

VI-3-別添 3-2-5-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の
強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	6
2.5	記号の説明	7
3.	評価部材	11
4.	固有周期	14
4.1	固有周期の計算方法	14
4.2	固有周期の計算条件	14
4.3	固有周期の計算結果	15
5.	構造強度評価	16
5.1	構造強度評価方法	16
5.2	荷重及び荷重の組合せ	16
5.2.1	荷重の設定	16
5.2.2	荷重の組合せ	17
5.3	許容限界	18
5.4	設計用地震力	20
5.5	計算方法	24
5.5.1	寄せ波時	24
5.5.2	引き波時	51
5.6	計算条件	74
6.	評価結果	79
7.	出口側集水ピットの強度評価	85
7.1	出口側集水ピットの構造概要	85
7.2	評価方針	88
8.	強度評価方法	90
8.1	記号の定義	90
8.2	評価対象断面	91
8.3	荷重及び荷重の組合せ	92
8.3.1	荷重	92
8.3.2	荷重の組合せ	93
8.4	許容限界	94
8.4.1	構造部材の健全性に対する許容限界	94
8.5	評価方法	95

8.5.1	津波時	95
8.5.2	重畳時	114
9.	評価条件	144
10.	評価結果	145
10.1	津波時	145
10.1.1	構造部材の健全性に対する評価結果	145
10.2	重畳時	148
10.2.1	構造部材の健全性に対する評価結果	148

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持することを確認するものである。また、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）が設置される出口側集水ピットは耐震重要度分類 S クラスの間接支持構造物としての機能が要求されることから、津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対して、構成する部材がおおむね弾性範囲にとどまることを確認するため、構造部材の健全性評価を行う。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1 m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置位置を図 2-1 に示す。

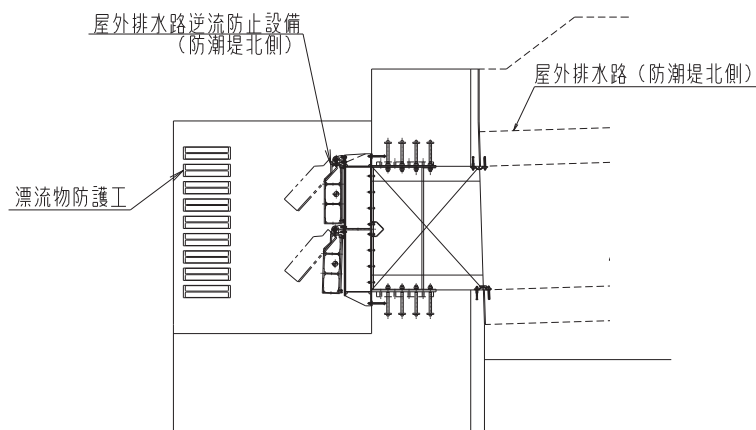
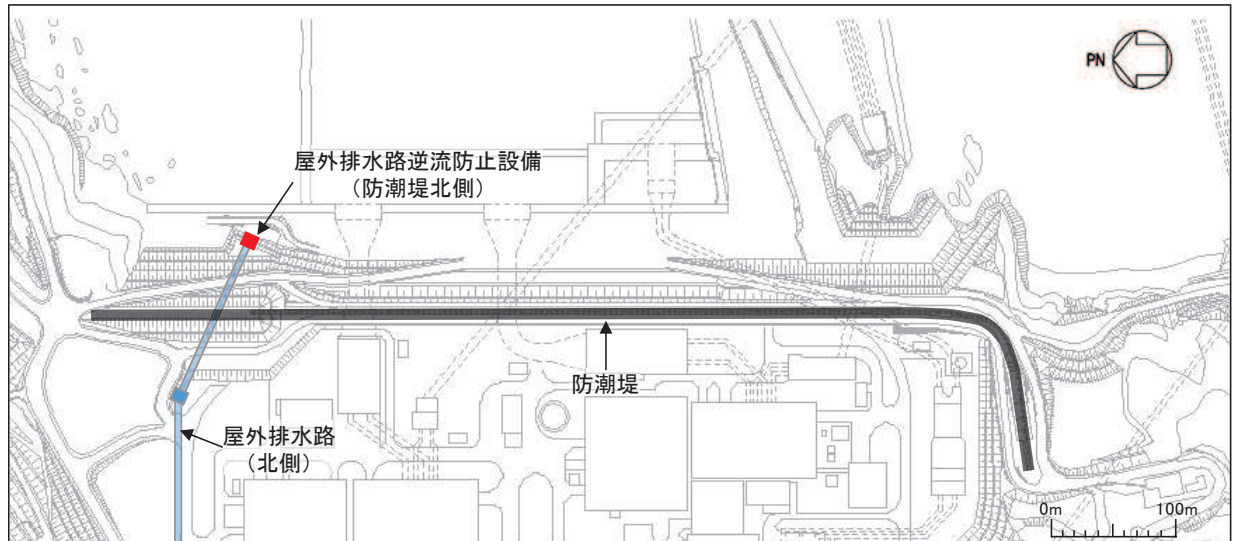


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備の設置位置

2.2 構造計画

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、4門の鋼製の扉体（スキムプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

扉体、固定部及び漂流物防護工で構成される屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、防潮堤（盛土堤防）に設置された出口側集水ピット（鉄筋コンクリート製）にアンカーで固定し、屋外排水路を経路とした津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>本体はアンカーを介して出口側集水ピットに固定する。</p>	<p>4門の鋼製の扉体（スキムプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工により構成する。</p>	

2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部材に作用する応力が許容限界以下であることを「5. 構造強度評価」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、「6. 評価結果」にて確認する。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価フローを図 2-2 に示す。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部材を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

重畳時における余震荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ を入力して得られた屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）設置箇所の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

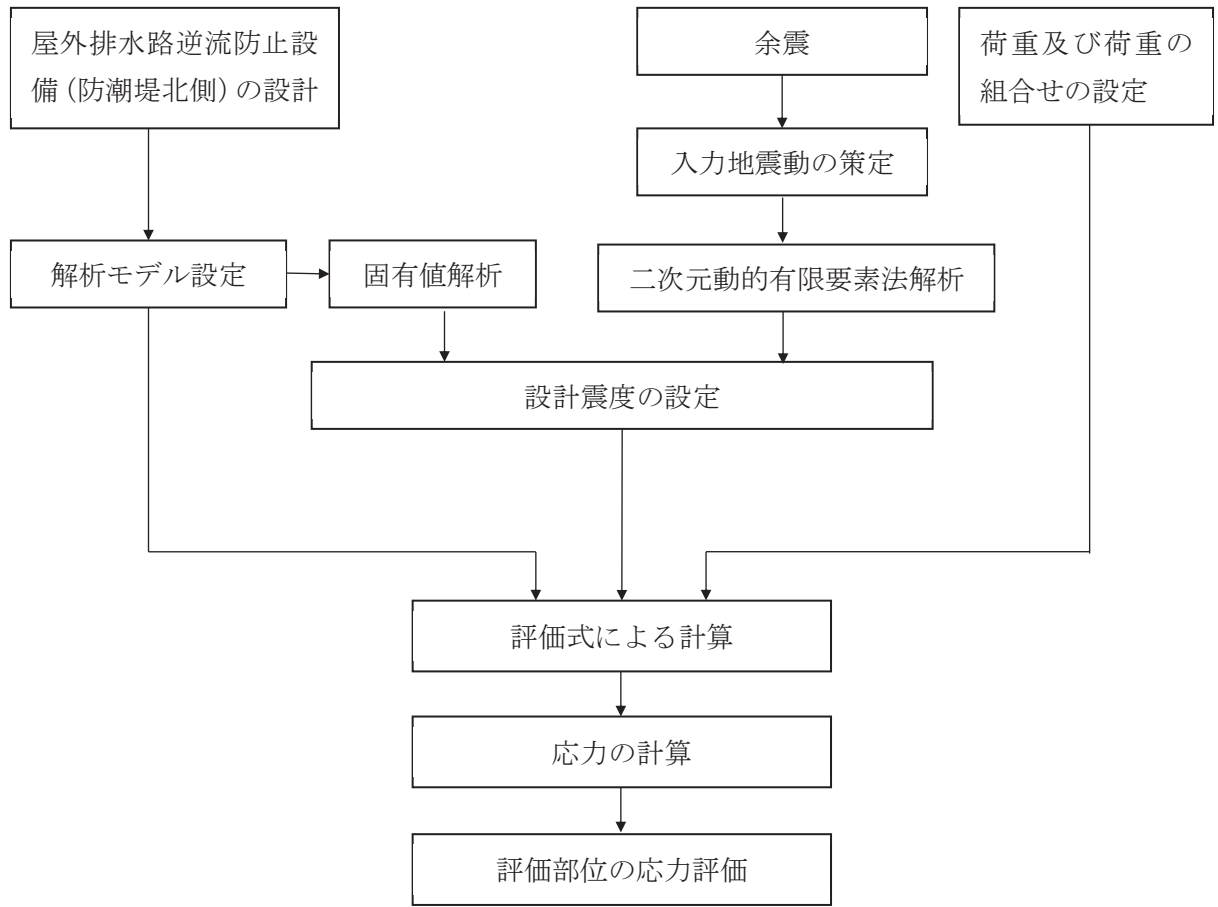


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (3) 日本工業規格 J I S G 4 0 5 3 -2008 機械構造用合金鋼鋼材
- (4) 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- (5) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (6) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (7) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- (8) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (9) 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- (10) 土木学会 1986 年 構造力学公式集

2.5 記号の説明

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に用いる記号

記号	定義	単位
T	固有周期	s
f	一次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の断面二次モーメント	mm ⁴
m	扉体部の単位長さ当たり質量	kg/mm
L	主桁の長さ	mm

表 2-3(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（1/4）

記号	定義	単位
G	固定荷重	N
P _t	遡上津波荷重	N/mm ²
P _c	衝突荷重	kN
P _c ''	寸法の小さい漂流物衝突荷重	kN
K _{HSd}	余震による水平方向の設計震度	—
K _{VSd}	余震による鉛直方向の設計震度	—
P _d	余震による動水圧	N/mm ²
A ₁	扉体面積	mm ²
W _o	水の単位体積重量	N/mm ³
k	スキンプレートの辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数	—
a ₁	スキンプレートの短辺	mm
b ₁	スキンプレートの長辺	mm
P ₁	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	N/mm ²
t ₁	スキンプレートの板厚	mm
W	各主桁に作用する等分布荷重	N/mm
L ₂	主桁支間長	mm
Z ₂	各主桁の断面係数	mm ³
A _{w2}	各主桁のせん断抵抗断面積	mm ²
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重	N/mm ²
ℓ	補助縦桁の主桁間隔	mm
Z ₃	補助縦桁の断面係数	mm ³
A _{w3}	補助縦桁のせん断抵抗断面積	mm ²

表 2-3(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（2/4）

記号	定義	単位
W_4	中央支柱に作用する荷重	N/mm
L_4	中央支柱固定高	mm
Z_4	中央支柱の断面係数	mm^3
A_{w4}	中央支柱のせん断抵抗断面積	mm^2
M_4	中央支柱両端に生じる曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
F_1	アンカーボルト①が負担する引張荷重（ $= 3 F_3$ ）	N
F_2	アンカーボルト②が負担する引張荷重（ $= 2 F_3$ ）	N
F_3	アンカーボルト③が負担する引張荷重	N
S_4	中央支柱両端に生じるせん断力	N
P_4	アンカーボルト1本に作用する最大引張力	N
Q_4	アンカーボルト1本に作用するせん断力	N
n_4	アンカーボルトの本数	本
W_5	中央横桁に作用する荷重	N/mm
L_5	中央横桁の支間長	mm
Z_5	中央横桁の断面係数	mm^3
A_{w5}	中央横桁のせん断抵抗断面積	mm^2
P_9	戸当りへ作用する単位面積当たりの荷重	N/mm^2
L_s	扉体幅	mm
L_c	戸当り支圧部の板厚	mm
q	コンクリートへ作用する単位面積当たりの荷重	N/mm^2
L_x	戸当り横幅	mm
L_y	戸当り縦幅	mm
b_{w1}	上部戸当り支圧幅	mm
b_{w2}	側部戸当り支圧幅	mm
b_{w3}	下部戸当り支圧幅	mm
b_{w4}	中央支柱部の戸当り支圧幅	mm
S	戸当り幅（上部及び下部戸当りの最小支圧幅）	mm
Z_1	スキンプレートの断面係数	mm^3

表 2-3(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（3/4）

記号	定義	単位
P_{bh1}	防護梁に作用する水平荷重	N/mm
P_{bv1}	防護梁に作用する鉛直荷重	N/mm
L_{b1}	防護梁のスパン長	mm
Z_{bh1}	防護梁の水平（強軸）方向の断面係数	mm ³
A_{wbh1}	防護梁の水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積	mm ²
Z_{bv1}	防護梁の鉛直（弱軸）方向の断面係数	mm ³
A_{wbv1}	防護梁の鉛直（弱軸）方向のせん断抵抗断面積	mm ²
P_{b2}	ブラケットに作用する水平力	N
ℓ_{b2}	側壁からエンドプレート中心までの長さ	mm
Z_{b2}	ブラケットの断面係数	mm ³
A_{wb2}	ブラケットのせん断抵抗断面積	mm ²
P_{b4}	アンカーボルト 1 本の引張力	N
P_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力	N
P_{b4b}	衝突荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力	N
q_{b4}	アンカーボルト 1 本のせん断力	N
q_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力	N
q_{b4b}	衝突荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力	N
Z_{b4}	アンカーボルト群 1 列の断面係数	mm
n	アンカーボルト群 1 列の本数	本
F	押さえ工（プレート）に作用する防護梁の浮力	N
Z_{b5}	押さえ工（プレート）の断面係数	mm ³
A_{b5}	押さえ工（プレート）の断面積	mm ²
P_{b5}	押さえ工（ボルト）1本の引張力	N
q_{b5}	押さえ工（ボルト）1本のせん断力	N
M_{b5}	押さえ工（プレート）に生じる曲げモーメント	N・mm
ℓ_{b5}	押さえ工（ボルト）の鉛直方向のピッチ	mm
Q_{b5}	押さえ工（プレート）に生じるせん断力	N
n_5	押さえ工（ボルト）の本数	本
P_{bh1}'	引き波により防護梁に作用する水平荷重	N/mm
P_{bv1}'	引き波により防護梁に作用する鉛直荷重	N/mm
P_w	防護梁の自重	N
P_{bh}''	防護梁に作用する流水圧	kN/m
P_{b3}'	引き波によりつなぎ材プレートに作用する水平力	N

表 2-3(4) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（4/4）

記号	定義	単位
l_{b3}	エンドプレートからつなぎ材ボルト中心までの長さ	mm
Z_{b3}	つなぎ材プレートの断面係数	mm ³
A_{b3}	つなぎ材プレートの断面積	mm ²
P_{b3}''	寸法の小さい漂流物によりつなぎ材プレートに作用する水平力	N
P_{10}'	エンドプレート下端の鉛直荷重	N
A_{10}	エンドプレート下端の断面積	mm ²
P_{b2}'	引き波によりブラケットに作用する水平力	N
l_{b4}	側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ	mm
T'	引き波により受け台に作用する引張力	N
a	ブラケット端部からつなぎ材ボルト中心までの長さ	mm
Z_c	受け台プレートの断面係数	mm ³
P_{b2}''	寸法の小さい漂流物によりブラケットに作用する水平力	N
T''	寸法の小さい漂流物により受け台に作用する引張力	N
P_d'	引き波によりつなぎ材ボルトに作用する引張力	N
A_d	つなぎ材ボルトの有効断面積	mm ²
P_d''	寸法の小さい漂流物によりつなぎ材ボルトに作用する引張力	N
P_{b4}'	引き波によるアンカーボルト1本の引張力	N
q_{b4}'	引き波によるアンカーボルト1本のせん断力	N
M_{b4}'	引き波によりブラケットに生じる曲げモーメント	N・mm
Z_{b4}'	引き波によりアンカーボルト群1列の断面係数	mm
Q_{b4}'	引き波によりブラケットに生じるせん断力	N
P_{b4}''	寸法の小さい漂流物によるアンカーボルト1本の引張力	N
q_{b4}''	寸法の小さい漂流物によるアンカーボルト1本のせん断力	N
M_{b4}''	寸法の小さい漂流物によりブラケットに生じる曲げモーメント	N・mm
Q_{b4}''	寸法の小さい漂流物によりブラケットに生じるせん断力	N
M_{max}	最大曲げモーメント	N・mm
S_{max}	最大せん断力	N
σ	曲げ応力度	N/mm ²
τ	せん断応力度	N/mm ²
σ_g	合成応力度	—
σ_{bk}	支圧応力度	N/mm ²

3. 評価部材

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

津波による荷重の作用時には屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は外水圧により閉じる構造となっており、津波による荷重が余震による地震力よりも大きいことから、津波時及び重畳時において屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は閉じた状態を想定する。このため、扉体側と固定部側のヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルトには津波荷重による引張荷重は作用しない。また、重畳時においては屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の横断方向及び鉛直方向にも余震荷重が作用するが、添付書類「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」に示す地震時に考慮する地震荷重と比較して、重畳時に作用する余震荷重が小さいことから、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の横断方向及び鉛直方向の評価については添付書類「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」にて示した評価に包含される。

上記を踏まえ、強度評価においては、スキンプレート、主桁、補助縦桁、中央支柱、中央横桁、戸当り及び漂流物防護工（防護梁（H 鋼、エンドプレート及びつなぎ材（プレート））、ブラケット、つなぎ材（ボルト）、アンカーボルト及び押さえ工を評価部材として選定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部材を図 3-1 に示す。

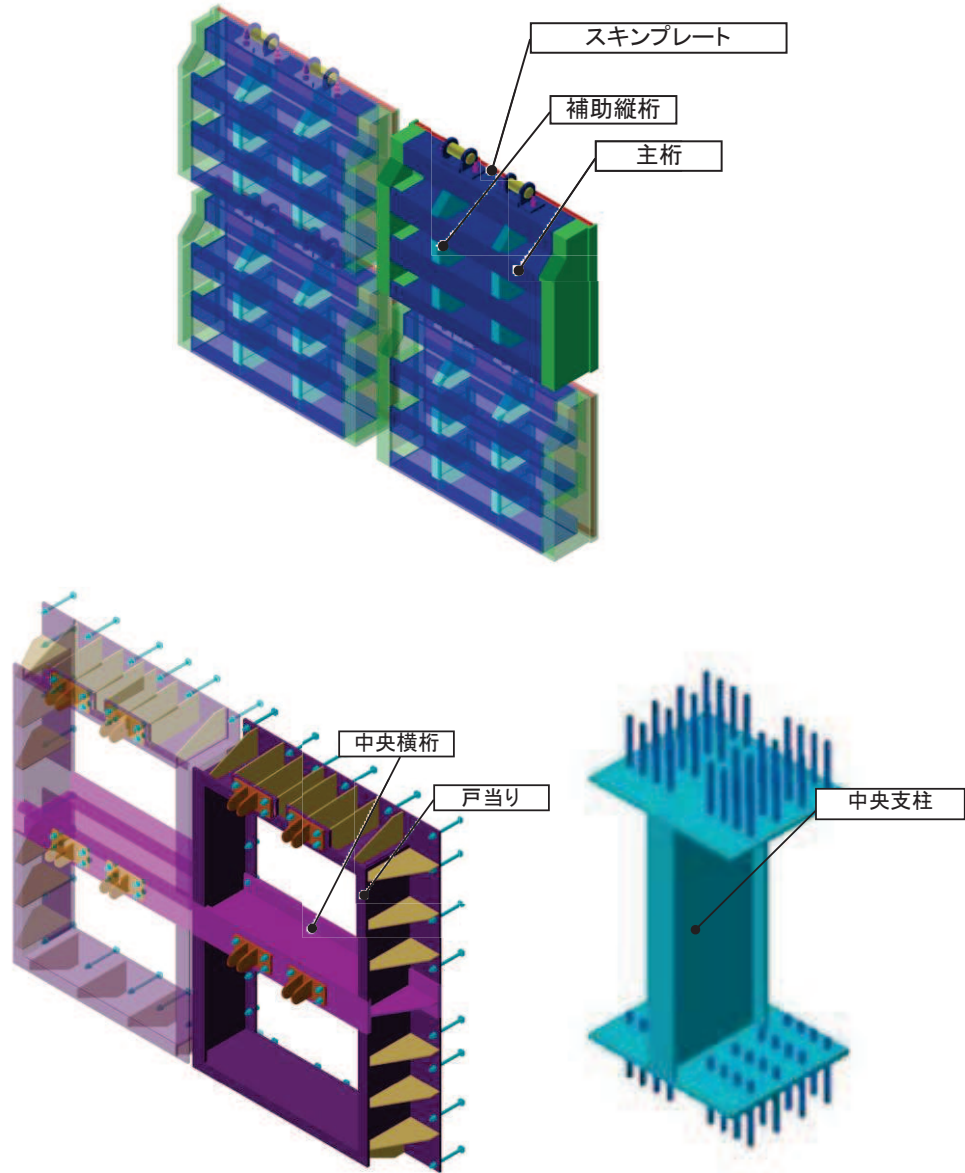


図 3-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部材

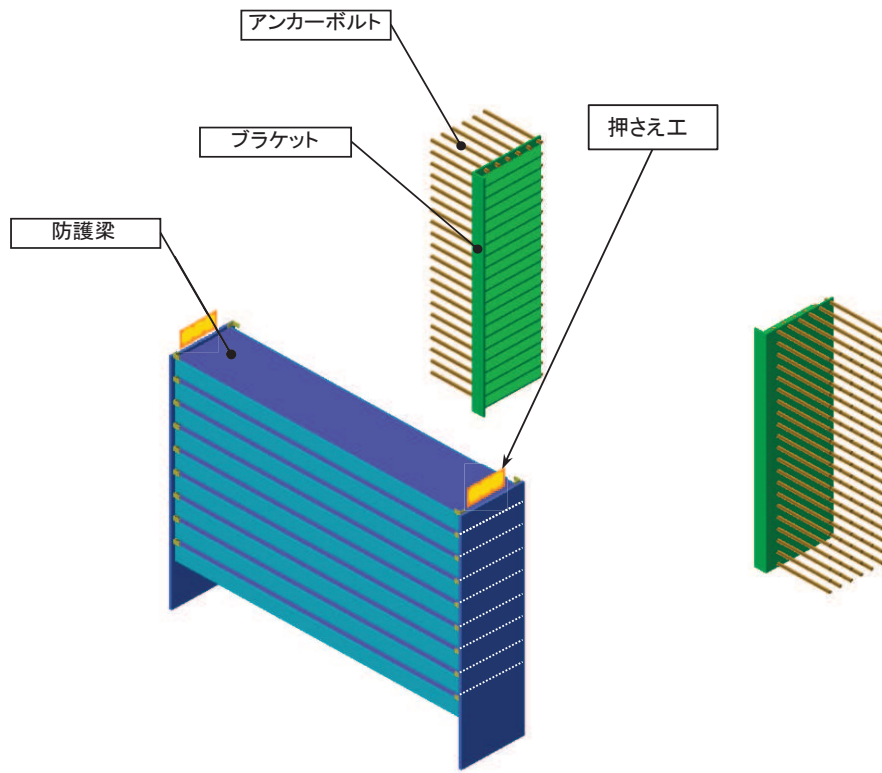


図 3-1(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部材

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

津波による荷重の作用時には屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体は外水圧により閉じる構造となっており，津波による荷重が余震による地震力よりも大きいことから，重畳時において屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体は閉じた状態となる。このことから，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体の強度評価に用いる固有周期の計算に当たっては，閉じた状態のみを考慮する。

固有周期の計算を以下で実施する。

(1) 解析モデル

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体を単純梁としてモデル化する。

(2) 固有周期の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

「構造力学公式集（土木学会，1986年）」より，単純梁の一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

4.2 固有周期の計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	1.93×10^5	N/mm ²
I	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の断面二次モーメント	9.47×10^8	mm ⁴
m	扉体部の単位長さ当たり質量	0.88235	kg/mm
L	主桁の長さ	1700	mm

4.3 固有周期の計算結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体の固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4-2 固有周期の計算結果

固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
247	0.0040

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価部材」にて設定する評価部材に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

5.2.1 荷重の設定

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価において考慮する荷重を以下に示す。
なお、屋外排水路から流下する排水による水圧作用方向は扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しないこととする。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

(2) 遡上津波荷重（ P_t ）

遡上津波荷重については、防潮堤前面における入力津波水位標高 0.P. +24.4m に余裕を考慮した津波水位 0.P. +25.0m を用いることとし、防潮堤前面における入力津波水位標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。なお、衝突荷重と組合せる場合には、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）天端の津波水位標高と屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

また、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、防潮堤よりも海側に設置されていることから、基準津波第一波の寄せ波による津波荷重及び衝突荷重が作用した後に、一旦没水し、その後の引き波により再び露出することになる。そのため、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工は寄せ波に加えて引き波の影響についても検討することとする。

(3) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重については、2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) *」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。衝突荷重の作用位置は扉体部の最上部とする。

また、寸法の小さな漂流物による影響の評価についても行うこととし、寸法の小さい漂流物荷重 18kN (木材 (直径 5cm, 長さ 2.00m, 質量約 4kg)) を考慮する。

衝突荷重を表 5-1 に示す。

注記 * : FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 5-1 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13	2000

(4) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として、弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による地震力及び動水圧を考慮する。

5.2.2 荷重の組合せ

屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の設計に考慮する荷重の組合せを表 5-2 に示す。

表 5-2 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P_t + P_c$
重畳時	$G + P_t + K_{sd}$

G : 固定荷重

P_t : 遡上津波荷重

P_c : 衝突荷重

K_{sd} : 余震荷重

5.3 許容限界

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に規定される許容応力度を用いる。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界を表 5-3 に示す。

なお、地震後、津波後の再使用性を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

評価部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)				短期許容応力度 (N/mm ²) *2			
		曲げ σ_{ab} *1	引張 σ_{at} *1	せん断 τ_a *1	支圧 σ_{as} *1	曲げ	引張	せん断	支圧
スキンプレート	SUS304	103	—	—	—	154	—	—	—
主桁	1桁	103	103	59	—	154	154	88	—
	2,3桁								
	4桁								
補助縦桁	SUS304	103	103	59	—	153*3	154	88	—
中央支柱	SUS304	103	103	59	—	143*3	154	88	—
中央横桁	SUS304	103	103	59	—	153*3	154	88	—
戸当り	SUS304	—	—	—	154	—	—	—	231
戸当り部コンクリート	コンクリート	—	—	1.0	9.0	—	—	1.5	13.5

注記 *1 : σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2 : 許容限界は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、短期許容応力度とする。短期許容応力度は、鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

*3 : 補助縦桁、中央支柱及び中央横桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、許容曲げ応力度横倒れ座屈に対する配慮として許容応力の低減を考慮する。

表 5-3(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

評価部位	材質	許容応力度 (N/mm ²)				短期許容応力度 (N/mm ²) *2			
		曲げ σ_{ab}^{*1}	引張 σ_{at}^{*1}	せん断 τ_a^{*1}	支圧 σ_{as}^{*1}	曲げ	引張	せん断	支圧
漂流物防護工 (防護梁)	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—
漂流物防護工 (防護梁 (エンドプレート 最下段))	SM570	—	—	—	154*3	—	—	—	231*3
漂流物防護工 (ブラケット)	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—
漂流物防護工 (つなぎ材(M20))	強度区分 4.6	—	140	—	—	—	210	—	—
漂流物防護工 ((防護梁) つなぎ材プレート)	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—
漂流物防護工 (押さえ工 (プレート))	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 許容限界は, 「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき, 短期許容応力度とする。短期許容応力度は, 鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

*3: 防護梁最下段のエンドプレートの許容限界は, 「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき, 局部座屈を考慮した許容限界とする。

表 5-3(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

評価部材	材質	許容限界 (kN)	
		引張*	せん断*
中央支柱 (アンカーボルト)	SUS304	292	204
漂流物防護工 (アンカーボルト)	SD345	105	85
漂流物防護工 (押さえ工 (ボルト), M20)	SS400	22.4	36.9

注記 *: 漂流物防護工 (アンカーボルト) に対する許容引張力及び許容せん断力の許容値は, 「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出する。

5.4 設計用地震力

重畳時における屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は剛構造として考慮し，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設計震度は，「8.5.2(1) 二次元動的解析」に示す出口側集水ピットの地震応答解析結果に基づき設定する。加速度応答を抽出した節点を図 5-1 に，地震応答解析結果を図 5-2 に，設計震度を表 5-4 に示す。

なお，設計震度は図 5-1 に示す節点位置のうち，最大加速度となる節点の値を基に算定している。

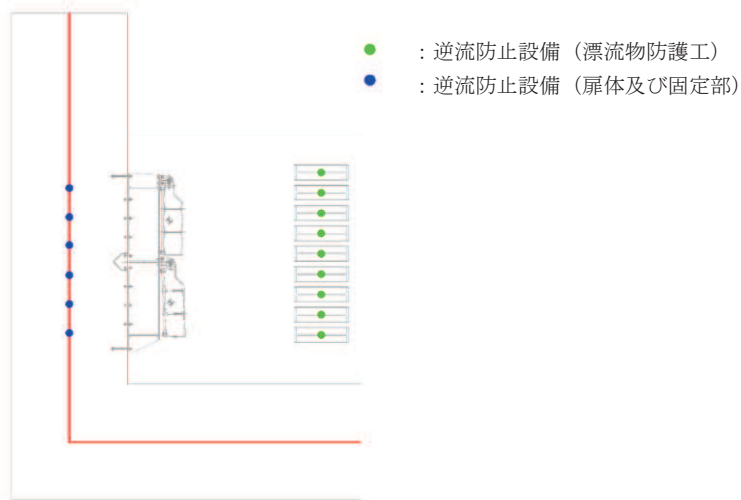
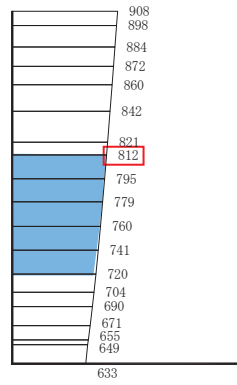
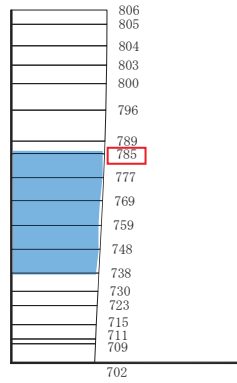


図 5-1 加速度応答を抽出した位置



(水平方向, Sd-D2(++), 解析ケース②)



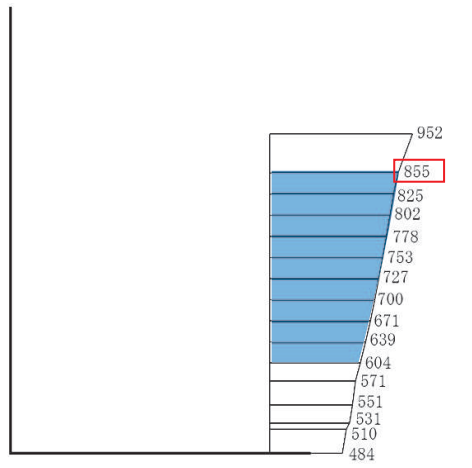
(鉛直方向, Sd-D2(-+), 解析ケース①)

■ : 逆流防止設備(扉体及び固定部)設置範囲

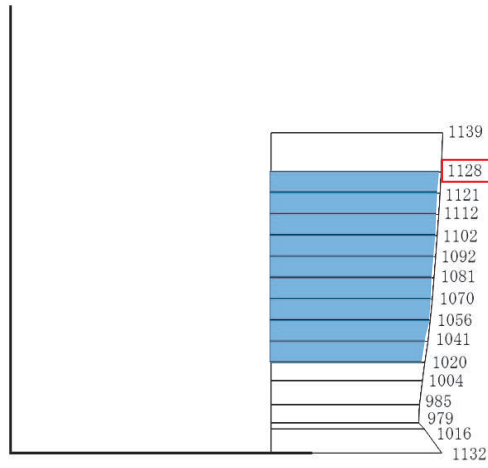
構造スケール 0 _____ 2 (m)

応答値スケール 0 _____ 1000 (cm/s²)

図 5-2(1) 逆流防止設備 (扉体及び固定部) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)



(水平方向, Sd-D2(-+), 解析ケース①)



(鉛直方向, Sd-D2(-+), 解析ケース①)

■ : 逆流防止設備(漂流物防護工)設置範囲

構造スケール 0 2 (m)

応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 5-2(2) 逆流防止設備 (漂流物防護工) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)

表 5-4(1) 設計用地震力（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体及び固定部）

地震動	解析ケース	設置場所及び 床面高さ(m)	余震による 設計震度	
S d - D 2 (++)	解析ケース②	出口側集水ピット O. P. +6. 483m (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K_{Hsd}	0.9
S d - D 2 (-+)	解析ケース①		鉛直方向 K_{Vsd}	

表 5-4(2) 設計用地震力（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工）

地震動	解析ケース	設置場所及び 床面高さ(m)	余震による 設計震度	
S d - D 2 (-+)	解析ケース①	出口側集水ピット O. P. +5. 706m (出口側集水ピット底面高さ)	水平方向 K_{Hsd}	0.9
S d - D 2 (-+)	解析ケース①		鉛直方向 K_{Vsd}	

5.5 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

5.5.1 寄せ波時

(1) スキンプレート

スキンプレートは、主桁、補助縦桁及び側部縦桁に溶接することで支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成31年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する四辺固定版としてモデル化し、発生する曲げモーメントより算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの構造図及びモデル図を図5-3に示す。

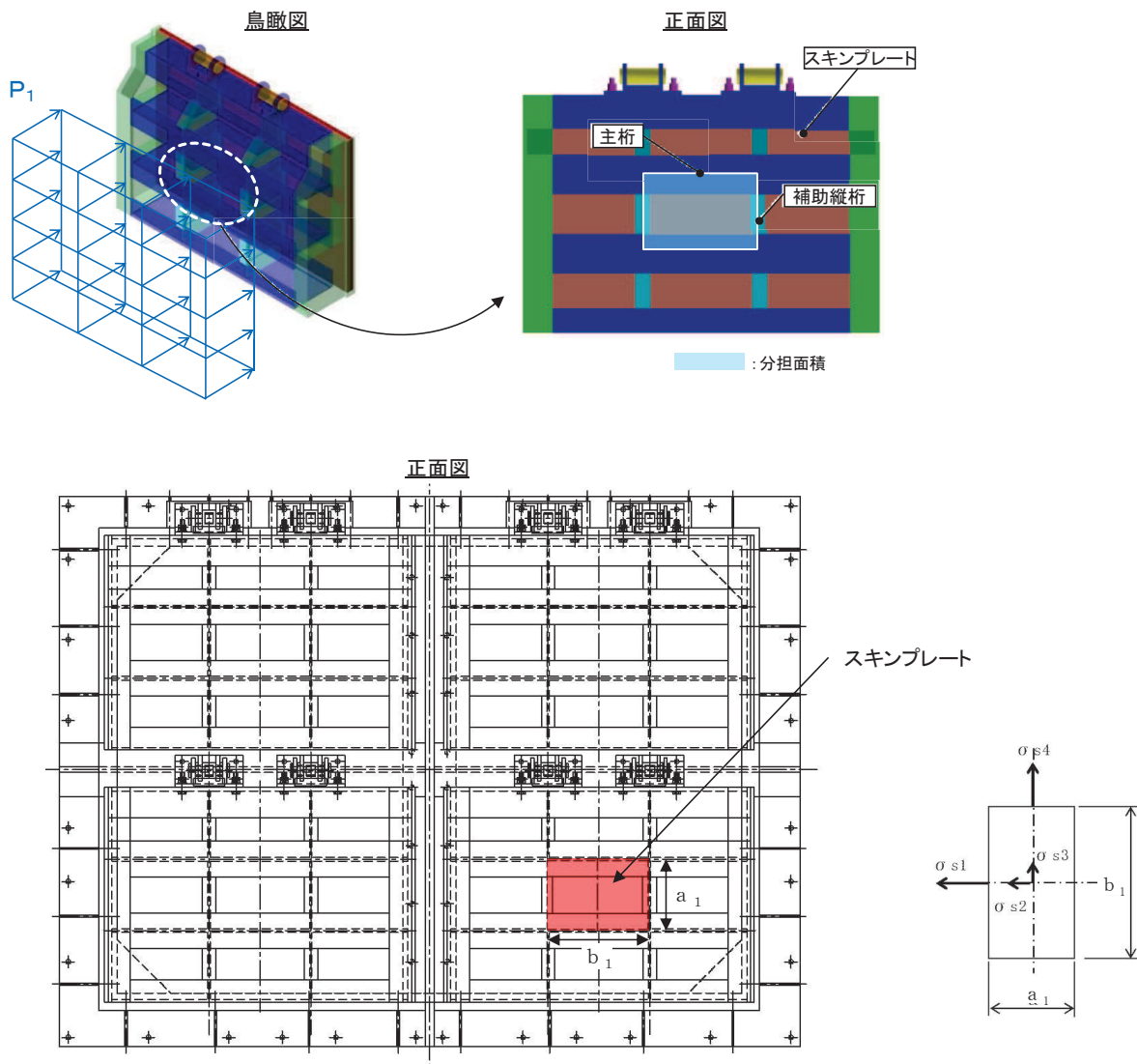


図5-3 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレーートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{100} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

k : 辺長比 (b_1/a_1) による係数

a_1 : スキンプレーートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレーートの長辺 (mm)

P_1 : スキンプレーートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

t_1 : スキンプレーートの板厚 (mm)

(2) 主桁

主桁は、戸当りと接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する両端ピン支点の単純梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

主桁の構造及びモデル図を図 5-4 に示す。

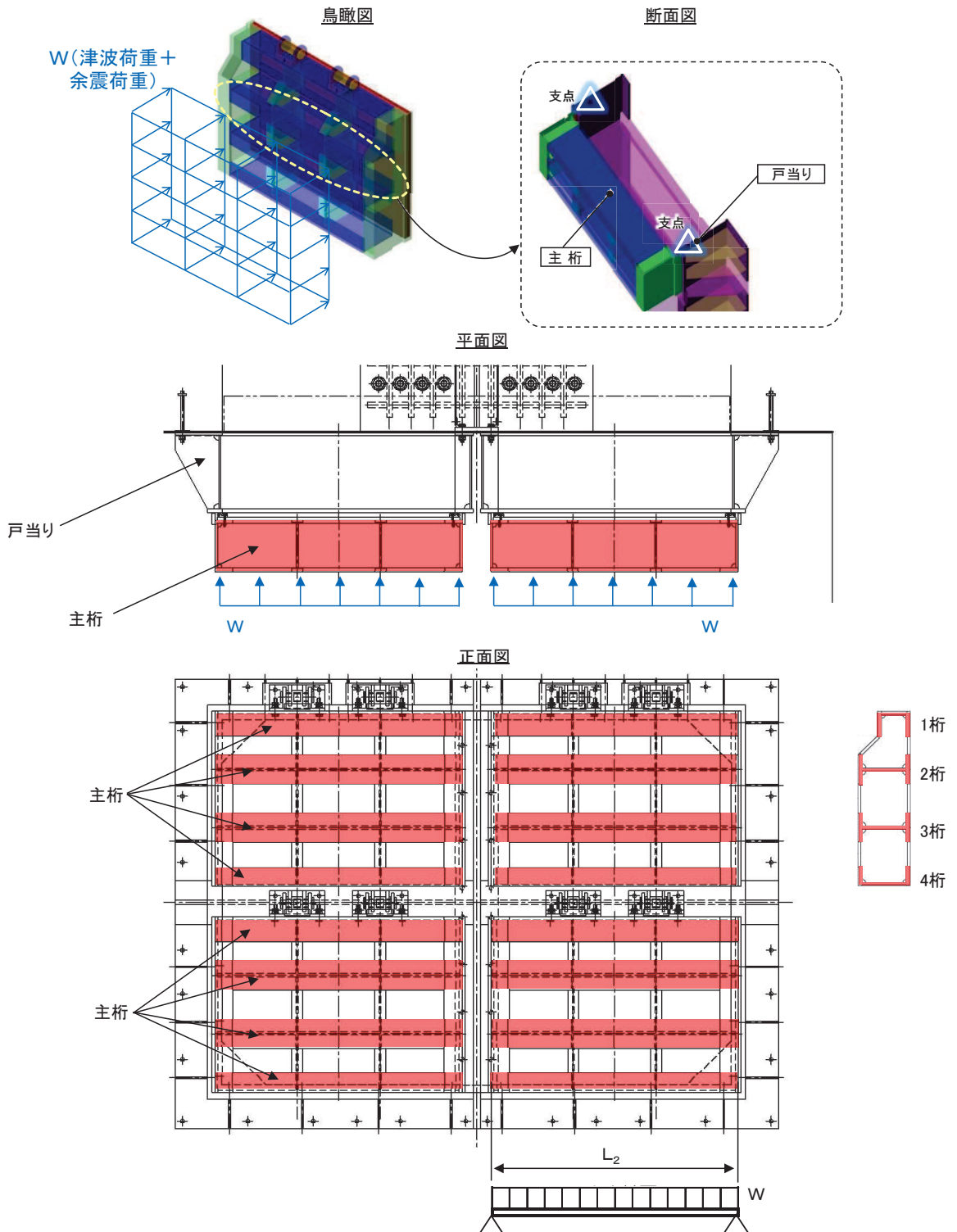


図 5-4 主桁の構造及びモデル図

また、主桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{W \cdot L_2^2}{8}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{W \cdot L_2}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w_2}}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- W : 各主桁に作用する等分布荷重 (N/mm)
- L₂ : 主桁支間長 (mm)
- Z₂ : 各主桁の断面係数 (mm³)
- A_{w₂} : 各主桁のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度

(3) 補助縦桁

補助縦桁は、主桁に溶接されることによって支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成31年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する、主桁によって溶接支持された両端固定梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の構造及びモデル図を図 5-5 に示す。

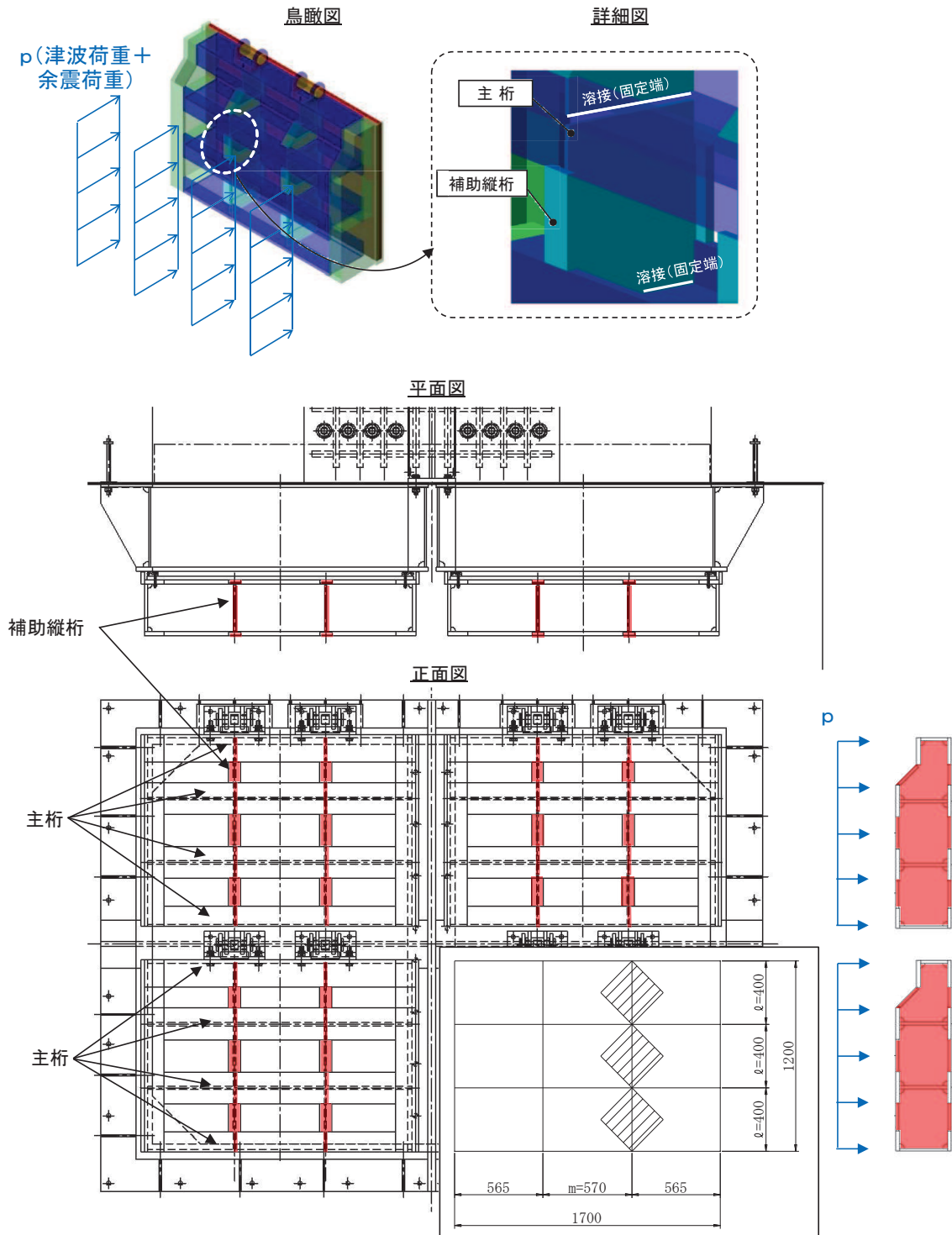


図 5-5 補助縦桁の構造及びモデル図 (単位: mm)

また、補助縦桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^3}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^2}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_3}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w3}}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- p : 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (N/mm²)
- ℓ : 補助縦桁の主桁間隔 (mm)
- Z_3 : 補助縦桁の断面係数 (mm³)
- A_{w3} : 補助縦桁のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度

(4) 中央支柱

中央支柱は、アンカーボルトを打ち込んだコンクリートに支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する両端固定梁でモデル化し、曲げモーメント及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

なお、中央支柱は剛性が高く、たわみによる止水性への影響は小さいと考えられることから、たわみの評価は省略する。

中央支柱の構造図及びモデル図を図5-6に示す。

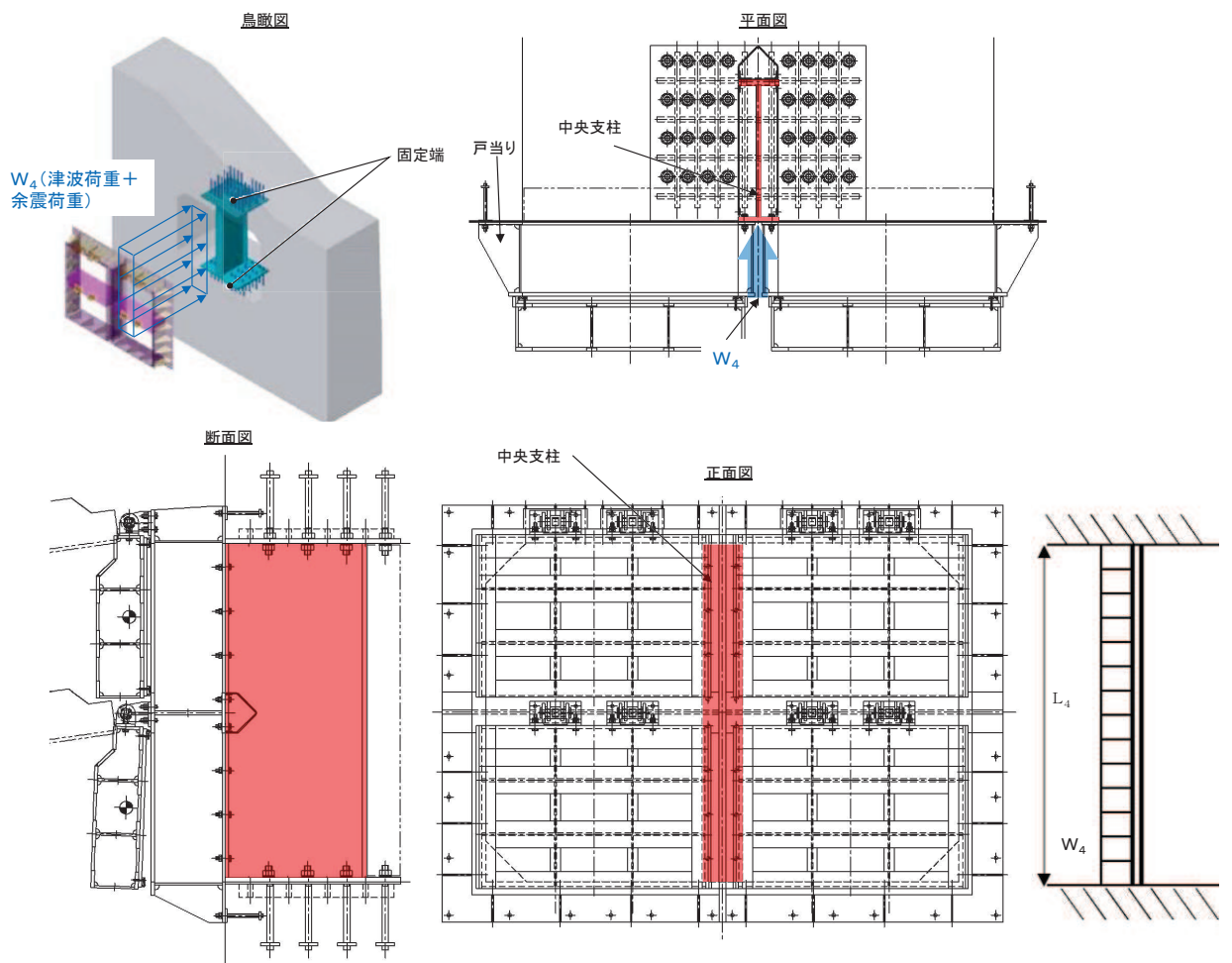


図 5-6(1) 中央支柱の構造図及びモデル図

また、中央支柱の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{W_4 \cdot L_4^2}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{W_4 \cdot L_4}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_4}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- W_4 : 中央支柱に作用する荷重 (N/mm)
- L_4 : 中央支柱固定高 (mm)
- Z_4 : 中央支柱の断面係数 (mm³)
- $A w_4$: 中央支柱のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度

【中央支柱（アンカーボルト）】

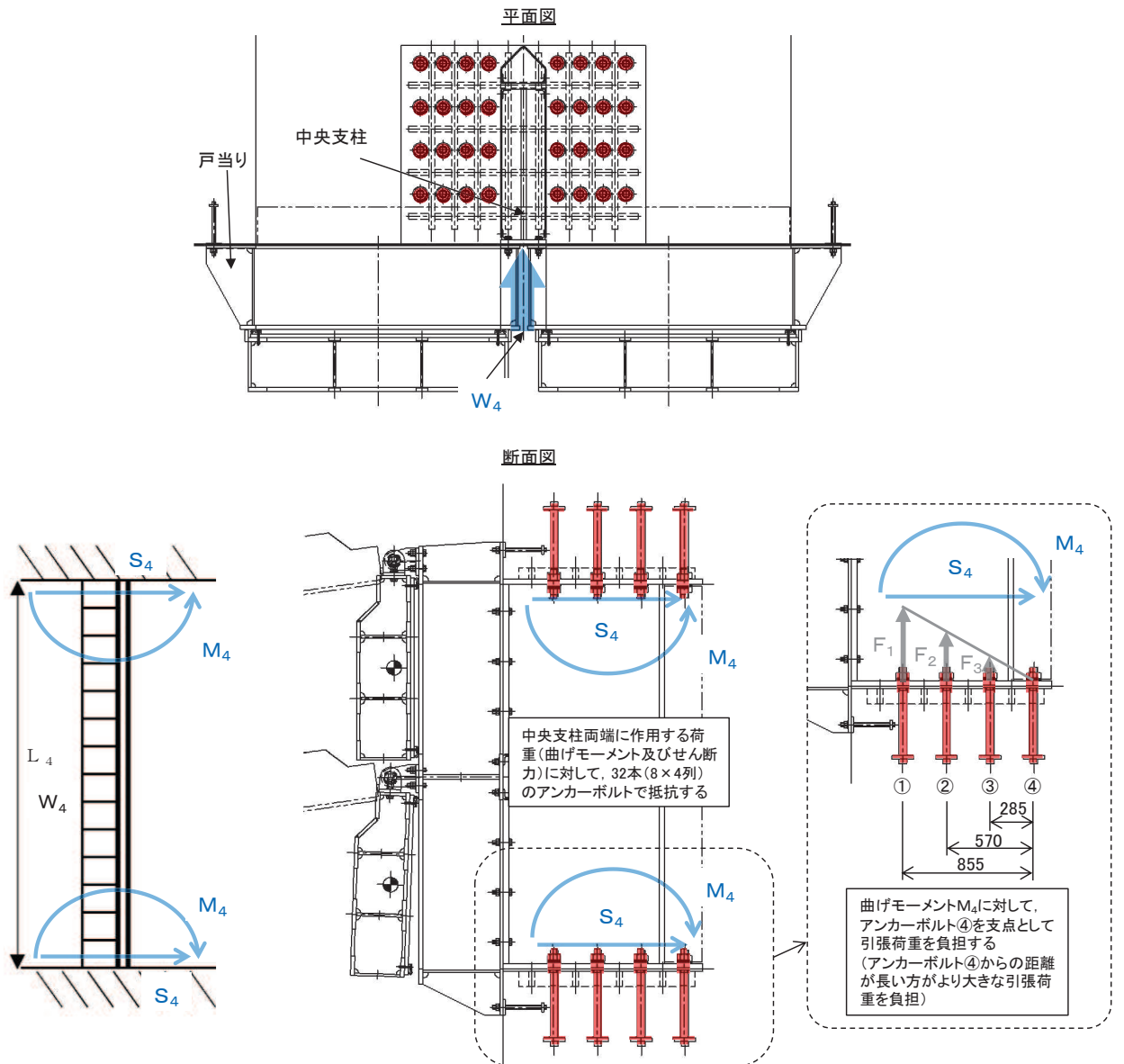


図5-6(2) 中央支柱（アンカーボルト）の構造図

中央支柱（アンカーボルト）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_4 = M_{\max} = \frac{w_4 \cdot L_4^2}{12} = (F_1 \cdot 855 + F_2 \cdot 570 + F_3 \cdot 285) \cdot 8$$

$$S_4 = S_{\max} = \frac{w_4 \cdot L_4}{2}$$

$$P_4 = F_1$$

$$Q_4 = \frac{S_{\max}}{n_4}$$

ここで、

- M_4 : 中央支柱両端に生じる曲げモーメント (N・mm)
- W_4 : 中央支柱に作用する荷重 (N/mm)
- L_4 : 中央支柱固定高 (mm)
- M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{\max} : 最大せん断力 (N)
- F_1 : アンカーボルト①が負担する引張荷重 (= $3 F_3$) (N)
- F_2 : アンカーボルト②が負担する引張荷重 (= $2 F_3$) (N)
- F_3 : アンカーボルト③が負担する引張荷重 (N)
- S_4 : 中央支柱両端に生じるせん断力 (N)
- P_4 : アンカーボルト1本に作用する最大引張力 (N)
- Q_4 : アンカーボルト1本に作用するせん断力 (N)
- n_4 : アンカーボルトの本数 (本)

(5) 中央横桁

中央横桁は、コンクリートおよび中間支柱と接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重（地震荷重）が作用する単純支持梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお、中央横桁は剛性が高く、たわみによる止水性への影響は小さいと考えられることから、たわみの評価は省略する。

中央横桁の構造図及びモデル図を図 5-7 に示す。

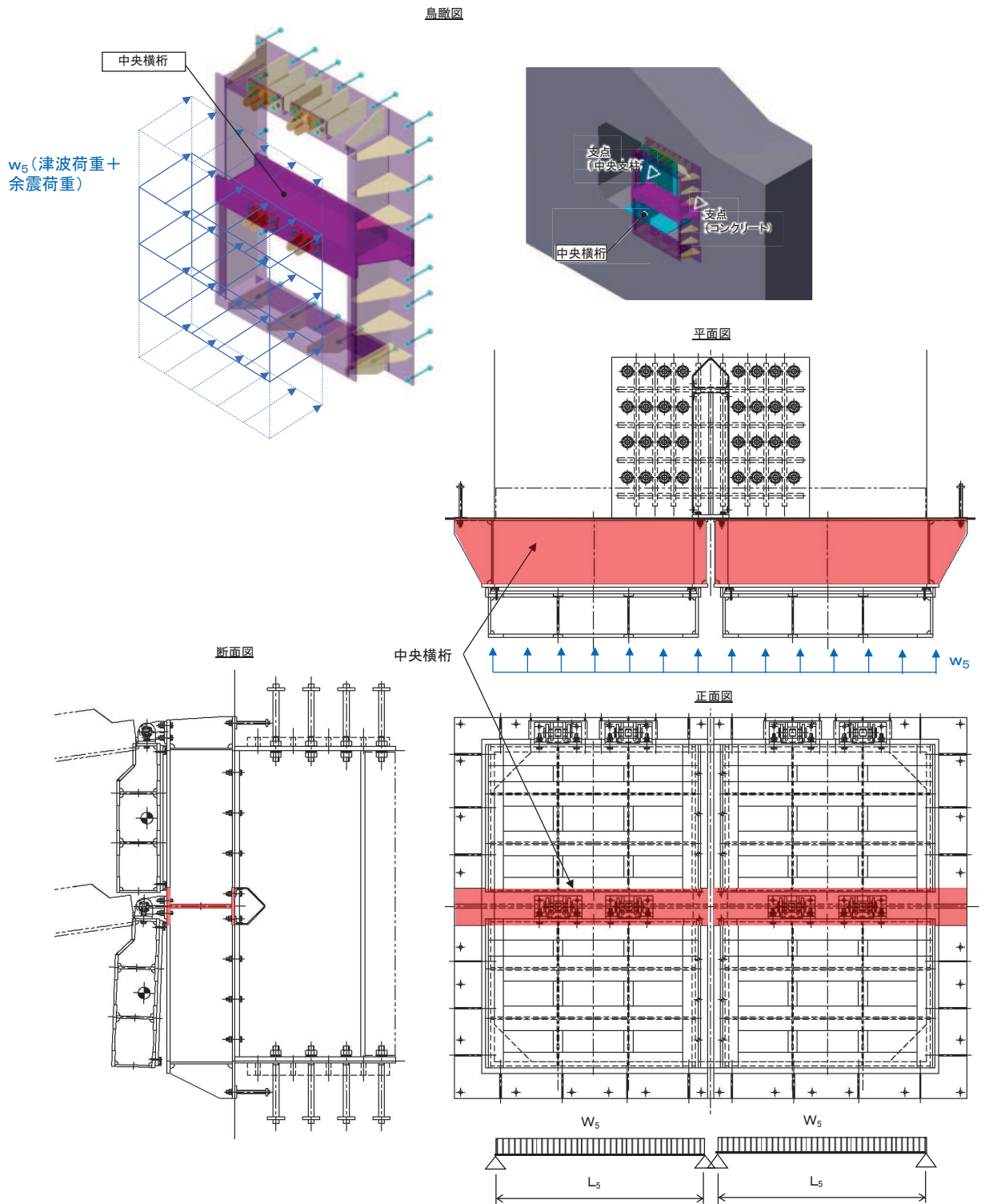


図 5-7 中央横桁の構造図及びモデル図

また、中央横桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{W_5 \cdot L_5^2}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{W_5 \cdot L_5}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_5}$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_5}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- W_5 : 中央横桁に作用する荷重 (N/mm)
- L_5 : 中央横桁の支間長 (mm)
- Z_5 : 中央横桁の断面係数 (mm³)
- $A w_5$: 中央横桁のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{\max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度

(6) 戸当り

戸当りは、アンカーボルトを打ち込んだコンクリート及び中央支柱に支持される構造である。計算方法は、等分布荷重を受ける支圧材として、発生する支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図を図5-8に示す。

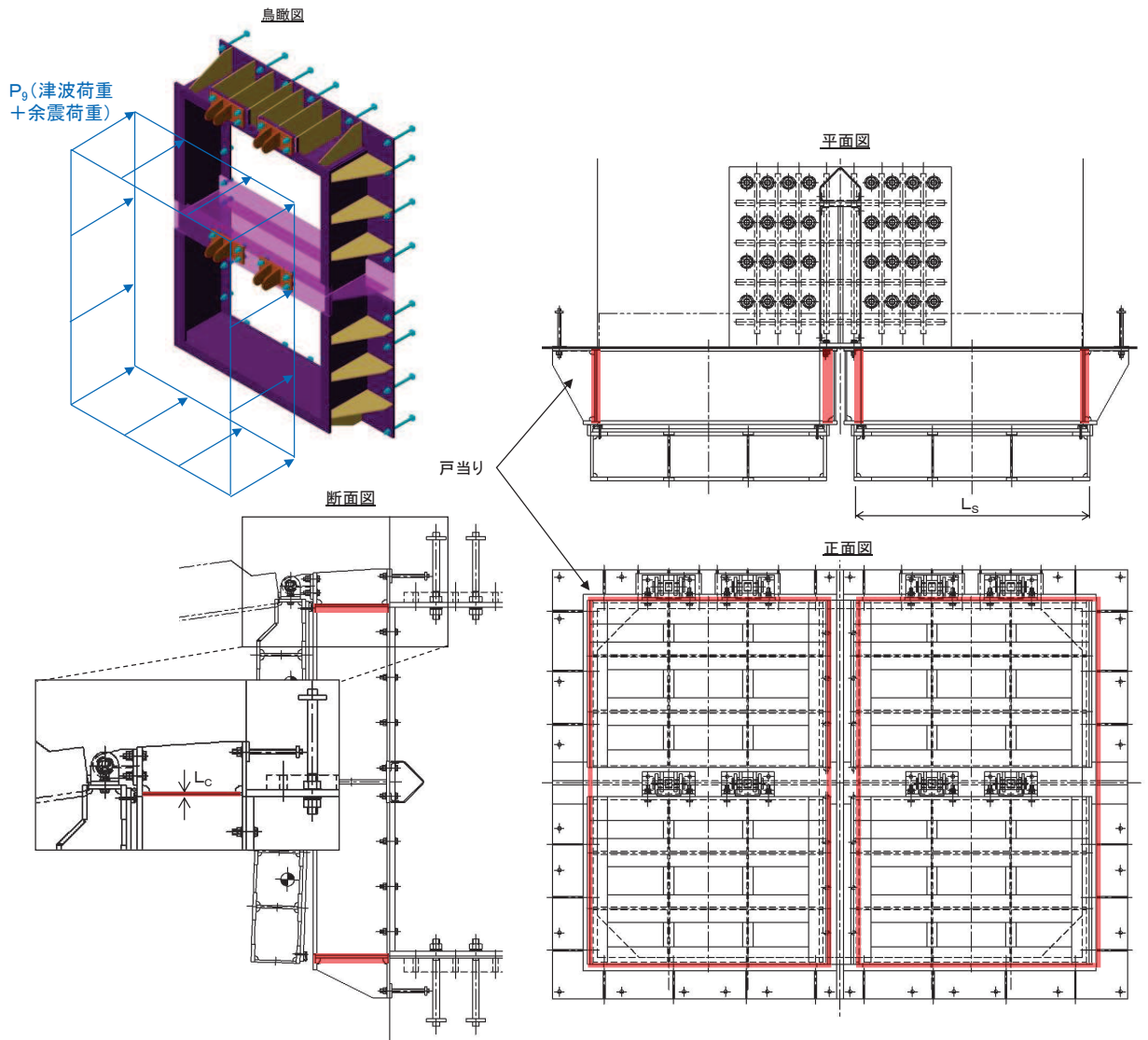


図 5-8 戸当りの構造図

また、戸当りの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{P_g \cdot L_s}{2 \cdot L_c}$$

ここで、

- P_g : 戸当りへ作用する荷重単位面積当たりの荷重 (N/mm²)
- L_s : 扉体幅 (mm)
- L_c : 戸当り支圧部の板厚 (mm)
- σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)

(7) 戸当り部コンクリート

戸当り部コンクリートは、戸当りから伝達されてきた荷重を支持する構造である。計算方法は、戸当りから伝達されてきた荷重を戸当りとコンクリートの接触面で受圧した際に、コンクリートに発生する支圧応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当り部コンクリートの構造図を図 5-9 に示す。

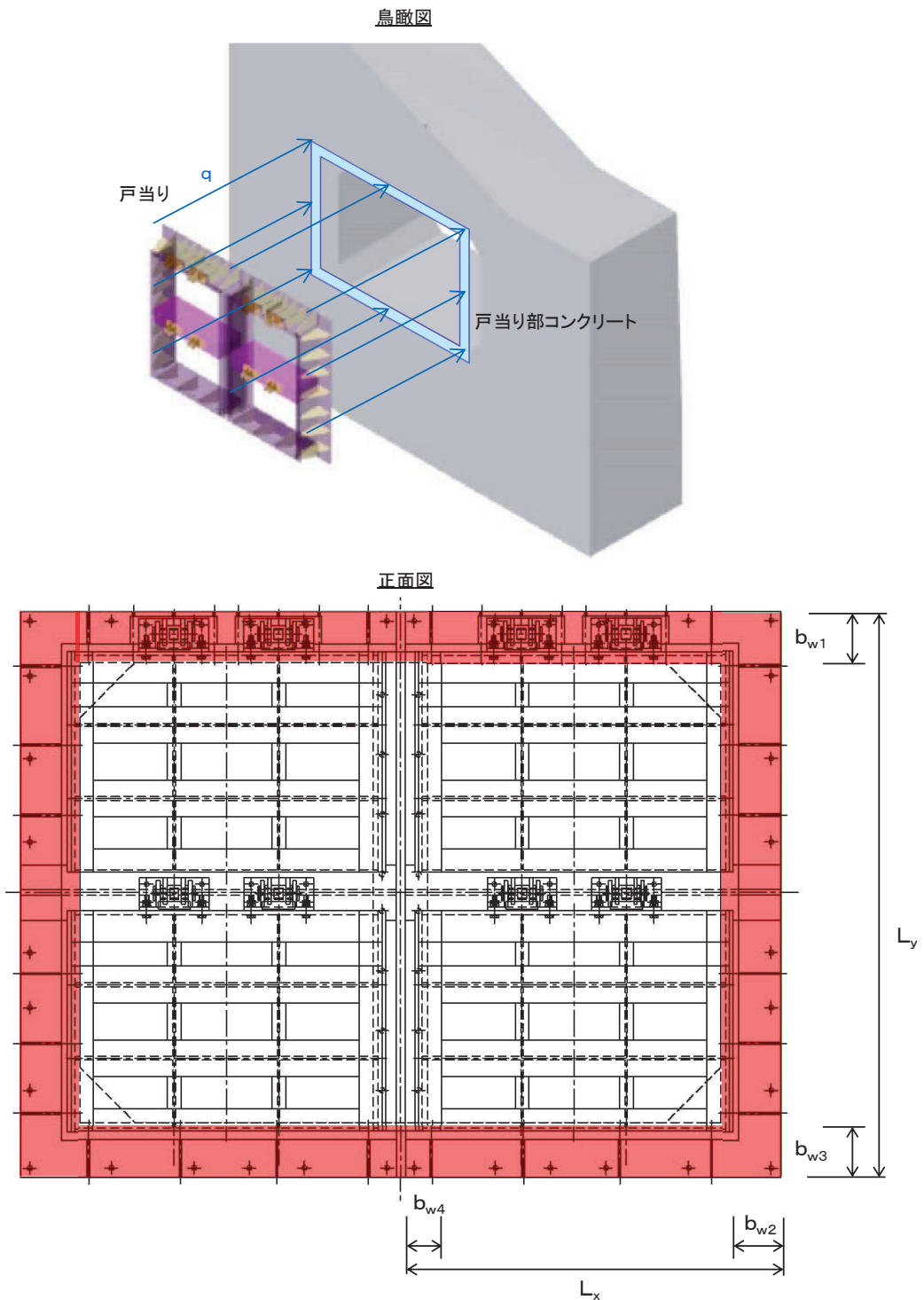


図 5-9 戸当り部コンクリートの構造図

また、戸当り部コンクリートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{q \cdot (L_x \cdot L_y)}{L_x (b_{w1} + b_{w3}) + (L_y - b_{w1} - b_{w3})(b_{w2} + b_{w4})}$$
$$\tau = \frac{\sigma_{bk} \cdot b_{w1}}{2 \cdot S}$$

ここで、

- q : コンクリートに作用する単位面積当たりの荷重 (N/mm²)
- L_x : 戸当り横幅 (mm)
- L_y : 戸当り縦幅 (mm)
- b_{w1} : 上部戸当り支圧幅 (mm)
- b_{w2} : 側部戸当り支圧幅 (mm)
- b_{w3} : 下部戸当り支圧幅 (mm)
- b_{w4} : 中央支柱部の戸当り支圧幅 (mm)
- S : 戸当り幅 (mm) (上部及び下部戸当りの最小支圧幅)
- σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

(8) 防護梁 (H 鋼)

防護梁 (H 鋼) は、防護梁両端のエンドプレートとブラケットが接触することによって支持される構成である。防護梁 (H 鋼) の計算方法は、等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化する。なお、防護梁本体の腐食代を 1mm 考慮する。

照査は、津波時及び重畳時で行い、それぞれについて、曲げ応力度、せん断応力度の照査を行うとともに、曲げとせん断が同時に作用する場合は合成応力度の照査を行う。

また、津波時において考慮する衝突荷重は、防護梁 1 本に対して集中荷重で考慮することとし、作用させるパターンは防護梁支間中央 (曲げモーメント最大ケース) 及び防護梁端部 (せん断応力最大ケース) とする。

防護梁の構造及びモデル図を図 5-10 に示す。

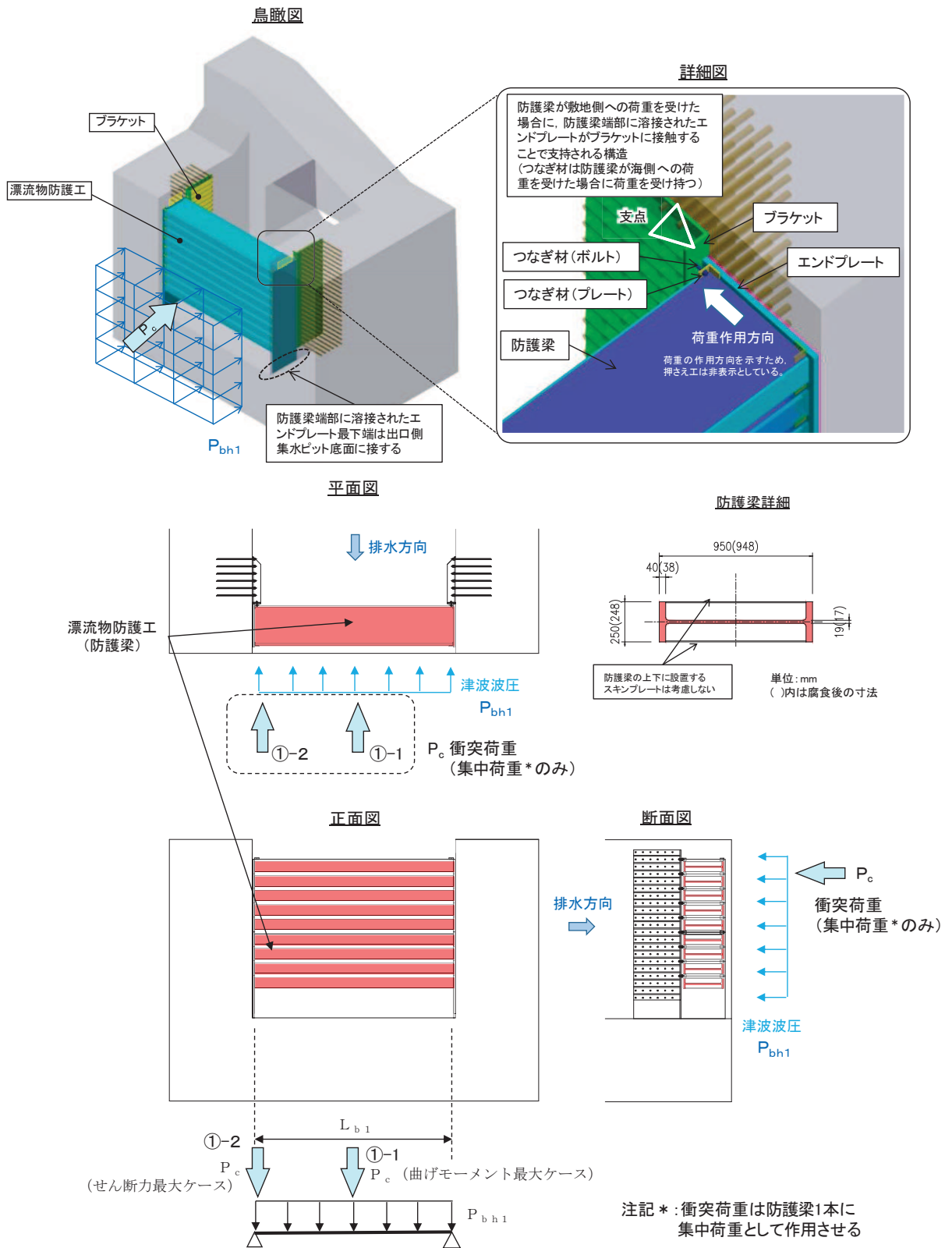


図 5-10 防護梁の構造及びモデル図

また、防護梁の応力算定式は以下のとおりである。

【水平方向】

$$M_{\max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8} + \frac{P_c \cdot L_{b1}}{4}$$

$$S_{\max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}}{2} + P_c$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_{bh1}}$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{Aw_{bh1}}$$

(合成応力度)

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2$$

ここで、

P_{bh1} : 防護梁に作用する水平荷重 (N/mm)

L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)

P_c : 衝突荷重 (kN) (津波時のみ考慮)

Z_{bh1} : 防護梁の水平(強軸)方向の断面係数 (mm³)

Aw_{bh1} : 防護梁の水平(強軸)方向のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{\max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(9) ブラケット

ブラケットは、側壁に埋め込まれたアンカーボルトを固定端として支持される構造である。計算方法は、防護梁と一体化したエンドプレートを通じて伝達される荷重が作用する側壁（北壁及び南壁）にアンカーボルトで固定された片持ち梁としてモデル化する。津波時及び重畳時では海側への荷重に対してエンドプレートに溶接されたつなぎ材を介して荷重が作用する。

照査は、曲げ応力度、せん断応力度について行うとともに、曲げとせん断が同時に作用する場合は合成応力度の照査を行う。

なお、腐食代を 1mm 考慮する。

ブラケットの構造図及びモデル図を図 5-11 に示す。

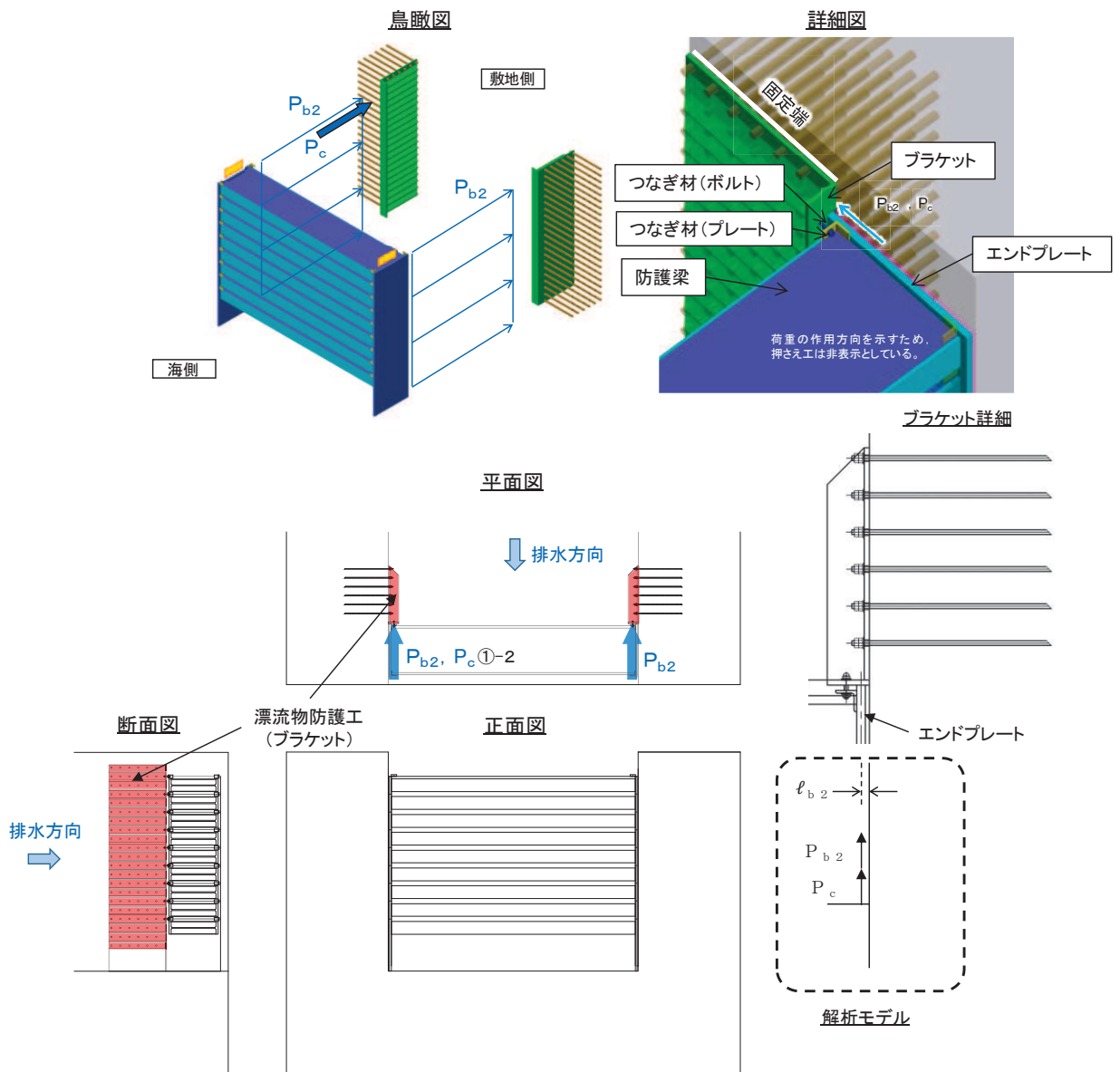


図 5-11 ブラケットの構造図及びモデル図

また、漂流物防護工（ブラケット）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = (P_{b2} + P_c) \cdot \ell_{b2}$$

$$S_{\text{max}} = P_{b2} + P_c$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{b2}}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_{b2}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b2} : ブラケットに作用する水平力 (N)
- P_c : 衝突荷重 (N) (津波時のみ考慮)
- ℓ_{b2} : 側壁からエンドプレート中心までの長さ (mm)
- Z_{b2} : ブラケットの断面係数 (mm³)
- $A w_{b2}$: ブラケットのせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

(10) アンカーボルト

ブラケットに発生したモーメントとせん断力は、埋め込まれたアンカーボルト群により側壁に荷重伝達される。

防護梁 1 本に作用する荷重に対して、図 5-12 の左図に示す様に、エンドプレート幅 350mm の範囲にある 6 本 2 列、計 12 本のアンカーボルトで抵抗する。ただし、衝突荷重に対しては、図 5-12 の右図に示すように防護梁 1 本だけに作用するため、エンドプレート幅 350mm から 45° の荷重伝達を考えて 6 本 5 列、計 30 本で抵抗するものとする。

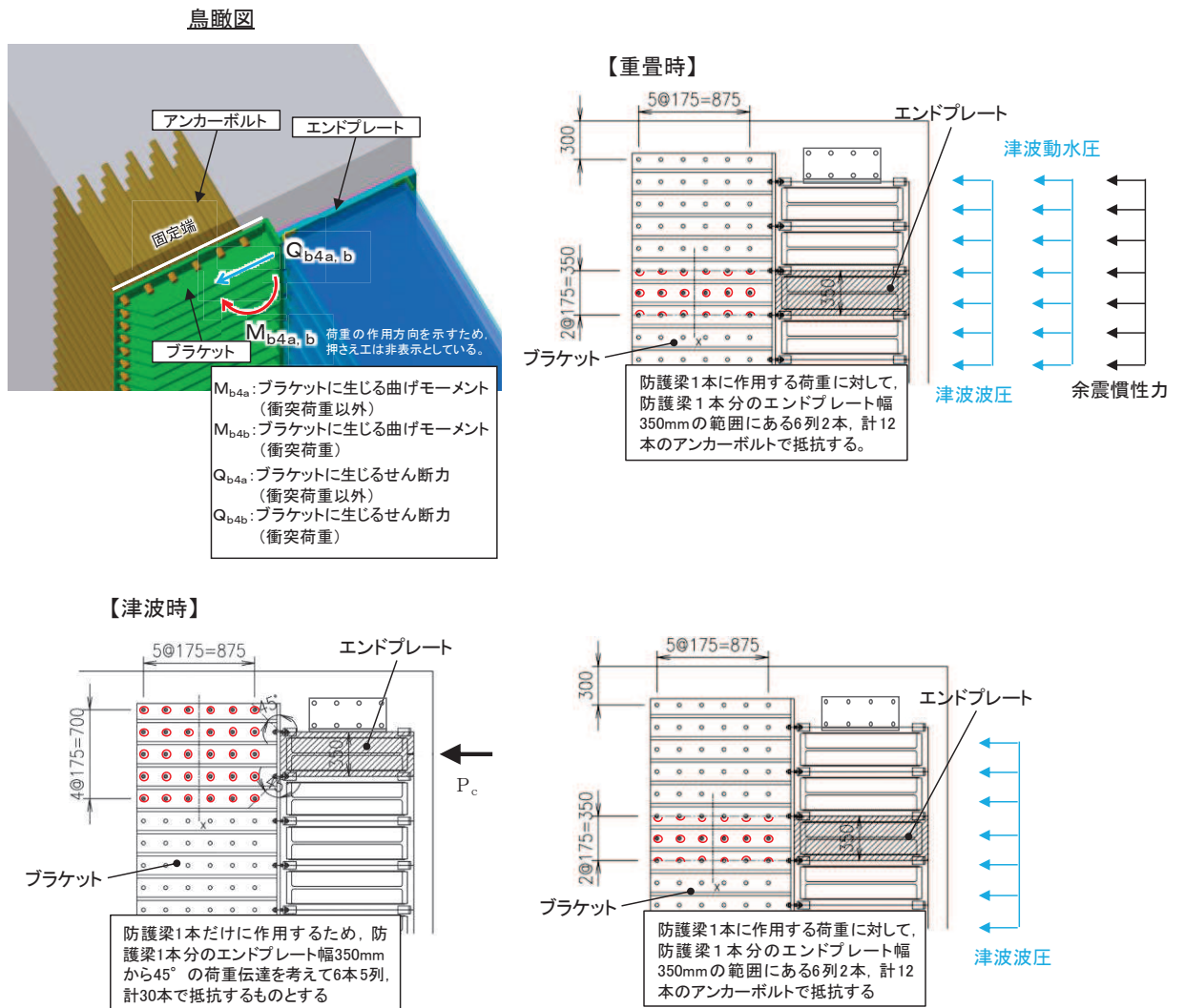


図 5-12 アンカーボルトの構造図

また、漂流物防護工（アンカーボルト）の応力算定式は以下のとおりである。

$$P_{b4} = P_{b4a} + P_{b4b} = \frac{(M_{b4a}/2)}{Z_{b4}} + \frac{(M_{b4b}/5)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4} = q_{b4a} + q_{b4b} = \frac{(Q_{b4a}/2)}{n} + \frac{(Q_{b4b}/5)}{n}$$

$$\left(\frac{P_{b4}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{b4}}{q_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b4} : アンカーボルト 1 本の引張力 (N)
- P_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力 (N)
- P_{b4b} : 衝突荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力 (N) (津波時のみ考慮)
- M_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重により生じる曲げモーメント (N・mm)
- M_{b4b} : 衝突荷重により生じる曲げモーメント (N・mm) (津波時のみ考慮)
- q_{b4} : アンカーボルト 1 本のせん断力 (N)
- q_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力 (N)
- q_{b4b} : 衝突荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力 (N) (津波時のみ考慮)
- Q_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重により生じるせん断力 (N)
- Q_{b4b} : 衝突荷重により生じるせん断力 (N) (津波時のみ考慮)
- Z_{b4} : アンカーボルト群 1 列の断面係数 (mm)
- n : アンカーボルト群 1 列の本数 (本)

(11) 押さえ工

押さえ工は、押さえ工（プレート）と押さえ工（ボルト）から構成し、防護梁のエンドプレートからの鉛直上向きの浮力に対して支持する構造である。計算方法は、図 5-13 に示すように、押さえ工（プレート）は側壁に押さえ工（ボルト）で固定された片持ち梁としてモデル化する。押さえ工（ボルト）は、押さえ工（プレート）に発生する荷重に対して、所用の引張力及びせん断力が確保できるか確認する。また、押さえ工の応力算定式は以下のとおりである。

【押さえ工（プレート）】

$$M_{\text{max}} = F \cdot \ell_{b2}$$

$$S_{\text{max}} = F$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{b5}}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{b5}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- F : 押さえ工（プレート）に作用する防護梁の浮力 (N)
- ℓ_{b2} : 側壁からエンドプレート中心までの長さ (mm)
- Z_{b5} : 押さえ工（プレート）の断面係数 (mm³)
- A_{b5} : 押さえ工（プレート）の断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

【押さえ工（ボルト）】

$$P_{b5} = \frac{M_{b5}}{\ell_{b5} \cdot n_5}$$

$$q_{b5} = \frac{Q_{b5}}{n_5}$$

ここで、

- P_{b5} : 押さえ工（ボルト）1本の引張力（N）
- q_{b5} : 押さえ工（ボルト）1本のせん断力（N）
- M_{b5} : 押さえ工（プレート）に生じる曲げモーメント（N・mm）
- ℓ_{b5} : 押さえ工（ボルト）の鉛直方向のピッチ（mm）
- Q_{b5} : 押さえ工（プレート）に生じるせん断力（N）
- n_5 : 押さえ工（ボルト）の本数（本）

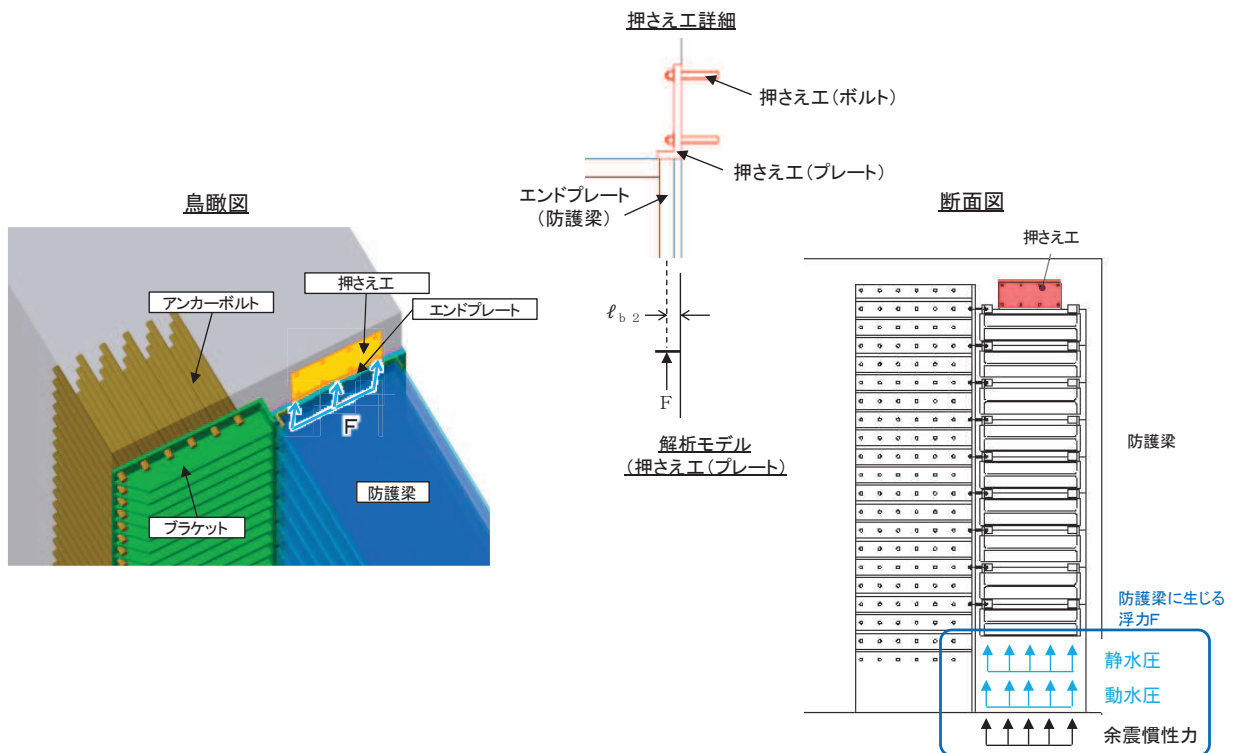


図 5-13 押さえ工の構造図及びモデル図

(12) 寸法の小さい漂流物の影響評価（スキンプレート）

スキンプレートについて、寸法の小さな漂流物による衝突荷重が集中荷重として作用する単純梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度が許容限界以下であることを確認する。スキンプレートのモデル図を図 5-14 に示す。

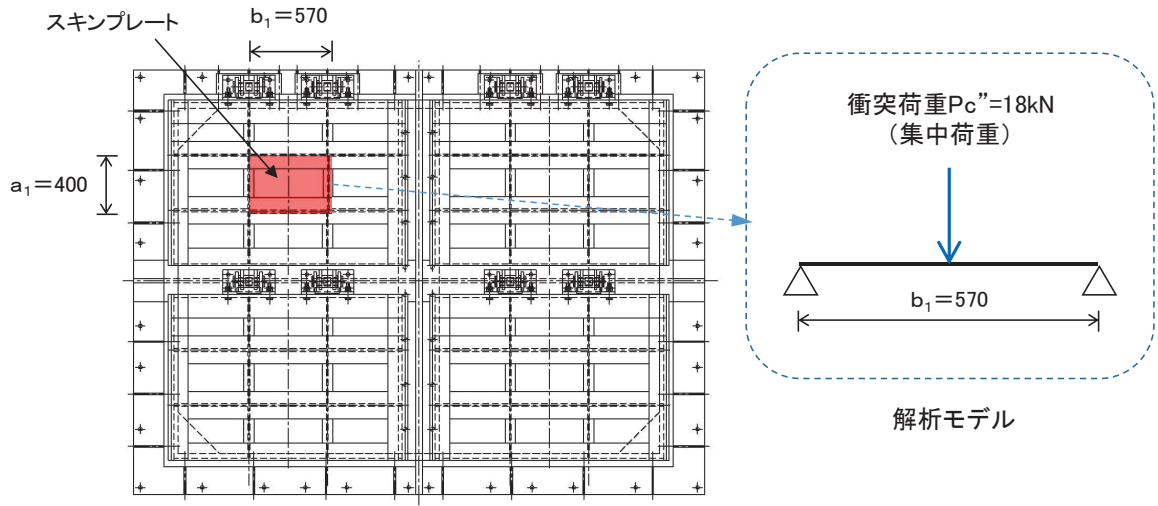


図 5-14 スキンプレートのモデル図

また、スキンプレートの寸法の小さい漂流物荷重に対する応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{P_c'' \cdot b_1}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_1}$$

ここで、

- P_c'' : 寸法の小さい漂流物衝突荷重 (kN)
- b_1 : スキンプレートの板厚 (mm)
- Z_1 : スキンプレートの断面係数 (mm³)
- M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

5.5.2 引き波時

引き波時の水位の下降に伴い防護梁の上部に瞬間的ではあるが漂流物の自重が作用する可能性を考慮し、図 5-15 に示すとおり、第一波で敷地に到達する漂流物の中から、最大の重量である FRP 製船舶（総トン数 5t（排水トン数 15t））の自重を考慮した場合の影響を確認する（影響検討内容①）。

ただし、漂流物の自重が防護梁に作用するのは瞬間的であること、及び余震が作用した場合には防護梁上にとどまり続けることは考えられないことから、余震との重畳は考慮しない。

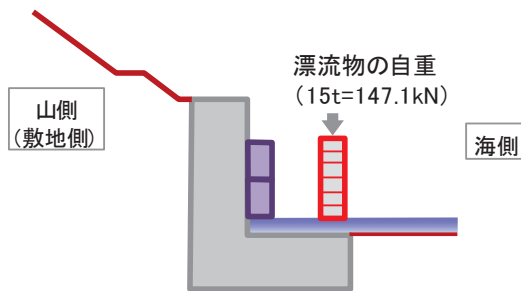


図 5-15 影響検討内容①のイメージ図

また、第一波来襲後の引き波時に、防護梁の山側（出口側集水ピット内）には寸法の小さな漂流物（がれき類）が取り込まれる可能性があるが、防護梁の山側と海側ではほとんど水位差がないため、漂流物が防護梁に影響を及ぼすことはない。

ただし、防護梁の山側に取り込まれたがれき類が防護梁同士の隙間に挟まる可能性を考慮し、図 5-16 に示すとおり、防護梁の隙間がすべてがれき類で目詰まりすることを想定して最上段の防護梁から最下段の防護梁までの高さの静水圧を山側（敷地側）から作用させた場合の影響について確認する（影響検討内容②）。

加えて、静水圧を作用させた状態に余震重畳を考慮した場合についても検討する。

さらに寸法の小さな漂流物による荷重が防護梁の山側（出口側集水ピット内側）から作用した場合の影響も確認することとし、引き波による流体力とともに考慮して検討する。

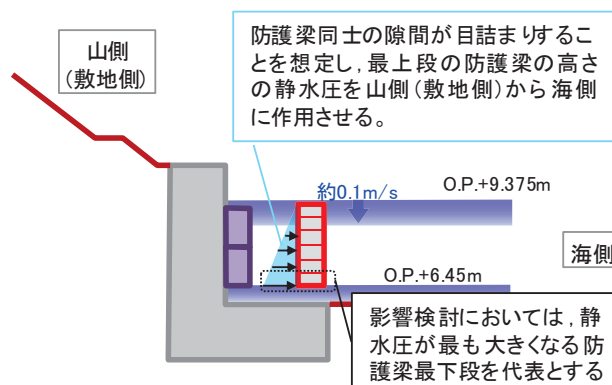


図 5-16 影響検討内容②のイメージ図

(1) 防護梁 (H 鋼)

a. 引き波時

防護梁 (H 鋼) の引き波時の検討概要図を図 5-17 に示す。防護梁 (H 鋼) はつなぎ材 (ボルト) を介してブラケットに支持される又は出口側集水ピット支持される単純梁としてモデル化する。また、影響検討内容①と影響検討内容②を同時に考慮した二軸応力状態の照査についても行う。

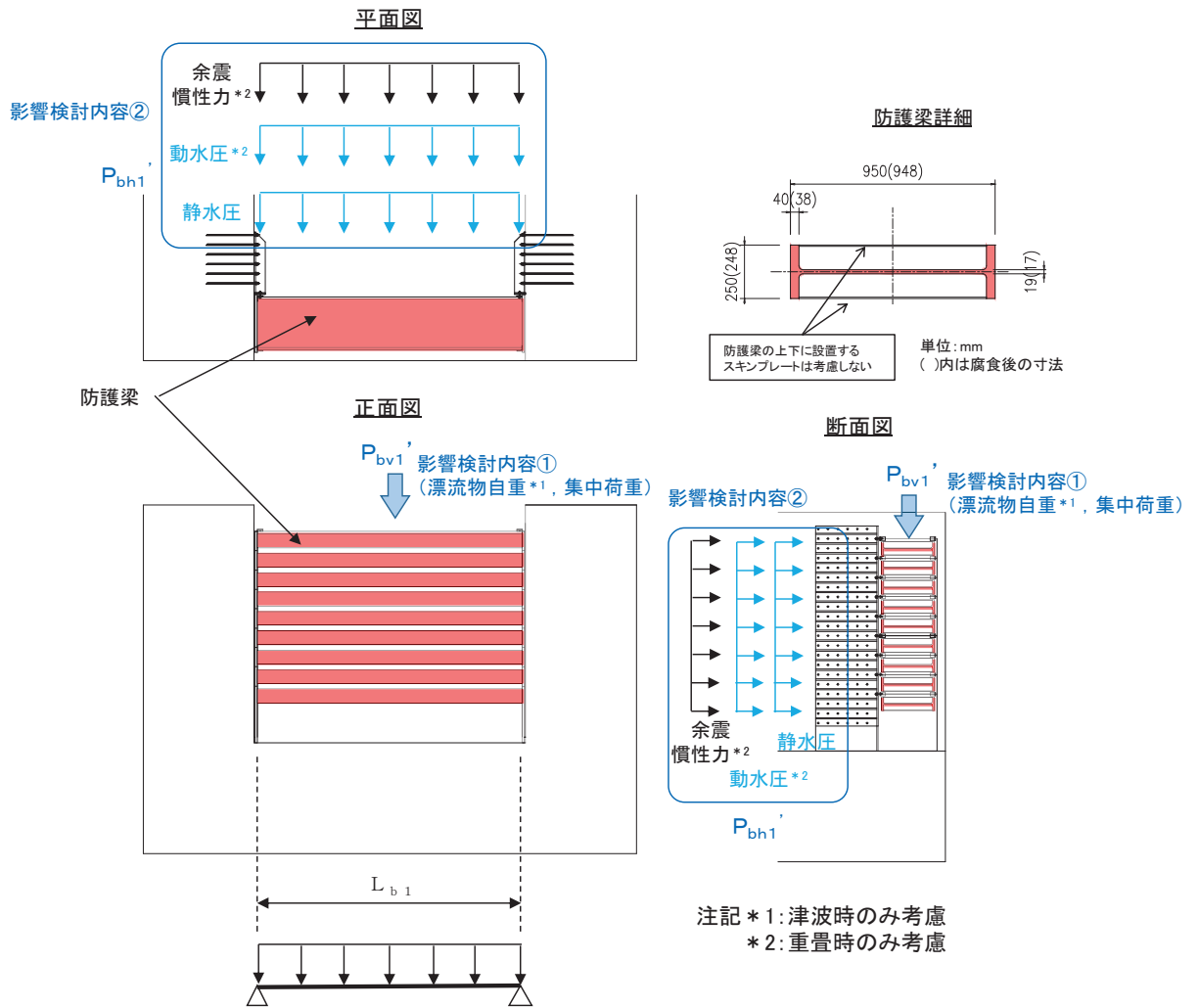


図 5-17 防護梁 (H 鋼) の引き波時の検討概要図

また、防護梁（H鋼）の応力算定式は以下のとおり。

【影響検討内容①】

$$M_{\max} = \frac{P_w \cdot L_{b1}}{4} + \frac{P_{bv1}' \cdot L_{b1}^2}{8}$$

$$S_{\max} = P_w + \frac{P_{bv1}' \cdot L_{b1}}{2}$$

$$\sigma_y = \frac{M_{\max}}{Z_{bv1}}$$

$$\tau_y = \frac{S_{\max}}{A_{w_{bv1}}}$$

$$\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_y}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

P_{bv1}' : 引き波により防護梁に作用する鉛直荷重 (N/mm)

P_w : 防護梁の自重(N)

L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)

Z_{bv1} : 防護梁の鉛直（弱軸）方向の断面係数 (mm³)

$A_{w_{bv1}}$: 防護梁の鉛直（弱軸）方向のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{\max} : 最大せん断力 (N)

σ_y : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ_y : せん断応力度 (N/mm²)

【影響検討内容②】

$$M_{\max} = \frac{P_{bh1}' \cdot L_{b1}^2}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{P_{bh1}' \cdot L_{b1}}{2}$$

$$\sigma_x = \frac{M_{\max}}{Z_{bh1}}$$

$$\tau_x = \frac{S_{\max}}{A w_{bh1}}$$

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_x}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

【二軸応力状態の照査】

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right) + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2$$

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$$

ここで、

- P_{bh1}' : 引き波により防護梁に作用する水平荷重 (N/mm)
- L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)
- Z_{bh1} : 防護梁の水平 (強軸) 方向の断面係数 (mm³)
- $A w_{bh1}$: 防護梁の水平 (強軸) 方向のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{\max} : 最大せん断力 (N)
- σ_x, σ_y : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_x, τ_y : せん断応力度 (N/mm²)

b. 寸法の小さい漂流物の影響

防護梁（H 鋼）の寸法の小さい漂流物衝突の検討概要図を図 5-18 に示す。防護梁（H 鋼）はつなぎ材（ボルト）を介してブラケットに支持される又は出口側集水ピットに支持される単純梁としてモデル化する。

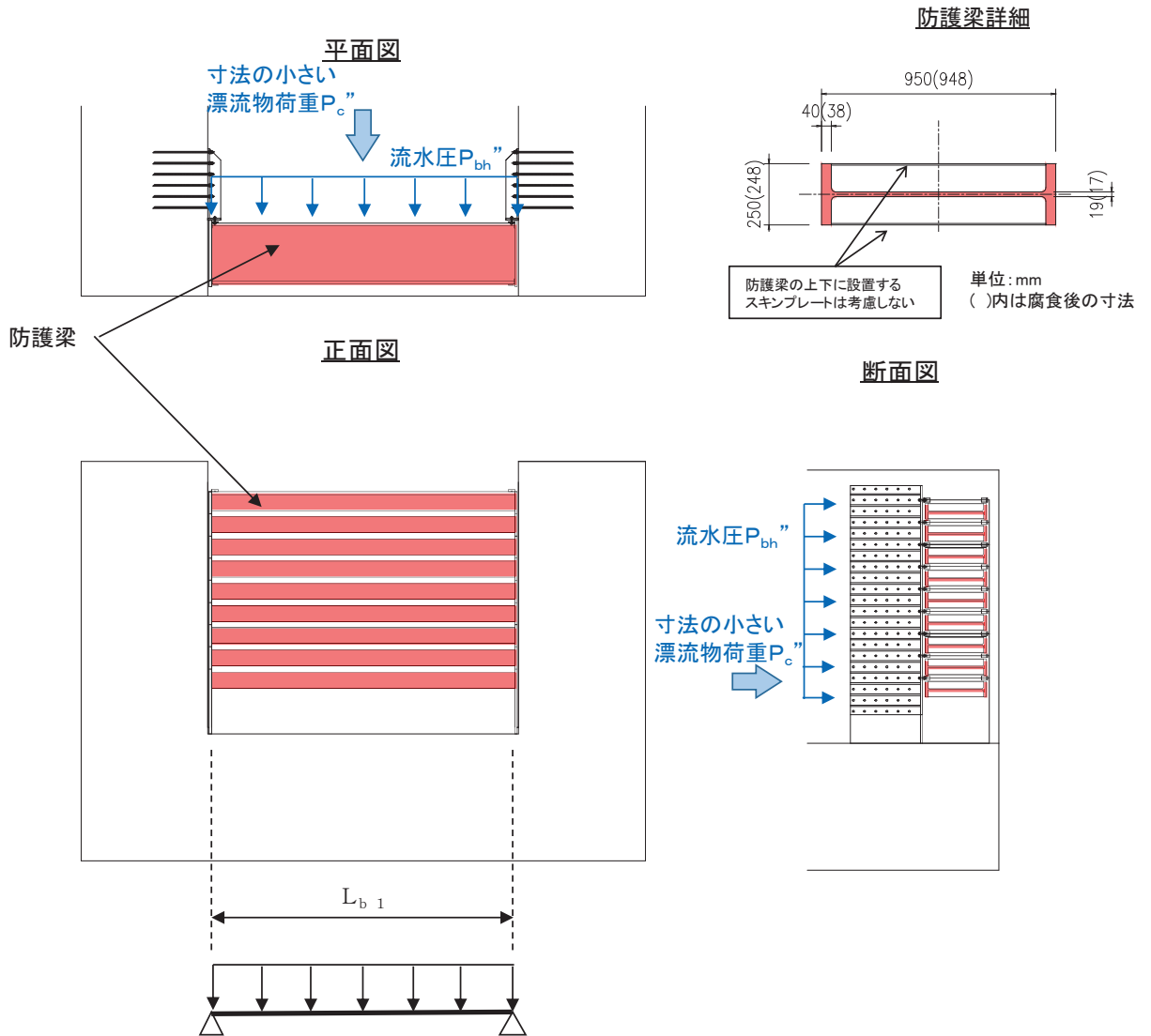


図 5-18 防護梁（H 鋼）の寸法の小さい漂流物衝突の検討概要図

また、防護梁（H鋼）の応力算定式は以下のとおり。

$$M_{max} = \frac{P_c'' \cdot L_{b1}}{4} + \frac{P_{bh}'' \cdot L_{b1}^2}{8}$$

$$S_{max} = P_c'' + \frac{P_{bh}'' \cdot L_{b1}}{2}$$

$$\sigma_y = \frac{M_{max}}{Z_{bh1}}$$

$$\tau_y = \frac{S_{max}}{A_{w_{bh1}}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

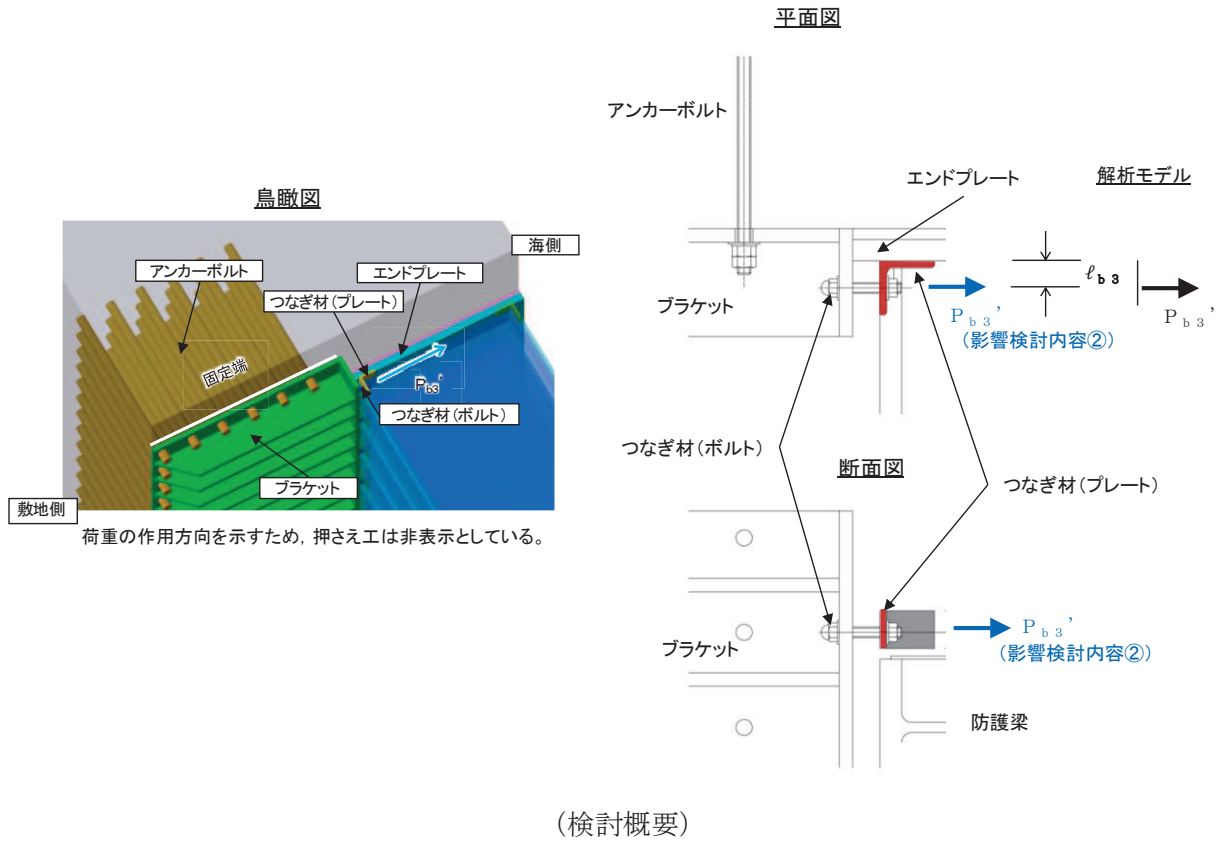
ここで、

- P_{bh}'' : 防護梁に作用する流水圧 (kN/m)
- P_c'' : 寸法の小さい漂流物衝突荷重 (kN)
- L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)
- Z_{bh1} : 防護梁の水平（強軸）方向の断面係数 (mm³)
- $A_{w_{bh1}}$: 防護梁の水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

(2) 防護梁（つなぎ材（プレート））

a. 引き波時

防護梁（つなぎ材（プレート））の引き波時の検討概要図を図 5-19 に示す。つなぎ材（プレート）は、エンドプレートを固定端とした片持ち梁でモデル化する。



(検討概要)
 図 5-19 防護梁（つなぎ材（プレート））の引き波時検討概要図

また、防護梁（つなぎ材（プレート））の応力算定式は以下のとおり。

【影響検討内容②】

$$M_{\max} = P_{b3}' \cdot \ell_{b3}$$

$$S_{\max} = P_{b3}'$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_{b3}}$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A_{b3}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b3}' : 引き波によりつなぎ材プレートに作用する水平力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
- ℓ_{b3} : エンドプレートからつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)
- Z_{b3} : つなぎ材プレートの断面係数 (mm³)
- A_{b3} : つなぎ材プレートの断面積 (mm²)
- M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{\max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

b. 寸法の小さい漂流物の影響

防護梁(つなぎ材(プレート))の寸法の小さい漂流物の検討概要図を図5-20に示す。
つなぎ材(プレート)は、エンドプレートを固定端とした片持ち梁でモデル化する。

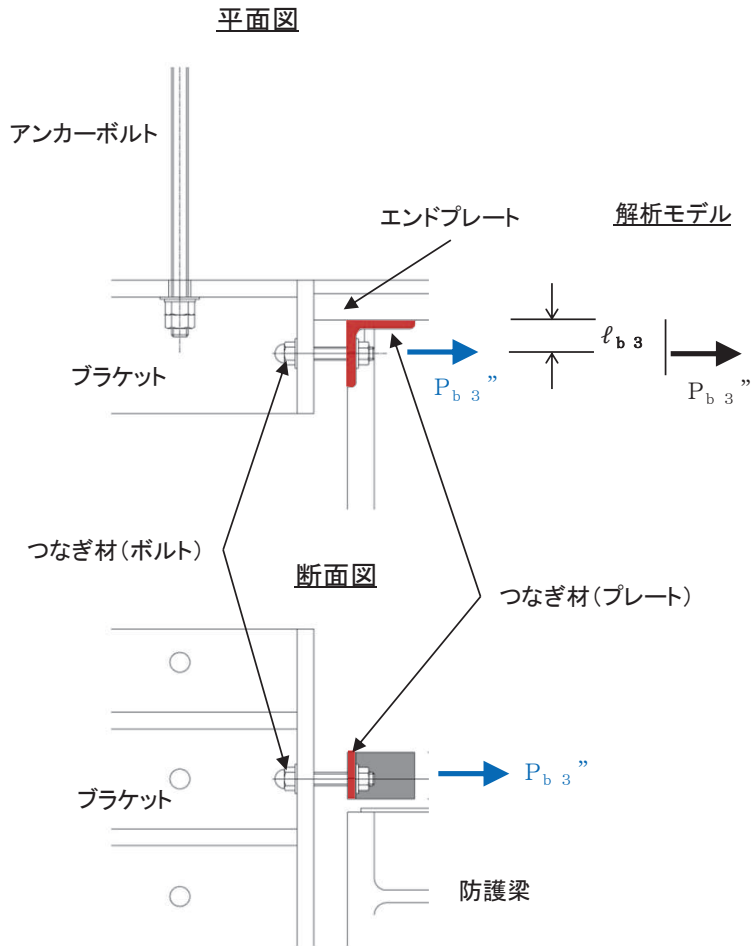


図5-20 防護梁(つなぎ材(プレート))の寸法の小さい漂流物検討概要図

また、防護梁（つなぎ材（プレート））の応力算定式は以下のとおり。

$$M_{\text{max}} = P_{\text{b3}} \cdot \ell_{\text{b3}}$$

$$S_{\text{max}} = P_{\text{b3}}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{\text{b3}}}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{\text{b3}}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

P_{b3} : 寸法の小さい漂流物によりつなぎ材プレートに作用する水平力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)

ℓ_{b3} : エンドプレートからつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)

Z_{b3} : つなぎ材プレートの断面係数 (mm³)

A_{b3} : つなぎ材プレートの断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(3) 防護梁（エンドプレート）

a. 引き波時

防護梁（エンドプレート）の引き波時の検討概要図を図 5-21 に示す。エンドプレート下端に発生する支圧応力に対する照査を行うこととし、エンドプレートの支圧に対して最も厳しくなるように、エンドプレート直上に漂流物自重が作用する場合を想定する。

正面図

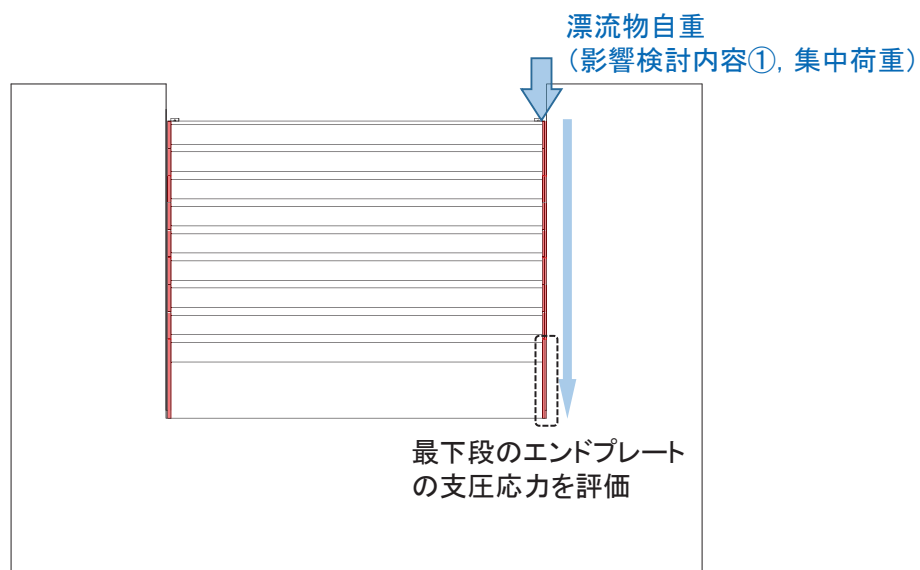


図 5-21 エンドプレートの引き波時の検討概要図

また、防護梁（エンドプレート）の応力算定式は以下のとおり。

$$\sigma_c = \frac{P_{10}'}{A_{10}}$$

ここで、

- σ_c : エンドプレート下端に作用する支圧応力度 (N/mm²)
- P_{10}' : エンドプレート下端の鉛直荷重 (N)
- A_{10} : エンドプレート下端の断面積 (mm²)

(4) ブラケット

a. 引き波時

ブラケットの引き波時の検討概要図を図 5-22 に示す。ブラケットは、出口側集水ピット側壁を固定端とした片持ち梁でモデル化する。

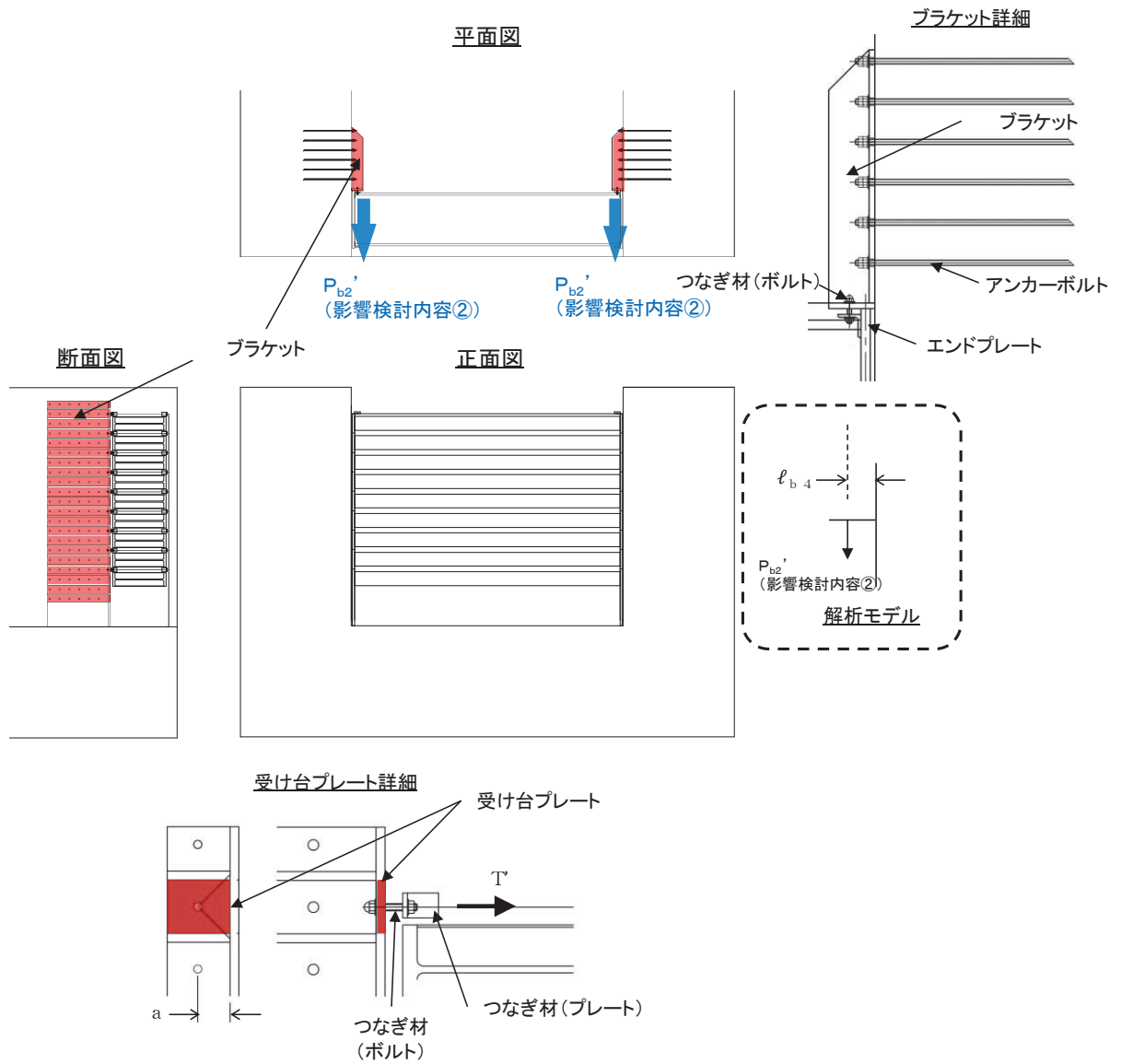


図 5-22 ブラケットの引き波時の検討概要図

また、漂流物防護工（ブラケット）の応力算定式は以下のとおりである。

【ブラケット本体】

$$M_{\text{max}} = P_{b2}' \cdot \ell_{b4}$$

$$S_{\text{max}} = P_{b2}'$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{b2}}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w_{b2}}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b2}' : 引き波によりブラケットに作用する水平力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
- ℓ_{b4} : 側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)
- Z_{b2} : ブラケットの断面係数 (mm³)
- $A_{w_{b2}}$: ブラケットのせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

【ブラケットのうち受け台プレート】

$$M_{\text{max}} = T' \cdot a$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_c}$$

ここで、

- T' : 引き波により受け台に作用する引張力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
- a : ブラケット端部からつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)
- Z_c : 受け台プレートの断面係数 (mm³)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

b. 寸法の小さい漂流物の影響

ブラケットの寸法の小さい漂流物の検討概要図を図 5-23 に示す。ブラケットは、出口側集水ピット側壁を固定端とした片持ち梁でモデル化する。

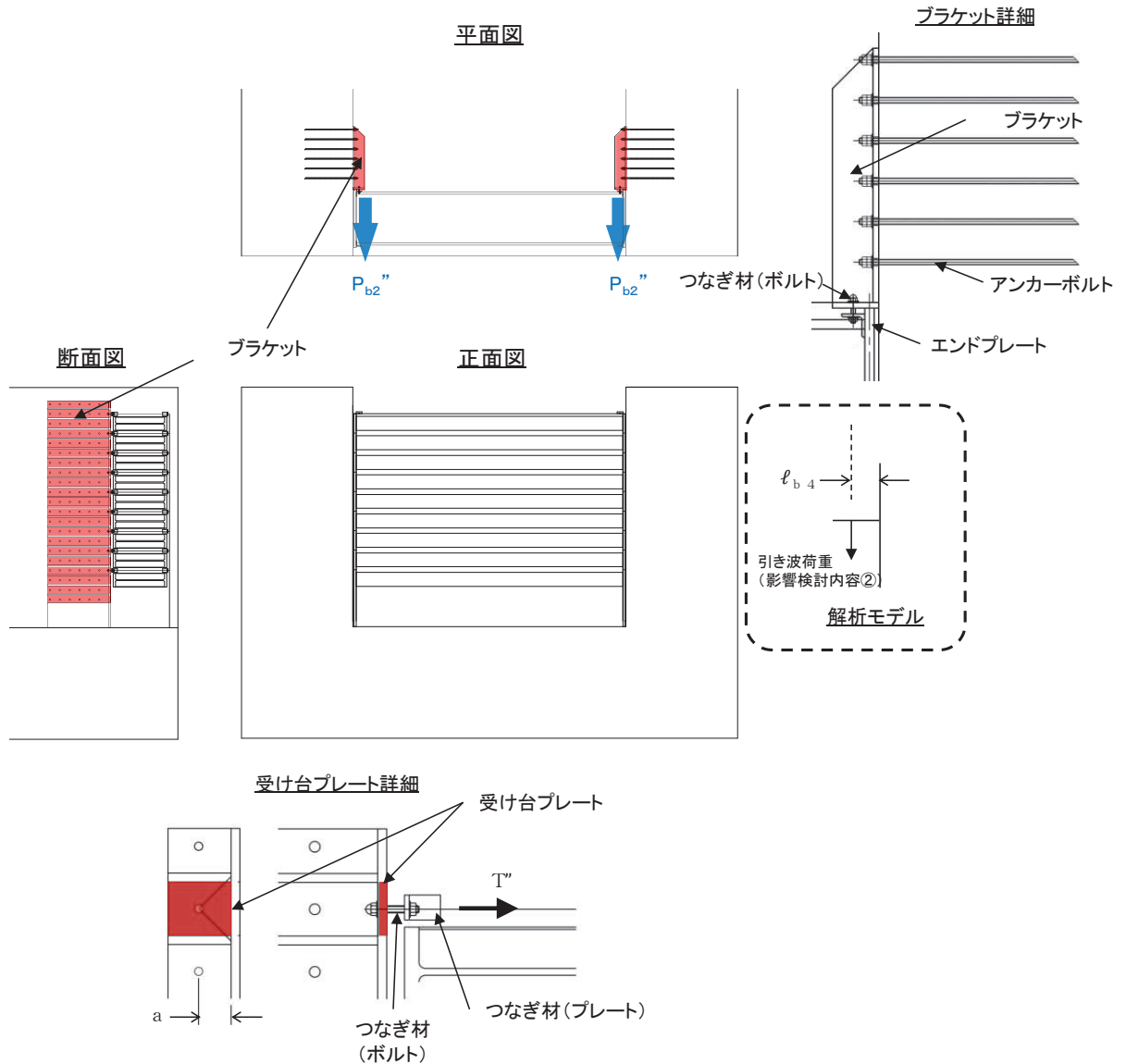


図 5-23 ブラケットの寸法の小さい漂流物の検討概要図

また、ブラケットの応力算定式は以下のとおりである。

【ブラケット本体】

$$M_{\text{max}} = P_{b2} \cdot \ell_{b4}$$

$$S_{\text{max}} = P_{b2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{b2}}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w_{b2}}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b2} : 寸法の小さい漂流物によりブラケットに作用する水平力 (N)
- ℓ_{b4} : 側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)
- Z_{b2} : ブラケットの断面係数 (mm³)
- $A_{w_{b2}}$: ブラケットのせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

【ブラケットのうち受け台プレート】

$$M_{\text{max}} = T'' \cdot a$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_c}$$

ここで、

T'' : 寸法の小さい漂流物により受け台に作用する引張力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)

a : ブラケット端部からつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)

Z_c : 受け台プレートの断面係数 (mm³)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

(5) つなぎ材 (ボルト)

a. 引き波時

つなぎ材 (ボルト) の引き波時の検討概要図を図 5-24 示す。つなぎ材 (ボルト) は引き波荷重に対して引張応力度の照査を行う。

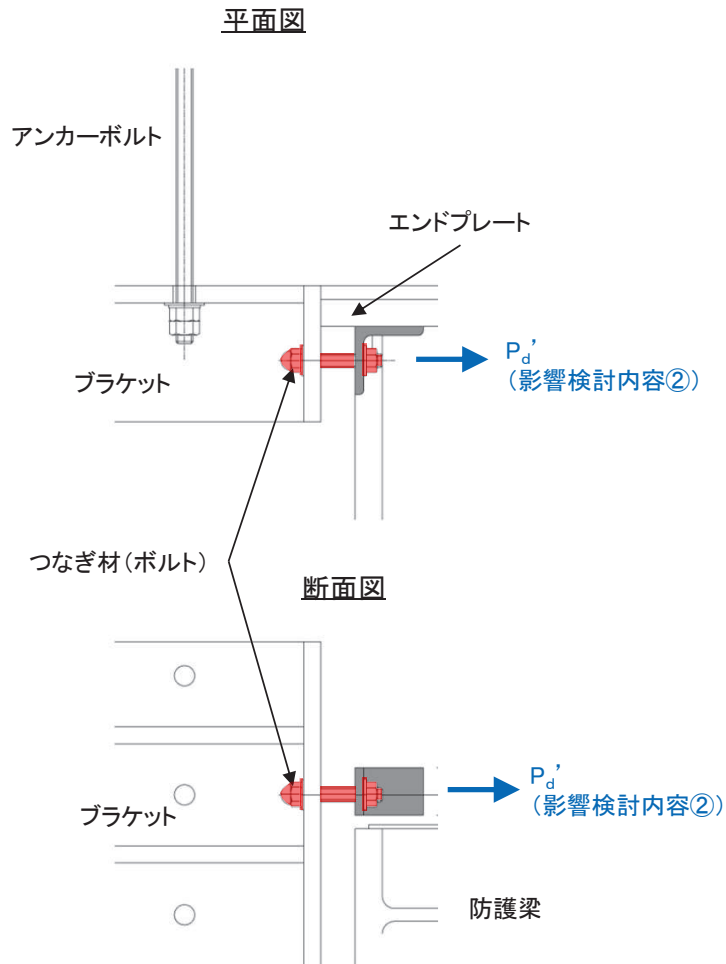


図 5-24 つなぎ材 (ボルト) の引き波時の検討概要図

また、つなぎ材 (ボルト) の応力算定式は以下のとおり。

$$\sigma = \frac{P_d'}{A d}$$

ここで、

P_d' : 引き波によりつなぎ材ボルトに作用する引張力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)

$A d$: つなぎ材ボルトの有効断面積 (mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

b. 寸法の小さい漂流物の影響

つなぎ材（ボルト）の寸法の小さい漂流物の検討概要図を図 5-25 に示す。つなぎ材（ボルト）は引張応力度の照査を行う。

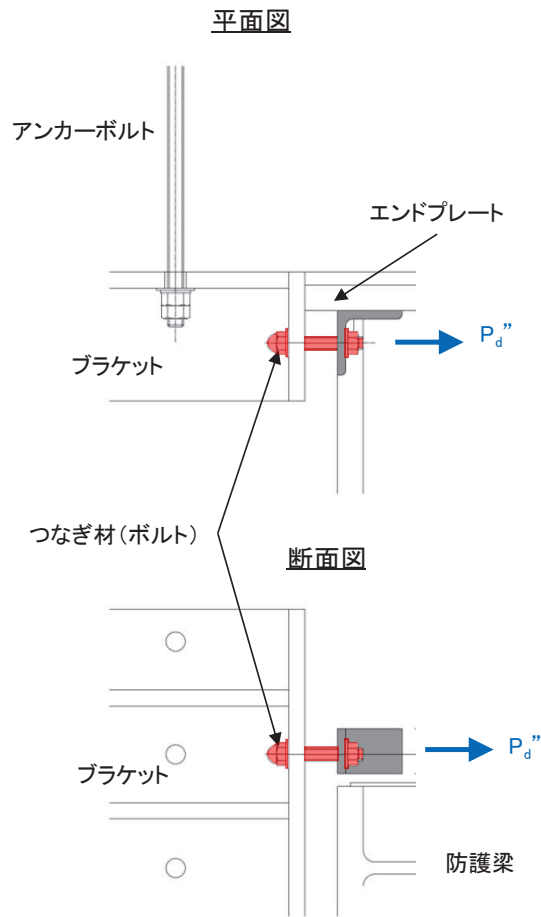


図 5-25 つなぎ材（ボルト）の寸法の小さい漂流物の検討概要図

また、つなぎ材（ボルト）の応力算定式は以下のとおり。

$$\sigma = \frac{P_d''}{A d}$$

ここで、

P_d'' : 寸法の小さい漂流物によりつなぎ材ボルトに作用する引張力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)

$A d$: つなぎ材ボルトの有効断面積 (mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

(6) アンカーボルト

a. 引き波時

アンカーボルトの引き波時の検討概要図を図 5-26 に示す。アンカーボルトは引き波荷重に対して引張及びせん断の照査を行う。

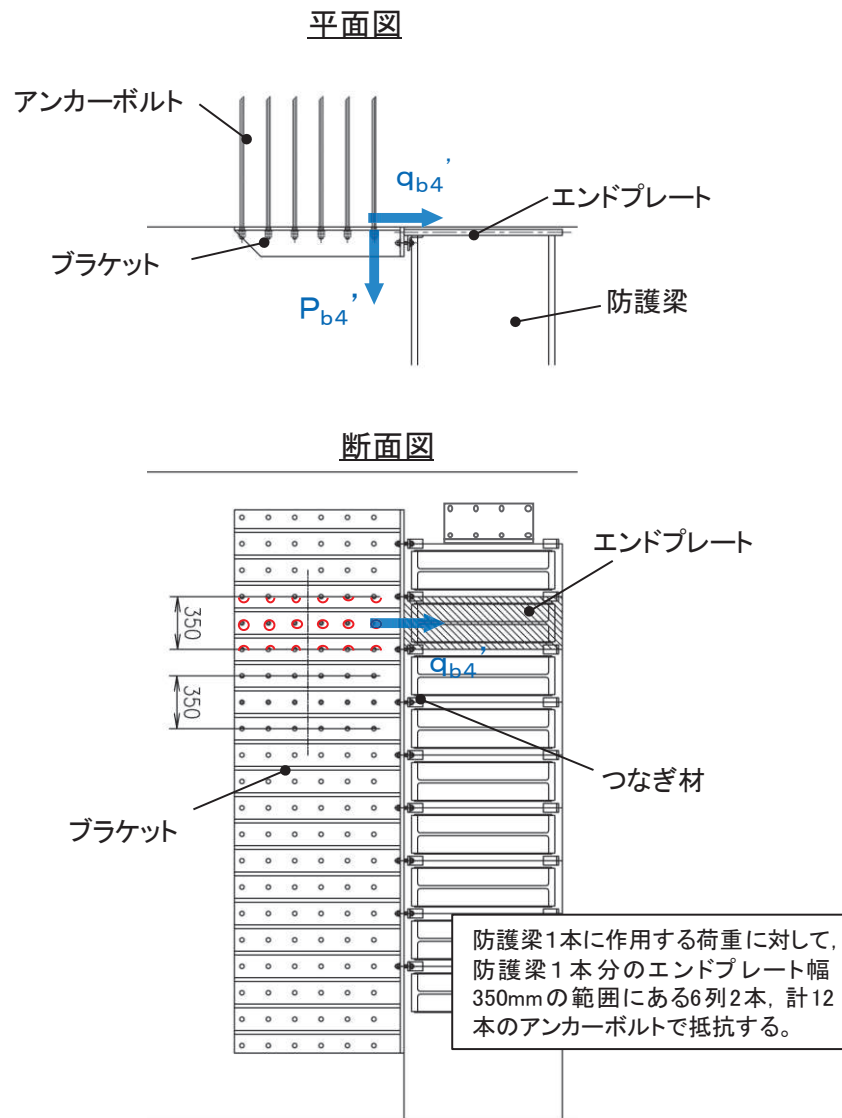


図 5-26 アンカーボルトの引き波時の検討概要図

また、アンカーボルトの応力算定式は以下のとおりである。

$$P_{b4}' = \frac{(M_{b4}' / 2)}{Z_{b4}'}$$

$$q_{b4}' = \frac{(Q_{b4}' / 2)}{n}$$

$$\left(\frac{P_{b4}'}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{b4}'}{q_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b4}' : 引き波によるアンカーボルト1本の引張力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
- q_{b4}' : 引き波によるアンカーボルト1本のせん断力 (N)
- M_{b4}' : 引き波によりブラケットに生じる曲げモーメント (N・mm)
- Z_{b4}' : 引き波によりアンカーボルト群1列の断面係数 (mm)
- Q_{b4}' : 引き波によりブラケットに生じるせん断力 (N)
- n : アンカーボルト群1列の本数 (本)

b. 寸法の小さい漂流物の影響

アンカーボルトの寸法の小さい漂流物の検討概要図を図 5-27 に示す。アンカーボルトは引張及びせん断の照査を行う。

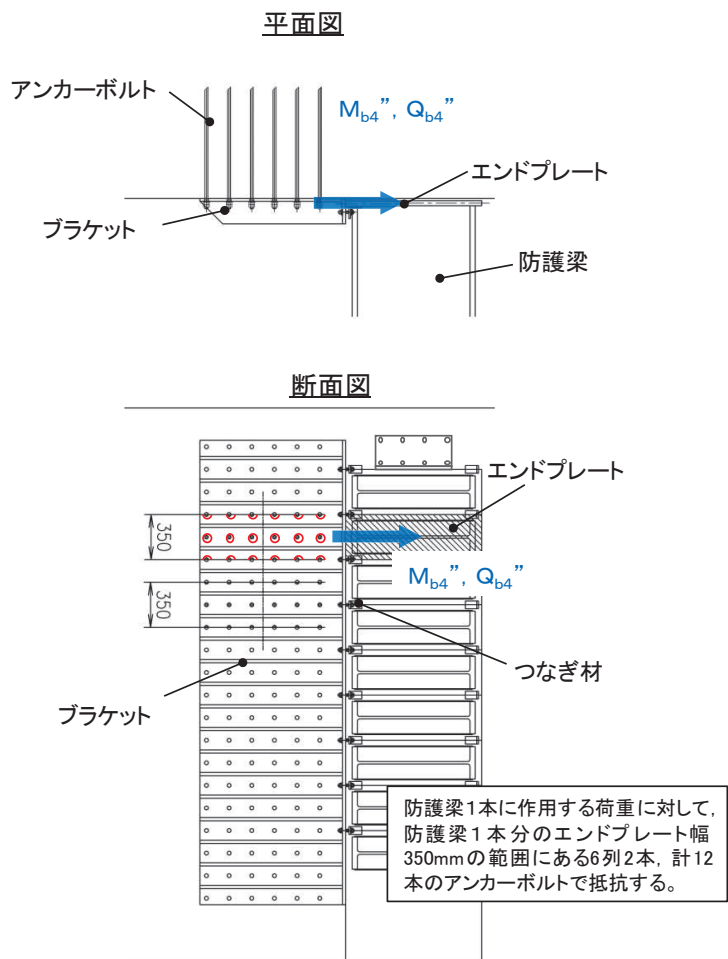


図 5-27 アンカーボルトの寸法の小さい漂流物の検討概要図

また、アンカーボルトの応力算定式は以下のとおりである。

$$P_{b4}'' = \frac{(M_{b4}'' / 2)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4}'' = \frac{(Q_{b4}'' / 2)}{n}$$

$$\left(\frac{P_{b4}''}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{b4}''}{q_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b4}'' : 寸法の小さい漂流物によるアンカーボルト1本の引張力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
- q_{b4}'' : 寸法の小さい漂流物によるアンカーボルト1本のせん断力 (N)
- M_{b4}'' : 寸法の小さい漂流物によりブラケットに生じる曲げモーメント (N・mm)
- Z_{b4} : 寸法の小さい漂流物によりアンカーボルト群1列の断面係数 (mm)
- Q_{b4}'' : 寸法の小さい漂流物によりブラケットに生じるせん断力 (N)
- n : アンカーボルト群1列の本数 (本)

