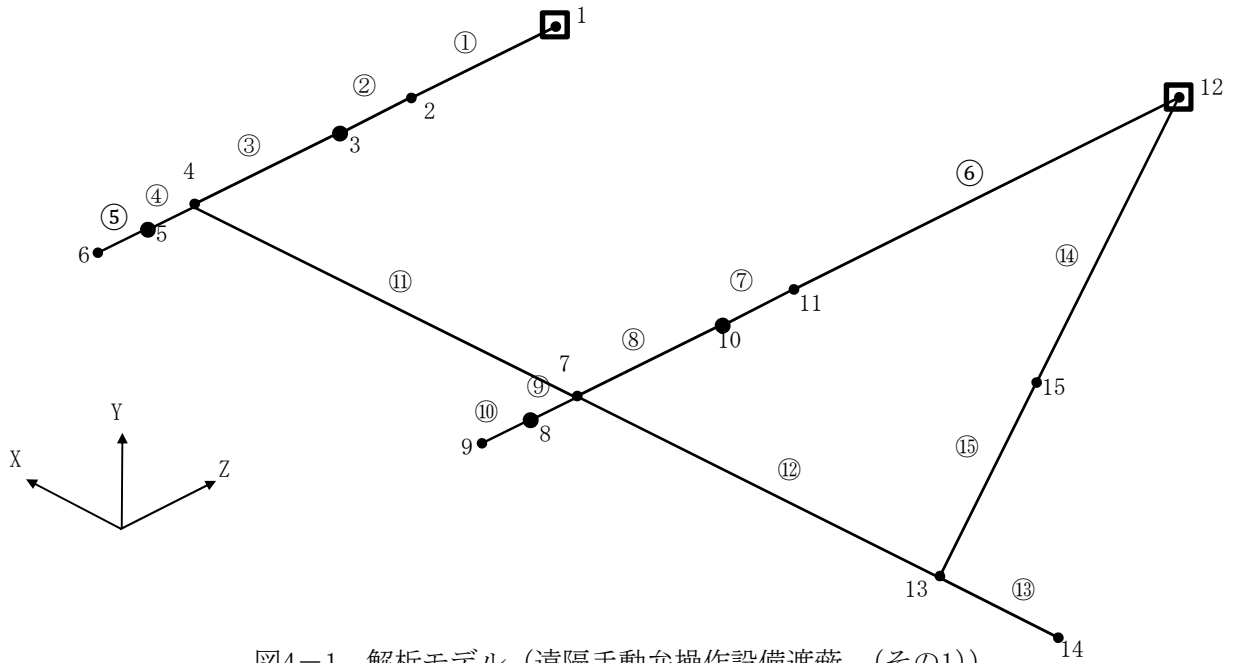


図4-1 解析モデル (遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その1))

- 取付ボルト固定点(遮蔽板重さ入力要素)
- 固定点 (6方向拘束)
- 鋼材重さ入力要素
- ①～⑥ 要素
- 1～7 節点

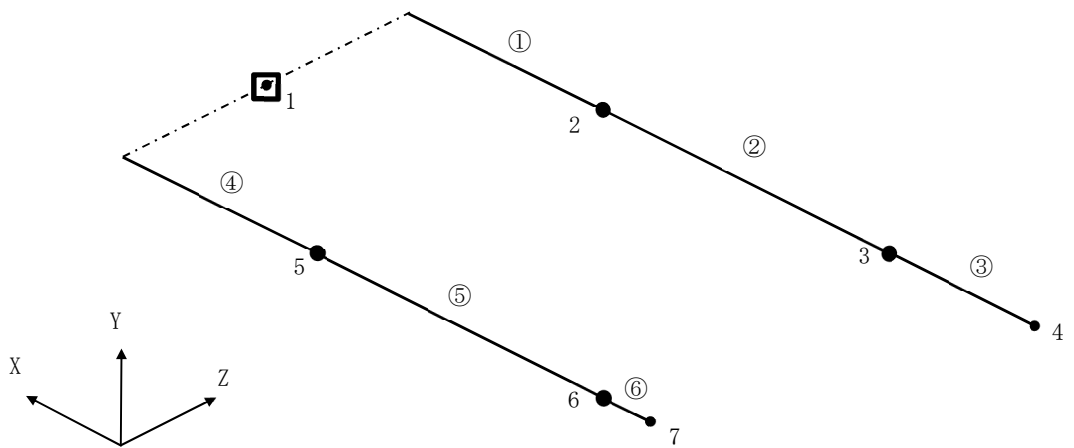


図4-2 解析モデル (遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その2))

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

遠隔手動弁操作設備遮蔽（その 3）については、構造上剛であるため省略する。

表 4-4 固有値解析結果

形状	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	
その 1	1 次	鉛直	0.020	—	—	—
	2 次	水平	0.012	—	—	—
その 2	1 次	鉛直	0.009	—	—	—
	2 次	水平	0.009	—	—	—

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「設計用床応答曲線の作成方針」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
原子炉建屋 T.M.S.L. 4.800 (T.M.S.L. 12.300*1)	0.012*2	0.020*2	—	—	C _H =1.07	C _V =1.05

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：遠隔手動弁操作設備遮蔽（その 1, 2）のうち最も大きい遠隔手動弁操作設備遮蔽（その 1）を代表で記載する。

4.6 計算方法

4.6.1 架台

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 より各応力を次のように求める。架台部の概要を図4-3に示す。また、表4-6に要素端での反力及びモーメントを示す。

(1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left\{ \left(\frac{F_y}{A_y} \right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_z} \right)^2 \right\}} + \frac{M_x}{Z_p} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3\tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

ここで、

$$\sigma_{fa} = \frac{|F_x|}{A} + \sigma_b \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

表4-6 解析で得られる要素端での反力, モーメント(架台)

形状	対象機器	要素番号	節点番号	反力 (N)			モーメント (N・m)		
				F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
その1	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	1	1	617.2	1.052 ×10 ³	781.0	132.9	190.8	373.5
		6	12	652.3	807.8	268.1	115.6	93.7	479.9
		14	12	85.2	508.8	56.7	0.3	29.4	323.6
その2	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	1	1	369.1	904.1	369.1	0.0	93.0	246.7

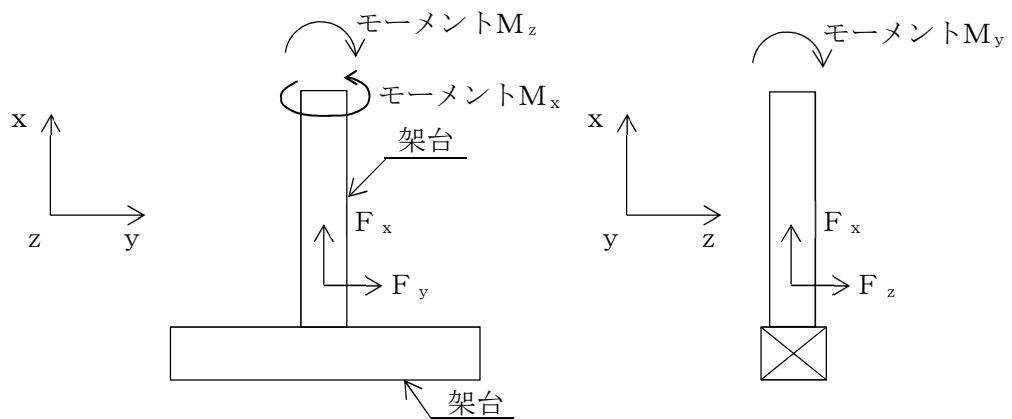


図4-3 架台部の概要

4.6.2 基礎ボルト(その1,2)

基礎ボルト(その1,2)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 から手計算により、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遮蔽の基礎ボルト部の概要を図4-4に示す。また、表4-7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(その1,2)に対する引張応力は、図4-4に示す架台の軸力 F_x とモーメント 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。

アンカープレートの中心に解析による計算で得られる軸力及び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(その1,2)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

$$F_b = \frac{|F_x|}{n} + P_{1max} + P_{2max} \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

ここで、

$$P_{1max} = M_y \cdot z_{max} / \sum_{j=1}^n z_j^2$$

$$P_{2max} = M_z \cdot y_{max} / \sum_{j=1}^n y_j^2$$

b. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

なお、 A_b は以下の式で求める。

$$A_b = d_o^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト(その 1, 2)に対するせん断応力は, 図 4-4 に示す架台の軸力 F_y , F_z とモーメント 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。

アンカープレートの中心に解析による計算で得られる軸力及び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(その 1, 2)が最大のせん断力を受ける前提として, 最大せん断力からせん断応力を計算する。

a. せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{(F_y^2 + F_z^2)}}{n} + Q_{max} \dots\dots\dots (4.6.2.4)$$

ここで,

$$Q_{max} = M_x \cdot r_{max} / \sum_{j=1}^n r_j^2$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.2.5)$$

表4-7 解析で得られる要素端での反力, モーメント(基礎ボルト)

形状	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
その1	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	623.5	788.5	1.067×10^3	132.9	373.5	190.8
その2	遠隔手動弁操作 設備遮蔽	738.3	1.658×10^3	738.3	31.2	181.2	410.5

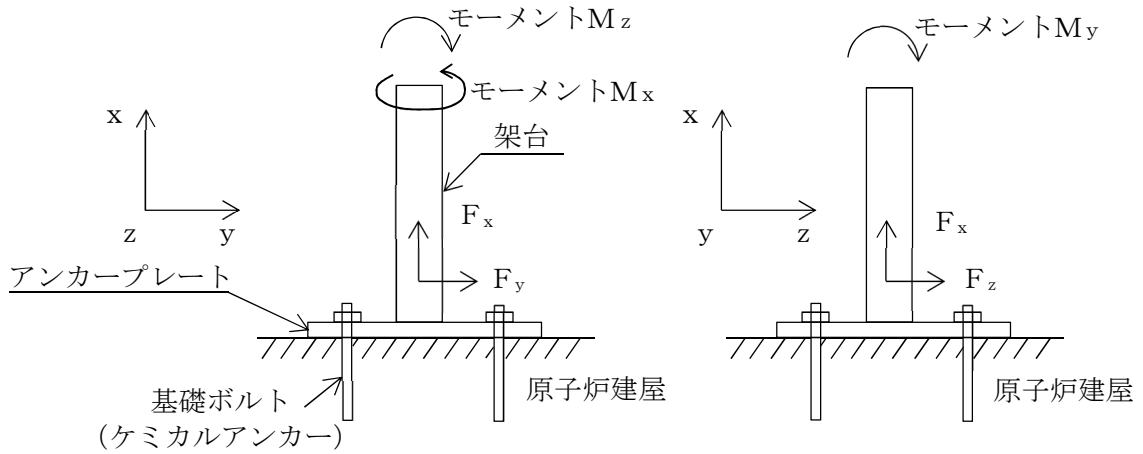


図4-4 基礎ボルト部の概要

4.6.3 基礎ボルト(その3)及び取付ボルト(その1,2)

解析モデルに含まない設備, 部品に関しては手計算で応力計算する。

基礎ボルト(その3)又は取付ボルト(その1,2)に生じる応力は, 遮蔽板にかかる加速度と遮蔽板質量の積によって求めた荷重を, 固定する全ての基礎ボルト(その3)又は取付ボルト(その1,2)で受けるものとして計算する。

なお, 各設備において地震荷重が最大となる基礎ボルト(その3)又は取付ボルト(その1,2)のみ評価を実施する。

(1) 引張応力

a. 引張力

基礎ボルト(その3)に対する引張力は水平方向の加速度によって生じる。

$$F_b = \frac{W \cdot g \cdot C_H}{n} \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

また, 取付ボルト(その1,2)は向きが異なるため, 4.6.3.1式の C_H を $C_v + 1$ に置き換えて算出する。

$$F_b = \frac{W \cdot g \cdot (C_v + 1)}{n} \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

b. 引張応力

引張応力は(4.6.2.2)式による。

(2) せん断応力

a. せん断力

基礎ボルト(その3)に対するせん断力は鉛直方向加速度と水平方向加速度の合力によって生じる。

$$Q_b = \frac{W \cdot g \cdot \sqrt{(C_v + 1)^2 + C_H^2}}{n} \dots\dots\dots (4.6.3.3)$$