5.6 計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる計算条件を表5-5及び表5-6に示す。

表 5-5(1) 応力評価に用いる計算条件（寄せ波時）（1/3）

固定荷重 （1門あたりの扉体の自重） G (N)	1門あたりの 扉体面積 A ₁ (mm ²)	水の単位体積重量 W ₀ (N/mm ³)
1.4709975×10 ⁴	2.04×10 ⁶	1.01×10 ⁻⁵

区画	スキンプレート				
	辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数k	短辺 a ₁ (mm)	長辺 b ₁ (mm)	板厚 t ₁ (mm)	単位面積当たりの 荷重 P ₁ (N/mm ²)
1～2桁	43.94	400	570	25	0.50
2～3桁	43.94	400	570	25	0.50
3～4桁	43.94	400	570	25	0.50

区画	主桁に作用する 等分布荷重 W (N/mm)	主桁支間長 L ₂ (mm)	主桁の 断面係数 Z ₂ (mm ³)	主桁の せん断抵抗断面積 A _{w2} (mm ²)
1桁	100	1700	8.130379×10 ⁵	3.40×10 ³
2, 3桁	200	1700	1.769048×10 ⁶	6.00×10 ³
4桁	100	1700	1.137798×10 ⁶	4.50×10 ³

補助縦桁に作用する 各区画の平均荷重 p (N/mm ²)	補助縦桁の 主桁間隔 ℓ (mm)	補助縦桁の断面係数 Z ₃ (mm ³)	補助縦桁の せん断抵抗断面積 A _{w3} (mm ²)
0.50	400	3.266545×10 ⁵	2.16×10 ³

中央支柱に作用する 荷重 W ₄ (N/mm)	中央支柱固定 高 L ₄ (mm)	中央支柱の断面係数 Z ₄ (mm ³)	中央支柱の せん断抵抗断面積 A _{w4} (mm ²)	中央支柱（アンカー ボルト）の本数 n ₄ (本)
900.0	2500	1.5535178×10 ⁷	3.43×10 ⁴	32

中央横桁に作用する 荷重 W ₅ (N/mm)	中央横桁の 支間長 L ₅ (mm)	中央横桁の断面係数 Z ₅ (mm ³)	中央横桁の せん断抵抗断面積 A _{w5} (mm ²)
652.5	1600	4.897727×10 ⁶	1.50×10 ⁴

表 5-5(2) 応力評価に用いる計算条件（寄せ波時）（2/3）

コンクリートへ作用する単位面積当たりの荷重 P_9 (N/mm ²)	扉体幅 L_s (mm)	戸当り支圧部の板厚 L_c (mm)	戸当りへ作用する水平荷重 q (N/mm ²)	戸当り横幅 L_x (mm)	戸当り縦幅 L_y (mm)
0.50	1220	12	1.376	1710	1670

上部戸当り支圧幅 b_{w1} (mm)	側部戸当り支圧幅 b_{w2} (mm)	下部戸当り支圧幅 b_{w3} (mm)	中央支柱部の戸当り支圧幅 b_{w4} (mm)	戸当り幅 S (mm)
275	325	300	125	275

防護梁			
作用する水平荷重 P_{bh1} (N/mm)	スパン長 L_{b1} (mm)	水平（強軸）方向の断面係数 Z_{bh1} (mm ³)	水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積 A_{wbh1} (mm ²)
(津波時)20.58 (重畳時)120.0	4820	10.22×10^6	14.82×10^3

ブラケットに作用する水平力 P_{b2} (N)	側壁からエンドプレート中心までの長さ l_{b2} (mm)	ブラケットの断面係数 Z_{b2} (mm ³)	ブラケットのせん断抵抗断面積 A_{wb2} (mm ²)
(津波時) 50.4×10^3 (重畳時) 294.0×10^3	40	14.67×10^6	50.6×10^3

衝突荷重以外の荷重により生じる曲げモーメント M_{b4a} (N・mm)	衝突荷重により生じる曲げモーメント M_{b4b} (N・mm)
(津波時) 2.016×10^6 (重畳時) 11.8×10^6	80×10^6

衝突荷重以外の荷重により生じるせん断力 q_{b4a} (N)	衝突荷重により生じるせん断力 Q_{b4b} (N)	アンカーボルト群1列の断面係数 Z_{b4} (mm)	アンカーボルト群1列の本数 n (本)
(津波時) 50.4×10^3 (重畳時) 294.0×10^3	400×10^3	1225	6

表 5-5(3) 応力評価に用いる計算条件（寄せ波時）（3/3）

押さえ工（プレート）に作 用する防護梁の浮力 F (N)	押さえ工（プレート）の 断面係数 Z_{b5} (mm ³)	押さえ工（プレート） の断面積 A_{b5} (mm ²)
3.6×10^5	3.5532×10^4	1.1844×10^4

押さえ工（ボルト） の鉛直方向のピッチ l_{b5} (mm)	押さえ工（ボルト）の本数 n_5 (本)
200	8

表 5-6(1) 応力評価に用いる計算条件 (引き波時) (1/3)

防護梁				
作用する鉛直荷重 P_{bv1}' (N)	1段分の自重 (N/mm)	スパン長 L_{b1} (mm)	鉛直 (弱軸) 方向 の断面係数 Z_{bv1} (mm ³)	鉛直 (弱軸) 方向の せん断抵抗断面積 Aw_{bv1} (mm ²)
(津波時) 147.1×10^3 (重畳時) 11.411×10^3	5.187	4820	0.7819×10^6	18.85×10^3

防護梁			
作用する水平荷重 P_{bh1}' (N/mm)	スパン長 L_{b1} (mm)	水平 (強軸) 方向の 断面係数 Z_{bh1} (mm ³)	水平 (強軸) 方向の せん断抵抗断面積 Aw_{bh1} (mm ²)
(津波時) 7.386 (重畳時) 16.371	4820	10.22×10^6	14.82×10^3

つなぎ材プレートに 作用する水平力 P_{b3}' (N)	エンドプレートから ボルト中心までの長さ l_{b3} (mm)	つなぎ材プレートの 断面係数 Z_{b3} (mm ³)	つなぎ材プレートの 断面積 Aw_{b3} (mm ²)
17.80026×10^3	43	5.995×10^3	1.564×10^3

エンドプレート下端 の鉛直荷重 P_{10}' (N)	エンドプレート下端の 断面積 A_{10} (mm ²)
236.55×10^3	18.85×10^3

ブラケットに 作用する水平力 P_{b2}' (N)	側壁からつなぎ材ボルト 中心までの長さ l_{b4} (mm)	ブラケットの 断面係数 Z_{b2} (mm ³)	ブラケットの せん断抵抗断面積 Aw_{b2} (mm ²)
(津波時) 17.80026×10^3 (重畳時) 39.4511×10^3	110	14.67×10^6	50.6×10^3

引き波により受け台に 作用する引張力 T' (N)	ブラケット端部からつなぎ材 ボルト中心までの長さ a (mm)	受け台プレートの 断面係数 Z_c (mm ³)
(津波時) 17.80026×10^3 (重畳時) 39.4511×10^3	90	13.225×10^3

表 5-6(2) 応力評価に用いる計算条件 (引き波時) (2/3)

つなぎ材ボルトに作用する引張力 P_d' (N)	つなぎ材ボルトの有効断面積 A_d (mm ²)	アンカーボルト群 1列の断面係数 Z_{b4} (mm)	アンカーボルト群 1列の本数 n (本)
(津波時) 17.80026×10^3 (重畳時) 39.4511×10^3	245	1225	6

表 5-6(3) 応力評価に用いる計算条件 (寸法の小さい漂流物影響) (3/3)

防護梁				
作用する流水圧 P_{bh}'' (kN/m)	寸法の小さい漂流物衝突荷重 P_c'' (kN)	スパン長 L_{b1} (mm)	水平 (強軸) 方向の断面係数 Z_{bh1} (mm ³)	水平 (強軸) 方向のせん断抵抗断面積 A_{wbh1} (mm ²)
2.33	18	4820	10.22×10^6	14.82×10^3

つなぎ材プレートに作用する水平力 P_{b3}'' (N)	エンドプレートからボルト中心までの長さ l_{b3} (mm)	つなぎ材プレートの断面係数 Z_{b3} (mm ³)	つなぎ材プレートの断面積 A_{b3} (mm ²)
23.7×10^3	43	5.995×10^3	1.564×10^3

ブラケットに作用する水平力 P_{b2}'' (N)	側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ l_{b4} (mm)	ブラケットの断面係数 Z_{b2} (mm ³)	ブラケットのせん断抵抗断面積 A_{wb2} : (mm ²)
23.7×10^3	110	14.67×10^6	50.6×10^3

寸法の小さい漂流物により受け台に作用する引張力 T'' (N)	ブラケット端部からつなぎ材ボルト中心までの長さ a (mm)	受け台プレートの断面係数 Z_c (mm ³)
23.7×10^3	90	13.225×10^3

つなぎ材ボルトに作用する引張力 P_d'' (N)	つなぎ材ボルトの有効断面積 A_d (mm ²)	アンカーボルト群 1列の断面係数 Z_{b4} (mm)	アンカーボルト群 1列の本数 n (本)
23.7×10^3	245	1225	6

6. 評価結果

津波時及び重畳時における評価部材の応力評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

発生応力が許容応力以下であることから、構造部材が十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6-1(1) 強度評価結果

(屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち扉体及び固定部, 重畳時)

評価部材		評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b		
扉体	スキンプレート	曲げ応力度	56.25	154	0.37		
	主桁	1桁	曲げ応力度	44.44	154	0.29	
				2,3桁	40.85	154	0.27
				4桁	31.75	154	0.21
		1桁		25.00	88	0.29	
		2,3桁		28.34	88	0.33	
		4桁		18.89	88	0.22	
		1桁		62.05	154	0.41	
		2,3桁		63.87	154	0.42	
	4桁	45.60	154	0.30			
	補助縦桁	曲げ応力度	8.17	153	0.06		
		せん断応力度	9.26	88	0.11		
		合成応力度*1	18.00	154	0.12		
	中央支柱	曲げ応力度	30.18	143	0.22		
		せん断応力度	32.80	88	0.38		
		合成応力度*1	64.34	154	0.42		
	中央支柱 (アンカーボルト)	引張力*2	4.41×10^4	2.92×10^5	0.16		
せん断力*2		3.52×10^4	2.04×10^5	0.18			
中央横桁	引張応力度	42.64	153	0.28			
	せん断応力度	34.80	88	0.40			
	合成応力度*1	73.84	154	0.48			
固定部	戸当り	支圧応力度	36.00	231	0.16		
	戸当り部コンクリート	支圧応力度	1.38	13.5	0.11		
		せん断応力度	0.69	1.5	0.46		

注記*1: 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

*2: アンカーボルトの照査については発生力 (単位: N), 許容値 (単位: N) を示す。

表 6-1(2) 強度評価結果
 (屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち扉体
 (寸法の小さい漂流物の影響))

評価部材		評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
扉体	スキンプレート	曲げ応力度 (N/mm ²)	61.56	154	0.40

表 6-2(1) 強度評価結果
 (屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工, 津波時)

評価部材			評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b
漂流物 防護工	防護梁	H 鋼 (水平)	曲げ応力度	242	382	0.64
			せん断応力度	139	217	0.65
			合成応力度*	0.81	1.2	0.68
	ブラケット		曲げ応力度	6	382	0.02
			せん断応力度	41	217	0.19
			合成応力度*	0.04	1.2	0.04
	アンカーボルト		評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b
			引張	14	105	0.14
			せん断	71	85	0.84
			合成*	0.71	1.2	0.60
	押さえ工 (プレート)		評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b
			曲げ応力度	203	382	0.54
			せん断応力度	16	217	0.08
			合成応力度	0.29	1.2	0.25
	押さえ工 (ボルト)		評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b
			引張	9	22.4	0.41
			せん断	23	36.9	0.63
			合成	0.55	1.2	0.46

注記* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断力から算出する。

表 6-2(2) 強度評価結果

(屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工, 重畳時)

評価部材			評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b
漂流物 防護工	防護梁	H 鋼 (水平)	曲げ応力度	35	382	0.10
			せん断応力度	20	217	0.10
			合成応力度*	0.02	1.2	0.02
		H 鋼 (鉛直)	曲げ応力度	43	382	0.12
			せん断応力度	2	217	0.01
			合成応力度*	0.02	1.2	0.02
		H 鋼	二軸応力	0.02	1.2	0.02
		ブラケット	曲げ応力度	1	382	0.01
			せん断応力度	6	217	0.03
	合成応力度*		0.01	1.2	0.01	
	アンカーボルト	評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b	
		引張	5	105	0.05	
		せん断	25	85	0.30	
		合成*	0.09	1.2	0.08	

注記* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

表 6-2(3) 強度評価結果

(屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工, 津波時 (引き波時))

	評価部材		評価応力	発生応力	許容応力	照査値 a/b		
				a (N/mm ²)	b (N/mm ²)			
漂流物 防護工	影響検討 内容① (漂流物 の自重)	防護梁	H 鋼 (水平)	曲げ応力度	246	382	0.65	
				せん断応力度	9	217	0.05	
				合成応力度*	0.42	1.2	0.35	
			エンド プレート	圧縮応力度	6	231	0.03	
			防護梁	H 鋼	二軸応力	0.42	1.2	0.35
		影響検討 内容② (引き波 による静 水圧)	防護梁	H 鋼 (水平)	曲げ応力度	3	382	0.01
	せん断応力度				2	217	0.01	
	合成応力度*				0.01	1.2	0.01	
				つなぎ材 (プレート)	曲げ応力度	128	382	0.34
	せん断応力度				12	217	0.06	
	合成応力度*				0.12	1.2	0.10	
			ブラケット	曲げ応力度	122	382	0.32	
			つなぎ材 (ボルト)	引張応力度	73	210	0.35	
			アンカーボルト	評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b	
				引張	1	105	0.01	
				せん断	2	85	0.03	
		合成*		0.01	1.2	0.01		

注記* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

表 6-2(4) 強度評価結果

(屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工, 津波時
(寸法の小さい漂流物の影響))

	評価部材		評価応力	発生応力	許容応力	照査値 a/b	
				a (N/mm ²)	b (N/mm ²)		
漂流物 防護工	影響検討 内容② (引き波 による寸 法の小さ い漂流物 の影響)	防護梁	H 鋼 (水平)	曲げ応力度	3	382	0.01
				せん断応力度	2	217	0.01
				合成応力度*	0.01	1.2	0.01
			つなぎ材 (プレート)	曲げ応力度	171	382	0.45
				せん断応力度	16	217	0.08
				合成応力度*	0.21	1.2	0.18
		ブラケット	曲げ応力度	162	382	0.43	
		つなぎ材 (ボルト)	引張応力度	97	210	0.47	
		アンカーボルト	評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b	
			引張	2	105	0.02	
			せん断	2	85	0.03	
			合成*	0.01	1.2	0.01	

注記* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断力から算出する。

表 6-2(5) 強度評価結果

(屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工, 重畳時 (引き波時))

評価部材		評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b	
漂流物 防護工	防護梁	H鋼 (水平)	曲げ応力度	5	382	0.02
			せん断応力度	3	217	0.02
			合成応力度*	0.01	1.2	0.01
		H鋼 (鉛直)	曲げ応力度	43	382	0.12
			せん断応力度	2	217	0.01
			合成応力度*	0.02	1.2	0.02
		H鋼	二軸応力	0.02	1.2	0.02
		つなぎ材 (プレート)	曲げ応力度	283	382	0.75
			せん断応力度	26	217	0.12
	合成応力度*		0.57	1.2	0.48	
	ブラケット	曲げ応力度	269	382	0.71	
	つなぎ材 (ボルト)	引張応力度	162	210	0.78	
	アンカーボルト	評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b	
		引張	2	105	0.02	
せん断		4	85	0.05		
合成*		0.01	1.2	0.01		

注記* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

7. 出口側集水ピットの強度評価

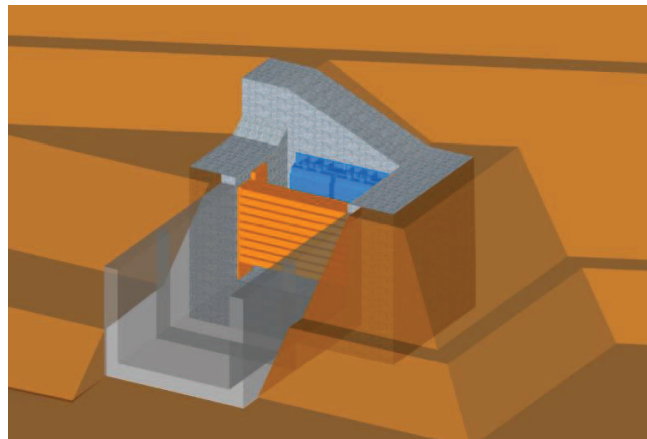
7.1 出口側集水ピットの構造概要

出口側集水ピットは、底版と3面の壁からなる箱型の鉄筋コンクリート構造物であり、防潮堤（盛土堤防）に設置する。出口側集水ピットが屋外排水路（防潮堤北側）と接続する箇所に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を設置する。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の間接支持機能を持つ出口側集水ピットは、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土に埋め込まれるため、漂流物が直接衝突することはない。

出口側集水ピットに要求される機能維持の確認として、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価を行う。

出口側集水ピットの概念図を図7-1に、構造図を図7-2に、概略配筋図を図7-3に示す。



**構造概略図
(正面)**

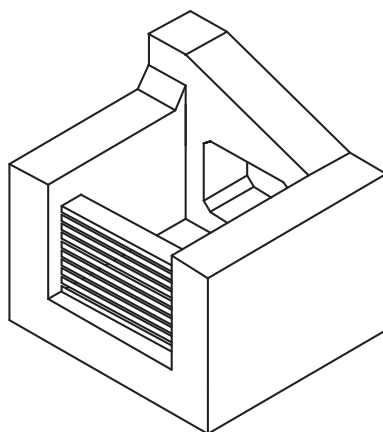


図7-1 出口側集水ピットの概念図

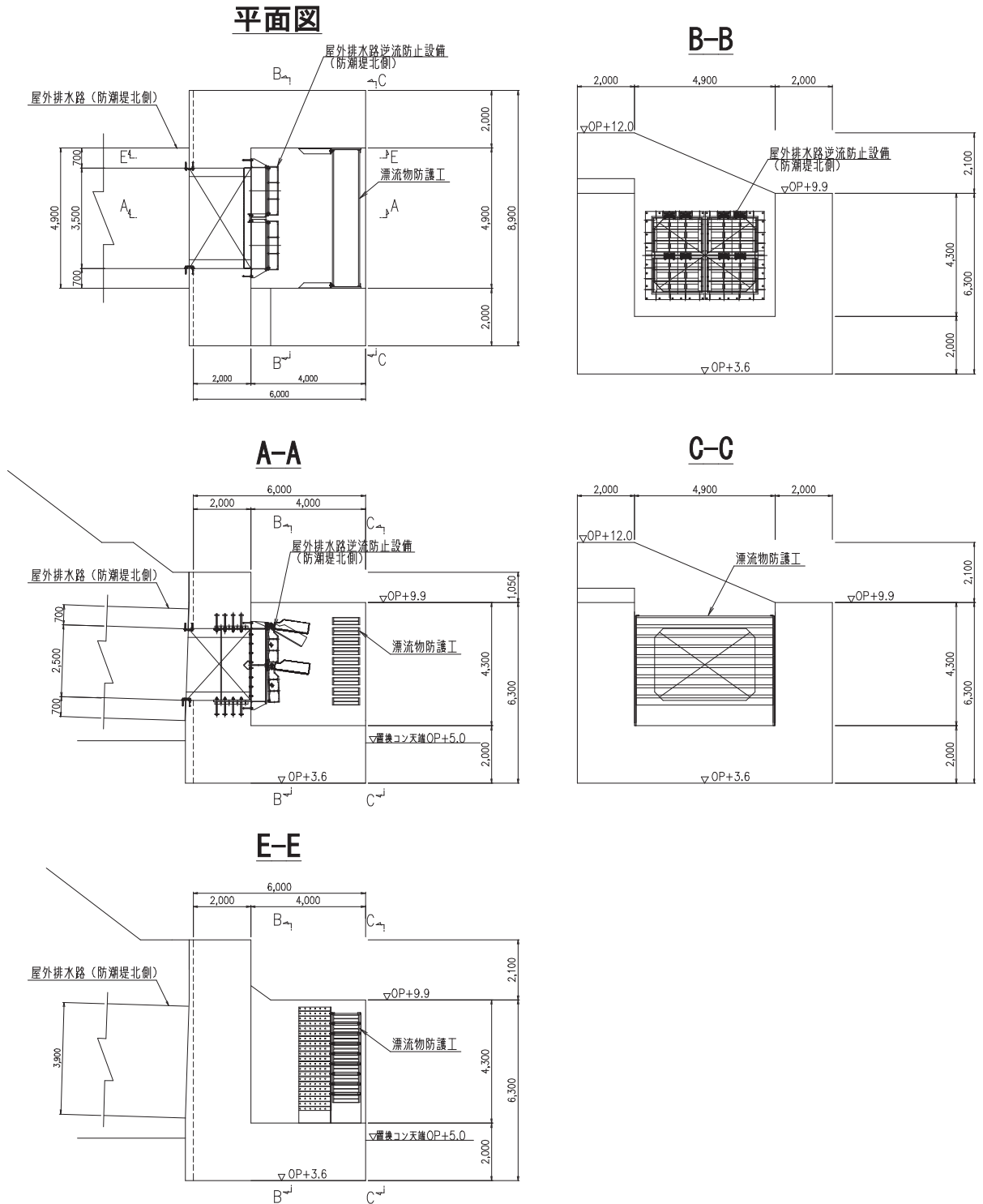
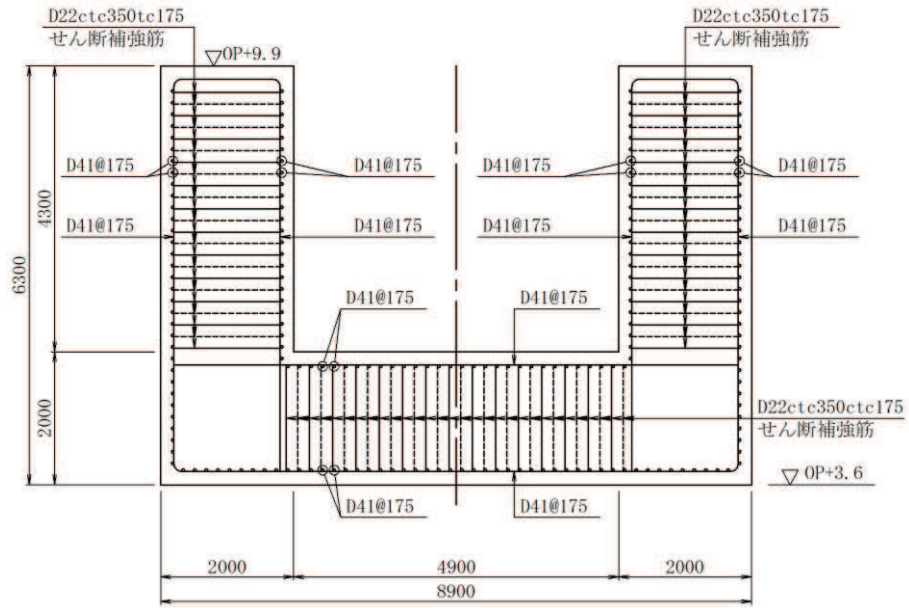


図 7-2 出口側集水ピット構造図 (単位 : mm)

B-B 断面



E-E 断面

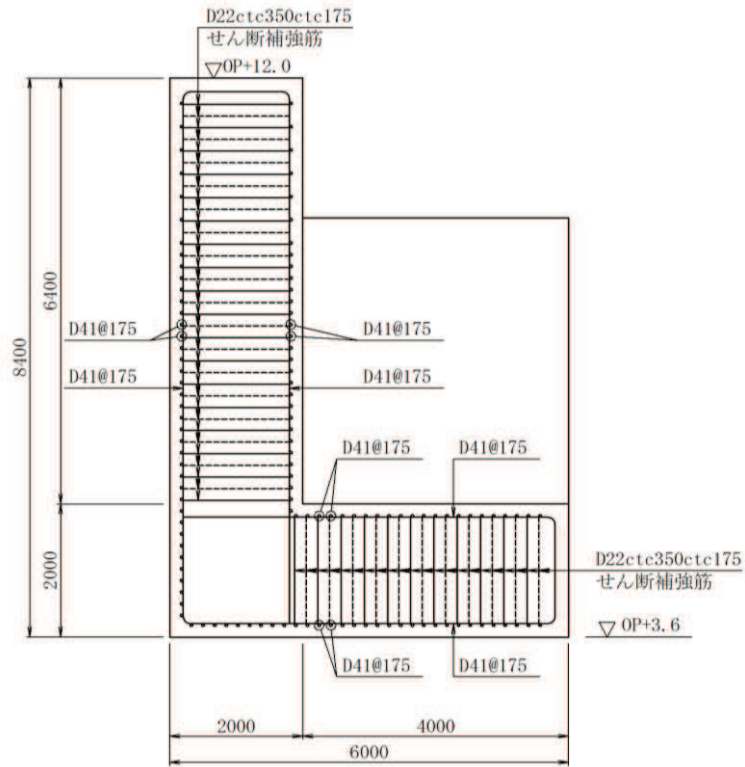


図 7-3 出口側集水ピット概略配筋図 (単位 : mm)

7.2 評価方針

出口側集水ピットの強度評価は、「8. 強度評価方法」に示す方法により、「9. 評価条件」に示す評価条件を用いて、表 7-1 の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことを確認する。

出口側集水ピットの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「津波時」及び「重畳時」を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

構造部材の健全性評価については、「8.5.1 二次元動的解析」から得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた線形シェル要素による三次元静的線形解析（以下、「三次元構造解析」という。）を実施し、部材に発生する発生応力が許容限界以下であることを確認する。

なお、重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S d - D 2 を一次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

出口側集水ピットの強度評価フローを図 7-4 に示す。

表 7-1 出口側集水ピットの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容せん断力

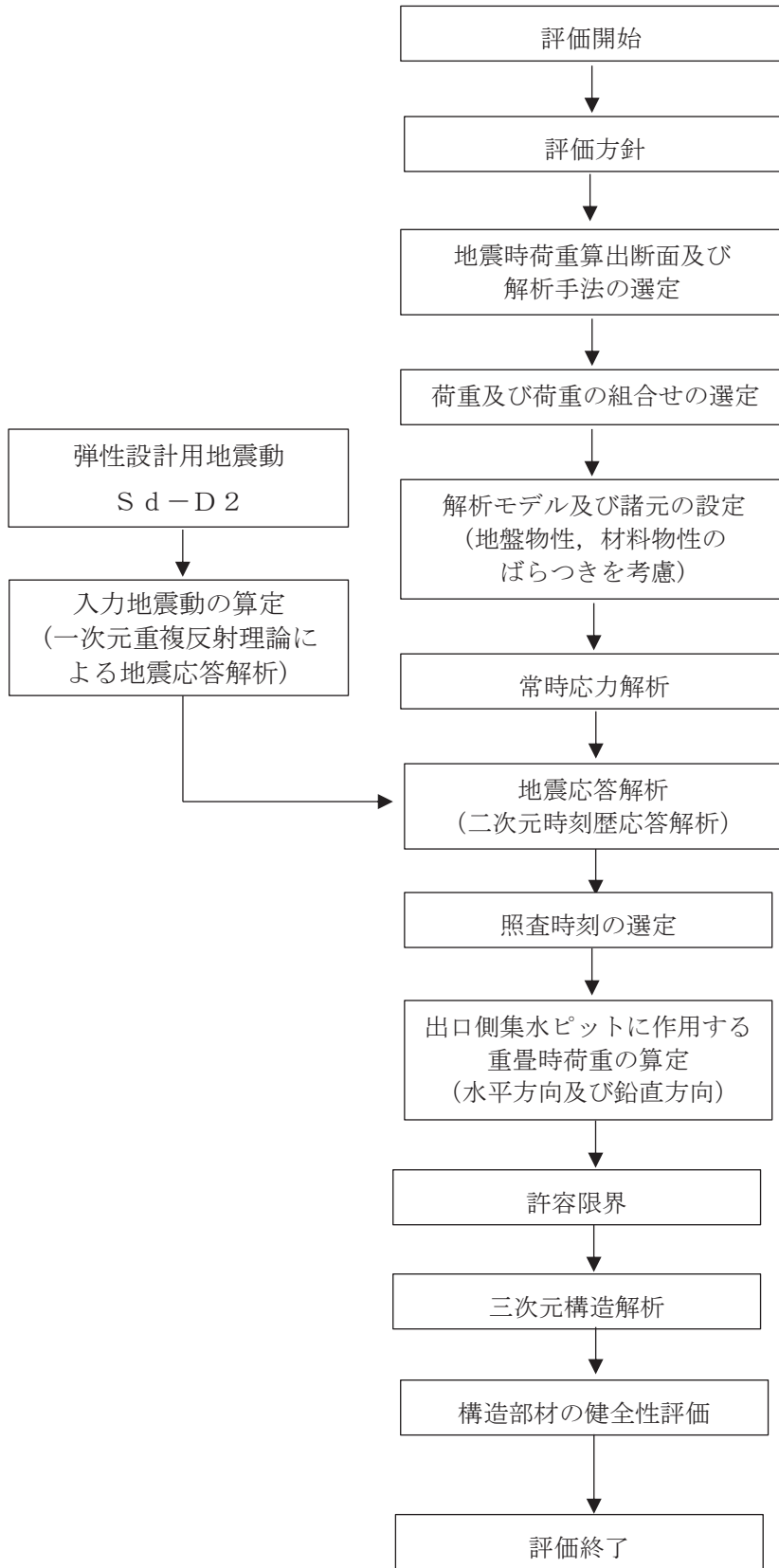


図 7-4 出口側集水ピットの強度評価フロー

8. 強度評価方法

8.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 8-1 に示す。

表 8-1 強度計算書に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN	積載荷重
P_t	kN/m^2	遡上津波荷重
K_{Sd}	kN/m^2	余震荷重
σ_{ca}	N/mm^2	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
τ_{a1}	N/mm^2	コンクリートの短期許容せん断応力度
σ_{sa}	N/mm^2	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
M_x, M_y	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	曲げモーメント
Q_x, Q_y	kN/m	面外せん断力
N_x, N_y	kN/m	軸方向力
N_{xy}	kN/m	面内せん断力
R_d	N/mm^2	最大接地圧
R_u	N/mm^2	極限支持力

8.2 評価対象断面

出口側集水ピットの重畳時荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。重畳時荷重算出断面は、構造的な特徴や周辺状況から、ピット及び屋外排水路の縦断方向である A-A 断面とする。また、出口側集水ピットの評価対象断面図を図 8-2 に示す。

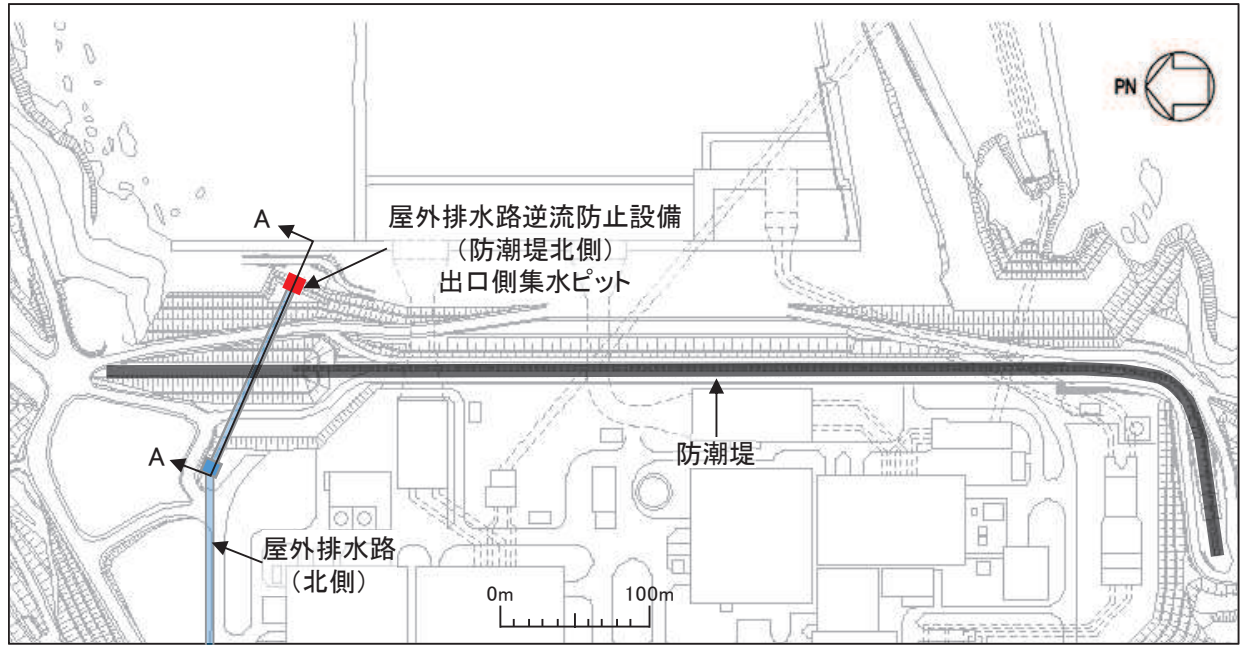


図 8-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

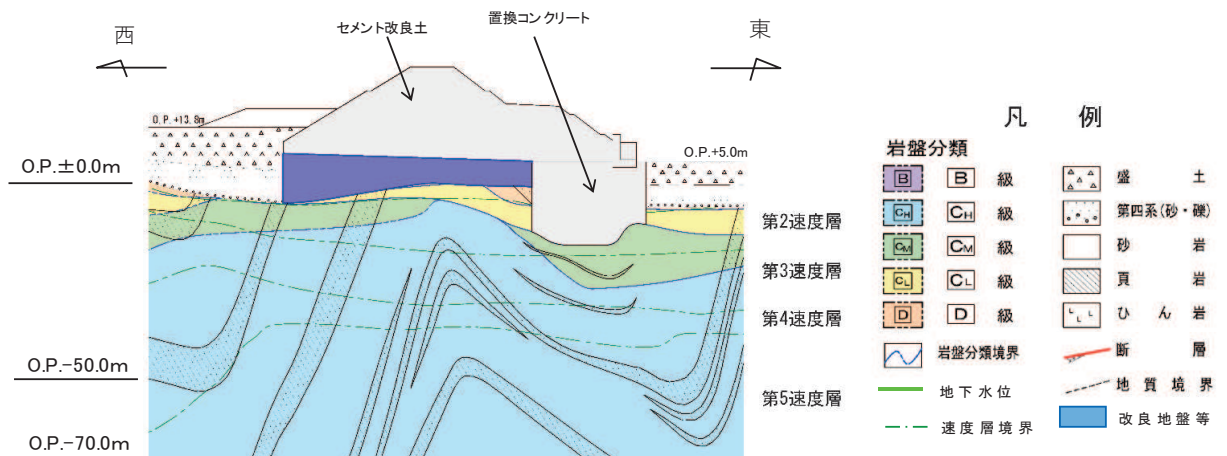


図 8-2 出口側集水ピットの評価対象断面図 (A-A 断面)

8.3 荷重及び荷重の組合せ

8.3.1 荷重

出口側集水ピットの強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び漂流物防護工の荷重を考慮する。また、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重 (P_k)

海側は津波により水位が上昇しているため、海側から山側への風荷重は考慮しない。また、逆方向である山側から海側に風荷重が作用する場合を想定するが、この方向は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、風荷重は考慮しない。

(5) 遡上津波荷重 (P_t)

出口側集水ピットに作用する遡上津波荷重を考慮する。

遡上津波荷重については、防潮堤前面における入力津波水位標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の $1/2$ 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その3倍を考慮して算定する。

なお、衝突荷重と組合せる場合には、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）天端の津波水位標高と屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面の地盤標高の差分の $1/2$ 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その3倍を考慮して算定する。

(6) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重については、2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) *」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。衝突荷重の作用位置は屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工の最上部とする。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の漂流物防護工（防護梁）及び出口側集水ピットの西壁上部に漂流物が衝突する可能性があるが、出口側集水ピットの西壁上部は、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）よりも上方にあり、間接支持機能には関係しない範囲となること、背面に防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土が存在し、かつ壁厚が厚い（2.0m）ため、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に影響を及ぼすような変形及び損傷が発生するものではないことから、出口側集水ピットの西壁上部には衝突荷重を考慮しない。

衝突荷重を表 8-2 に示す。

注記 * : FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 8-2 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13	2000

(7) 余震荷重 (K_{S_d})

余震荷重として、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による地震力及び動水圧を考慮する。

8.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8-3 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分する。

表 8-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t + P_c$
重畳時	$G + P + P_t + K_{S_d}$

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重（積雪荷重 P_s を含めて 4.9 kN/m^2 ）
- P_t : 遡上津波荷重
- P_c : 衝突荷重
- K_{S_d} : 余震荷重

8.4 許容限界

8.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 8-4 及び表 8-5 に示す。

なお、西壁に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 8-4 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
f' ck=30.0(N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ' ca	11.0	16.5
	許容せん断応力度 τ al	0.5	0.75

注記*：「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 8-5 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
SD345	許容引張応力度 σ sa	196	294

注記*：「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 8-4 及び表 8-5 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。なお、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、面内せん断力を軸力として考慮していることから、壁部材の面内せん断（層間変形角）に対しては、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において併せて確認している。

8.5 評価方法

8.5.1 津波時

(1) 二次元静的解析

a. 荷重算出断面

出口側集水ピットの津波時荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。津波時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、A-A断面とする。

断面図を図 8-2 に示す。

b. 解析方法

津波時に発生する応答値は、「8.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて二次元動的有限要素法解析により算定する。

二次元動的有限要素法解析については、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

解析コードは、二次元動的有限要素法解析に「FLIP Ver7.3.0_2」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(a) 構造部材

出口側集水ピットは、西壁及び底版は線形はり要素（ビーム要素）、南北壁は平面応力要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土及び置換コンクリートは、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）及び線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(b) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として旧表土、盛土、D級岩盤、セメント改良土及び改良地盤が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に出口側集水ピットの挙動に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 8-6 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

表 8-6 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値

(c) 解析ケースの選定

津波時においては, 表 8-6 に示すケース①～③を実施する。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-3 に示す。

イ. 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

ロ. 境界条件

境界条件は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

ハ. 構造物のモデル化

出口側集水ピットは、西壁及び底版は線形はり要素（ビーム要素）、南北壁は平面ひずみ要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土及び置換コンクリートは、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）及び線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

ニ. 地盤のモデル化

Ⅱ級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。また、一般部に分布するⅢ級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は地盤の非線形性を考慮するため、マルチスプリング要素でモデル化する。

ホ. ジョイント要素の設定

「セメント改良土・改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「セメント改良土と改良地盤」、「改良地盤と置換コンクリート」、「出口側集水ピットとセメント改良土」及び「出口側集水ピットと置換コンクリート」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

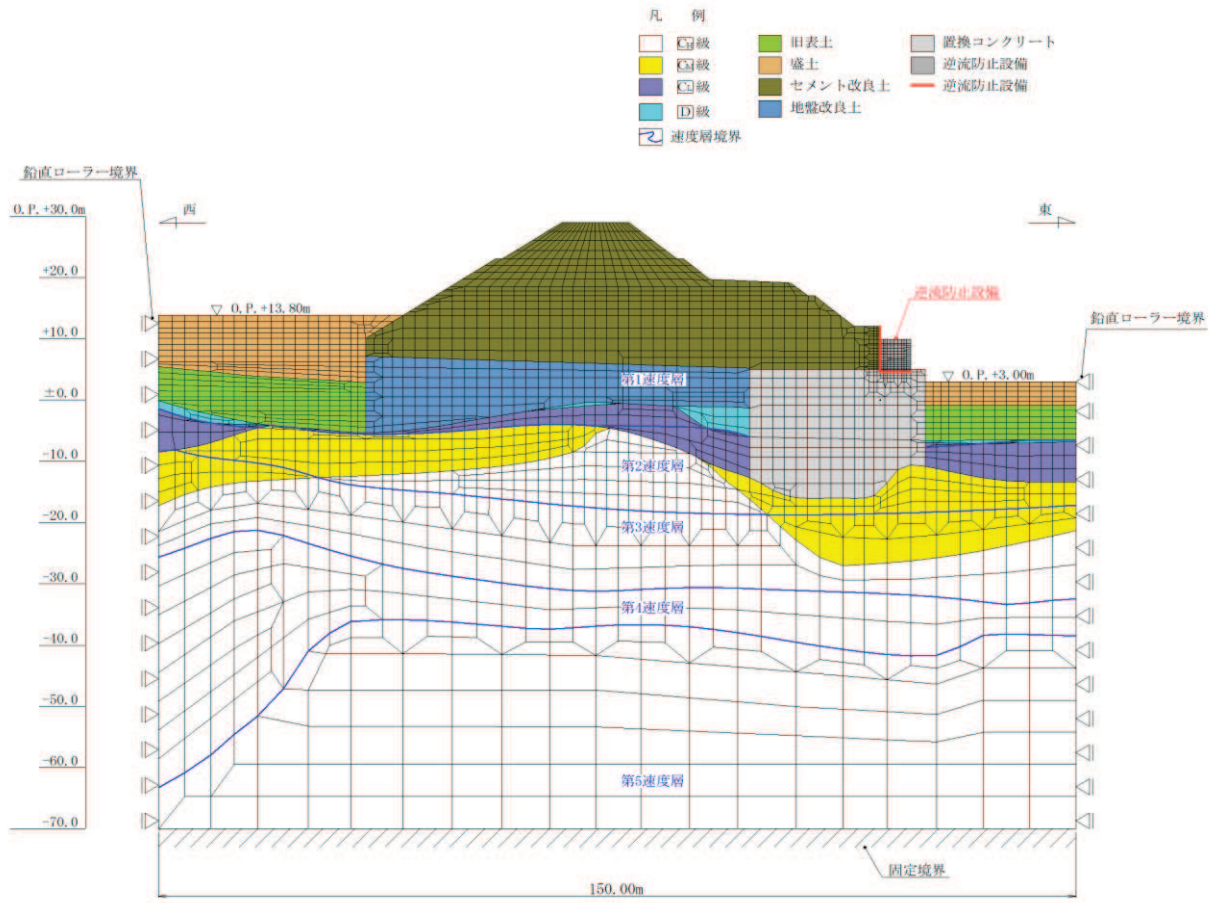


図 8-3 出口側集水ピットの解析モデル（津波時）

(b) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-7 に、材料の物性値を表 8-8 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

表 8-7 使用材料

諸元		
出口側集水ピット	鉄筋（主筋）	SD345
	コンクリート	設計基準強度 30 N/mm ²
防潮堤（盛土堤防）	置換コンクリート	設計基準強度 30 N/mm ²

表 8-8 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート（出口側集水ピット）	24.0	2.80×10 ⁴	0.2
コンクリート （防潮堤（盛土堤防）：置換コンクリート）	22.5	2.80×10 ⁴	0.2

(c) 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

(d) 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 8-2 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 8-9 に示す。

表 8-9 設計用地下水位の一覧

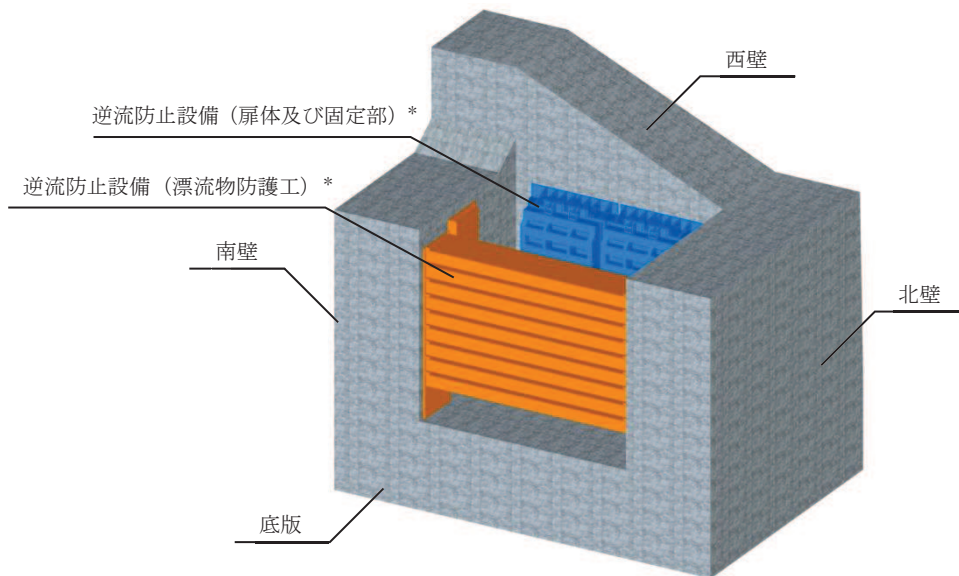
施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
出口側集水ピット	A-A断面	地表面に設定する。

(2) 三次元構造解析

a. 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、出口側集水ピットを構成する構造部材である側壁及び底版とする。

図 8-4 に評価対象部材を示す。



注記*：三次元構造解析においては、荷重としてモデル化

図 8-4 三次元構造解析の評価対象部材

b. 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8.5.1(1) 二次元静的解析」により得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「SLAP ver6.64」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-5 に、要素分割図を図 8-6 に示す。

イ. 構造物のモデル化

構造物は、線形シェル要素でモデル化する。

ロ. 境界条件

三次元構造解析モデルの底面には，地盤ばね要素を配置する。

地盤ばねは，常時解析においては「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編」に基づき設定する。

津波時の解析においては，支持地盤は，地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し，「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。

側方地盤は，弾性ばねでモデル化し，西壁の法線方向に取り付け，「日本道路協会平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に基づき設定する。

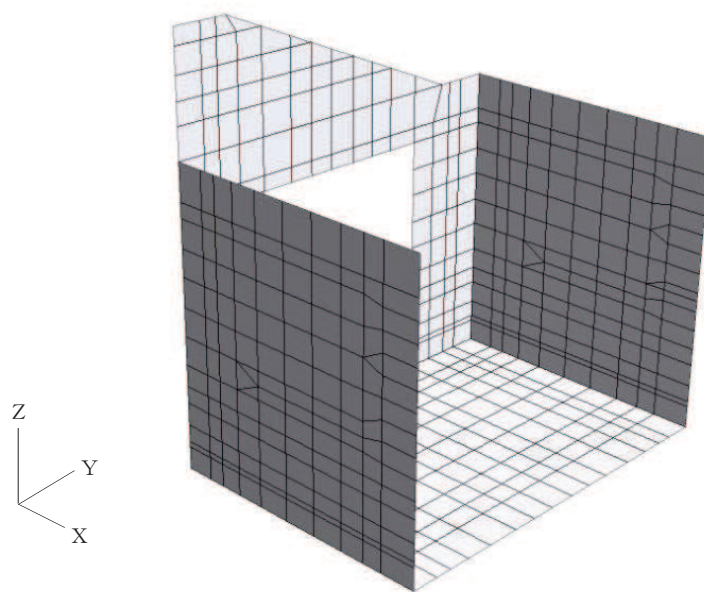
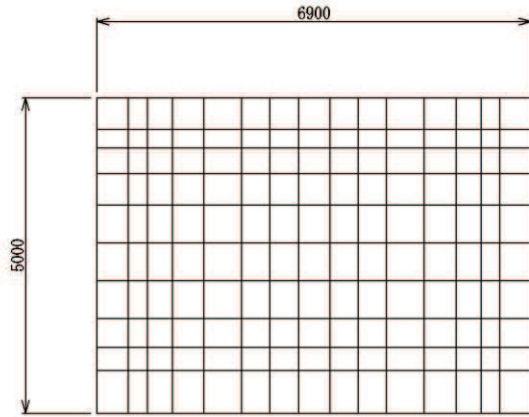
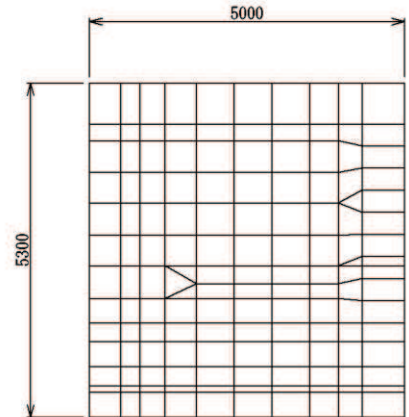


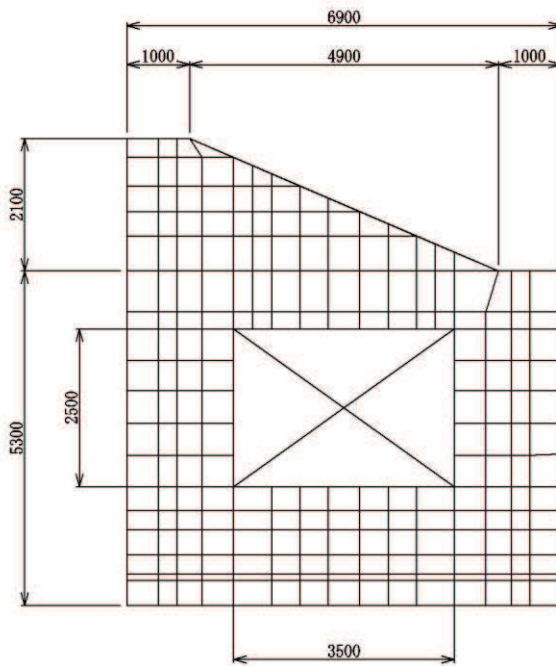
図 8-5 出口側集水ピットのモデル概念図



(a) 底板



(b) 南壁及び北壁



(c) 西壁

図 8-6 要素分割図 (単位 : mm)

(b) 使用材料及び材料の物性値

出口側集水ピットの使用材料及び材料の物性値は、「8.5.1(1)c. (b) 使用材料及び材料の物性値」と同様である。

d. 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、二次元静的解析から得られる応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 8-10 に示す。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の漂流物防護工（防護梁）及び出口側集水ピットの西壁上部に漂流物が衝突する可能性があるが、出口側集水ピットの西壁上部は、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）よりも上方にあり、間接支持機能には関係しない範囲となること、背面に防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土が存在し、かつ壁厚が厚い（2.0m）ため、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に影響を及ぼすような変形及び損傷が発生するものではないことから、出口側集水ピットの西壁上部には衝突荷重を考慮しない。

衝突荷重の作用位置は図 8-7 に示す 3 パターンを実施することとし、剛ビームを介して出口側集水ピット側壁に作用させる。

表8-10 三次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	躯体自重
	積載荷重	機器・配管荷重
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体側面に作用する常時水圧
津波時荷重	津波波圧	津波による波圧を考慮する。
	衝突荷重	漂流物の衝突による荷重を考慮する。

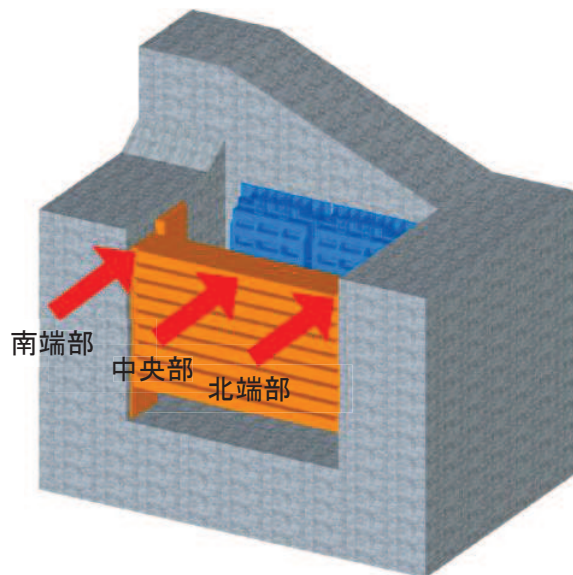


図 8-7 衝突荷重作用位置

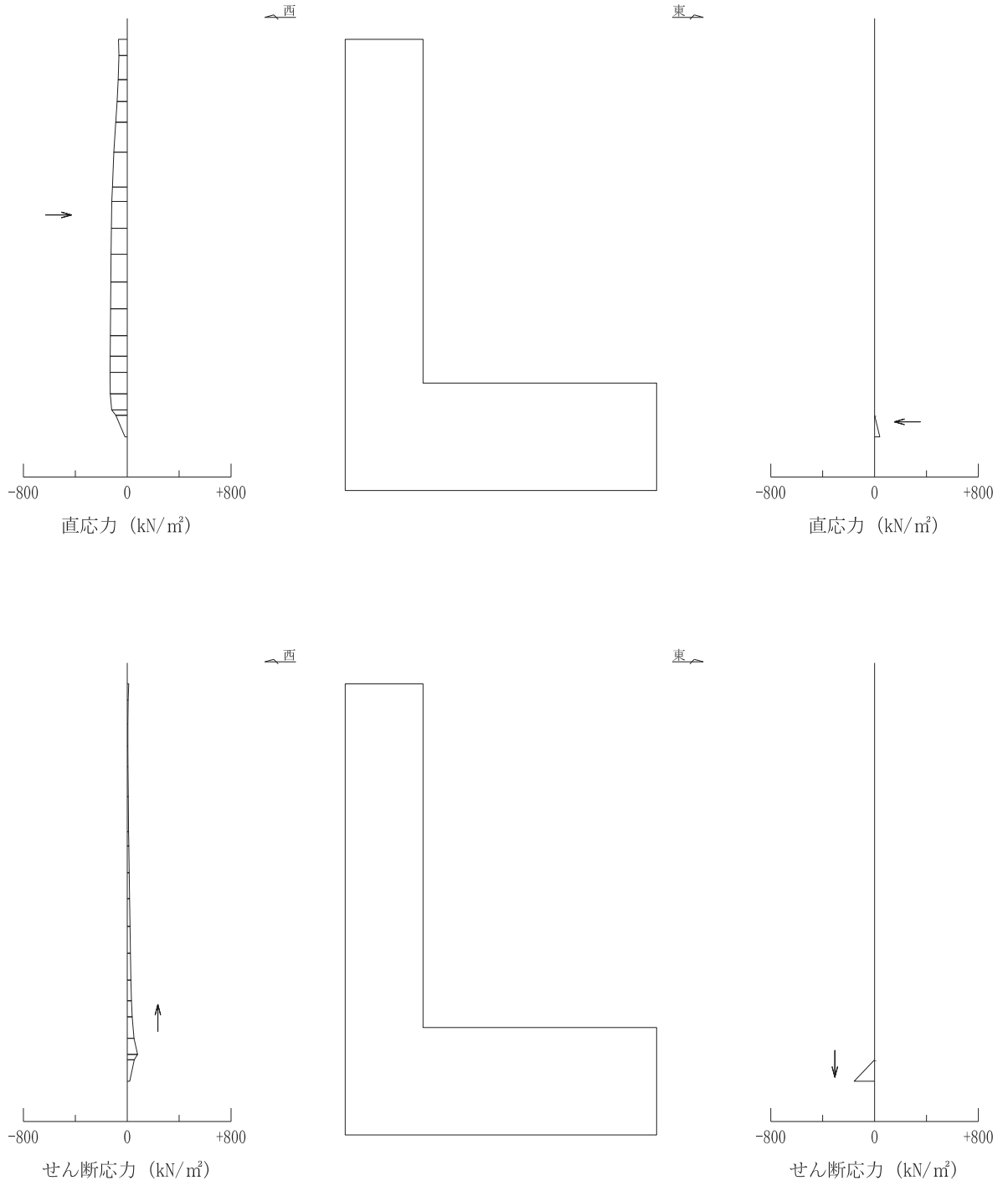


図 8-8 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース③)

e. 三次元構造解析結果

シェル要素における各要素の断面力の方向を図 8-9 に示す。面内せん断力 N_{xy} については、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、軸力として考慮する。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の断面力分布を図 8-10～図 8-14 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 8-15、図 8-16 に示す。

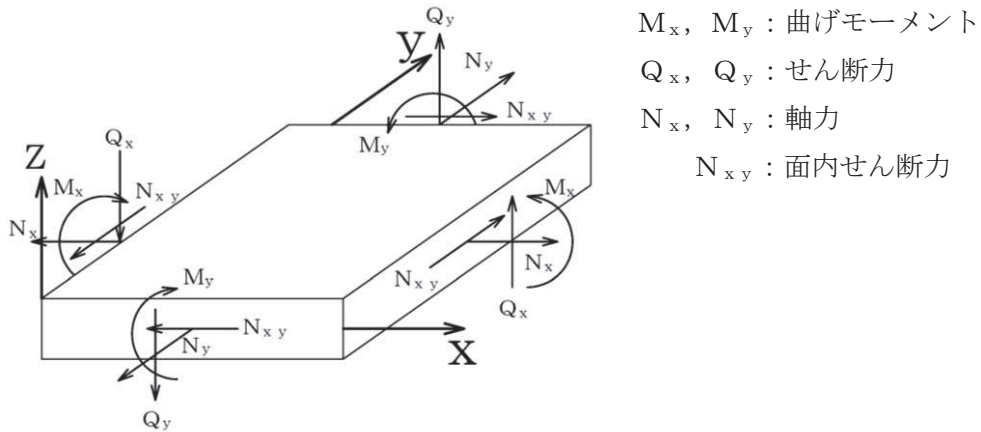


図 8-9 シェル要素における応答断面力

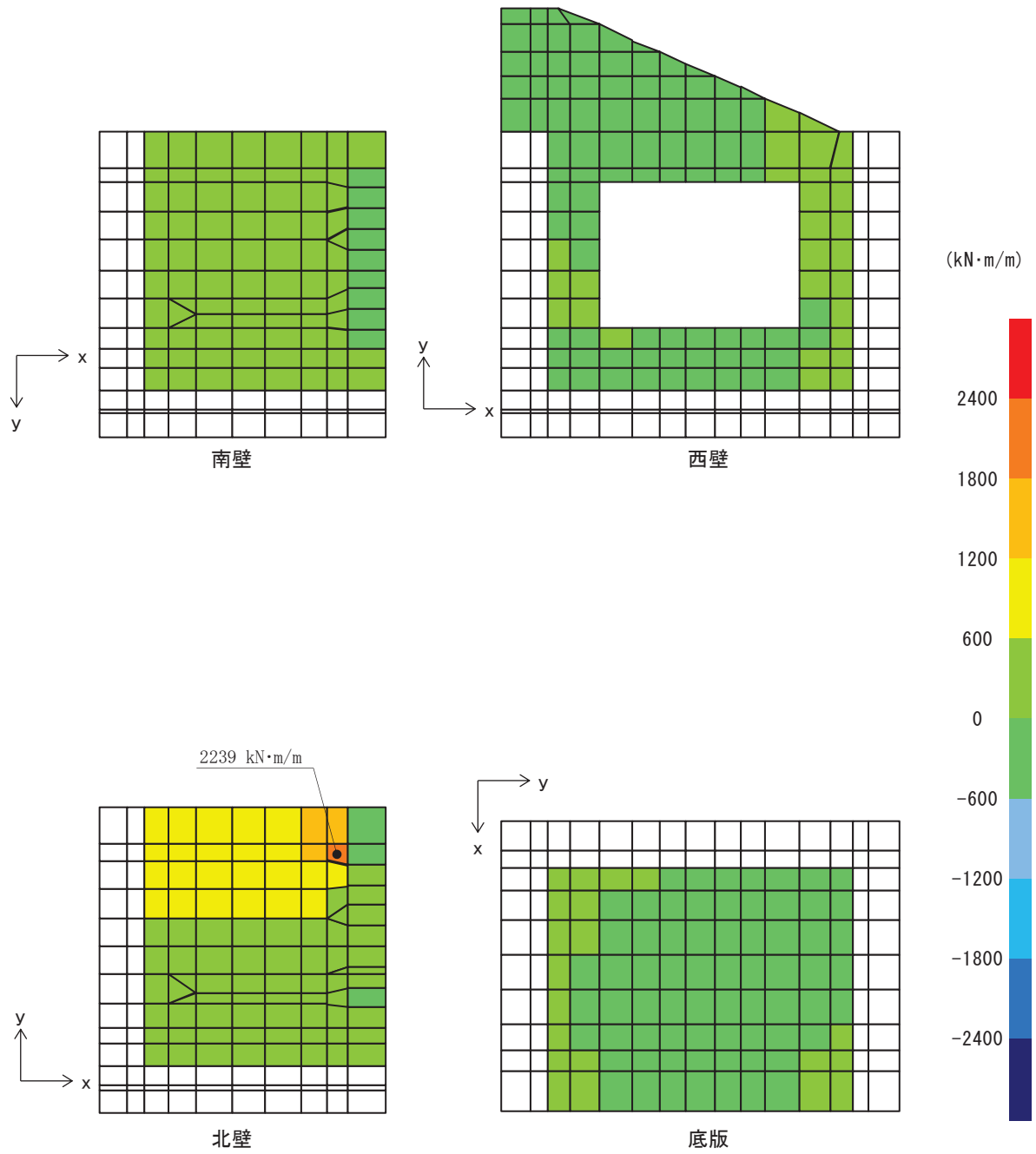


図 8-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント(kN・m/m) : M_x)
 (北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

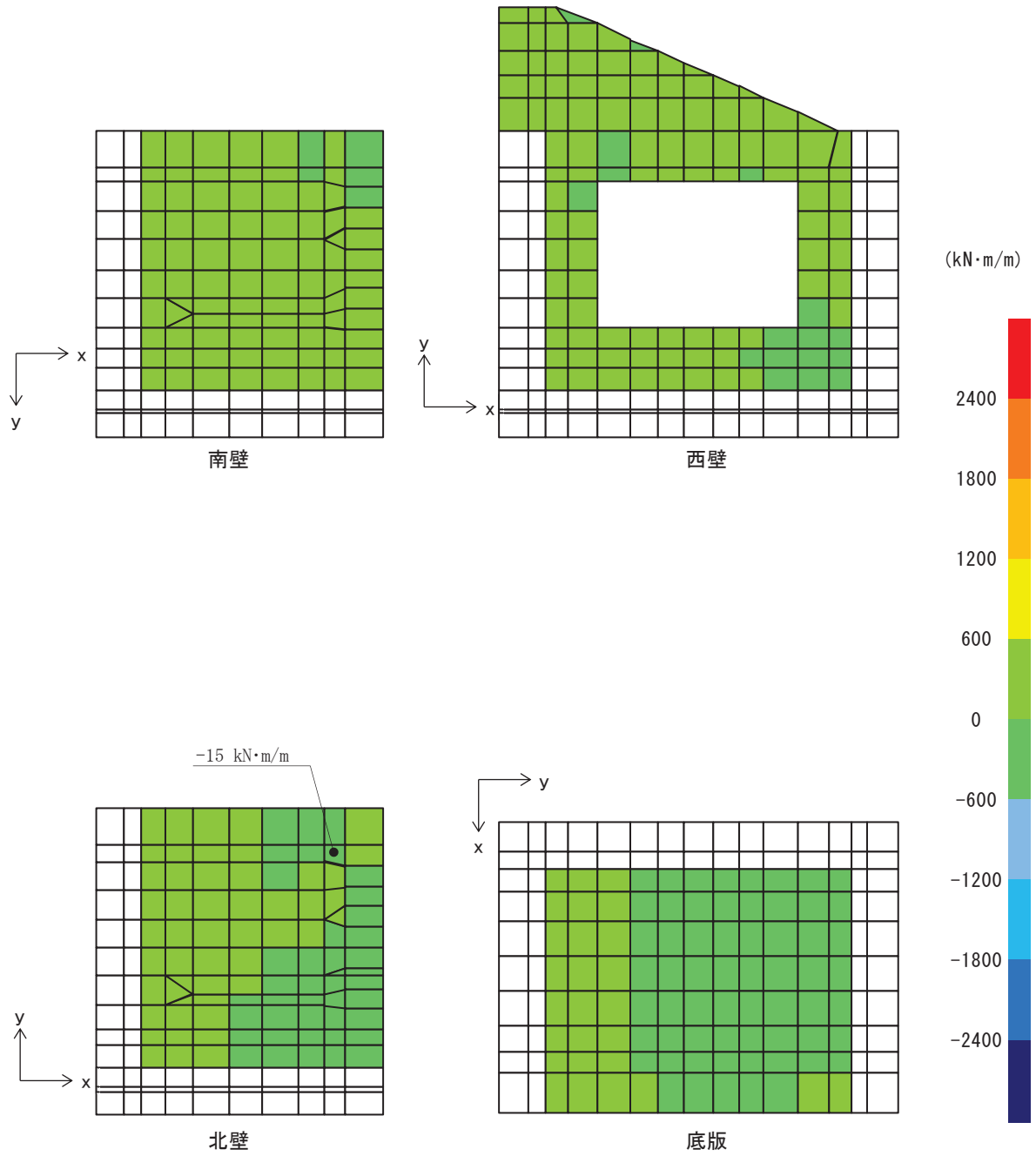


図 8-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_y)
 (北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

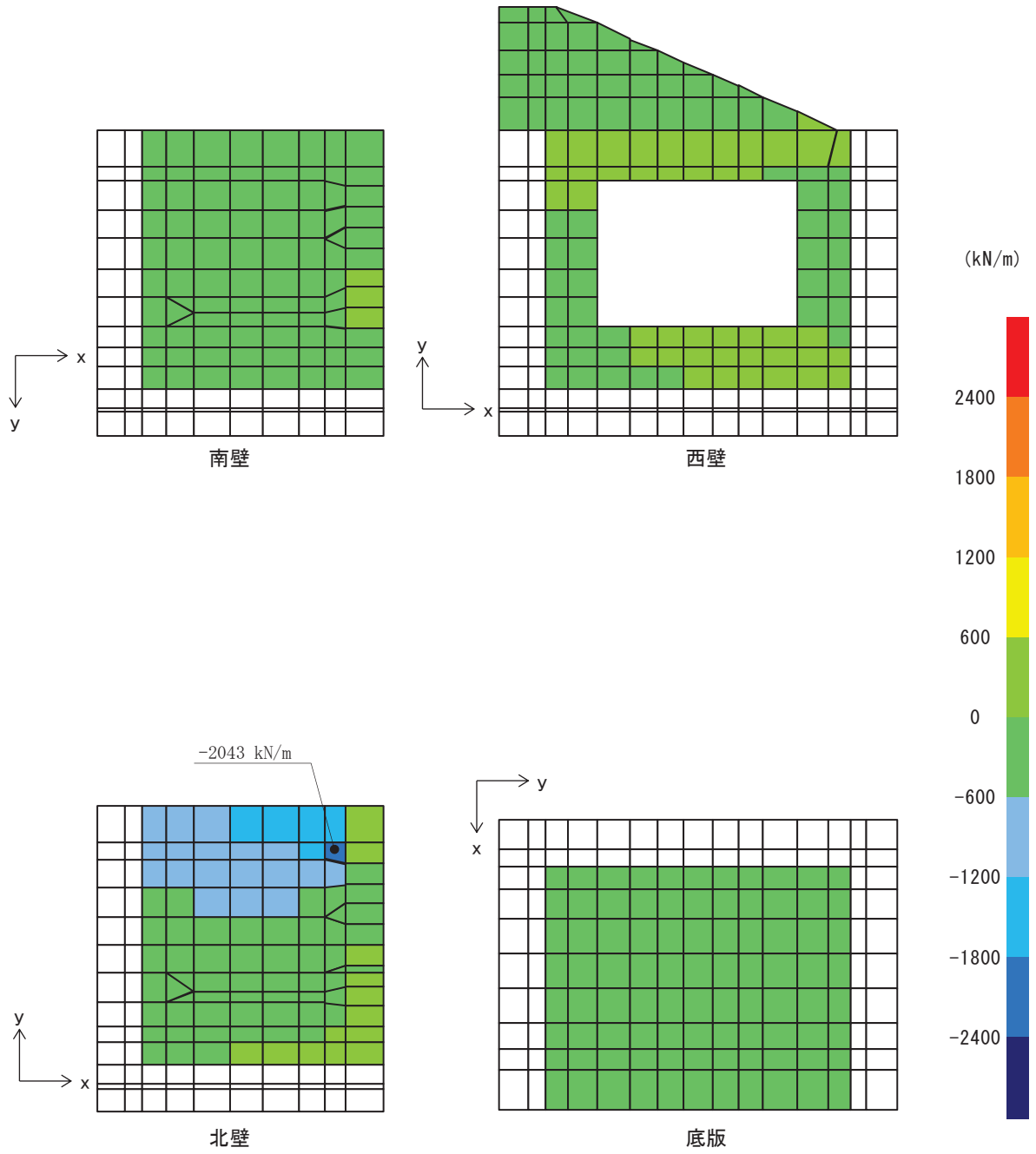


図 8-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

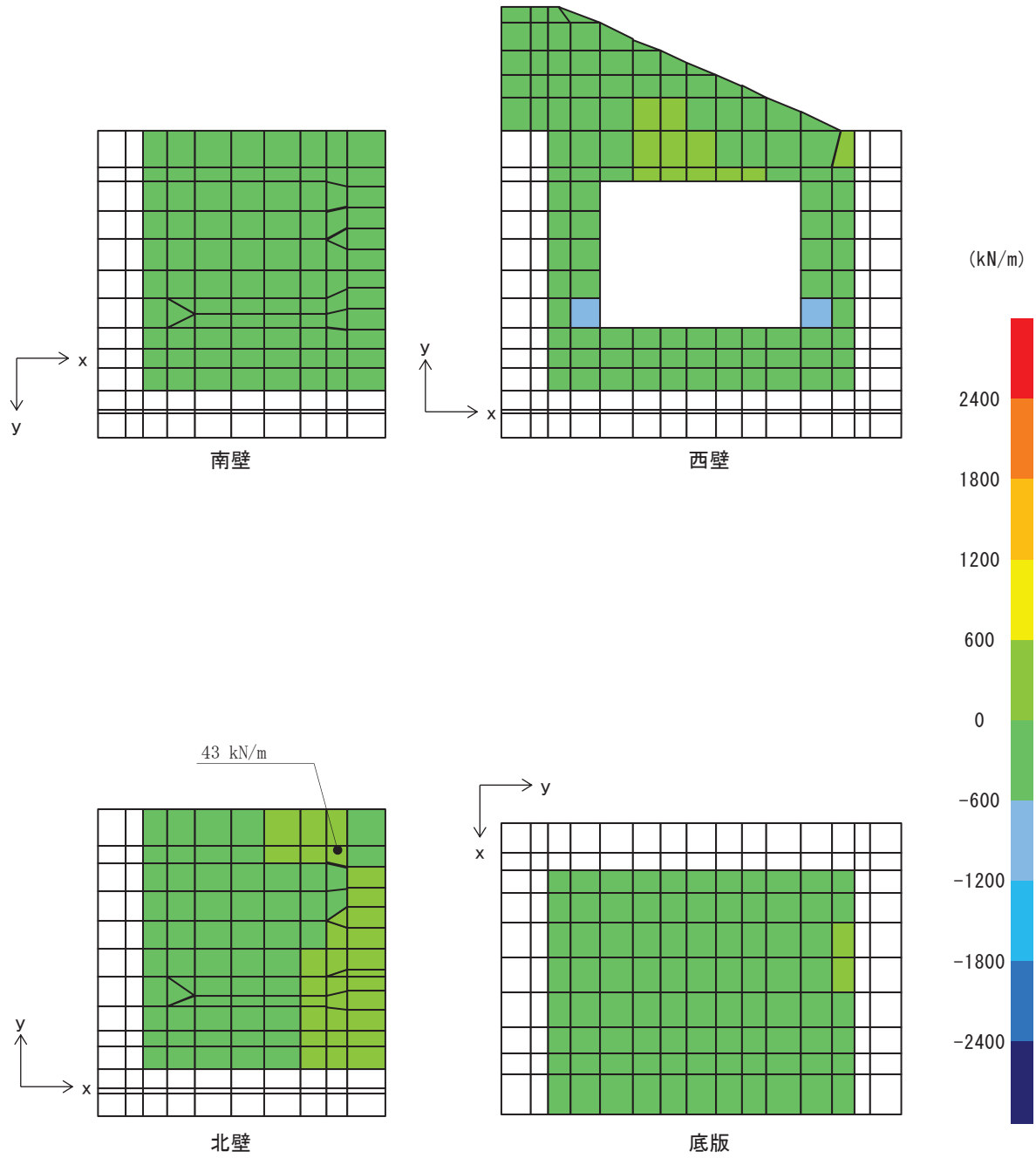


図 8-13 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

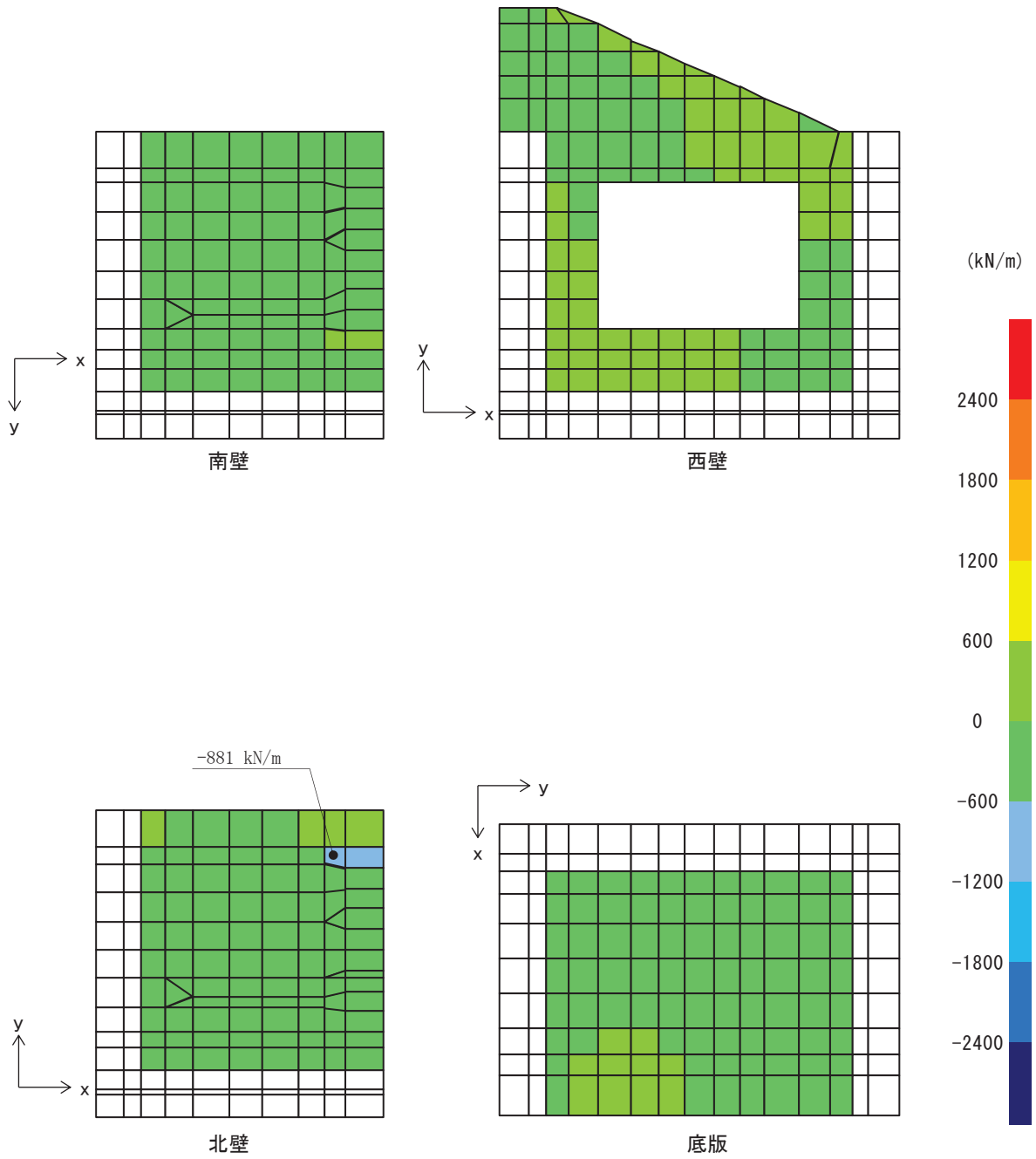


図8-14 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})

(北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置: 北端部)

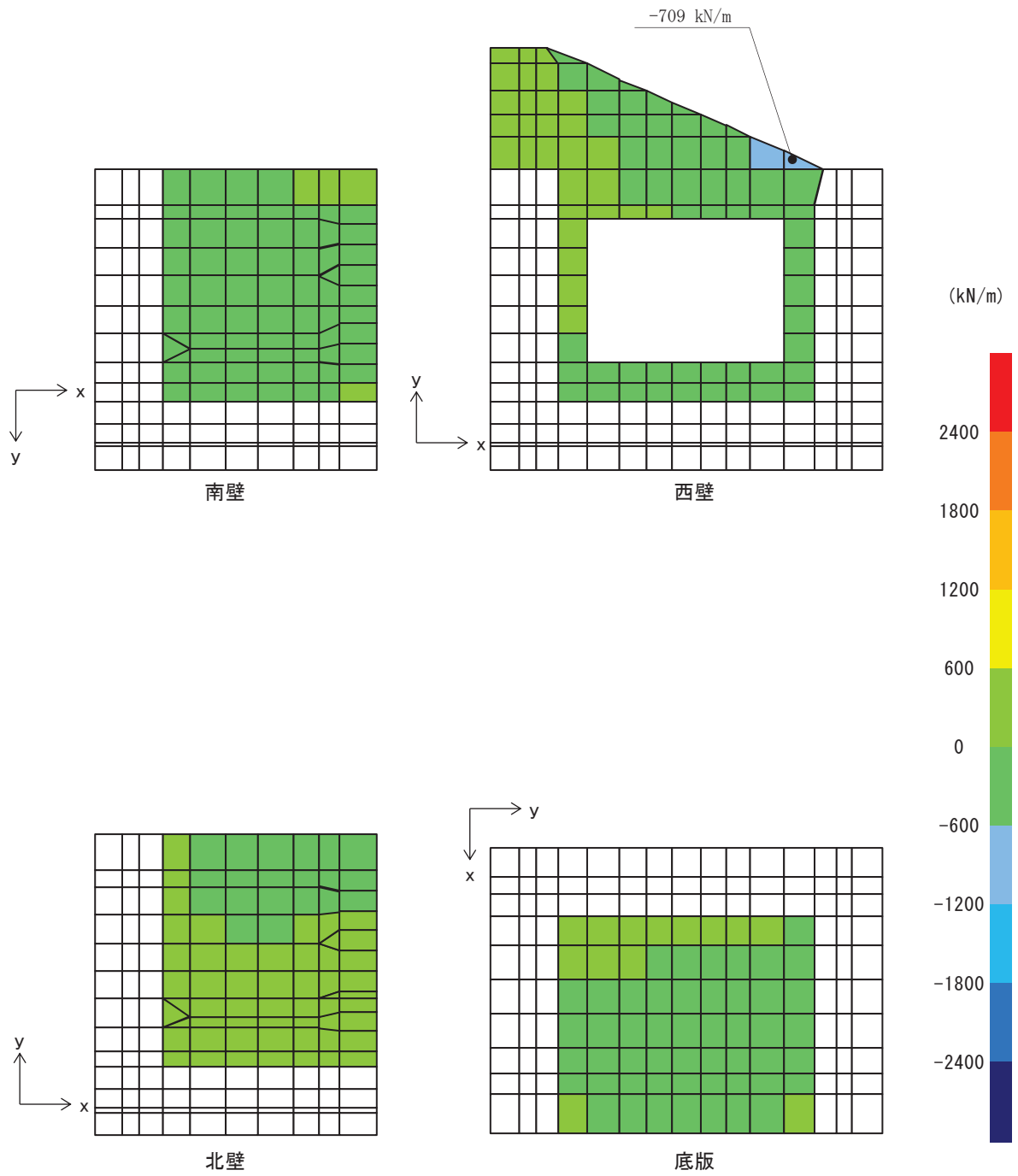


図8-15 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(西壁, 解析ケース②, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

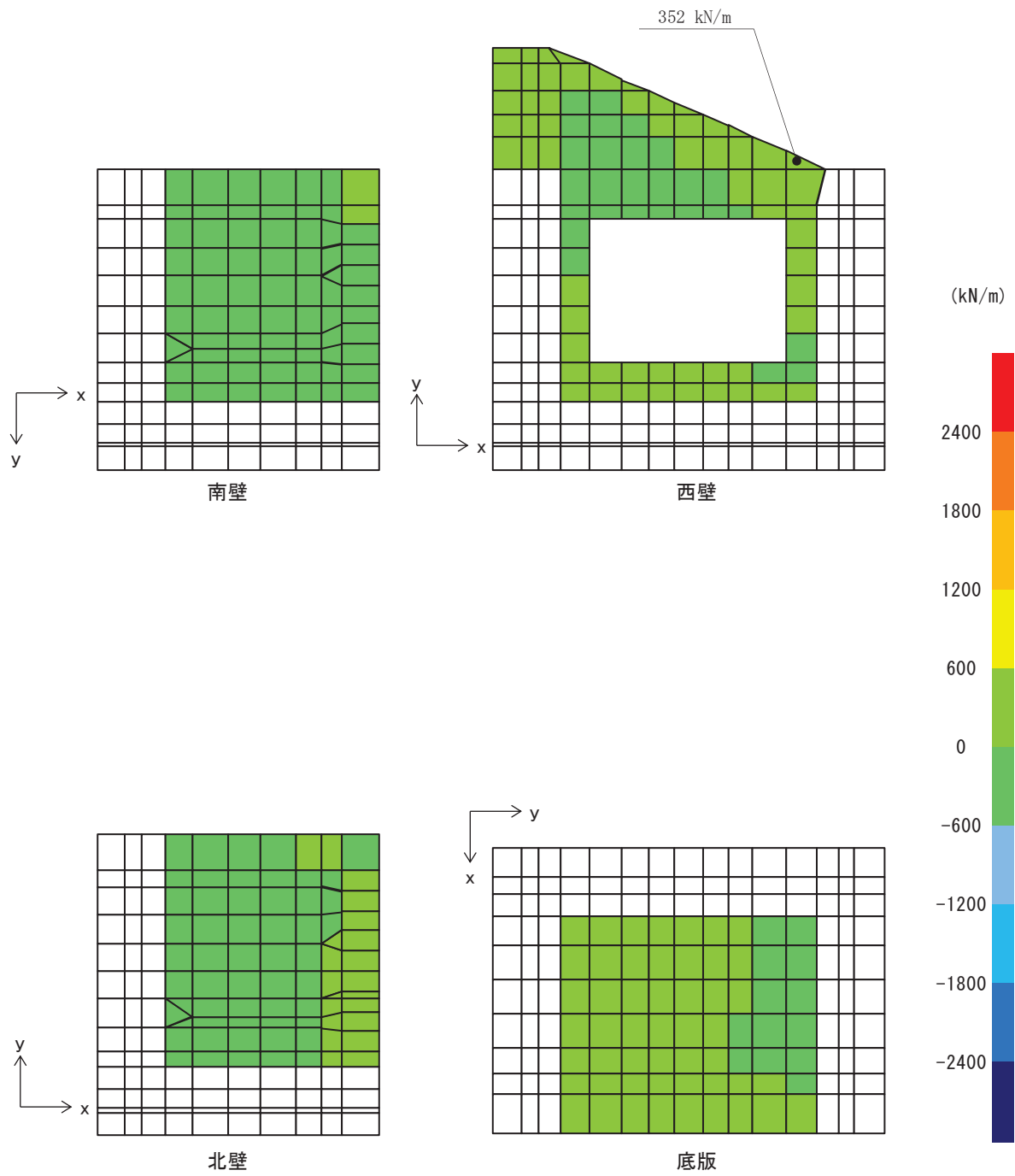


図8-16 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力(kN/m) : Q_y)

(西壁, 解析ケース②, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

(3) 評価方法

出口側集水ピットの強度評価は、二次元静的解析により得られた応答値から、三次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

構造部材の健全性評価については、三次元構造解析により算定した照査用応答値が、「8.4 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

8.5.2 重畳時

(1) 二次元動的解析

a. 荷重算出断面

出口側集水ピットの重畳時荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。重畳時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、A-A断面とする。

断面図を図 8-2 に示す。

b. 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「8.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて二次元動的有限要素法解析により算定する。

二次元動的有限要素法解析については、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

解析コードは、二次元動的有限要素法解析に「FLIP Ver7.3.0_2」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(a) 構造部材

出口側集水ピットは、西壁及び底版は線形はり要素（ビーム要素）、南北壁は平面ひずみ要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土及び置換コンクリートは、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）及び線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(b) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として旧表土、盛土、**D**級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が重畳時に出口側集水ピットの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 8-11 に示す。

なお、出口側集水ピットは、新設構造物であり許容応力度法により設計を行っており、十分に裕度を確保した設計としていることから、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④による耐震評価は実施せず、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出において、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

表 8-11 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C ₁ 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

(c) 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし, 剛性比例型減衰 ($\alpha=0, \beta=0.002$) とする。

(d) 解析ケースの選定

イ. 強度評価における解析ケース

重畳時においては, 弾性設計用地震動 S d - D 2 に対して, 解析ケース① (基本ケース) を実施する。解析ケース①において, 曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して, 最も厳しい地震動を用いて表 8-11 に示す解析ケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 8-12 に示す。

また, 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) に対する応答加速度抽出において, 材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

表 8-12 重畳時における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地盤物性			平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動 (位相)	S d - D 2	++ *	○	弾性設計用地震動 S d - D 2 (1 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (1 波) を加えた全 2 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。	
		-+ *	○		

注記 * : 地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

ロ. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出のための解析ケース

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として、解析ケース①に加え、表 8-13 に示す解析ケース②～④を実施する。

表 8-13 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*3
地震動 (位相)	S d - D 2	++*1	○	○	○
	S d - D 2	-+*1, 2	○	—	—

注記 *1：地震動の位相について（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「—」は位相を反転させたケースを示す。

*2：位相反転ケース（-+）でのケース②～④について、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、津波波圧が支配的な荷重であり、地震荷重が構造成立性に及ぼす影響が小さいことから検討を省略する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

c. 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 8-17 に入力地震動算定の概念図を、図 8-18 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE ver.1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

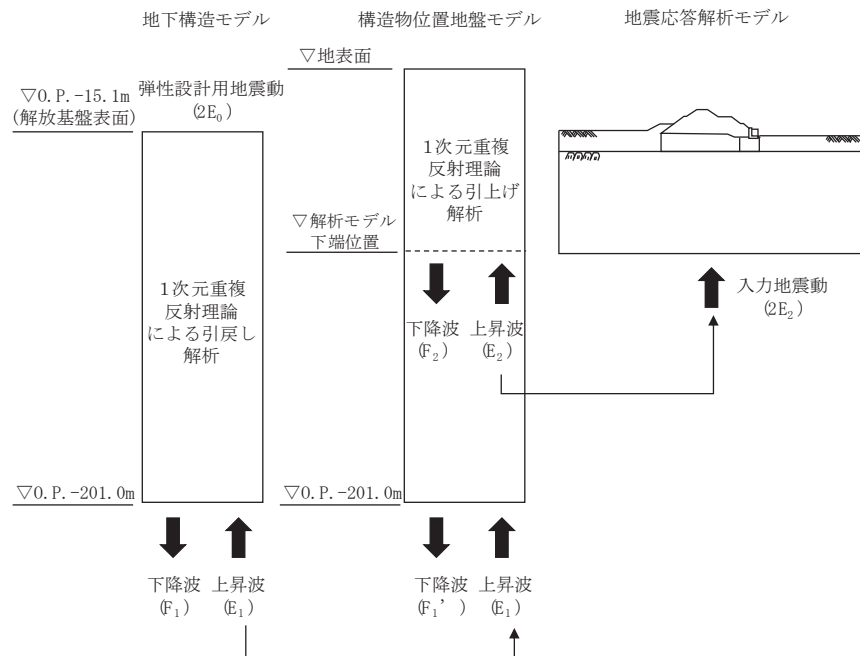
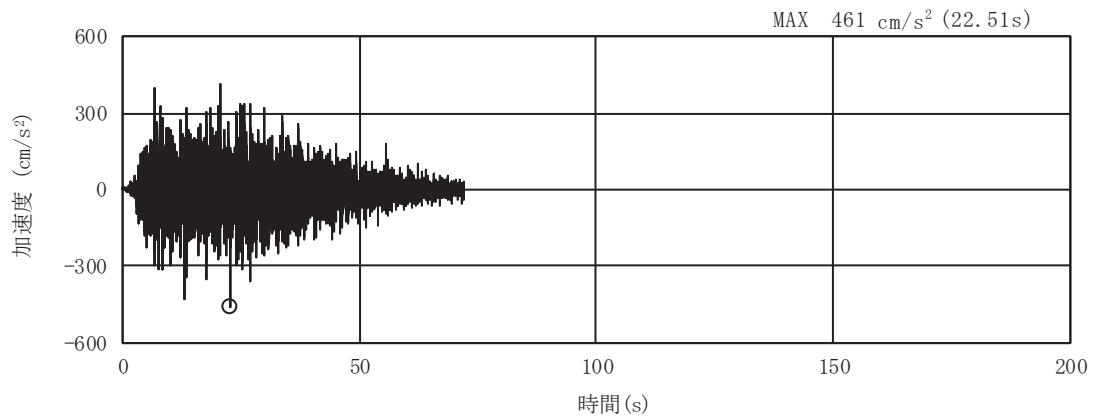
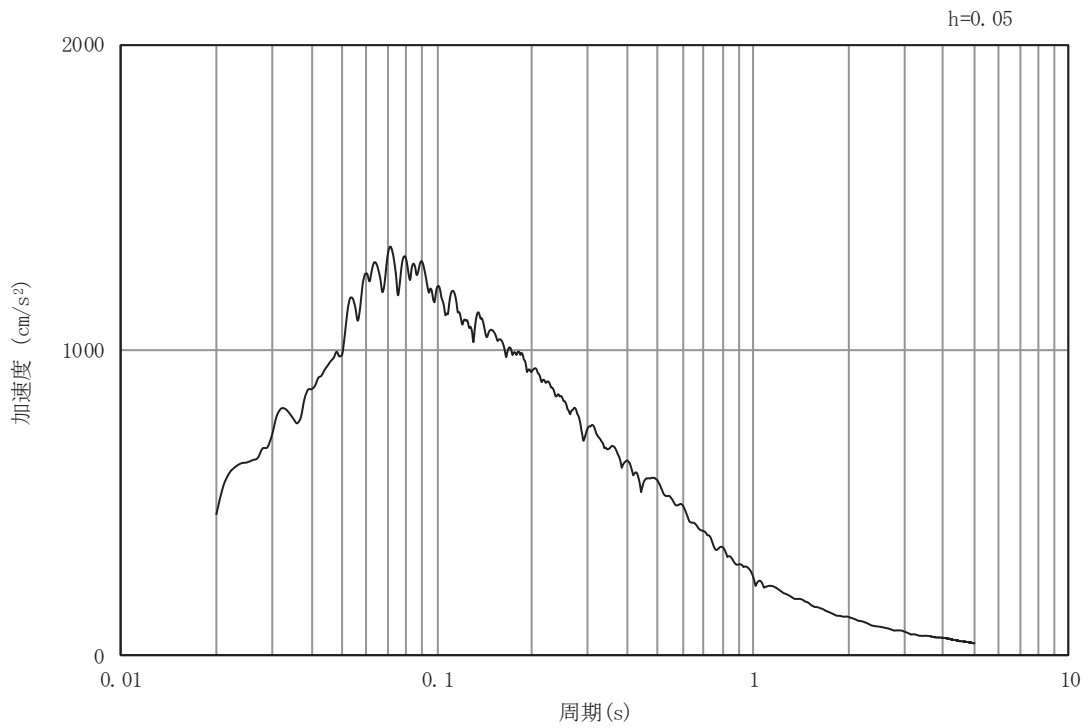


図 8-17 入力地震動算定の概念図

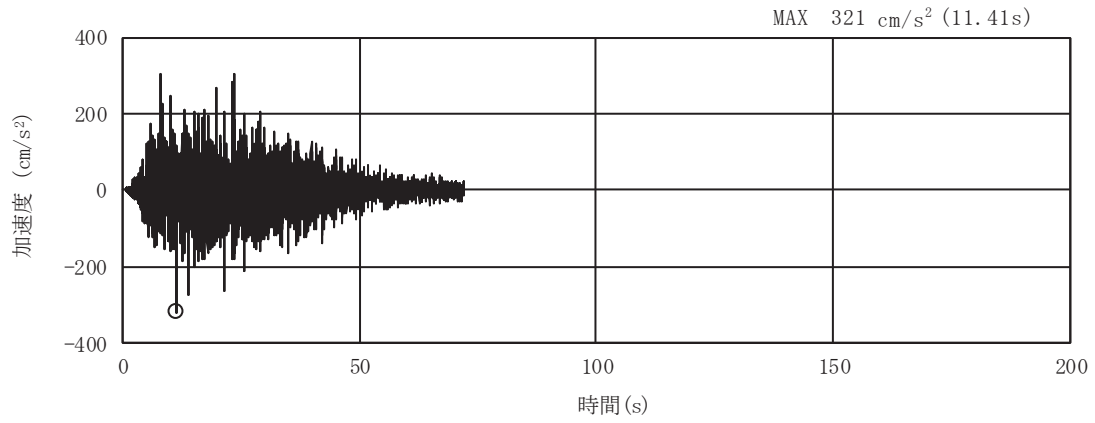


(a) 加速度時刻歴波形

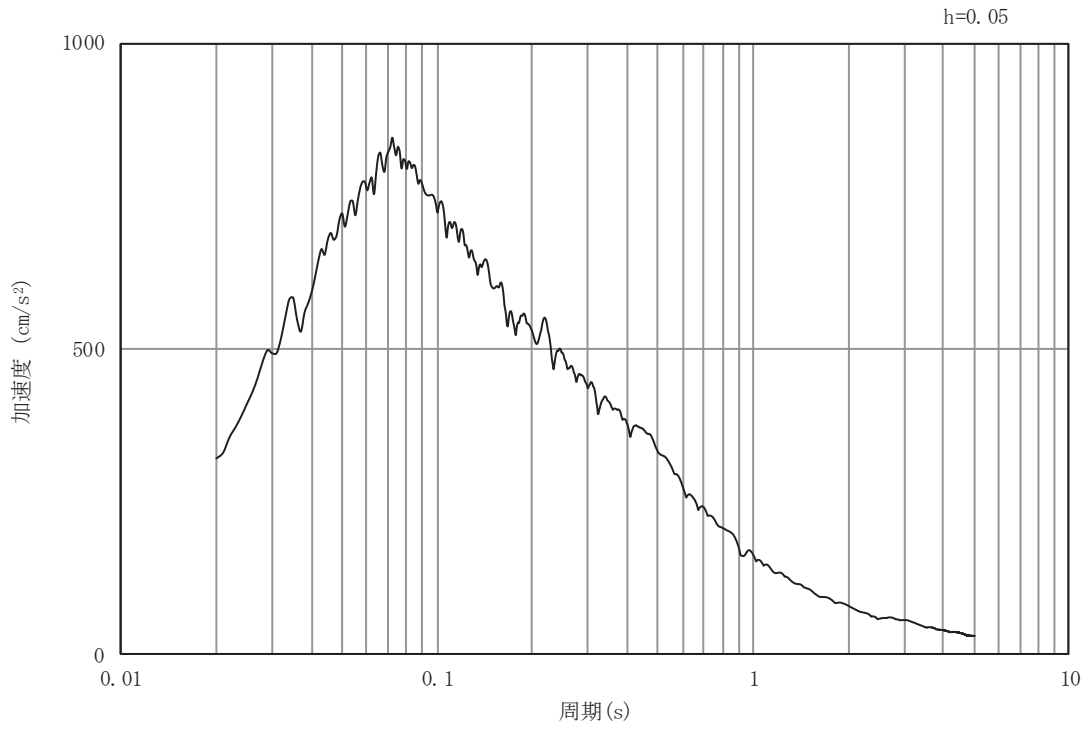


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-18 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-18 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S d - D 2)

d. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-19 に示す。

イ. 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

ロ. 境界条件

境界条件は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

ハ. 構造物のモデル化

出口側集水ピットは、西壁及び底版は線形はり要素（ビーム要素）、南北壁は平面ひずみ要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土及び置換コンクリートは、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）及び線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

ニ. 地盤のモデル化

地盤のモデル化は、「8.5.1 津波時」と同様である。

ホ. 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

ヘ. ジョイント要素の設定

ジョイント要素の設定は、「8.5.1 津波時」と同様である。

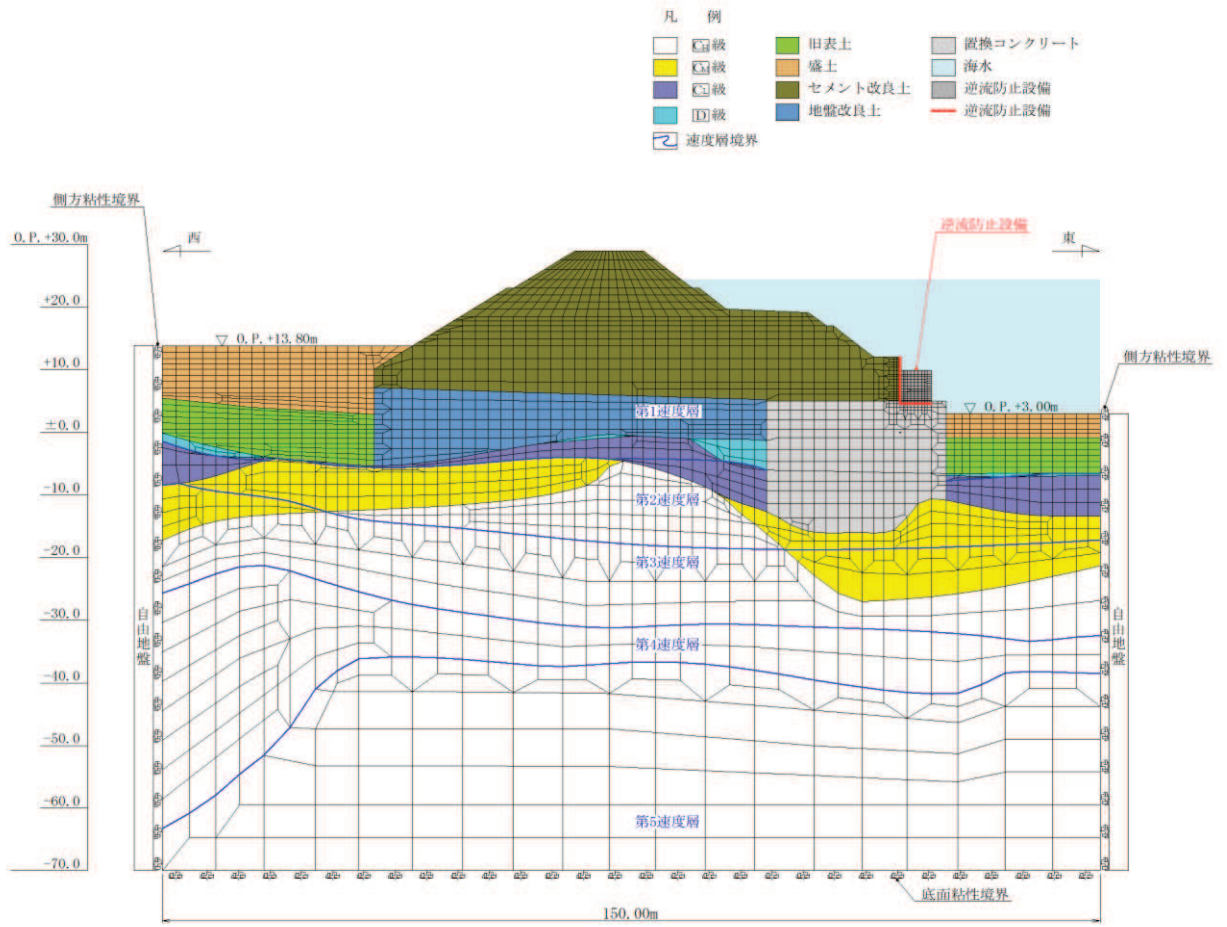


図 8-19 出口側集水ピットの解析モデル（重畳時）

(b) 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「8.5.1 津波時」と同様である。

(c) 地盤の物性値

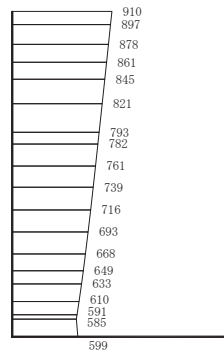
地盤の物性値は、「8.5.1 津波時」と同様である。

(d) 地下水位

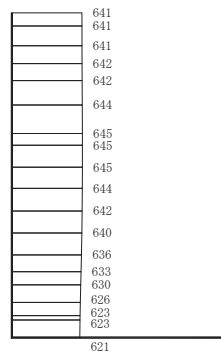
地下水位は、「8.5.1 津波時」と同様であり、図 8-2 のとおりである。

(2) 地震応答解析結果

地震応答解析で得られた各ケースの東西方向の最大加速度分布を図 8-20 に示す。



(a) S d - D 2 (++) 水平

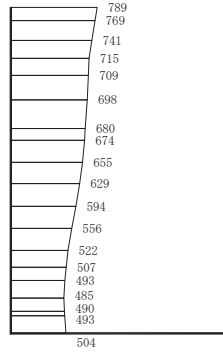


(b) S d - D 2 (++) 鉛直

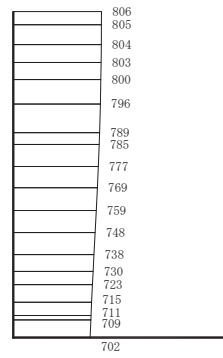
構造スケール 0 2 (m)

応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8-20 (1) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



(a) S d - D 2 (- +) 水平

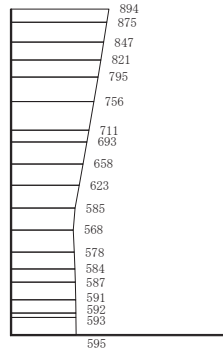


(b) S d - D 2 (- +) 鉛直

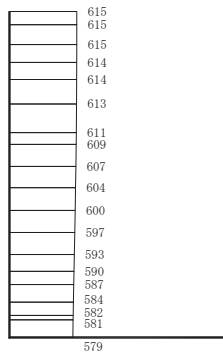
構造スケール 0 |-----| 2 (m)

応答値スケール 0 |-----| 1000 (cm/s²)

図 8-20 (2) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



(a) S d - D 2 (- +) 水平

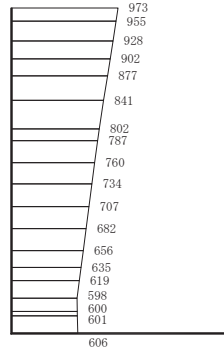


構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

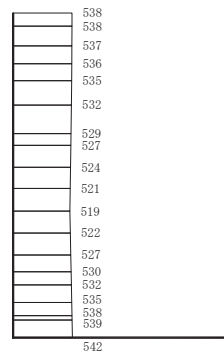
(b) S d - D 2 (- +) 鉛直

図 8-20 (3) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S d - D 2 (- +) 水平

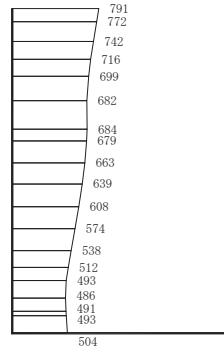


(b) S d - D 2 (- +) 鉛直

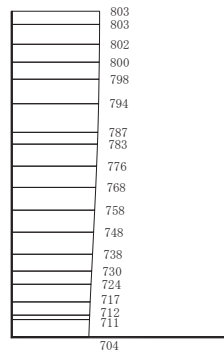
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8-20 (4) 最大加速度分布図

(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S d - D 2 (- +) 水平



構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) S d - D 2 (- +) 鉛直

図 8-20 (5) 最大加速度分布図

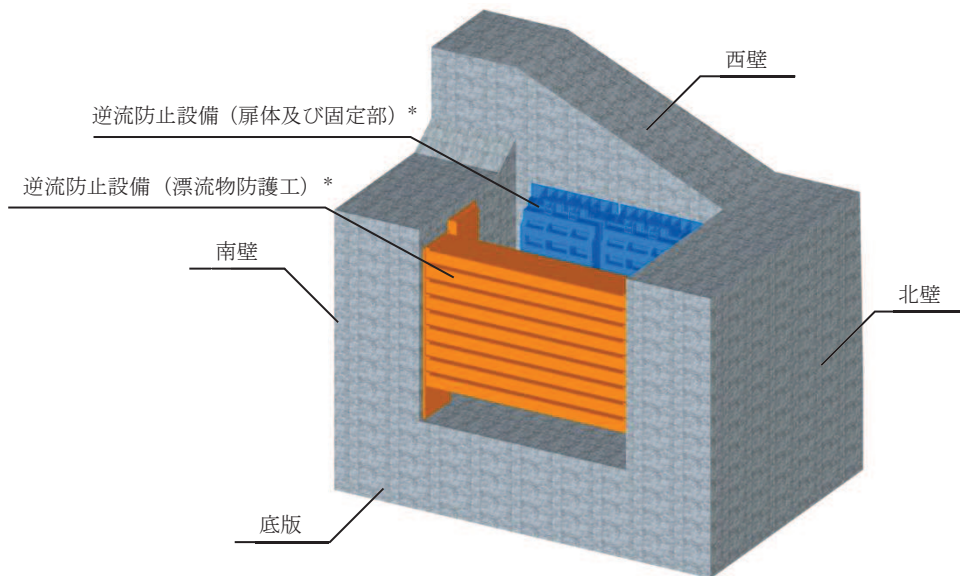
(解析ケース④) : 材料物性 (コンクリート) の実剛性を考慮した解析ケース

(3) 三次元構造解析

a. 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、出口側集水ピットを構成する構造部材である側壁及び底版とする。

図 8-21 に評価対象部材を示す。



注記*：三次元構造解析においては、荷重としてモデル化

図 8-21 三次元構造解析の評価対象部材

b. 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8.5.2(1) 二次元動的解析」により得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びびせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「SLAP ver6.64」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-22 に、要素分割図を図 8-23 に示す。

イ. 構造物のモデル化

構造物は、線形シェル要素でモデル化する。

ロ. 境界条件

三次元構造解析モデルの底面には，地盤ばね要素を配置する。

地盤ばねは，常時解析においては「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編」に基づき設定する。

重畳時の解析においては，支持地盤は，地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し，「田治見の振動アドミタンス理論」に基づき設定する。

側方地盤は，弾性ばねでモデル化し，西壁の法線方向に取り付け，「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に基づき設定する。

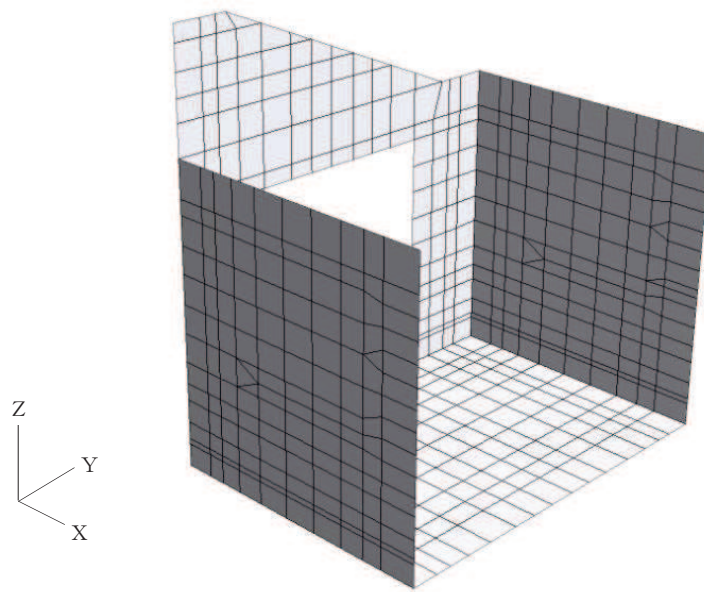


図 8-22 出口側集水ピットのモデル概念図

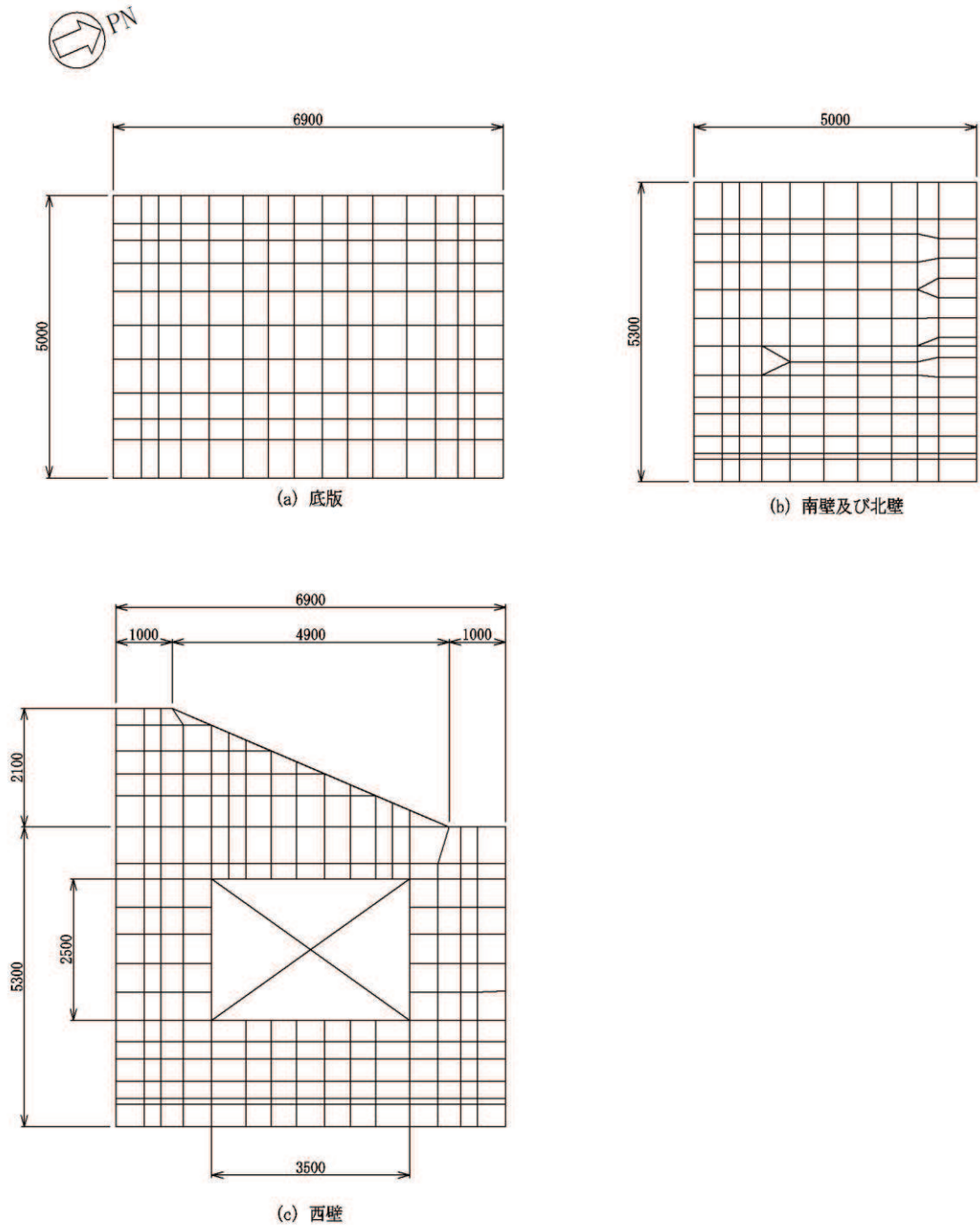


図 8-23 要素分割図 (単位 : mm)

(b) 使用材料及び材料の物性値

出口側集水ピットの使用材料及び材料の物性値は、「8.5.1 津波時」と同様である。

d. 照査時刻及び入力荷重

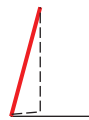

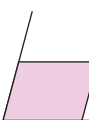
(a) 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モード毎及び部材毎に評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。

表 8-14 に照査時刻の選定の考え方を示す。

照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 8-24, 図 8-25 に示す。

表 8-14 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		構造物の上面と下面の層間変位が最大となる時刻
時刻 2	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻
時刻 3 (時刻 1)	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻

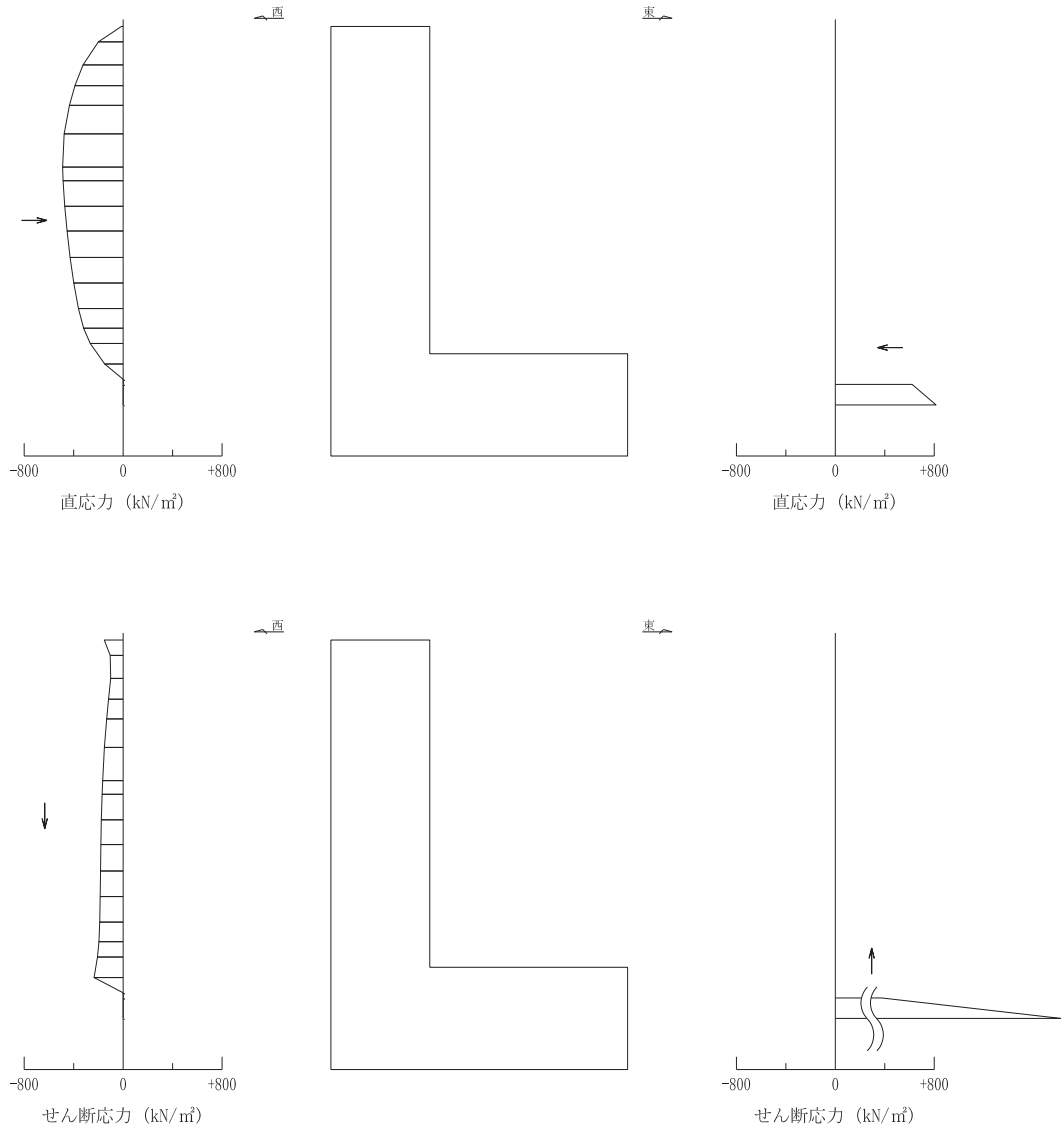


図 8-24 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

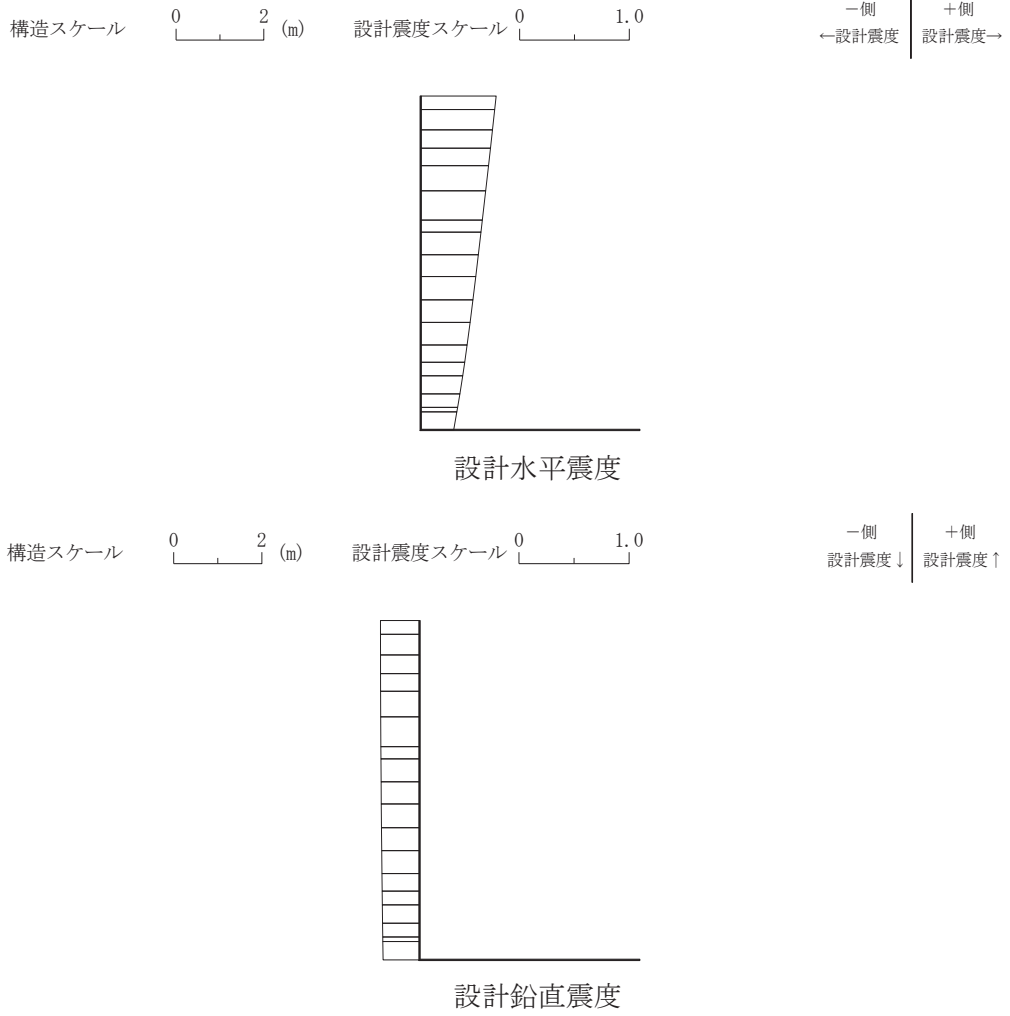


図 8-25 照査値最大時刻震度分布図
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

(b) 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、二次元動的解析に基づく「8.5.2(3)d.(a) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 8-15 に示す。

表8-15 三次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	躯体自重
	積載荷重	機器・配管荷重
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体側面に作用する常時水圧
津波時荷重	動水圧	躯体側面，上面に作用する動水圧
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	地震時土圧	躯体側面に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体側面に作用する地震時水圧

注記*：動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

e. 三次元構造解析結果

シェル要素における各要素の断面力の方向を図 8-26 に示す。面内せん断力 N_{xy} については、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、軸力として考慮する。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 8-27～図 8-31 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 8-32，図 8-33 に示す。

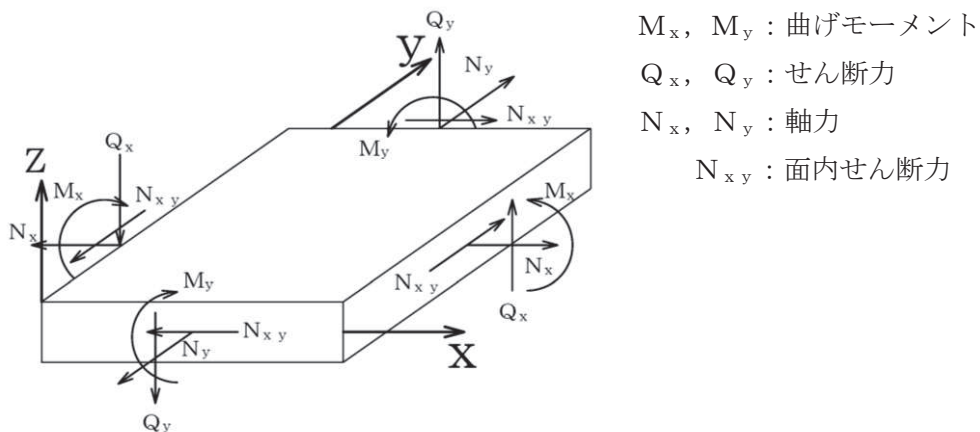


図 8-26 シェル要素における応答断面力

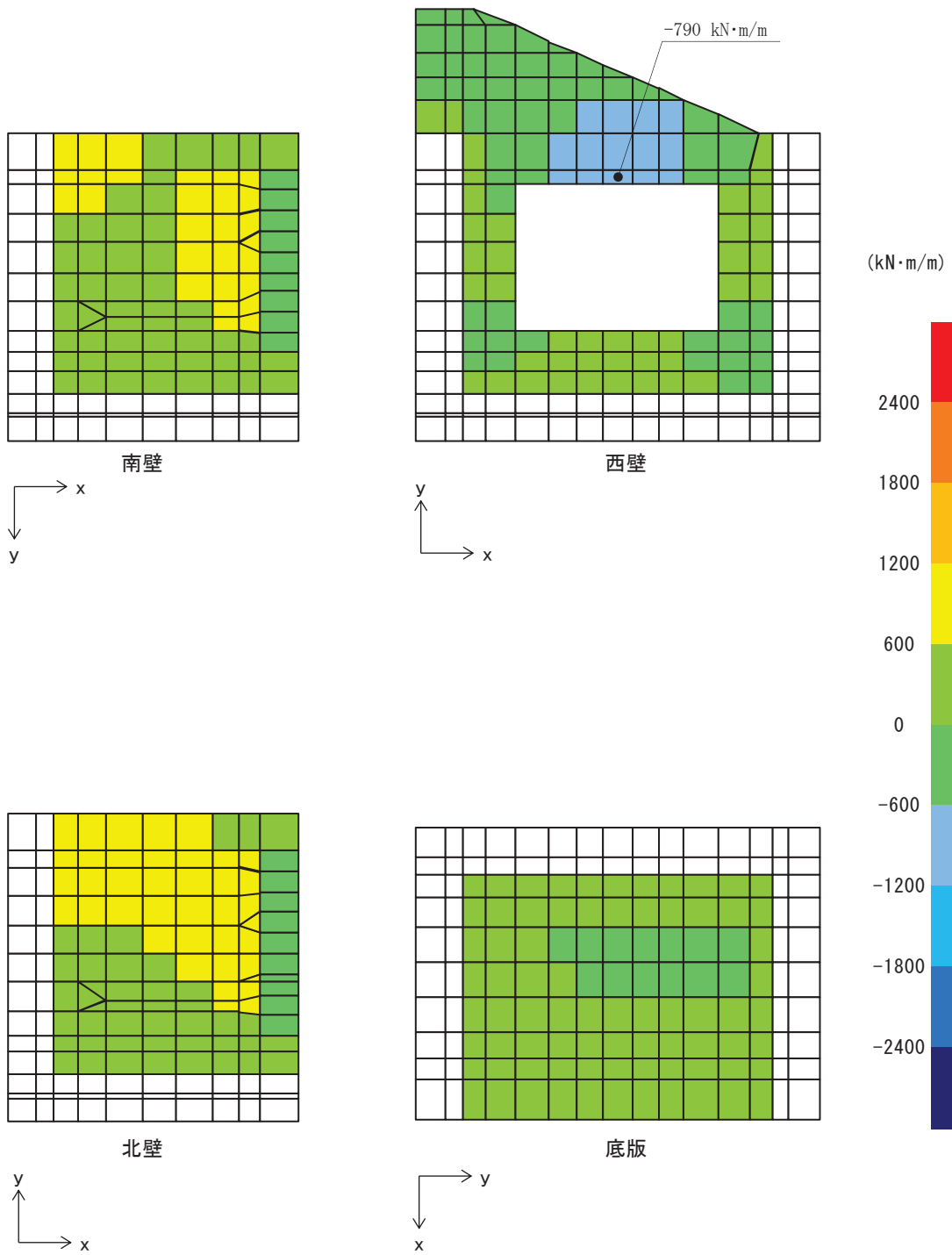


図 8-27 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_x)
 (西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

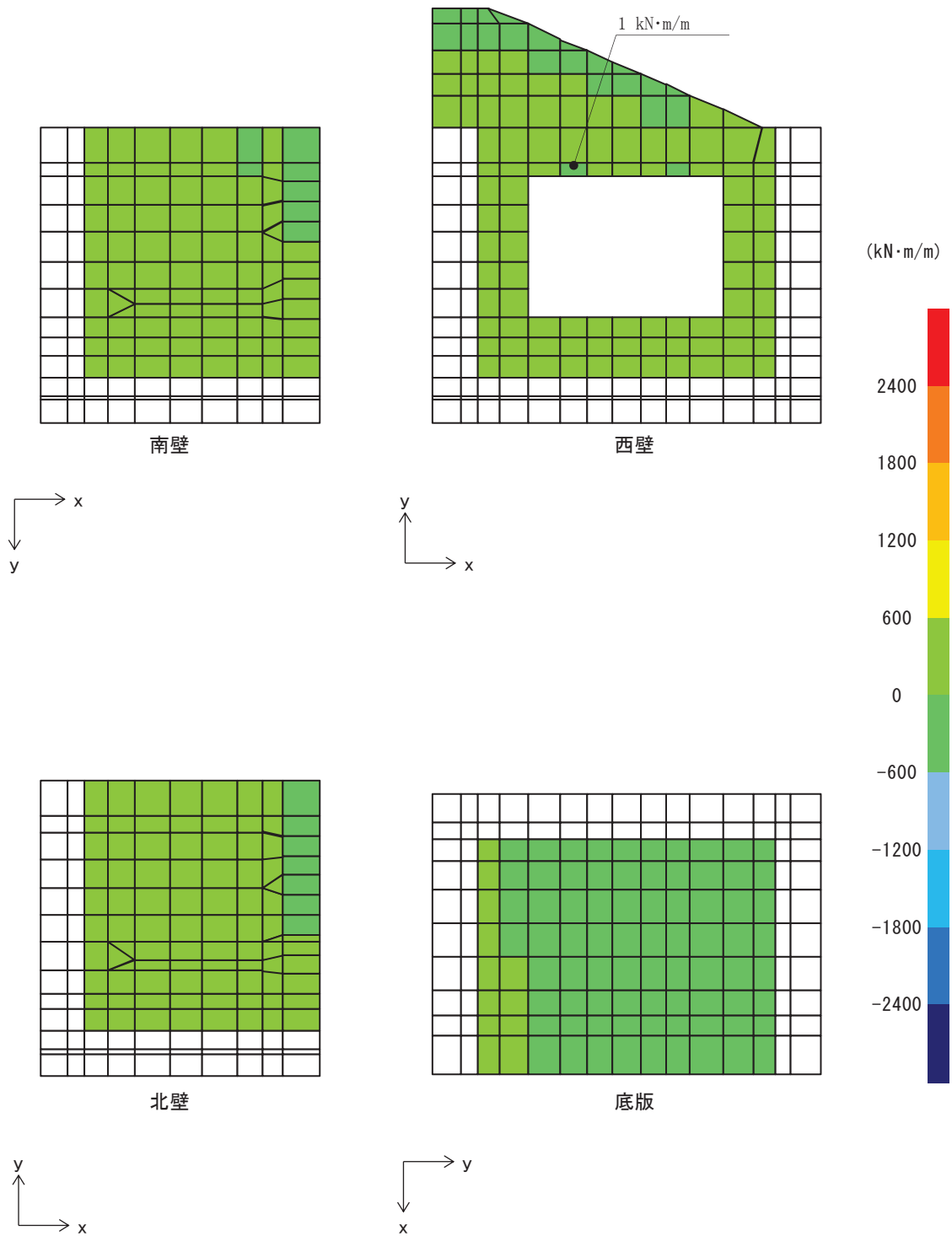


図8-28 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_y)
 (西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

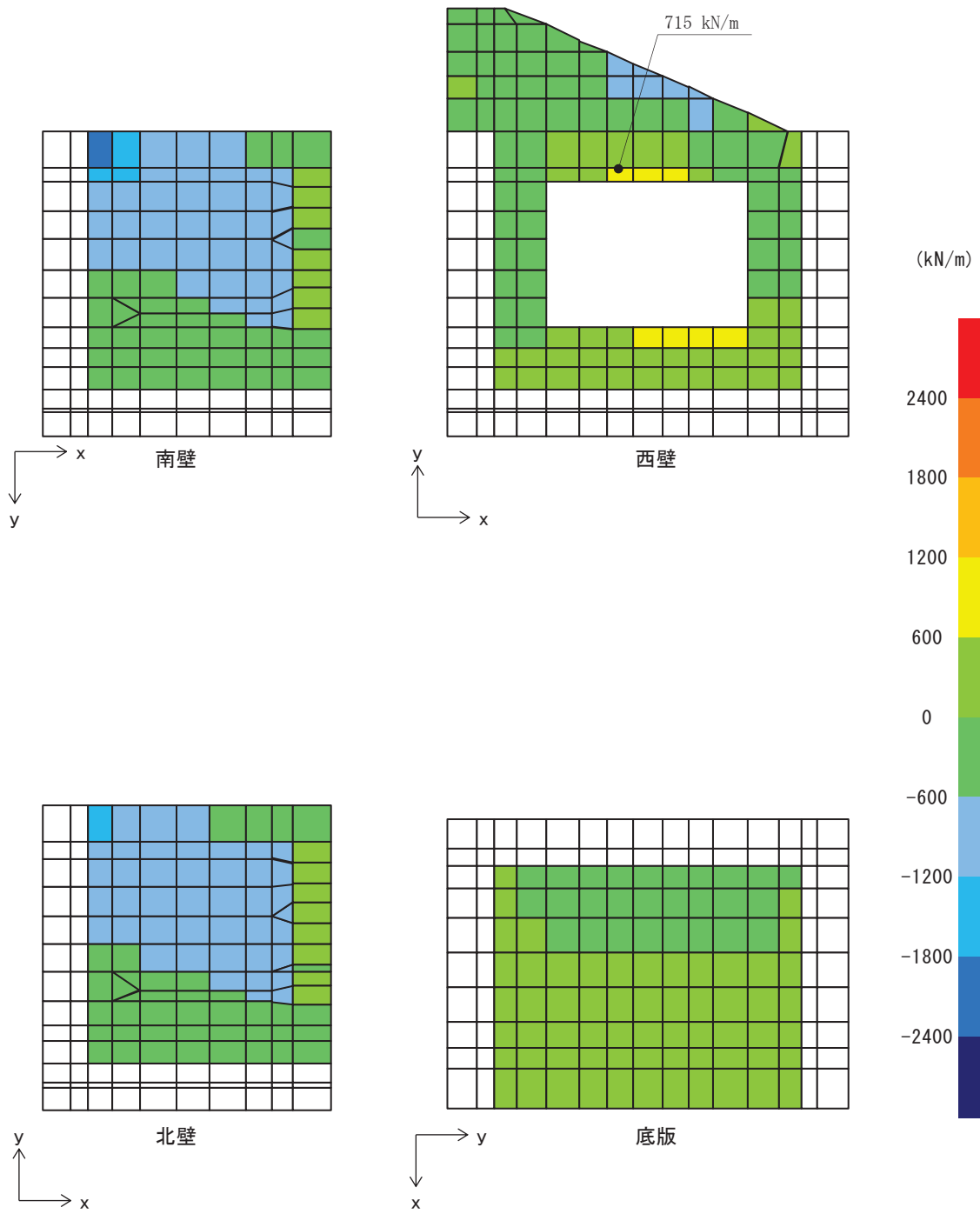


図 8-29 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

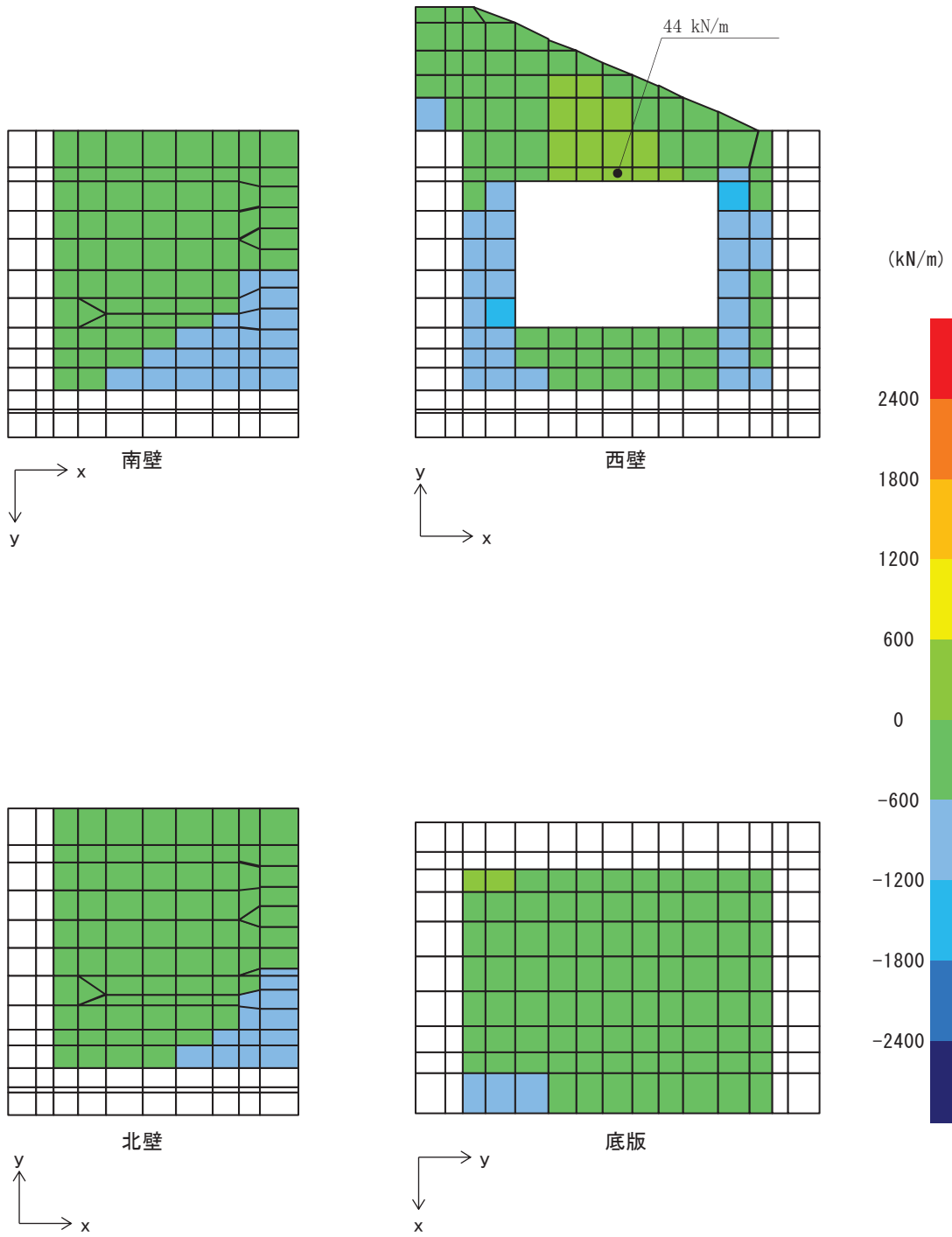


図8-30 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力(kN/m) : N_y)

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

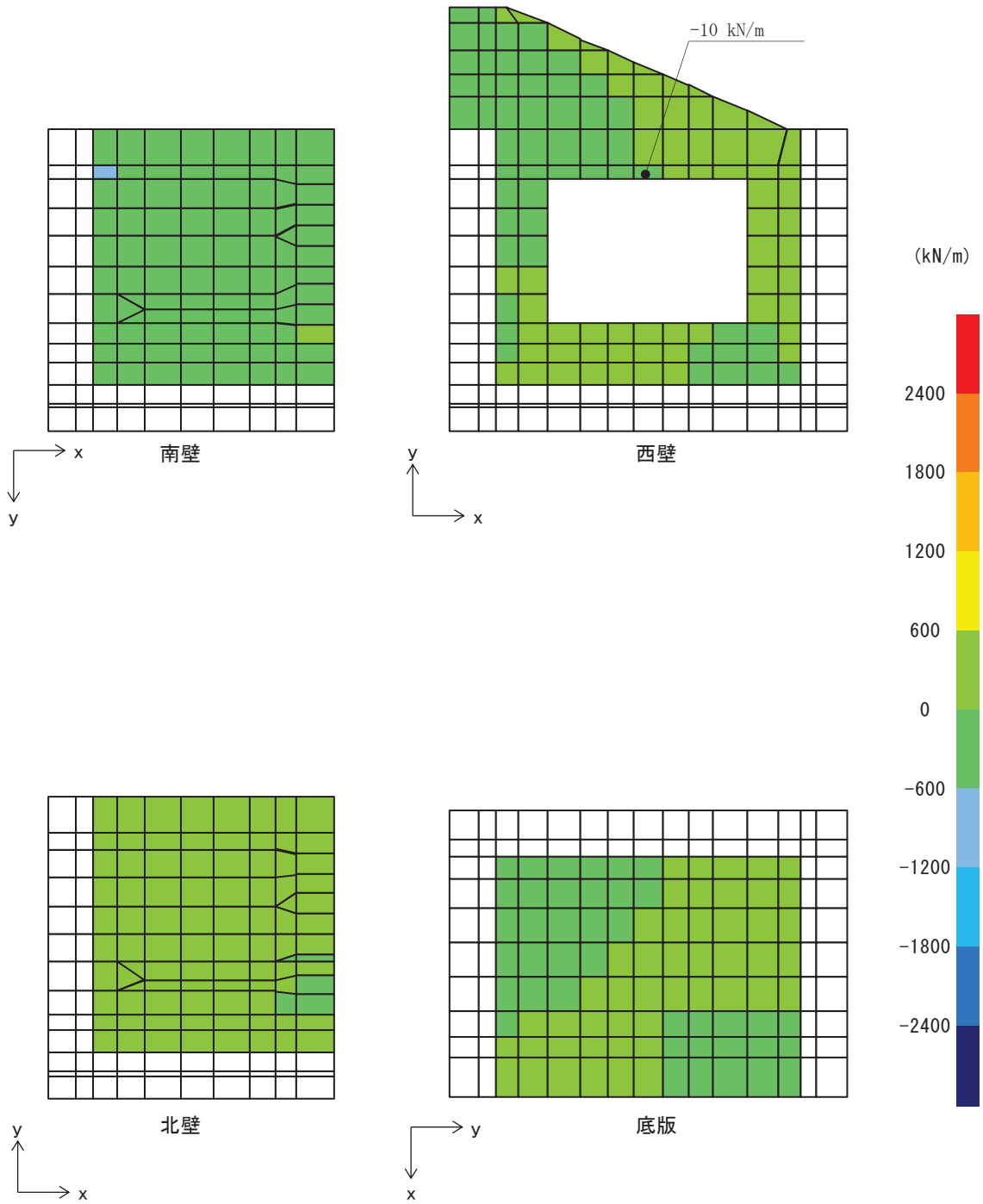


図8-31 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力(kN/m) : N_{xy})
 (西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

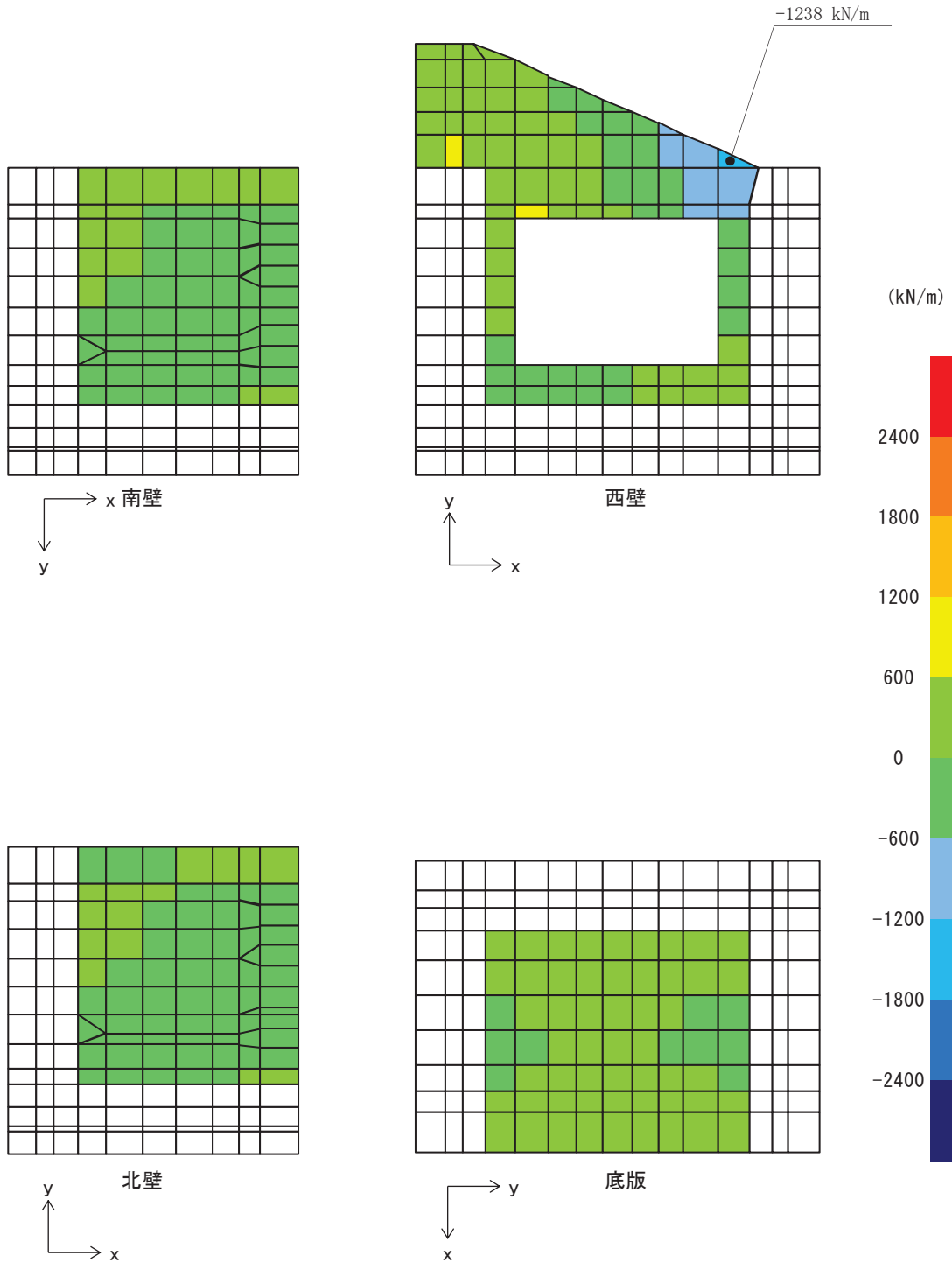


図8-32 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力(kN/m) : Q_x)
 (西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (-+))

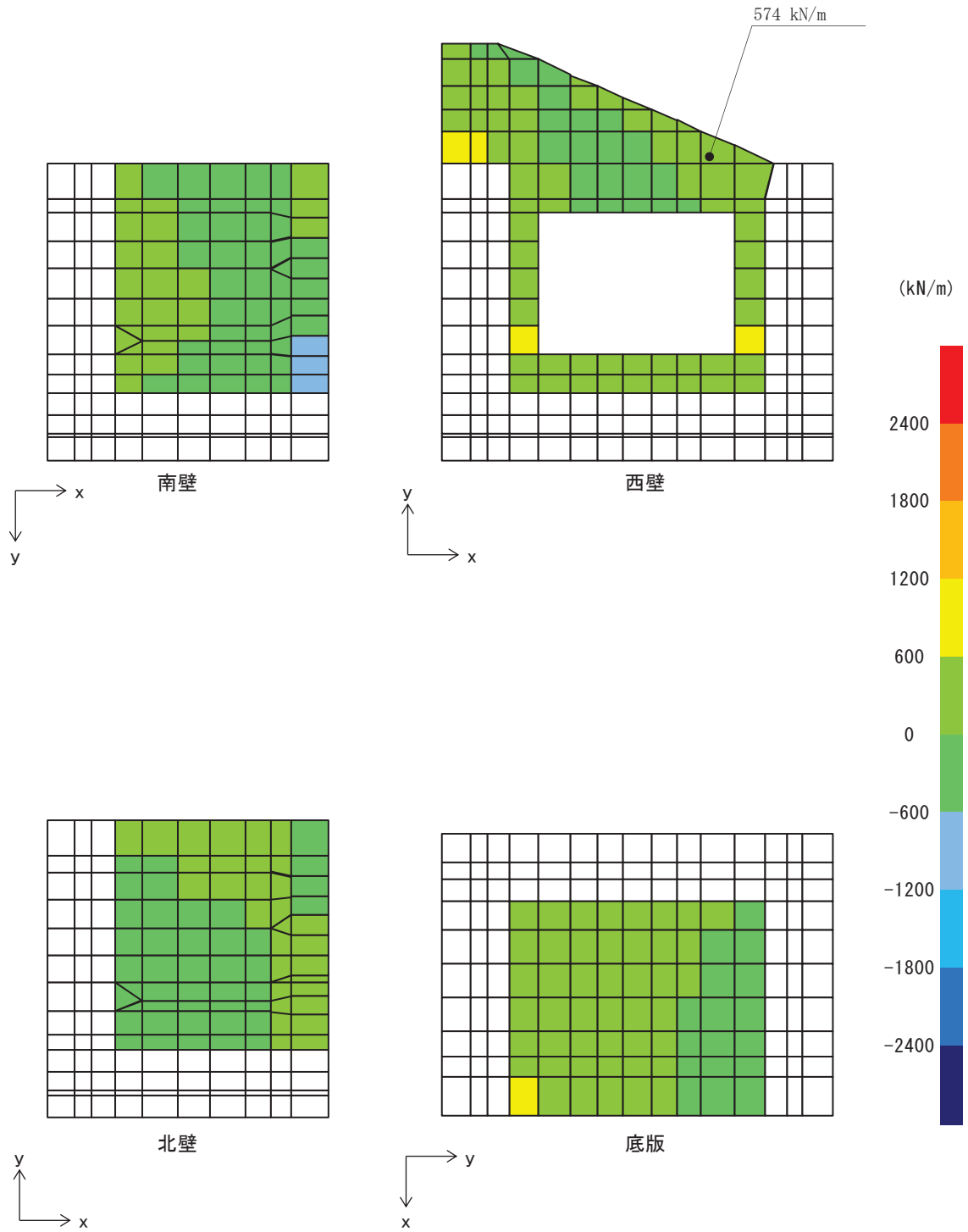


図8-33 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (-+))

(4) 評価方法

出口側集水ピットの強度評価は、二次元動的解析により得られた応答値から、三次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

構造部材の健全性評価については、三次元構造解析により算定した照査用応答値が、「8.4 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

9. 評価条件

「8. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 9-1 に示す。

表 9-1 強度評価に用いる条件

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鉄筋コンクリート)	5891.520	kN
G	固定荷重 (FG 扉体+戸当り)	147.100	kN
G	固定荷重 (漂流物防護工)	294.200	kN
σ_{ca}	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度	16.5	N/mm ²
τ_{a1}	コンクリートの短期許容せん断応力度	0.75	N/mm ²
V_a	斜め引張鉄筋を考慮する場合の短期許容せん断力	3495	kN
D	有効高さ	1.8	m
A_w	斜め引張鉄筋断面積	22.12	cm ²
σ_{sa}	鉄筋の短期許容引張応力度	294	N/mm ²
s	斜め引張鉄筋間隔	0.35	m

10. 評価結果

10.1 津波時

10.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果

断面計算に用いた断面諸元を表 10-1 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-2 及び表 10-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-4 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10-1 に示す。

出口側集水ピットの構造部材の発生応力度及び発生せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 10-1 鉄筋コンクリート断面諸元

部材	部材厚 (mm)	X方向 (EW 方向・水平方向)		Y方向 (NS 方向・鉛直方向)	
		配置鉄筋*1	芯かぶり*2 (mm)	配置鉄筋*1	芯かぶり*2 (mm)
底版	2000	D41@175 (上側) D41@175 (下側)	200	D41@175 (上側) D41@175 (下側)	200
南北壁	2000	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200
西壁	2000	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200

注記 *1：特記のない場合、上縁・下縁の配筋は同配筋とする。

*2：実配筋は、格子鉄筋となるため、2方向の芯かぶりは鉄筋径分異なるが、保守的に有効高さが小さくなる側の芯かぶりを2方向に適用する

表 10-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置	解析 ケース	衝突荷重作用位置	曲げモー メント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値	
			(kN・m/m)	(kN/m)	σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)		σ'_c/σ'_{ca}
底版	1	③	北端部	374	-338	0.8	16.5	0.05
南壁	2	②	南端部	2225	-1199	4.7	16.5	0.29
西壁	3	③	北端部	511	-156	1.1	16.5	0.07
北壁	4	②	北端部	2239	-1166	4.7	16.5	0.29

表 10-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置	解析 ケース	衝突荷重作用位置	曲げモー メント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値	
			(kN・m/m)	(kN/m)	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)		σ_s/σ_{sa}
底版	1	③	北端部	-131	170	21.8	294	0.08
南壁	2	②	南端部	2225	-1199	108.1	294	0.37
西壁	3	②	北端部	-510	246	56.7	294	0.20
北壁	4	③	北端部	2239	-1163	111.2	294	0.38

表 10-4 せん断破壊に対する照査

評価位置	解析 ケース	衝突荷重作用位置	発生 せん断力	短期許容 せん断力	照査値	
			V (kN/m)	V _a (kN/m)		V/V _a
底版	1	③	北端部	418	3495	0.12
南壁	2	③	南端部	594	3495	0.17
西壁	3	②	北端部	709	3495	0.21
北壁	4	①	北端部	551	3495	0.16

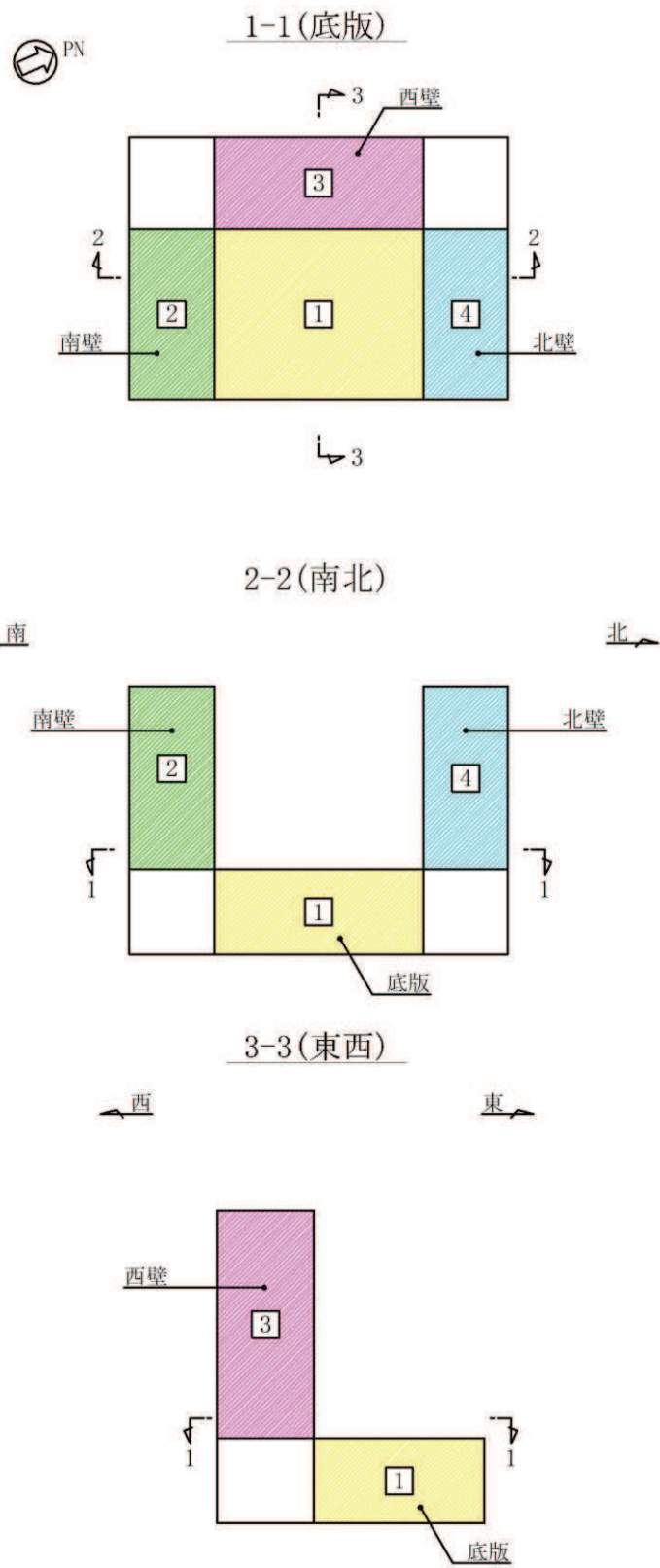


图 10-1 評価位置図

10.2 重畳時

10.2.1 構造部材の健全性に対する評価結果

断面計算に用いた断面諸元を表 10-1 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-5 及び表 10-6 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-7 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10-1 に示す。

出口側集水ピットの構造部材の発生応力度及び発生せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 10-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置		解析ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
底版	1	③	S d - D 2 (-+)	410	-735	0.9	16.5	0.06
南壁	2	③	S d - D 2 (-+)	857	-2807	2.3	16.5	0.14
西壁	3	③	S d - D 2 (-+)	-845	-152	1.7	16.5	0.11
北壁	4	③	S d - D 2 (-+)	956	-1798	2.0	16.5	0.13

表 10-6 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置		解析ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
底版	1	②	S d - D 2 (-+)	163	440	42.0	294.0	0.15
南壁	2	③	S d - D 2 (-+)	952	-670	38.1	294.0	0.13
西壁	3	①	S d - D 2 (-+)	-790	726	110.7	294.0	0.38
北壁	4	③	S d - D 2 (-+)	803	-482	36.4	294.0	0.13

表 10-7 せん断破壊に対する照査

評価位置		解析ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V / V _a
底版	1	③	S d - D 2 (-+)	695	3495	0.20
南壁	2	③	S d - D 2 (-+)	760	3495	0.22
西壁	3	③	S d - D 2 (-+)	1239	3495	0.36
北壁	4	③	S d - D 2 (-+)	541	3495	0.16

VI-3-別添 3-2-5-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の
強度計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価部位	8
3.1	評価部位の選定	8
3.2	評価方向の整理	9
4.	固有周期	10
4.1	固有周期の計算方法	10
4.1.1	解析モデル	10
4.1.2	固有周期の計算	10
4.2	固有周期の計算条件	11
4.3	固有周期の計算結果	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重及び荷重の組合せ	12
5.2.1	荷重の設定	12
5.2.2	荷重の組合せ	13
5.3	許容限界	14
5.3.1	使用材料	14
5.3.2	許容限界	14
5.4	設計用地震力	17
5.5	計算方法	20
5.5.1	スキンプレート	20
5.5.2	主桁	21
5.5.3	補助縦桁	23
5.5.4	戸当りコンクリート	24
5.5.5	戸当り	25
5.6	計算条件	26
6.	評価結果	28

1. 概要

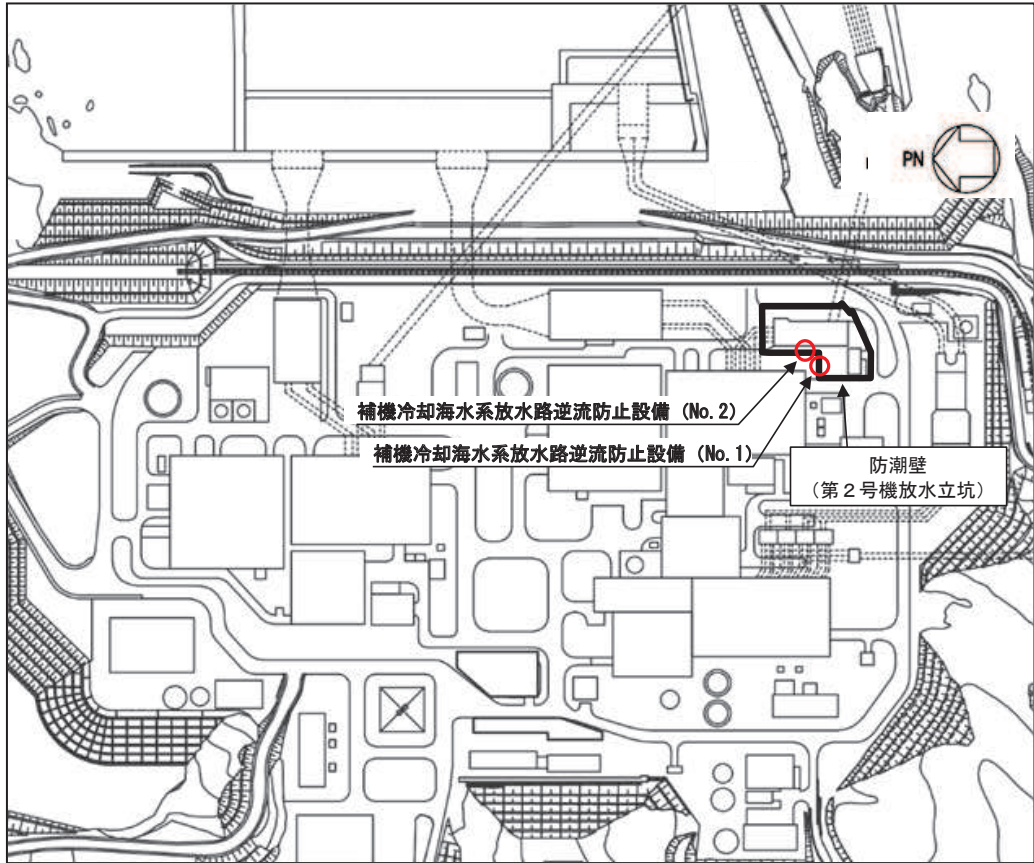
本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）の強度評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1 m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

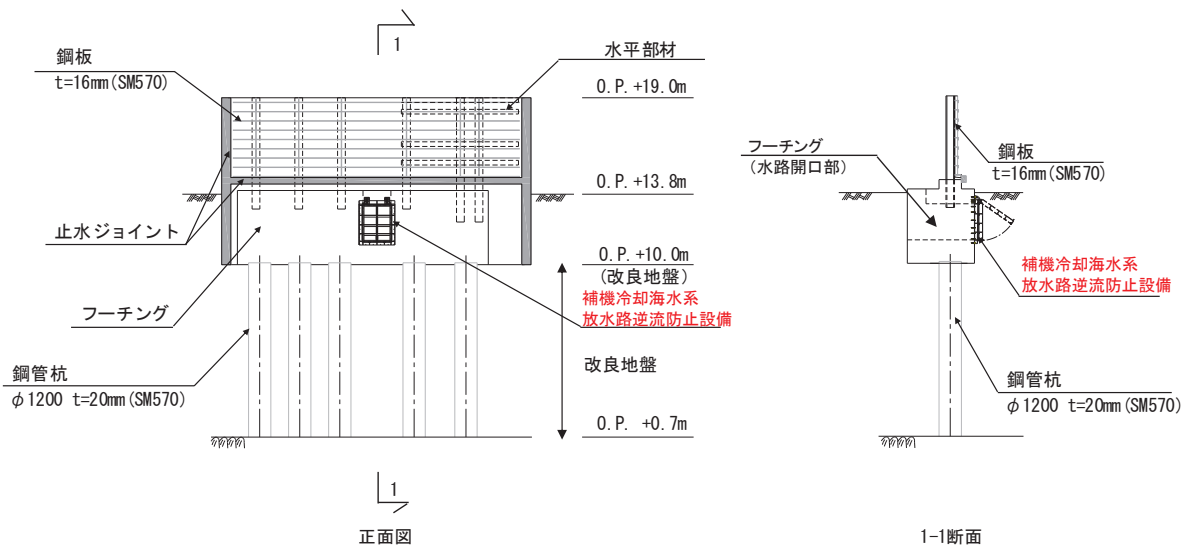
2. 一般事項

2.1 配置概要

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の設置位置を図 2-1 に示す。



(全体平面図)



(防潮壁(第2号機放水立坑)鋼製遮水壁(鋼板)断面⑦)

図 2-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の概要

2.2 構造計画

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造は、鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部及びヒンジ部アンカーボルト) を主体構造とし、第 2 号機放水立坑を経由した津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して防潮壁のフーチング部に伝達する構造とする。

なお、扉体と戸当り間は扉体側に止水ゴム (P 型ゴム) を設置し、戸当りとフーチング間は無収縮モルタルにより一体化を講じることで、構造境界部における止水性を確保する。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2))

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
十分な支持機能を有する構造物に設置する。	鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部、ヒンジ部アンカーボルト) 並びに戸当り	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p>

2.3 評価方針

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の強度評価は, 添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて, 「2.2 構造計画」に示す補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造を踏まえ, 「3. 評価部位」にて設定する評価部位において, 「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が許容限界以下であることを, 「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の強度評価における, 強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは, 津波に伴う荷重作用時 (以下「津波時」という。) 及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時 (以下「重畳時」という。) について行う。ただし, 「重畳時」の津波荷重は「津波時」の津波荷重を用いていることから, 「重畳時」が保守的な評価となることは明白であるため, 「津波時」の検討は省略する。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の強度評価フローを図 2-2 に示す。

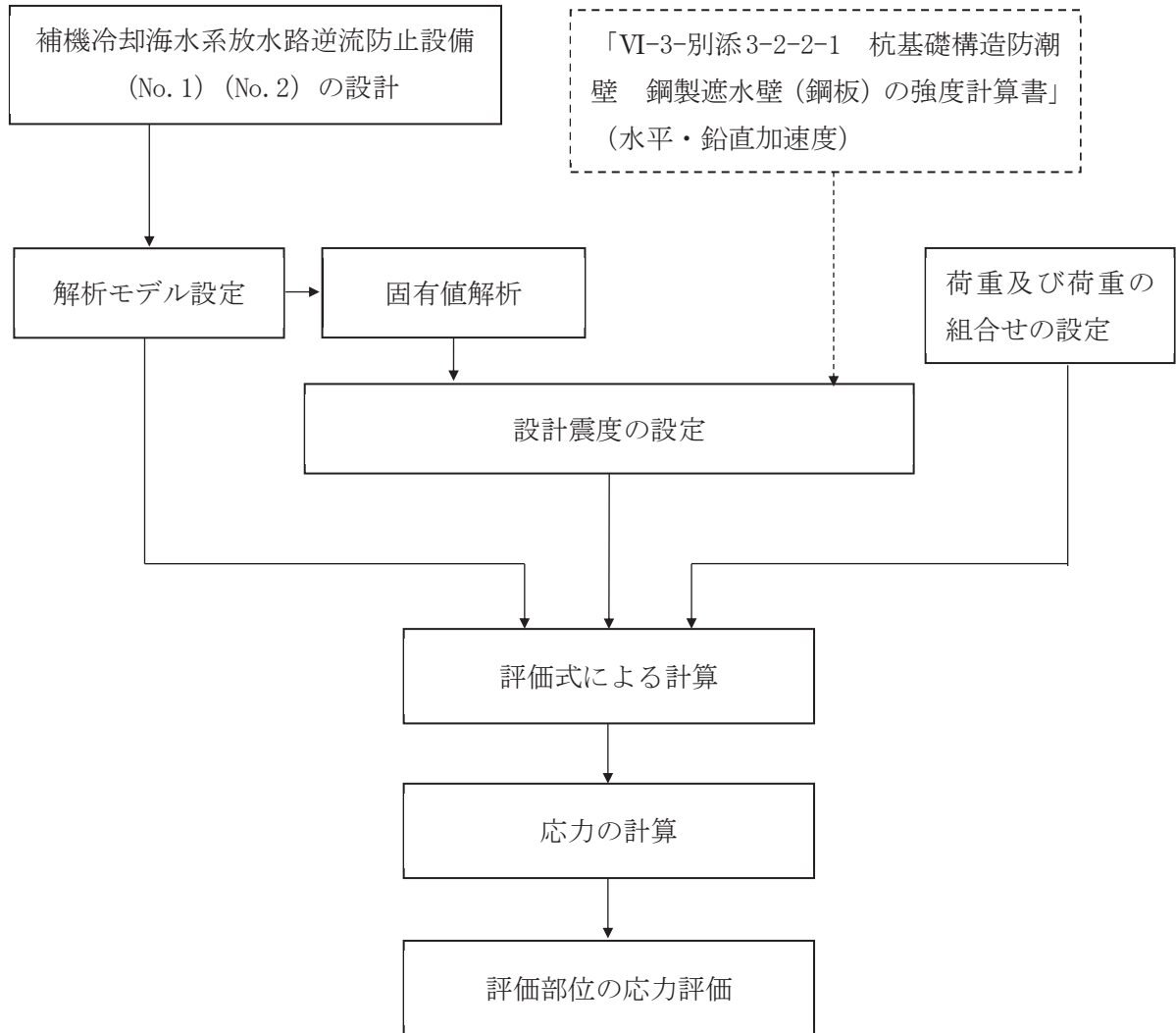


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- ・ ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準 (案)
- ・ 日本建築学会 2014 年 各種合成構造設計指針・同解説

2.5 記号の説明

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に用いる記号

記号	定義	単位
T	固有周期	s
f	一次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	主桁の断面二次モーメント	mm ⁴
m	扉体部の単位長さ当たり質量	kg/mm
L ₁	主桁の長さ	mm

表 2-3(1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の
応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	定義	単位
G	固定荷重 (扉体の自重)	N
K _{HSd}	余震による水平方向の設計震度	—
K _{VSd}	余震による鉛直方向の設計震度	—
W ₀	水の単位体積重量	N/mm ³
H	設計水深	m
h	作用位置までの水深	m
k	スキンプレートの辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数	—
a ₁	スキンプレートの短辺	mm
b ₁	スキンプレートの長辺	mm
P	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	N/mm ²
t ₁	スキンプレートの板厚	mm
W	主桁に加わる津波及び余震による荷重	N
b _{s1}	主桁 1 と主桁 2 の間隔	mm
b _{s2}	主桁 2 と主桁 3 の間隔	mm
b _{s3}	主桁 3 と主桁 4 の間隔	mm
b _{s4}	主桁 4 と主桁 5 の間隔	mm
L _{s1}	主桁圧縮フランジの固定間隔	mm
Z ₂	主桁の断面係数	mm ³
A _{w2}	主桁のウェブ断面積	mm ²
B	扉体の水密幅	mm

表 2-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の
応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	定義	単位
q_{s1}	主桁 1 での発生圧力	N/mm^2
q_{s2}	主桁 2 での発生圧力	N/mm^2
q_{s3}	主桁 3 での発生圧力	N/mm^2
q_{s4}	主桁 4 での発生圧力	N/mm^2
q_{s5}	主桁 5 での発生圧力	N/mm^2
p_3	補助縦桁に加わる各区分の平均荷重	N/mm^2
a_3	補助縦桁の主桁間隔	mm
Z_3	補助縦桁の断面係数	mm^3
A_{w3}	補助縦桁のウェブ断面積	mm^2
I_{HSd}	余震による水平方向地震荷重	N
I_{Vsd}	余震による鉛直方向地震荷重	N
i_{HSd}	余震による単位面積当たりの水平方向地震荷重	N/mm^2
q_b	扉体への津波+余震による最大分布荷重	N/mm^2
D	コンクリート面より戸当り底面までの深さ	mm
S	戸当り幅	mm
t_w	戸当り腹板の板厚	mm

3. 評価部位

3.1 評価部位の選定

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) は, 鋼製の扉体 (スキンプレート, 主桁, 側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部及びヒンジ部アンカーボルト) で構成されている。強度評価においては, 扉体部の評価部位として, 主要部材であるスキンプレート, 主桁及び補助縦桁を選定し, 戸当り部についても評価をする。「津波時」及び「重畳時」の荷重が扉体に作用する状態において, 扉体が戸当りと密着した状態であることから, 側部縦桁には有意な変形等が生じないため評価を省略する。また, 固定部についても同様に有意な荷重は作用しないため, 地震時の評価に包含されることから評価を省略する。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造概要を図 3-1 に示す。

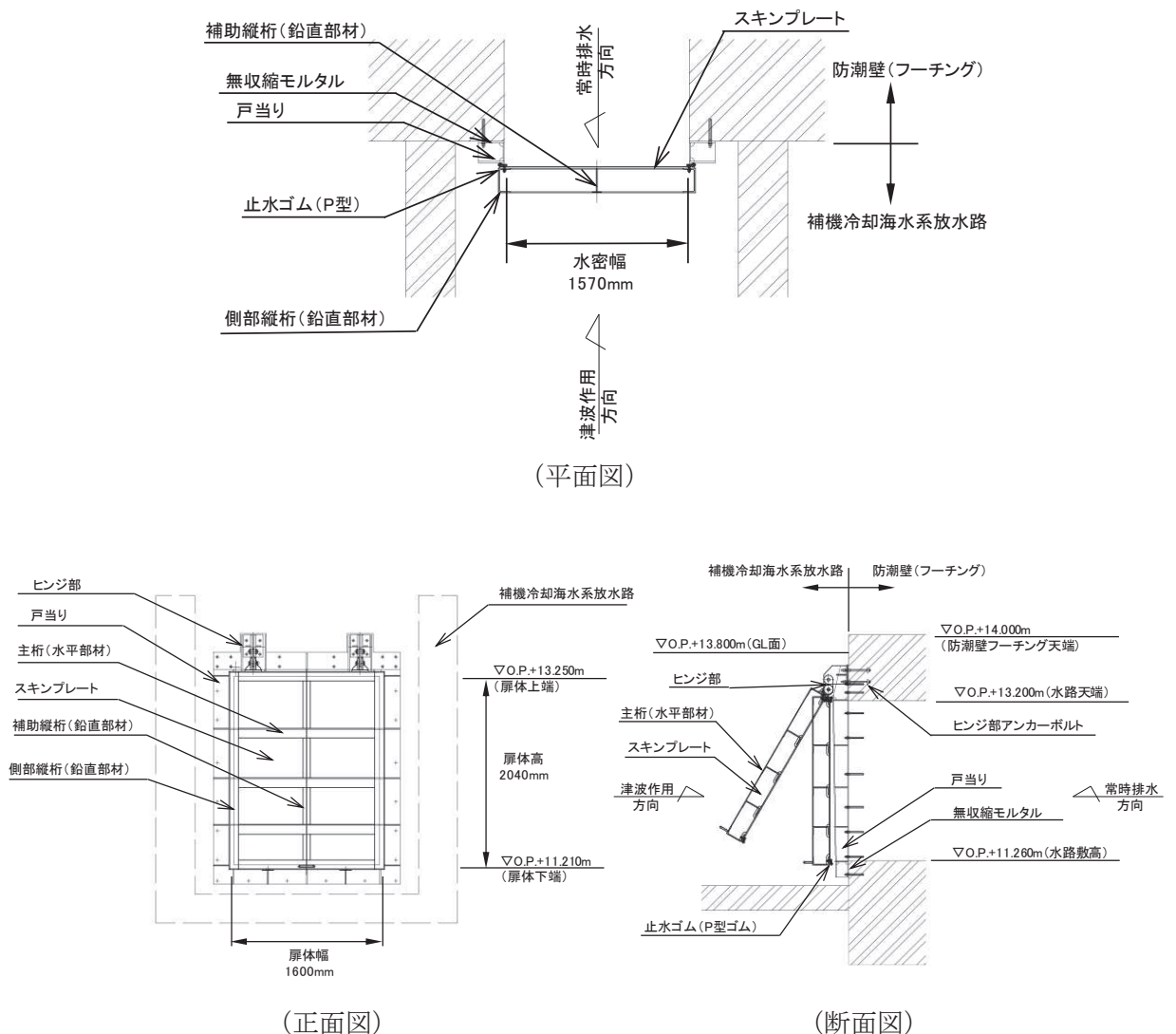


図 3-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要 (1/2)

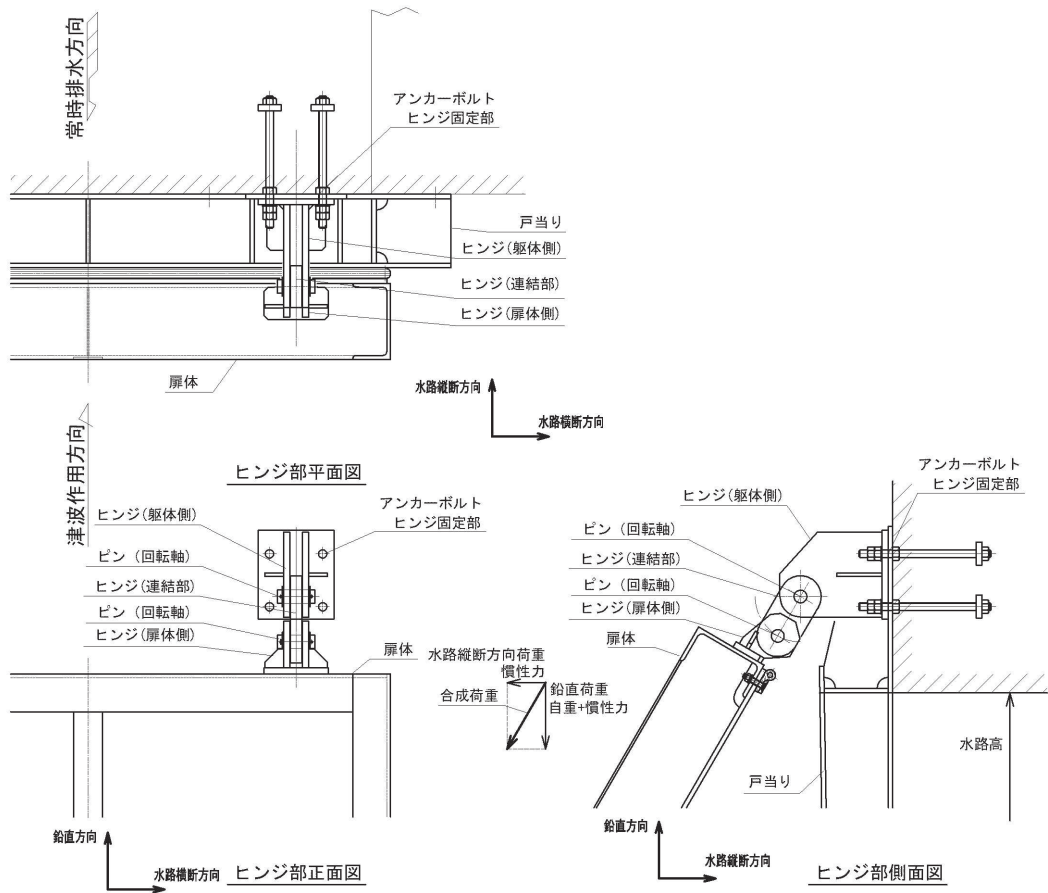


図 3-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要(2/2)
 (固定部(ヒンジ部)詳細)

3.2 評価方向の整理

補機冷却海水系放水路は防潮壁フーチング前面に取り付く構造で、土圧等の影響を受けない構造であるため、強度評価における主たる荷重は津波荷重である。したがって、強度評価においては、評価対象部位である扉体部の弱軸方向である水平方向(水路縦断方向)(以下、水路縦断方向という。)荷重と鉛直方向荷重の組合せを考慮する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

補機冷却海水系放水路逆流防止設備は扉体及び固定部で構成されており，扉体に津波に伴う荷重と余震に伴う荷重が作用する状態は，扉体と戸当りが密着した状態であることから，戸当り部を支点とする単純支持梁でモデル化する。なお，横断方向（水平方向）及び鉛直方向については振動が生じる構造ではないことから，防潮壁と一体の剛体として評価する。

固有周期の計算を以下で実施する。

4.1.1 解析モデル

解析モデルを図 4-1 に示す。主要な構造部材である主桁を単純支持梁としてモデル化し，スキンプレート及び補助縦桁等は保守的に考慮しないものとする。

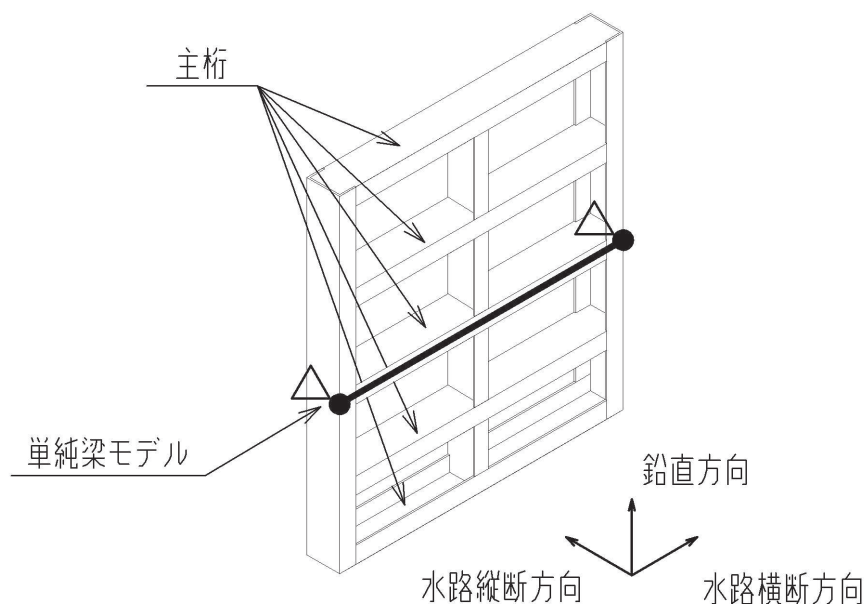


図 4-1 両端単純支持梁によるモデル化

4.1.2 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

「構造力学公式集（土木学会，1986 年）」より，両端支持梁の一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L_I^2} \sqrt{\frac{E \times I \times 10^3}{m}}$$

4.2 固有周期の計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	1.93×10^5	N/mm ²
I	主桁の断面二次モーメント	1.155×10^8	mm ⁴
m	扉体部の単位長さ当たり質量	0.46875	kg/mm
L ₁	主桁の長さ	1600	mm

4.3 固有周期の計算結果

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4-2 固有周期の計算結果

固有周期 (s)
0.0075*

注記* : 計算過程を以下に示す。

$$f = \frac{\pi^2}{2 \times \pi \times 1600^2} \sqrt{\frac{1.93 \times 10^5 \times 1.155 \times 10^8 \times 10^3}{0.46875}} = 133.843 \text{ Hz}$$

$$T = 1 \div 133.843 = 0.0075 \text{ s}$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の強度評価は, 添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて, 「3. 評価部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは, 添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

5.2.1 荷重の設定

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の強度評価において考慮する荷重を以下に示す。補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) は, 防潮壁(第 2 号機放水立坑)を横断する開口部に設置されるため, その構造及び設置位置から風荷重及び積雪荷重の影響は考慮しない。また, 補機冷却海水系放水路を常時流下する放水による水圧は, 津波による扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しない。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として, 扉体自重を考慮する。

(2) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重については, 設計用津波水位(入力津波による浸水高さに+0.5mの余裕を考慮した水位)に基づく静水圧を考慮する。

(3) 余震荷重 (K_{Sd})

余震荷重として, 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による地震力及び動水圧を考慮する。

a. 余震による地震力

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。

$$I_{HSd} = W \cdot K_{HSd}$$

$$I_{VSd} = W \cdot K_{VSd}$$

b. 余震による動水圧

$$P_d = \frac{7}{8} \cdot W_o \cdot K_{HSd} \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

地震力の算出に用いる設計震度 K_{HSd} 及び K_{VSd} については、「5.4 設計用地震力」に示す。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表5-1に、扉体に作用する荷重の概念図を図5-1に示す。

表5-1 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
重畳時	$G + P_h + K_{Sd}$

G : 固定荷重

P_h : 浸水津波荷重

K_{Sd} : 余震荷重

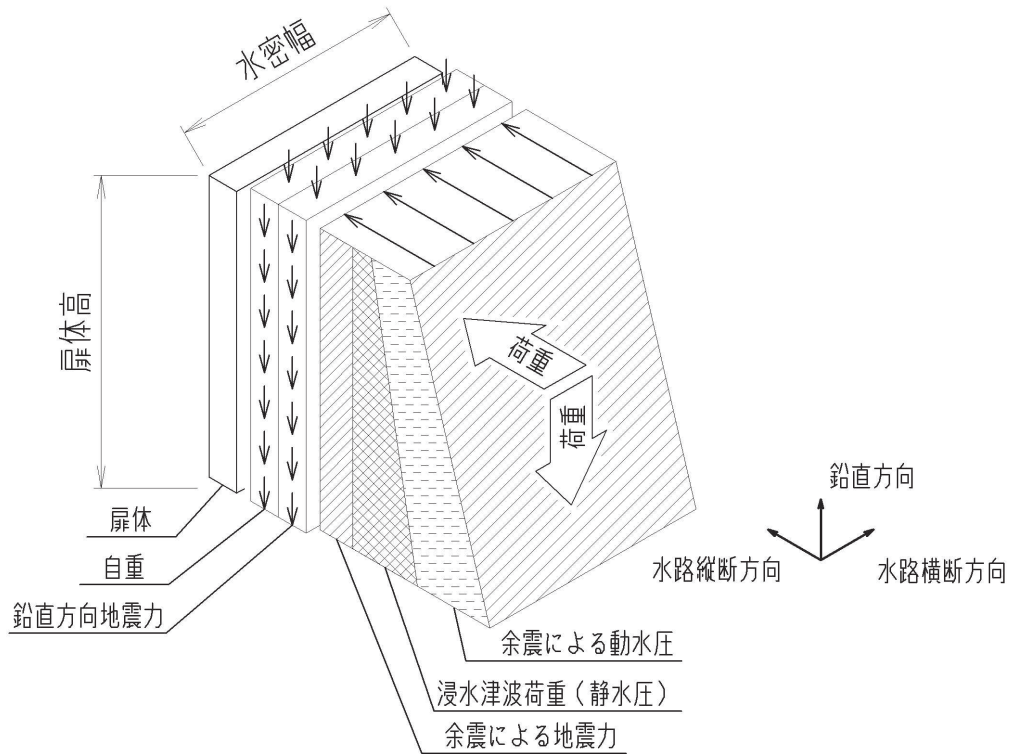


図5-1 扉体に作用する荷重の概念図

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

5.3.1 使用材料

補機冷却海水系放水路逆流防止設備を構成するスキンプレート、主桁、補助縦桁の使用材料を表5-2に示す。

表5-2 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SUS316L	PL12mm
主桁	SUS316L	CH200×100×10×10
補助縦桁	SUS316L	BT 200×75×6×6 (溶接構造)
戸当り	SUS316L	PL12mm (腹板) $f'_{ck}=50\text{N}/\text{mm}^2$ (コンクリート)

5.3.2 許容限界

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に規定される許容応力度を用いる。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界を表5-3に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件を表5-4に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果を表5-5にそれぞれ示す。

表 5-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界

許容応力状態	許容限界*1			
	曲げ	引張	せん断	支圧
短期許容応力度	$1.5 \sigma_{ab}^{*2}$	$1.5 \sigma_{at}^{*2}$	$1.5 \tau_a^{*2}$	$1.5 \sigma_{as}^{*2}$

注記 *1: 地震後, 津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し, 当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう, 設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

*2: 扉体の許容限界は, 「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき, 短期許容応力度とする。短期許容応力度は, 鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件

評価部位	材料	$\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{at}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\tau_a^{*1,2,3}$ (N/mm ²)	$\sigma_{as}^{*1,3}$ (N/mm ²)
スキンプレート	SUS316L	88	—	—	—
主桁	SUS316L	88	—	51	—
補助縦桁	SUS316L	88	—	51	—
戸当り	SUS316L	—	88	—	—
戸当りコンクリート	コンクリート	—	—	0.40	5.9

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 鋼材の各許容応力度の値は, 「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づく。

*3: コンクリートの許容応力度の値は, 「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準 (案)」に基づく。

表 5-5 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果

許容応力 状態	評価部位	短期許容応力度				
		曲げ (N/mm ²)	引張/圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	支圧 (N/mm ²)	合成応力 (-)
短期許容 応力度	スキンプレート	132	—	—	—	—
	主桁	125* ¹	—	76	—	1.1
	補助縦桁	125* ¹	—	76	—	1.1
	戸当り	—	132* ²	—	—	—
	戸当り コンクリート	—	—	0.6	8.8	—

注記 *1: 主桁, 補助縦桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は, 「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき, 許容曲げ応力度横倒れ座屈に対する配慮として許容応力の低減を考慮し算出する。

*2: 戸当りの照査に用いる腹板の許容軸方向圧縮応力度は, 構造上躯体に固定されており座屈に対する許容応力度の低減検討が必要ないことから, 許容軸方向引張応力度の数値を使用する。

5.4 設計用地震力

設計震度は、添付書類「VI-3-別添3-2-2-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の強度計算書」に示す鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における、ゲート固定部の最大応答加速度に基づき設定する。なお、鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦は、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）を支持する断面で鋼製遮水壁（鋼板）の評価対象断面としている。補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）と補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）は、構造仕様及び設計用津波水位が同じで、応答加速度の観点からも支持する鋼製遮水壁（鋼板）は、構造や地盤条件に有意な差が無い場合、鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦の応答加速度を用いた設計用地震力を用いた評価により、（No. 1）及び（No. 2）の評価を代表させる。

鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置を図5-2に、地震応答解析ケースを表5-6に、地震応答解析結果を表5-7に示す。

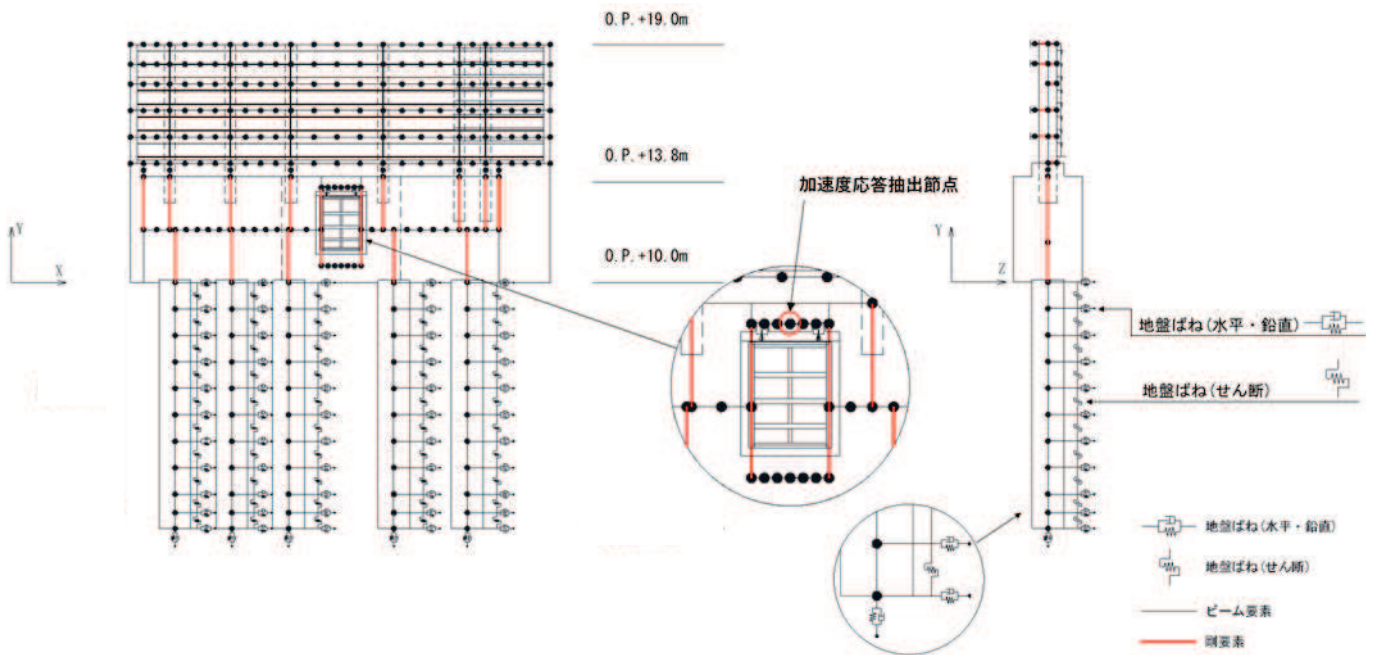


図5-2 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置

表 5-6 断面⑦の地震応答解析ケース（加速度応答抽出）

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度* ³
地震動 (位相)	Sd-D2	++* ¹	○	○	○
		-+* ^{1,2}	○	-	-

注記*1：地震動の位相について（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：位相反転ケース（-+）については，構造的に位相の影響は小さいため影響確認の位置付けとし，ケース②～④は（++）に対してのみ実施する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

表 5-7 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における地震応答解析結果

最大応答加速度 (cm/sec ²)	
水平方向 (水路縦断方向)	鉛直方向
990.5 (Sd-D2(++), ケース③)	407.7 (Sd-D2(++), ケース③)

以上より，補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1)，(No. 2) の設計震度を表 5-8 に示す。

表 5-8 設計用地震力

設備名称	地震動	解析ケース	設置場所	地震による設計震度*	
補機冷却海水系放水路逆流防止設備	S d - D 2 (++)	ケース③	防潮壁 (第 2 号機放水立坑) (図 5-2 参照)	水平方向 K_H	1.1
	S d - D 2 (++)	ケース③		鉛直方向 K_V	0.5

注記*：最大応答加速度を考慮した設計震度（最大応答加速度/980.665cm/s²）として設定

5.5 計算方法

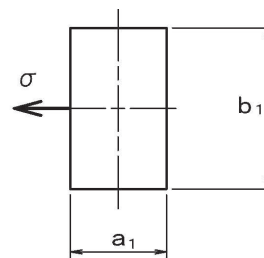
各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

5.5.1 スキンプレート

スキンプレートに発生する曲げ応力は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、4 辺を固定支持された平板としてモデル化し、曲げ応力度を算定する。

スキンプレートのモデル図及び応力算定式を図 5-3 に示す。

$$\sigma = \frac{k \cdot a_1^2 \cdot P}{100 \cdot t_1^2}$$



σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

k : 辺長比 (b_1 / a_1) による係数

a_1 : スキンプレートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレートの長辺 (mm)

P : スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

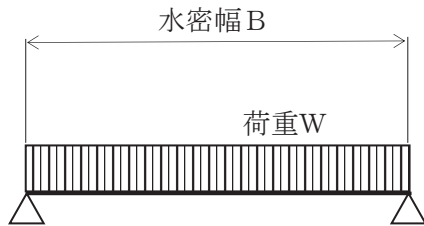
t_1 : スキンプレートの板厚 (mm)

図 5-3 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.2 主桁

主桁に発生する断面力は、側部水密ゴムの位置を支点とする両端ピン支点の単純梁によりモデル化し、算定する。主桁のモデル図を図5-4に示す。

なお、各主桁が分担する荷重は「ダム・堰施設技術協会 平成28年 ダム・堰施設技術基準（案）」に基づき、図5-5に示す方法により算出する。



$$W = R \cdot B$$

$$M_{Max} = \frac{W \cdot B}{8}$$

$$S_{Max} = \frac{W}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{Max}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{Max}}{A_{w2}}$$

$$\kappa = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2}}{\sigma_a}$$

W : 主桁に加わる津波及び余震による荷重 (N)

R : 主桁に加わる津波及び余震による線荷重 (N/mm)

M_{Max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{Max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

κ : 合成応力

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

B : 水密幅 (mm)

Z_2 : 主桁の断面係数 (mm³)

A_{w2} : 主桁のウェブ断面積 (mm²)

図5-4 主桁のモデル図及び応力算定式

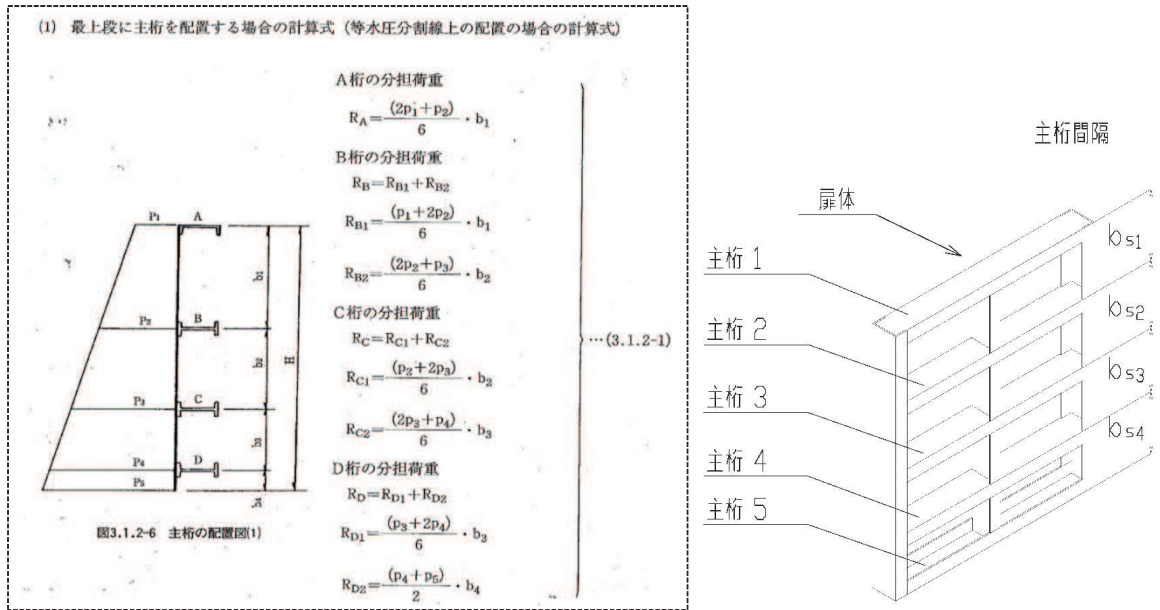


図 5-5 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図
 「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）」より引用

上記算定式を本ゲートの構造に照らし合わせて主桁 1～5 がそれぞれ分担する線荷重 R_1 ～ R_5 を求める式を得る。

$$\text{主桁 1 : } R_1 = \frac{2 \times q_{s1} + q_{s2}}{6} b_{s1}$$

$$\text{主桁 2 : } R_2 = \frac{q_{s1} + 2 \times q_{s2}}{6} b_{s1} + \frac{2 \times q_{s2} + q_{s3}}{6} b_{s2}$$

$$\text{主桁 3 : } R_3 = \frac{q_{s2} + 2 \times q_{s3}}{6} b_{s2} + \frac{2 \times q_{s3} + q_{s4}}{6} b_{s3}$$

$$\text{主桁 4 : } R_4 = \frac{q_{s3} + 2 \times q_{s4}}{6} b_{s3} + \frac{2 \times q_{s4} + q_{s5}}{6} b_{s4}$$

$$\text{主桁 5 : } R_5 = \frac{q_{s4} + 2 \times q_{s5}}{6} b_{s4}$$

b_{s1} : 主桁 1, 主桁 2 の桁間隔 (mm)
 b_{s2} : 主桁 2, 主桁 3 の桁間隔 (mm)
 b_{s3} : 主桁 3, 主桁 4 の桁間隔 (mm)
 b_{s4} : 主桁 4, 主桁 5 の桁間隔 (mm)
 q_{s1} : 主桁 1 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s2} : 主桁 2 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s3} : 主桁 3 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s4} : 主桁 4 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s5} : 主桁 5 での発生圧力 (N/mm²)

5.5.3 補助縦桁

補助縦桁については、主桁によって支持された単純支持梁とし、荷重は平均水圧が菱形に作用したものとして、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき曲げ応力及びせん断応力を算定する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。

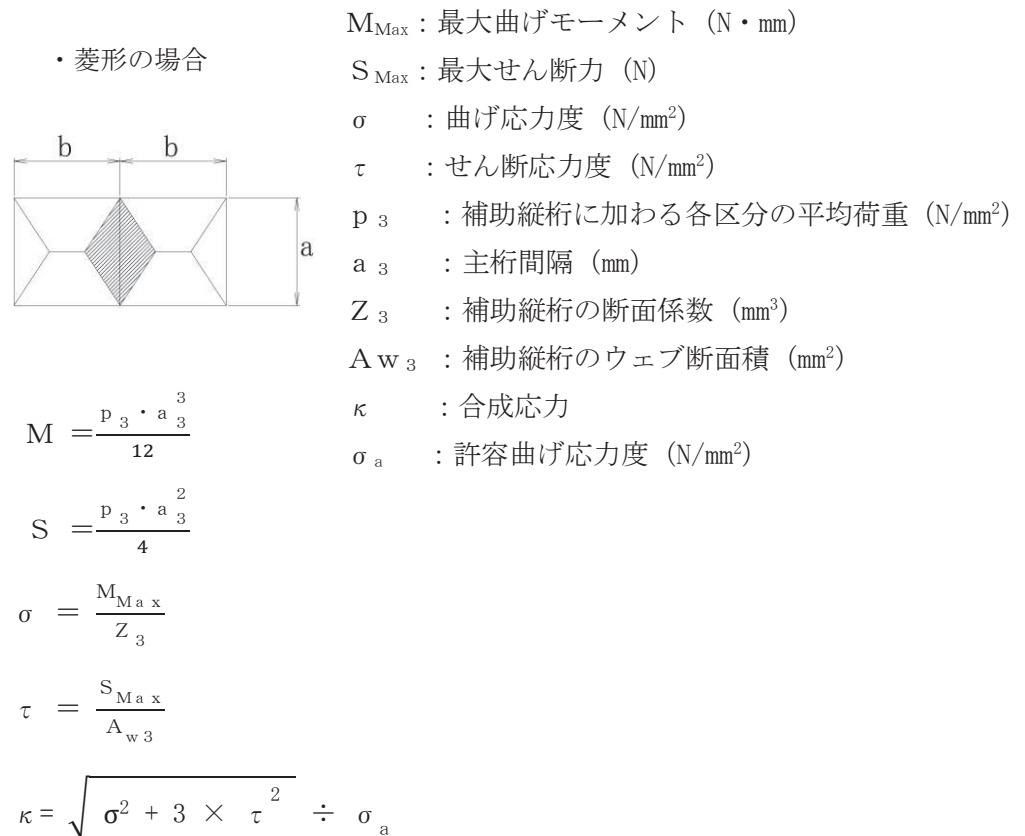
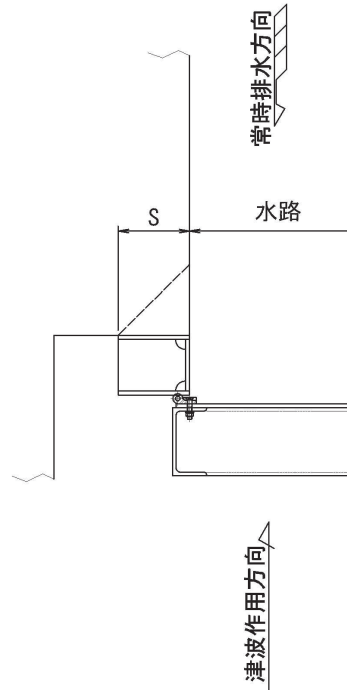


図 5-6 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

5.5.4 戸当りコンクリート

戸当りコンクリートは、コンクリートに加わる圧力を戸当り全幅で支持するものとして、支圧応力及びせん断応力を評価する。

戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



コンクリートの支圧応力度

$$\sigma_{bk} = \frac{q_b \times B}{2 \times S}$$

コンクリートのせん断応力度

$$\tau_c = \frac{q_b \times B}{2 \times 2 \times S}$$

q_b : 扉体への地震による最大分布荷重 (N/mm²)

B : 扉体水密幅 (mm)

S : 戸当り幅 (mm)

σ_{bk} : コンクリート支圧応力度 (N/mm²)

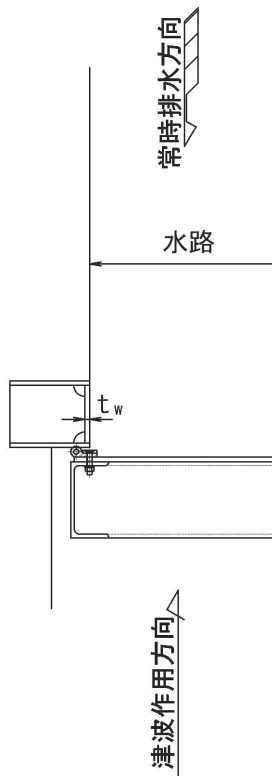
τ_c : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

図5-7 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

5.5.5 戸当り

戸当りの腹板は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、扉体の下端からコンクリートに加わる圧力を戸当りで負担するものとして、戸当り腹板の圧縮応力を評価する。

戸当りのモデル図及び応力算定式を図 5-8 に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

$$\sigma_{bw} = \frac{q_b \cdot B}{2 \cdot t_w}$$

q_b : 扉体への津波+余震による最大分布荷重 (N/mm²)

B : 水密幅 (mm)

t_w : 戸当り腹板の板厚 (mm)

σ_{bw} : 戸当り腹板の圧縮応力度 (N/mm²)

図 5-8 戸当りのモデル図及び応力算定式

5.6 計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる計算条件を表5-9に、強度評価に用いる津波荷重に関わる計算条件を表5-10に示す。

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (1/2)

スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, ヒンジ及び吊りピン の材質	固定荷重 (扉体の自重) G (N)	扉体高 Hp (mm)	水の単位体積重量 Wo (N/mm ³)
SUS316L	7.355×10^3	2.040×10^3	1.01×10^{-5}

スキンプレートの辺 長比 (b/a) による 係数 k	スキンプレートの 短辺 a ₁ (mm)	スキンプレートの 長辺 b ₁ (mm)	スキンプレートの 板厚 t ₁ (mm)
42.74	585	800	12

水密幅 B (mm)	主桁の 断面係数 Z ₂ (mm ³)	主桁の ウェブ断面積 Aw ₂ (mm ²)	主桁 1, 主桁 2 の 桁間隔 b _{s1} (mm)
1.570×10^3	2.3100×10^5	1.8000×10^3	585

主桁 2, 主桁 3 の 桁間隔 b _{s2} (mm)	主桁 3, 主桁 4 の 桁間隔 b _{s3} (mm)	主桁 4, 主桁 5 の 桁間隔 b _{s4} (mm)	主桁圧縮フランジの 固定間隔 L _{s1} (mm)
510	480	465	800

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (2/2)

補助縦桁の 主桁間隔 a_3 (mm)	補助縦桁の断面係数 Z_3 (mm ³)	補助縦桁の ウェブ断面積 A_{w3} (mm ²)
585	5.5232×10^4	1.1640×10^3

戸当り幅 S (mm)	戸当り腹板の板厚 t_w (mm)	余震による水平方向 地震荷重 I_{HSd} (N)	余震による鉛直方向 地震荷重 I_{VSD} (N)
210	12	8.090×10^3	3.677×10^3

表 5-10 津波荷重に関わる計算条件

設計用津波 高さ H (m)	設計水深 h (m)	主桁 1 での 津波及び余震 による 分布荷重 q_{s1} (N/mm ²)	主桁 2 での 津波及び余震 による 分布荷重 q_{s2} (N/mm ²)	主桁 3 での 津波及び余震 による 分布荷重 q_{s3} (N/mm ²)	主桁 4 での 津波及び余 震による 分布荷重 q_{s4} (N/mm ²)	主桁 5 での 津波及び余 震による 分布荷重 q_{s5} (N/mm ²)
17.9	6.74	1.0391×10^{-1}	1.1314×10^{-1}	1.2104×10^{-1}	1.2837×10^{-1}	1.3537×10^{-1}

スキンプレート(区間 1) に作用する 単位面積当たりの 荷重 P (N/mm ²)	主桁 2 に作用する 津波及び余震 による荷重 W (N)	補助縦桁(区間 1) に加わる 単位面積当たりの 荷重 p_3 (N/mm ²)	扉体への津波及 び余震による最 大分布荷重 q_b (N/mm ²)
1.0704×10^{-1}	9.6897×10^4	1.0853×10^{-1}	1.3537×10^{-1}

6. 評価結果

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の扉体部及び固定部の評価結果を表6-1に、各評価部位の最大照査値発生位置を図6-1～図6-3に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 強度評価結果 (補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2))

評価部位	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a / b)
スキンプレート	曲げ応力度 (N/mm ²)	108.8	132	0.83
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	82.4	125	0.66
	せん断応力度 (N/mm ²)	27.0	76	0.36
	合成応力	0.76	1.1	0.70
補助縦桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	32.8	125	0.27
	せん断応力度 (N/mm ²)	8.0	76	0.11
	合成応力	0.29	1.1	0.27
戸当り コンクリート	支圧応力度 (N/mm ²)	0.51	8.8	0.06
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.26	0.6	0.44
戸当り	圧縮応力度 (N/mm ²)	8.9	132	0.07

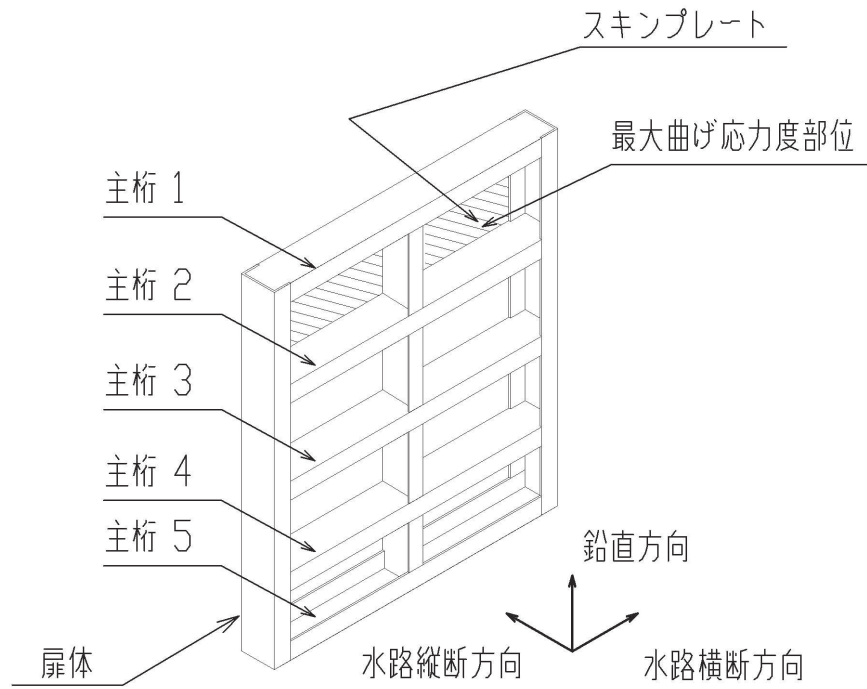


図 6-1 スキンプレート最大照査値発生位置

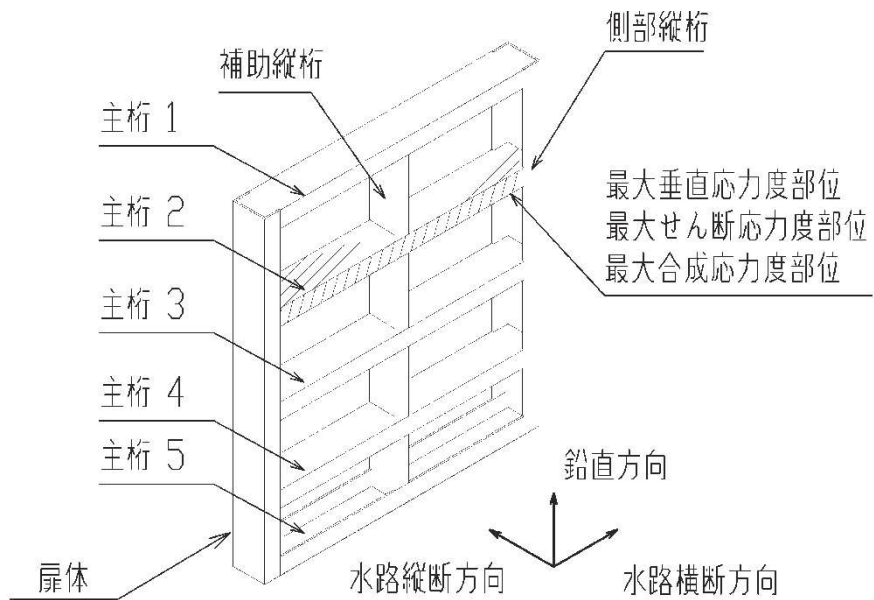


図 6-2 主桁最大照査値発生位置

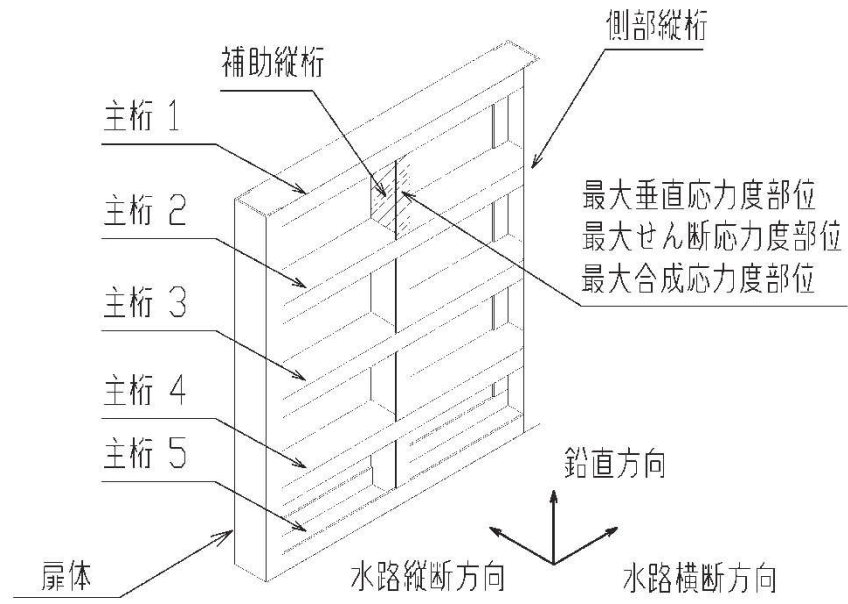


図 6-3 補助縦桁最大照査値発生位置

VI-3-別添 3-2-6 水密扉の強度計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	検討対象水密扉一覧	2
2.2	配置概要	3
2.3	構造計画	10
2.4	評価方針	12
2.5	適用規格・基準等	14
2.6	記号の説明	15
3.	強度評価	17
3.1	評価対象部位	17
3.2	荷重及び荷重の組合せ	21
3.2.1	荷重の設定	21
3.2.2	荷重の組合せ	24
3.3	許容限界	25
3.3.1	使用材料	25
3.3.2	許容限界	26
3.4	評価方法	28
3.4.1	応力算定	28
3.4.2	断面検定	43
3.5	評価条件	48
3.6	評価結果	54

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防止設備である第 3 号機海水熱交換器建屋の水密扉、原子炉建屋の水密扉及び制御建屋の水密扉（以下「水密扉」という。）が、地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重及び余震荷重又は津波による溢水を考慮した浸水に伴う津波荷重及び余震荷重を考慮した荷重に対して、浸水することを防止するために十分な構造健全性及び止水性を有していることを説明するものである。

なお、水密扉の強度評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

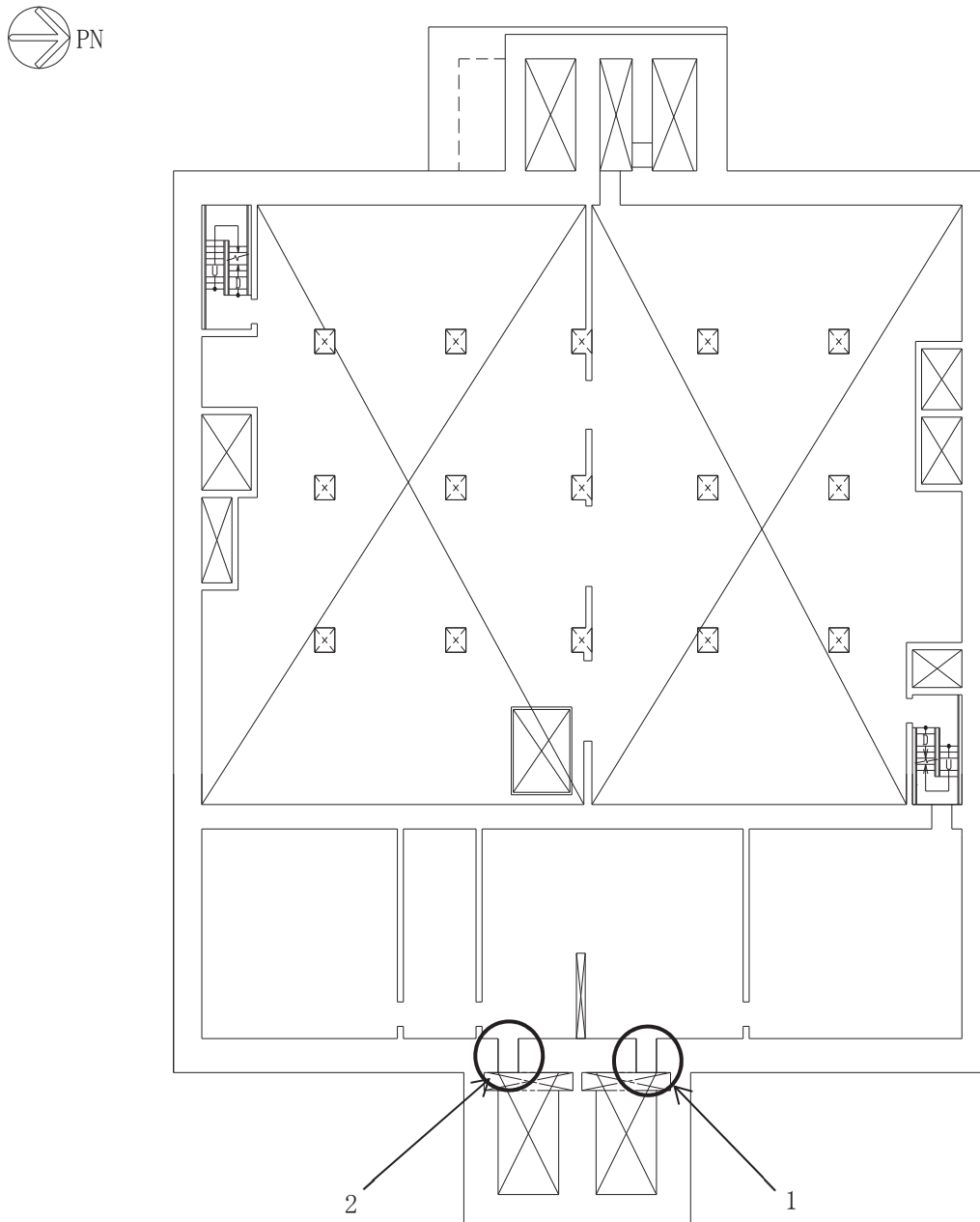
表 2-1 検討対象水密扉一覧

水密扉 No.	扉名称	設置高さ* O.P.
1	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)	2.00m
2	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)	2.00m
3	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 1)	14.00m
4	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 2)	14.00m
5	制御建屋空調機械(A)室浸水防止水密扉	0.50m
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉	0.50m
7	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No. 3)	7.00m
8	制御建屋浸水防止水密扉(No. 1)	18.50m
9	制御建屋浸水防止水密扉(No. 2)	14.00m
10	制御建屋浸水防止水密扉(No. 3)	14.00m
11	制御建屋浸水防止水密扉(No. 4)	14.00m
12	制御建屋浸水防止水密扉(No. 5)	14.00m
13	第2号機 MCR 浸水防止水密扉	22.50m

注記*：平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生していることを考慮した設計とし，地盤沈下量を考慮した高さを示す。

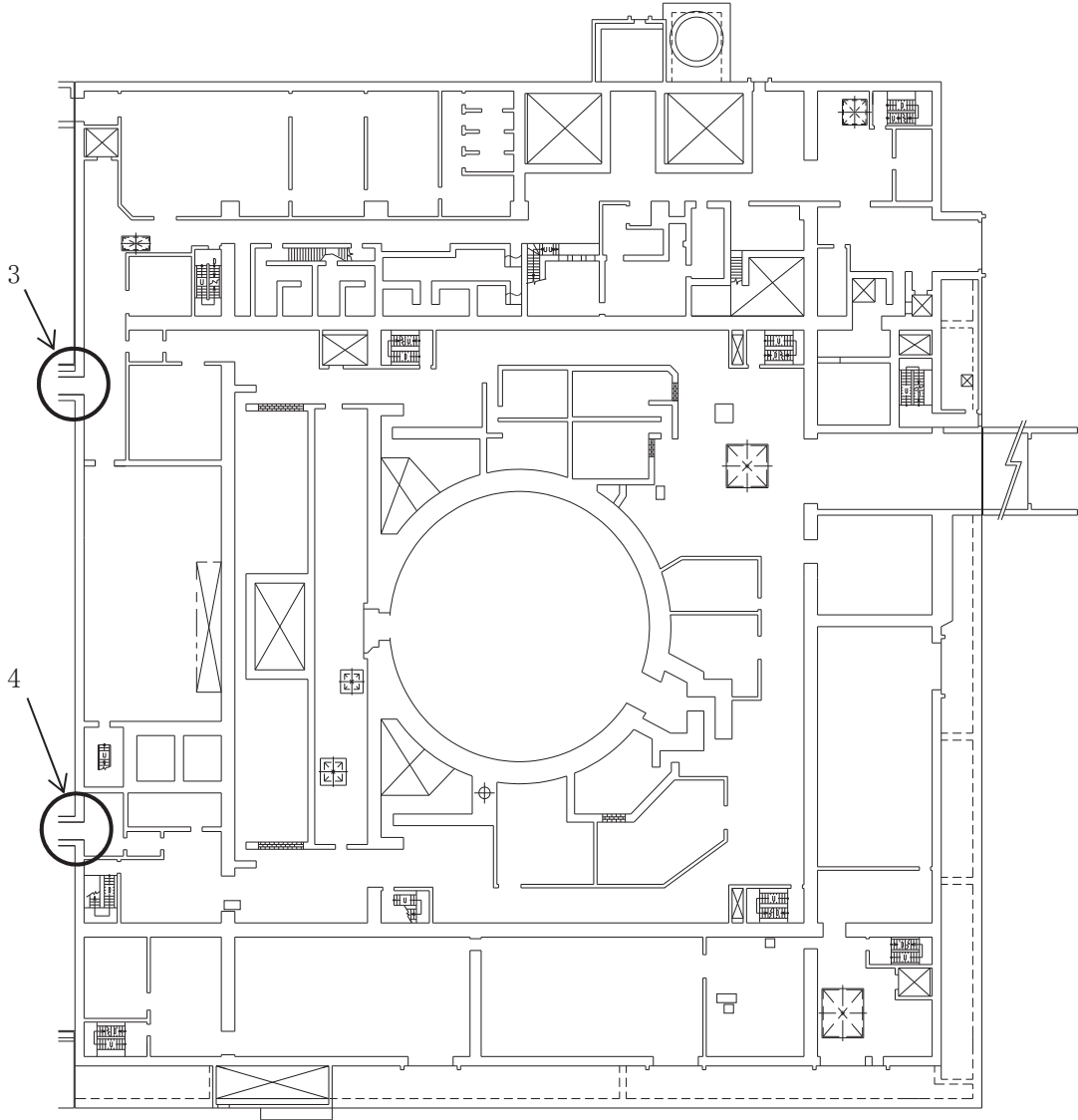
2.2 配置概要

第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図を図2-1に、原子炉建屋の水密扉の設置位置図を図2-2に、制御建屋の水密扉の設置位置図を図2-3に示す。



1	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)
2	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)

図2-1 第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図 O.P. 2.00m



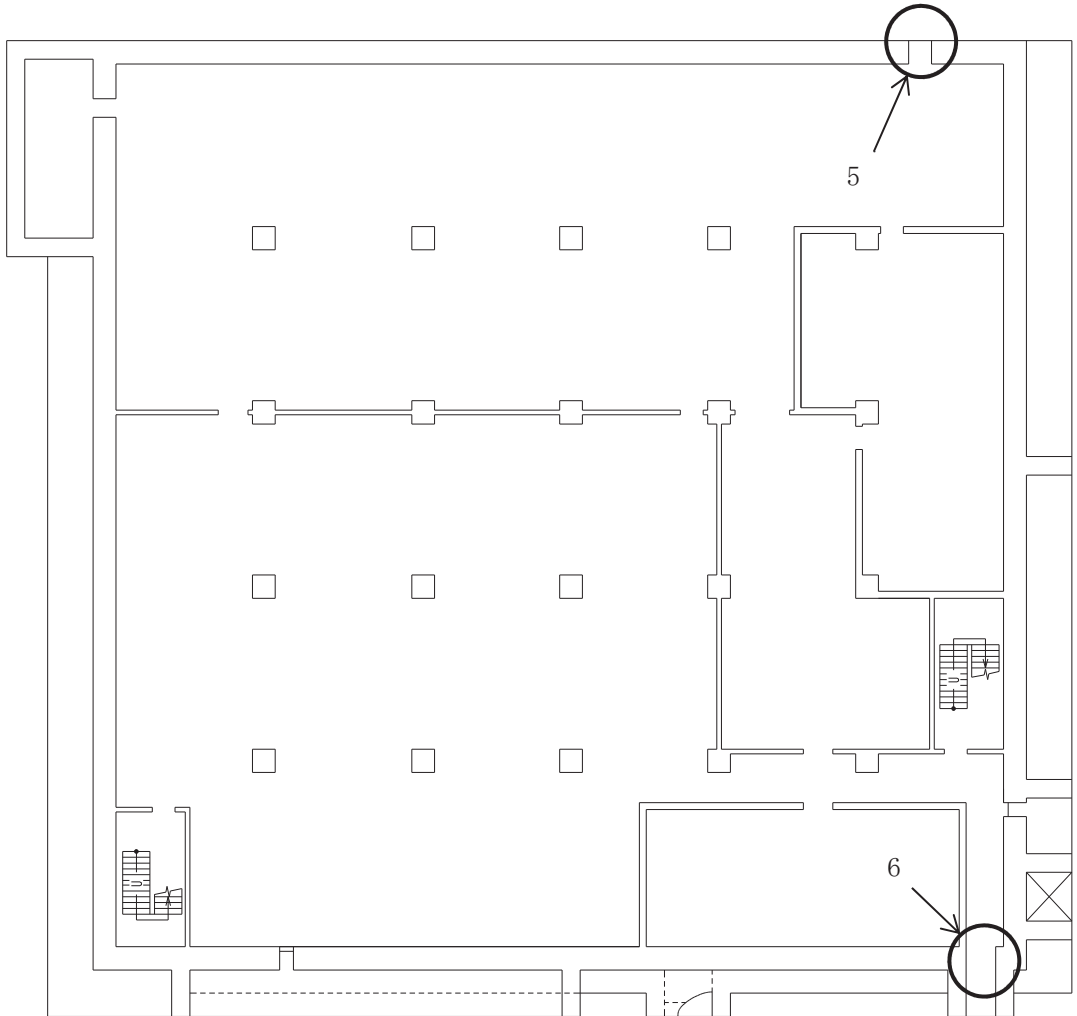
○ 2 ⑥ VI-3-別添 3-2-6 R 3

3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)

図 2-2 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 0. P. 14. 00m



○ 2 ⑥ VI-3-別添 3-2-6 R 3

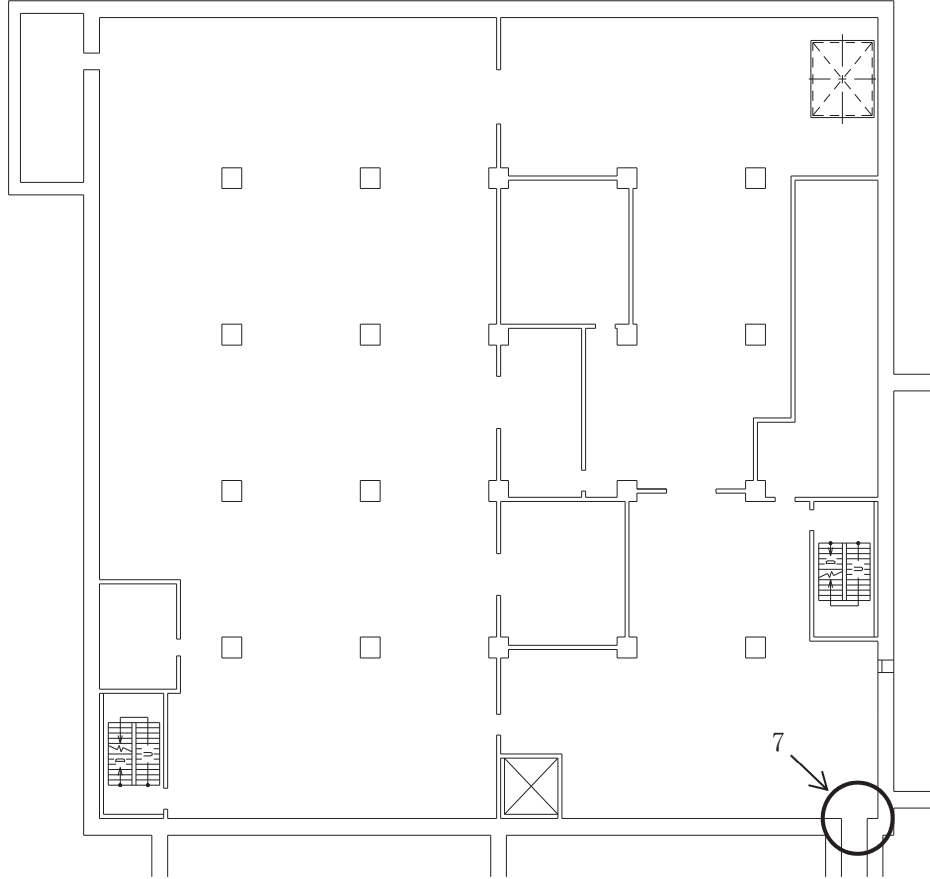


5	制御建屋空調機械(A)室浸水防止水密扉
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(1/5) 0. P. 0. 50m

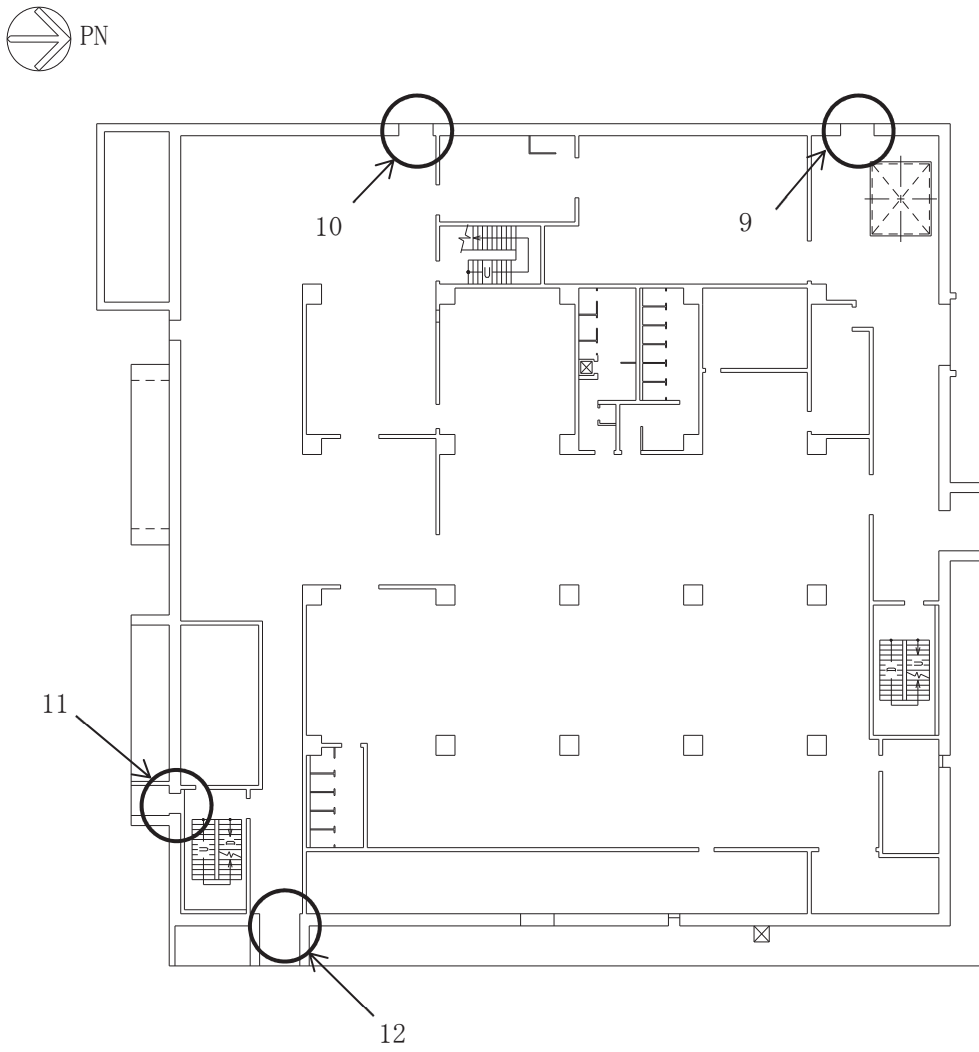


○ 2 ⑥ VI-3-別添 3-2-6 R 3



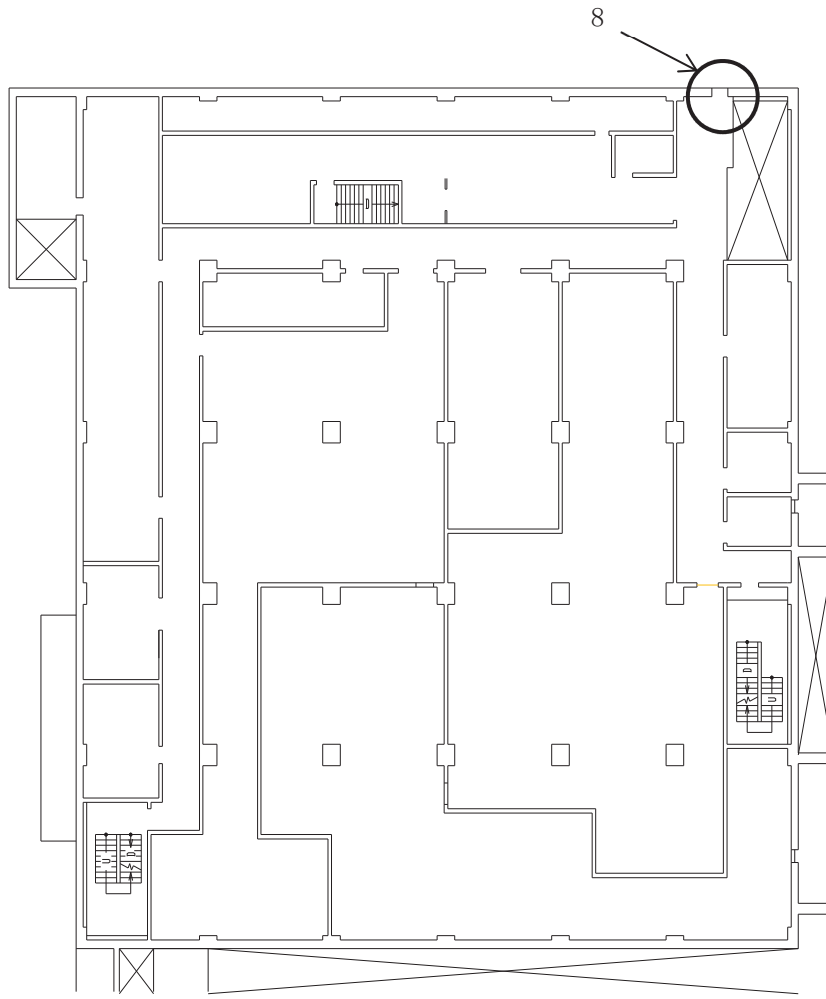
7	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉 (No. 3)
---	---------------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (2/5) 0. P. 7. 00m



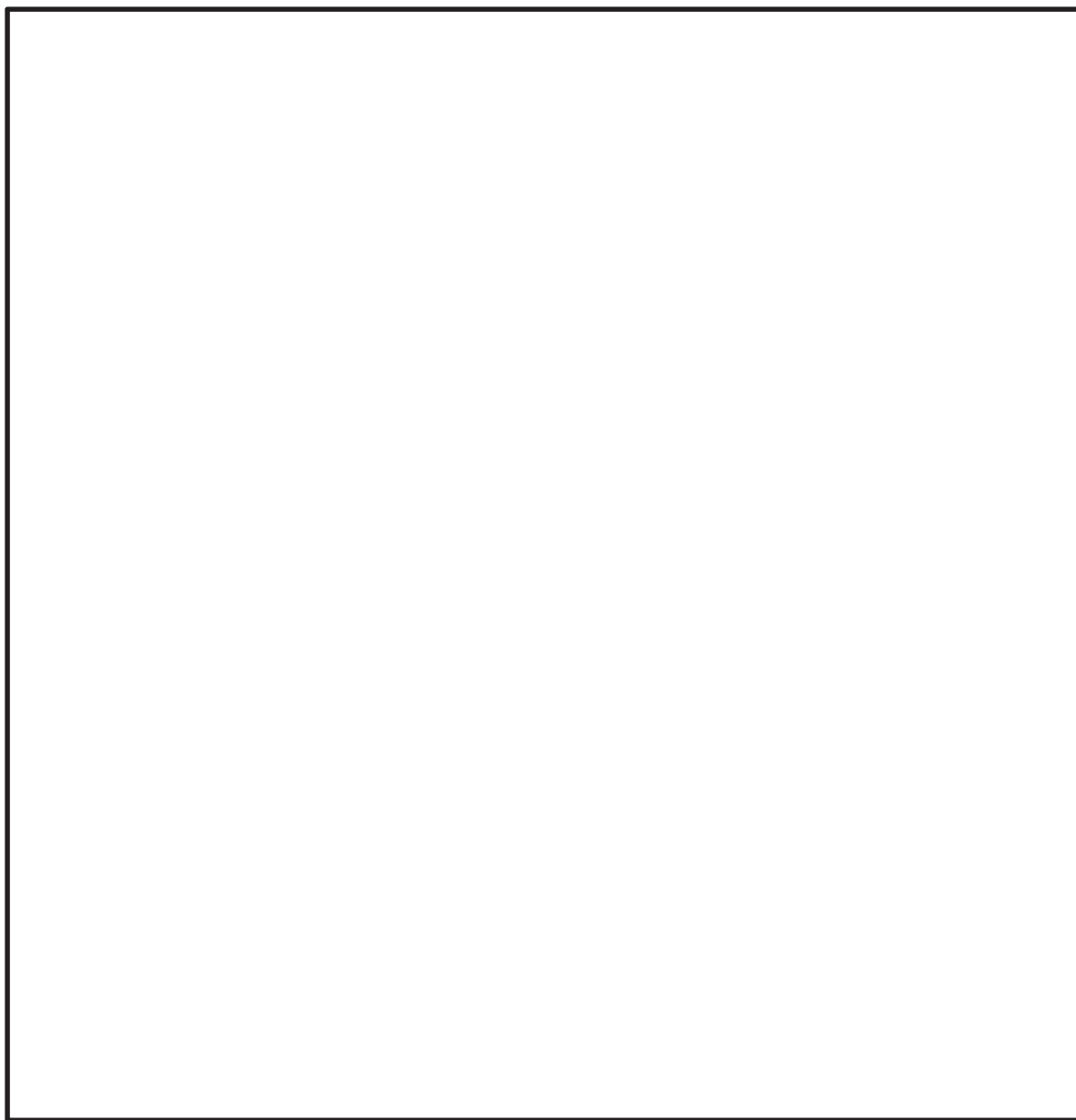
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (3/5) O.P. 14.00m



8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
---	---------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(4/5) 0.P. 18. 50m



13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉
----	--------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(5/5) O.P. 22.50m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

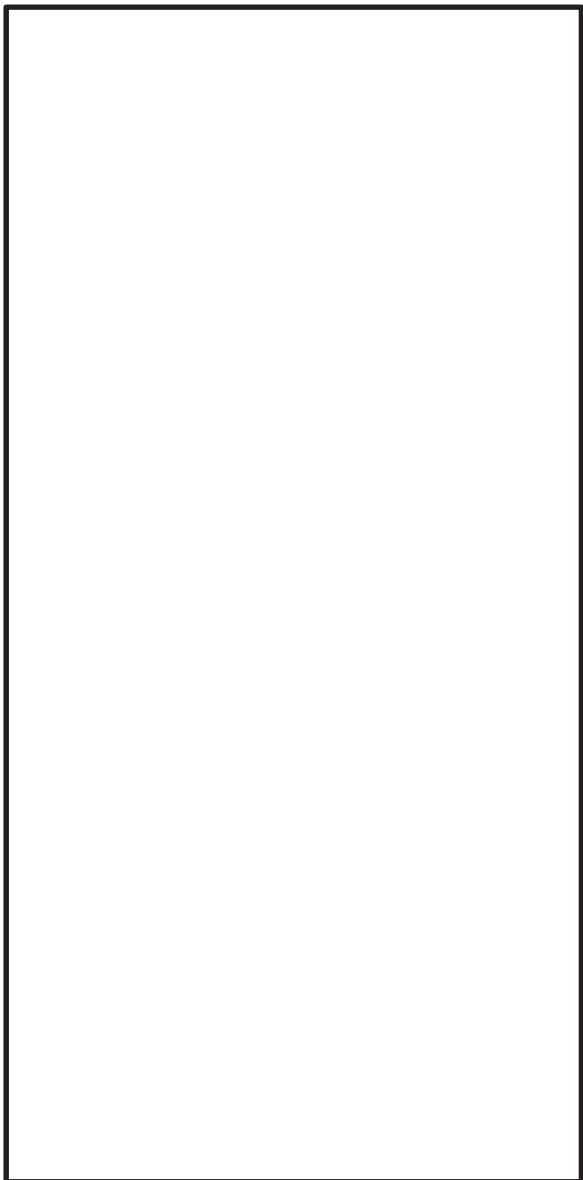
2.3 構造計画

水密扉は、片開き型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉止状態において、カンヌキ及びカンヌキ受けにより固定され止水性を確保しており、アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。

なお、くぐり戸付水密扉は、機器搬出入用の扉（以下、「大扉」という。）と人員用の扉（以下、「くぐり戸」という。）により構成された構造とする。

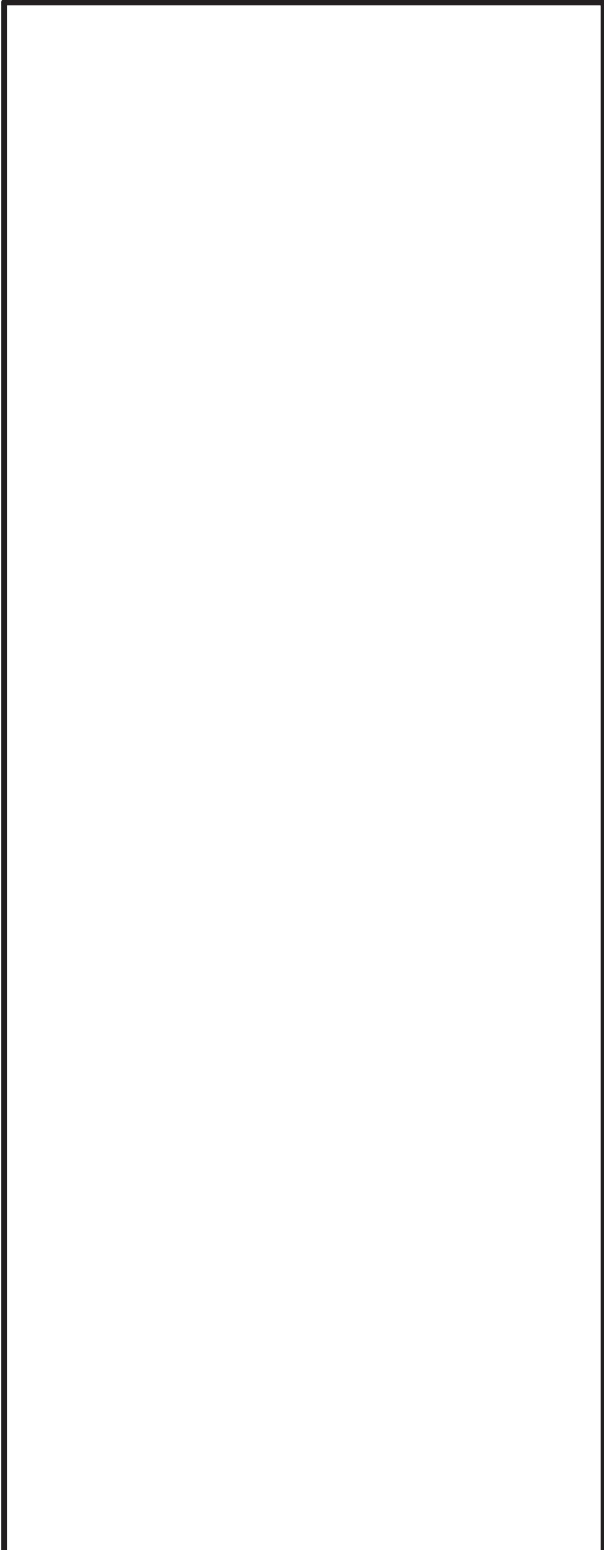
水密扉の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画 (1/2)

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と建屋躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-2 水密扉の構造計画 (2/2)

計画の概要		説明図 (くぐり戸付水密扉)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>大扉は扉開放時には、ヒンジにより大扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、扉固定部により、大扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>くぐり戸は扉開放時には、ヒンジによりくぐり戸が大扉に固定され、扉閉止時には、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>大扉は片開き型の鋼製扉とし、大扉に設置された扉固定部を扉枠と接合させ、大扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>くぐり戸は片開き型の鋼製扉とし、くぐり戸に設置されたくぐり戸用カンヌキを大扉に設置されたカンヌキ受けに差し込み、くぐり戸と大扉を一体化させる構造とする。</p> <p>また、大扉と建屋躯体の接続は大扉のヒンジを介する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 評価方針

水密扉の強度評価は、以下にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、水密扉の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを、各設備の「3.4 評価方法」に示す方法により、「3.5 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、応力評価の確認事項を「3.6 評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図 2-4 に示す。水密扉の強度評価においては、その構造を踏まえ、静水圧荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

強度評価においては、荷重を静的に作用させることにより、扉板、芯材及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

また、くぐり戸付水密扉の大扉については、扉と躯体を固定する扉固定部（扉付固定ボルト、枠付固定ボルト、ブラケット）の発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

アンカーボルトは壁に埋め込まれた方向によって下記のとおりと呼ぶこととする。

- ・0° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの直交方向に配置されている場合
- ・90° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向に配置されている場合

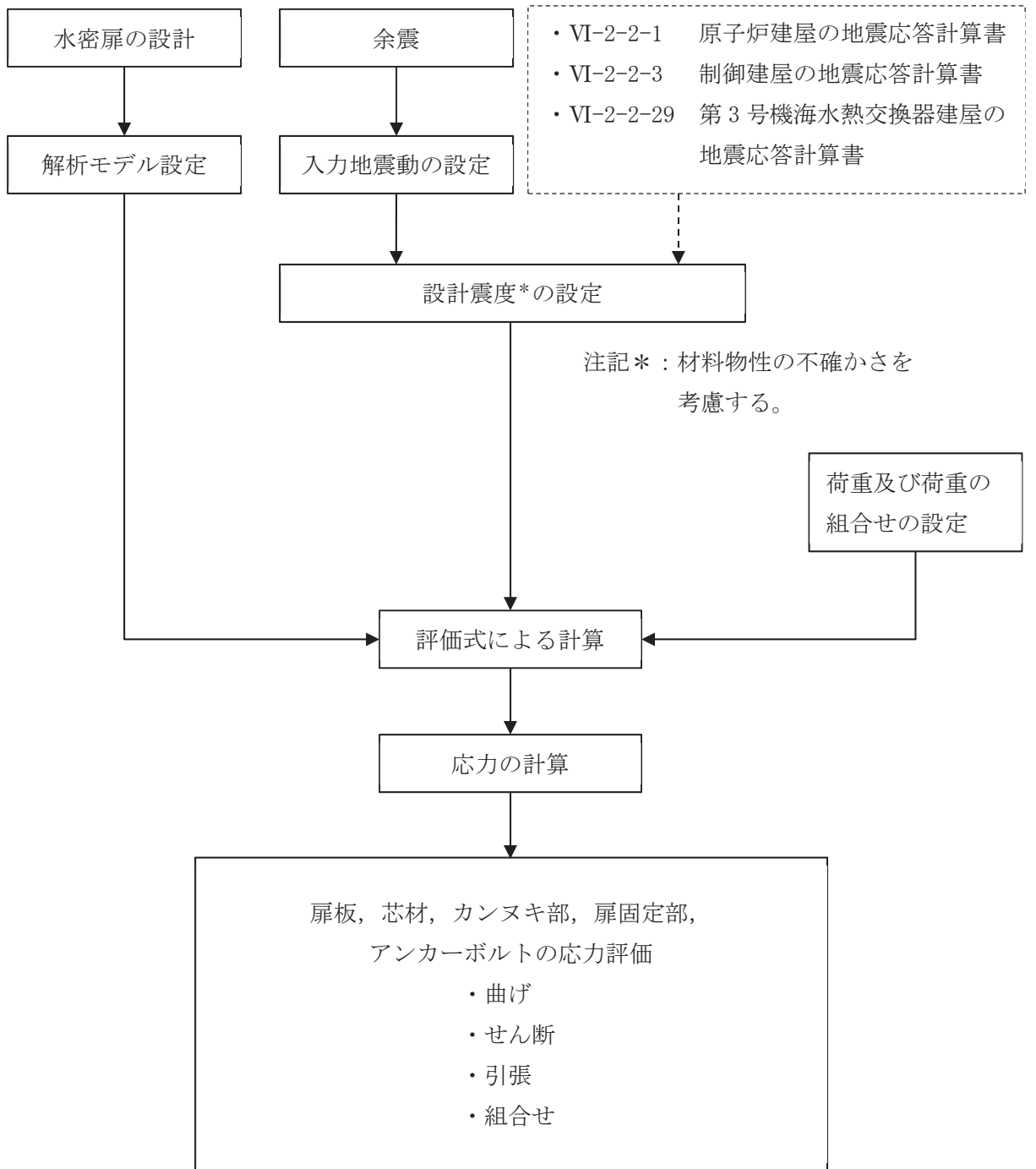


図 2-4 水密扉の強度評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本機械学会 機械工学便覧
- ・ 日本水道協会 2009 年 水道施設耐震工法指針・解説

2.6 記号の説明

水密扉の強度評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
h	mm	扉の水圧作用高さ
ρ_o	t/m ³	液体の密度
g	m/s ²	重力加速度
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数
t	mm	扉板の厚さ
W_D	kN	扉重量
L_D	mm	扉の幅
H_D	mm	扉の高さ
w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
β_1	—	四辺支持長方形板の応力係数
R_1	N	静水圧荷重及び余震荷重に対する反力
w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重
b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
L	mm	芯材の支持間距離
L_A	mm	ボルト中心からブラケット端部の長さ
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積
A	mm ²	ボルトの断面積
n_2	本	カンヌキの本数
n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数
n_c	本	扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数
L_5	mm	カンヌキの突出長さ
L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離
L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ
L_{c2}	mm	躯体開口部の幅
M	N・mm	曲げモーメント
T	N	引張力
Q	N	せん断力
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ_t	N/mm ²	引張応力度

表 2-3 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
τ	N/mm ²	せん断応力度
P	N/mm ²	動水圧荷重
S _d	N/mm ²	余震による地震荷重
R _a	N	左右もしくは上下のアンカーボルトに作用する荷重
T _d	N	アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力
Q _d	N	アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力
T _a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q _a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
n _{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルト本数
n _{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルト本数

3. 強度評価

3.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に作用する静水圧荷重及び余震に伴う荷重は、扉板から芯材を介し扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材及びアンカーボルトとする。

水密扉を開く方向に作用する静水圧荷重及び余震に伴う荷重は、扉板から芯材に伝わり、カンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）に伝達され、扉枠及び扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材、カンヌキ部及びアンカーボルトとする。

くぐり戸付水密扉を閉める方向に作用する静水圧荷重及び余震に伴う荷重は、発生しないことから評価対象外とする。

くぐり戸付水密扉のくぐり戸を開く方向に作用する静水圧荷重及び余震に伴う荷重は、扉板からカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）に伝達され、十分な裕度を有するボルトにて支持する。くぐり戸は扉開放時においては、ヒンジにより扉が大扉に固定され、扉閉止時においては、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造としていることから、評価対象部位は扉板及びカンヌキ部とする。

くぐり戸付水密扉の大扉を開く方向に作用する静水圧荷重及び余震に伴う荷重は、扉板からカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）及び扉固定部（扉付固定ボルト、枠付固定ボルト、ブラケット）に伝達され、扉枠及び扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、カンヌキ部、扉固定部及びアンカーボルトとする。

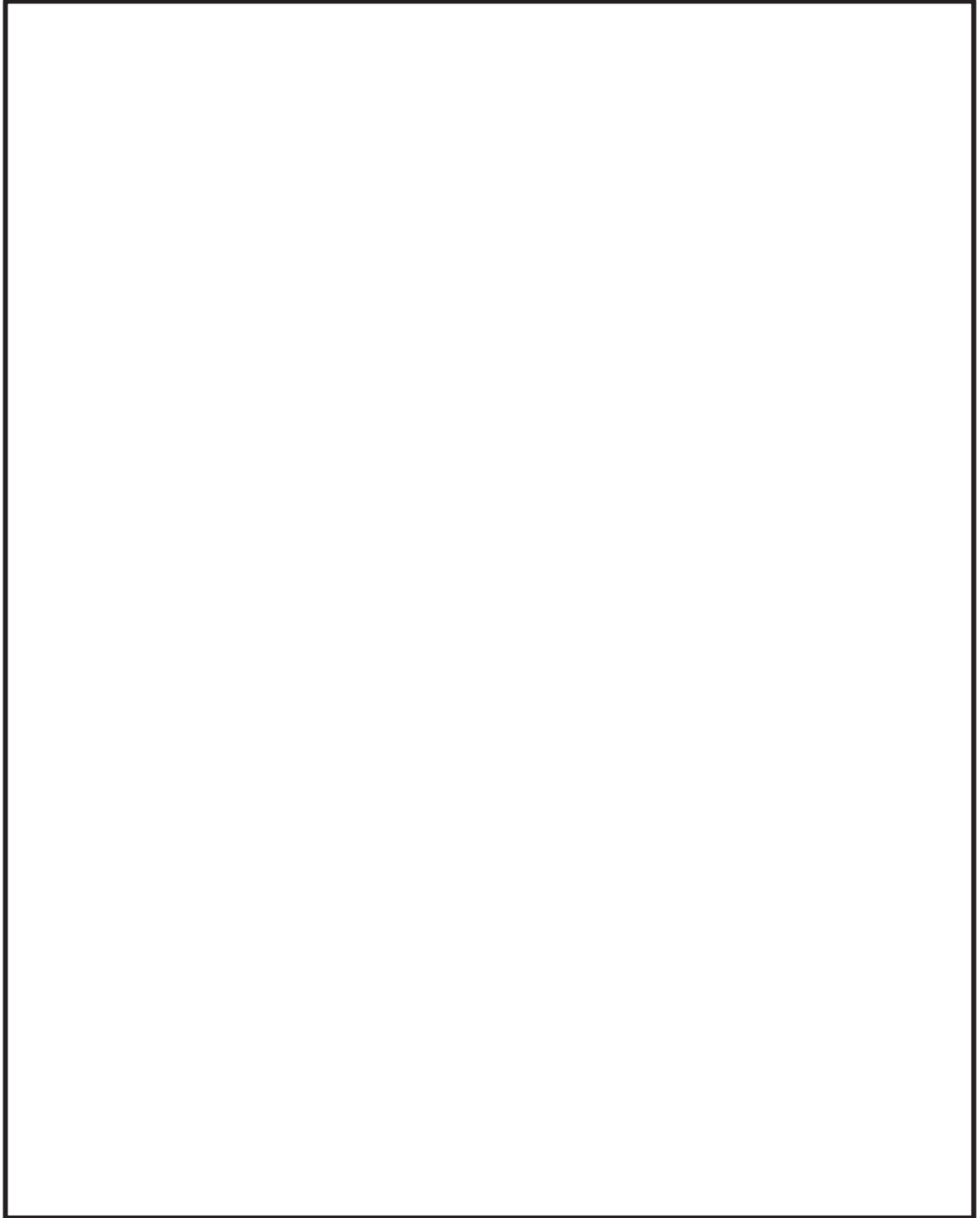
アンカーボルトについては、荷重を伝達する芯材の取付け方向または扉板の辺長比を踏まえ、水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを、鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

なお、ヒンジは静水圧荷重及び余震に伴う荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

また、結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、水密扉 No.2, 8 及び 13 を抽出した。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 3-1 に示す。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

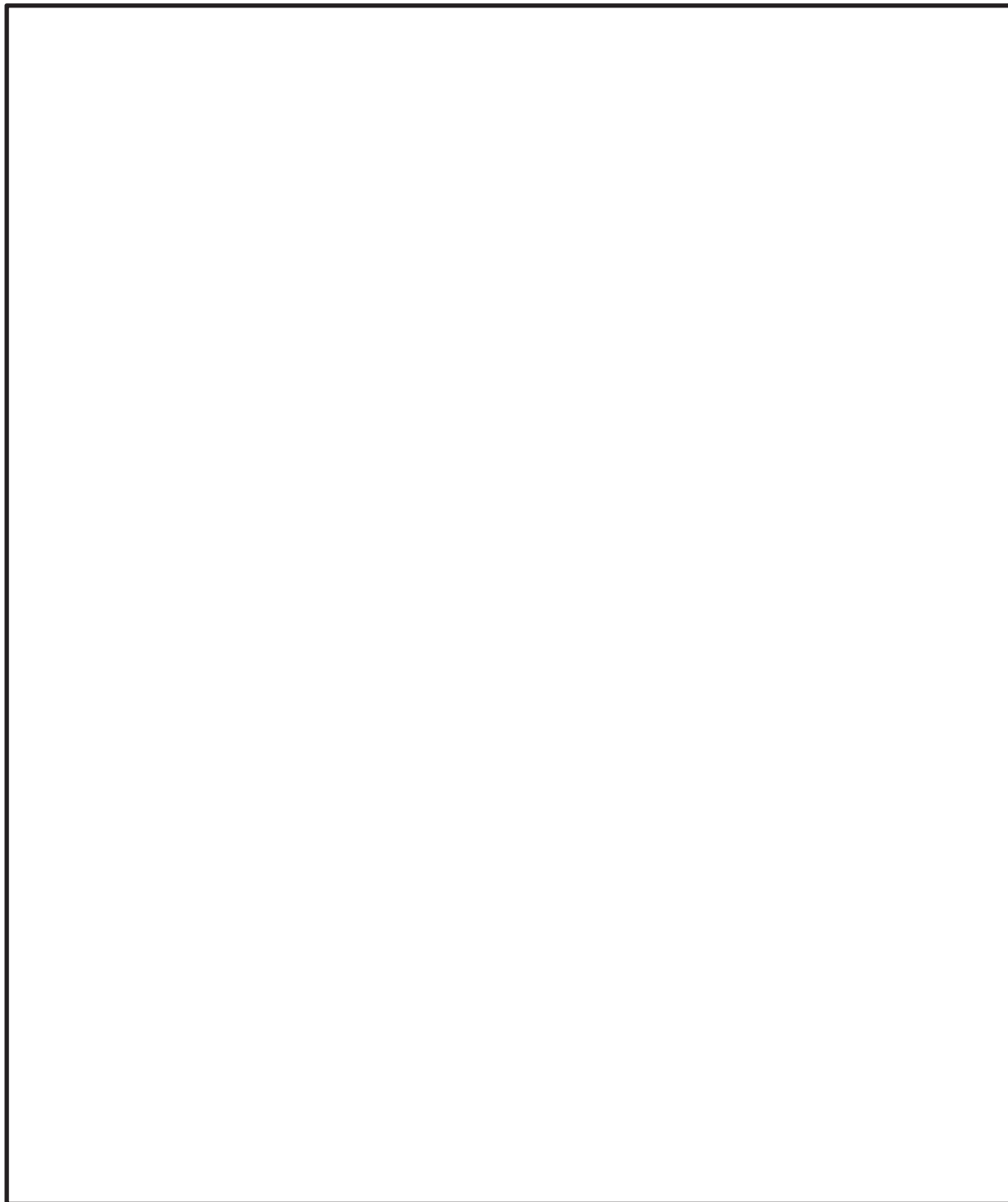


<閉める方向に作用する荷重>

図 3-1 水密扉に作用する荷重の作用図(1/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

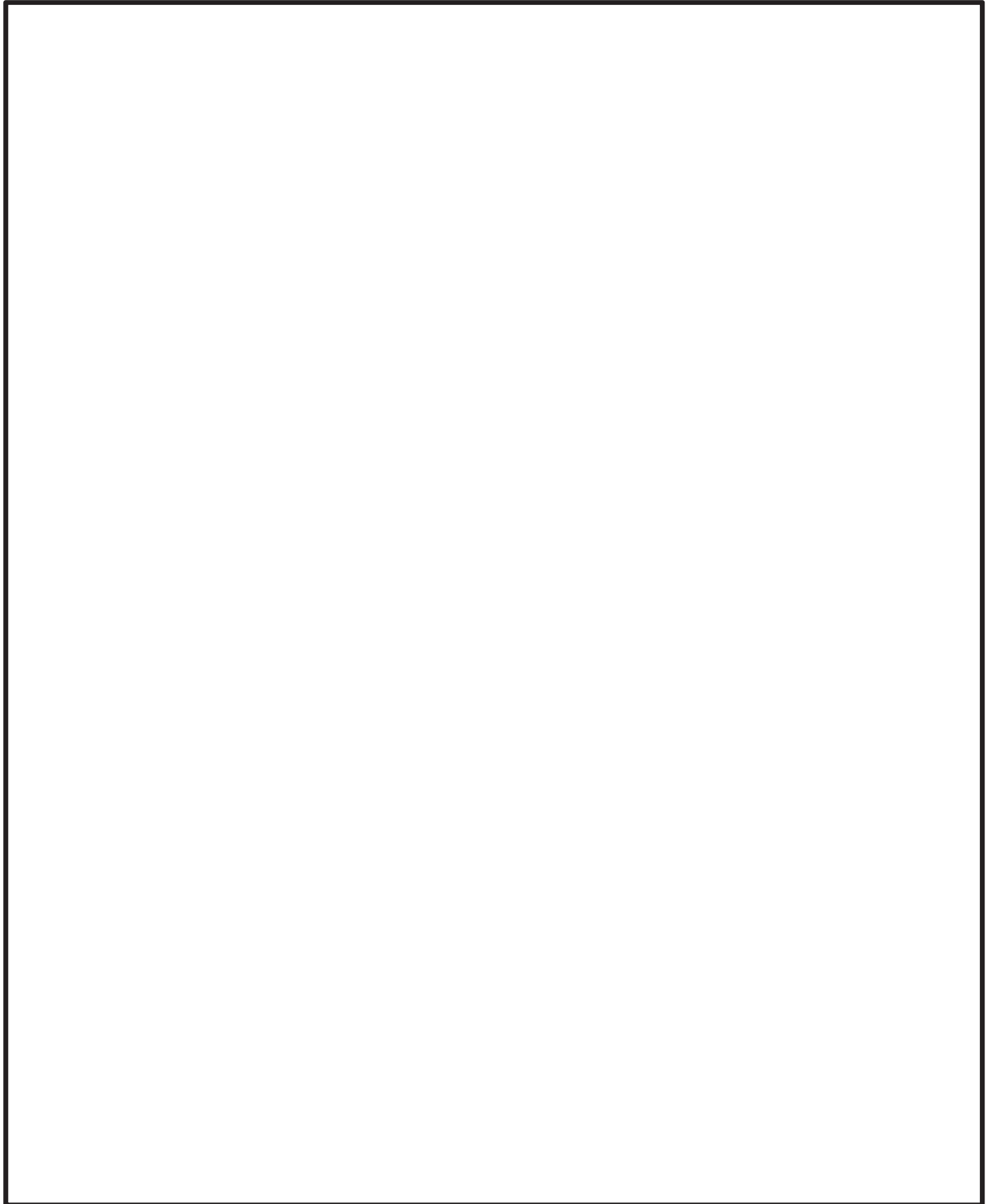


<開く方向に作用する荷重>

図 3-1 水密扉に作用する荷重の作用図(2/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位



〈開く方向に作用する荷重（くぐり戸付水密扉）〉

図 3-1 水密扉に作用する荷重の作用図（3/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧としての静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-6}$$

ここで、

P_h : 静水圧荷重 (N/mm²)

(2) 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S d - D 2 による地震力及び動水圧を考慮する。余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大応答加速度を保守的に評価するために、最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置階の上階の値とする。

強度評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」によることとし、建屋の階ごとの設計震度を表 3-1 に示す。

また、動水圧荷重は「日本水道協会 2009 年 水道施設耐震工法指針・解説」に基づき、次式により算出する。動水圧荷重の算出結果は表 3-2 に示す。

$$P = \beta \cdot 7/8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-6}$$

ここで、

P : 余震に伴う動水圧荷重(N/mm²)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数(1.0)

α_H : 水平方向の設計震度

表 3-1 設計震度

建屋	階	O.P.*	弾性設計用地震動 Sd-D2 設計震度	
			水平方向 α_H	鉛直方向 α_{UD}
原子炉建屋	CRF	41.20m	2.01	0.89
	3F	33.20m	1.31	0.82
	2F	22.50m	0.92	0.73
	1F	15.00m	0.80	0.60
	B1F	6.00m	0.60	0.46
	B2F	-0.80m	0.53	0.38
	B3F	-8.10m	0.40	0.33
制御建屋	RF	29.15m	1.58	1.02
	3F	22.95m	1.34	0.90
	2F	19.50m	1.23	0.78
	1F	15.00m	1.04	0.63
	B1F	8.00m	0.72	0.46
	B2F	1.50m	0.64	0.35
第3号機 海水熱交換器建屋	B1F	8.00m	1.17	0.64

注記* : 各建屋の地震応答計算書における O.P. を示す。

表 3-2 動水圧荷重の算出結果

水密扉 No.	扉名称	動水圧荷重 P (N/mm ²)
1	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)	0.18
2	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)	0.18
3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	0.003
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	0.003
5	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉	0.11
6	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	0.07
7	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	0.004
8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	0.05
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	0.04
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	0.04
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	0.004
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	0.004
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	0.05

3.2.2 荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + K S d$$

ここで、

P_h : 静水圧荷重 (N/mm²)

$K S d$: 余震荷重 (N/mm²)

3.3 許容限界

許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.3.1 使用材料

水密扉を構成する扉板、芯材、カンヌキ部、扉固定部及びアンカーボルトの使用材料を表 3-3 に示す。

表 3-3 使用材料

部位		材質 強度区分	仕様 (mm)
扉板		SS400 SUS304	PL-12, 16, 19, 25, 115
芯材		SS400 SUS304	FB-38×200 [-250×90×9×13 [-180×75×7×10.5 [-200×100×10 [-300×90×9×13
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304N2 SCM440 SUS304	径 50, 60, 65, 90
	カンヌキ受けピン	SUS304N2 SCM435 SUS304	径 30, 40, 60
	カンヌキ受けボルト	10.9 (SCM435, SCM440) 12.9 (SCM435)	M16, M20
扉固定部	扉付固定ボルト	10.9(SCM435)	M20
	枠付固定ボルト	10.9(SCM435)	M20
	ブラケット	SS400	厚さ 13
アンカーボルト		SS400 SUS304	M16, M20, M24

3.3.2 許容限界

(1) 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法 ー」を踏まえて表 3-4 の値とする。

表 3-4 鋼材の許容限界

材質・強度区分* ¹	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ・引張	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ²	235	135
SS400 (100 < t) * ²	205	118
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
S45C	345	199
SCM435	651	375
SCM440	686	396
10.9 (SCM435, SCM440)	728	420
12.9 (SCM435)	854	493

注記*1：許容応力度を決定する基準値Fは、J I Sに基づき算定する。

*2：tは板厚(mm)を示す。

(2) アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は、「3.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した、表 3-5 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容応力、及び付着力又はコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容耐力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3-5 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (N/本)	
		引張	せん断
2	水密扉 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア) (No. 2)	25950 (0°)	22529 (0°)
		34348 (90°)	13317 (90°)
8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	66229 (0°)	41465 (0°)
		67315 (90°)	58068 (90°)
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	— (0°)	6635 (0°)
		57575 (90°)	40302 (90°)

3.4 評価方法

水密扉の強度評価は、以下に設定する評価式を用いる。

3.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、等分布荷重が作用する四辺支持の矩形板として、「日本機械学会機械工学便覧」に基づき、「3.4.2 断面検定」にて算定する。なお、この時、実際に作用する静水圧荷重及び動水圧荷重は、台形分布もしくは、三角形分布であるが、扉最下部の最大静水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。また、余震による地震荷重は扉板の重量のみならず、芯材及びカンヌキを含めた扉重量が面積当たりに等分布に作用するものとして安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図3-2に示す。

$$w_D = P_h + P + S_d$$

$$P = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-6}$$

$$S_d = \frac{W_D \cdot \alpha_H \cdot 10^3}{L_D \cdot H_D}$$

ここで、

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重(N/mm²)

P_h : 静水圧荷重(N/mm²)

P : 動水圧荷重(N/mm²)

S_d : 余震による地震荷重(N/mm²)

W_D : 扉重量(kN)

α_H : 水平方向の設計震度

L_D : 扉の幅(mm)

H_D : 扉の高さ(mm)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

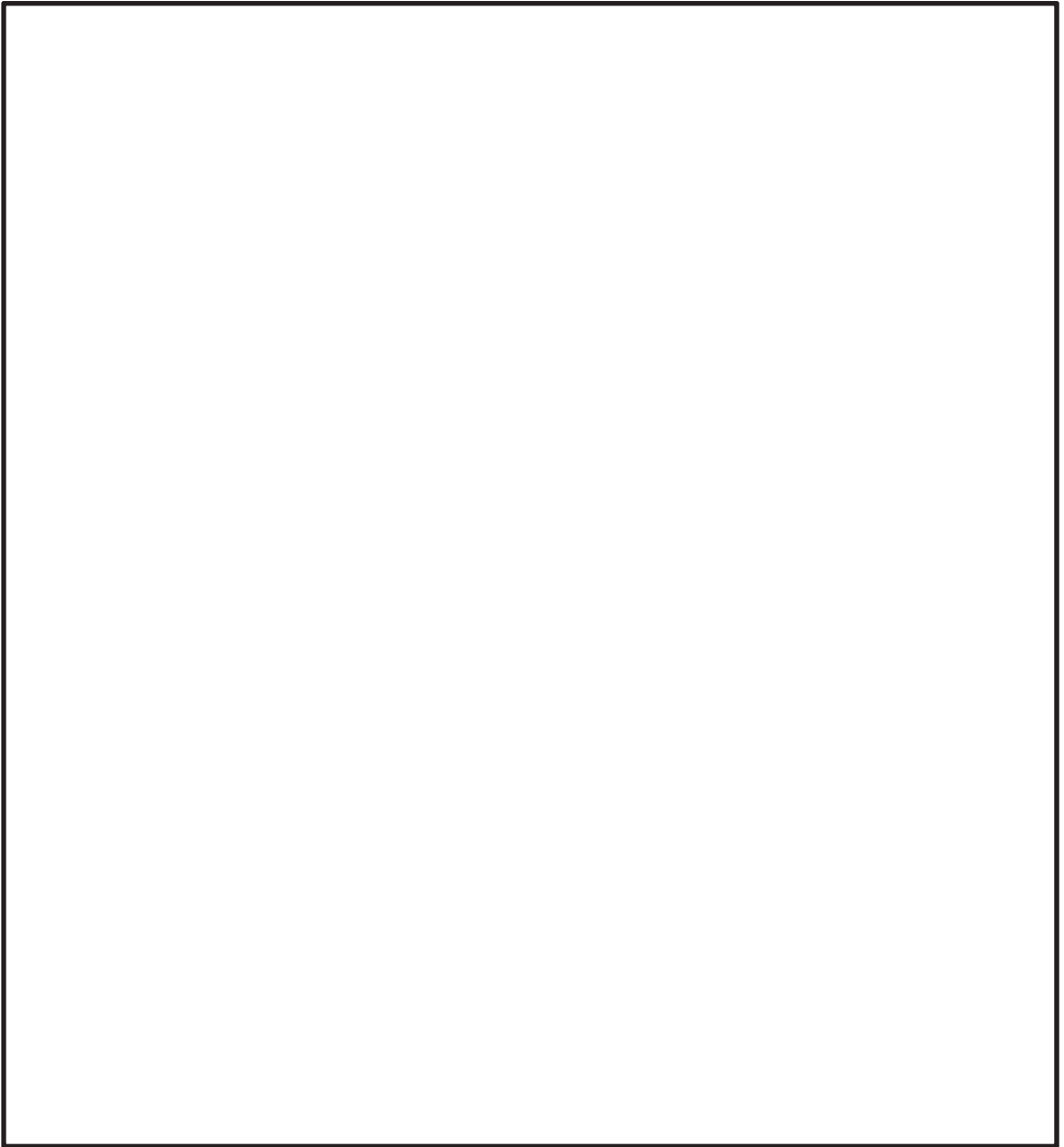


図 3-2 扉板に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 芯材

芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。なお、芯材の取付け方向は、水平・鉛直の2方向があるが、両者とも上述の静水圧荷重と動水圧荷重を加えた水圧に、芯材に作用する荷重の負担幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとし、芯材の支持間距離は保守的に扉幅として安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図3-3に示す。

$$M = \frac{w' \cdot L^2}{8}$$

$$Q = \frac{w' \cdot L}{2}$$

ここで、

w' : 芯材に作用する等分布荷重(N/mm) [$w' = w_D \cdot b$]

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重(N/mm²)

b : 芯材に作用する荷重の負担幅(mm)

M : 芯材に生じる最大曲げモーメント(N・mm)

L : 芯材の支持間距離(mm)