また, 取付ボルト(その1,2)に対するせん断力は水平方向加速度(2方向)の合力によって生じる。

$$Q_b = \frac{W \cdot g \cdot \sqrt{2} \cdot C_H}{n} \dots\dots\dots (4.6.3.4)$$

b. せん断応力

せん断応力は(4.6.2.5)式による。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（遠隔手動弁操作設備遮蔽）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【遠隔手動弁操作設備遮蔽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 架台の応力評価

4.6.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は f_t 以下であること。

		基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t		$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$(\lambda \leq \Lambda)$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$
	$(\lambda > \Lambda)$	$0.277 \cdot F^* \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s		$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b		$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

4.8.2 基礎ボルト及び取付ボルトの応力評価

4.6.2 項及び 4.6.3 項で求めた基礎ボルト及び取付ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

	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}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 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遮蔽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。

【遠隔手動弁操作設備遮蔽(その1)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

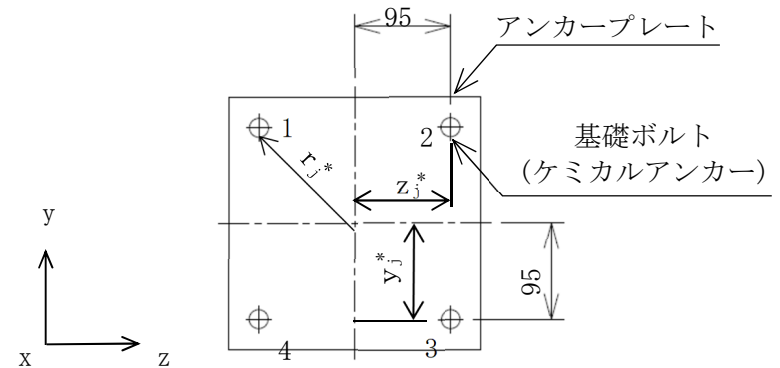
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その1)	常設/緩和	原子炉建屋 T.M.S.L. 4.800 (T.M.S.L. 12.300*)	0.012	0.020	—	—	C _H =1.07	C _V =1.05	—	50

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

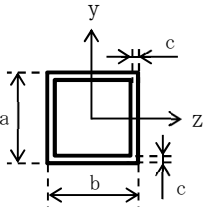
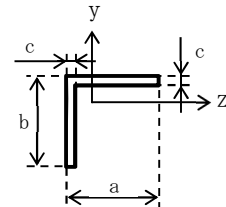
m (kg)	d _o (基礎ボルト) (mm)	A _b (基礎ボルト) (mm ²)	n (基礎ボルト) (本)	Y _{1,2,3,4} (mm)	Z _{1,2,3,4} (mm)	r _{1,2,3,4} (mm)	d _o (取付ボルト) (mm)	A _b (取付ボルト) (mm ²)	n (取付ボルト) (本)	W (kg)	遮蔽板取付 向き
	16 (M16)	201.1	4	95	95	134.4	16 (M16)	201.1	4		水平

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
架台	STKR400	234	394	234	276
	SS400 (厚さ>40mm)	211	394	211	253
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	211	394	211	253
取付ボルト	SS400 (径>40mm)	211	394	211	253



注記* : j は基礎ボルト番号を示す。

材料	E (MPa)	ν	ρ_k (mm)	i (mm)	λ
STKR400	201000	0.3	1537.0	28.5	53.9

	要素番号	
	1~10	11~15
材料	STKR400	SS400
A (mm ²)	1.217×10^3	8.727×10^2
A _y (mm ²)	513.0	300.0
A _z (mm ²)	513.0	300.0
Z _y (mm ³)	2.630×10^4	8.470×10^3
Z _z (mm ³)	2.630×10^4	8.470×10^3
Z _p (mm ³)	4.473×10^4	1.728×10^3
I _y (mm ⁴)	9.860×10^5	4.610×10^5
I _z (mm ⁴)	9.860×10^5	4.610×10^5
I _p (mm ⁴)	1.577×10^6	1.037×10^4
断面形状		
寸法 (mm)	75×75×4.5 (a×b×c)	75×75×6 (a×b×c)

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重

(単位：N)

部材	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
架台	1	1	—	617.2	—	1.052×10 ³	—	781.0
	6	12	—	652.3	—	807.8	—	268.1
	14	12	—	85.2	—	508.8	—	56.7

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 架台のモーメント

(単位：N・m)

部材	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
架台	1	1	—	132.9	—	190.8	—	373.5
	6	12	—	115.6	—	93.7	—	479.9
	14	12	—	0.3	—	29.4	—	323.6

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 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	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
基礎ボルト	1	1	—	623.5	—	788.5	—	1.067×10 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。

1.3.4 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

部材	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
基礎ボルト	1	1	—	132.9	—	373.5	—	190.8

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。

28

1.3.5 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素 番号	節点 番号	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	1	—	6.564×10 ³	—	2.310×10 ³

1.3.6 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素 番号	節点 番号	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
取付ボルト	—	—	—	443.3	—	327.3

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	鉛直	0.020

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	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
架台	STKR400	引張り	6	12	—	—	$\sigma_t = 1$	$f_t = 276$
		圧縮	6	12	—	—	$\sigma_c = 1^{*1}$	$f_c = 225$
		せん断	1	1	—	—	$\tau = 6$	$f_s = 159$
	SS400	曲げ	14	12	—	—	$\sigma_b = 42$	$f_b = 253$
		組合せ	14	12	—	—	$\sigma_f = 42$	$f_t = 253$
基礎ボルト	SS400	引張り	1	1	—	—	$\sigma_{tb} = 9$	$f_{ts} = 152^{*2}$
		せん断	1	1	—	—	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 117$
取付ボルト	SS400	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{tb} = 3$	$f_{ts} = 190^{*2}$
		せん断	—	—	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*1：絶対値を記載

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

【遠隔手動弁操作設備遮蔽(その2)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

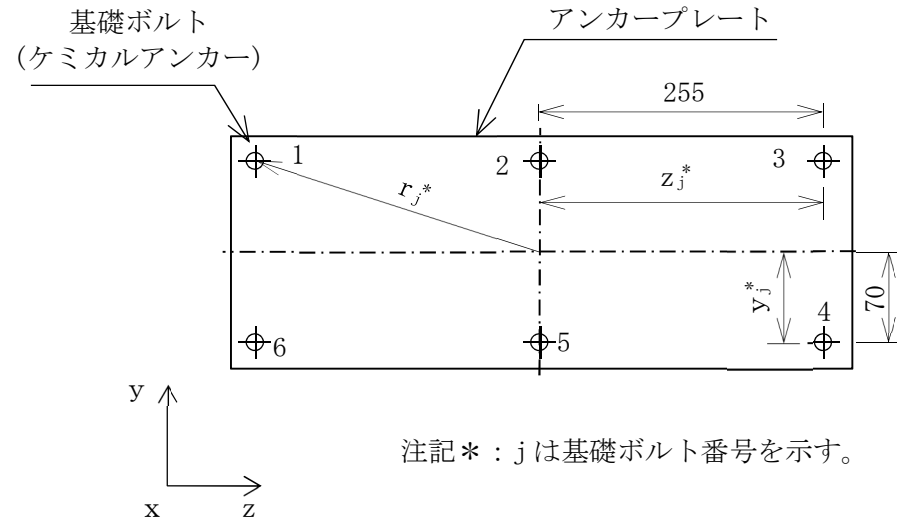
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その2)	常設/緩和	原子炉建屋 T.M.S.L. 4.800 (T.M.S.L. 12.300*)	0.009	0.009	—	—	C _H =1.07	C _V =1.05	—	50

注記* : 基準床レベルを示す。

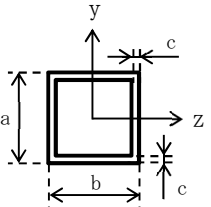
1.2 機器要目

m (kg)	d _o (基礎ボルト) (mm)	A _b (基礎ボルト) (mm ²)	n (基礎ボルト) (本)	y _{1,2,3,4,5,6} (mm)	z _{1,3,4,6} (mm)	z _{2,5} (mm)	r _{1,3,4,6} (mm)	r _{2,5} (mm)	d _o (取付ボルト) (mm)	A _b (取付ボルト) (mm ²)	n (取付ボルト) (本)	W (kg)	遮蔽板取付 向き
	16 (M16)	201.1	6	70	255	0	264.4	70	16 (M16)	201.1	4		水平

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
架台	STKR400	234	394	234	276
基礎ボルト	SS400	211 (径>40mm)	394	211	253
取付ボルト	SS400	211 (径>40mm)	394	211	253



材料	E (MPa)	ν	ϱ_k (mm)	i (mm)	λ
STKR400	201000	0.3	1324.7	28.5	46.5

	要素番号
	1~6
材料	STKR400
A (mm ²)	1.217×10^3
A _y (mm ²)	513.0
A _z (mm ²)	513.0
Z _y (mm ³)	2.630×10^4
Z _z (mm ³)	2.630×10^4
Z _p (mm ³)	4.473×10^4
I _y (mm ⁴)	9.860×10^5
I _z (mm ⁴)	9.860×10^5
I _p (mm ⁴)	1.577×10^6
断面形状	
寸法 (mm)	75×75×4.5 (a×b×c)

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重

(単位：N)

部材	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
架台	1	1	—	369.1	—	904.1	—	369.1

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 架台のモーメント

(単位：N・m)

部材	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
架台	1	1	—	0.0	—	93.0	—	246.7

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 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	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
基礎ボルト	1	1	—	738.3	—	1.658×10 ³	—	738.3

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。

1.3.4 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

部材	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
基礎ボルト	1	1	—	31.2	—	181.2	—	410.5

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。

1.3.5 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素 番号	節点 番号	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	1	—	1.432×10 ³	—	1.832×10 ³

1.3.6 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	要素 番号	節点 番号	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
取付ボルト	—	—	—	305.1	—	225.2

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	鉛直	0.009

1.4.2 応力

(単位 : MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	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
架台	STKR400	引張り	1	1	—	—	$\sigma_t = 1$	$f_t = 276$
		圧縮	1	1	—	—	$\sigma_c = 1^{*1}$	$f_c = 237$
		せん断	1	1	—	—	$\tau = 2$	$f_s = 159$
		曲げ	1	1	—	—	$\sigma_b = 13$	$f_b = 276$
		組合せ	1	1	—	—	$\sigma_f = 14$	$f_t = 276$
基礎ボルト	SS400	引張り	1	1	—	—	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 152^{*2}$
		せん断	1	1	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 117$
取付ボルト	SS400	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{tb} = 2$	$f_{ts} = 190^{*2}$
		せん断	—	—	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*1 : 絶対値を記載

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

【遠隔手動弁操作設備遮蔽(その3)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		
遠隔手動弁操作設備遮蔽 (その3)	常設/緩和	原子炉建屋 T.M.S.L. 4.800 (T.M.S.L. 12.300*)	0.050 以下	0.050 以下	—	—	C _H =1.07	C _V =1.05	—	50

注記*: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

d _o (基礎ボルト) (mm)	A _b (基礎ボルト) (mm ²)	n(基礎ボルト) (本)	W (kg)	遮蔽板取付 向き
16 (M16)	201.1	4		鉛直

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	211 (径>40mm)	394	211	253

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	要素 番号	節点 番号	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	—	—	—	157.2	—	339.6

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	—	0.050 以下

1.4.2 応力 (単位 : MPa)

部材	材料	応力	要素 番号	節点 番号	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	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{tb} = 1$	$f_{ts} = 152^{*1}$
		せん断	—	—	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 117$

すべて許容応力以下である。

注記*1 : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-9-5-5 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要·····	1
------------	---

1. 概要

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」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、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

(1) 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（大型）

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置のうち、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（大型）の評価結果を、本計算書に記載する。

(2) 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（小型）

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置のうち、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（小型）の評価結果を、本計算書に記載する。

本計算書は、以下の構成で燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の評価結果を示す。

- (1) 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（大型）の耐震性についての計算書
- (2) 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（小型）の耐震性についての計算書

- (1) 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（大型）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. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.1.1 扉の構造強度評価方法	8
4.1.2 支持部材の構造強度評価方法	8
4.1.3 駆動部の構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	17
4.6.1 応力の計算方法	17
4.6.2 荷重の計算方法	23
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
4.8.1 扉及び支持部材の応力評価	24
4.8.2 取付ボルトの応力評価	24
4.9 荷重の評価	24
4.9.1 チェーンの荷重評価	24
5. 機能維持評価	25
5.1 機能維持評価用加速度	25
5.2 機能確認済加速度	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
7. 引用文献	27