Q : 芯材に生じる最大せん断力(N)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

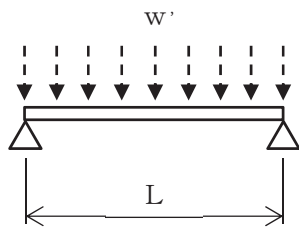
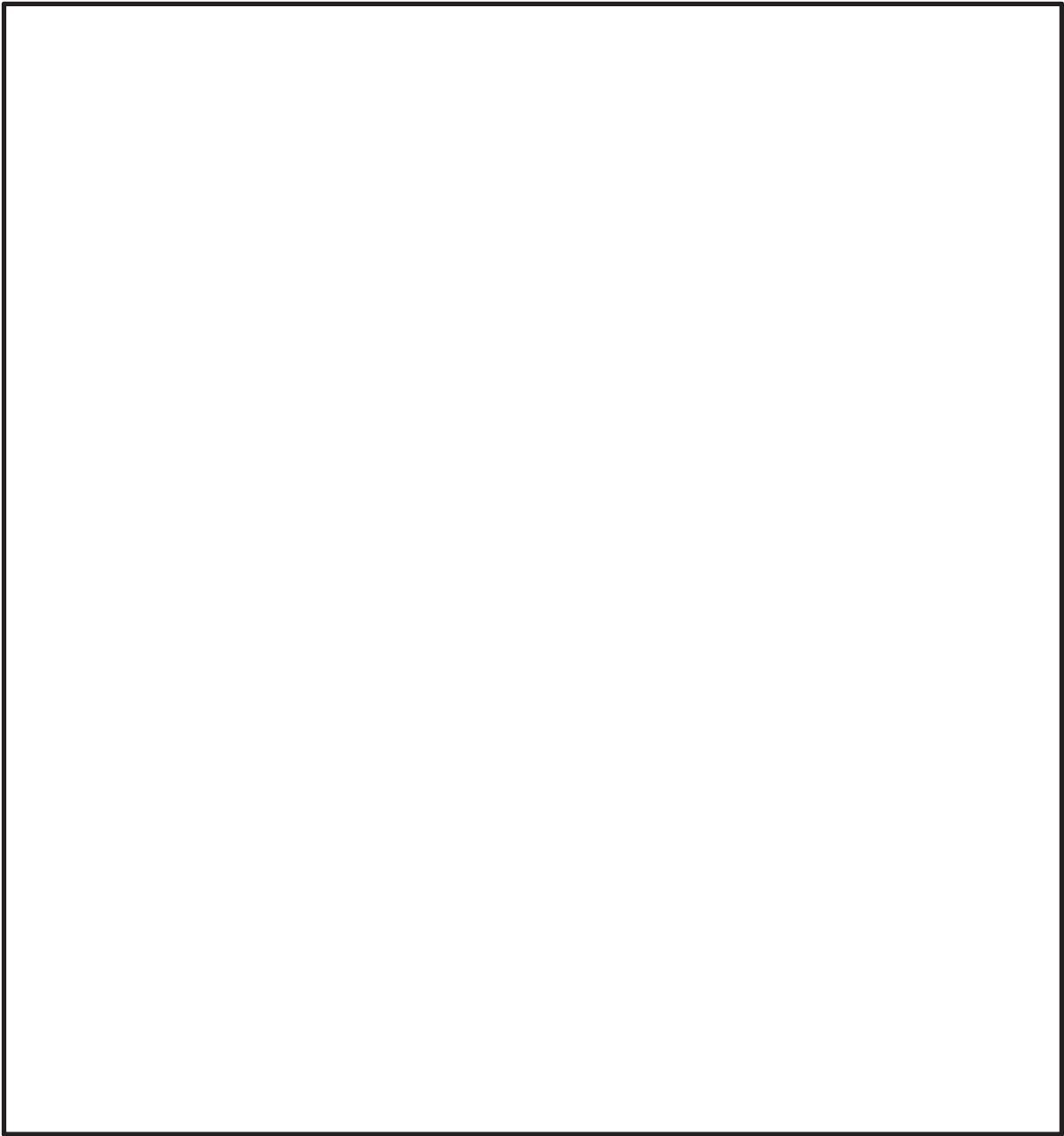


図 3-3 芯材に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、カンヌキ部に生じる応力は次式により算定する。ここで、静水圧荷重及び余震荷重に対する反力は、扉最下部の最大静水圧に、動水圧荷重及び扉重量による余震荷重を加えた荷重をカンヌキ部が等分布に負担するものとして算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図3-4に示す。

$$R_1 = \frac{L_D \cdot H_D \cdot w_D}{n_2}$$

ここで、

R_1 : カンヌキ部に作用する静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(N)

L_D : 扉の幅(mm)

H_D : 扉の高さ(mm)

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重(N/mm²)

n_2 : カンヌキの本数

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位



図 3-4 カンヌキ部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキ受けピン中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し、カンヌキの取付部位に応じて生じる応力を考慮する。カンヌキに作用する荷重の例を図3-5に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5$$

$$Q = R_1$$

ここで、

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R_1 : カンヌキ部に作用する静水圧荷重及び余震荷重に対する反力 (N)

L_5 : カンヌキの突出長さ (mm)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (N)

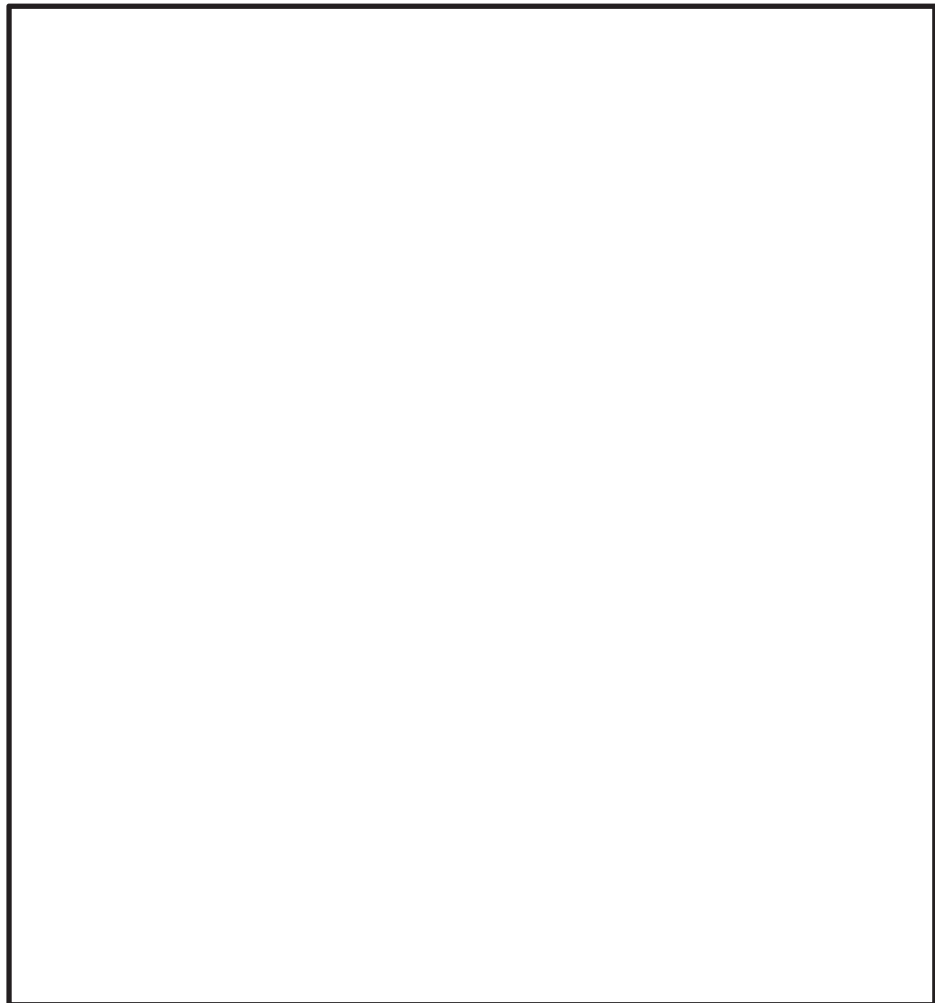


図3-5 カンヌキに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる応力は、カンヌキ受けピンを集中荷重が作用する単純梁とみなし、次式により算定する。カンヌキ受けピンに作用する荷重の例を図3-6に示す。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot \frac{1}{4}$$

$$Q = R_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R₁ : カンヌキ部に作用する静水圧荷重及び余震荷重に対する反力 (N)

L_p : カンヌキ受けピンの軸支持間距離 (mm)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

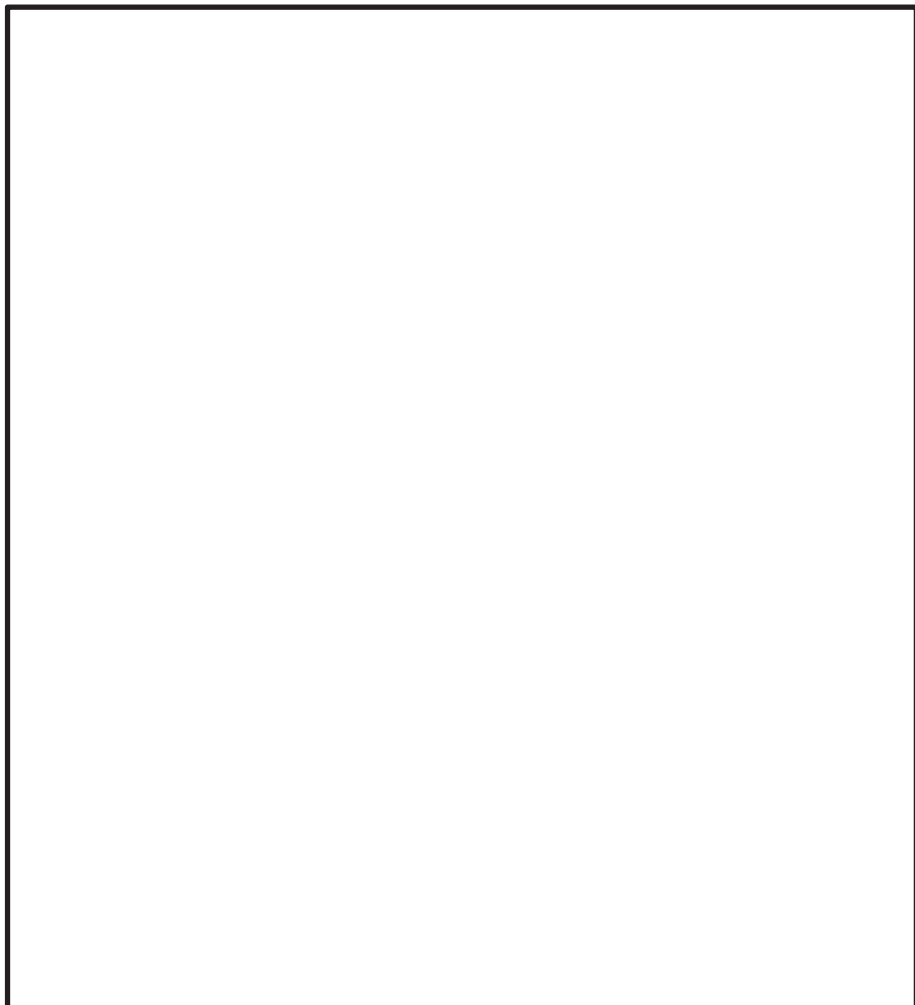


図3-6 カンヌキ受けピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例を図 3-7 に示す。

$$T = \frac{R_1}{n_b}$$

ここで、

T : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張力(N)

R₁ : カンヌキ部に作用する静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(N)

n_b : カンヌキ受けボルトの本数



図 3-7 カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 扉固定部

扉固定部は、扉付固定ボルト、枠付固定ボルト及びブラケットで構成されている。扉固定部に作用する荷重の例を図 3-8 に示す。

a. 扉付固定ボルト及び枠付固定ボルト

扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに生じる応力は、次式により算定する。

$$T = \frac{L_D \cdot H_D \cdot w_D}{n_c}$$

$$Q = \frac{L_D \cdot H_D \cdot w_D}{n_c}$$

ここで、

T : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張力(N)

L_D : 扉の幅(mm)

H_D : 扉の高さ(mm)

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重(N/mm²)

n_c : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数

Q : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断力(N)

b. ブラケット

ブラケットに生じる応力は、次式により算定する。

$$M = \frac{L_D \cdot H_D \cdot w_D}{n_c} \cdot L_A$$

$$Q = \frac{L_D \cdot H_D \cdot w_D}{n_c}$$

ここで、

- M : ブラケットに生じる最大曲げモーメント (N・mm)
- L_D : 扉の幅 (mm)
- H_D : 扉の高さ (mm)
- w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (N/mm²)
- n_c : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数
- L_A : ボルト中心からブラケット端部の長さ (mm)
- Q : ブラケットに生じる最大せん断力 (N)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

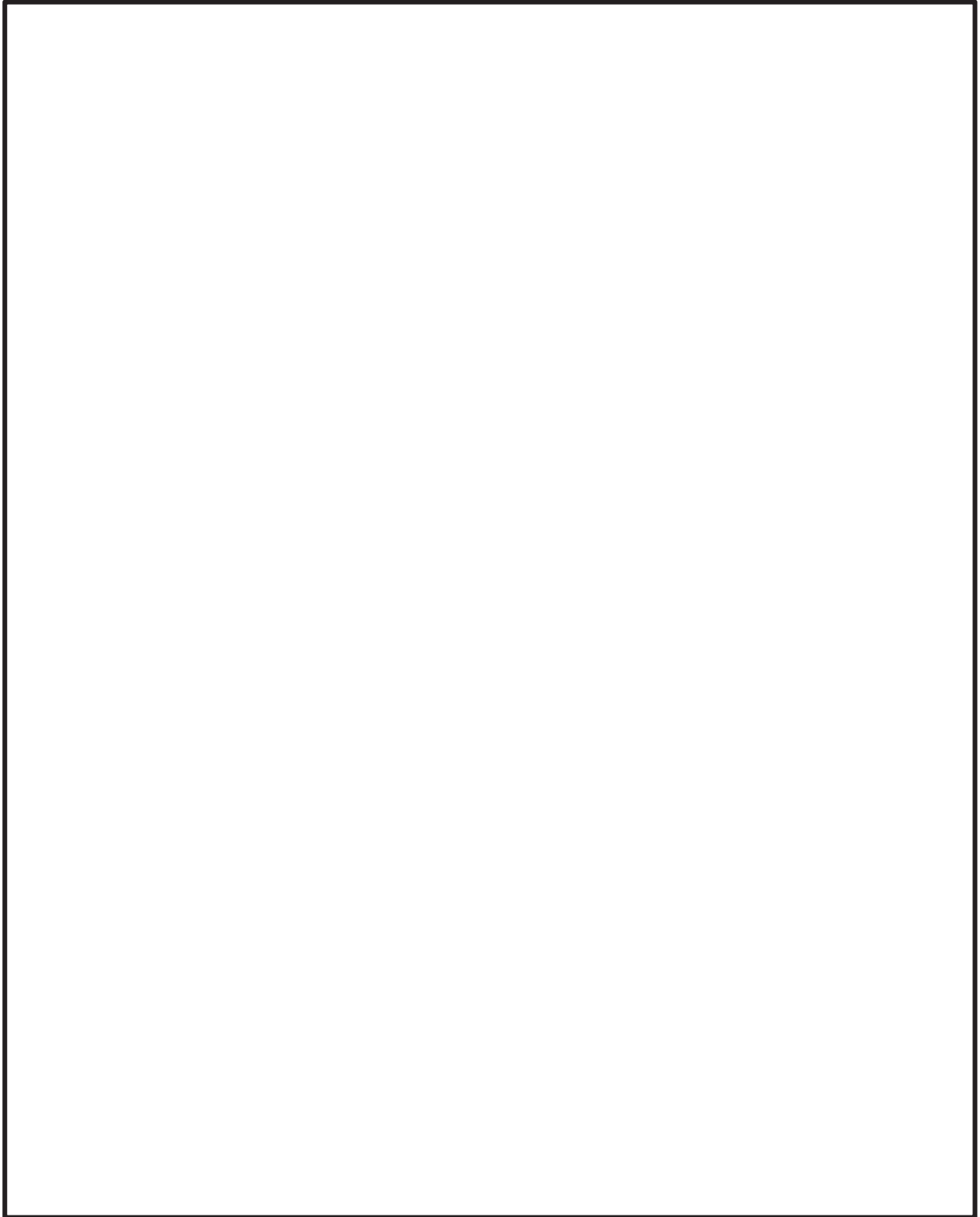


図 3-8 扉固定部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、静水圧荷重に余震荷重を加えた荷重を左右もしくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図3-9に示す。

$$R_a = L_{c1} \cdot L_{c2} \cdot w_D$$

ここで、

R_a : 左右もしくは上下のアンカーボルトに作用する荷重(N)

L_{c1} : 躯体開口部の高さ(mm)

L_{c2} : 躯体開口部の幅(mm)

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重(N/mm²)

アンカーボルトの方向

(0° 方向配置の場合)

$$Q_d = \frac{R_a}{n_{a1}}$$

(90° 方向配置の場合)

$$T_d = \frac{R_a}{n_{a2}}$$

(0° 方向配置及び90° 方向配置の複合配置の場合)

$$\frac{R_a}{Q_a \cdot n_{a1} + T_a \cdot n_{a2}}$$

ここで、

T_d : アンカーボルト1本あたりに生じる引張力(N)

T_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容引張力(N)

Q_d : アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

Q_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容せん断力(N)

n_{a1} : 0° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

n_{a2} : 90° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

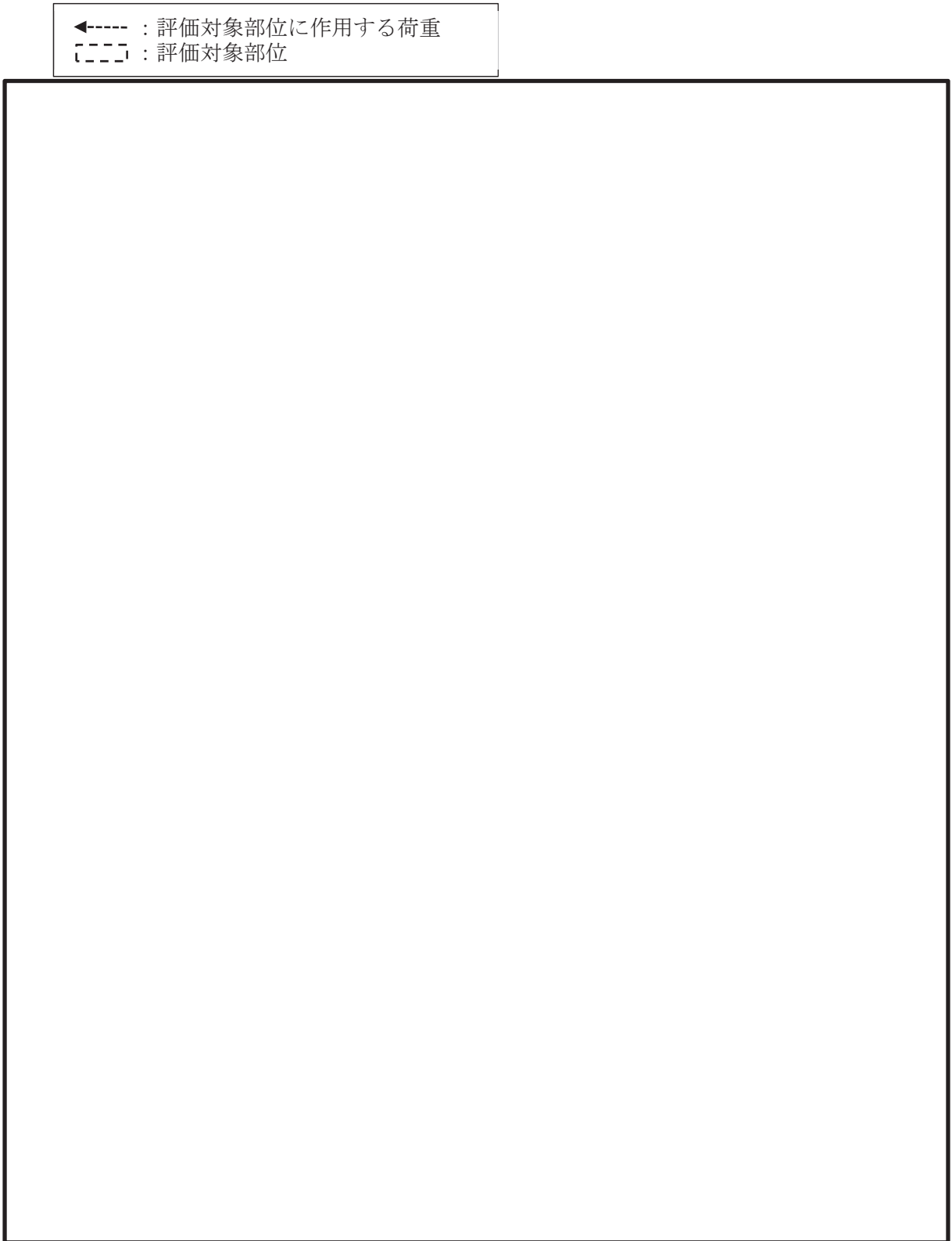


図 3-9 アンカーボルトに作用する荷重の例(1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

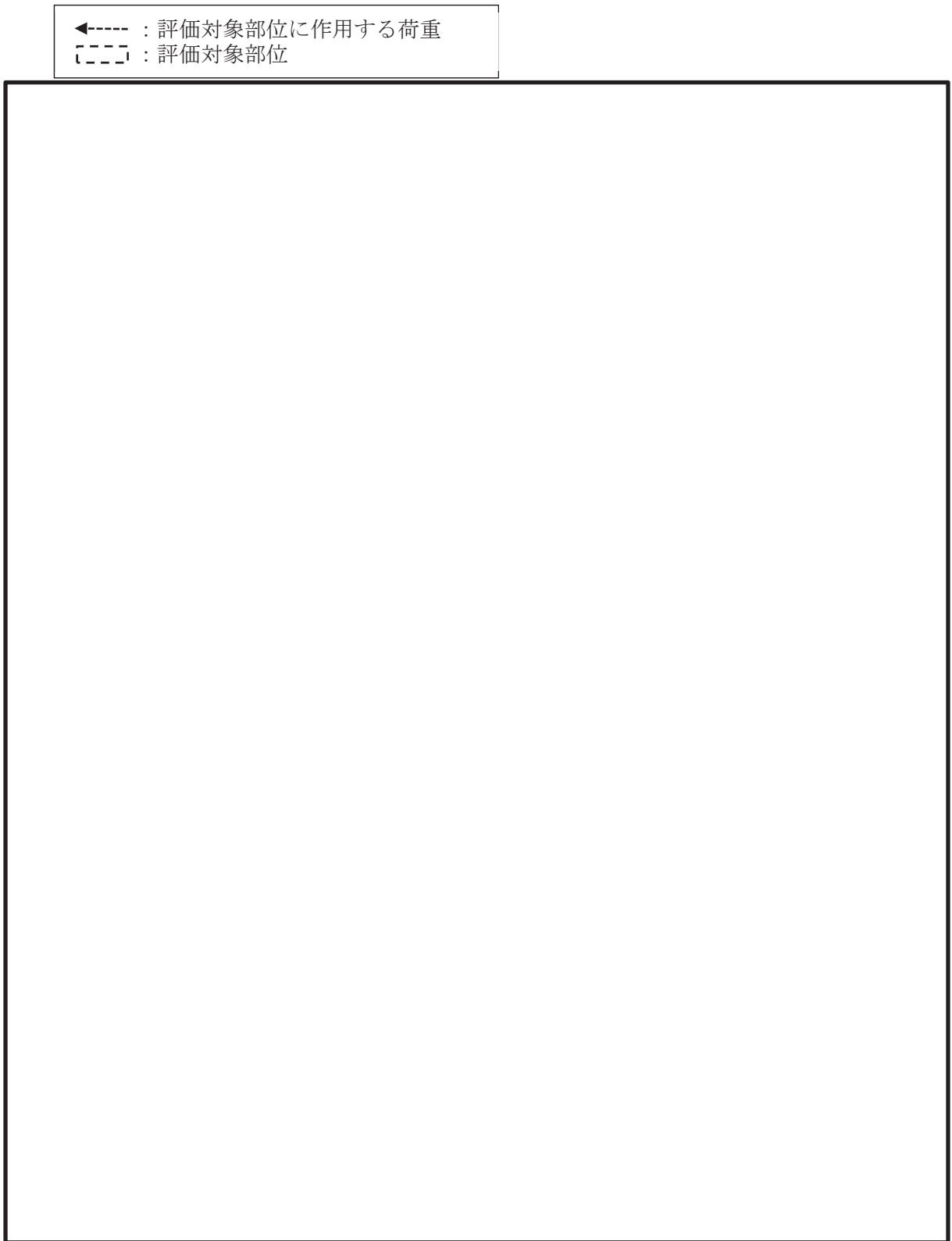


図 3-9 アンカーボルトに作用する荷重の例(2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4.2 断面検定

評価対象部位に生じる応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を「日本機械学会 機械工学便覧」により算定し、扉板の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot \frac{w_D \cdot L_{PL}^2}{t^2}$$

ここで、

σ : 扉板に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (N/mm²)

β_1 : 四辺支持長方形板の応力係数

L_{PL} : 扉板の短辺長さ (mm)

t : 扉板の板厚 (mm)

(2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : 芯材に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材に生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : 芯材の断面係数 (mm³)

τ : 芯材に生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材に生じる最大せん断力 (N)

A_s : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : カンヌキに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : カンヌキに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。なお、カンヌキ受けピンは単純梁による評価であることから、曲げとせん断は同時に作用しない為、組合せ応力度については考慮しない。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキ受けピンの断面係数 (mm³)

τ : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキ受けピンのせん断断面積 (mm²)

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

ここで、

σ_t : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張応力度 (N/mm²)

T : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張力 (N)

A : カンヌキ受けボルトの断面積 (mm²)

(4) 扉固定部

a. 扉付固定ボルト及び枠付固定ボルト

扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに生じる引張応力度又はせん断応力度を次式により算定し、扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ_t : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張応力度 (N/mm²)

T : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張力 (N)

A : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの断面積 (mm²)

τ : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断力 (N)

A_s : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトのせん断断面積 (mm²)

b. ブラケット

ブラケットに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」に基づく次式により算定し、ブラケットの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : ブラケットに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ブラケットに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : ブラケットの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : ブラケットに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ブラケットに生じる最大せん断力 (N)

A_s : ブラケットのせん断断面積 (mm²)

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力またはせん断力を算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。

(0° 方向配置の場合)

$$\frac{Q_d}{Q_a} \leq 1.0$$

(90° 方向配置の場合)

$$\frac{T_d}{T_a} \leq 1.0$$

(0° 方向配置及び 90° 方向配置の複合配置の場合)

$$\frac{R_a}{Q_a \cdot n_{a1} + T_a \cdot n_{a2}}$$

ここで、

R_a : 左右もしくは上下のアンカーボルトに作用する荷重(N)

T_d : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力(N)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力(N)

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力(N)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力(N)

n_{a1} : 0° 方向左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

n_{a2} : 90° 方向左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

3.5 評価条件

「3.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-6に示す。

表3-6 強度評価に用いる評価条件(1/6)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				2	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	17500	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.03	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.17	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.37	
	L_D	mm	扉の幅	900	
	H_D	mm	扉の高さ	2055	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	505	
	t	mm	扉板の板厚	19	
	β_1	—	応力係数	0.6	
	W_D	kN	扉重量	7.85	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	161.88	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	437.5	
	L	mm	芯材の支持間距離	900	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	231000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1800	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	277
		τ	N/mm ²	せん断応力度	31
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	246
		τ	N/mm ²	せん断応力度	35
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	175

表 3-6 強度評価に用いる評価条件(2/6)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				2
アンカーボルト	L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2000
	L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1000
	n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	18
	n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	24
	Q_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	22529
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	13317
	T_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	25950
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	34348

表 3-6 強度評価に用いる評価条件(3/6)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				8	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	4000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.34	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.10	
	L_D	mm	扉の幅	1406	
	H_D	mm	扉の高さ	2037	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	650	
	t	mm	扉板の板厚	19	
	β_1	—	応力係数	0.7	
	W_D	kN	扉重量	13.93	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	64.50	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	645	
	L	mm	芯材の支持間距離	1279	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	153000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1113	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	139
		τ	N/mm ²	せん断応力度	17
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	137
		τ	N/mm ²	せん断応力度	19
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	153

表 3-6 強度評価に用いる評価条件(4/6)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				8
アンカーボルト	L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2100
	L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1400
	n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	5
	n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	7
	Q_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	41465
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	58068
	T_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	66229
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315

表 3-6 強度評価に用いる評価条件(5/6)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13 (大扉)	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	4000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.58	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.11	
	L_D	mm	扉の幅	2030	
	H_D	mm	扉の高さ	2600	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	2030	
	t	mm	扉板の板厚	115	
	β_1	—	応力係数	0.5	
	W_D	kN	扉重量	79.43	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	—	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	—	
	L	mm	芯材の支持間距離	—	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	—	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	—	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
σ_t		N/mm ²	引張応力度	—	
扉固定部	扉付固定 ボルト	n_c	本	扉付固定ボルトの本数	11
		τ	N/mm ²	せん断応力度	216
	枠付固定 ボルト	A	mm ²	枠付固定ボルトの断面積	245
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	216
	ブラケット	A	mm ²	ブラケットの断面積	1521
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	35

表 3-6 強度評価に用いる評価条件(6/6)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				13 (大扉)
アンカーボルト	L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2630
	L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1900
	n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	25
	n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	40
	Q_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	6635
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	40302
	T_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	57575

3.6 評価結果

水密扉の強度評価結果を表3-7に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界値を下回ることから、水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表3-7 水密扉の強度評価結果

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界値 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界値	備考
2	扉板		157	205	0.77	曲げ
	芯材*1		41	118	0.35	せん断
	カンヌキ部	カンヌキ*2	283	651	0.44	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	246	345	0.72	曲げ
		カンヌキ受けボルト	175	728	0.25	引張
	アンカーボルト*3		—	—	0.61	組合せ
8	扉板		82	235	0.35	曲げ
	芯材*1		87	235	0.38	曲げ
	カンヌキ部	カンヌキ*2	143	205	0.70	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	137	345	0.40	曲げ
		カンヌキ受けボルト	153	728	0.22	引張
	アンカーボルト*3		—	—	0.44	組合せ
13 (大扉)	扉板		18	205	0.09	曲げ
	芯材*1		—	—	—	—
	カンヌキ部	カンヌキ*2	—	—	—	—
		カンヌキ受けピン*1	—	—	—	—
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	扉固定部	扉付固定ボルト	216	420	0.52	せん断
		枠付固定ボルト	216	728	0.30	引張
		ブラケット*2	35	135	0.26	せん断
アンカーボルト*3		—	—	0.23	組合せ	

注記*1：曲げ及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

*2：曲げ、せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

*3：引張、せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

VI-3-別添 3-2-7 浸水防止蓋の強度計算書

目 次

- VI-3-別添 3-2-7-1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-2 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-3 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-4 浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-5 浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-7-1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の
強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価対象部位	11
4. 構造強度評価	13
4.1 構造強度評価方法	13
4.2 荷重及び荷重の組合せ	13
4.3 許容限界	15
4.4 評価方法	18
4.5 評価条件	36
5. 評価結果	41

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）（以下「浸水防止蓋」という。）が地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が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。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は，原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

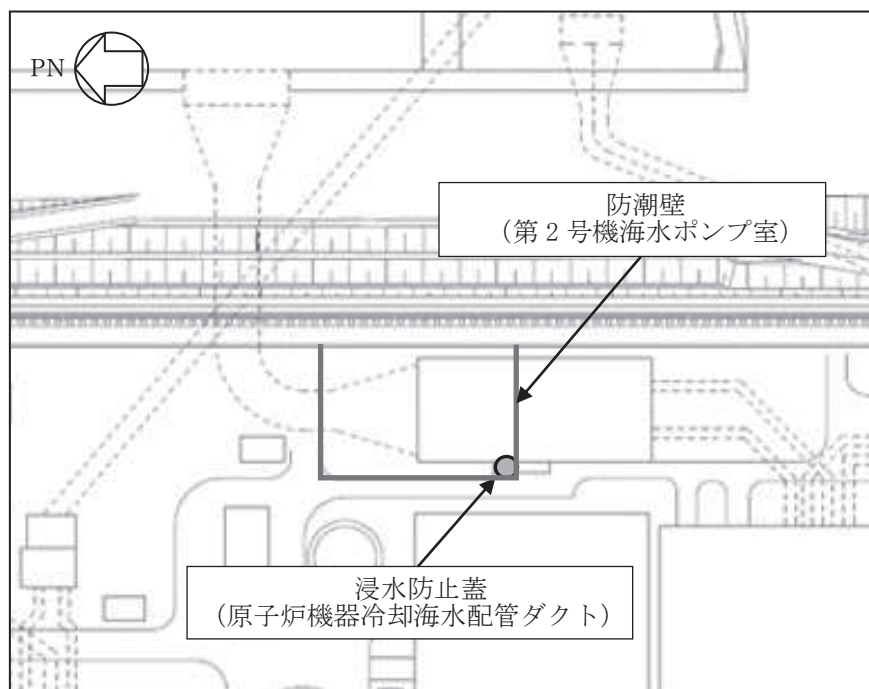


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋，ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に示す。

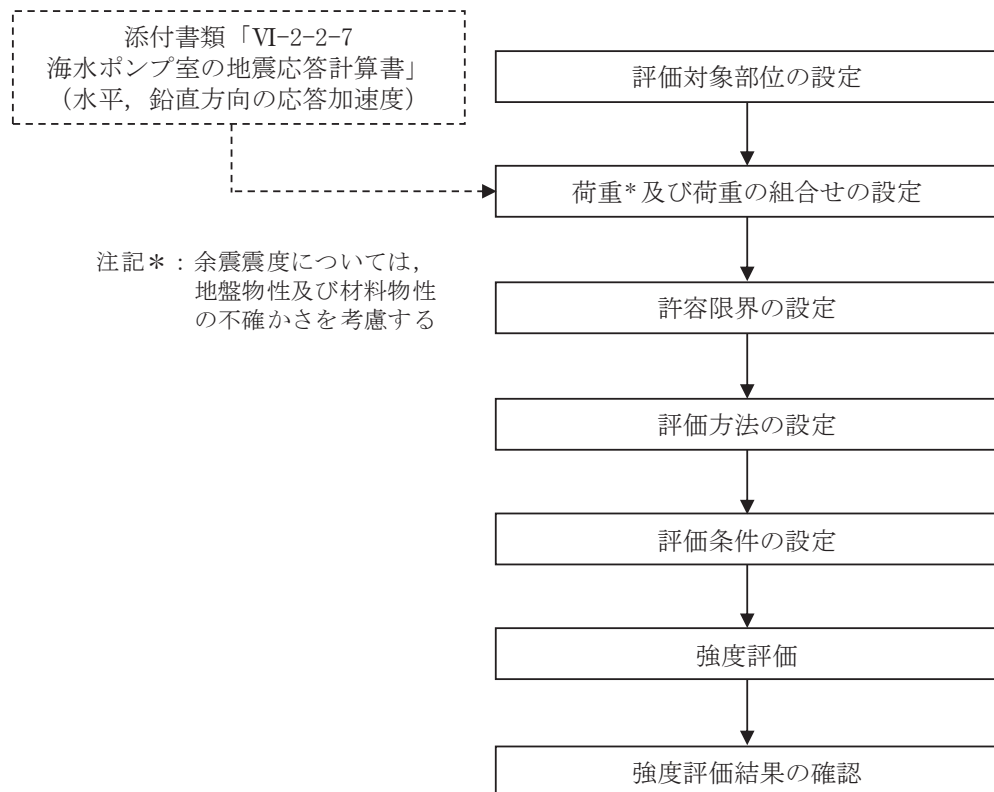


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 にそれぞれ示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_d	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重
α_H	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度
α_V	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度
G	kN	固定荷重
P_h	kN	浸水津波荷重
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
h_1	O. P. m	設計津波水位
h_2	O. P. m	浸水防止蓋の設置高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	せん断断面積
Z	mm ³	断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_4	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
T_d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
	k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
	G	kN	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm^2	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm^2	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm^2	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm^2	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm^2	鉛直方向のせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	σ	N/mm^2	合成応力度
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離
	Z_1	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_3	mm^3	回転軸並行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_p	mm^3	極断面係数
	A	mm^2	断面積
A_1	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部)	
A_2	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接続部)	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	F	kN	ヒンジピンにはたらく合成荷重
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	\mathbf{x}	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q _R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q _P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L _H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L _V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N _H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N _V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	\mathbf{x}	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイング ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイング ボルト ピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
ナット 受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
スイング ボルト ピン受部	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する 締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、津波荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、津波荷重及び余震荷重に伴う慣性力がスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。浸水防止蓋の評価対象部位を、図3-1に示す。

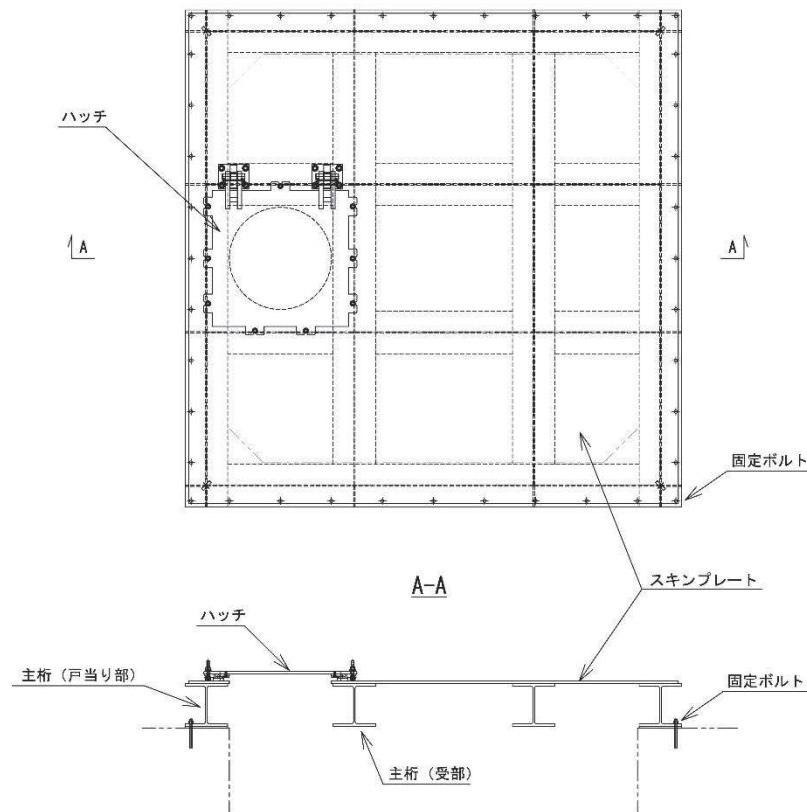
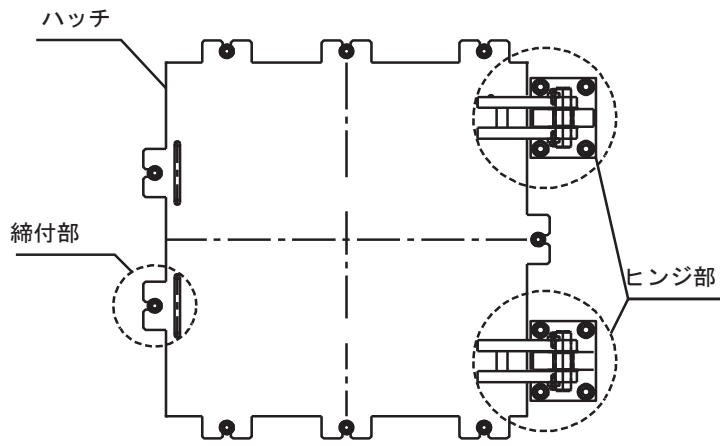
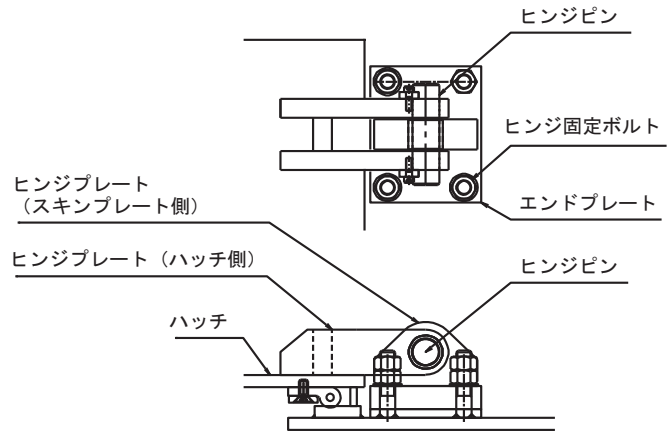


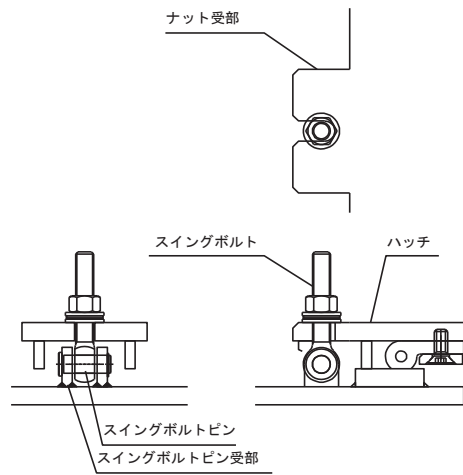
図 3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + P_h + S_d + P_s$$

ここで、	G	: 固定荷重 (kN)
	P_h	: 浸水津波荷重 (kN)
	S_d	: 余震荷重 (kN)
	P_s	: 積雪荷重 (kN)

4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 浸水津波荷重(P_h)

浸水津波荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、津波高さ及び浸水防止蓋の設置高さを考慮した静水圧を次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot A$$

ここで、	ρ_o	: 水の密度 1.03 (t/m ³)
	g	: 重力加速度 9.80665 (m/s ²)
	h_1	: 設計津波水位 (O.P. m)
	h_2	: 浸水防止蓋の設置高さ (O.P. m)
	A	: 浸水防止蓋の面積 (m ²)

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(4) 余震荷重(S_d)

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。

なお、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

地震力は、浸水防止蓋の固定荷重、浸水津波荷重及び積雪荷重に余震震度を乗じた次式により算出する。

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで、
 S_d : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による余震荷重 (kN)
 G : 固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 α_H : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による水平方向の余震震度
 α_V : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による鉛直方向の余震震度

余震震度 α_H , α_V を表 4-1 に示す。

表 4-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度	
		水平方向 α_H	鉛直方向 α_V
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	O.P. 14.0	2.31	0.97

4.3 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて 設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

4.3.2 許容限界

(1) スキンプレート，主桁

鋼材の許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき表 4-3 の値とする。

表 4-3 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 4-4 に示す。

なお，固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
SM490Y	37.7	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 4-5 の値とする。

表 4-5 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

4.4.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 4-1 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1) 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 S d

$$S d = (G + P h + P s) \cdot \alpha v$$

ここで、 S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 (kN)

G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)

P h : 浸水津波荷重 (kN)

P s : 積雪荷重 (kN)

αv : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度

(2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 W s s '

$$W s s ' = (G + P h + S d + P s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 W s s ' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 (kN)

G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)

P h : 浸水津波荷重 (kN)

P s : 積雪荷重 (kN)

L₁ : 主桁の負担幅 (mm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 主桁に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A s$$

τ : 主桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

A s : 主桁のせん断断面積 (mm²)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W s s ' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

W s s ' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L₂ : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 主桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

ここで、 $M = 1/8 \cdot W s s' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

W s s' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L₂ : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に作用する組合せ応力度

主桁に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、 x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

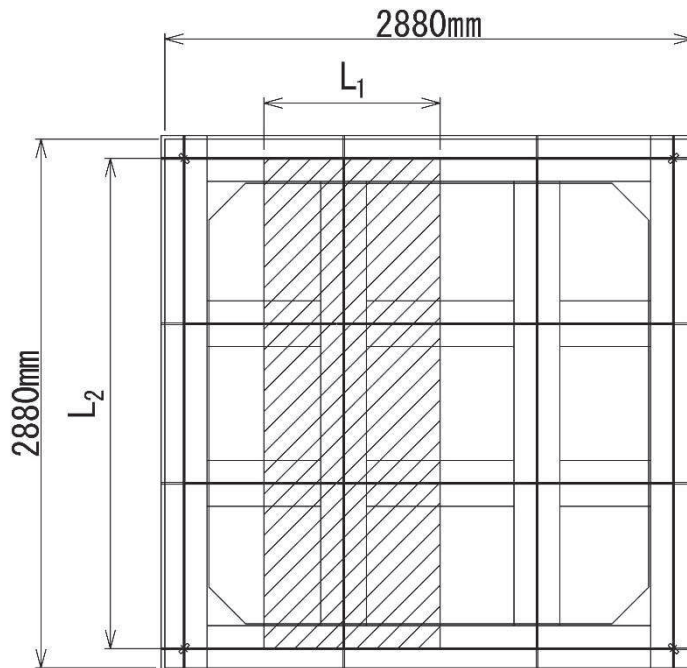


図 4-1 評価の対象とする主桁

4.4.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 4-2 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 α_v : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ の鉛直方向の余震震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + P_h + S_d + P_s) / A$$

ここで、 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_3 + L_4) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_3 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005改定）」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

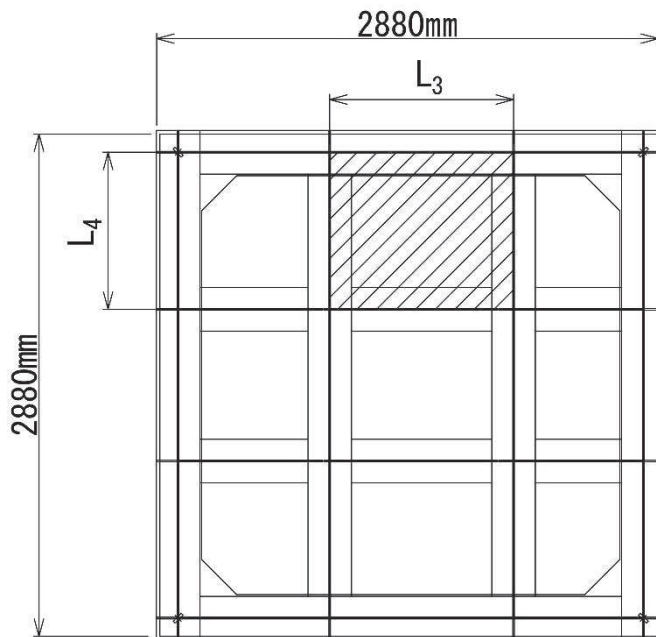


図 4-2 評価の対象とするスキンプレート

4.4.3 固定ボルト

固定ボルトの納まりを図 4-3 に示す。

- (1) 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による水平方向の余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで, S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による水平方向の余震荷重 (kN)

G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_H : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度

- (2) 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで, S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の余震荷重 (kN)

G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_V : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = S_d / N$$

ここで, T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の余震荷重 (kN)

N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = S_d / N$$

ここで, q : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による水平方向の余震荷重 (kN)

N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

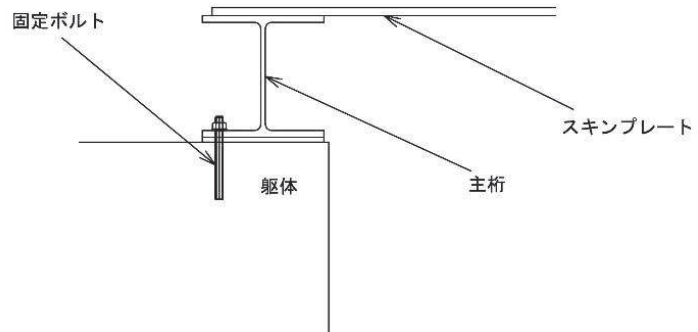
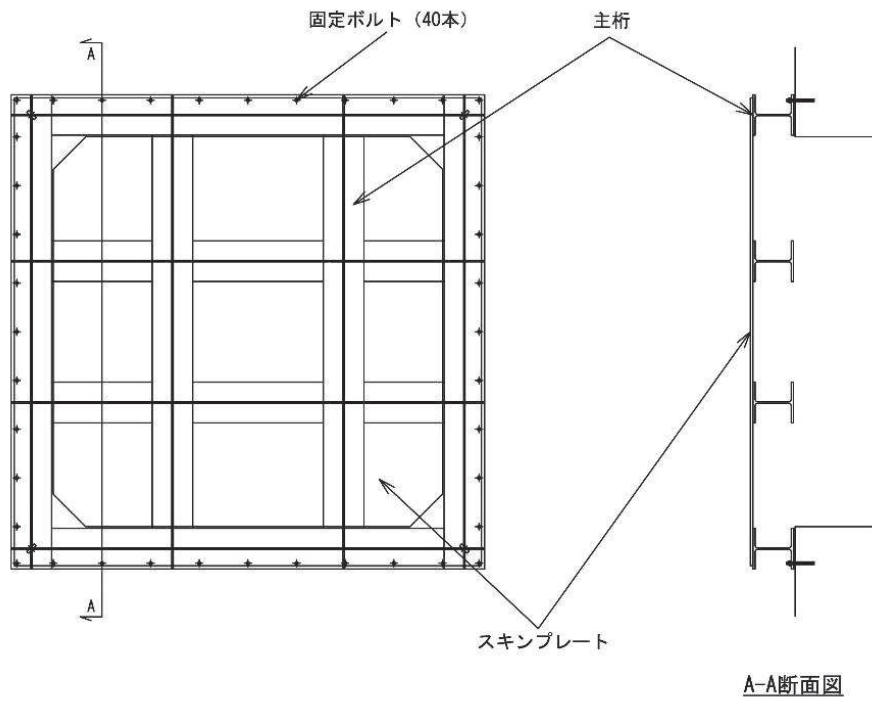


図4-3 固定ボルトの納まり

4.4.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図4-4に、荷重算定式を図4-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については，スイングボルト，スイングボルトピン，ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

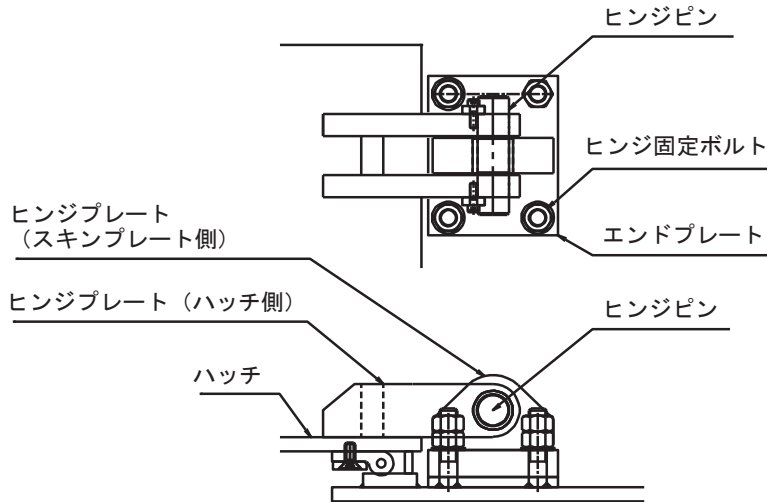


図4-4 (1) ヒンジ部の構造概要

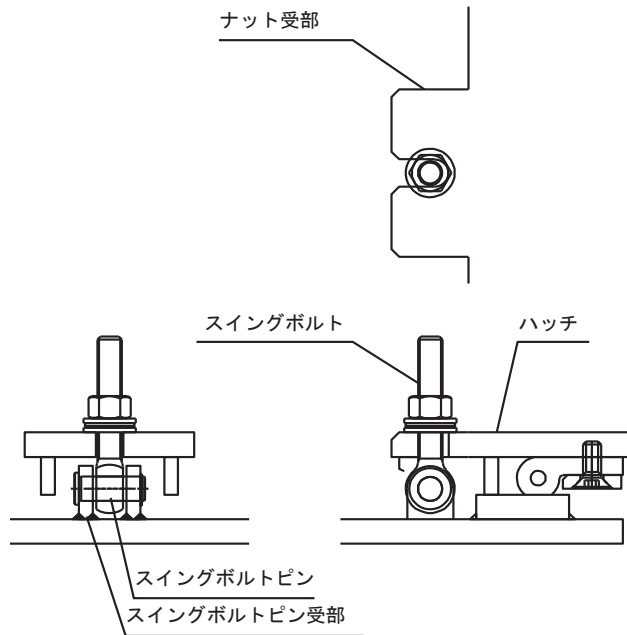
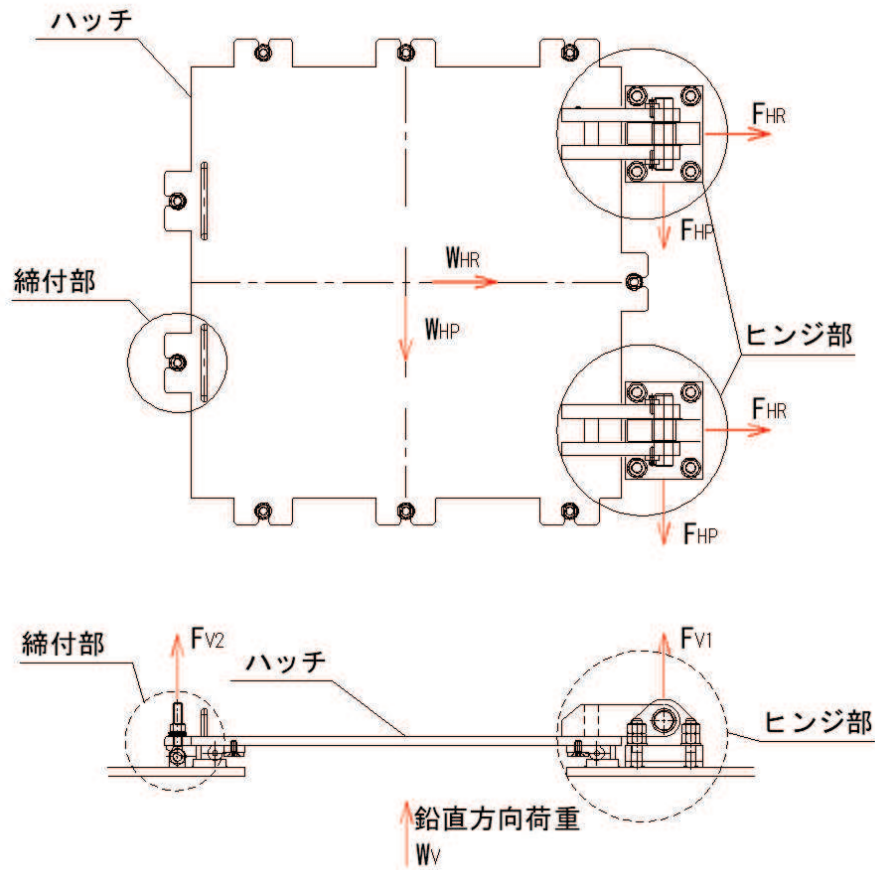


図4-4 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_{HP} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_V = (G + P_h + P_s) + (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{v1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{v2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

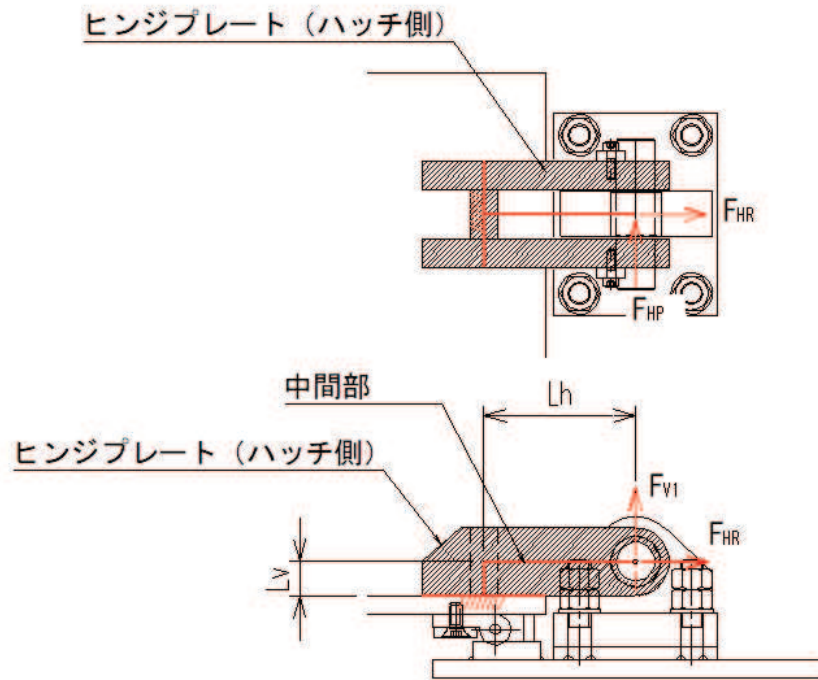
- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_h : 浸水津波荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- α_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向の余震震度
- α_V : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{v1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.1, \beta = 0.1)$$

図 4-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

4.4.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図4-6に示す。

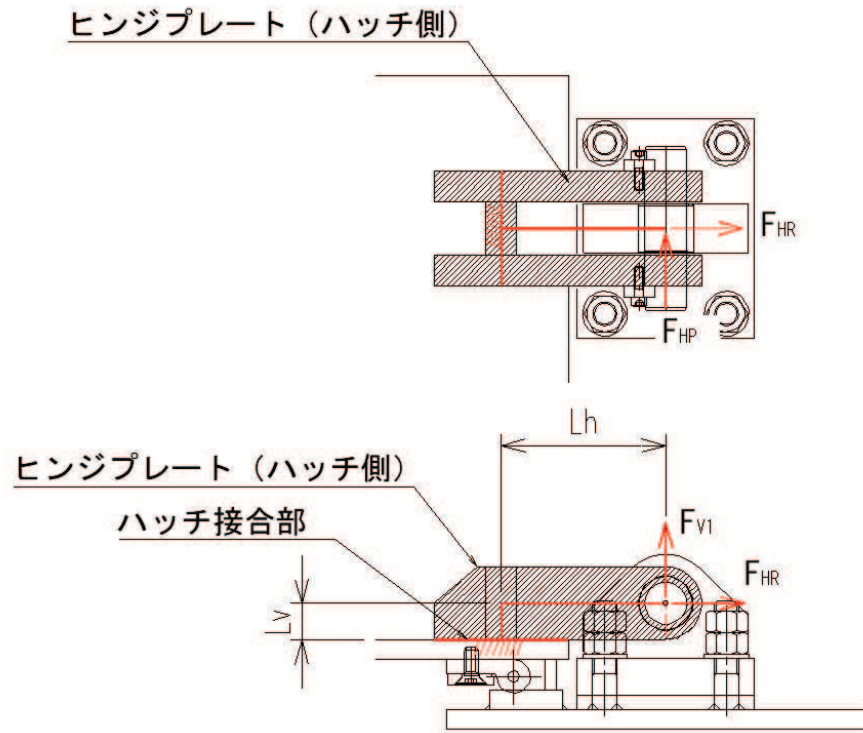


ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$	ここで、	
$\sigma_N = F_{HR} / A_1$	σ_N	: 軸方向引張応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$	σ_{bP}	: 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$	σ_{bV1}	: 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
	τ_P	: 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$	τ_v	: 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_P = F_{HP} / A$	x	: 合成応力度 (N/mm ²)
$\tau_v = F_{V1} / A$	F_{HR}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
	F_{HP}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
	F_{V1}	: ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
	L_h	: ヒンジ支点間水平距離 (mm)
	Z_1	: 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm ³)
	Z_2	: 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm ³)
	A_1	: ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部) (mm ²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図4-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

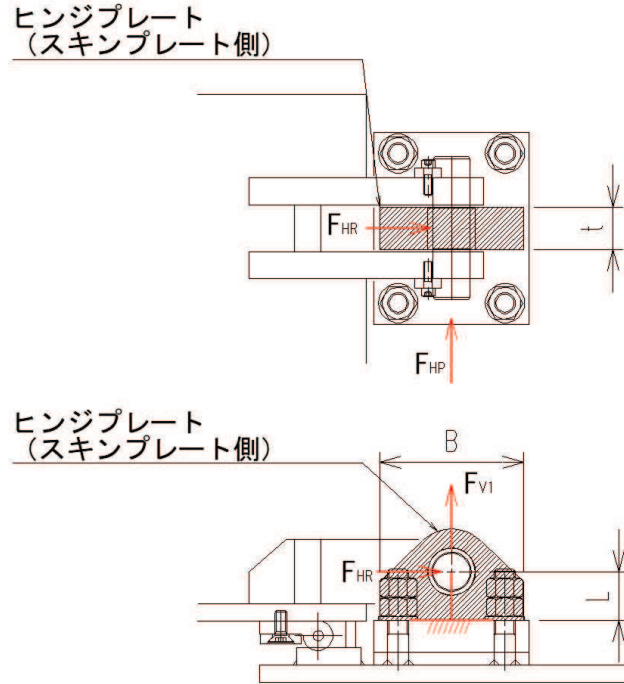
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_{PX} : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- L_v : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- Z_3 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_4 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_p : 極断面係数 (mm³)
- A_2 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接合部) (mm²)

図 4-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

4.4.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図4-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm²)

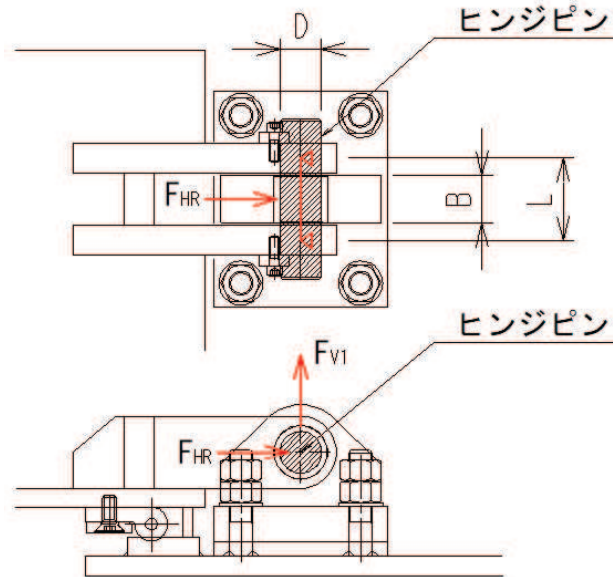
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図4-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

4.4.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図4-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ支点間距離 (mm)

B : 荷重の載荷長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

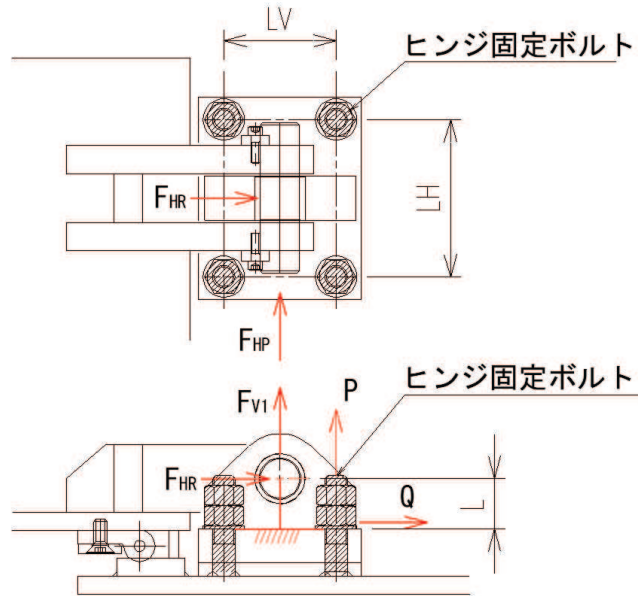
A : ヒンジピンの断面積 (mm²)

D : ヒンジピンの直径 (mm)

図4-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

4.4.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図 4-9 に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

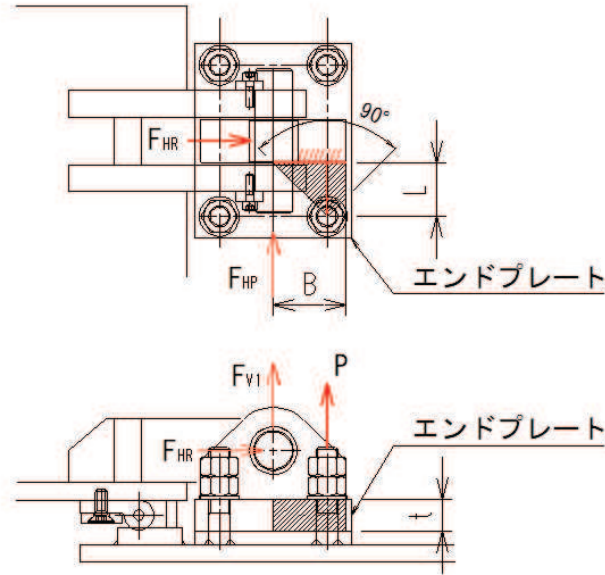
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図 4-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

4.4.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図4-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)

L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

t : エンドプレートの板厚 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

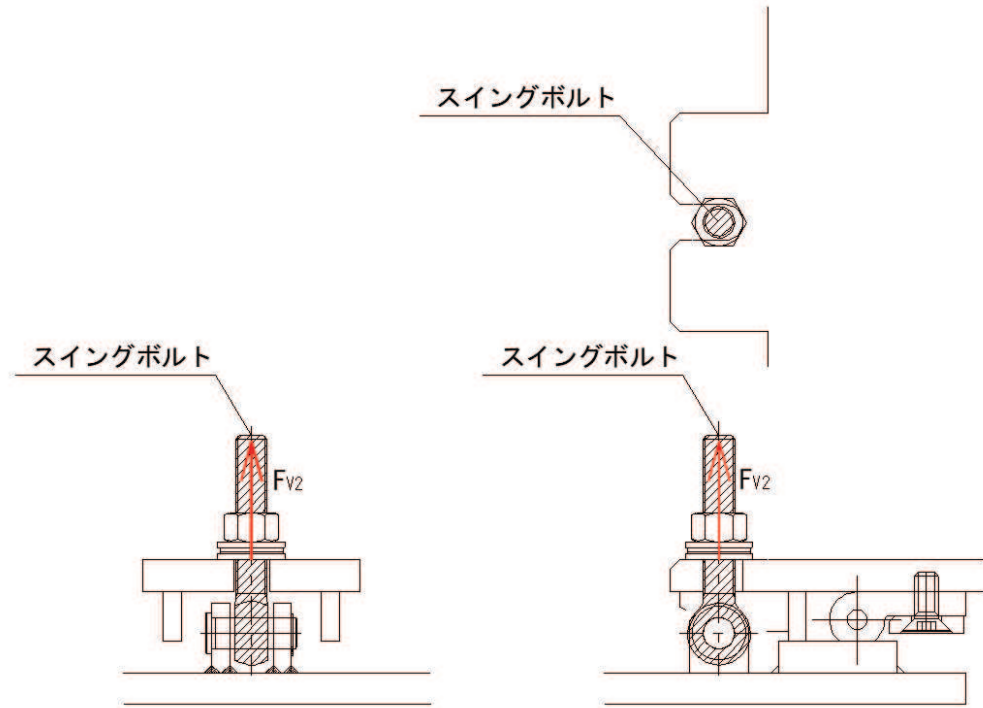
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図4-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

4.4.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図4-11に示す。



$$\sigma = F_{v2} / A$$

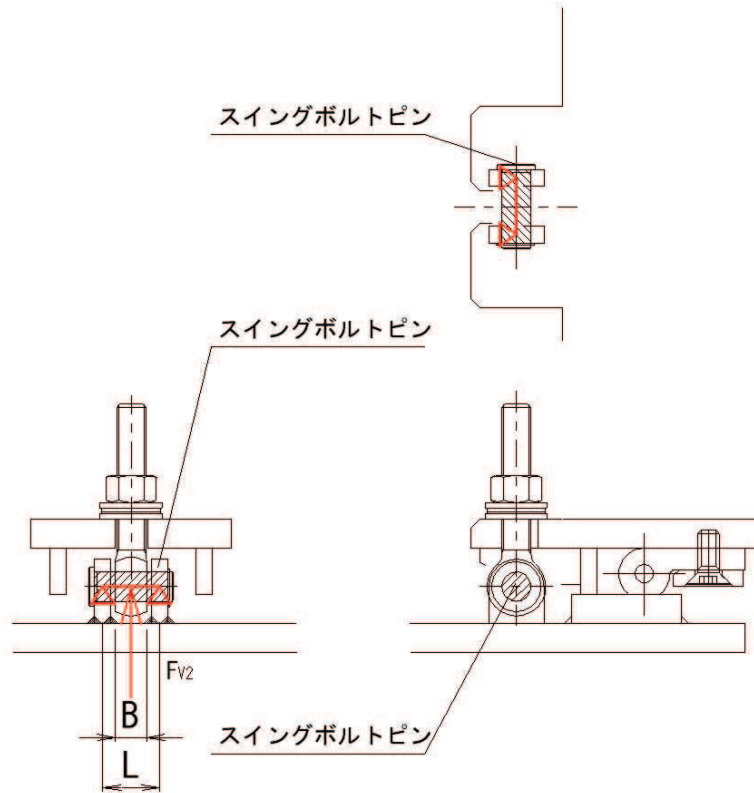
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図4-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

4.4.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 4-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

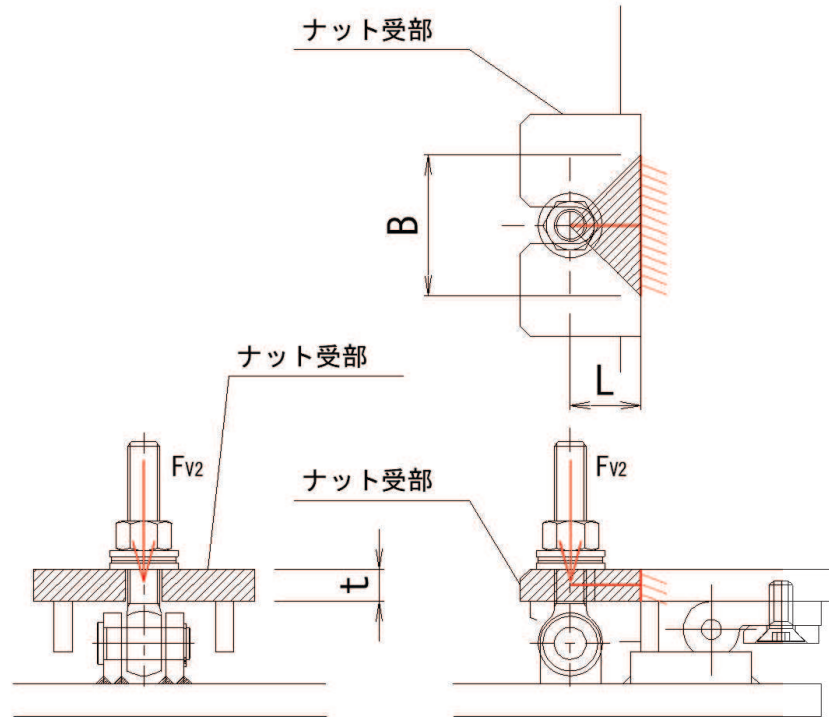
ここで、

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 4-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

4.4.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受部のモデル図及び応力算定式を図4-13に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : 腕長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

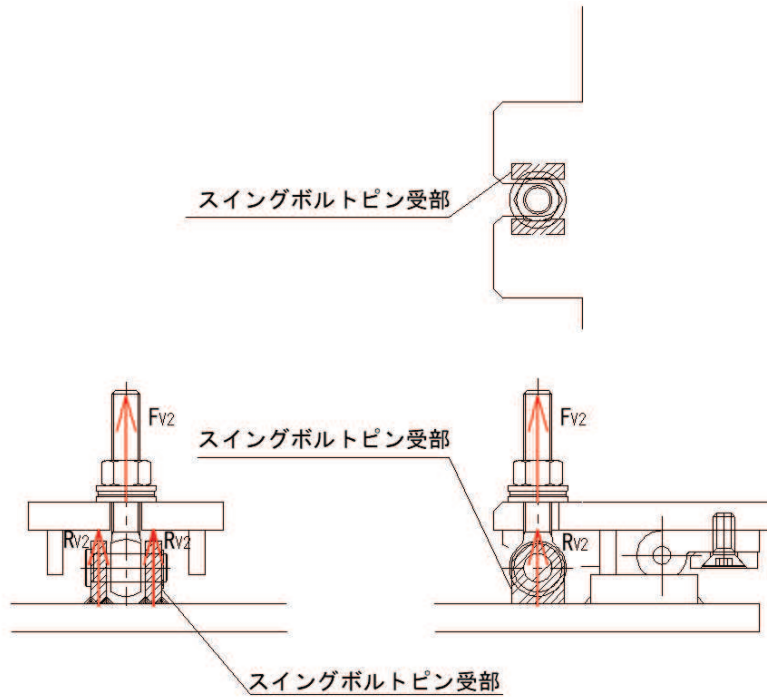
A : ナット受部の有効断面積 (mm²)

t : ナット受部の板厚 (mm)

図4-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

4.4.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 4-14 に示す。



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 4-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表4-6に示す。

表4-6 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	25.85
	P _h	kN	浸水津波荷重	385.19
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	8.29
	L ₁	mm	主桁の負担幅	963
	L ₂	mm	主桁全長	2670
	A _s	mm ²	主桁のせん断断面積	1998
	Z	mm ³	主桁の断面係数	8.46×10 ⁵
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	12.22
	P _h	kN	浸水津波荷重	385.19
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	8.29
	L ₃	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	1055
	L ₄	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	900
	β ₂	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
t	mm	スキンプレートの厚さ	16	
固定ボルト	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	25.85
	P _h	kN	浸水津波荷重	385.19
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	40

表 4-6 (2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-6 (3) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	7.90
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.35
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.389
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	121.50

表 4-6 (4) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-6 (5) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	13.78
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	5.64
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.35
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	121.50

5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表5-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(1) 浸水防止蓋の強度評価結果（主桁，スキンプレート，固定ボルト）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界 (応力度又は荷重)		検定値
主桁	曲げ	100	N/mm ²	325	N/mm ²	0.31 < 1.0
	せん断	64	N/mm ²	188	N/mm ²	0.35 < 1.0
	組合せ	150	N/mm ²	325	N/mm ²	0.47 < 1.0
スキンプレート	曲げ	121	N/mm ²	325	N/mm ²	0.38 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	188	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	122	N/mm ²	325	N/mm ²	0.38 < 1.0
固定ボルト	引張	10.1	kN	37.7	kN	0.27 < 1.0
	せん断	23.9	kN	32.9	kN	0.73 < 1.0
	組合せ	—		—		0.60 < 1.0

表 5-1 (2) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	27	N/mm ²	265	N/mm ²	0.11 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	27	N/mm ²	291	N/mm ²	0.10 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	19	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	14	N/mm ²	265	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	6	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	291	N/mm ²	0.07 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	63	N/mm ²	265	N/mm ²	0.24 < 1.0
	せん断	13	N/mm ²	153	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	67	N/mm ²	291	N/mm ²	0.24 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	38	N/mm ²	265	N/mm ²	0.15 < 1.0
	せん断	33	N/mm ²	153	N/mm ²	0.22 < 1.0
	組合せ	68	N/mm ²	291	N/mm ²	0.24 < 1.0
エンドプレート	曲げ	37	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	37	N/mm ²	291	N/mm ²	0.13 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm ²	273	N/mm ²	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm ²	157	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm ²	300	N/mm ²	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm ²	273	N/mm ²	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	157	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm ²	300	N/mm ²	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm ²	273	N/mm ²	0.09 < 1.0

表 5-1 (3) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	80	N/mm ²	265	N/mm ²	0.31 < 1.0
	せん断	11	N/mm ²	153	N/mm ²	0.08 < 1.0
	組合せ	82	N/mm ²	291	N/mm ²	0.29 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	35	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
	せん断	91	N/mm ²	153	N/mm ²	0.60 < 1.0
	組合せ	161	N/mm ²	291	N/mm ²	0.56 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	68	N/mm ²	265	N/mm ²	0.26 < 1.0
	せん断	17	N/mm ²	153	N/mm ²	0.12 < 1.0
	組合せ	74	N/mm ²	291	N/mm ²	0.26 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	109	N/mm ²	265	N/mm ²	0.42 < 1.0
	せん断	23	N/mm ²	153	N/mm ²	0.16 < 1.0
	組合せ	115	N/mm ²	291	N/mm ²	0.40 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	85	N/mm ²	265	N/mm ²	0.33 < 1.0
	せん断	65	N/mm ²	153	N/mm ²	0.43 < 1.0
	組合せ	141	N/mm ²	291	N/mm ²	0.49 < 1.0
エンドプレート	曲げ	82	N/mm ²	265	N/mm ²	0.31 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	153	N/mm ²	0.07 < 1.0
	組合せ	83	N/mm ²	291	N/mm ²	0.29 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm ²	273	N/mm ²	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm ²	157	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm ²	300	N/mm ²	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm ²	273	N/mm ²	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	157	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm ²	300	N/mm ²	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm ²	273	N/mm ²	0.09 < 1.0

VI-3-別添 3-2-7-2 浸水防止蓋

(第 3 号機補機冷却海水系放水ピット) の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	6
2.5 記号の説明	7
3. 評価対象部位	9
3.1 応力評価の評価対象部位	9
3.2 変形性評価の評価対象部位	12
4. 固有値解析	13
4.1 固有値解析のモデルの設定及び解析手法	13
4.2 固有振動数の計算結果	15
5. 構造強度評価	18
5.1 応力評価方法	18
5.2 変形性評価方法	29
6. 評価結果	30

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）（以下「浸水防止蓋」という。）が津波の冠水に伴う突き上げ荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が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。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 基本方針

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピット上部に設置する。
設置位置図を図2-1に示す。

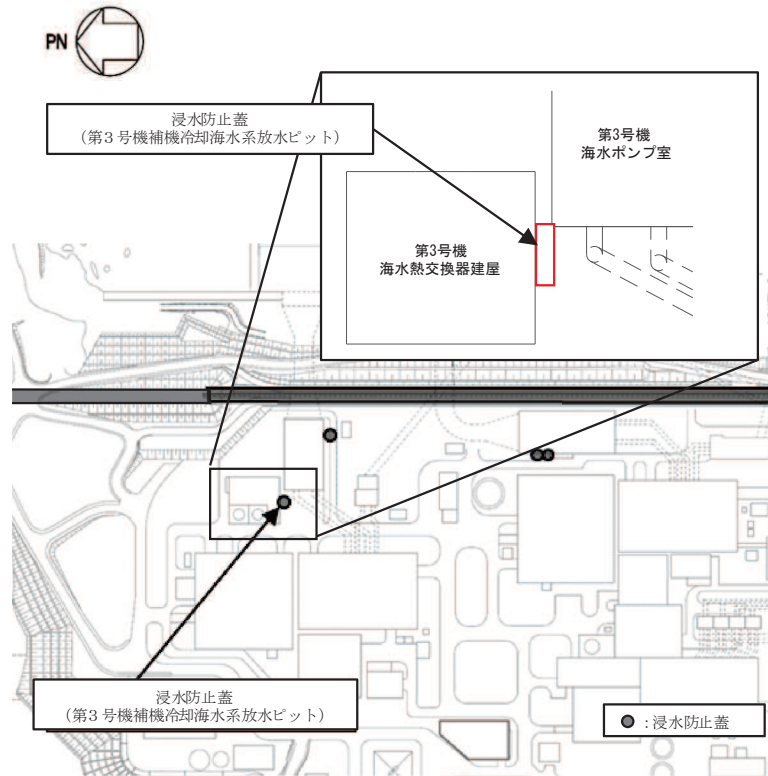


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピットからの浸水を防止するため、近接する第3号機海水熱交換器建屋側面に鋼製ブラケットを介して固定ボルトにて固定し、地震時に異なる挙動を示す可能性がある第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置することで止水性を確保する構造とする。

また、浸水防止蓋はメンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
十分な支持性能を有する第3号機海水熱交換器建屋側面に固定ボルトで固定する。	<p>浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトにより構成する。</p> <p>第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置する。</p> <p>また、浸水防止蓋にはハッチを設置する。</p>	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位の応力評価と変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価については、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく余震荷重により算出した応力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。

止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットに生じる変位量を用いて評価する。なお、余震荷重による変位量は設計用地震力による変位量を下回することは明白であることから、添付書類「VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書」にて算定した設計用地震力における最大変位量が、重畳時（津波荷重と余震荷重作用時）の止水ジョイントの許容限界内に収まることを確認する。応力評価及び変形性評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に示す。

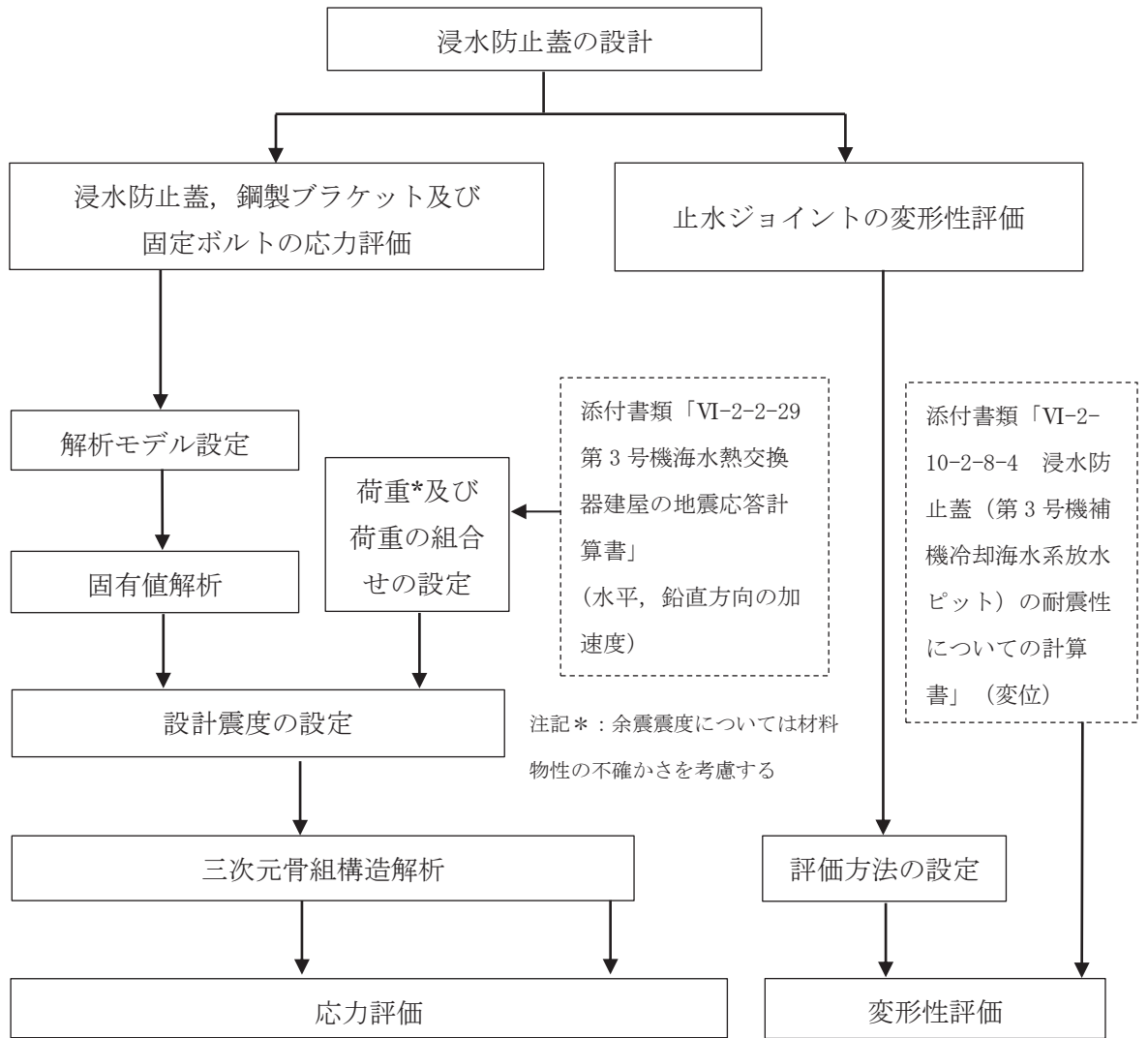


図2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 日本産業規格（J I S）
- (4) 日本建築学会 2018 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 にそれぞれ示す。

表 2-2(1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
S_d	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う余震荷重
S_{dH}	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震荷重
$S_{dH(NS)}$	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向 (N-S) の余震荷重
$S_{dH(EW)}$	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向 (E-W) の余震荷重
S_{dV}	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震荷重
α_H	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度
$\alpha_{H(NS)}$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向 (N-S) の余震震度
$\alpha_{H(EW)}$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向 (E-W) の余震震度
α_V	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度
G	kN	固定荷重
C_D	—	抗力係数
ρ_0	t/m ³	水の密度
U	m/s	流速
g	m/s ²	重力加速度
H	m	評価高さ
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
P_t	kN/m ²	突き上げ津波荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	N・mm	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積
Z	mm ³	浸水防止蓋の断面係数
α	—	平板のモーメントに関する係数

表 2-2(2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
β	—	平板のせん断力に関する係数
w	kN/m ²	浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重
w'	N/mm ² ・mm	浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
l _x	mm	浸水防止蓋の短辺長
t	mm	浸水防止蓋の厚さ
T _d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力
R _n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)
R _m	kN・mm	固定ボルトの支点モーメント
R _s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)
B	mm	照査箇所のボルト間隔 (mm)
N	本	照査箇所の固定ボルトの本数
σ_t	N/mm ²	ハッチの固定ボルト 1 本当りに生じる引張応力度
T _s	kN	ハッチの固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
A _h	mm ²	ハッチの受圧面積
n _s	本	ハッチの固定ボルトの本数
A'	mm ²	ハッチの固定ボルトの有効断面積
τ_s	N/mm ²	ハッチの固定ボルト 1 本当りに生じるせん断応力度
q _s	kN	ハッチの固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、突き上げ津波荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

3.1 応力評価の評価対象部位

応力評価の評価対象部位は、津波荷重及び余震荷重が浸水防止蓋及び鋼製ブラケットに作用し、鋼製ブラケットを固定している固定ボルトを介して躯体に伝達することから、浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトを応力評価の評価対象部位として設定する。

また、浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は締付部（固定ボルト）を介して浸水防止蓋に伝達されることから締付部の固定ボルトを評価対象部位として設定する。

応力評価の評価対象部位について図 3-1 に示す。

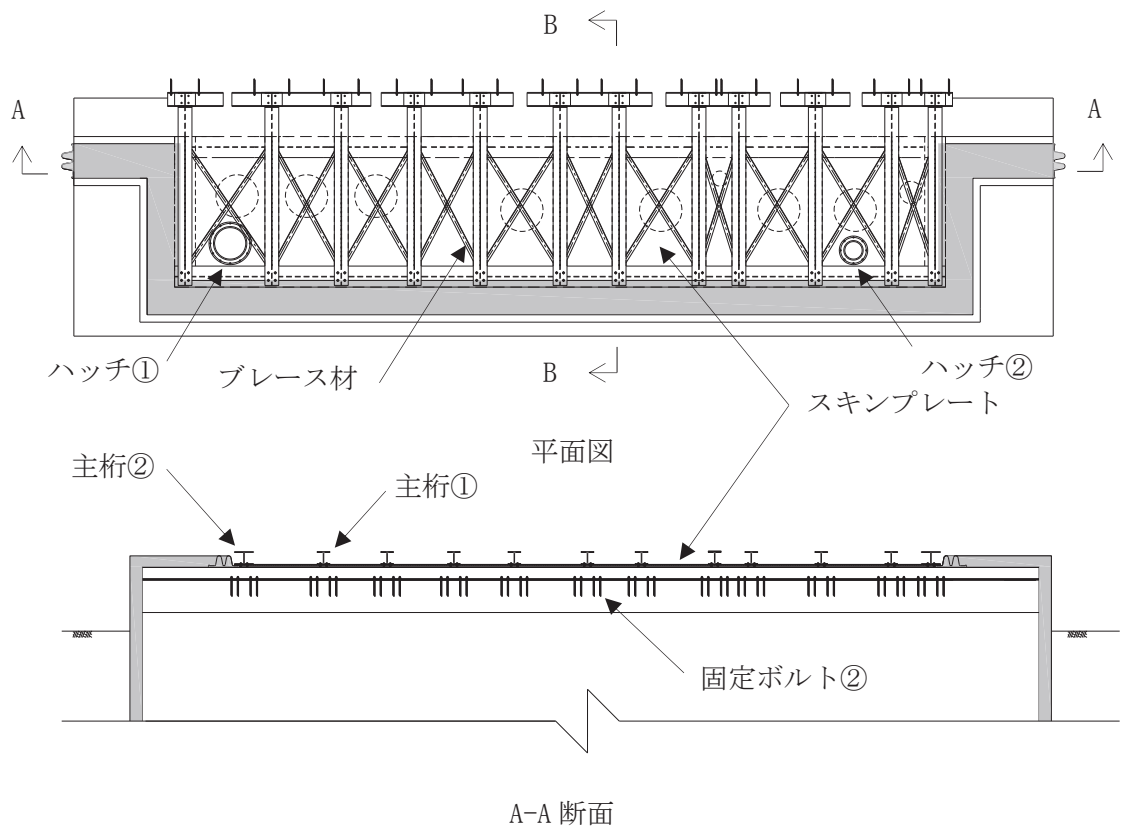


図3-1(1) 評価対象部位 (応力評価)

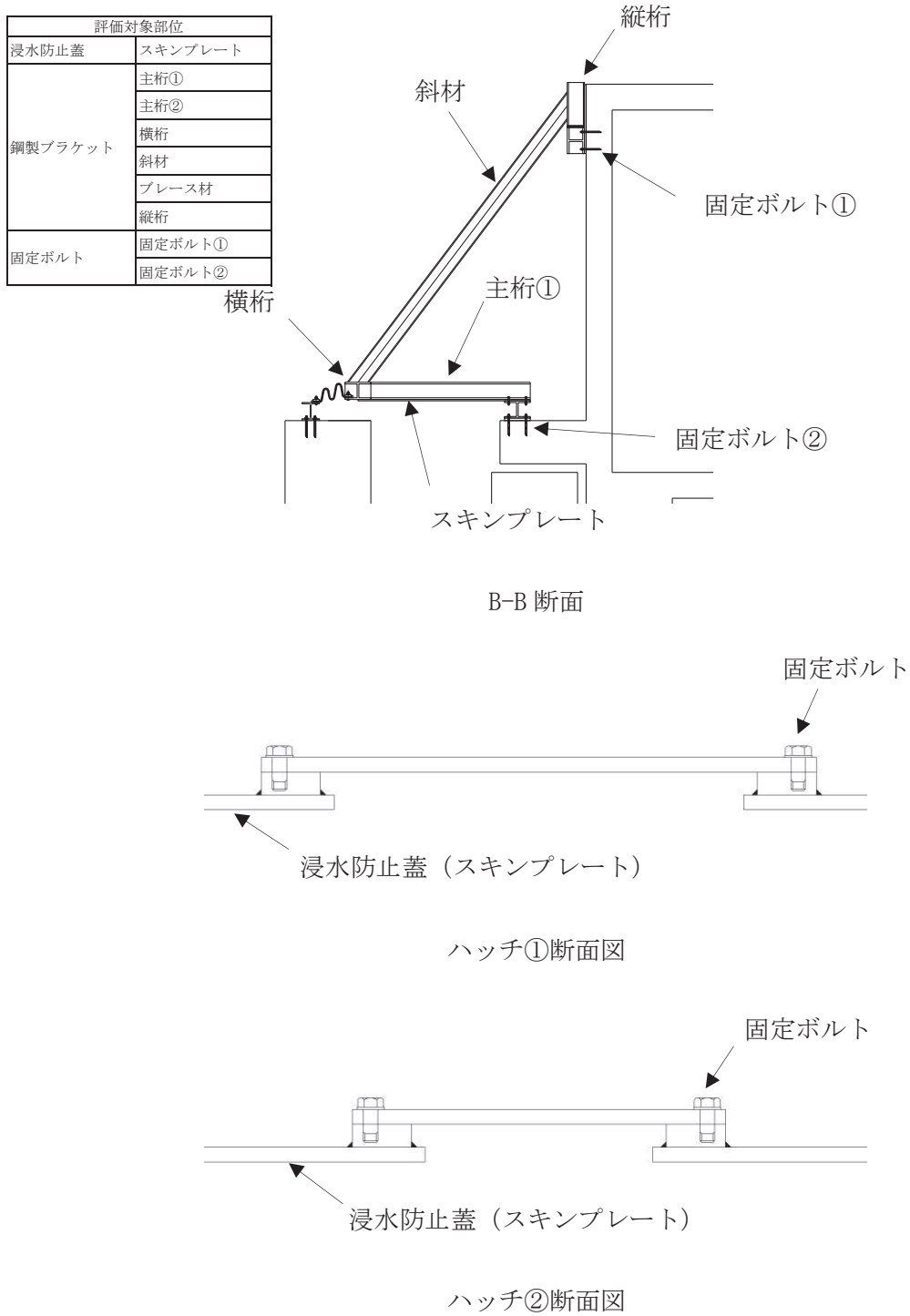
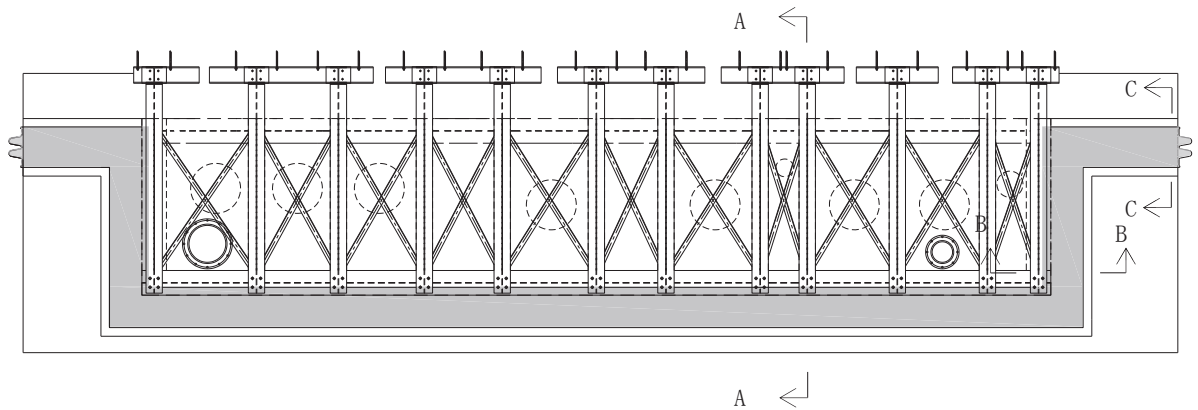


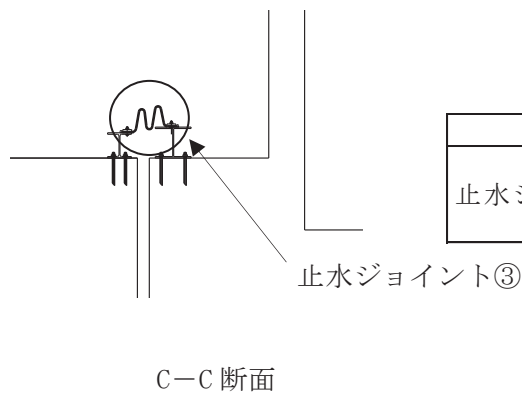
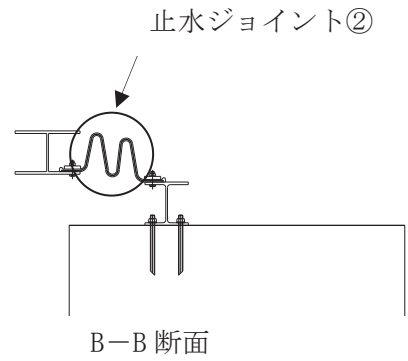
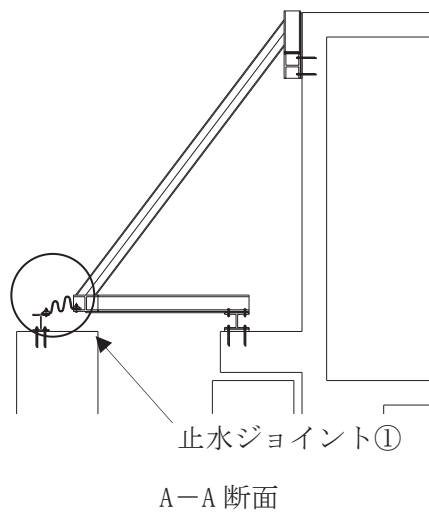
図 3-1(2) 評価対象部位 (応力評価)

3.2 変形性評価の評価対象部位

変形性評価の評価対象部位は、余震に伴う浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの変位が止水ジョイントに作用することから、止水ジョイントを変形性評価の評価対象部位として設定する。変形性評価の評価対象部位について図3-2に示す。



平面図



評価対象部位	
止水ジョイント	止水ジョイント①
	止水ジョイント②
	止水ジョイント③

図3-2 評価対象部位 (変形性評価)

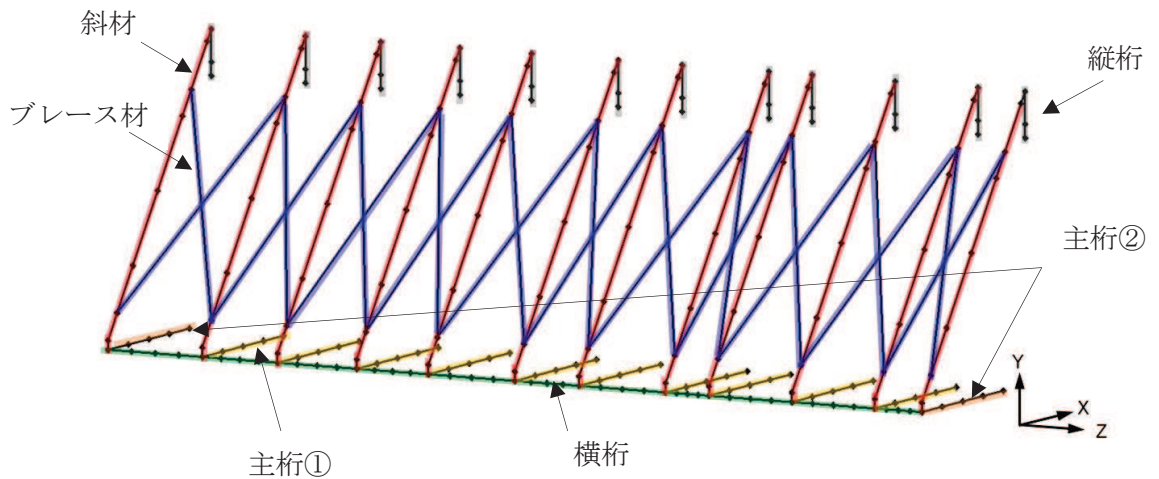
4. 固有値解析

4.1 固有値解析のモデルの設定及び解析手法

浸水防止蓋と鋼製ブラケットは一体化された三次元性を有する構造であることを踏まえ、図4-1に示す三次元フレームモデルにより固有値解析を実施する。

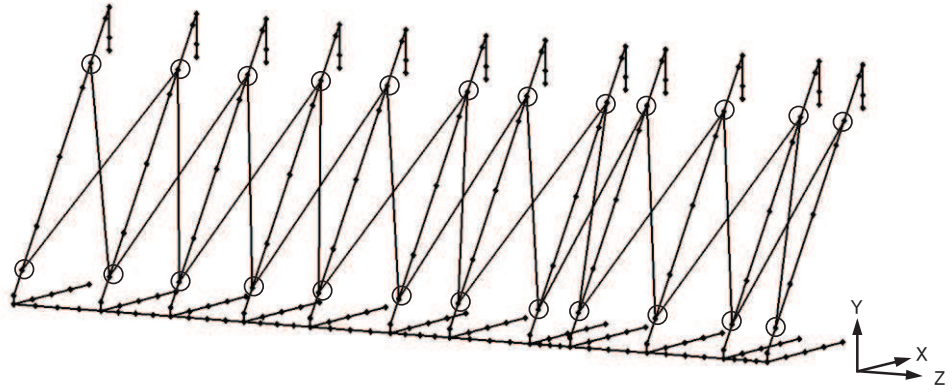
解析コードは「Engineer's StudioVer. 6.00.4」を用いる。

解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



対象部材	材質	断面形状
— : 主桁①	SUS304	H-200×200×20×20
— : 主桁②	SUS304	H-200×300×20×20
— : 斜材	SUS304	H-200×200×8×12
— : 横桁	SUS304	H-200×300×20×20
— : ブレース材	SUS304	L-60×60×5
— : 縦桁	SUS304	H-200×200×8×12

図4-1(1) 固有値解析モデル (1/2)



記号	x	y	z
●	剛結	剛結	剛結
⊙	ピン	ピン	ピン

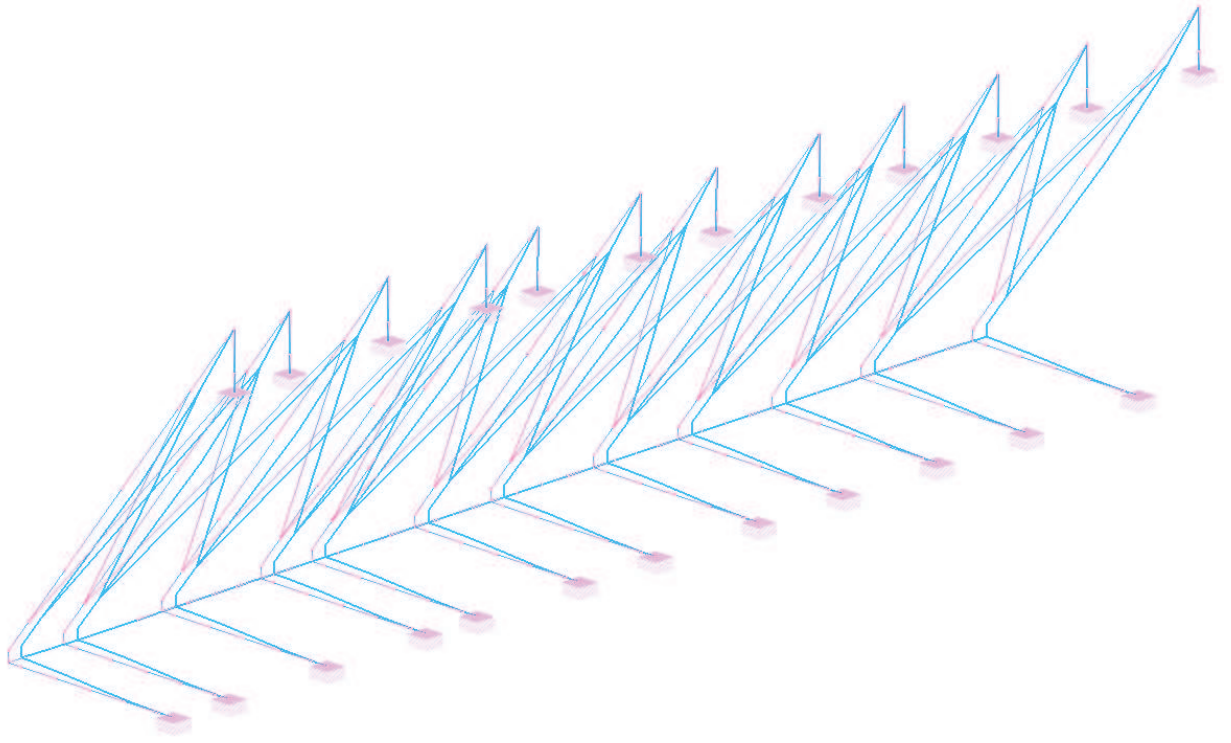
図 4-1(2) 固有値解析モデル (2/2)

4.2 固有振動数の計算結果

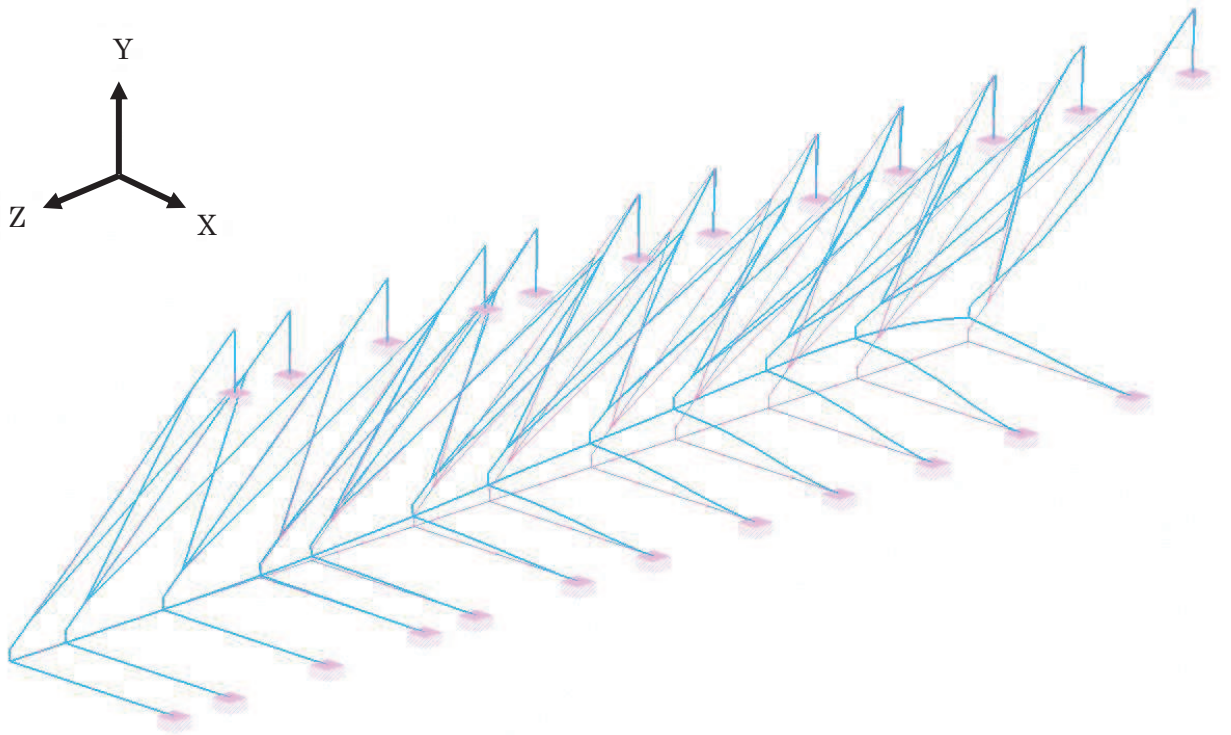
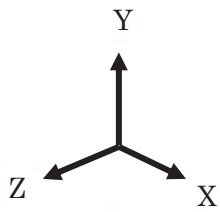
固有振動数の解析結果を表 4-1 及び図 4-2 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-1 固有値解析結果

振動モード 次数	卓越 方向	固有振動数 f (Hz)
1	Z	24.17
38	Y	108.71
95	X	276.20

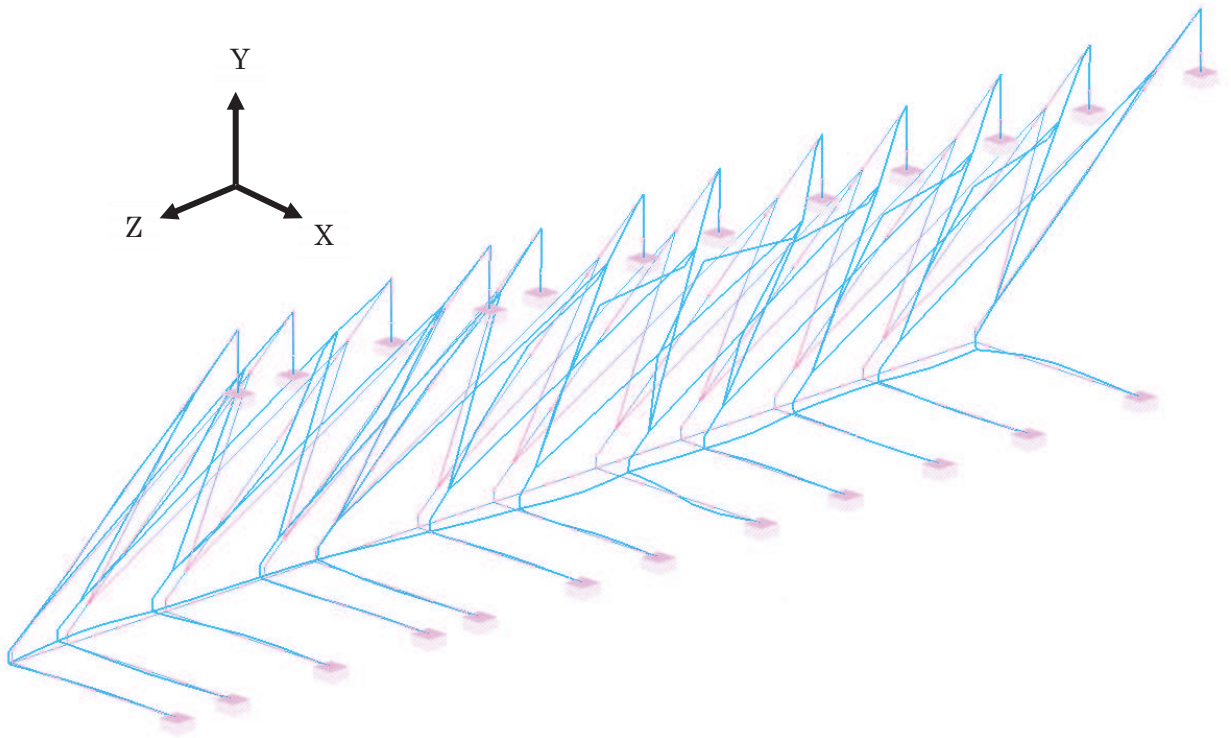


振動モード：1次，固有振動数 24.17Hz



振動モード：38次，固有振動数 108.71Hz

図4-2(1) 固有値解析結果 (1/2)



振動モード：95次，固有振動数 276.20Hz

図4-2(2) 固有値解析結果 (2/2)

5. 構造強度評価

5.1 応力評価方法

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.1.2 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.1.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_t + S_d + P_s$$

ここで、G : 固定荷重(kN)

P_t : 突き上げ津波荷重(kN/m²)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重(kN)

P_s : 積雪荷重(kN)

なお、浸水防止蓋については、鉛直方向の荷重の組合せにおいて、自重及び積雪荷重は鉛直下向きに作用し計算上有利となる事から考慮しない。

(2) 荷重の設定

応力評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

b. 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、浸水防止蓋に作用するものとする。また、評価においては浸水津波荷重を含むものとし、以下の式により算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

ここで、 P_t : 突き上げ津波荷重(kN/m²)

C_D : 抗力係数(=2.01)

ρ_0 : 水の密度(=1.03t/m³)

U : 流速(=1.0m/s)

g : 重力加速度(=9.80665m/s²)

H : 評価高さ

(設計津波水位 O.P. +18.0m—設置位置 O.P. +14.6m=3.4m)

c. 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、P_s : 積雪荷重(kN)

W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)

d_s : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

d. 余震荷重 (S_d)

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D 2 に伴う地震力を考慮する。

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋と鋼製ブラケットを一体として解析した固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、応力評価に用いる設計震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。ここで、地震力は浸水防止蓋の設置位置における水平方向の最大応答加速度から設定する震度を用いて評価するものとし、下記のとおり算出する。

$$S_{dH} = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで、S_{dH} : 弾性設計用地震動 S_d-D 2 の水平方向の余震荷重(kN)

G : 固定荷重(kN)

P_s : 積雪荷重(kN)

α_H : 弾性設計用地震動 S_d-D 2 の水平方向の余震震度

また、表 5-1 のとおり、鉛直方向の余震震度が 1 未満であることから、浸水防止蓋の自重と鉛直方向の地震力を足し合わせた荷重は、突き上げ津波荷重を相殺する向きに作用するため、浸水防止蓋の応力評価においては自重と鉛直方向の地震力を保守的に考慮しないこととする。余震震度を表 5-1 に示す。

表 5-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度		
		水平方向 (N-S) $\alpha_{H(NS)}$	水平方向 (E-W) $\alpha_{H(EW)}$	鉛直方向 α_v
第 3 号機海水 熱交換器建屋	O. P. 14.0	1.58	1.39	0.74

5.1.2 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの使用材料を表 5-2 に示す。

表 5-2 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
浸水防止蓋	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
鋼製ブラケット	主桁①	SUS304	H-200×200×20×20 (mm)
	主桁②	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	横桁	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	斜材	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
	ブレース材	SUS304	L-60×60×5 (mm)
	縦桁	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
固定ボルト	固定ボルト①	SUS304	M20
	固定ボルト②	SUS304	M20
ハッチ①	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	M16
ハッチ②	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	M16

(2) 許容限界

a. 浸水防止蓋，鋼製ブラケット，ハッチ

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及びハッチの許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき表 5-3 の値とする。

表 5-3 浸水防止蓋，鋼製ブラケットの短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SUS304	205	118

b. 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-4 に示す。

なお，固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 5-4 地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

部位	材質	短期許荷重 (kN)	
		引張	せん断
固定ボルト①	SUS304	50.2	35.1
固定ボルト②	SUS304	37.8	18.4

5.1.3 余震荷重

荷重の組合せは、表 5-5 に示すとおり組合せ係数法 (1.0 : 0.4) により評価する。

表 5-5 荷重の組合せ

ケース No.	荷重の組合せ
1	$G + P_s + 1.0 S d_{H(NS)} + 0.4 S d_v$
2	$G + P_s + 1.0 S d_{H(NS)} - 0.4 S d_v$
3	$G + P_s - 1.0 S d_{H(NS)} + 0.4 S d_v$
4	$G + P_s - 1.0 S d_{H(NS)} - 0.4 S d_v$
5	$G + P_s + 0.4 S d_{H(NS)} + 1.0 S d_v$
6	$G + P_s - 0.4 S d_{H(NS)} + 1.0 S d_v$
7	$G + P_s + 0.4 S d_{H(NS)} - 1.0 S d_v$
8	$G + P_s - 0.4 S d_{H(NS)} - 1.0 S d_v$
9	$G + P_s + 1.0 S d_{H(EW)} + 0.4 S d_v$
10	$G + P_s + 1.0 S d_{H(EW)} - 0.4 S d_v$
11	$G + P_s - 1.0 S d_{H(EW)} + 0.4 S d_v$
12	$G + P_s - 1.0 S d_{H(EW)} - 0.4 S d_v$
13	$G + P_s + 0.4 S d_{H(EW)} + 1.0 S d_v$
14	$G + P_s - 0.4 S d_{H(EW)} + 1.0 S d_v$
15	$G + P_s + 0.4 S d_{H(EW)} - 1.0 S d_v$
16	$G + P_s - 0.4 S d_{H(EW)} - 1.0 S d_v$

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

$S d_{H(NS)}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向 (N-S) の余震荷重
 $((G + P_s) \times \alpha_{H(NS)})$ (kN)

$S d_{H(EW)}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向 (E-W) の余震荷重
 $((G + P_s) \times \alpha_{H(EW)})$ (kN)

$S d_v$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震荷重
 $((G + P_s) \times \alpha_v)$ (kN)

5.1.4 計算方法

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及び固定ボルトに発生する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋は図 5-1 に示すとおり主桁間に分割して設置することから三辺固定スラブモデルとして断面力を算出する。評価箇所は図 5-1 に示すとおり，断面力が大きいと考えられる主桁間の幅が最大の箇所とする。浸水防止蓋に作用する等分布荷重（鉛直震度含む）が作用している板に発生する曲げ応力およびせん断応力は「日本建築学会 2018 年鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（図 5-2）より算出する。

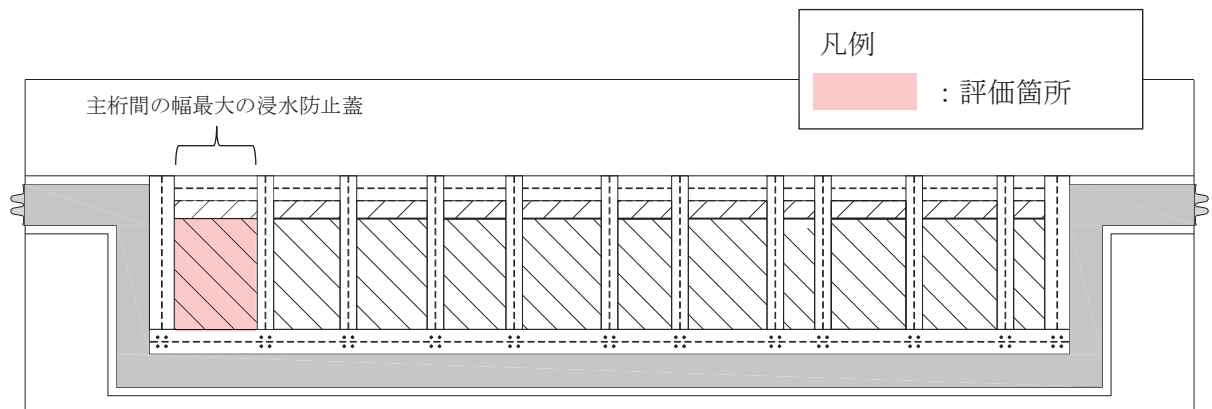


図 5-1 浸水防止蓋の評価箇所

- a. 浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重 w

$$w = P t$$

ここで， $P t$: 突き上げ津波荷重 (kN/m^2)

- b. 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重 w'

$$w' = w / 1000$$

ここで， w' : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重 ($\text{N}/\text{mm}^2 \cdot \text{mm}$)

c. 最大曲げ応力 σ

求めた曲げモーメントのうち最大となる曲げモーメントについて、以下の式にて最大曲げ応力を算出する。

$$M = \alpha \cdot w' \cdot l_x^2$$

ここで、

M	:	最大モーメント (N・mm)
α	:	平板のモーメントに関する係数
w'	:	浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重 (N/mm ² ・mm)
l_x	:	浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\sigma = M / Z$$

ここで、

σ	:	最大曲げ応力 (N/mm ²)
M	:	最大曲げモーメント (N・mm)
Z	:	スキンプレートの断面係数 (mm ³)

d. 最大せん断応力 τ

求めたせん断力のうち最大となるせん断力について、以下の式にてせん断応力度を算出する。

$$Q = \beta \cdot w' \cdot l_x$$

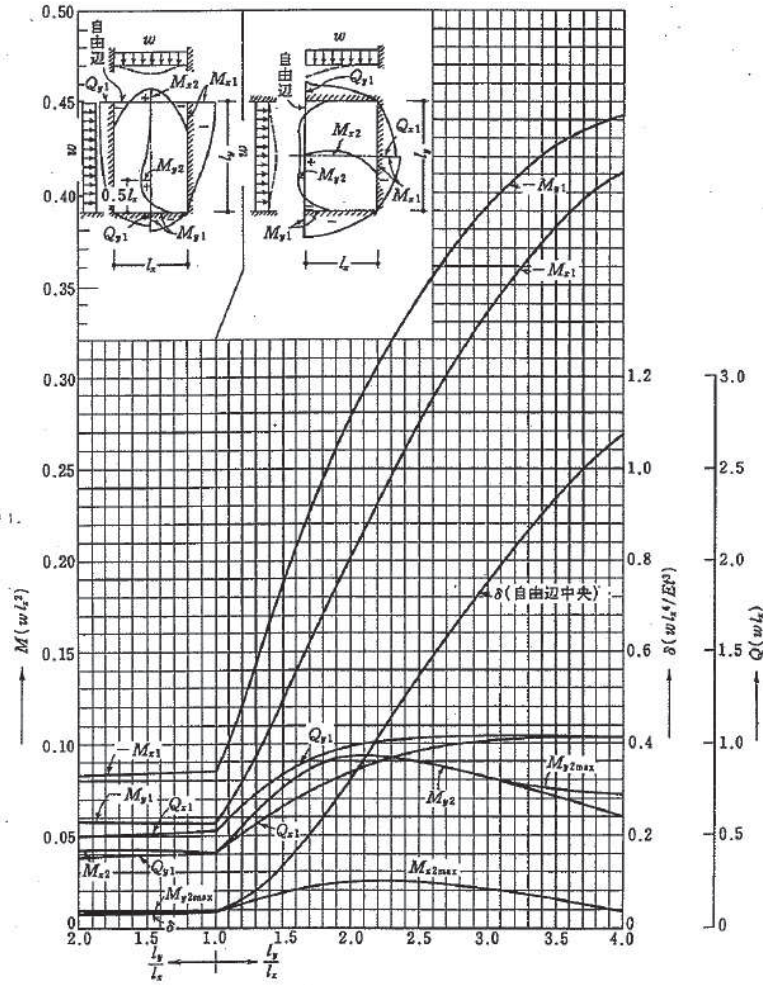
ここで、

Q	:	せん断力 (N)
β	:	平板のせん断に関する係数
w'	:	浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重 (N/mm)
l_x	:	浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

τ	:	最大せん断応力度 (N/mm ²)
Q	:	最大せん断力 (N)
A_s	:	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積 (mm ²)



付図 15.3 等分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ δ^0 ($v=0$)

図 5-2 応力算出図

e. 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検討

浸水防止蓋に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
- σ : 最大曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)

(2) 鋼製ブラケット

鋼製ブラケットの応力評価に用いるモデルは固有値解析を行ったモデルと同一とし、鋼製ブラケットの計算には解析コード「Engineer's Studio Ver. 6.00.4」を使用して評価部位に生じる断面力を求める。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。モデルに入力する荷重は、「5.1.1 荷重及び荷重の組合せ」に示すとおりである。

(3) 固定ボルト

鋼製ブラケットの解析により得られる固定ボルト部の応力により、固定ボルトに作用する応力度を求め、許容限界以下であることを確認する。なお、固定ボルト①の照査箇所のボルト本数は4本であり、また固定ボルト②の照査箇所のボルト本数は8本である。

a. 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = R_n / N + R_m / B \cdot (N / 2)$$

ここで、 T_d : 固定ボルト1本当りに作用する引張力 (kN)
 R_n : 固定ボルトの支点反力 (引張) (kN)
 N : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)
 R_m : 固定ボルトの支点モーメント (kN・mm)
 B : 照査箇所のボルト間隔 (mm)

b. 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = R_s / N$$

ここで、 q : 固定ボルト1本当りに作用するせん断力 (kN)
 R_s : 固定ボルトの支点反力 (せん断) (kN)
 N : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

(4) ハッチ

固定ボルトに作用する荷重を以下の式により算出する。

なお、固定ボルト①の照査箇所のボルト本数は 12 本であり、また固定ボルト②の照査箇所のボルト本数は 8 本である。

a. 固定ボルト 1 本当りに生じる鉛直方向の引張応力度 σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

$$T_s = P_t \cdot A_h \cdot 10^{-6} / n_s$$

ここで、 σ_t : ハッチの固定ボルト 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_s : ハッチの固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

A_h : ハッチの受圧面積 (mm²)

n_s : ハッチの固定ボルトの本数 (本)

A' : ハッチの固定ボルトの有効断面積 (mm²)

b. 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重 S d_{H(NS)}

$$S d_{H(NS)} = (G + P_s) \cdot \alpha_{H(NS)}$$

ここで、 $S d_{H(NS)}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向 (N-S) の余震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_{H(NS)}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向 (N-S) の余震震度

c. 固定ボルト 1 本当りに生じるせん断応力度 τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、 $q_s = S d_{H(NS)} / n_s$

τ_s : ハッチの固定ボルト 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm²)

q_s : ハッチの固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

$S d_{H(NS)}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向 (N-S) の余震荷重 (kN)

n_s : ハッチの固定ボルトの本数 (本)

A' : ハッチの固定ボルトの有効断面積 (mm²)

5.1.5 計算条件

浸水防止蓋の応力評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋 (スキンプレート)	A_s	mm^2	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積	16
	α	—	平板のモーメントに関する係数	0.085
	β	—	平板のせん断に関する係数	0.55
	l_x	mm	浸水防止蓋の短辺長(mm)	1250
	A	m^2	浸水防止蓋の面積	1.86
	Z	mm^3	浸水防止蓋の断面係数	42.67
固定ボルト①	R_n	kN	固定ボルトの支点反力(引張)	11.4
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	2935
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力(せん断)	36.9
	B	mm	照査箇所のボルト間隔	200
	N	本	照査箇所の固定ボルトの本数	4
固定ボルト②	R_n	kN	固定ボルトの支点反力(引張)	40.7
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	19197
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力(せん断)	39.6
	B	mm	照査箇所のボルト間隔	200
	N	本	照査箇所の固定ボルトの本数	8
ハッチ①	T_s	N	固定ボルト1本当りに作用する引張力	0.752
	P_t	kN/m^2	突き上げ津波荷重	35.378
	A_h	mm^2	ハッチの受圧面積	255176
	n_s	本	固定ボルトの本数	12
	A'	mm^2	固定ボルトの有効断面積	157
ハッチ②	T_s	N	固定ボルト1本当りに作用する引張力	0.475
	P_t	kN/m^2	突き上げ津波荷重	35.378
	A_h	mm^2	ハッチの受圧面積	107521
	n_s	本	固定ボルトの本数	8
	A'	mm^2	固定ボルトの有効断面積	157

5.2 変形性評価方法

止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットに生じる変位量を用いて評価する。

余震荷重による変位量は設計用地震力による変位量を下回ることは明白であることから、添付書類「VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書」にて算定した設計用地震力による最大変位量が、重畳時（津波荷重と余震荷重作用時）の止水ジョイントの許容限界内に収まることを確認する。

5.2.1 許容限界

重畳時（津波荷重と余震荷重作用時）の止水ジョイント部材の変形量の許容限界は、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。表5-7に重畳時（津波荷重と余震荷重作用時）の止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

表5-7 重畳時（津波荷重と余震荷重作用時）の止水ジョイント部材の変形量の許容限界

	許容限界 (mm)	
	開き方向	せん断方向
変形量	350	350

5.2.2 設計用地震力における最大変位量

添付書類「VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書」にて算定した設計用地震力による最大変位量を表5-8に示す。

表5-8 設計用地震力による最大変位量

区分		地震時最大変位量 (mm)		
		第3号機海水熱交換器建屋	第3号機補機冷却海水系放水ピット	評価用変位量
止水ジョイント①	開き方向	20	52	72
	せん断方向	21	137	158
止水ジョイント②	開き方向	21	137	158
	せん断方向	20	52	72
止水ジョイント③	開き方向	20	52	72
	せん断方向	21	137	158

6. 評価結果

浸水防止蓋の応力評価結果を表 6-1 に，変形性評価結果を表 6-2 に示す。全ての部材において発生応力，応力度又は変形量が許容限界以下であることを確認した。

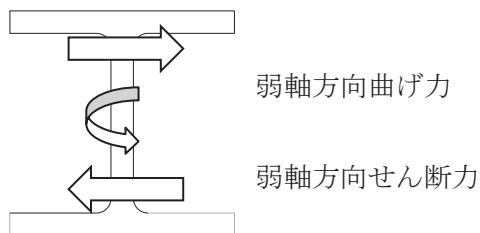
表 6-1(1) 応力評価結果（浸水防止蓋）（1/5）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水防止蓋	曲げ	111	N/mm ²	205	N/mm ²	0.55 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	112	N/mm ²	205	N/mm ²	0.55 < 1.0

表 6-1(2) 応力評価結果（鋼製ブラケット 弱軸方向）（2/5）

評価対象部位		発生値（弱軸方向*） （応力度又は荷重）		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	28	N/mm ²	205	N/mm ²	0.14 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	29	N/mm ²	205	N/mm ²	0.15 < 1.0
主桁②	曲げ	29	N/mm ²	205	N/mm ²	0.15 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	30	N/mm ²	205	N/mm ²	0.15 < 1.0
斜材	曲げ	20	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	205	N/mm ²	0.11 < 1.0
横桁	曲げ	19	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	20	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0
ブレース材	曲げ	8	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
縦桁	曲げ	15	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	16	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0

注記*：H鋼の弱軸について

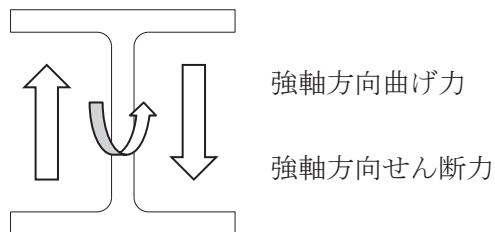


ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一樣

表 6-1(3) 応力評価結果 (鋼製ブラケット 強軸方向) (3/5)

評価対象部位		発生値 (強軸方向*) (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	30	N/mm ²	205	N/mm ²	0.15 < 1.0
	せん断	13	N/mm ²	118	N/mm ²	0.12 < 1.0
	組合せ	38	N/mm ²	205	N/mm ²	0.19 < 1.0
主桁②	曲げ	18	N/mm ²	205	N/mm ²	0.09 < 1.0
	せん断	11	N/mm ²	118	N/mm ²	0.10 < 1.0
	組合せ	27	N/mm ²	205	N/mm ²	0.14 < 1.0
斜材	曲げ	15	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	16	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0
横桁	曲げ	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	118	N/mm ²	0.05 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	205	N/mm ²	0.05 < 1.0
ブレース材	曲げ	8	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
縦桁	曲げ	12	N/mm ²	205	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	9	N/mm ²	118	N/mm ²	0.08 < 1.0
	組合せ	20	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0

注記* : H鋼の強軸について



ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一樣

表 6-1(4) 応力評価結果 (固定ボルト) (4/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
固定ボルト①	引張	10.2	kN	50.2	kN	0.21 < 1.0
	せん断	9.3	kN	35.1	kN	0.27 < 1.0
	組合せ	—		—		0.12 < 1.0
固定ボルト②	引張	29.1	kN	37.8	kN	0.77 < 1.0
	せん断	5.0	kN	18.4	kN	0.28 < 1.0
	組合せ	—		—		0.67 < 1.0

表 6-1(5) 応力評価結果 (ハッチ部固定ボルト) (5/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ハッチ①	引張	4.8	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	0.4	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	—		—		0.03 < 1.0
ハッチ②	引張	3.1	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	0.3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	—		—		0.02 < 1.0

表 6-2 変形性評価結果

評価対象部位		地震時 最大変位量 (mm)		地震時 相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
		第3号機海水 熱交換器建屋	第3号機補機冷却 海水系放水ピット	評価用 変位量	
止水ジョイント①	開き方向	20	52	72	350
	せん断方向	21	137	158	350
止水ジョイント②	開き方向	21	137	158	350
	せん断方向	20	52	72	350
止水ジョイント③	開き方向	20	52	72	350
	せん断方向	21	137	158	350

VI-3-別添3-2-7-3 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の
強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価対象部位及び評価対象設備.....	8
4. 構造強度評価	10
4.1 構造強度評価方法	10
4.2 荷重及び荷重の組合せ	10
4.3 許容限界	13
4.4 評価方法	15
4.5 評価条件	26
5. 評価結果	30

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No.1)，(No.2)（以下、「浸水防止蓋」という。）が津波の冠水に伴う突き上げ荷重及び余震を考慮した荷重に対して津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の設置された敷地に浸水することを防止するために、十分な構造健全性を有していることを説明するものである。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリアの床面に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

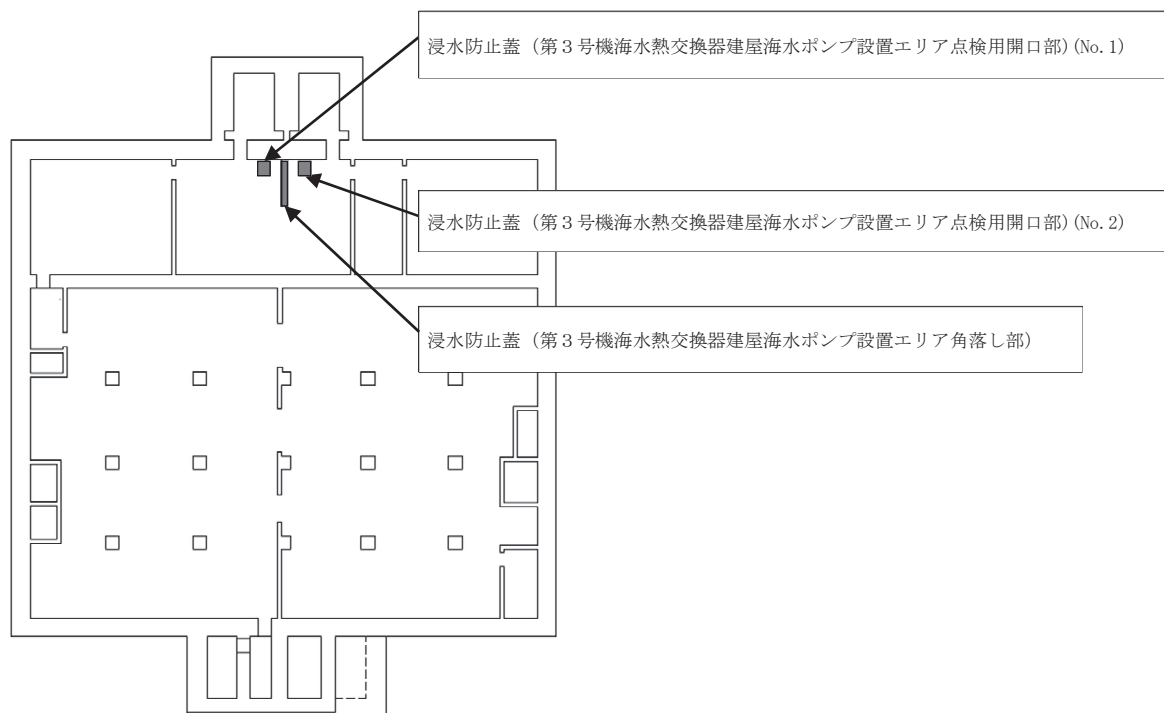


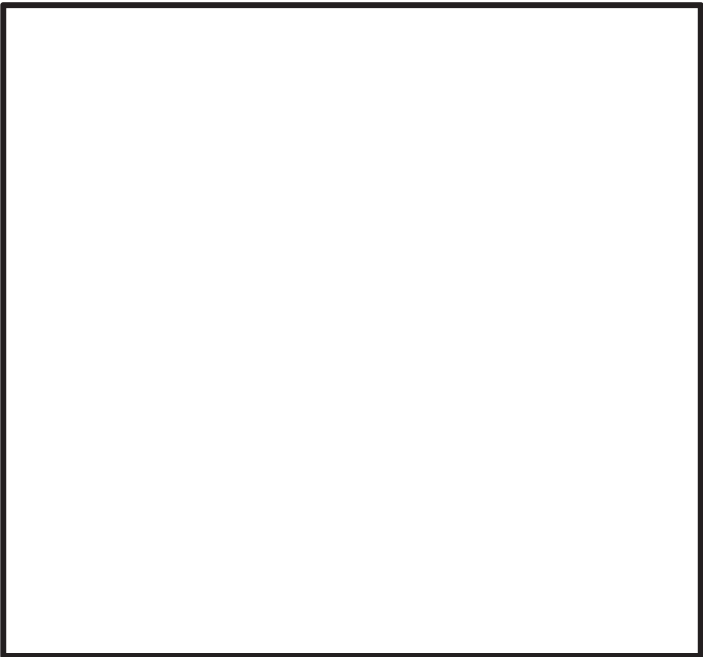
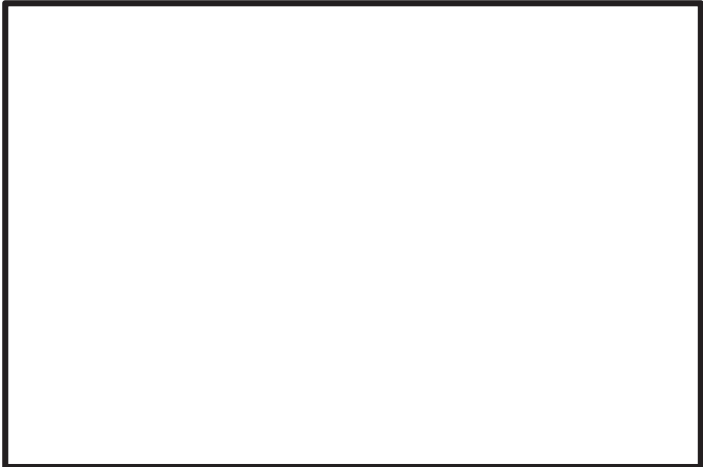
図2-1 浸水防止蓋の設置位置図
(第3号機海水熱交換器建屋 地下中2階)