1. 概要

本計算書は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」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、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（大型）（以下「オペフロBOP閉止装置（大型）」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。


オペフロBOP閉止装置（大型）は、重大事故等対処設備においては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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

オペフロBOP閉止装置（大型）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>オペフロ BOP 閉止装置（大型）は、原子炉建屋外壁面に設置しており、扉枠は、据付ボルトにより原子炉建屋の壁に固定される。扉は吊具を介して扉枠に支持される。</p>	<p>オペフロ BOP 閉止装置（大型）は、扉、扉枠（扉を移動させるためのレールを含む）、ローラ、扉を駆動する電動機（チェーンを含む）及び門から構成される。</p>	

2.2 評価方針

オペフロBOP閉止装置（大型）の応力評価は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、「2.1 構造計画」にて示すオペフロBOP閉止装置（大型）の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、オペフロBOP閉止装置（大型）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動的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。オペフロBOP閉止装置（大型）の構造強度評価フローを図2-1に、機能維持評価フローを図2-2に示す。

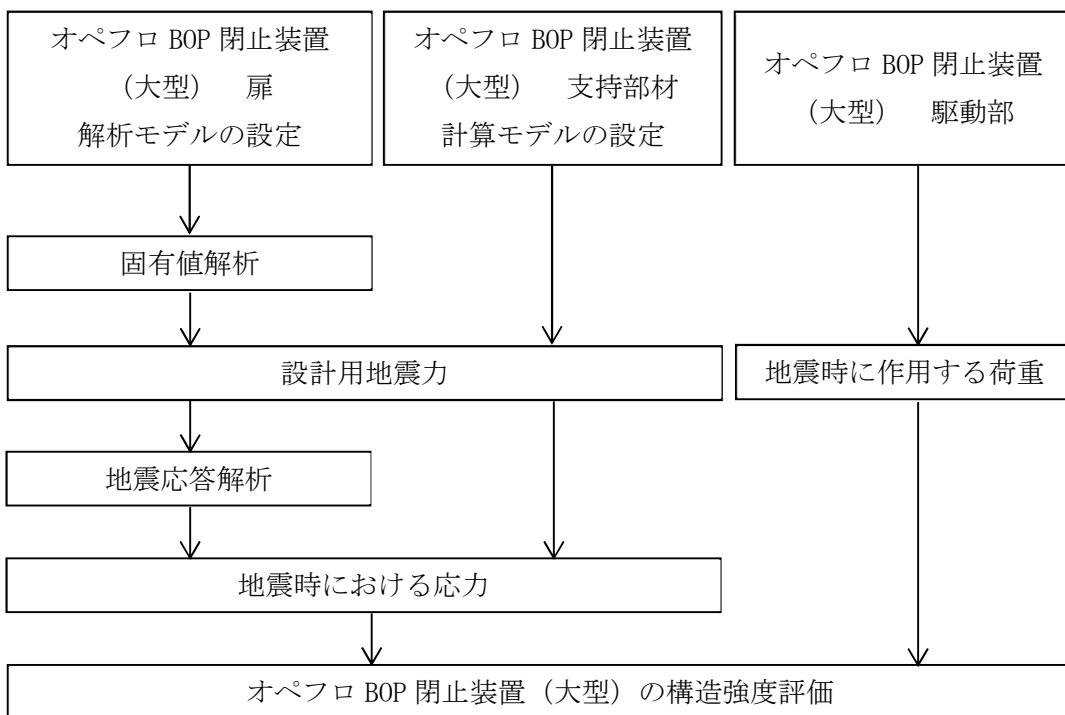


図2-1 オペフロBOP閉止装置（大型）の構造強度評価フロー

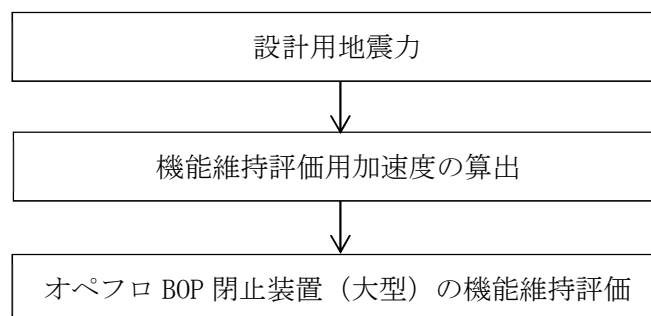


図2-2 オペフロBOP閉止装置（大型）の機能維持評価フロー

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_G	ガイドレールの断面積	mm^2
A_L	チェーンの許容荷重	N
A	扉部材の断面積	mm^2
E	扉の縦弾性係数	MPa
C_{H1}	オペフロBOP閉止装置（大型）の面外方向設計震度	—
C_{H2}	オペフロBOP閉止装置（大型）の面内方向設計震度	—
C_V	オペフロBOP閉止装置（大型）の鉛直方向設計震度	—
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_G	ガイドレールに作用する力	N
F_C	チェーンに作用する力	N
F_x	扉部材に作用する力（x方向）	N
F_y	扉部材に作用する力（y方向）	N
F_z	扉部材に作用する力（z方向）	N
f_s	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
L_G	ガイドレールの長さ	mm
m	扉の質量	kg
M_G	ガイドレールに作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_x	扉部材に作用するモーメント（x軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y	扉部材に作用するモーメント（y軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_z	扉部材に作用するモーメント（z軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
P	圧力条件	Pa
Q_G	ガイドレールに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
T	温度条件	℃
Z_G	ガイドレールの断面係数	mm^3
Z_x	扉部材のねじり断面係数	mm^3
Z_y	扉部材のy軸周り断面係数	mm^3
Z_z	扉部材のz軸周り断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
σ_{cG}	ガイドレールに生じる組合せ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tG}	ガイドレールに生じる引張応力	MPa
σ_c	扉部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_t	扉部材に生じる引張応力	MPa
σ_x	扉部材に生じる引張応力 (x 方向)	MPa
σ_y	扉部材に生じる引張応力 (y 方向)	MPa
σ_z	扉部材に生じる引張応力 (z 方向)	MPa
τ_G	ガイドレールに生じるせん断応力	MPa
τ	扉部材に生じるせん断応力	MPa
τ_x	扉部材に生じるせん断応力 (x 方向)	MPa
τ_y	扉部材に生じるせん断応力 (y 方向)	MPa
τ_z	扉部材に生じるせん断応力 (z 方向)	MPa

注：記号右端添字に G が付くものは、ガイドレール評価用を代表で示したものであり、テーパブロッック評価用については $G \rightarrow U_T$ ，門ピン評価用については $G \rightarrow P$ ，ハンガーレール評価用については $G \rightarrow H$ に置き換えるものとする。

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に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	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}
断面係数	mm ³	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}
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}
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位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

オペフロBOP閉止装置（大型）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、扉開状態及び扉閉状態それぞれの場合において、耐震評価上厳しくなる扉部材、面外方向支持部材のうちガイドレール及びテーパブロック、面内方向支持部材のうち門ピン、鉛直方向支持部材のうちハンガーレール、及び駆動部のうちチェーンについて実施する。

評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

「3. 評価部位」にて設定した各評価部材の構造強度評価方法を以下に示す。なお、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.1 扉の構造強度評価方法

- (1) 扉は吊具、門及びローラ等により支持される構造であるため、その構造に応じた方向の変位を拘束するものとする。
- (2) 地震力は扉に対して面外方向、面内方向及び鉛直方向の3方向から作用するものとし、強度評価において組み合わせるものとする。
- (3) 扉閉状態において圧力は、扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし、評価において4辺を面外方向に拘束するものとする。また、強度評価において地震力と組み合わせるものとする。

4.1.2 支持部材の構造強度評価方法

- (1) ガイドレール
 - a. 扉からの地震荷重は、面外方向に作用するものとする。
 - b. ガイドレールの構造強度評価は、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルを適用する。
- (2) テーパブロック
 - a. 扉からの地震荷重及び圧力は、面外方向に作用するものとする。
 - b. テーパブロックの構造強度評価は、取付ボルトのせん断応力を評価する。
- (3) 門ピン
 - a. 扉からの地震荷重は、面内方向に作用するものとする。
 - b. 門ピンの構造強度評価は、集中荷重が中央に作用する両端支持梁モデルを適用する。
- (4) ハンガーレール
 - a. 扉からの地震荷重は、鉛直方向に作用するものとする。
 - b. ハンガーレールの構造強度評価は、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルを適用する。

4.1.3 駆動部の構造強度評価方法

チェーンに作用する荷重は、門により制限される変位の最大値である [] の変位（チェーンの伸び []）を想定して設定した値とする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

オペフロ BOP 閉止装置（大型）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

オペフロ BOP 閉止装置（大型）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

オペフロ BOP 閉止装置（大型）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（扉開状態）及び表 4-4（扉閉状態）に示す。また、許容荷重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 4-5 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	放射性物質濃度 制御設備	オペフロ BOP 閉止装置 (大型)	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S*3
					$D + P_D + M_D + S_s$	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：閘ピンについては、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

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 (ボルト等以外)			許容限界*1, *2 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	引張り	せん断	組合せ	せん断
Ⅲ _A S*3	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	—
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	—
V _A S (V _A Sとして, Ⅳ _A Sの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：門ピンについては，基準地震動S_sにより定まる地震力が作用した後においても，扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

表4-3 扉開状態における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)
扉部材	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ガイドレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ハンガーレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表 4-4 扉閉状態における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)
扉部材	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
テーパブロック 取付ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ハンガーレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表4-5 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		許容荷重 (N)
		周囲環境温度	50	
チェーン		周囲環境温度	50	*

注記*：設計・建設規格 SSB-3200 に基づき，荷重試験により求めた支持構造物の許容荷重

4.3 解析モデル及び諸元

オペフロ BOP 閉止装置（大型）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【オペフロ BOP 閉止装置（大型）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) オペフロ BOP 閉止装置（大型）の耐震計算に用いる解析モデルは、はり要素及びシェル要素を用いた有限要素モデルとする。はり要素及びシェル要素は板厚中心位置でモデル化する。
- (2) 質量は、扉を構成する部材の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件は、吊具、門及びローラ部の並進方向拘束とする。
- (4) 計算機コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

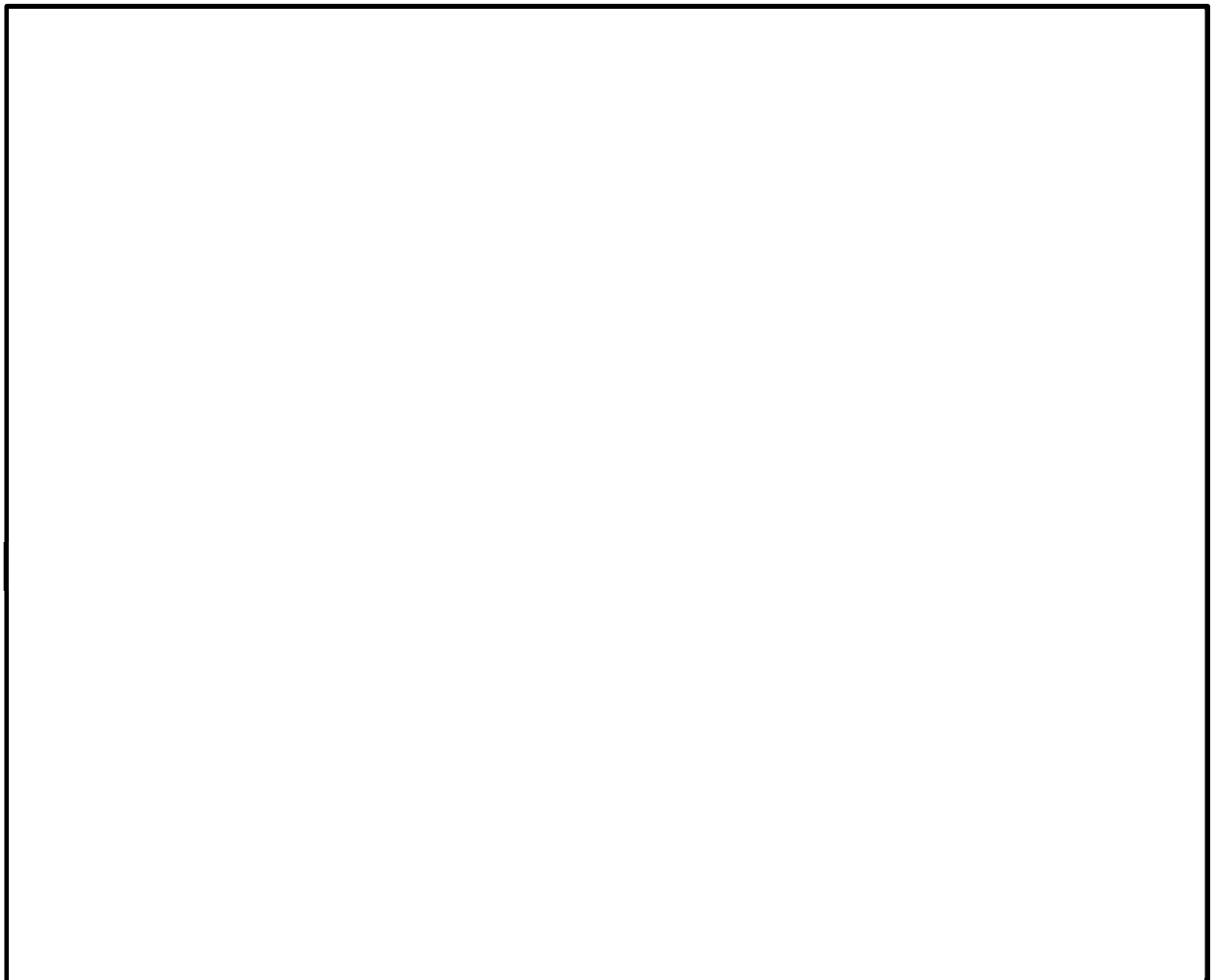


図 4-1 解析モデル

4.4 固有周期

扉開状態における固有値解析結果を表 4-6 に、扉閉状態における固有値解析結果を表 4-7 に、振動モード図を図 4-2 に示す。扉開状態及び扉閉状態において、面内方向及び鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-6 扉開状態の固有値解析結果

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*
			面外方向	面内方向	
1次	面外	0.057	0.946	0.000	0.000
2次	面外	0.045	—	—	—

注記*：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。

表4-7 扉閉状態の固有値解析結果

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*
			面外方向	面内方向	
1次	面外	0.056	-0.978	0.000	0.000
2次	面外	0.046	—	—	—

注記*：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 4-2 振動モード図

4.5 設計用地震力

扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-8 に、扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-9 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「設計用床応答曲線の作成方針」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 4-8 扉閉状態の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. <input type="text"/>					
固有周期(s)		面外：0.057* ¹ 面内：0.05 以下 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		<input type="text"/>					
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	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ²		応答鉛直震度* ²
		面外方向	面内方向		面外方向	面内方向	
1次	0.057	—	—	—	<input type="text"/>	—	—
2次	0.045	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ³		—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：1次固有周期について記載

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

*3：S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-9 扉閉状態の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. <input type="text"/>					
固有周期(s)		面外：0.056* ¹ 面内：0.05 以下 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		<input type="text"/>					
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	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ²		応答鉛直震度* ²
		面外方向	面内方向		面外方向	面内方向	
1次	0.056	—	—	—	<input type="text"/>	—	—
2次	0.046	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ³		—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：1次固有周期について記載

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

*3：S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) 扉の計算方法

a. 扉部材

扉部材に加わる荷重は、解析による計算で得られる値を使用し、応力を図 4-3 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_x , F_y , F_z , モーメント力 M_x , M_y , M_z とする。ただし、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。応力は、「7. 引用文献」より、下記の計算式にて求める。

(a) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

(b) 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(c) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

扉部材の最大応力発生部位を図4-1の (a) 及び (b) に示す。

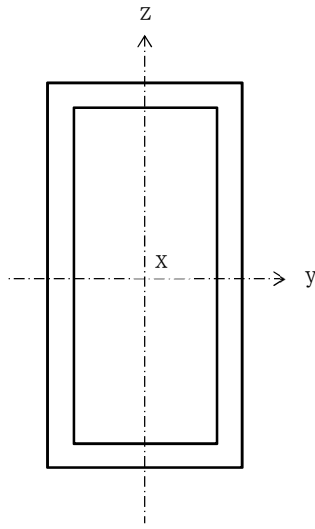


図4-3 (1) 外梁の部材断面 (扉開状態)

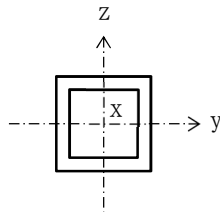


図4-3 (2) 内梁の部材断面 (扉閉状態)

(2) 支持部材の計算方法

a. ガイドレール

ガイドレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ガイドレールに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-4に示すとおり、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルとする。

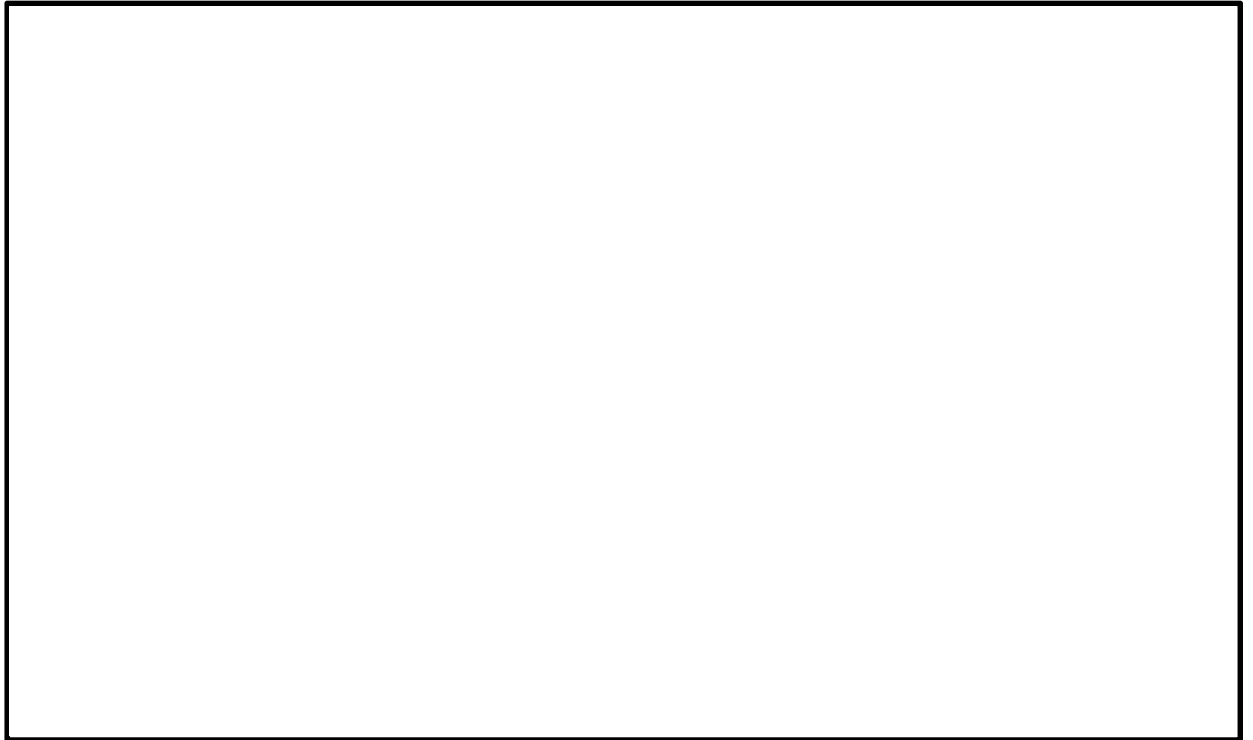


図4-4 ガイドレール計算モデル

(a) 引張応力

ガイドレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_G = F_G \cdot L_G \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 6)$$

ガイドレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tG} = \frac{M_G}{Z_G} \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 7)$$

(b) せん断応力

ガイドレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_G = F_G \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 8)$$

ガイドレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_G = \frac{Q_G}{A_G} \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 9)$$

(c) 組合せ応力

ガイドレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cG} = \sqrt{\sigma_{tG}^2 + 3 \cdot \tau_{G}^2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 10)$$

b. テーパブロック取付ボルト

テーパブロック取付ボルトに作用する荷重によるせん断力を算出し、ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-5に示すとおりとする。

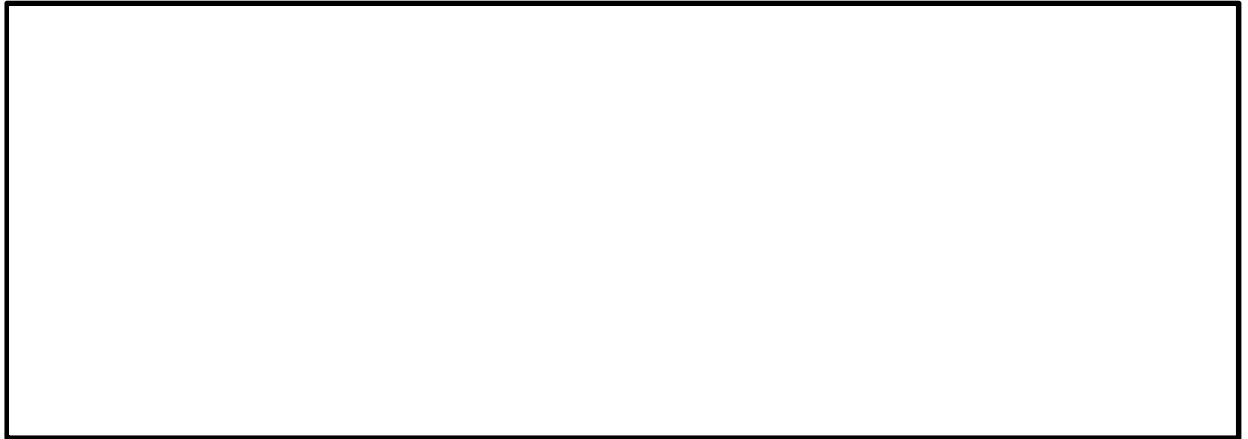


図4-5 テーパブロック取付ボルト計算モデル

(a) せん断応力

テーパブロック取付ボルトに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{UT} = F_{UT} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 11)$$

テーパブロック取付ボルトに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{UT} = \frac{Q_{UT}}{A_{UT}} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 12)$$

c. 門ピン

門ピンに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、門ピンに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-6に示すとおり、集中荷重が中央に作用する両端支持梁モデルとする。



図4-6 門ピン計算モデル

(a) 引張応力

門ピンに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_P = \frac{F_P \cdot L_P}{4} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 13)$$

門ピンに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tP} = \frac{M_P}{Z_P} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 14)$$

(b) せん断応力

門ピンに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_P = \frac{F_P}{2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 15)$$

門ピンに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_P = \frac{Q_P}{A_P} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 16)$$

(c) 組合せ応力

門ピンに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cP} = \sqrt{\sigma_{tP}^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 17)$$

d. ハンガーレール

ハンガーレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ハンガーレールに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-7に示すとおり、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルとする。



図4-7 ハンガーレール計算モデル

(a) 引張応力

ハンガーレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_H = F_H \cdot L_H \quad \dots \quad (4. 6. 1. 18)$$

ハンガーレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tH} = \frac{M_H}{Z_H} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 19)$$

(b) せん断応力

ハンガーレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_H = F_H \quad \dots \quad (4. 6. 1. 20)$$

ハンガーレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_H = \frac{Q_H}{A_H} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 21)$$

(c) 組合せ応力

ハンガーレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cH} = \sqrt{\sigma_{tH}^2 + 3 \cdot \tau_H^2} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 22)$$

4.6.2 荷重の計算方法

(1) 駆動部の計算方法

a. チェーン

駆動部はチェーン張力を用いて荷重を計算する。図4-8に示すとおり，チェーンの引張り試験により得られた荷重－変位曲線に基づき，設計・建設規格 SSB-3200の規定に従って許容荷重を算定するとともに，チェーンの変位 に相当する荷重を強度評価用の荷重に設定する。