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形又は正方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼又は鋼板）を組合せた構造とする。

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	
		<p>浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）</p>
		
		<p>浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位において、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に記す。

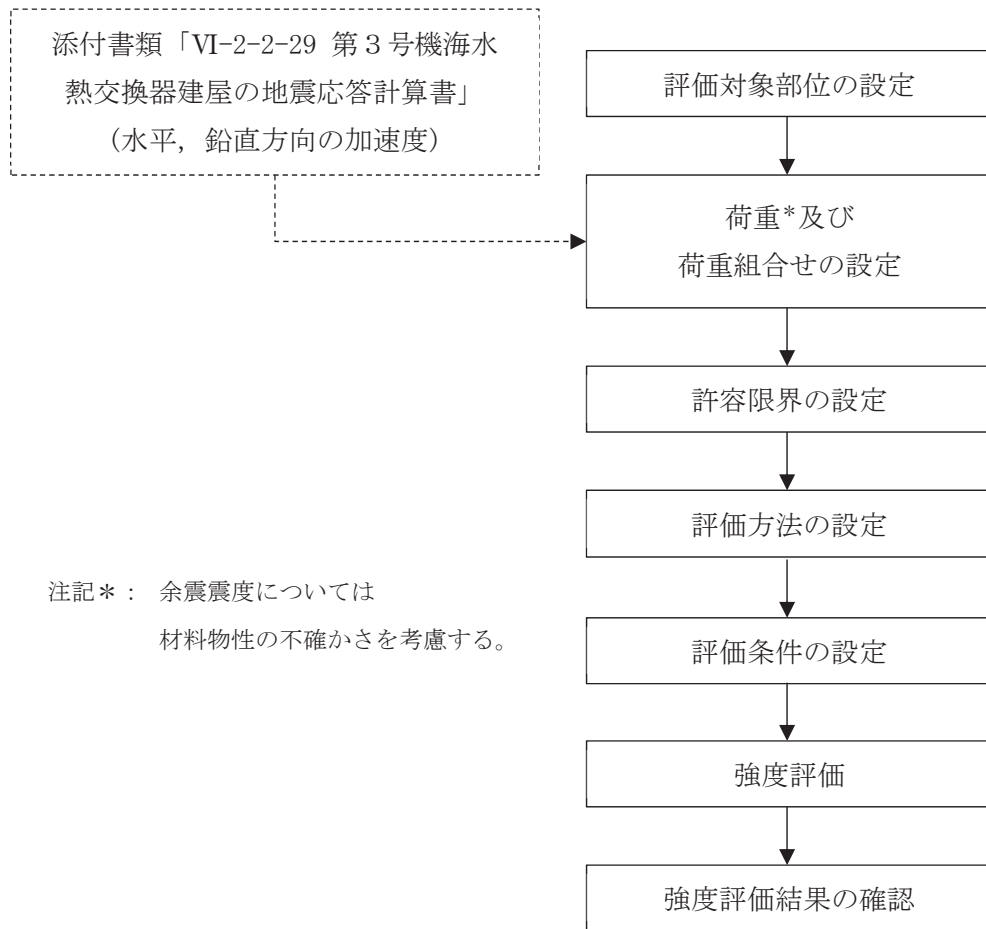


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 機械工学便覧（日本機械学会）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
S_d	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う余震荷重
α_H	-	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う水平方向の余震荷重
α_V	-	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う鉛直方向の余震震度
P_t	kN/m ²	突き上げ津波荷重
C_D	-	抗力係数
U	m/s	流速
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	評価高さ
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	主桁のせん断断面積
Z	mm ³	主桁の断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_4	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
L_5	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ
L_6	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ
β_1	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ
G	kN	固定荷重
ρ_0	t/m ³	水の密度

表 2-2 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	記号の説明
N	本	固定ボルト (2) の本数
T_d	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
T_s	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力
q_s	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力
σ_t	N/mm ²	固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
τ_s	N/mm ²	固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
A'	mm ²	固定ボルト (1) の有効断面積
n_s	本	固定ボルト (1) の本数
σ_f	N/mm ²	枠下フランジに生じる最大曲げ応力度
M_f	kN・m	枠下フランジに作用する最大曲げモーメント
Z_f	mm ³	枠下フランジの断面係数
L_7	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離
Q_w	kN	枠ウェブに作用する最大せん断力
τ_w	N/mm ²	枠ウェブに生じる最大せん断応力度
T_w	kN	鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力
σ_{tw}	N/mm ²	鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに生じる引張応力度
A_w	mm ²	枠ウェブの断面積
A_{sw}	mm ²	枠ウェブのせん断断面積
P_v	kN/m ²	弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重
τ_f	N/mm ²	枠下フランジに生じる最大せん断応力度
A_f	mm ²	枠下フランジのせん断断面積
T_a	kN	固定ボルト (2) の短期許容引張荷重
q_a	kN	固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重
σ_b	N/mm ²	ベースプレートに生じる最大曲げ応力度
M_b	kN・m	ベースプレートに作用する最大曲げモーメント
Z_b	mm ³	ベースプレートの断面係数
L_8	mm	ベースプレートの評価長さ
B	mm	ベースプレートの有効幅
t_b	mm	ベースプレートの板厚
τ_b	N/mm ²	ベースプレートに生じる最大せん断応力度
Q_b	kN	ベースプレートに作用する最大せん断力
A_{sb}	mm ²	ベースプレートのせん断断面積

3. 評価対象部位及び評価対象設備

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、突き上げ津波荷重及び余震荷重の伝達過程を考慮し設定する。また、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)は構成部材の寸法，規格が等しく，評価結果が変わらないことから，浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)を評価対象設備とする。

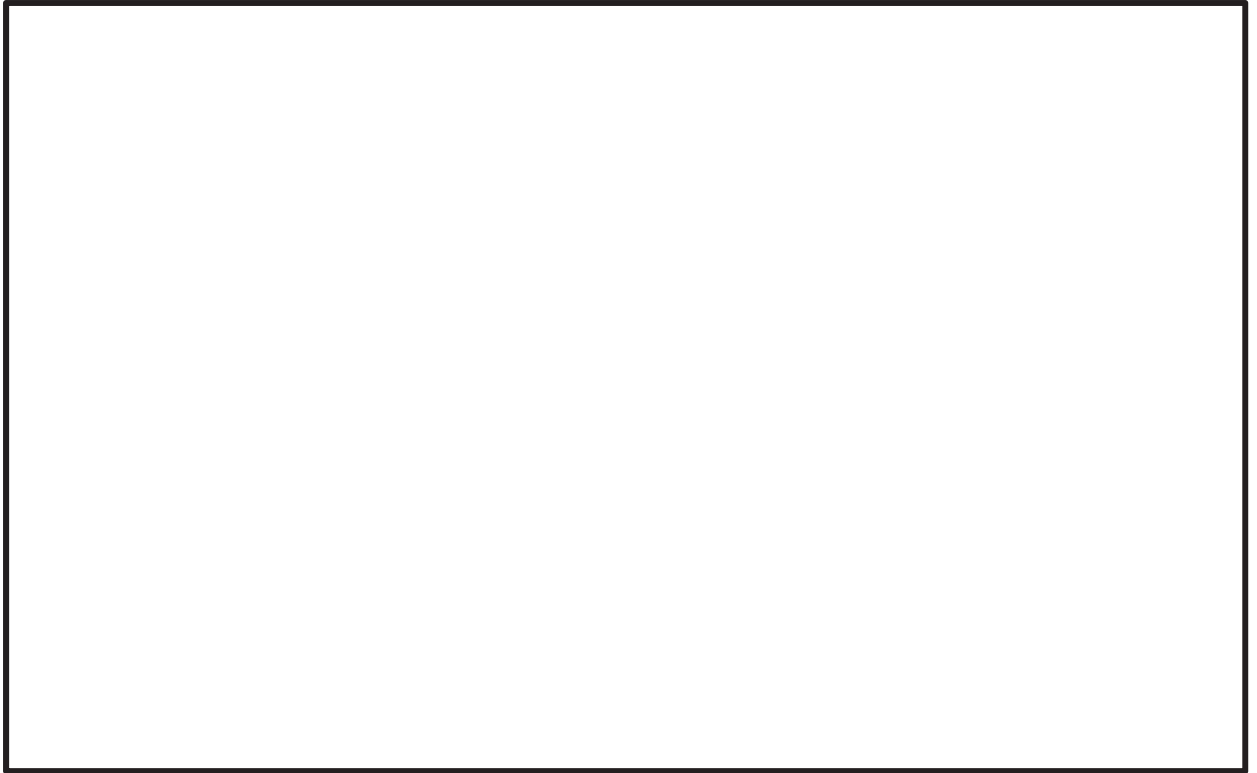
浸水防止蓋の評価対象部位は，津波荷重及び余震荷重が浸水防止蓋のスキンプレート，主桁，固定ボルト（1），枠及びベースプレートに伝わり，浸水防止蓋を固定する固定ボルト（2）を介して躯体に伝達されることから，浸水防止蓋の評価対象部位は，スキンプレート，主桁，固定ボルト（1），固定ボルト（2），枠及びベースプレートとし，評価対象部位を図3-1に示す。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）

図3-1 評価対象部位（1/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No.1），（No.2）

図3-1 評価対象部位（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位に生じる応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_t + S_d + P_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

S_d : 余震荷重 (弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ に伴う地震力) (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

なお、鉛直方向の荷重の組合せにおいては、自重及び積雪荷重は鉛直下向きに作用し計算上有利となる事から考慮しない。

4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、浸水防止蓋に作用するものとする。また、評価においては浸水津波荷重を含むものとし、以下の式により算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

ここで、 P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

C_D : 抗力係数 (=2.01)

ρ_0 : 水の密度 (t/m³)

U : 流速 (=1.0m/s)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

H : 評価高さ (mm)

(設計津波水位 O.P. +19500mm - 設置位置 O.P. +2000mm = 17500mm)

(3) 積雪荷重 (P s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、P s : 積雪荷重(kN)

W s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)

d s : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(4) 余震荷重 (S d)

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う動水圧荷重を考慮する。

なお、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。余震震度を表 4-1 に示す。ここで、地震力は浸水防止蓋の設置位置における水平方向の最大応答加速度から設定する震度を用いて評価するものとし、下記のとおり算出する。

$$S_d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで、S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重(kN)

G : 固定荷重(kN)

P s : 積雪荷重(kN)

α_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震震度

表 4-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度	
		水平 α_H	鉛直 α_V
第 3 号機海水 熱交換器建屋 MB 2 F	0. P. 2. 0	1. 17	0. 64

また、表 4-1 のとおり、鉛直方向の余震震度が 1 未満であることから、浸水防止蓋の自重と鉛直方向の地震力を足し合わせた荷重は、突き上げ津波荷重を相殺する向きに浸水防止蓋に作用するため、強度評価においては浸水防止蓋の自重と鉛直方向の地震力を保守的に考慮しないこととする。

動水圧荷重は、浸水防止蓋の設置位置における鉛直方向の最大応答加速度から設定する震度、水の密度及び評価高さを用いて評価するものとし、下記のとおり算出する。

$$P_v = \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

ここで、 P_v : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m²)

ρ_0 : 水の密度 (t/m³)

α_v : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の余震震度

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

H : 評価高さ (mm)

(設計津波水位 0. P. +19500mm - 設置位置 0. P. +2000mm = 17500mm)

4.3 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定した部位に対し、「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成するスキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、枠及びベースプレートの使用材料を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料

設備名称	評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	主桁	SUS304	C-80×40×5×5 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M16
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	ベースプレート	SUS304	t = 19 (mm)
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)	スキンプレート	SUS304	t = 12 (mm)
	主桁	SUS304	PL-16×150 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M30
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	枠	SUS304	H-150×150×7×10 (mm)
	ベースプレート	SUS304	t = 19 (mm)

4.3.2 許容限界

- (1) スキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、枠、ベースプレート

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」を踏まえて表 4-3 の値とする。

表 4-3 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ	引張	せん断
SUS304	205	205	118

注：許容応力度を決定する場合の基準値 F は、日本産業規格 (J I S) に基づく。

(2) 固定ボルト (2)

固定ボルト (2) の許容荷重は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」に記載した固定ボルト (2) に作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

突き上げ津波荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の許容荷重を表 4-4 に示す。

なお、固定ボルト (2) は躯体に埋め込まれていることから、固定ボルト (2) が引張力を受ける場合においては、固定ボルト (2) の降伏により決まる許容荷重、付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、固定ボルト (2) がせん断力を受ける場合においては、固定ボルト (2) のせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 固定ボルト (2) の短期許容荷重

設備名称	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	SUS304	32.1	22.3
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)		32.1	22.5

4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する主桁、スキンプレート、固定ボルト (1)、枠及びベースプレートに発生する応力度並びに固定ボルト (2) に発生する応力が、許容限界以下であることを確認する。

主桁とスキンプレートについては、箇所によって評価結果に差異が生じることから、図 4-1 及び図 4-2 にそれぞれ評価の対象とする主桁、スキンプレートを示す。

また、図 4-3 に、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、枠及びベースプレートの納まりを示す。

4.4.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 4-1 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

- (1) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 W_{ss}'

$$W_{ss}' = (P_t + P_v) \cdot L_1 \cdot 10^{-3}$$

ここで、 W_{ss}' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

P_v : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m²)

L_1 : 主桁の負担幅 (mm)

- (2) 主桁に生じる最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 主桁に生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁に生じる最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁のせん断断面積 (mm²)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{ss}' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

W_{ss}' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁全長 (mm)

- (3) 主桁に生じる最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 主桁に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

ここで、 $M = 1/8 \cdot W_{ss}' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

W_{ss}' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に生じる組合せ応力度 x

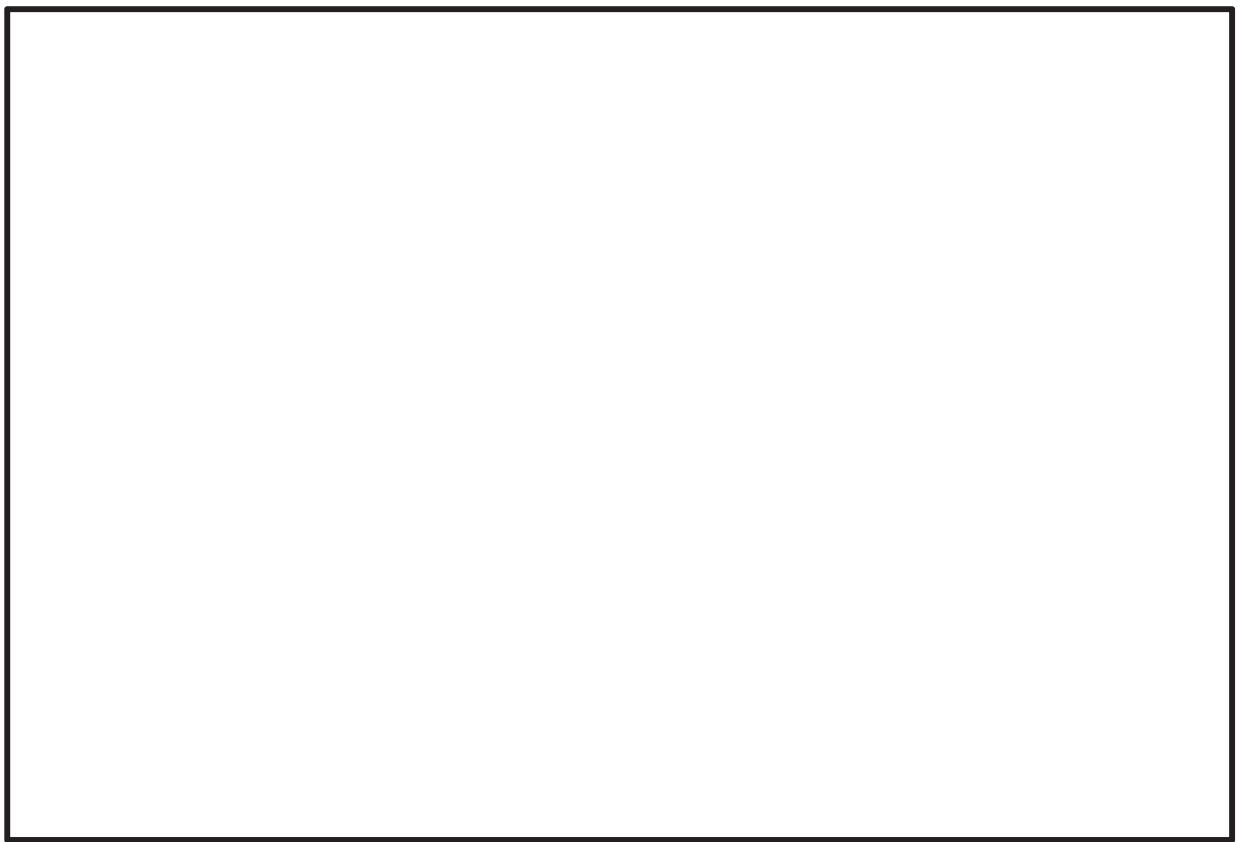
主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 4-1 評価の対象とする主桁

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4.2 スキンプレート

図4-2に示すとおり、スキンプレートが荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

- (1) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = P_t + P_v$$

ここで、 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m²)

P_t : 突き上げ津波荷重(kN/m²)

P_v : 弾性設計用地震動Sd-D2に伴う鉛直方向の動水圧荷重(kN/m²)

- (2) スキンプレートに生じる最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = \beta_1 \cdot W_{ss} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに生じる最大曲げ応力度(N/mm²)

W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m²)

L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

β_1 : スキンプレートの辺長比に応じた係数

t : スキンプレートの厚さ(mm)

- (3) スキンプレートに生じる最大せん断応力度 τ

$$\tau = W_{ss} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / \{2 \cdot (L_3 + L_4) \cdot t\}$$

ここで、 τ : スキンプレートに生じる最大せん断応力度(N/mm²)

W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m²)

L_3 : スキンプレートの支持長辺長さ(mm)

L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

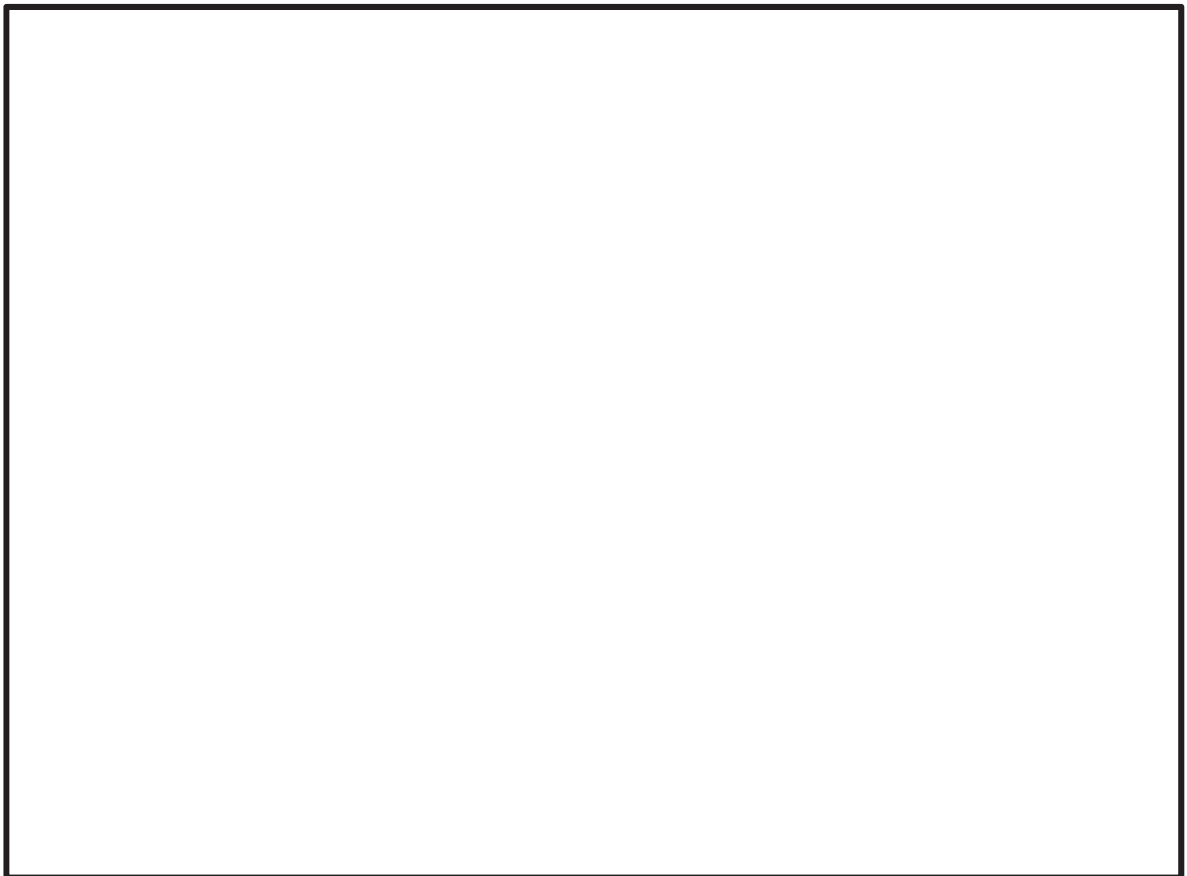
t : スキンプレートの厚さ(mm)

(4) スキンプレートに生じる組合せ応力度 x

スキンプレートに生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。またスキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで， x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 σ : 最大曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 4-2 評価の対象とするスキンプレート

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4.3 固定ボルト (1)

- (1) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる鉛直方向の引張応力度
- σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

$$T_s = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-6} / n_s$$

ここで, σ_t : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

P_v : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m²)

L_5 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

L_6 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

n_s : 固定ボルト (1) の本数 (本)

A' : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm²)

- (2) 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重 S d

$$S d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで, S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P s : 積雪荷重 (kN)

α_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震震度

- (3) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
- τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで, $q_s = S d / n_s$

τ_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm²)

q_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

n_s : 固定ボルト (1) の本数 (本)

A' : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm²)

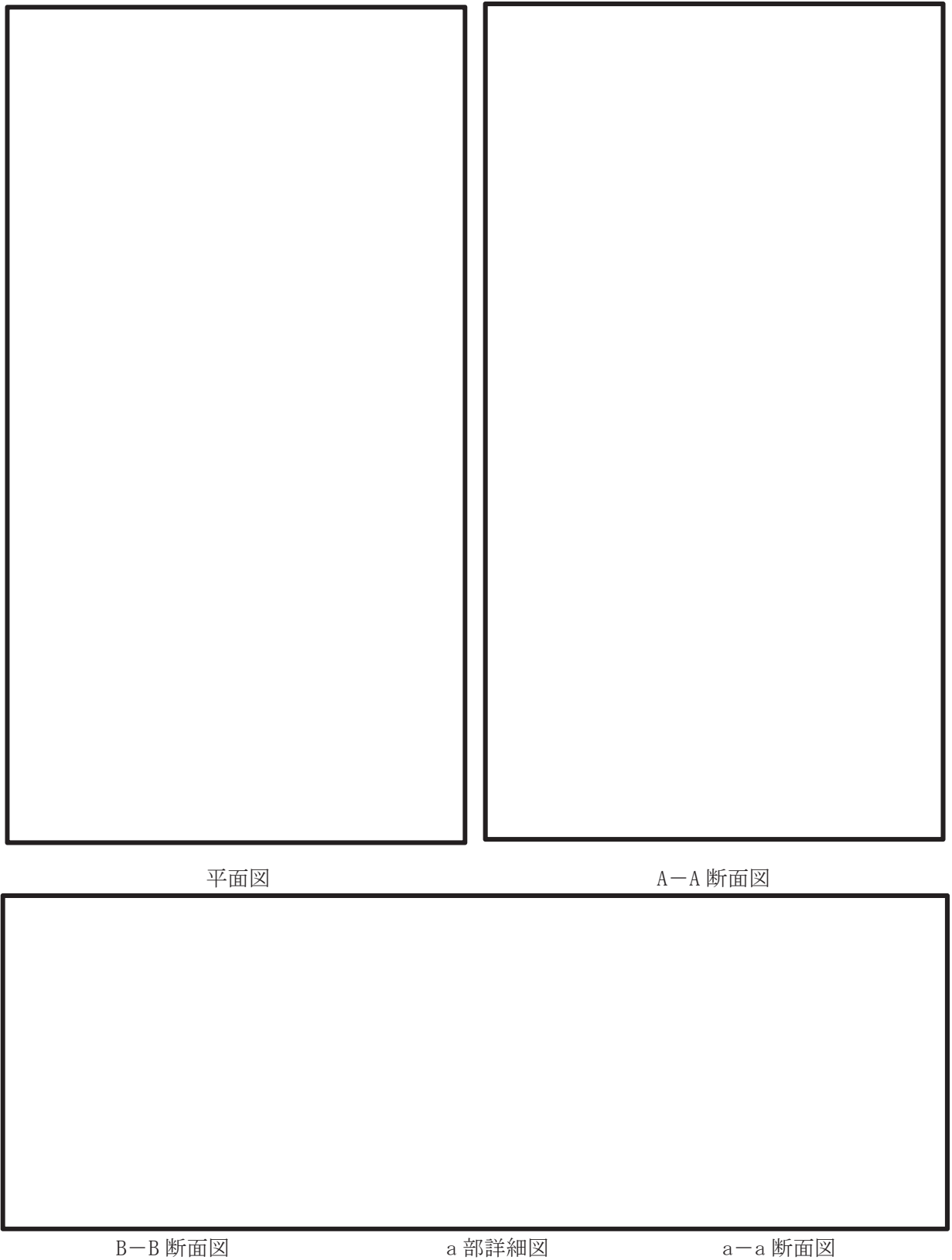
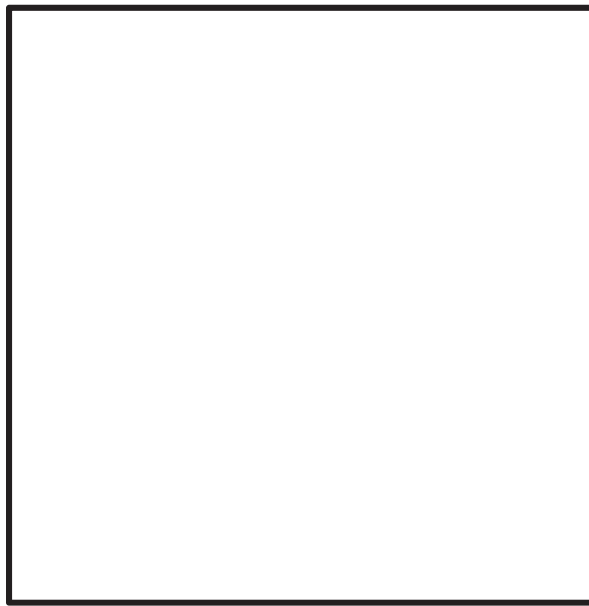
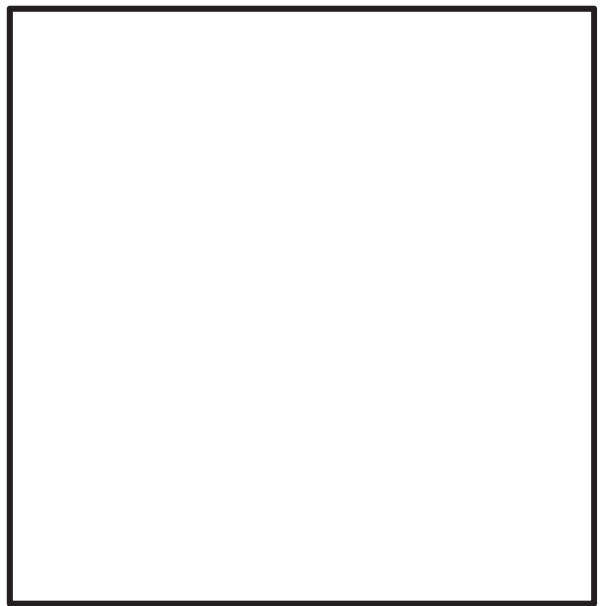


図 4-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



平面図



A-A 断面図



B-B 断面図



a 部詳細図

a-a 見下げ図

図 4-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4.4 固定ボルト (2)

- (1) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
- T_d

$$T_d = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-6} / N$$

ここで, T_d : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

P_v : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m²)

L_5 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

L_6 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

N : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (2) 弾性設計用地震動
- $S_d - D 2$
- に伴う水平方向の余震荷重
- S_d

$$S_d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで, S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_H : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う水平方向の余震震度

- (3) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
- q

$$q = S_d / N$$

ここで, q : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

N : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (4) 組合せ評価方法

組合せによる評価を「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し, 1 以下であることを確認する。

$$(T_d / T_a)^2 + (q / q_a)^2 \leq 1$$

ここで, T_d : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

T_a : 固定ボルト (2) の短期許容引張荷重 (kN)

q : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

q_a : 固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重 (kN)

4.4.5 枠

枠上フランジについては、直接荷重を負担しない構造となっていることから、下フランジ及びウェブについて評価を実施する。

(1) 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 σ_f

$$\sigma_f = (M_f \cdot 10^6) / Z_f$$

σ_f : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_f : 枠下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z_f : 枠下フランジの断面係数 (mm³)

ここで、 $M_f = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot L_7 \cdot 10^{-9} / 8$

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

P_v : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m²)

L_5 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

L_6 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

L_7 : 枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離 (mm)

(2) 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 τ_f

$$\tau_f = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-3} / 8 / A_f$$

τ_f : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

P_v : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m²)

L_5 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

L_6 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

A_f : 枠下フランジのせん断断面積 (mm²)

(3) 枠下フランジに生じる組合せ応力度 x

$$x = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

- (4) 水平方向の余震荷重により枠ウェブに作用する最大せん断力 Q_w

$$Q_w = S_d / 2$$

$$S_d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

Q_w : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_H : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う水平方向の余震震度

- (5) 水平方向の余震荷重により枠ウェブに生じる最大せん断応力度 τ_w

$$\tau_w = (Q_w \cdot 10^3) / A_{s_w}$$

τ_w : 枠ウェブに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_w : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

A_{s_w} : 枠ウェブのせん断断面積 (mm²)

- (6) 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力 T_w

$$T_w = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-6} / 4$$

T_w : 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力 (kN)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

P_v : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m²)

L_5 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

L_6 : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

- (7) 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに生じる引張応力度 σ_{t_w}

$$\sigma_{t_w} = T_w \cdot 10^3 / A_w$$

σ_{t_w} : 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに生じる
引張応力度 (N/mm²)

T_w : 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力 (kN)

A_w : 枠ウェブの断面積 (mm²)

4.4.6 ベースプレート

ベースプレートは片持ち梁として評価を実施する。

- (1) ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 σ_b

$$\sigma_b = (M_b \cdot 10^6) / Z_b$$

σ_b : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_b : ベースプレートに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z_b : ベースプレートの断面係数 (mm³)

ここで, $M_b = T_d \cdot L_s \cdot 10^{-3}$

T_d : 固定ボルト (2) 1本当りに作用する引張力 (kN)

L_s : ベースプレートの評価長さ (mm)

$$Z_b = (B \cdot t_b^2) / 6$$

B : ベースプレートの有効幅 (mm)

t_b : ベースプレートの板厚 (mm)

- (2) ベースプレートに生じる最大せん断応力度 τ_b

$$\tau_b = (Q_b \cdot 10^3) / A_{sb}$$

$$Q_b = T_d$$

τ_b : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_b : ベースプレートに作用する最大せん断力 (kN)

A_{sb} : ベースプレートのせん断断面積 (mm²)

- (3) ベースプレートに生じる組合せ応力度 x

$$x = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ_b : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ_b : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表 4-5 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の
強度評価に用いる入力値（1/2）

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	ρ_0	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	H	mm	評価高さ	17500
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.6
	G	kN	スキンプレートと主桁の固定荷重	3.040
	P _s	kN	積雪荷重	0.481
	P _t	kN/m ²	突き上げ津波荷重	178
	P _v	kN/m ²	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ に伴う鉛直方向の 動水圧荷重	114
	S _d	kN	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ に伴う水平方向 の余震荷重	4.12
主桁	L ₁	mm	主桁の負担幅	430
	L ₂	mm	主桁全長	420
	A _s	mm ²	主桁のせん断断面積	400
	Z	mm ³	主桁の断面係数	1.78×10 ⁴
スキンプレート	L ₃	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	430
	L ₄	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	420
	β_1	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16

表 4-5 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の
強度評価に用いる入力値（2/2）

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
固定 ボルト(1)	n_s	本	固定ボルト(1)の本数	36
	A'	mm^2	固定ボルト(1)の有効断面積	157
	L_5	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ	3005
	L_6	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ	380
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	27
	L_5	Mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ	3005
	L_6	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ	380
ベース プレート	L_8	mm	ベースプレートの評価長さ	36
	Z_b	mm^3	ベースプレートの断面係数	4332
	B	mm	ベースプレートの有効幅	72
	t_b	mm	ベースプレートの板厚	19
	A_{sb}	mm^2	ベースプレートのせん断断面積	1368

表 4-6 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の強度評価に用いる入力値（1/2）

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	ρ_0	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	H	mm	評価高さ	17500
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.0
	G	kN	スキンプレートと主桁の固定荷重	3.138
	P _s	kN	積雪荷重	0.301
	P _t	kN/m ²	突き上げ津波荷重	178
	P _v	kN/m ²	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ に伴う鉛直方向の動水圧荷重	114
	S _d	kN	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ に伴う水平方向の余震荷重	4.02
主桁	L ₁	mm	主桁の負担幅	250
	L ₂	mm	主桁全長	1000
	A _s	mm ²	主桁のせん断面積	2400
	Z	mm ³	主桁の断面係数	6.00×10 ⁴
スキンプレート	L ₃	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	250
	L ₄	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	200
	β_1	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.5
	t	mm	スキンプレートの厚さ	12

表 4-6 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の強度評価に用いる入力値（2/2）

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
固定 ボルト (1)	n_s	本	固定ボルト (1) の本数	8
	A'	mm^2	固定ボルト (1) の有効断面積	561
	L_5	mm	スキンプレーットの突き上げ津波受圧面長辺長さ	850
	L_6	mm	スキンプレーットの突き上げ津波受圧面短辺長さ	850
固定 ボルト (2)	N	本	固定ボルト (2) の本数	15
	L_5	mm	スキンプレーットの突き上げ津波受圧面長辺長さ	850
	L_6	mm	スキンプレーットの突き上げ津波受圧面短辺長さ	850
枠	L_5	mm	スキンプレーットの突き上げ津波受圧面長辺長さ	850
	L_6	mm	スキンプレーットの突き上げ津波受圧面短辺長さ	850
	L_7	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離	75
	Z_f	mm^3	枠下フランジの断面係数	14170
	A_w	mm^2	枠ウェブの断面積	7000
	A_{s_w}	mm^2	枠ウェブのせん断断面積	7000
ベース プレート	A_f	mm^2	枠下フランジのせん断断面積	10000
	L_8	mm	ベースプレートの評価長さ	80
	Z_b	mm^3	ベースプレートの断面係数	9627
	B	mm	ベースプレートの有効幅	160
	t_b	mm	ベースプレートの板厚	19
	A_{s_b}	mm^2	ベースプレートのせん断断面積	3040

5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 浸水防止蓋(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)
の強度評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	156	N/mm ²	205	N/mm ²	0.77 < 1.0
	せん断	66	N/mm ²	118	N/mm ²	0.56 < 1.0
	組合せ	193	N/mm ²	205	N/mm ²	0.95 < 1.0
スキンプレート	曲げ	81	N/mm ²	205	N/mm ²	0.40 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	81	N/mm ²	205	N/mm ²	0.40 < 1.0
固定ボルト (1)	引張	59	N/mm ²	205	N/mm ²	0.29 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
固定ボルト (2)	引張	12.4	kN	32.1	kN	0.39 < 1.0
	せん断	0.2	kN	22.3	kN	0.01 < 1.0
	組合せ	-		-		0.16 < 1.0
ベースプレート	曲げ	103	N/mm ²	205	N/mm ²	0.51 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	118	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	105	N/mm ²	205	N/mm ²	0.52 < 1.0

表 5-2 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の
強度評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値	
主桁	曲げ	153	N/mm ²	205	N/mm ²	0.75 < 1.0	
	せん断	16	N/mm ²	118	N/mm ²	0.14 < 1.0	
	組合せ	155	N/mm ²	205	N/mm ²	0.76 < 1.0	
スキンプレート	曲げ	41	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0	
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0	
	組合せ	41	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0	
固定ボルト (1)	引張	48	N/mm ²	205	N/mm ²	0.24 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
固定ボルト (2)	引張	14.1	kN	32.1	kN	0.44 < 1.0	
	せん断	0.3	kN	22.5	kN	0.02 < 1.0	
	組合せ	-		-		0.20 < 1.0	
枠	下フランジ	曲げ	140	N/mm ²	205	N/mm ²	0.69 < 1.0
		せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
		組合せ	140	N/mm ²	205	N/mm ²	0.69 < 1.0
	ウェブ	引張	8	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	118	N/mm ²	205	N/mm ²	0.58 < 1.0	
	せん断	5	N/mm ²	118	N/mm ²	0.05 < 1.0	
	組合せ	119	N/mm ²	205	N/mm ²	0.59 < 1.0	

VI-3-別添 3-2-7-4 浸水防止蓋
(揚水井戸 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内)) の
強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価対象部位	11
4. 構造強度評価	13
4.1 構造強度評価方法	13
4.2 荷重及び荷重の組合せ	13
4.3 許容限界	15
4.4 評価方法	18
4.5 評価条件	36
5. 評価結果	41

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）（以下「浸水防止蓋」という。）が地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が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。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

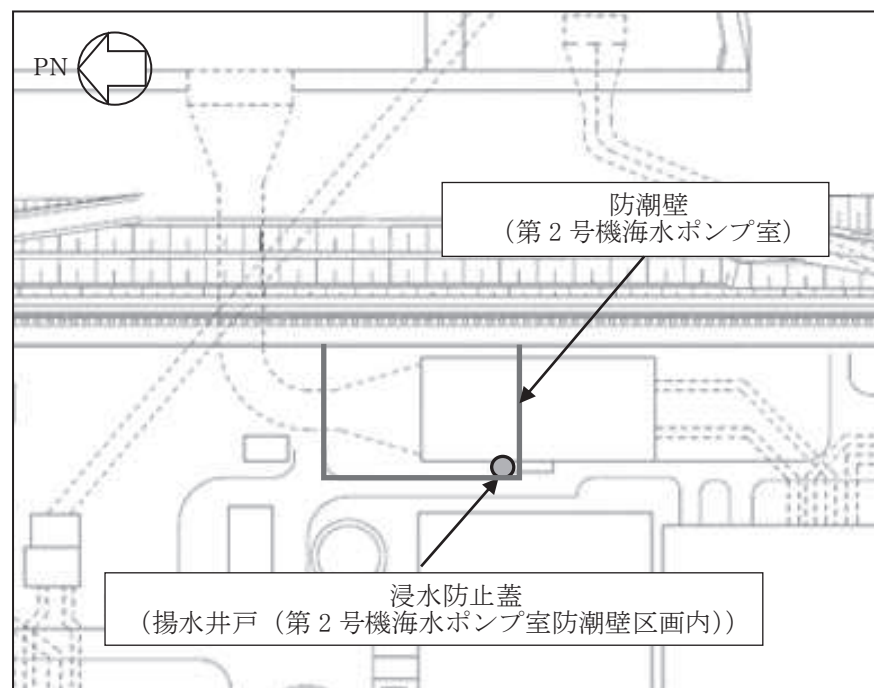


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に示す。

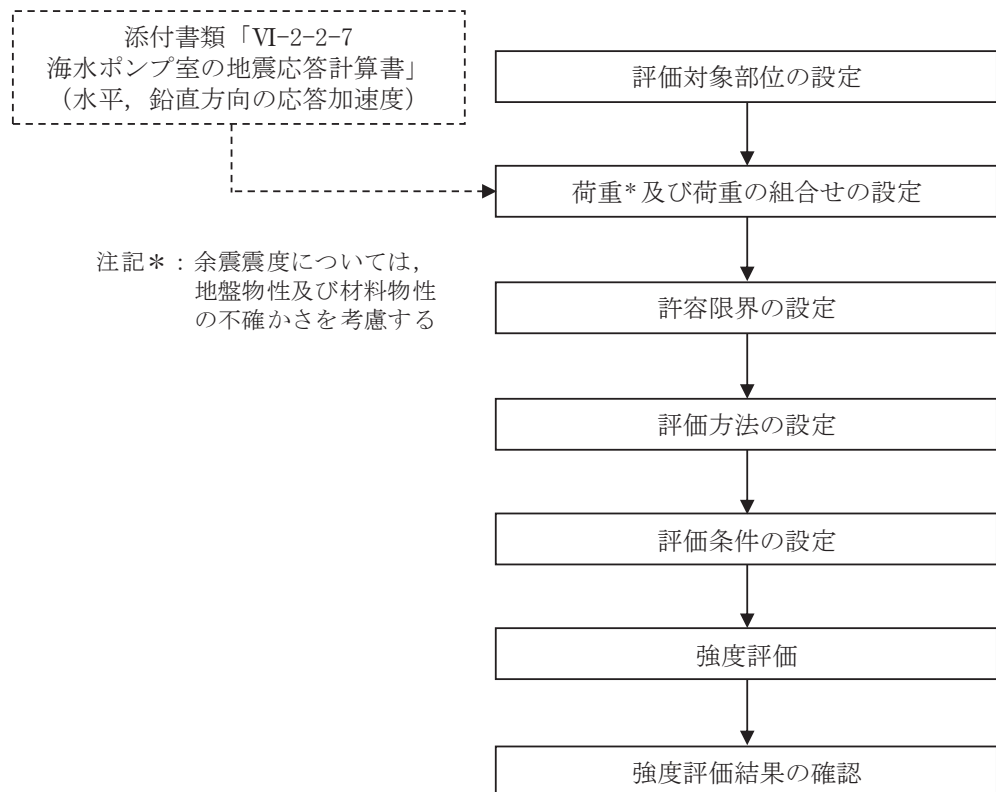


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 にそれぞれ示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_d	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重
α_H	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度
α_V	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度
G	kN	固定荷重
P_h	kN	浸水津波荷重
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
h_1	O. P. m	設計津波水位
h_2	O. P. m	浸水防止蓋の設置高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	せん断断面積
Z	mm ³	断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_4	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
T_d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
	k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
	G	kN	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm^2	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm^2	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm^2	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm^2	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm^2	鉛直方向のせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	σ	N/mm^2	合成応力度
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離
	Z_1	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_3	mm^3	回転軸並行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_p	mm^3	極断面係数
A	mm^2	断面積	
A_1	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部)	
A_2	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接続部)	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	F	kN	ヒンジピンにはたらく合成荷重
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	α	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q _R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q _P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L _H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L _V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N _H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N _V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	α	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイングボルトピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
ナット受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、津波荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、津波荷重及び余震荷重に伴う慣性力がスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。浸水防止蓋の評価対象部位を、図3-1に示す。

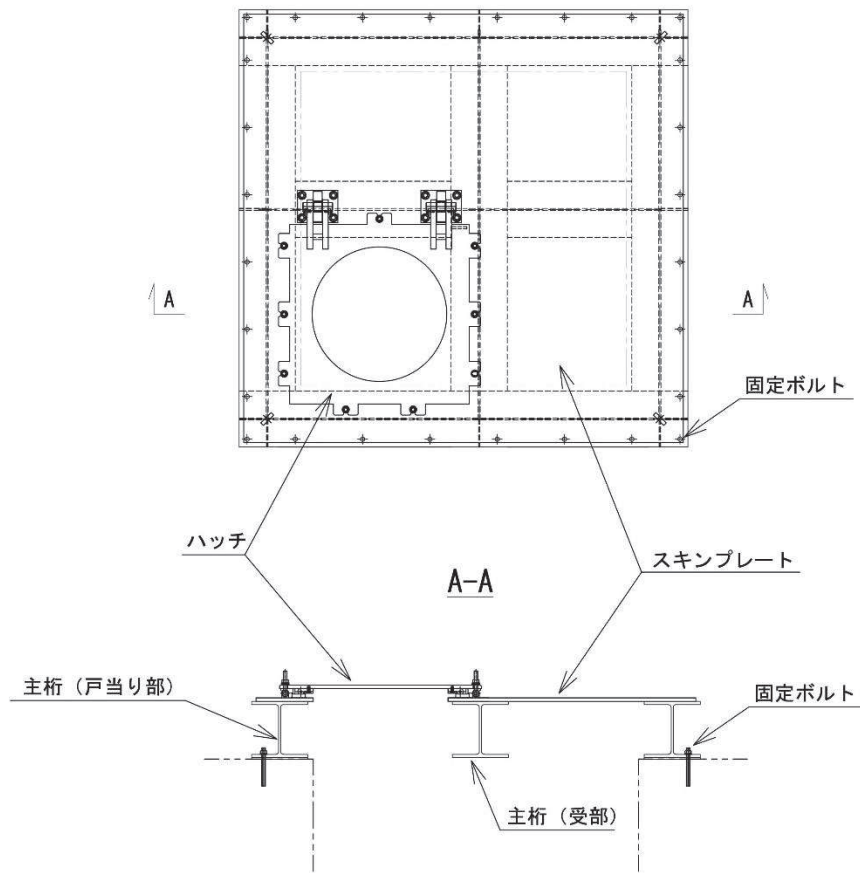
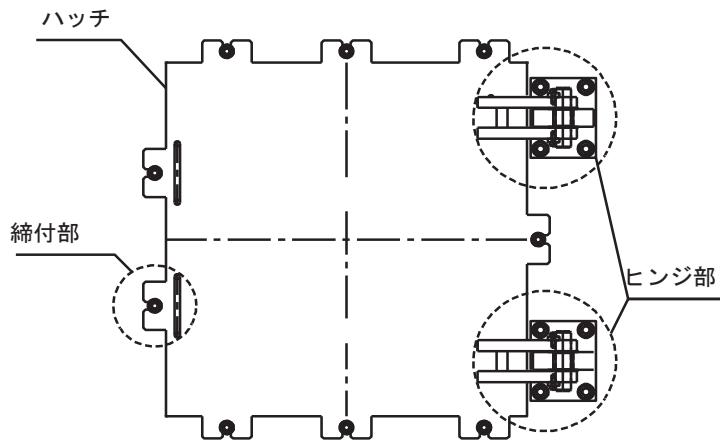
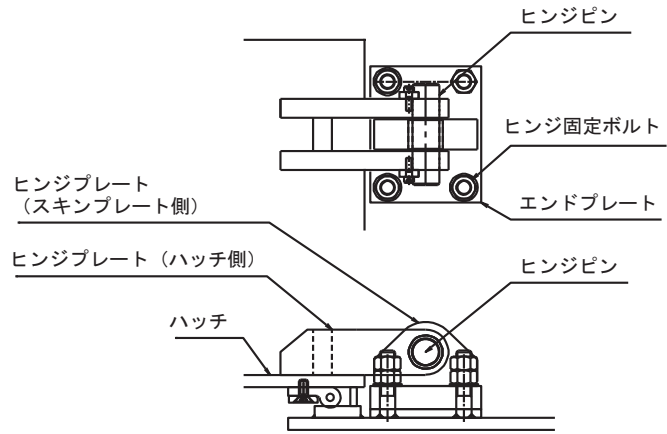


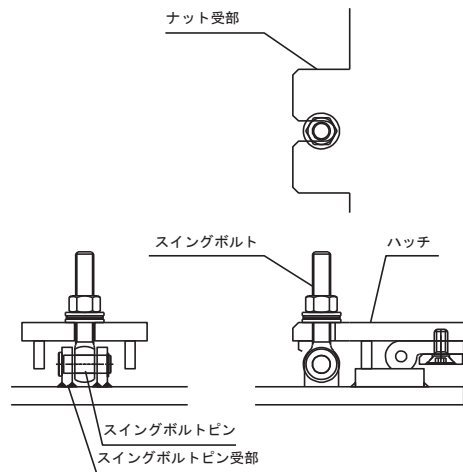
図 3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + P_h + S_d + P_s$$

ここで、	G	:	固定荷重 (kN)
	P _h	:	浸水津波荷重 (kN)
	S _d	:	余震荷重 (kN)
	P _s	:	積雪荷重 (kN)

4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 浸水津波荷重(P_h)

浸水津波荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、津波高さ及び浸水防止蓋の設置高さを考慮した静水圧を次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot A$$

ここで、	ρ_o	:	水の密度 1.03 (t/m ³)
	g	:	重力加速度 9.80665 (m/s ²)
	h ₁	:	設計津波水位 (O.P. m)
	h ₂	:	浸水防止蓋の設置高さ (O.P. m)
	A	:	浸水防止蓋の面積 (m ²)

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(4) 余震荷重(S_d)

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。

なお、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

地震力は、浸水防止蓋の固定荷重、浸水津波荷重及び積雪荷重に余震震度を乗じた次式により算出する。

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、
 S_d : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による余震荷重 (kN)
 G : 固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 α_H : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による水平方向の余震震度
 α_v : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による鉛直方向の余震震度

余震震度 α_H , α_V を表 4-1 に示す。

表 4-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度	
		水平方向 α_H	鉛直方向 α_V
揚水井戸 (第 2 号機海水ポン プ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	2.31	0.97

4.3 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて 設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

4.3.2 許容限界

(1) スキンプレート，主桁

鋼材の許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき表 4-3 の値とする。

表 4-3 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 4-4 に示す。

なお，固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
SM490Y	37.7	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 4-5 の値とする。

表 4-5 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

4.4.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 4-1 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1) 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 S d

$$S d = (G + P h + P s) \cdot \alpha v$$

ここで、 S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 (kN)

G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)

P h : 浸水津波荷重 (kN)

P s : 積雪荷重 (kN)

αv : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度

(2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 W s s '

$$W s s ' = (G + P h + S d + P s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 W s s ' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 (kN)

G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)

P h : 浸水津波荷重 (kN)

P s : 積雪荷重 (kN)

L₁ : 主桁の負担幅 (mm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 主桁に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A s$$

τ : 主桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

A s : 主桁のせん断断面積 (mm²)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W s s ' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

W s s ' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L₂ : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 主桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

$$\text{ここで, } M = 1/8 \cdot W_{ss'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$$

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{ss'}$: 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に作用する組合せ応力度

主桁に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

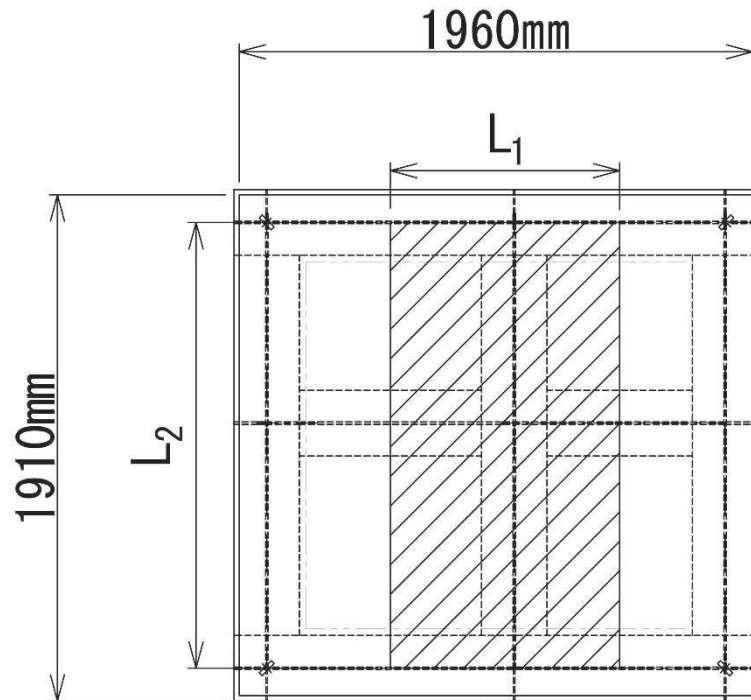


図 4-1 評価の対象とする主桁

4.4.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 4-2 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 α_v : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ の鉛直方向の余震震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + P_h + S_d + P_s) / A$$

ここで、 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_3 + L_4) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_3 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005改定）」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

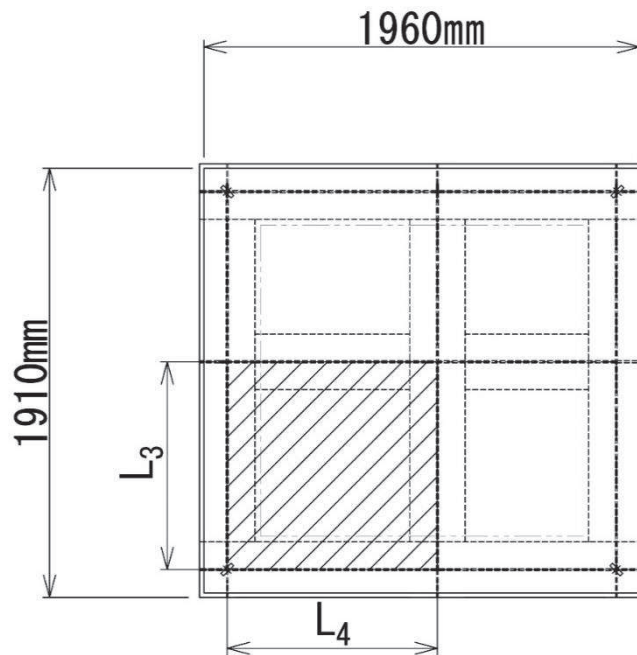


図 4-2 評価の対象とするスキンプレート

4.4.3 固定ボルト

固定ボルトの納まりを図4-3に示す。

- (1) 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による水平方向の余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで, S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による水平方向の余震荷重 (kN)

G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_H : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度

- (2) 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで, S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の余震荷重 (kN)

G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_V : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = S_d / N$$

ここで, T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の余震荷重 (kN)

N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = S_d / N$$

ここで, q : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による水平方向の余震荷重 (kN)

N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

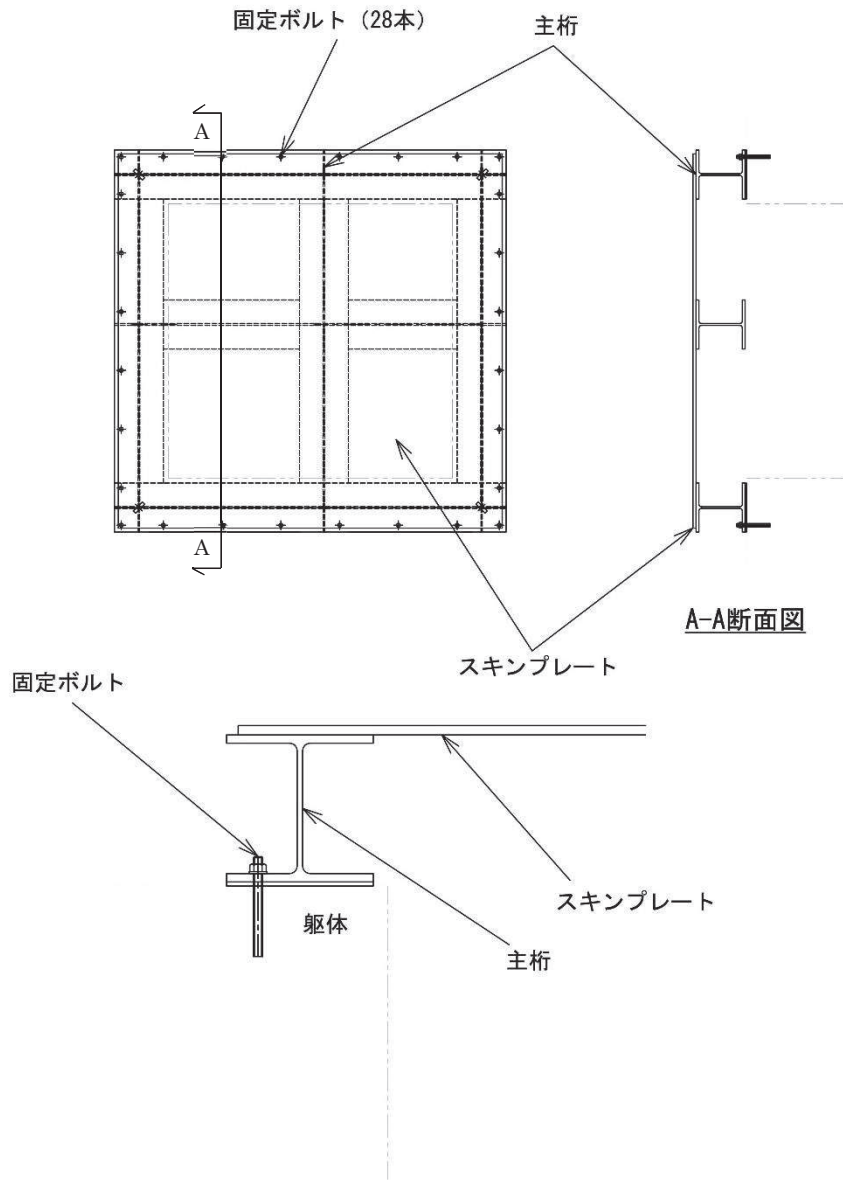


図4-3 固定ボルトの納まり

4.4.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図4-4に、荷重算定式を図4-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

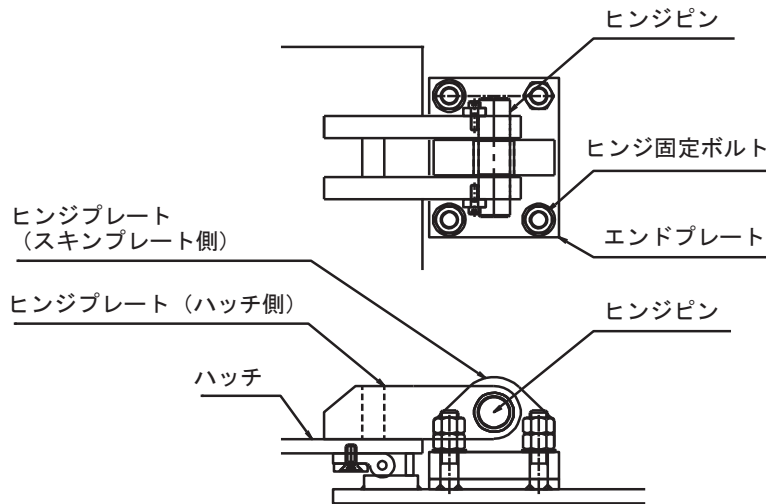


図4-4 (1) ヒンジ部の構造概要

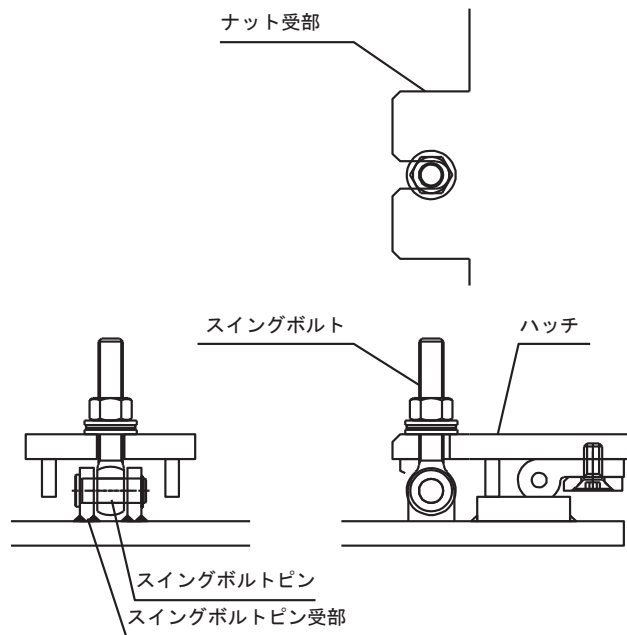
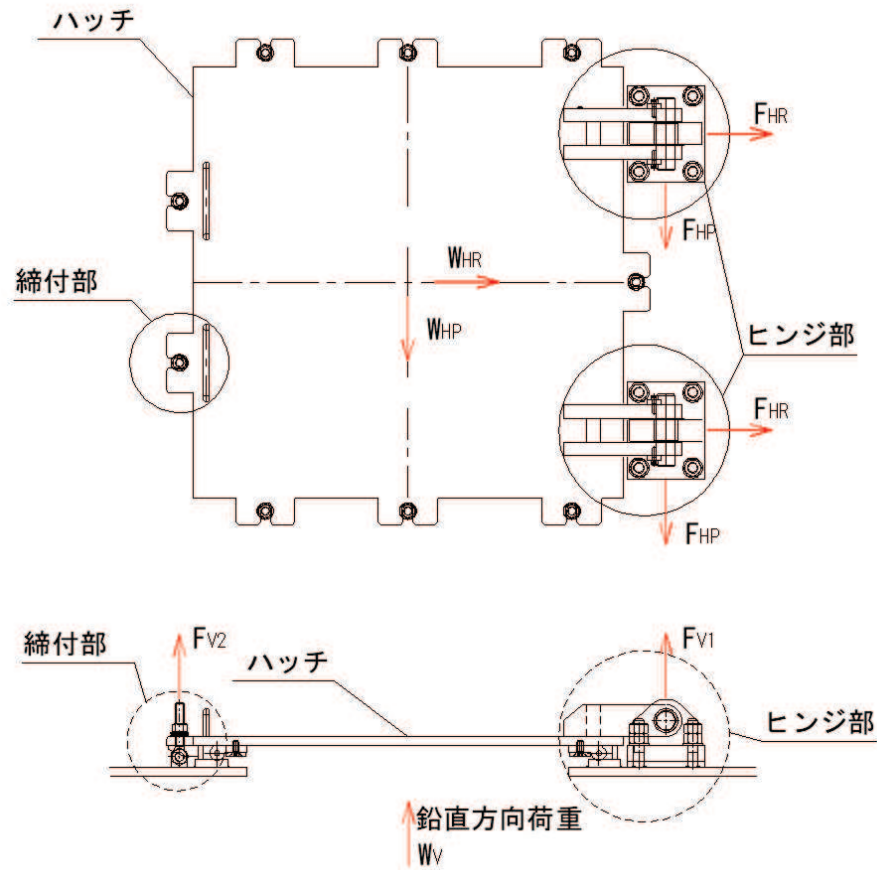


図4-4 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_{HP} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_V = (G + P_h + P_s) + (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{v1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{v2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

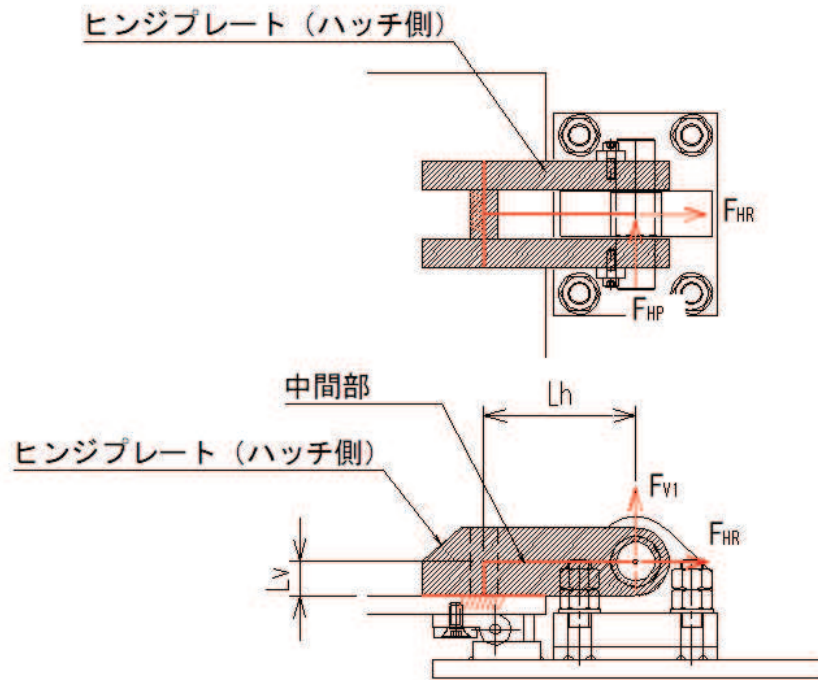
- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_h : 浸水津波荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- α_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向の余震震度
- α_V : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{v1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.1, \beta = 0.1)$$

図 4-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

4.4.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図 4-6 に示す。



ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

ここで、

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

τ_v : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

x : 合成応力度 (N/mm²)

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

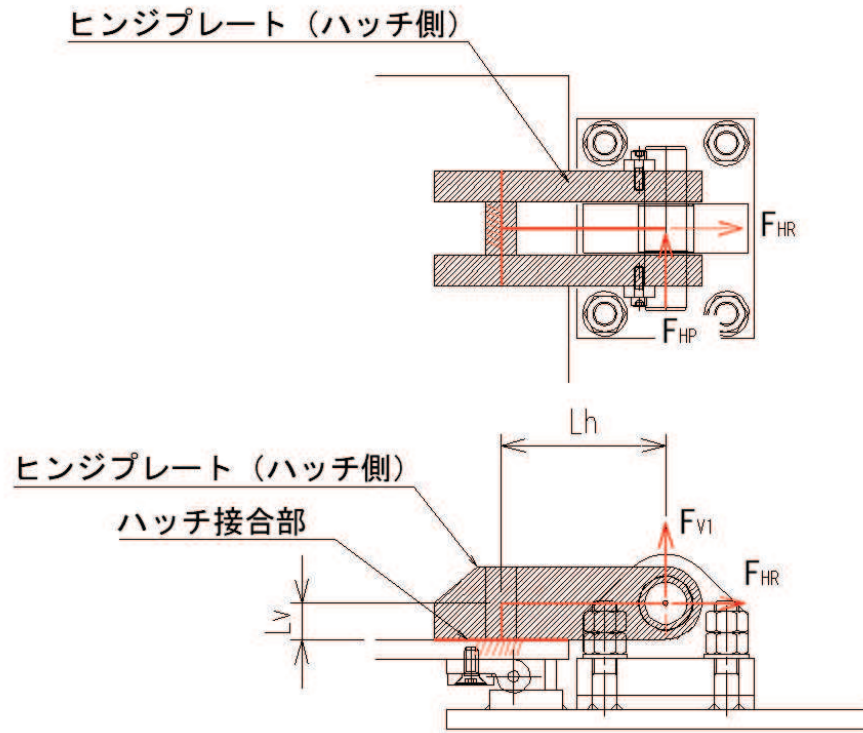
Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

A_1 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部) (mm²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図 4-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{v1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{v1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

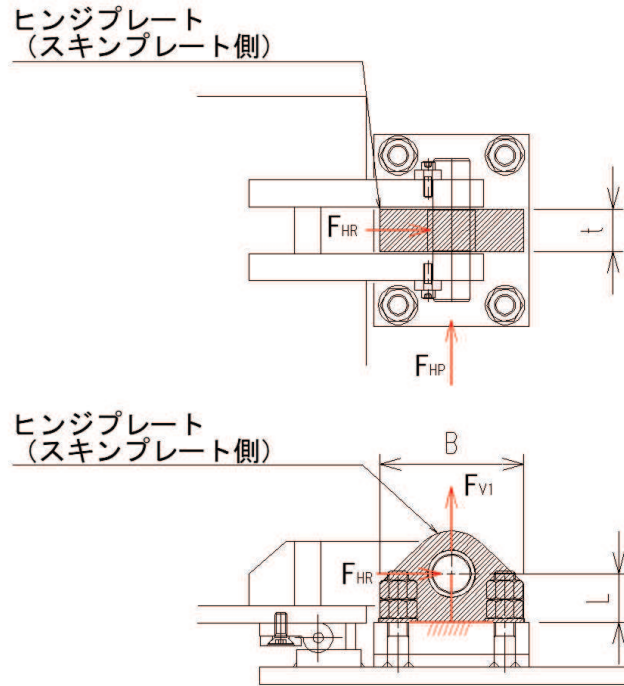
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_{PX} : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- L_v : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- Z_3 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_4 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_p : 極断面係数 (mm³)
- A_2 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接合部) (mm²)

図 4-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

4.4.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図 4-7 に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm²)

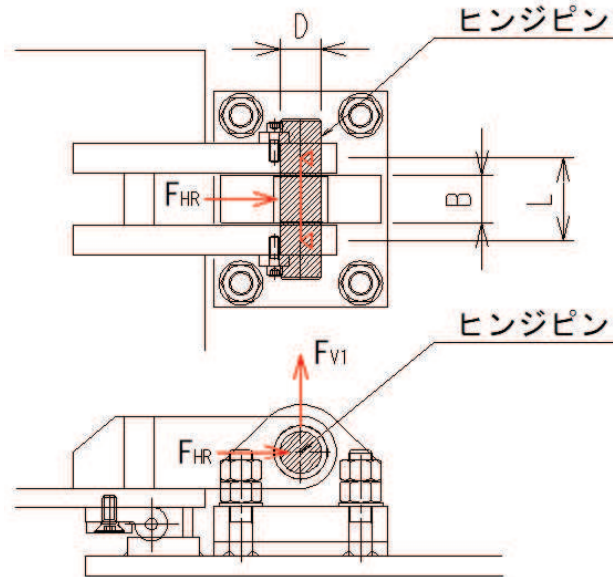
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図 4-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

4.4.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図4-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ支点間距離 (mm)

B : 荷重の載荷長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

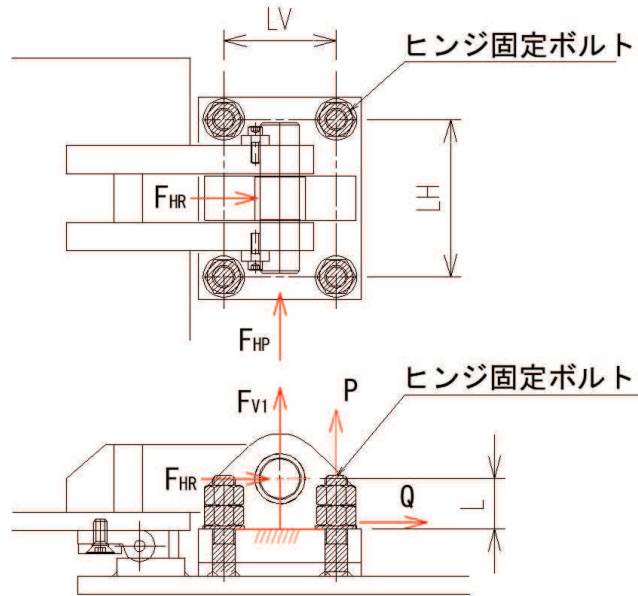
A : ヒンジピンの断面積 (mm²)

D : ヒンジピンの直径 (mm)

図4-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

4.4.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図 4-9 に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部ーピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

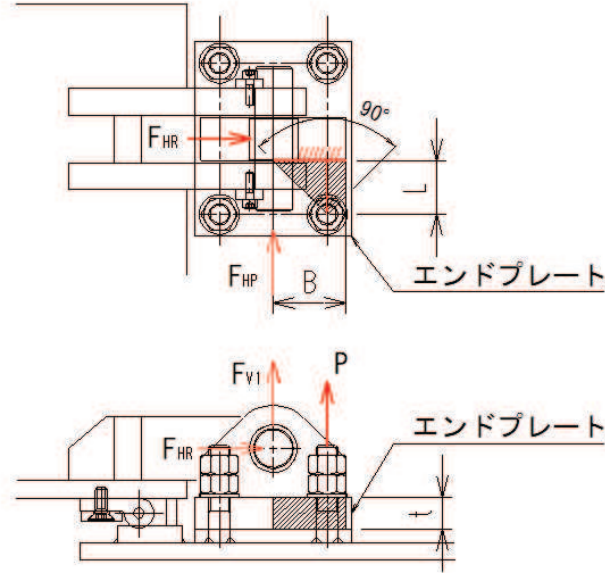
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図 4-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

4.4.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図4-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)

L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

t : エンドプレートの板厚 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

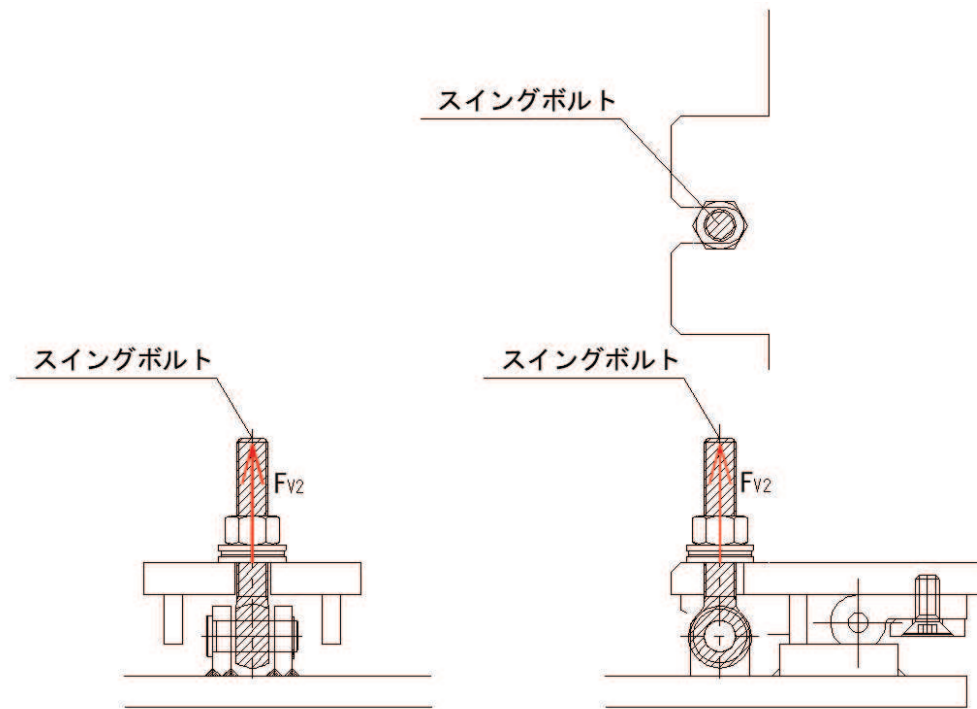
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図4-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

4.4.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図4-11に示す。



$$\sigma = F_{v2} / A$$

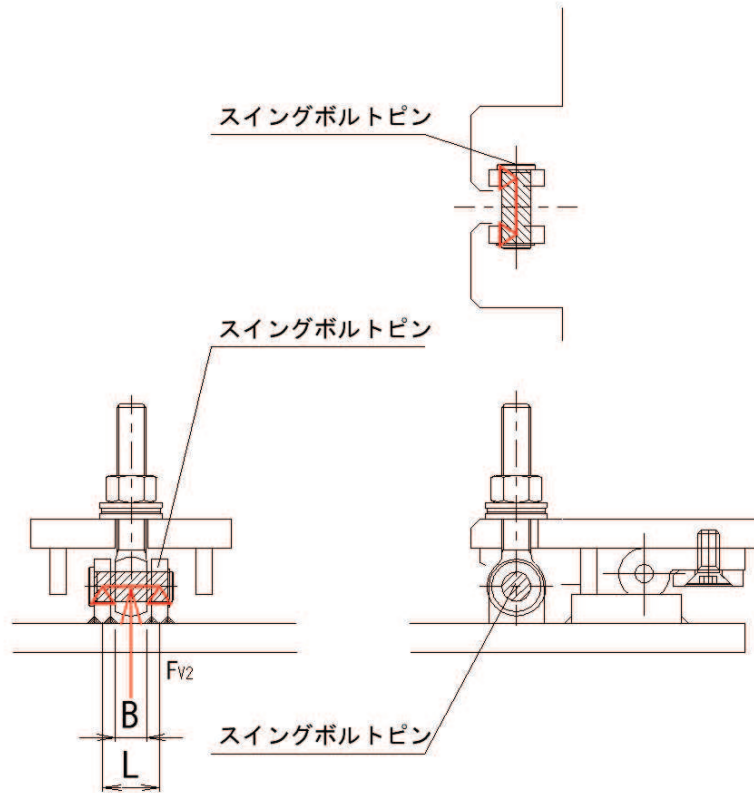
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図4-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

4.4.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 4-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

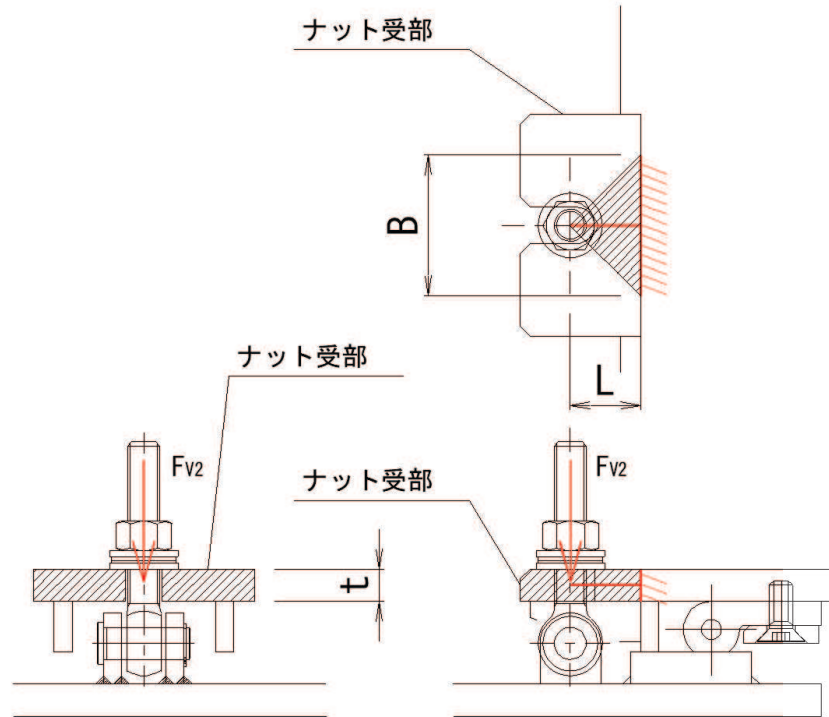
ここで、

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 4-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

4.4.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受部のモデル図及び応力算定式を図4-13に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : 腕長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

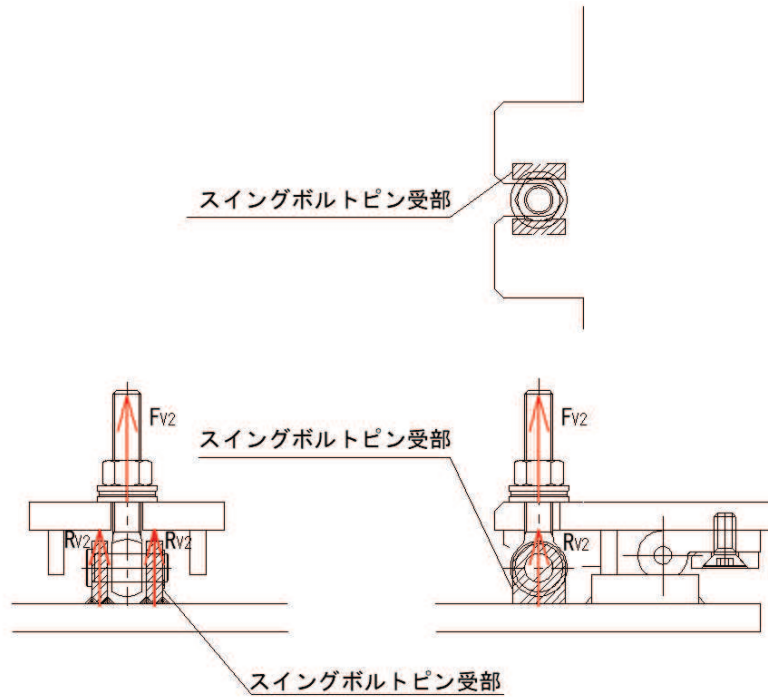
A : ナット受部の有効断面積 (mm²)

t : ナット受部の板厚 (mm)

図4-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

4.4.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 4-14 に示す。



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 4-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表4-6に示す。

表4-6 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値（主桁，スキンプレート，固定ボルト）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.26
	P _h	kN	浸水津波荷重	173.78
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	3.74
	L ₁	mm	主桁の負担幅	875
	L ₂	mm	主桁全長	1700
	A _s	mm ²	主桁のせん断断面積	1998
	Z	mm ³	主桁の断面係数	8.46×10 ⁵
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	6.61
	P _h	kN	浸水津波荷重	173.78
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	3.74
	L ₃	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	945
	L ₄	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	935
	β ₂	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
t	mm	スキンプレートの厚さ	16	
固定ボルト	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.26
	P _h	kN	浸水津波荷重	173.78
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	28

表 4-6 (2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-6 (3) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	7.90
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.35
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.389
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	121.50

表 4-6 (4) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-6 (5) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	13.78
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	5.64
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.35
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm ²	断面積	121.50

5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表5-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(1) 浸水防止蓋の強度評価結果（主桁，スキンプレート，固定ボルト）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界 (応力度又は荷重)		検定値
主桁	曲げ	38	N/mm ²	325	N/mm ²	0.12 < 1.0
	せん断	37	N/mm ²	188	N/mm ²	0.20 < 1.0
	組合せ	75	N/mm ²	325	N/mm ²	0.24 < 1.0
スキンプレート	曲げ	120	N/mm ²	325	N/mm ²	0.37 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	188	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	121	N/mm ²	325	N/mm ²	0.38 < 1.0
固定ボルト	引張	6.6	kN	37.7	kN	0.18 < 1.0
	せん断	15.6	kN	32.9	kN	0.48 < 1.0
	組合せ	—		—		0.26 < 1.0

表 5-1 (2) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	27	N/mm ²	265	N/mm ²	0.11 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	27	N/mm ²	291	N/mm ²	0.10 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	19	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	14	N/mm ²	265	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	6	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	291	N/mm ²	0.07 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	63	N/mm ²	265	N/mm ²	0.24 < 1.0
	せん断	13	N/mm ²	153	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	67	N/mm ²	291	N/mm ²	0.24 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	38	N/mm ²	265	N/mm ²	0.15 < 1.0
	せん断	33	N/mm ²	153	N/mm ²	0.22 < 1.0
	組合せ	68	N/mm ²	291	N/mm ²	0.24 < 1.0
エンドプレート	曲げ	37	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	37	N/mm ²	291	N/mm ²	0.13 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm ²	273	N/mm ²	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm ²	157	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm ²	300	N/mm ²	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm ²	273	N/mm ²	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	157	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm ²	300	N/mm ²	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm ²	273	N/mm ²	0.09 < 1.0

表 5-1 (3) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	80	N/mm ²	265	N/mm ²	0.31 < 1.0
	せん断	11	N/mm ²	153	N/mm ²	0.08 < 1.0
	組合せ	82	N/mm ²	291	N/mm ²	0.29 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	35	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
	せん断	91	N/mm ²	153	N/mm ²	0.60 < 1.0
	組合せ	161	N/mm ²	291	N/mm ²	0.56 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	68	N/mm ²	265	N/mm ²	0.26 < 1.0
	せん断	17	N/mm ²	153	N/mm ²	0.12 < 1.0
	組合せ	74	N/mm ²	291	N/mm ²	0.26 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	109	N/mm ²	265	N/mm ²	0.42 < 1.0
	せん断	23	N/mm ²	153	N/mm ²	0.16 < 1.0
	組合せ	115	N/mm ²	291	N/mm ²	0.40 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	85	N/mm ²	265	N/mm ²	0.33 < 1.0
	せん断	65	N/mm ²	153	N/mm ²	0.43 < 1.0
	組合せ	141	N/mm ²	291	N/mm ²	0.49 < 1.0
エンドプレート	曲げ	82	N/mm ²	265	N/mm ²	0.31 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	153	N/mm ²	0.07 < 1.0
	組合せ	83	N/mm ²	291	N/mm ²	0.29 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm ²	273	N/mm ²	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm ²	157	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm ²	300	N/mm ²	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm ²	273	N/mm ²	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	157	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm ²	300	N/mm ²	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm ²	273	N/mm ²	0.09 < 1.0

VI-3-別添 3-2-7-5 浸水防止蓋
(揚水井戸 (第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内)) の
強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価対象部位	11
4. 構造強度評価	13
4.1 構造強度評価方法	13
4.2 荷重及び荷重の組合せ	13
4.3 許容限界	15
4.4 評価方法	17
4.5 評価条件	35
5. 評価結果	40

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下「浸水防止蓋」という。）が地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が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。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

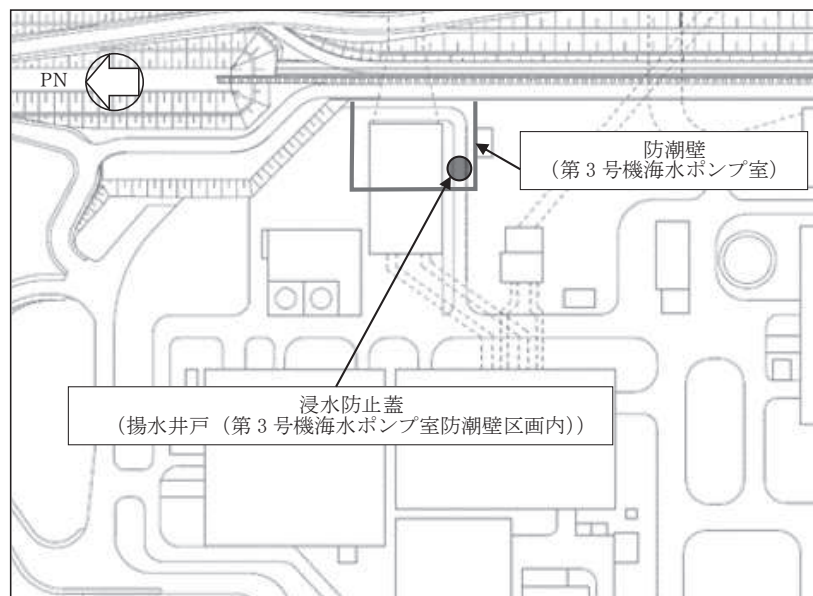


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、円形のスンププレートに受桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。 受桁は揚水井戸に溶接で固定する。	浸水防止蓋，受桁，ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に示す。

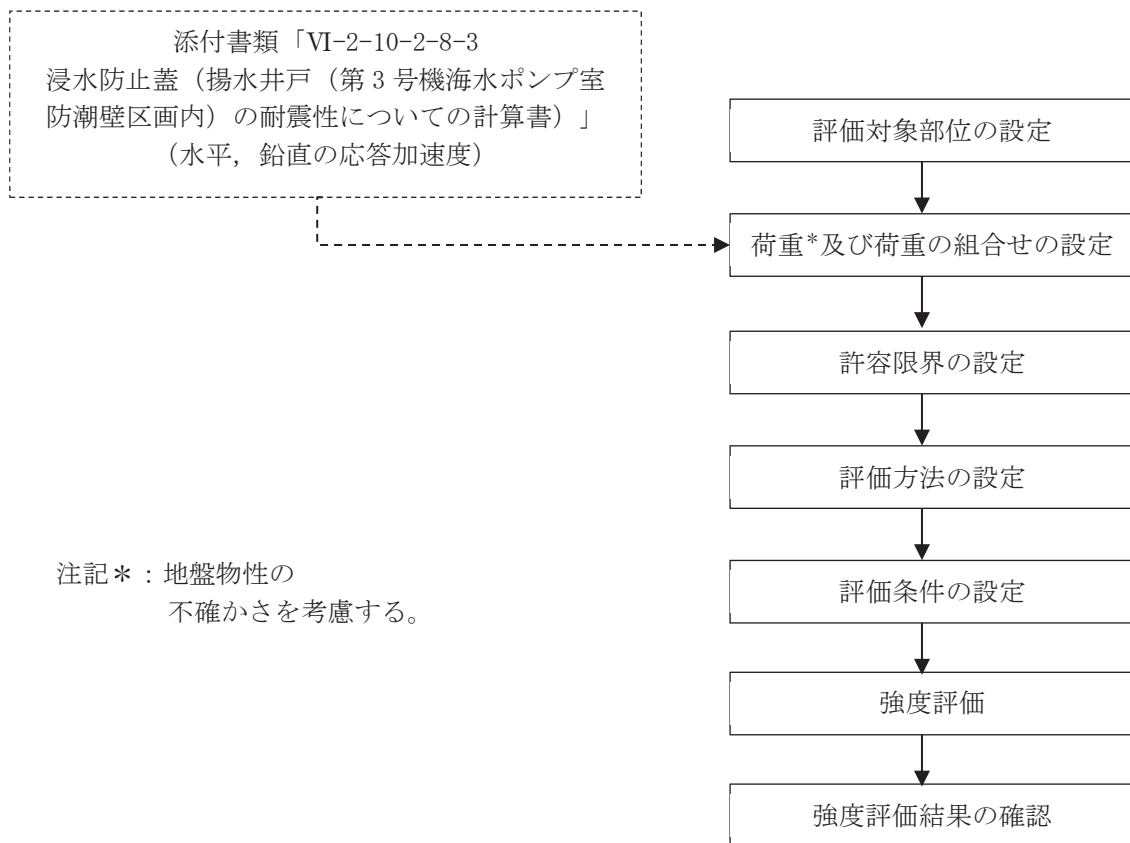


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－
- (2) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (3) ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (受桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_d	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重
α_H	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度
α_V	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度
G	kN	固定荷重
P_h	kN	浸水津波荷重
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
h_1	O. P. m	設計津波水位
h_2	O. P. m	浸水防止蓋の設置高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
L_1	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
L_2	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_3	mm	受桁の負担幅
L_4	mm	受桁全長
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
A'	mm ²	固定ボルトの有効断面積
σ_t	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
τ_s	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
	k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
	G	kN	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm^2	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm^2	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm^2	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm^2	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm^2	鉛直方向のせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	σ	N/mm^2	合成応力度
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離
	Z_1	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_3	mm^3	回転軸並行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_p	mm^3	極断面係数
A	mm^2	断面積	
A_1	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部)	
A_2	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接続部)	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	F	kN	ヒンジピンにはたらく合成荷重
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	α	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q _R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q _P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L _H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L _V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N _H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N _V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	α	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイングボルトピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
ナット受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、津波荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、津波荷重及び余震荷重に伴う慣性力がスキンプレート、受桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、受桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。浸水防止蓋の評価対象部位を、図3-1に示す。

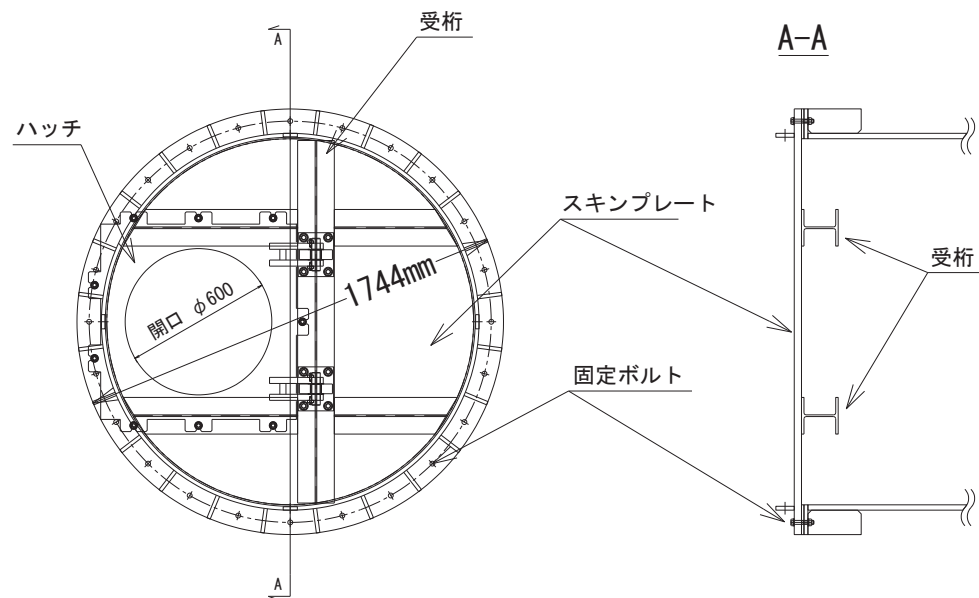
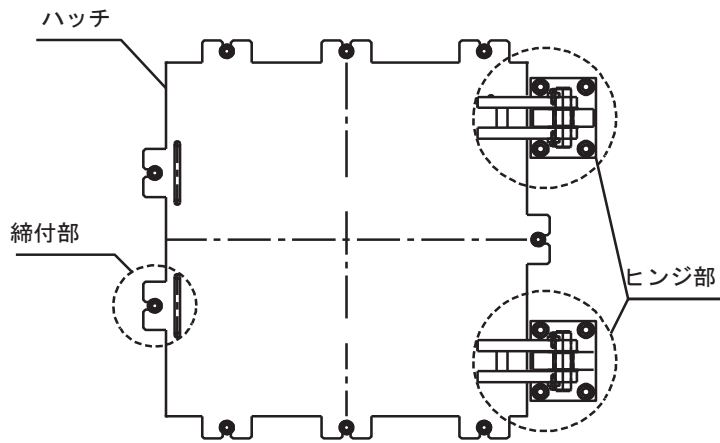
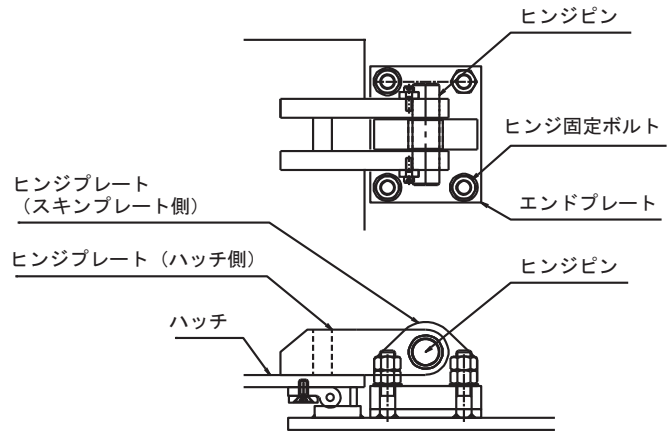


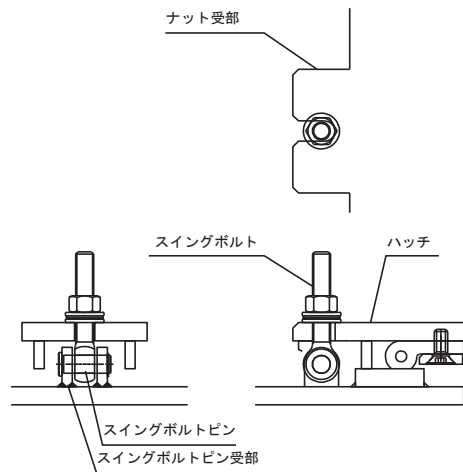
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + P_h + S_d + P_s$$

ここで、	G	:	固定荷重 (kN)
	P _h	:	浸水津波荷重 (kN)
	S _d	:	余震荷重 (kN)
	P _s	:	積雪荷重 (kN)

4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 浸水津波荷重(P_h)

浸水津波荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、津波高さ及び浸水防止蓋の設置高さを考慮した静水圧を次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot A$$

ここで、	ρ_o	:	水の密度 1.03 (t/m ³)
	g	:	重力加速度 9.80665 (m/s ²)
	h ₁	:	設計津波水位 (O.P. m)
	h ₂	:	浸水防止蓋の設置高さ (O.P. m)
	A	:	浸水防止蓋の面積 (m ²)

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(4) 余震荷重(S_d)

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。

なお、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、地盤物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-10-2-8-3 浸水防止蓋（揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書」の地震応答解析結果を用いる。

地震力は、浸水防止蓋の固定荷重、浸水津波荷重及び積雪荷重に余震震度を乗じた次式により算出する。

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで、
 S_d : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による余震荷重 (kN)
 G : 固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 α_H : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による水平方向の余震震度
 α_V : 弾性設計用地震動 S_d-D₂ による鉛直方向の余震震度

余震震度 α_H , α_V を表 4-1 に示す。

表 4-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度	
		水平方向 α_H	鉛直方向 α_V
揚水井戸 (第 3 号機海水ポン プ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	0.28	0.78

4.3 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
受桁	SM490Y	H-150×150×7×10 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

4.3.2 許容限界

(1) スキンプレート、受桁、固定ボルト

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき表 4-3 の値とする。

表 4-3 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 4-4 の値とする。

表 4-4 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

4.4.1 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 4-1 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 α_v : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ の鉛直方向の余震震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + P_h + S_d + P_s) / A$$

ここで、 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_h : 浸水津波荷重 (kN)
 S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_1^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_1 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_1 + L_2) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_1 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - L_2 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

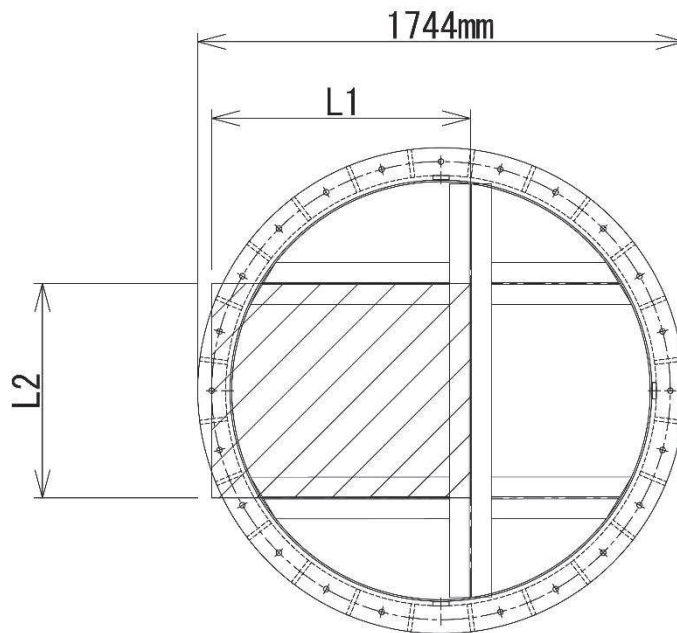


図 4-1 評価の対象とするスキンプレート

4.4.2 受桁

受桁の支持条件は両端を固定支持とし、受桁が負担する荷重は保守的にスキンプレートに上載される積雪荷重、スキンプレートの固定荷重の全重量及び地震荷重を受桁に作用させる。図4-2に評価の対象とする受桁を示す。

(1) 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)

G : スキンプレートと受桁の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_v : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ の鉛直方向の余震震度

(2) 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + P_h + S_d + P_s) \cdot L_3 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$: 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)

G : スキンプレートと受桁の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

L_3 : 受桁の負担幅 (mm)

A : スキンプレートの面積 (m²)

(3) 受桁に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 受桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 受桁のせん断断面積 (mm²)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$

Q : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$: 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_4 : 受桁全長 (mm)

(4) 受桁に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 受桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 受桁の断面係数 (mm³)

ここで, $M = 1/8 \cdot W s s' \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2$

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

W s s' : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L₄ : 受桁全長 (mm)

(5) 受桁に作用する組合せ応力度

受桁に作用する曲げ応力度, せん断応力度を算定し, 受桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また, 受桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

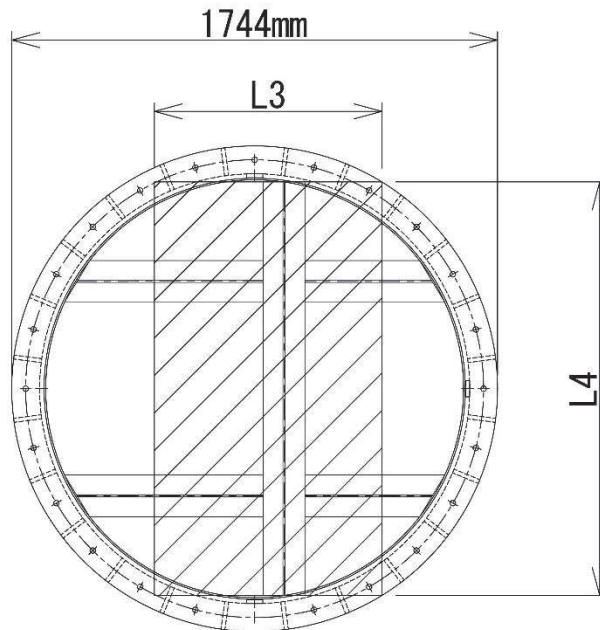


図 4-2 評価の対象とする受桁

4.4.3 固定ボルト

固定ボルトの納まりを図4-3に示す。

- (1) 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による水平方向の余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで, S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による水平方向の余震荷重 (kN)

G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_H : 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ の水平方向の余震震度

- (2) 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による鉛直方向の余震荷重 S_d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで, S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による鉛直方向の余震荷重 (kN)

G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

P_h : 浸水津波荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_V : 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ の鉛直方向の余震震度

- (3) 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで, $T_s = S_d / N$

σ_t : 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_s : 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による鉛直方向の余震荷重 (kN)

N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

- (4) 固定ボルト1本あたりに生じるせん断応力度 τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで, $q_s = S_d / N$

τ_s : 固定ボルト1本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm²)

q_s : 固定ボルト1本あたりに作用するせん断力 (kN)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による水平方向の余震荷重 (kN)

N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

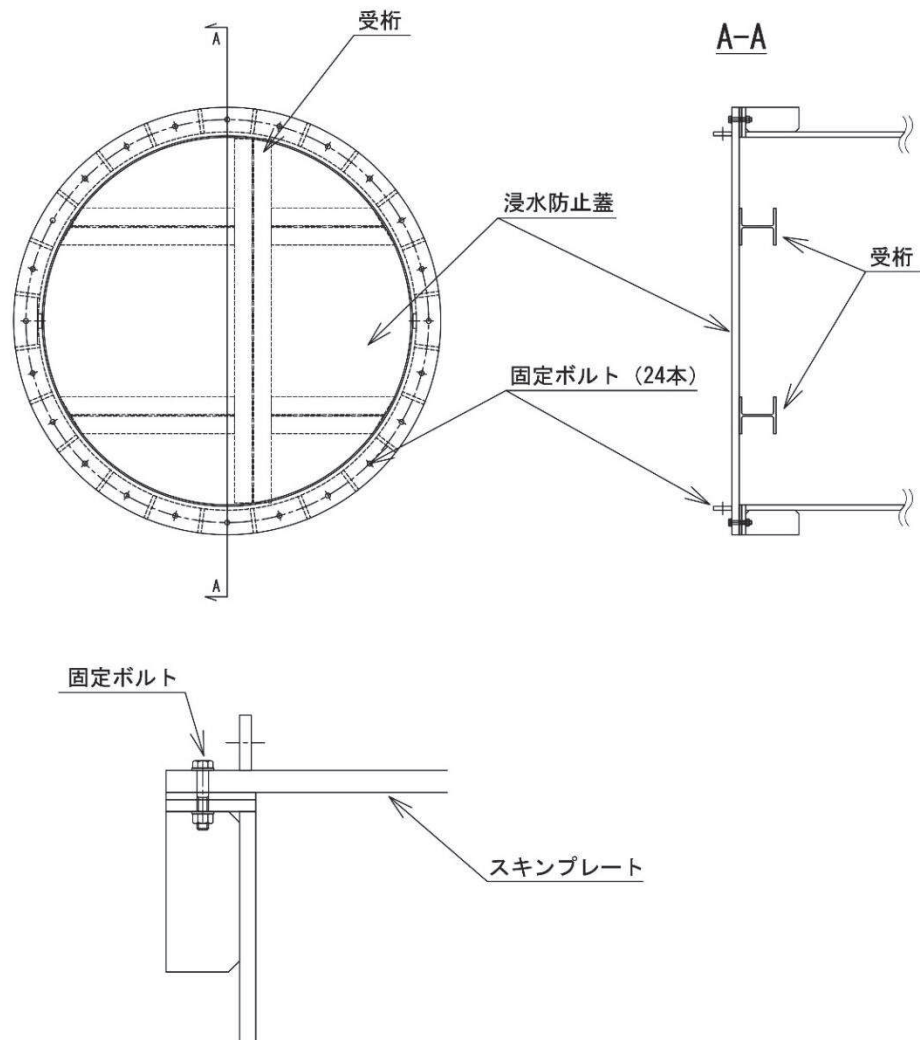


図 4-3 固定ボルトの納まり

4.4.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図4-4に、荷重算定式を図4-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

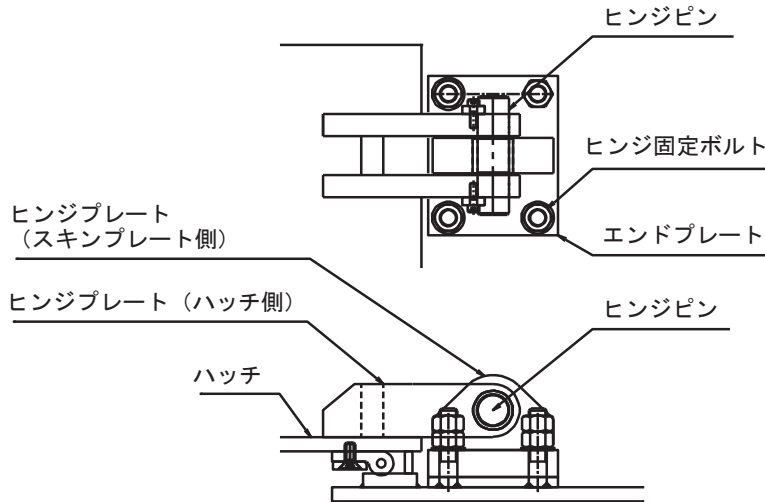


図4-4 (1) ヒンジ部の構造概要

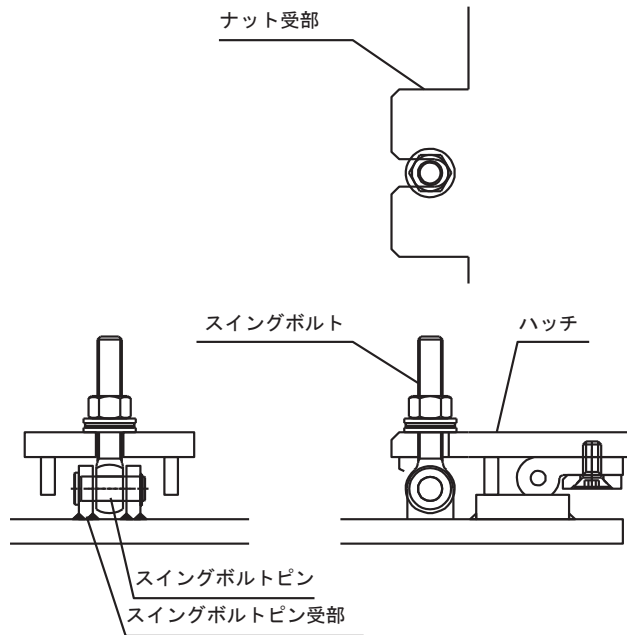
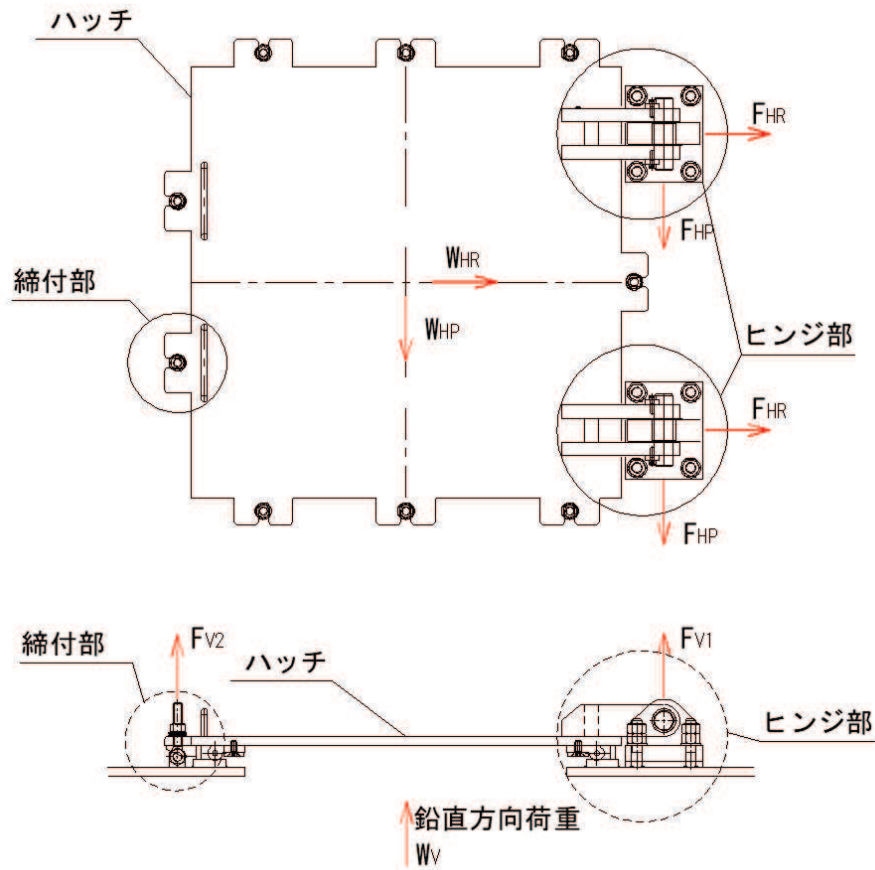


図4-4 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_{HP} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_V = (G + P_h + P_s) + (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

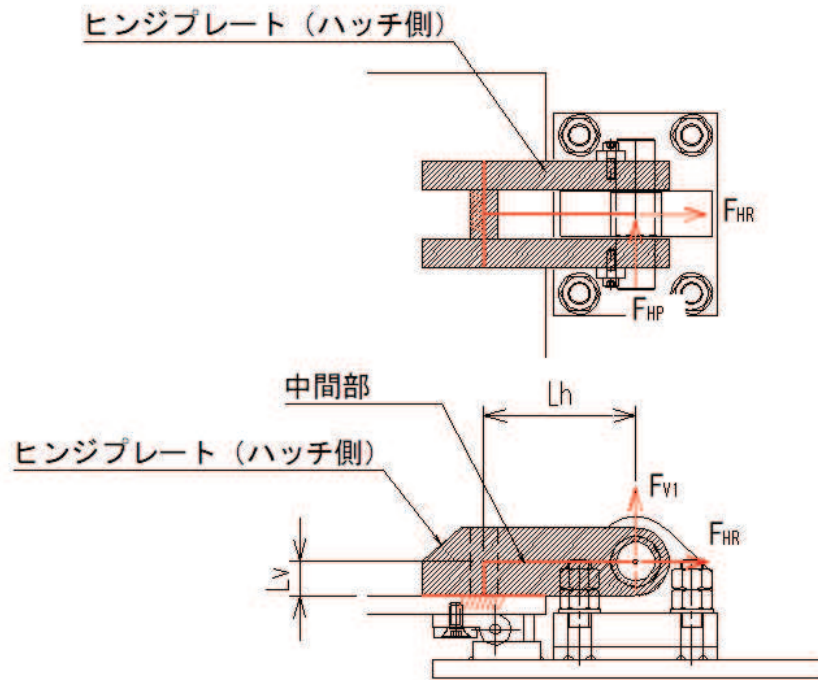
- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_h : 浸水津波荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- α_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向の余震震度
- α_V : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{V2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 4-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

4.4.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図 4-6 に示す。

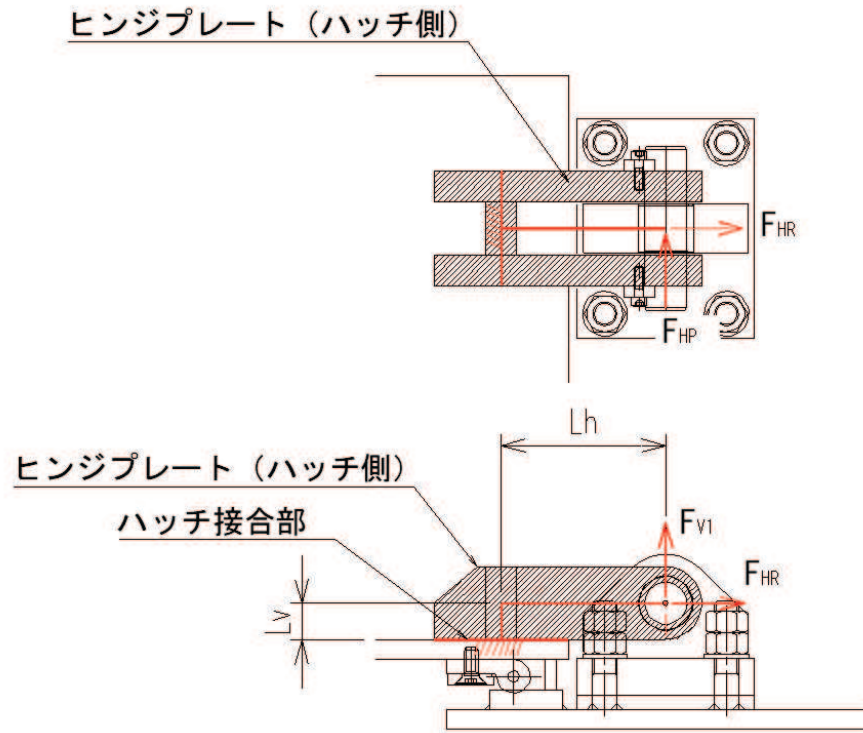


ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$	ここで、	
$\sigma_N = F_{HR} / A_1$	σ_N	: 軸方向引張応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$	σ_{bP}	: 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$	σ_{bV1}	: 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
	τ_P	: 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$	τ_v	: 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_P = F_{HP} / A$	x	: 合成応力度 (N/mm ²)
$\tau_v = F_{V1} / A$	F_{HR}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
	F_{HP}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
	F_{v1}	: ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
	L_h	: ヒンジ支点間水平距離 (mm)
	Z_1	: 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm ³)
	Z_2	: 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm ³)
	A_1	: ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部) (mm ²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図 4-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{v1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{v1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

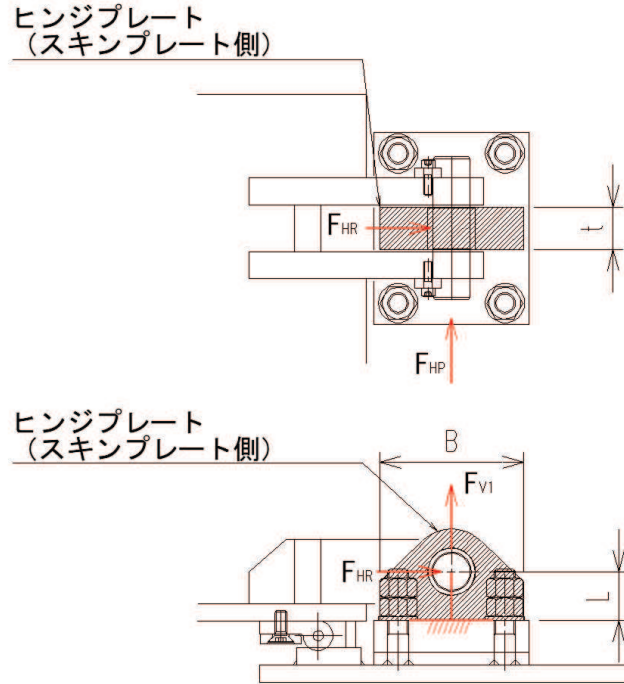
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_{PX} : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- L_v : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- Z_3 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_4 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_p : 極断面係数 (mm³)
- A_2 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接合部) (mm²)

図 4-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

4.4.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図 4-7 に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm²)

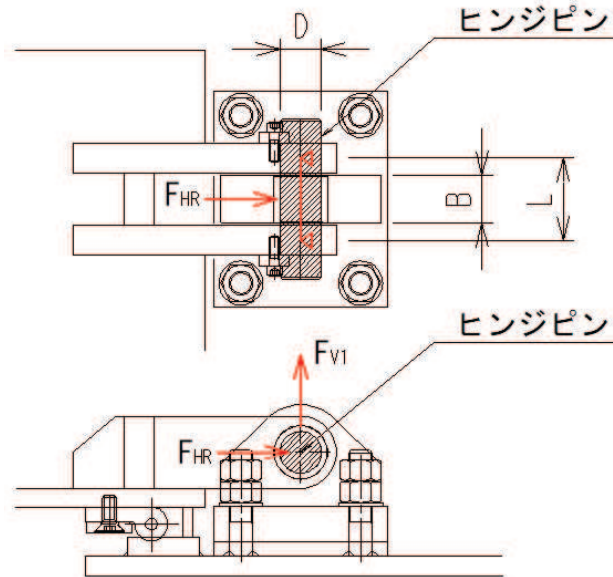
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図 4-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

4.4.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図4-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ支点間距離 (mm)

B : 荷重の載荷長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

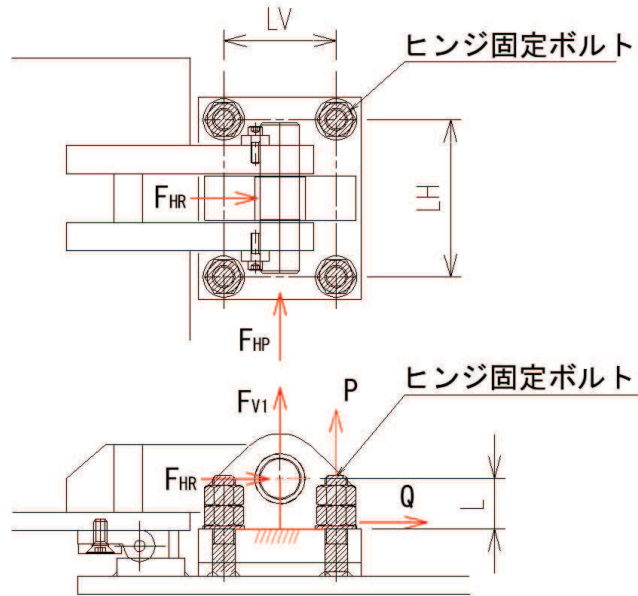
A : ヒンジピンの断面積 (mm²)

D : ヒンジピンの直径 (mm)

図4-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

4.4.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図 4-9 に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

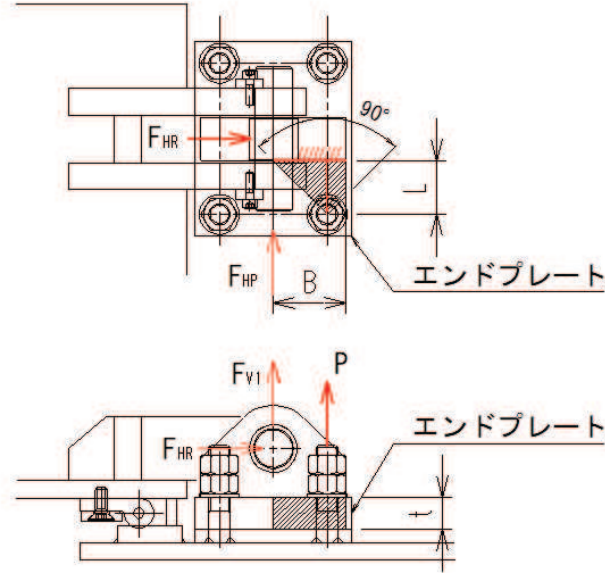
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図 4-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

4.4.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図 4-10 に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)

L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

t : エンドプレートの板厚 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

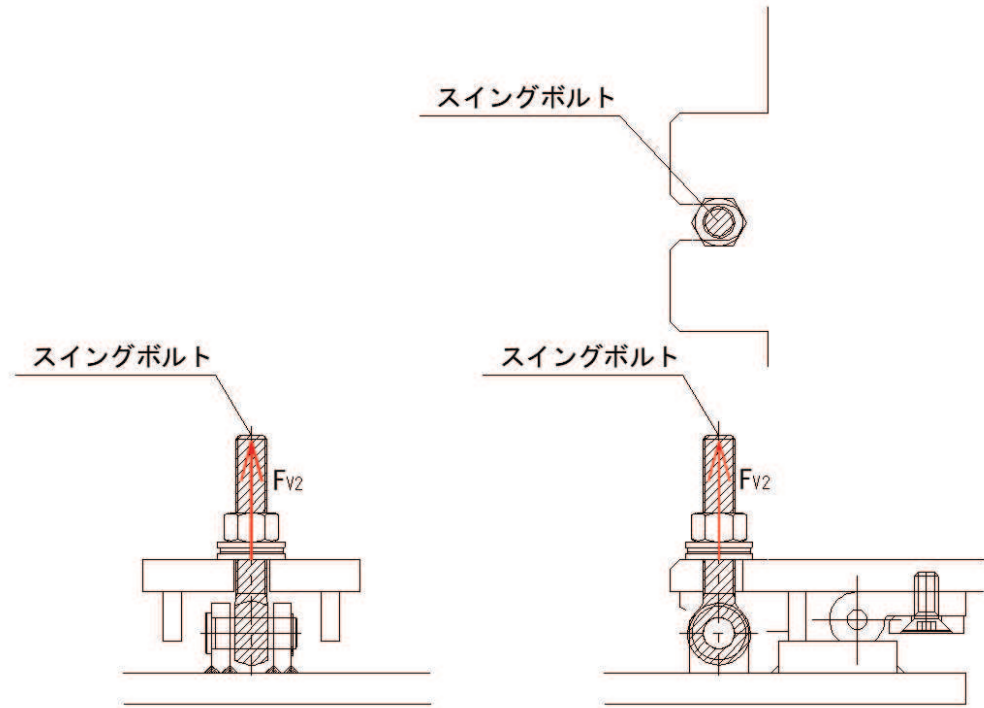
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図 4-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

4.4.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図4-11に示す。



$$\sigma = F_{v2} / A$$

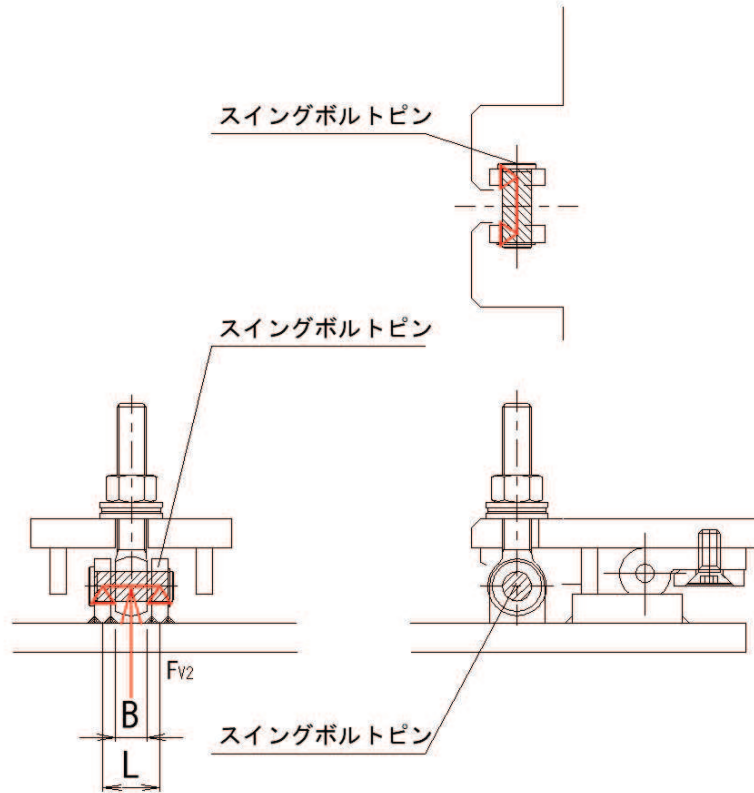
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図4-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

4.4.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 4-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

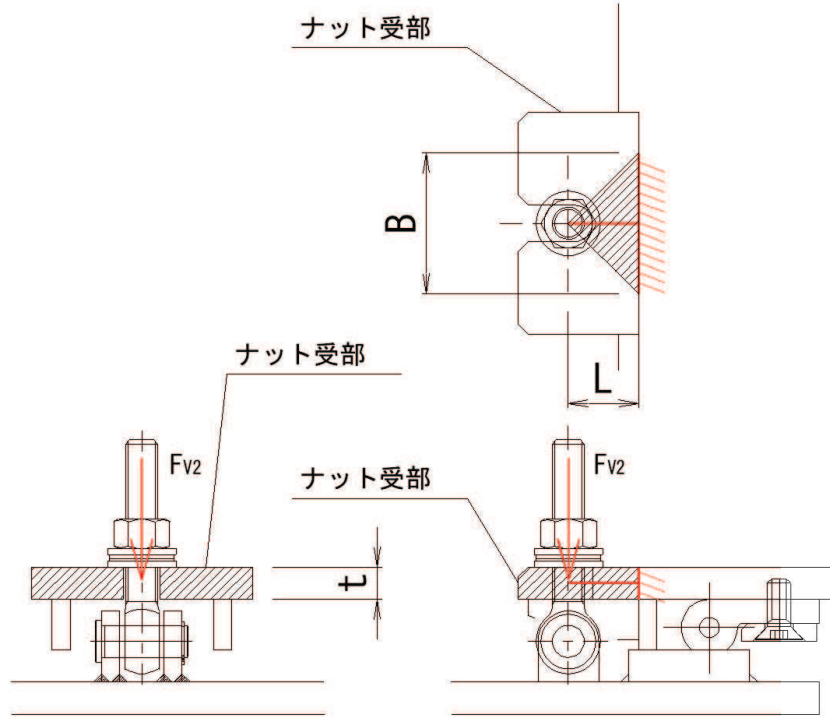
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 4-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

4.4.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受部のモデル図及び応力算定式を図4-13に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : 腕長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

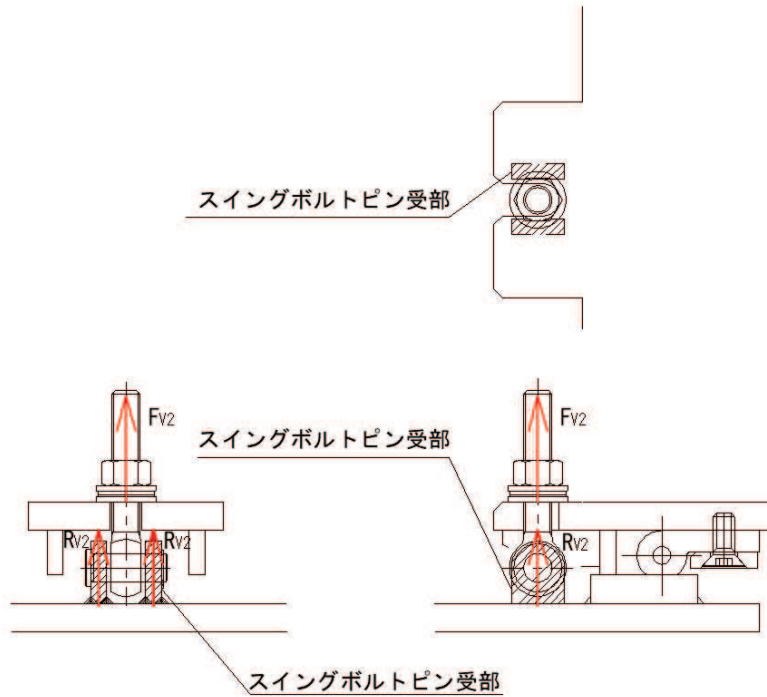
A : ナット受部の有効断面積 (mm²)

t : ナット受部の板厚 (mm)

図4-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

4.4.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 4-14 に示す。



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 4-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表4-5に示す。

表4-5 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P _h	kN	浸水津波荷重	132.78
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	19.5
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	A	m ²	スキンプレートの面積	2.39
	L ₁	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	770
	L ₂	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	927
	β ₂	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
受桁	G	kN	スキンプレートと受桁の固定荷重	6.14
	P _h	kN	浸水津波荷重	132.78
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	19.5
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	L ₃	mm	受桁の負担幅	822
	L ₄	mm	受桁全長	1485
	A	m ²	受桁のせん断断面積	910
	Z	mm ³	受桁の断面係数	2.13×10 ⁵
固定ボルト	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P _h	kN	浸水津波荷重	132.78
	h ₁	O.P. m	設計津波水位	19.5
	h ₂	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	24
	A'	mm ²	固定ボルトの有効断面積	157

表 4-5 (2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_H	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_V	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-5 (3) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	1.12
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.42
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm ²	断面積	121.50

表 4-5 (4) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.47
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.47
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.47
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-5 (5) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	1.95
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.80
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.42
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm ²	断面積	121.50

5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表5-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(1) 浸水防止蓋の強度評価結果 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
スキンプレート	曲げ	96	N/mm ²	325	N/mm ²	0.30 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	188	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	97	N/mm ²	325	N/mm ²	0.30 < 1.0
受桁	曲げ	111	N/mm ²	325	N/mm ²	0.35 < 1.0
	せん断	70	N/mm ²	188	N/mm ²	0.38 < 1.0
	組合せ	165	N/mm ²	325	N/mm ²	0.51 < 1.0
固定ボルト	引張	29	N/mm ²	325	N/mm ²	0.09 < 1.0
	せん断	11	N/mm ²	188	N/mm ²	0.06 < 1.0

表 5-1 (2) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	21	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	291	N/mm ²	0.04 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	3	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	15	N/mm ²	265	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm ²	291	N/mm ²	0.06 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	11	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	14	N/mm ²	291	N/mm ²	0.05 < 1.0
エンドプレート	曲げ	10	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	11	N/mm ²	291	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト	引張	37	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	76	N/mm ²	273	N/mm ²	0.28 < 1.0
	せん断	15	N/mm ²	157	N/mm ²	0.10 < 1.0
	組合せ	80	N/mm ²	300	N/mm ²	0.27 < 1.0
ナット受部	曲げ	67	N/mm ²	273	N/mm ²	0.25 < 1.0
	せん断	6	N/mm ²	157	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	68	N/mm ²	300	N/mm ²	0.23 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	24	N/mm ²	273	N/mm ²	0.09 < 1.0

表 5-1 (3) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	28	N/mm ²	265	N/mm ²	0.11 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	29	N/mm ²	291	N/mm ²	0.10 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	13	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	13	N/mm ²	153	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	26	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	11	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	12	N/mm ²	291	N/mm ²	0.05 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	20	N/mm ²	291	N/mm ²	0.07 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	18	N/mm ²	265	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	153	N/mm ²	0.07 < 1.0
	組合せ	24	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
エンドプレート	曲げ	17	N/mm ²	265	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	17	N/mm ²	291	N/mm ²	0.06 < 1.0
スイングボルト	引張	37	N/mm ²	265	N/mm ²	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	76	N/mm ²	273	N/mm ²	0.28 < 1.0
	せん断	15	N/mm ²	157	N/mm ²	0.10 < 1.0
	組合せ	80	N/mm ²	300	N/mm ²	0.27 < 1.0
ナット受部	曲げ	67	N/mm ²	273	N/mm ²	0.25 < 1.0
	せん断	6	N/mm ²	157	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	68	N/mm ²	300	N/mm ²	0.23 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	24	N/mm ²	273	N/mm ²	0.09 < 1.0

VI-3-別添 3-2-7-6 浸水防止蓋（第 2 号機軽油タンクエリア）
の強度計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	8
4.	固有値解析	9
4.1	固有振動数の計算方法	9
4.2	固有振動数の計算条件	10
4.3	固有振動数の計算結果	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重及び荷重の組合せ	12
5.3	許容限界	15
5.4	評価方法	17
5.5	評価条件	20
6.	評価結果	22

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No.1）、（No.2）及び地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋（以下「浸水防止蓋」という。）が地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

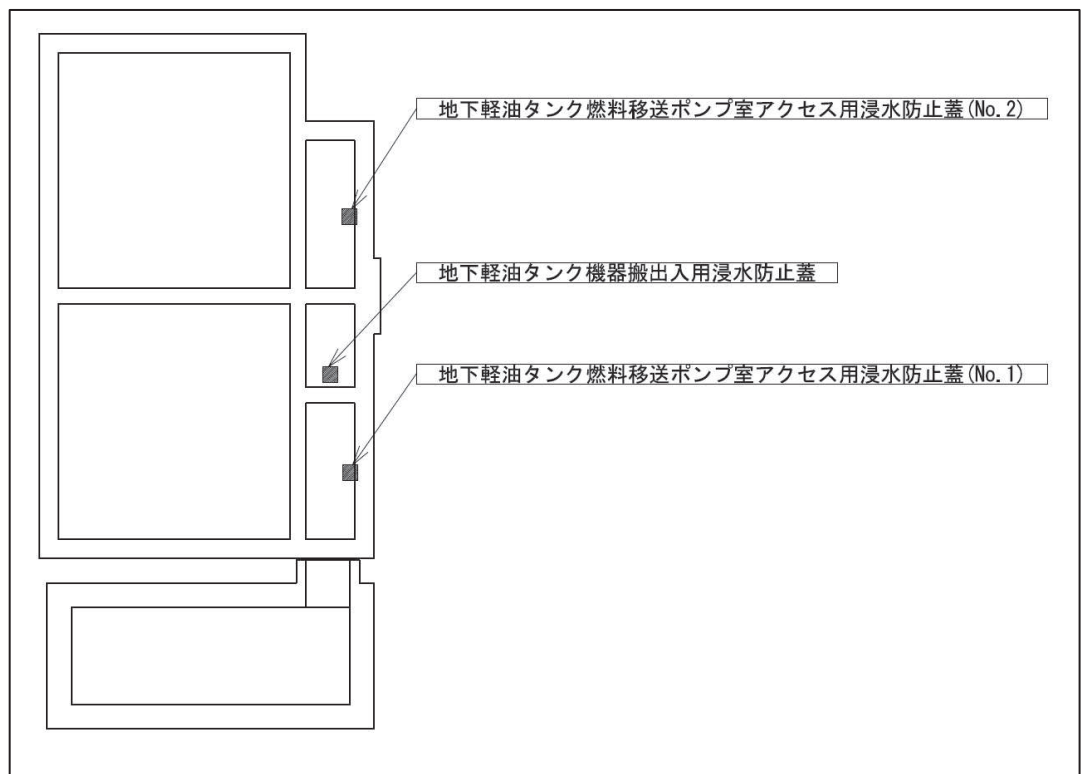




図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図（軽油タンクエリア上部）

2.2 構造計画

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトにて固定することで止水性を確保する構造とする。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	 <p>地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No.1), (No.2)</p>  <p>地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に示す。