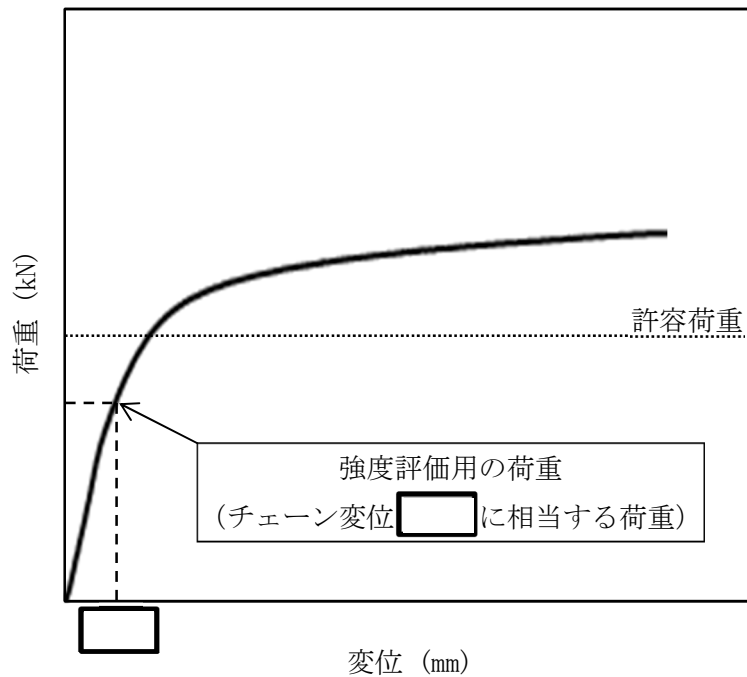


図 4-8 チェーンの引張り試験により得られた荷重－変位曲線

4.7 計算条件

応力計算に用いる自重（扉）及び荷重（地震荷重及び圧力）は、本計算書の【オペフロ BOP 閉止装置（大型）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 扉及び支持部材の応力評価

4.6.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S _s による 荷重との組合せの場合*
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

注記*：門ピンについては、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後に
おいても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を
Ⅲ_AS とする。

4.8.2 取付ボルトの応力評価

4.6.1 項で求めた取付ボルトのせん断応力が、せん断力のみを受ける許容せん断応力
 f_{sb} 以下であること。

ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S _s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.9 荷重の評価

4.9.1 チェーンの荷重評価

4.6.2 項にて設定したチェーンに作用する荷重が許容荷重以下であること。

ただし、許容荷重は設計・建設規格 SSB-3200 の規定による。

5. 機能維持評価

オペフロ BOP 閉止装置（大型）の動的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価用加速度

オペフロBOP閉止装置（大型）は原子炉建屋に直接取り付けられることから、機能維持評価用加速度は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の地震応答解析で評価した、オペフロBOP閉止装置（大型）取付部の頂部位置に生じる加速度とする。機能維持評価用加速度を表5-1に示す。

表5-1 機能維持評価用加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持 評価用加速度
オペフロ BOP 閉止装置 (大型)	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="checkbox"/>	面外	<input type="checkbox"/>
		面内	<input type="checkbox"/>
		鉛直	<input type="checkbox"/>

注記*：基準床レベルを示す。

5.2 機能確認済加速度

オペフロBOP閉止装置（大型）の機能確認済加速度には、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示す、柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによる加振試験時に、オペフロBOP閉止装置の作動性及び気密性を保持できることを確認した最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表5-2に示す。

表5-2 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
オペフロ BOP 閉止装置 (大型)	面外	<input type="checkbox"/>
	面内	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

オペフロBOP閉止装置（大型）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

引用文献を以下に示す。

- ・ 機械工学便覧（改訂第6版）（日本機械学会編 1987年4月）（(社)日本機械学会）

【オペフロ BOP 閉止装置（大型）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

1.1.1 扉開状態の設計条件

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)
			面外方向	面内方向	鉛直方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
オペフロ BOP 閉止装置 (大型)	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/>	0.057	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.1.2 扉閉状態の設計条件

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)
			面外方向	面内方向	鉛直方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
オペフロ BOP 閉止装置 (大型)	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/>	0.056	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

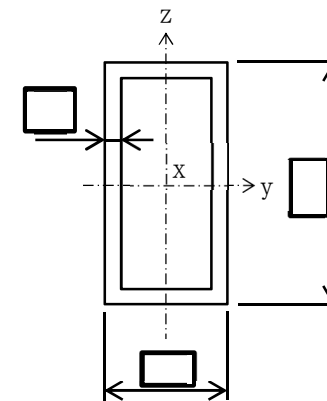
1.2 機器要目

1.2.1 扉部材

(1) 扉開状態

m (kg)	A (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)
□	□	□	□	□

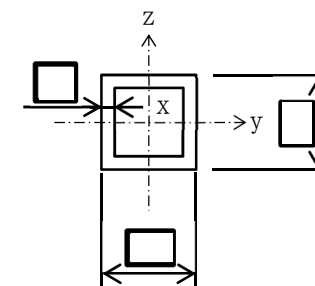
材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
□	□	□	□	—	□	□	□



(2) 扉閉状態

m (kg)	A (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)	P (Pa)
□	□	□	□	□	□

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
□	□	□	□	□	□	□	□

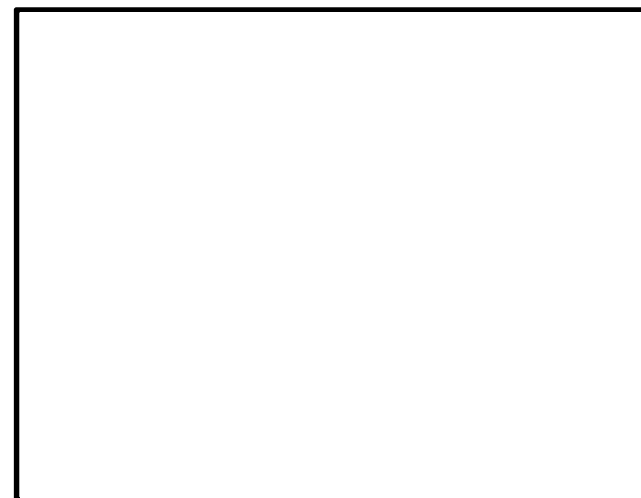


1.2.2 ガイドレール（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

L_G (mm)	A_G (mm ²)	Z_G (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□



1.2.3 テーパーブロック取付ボルト（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

A_{UT} (mm ²)
□

P (Pa)
□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□



1.2.4 門ピン

(1) 扉開状態

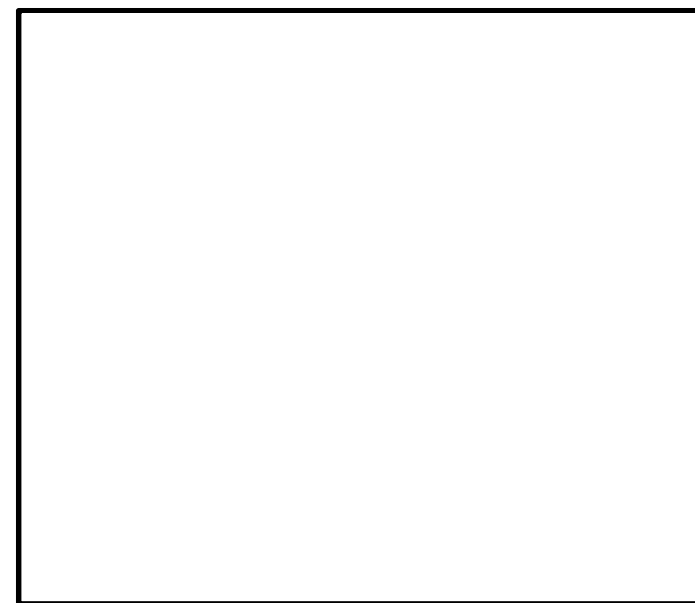
L _P (mm)	A _P (mm ²)	Z _P (mm ³)
□	□	□

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
□	□	□	□	□	—

(2) 扉閉状態

L _P (mm)	A _P (mm ²)	Z _P (mm ³)
□	□	□

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
□	□	□	□	□	—



1.2.5 ハンガーレール

(1) 扉開状態

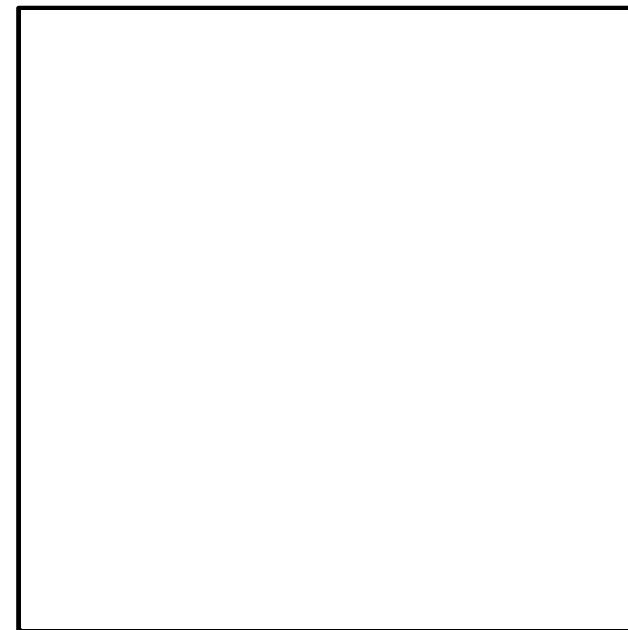
L_H (mm)	A_H (mm ²)	Z_H (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□

(2) 扉閉状態

L_H (mm)	A_H (mm ²)	Z_H (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□



1.2.6 チェーン

A_L (N)
□

1.3 計算数値

1.3.1 扉部材の荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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。

(2) 扉閉状態

(単位：N)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 扉部材のモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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。

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 ガイドレールの荷重（扉開状態のみ）

(1) 扉開状態

(単位：N)

F_G		Q_G	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.4 ガイドレールのモーメント（扉開状態のみ）

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_G	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>

1.3.5 テーパブロック取付ボルトの荷重（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

(単位：N)

F _{UT}		Q _{UT}	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.6 門ピンの荷重

(1) 扉閉状態

(単位：N)

F _P		Q _P	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F _P		Q _P	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.7 門ピンのモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_P	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 15px;" type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M_P	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 15px;" type="text"/>

1.3.8 ハンガーレールの荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

F_H		Q_H	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F_H		Q_H	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.9 ハンガーレールのモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 15px;" type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 15px;" type="text"/>

1.3.10 チェーンの荷重

(単位：N)

F_c
<input style="width: 50px; height: 15px;" type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(1) 扉開状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.057
2次	面外	0.045

(2) 扉閉状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.056
2次	面外	0.046

1.4.2 応力
(1) 扉開状態

(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
扉部材	□	引張り	—	—	$\sigma_t=56$	□
		せん断	—	—	$\tau=1$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_c=56$	□
ガイドレール	□	引張り	—	—	$\sigma_{tG}=38$	□
		せん断	—	—	$\tau_G=2$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cG}=38$	□
門ピン	□	引張り	—	—	$\sigma_{tP}=69$	□
		せん断	—	—	$\tau_P=7$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP}=70$	□
ハンガーレール	□	引張り	—	—	$\sigma_{tH}=60$	□
		せん断	—	—	$\tau_H=4$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH}=60$	□

すべて許容応力以下である。

(2) 扉閉状態

(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
扉部材		引張り	—	—	$\sigma_t = 52$	
		せん断	—	—	$\tau = 2$	
		組合せ	—	—	$\sigma_c = 52$	
テーパーブロック 取付ボルト		せん断	—	—	$\tau_{UT} = 19$	
門ピン		引張り	—	—	$\sigma_{tP} = 69$	
		せん断	—	—	$\tau_P = 7$	
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP} = 70$	
ハンガーレール		引張り	—	—	$\sigma_{tH} = 60$	
		せん断	—	—	$\tau_H = 4$	
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH} = 60$	

すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	チェーンに作用する力	チェーンの許容荷重
チェーン	<input type="text"/>	引張荷重	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容荷重以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
オペフロ BOP 閉止装置 (大型)	面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

- (2) 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（小型）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. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.1.1 扉の構造強度評価方法	8
4.1.2 支持部材の構造強度評価方法	8
4.1.3 駆動部の構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	17
4.6.1 応力の計算方法	17
4.6.2 荷重の計算方法	23
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
4.8.1 扉及び支持部材の応力評価	24
4.8.2 取付ボルトの応力評価	24
4.9 荷重の評価	24
4.9.1 チェーンの荷重評価	24
5. 機能維持評価	25
5.1 機能維持評価用加速度	25
5.2 機能確認済加速度	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
7. 引用文献	27