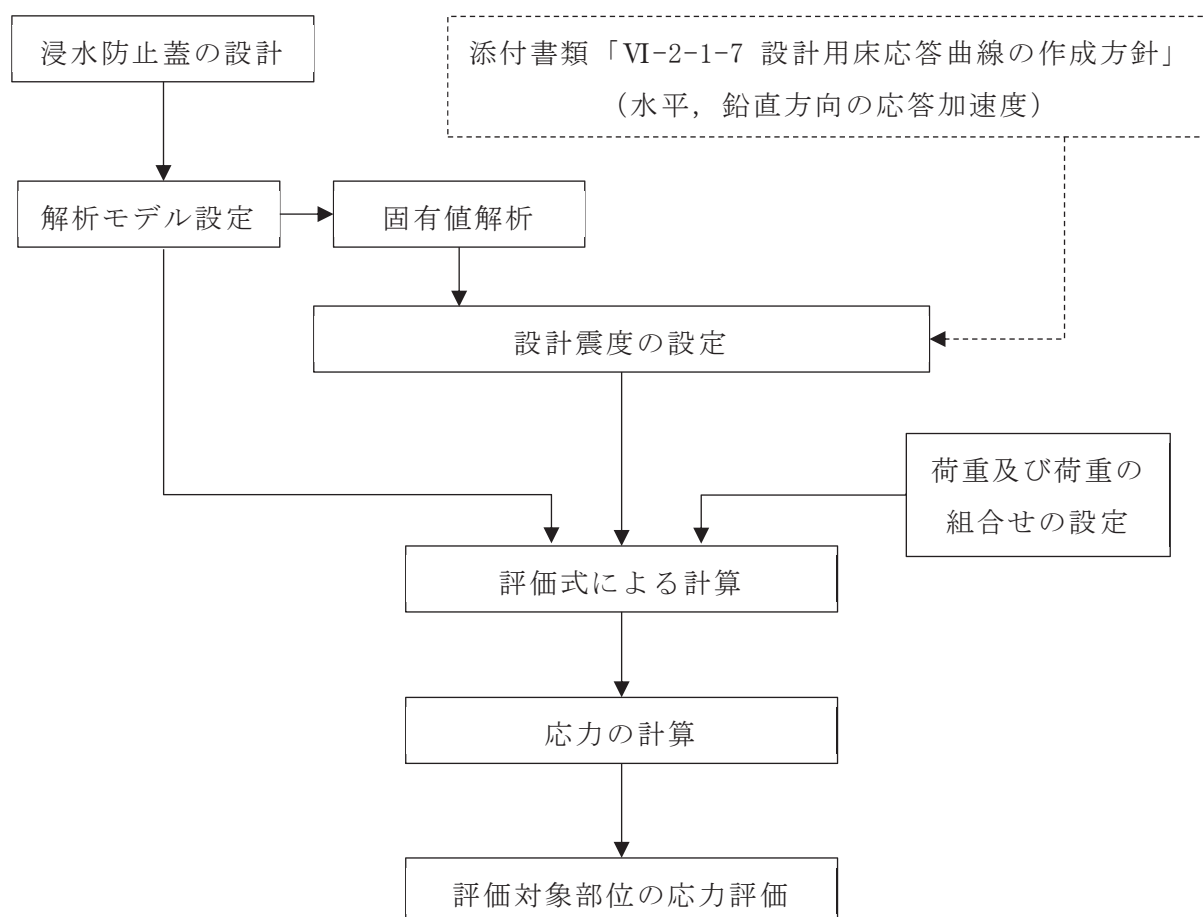


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む) J S
M E S N C 1 - 2005 / 2007 (日本機械学会)) (以下, 設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0
1 ・ 補 - 1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)
- (4) 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 (日本電気
協会) (以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 機械工学便覧 (日本機械学会)
- (6) 日本産業規格 (J I S)

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	浸水防止蓋の長さ (長辺)
b	mm	浸水防止蓋の幅 (短辺)
g	m/s ²	重力加速度
t	mm	浸水防止蓋の板厚
m	kg	浸水防止蓋を構成する部材の重量
D	N	固定荷重
P _s	N	積雪荷重
F	MPa	許容応力算定用基準値 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.(b)に定める, S _y 及び 0.7・S _u のいずれか小さい方の値とする。
f _b	MPa	許容曲げ応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)に定める値とする。
f _t	MPa	許容引張応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値とする。
f _{t s}	MPa	せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力
f _s	MPa	許容せん断応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(2)に定める値とする。
S _y	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 8 に規定される材料の設計降伏点
S _u	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 9 に規定される材料の設計引張強さ
S _d	N	弾性設計用地震動 S _d -D2 による余震荷重
C _H	—	弾性設計用地震動 S _d -D2 による水平方向の設計震度
C _V	—	弾性設計用地震動 S _d -D2 による鉛直方向の設計震度
K _{H s d}	N	弾性設計用地震動 S _d -D2 による水平方向の地震荷重
K _{V s d}	N	弾性設計用地震動 S _d -D2 による鉛直方向の地震荷重
P _h	MPa	地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う静水圧荷重
β ₂	—	浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数
ρ ₀	kg/m ³	海水の密度
h	mm	地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位
ω	Pa/cm	積雪の単位荷重

表 2-2 強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	浸水防止蓋の面積
σ_b	MPa	浸水防止蓋に発生する最大曲げ応力
σ	MPa	浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力
τ	MPa	浸水防止蓋に発生する最大せん断応力
A _b	mm ²	ボルトの断面積
f _{t0}	MPa	ボルトに作用する許容引張応力 (f _t を 1.5 倍した値)
τ_{ksd}	MPa	ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力
n	本	ボルトの本数

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している構造を踏まえて、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋に対して浸水津波及び積雪、余震による荷重が作用し、これらの荷重は鋼製の浸水防止蓋より浸水防止蓋を固定している鋼製の固定ボルトに伝達することから、主要構成部材である浸水防止蓋及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋の強度評価における評価対象部位について図 3-1 及び図 3-2 に示す。



図 3-1 評価対象部位（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋
(No. 1) , (No. 2)）



図 3-2 評価対象部位（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、全周囲を固定ボルトにて固定された構造であることから、荷重がかかる浸水防止蓋は図 4-1 に示す周辺固定の長方形板モデルとする。

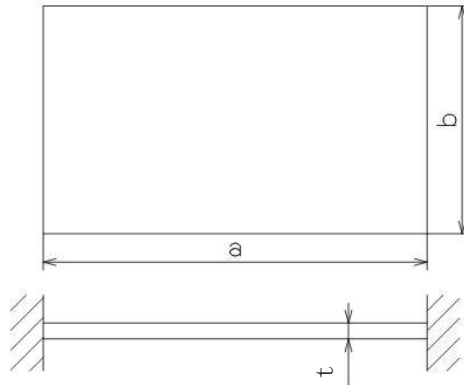


図 4-1 浸水防止蓋の概略モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
T	s	固有周期
f	Hz	一次固有振動数
a	mm	解析モデルの長さ（長辺）
b	mm	解析モデルの幅（短辺）
t	mm	解析モデルの厚さ
g	m/s ²	重力加速度
λ	—	振動数係数（板モデルの固有振動数算出）
E	MPa	縦弾性係数 設計・建設規格の付録材料図表 Part6 表 1 より温度を考慮して求めた値
ρ	kg/m ³	材料の密度
ν	—	ポアソン比

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有周期 T 及び周辺固定の長方形板モデルの一次固有振動数 f は、「機械工学便覧（日本機械学会）」より、次式を用いて算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot b^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件 (1/2)

設備名称	材質	浸水防止蓋の厚さ t (mm)	浸水防止蓋の長さ a (mm)	浸水防止蓋の幅 b (mm)	振動数係数 λ^{*1}
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用浸水防止蓋 (No.1) , (No.2)	SUS304	16	1.336×10^3	1.070×10^3	2.74
地下軽油タンク 機器搬出入用浸水防止蓋	SUS304	16	1.336×10^3	1.030×10^3	2.74

表 4-2 固有振動数の計算条件 (2/2)

温度条件 ^{*2} (°C)	縦弾性係数 E (MPa)	重力加速度 g (m/s ²)	ポアソン比 ν	材料の密度 ρ (kg/m ³)
40	1.94×10^5	9.80665	0.3	7.93×10^3

注記*1：浸水防止蓋の振動数係数 λ は、いずれも $1 < a/b < 1.5$ のため、より小さな値として算出される $a/b = 1.5$ の場合の定数 $\lambda = 2.74$ を用いた。

*2：屋外設備としての環境条件を考慮する。

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1) , (No. 2)	90.03
地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	97.16

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$D + P_h + S_d + P_s$$

- ここで、
- D : 固定荷重
 - P_h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う静水圧荷重
 - S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重
 - P_s : 積雪荷重

5.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

(1) 固定荷重 (D)

常時作用する固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮し、以下の式により算出する。

$$D = m \cdot g$$

- ここで、
- D : 固定荷重 (N)
 - m : 浸水防止蓋を構成する部材の重量 (kg)
 - g : 重力加速度 (m/s^2)

(2) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重として、地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h$$

- ここで、
- P_h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う静水圧荷重 (MPa)
 - ρ_0 : 海水の密度 (kg/m^3)
 - g : 重力加速度 (m/s^2)
 - h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位 (mm)

(3) 余震荷重 (S d)

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す弾性設計用地震動に伴う地震力を考慮する。

$$K_{H s d} = C_H \cdot (D + (P_h + P_s) \cdot A)$$

$$K_{V s d} = C_V \cdot (D + (P_h + P_s) \cdot A)$$

- ここで、 $K_{H s d}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平方向の地震荷重 (N)
 $K_{V s d}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 による鉛直方向の地震荷重 (N)
 C_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平方向の設計震度
 C_V : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による鉛直方向の設計震度
 D : 固定荷重 (N)
 P_h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う静水圧荷重 (MPa)
 P_s : 積雪荷重 (Pa)
 A : 浸水防止蓋の面積 (mm²)

(4) 積雪荷重 (P s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付資料「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量を以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot \omega \cdot 43$$

- ここで、 P_s : 積雪荷重 (Pa)
 ω : 積雪の単位荷重 (Pa/cm)

5.2.3 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，浸水防止蓋の強度評価に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す軽油タンク室（ポンプ室）における最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。

浸水防止蓋の強度評価に用いる設計震度を表 5-1 に示す。

表 5-1 設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度 C_H^*	鉛直方向設計震度 C_V^*
弾性設計用 地震動 S d - D 2	軽油タンク室（ポンプ室） O.P. 13.80	0.97	0.48

注記*：「4. 固有値解析」より，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

5.3 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付資料「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する浸水防止蓋，固定ボルト①，固定ボルト②及び固定ボルト③の使用材料を表 5-2 に示す。

表 5-2 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋	SUS304	厚さ 16 mm
固定ボルト①②③	SUS304	M16

5.3.2 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、設計・建設規格に準じた許容応力を用いる。なお、浸水防止蓋の浮き上がりによるボルトの引張が起これないため、固定ボルトの発生応力においては引張を考慮しないことから、引張応力及び組合せ応力については許容限界を設定しない。

浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界を表 5-3 に、許容応力評価条件を表 5-4 に、許容応力算出結果を表 5-5 にそれぞれ示す。

表 5-3 浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界（許容応力）

許容応力状態	許容限界* ¹ (MPa)					
	浸水防止蓋			固定ボルト①②③		
	一次応力			一次応力		
	曲げ	せん断	組合せ* ²	引張	せん断	組合せ* ³
III _{AS} * ⁴	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	f_{ts}

注記*1：曲げ及びせん断は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。組合せは、設計・建設規格による。

*2：曲げとせん断の組合せである。

*3：せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 f_{ts} は、次のいずれか小さい方の値から算出。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \tau_{ksd}$$

$$f_{ts} = f_{t0}$$

*4：地震後，津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し，当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう，設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-4 許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
浸水防止蓋	SUS304	40	205	520	205
固定ボルト①					
固定ボルト②					
固定ボルト③					

注記*：F = Min [S_y, 0.7 · S_u] とする。

表 5-5 許容応力算出結果

許容応力 状態	評価対象 部位	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)	
		一次応力			一次応力	
		曲げ (MPa)	せん断 (MPa)	組合せ (MPa)	引張 (MPa)	せん断 (MPa)
Ⅲ _{AS}	浸水防止蓋	204	117	204	—	—
	固定ボルト①	—	—	—	—	117
	固定ボルト②	—	—	—	—	117
	固定ボルト③	—	—	—	—	117

5.4 評価方法

浸水防止蓋，固定ボルト①，固定ボルト②及び固定ボルト③に発生する応力より算出する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

5.4.1 浸水防止蓋

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に，浸水防止蓋に発生する曲げ応力及びせん断応力は，「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 最大曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + K_{v s d}}{A} + P_h + P_s \right) \cdot b^2}{t^2}$$

ここで， σ_b : 浸水防止蓋に発生する最大曲げ応力 (MPa)

β_2 : 浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数

D : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)

$K_{v s d}$: 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の地震荷重 (N)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

P_h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う静水圧荷重 (MPa)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

b : 浸水防止蓋の幅（短辺）(mm)

t : 浸水防止蓋の厚さ (mm)

(2) 最大せん断応力

$$\tau = \frac{D + K_{v s d} + (P_h + P_s) \cdot A}{t \cdot (a + b) \cdot 2}$$

ここで， τ : 浸水防止蓋に発生する最大せん断応力 (MPa)

D : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)

$K_{v s d}$: 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の地震荷重 (N)

P_h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う静水圧荷重 (MPa)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

t : 浸水防止蓋の厚さ (mm)

a : 浸水防止蓋の長さ（長辺）(mm)

b : 浸水防止蓋の幅（短辺）(mm)

(3) 組合せ応力評価

浸水防止蓋に発生する曲げ応力やせん断応力の組合せ応力を以下の式より算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad *$$

注記* : 設計・建設規格 SSB-3121.1

ここで, σ : 浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力 (MPa)

σ_b : 浸水防止蓋に発生する最大曲げ応力 (MPa)

τ : 浸水防止蓋に発生する最大せん断応力 (MPa)

5.4.2 固定ボルト①

固定ボルト①に作用するせん断荷重は, 浸水防止蓋の水平方向荷重をすべての固定ボルト①で負担するものとして評価する。固定ボルト①のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s d} = \frac{K_{H s d}}{n_1 \cdot A_{b 1}}$$

$$K_{H s d} = C_H \cdot (D_1 + P_s \cdot A)$$

ここで, $\tau_{k s d}$: ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s d}$: 弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平方向の地震荷重 (N)

C_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平方向の設計震度

D_1 : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm²)

n_1 : 固定ボルト①の本数 (本)

$A_{b 1}$: 固定ボルト①の呼び径断面積 (mm²)

5.4.3 固定ボルト②

固定ボルト②に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト②で負担するものとして評価する。固定ボルト②のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s d} = \frac{K_{H s d}}{n_2 \cdot A_{b 2}}$$

$$K_{H s d} = C_H \cdot (D_2 + P_s \cdot A)$$

- ここで、 $\tau_{k s d}$: ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力 (MPa)
 $K_{H s d}$: 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の地震荷重 (N)
 C_H : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の設計震度
 D_2 : 浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの固定荷重 (N)
 P_s : 積雪荷重 (Pa)
 A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)
 n_2 : 固定ボルト②の本数 (本)
 $A_{b 2}$: 固定ボルト②の呼び径断面積 (mm^2)

5.4.4 固定ボルト③

固定ボルト③に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋、固定ボルト①、中間リング、固定ボルト②及び埋込リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト③で負担するものとして評価する。固定ボルト③のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s d} = \frac{K_{H s d}}{n_3 \cdot A_{b 3}}$$

$$K_{H s d} = C_H \cdot (D_3 + P_s \cdot A)$$

- ここで、 $\tau_{k s d}$: ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力 (MPa)
 $K_{H s d}$: 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の地震荷重 (N)
 C_H : 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の設計震度
 D_3 : 浸水防止蓋、固定ボルト①、中間リング、固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重 (N)
 P_s : 積雪荷重 (Pa)
 A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)
 n_3 : 固定ボルト③の本数 (本)
 $A_{b 3}$: 固定ボルト③の呼び径断面積 (mm^2)

5.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No.1）
（No.2））の強度評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	h	mm	地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位	180
	ρ_0	kg/m ³	海水の密度	1.030×10^3
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
浸水防止蓋	D	N	浸水防止蓋の固定荷重	3.040×10^3
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	1.336×10^3
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	1.070×10^3
	A	mm ²	浸水防止蓋の面積	1.430×10^6
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D ₁	N	浸水防止蓋の固定荷重	3.040×10^3
	n ₁	本	固定ボルト①の本数	8
	A _{b1}	mm ²	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D ₂	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	4.590×10^3
	n ₂	本	固定ボルト②の本数	12
	A _{b2}	mm ²	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D ₃	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	6.472×10^3
	n ₃	本	固定ボルト③の本数	16
	A _{b3}	mm ²	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

表 5-7 浸水防止蓋（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）の強度評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	h	mm	地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位	180
	ρ_0	kg/m ³	海水の密度	1.030×10^3
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
浸水防止蓋	D	N	浸水防止蓋の固定荷重	2.550×10^3
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	1.336×10^3
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	1.070×10^3
	A	mm ²	浸水防止蓋の面積	1.376×10^6
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D ₁	N	浸水防止蓋の固定荷重	2.550×10^3
	n ₁	本	固定ボルト①の本数	8
	A _{b1}	mm ²	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D ₂	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	4.295×10^3
	n ₂	本	固定ボルト②の本数	12
	A _{b2}	mm ²	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D ₃	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	6.178×10^3
	n ₃	本	固定ボルト③の本数	16
	A _{b3}	mm ²	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

6. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表 6-1 に示す。全ての部材において発生応力が許容応力以下であることを確認した。

表 6-1 強度評価結果

評価対象部位		評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用 浸水防止蓋 (No. 1) , (No. 2)	浸水防止蓋	曲げ	13	204
		せん断	1	117
		組合せ*	14	204
	固定ボルト①	せん断	4	117
	固定ボルト②	せん断	4	117
	固定ボルト③	せん断	3	117
地下軽油タンク 機器搬出入用 浸水防止蓋	浸水防止蓋	曲げ	11	204
		せん断	1	117
		組合せ*	12	204
	固定ボルト①	せん断	4	117
	固定ボルト②	せん断	3	117
	固定ボルト③	せん断	3	117

注記*：浸水防止蓋の組合せ応力値は曲げとせん断の組合せである。

VI-3-別添 3-2-8 浸水防止壁の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	8
4.	構造強度評価	9
4.1	構造強度評価方法	9
4.2	荷重及び荷重の組合せ	9
4.3	許容限界	11
4.4	評価方法	13
4.5	評価条件	18
5.	評価結果	19

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち第2号機海水ポンプ室浸水防止壁（以下「浸水防止壁」という。）が地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、浸水防止壁の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止壁は、第2号機海水ポンプ室（以下「海水ポンプ室」という。）躯体上部に設置する。

浸水防止壁の設置位置図を図2-1に示す。

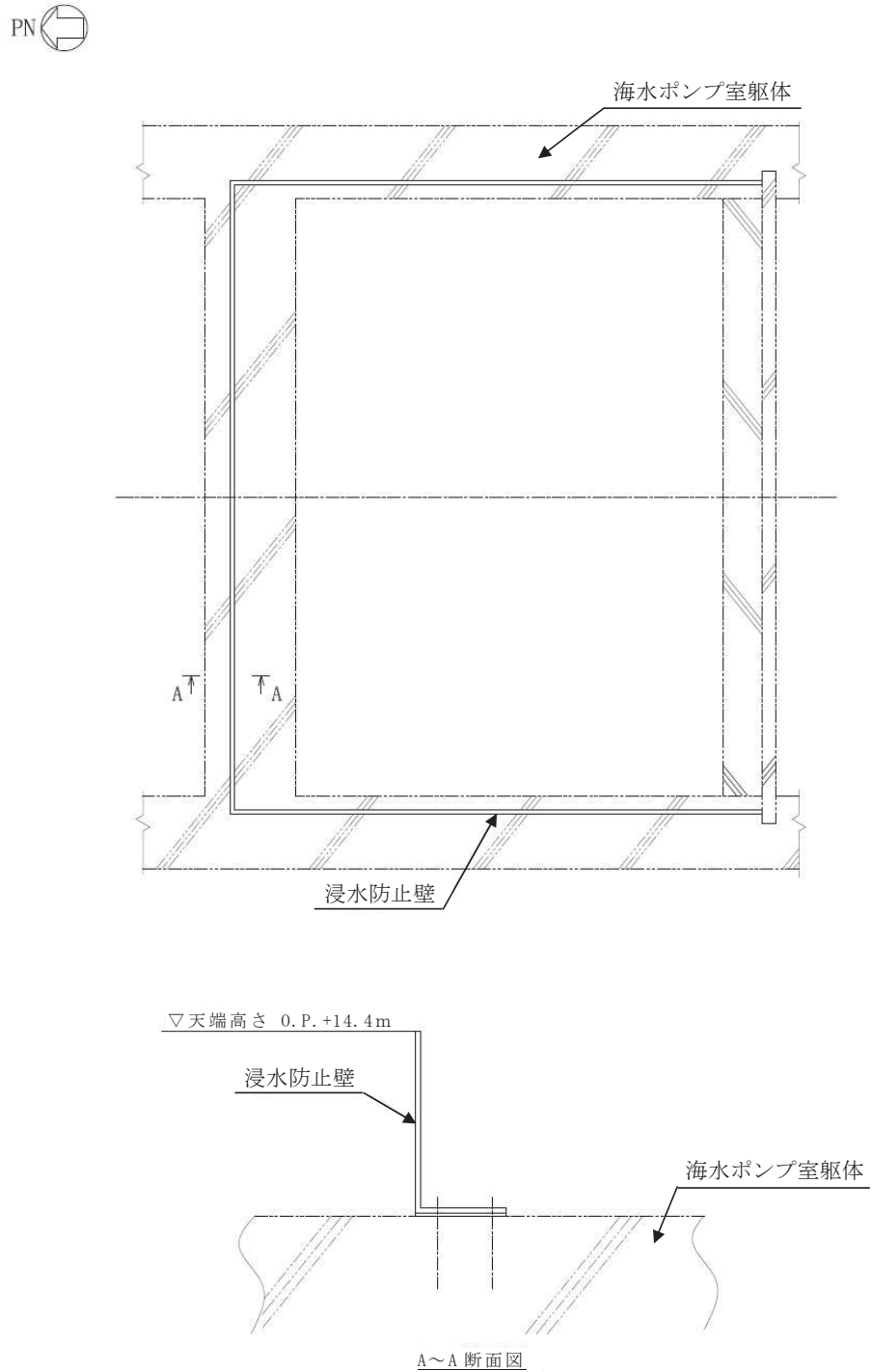


図 2-1 浸水防止壁の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体上部にL字型の浸水防止壁を設置する構造とする。浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体との間にシーリング材を挟みこみ、基礎ボルトで固定する。浸水防止壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止壁の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
海水ポンプ室の躯体上部に基礎ボルトで固定する。	浸水防止壁により構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止壁の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止壁の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に示す。

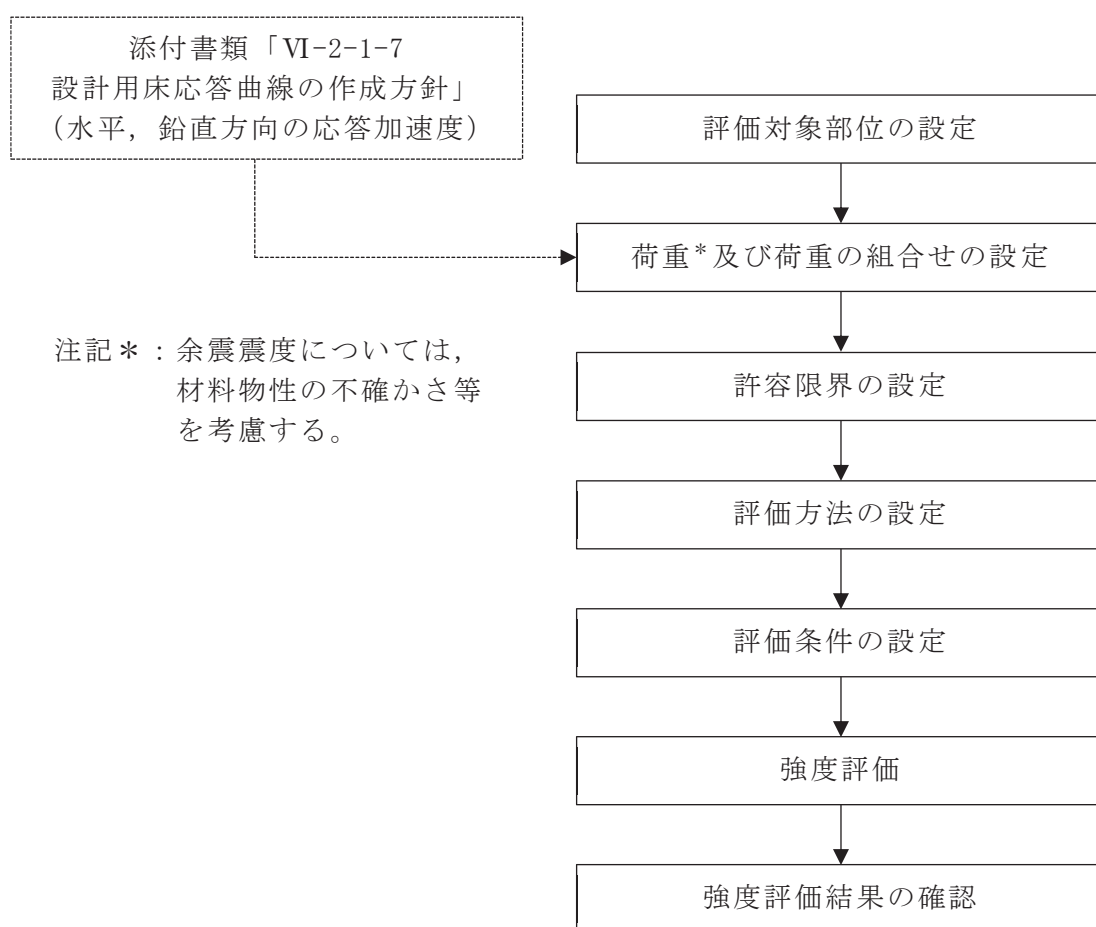


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- (2) 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- (3) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- (4) 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- (5) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (6) 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説

2.5 記号の説明

浸水防止壁の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
G	-	固定荷重
P_h	-	浸水津波荷重
K_{S_d}	-	余震荷重（動水圧含む。）
P_k	-	風荷重
w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重
W_v	N	浸水防止壁の固定荷重
w_{P_h}	N/mm	津波の等分布荷重
γ_w	N/mm ³	海水の単位体積重量
h	mm	地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位
w_{S_dH}	N/mm	余震の水平方向の等分布荷重
P_{S_dV}	N	余震の鉛直方向の荷重
w_{P_hd}	N/mm	余震時の動水圧等分布荷重
C_H	-	水平方向の余震震度
C_V	-	鉛直方向の余震震度
w_{P_k}	N/mm	風の等分布荷重
q	N/mm ²	速度圧
C_f	-	風力係数
H	mm	浸水防止壁の高さ
M	N・mm	浸水防止壁に作用する曲げモーメント
M_1	N・mm	余震荷重，風荷重による曲げモーメント
M_2	N・mm	津波荷重による曲げモーメント
Q	N	浸水防止壁に作用するせん断力
Q_1	N	余震荷重，風荷重によるせん断力
Q_2	N	津波荷重によるせん断力
σ_b	N/mm ²	浸水防止壁の曲げ応力度
τ	N/mm ²	浸水防止壁のせん断応力度
σ	N/mm ²	浸水防止壁の組合せ応力度
Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数
A	mm ²	浸水防止壁の断面積

表 2-2 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$T_{b o}$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$Q_{b o}$	N	基礎ボルトに作用するせん断力
b	mm	基礎ボルト間寸法
n	本	基礎ボルトの本数
P_a	N	基礎ボルトの短期許容引張力
q_a	N	基礎ボルトの短期許容せん断力

3. 評価対象部位

浸水防止壁の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、津波荷重、余震荷重及び風荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止壁に作用する各荷重は、浸水防止壁に伝わり、浸水防止壁を固定している基礎ボルトを介して躯体に伝達されることから、浸水防止壁及び基礎ボルトを評価対象部位として設定する。評価対象部位を図 3-1 に示す。

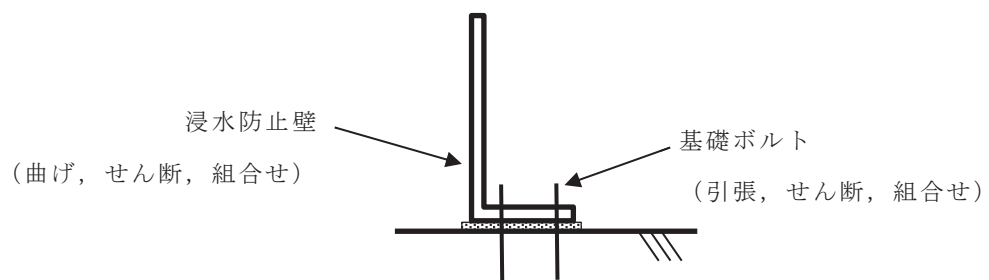


図 3-1 評価対象部位

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

浸水防止壁の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

浸水防止壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_h + K_{S_d} + P_k$$

- ここで、
- G : 固定荷重
 - P_h : 浸水津波荷重
 - K_{S_d} : 余震荷重（動水圧含む。）
 - P_k : 風荷重

4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として浸水防止壁の自重を考慮する。

- w_s : 浸水防止壁の固定等分布荷重 (N/mm)
- W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)

(2) 浸水津波荷重(P_h)

浸水津波荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位を考慮し、以下の式により算出する。

$$w_{P_h} = \gamma_w \cdot h \cdot 1000 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

- ここで、
- w_{P_h} : 津波の等分布荷重 (N/mm)
 - γ_w : 海水の単位体積重量 (N/mm³)
 - h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位 (mm)

(3) 余震荷重 (K_{Sd})

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う地震力を考慮する。

なお、浸水防止壁の強度評価に用いる余震震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」の地震応答解析結果を用いる。ここで、地震力は、浸水防止壁設置位置における最大応答加速度から設定する震度を用いて評価するものとし、次式により算出する。

$$w_{SdH} = w_s \cdot C_H + w_{Phd} \dots\dots\dots (4.2)$$

- ここで、 w_{SdH} : 余震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
- w_s : 浸水防止壁の固定等分布荷重 (N/mm)
- C_H : 水平方向の余震震度
- w_{Phd} : 余震時の動水圧等分布荷重 (N/mm)

余震時の動水圧等分布荷重は、「水道施設耐震工法指針・解説」より次式を用いて算定する。

$$w_{Phd} = \frac{7}{8} \cdot \gamma_w \cdot C_H \cdot \sqrt{h \cdot H \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3)$$

- ここで、 γ_w : 海水の単位体積重量 (N/mm³)
- h : 地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した
浸水に伴う津波荷重水位 (mm)
- H : 浸水防止壁の高さ (mm)

$$P_{SdV} = W_v \cdot C_V \dots\dots\dots (4.4)$$

- ここで、 P_{SdV} : 余震の鉛直方向の荷重 (N)
- W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)
- C_V : 鉛直方向の余震震度

余震震度 C_H 及び C_V を表 4-1 に示す。

表 4-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度	
		水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
海水ポンプ室	O.P. 13.80*	2.52	1.07

注記*：基準床レベルを示す。

(4) 風荷重 (P_k)

風の等分布荷重は、「建築基準法・同施行令」に基づき次式により算出する。

$$w_{P_k} = q \cdot C_f \cdot 1000 \dots\dots\dots (4.5)$$

ここで、w_{P_k} : 風の等分布荷重 (N/mm)

q : 速度圧 (N/mm²)

C_f : 風力係数

4.3 許容限界

浸水防止壁の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

浸水防止壁及び基礎ボルトの使用材料を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料

評価対象部位	材料	仕様
浸水防止壁	SS400	t=12 (mm)
基礎ボルト	SS400	M16

4.3.2 許容限界

(1) 浸水防止壁

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき設定した浸水防止壁の短期許容応力度を表 4-3 に示す。

表 4-3 浸水防止壁の短期許容応力度

種類	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ	せん断	組合せ
SS400	235	135	235

(2) 基礎ボルト

基礎ボルトの許容荷重は、「3. 評価対象部位」に記載した基礎ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重を表 4-4 に示す。

なお、基礎ボルトは躯体に埋め込まれていることから、引張力を受ける場合においては、基礎ボルトの降伏により決まる許容荷重及び基礎ボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、せん断力を受ける場合においては、基礎ボルトのせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重

種類	短期許容荷重 (N)	
	引張	せん断
SS400	28225	25826

4.4 評価方法

浸水防止壁の強度評価は、津波、余震、風により生じる応力度又は荷重が「4.3 許容限界」で設定した許容限界値を超えないことを確認する。

4.4.1 浸水防止壁の評価方法

浸水防止壁に生じる応力は、各荷重を受ける片持ちはりとして、躯体と接合部に生じる曲げモーメント及びせん断力を算定し、浸水防止壁に生じる曲げ及びせん断力に対する確認を行う。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 応力算定

余震荷重、風荷重により生じる応力は図 4-1 及び図 4-3 に、津波荷重による応力は図 4-2 及び図 4-4 に示すとおり、等分布荷重が作用するものとして算定する。

a. 曲げモーメント

曲げモーメントは次式により算定する。

$$M = M_1 + M_2 \dots\dots\dots (4.6)$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot (w_{S d H} + w_{P k}) \cdot H^2 \dots\dots\dots (4.7)$$

- ここで、 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 M_1 : 余震荷重、風荷重による曲げモーメント (N・mm)
 $w_{S d H}$: 余震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
 $w_{P k}$: 風の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

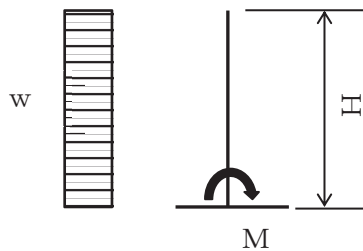


図 4-1 曲げモーメント算定モデル化(1)

$$M_2 = \frac{1}{6} \cdot w_{ph} \cdot H^2 \dots \dots \dots (4.8)$$

ここで、 M_2 : 津波荷重による曲げモーメント (N・mm)
 w_{ph} : 津波の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

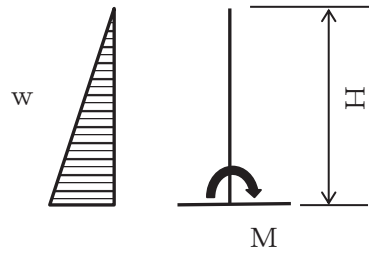


図 4-2 曲げモーメント算定モデル化(2)

b. せん断力

せん断力は次式により算定する。

$$Q = Q_1 + Q_2 \dots \dots \dots (4.9)$$

$$Q_1 = (w_{sdH} + w_{pk}) \cdot H \dots \dots \dots (4.10)$$

ここで、 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 Q_1 : 余震荷重，風荷重によるせん断力 (N)
 w_{sdH} : 余震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
 w_{pk} : 風の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

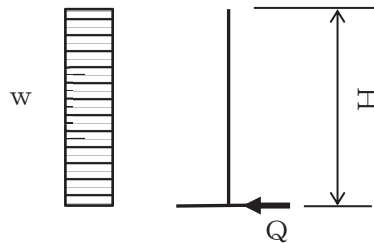


図 4-3 せん断力算定モデル化(1)

$$Q_2 = \frac{1}{2} \cdot w_{ph} \cdot H \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

ここで、 Q_2 : 津波荷重によるせん断力 (N)
 w_{ph} : 津波の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

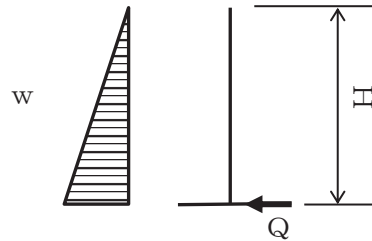


図 4-4 せん断力算定モデル化(2)

(2) 断面検定

a. 浸水防止壁に生じる曲げ応力度

浸水防止壁に生じる曲げ応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

ここで、 σ_b : 浸水防止壁の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 Z : 浸水防止壁の断面係数 (mm³)

b. 浸水防止壁に生じるせん断応力度

浸水防止壁に生じるせん断応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

ここで、 τ : 浸水防止壁のせん断応力度 (N/mm²)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 A : 浸水防止壁の断面積 (mm²)

c. 浸水防止壁に生じる組合せ応力度

浸水防止壁に生じる曲げとせん断の組合せ応力度「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式より算出し、浸水防止壁の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.14)$$

ここで、 σ : 浸水防止壁の組合せ応力度 (N/mm²)

4.4.2 基礎ボルトの評価方法

基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。基礎ボルトに生じる引張力に対する確認においては、浸水防止壁の自重による鉛直方向上向き地震荷重を組み合わせるものとする。鉛直方向下向きに生じる荷重は、既存躯体により支持されるため設計に考慮しない。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 評価方法

「4.4.1 浸水防止壁の評価方法」にて算出した浸水防止壁に生じる応力を基に基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。

(2) 荷重算定

a. 基礎ボルトに生じる引張力

基礎ボルトに生じる引張力は次式より算出し、基礎ボルトの短期許容引張力を下回ることを確認する。

$$T_{b.o} = \frac{M}{b \cdot \frac{n}{2}} + \frac{P_{sdv} - W_v}{n} \dots\dots\dots (4.15)$$

ここで、 $T_{b.o}$: 基礎ボルトに作用する引張力 (N)
 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 b : 基礎ボルト間寸法 (mm)
 P_{sdv} : 余震の鉛直方向の荷重 (N)
 W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)
 n : 基礎ボルトの本数 (本)

b. 基礎ボルトに生じるせん断力

基礎ボルトに作用するせん断力が、基礎ボルトの短期許容せん断力を下回ることを確認する。

$$Q_{b.o} = \frac{Q}{n} \dots\dots\dots (4.16)$$

- ここで、 $Q_{b.o}$: 基礎ボルトに作用するせん断力 (N)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 n : 基礎ボルトの本数 (本)

c. 基礎ボルトに生じる組合せ荷重

基礎ボルトに生じる引張とせん断の組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式より算出し、1以下であることを確認する。

$$\left(\frac{T_{b.o}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{Q_{b.o}}{q_a}\right)^2 \leq 1 \dots\dots\dots (4.17)$$

- ここで、 P_a : 基礎ボルトの短期許容引張力 (N)
 q_a : 基礎ボルトの短期許容せん断力 (N)

4.5 評価条件

浸水防止壁の強度評価に用いる入力値を表 4-5 に示す。

表 4-5 浸水防止壁の強度評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
浸水 防止壁	W_v	N	浸水防止壁の固定荷重	543.2
	w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重	9.238×10^{-1}
	γ_w	N/mm ³	海水の単位体積重量	1.01×10^{-5}
	h	mm	地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重水位	400*
	C_f	-	風力係数	1.2
	q	N/mm ²	速度圧	9.598×10^{-4}
	H	mm	浸水防止壁の高さ	400
	Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数	24000
	A	mm ²	浸水防止壁の断面積	12000
基礎 ボルト	b	mm	基礎ボルト間寸法	120
	n	本	基礎ボルトの本数	6

注記*：屋外タンク等の損傷による溢水による浸水水位は 0.18m であるが，保守的に浸水防止壁の高さ（H）まで津波荷重水位が加わるものとして設定する。

5. 評価結果

浸水防止壁の強度評価結果を表 5-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力度又は荷重が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 浸水防止壁の強度評価結果

評価対象部位		発生値 (発生応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水 防止壁	曲げ	46	N/mm ²	235	N/mm ²	0.20 < 1
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1
	組合せ	47	N/mm ²	235	N/mm ²	0.20 < 1
基礎 ボルト	引張	3060	N	28225	N	0.11 < 1
	せん断	961	N	25826	N	0.04 < 1
	組合せ	-		-		0.02 < 1

VI-3-別添 3-2-9 逆止弁付ファンネルの強度計算書

目 次

VI-3-別添 3-2-9-1 逆止弁付ファンネル（第 2 号機）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-9-2 逆止弁付ファンネル（第 3 号機）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-9-1 逆止弁付ファンネル（第2号機）の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	6
2.5	記号の説明	7
3.	評価対象部位	9
4.	固有値解析	10
4.1	固有振動数の計算方法	10
4.1.1	解析モデル	10
4.1.2	記号の説明	10
4.1.3	固有振動数の計算	11
4.2	固有振動数の計算条件	12
4.3	固有振動数の計算結果	12
5.	構造強度評価	13
5.1	構造強度評価方法	13
5.2	荷重及び荷重の組合せ	13
5.2.1	荷重の設定	13
5.2.2	荷重の組合せ	14
5.3	許容限界	14
5.4	設計用地震力	16
5.5	計算方法	17
5.5.1	荷重条件	17
5.5.2	応力計算	18
5.6	計算条件	20
6.	評価結果	21
6.1	応力評価	21
6.2	構造健全性評価	21

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち逆止弁付ファンネル（第2号機）（以下、逆止弁付ファンネルという。）が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、逆止弁付ファンネルの強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

逆止弁付ファンネルは、第2号機海水ポンプ室の床面に設置する。逆止弁付ファンネルの設置位置図を図2-1に示す。

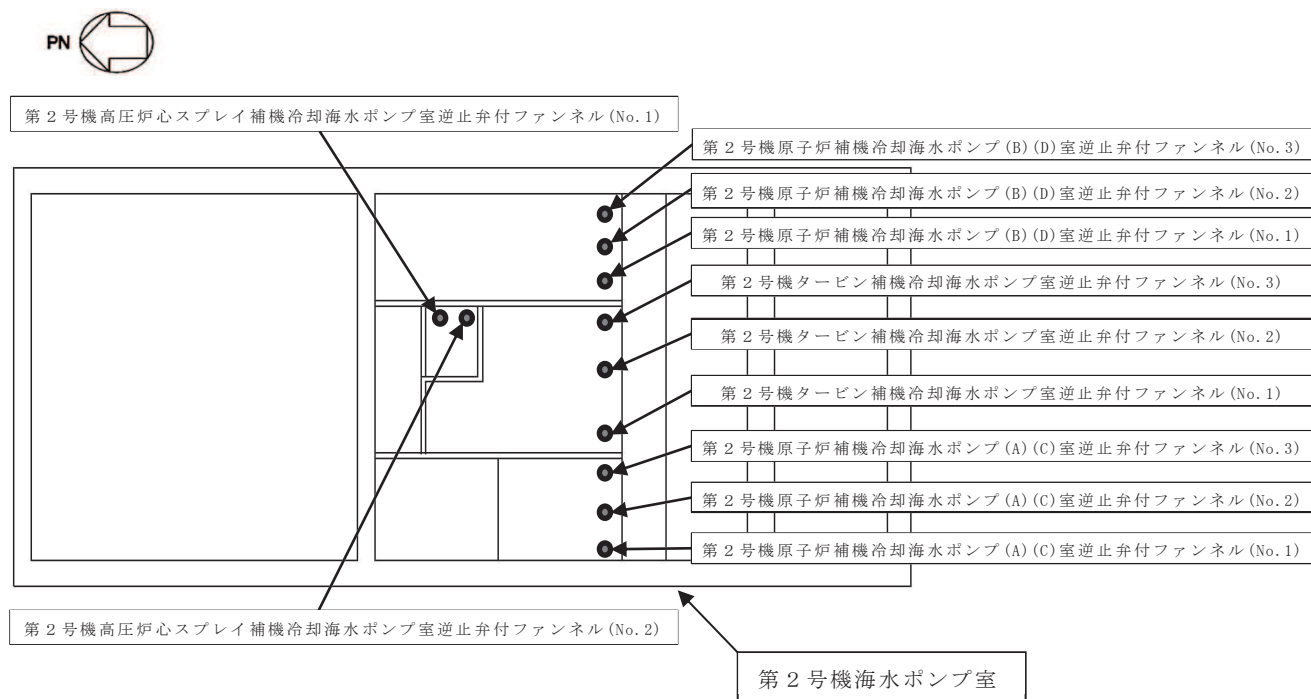


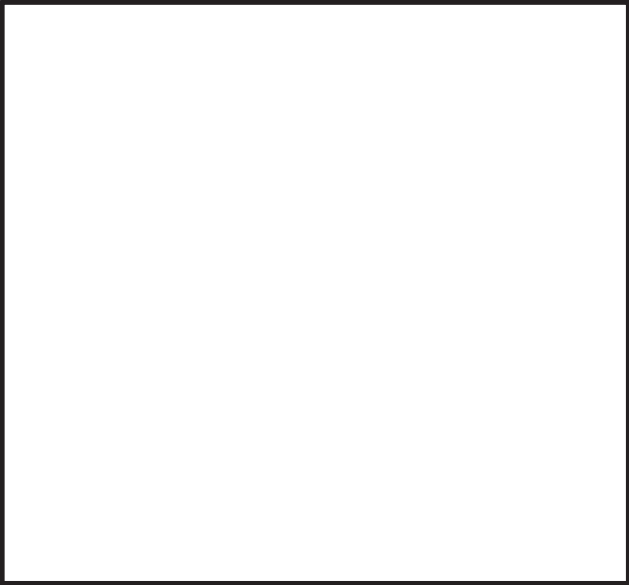
図2-1 逆止弁付ファンネルの設置位置図

2.2 構造計画

逆止弁付ファンネルの構造計画は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

逆止弁付ファンネルは、圧縮スプリングのばね圧によりサポータを介して弁体を上側に引き上げていることから、常時弁体と弁座が密着している。弁体と弁座が密着している状態で津波が逆止弁付ファンネルの下側から流入してきた場合、弁体が更に押し上げられ、弁座により密着することで止水する。逆止弁付ファ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	
第 2 号機海水ポンプ室床面の配管にねじ込み継手で固定する。	弁座を含む弁本体及び弁体で構成する。弁体は弁本体に取付金具、取付金具ピンで取付けられる。また、弁体はサポータ、ガイド、圧縮スプリングで保持される。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では、逆止弁付ファンネルの評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、構造健全性評価により強度評価を実施する評価対象部位については、評価対象部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

逆止弁付ファンネルの強度評価フローを図 2-1 に示す。逆止弁付ファンネルの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S d - D 2 による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 S d - D 2 を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

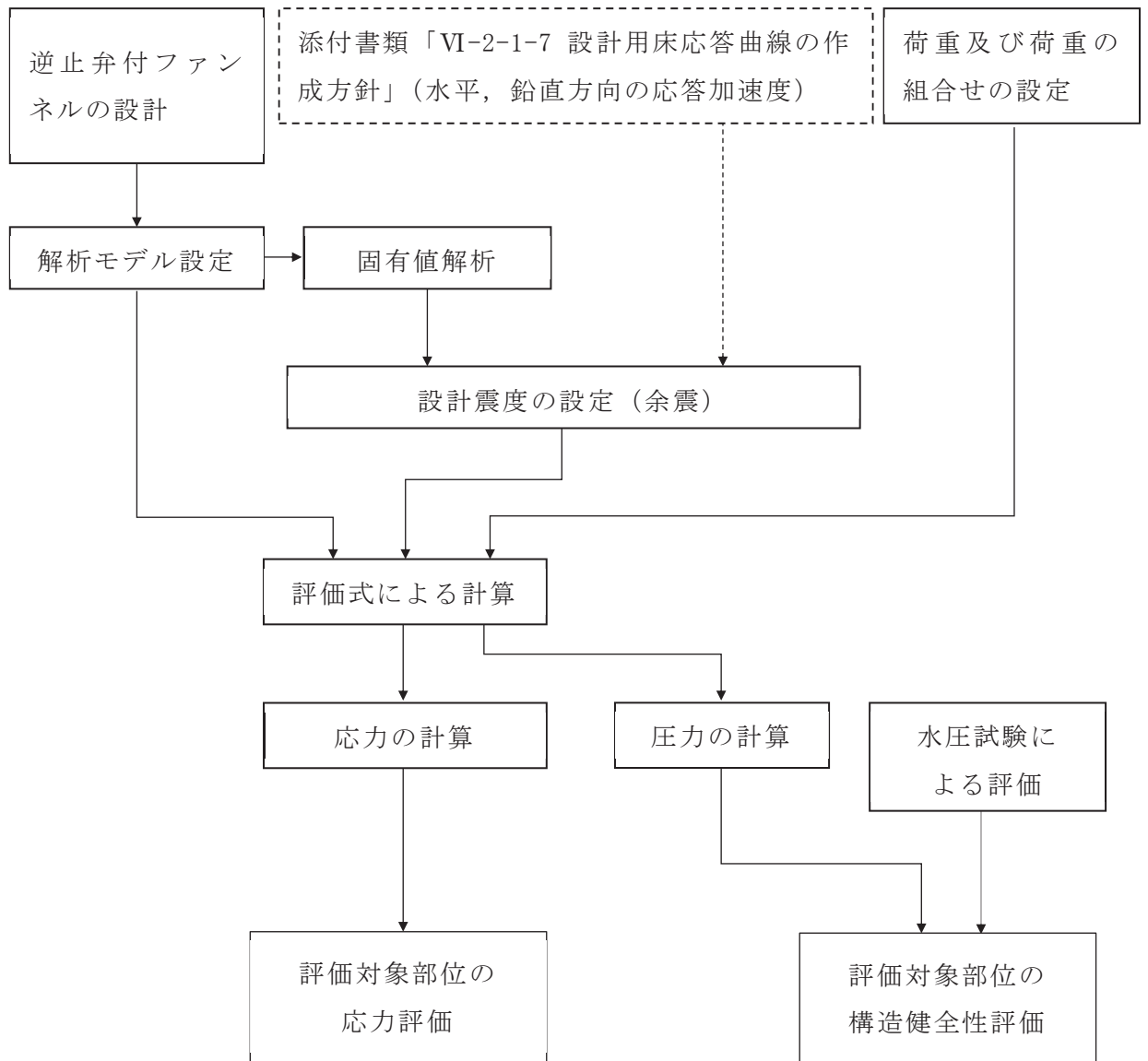


図 2-1 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1987)
- (3) 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)
- (4) 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)
(以下「 J E A G 4 6 0 1 」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 日本港湾協会 2007 年 港湾の施設の技術上の基準・同解説
- (6) 機械工学便覧 (日本機械学会)

2.5 記号の説明

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	記号の説明	単位
S _d	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による余震荷重	N
C _{HS_d}	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による水平方向の設計震度	—
C _{VS_d}	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による鉛直方向の設計震度	—
A ₁	弁本体の断面積	mm ²
A ₂	突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積	mm ²
A ₃	突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積	mm ²
C _d	抗力係数	—
D ₁	弁本体の外径	mm
D ₂	弁体の外径	mm
d ₁	弁本体の内径	mm
F _{H1}	弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F _{V1}	弁本体に加わる鉛直方向地震荷重	N
F _{V2}	弁体に加わる鉛直方向地震荷重	N
g	重力加速度	m/s ²
h	津波荷重水位	m
I ₁	弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
L ₁	弁全体の長さ	mm
m ₁	逆止弁付ファンネルの全質量	kg
m ₂	弁体の質量	kg
t	弁体の厚さ	mm
M ₁	弁本体に発生する曲げモーメント	N・mm
D	固定荷重	—
P _t	突き上げ津波荷重	MPa
S	設計・建設規格の付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料の各温度における許容引張応力	MPa
U	海水ポンプ室における津波の最大流速 (鉛直方向)	m/s
W _{d1}	逆止弁付ファンネルの自重	N
W _{d2}	弁体の自重	N

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (2/2)

記 号	記号の説明	単 位
ρ_o	海水の密度	kg/m ³
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる圧縮応力 (重畳時)	MPa
σ_{V2}	弁体に加わる曲げ応力 (重畳時)	MPa
P_V	弁体に発生する圧力	MPa
P_w	逆止弁付ファンネルに発生する圧力	MPa

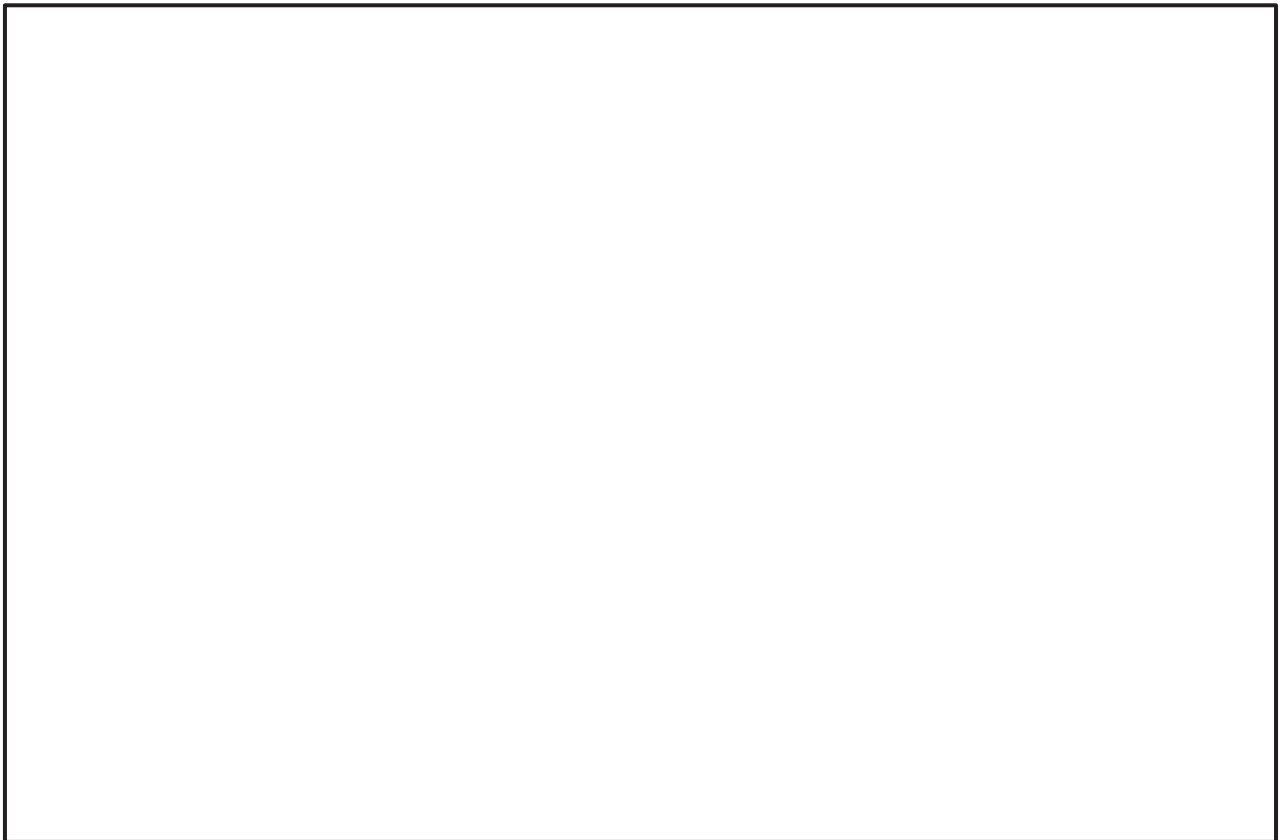
3. 評価対象部位

逆止弁付ファンネルの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、津波荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

津波時は逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により、弁本体に圧縮力が作用する。また、逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により弁体が弁座に密着し閉弁状態となる際に弁体に曲げ力が作用する。

重畳時に逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は、津波時と同様の力が作用する。一方、水平方向の余震荷重が負荷される場合は、弁本体には曲げモーメントが作用する。

このことから、強度評価においては、応力評価による評価対象部位として、弁本体及び弁体を選定し、構造健全性評価による評価対象部位として圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部を選定する。逆止弁付ファンネルの評価対象部位について、図 3-1 に示す。



図中の①～②は応力評価による評価対象部位を、③～⑧は構造健全性評価による評価対象部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆止弁付ファンネルの評価対象部位

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

逆止弁付ファンネルの構造に応じて、保守的に固有振動数が小さく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、固有振動数を算出する。また、その場合においても固有振動数が 20Hz 以上であることを確認する。

4.1.1 解析モデル

質量の不均一性を考慮し、一方の端を固定端、他方の端を自由端の 1 質点系モデルとして、自由端に全質量 m が集中したモデルを組む。モデル化は、円筒状の弁本体の断面をもつはりとして設定する。モデル化の概略を図 4-1 に示す。



図 4-1 モデル化の概略

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.2 記号の説明

逆止弁付ファンネルの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
d_m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D_m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	弁本体の縦弾性係数	mm
f	弁本体の一次固有振動数	Hz
I_m	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
k	ばね定数	N/m
ℓ_1	弁本体全体の長さ	mm
m	逆止弁付ファンネルの全質量	kg

4.1.3 固有振動数の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。水平方向の固有振動数 f を以下の式より算出する。なお、鉛直方向の固有振動数については、逆止弁付ファンネルの構造上、水平方向よりも鉛直方向の方が剛構造となるため、水平方向の固有振動数のみを確認する。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{l_1^3} \times 10^3$$

弁本体の断面二次モーメント I_m の算出過程を以下に示す。モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント I_m は、以下の式より算出する。

$$I_m = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル の全質量 m (kg)	モデル化に用いる 弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる 弁本体の内径 d _m (mm)
SUS316L	1.5	73	70

弁本体全体の長さ ℓ ₁ (mm)	弁本体の 縦弾性係数* E (MPa)
140	1.94×10 ⁵

注記* : 「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
逆止弁付ファンネル	878

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

逆止弁付ファンネルの強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

5.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、逆止弁付ファンネルの自重を考慮し、以下の式より算出する。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g$$

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、基準津波による津波荷重水位を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = (\rho_o \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_o \cdot U^2) / 10^6$$

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力及び慣性力を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力とする。

余震による地震荷重 F_{H1}, F_{V1}, F_{V2} を以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_{HSd} \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_2 / 10^6$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_3 / 10^6$$

5.2.2 荷重の組合せ

逆止弁付ファンネルの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 逆止弁付ファンネルの強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ
浸水防護施設 (浸水防止設備)	逆止弁付ファンネル	$D + P_t + S_d^{*1*2}$

注記 *1: D は固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (S_d) の組合せが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

逆止弁付ファンネルの許容限界は, VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ, 「3. 評価対象部位」にて設定している評価対象部位毎に, 機能損傷モードを考慮し, 弁本体及び弁体については, 設計・建設規格に準じた供用状態 C の許容応力を用いる。

圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部については, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では, 逆止弁付ファンネルの閉状態に対して, 突き上げ津波荷重を模擬した静水圧 1.2MPa を圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部に負荷し, 有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

逆止弁付ファンネルの弁本体及び弁体の許容限界を表 5-2 に, 許容応力評価条件を表 5-3 に, 弁本体及び弁体の許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。また, 圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-2 弁本体及び弁体の許容限界

供用状態 (許容応力状態)	許容限界* ¹		
	一次応力		
C (Ⅲ _A S)* ³	圧縮	曲げ	組合せ* ²
	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記 *1: 圧縮及び曲げは、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「管」の許容限界のうちクラス 2, 3 配管に対する許容限界に準じて設定する。

*2: 圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力である。

*3: 地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 弁本体及び弁体の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S* (MPa)
弁本体	SUS316L	40	111
弁体			

注記* : 鉄鋼材料 (ボルト材を除く) の許容引張応力を示す。

表 5-4 弁本体及び弁体の許容応力算出結果

供用状態 (許容応力状態)	評価 対象部位	許容限界		
		一次応力		
		圧縮 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
C (Ⅲ _A S)	弁本体	133	133	133
	弁体	—	133	—

表 5-5 圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具 (取付ねじ含む)、
取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界

評価対象部位	水圧試験の圧力 (MPa)
圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具 (取付ねじ含む)、取付金具ピン及びねじ切り部	1.2

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，逆止弁付ファンネルの強度計算に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す逆止弁付ファンネルにおける設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度を表 5-6 に示す。

表 5-6 逆止弁付ファンネルの設計震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (mm)	場所	余震による設計震度* ²	
弾性設計用地震動 S _d -D ₂	1250	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア)	水平方向 C _{H S_d}	1.05
			鉛直方向 C _{V S_d}	1.03

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有値解析」より，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

5.5 計算方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は，構造部材に作用する応力が，「5.3 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する。

(1) 固定荷重 (D)

逆止弁付ファンネルの自重は突き上げ津波荷重を緩和する方向に作用することから，考慮しない。ただし，余震による水平地震力を求めるに当たって，固定荷重として逆止弁付ファンネルの自重を考慮する。

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重 P_t は，逆止弁付ファンネル上流から作用するものとする。

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重 S_d は，逆止弁付ファンネルの設置位置における水平方向及び鉛直方向の地震荷重を考慮する。

5.5.2 応力計算

(1) 弁本体

a. 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により，弁本体に加わる圧縮応力 σ_{v1} を以下の式より算出する。また，突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積 A_2 は，弁本体のうち突き上げ津波荷重を受ける面積が最も広い箇所を適用する。突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積は弁本体の外径 D_1 の円の面積を適用する。弁本体の断面積 A_1 は，図 5-1 に示すとおり，弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし，逆止弁付ファンネルの自重 W_{d1} は圧縮応力 σ_{v1} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{v1} = \frac{W_{d1} + F_{v1} + P_t \cdot A_2}{A_1}$$

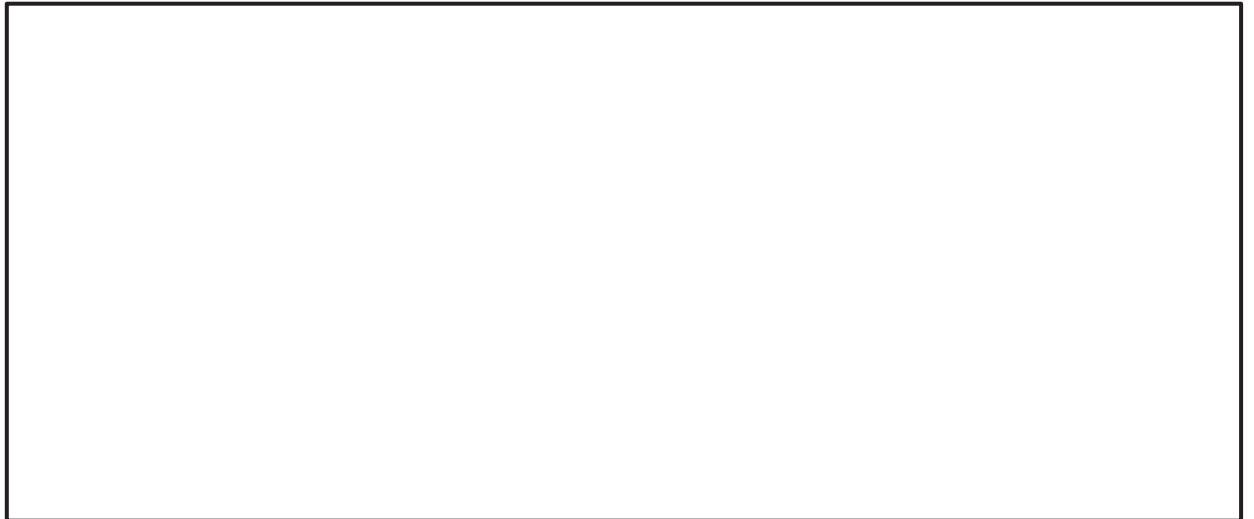


図 5-1 弁本体の構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 曲げ

弁全体の最下端に集中荷重が負荷された片持ちはりとして，水平応答加速度により，弁本体に加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。弁全体の長さ L_1 ，弁本体の外径 D_1 及び内径 d_1 について図 5-1 に示す。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$I_1 = (D_1^4 - d_1^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}{I_1}$$

(2) 弁体

a. 曲げ

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により、弁体に加わる曲げ応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。また、突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 は、図 5-2 に示すとおり、突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる弁体の外径 D_2 の円の面積を適用する。ただし、弁体の自重による荷重 W_{d2} は曲げ応力 σ_{V2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。なお、曲げ応力の算出については、機械工学便覧（日本機械学会）より、円板、周辺単純支持、等分布荷重の応力計算式を用いる。

$$P_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_3} + P_t$$

$$\sigma_{V2} = 1.24 \cdot \frac{P_{V2}}{t} \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2$$

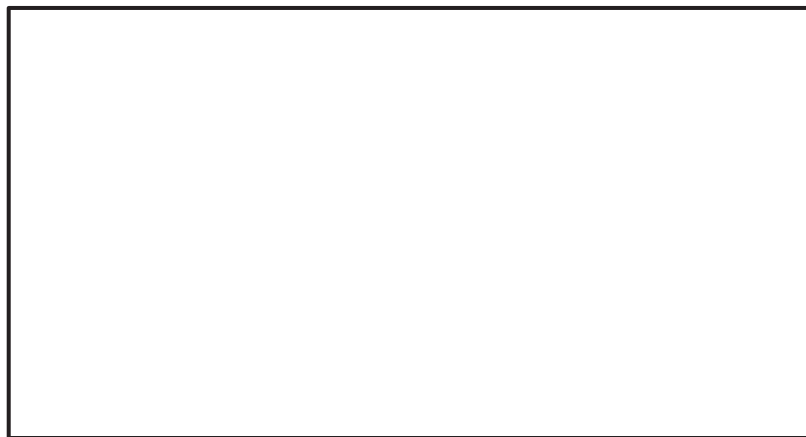


図 5-2 弁体の寸法図

(3) 弁体、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部

突き上げ津波荷重により弁体、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部に発生する圧力 P_w は以下の式より算出する。

$$P_w = P_t$$

5.6 計算条件

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件を表 5-7 に示す。

表 5-7 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネルの全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	1.5	140	73
弁本体の内径 d_1 (mm)	弁本体の断面積 A_1 (mm ²)	突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積 A_2 (mm ²)	
70	336.9	4.185×10^3	
弁体の材質	弁体の質量 m_2 (kg)	弁体の外径 D_2 (mm)	弁体の厚さ t (mm)
SUS316L	0.10	61	2
突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 (mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	海水の密度 ρ_o (kg/m ³)	抗力係数 C_d
2.922×10^3	9.80665	1030	1.2
津波荷重水位 h (m)	海水ポンプ室における津波の最大流速(鉛直方向) * U (m/s)	慣性力(鉛直方向)評価高さ H (m)	
18.6	1.0	16.6	

注記 * : 海水ポンプ室における最大鉛直流速に対し, 保守的に設定した値。

6. 評価結果

6.1 応力評価

逆止弁付ファンネルの強度評価結果を表 6-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 逆止弁付ファンネルの応力評価結果

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	弁本体	圧縮	
曲げ		1	133
組合せ*		6	133
弁体	曲げ	105	133

注記 * : 圧縮 σ_{V1} + 曲げ σ_{H1} は, $\sigma_{V1} + \sigma_{V1} \leq 1.2S$ で評価

6.2 構造健全性評価

逆止弁付ファンネルの構造健全性評価結果を表 6-2 に示す。発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価対象部位である圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部が構造健全性を有することを確認した。

表 6-2 圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、
取付金具ピン及びねじ切り部の構造健全性評価結果

評価対象部位	発生圧力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
	圧縮スプリング、ガイド、サポータ、 取付金具（取付ねじ含む）、 取付金具ピン及びねじ切り部	圧縮	

VI-3-別添 3-2-9-2 逆止弁付ファンネル（第 3 号機）の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	6
2.5	記号の説明	7
3.	評価対象部位	9
4.	固有値解析	10
4.1	固有振動数の計算方法	10
4.1.1	解析モデル	10
4.1.2	記号の説明	10
4.1.3	固有振動数の計算	11
4.2	固有振動数の計算条件	12
4.3	固有振動数の計算結果	12
5.	構造強度評価	13
5.1	構造強度評価方法	13
5.2	荷重及び荷重の組合せ	13
5.2.1	荷重の設定	13
5.2.2	荷重の組合せ	14
5.3	許容限界	14
5.4	設計用地震力	16
5.5	計算方法	17
5.5.1	荷重条件	17
5.5.2	応力計算	18
5.6	計算条件	20
6.	評価結果	21
6.1	応力評価	21
6.2	構造健全性評価	21

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち逆止弁付ファンネル（第3号機）（以下、逆止弁付ファンネルという。）が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、逆止弁付ファンネルの強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

逆止弁付ファンネルは、第3号機海水熱交換器建屋の床面に設置する。逆止弁付ファンネルの設置位置図を図2-1に示す。

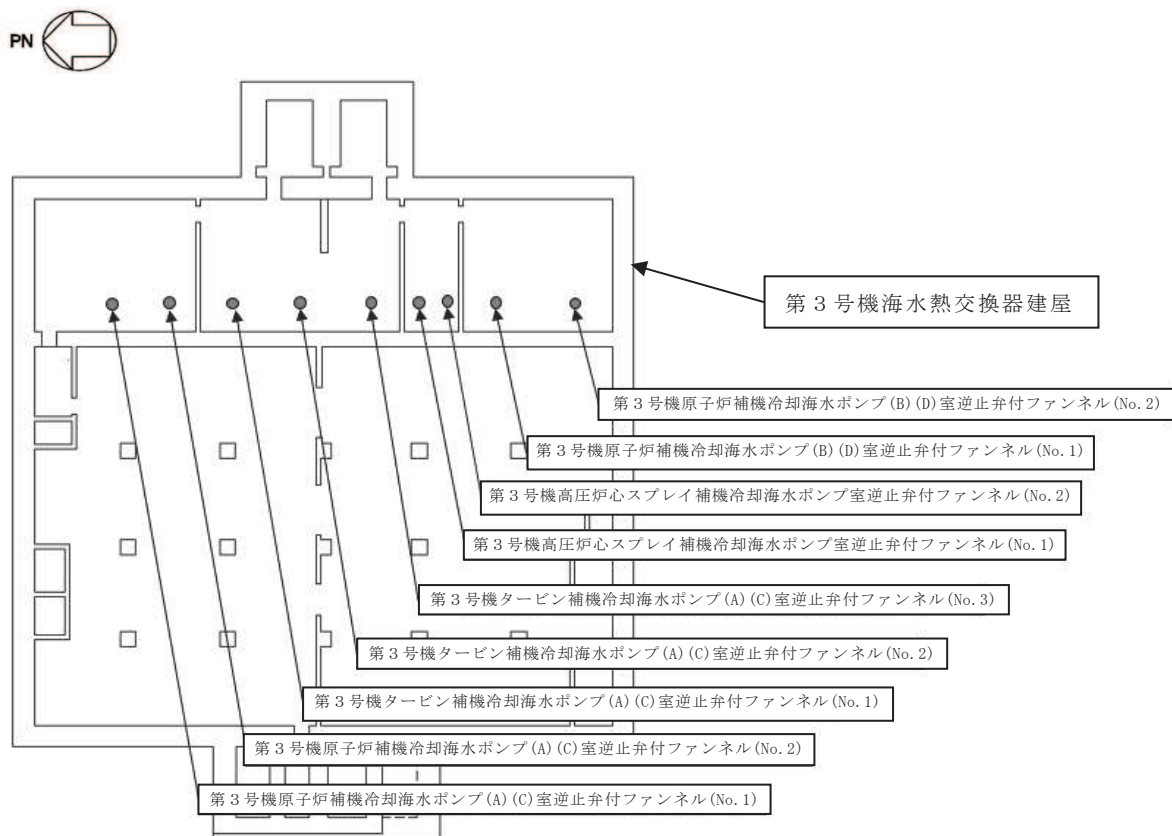


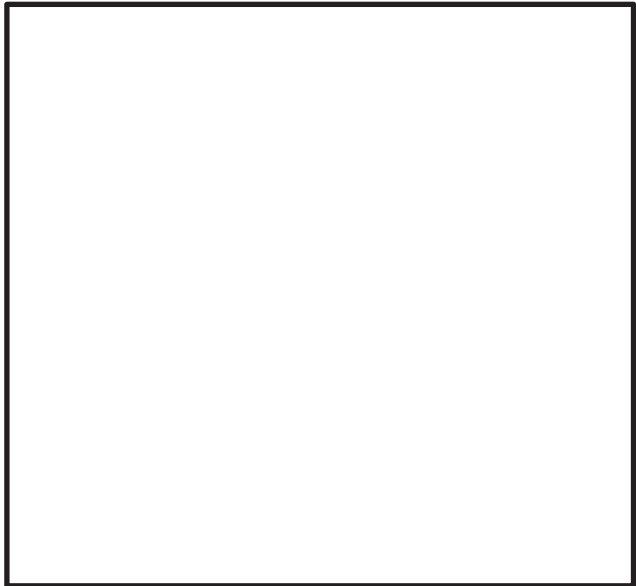
図2-1 逆止弁付ファンネルの設置位置図

2.2 構造計画

逆止弁付ファンネルの構造計画は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

逆止弁付ファンネルは、圧縮スプリングのばね圧によりサポータを介して弁体を上側に引き上げていることから、常時弁体と弁座が密着している。弁体と弁座が密着している状態で津波が逆止弁付ファンネルの下側から流入してきた場合、弁体が更に押し上げられ、弁座により密着することで止水する。逆止弁付ファ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	
第 3 号機海水熱交換器建屋床面の配管にねじ込み継手で固定する。	弁座を含む弁本体及び弁体で構成する。弁体は弁本体に取付金具、取付金具ピンで取付けられる。また、弁体はサポータ、ガイド、圧縮スプリングで保持される。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では、逆止弁付ファンネルの評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、構造健全性評価により強度評価を実施する評価対象部位については、評価対象部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

逆止弁付ファンネルの強度評価フローを図 2-1 に示す。逆止弁付ファンネルの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S d - D 2 による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 S d - D 2 を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

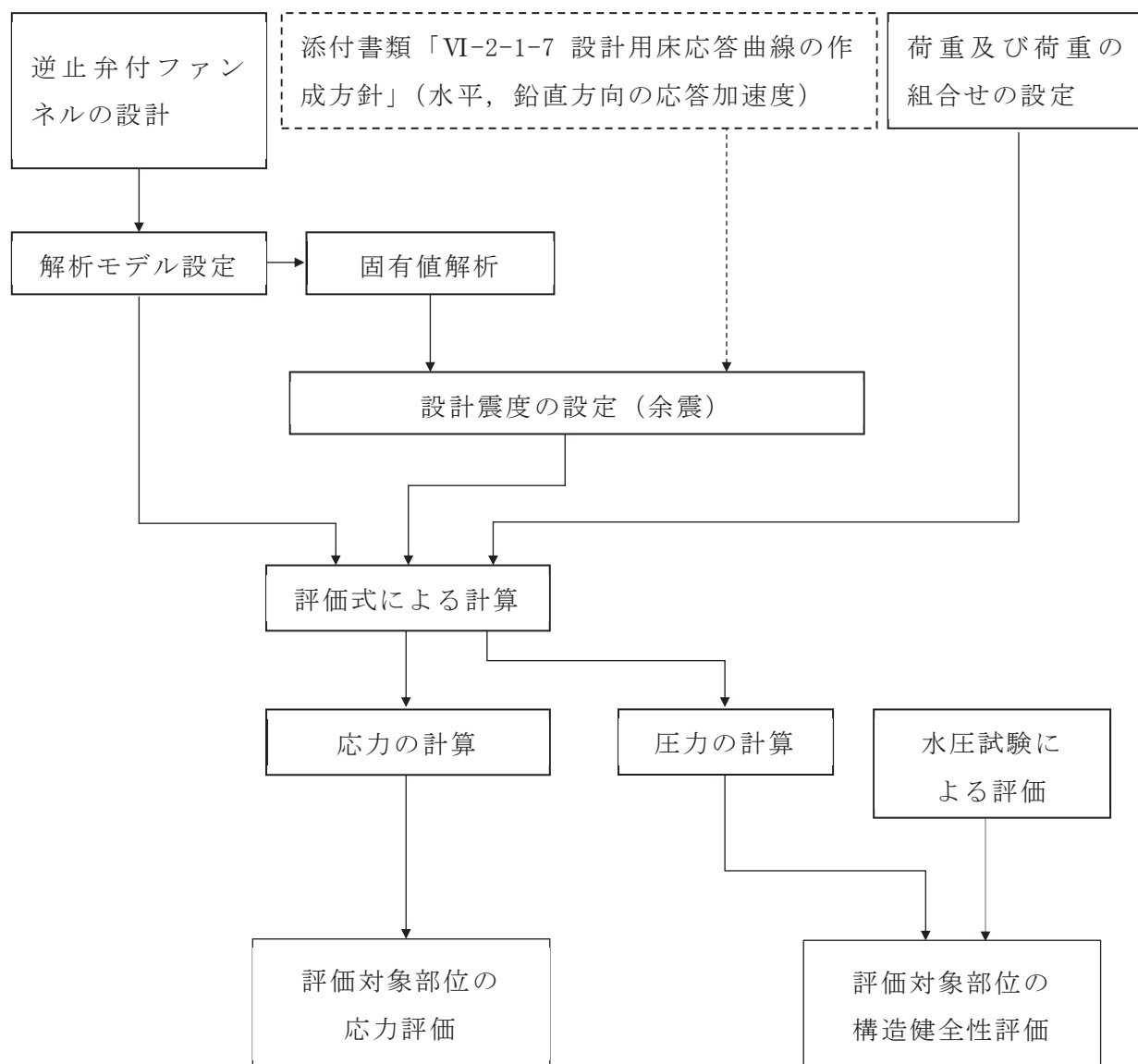


図 2-1 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (3) 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)
- (4) 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)
(以下「 J E A G 4 6 0 1 」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 日本港湾協会 2007 年 港湾の施設の技術上の基準・同解説
- (6) 機械工学便覧 (日本機械学会)

2.5 記号の説明

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	記号の説明	単位
S _d	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による余震荷重	N
C _{H S_d}	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による水平方向の設計震度	—
C _{V S_d}	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による鉛直方向の設計震度	—
A ₁	弁本体の断面積	mm ²
A ₂	突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積	mm ²
A ₃	突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積	mm ²
C _d	抗力係数	—
D ₁	弁本体の外径	mm
D ₂	弁体の外径	mm
d ₁	弁本体の内径	mm
F _{H 1}	弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F _{V 1}	弁本体に加わる鉛直方向地震荷重	N
F _{V 2}	弁体に加わる鉛直方向地震荷重	N
g	重力加速度	m/s ²
h	津波荷重水位	m
I ₁	弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
L ₁	弁全体の長さ	mm
m ₁	逆止弁付ファンネルの全質量	kg
m ₂	弁体の質量	kg
t	弁体の厚さ	mm
M ₁	弁本体に発生する曲げモーメント	N・mm
D	固定荷重	—
P _t	突き上げ津波荷重	MPa
S	設計・建設規格の付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料の各温度における許容引張応力	MPa
U	海水ポンプ室における津波の最大流速 (鉛直方向)	m/s
W _{d 1}	逆止弁付ファンネルの自重	N
W _{d 2}	弁体の自重	N

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (2/2)

記 号	記号の説明	単 位
ρ_o	海水の密度	kg/m ³
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる圧縮応力 (重畳時)	MPa
σ_{V2}	弁体に加わる曲げ応力 (重畳時)	MPa
P_V	弁体に発生する圧力	MPa
P_w	逆止弁付ファンネルに発生する圧力	MPa

3. 評価対象部位

逆止弁付ファンネルの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、津波荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

津波時は逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により、弁本体に圧縮力が作用する。また、逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により弁体が弁座に密着し閉弁状態となる際に弁体に曲げ力が作用する。

重畳時に逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は、津波時と同様の力が作用する。一方、水平方向の余震荷重が負荷される場合は、弁本体には曲げモーメントが作用する。

このことから、強度評価においては、応力評価による評価対象部位として、弁本体及び弁体を選定し、構造健全性評価による評価対象部位として圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部を選定する。逆止弁付ファンネルの評価対象部位について、図 3-1 に示す。



図中の①～②は応力評価による評価対象部位を、③～⑧は構造健全性評価による評価対象部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆止弁付ファンネルの評価対象部位

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

逆止弁付ファンネルの構造に応じて、保守的に固有振動数が小さく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、固有振動数を算出する。また、その場合においても固有振動数が 20Hz 以上であることを確認する。

4.1.1 解析モデル

質量の不均一性を考慮し、一方の端を固定端、他方の端を自由端の 1 質点系モデルとして、自由端に全質量 m が集中したモデルを組む。モデル化は、円筒状の弁本体の断面をもつはりとして設定する。モデル化の概略を図 4-1 に示す。



図 4-1 モデル化の概略

4.1.2 記号の説明

逆止弁付ファンネルの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
d_m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D_m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	弁本体の縦弾性係数	mm
f	弁本体の一次固有振動数	Hz
I_m	弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
k	ばね定数	N/m
ℓ_1	弁本体全体の長さ	mm
m	逆止弁付ファンネルの全質量	kg

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.3 固有振動数の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。水平方向の固有振動数 f を以下の式より算出する。なお、鉛直方向の固有振動数については、逆止弁付ファンネルの構造上、水平方向よりも鉛直方向の方が剛構造となるため、水平方向の固有振動数のみを確認する。

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{l_1^3} \times 10^3$$

弁本体の断面二次モーメント I_m の算出過程を以下に示す。モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント I_m は、以下の式より算出する。

$$I_m = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル の全質量 m (kg)	モデル化に用いる 弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる 弁本体の内径 d _m (mm)
SUS316L	1.5	73	70

弁本体全体の長さ ℓ ₁ (mm)	弁本体の 縦弾性係数* E (MPa)
140	1.94×10 ⁵

注記* : 「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
逆止弁付ファンネル	878

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

逆止弁付ファンネルの強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

5.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、逆止弁付ファンネルの自重を考慮し、以下の式より算出する。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g$$

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、基準津波による津波荷重水位を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = (\rho_o \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_o \cdot U^2) / 10^6$$

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力及び慣性力を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力とする。

余震による地震荷重 F_{H1}, F_{V1}, F_{V2} を以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_{HSd} \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_2 / 10^6$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_3 / 10^6$$

5.2.2 荷重の組合せ

逆止弁付ファンネルの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 逆止弁付ファンネルの強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ
浸水防護施設 (浸水防止設備)	逆止弁付ファンネル	$D + P_t + S_d^{*1*2}$

注記 *1: D は固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (S_d) の組合せが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

逆止弁付ファンネルの許容限界は, VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ, 「3. 評価対象部位」にて設定している評価対象部位毎に, 機能損傷モードを考慮し, 弁本体及び弁体については, 設計・建設規格に準じた供用状態 C の許容応力を用いる。

圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部については, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では, 逆止弁付ファンネルの閉状態に対して, 突き上げ津波荷重を模擬した静水圧 1.2MPa を圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部に負荷し, 有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

逆止弁付ファンネルの弁本体及び弁体の許容限界を表 5-2 に, 許容応力評価条件を表 5-3 に, 弁本体及び弁体の許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。また, 圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-2 弁本体及び弁体の許容限界

供用状態 (許容応力状態)	許容限界* ¹		
	一次応力		
C (Ⅲ _A S)* ³	圧縮	曲げ	組合せ* ²
	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記 *1: 圧縮及び曲げは、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「管」の許容限界のうちクラス 2, 3 配管に対する許容限界に準じて設定する。

*2: 圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力である。

*3: 地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 弁本体及び弁体の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S* (MPa)
弁本体	SUS316L	40	111
弁体			

注記* : 鉄鋼材料 (ボルト材を除く) の許容引張応力を示す。

表 5-4 弁本体及び弁体の許容応力算出結果

供用状態 (許容応力状態)	評価 対象部位	許容限界		
		一次応力		
		圧縮 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
C (Ⅲ _A S)	弁本体	133	133	133
	弁体	—	133	—

表 5-5 圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具 (取付ねじ含む)、
取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界

評価対象部位	水圧試験の圧力 (MPa)
圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具 (取付ねじ含む)、取付金具ピン及びねじ切り部	1.2

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，逆止弁付ファンネルの強度計算に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す逆止弁付ファンネルにおける設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度を表 5-6 に示す。

表 5-6 逆止弁付ファンネルの設計震度

地震動	床面高さ* ¹ O. P. (mm)	場所	余震による設計震度* ¹	
			水平方向 C _{HSd}	鉛直方向 C _{VSD}
弾性設計用地震動 S _d -D ₂	7000	3号機海水 熱交換器建屋	1.40	0.77

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有値解析」より，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

5.5 計算方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は，構造部材に作用する応力が，「5.3 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する。

(1) 固定荷重 (D)

逆止弁付ファンネルの自重は突き上げ津波荷重を緩和する方向に作用することから，考慮しない。ただし，余震による水平地震力を求めるに当たって，固定荷重として逆止弁付ファンネルの自重を考慮する。

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重 P_t は，逆止弁付ファンネル上流から作用するものとする。

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重 S_d は，逆止弁付ファンネルの設置位置における水平方向及び鉛直方向の地震荷重を考慮する。

5.5.2 応力計算

(1) 弁本体

a. 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により，弁本体に加わる圧縮応力 σ_{v1} を以下の式より算出する。また，突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積 A_2 は，弁本体のうち突き上げ津波荷重を受ける面積が最も広い箇所を適用する。突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積は弁本体の外径 D_1 の円の面積を適用する。弁本体の断面積 A_1 は，図 5-1 に示すとおり，弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし，逆止弁付ファンネルの自重 W_{d1} は圧縮応力 σ_{v1} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{v1} = \frac{W_{d1} + F_{v1} + P_t \cdot A_2}{A_1}$$

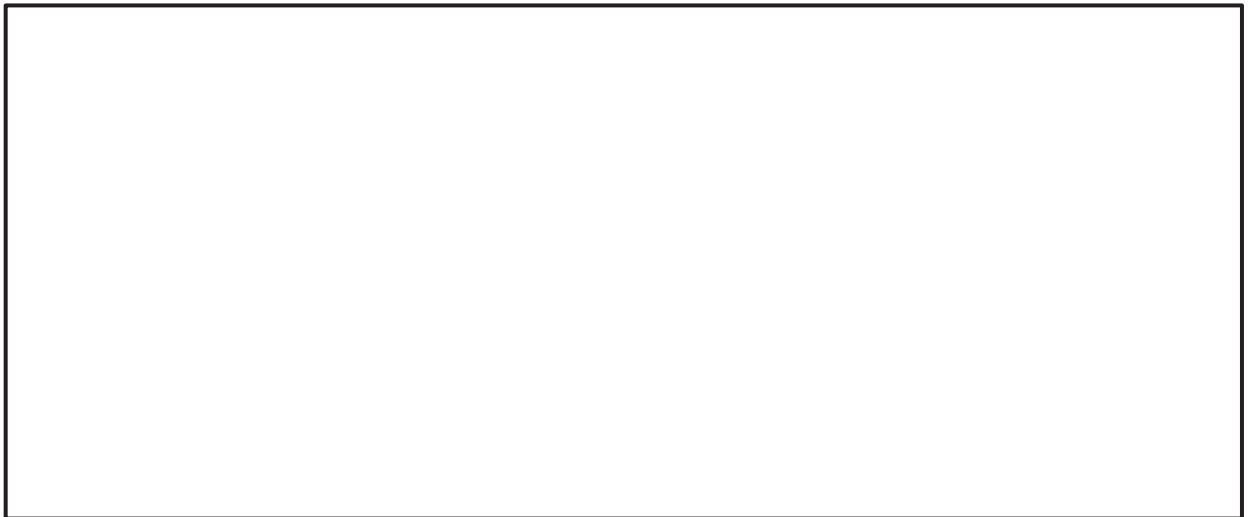


図 5-1 弁本体の構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 曲げ

弁全体の最下端に集中荷重が負荷された片持ちはりとして，水平応答加速度により，弁本体に加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。弁全体の長さ L_1 ，弁本体の外径 D_1 及び内径 d_1 について図 5-1 に示す。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$I_1 = (D_1^4 - d_1^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}{I_1}$$

(2) 弁体

a. 曲げ

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により，弁体に加わる曲げ応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。また，突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 は，図 5-2 に示すとおり，突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる弁体の外径 D_2 の円の面積を適用する。ただし，弁体の自重による荷重 W_{d2} は曲げ応力 σ_{V2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。なお，曲げ応力の算出については，機械工学便覧（日本機械学会）より，円板，周辺単純支持，等分布荷重の応力計算式を用いる。

$$P_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_3} + P_t$$

$$\sigma_{V2} = 1.24 \cdot \frac{P_{V2}}{t^2} \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2$$



図 5-2 弁体の寸法図

(3) 弁体，取付金具（取付ねじ含む），取付金具ピン及びねじ切り部

突き上げ津波荷重により弁体，取付金具（取付ねじ含む），取付金具ピン及びねじ切り部に発生する圧力 P_w は以下の式より算出する。

$$P_w = P_t$$

5.6 計算条件

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件を表 5-7 に示す。

表 5-7 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネルの全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	1.5	140	73
弁本体の内径 d_1 (mm)	弁本体の断面積 A_1 (mm ²)	突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積 A_2 (mm ²)	
70	336.9	4.185×10^3	
弁体の材質	弁体の質量 m_2 (kg)	弁体の外径 D_2 (mm)	弁体の厚さ t (mm)
SUS316L	0.10	61	2
突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 (mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	海水の密度 ρ_o (kg/m ³)	抗力係数 C_d
2.922×10^3	9.80665	1030	1.2
津波荷重水位 h (m)	海水ポンプ室における津波の最大流速(鉛直方向) * U (m/s)	慣性力(鉛直方向)評価高さ H (m)	
19.5	1.0	17.5	

注記 * : 海水ポンプ室における最大鉛直流速に対し, 保守的に設定した値。

6. 評価結果

6.1 応力評価

逆止弁付ファンネルの強度評価結果を表 6-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 逆止弁付ファンネルの応力評価結果

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	弁本体	圧縮	
曲げ		1	133
組合せ*		6	133
弁体	曲げ	97	133

注記 * : 圧縮 σ_{V1} + 曲げ σ_{H1} は, $\sigma_{V1} + \sigma_{V1} \leq 1.2S$ で評価

6.2 構造健全性評価

逆止弁付ファンネルの構造健全性評価結果を表 6-2 に示す。発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価対象部位である圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部が構造健全性を有することを確認した。

表 6-2 圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、
取付金具ピン及びねじ切り部の構造健全性評価結果

評価対象部位	発生圧力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
	圧縮スプリング、ガイド、サポータ、 取付金具（取付ねじ含む）、 取付金具ピン及びねじ切り部	圧縮	

VI-3-別添 3-2-10 貫通部止水処置の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	8
3. 評価対象部位	10
4. 構造強度評価	11
4.1 構造強度評価方法	11
4.2 荷重及び荷重の組合せ	11
4.2.1 荷重の設定	11
4.2.2 荷重の組合せ	13
4.3 許容限界	14
4.4 設計用地震力	16
4.5 計算方法	17
4.5.1 シール材の強度評価（発生圧力計算）	17
4.5.2 モルタルの強度評価（荷重計算）	17
4.6 計算条件	18
5. 評価結果	21

(別紙1) 遮水鋼板におけるケーブルトレイ貫通部の強度評価について

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち貫通部止水処置が、地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、地震による溢水に加えて津波の流入又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、貫通部止水処置の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

貫通部止水処置は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示すとおり、第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第2号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第3号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部、第2号機原子炉建屋、第2号機制御建屋及び第2号機軽油タンクエリアの貫通口と貫通物とのすき間又は貫通物の周囲に施工する。

2.2 構造概要

貫通部止水処置の構造は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

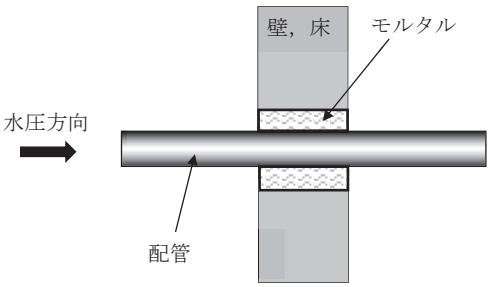
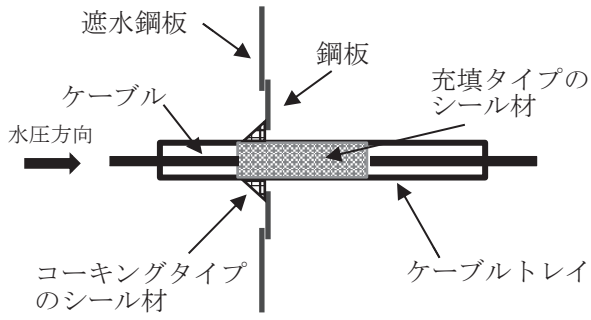
貫通部止水処置は、貫通部の位置条件及び貫通物の強度条件に応じて、シール材又はモルタルを使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁又は床面等の貫通口と貫通物のすき間に施工し、壁又は床面等と貫通物を接合する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表2-1に示す。

なお、表2-1に示すとおり、第2号機放水立坑防潮壁横断部に施工する遮水鋼板をケーブルトレイが貫通する部分については遮水鋼板に取付けた鋼板及びシール材により、止水性を確保する構造とする。当該ケーブルトレイ貫通部止水処置の強度評価結果については、本資料の別紙1に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画

計画の概要		説明図*
基礎・支持構造	主体構造	
貫通部の開口部にシリコンシーリング材を充填する。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	充填タイプのシリコンシーリング材にて構成する。	<p>シリコンシーリング材の構造例（押さえ板有り）</p> <p>シリコンシーリング材の構造例（押さえ板無し）</p> <p>シリコンシーリング材の構造例（電線管）</p> <p>シリコンシーリング材の構造例（ケーブルトレイ）</p>

注記*：水圧方向は、主たる作用方向を示す。

計画の概要		説明図*
基礎・支持構造	主体構造	
貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	モルタルにて構成する。	 <p style="text-align: center;">モルタルの構造例</p>
遮水鋼板のケーブルトレイの貫通部は，鋼板を遮水鋼板に溶接し，ケーブルトレイとの隙間にコーキングする。ケーブルトレイの内部はシリコンシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，鋼板及びケーブルトレイと一定の付着力によって接合する。	遮水鋼板のケーブルトレイの貫通部は，鋼板及びコーキングタイプのシリコンシール材にて構成する。また，ケーブルトレイの内部は充填タイプのシリコンシール材にて構成する。	 <p style="text-align: center;">シリコンシールの構造例 (遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部)</p>

注記*：水圧方向は，主たる作用方向を示す。

2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、貫通部止水処置の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

貫通部止水処置は構造上の特徴の違いから、シーラ材並びにモルタルに分けて設計を行うこととする。シーラ材の強度評価フローを図 2-1 に、モルタルの強度評価フローを図 2-2 に示す。

シーラ材については、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定しているとおり、計算により求めた圧力が、水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する。

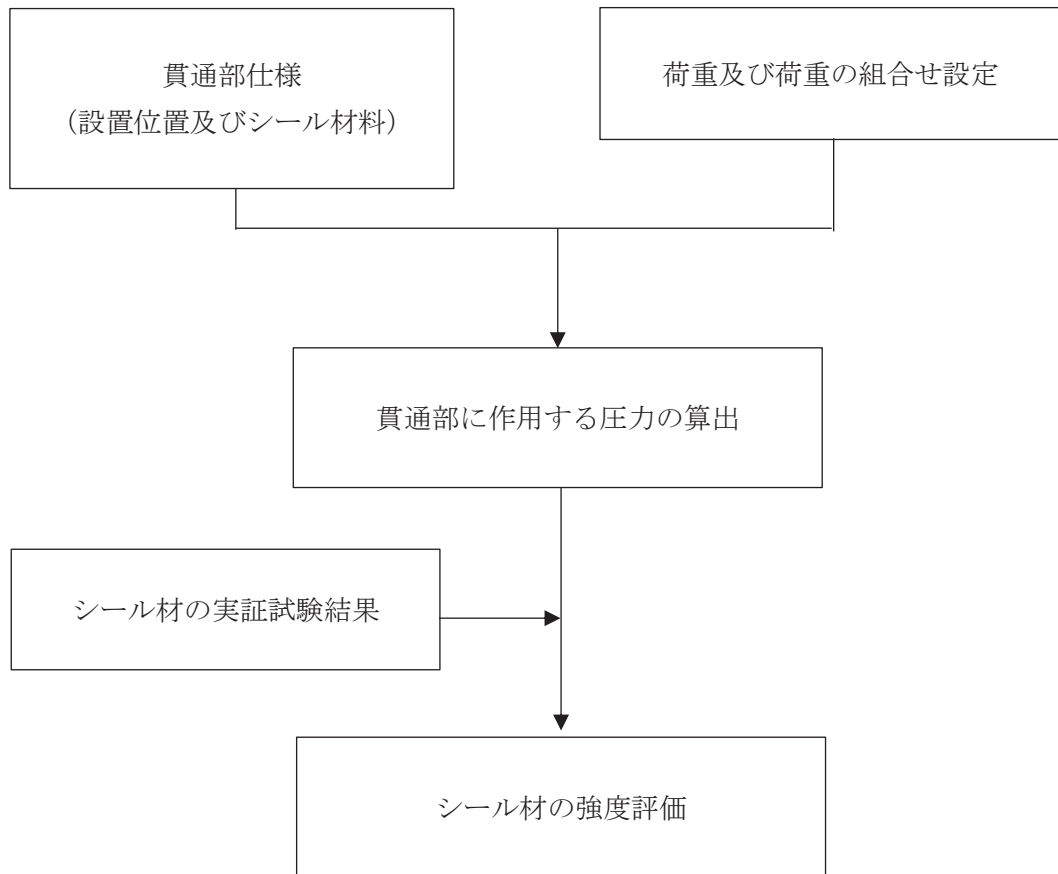


図 2-1 シーラ材の強度評価フロー

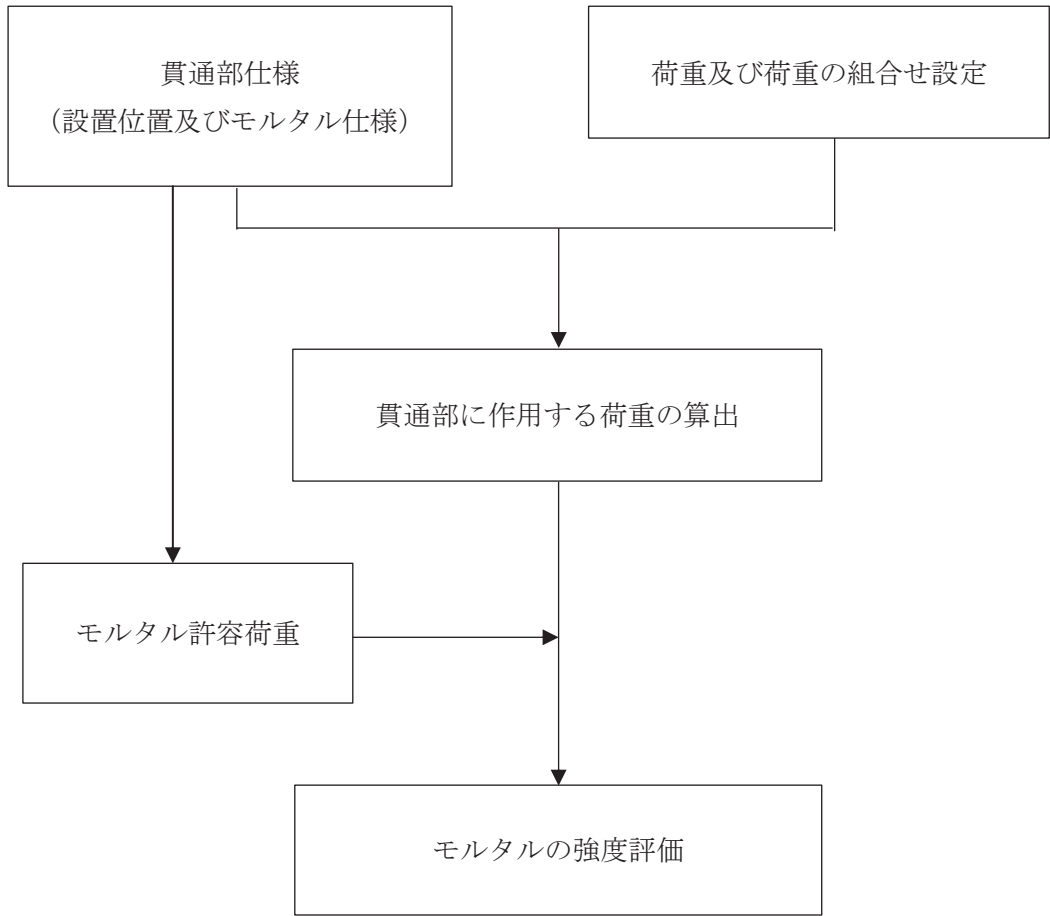


図 2-2 モルタルの強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す

- (1) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (3) 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)
- (4) 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)
(以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- (5) 日本水道協会 2009年 水道施設耐震工法指針・解説
- (6) 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]

2.5 記号の説明

貫通部止水処置の強度評価に用いる記号を表 2-2、表 2-3 に示す。

表 2-2 シール材の強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
C_H	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の設計震度	—
C_v	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による鉛直方向の設計震度	—
g	重力加速度	m/s^2
h	貫通部にかかる水頭	m
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
C_D	抗力係数	—
U	貫通部に加わる流体の速度	m/s
P_d	余震による動水圧	MPa
P_h	浸水津波荷重	MPa
P_t	突き上げ津波荷重	MPa
P_{s_d}	余震による慣性力	MPa
$P_{H\ total}$	貫通物の貫通軸が水平方向であるシール材に加わる荷重	MPa
$P_{v\ total}$	貫通物の貫通軸が鉛直方向であるシール材に加わる荷重	MPa

表 2-3 モルタルの強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A'	モルタルが水圧を受ける面積	mm^2
f_s	モルタルの許容付着強度	N
f'_{bok}	モルタルの付着強度	N/mm^2
f'_{ck}	モルタルの圧縮強度	N/mm^2
F_H	貫通物の軸方向に作用する荷重	N
F_S	貫通物の自重によりモルタルに生じるせん断荷重	N
$F_{S\ total}$	モルタル部に生じる合計せん断荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
h	貫通部にかかる水頭	m
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
$K S d$	弾性設計用地震動 $S d$ に伴う余震荷重	N
L	モルタルの充てん深さ	m
P_d	動水圧	N/m^2
P_h	静水圧荷重	N/m^2
C_H	弾性設計用地震動 $S d$ による水平方向の設計震度	—
C_{HW}	動水圧算出用の水平方向震度 (余震)	—
C_v	弾性設計用地震動 $S d$ による鉛直方向の設計震度	—
S	貫通物の周長	m
W	貫通物の支持間隔の質量	kg
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
γ_c	材料定数	—

3. 評価対象部位

貫通部止水処置の評価部位は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、地震による溢水に加えて津波の流入によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重は、止水処置全体へ伝達される。このことから、シール材及びモルタルを用いた止水処置の全体を評価部位として設定する。

シール材については、作用する圧力による荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

モルタルについては、作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「4.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

4.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (D)

固定荷重は、貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）の質量及び内容物の質量による荷重である。

(2) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重として、津波による水位を用いた静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

(3) 突き上げ津波荷重 (P_t)

貫通部止水処置に加わる津波速度を考慮する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho \cdot U^2 + \rho \cdot g \cdot h$$

(4) 余震荷重

余震荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力（動水圧含む。）とする。

ただし、モルタルの余震荷重の算出においては、弾性設計用地震動 S_d-D₂ よりも保守的な値である弾性設計用地震動 S_d（7波包絡）に伴う地震力を用いることとする。

a. シール材

(a) 余震による動水圧 (K S_d)

余震による動水圧がシール材に作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_H \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

(b) 余震による慣性力 (S_d)

津波による静水頭が余震を受けた場合の慣性力を考慮する。

$$P_{s_d} = h \cdot \rho \cdot g \cdot C_v$$

b. モルタル

(a) 余震による地震力

イ. 貫通物による余震荷重

貫通物からモルタルに作用する荷重として、支持構造物間の固定荷重及び地震力を考慮する。図 4-1 にモルタルへの付着方向の地震力（余震荷重）の作用図を示す。

また、貫通物は柔構造となる場合があることから、貫通物の設置場所における床応答スペクトルを用いて設計震度を算出する。

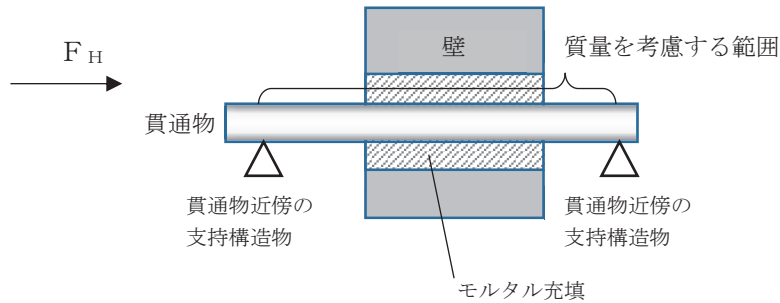


図 4-1 モルタルへの付着方向の余震荷重作用図

ロ. 評価において考慮する貫通部

評価においては、イ. に基づく余震荷重と最も荷重が大きくなる貫通物を考慮して算出する。

ハ. モルタルに作用する付着荷重

モルタルに作用する余震による付着荷重については、イ. に示す支持構造物間の貫通物に作用する余震荷重から算出する。

(b) 余震による動水圧 (K S d)

余震による動水圧がモルタルに作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{hw} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

4.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ
浸水防護施設 (浸水防止設備)	貫通部止水処置 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁横断部, 第 2 号機放水立坑防潮壁横断部, 第 3 号機海水ポンプ室防潮壁横断部, 第 3 号機放水立坑防潮壁横断部, 第 2 号機原子炉建屋, 第 2 号機制御建屋及び第 2 号機軽油タンクエリアの貫通部)	$D + P_h + K S_d^{*1*3*4}$
	貫通部止水処置 (第 3 号機補機冷却海水系放水ピット 浸水防止蓋貫通部)	$D + P_t + S_d^{*2*3*5}$

注記 * 1 : Dは固定荷重, P_h は浸水津波荷重, $K S_d$ は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (余震による動水圧 P_d) を示す。ただし, モルタルは弾性設計用地震動 S_d (7波包絡) による余震荷重 (貫通物による余震荷重及び余震による動水圧 P_d) を示す。

* 2 : Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (余震による慣性力 $P_{s,d}$) を示す。

* 3 : 固定荷重 (D) について, シール材を施工する配管貫通部は, 耐震性を満足させるため, 貫通部近傍の配管に支持構造物を設置する設計としており, シール材に加わる固定荷重の影響は軽微であるため考慮しない。

* 4 : 水平方向に荷重を受ける箇所に適用する。

* 5 : 鉛直方向に荷重を受ける箇所に適用する。

4.3 許容限界

(1) シール材

シール材の許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。シール材の水圧試験の概要を図4-2に示す。実機施工時においては、試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し、かつ、想定するシール材に加わる圧力が、許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。

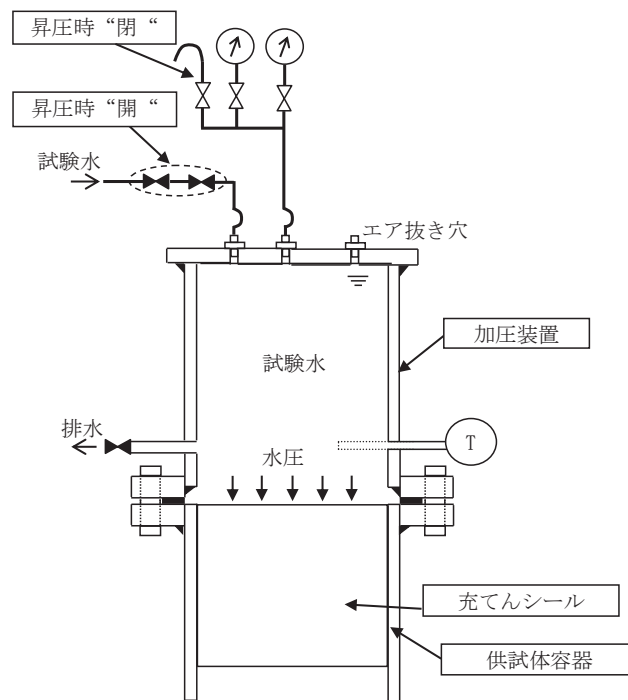


図4-2 シール材の水圧試験の概要

(2) モルタル

各評価対象部位の許容値は、土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 4-2, 許容限界評価条件を表 4-3, 貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 4-4 に示す。また、モルタルの施工例を図 4-3 に示す。

表 4-2 貫通部止水処置の許容限界 (許容荷重)

状態	許容限界*
	付着荷重
短期	f_s

注記* : モルタルの許容限界は、土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]によりモルタルの許容付着荷重 f_s , モルタル付着強度 f'_{bok} を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。また、評価において最も裕度が小さくなる貫通物の口径 = 50A, モルタル充填深さ $L = 1000\text{mm}$ とする。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}^{2/3} \cdot 0.4$$

表 4-3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価対象部位	f'_{ck} (N/mm^2)	γ_c (-)
モルタル	30	1.3

表 4-4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価対象部位	許容限界
		付着荷重 (kN)
短期	モルタル	158

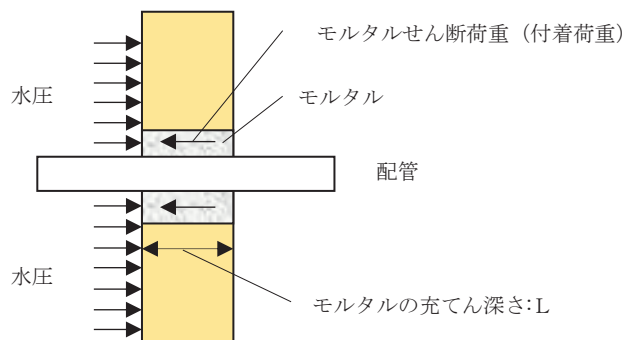


図 4-3 モルタルの施工例

4.4 設計用地震力

(1) シール材

シール材の強度評価における弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方法」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。貫通部止水処置の強度評価に用いる設計用震度を表 4-5 に示す。

表 4-5 シール材の強度計算に用いる設計用震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (m)	貫通部止水処置の設置場所	余震による設計震度* ²	
弾性設計用地震動 S d - D 2	13.8	第 3 号機放水立坑防潮壁横断部 (第 3 号機放水立坑)	水平方向 C _H	0.40
	14.0	第 3 号機補機冷却海水系放水 ピット浸水防止蓋貫通部 (第 3 号機海水熱交換器建屋)	鉛直方向 C _V	0.89

注記 *1: 貫通部止水処置の設置場所より高い基準床レベルを設定している。

*2: 最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

(2) モルタル

モルタルの強度評価における弾性設計用地震動 S d に伴う地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。貫通部止水処置の強度評価に用いる設計用震度を表 4-6 に示す。

表 4-6 モルタルの強度計算に用いる設計用震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (m)	貫通部止水処置の設置場所	余震による設計震度* ²	
弾性設計用地震動 S d (7 波包絡)	13.8	軽油タンク室 (A, B) (タンク 室)	水平方向 C _H	8.62
			鉛直方向 C _V	6.77

注記 *1: 貫通部止水処置の設置場所より高い基準床レベルを設定している。

*2: モルタルは評価対象箇所が多いことから、設計震度の算出については、設置場所である軽油タンク室 (A, B) (タンク室) の全ての対象箇所を包絡するように全周期帯の最大加速度を用いた。また、保守的な評価となるように設置場所の床応答曲線は減衰定数 0.5% を適用した。

4.5 計算方法

4.5.1 シール材の強度評価（発生圧力計算）

貫通物の貫通軸が水平方向であるシール材は，浸水津波荷重 P_h と余震による動水圧 P_d を考慮する。

$$P_{H \text{ total}} = P_h + P_d$$

貫通物の貫通軸が鉛直方向であるシール材は，津波による突き上げ津波荷重 P_t と余震による慣性力 $P_{s d}$ を考慮する。

$$P_{v \text{ total}} = P_t + P_{s d}$$

4.5.2 モルタルの強度評価（荷重計算）

(1) 貫通物の反力により生じる荷重

固定荷重及び地震時の貫通物の反力によりモルタルに生じる荷重は，次のとおり算出する。せん断荷重は，水平反力と貫通軸上の貫通物の質量から次のとおり算出する。

$$F_H = W \cdot g \cdot (1 + C_H)$$

$$F_S = F_H$$

(2) 合計荷重

モルタルに発生する合計せん断荷重 $F_{S \text{ total}}$ は次のとおり算出する。

$$F_{S \text{ total}} = F_S + (P_h + P_d) \cdot A'$$

4.6 計算条件

(1) シール材

シール材の強度評価に用いる計算条件を表 4-7 及び表 4-8 に示す。また、貫通部止水処置に加わる津波の概要を図 4-4 及び図 4-5 に示す。

表 4-7 シール材（貫通軸：水平）の強度評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m^3)	貫通部施設エリアの床面からの浸水深さ*1 H (m)
第3号機放水立坑防潮壁横断部 (シール材)		1030	21.2

貫通部位置における浸水深さ*2 h (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平方向の設計震度 C_H	重力加速度 g (m/s^2)
9.164	0.40	9.80665

注記 * 1 : 貫通部施設エリアの床面からの浸水深さ (H) は、貫通部施設エリアの床面 (O.P. -3.2m) から入力津波水位に 0.5m の余裕を考慮した津波水位 (O.P. 18.0m) までの寸法。

* 2 : 貫通部位置における浸水深さ h は開口下端高さ (O.P. 8.836m) から入力津波水位に 0.5m の余裕を考慮した津波水位 (O.P. 18.0m) までの寸法。

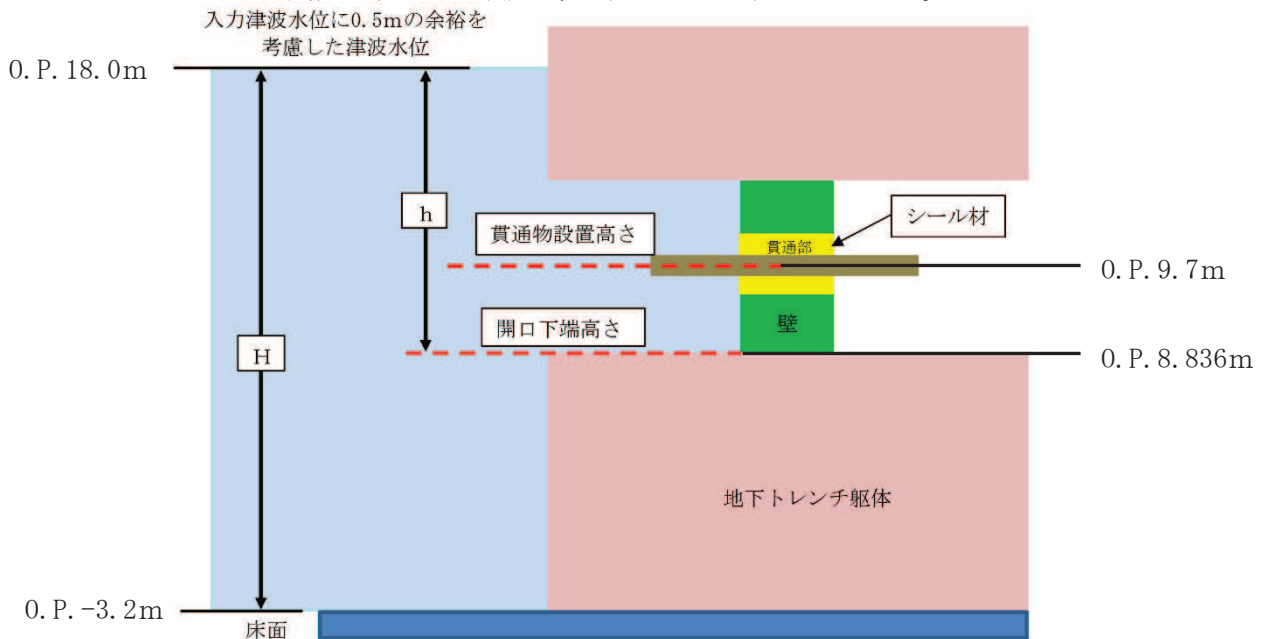


図 4-4 貫通部止水処置（貫通軸：水平）に加わる津波の概要

表 4-8 シール材（貫通軸：鉛直）の強度評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	海水の密度 ρ (kg/m ³)	抗力係数 C_D (-)	貫通部に加わる流体 の流速 U (m/s)
第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部*1 (シール材)	1030	2.01	1.0

貫通部位置における浸水深さ h (m)	重力加速度 g (m/s ²)
3.4*2	9.80665

注記 * 1 : 第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋及び貫通配管については剛構造であり、地震時において有意な相対変位が発生しないことを確認したうえでシール材の施工を適用している。

* 2 : 貫通部位置における浸水深さは、第3号機補機冷却海水系放水ピット躯体の天端高さ (O. P. 14.6m) から入力津波水位に0.5mの余裕を考慮した津波水位 (O. P. 18.0m) までの寸法。

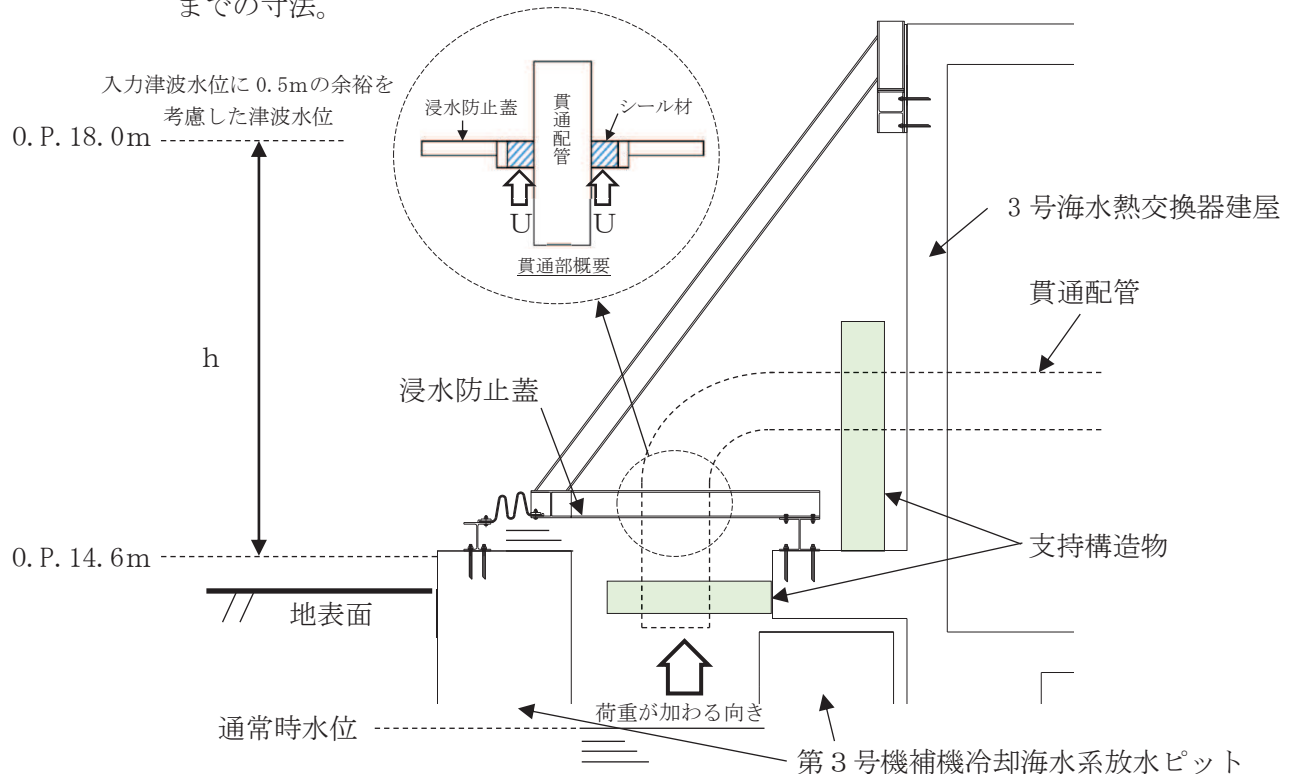


図 4-5 貫通部止水処置（貫通軸：鉛直）に加わる津波の概要

(2) モルタル

モルタルの強度評価に用いる計算条件を表 4-9 に示す。また、貫通部止水処置に加わる荷重の概要を図 4-6 に示す。

表 4-9 モルタルの強度評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m^3)	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (m)
第 2 号軽油 タンクエリア (モルタル)		1030	5.48*

貫通部位置における 浸水深さ h (m)	貫通物び支持間隔 の質量 (kg)	モルタルが水圧を 受ける面積 A' (m^2)	動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}
2.27		0.011	0.99

注記 * : 貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ H は、軽油タンク室が没水するとして、軽油タンク室の床面 (O. P. 8.5m) から屋外タンク等の破損による浸水深 (O. P. 13.8m+0.18m) までの高さ。

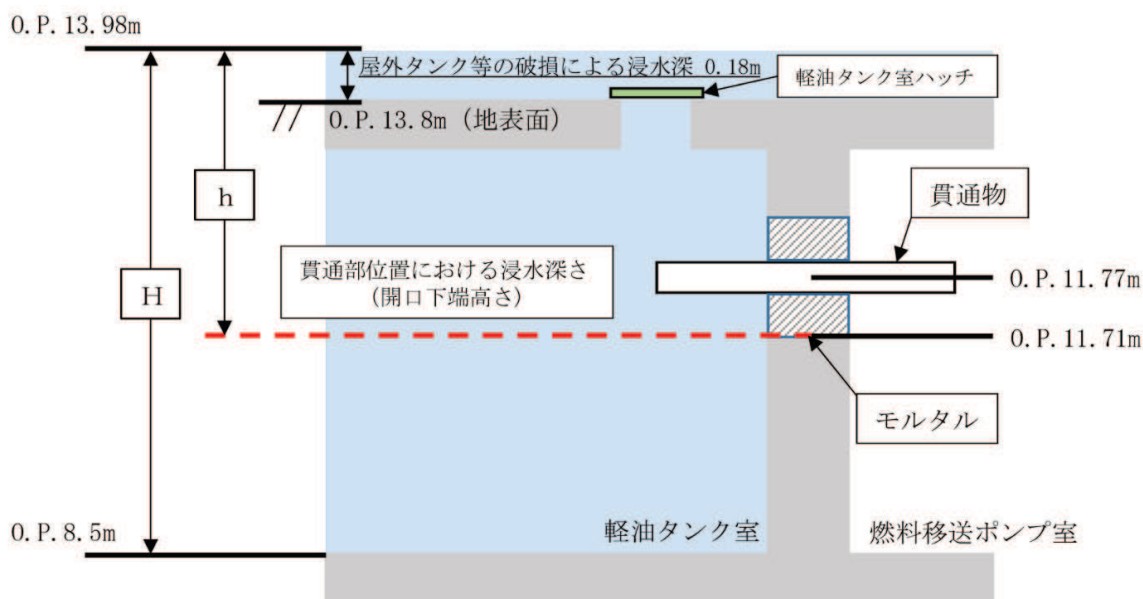


図 4-6 貫通部止水処置 (モルタル) に加わる荷重の概要

5. 評価結果

シーラ材及びモルタルの強度評価結果をそれぞれ表 5-1, 表 5-2 に示す。シーラ材, モルタルの発生圧力又は発生荷重は, 許容圧力又は許容荷重以下であることを確認した。

表 5-1 シーラ材の浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シーラ材 (貫通軸：水平)	0.15	0.40
シーラ材 (貫通軸：鉛直)	0.07	0.40

表 5-2 モルタルの浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	せん断荷重 (付着荷重)		159

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(別紙1) 遮水鋼板におけるケーブルトレイ貫通部の強度評価について

目次

1.	評価方針	1
2.	一般事項	3
2.1	構造計画	3
2.2	適用規格・基準等	4
2.3	記号の説明	5
2.4	評価対象部位	6
2.5	鋼板の固有周期	7
3.	構造強度評価	7
3.1	構造強度評価方法	7
3.2	荷重及び荷重の組合せ	7
3.3	許容限界	8
3.4	設計用地震力	11
3.5	計算方法	12
3.6	計算条件	13
4.	評価結果	14
4.1	貫通部止水処置（シール材）の評価結果	14
4.2	貫通部止水処置（鋼板）の評価結果	14
5.	遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部止水処置に使用するシール材	16

1. 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は，添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，貫通部止水処置の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

貫通部止水処置は構造上の特徴の違いから，シール材並びに鋼板に分けて設計を行うこととする。シール材の強度評価フローを図 1-1 に，鋼板の強度評価フローを図 1-2 に示す。

シール材については，添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定しているとおり，計算により求めた圧力が，水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する。

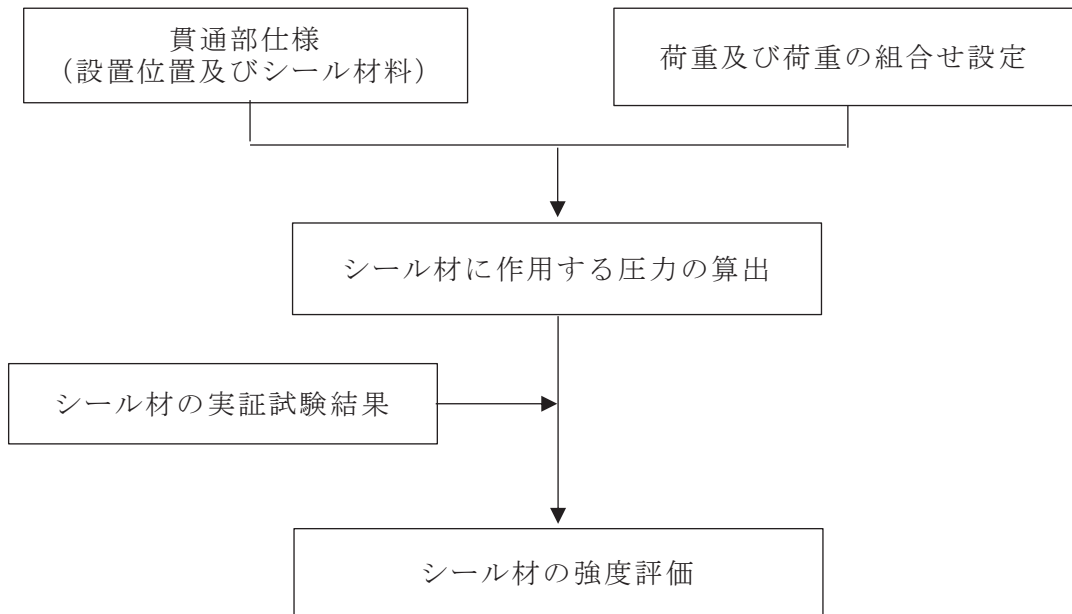


図 1-1 シール材の強度評価フロー

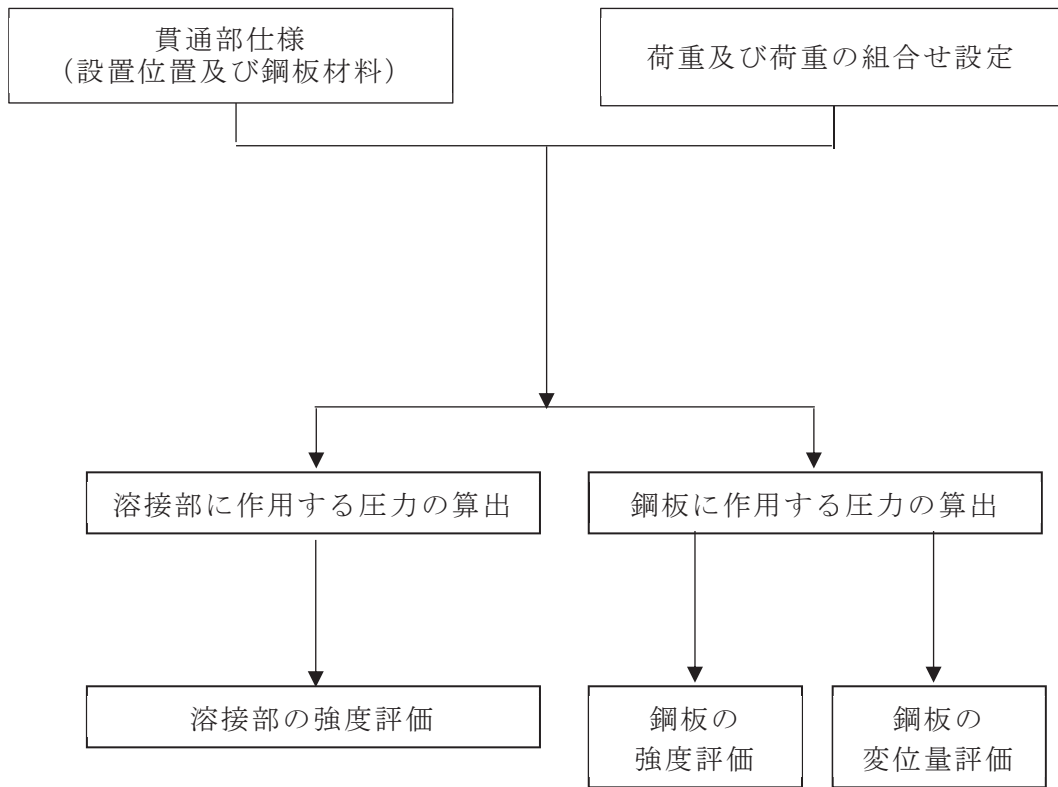


図 1-2 鋼板の強度評価フロー

2. 一般事項

2.1 構造計画

概略構造を以下に示す。また、構造部材の諸元を表 2-1 に示す。

遮水鋼板を貫通するケーブルトレイ貫通部の止水をするため、ケーブルトレイを囲むように鋼板を遮水鋼板に溶接し、鋼板とケーブルトレイの隙間 に対しコーキングタイプのシール材を施工する。ケーブルトレイの内部については 2 種類の充填タイプのシール材を施工する。

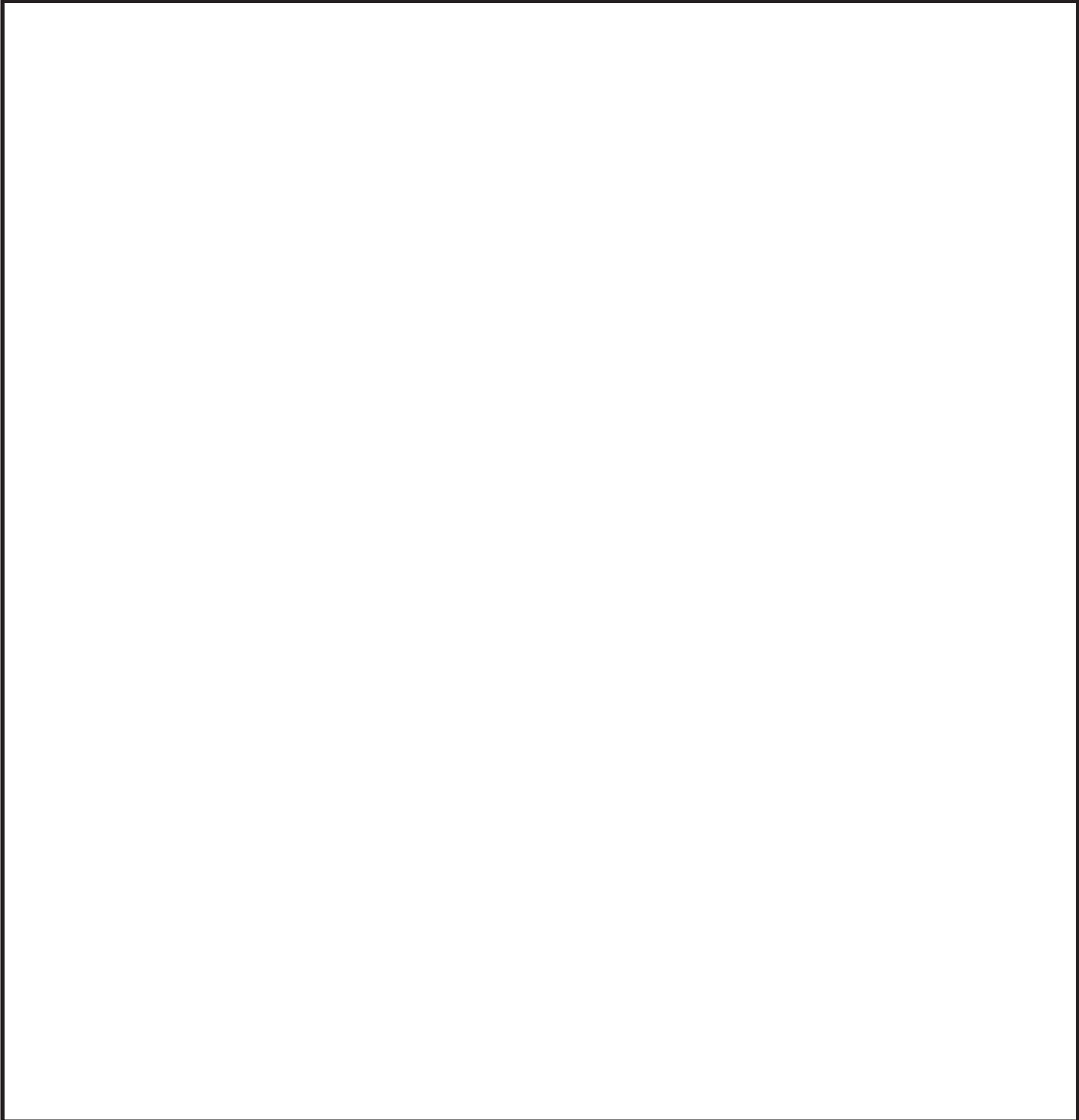


表 2-1 構造部材の諸元

部材	材料	高さ (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)
鋼板	SUS304			

部材	材料	高さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)
補強リブ	SUS304			

2.2 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (3) 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）
（以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3指針を指す。）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（以下「設計・建設規格」という。）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術規程（J E A C 4 6 0 1-2008）

枠囲みの内容は商業機密の
観点から公開できません。

2.3 記号の説明

鋼板及び溶接部の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 鋼板及び溶接部の耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
C_H	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の設計震度	-
σ_x	鋼板の膜+曲げ応力	MPa
σ_y	鋼板の膜+曲げ応力	MPa
τ_{xy}	鋼板のせん断応力	MPa
σ_p	鋼板の組合せ応力	MPa
F_x	溶接部に x 方向に作用する引張, 圧縮荷重	kN
F_y	溶接部に y 方向に作用する引張, 圧縮荷重	kN
F_z	溶接部に z 方向に作用するせん断荷重	kN
M_y	溶接部に y 方向に作用する曲げモーメント	N・mm
M_z	溶接部に z 方向に作用する曲げモーメント	N・mm
M_x	溶接部に作用するねじりモーメント	N・mm
A	溶接部の断面積	mm ²
Z_y	溶接部の断面係数	mm ³
Z_z	溶接部の断面係数	mm ³
Z_p	溶接部のねじり断面係数	mm ³
σ_a	軸応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
g	重力加速度 (= 9.80665m/s ²)	m/s ²
ρ	海水の密度 (= 1030kg/m ³)	kg/m ³
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
h	貫通部にかかる水頭	m
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (=) (「日本水道協会 2009 年 水道施設耐震工法指針・解説」より)	-

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 評価対象部位

地震による溢水に加えて津波の流入によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重は、鋼板及びケーブルトレイ内外部のシール材へ伝達される。また、鋼板に伝達された荷重は遮水鋼板との溶接部へ伝達される。このことから、貫通部止水処置のうち、鋼板及びシール材を評価対象部位として設定する。

シール材については、鋼板とケーブルトレイの隙間に施工するコーキングタイプのシール材及びケーブルトレイ内部に施工する充填タイプのシール材に対して評価を行う。

鋼板については、鋼板本体及び遮水鋼板との溶接部に対して評価を行う。

また、津波や余震の荷重が鋼板に作用し、遮水鋼板及び鋼板が変形することによりコーキングタイプのシール材がせん断や変形することが考えられるため、遮水鋼板及び鋼板の変位量を評価し、シール材の許容変位内であることを確認する。なお、シール材の伸び長さは、シール材施工厚さ（隙間）と遮水鋼板及び鋼板の変位量の和より小さくなるが、遮水鋼板及び鋼板の変位量分だけシール材が伸びるものとして評価する。鋼板の評価対象部位を図 2-1 に示す。

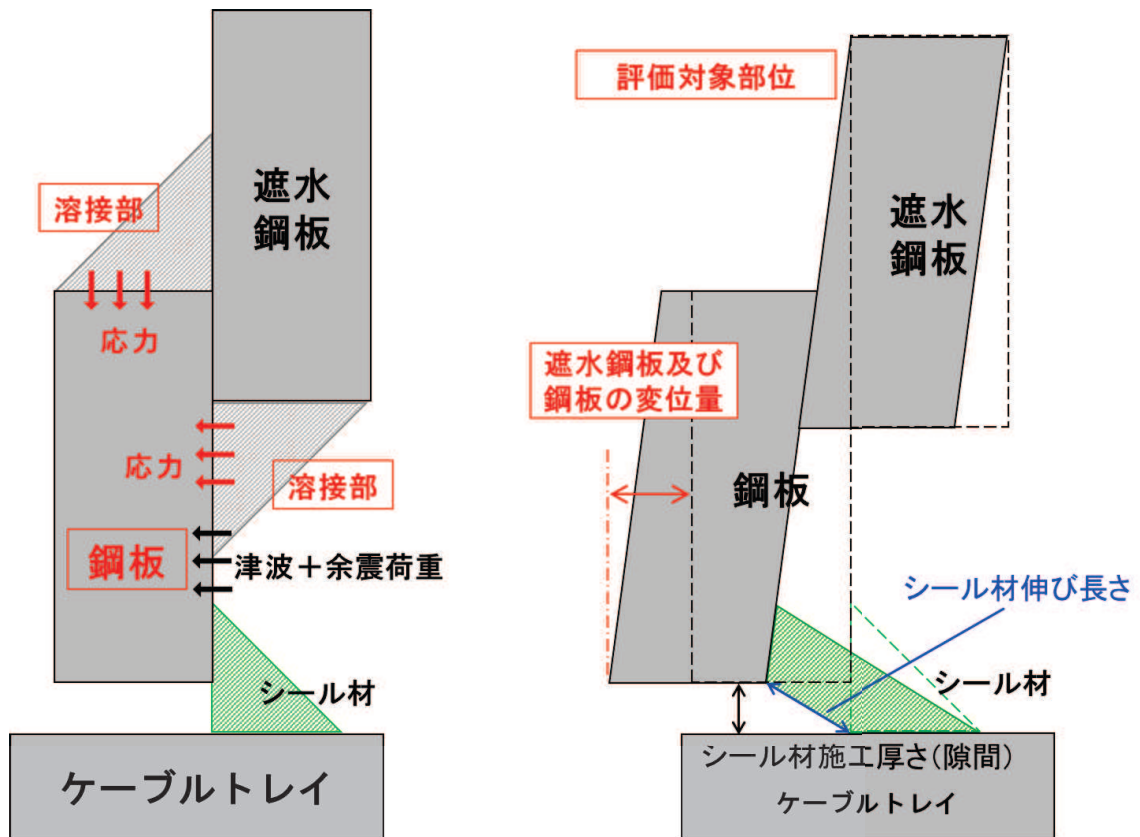


図 2-1 鋼板の評価対象部位

2.5 鋼板の固有周期

ケーブルトレイ貫通部止水処置の鋼板は、添付資料「VI-2-10-2-11 貫通部止水処置の耐震性についての計算書」の「(別紙1) 遮水鋼板におけるケーブルトレイ貫通部の耐震性について」にて固有値解析を実施しており、「2.5.3 固有値解析結果」にて剛であることを確認している。

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

- (1) 貫通部止水処置の評価対象部位の応力評価を実施し、発生応力を算出する。
- (2) 評価対象部位の発生応力と許容応力を比較し、発生応力が許容応力以下であることを確認する。
- (3) 評価対象部位のうち鋼板については、遮水鋼板及び鋼板の変位量とシール材の許容変位を比較し、遮水鋼板及び鋼板の変位量がシール材の許容変位以下であることを確認する。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せに関して以下に示す。

3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (D)

固定荷重として、鋼板の質量を考慮する。なお、ケーブルトレイについては、貫通部近傍に支持構造物を設置するため質量を考慮しない。

(2) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重として、津波による水位を用いた静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

(3) 余震荷重

余震荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ に伴う地震力（動水圧含む。）とする。

余震による動水圧 ($K S_d$) がシール材に作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_H \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

3.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 (浸水防止設備)	貫通部止水処置 (第 2 号機放水立坑防潮壁横断部)	$D + P_h + K S_d$

注記 * : D は固定荷重, P_h は浸水津波荷重, $K S_d$ は弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重 (余震による動水圧 P_d) を示す。

3.3 許容限界

3.3.1 コーキングタイプのシール材の許容限界

コーキングタイプのシール材の許容限界値は, 実機の形状, 寸法を考慮した試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いて設定する。試験より得られたシール材の許容圧力を表 3-2, シール材の水圧試験の概要を図 3-1 に示す。

実機施工時においては, 鋼板とケーブルトレイ間の隙間に対し, シール材の脚長は試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し, かつ, 想定するシール材に加わる圧力が, 許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。

表 3-2 コーキングタイプのシール材の浸水に対する許容圧力

評価部位	隙間 (mm)	脚長 (mm)	許容圧力 (MPa)
シール材 (コーキングタイプ)			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

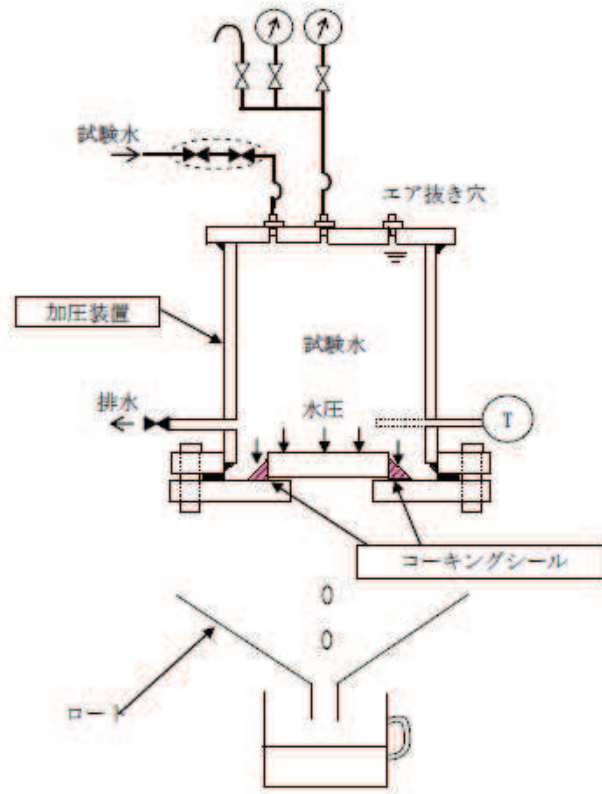


図 3-1 コーキングタイプのシール材の水圧試験の概要

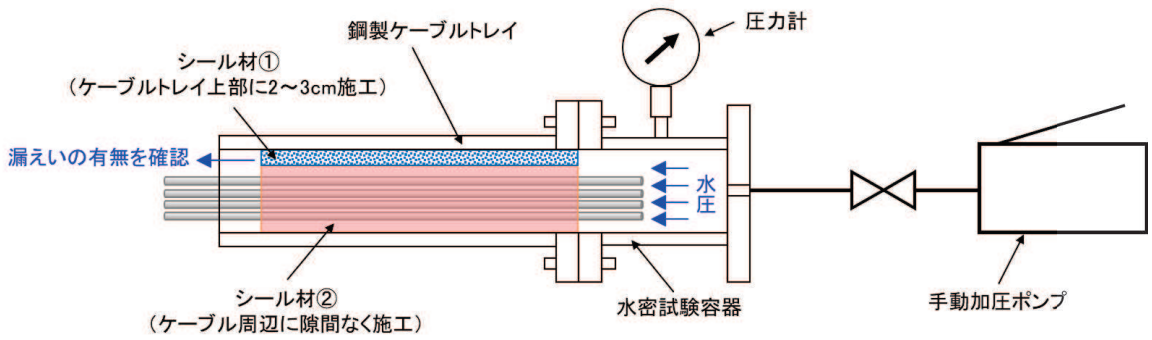
3.3.2 充填タイプのシール材の許容限界

ケーブルトレイ内部に施工する充填タイプのシール材の許容限界値は、ケーブルトレイを模擬した試験体にて [] の静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。試験の結果、圧力 [] において、いずれのケーブル占積率においても漏えいが無かったことから、これを許容限界値とする。試験より得られたシール材の許容圧力を表 3-3、充填タイプのシール材の水圧試験の概要を図 3-2 に示す。

実機施工時においては、ケーブルトレイの内部に施工幅 [] 以上となるようにシール材を施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し、かつ、想定するシール材に加わる圧力が、許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。

表 3-3 充填タイプのシール材の浸水に対する許容圧力

評価部位	ケーブル占積率 (%)	施工幅 (mm)	許容圧力 (MPa)
シール材 (充填タイプ)	40	[]	[]
	21.4		



ケーブルトレイ上部にシール材①、ケーブル周辺にシール材②を隙間なく充填し、軸方向にシール材に直接水圧をかけ、シール材を超えて漏えいがないことを確認する。

図 3-2 充填タイプのシール材の水圧試験の概要

3.3.3 貫通部止水処置（鋼板）の許容限界

(1) 貫通部止水処置（鋼板）の応力に対する許容限界

鋼板の応力に対する許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*：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) 貫通部止水処置（鋼板）の変位に対する許容限界

貫通部止水処置（鋼板）の変位に対する許容限界を表 3-5 に示す。

表 3-5 遮水鋼板及び鋼板の許容変位

評価部位	鋼板許容変位* (mm)	備考
遮水鋼板 及び鋼板		

注記*：コーキングタイプのシール材は引張試験により、シール材の許容引張破断伸びが [] であることが確認されていることから、シール材施工厚さ（隙間） [] を遮水鋼板及び鋼板の許容変位とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 設計用地震力

弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方法」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。貫通部止水処置の強度評価に用いる設計用震度を表 3-6 に示す。

表 3-6 シール部の評価に用いる設計用震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (m)	貫通部止水処置の 設置場所	余震による 設計震度* ²	
弾性設計用地震動 S d - D 2	13.8	第 2 号機放水立坑 防潮壁横断部	水平方向 C _H	0.70

注記 * 1 : 貫通部止水処置の設置場所より高い基準床レベルを設定している。

* 2 : 最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

3.5 計算方法

3.5.1 計算方法（発生圧力計算）

貫通軸が水平方向であるため，浸水津波荷重 P_h と余震による動水圧 P_d を考慮する。

$$P_{H \text{ total}} = P_h + P_d$$

3.5.2 計算方法（鋼板の応力計算）

鋼板各部の応力計算式を以下に示す。

(1) 鋼板（板要素）の応力評価

板要素でモデル化した鋼板は，表 3-7 に示す組合せ応力により評価を行う。

表 3-7 鋼板（板要素）の応力計算式

評価応力	応力計算式
組合せ応力	$\sigma_p = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$

(2) 溶接部の応力評価

溶接部は表 3-8 に示す応力計算式により評価を行う。

表 3-8 溶接部の応力計算式

評価応力	応力計算式
組合せ応力	



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.6 計算条件

評価に用いる計算条件を表 3-9 に示す。また、ケーブルトレイ貫通部止水処置に加わる津波概要を図 3-3 に示す。

表 3-9 ケーブルトレイ貫通部の評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と 水深の比による補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m^3)	貫通部施設エリアの床 面からの浸水深さ* ¹ H (m)
第 2 号機放水立坑 防潮壁横断部		1030	15.1

貫通部位置における浸水深さ* ² h (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 による 水平方向の設計震度 C_H	重力加速度 g (m/s^2)
8.95	0.70	9.80665

注記 * 1 : 貫通部施設エリアの床面からの浸水深さ (H) は、貫通部施設エリアの床面 (O.P. 2.8m) から入力津波水位に 0.5m の余裕を考慮した津波水位 (O.P. 17.9m) までの寸法。

* 2 : 貫通部位置における浸水深さ h は開口部下端高さ (O.P. 8.95m) から入力津波水位に 0.5m の余裕を考慮した津波水位 (O.P. 17.9m) までの寸法。

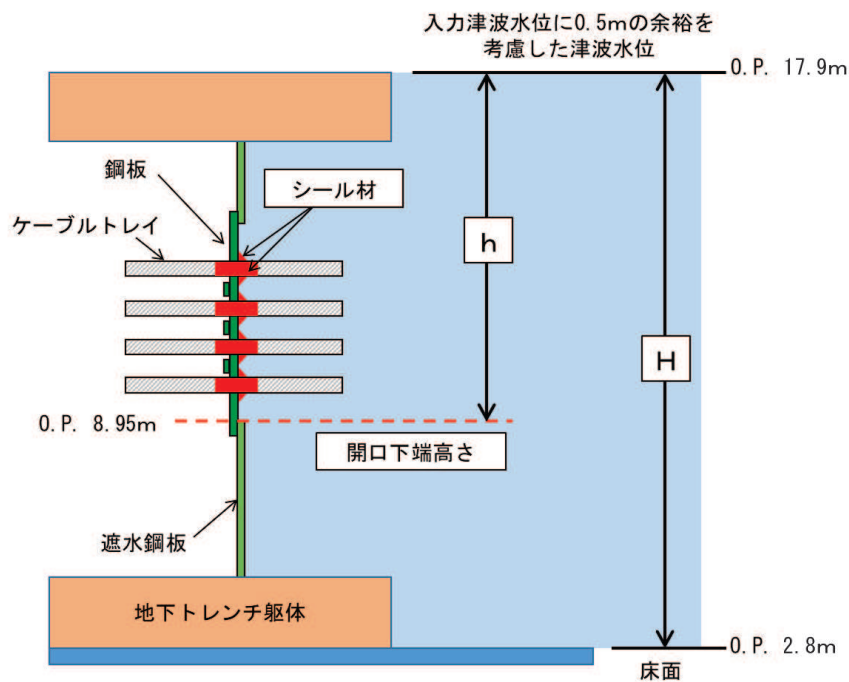


図 3-3 貫通部止水処置に加わる津波の概要

4. 評価結果

4.1 貫通部止水処置（シール材）の評価結果

貫通部止水処置（シール材）の評価結果を表 4-1 に示す。

シール材の発生圧力は、許容圧力以下であることを確認した。

表 4-1 シール材の浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材 (コーキングタイプ)	0.17	
シール材 (充填タイプ)	0.17	

4.2 貫通部止水処置（鋼板）の評価結果

(1) 貫通部止水処置（鋼板）の応力評価結果

貫通部止水処置（鋼板）の応力評価結果を表 4-2 及び図 4-1 に示す。

鋼板及び溶接部の発生圧力は、許容圧力以下であることを確認した。

表 4-2 応力評価結果

評価対象部位	応力の種類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
鋼板	組合せ	49	204
溶接部	組合せ	13	117

(2) 貫通部止水処置（鋼板）の変位評価結果

貫通部止水処置（鋼板）の変位評価結果を表 4-3 及び図 4-2 に示す。

表 4-3 変位評価結果

評価対象部位	最大変位量 (mm)	総変位量 (mm)	許容変位量 (mm)
遮水鋼板	2.86	3.2	
鋼板	0.32		

遮水鋼板及び鋼板の総変位量は 3.2mm であり許容変位以内であるため、貫通部止水処置において、鋼板とシール材の接着面に隙間は生じず、シール材の構造健全性は維持できることを確認した。

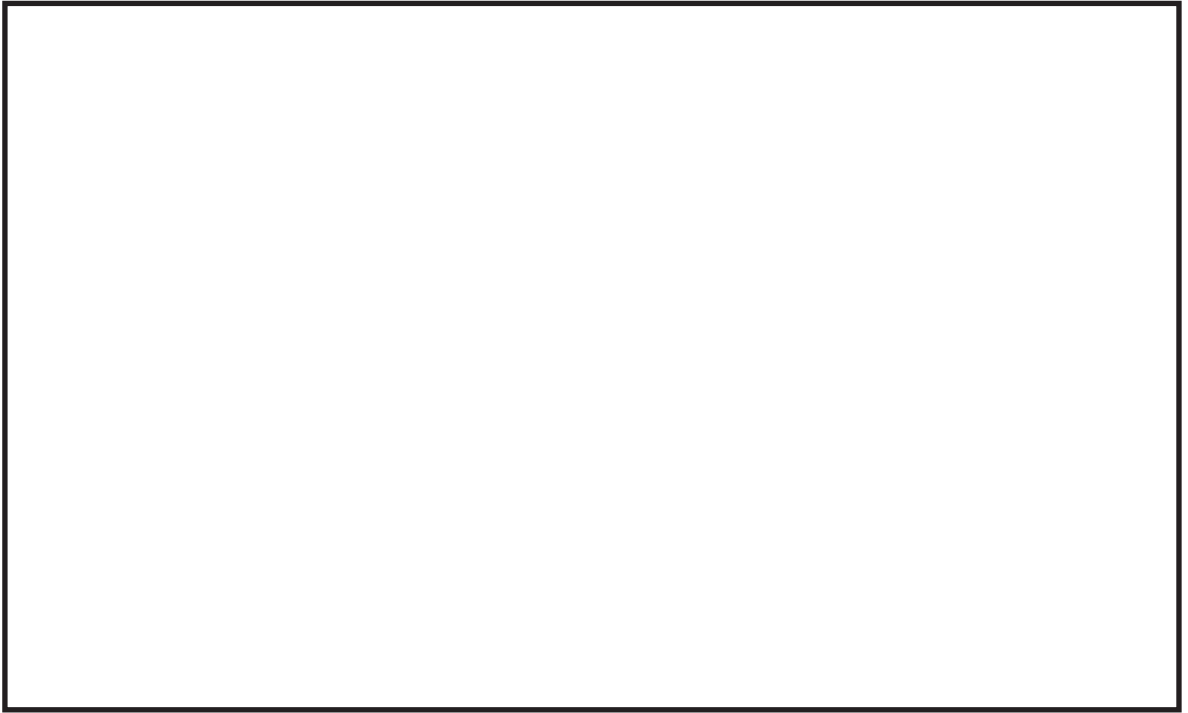


図 4-1 応力評価結果

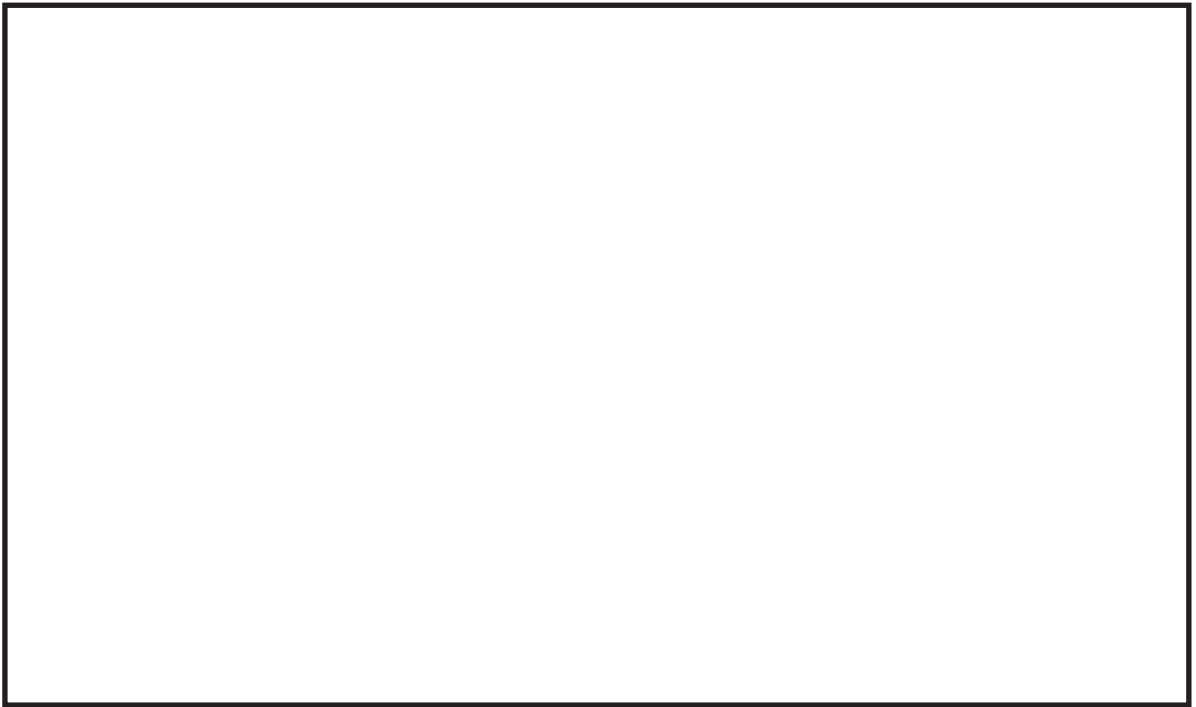


図 4-2 変位評価結果

枠囲みの内容は商業機密の
観点から公開できません。

5. 遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部止水処置に使用するシール材

遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部止水処置について、実機施工時には水圧試験において使用した表 5-1 に示すシール材を使用する設計とする。

表 5-1 ケーブルトレイ貫通部止水処置に使用するシール材

対象部位	メーカー	型式
シール材 (コーキングタイプ)		
シール材① (充填タイプ) ケーブルトレイ上部		
シール材② (充填タイプ) ケーブル周辺		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-別添 3-2-11 津波監視設備の強度計算書

目 次

VI-3-別添 3-2-11-1 取水ピット水位計の強度計算書

VI-3-別添 3-2-11-1 取水ピット水位計の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
2.6	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	固有周期	9
4.1	固有値解析方法	9
4.2	解析モデル及び諸元	9
4.3	固有値解析結果	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3	設計用地震力	12
5.4	計算方法	13
5.5	計算条件	18
5.6	応力の評価	18
6.	評価結果	19
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	19

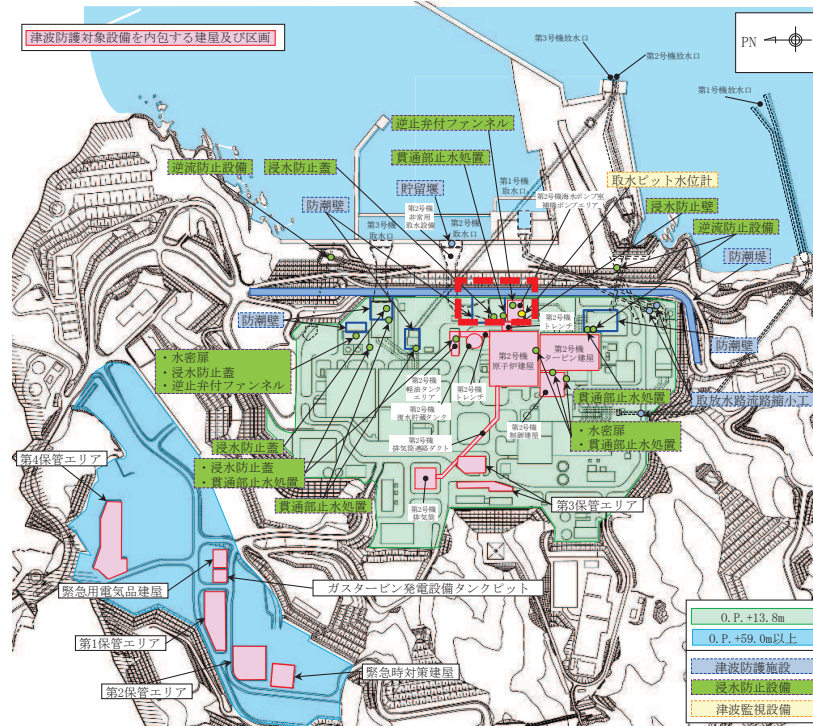
1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、津波監視設備のうち取水ピット水位計の主要な構造部材が、津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、十分な構造強度を有していることについて説明するものである。

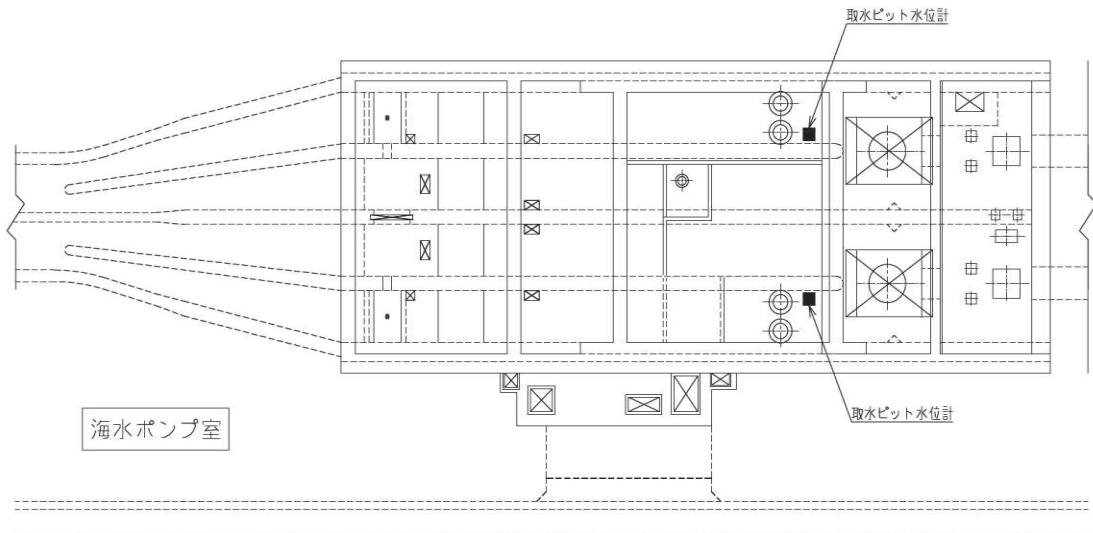
2. 一般事項

2.1 配置概要

津波監視設備の配置図を図 2-1 に示す。



(敷地全体図)



(拡大図：海水ポンプ室)

図 2-1 津波監視設備配置図

2.2 構造計画

取水ピット水位計の構造計画を表 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>取水ピット水位計のバブラー管の上部は溶接により検出器取付座（以下、フランジという。）に固定され、フランジは取付ボルトで固定される。バブラー管の下部は取付治具で保護管に固定される。保護管を固定するサポートは取水ピット内壁面に基礎ボルトで固定される。</p>	<p>バブラー管 保護管サポート部 ・保護管 ・取付治具 ・サポート</p>	<p>【取水ピット水位計】</p> <p>スリーブ 取付床 バブラー管 取付治具 保護管 サポート</p> <p>12560</p>	<p>300 上面図 (A-A断面)</p> <p>取付治具 (フラットバー) 取付治具 (Uボルト) 保護管 バブラー管 上面図 (B-B断面)</p> <p>取付床 取付ボルト フランジ スリーブ バブラー管 拡大図 (フランジ部詳細) (単位 : mm)</p>

2.3 評価方針

取水ピット水位計の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、応力評価により実施する。応力評価では、取水ピット水位計の評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて評価し、「6. 評価結果」にて確認する。

取水ピット水位計の強度評価フローを図 2-2 に示す。取水ピット水位計の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下、「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下、「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

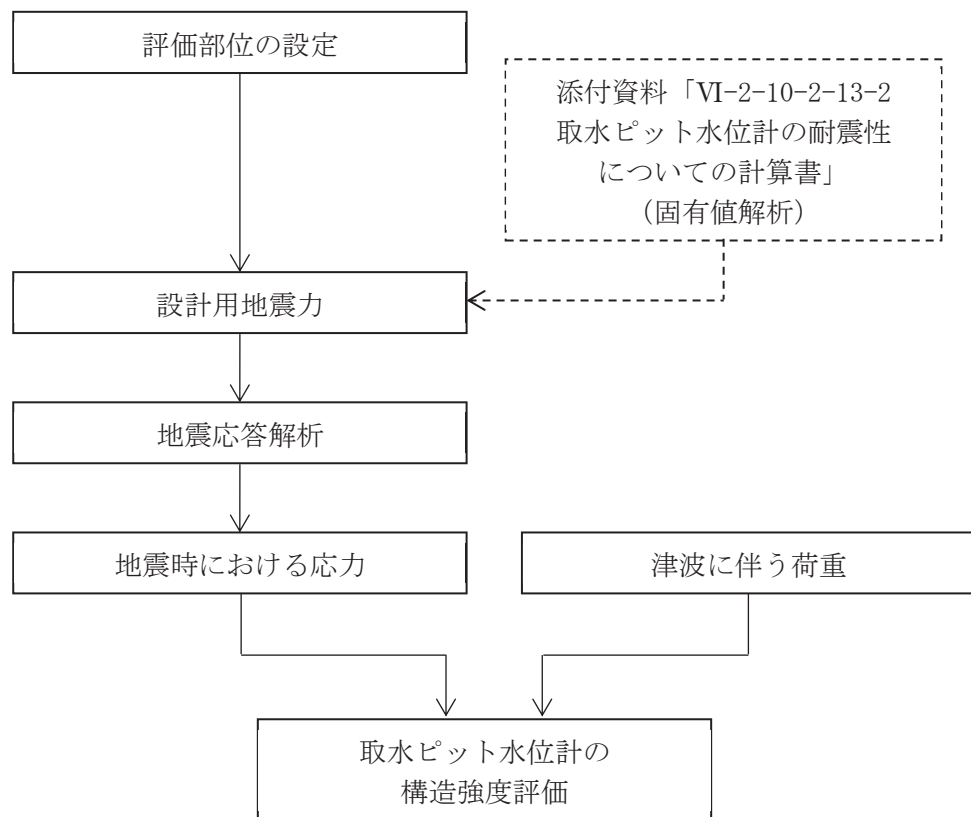


図 2-2 取水ピット水位計の強度評価フロー

2.4 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- (5) 港湾の施設の技術上の基準・同解説

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
A_f	隣接する取付ボルト間の断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	取付ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_X	取付ボルト及びフランジに作用する力（X方向）	N
F_Y	取付ボルト及びフランジに作用する力（Y方向）	N
F_Z	取付ボルト及びフランジに作用する力（Z方向）	N
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_{sf}	フランジの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付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取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{bf}	フランジの許容曲げ応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
l_1	M_X によって取付ボルトにせん断力が発生する場合の取付ボルトとフランジ中心との距離	mm
l_2	M_Z によって取付ボルトにせん断力が発生する場合の取付ボルトとフランジ中心との距離	mm
l_{f1}	取付ボルトと対角の取付ボルトとの距離	mm
l_{f2}	隣接する取付ボルト間の距離	mm
M_X	取付ボルト及びフランジに作用するモーメント（X軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_Y	取付ボルト及びフランジに作用するモーメント（Y軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_Z	取付ボルト及びフランジに作用するモーメント（Z軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_f	フランジに作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_a	バブラー管の質量	kg
n	取付ボルトの本数	—
n_X	M_X の引張力に耐えうる取付ボルトの本数	—
n_Z	M_Z の引張力に耐えうる取付ボルトの本数	—
Q_b	取付ボルトに作用するせん断力	N
Q_f	フランジ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

記号	記号の説明	単位
π	円周率	—
σ_{tb}	ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{bf}	フランジに生じる曲げ応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	フランジに生じるせん断応力	MPa
P_t	バブラー管据付フランジに作用する突き上げ津波荷重	N
A_l	突き上げ津波荷重及び静水頭圧を受けるフランジの面積	m ²
ρ	海水の密度	kg/m ³
T_h	入力津波高さ	m
h	津波最大到達レベル	m
z	評価対象部位のレベル	m
C_d	抗力係数	—
U	フランジに作用する流速（上昇方向）	m/s
D	フランジの直径	mm
t	フランジの厚さ	mm
Z_f	フランジの断面係数	mm ³

2.6 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

本資料で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	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

注記*1：設計上定める値が小数点第 1 位以下の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

取水ピット水位計の構造強度評価は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

津波時は、取水ピットからの突き上げ津波荷重がフランジ、取付ボルトに作用する。重畳時は、余震による慣性力がバブラー管に、取水ピットからの突き上げ津波荷重及び余震による慣性力がフランジ、取付ボルトに作用する。

構造強度評価においては、強度評価上厳しくなるフランジ部分の部材としてフランジ及びフランジの取付ボルトを選定する。評価部位については、表 2-1 の構造計画に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

取水ピット水位計の固有値解析方法を以下に示す。

(1) 取水ピット水位計は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

取水ピット水位計の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【取水ピット水位計の強度についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

(1) バブラー管を支持する保護管サポート部は、添付資料「VI-2-10-2-13-2 取水ピット水位計の耐震性についての計算書」の「3. 保護管サポート部」にて解析モデルを示しており、「3.4.3 固有値解析結果」にて剛であることを確認している。

(2) バブラー管の解析モデルは、添付資料「VI-2-10-2-13-2 取水ピット水位計の耐震性についての計算書」の「4. バブラー管」の解析モデルとする。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果は、添付資料「VI-2-10-2-13-2 取水ピット水位計の耐震性についての計算書」の「4. バブラー管」の解析モデルに示しており、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力は、取水ピット水位計に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 取水ピット水位計のフランジ部に突き上げ津波荷重を付与する。
- (3) 強度計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。取水ピット水位計の荷重の組合せを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

取水ピット水位計の許容応力は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容応力に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

取水ピット水位計の使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*1, *2
浸水防護施設 (津波監視設備)	取水ピット水位計	$D + S_d + P_t$

注記*1：Dは固定荷重， S_d は余震荷重， P_t は突き上げ津波荷重を示す。

*2：固定荷重（D）及び余震荷重（ S_d ）の組合せが，強度評価上，突き上げ津波荷重（ P_t ）を緩和する方向に作用する場合，保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容応力*1, *2 (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_b$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
		取付ボルト	周囲環境温度	40	520	690
フランジ		周囲環境温度	40	175	450	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.3 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり取水ピット水位計の固有周期は0.05秒以下であることを確認したため、取水ピット水位計の強度計算に用いる設計震度は、添付書類「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。耐震評価に用いる設計用地震力を表5-4に示す。

表5-4 設計用地震力

地震動	据付場所 及び 床面高さ (m)	余震による設計震度	
		水平方向 C_H	1.05
弾性設計用地震動 S d - D 2	海水ポンプ室 O.P. 2.25* (O.P. 2.00)	鉛直方向 C_V	1.03

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

取水ピット水位計に作用する応力及び算出式を示す。

5.4.1 突き上げ津波荷重の計算方法

取水ピット水位計に作用する突き上げ津波荷重 P_t は次式にて求める。

$$P_t = \rho \cdot g \cdot T_h \cdot A_1 + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_1 \cdot U^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

ここで、突き上げ津波荷重及び静水頭圧を受けるフランジの面積 A_1 は次式にて求める。

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ここで、入力津波高さ T_h は次式にて求める。

$$T_h = h - z \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

5.4.2 応力の計算方法

5.4.2.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメント及び突き上げ津波荷重によって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-1に示す。

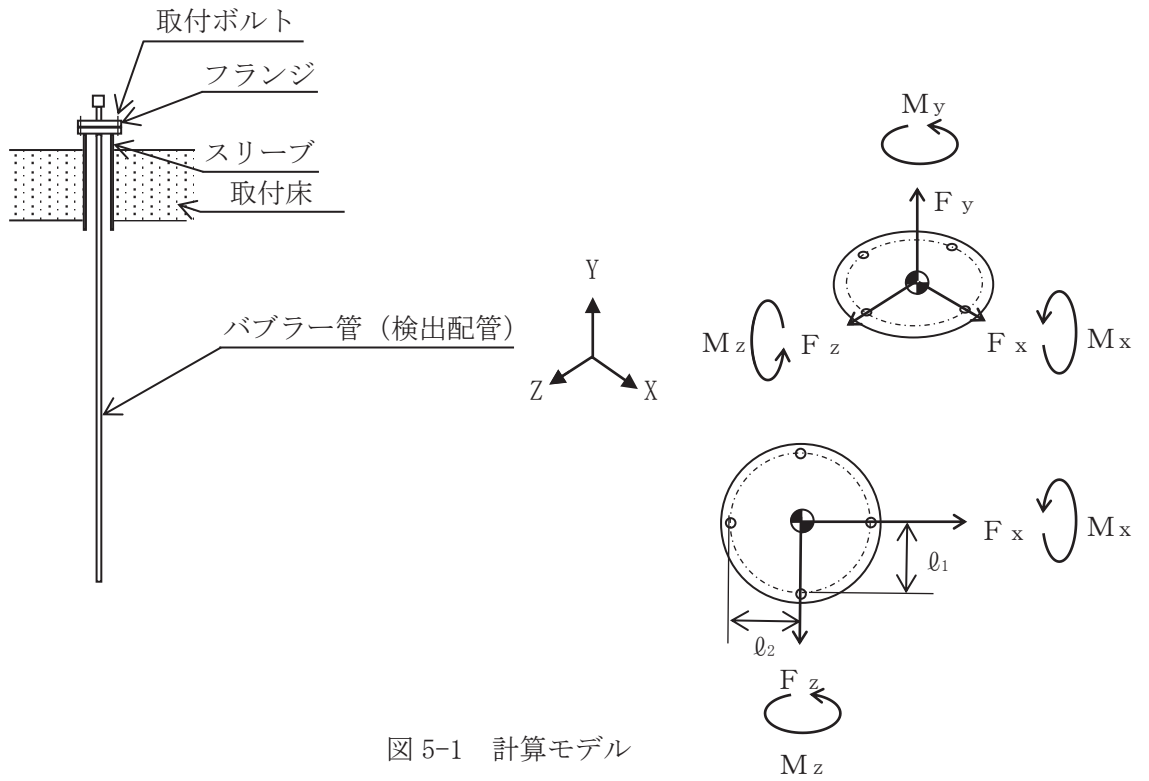


図 5-1 計算モデル

地震応答解析によって得られたフランジ部の評価点における最大反力（D+S d）とモーメントを表 5-5 に示す。反力の計算においては保守的にバブラー管への突き上げ津波荷重を考慮する。

表 5-5 フランジ部発生反力，モーメント

評価部位	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F _X	F _Y	F _Z	M _X	M _Y	M _Z
フランジ						

(1) 引張応力

取付ボルト（1本あたり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_Y}{n} + \frac{M_X}{\ell_1 \cdot n_X} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} + P_t \dots\dots\dots (5.4.2.1.1)$$

ここでの突き上げ津波荷重 P_t は，フランジへの突き上げ津波荷重とする。

引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.2.1.2)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.2.1.3)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) せん断応力

取付ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{n} \dots\dots\dots (5.4.2.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.2.1.5)$$

5.4.2.2 フランジの計算方法

フランジの応力は、地震による震度により作用するモーメント及び突き上げ津波荷重によって生じる曲げ応力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-2に示す。

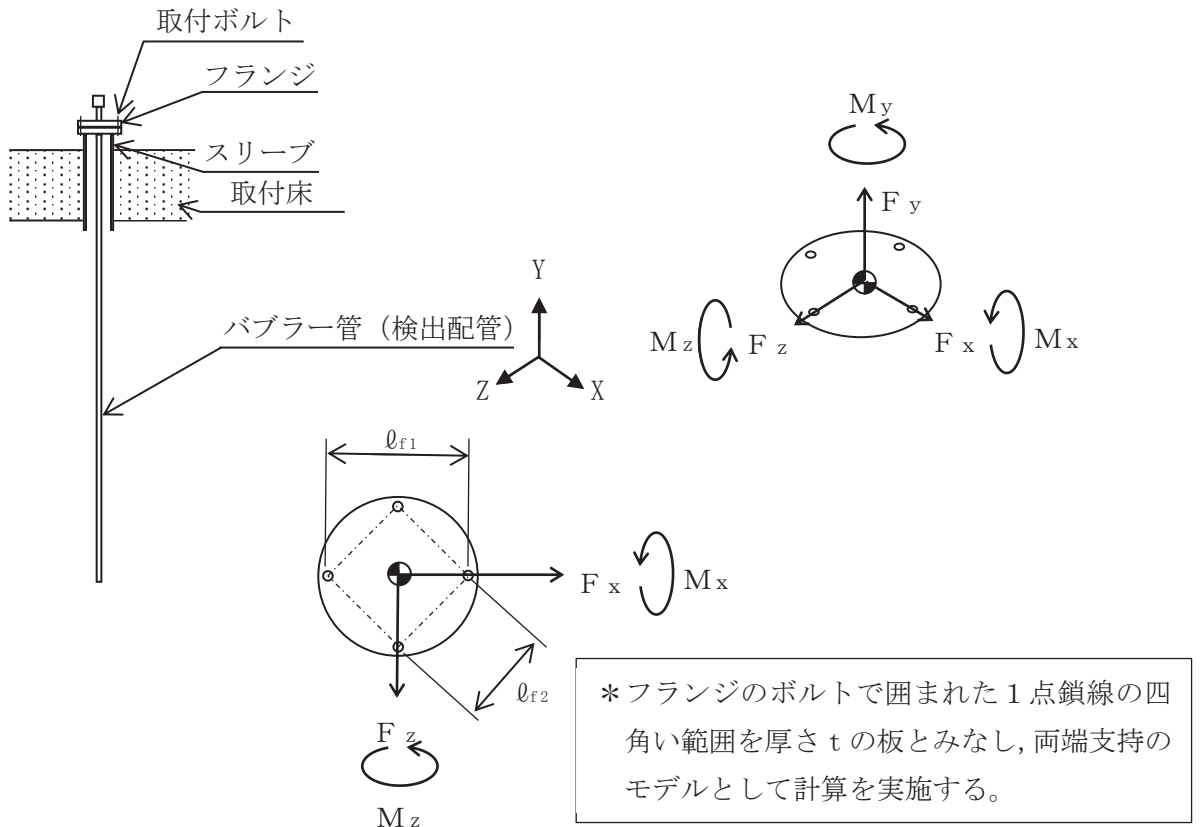


図 5-2 計算モデル

(1) 曲げ応力

フランジに対する曲げ応力は、下式により計算する。

曲げモーメント

$$M_f = \frac{(F_Y + P_t) \cdot \ell_{f1}}{4} + \frac{M_X}{2} \dots\dots\dots (5.4.2.2.1)$$

ここで、フランジの断面係数 Z_f は次式により求める。

$$Z_f = \frac{1}{6} \cdot \ell_{f2} \cdot t^2 \dots\dots\dots (5.4.2.2.2)$$

曲げ応力

$$\sigma_{bf} = \frac{M_f}{Z_f} \dots\dots\dots (5.4.2.2.3)$$

(2) せん断応力

フランジに対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_f = \sqrt{(F_Y + P_t)^2 + F_Z^2} \dots\dots\dots (5.4.2.2.4)$$

ここで、フランジの取付ボルト間の断面積 A_f は次式により求める。

$$A_f = \ell_{f2} \cdot t \dots\dots\dots (5.4.2.2.5)$$

せん断応力

$$\tau_f = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q_f}{A_f} \dots\dots\dots (5.4.2.2.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 取付ボルト及びフランジの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【取水ピット水位計の強度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 取付ボルトの応力評価

ボルトの引張応力 σ_{tb} 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。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

5.6.2 フランジの応力評価

曲げ応力 σ_{bf} はフランジの許容曲げ応力 f_{bf} 以下であること。ただし、 f_{bf} は下表による。

せん断応力 τ_f はフランジの許容せん断応力 f_{sf} 以下であること。ただし、 f_{sf} は下表による。

\	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合
許容曲げ応力 f_{bf}	$\frac{F}{1.3} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sf}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

取水ピット水位計の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【取水ピット水位計の強度についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	
取水ピット水位計	S	海水ポンプ室 O.P. 2.25* ¹ (O.P. 2.00)			C _H =1.05	C _V =1.03	—	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

評価部位	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _x	n _z
取付ボルト					4	1	1

評価部位	D (mm)	t (mm)	ℓ _{f1} (mm)	ℓ _{f2} (mm)	A _f (mm ²)	Z _f (mm ³)
フランジ						

評価部位	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又 は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	520	690	483	—	水平方向	—
フランジ	175	450	175	—	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 取付ボルト及びフランジに作用する力

(単位：N)

評価部位	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
取付ボルト 及びフランジ		—		—		—

1.3.2 取付ボルト及びフランジに作用するモーメント

(単位：N・mm)

評価部位	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
取付ボルト 及びフランジ		—		—		—

1.3.3 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

評価部位	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		—		—

1.3.4 フランジに作用する力

評価部位	M_f		Q_f	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 (N・mm)	基準地震動 S _s (N・mm)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 (N)	基準地震動 S _s (N)
フランジ		—		—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.4 結論

1.4.1 取付ボルトの応力

(単位：MPa)

評価部位	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	$\sigma_{tb}=43$	$f_{ts}=362^*$	—	—
		せん断	$\tau_b=0$	$f_{sb}=278$	—	—

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

すべて許容応力以下である。

1.4.2 フランジの応力

(単位：MPa)

評価部位	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
フランジ		曲げ	$\sigma_{bf}=76$	$f_{bf}=201$	—	—
		せん断	$\tau_f=7$	$f_{sf}=101$	—	—

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

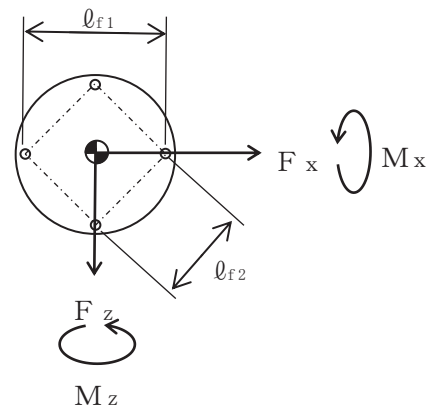
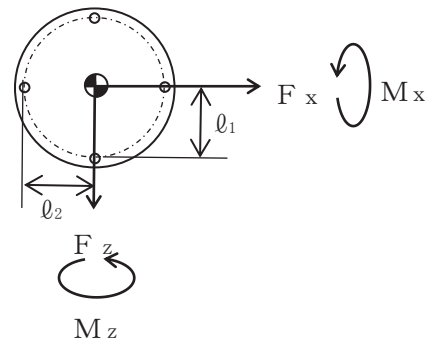
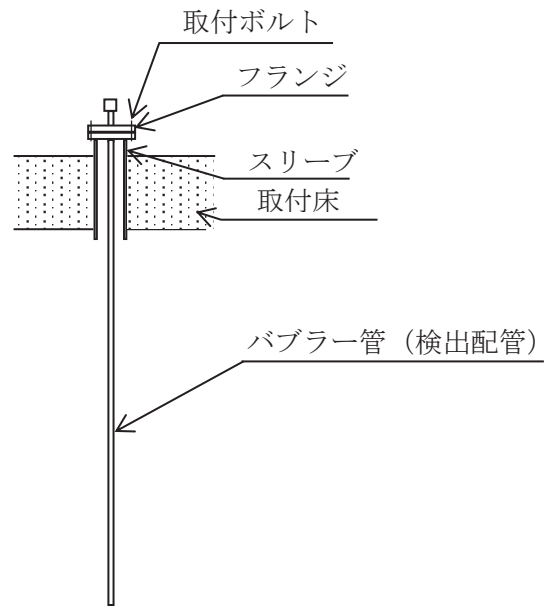
(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	
海水の密度	ρ	kg/m ³	
津波最大到達レベル	h	m	
評価対象部位のレベル	z	m	
抗力係数	C d	—	
フランジに作用する流速 (上昇方向)	U	m/s	

23

(2) 部材の機器要目

番号	⑦
材料	
A (mm ²)	
I _X (mm ⁴)	
I _Y (mm ⁴)	
I _Z (mm ⁴)	
I _P (mm ⁴)	
断面形状 (mm)	



VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
2.2 評価方針	3
3. 構造強度設計	4
3.1 構造強度の設計方針	4
3.2 機能維持の方針	5
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	55
4.1 荷重及び荷重の組合せ	55
4.2 許容限界	56
5. 強度評価方法	62
5.1 水密扉	62
5.2 浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰	63
5.3 逆流防止装置	64
5.4 貫通部止水処置	65
6. 適用規格	66

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第12条及び第54条並びそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」に基づき設計する溢水防護施設が、溢水に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は、添付書類「VI-1-1-8-1 溢水等による損傷防止の基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

各施設の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-3-別添3-4-1 水密扉の強度計算書（溢水）」、添付書類「VI-3-別添3-4-2 堰の強度計算書」、添付書類「VI-3-別添3-4-3 逆流防止装置の強度計算書」及び添付書類「VI-3-別添3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す施設を対象として、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す溢水による荷重と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重又は応力が許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す評価方法により、「6. 適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」にて設定している溢水防護に係る施設を強度評価の対象施設とし、表2-1に示す。

表2-1では、強度評価の対象施設が、津波又は溢水のどちらの事象を防護するための施設であるかを明確に示す。また、表2-1に示す施設のうち、津波防護に係る浸水防止設備を兼ねるものは、溢水事象の静水圧（屋外タンク破損による溢水及び地下水）に、津波事象の荷重として余震荷重等を考慮し強度評価することから、津波事象における強度評価に包絡できるため、これらの計算書は添付書類「VI-3-別添3-2-6 水密扉の強度計算書」、「VI-3-別添3-2-7-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の強度計算書」にて示す。

表 2-1 強度計算の対象施設と防護する事象

強度計算の対象施設		事象	
		津波	溢水
水密扉	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	○	○
	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	○	○
	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉	○	○
	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	○	○
	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	○	○
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	○	○
	上記以外の水密扉	—	○
浸水防止蓋	地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1)	○	○
	地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 2)	○	○
	地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	○	○
堰	浸水防止堰	—	○
	管理区域外伝播防止堰	—	○
逆流防止装置		—	○
貫通部止水処置		—	○

2.2 評価方針

溢水防護に係る施設は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため、「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに、浸水防止に関する強度評価を実施する。

3. 構造強度設計

「2.1 評価対象施設」で設定されている施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を維持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1 評価対象施設」ごとに示す。

(1) 水密扉

水密扉は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(2) 浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(3) 逆流防止装置

逆流防止装置は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(4) 貫通部止水処置

貫通部止水処置は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、モルタルによる施工は、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とす

る。

また、シール材及びブーツによる施工は、止水性の維持を考慮して、有意な漏えいを生じない設計とする。

3.2 機能維持の方針

添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標が達成されるよう、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重条件を適切に考慮して、各設備の構造設計及びそれを踏まえた評価方法を設定する。

(1) 水密扉

a. 構造設計

水密扉は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

水密扉は、鋼製の板材を主体構造とし、周囲の開口部との間に設置した鋼製の扉枠を建屋の床及び壁にアンカーボルトで固定し支持する構造とする。また、作用する荷重については、面内及び面外方向から作用し、扉板、芯材、締付装置（カンヌキ部）及び扉枠に伝わり、アンカーボルトを介して周囲の建屋の床及び壁に伝達する構造とする。

水密扉の設置位置を表 3-1 に示す。また、水密扉の構造計画を表 3-2 に示す。

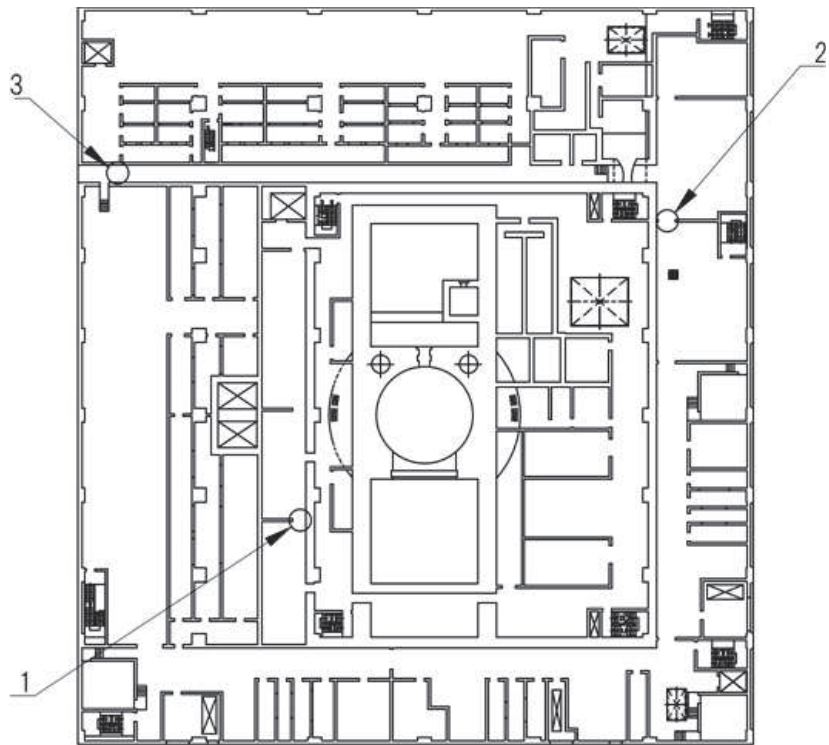
b. 評価方針

水密扉は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

水密扉は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、水密扉の評価対象部位が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-1 設置位置 (水密扉) (1/13)

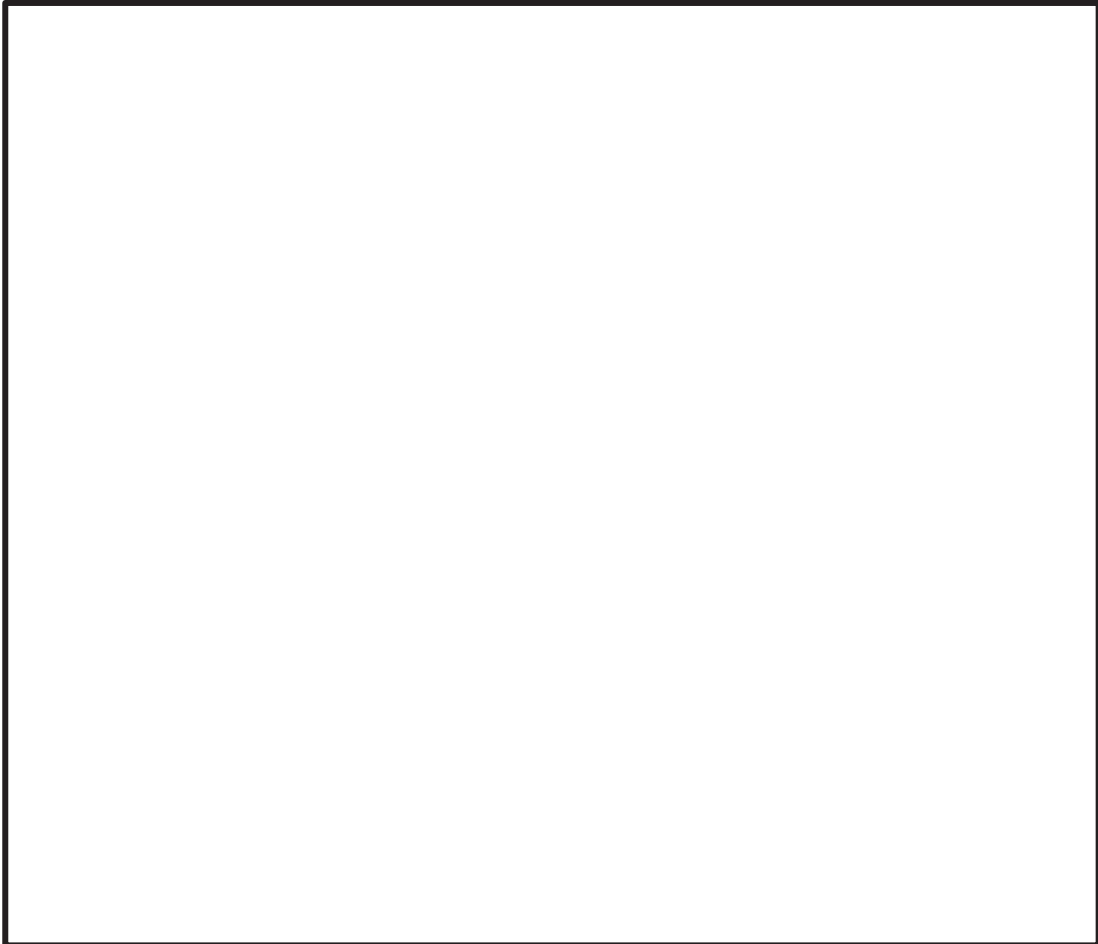
配置図



原子炉建屋 0.P. 22.50m

1	SGTS ヒータユニット(A)室浸水防止水密扉
2	HECW 冷凍機(B)(D)室-HECW 冷凍機(A)(C)室浸水防止水密扉
3	制御建屋共通エリア浸水防止水密扉

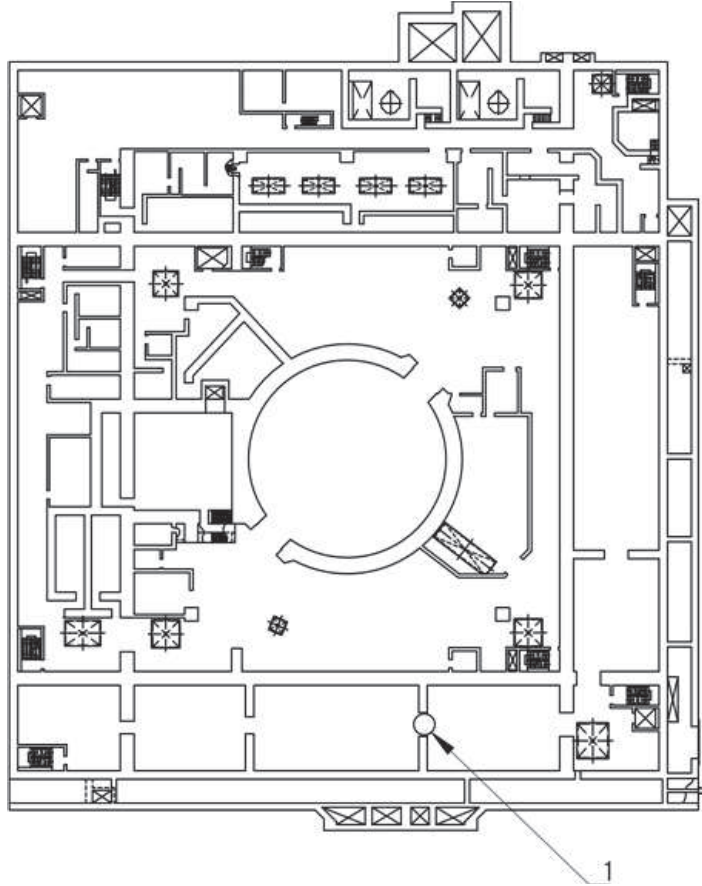
表 3-1 設置位置（水密扉） (2/13)

配置図	
	
原子炉建屋 O.P. 15.00m	
1	RHR Hx(A)室-RHR Hx(B)室浸水防止水密扉
2	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 2)
3	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 1)
4	D/G(B)室-D/G(HPCS)室浸水防止水密扉
5	RW 電気品室(B)浸水防止水密扉
6	北西階段室管理区域外伝播防止水密扉
7	原子炉建屋大物搬入口
8	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 3)
9	RW 制御室管理区域外伝播防止水密扉
10	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 1)
11	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 2)
12	主排気ダクト連絡トレンチ(2T-5)管理区域外伝播防止水密扉

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 3-1 設置位置 (水密扉) (3/13)

配置図

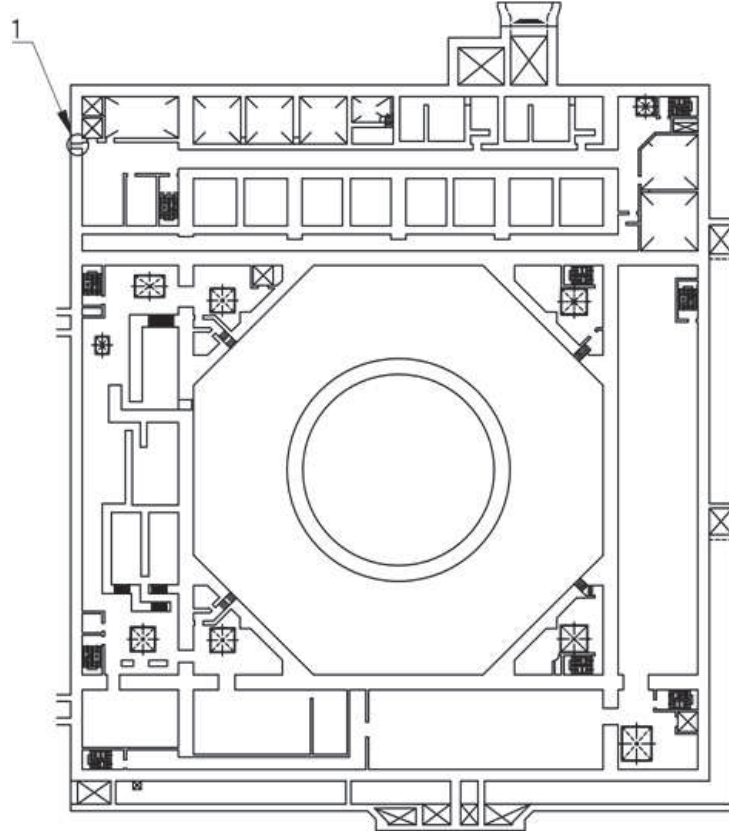


原子炉建屋 0.P. 6.00m

1	区分ⅢHPCS 電気品室-区分Ⅱ非常用電気品室浸水防止水密扉
---	--------------------------------

表 3-1 設置位置 (水密扉) (4/13)

配置図



原子炉建屋 0.P. -0.80m

1	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
---	----------------------

表 3-1 設置位置 (水密扉) (5/13)

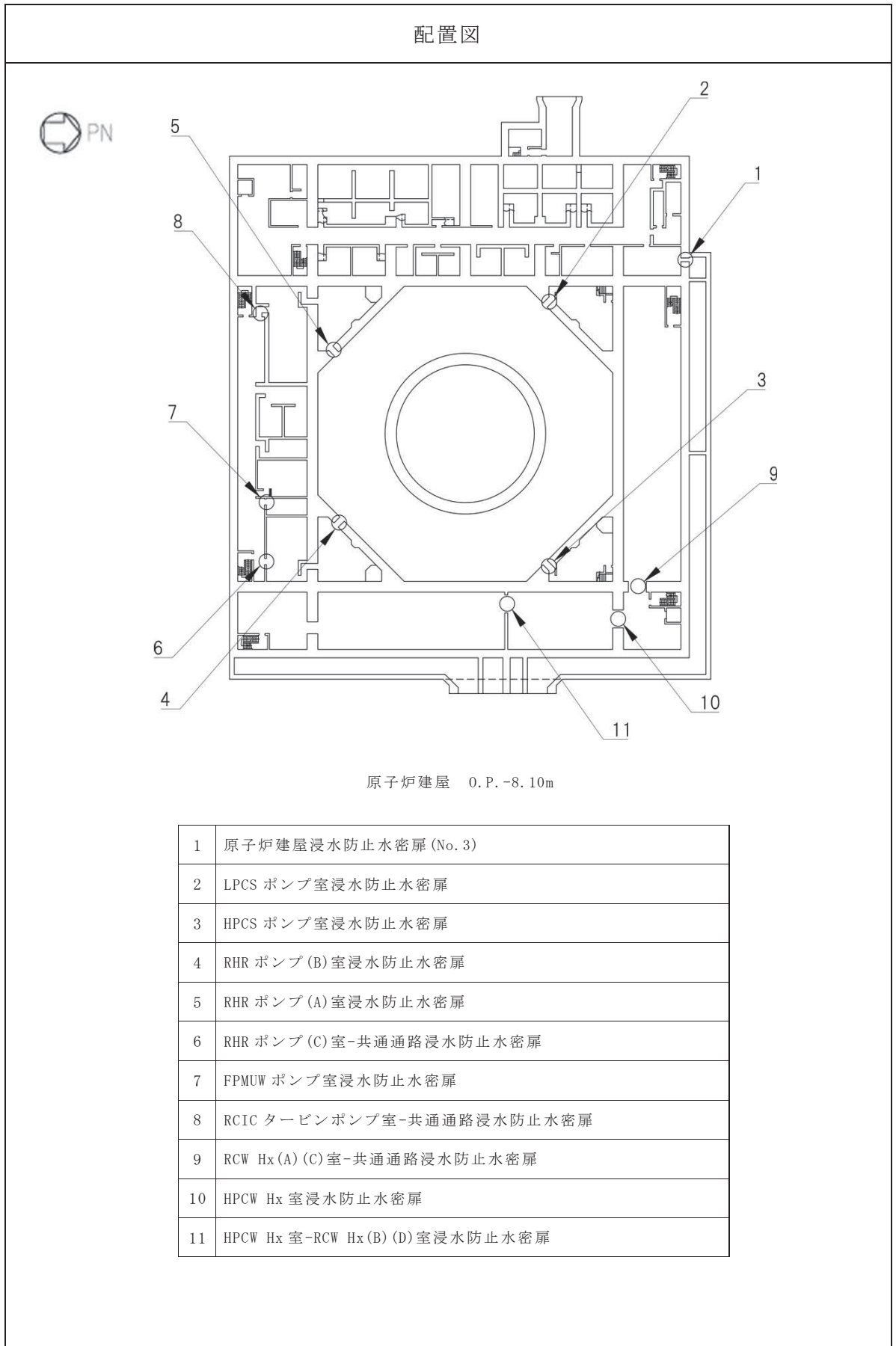


表 3-1 設置位置（水密扉） （6/13）

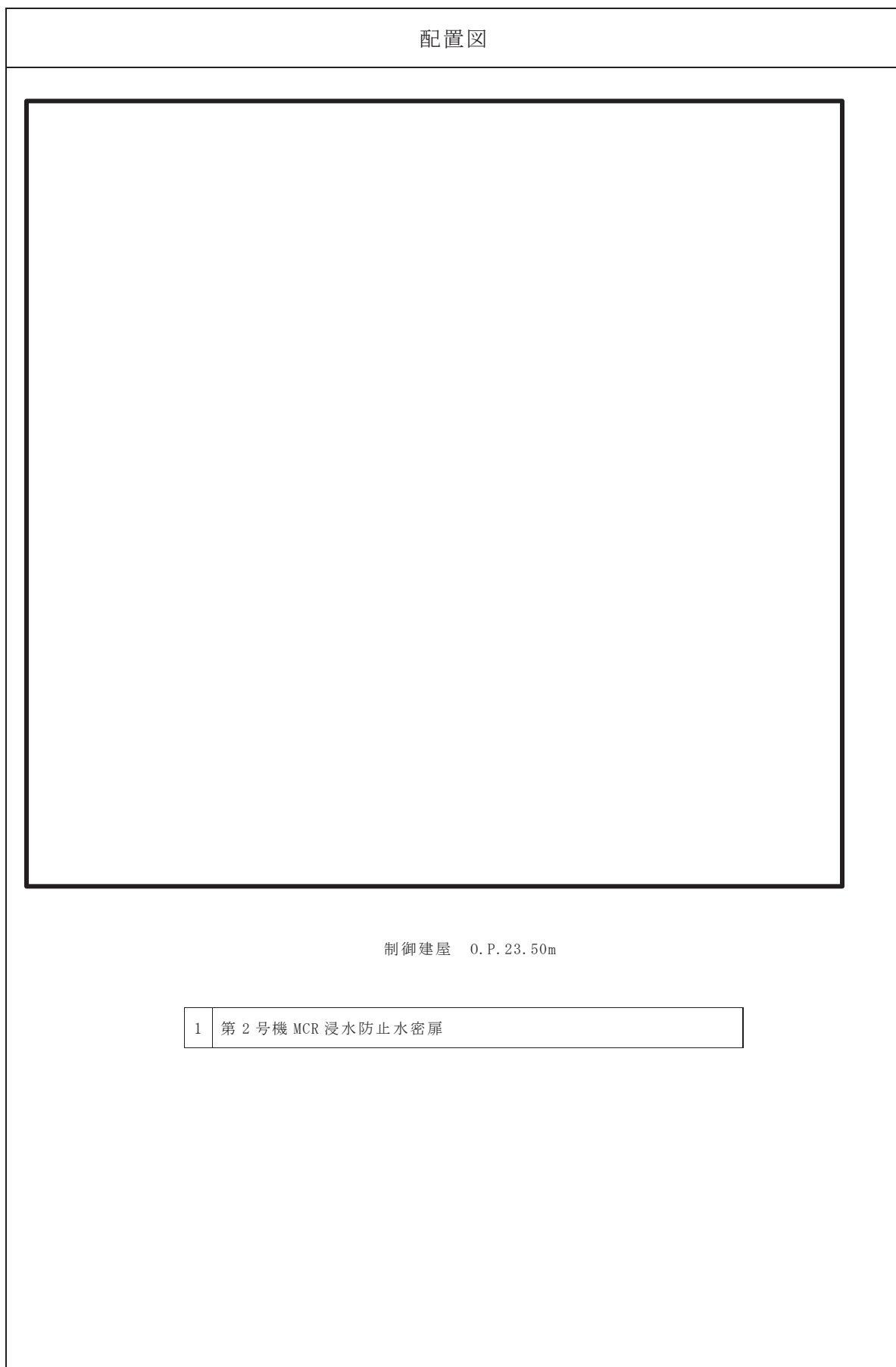
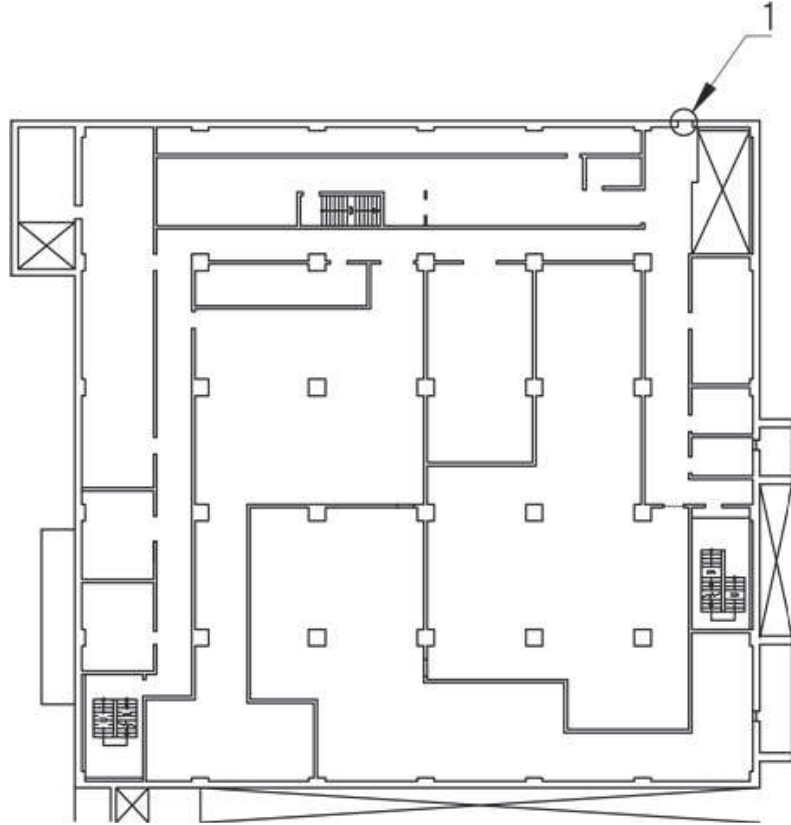


表 3-1 設置位置 (水密扉) (7/13)

配置図



制御建屋 0. P. 19.50m

1	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
---	---------------------

表 3-1 設置位置（水密扉） （8/13）

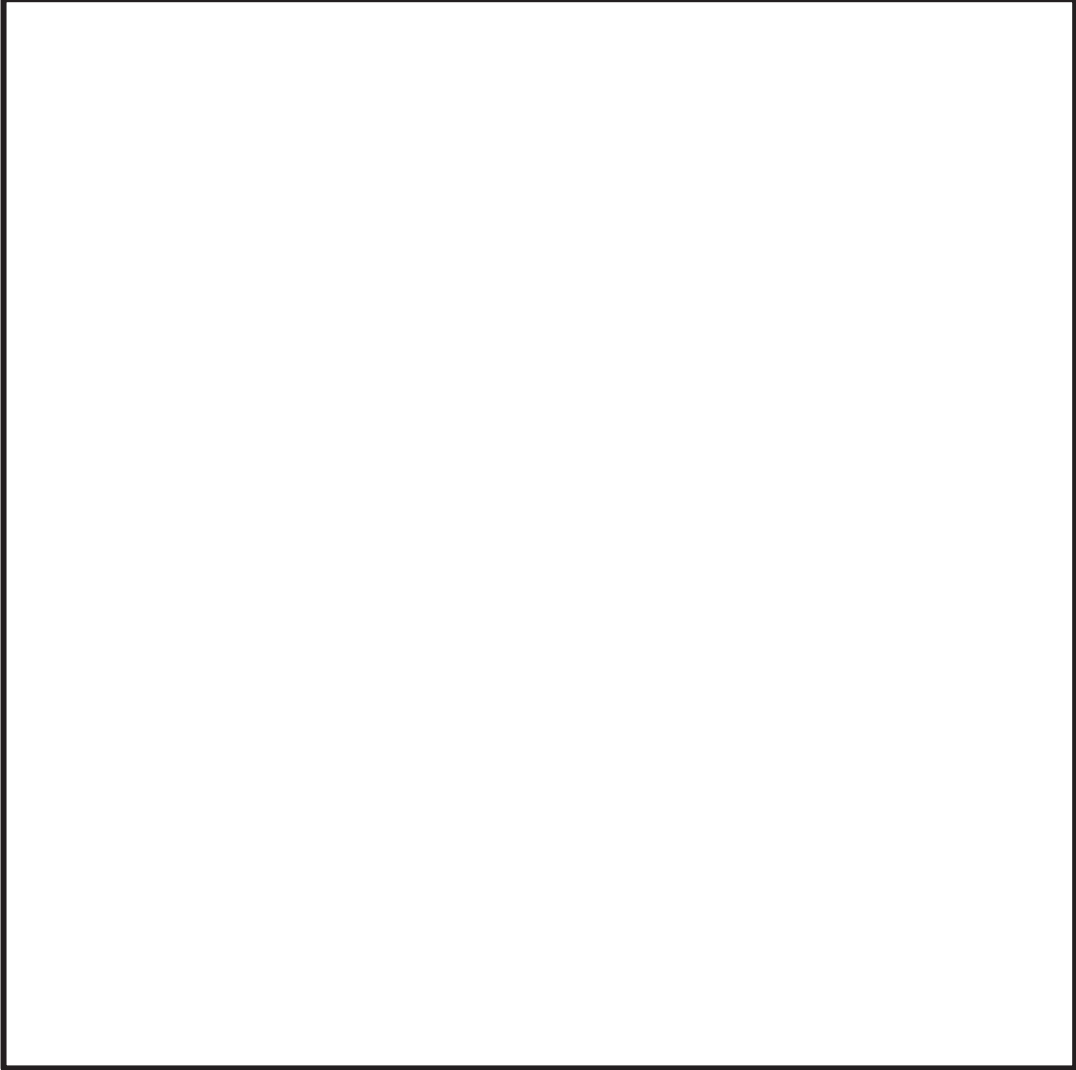
配置図	
	
制御建屋 0.P.15.00m	
1	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)
2	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)
3	補助ボイラー建屋連絡階段管理区域外伝播防止水密扉
4	制御建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)
5	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
6	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)

表 3-1 設置位置（水密扉） （9/13）

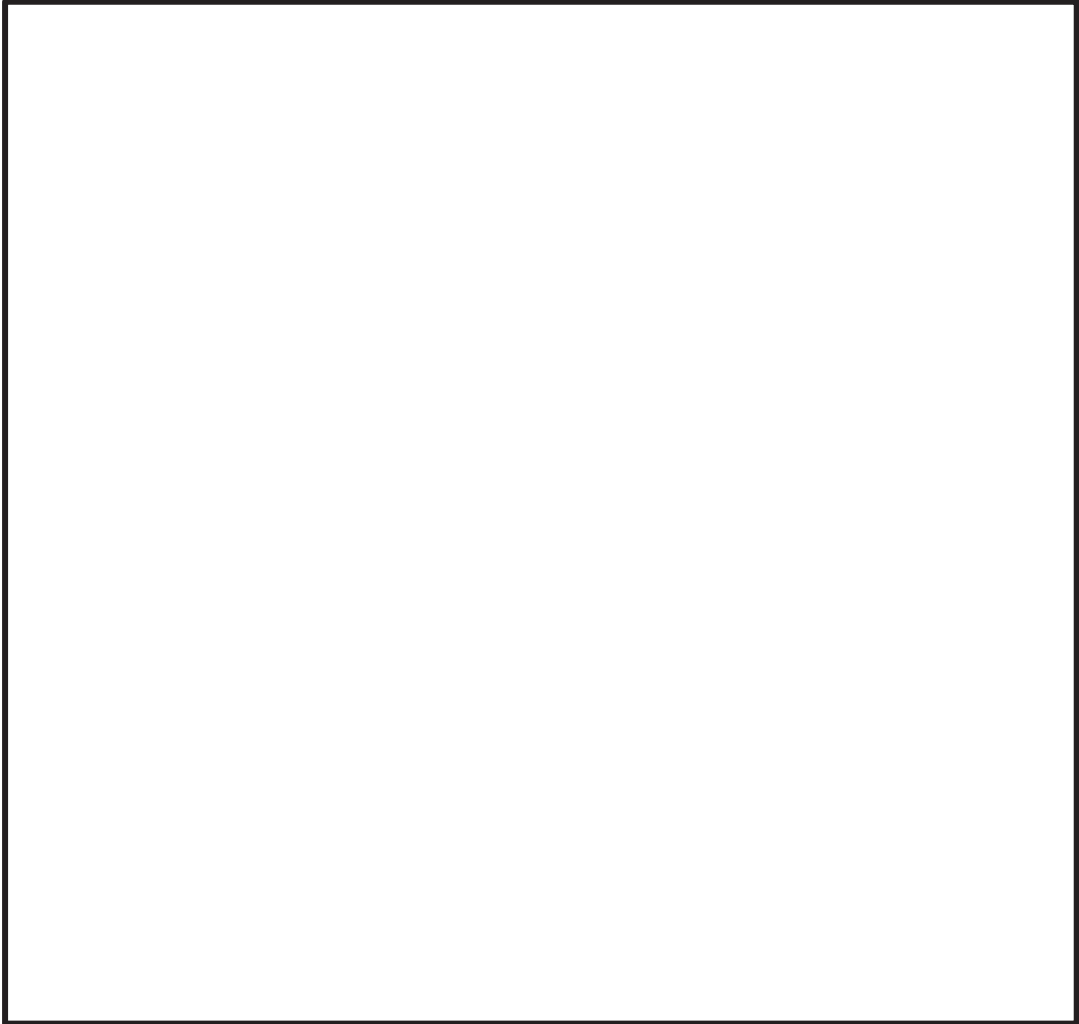
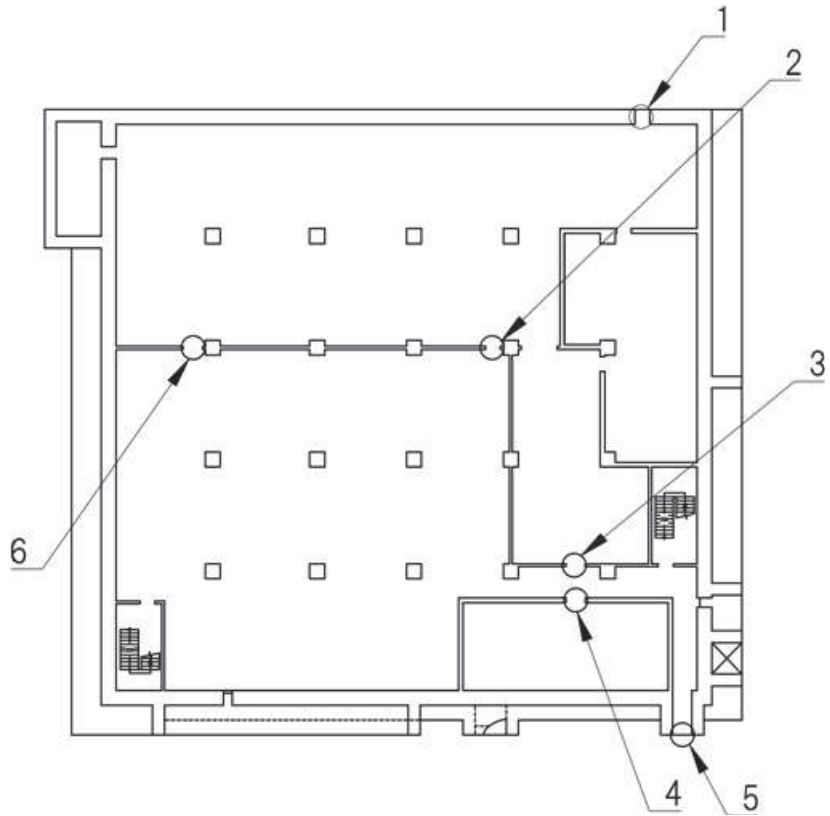
配置図	
	
制御建屋 0.P. 8.00m	
1	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉 (No. 1)
2	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉 (No. 3)
3	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉 (No. 2)
4	RSS 盤室浸水防止水密扉
5	計測制御電源室(A)-常用および共通 M/C・P/C 室浸水防止水密扉

表 3-1 設置位置 (水密扉) (10/13)

配置図

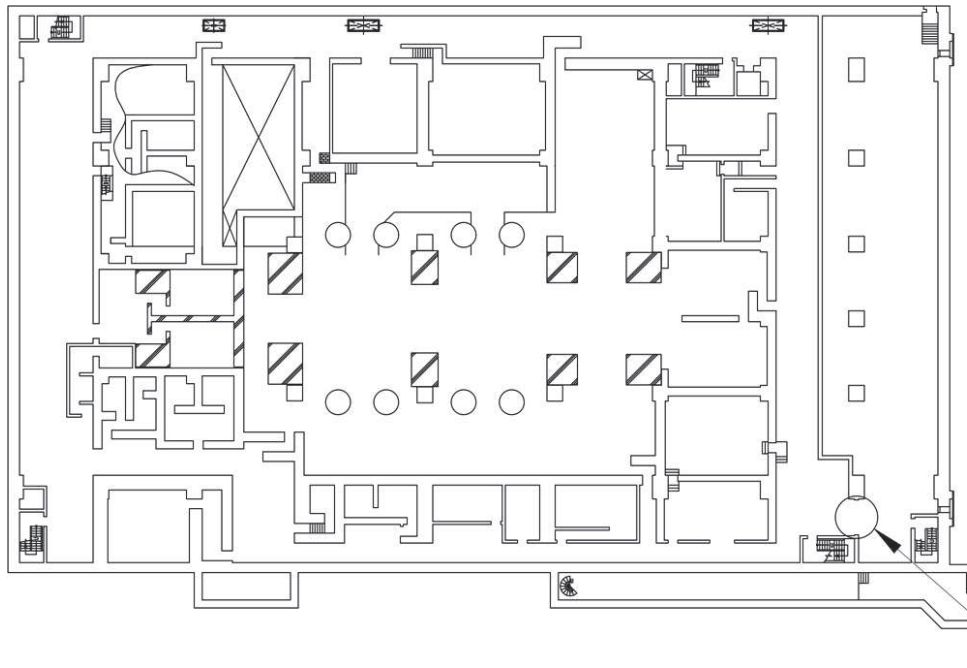


制御建屋 O.P. 1.50m

1	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉
2	制御建屋空調機械 (A) 室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉 (No. 1)
3	250V 直流主母線盤室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉
4	ISI 室浸水防止水密扉
5	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉
6	制御建屋空調機械 (A) 室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉 (No. 2)

表 3-1 設置位置 (水密扉) (11/13)

配置図

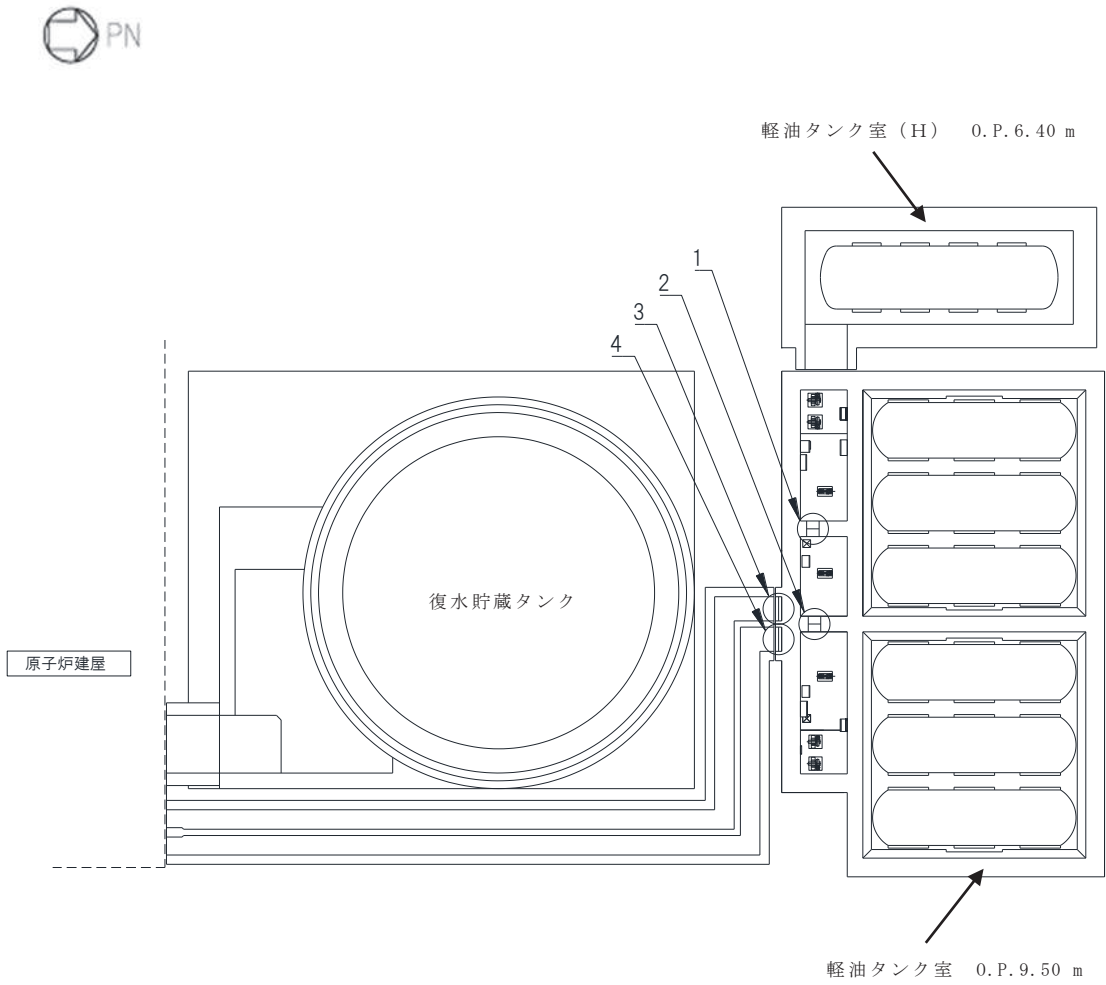


タービン建屋 0.P.0.80m

1	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉
---	--------------------

表 3-1 設置位置 (水密扉) (12/13)

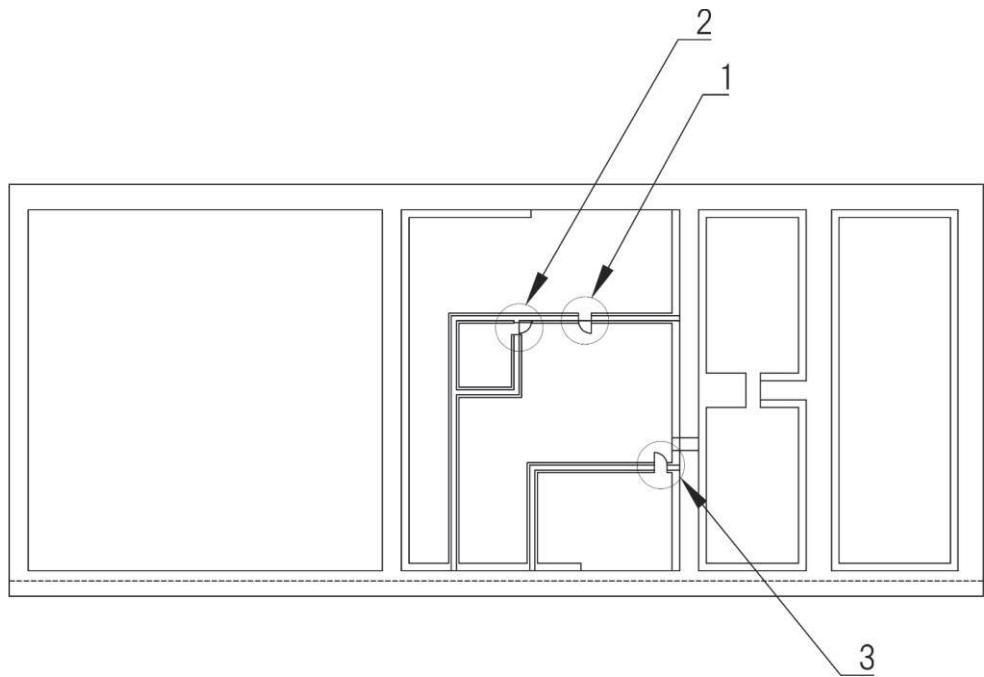
配置図



1	燃料移送ポンプ (H) 室-燃料移送ポンプ (A) 室浸水防止水密扉
2	燃料移送ポンプ (A) 室-燃料移送ポンプ (B) 室浸水防止水密扉
3	燃料移送ポンプ (A) 室浸水防止水密扉
4	燃料移送ポンプ (B) 室浸水防止水密扉

表 3-1 設置位置 (水密扉) (13/13)

配置図



第 2 号機海水ポンプ室 0.P. 3.00m

1	RSW ポンプ (A) (C) 室-TSW ポンプ室浸水防止水密扉
2	HPSW ポンプ室浸水防止水密扉
3	TSW ポンプ室-RSW ポンプ (B) (D) 室浸水防止水密扉

表 3-2 水密扉の構造計画 (1/2)

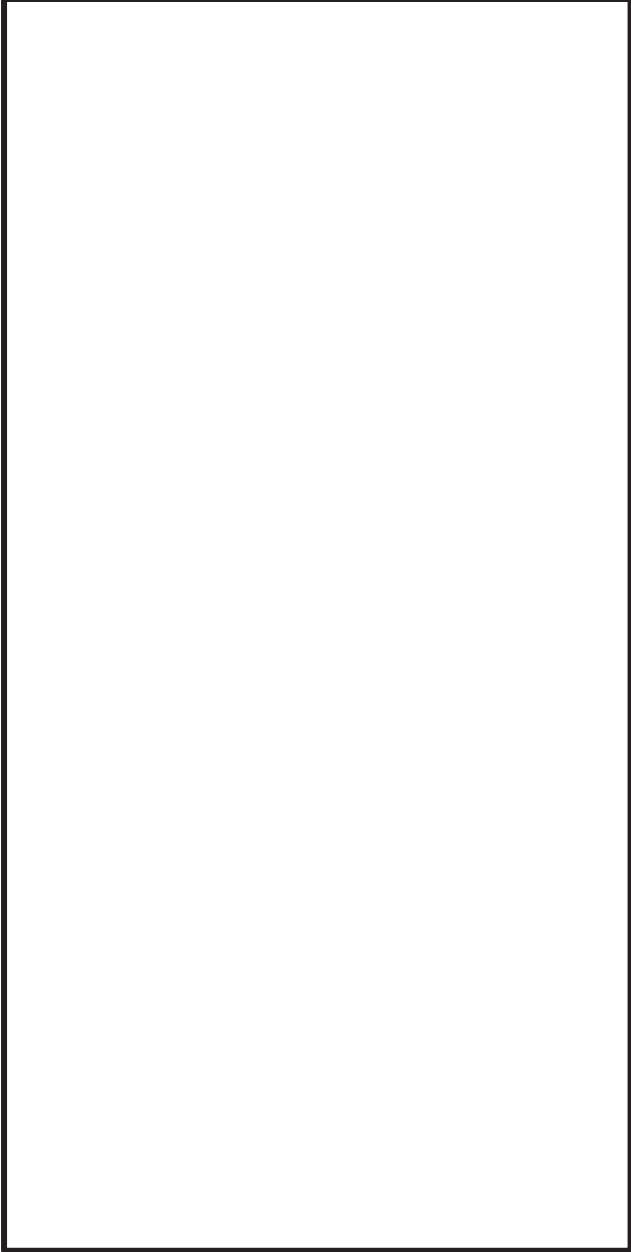
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と建屋躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時には、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	

表 3-2 水密扉の構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取り、扉に設置されたカンヌキを鋼製の取付金具に差し込み、扉と取付金具を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と取付金具の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時には、ヒンジにより扉が取付金具に固定され、扉閉止時には、カンヌキにより扉が取付金具に固定される構造とする。</p> <p>また、取付金具を躯体に定着することで荷重を躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>The diagram illustrates the construction of a water-tight door. The top part is a '正面図' (Front View) showing the door's profile with labels for 'カンヌキ部' (Cannuki part), 'ヒンジ' (Hinge), '芯材' (Core material), '扉板' (Door plate), '取付金具' (Mounting bracket), and '躯体' (Frame). Below it is a '平面図' (Plan View) showing the door's cross-section with labels for '固定リング' (Fixed ring), '躯体' (Frame), '取付金具' (Mounting bracket), 'ヒンジ' (Hinge), '芯材' (Core material), and 'カンヌキ部' (Cannuki part). Arrows indicate '水圧作用方向 (反扉側)' (Water pressure action direction (opposite door side)) and '水圧作用方向 (扉側)' (Water pressure action direction (door side)).</p>

(2) 浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰

a. 構造設計

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰は、止水板、梁材及びアンカーボルトを主体構造とし、既設コンクリートを基礎として、アンカーボルトで固定し支持する構造とする。

また、作用する荷重については、堰に作用し、アンカーボルトを介し、既設コンクリートに伝達する構造とする。

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰の設置位置を表 3-3 に示す。また、浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰の構造計画を表 3-4 に示す。

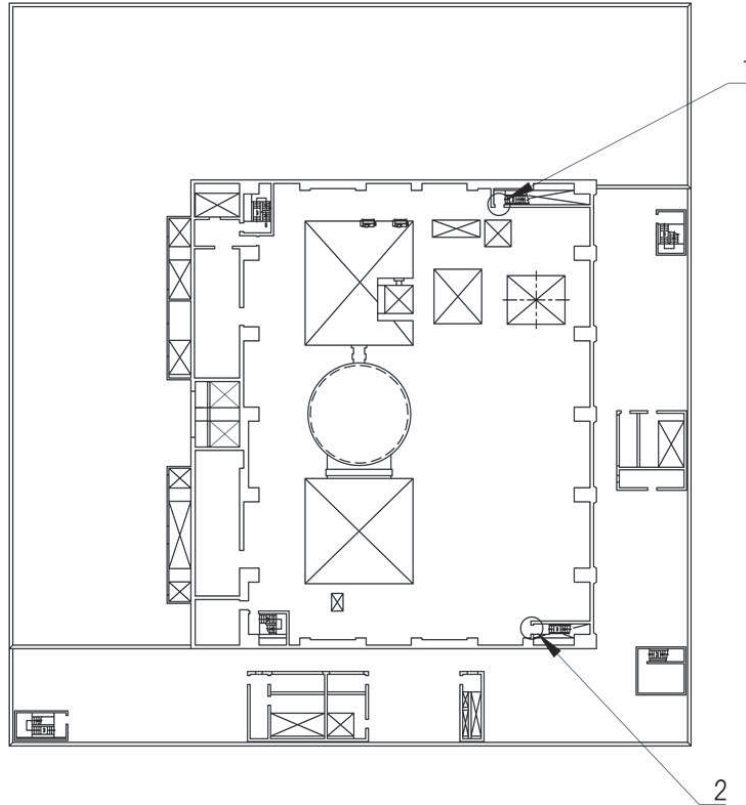
b. 評価方針

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰の評価対象部位に作用する応力が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (1/9)

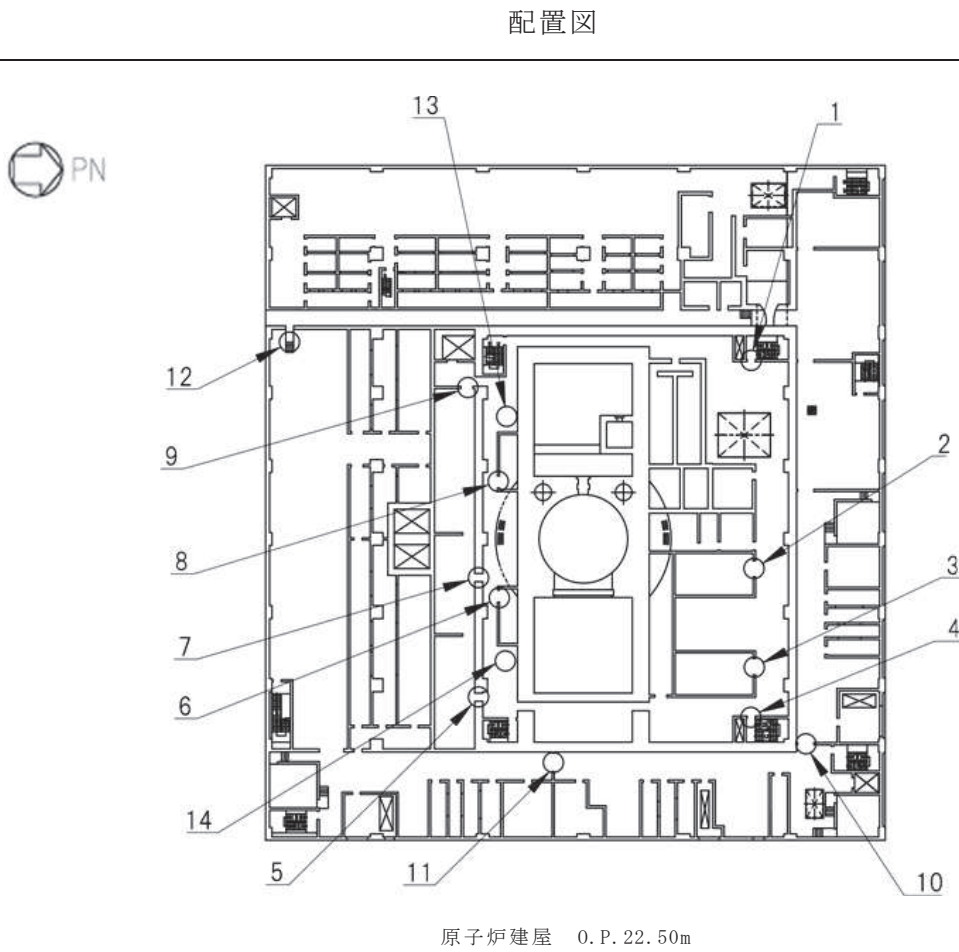
配置図



原子炉建屋 0. P. 33. 20m

1	R-01 階段浸水防止堰(地上 3 階)
2	R-02 階段浸水防止堰(地上 3 階)

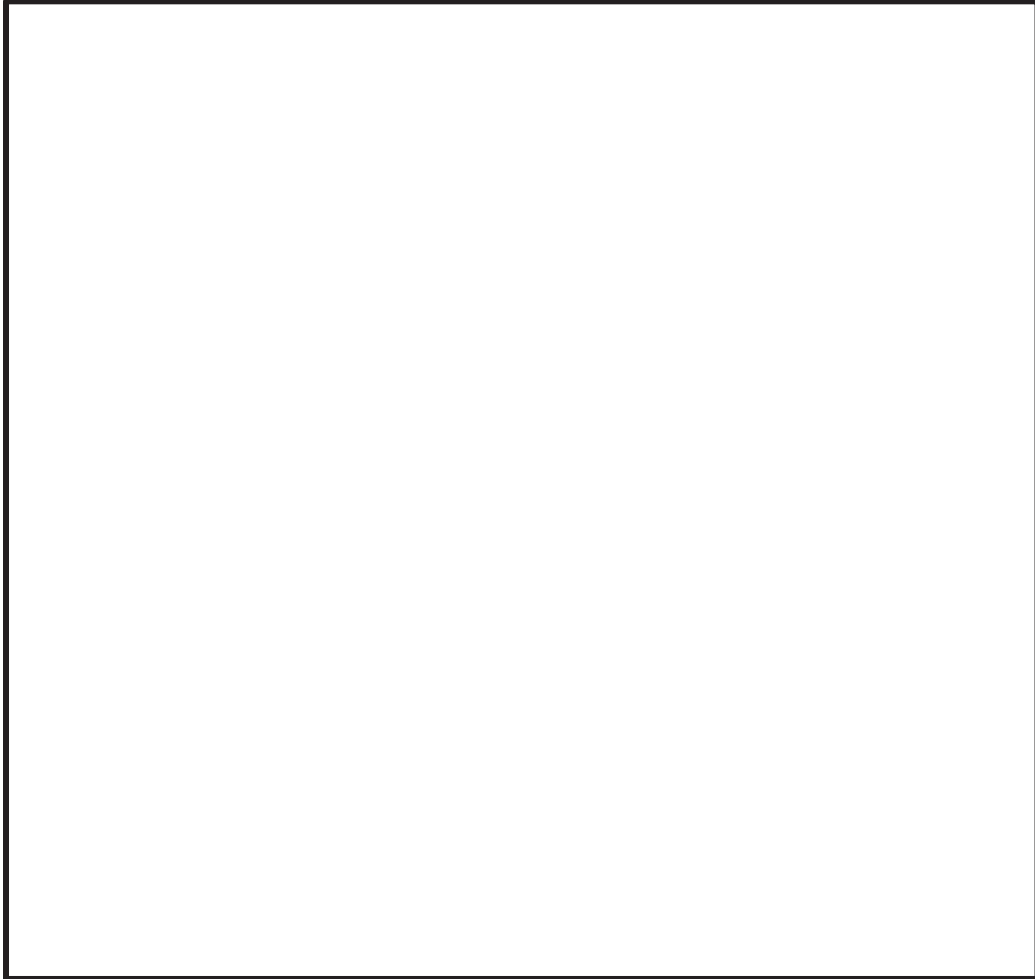
表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (2/9)



1	R-01 階段浸水防止堰(地上 2 階)
2	FCS 再結合装置(A)室浸水防止堰
3	FCS 再結合装置(B)室浸水防止堰
4	R-02 階段浸水防止堰(地上 2 階)
5	SGTS ヒータユニット(B)室浸水防止堰
6	CAMS ラック(B)室浸水防止堰
7	SGTS ヒータユニット(A)室浸水防止堰
8	CAMS ラック(A)室浸水防止堰
9	SGTS フィルタユニット室浸水防止堰
10	原子炉補機(A)室送風機室-原子炉補機(HPCS)室送風機室浸水防止堰
11	原子炉補機(HPCS)室送風機室-原子炉補機(B)室送風機室および送風機エリア浸水防止堰
12	2F 通路浸水防止堰
13	CAMS(A)室空調機浸水防止堰
14	CAMS(B)室空調機浸水防止堰

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (3/9)

配置図

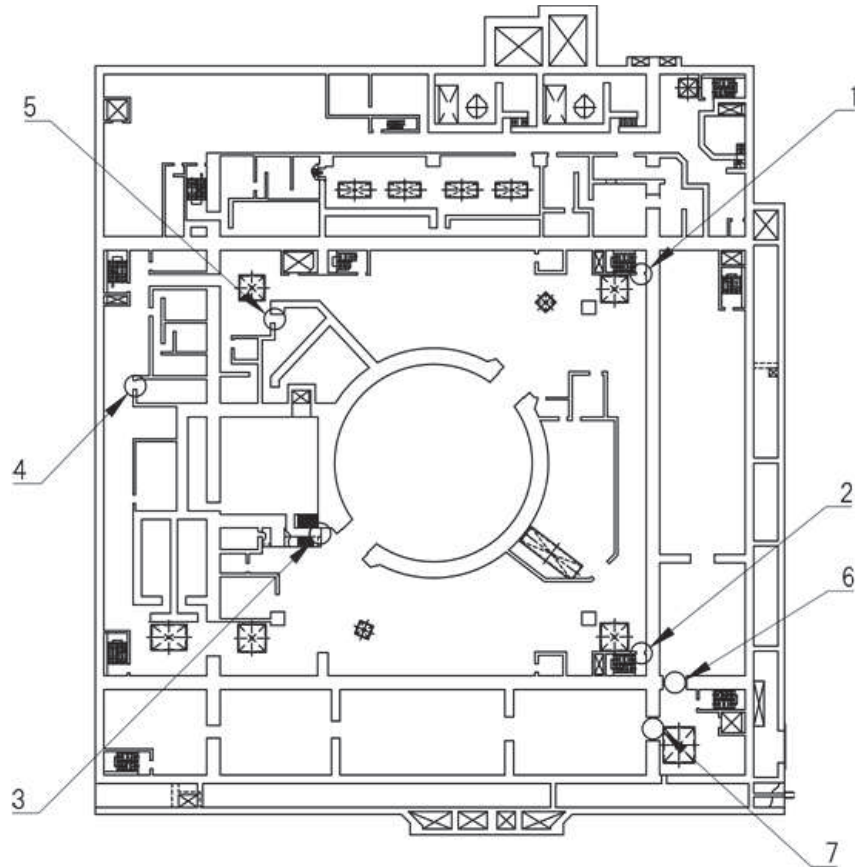


原子炉建屋 0.P. 15.00m

1	R-01 階段浸水防止堰(地上 1 階)
2	R-02 階段浸水防止堰(地上 1 階)
3	バルブ(B)室浸水防止堰
4	バルブ(A)室浸水防止堰
5	FPC ポンプ室浸水防止堰
6	区分 I・III 非常用 D/G 制御盤室浸水防止堰

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (4/9)

配置図

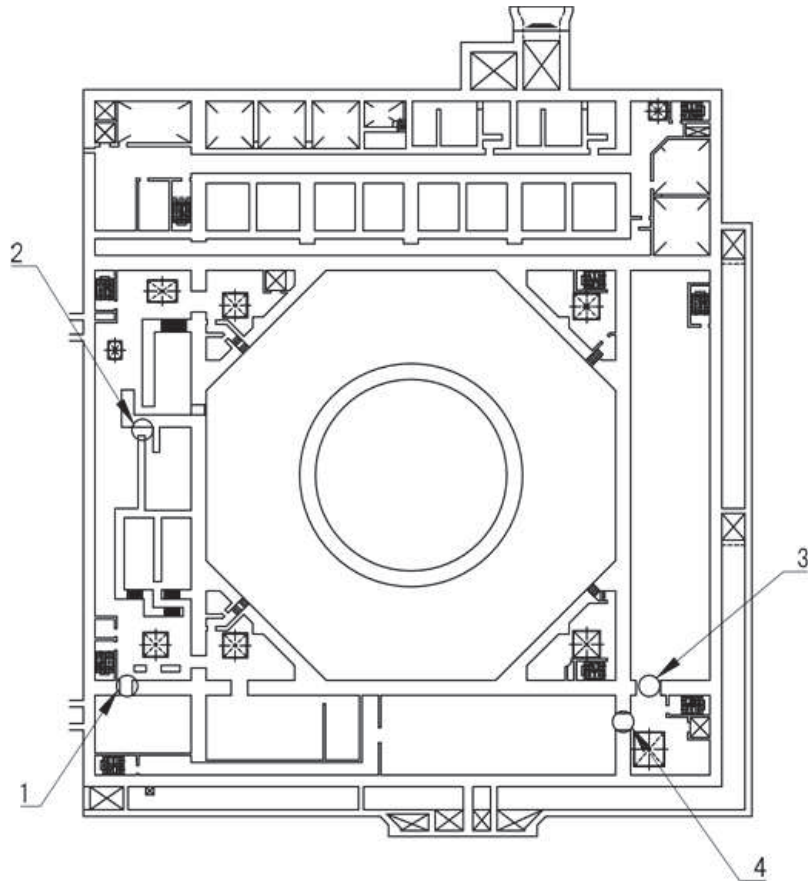


原子炉建屋 0. P. 6. 00m

1	R-01 階段浸水防止堰(地下1階)
2	R-02 階段浸水防止堰(地下1階)
3	MS トンネル室浸水防止堰
4	RCIC MCC 室浸水防止堰
5	TIP 駆動装置室浸水防止堰
6	D/G 補機(A)室浸水防止堰
7	区分ⅢHPCS 電気品室浸水防止堰

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (5/9)

配置図

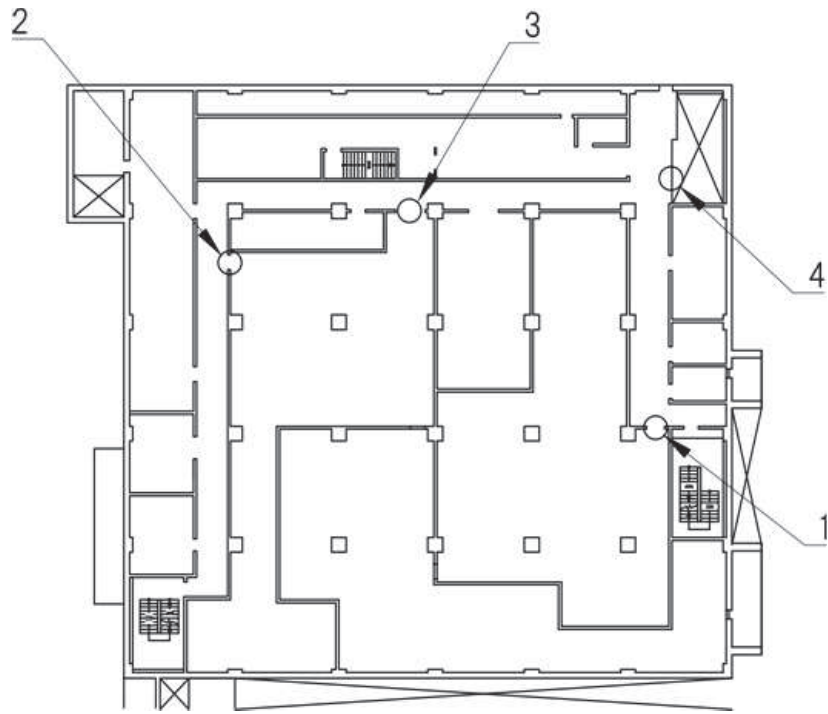


原子炉建屋 O.P. -0.80m

1	復水補給水ポンプ室浸水防止堰
2	CUW 配管・バルブ室浸水防止堰
3	静止型 PLR ポンプ電源装置室浸水防止堰
4	IA・SA 室および通路浸水防止堰

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (6/9)

配置図

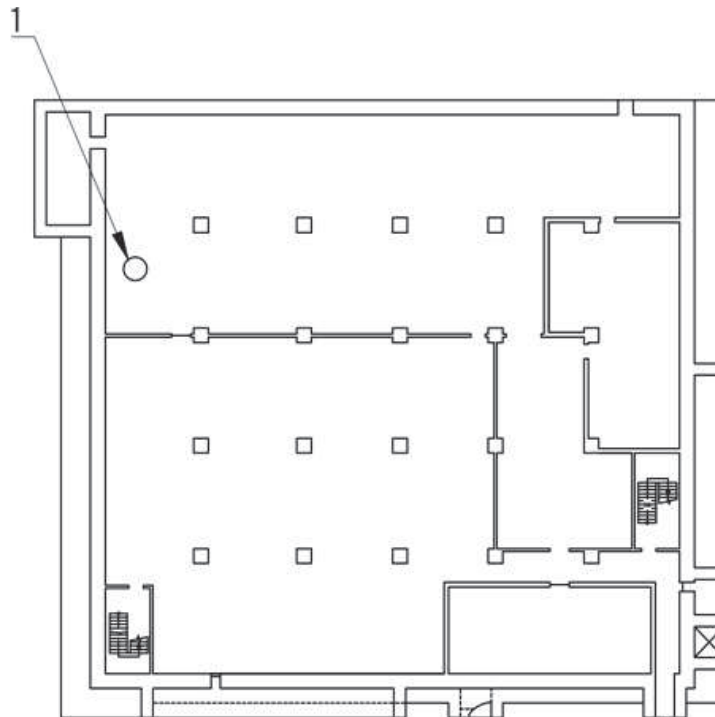


制御建屋 O.P. 19.50m

1	区分 I ケーブル処理室浸水防止堰
2	常用系ケーブル処理室浸水防止堰 (No. 2)
3	常用系ケーブル処理室浸水防止堰 (No. 1)
4	ハッチ上部スペース浸水防止堰

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (7/9)

配置図

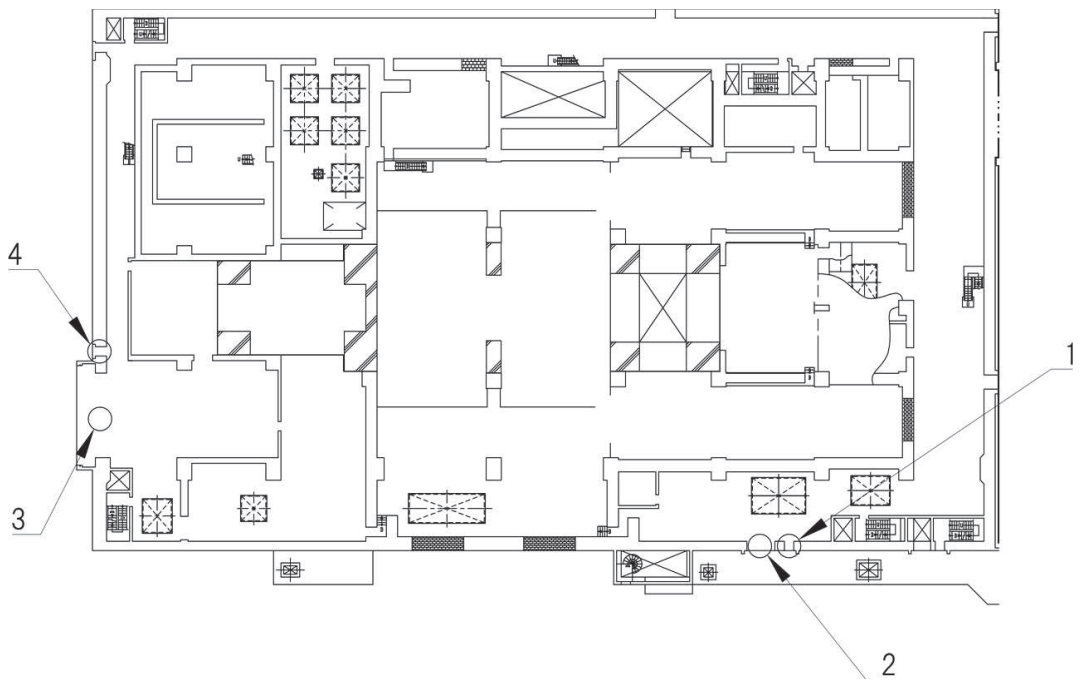


制御建屋 0.P. 1. 50m

1	中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰
---	---------------------

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰）（8/9）

配置図

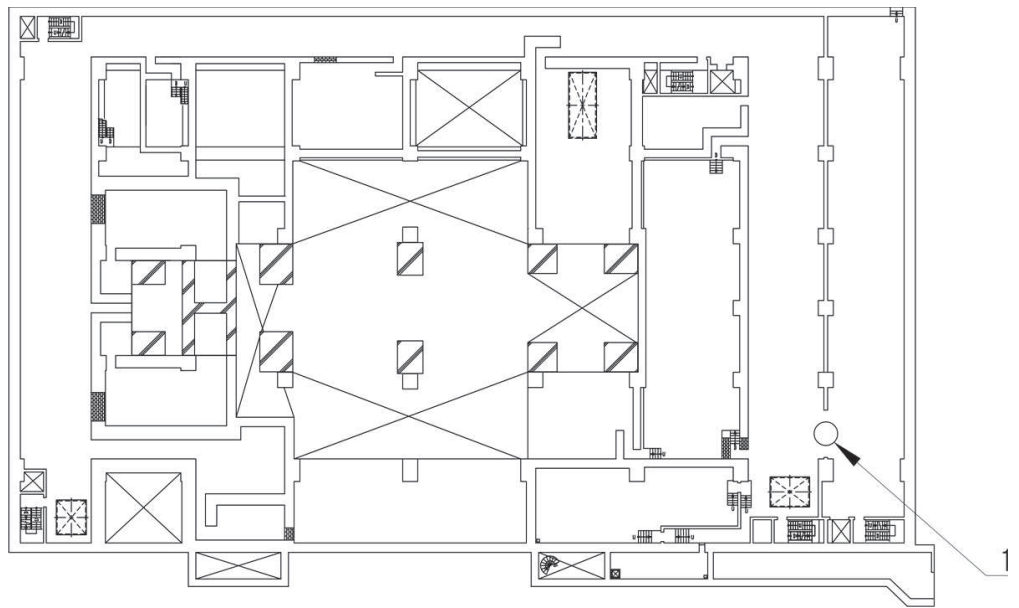


タービン建屋 0. P. 15.00m

1	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 3)
2	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 4)
3	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 2)
4	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 1)

表 3-3 設置位置（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰） (9/9)

配置図



タービン建屋 0. P. 7. 60m

1	HNCW 冷凍機・ポンプ室管理区域外伝播防止堰
---	-------------------------

表 3-4 構造計画（浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
止水板, 梁材及びアンカーボルトから構成され, 溢水経路となる開口部の形状によっては, 柱材, 斜材, 接合ボルト及びベースプレートを用いて構成する。	鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	<p>正面図</p> <p>側面図</p>

(3) 逆流防止装置

a. 構造設計

逆流防止装置は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

逆流防止装置は、弁本体、フロートガイド及びフロートを主体構造とし、荷重が作用した場合でも逆流防止装置が動かないように床面設置のドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定し、支持する構造とする。また、作用する荷重は、逆流防止装置に作用し、ねじ込みで固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

逆流防止装置の設置位置を表3-5に示す。また、構造計画を表3-6に示す。

b. 評価方針

逆流防止装置は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

逆流防止装置は、発生を想定する溢水による静水圧に対して、逆流防止装置の評価対象部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3-5 設置位置（逆流防止装置）

建屋名称	設置階	
原子炉建屋	地下3階	O.P. -8.1 (m)
制御建屋	地下2階	O.P. 1.5 (m)

表 3-6 構造計画（逆流防止装置）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	

(4) 貫通部止水処置

a. 構造設計

貫通部止水処置は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

貫通部止水処置は、建屋内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材、ブーツ及びモルタルにより止水する構造とする。

また、作用する荷重については、受圧面へ全面的に作用した場合に、止水処置部全体へ伝達する構造とする。

貫通部止水処置の設置位置を表3-7に示す。また、構造計画を表3-8に示す。

なお、貫通部止水処置の選定については、図3-1に示す貫通部止水処置の選定フローによる。

b. 評価方針

貫通部止水処置は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

貫通部止水処置は、発生を想定する溢水による静水圧に対して、貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材及びブーツが、有意な漏えいを生じないことを、発生を想定する溢水による静水圧が止水試験で確認した圧力以下であることにより確認する。また、モルタルによる止水処置については、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（1/17）

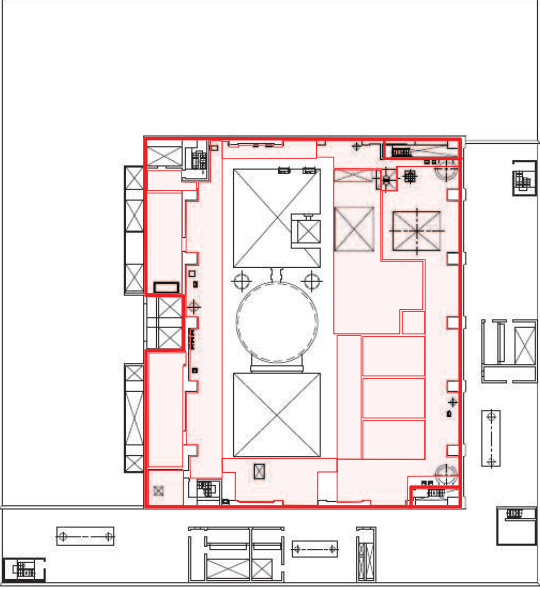
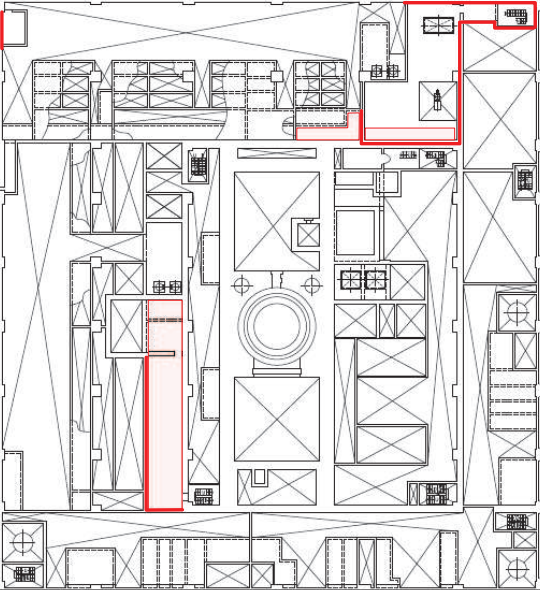
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 3F O. P. 33. 20m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>原子炉建屋 M3F O. P. 26. 30～31. 70m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 ■ : 施工対象の床面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（2/17）

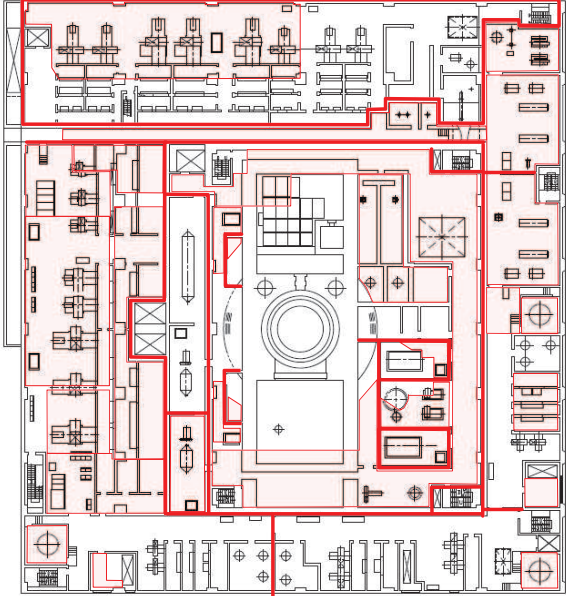
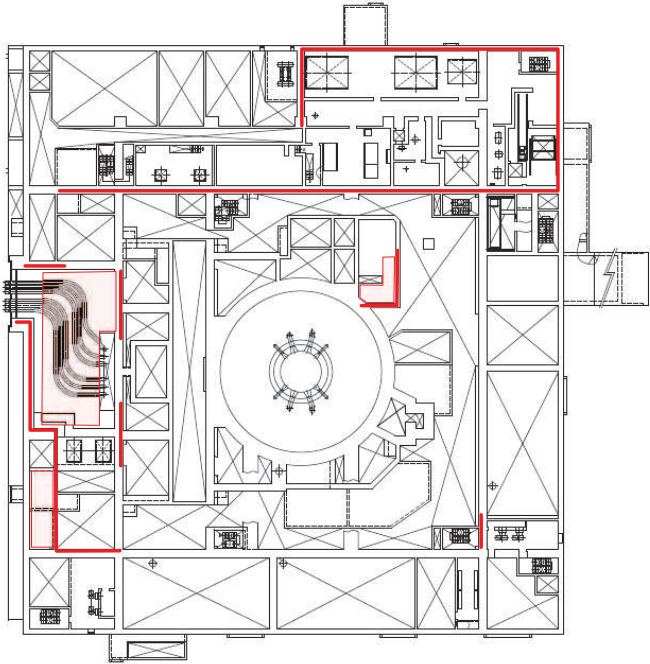
設備名称	配置図
貫通部止水処置	
	<p>原子炉建屋 2F O. P. 22.50m</p>
	
	<p>原子炉建屋 M2F O. P. 17.60~23.10m</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（3/17）

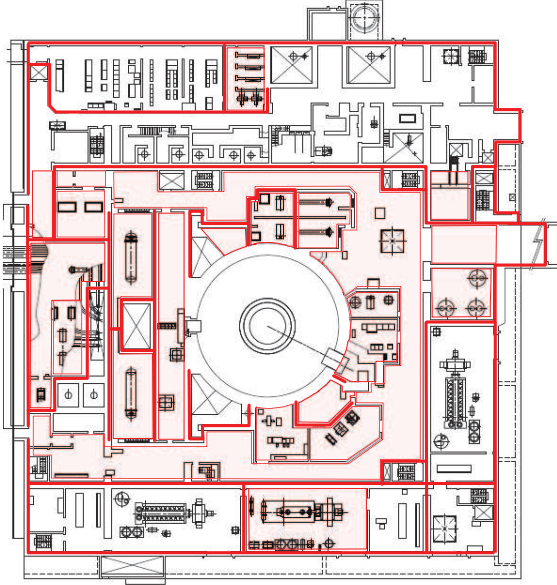
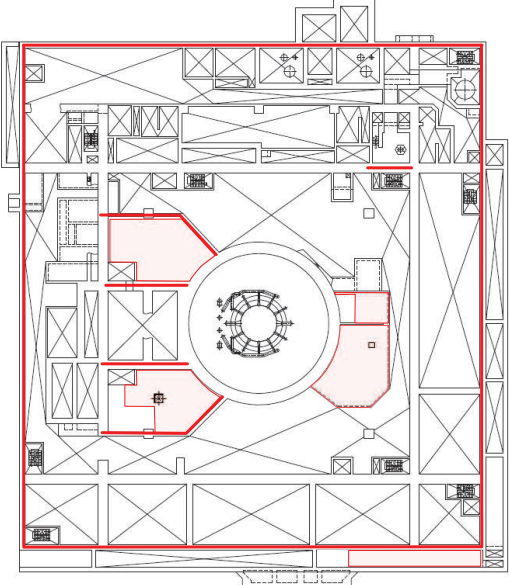
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 1F O. P. 15.00m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>原子炉建屋 MB1F O. P. 8.60～13.60m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 ■ : 施工対象の床面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（4/17）

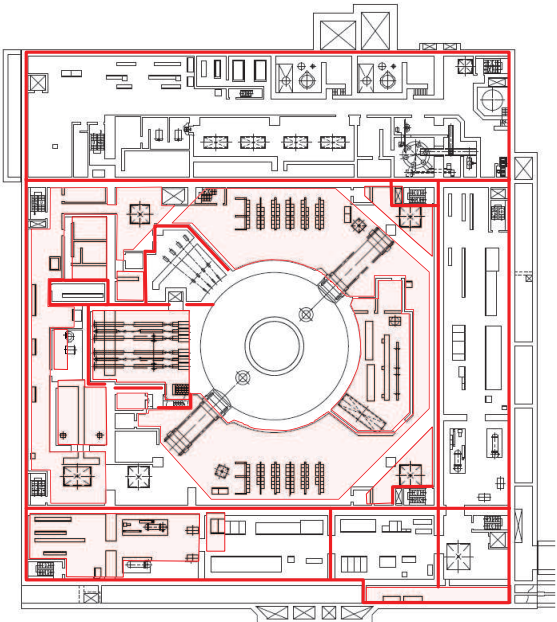
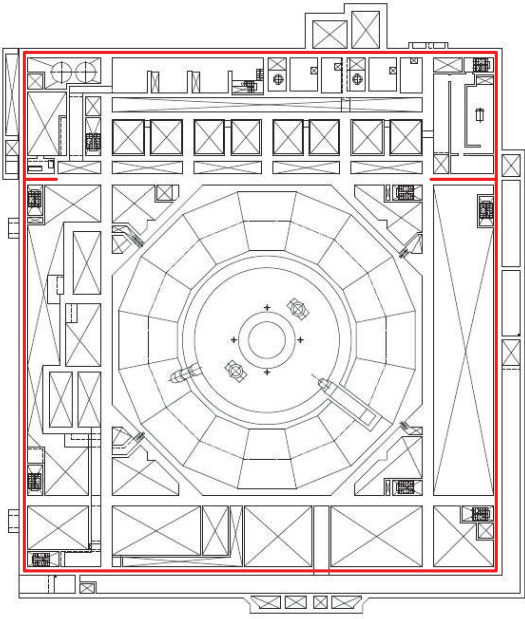
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 B1F O.P. 6.00m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>原子炉建屋 MB2F O.P. 1.80～8.84m</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 ■ : 施工対象の床面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（5/17）

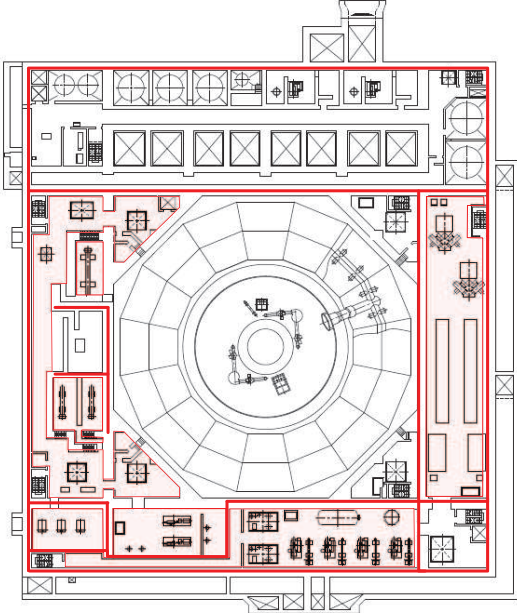
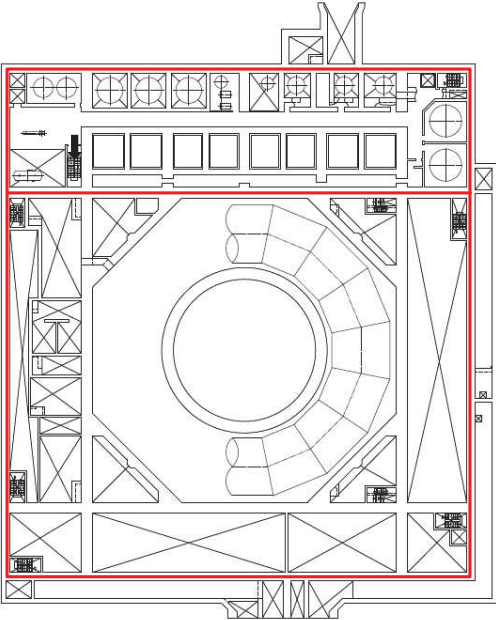
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 B2F O. P. -0.80m</p>  <p>原子炉建屋 MB3F O. P. -5.50~-0.50m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>【凡例】</p> <p> : 施工対象の壁面 : 施工対象の床面 </p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（6/17）

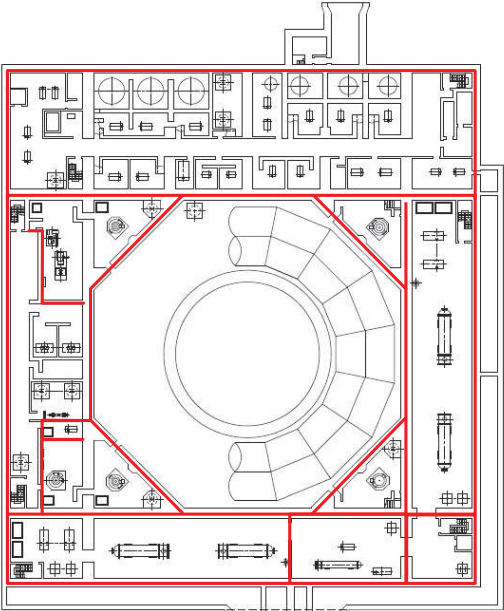
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 B3F O. P. -8.10m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>【凡例】</p> <p> — : 施工対象の壁面 : 施工対象の床面 </p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（7/17）

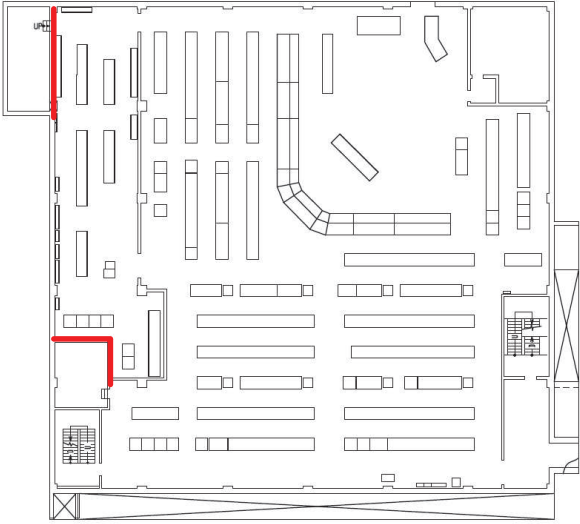
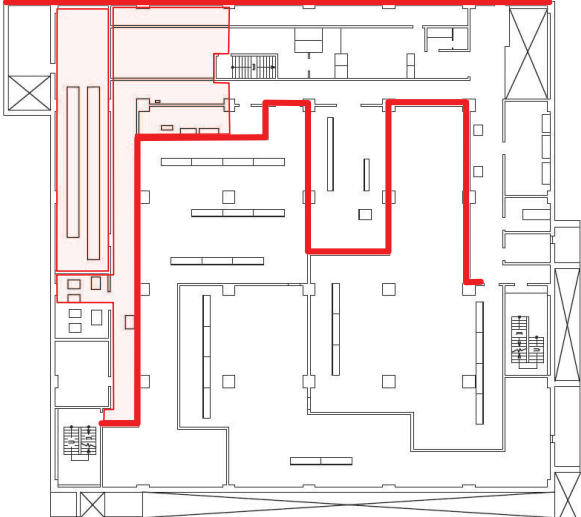
設備名称	配置図
貫通部止水処置	
	<p>制御建屋 3F O. P. 23.50m</p>
貫通部止水処置	
	<p>制御建屋 2F O. P. 19.50m</p>
<p>【凡例】 — : 施工対象の壁面 : 施工対象の床面</p>	

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（8/17）

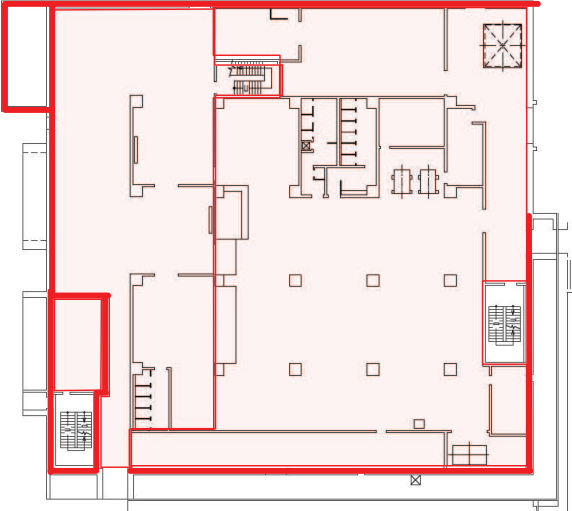
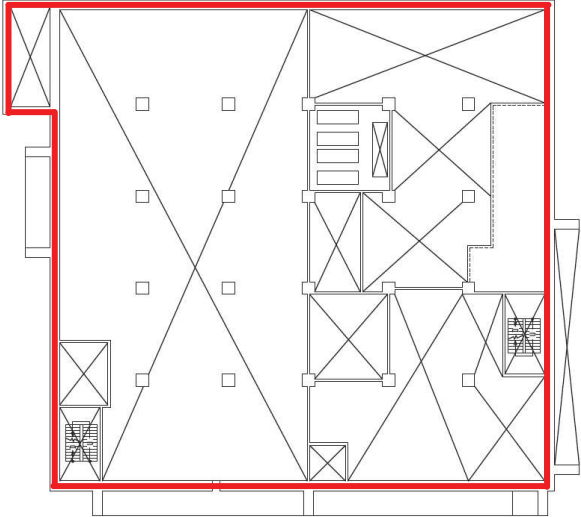
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>制御建屋 1F O.P. 15.00m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>制御建屋 MB1F O.P. 10.40～11.60m</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p> — : 施工対象の壁面 : 施工対象の床面 </p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（9/17）

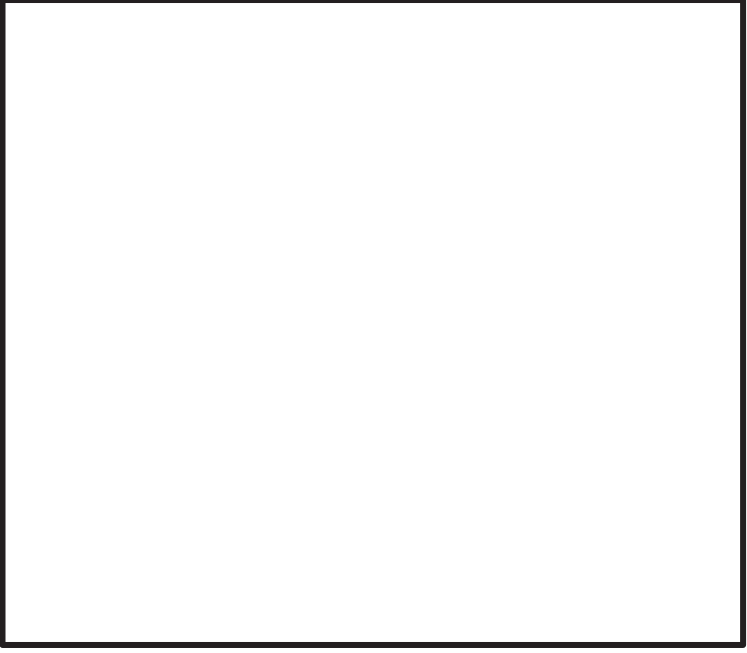
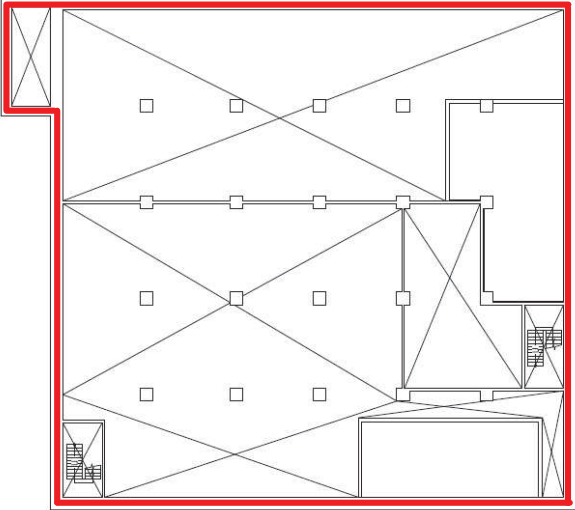
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>制御建屋 B1F O.P. 8.00m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>制御建屋 MB2F O.P. 4.40～4.70m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p> : 施工対象の壁面 : 施工対象の床面 </p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（10/17）