1. 概要

本計算書は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」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、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（小型）（以下「オペフロBOP閉止装置（小型）」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

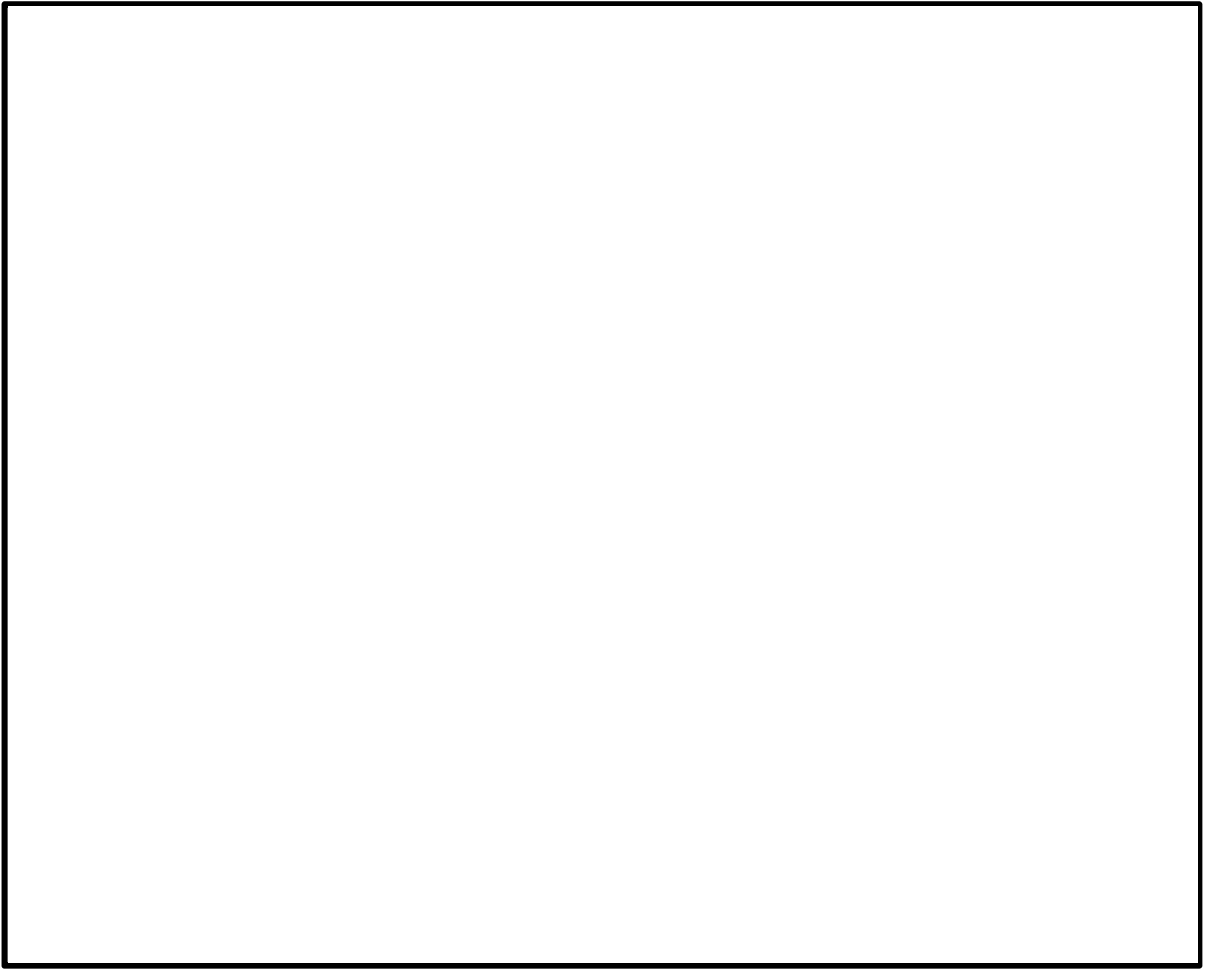
オペフロBOP閉止装置（小型）は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

オペフロBOP閉止装置（小型）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>オペフロ BOP 閉止装置（小型）は、原子炉建屋外壁面に設置しており、扉枠は、据付ボルトにより原子炉建屋の壁に固定される。扉は吊具を介して扉枠に支持される。</p>	<p>オペフロ BOP 閉止装置（小型）は、扉、扉枠（扉を移動させるためのレールを含む）、ローラ、扉を駆動する電動機（チェーンを含む）及び門から構成される。</p>	

2.2 評価方針

オペフロBOP閉止装置（小型）の応力評価は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、「2.1 構造計画」にて示すオペフロBOP閉止装置（小型）の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、オペフロBOP閉止装置（小型）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動的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。オペフロBOP閉止装置（小型）の構造強度評価フローを図2-1に、機能維持評価フローを図2-2に示す。

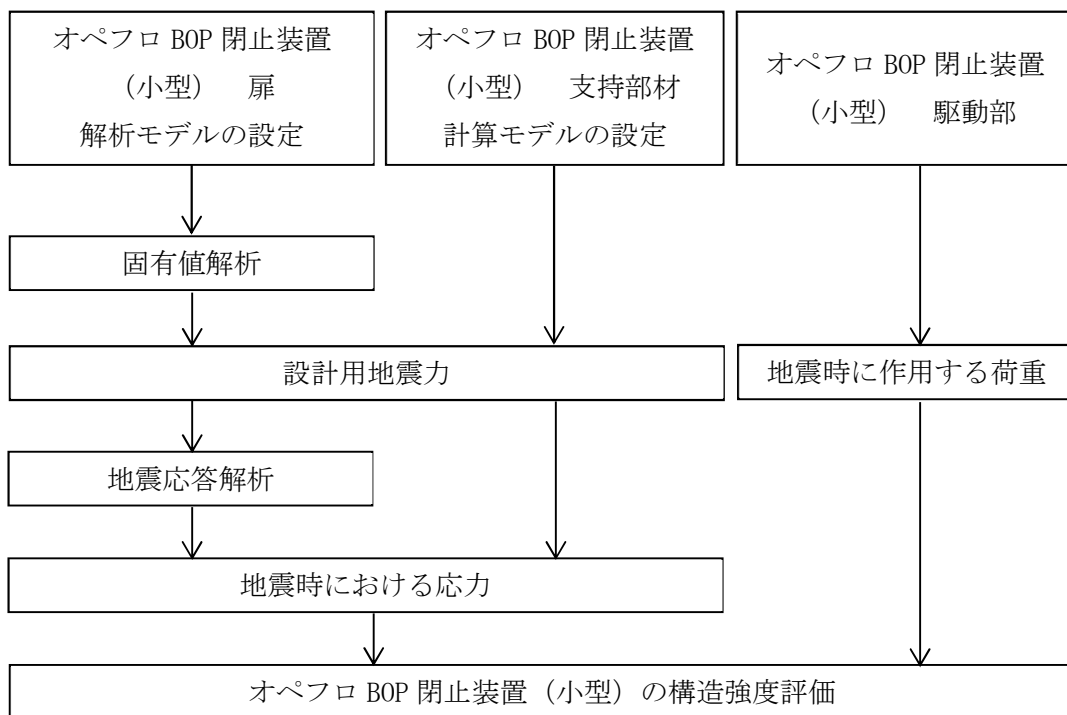


図2-1 オペフロBOP閉止装置（小型）の構造強度評価フロー

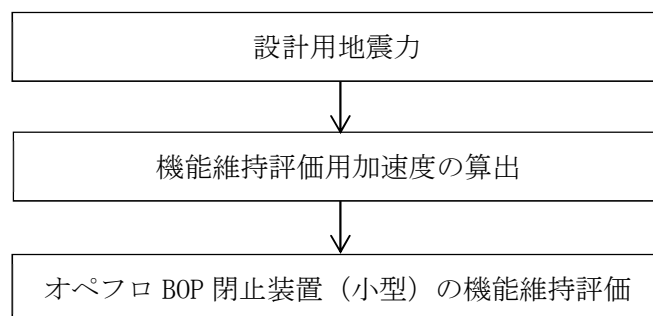


図2-2 オペフロBOP閉止装置（小型）の機能維持評価フロー

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_G	ガイドレールの断面積	mm^2
A_L	チェーンの許容荷重	N
A	扉部材の断面積	mm^2
E	扉の縦弾性係数	MPa
C_{H1}	オペフロBOP閉止装置（小型）の面外方向設計震度	—
C_{H2}	オペフロBOP閉止装置（小型）の面内方向設計震度	—
C_V	オペフロBOP閉止装置（小型）の鉛直方向設計震度	—
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_G	ガイドレールに作用する力	N
F_C	チェーンに作用する力	N
F_x	扉部材に作用する力（x方向）	N
F_y	扉部材に作用する力（y方向）	N
F_z	扉部材に作用する力（z方向）	N
f_s	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
L_G	ガイドレールの長さ	mm
m	扉の質量	kg
M_G	ガイドレールに作用するモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_x	扉部材に作用するモーメント（x軸周り）	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_y	扉部材に作用するモーメント（y軸周り）	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_z	扉部材に作用するモーメント（z軸周り）	$\text{N} \cdot \text{mm}$
P	圧力条件	Pa
Q_G	ガイドレールに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
T	温度条件	℃
Z_G	ガイドレールの断面係数	mm^3
Z_x	扉部材のねじり断面係数	mm^3
Z_y	扉部材のy軸周り断面係数	mm^3
Z_z	扉部材のz軸周り断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
σ_{cG}	ガイドレールに生じる組合せ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tG}	ガイドレールに生じる引張応力	MPa
σ_c	扉部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_t	扉部材に生じる引張応力	MPa
σ_x	扉部材に生じる引張応力 (x 方向)	MPa
σ_y	扉部材に生じる引張応力 (y 方向)	MPa
σ_z	扉部材に生じる引張応力 (z 方向)	MPa
τ_G	ガイドレールに生じるせん断応力	MPa
τ	扉部材に生じるせん断応力	MPa
τ_x	扉部材に生じるせん断応力 (x 方向)	MPa
τ_y	扉部材に生じるせん断応力 (y 方向)	MPa
τ_z	扉部材に生じるせん断応力 (z 方向)	MPa

注：記号右端添字に G が付くものは、ガイドレール評価用を代表で示したものであり、テーパブロッック評価用については $G \rightarrow U_T$ ，門ピン評価用については $G \rightarrow P$ ，ハンガーレール評価用については $G \rightarrow H$ に置き換えるものとする。

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に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	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}
断面係数	mm ³	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}
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}
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位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

オペフロBOP閉止装置（小型）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、扉開状態及び扉閉状態それぞれの場合において、耐震評価上厳しくなる扉部材、面外方向支持部材のうちガイドレール及びテーパブロック、面内方向支持部材のうち門ピン、鉛直方向支持部材のうちハンガーレール、及び駆動部のうちチェーンについて実施する。評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

「3. 評価部位」にて設定した各評価部材の構造強度評価方法を以下に示す。なお、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.1 扉の構造強度評価方法

- (1) 扉は吊具、門及びローラ等により支持される構造であるため、その構造に応じた方向の変位を拘束するものとする。
- (2) 地震力は扉に対して面外方向、面内方向及び鉛直方向の3方向から作用するものとし、強度評価において組み合わせるものとする。
- (3) 扉閉状態において圧力は、扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし、評価において4辺を面外方向に拘束するものとする。また、強度評価において地震力と組み合わせるものとする。

4.1.2 支持部材の構造強度評価方法

- (1) ガイドレール
 - a. 扉からの地震荷重は、面外方向に作用するものとする。
 - b. ガイドレールの構造強度評価は、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルを適用する。
- (2) テーパブロック
 - a. 扉からの地震荷重及び圧力は、面外方向に作用するものとする。
 - b. テーパブロックの構造強度評価は、取付ボルトのせん断応力を評価する。
- (3) 門ピン
 - a. 扉からの地震荷重は、面内方向に作用するものとする。
 - b. 門ピンの構造強度評価は、集中荷重が中央に作用する両端支持梁モデルを適用する。
- (4) ハンガーレール
 - a. 扉からの地震荷重は、鉛直方向に作用するものとする。
 - b. ハンガーレールの構造強度評価は、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルを適用する。

4.1.3 駆動部の構造強度評価方法

チェーンに作用する荷重は、門により制限される変位の最大値である□の変位（チェーンの伸び□）を想定して設定した値とする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

オペフロ BOP 閉止装置（小型）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

オペフロ BOP 閉止装置（小型）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

オペフロ BOP 閉止装置（小型）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（扉開状態）及び表 4-4（扉閉状態）に示す。また、許容荷重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 4-5 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	放射性物質濃度 制御設備	オペフロ BOP 閉止装置 (小型)	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S*3
					$D + P_D + M_D + S_s$	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：閘ピンについては、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

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 (ボルト等以外)			許容限界*1, *2 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	引張り	せん断	組合せ	せん断
Ⅲ _A S*3	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	—
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	—
V _A S (V _A Sとして, Ⅳ _A Sの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：門ピンについては，基準地震動S_sにより定まる地震力が作用した後においても，扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

表4-3 扉開状態における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)
扉部材	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ガイドレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ハンガーレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表 4-4 扉閉状態における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)
扉部材	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
テーパブロック 取付ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ハンガーレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表4-5 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		許容荷重 (N)
		周囲環境温度	50	
チェーン		周囲環境温度	50	

注記*：設計・建設規格 SSB-3200 に基づき，荷重試験により求めた支持構造物の許容荷重

4.3 解析モデル及び諸元

オペフロ BOP 閉止装置（小型）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【オペフロ BOP 閉止装置（小型）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) オペフロ BOP 閉止装置（小型）の耐震計算に用いる解析モデルは、はり要素及びシェル要素を用いた有限要素モデルとする。はり要素及びシェル要素は板厚中心位置でモデル化する。
- (2) 質量は、扉を構成する部材の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件は、吊具、門及びローラ部の並進方向拘束とする。
- (4) 計算機コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

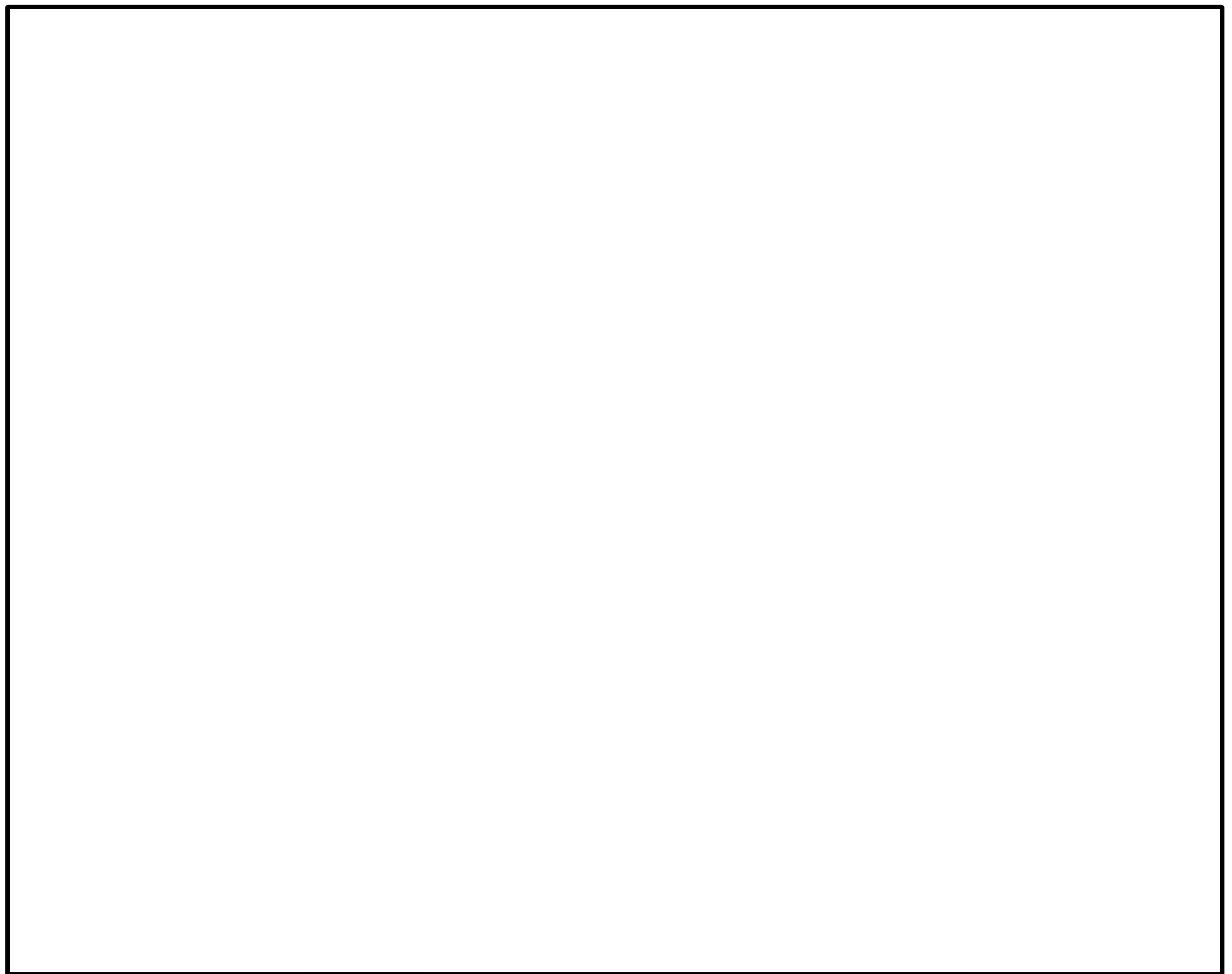


図 4-1 解析モデル

4.4 固有周期

扉開状態における固有値解析結果を表 4-6 に、扉閉状態における固有値解析結果を表 4-7 に、振動モード図を図 4-2 に示す。扉開状態及び扉閉状態において、面内方向及び鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-6 扉開状態の固有値解析結果

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*
			面外方向	面内方向	
1次	面外	0.055	-0.797	0.000	0.000
2次	面外	0.038	—	—	—

注記*：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。

表4-7 扉閉状態の固有値解析結果

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*
			面外方向	面内方向	
1次	面外	0.055	-0.794	0.000	0.000
2次	面外	0.037	—	—	—

注記*：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 4-2 振動モード図

4.5 設計用地震力

扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-8 に、扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-9 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「設計用床応答曲線の作成方針」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 4-8 扉閉状態の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. <input type="text"/>					
固有周期(s)		面外：0.055* ¹ 面内：0.05 以下 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		<input type="text"/>					
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	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ²		応答鉛直震度* ²
		面外方向	面内方向		面外方向	面内方向	
1次	0.055	—	—	—	<input type="text"/>	—	—
2次	0.038	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ³		—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：1次固有周期について記載

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*3：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-9 扉閉状態の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. <input type="text"/>					
固有周期(s)		面外：0.055* ¹ 面内：0.05 以下 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		<input type="text"/>					
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	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ²		応答鉛直震度* ²
		面外方向	面内方向		面外方向	面内方向	
1次	0.055	—	—	—	<input type="text"/>	—	—
2次	0.037	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ³		—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：1次固有周期について記載

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*3：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) 扉の計算方法

a. 扉部材

扉部材に加わる荷重は、解析による計算で得られる値を使用し、応力を図 4-3 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_x , F_y , F_z , モーメント力 M_x , M_y , M_z とする。ただし、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。応力は、「7. 引用文献」より、下記の計算式にて求める。

(a) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

(b) 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(c) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

扉部材の最大応力発生部位を図4-1の (a) 及び (b) に示す。

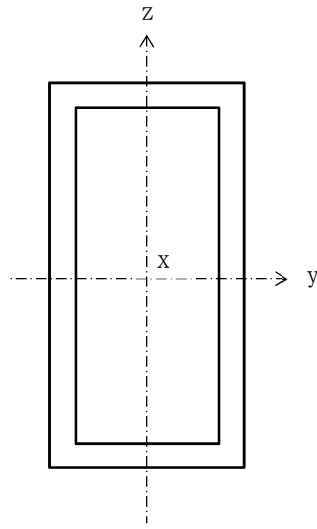


図4-3 外梁の部材断面

(2) 支持部材の計算方法

a. ガイドレール

ガイドレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ガイドレールに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-4に示すとおり、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルとする。



図4-4 ガイドレール計算モデル

(a) 引張応力

ガイドレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_G = F_G \cdot L_G \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 6)$$

ガイドレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tG} = \frac{M_G}{Z_G} \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 7)$$

(b) せん断応力

ガイドレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_G = F_G \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 8)$$

ガイドレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_G = \frac{Q_G}{A_G} \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 9)$$

(c) 組合せ応力

ガイドレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cG} = \sqrt{\sigma_{tG}^2 + 3 \cdot \tau_{G}^2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 10)$$

b. テーパブロック取付ボルト

テーパブロック取付ボルトに作用する荷重によるせん断力を算出し、ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-5に示すとおりとする。



図4-5 テーパブロック取付ボルト計算モデル

(a) せん断応力

テーパブロック取付ボルトに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{UT} = F_{UT} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 11)$$

テーパブロック取付ボルトに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{UT} = \frac{Q_{UT}}{A_{UT}} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 12)$$

c. 門ピン

門ピンに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、門ピンに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-6に示すとおり、集中荷重が中央に作用する両端支持梁モデルとする。

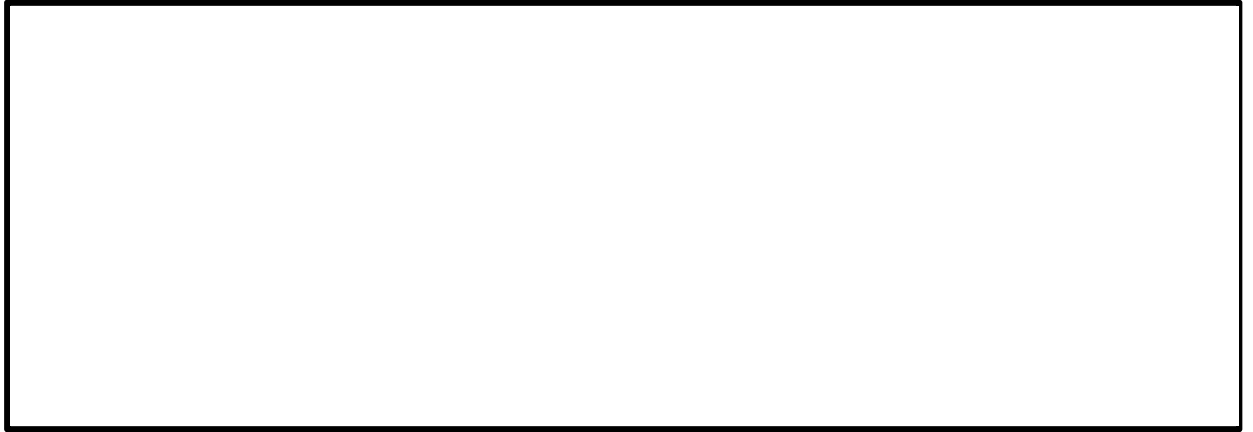


図4-6 門ピン計算モデル

(a) 引張応力

門ピンに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_P = \frac{F_P \cdot L_P}{4} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 13)$$

門ピンに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tP} = \frac{M_P}{Z_P} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 14)$$

(b) せん断応力

門ピンに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_P = \frac{F_P}{2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 15)$$

門ピンに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_P = \frac{Q_P}{A_P} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 16)$$

(c) 組合せ応力

門ピンに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cP} = \sqrt{\sigma_{tP}^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 17)$$

d. ハンガーレール

ハンガーレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ハンガーレールに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-7に示すとおり、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルとする。

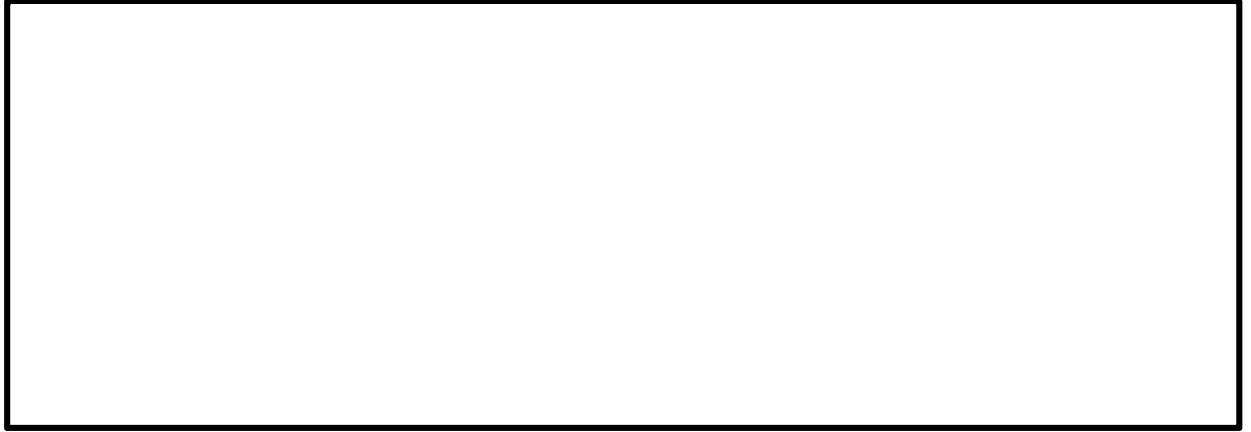


図4-7 ハンガーレール計算モデル

(a) 引張応力

ハンガーレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_H = F_H \cdot L_H \quad \dots \quad (4. 6. 1. 18)$$

ハンガーレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tH} = \frac{M_H}{Z_H} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 19)$$

(b) せん断応力

ハンガーレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_H = F_H \quad \dots \quad (4. 6. 1. 20)$$

ハンガーレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_H = \frac{Q_H}{A_H} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 21)$$

(c) 組合せ応力

ハンガーレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cH} = \sqrt{\sigma_{tH}^2 + 3 \cdot \tau_H^2} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 22)$$

4.6.2 荷重の計算方法

(1) 駆動部の計算方法

a. チェーン

駆動部はチェーン張力を用いて荷重を計算する。図4-8に示すとおり、チェーンの引張り試験により得られた荷重-変位曲線に基づき、設計・建設規格 SSB-3200の規定に従って許容荷重を算定するとともに、チェーンの変位 に相当する荷重を強度評価用の荷重に設定する。

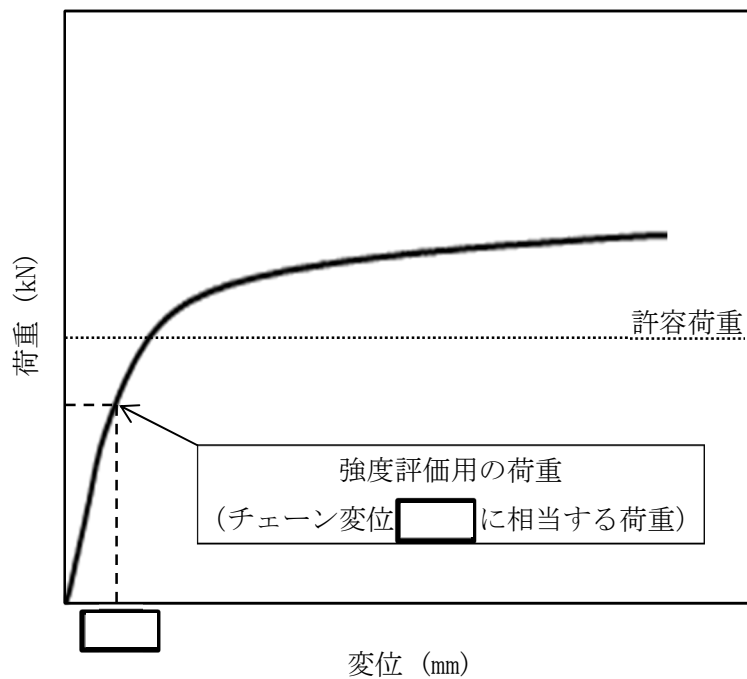


図 4-8 チェーンの引張り試験により得られた荷重-変位曲線

4.7 計算条件

応力計算に用いる自重（扉）及び荷重（地震荷重及び圧力）は、本計算書の【オペフロ BOP 閉止装置（小型）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 扉及び支持部材の応力評価

4.6.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S _s による 荷重との組合せの場合*
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

注記*：門ピンについては、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後に
おいても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を
Ⅲ_AS とする。

4.8.2 取付ボルトの応力評価

4.6.1 項で求めた取付ボルトのせん断応力が、せん断力のみを受ける許容せん断応力
 f_{sb} 以下であること。

ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S _s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.9 荷重の評価

4.9.1 チェーンの荷重評価

4.6.2 項にて設定したチェーンに作用する荷重が許容荷重以下であること。

ただし、許容荷重は設計・建設規格 SSB-3200 の規定による。





5. 機能維持評価

オペフロ BOP 閉止装置（小型）の動的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価用加速度

オペフロBOP閉止装置（小型）は原子炉建屋に直接取り付けられることから、機能維持評価用加速度は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の地震応答解析で評価した、オペフロBOP閉止装置（小型）取付部の頂部位置に生じる加速度とする。機能維持評価用加速度を表5-1に示す。

表5-1 機能維持評価用加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持 評価用加速度
オペフロ BOP 閉止装置 (小型)	原子炉建屋 T. M. S. L. 	面外	
		面内	
		鉛直	

注記*：基準床レベルを示す。

5.2 機能確認済加速度

オペフロBOP閉止装置（小型）の機能確認済加速度には、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示す、柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによる加振試験時に、オペフロBOP閉止装置の作動性及び気密性を保持できることを確認した最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表5-2に示す。

表5-2 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
オペフロ BOP 閉止装置 (小型)	面外	
	面内	
	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

オペフロBOP閉止装置（小型）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

引用文献を以下に示す。

- ・ 機械工学便覧（改訂第6版）（日本機械学会編 1987年4月）（(社)日本機械学会）

【オペフロ BOP 閉止装置（小型）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

1.1.1 扉開状態の設計条件

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)
			面外方向	面内方向	鉛直方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
オペフロ BOP 閉止装置 (小型)	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/>	0.055	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.1.2 扉閉状態の設計条件

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)
			面外方向	面内方向	鉛直方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
オペフロ BOP 閉止装置 (小型)	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/>	0.055	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.2 機器要目

1.2.1 扉部材

(1) 扉開状態

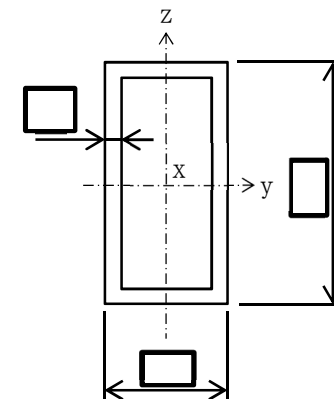
m (kg)	A (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)
□	□	□	□	□

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
□	□	□	□	—	□	□	□

(2) 扉閉状態

m (kg)	A (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)	P (Pa)
□	□	□	□	□	□

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
□	□	□	□	—	□	□	□

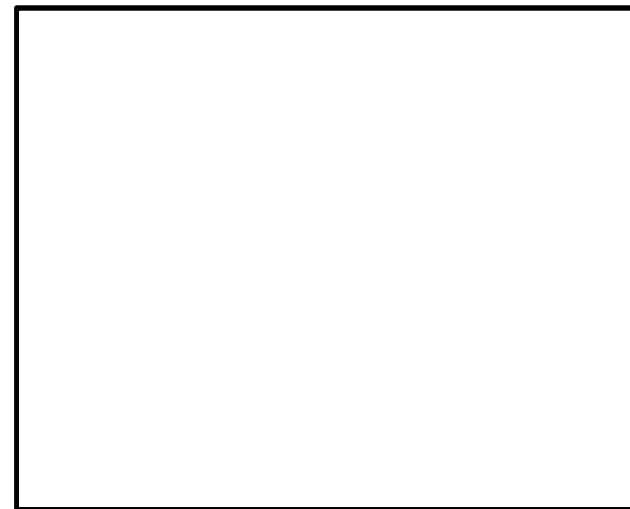


1.2.2 ガイドレール（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

L_G (mm)	A_G (mm ²)	Z_G (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□



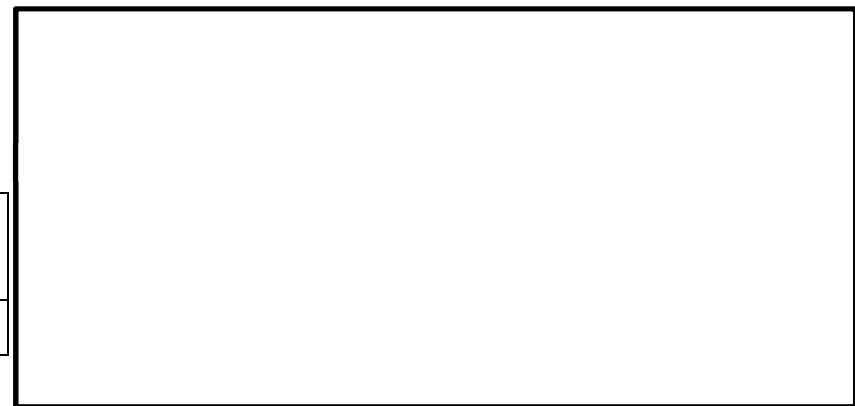
1.2.3 テーパブロック取付ボルト（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

A_{UT} (mm ²)
□

P (Pa)
□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□



1.2.4 門ピン

(1) 扉開状態

L_P (mm)	A_P (mm ²)	Z_P (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	□	—

(2) 扉閉状態

L_P (mm)	A_P (mm ²)	Z_P (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	□	—



1.2.5 ハンガーレール

(1) 扉開状態

L_H (mm)	A_H (mm ²)	Z_H (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□

(2) 扉閉状態

L_H (mm)	A_H (mm ²)	Z_H (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□



1.2.6 チェーン

A_L (N)
□

1.3 計算数値

1.3.1 扉部材の荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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。

(2) 扉閉状態

(単位：N)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 扉部材のモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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。

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 ガイドレールの荷重（扉開状態のみ）

(1) 扉開状態

(単位：N)

F_G		Q_G	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.4 ガイドレールのモーメント（扉開状態のみ）

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_G	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>

1.3.5 テーパブロック取付ボルトの荷重（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

(単位：N)

F _{UT}		Q _{UT}	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.6 門ピンの荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

F _P		Q _P	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F _P		Q _P	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.7 門ピンのモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_P	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M_P	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

1.3.8 ハンガーレールの荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

F_H		Q_H	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F_H		Q_H	
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
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.9 ハンガーレールのモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>

1.3.10 チェーンの荷重

(単位：N)

F_c
<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(1) 扉開状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.055
2次	面外	0.038

(2) 扉閉状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.055
2次	面外	0.037

1.4.2 応力
(1) 扉開状態

(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
扉部材	□	引張り	—	—	$\sigma_t = 44$	□
		せん断	—	—	$\tau = 1$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_c = 44$	□
ガイドレール	□	引張り	—	—	$\sigma_{tG} = 20$	□
		せん断	—	—	$\tau_G = 1$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cG} = 20$	□
門ピン	□	引張り	—	—	$\sigma_{tP} = 44$	□
		せん断	—	—	$\tau_P = 5$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP} = 45$	□
ハンガーレール	□	引張り	—	—	$\sigma_{tH} = 39$	□
		せん断	—	—	$\tau_H = 3$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH} = 39$	□

すべて許容応力以下である。

(2) 扉閉状態

(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
扉部材	[]	引張り	—	—	$\sigma_t = 42$	[]
		せん断	—	—	$\tau = 1$	[]
		組合せ	—	—	$\sigma_c = 42$	[]
テーパーブロック 取付ボルト	[]	せん断	—	—	$\tau_{UT} = 11$	[]
門ピン	[]	引張り	—	—	$\sigma_{tP} = 44$	[]
		せん断	—	—	$\tau_P = 5$	[]
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP} = 45$	[]
ハンガーレール	[]	引張り	—	—	$\sigma_{tH} = 39$	[]
		せん断	—	—	$\tau_H = 3$	[]
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH} = 39$	[]

すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	チェーンに作用する力	チェーンの許容荷重
チェーン	<input type="text"/>	引張荷重	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容荷重以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
オペフロ BOP 閉止装置 (小型)	面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。