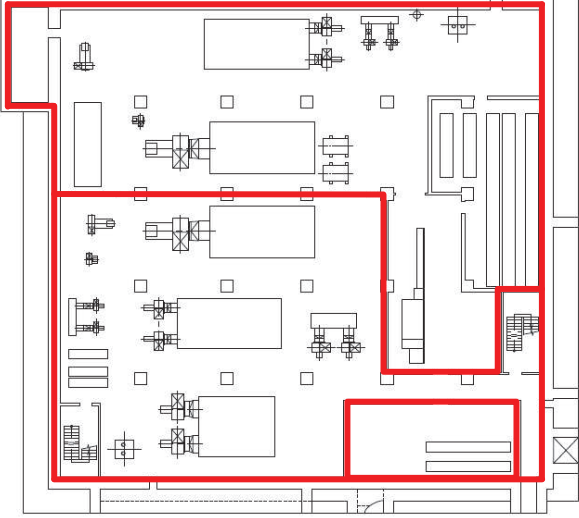
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">制御建屋 B2F 0. P. 1. 50m</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 □ : 施工対象の床面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（11/17）


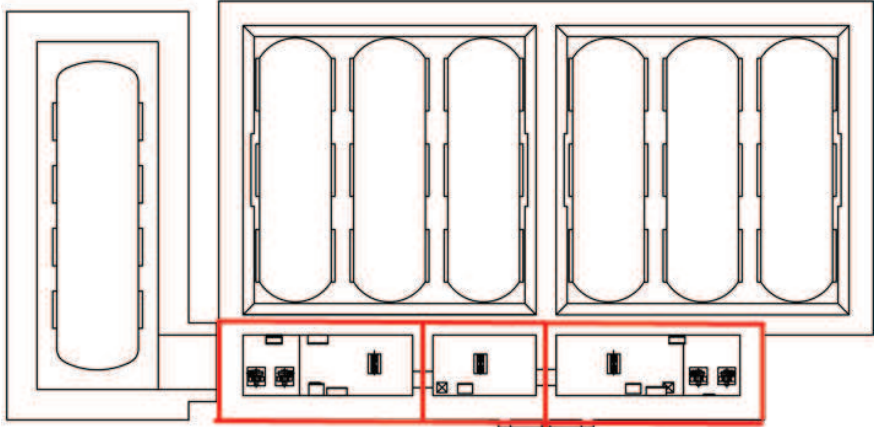
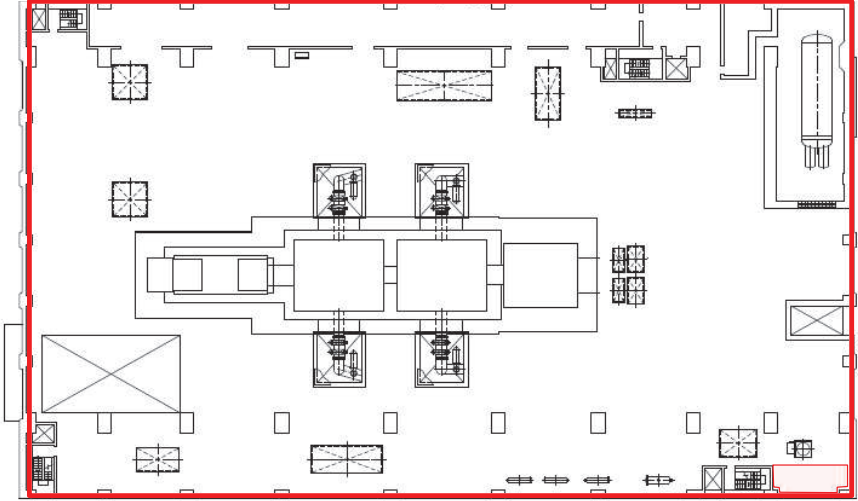
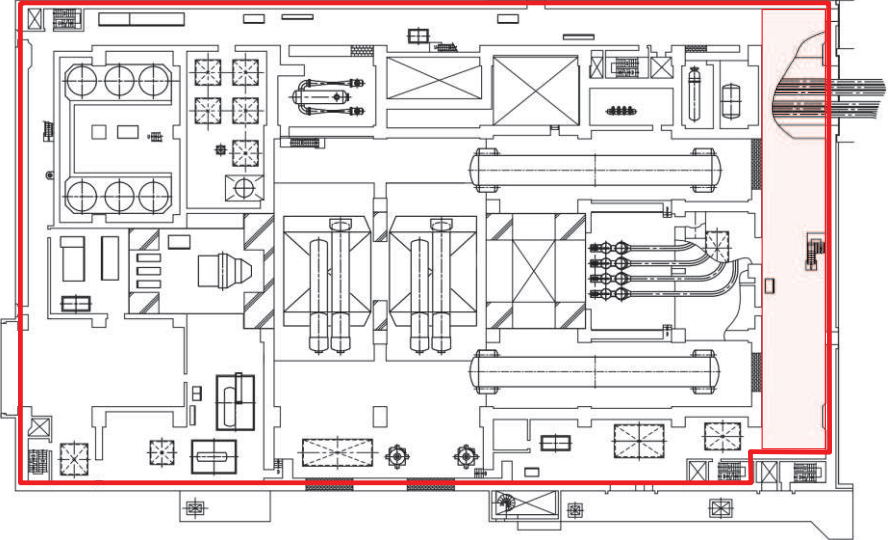
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center; margin-bottom: 20px;">  <p>海水ポンプ室 O.P. 3.00m</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>軽油タンクエリア O.P. 9.50m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 ■ : 施工対象の床面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（12/17）

設備名称	配置図
貫通部止水処置	 <p style="text-align: center;">タービン建屋 2F O.P. 24.80m</p>
	 <p style="text-align: center;">タービン建屋 1F O.P. 15.00m</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 ■ : 施工対象の床面</p> </div>

O 2 ⑥ VI-3-別添3-3 R 3

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（13/17）

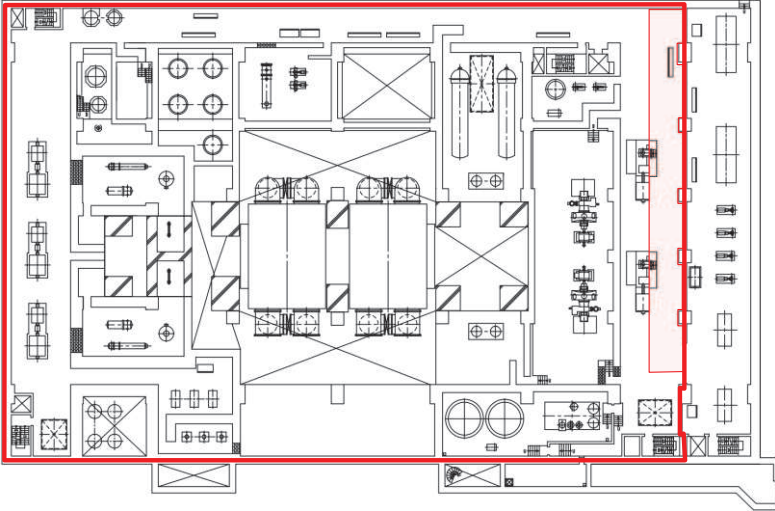
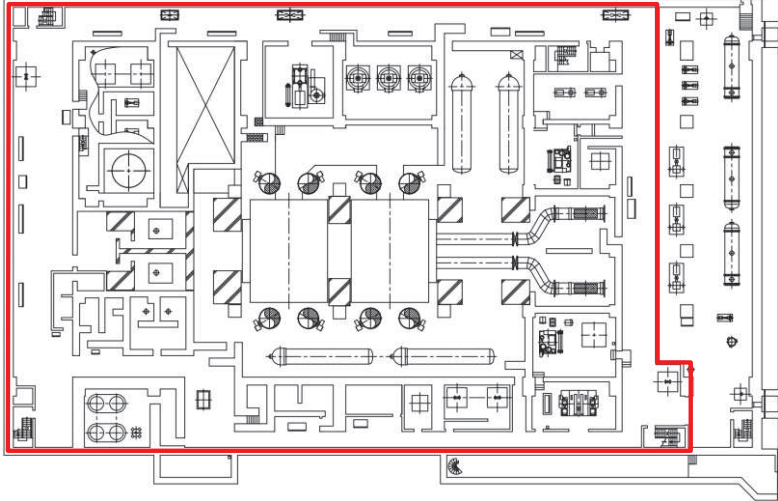
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>タービン建屋 B1F O.P. 7.60m</p>  <p>タービン建屋 B2F O.P. 0.80m</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 ■ : 施工対象の床面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（14/17）

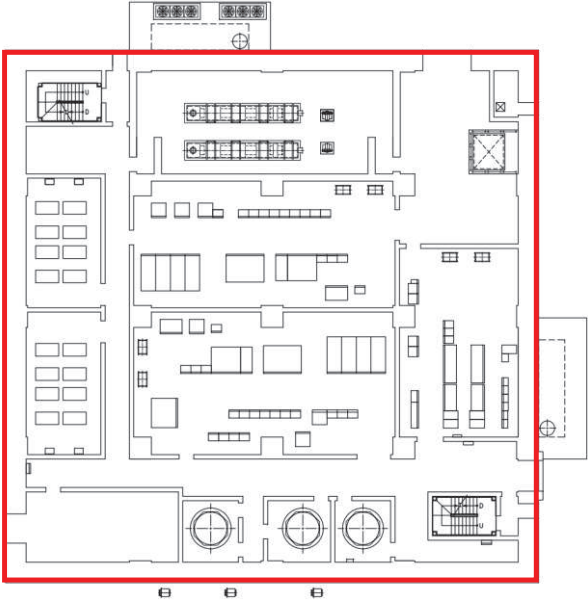
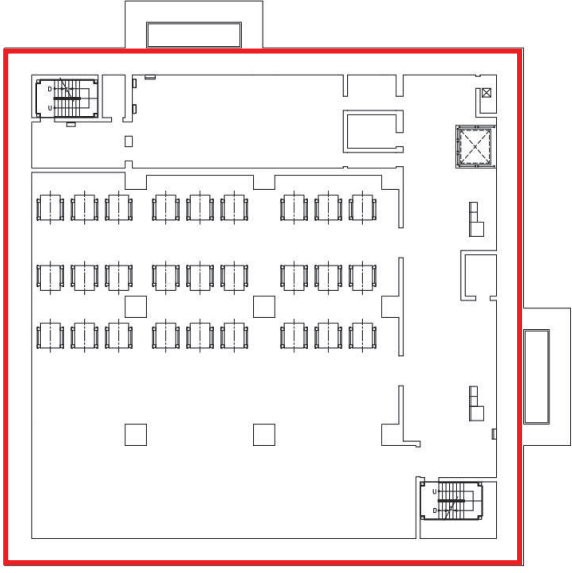
設備名称	配置図
貫 通 部 止 水 処 置	<div style="text-align: center;">  <p>緊急時対策建屋 1F O.P. 62.20m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>緊急時対策建屋 B1F O.P. 57.30m</p> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 □ : 施工対象の床面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（15/17）

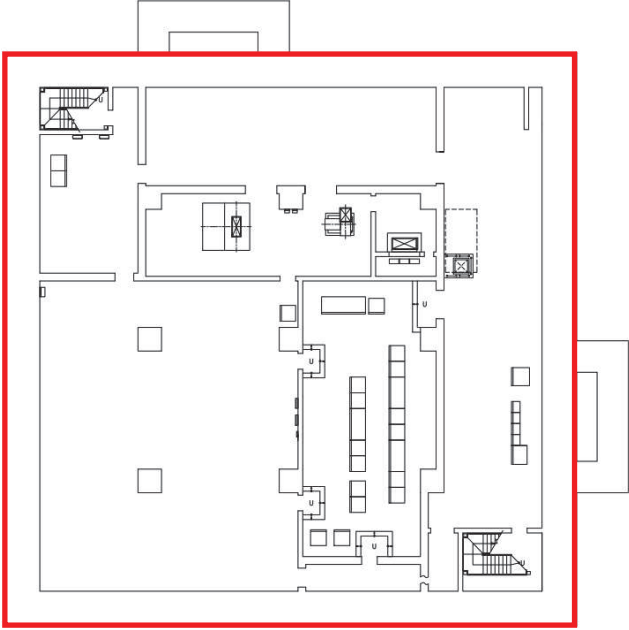
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>緊急時対策建屋 B2F O.P. 51.50m</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>【凡例】</p> <p>— : 施工対象の壁面 □ : 施工対象の床面</p> </div> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（16/17）

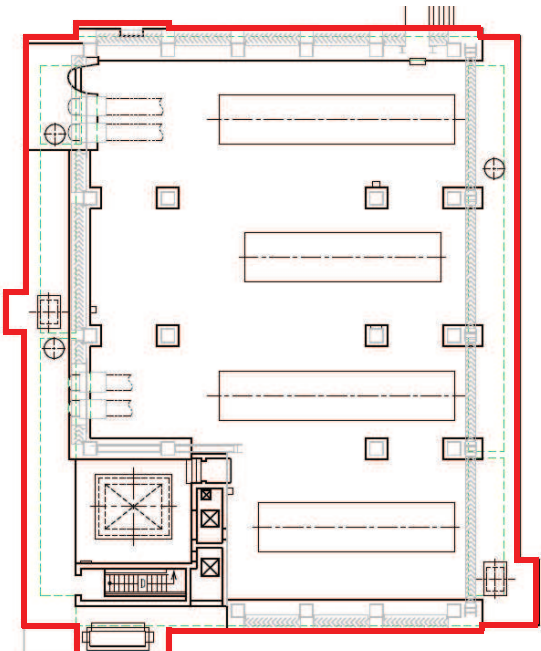
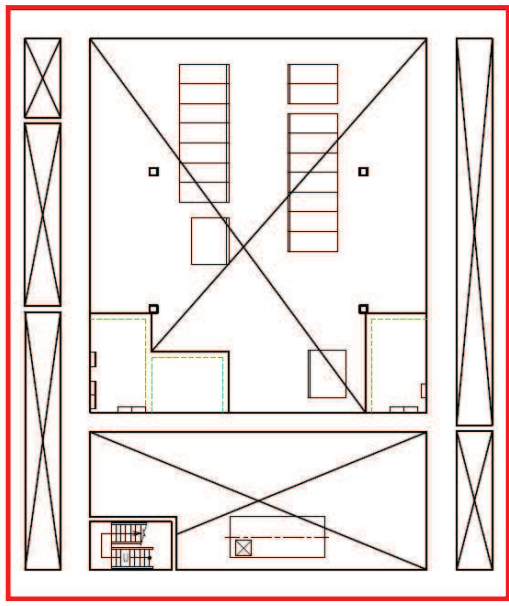
設備名称	配置図
貫通部止水処置	 <p>緊急用電気品建屋 1F O. P. 62.90m</p>
	 <p>緊急用電気品建屋 MB1F O. P. 59.00m</p> <p>【凡例】 — : 施工対象の壁面 : 施工対象の床面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（17/17）

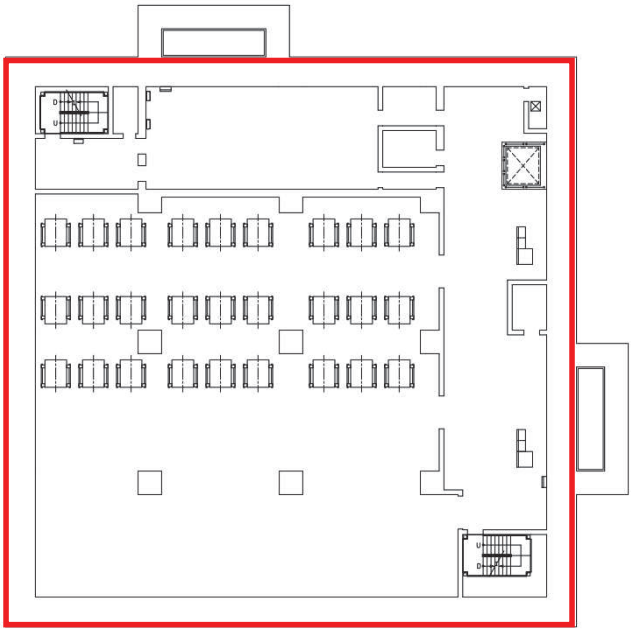
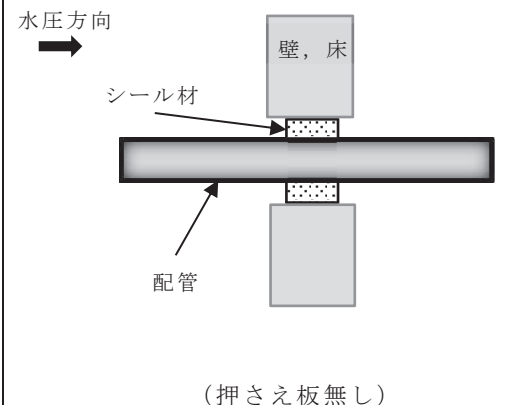
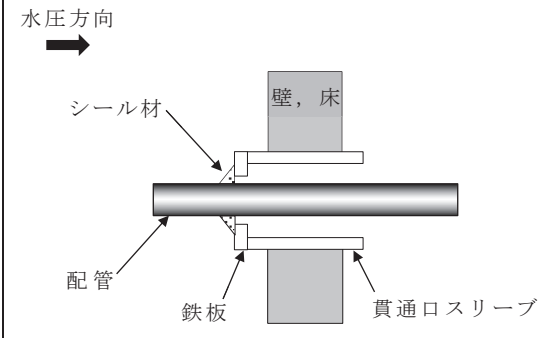
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>緊急用電気品建屋 B1F O. P. 56.40m</p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>【凡例】</p> <p> : 施工対象の壁面 : 施工対象の床面 </p> </div>

表 3-8 構造計画（貫通部止水処置）（1/2）

設備名称	計画の概要		概略構造図*
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムのブーツを用い、壁面又は床面の貫通ロスリーブと配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプの シール材にて 構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。また、押さえ板は、水圧作用時のシール材の変位を抑える。	<p>(押さえ板有り)</p>

表 3-8 構造計画（貫通部止水処置）（2/2）

設備名称	計画の概要		概略構造図*
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	<p>充填タイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	 <p>（押さえ板無し）</p>
	<p>コーキングタイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部と貫通物の隙間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	

注記*：水圧方向は、主たる作用方向を示す。

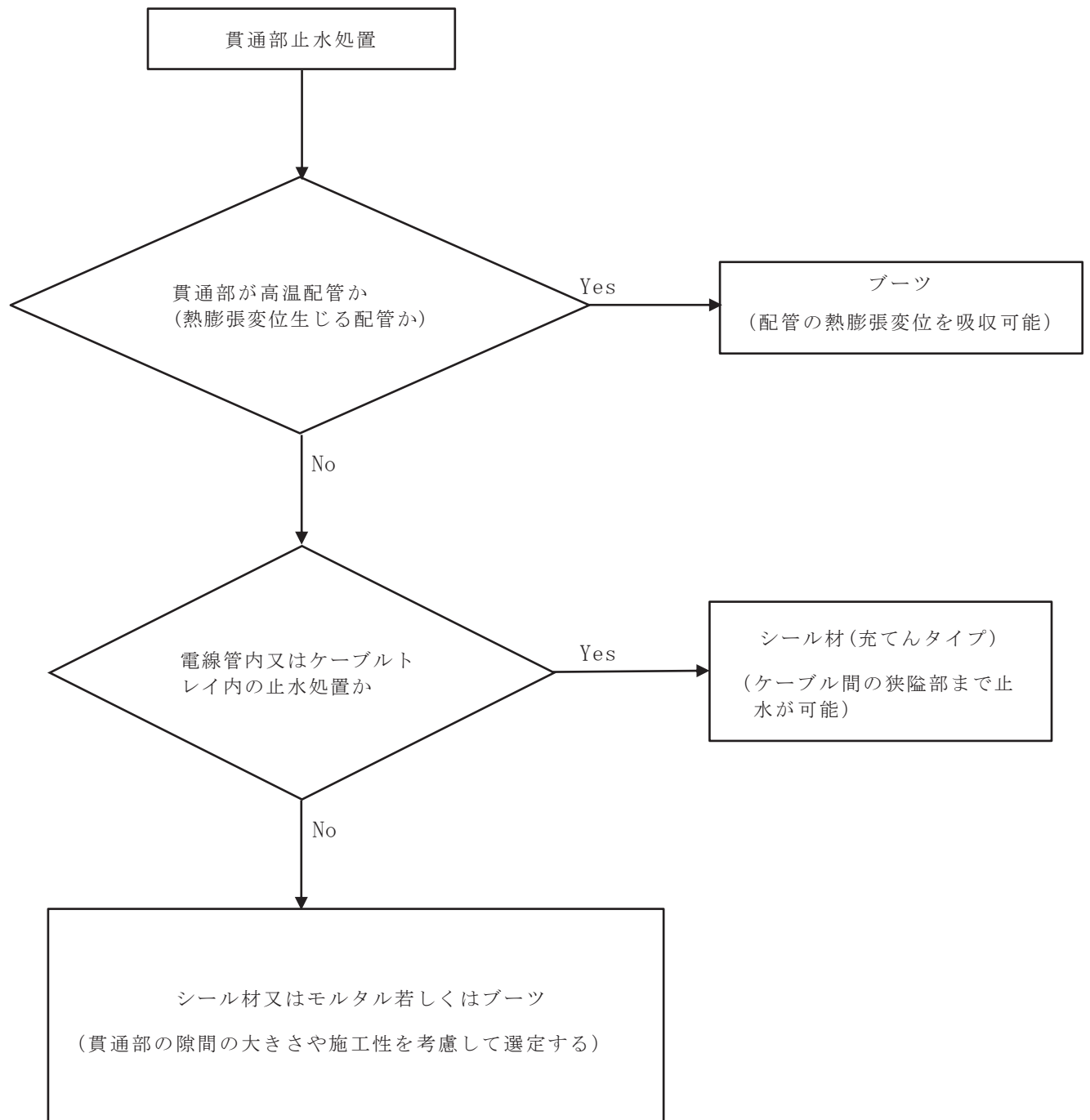


図 3-1 貫通部止水処置の選定フロー

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

溢水防護に係る施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の種類

a. 自重 (D)

常時作用する荷重は、自重とする。

b. 溢水による静水圧荷重 (P_h)

発生を想定する溢水による静水圧荷重は、各施設の設置位置における溢水水位から算出した施設の溢水水位を用いて設計用の静水圧荷重(動水圧は考慮しない)として算出する。

(2) 荷重の組合せ

溢水防護に係る施設の強度評価では、発生を想定する溢水による静水圧荷重 (P_h) を考慮する。

表 4-1 溢水防護に係る施設の荷重の組合せ

評価対象施設	自重 (D)	静水圧荷重 (P_h)
水密扉	—	○
堰	—	○
逆流防止装置	○	○
貫通部止水処置	○	○

a. 溢水による静水圧荷重（ P_h ）

溢水による静水圧荷重（ P_h ）は、次式を用いて算出する。なお、荷重の算出に用いる密度（ ρ ）は、想定される溢水源から純水又は海水とする。

溢水による静水圧荷重の説明図を図4-1に、強度評価に用いる溢水の密度を表4-2に示す。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

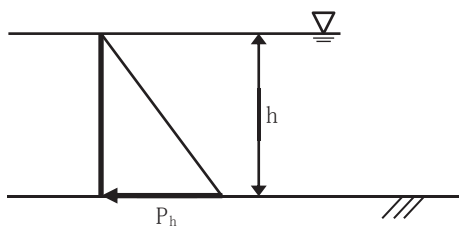


図4-1 溢水による静水圧荷重の説明図

表 4-2 強度評価に用いる溢水の密度

溢水の性状	溢水の密度 (kg/m ³)
純水	1000
海水	1030

4.2 許容限界

許容限界は、溢水による静水圧荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、施設ごとの許容限界を表4-3に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の機能損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価対象部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1 施設ごとの評価対象部位における許容限界

(1) 水密扉

水密扉の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 扉板、芯材及び締付装置（カンヌキ部）

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の構造健全性を維持する設計とするために、扉板、芯材及び締付装置（カンヌキ部）が、おおむね

弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえた短期許容応力度及び「J S M E S N C 1—2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下「設計・建設規格」という。）に準じた供用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の構造健全性を維持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定し、許容限界として設定する。

(2) 浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 止水板，梁材，柱材，斜材，接合ボルト及びベースプレート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の構造健全性を維持する設計とするために、止水板，梁材，柱材，斜材，接合ボルト及びベースプレートが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の構造健全性を維持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定し、許容限界として設定する。

(3) 逆流防止装置

逆流防止装置の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 弁本体及びフロートガイド

発生する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の構造健全性を維持する設

計とするために、弁本体及びフロートガイドが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることから、「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力を許容限界として設定する。

b. フロート及び取付部

想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするためにフロート及び取付部がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから、水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(4) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. シール材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、貫通口と貫通部との隙間に施工するシール材が、有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから、水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、貫通口と貫通部との隙間に施工するブーツが、有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから、水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、貫通口と貫通部との隙間に施工するモルタルが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから、許容限界は「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に基づき算定し、許容限界荷重として設定する。

表 4-3 施設ごとの許容限界 (1/2)

施設名	荷重の 組合せ	評価対象部 位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
水密扉	P _h	扉板, 芯材	曲げ せん断	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応 力度設計法－」を踏まえ 短期許容応力度以下とす る。 「設計・建設規格」に準じ た供用状態 C の許容応力 以下とする。
		締付装置(カン ヌキ部)	曲げ せん断 引張		
		アンカーボルト	引張 せん断		「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・ 同解説」に基づき算定し た, 許容耐力以下とする。
浸水防止 堰及び管 理区域外 伝播防止 堰	P _h	止水板	曲げ	部材が弾性 域にとどまら ず塑性域に 入る状態	「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応 力度設計法－」を踏まえ短 期許容応力度以下とする。
		梁材, 柱材	曲げ せん断		
		斜材	圧縮		
		接合ボルト	引張		
		ベースプレート	曲げ		
		アンカーボルト	引張 せん断	「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・ 同解説」に基づき算定し た, 許容耐力以下とする。	

表 4-3 施設ごとの許容限界(2/2)

施設名	荷重の 組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
逆流防 止装置	D+P _h	弁本体, フロートガイド	圧縮	部材が弾性 域にとどまら ず塑性域に 入る状態	「設計・建設規格」に準じ た供用状態Cの許容応力 以下とする。 水圧試験で確認した水圧 以下とする。
		フロート	圧縮	有意な漏え いに至る変 形	
		取付部	引張		
貫通部 止水処 置	D+P _h	シール材	せん断 圧縮	有意な漏え いに至る変 形	水圧試験で確認した水圧 以下とする。
		ブーツ	引張		
		モルタル	せん断 圧縮	部材が弾性 域にとどまら ず塑性域に 入る状態	「土木学会 2002 年 コ ンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」に基 づいて算出される許容付着 荷重以下とする。

4.2.2 許容限界設定方法

(1) モルタルの許容限界式

a. 記号の定義

モルタルの許容限界式に用いる記号を，表 4-4 に示す。

表 4-4 モルタルの許容限界式に用いる記号

記号	単位	定義
f'_{bok}	N/mm ²	モルタルの付着強度
f'_{ck}	N/mm ²	モルタルの圧着強度
f_s	kN	モルタルの許容付着荷重
L	mm	モルタルの充てん深さ
S	mm	貫通物の周長
γ_c	—	材料定数

b. 許容限界式

「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」より，貫通物がせん断荷重を受ける場合のモルタルの許容付着荷重を求める式を以下に示す。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

ここで，

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いた解析法

5.1 水密扉

(1) 評価方針

水密扉の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
扉材、芯材	曲げ，せん断
締付装置（カンヌキ部）	曲げ，せん断，引張
アンカーボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付書類「VI-3-別添3-4-1 水密扉の強度計算書（溢水）」に示す。

5.2 浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰

(1) 評価方針

浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-2 に示す。

表 5-2 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
止水板	曲げ
梁材，柱材	曲げ，せん断
斜材	圧縮
接合ボルト	引張
ベースプレート	曲げ
アンカーボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付書類「VI-3-別添3-4-2 堰の強度計算書」に示す。

5.3 逆流防止装置

(1) 評価方針

逆流防止装置の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
弁本体	圧縮
フロートガイド	圧縮
フロート	圧縮
取付部	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付書類「VI-3-別添 3-4-3 逆流防止装置の強度計算書」に示す。

5.4 貫通部止水処置

(1) 評価方針

貫通部止水処置の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-4 に示す。

表 5-4 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
シール材	圧縮，せん断
ブーツ	引張
モルタル	圧縮，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付書類「VI-3-別添 3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）」に示す。

6. 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- (2) 日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－
- (3) 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－
- (4) 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (6) 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）
- (7) 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）
- (8) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- (9) 建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- (10) 建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- (11) 日本産業規格（J I S）
- (12) 日本機械学会 機械工学便覧

VI-3-別添 3-4 溢水への配慮が必要な施設の強度計算書

目 次

- VI-3-別添 3-4-1 水密扉の強度計算書 (溢水)
- VI-3-別添 3-4-2 堰の強度計算書
- VI-3-別添 3-4-3 逆流防止装置の強度計算書
- VI-3-別添 3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書 (溢水)

VI-3-別添 3-4-1 水密扉の強度計算書 (溢水)

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 検討対象水密扉一覧	2
2.2 配置概要	4
2.3 構造計画	16
2.4 評価方針	19
2.5 適用規格・基準等	21
2.6 記号の説明	22
3. 強度評価	27
3.1 タイプⅠ	27
3.1.1 評価対象部位	27
3.1.2 荷重及び荷重の組合せ	30
3.1.2.1 荷重の設定	30
3.1.2.2 荷重の組合せ	31
3.1.3 許容限界	32
3.1.3.1 使用材料	32
3.1.3.2 許容限界	34
3.1.4 評価方法	36
3.1.4.1 応力算定	36
3.1.4.2 断面検定	54
3.1.5 評価条件	58
3.1.6 評価結果	67
3.2 タイプⅡ	69
3.2.1 評価対象部位	69
3.2.2 荷重及び荷重の組合せ	71
3.2.2.1 荷重の設定	71
3.2.2.2 荷重の組合せ	72
3.2.3 許容限界	73
3.2.3.1 使用材料	73
3.2.3.2 許容限界	74
3.2.4 評価方法	75
3.2.4.1 応力算定	75
3.2.4.2 断面検定	92
3.2.5 評価条件	99
3.2.6 評価結果	101

3.3	タイプⅢ	102
3.3.1	評価対象部位	102
3.3.2	荷重及び荷重の組合せ	103
3.3.2.1	荷重の設定	103
3.3.2.2	荷重の組合せ	103
3.3.3	許容限界	104
3.3.3.1	使用材料	104
3.3.3.2	許容限界	105
3.3.4	評価方法	106
3.3.4.1	応力算定	106
3.3.4.2	断面検定	109
3.3.5	評価条件	110
3.3.6	評価結果	111

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、溢水防護設備である原子炉建屋の水密扉、制御建屋の水密扉、タービン建屋の水密扉、軽油タンクエリアの水密扉及び海水ポンプ室の水密扉（以下「水密扉」という。）が、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持することを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象水密扉一覧(1/2)

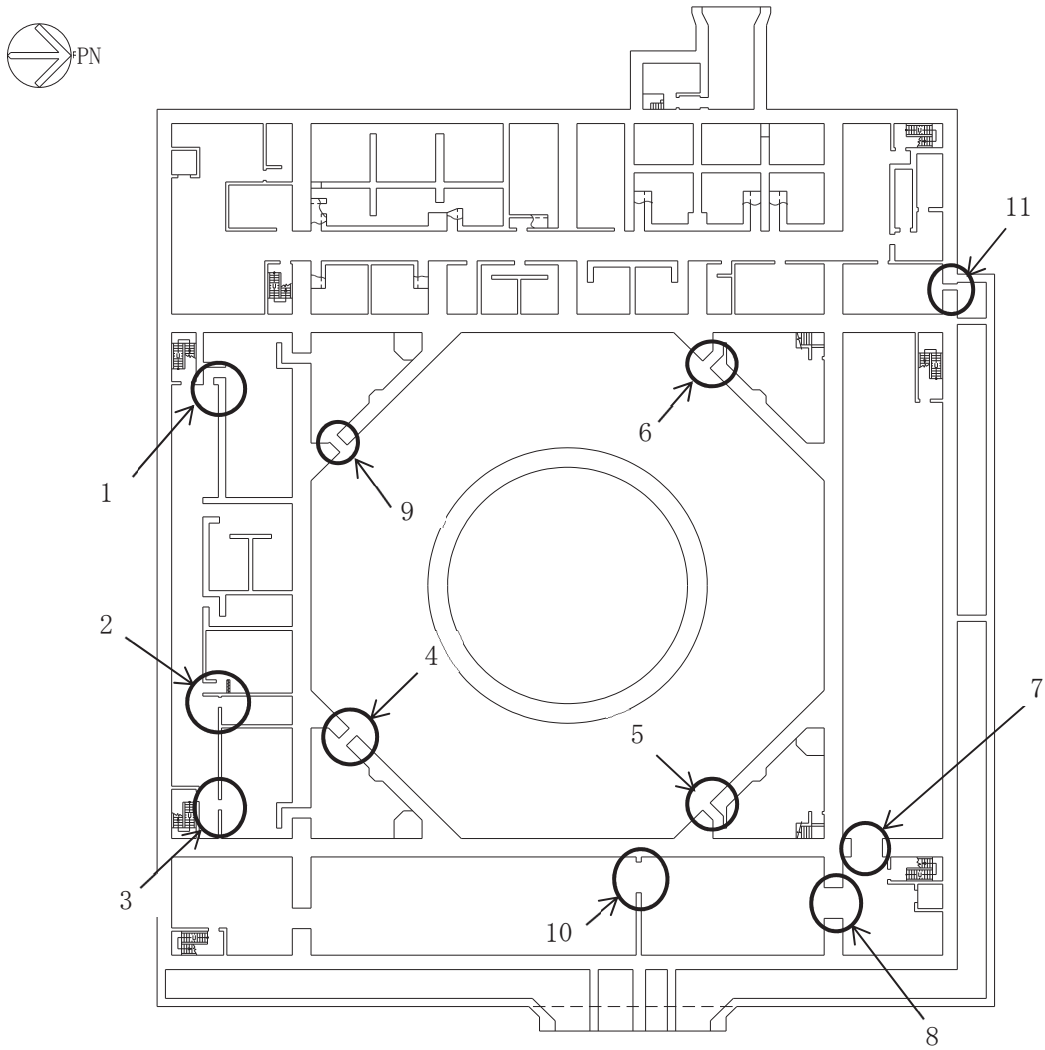
水密扉 No.	扉名称	設置高さ O. P.
1	RCIC タービンポンプ室-共通通路浸水防止水密扉	-8.10m
2	FPMUW ポンプ室浸水防止水密扉	-8.10m
3	RHR ポンプ(C)室-共通通路浸水防止水密扉	-8.10m
4	RHR ポンプ(B)室浸水防止水密扉	-8.10m
5	HPCS ポンプ室浸水防止水密扉	-8.10m
6	LPCS ポンプ室浸水防止水密扉	-8.10m
7	RCW Hx(A)(C)室-共通通路浸水防止水密扉	-8.10m
8	HPCW Hx 室浸水防止水密扉	-8.10m
9	RHR ポンプ(A)室浸水防止水密扉	-8.10m
10	HPCW Hx 室-RCW Hx(B)(D)室浸水防止水密扉	-8.10m
11	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 3)	-8.10m
12	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 4)	-0.80m
13	区分ⅢHPCS 電気品室-区分Ⅱ非常用電気品室浸水防止水密扉	6.00m
14	RHR Hx(A)室-RHR Hx(B)室浸水防止水密扉	15.00m
15	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 3)	15.00m
16	D/G(B)室-D/G(HPCS)室浸水防止水密扉	15.00m
17	主排気ダクト連絡トレンチ(2T-5)管理区域外伝播防止水密扉	15.00m
18	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 1)	15.00m
19	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 2)	15.00m
20	北西階段室管理区域外伝播防止水密扉	15.00m
21	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉	15.00m
22	Rw 電気品室(B)浸水防止水密扉	15.00m
23	原子炉建屋大物搬入口	15.00m
24	SGTS ヒータユニット(A)室浸水防止水密扉	22.50m
25	HECW 冷凍機(B)(D)室-HECW 冷凍機(A)(C)室浸水防止水密扉	22.50m
26	制御建屋共通エリア浸水防止水密扉	22.50m

表 2-1 検討対象水密扉一覧(2/2)

水密扉 No.	扉名称	設置高さ O. P.
27	制御建屋空調機械(A)室-(B)室浸水防止水密扉(No. 2)	1.50m
28	制御建屋空調機械(A)室-(B)室浸水防止水密扉(No. 1)	1.50m
29	250V 直流主母線盤室-制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉	1.50m
30	ISI 室浸水防止水密扉	1.50m
31	RSS 盤室浸水防止水密扉	8.00m
32	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No. 2)	8.00m
33	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No. 1)	8.00m
34	計測制御電源室(A)-常用および共通 M/C・P/C 室浸水防止水密扉	8.00m
35	制御建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 1)	15.00m
36	補助ボイラー建屋連絡階段管理区域外伝播防止水密扉	15.00m
37	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉	0.80m
38	燃料移送ポンプ(H)室-燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉	9.50m
39	燃料移送ポンプ(A)室-燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉	9.50m
40	燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉	9.50m
41	燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉	9.50m
42	RSW ポンプ(A)(C)室-TSW ポンプ室浸水防止水密扉	3.00m
43	HPSW ポンプ室浸水防止水密扉	3.00m
44	TSW ポンプ室-RSW ポンプ(B)(D)室浸水防止水密扉	3.00m

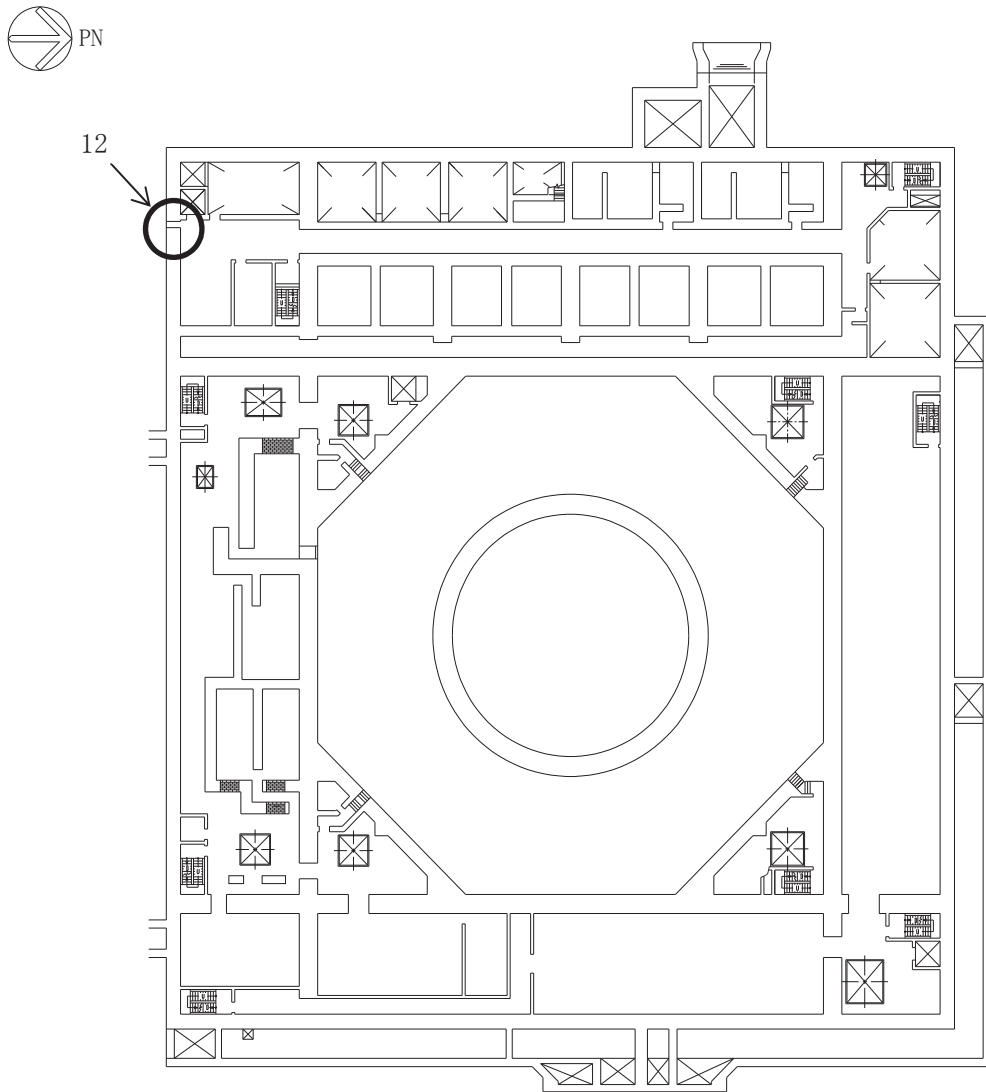
2.2 配置概要

原子炉建屋の水密扉の設置位置図を図 2-1 に，制御建屋の水密扉の設置位置図を図 2-2 に，タービン建屋の水密扉の設置位置図を図 2-3 に，軽油タンクエリアの水密扉の設置位置図を図 2-4 に，海水ポンプ室の水密扉の設置位置図を図 2-5 に示す。



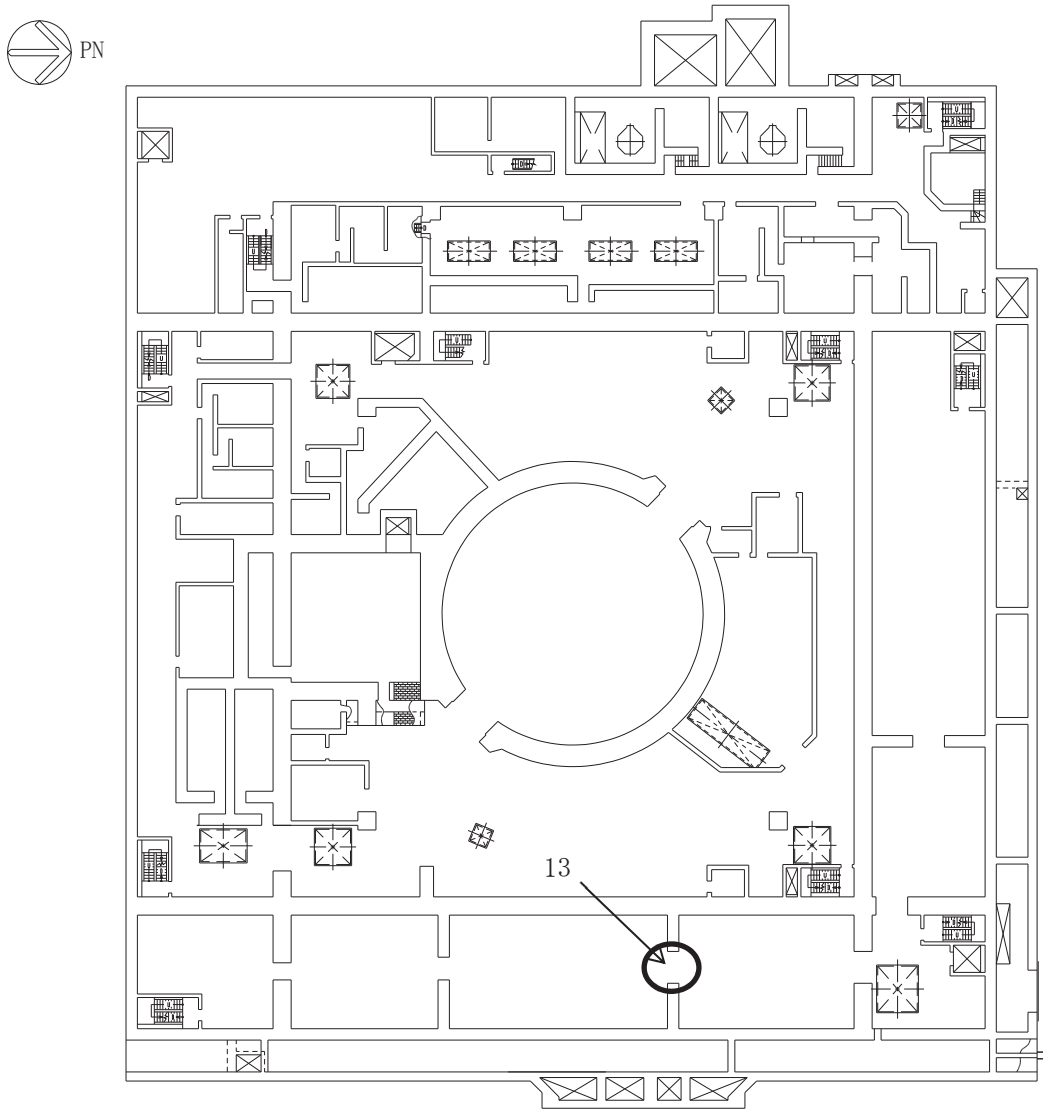
1	RCIC タービンポンプ室-共通通路浸水防止水密扉
2	FPMUW ポンプ室浸水防止水密扉
3	RHR ポンプ (C) 室-共通通路浸水防止水密扉
4	RHR ポンプ (B) 室浸水防止水密扉
5	HPCS ポンプ室浸水防止水密扉
6	LPCS ポンプ室浸水防止水密扉
7	RCW Hx (A) (C) 室-共通通路浸水防止水密扉
8	HPCW Hx 室浸水防止水密扉
9	RHR ポンプ (A) 室浸水防止水密扉
10	HPCW Hx 室-RCW Hx (B) (D) 室浸水防止水密扉
11	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 3)

図 2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 (1/5) 0.P. -8. 10m



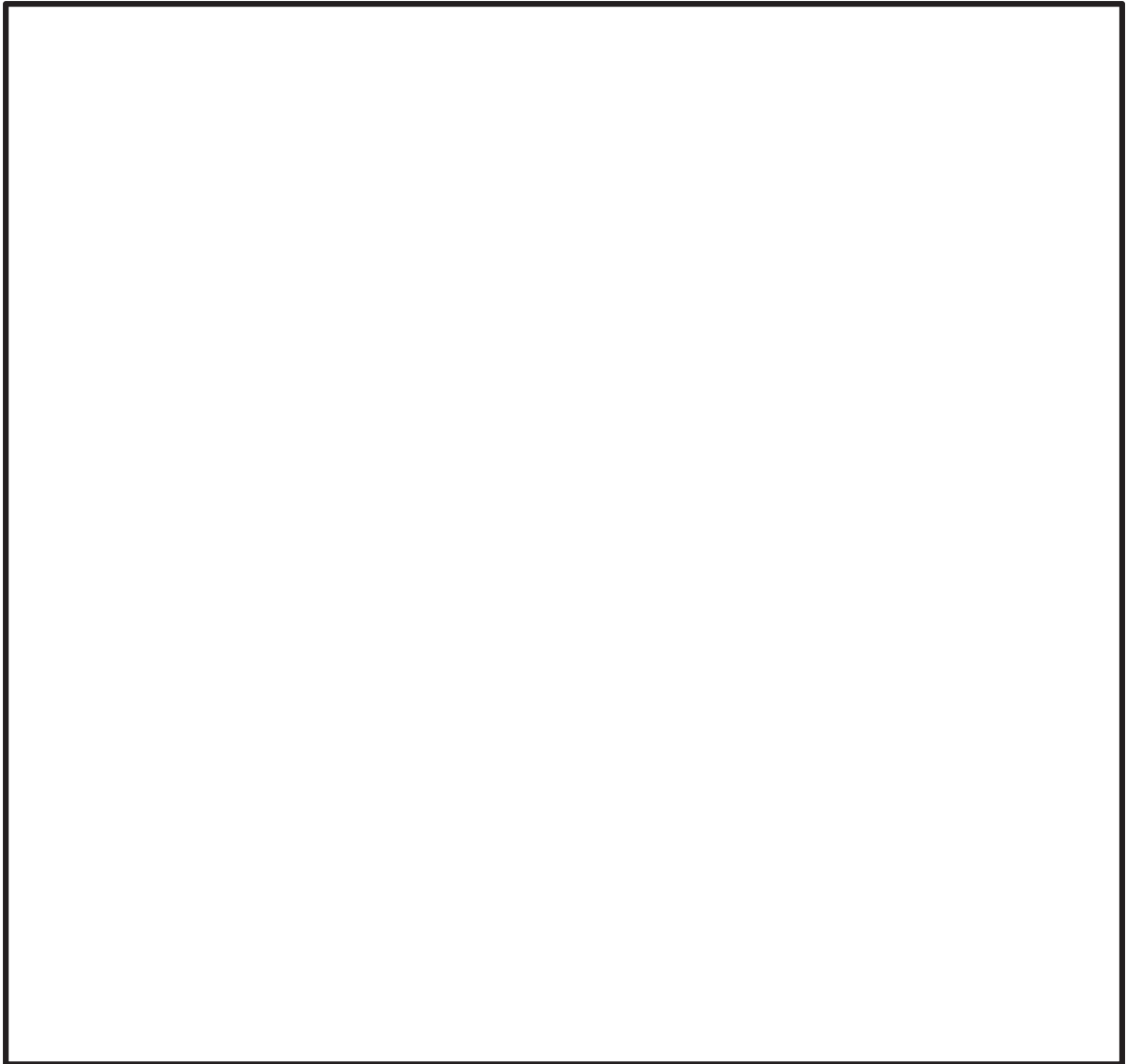
12	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
----	----------------------

図 2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 (2/5) O.P. -0.80m



13	区分ⅢHPCS 電気品室-区分Ⅱ非常用電気品室浸水防止水密扉
----	--------------------------------

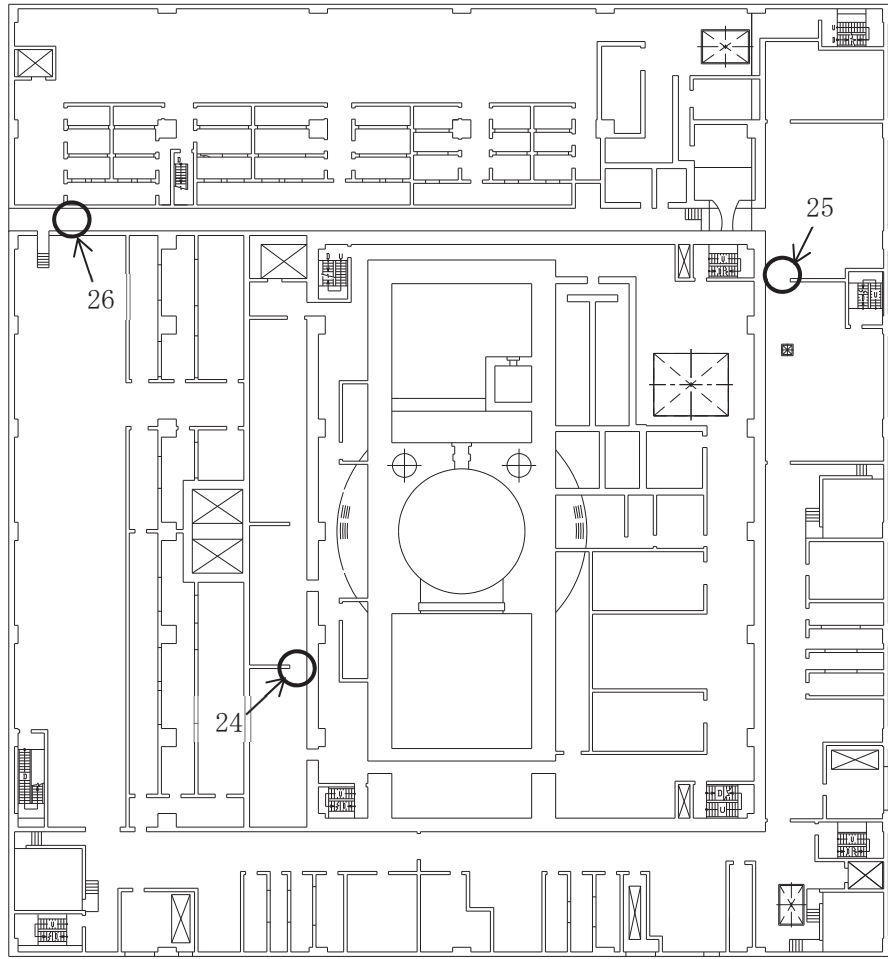
図2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図(3/5) O.P.6.00m



14	RHR Hx (A)室-RHR Hx (B)室浸水防止水密扉
15	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 3)
16	D/G (B)室-D/G (HPCS)室浸水防止水密扉
17	主排気ダクト連絡トレンチ (2T-5)管理区域外伝播防止水密扉
18	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)
19	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 2)
20	北西階段室管理区域外伝播防止水密扉
21	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉
22	Rw 電気品室 (B) 浸水防止水密扉
23	原子炉建屋大物搬入口

図 2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 (4/5) 0. P. 15. 00m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

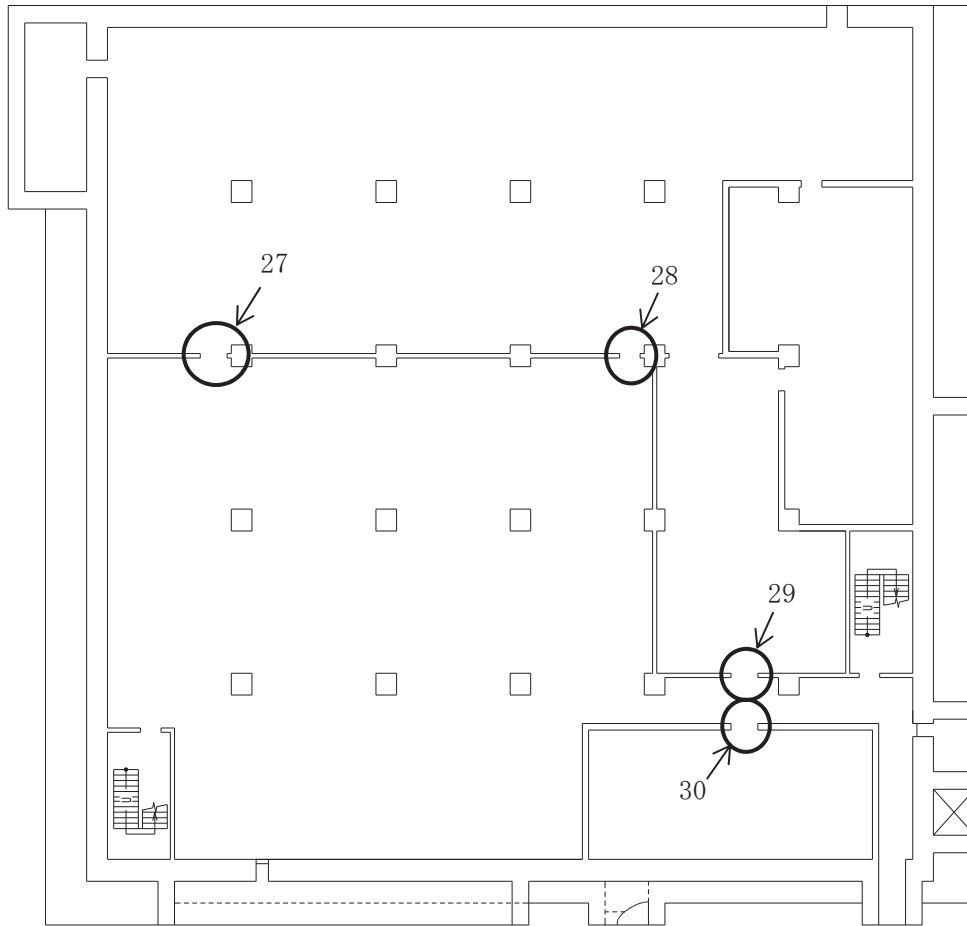


24	SGTS ヒータユニット (A) 室浸水防止水密扉
25	HECW 冷凍機 (B) (D) 室-HECW 冷凍機 (A) (C) 室浸水防止水密扉
26	制御建屋共通エリア浸水防止水密扉

図 2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 (5/5) O.P. 22.50m

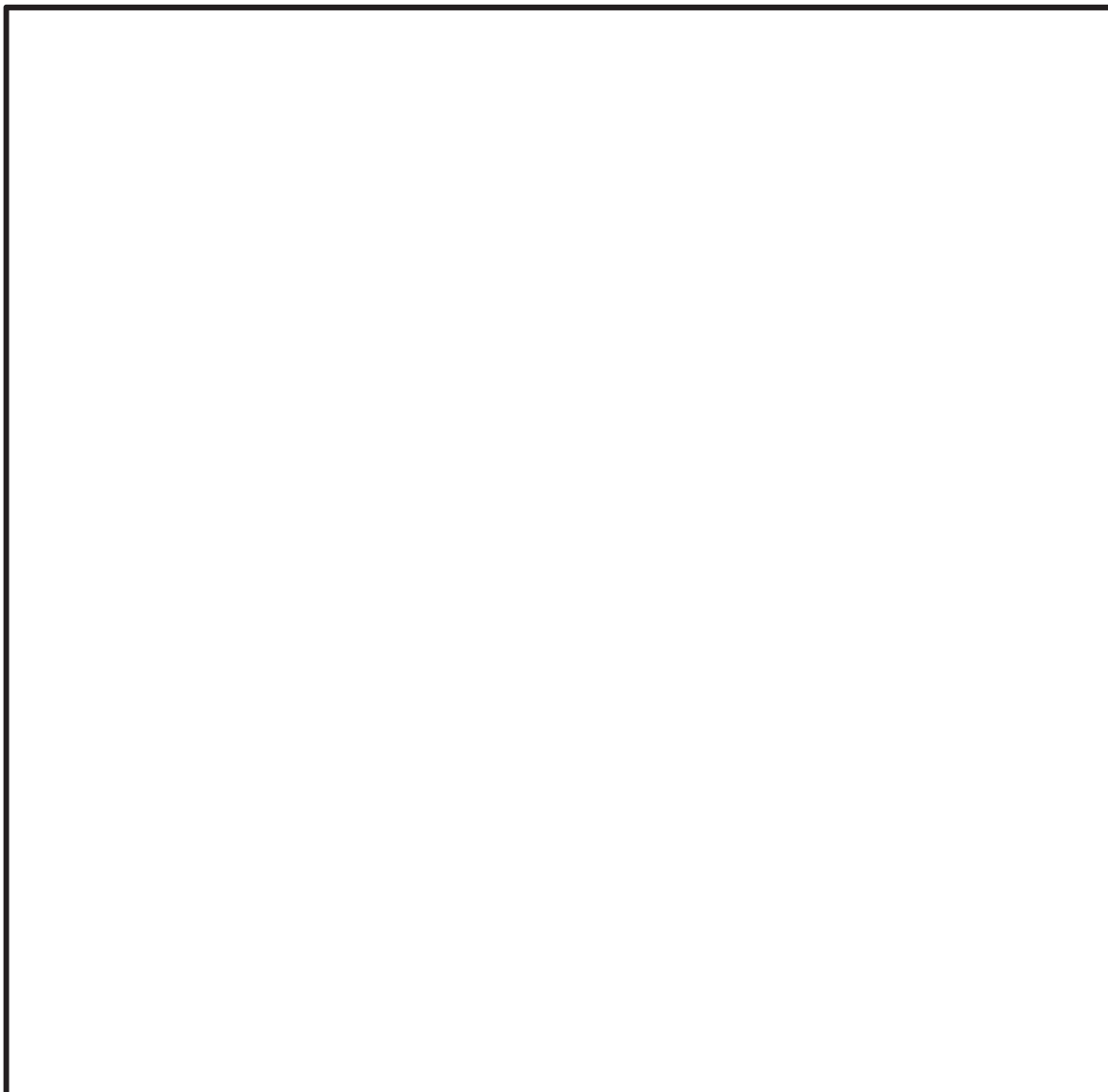


O 2 ⑥ VI-3-別添 3-4-1 R 3



27	制御建屋空調機械 (A) 室-(B) 室浸水防止水密扉 (No. 2)
28	制御建屋空調機械 (A) 室-(B) 室浸水防止水密扉 (No. 1)
29	250V 直流主母線盤室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉
30	ISI 室浸水防止水密扉

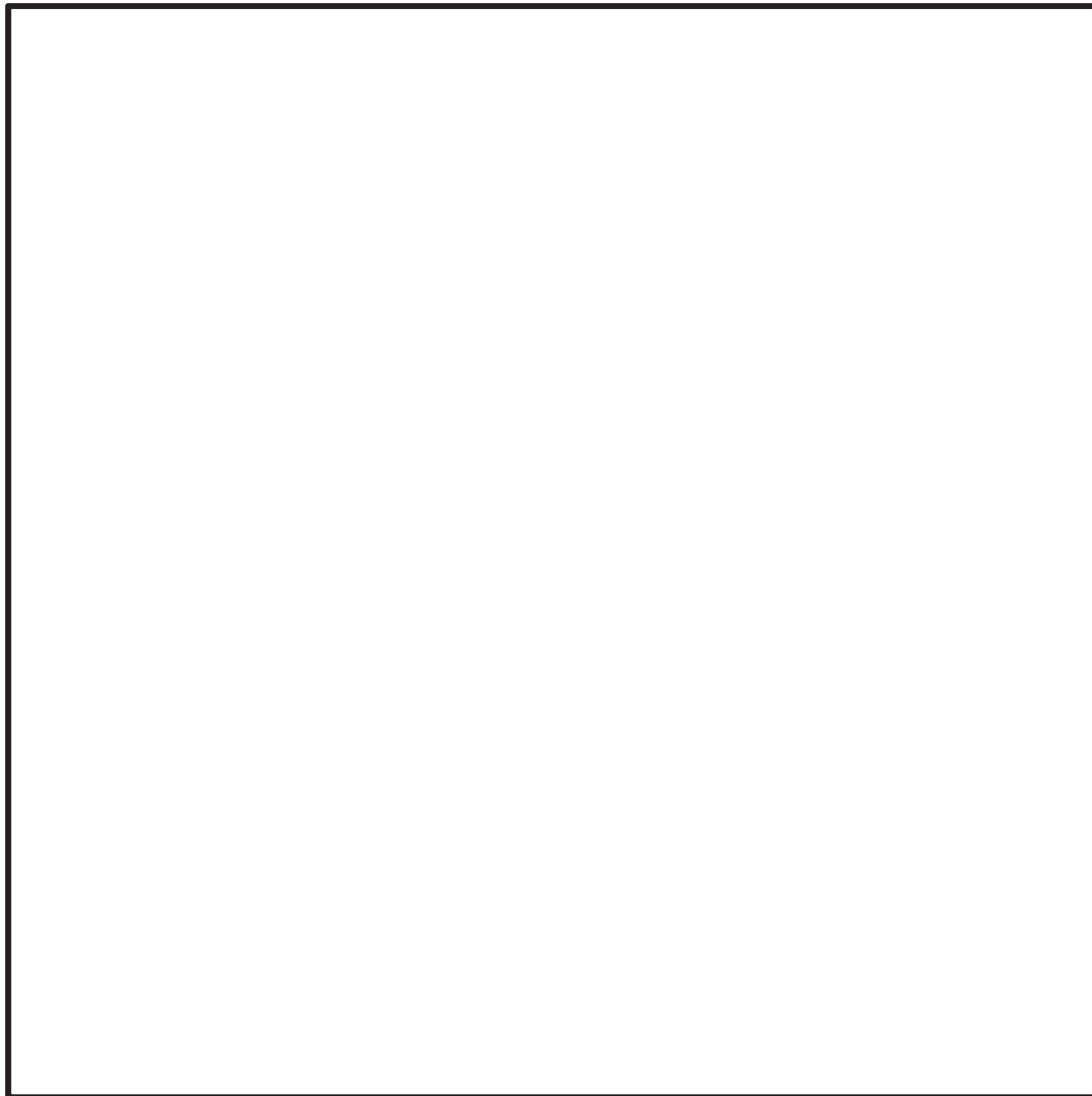
図 2-2 制御建屋の水密扉の設置位置図 (1/3) O.P. 1.50m



31	RSS 盤室浸水防止水密扉
32	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 2)
33	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 1)
34	計測制御電源室 (A) - 常用および共通 M/C ・ P/C 室浸水防止水密扉

図 2-2 制御建屋の水密扉の設置位置図 (2/3) 0.P. 8.00m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



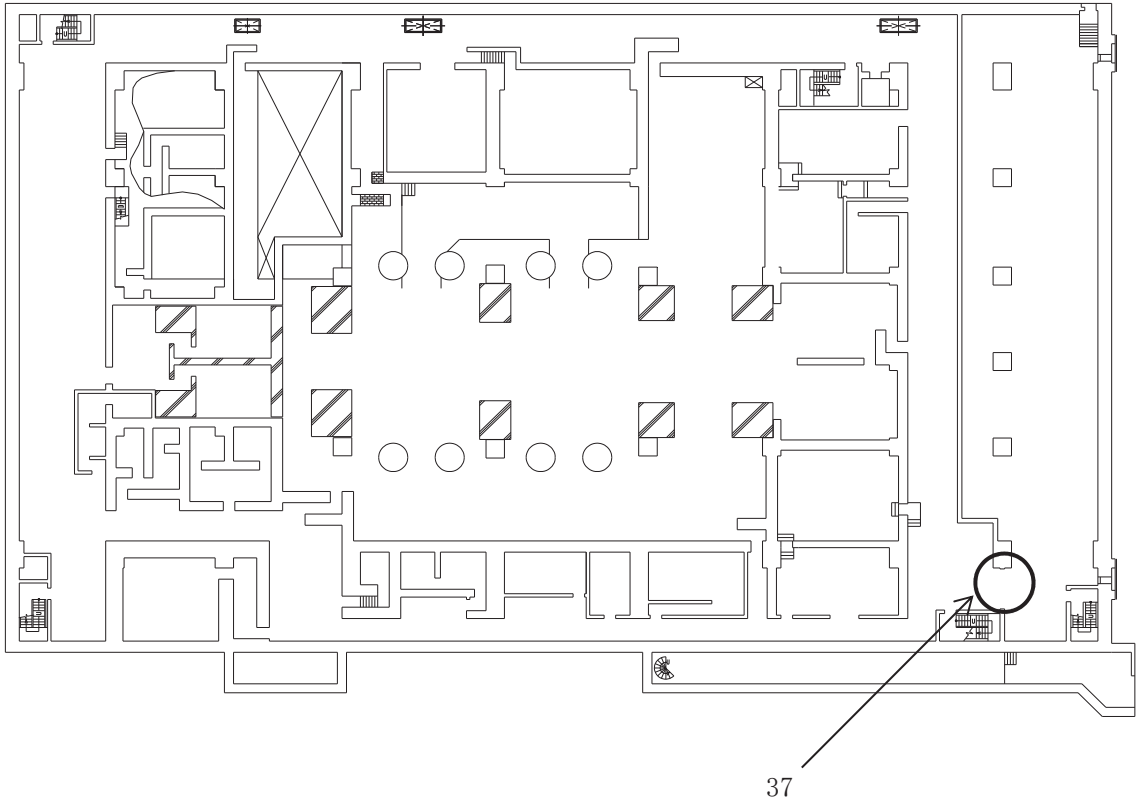
35	制御建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)
36	補助ボイラー建屋連絡階段管理区域外伝播防止水密扉

図 2-2 制御建屋の水密扉の設置位置図 (3/3) O.P. 15.00m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

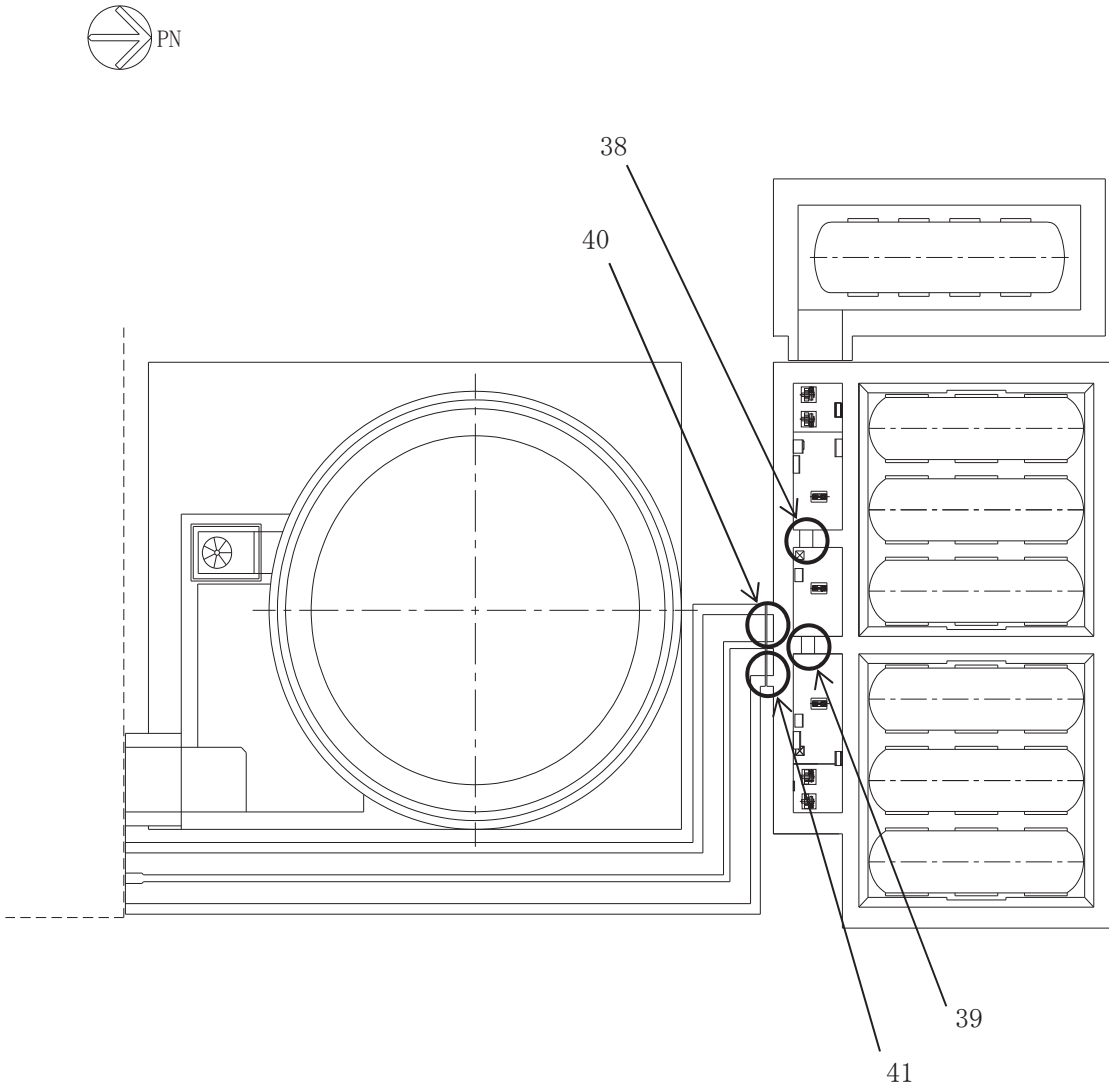


○ 2 ⑥ VI-3-別添 3-4-1 R 3



37	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉
----	--------------------

図 2-3 タービン建屋の水密扉の設置位置図 O.P. 0.80m

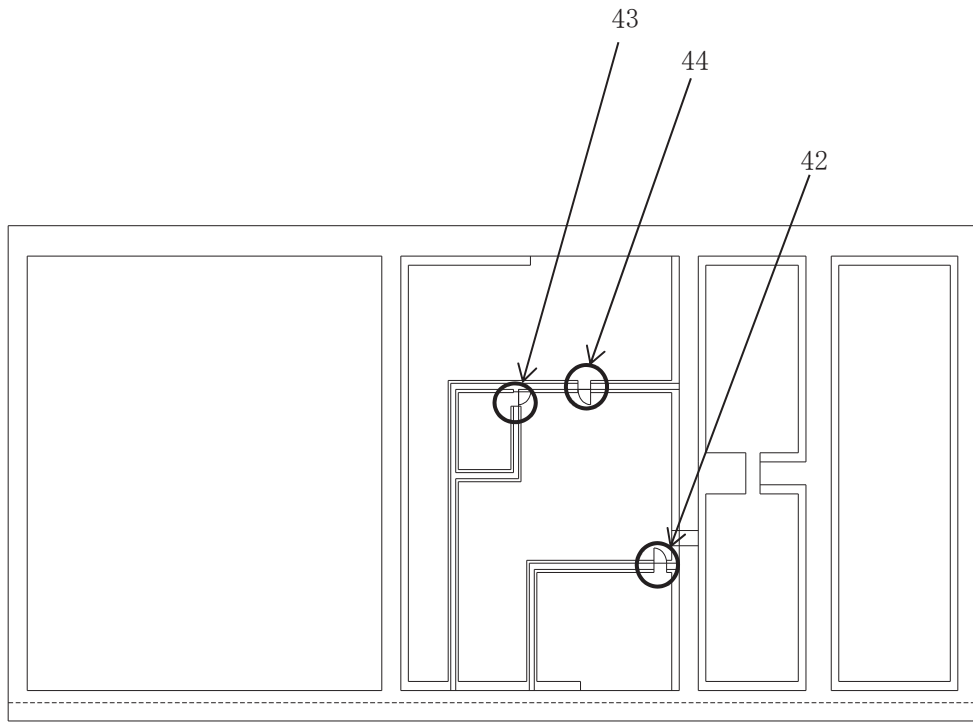


38	燃料移送ポンプ(H)室-燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉
39	燃料移送ポンプ(A)室-燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉
40	燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉
41	燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉

図 2-4 軽油タンクエリアの水密扉の設置位置図 0. P. 9. 50m



O 2 ⑥ VI-3-別添 3-4-1 R 3



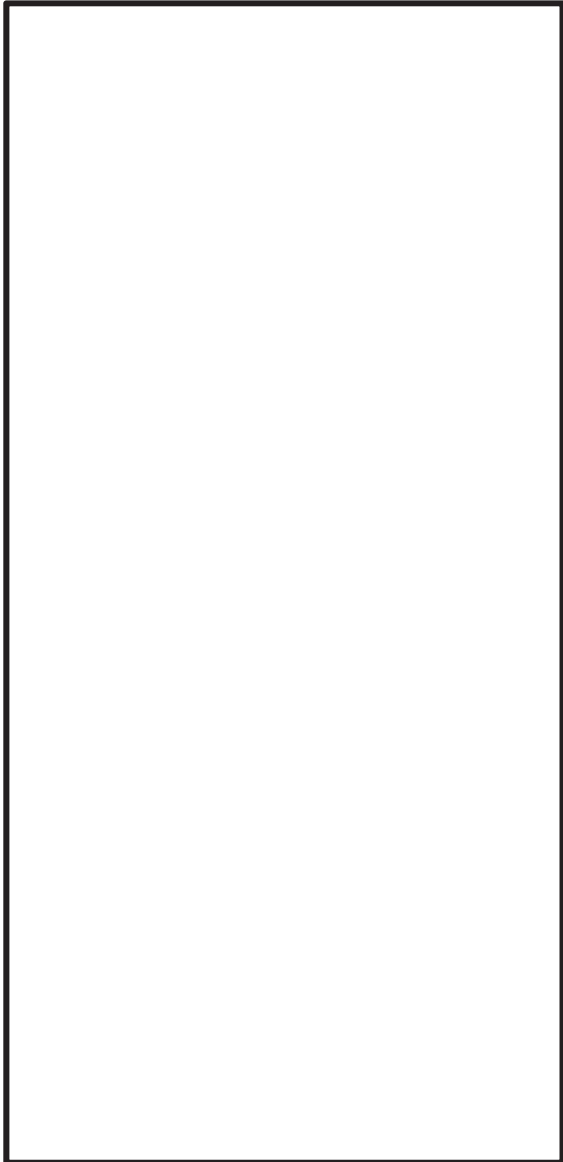
42	RSW ポンプ (A) (C)室-TSW ポンプ室浸水防止水密扉
43	HPSW ポンプ室浸水防止水密扉
44	TSW ポンプ室-RSW ポンプ (B) (D)室浸水防止水密扉

図 2-5 海水ポンプ室の水密扉の設置位置図 O.P. 3.00m

2.3 構造計画

水密扉の構造は、タイプⅠ、タイプⅡ及びタイプⅢに区分しており、各扉の構造計画を表2-2に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画（タイプⅠ）

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と建屋躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-2 水密扉の構造計画 (タイプ II)

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取り付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の取付金具に差し込み、扉と取付金具を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と取付金具の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が取付金具に固定され、扉閉止時には、カンヌキにより扉が取付金具に固定される構造とする。</p> <p>また、取付金具を躯体に定着することで荷重を躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>正面図</p> <p>水圧作用方向 (反扉側)</p> <p>固定リング</p> <p>躯体</p> <p>扉板</p> <p>取付金具</p> <p>カンヌキ部</p> <p>芯材</p> <p>ヒンジ</p> <p>水圧作用方向 (扉側)</p> <p>平面図</p>

表 2-2 水密扉の構造計画 (タイプⅢ)

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。 また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、カンヌキにより扉が扉枠に固定される構造とする。 また、扉枠はアンカーボルトにより躯体に固定する。扉板に発生する荷重は扉枠を介して荷重を躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>正面図</p> <p>断面図</p>

2.4 評価方針

水密扉の強度評価は、以下にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、水密扉の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを、各設備の「3. 強度評価」に示す方法により、水密扉のタイプごとに「3.1.5 評価条件」、「3.2.5 評価条件」及び「3.3.5 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、応力評価の確認事項を水密扉のタイプごとに「3.1.6 評価結果」、「3.2.6 評価結果」及び「3.3.6 評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図 2-6 に示す。

水密扉の強度評価においては、その構造を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

(1) タイプ I

水密扉タイプ I の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材、カンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）、パネル板、方立、マグサ、扉固定部（扉付固定ボルト、枠付固定ボルト）及びパネル取付ボルトの発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

なお、パネル板は扉板と同じ評価方法、方立及びマグサは芯材と同じ評価方法、扉付固定ボルト、枠付固定ボルト及びパネル取付ボルトはカンヌキ受けボルトと同じ評価方法とする。

アンカーボルトは壁に埋め込まれた方向によって下記のとおりと呼ぶこととする。

- ・0° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの直交方向に配置されている場合
- ・45° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向から 45° 傾斜して配置されている場合
- ・90° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向に配置されている場合

(2) タイプ II

水密扉タイプ II の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材、カンヌキ部、ヒンジ、取付金具及び固定リングに生じる応力または応力度を算定し、許容限界との比較を行う。

(3) タイプ III

水密扉タイプ III の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材に生じる応力または応力度を算定し、許容限界との比較を行う。

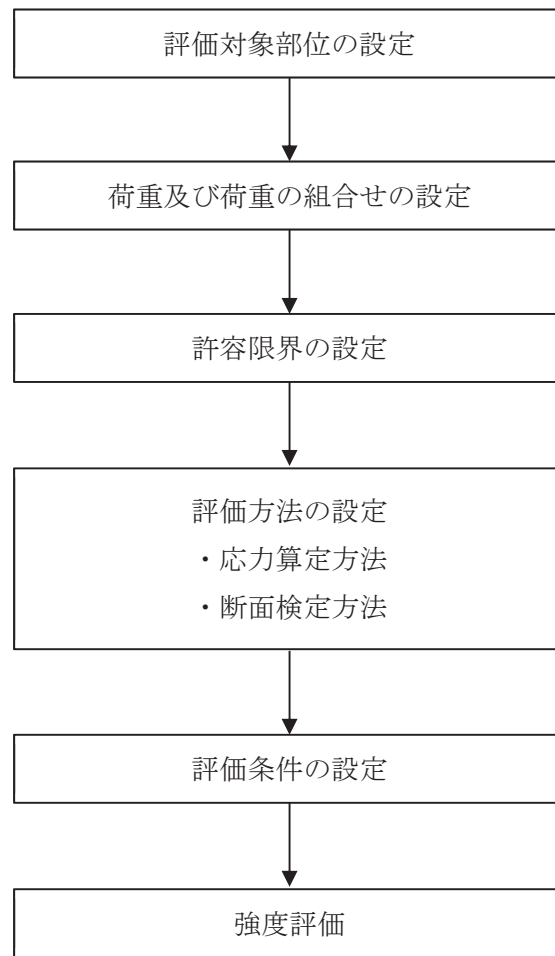


図 2-6 水密扉の強度評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本機械学会 機械工学便覧
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- ・ 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）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3指針を指す。）
- ・ J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下，設計・建設規格という。）

2.6 記号の説明

水密扉の強度評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 強度評価に用いる記号 (タイプ I) (1/2)

記号	単位	定義
h	mm	扉の水圧作用高さ
ρ_o	t/m ³	液体の密度
g	m/s ²	重力加速度
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
t	mm	扉板の厚さ
w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重
R_1	N	静水圧荷重に対する反力
β_1	—	四辺支持長方形板の応力係数
w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重
b	mm	芯材, 方立又はマグサに作用する荷重の負担幅
L	mm	芯材, 方立又はマグサの支持間距離
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積
n_2	本	カンヌキの本数
L_5	mm	カンヌキの突出長さ
L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離
n_b	本	ボルトの本数
A	mm ²	ボルトの断面積
L_D	mm	扉の幅又はパネルの幅
H_D	mm	扉の高さ又はパネルの高さ
L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ
L_{c2}	mm	躯体開口部の幅
M	N・mm	曲げモーメント
T	N	引張力
Q	N	せん断力
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ_t	N/mm ²	引張応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
R_a	N	左右もしくは上下のアンカーボルトに作用する荷重
T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力

表 2-3 強度評価に用いる記号 (タイプ I) (2/2)

記号	単位	定義
Q_d	N	アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力
T_a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルト本数
n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルト本数
n_{a3}	本	45° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルト本数

表 2-3 強度評価に用いる記号（タイプⅡ）（1/2）

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	溢水による静水圧荷重
h	mm	扉の水圧作用高さ
ρ_0	t/m^3	液体の密度
g	m/s^2	重力加速度
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
β_1	—	四辺支持長方形板の応力係数
t	mm	扉板の厚さ
w	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
w'	kN/m	芯材に生じる等分布荷重
R_p	kN	カンヌキ部，ヒンジに作用する荷重
P_0	kN	設計水圧荷重
L_1	mm	扉高さ
L_2	mm	扉幅
b_{L1}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅（横リブ）
L_{L1}	mm	芯材の支持長さ（横リブ）
Z_{L1}	mm^3	芯材の断面係数（横リブ）
A_{L1}	mm^2	芯材の断面積（横リブ）
b_{L2}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅（縦リブ）
L_{L2}	mm	芯材の支持長さ（縦リブ）
Z_{L2}	mm^3	芯材の断面係数（縦リブ）
A_{L2}	mm^2	芯材の断面積（縦リブ）
n_2	個	カンヌキとヒンジの個数
L_{K1}	mm	カンヌキの突出長さ
Z_{K1}	mm^3	カンヌキの断面係数
A_{K1}	mm^2	カンヌキの断面積
L_{K2}	mm	カンヌキ受けの支持長さ
Z_{K2}	mm^3	カンヌキ受けの断面係数
A_{K2}	mm^2	カンヌキ受けの断面積
n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数
A_b	mm^2	カンヌキ受けボルト断面積

表 2-3 強度評価に用いる記号 (タイプ II) (2/2)

記号	単位	定義
A_{K3}	mm^2	カンヌキ受け溶接部の断面積
L_{H1}	mm	ヒンジピンの支持長さ
A_{H1}	mm^2	ヒンジピンの断面積
Z_{H1}	mm^3	ヒンジピンの断面係数
L_{H2}	mm	ヒンジ受けピン穴 (扉側) の支持長さ
A_{H2}	mm^2	ヒンジ受けピン穴 (扉側) の断面積
Z_{H2}	mm^3	ヒンジ受けピン穴 (扉側) の断面係数
L_{H3}	mm	ヒンジ受けピン穴 (躯体側) の支持長さ
A_{H3}	mm^2	ヒンジ受けピン穴 (躯体側) の断面積
Z_{H3}	mm^3	ヒンジ受けピン穴 (躯体側) の断面係数
L_{H4}	mm	ヒンジ受け (扉側) の突出長さ
A_{H4}	mm^2	ヒンジ受け溶接部 (扉側) の断面積
Z_{H4}	mm^3	ヒンジ受け溶接部 (扉側) の断面係数
A_{H5}	mm^2	ヒンジ受け溶接部 (躯体側) の断面積
n_{bH6}	本	ヒンジ受けボルト (扉側) の本数
A_{bH6}	mm^2	ヒンジ受けボルト (扉側) の断面積
n_{bH7}	本	ヒンジ受けボルト (躯体側) の本数
A_{bH7}	mm^2	ヒンジ受けボルト (躯体側) の断面積
n_3	本	取付金具リブの本数
A_{H8}	mm^2	取付金具リブ溶接部の引張方向の断面積
A'_{H8}	mm^2	取付金具リブ溶接部のせん断方向の断面積
A_{H9}	mm^2	固定リング溶接部の断面積
T	kN	引張力
M	$\text{kN} \cdot \text{m}$	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
σ	N/mm^2	曲げ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
σ_t	N/mm^2	引張応力度
σ_x	N/mm^2	組合せ応力度

表2-3 強度評価に用いる記号（タイプⅢ）

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	溢水による静水圧荷重
h	mm	扉の水圧作用高さ
ρ_0	t/m^3	液体の密度
g	m/s^2	重力加速度
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
β_1	—	四辺支持長方形板の応力係数
t	mm	扉板の厚さ
w	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
w'	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
b_{L1}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅（横リブ）
L_{L1}	mm	芯材の支持長さ（横リブ）
Z_{L1}	mm^3	芯材の断面係数（横リブ）
A_{L1}	mm^2	芯材の断面積（横リブ）
b_{L2}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅（縦リブ）
L_{L2}	mm	芯材の支持長さ（縦リブ）
Z_{L2}	mm^3	芯材の断面係数（縦リブ）
A_{L2}	mm^2	芯材の断面積（縦リブ）
M	$\text{kN} \cdot \text{m}$	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
σ	N/mm^2	曲げ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

3. 強度評価

3.1 タイプ I

3.1.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に作用する静水圧荷重は、扉板から芯材を介し扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材及びアンカーボルトとする。

水密扉を開く方向に作用する静水圧荷重は、扉板から芯材に伝わり、カンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）及び扉固定部（扉付固定ボルト、枠付固定ボルト）に伝達され、扉枠及び扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材、カンヌキ部及び扉固定部並びにアンカーボルトとする。

アンカーボルトについては、荷重を伝達する芯材の取付け方向または扉板の辺長比を踏まえ、水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを、鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

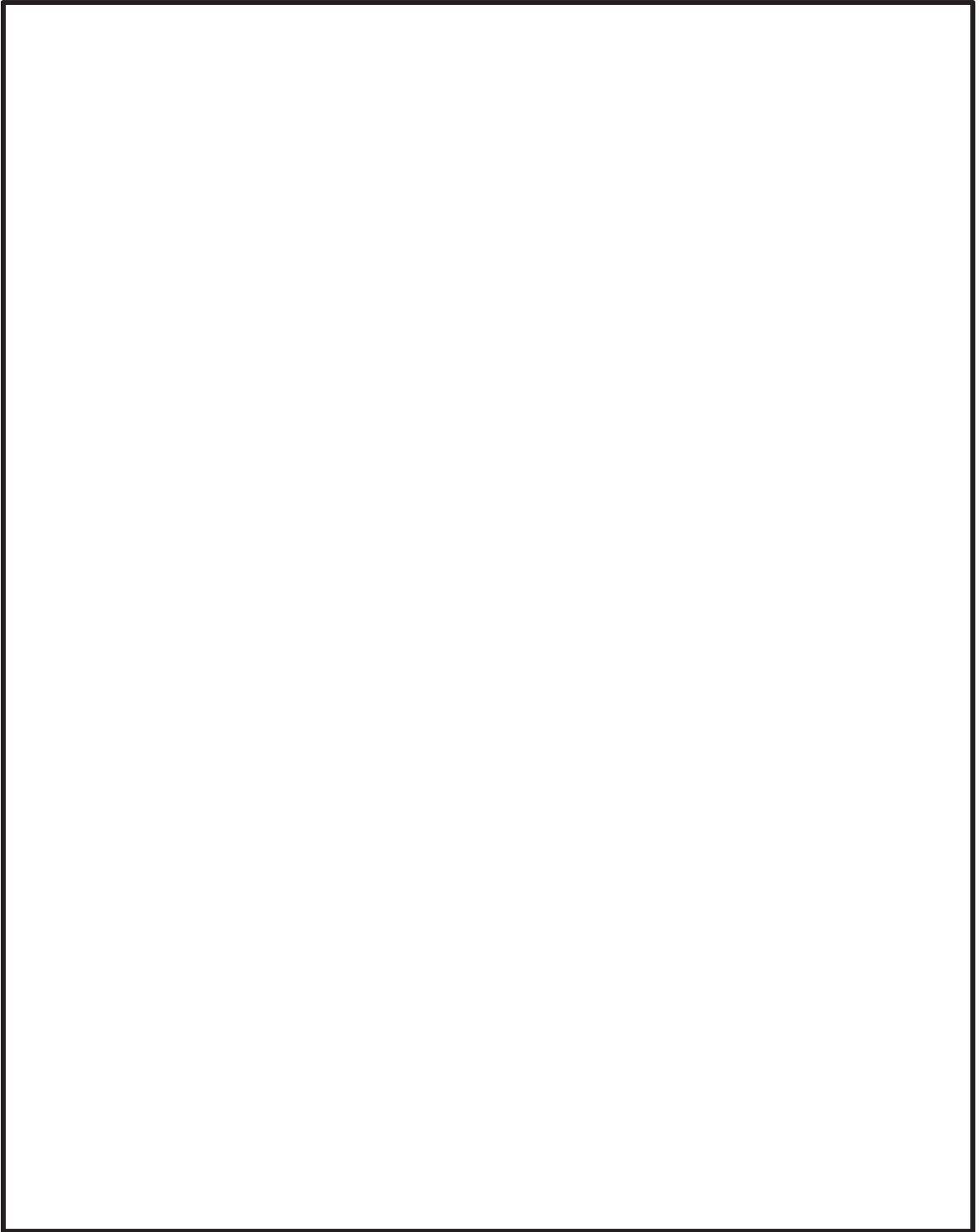
パネル付きの水密扉については、パネル板、パネル板を支える方立及びマグサ並びにパネル取付ボルトを評価対象部位として選定する。

なお、ヒンジは静水圧荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

また、結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、水密扉 No. 3, 7, 10, 24 及び 29 を抽出した。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 3-1 に示す。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

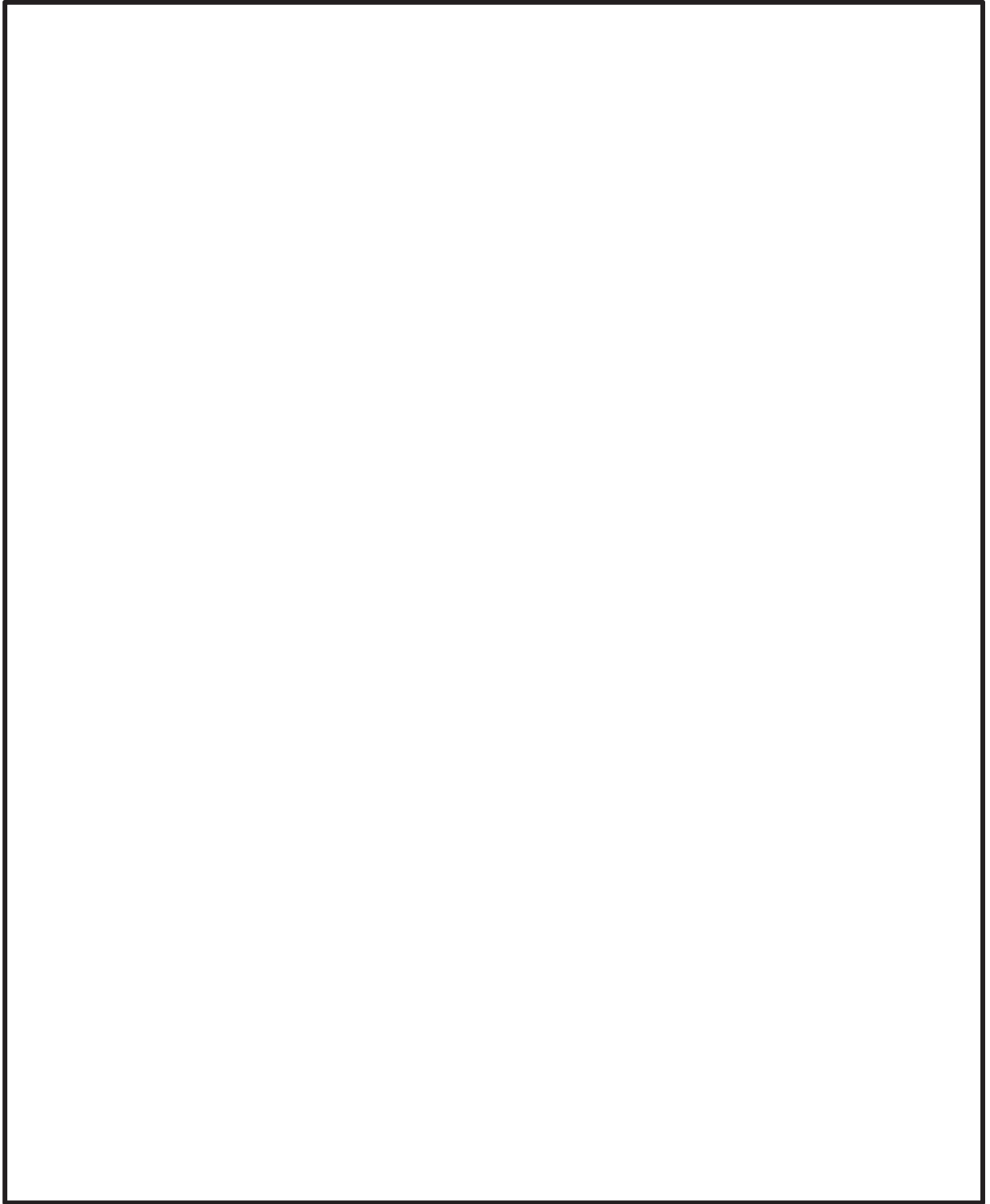


<閉める方向に作用する荷重>

図 3-1 水密扉に作用する荷重の作用図(1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位



<開く方向に作用する荷重>

図 3-1 水密扉に作用する荷重の作用図(2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.1.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.1.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 溢水による静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は、対象とする液体の密度に当該部分の水圧作用高さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-6}$$

ここで、

P_h : 静水圧荷重 (N/mm²)

3.1.2.2 荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

P_h

ここで、

P_h : 溢水による静水圧荷重(N/mm²)

3.1.3 許容限界

許容限界は、「3.1.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.1.3.1 使用材料

水密扉を構成する扉板、芯材、カンヌキ部、扉固定部、パネル、パネル取付ボルト、方立、マグサ及びアンカーボルトの使用材料を表 3-2 に示す。

表 3-2 使用材料

部位		材質 強度区分	仕様 (mm)
扉板		SS400	PL-9, 12, 16 PL-19, 32, 36, 60
芯材		SS400 SM490	FB-19×75 FB-25×75 FB-38×125 [-100×50×5×7.5 [-180×75×7×10.5 [-125×65×6×8 [-200×80×7.5×11 [-200×90×8×13.5 H-200×200×8×12 H-248×407×20×35 H-600×300×25×36
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304 SUS304N2 SCM440	径 50, 60, 75, 80, 120
	カンヌキ受けピン	SUS304N2 S45C SCM435 SUS304	径 20, 25, 30, 45, 70
	カンヌキ受けボルト	10.9 (SCM435, SCM440) 12.9(SCM435)	M10, M16, M20
扉固定部	扉付固定ボルト	10.9(SCM435)	M16
	枠付固定ボルト	10.9(SCM435)	M16
パネル		SS400	PL-6, 9, 25, 32
パネル取付ボルト		12.9(SCM435)	M10, M12
方立		SS400	PL-9×276 [-250×90×11×14.5 H-200×200×8×12
マグサ		SS400	PL-9×276 [-250×90×11×14.5
アンカーボルト		SS400 SM490	M16, M20, M24, M30 φ 16, φ 25

3.1.3.2 許容限界

(1) 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」を踏まえて表 3-3 の値とする。

表 3-3 鋼材の許容限界

材質・強度区分* ¹	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ・引張	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ²	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) * ²	215	124
SS400 (100 < t) * ²	205	118
SM490 (t ≤ 16) * ²	325	187
SM490 (16 < t ≤ 40) * ²	315	181
SM490 (40 < t ≤ 100) * ²	295	170
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
S45C	345	199
SCM435	651	375
SCM440	686	396
10.9 (SCM435, SCM440)	728	420
12.9 (SCM435)	854	493

注記*1：許容応力度を決定する基準値Fは、J I Sに基づき算定する。

*2：tは板厚(mm)を示す。

(2) アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は、「3.1.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した、表 3-4 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容応力及び付着力またはコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容耐力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3-4 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (N/本)	
		引張	せん断
3	RHR ポンプ (C) 室-共通通路浸水防止水密扉	28852	25826
7	RCW Hx (A) (C) 室-共通通路浸水防止水密扉	37194	19172
10	HPCW Hx 室-RCW Hx (B) (D) 室浸水防止水密扉	37194	19172
24	SGTS ヒータユニット (A) 室浸水防止水密扉	26104	18433
29	250V 直流主母線盤室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	38098	12824

3.1.4 評価方法

水密扉の強度評価は、以下に設定する評価式を用いる。

3.1.4.1 応力算定

(1) 扉板及びパネル板

扉板及びパネル板に生じる応力は、等分布荷重が作用する四辺支持の矩形板として、「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき、「3.1.4.2 断面検定」にて算定する。なお、この時、実際に作用する溢水による静水圧荷重は、台形分布もしくは、三角形分布であるが、扉最下部の最大静水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図3-2に、パネル板に作用する荷重の例を図3-3に示す。

$$w_D = P_h$$

ここで、

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重 (N/mm²)

P_h : 溢水による静水圧荷重 (N/mm²)

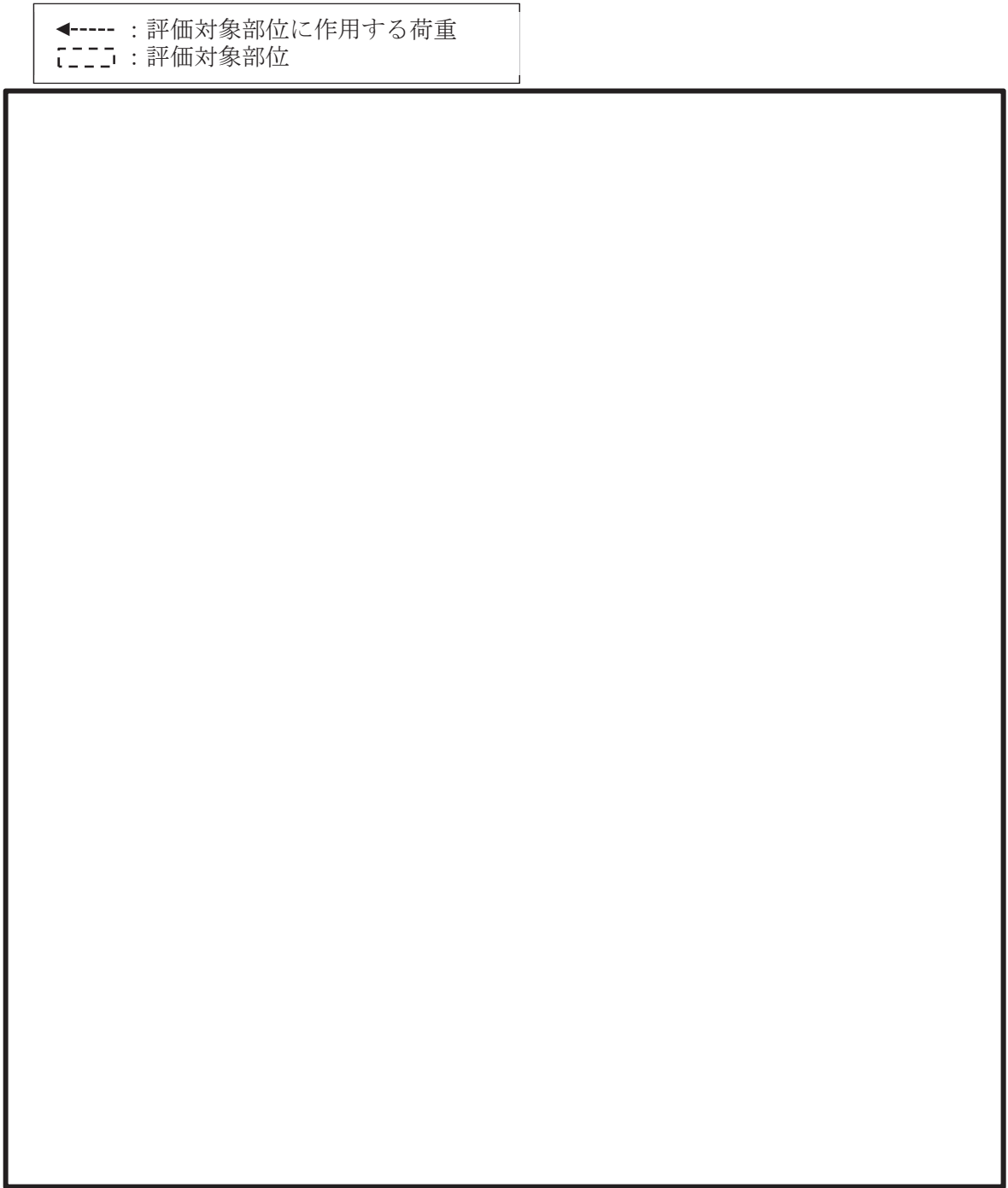


図 3-2 扉板に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

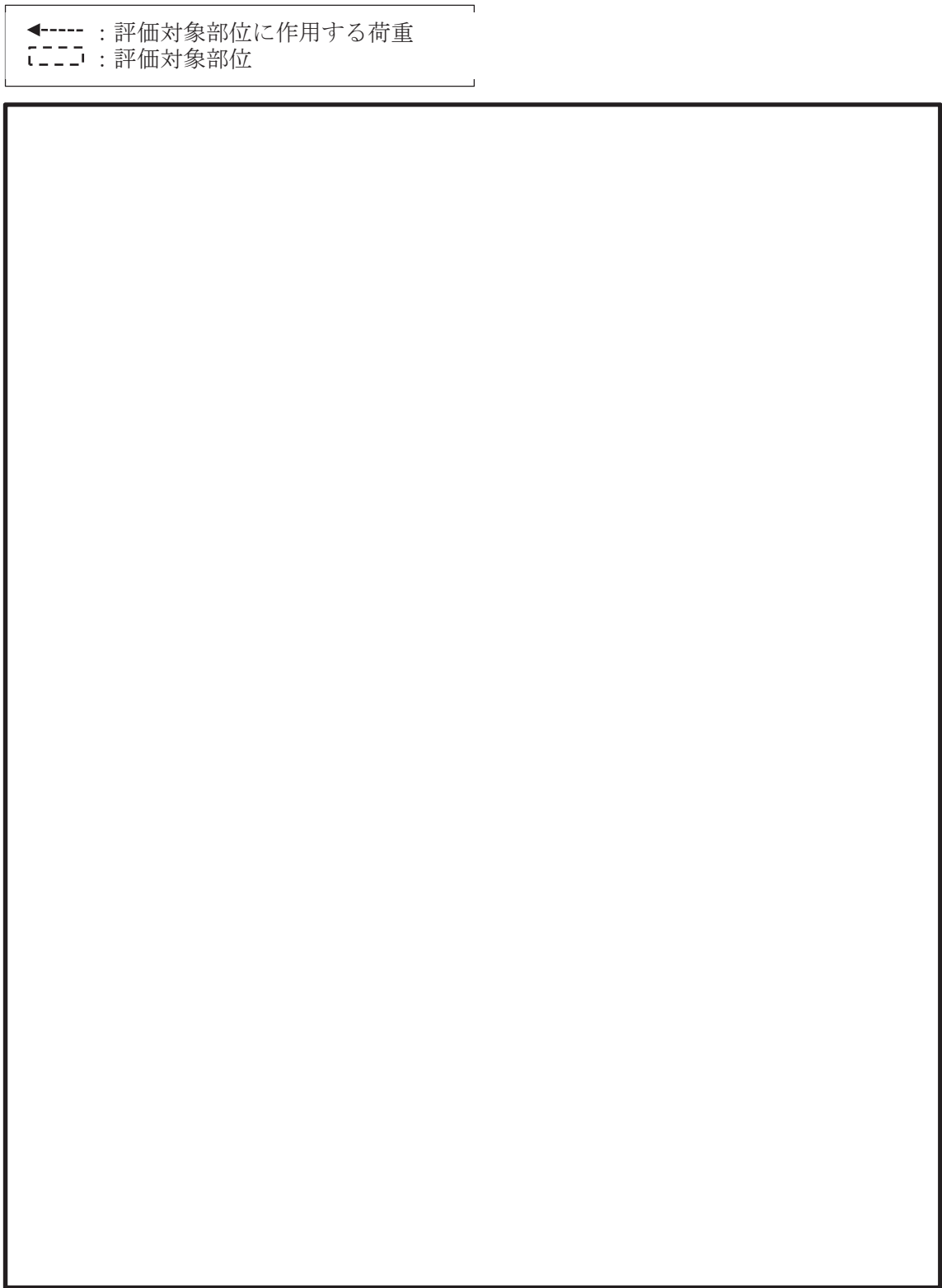


図 3-3 パネル板に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 芯材，方立及びマグサ

芯材，方立及びマグサに生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。

芯材の取付け方向は，水平・鉛直の2方向があるが，両者とも上述の扉下端に作用する最大静水圧荷重に，芯材に作用する荷重の負担幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとし芯材の支持間距離は保守的に扉幅として安全側に評価する。

方立及びマグサに作用する荷重の負担幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとし，方立及びマグサの支持間距離は保守的に扉及びパネルの上端から下幅までの高さ並びに扉及びパネルの幅として安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図3-4に，方立及びマグサに作用する荷重の例を図3-5に示す。

$$M = \frac{w' \cdot L^2}{8}$$

$$Q = \frac{w' \cdot L}{2}$$

ここで，

w' : 芯材，方立又はマグサに作用する等分布荷重(N/mm) [$w' = w_D \cdot b$]

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重(N/mm²)

b : 芯材，方立又はマグサに作用する荷重の負担幅(mm)

M : 芯材，方立又はマグサに生じる最大曲げモーメント(N・mm)

L : 芯材，方立又はマグサの支持間距離(mm)

Q : 芯材，方立又はマグサに生じる最大せん断力(N)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
[-----] : 評価対象部位

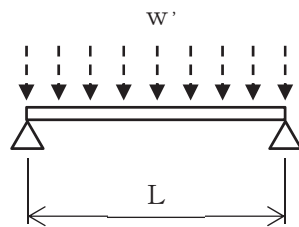
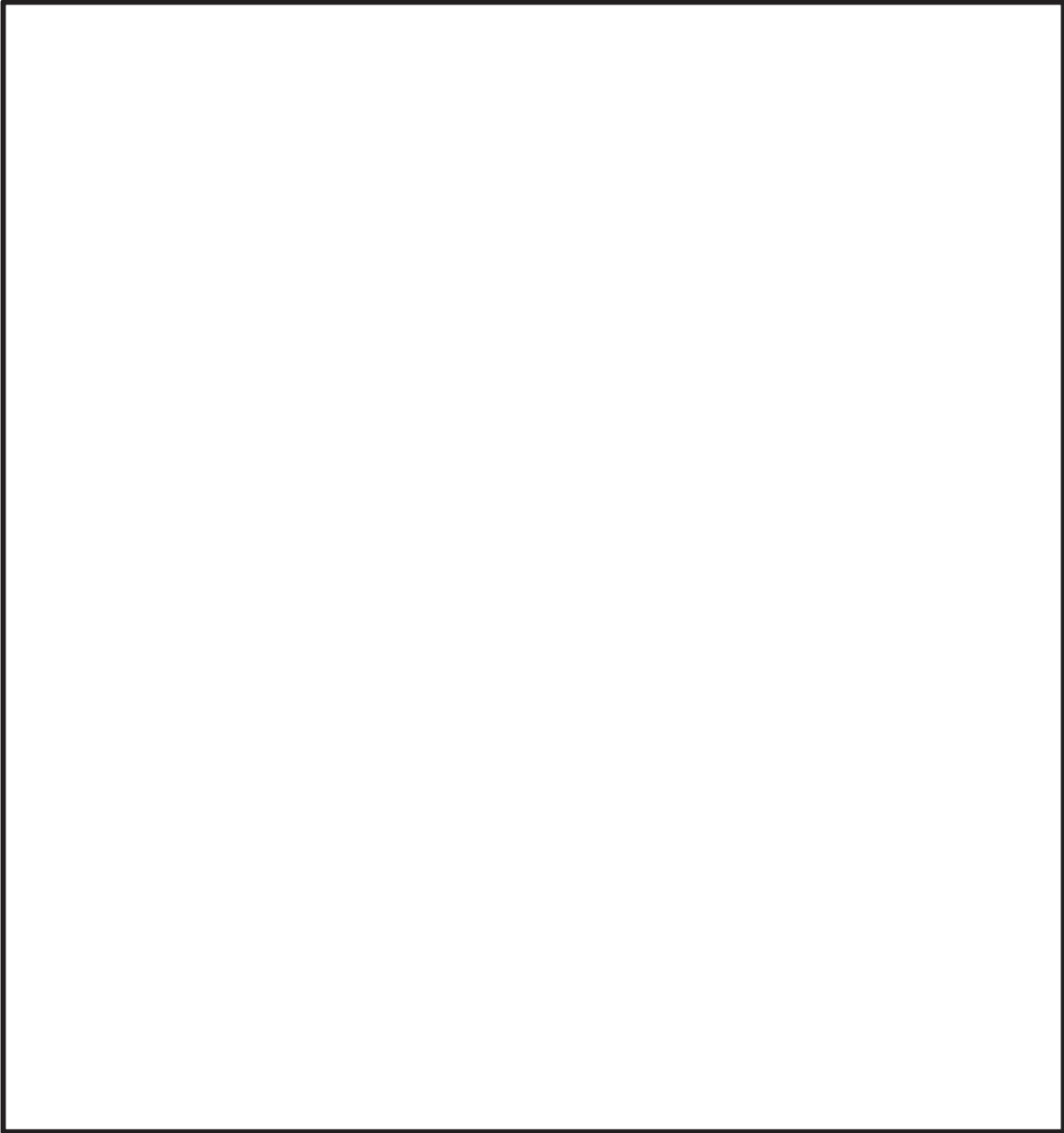


図 3-4 芯材に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

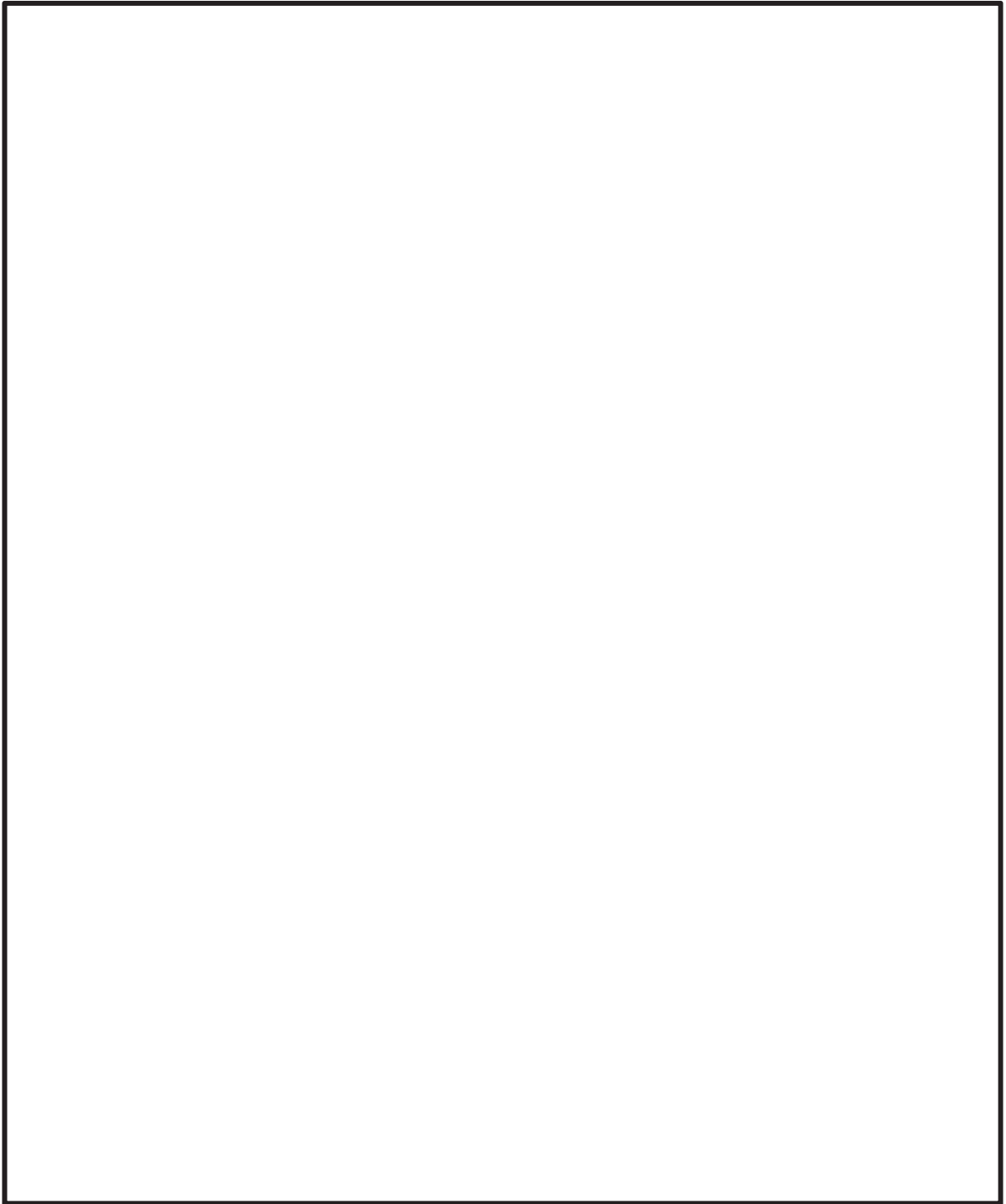


図3-5 方立及びマグサに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、カンヌキ部に生じる応力は次式により算定する。ここで、溢水による静水圧荷重に対する反力は、扉最下部の最大静水圧をカンヌキ部が等分布に負担するものとして算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 3-6 に示す。

$$R_1 = \frac{L_D \cdot H_D \cdot w_D}{n_2}$$

ここで、

R_1 : カンヌキ部に作用する静水圧荷重に対する反力(N)

L_D : 扉の幅又はパネル幅(mm)

H_D : 扉の高さ又はパネル高さ(mm)

w_D : 下端に作用する静水圧荷重(N/mm²)

n_2 : カンヌキの本数

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

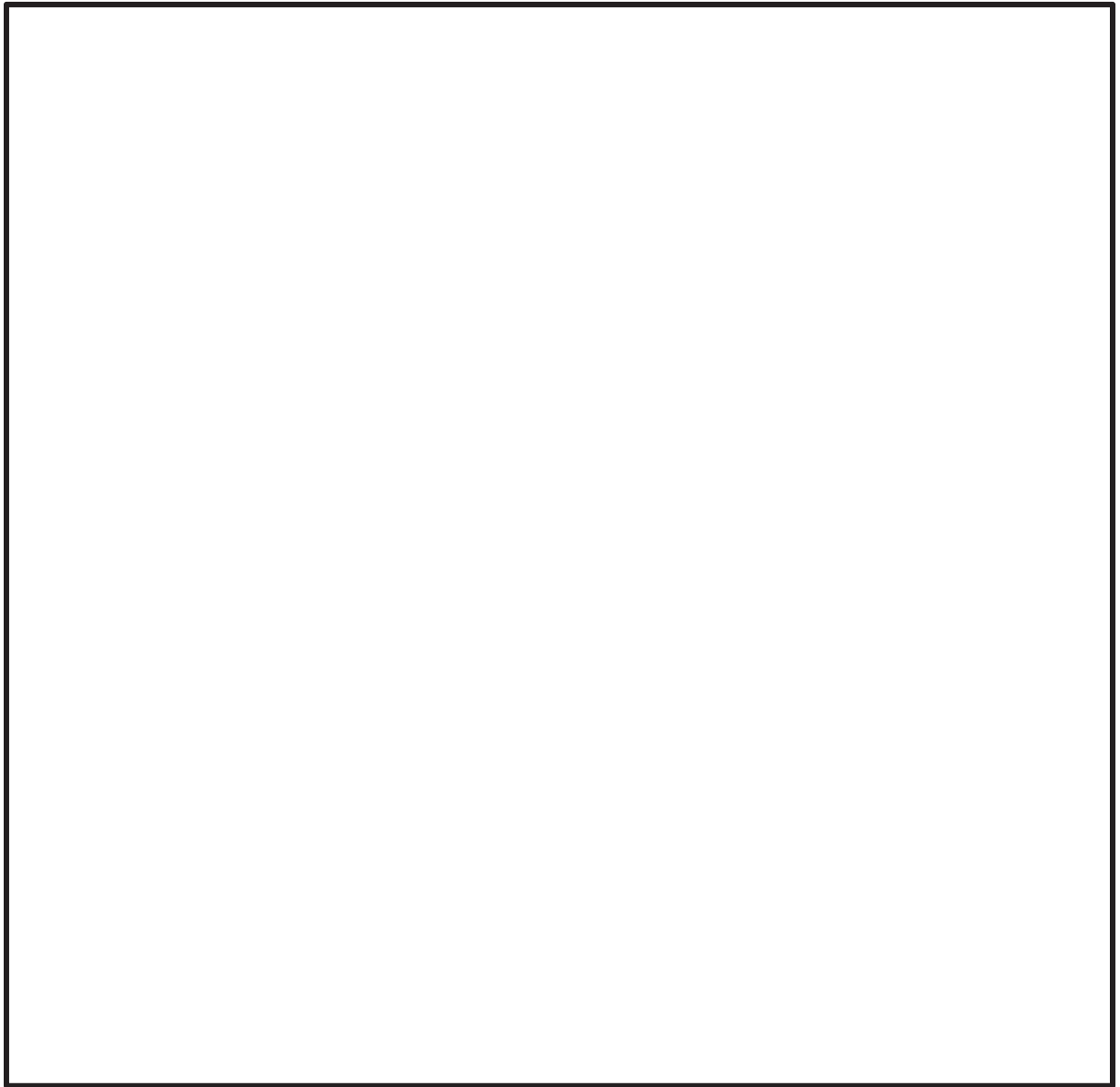


図 3-6 カンヌキ部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキ受けピン中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し、カンヌキの取付部位に応じて生じる応力を考慮する。カンヌキに作用する荷重の例を図 3-7 に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5$$

$$Q = R_1$$

ここで、

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R_1 : カンヌキ部に作用する静水圧荷重に対する反力 (N)

L_5 : カンヌキの突出長さ (mm)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (N)

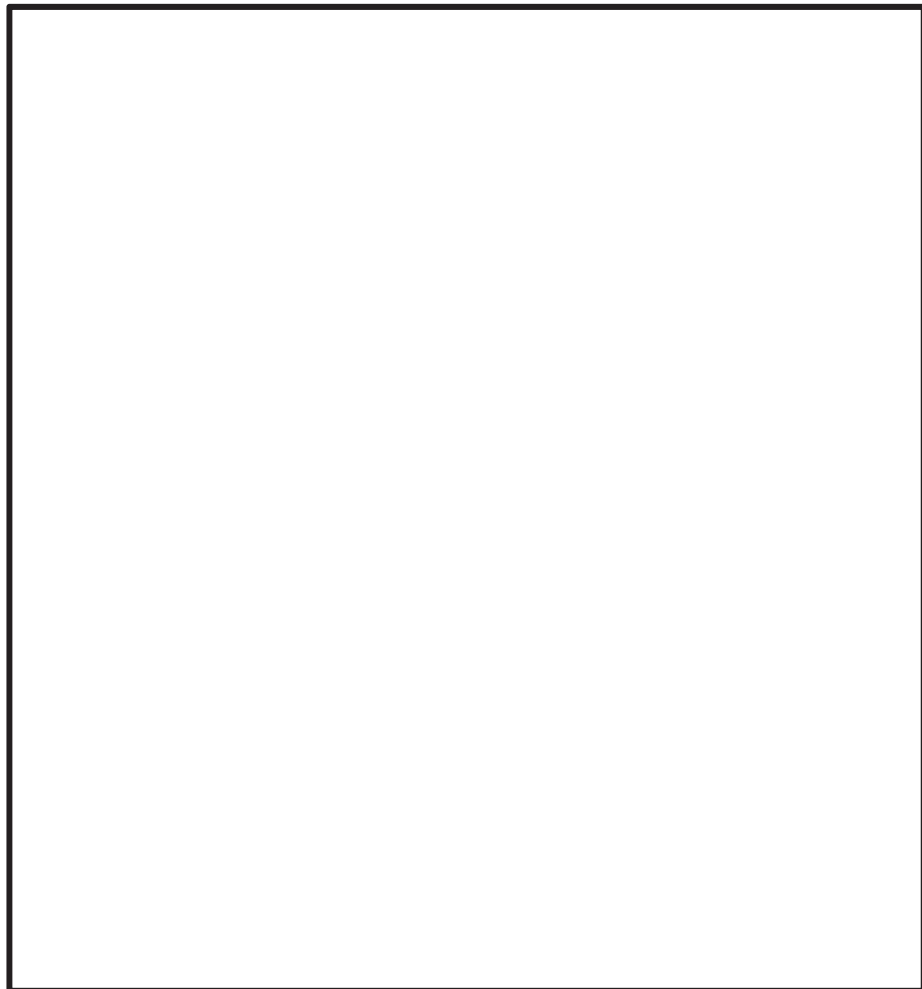


図 3-7 カンヌキに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる応力は、カンヌキ受けピンを集中荷重が作用する単純梁とみなし、次式により算定する。カンヌキ受けピンに作用する荷重の例を図 3-8 に示す。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot \frac{1}{4}$$

$$Q = R_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R₁ : カンヌキ部に作用する静水圧荷重に対する反力 (N)

L_p : カンヌキ受けピンの軸支持間距離 (mm)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)



図 3-8 カンヌキ受けピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- c. カンヌキ受けボルト，扉付固定ボルト，枠付固定ボルト及びパネル取付ボルト
カンヌキ受けボルト，扉付固定ボルト，枠付固定ボルト及びパネル取付ボルトに生じる応力は，次式により算定する。カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例を図3-9に，扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに作用する荷重の例を図3-10に，パネル取付ボルトに作用する荷重の例を図3-11に示す。

$$T = \frac{R_1}{n_b}$$

$$Q = \frac{L_D \cdot H_D \cdot w_D}{n_b}$$

ここで，

- T : ボルトに生じる最大引張力(N)
R₁ : ボルトに作用する静水圧荷重に対する反力(N)
n_b : ボルトの本数
Q : ボルトに生じる最大せん断力(N)
L_D : 扉の幅 (mm)
H_D : 扉の高さ (mm)
w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重(N/mm²)

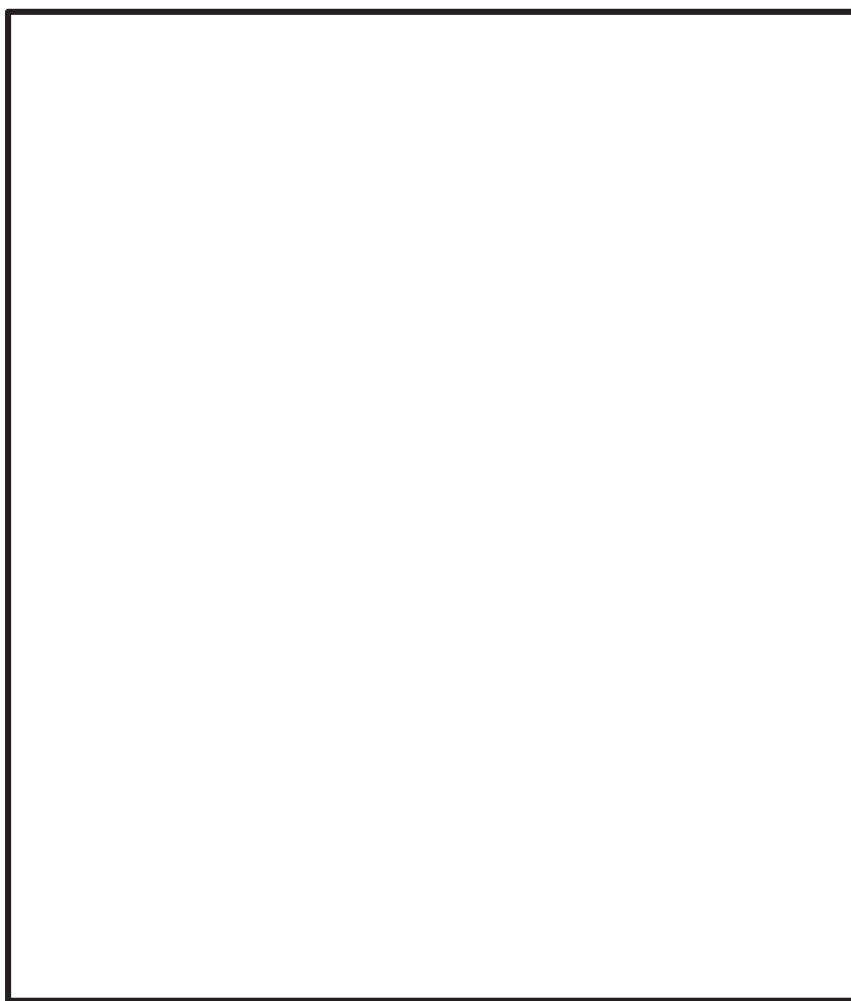


図 3-9 カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

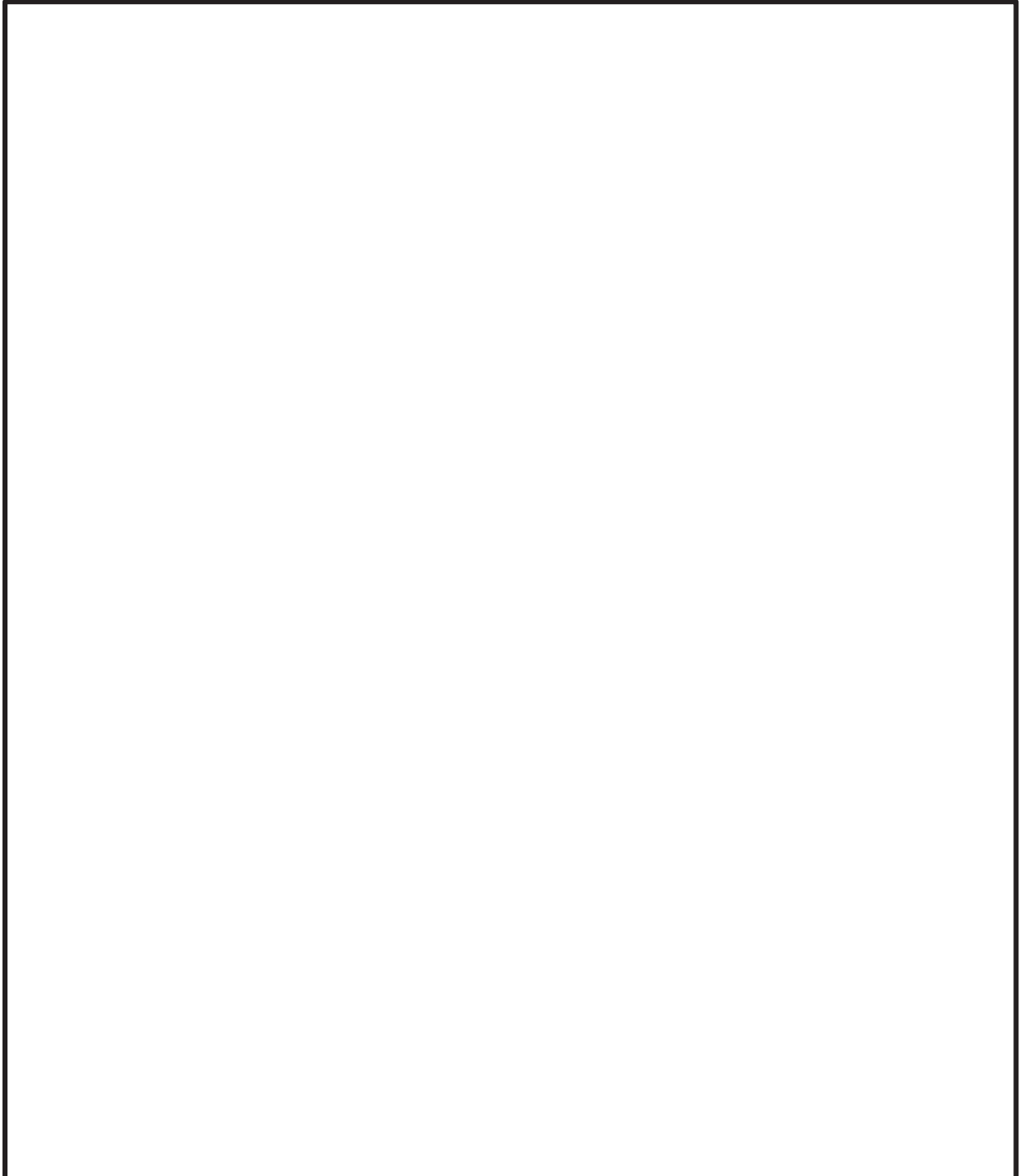


図3-10 扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
[-----] : 評価対象部位



図 3-11 パネル取付ボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、溢水による静水圧荷重を左右もしくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図3-12に示す。

$$R_a = L_{c1} \cdot L_{c2} \cdot w_D$$

ここで、

R_a : 左右もしくは上下のアンカーボルトに作用する荷重(N)

L_{c1} : 躯体開口部の高さ(mm)

L_{c2} : 躯体開口部の幅(mm)

w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重(N/mm²)

アンカーボルトの方向

(0° 方向配置の場合)

$$Q_d = \frac{R_a}{n_{a1}}$$

(90° 方向配置の場合)

$$T_d = \frac{R_a}{n_{a2}}$$

(0° 方向配置及び90° 方向配置の複合配置の場合)

$$\frac{R_a}{Q_a \cdot n_{a1} + T_a \cdot n_{a2}}$$

(45° 方向配置の場合)

$$Q_d = \frac{R_a}{\sqrt{2} \cdot n_{a3}}$$

$$T_d = \frac{R_a}{\sqrt{2} \cdot n_{a3}}$$

ここで、

T_a : アンカーボルト1本あたりに生じる短期許容引張力(N)

Q_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容せん断力(N)

n_{a1} : 0° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

n_{a2} : 90° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

n_{a3} : 45° 方向 左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

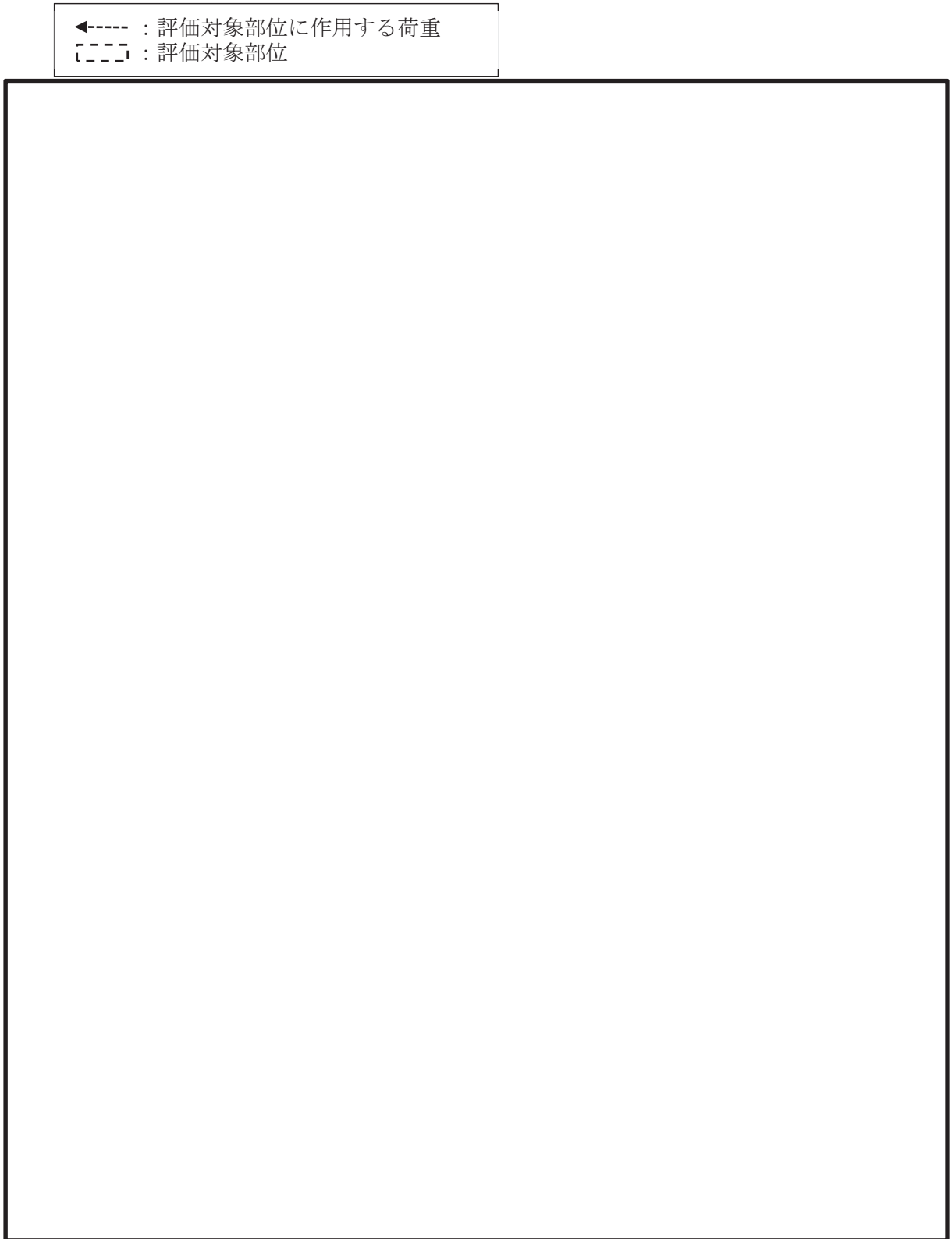


図 3-12 アンカーボルトに作用する荷重の例(1/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

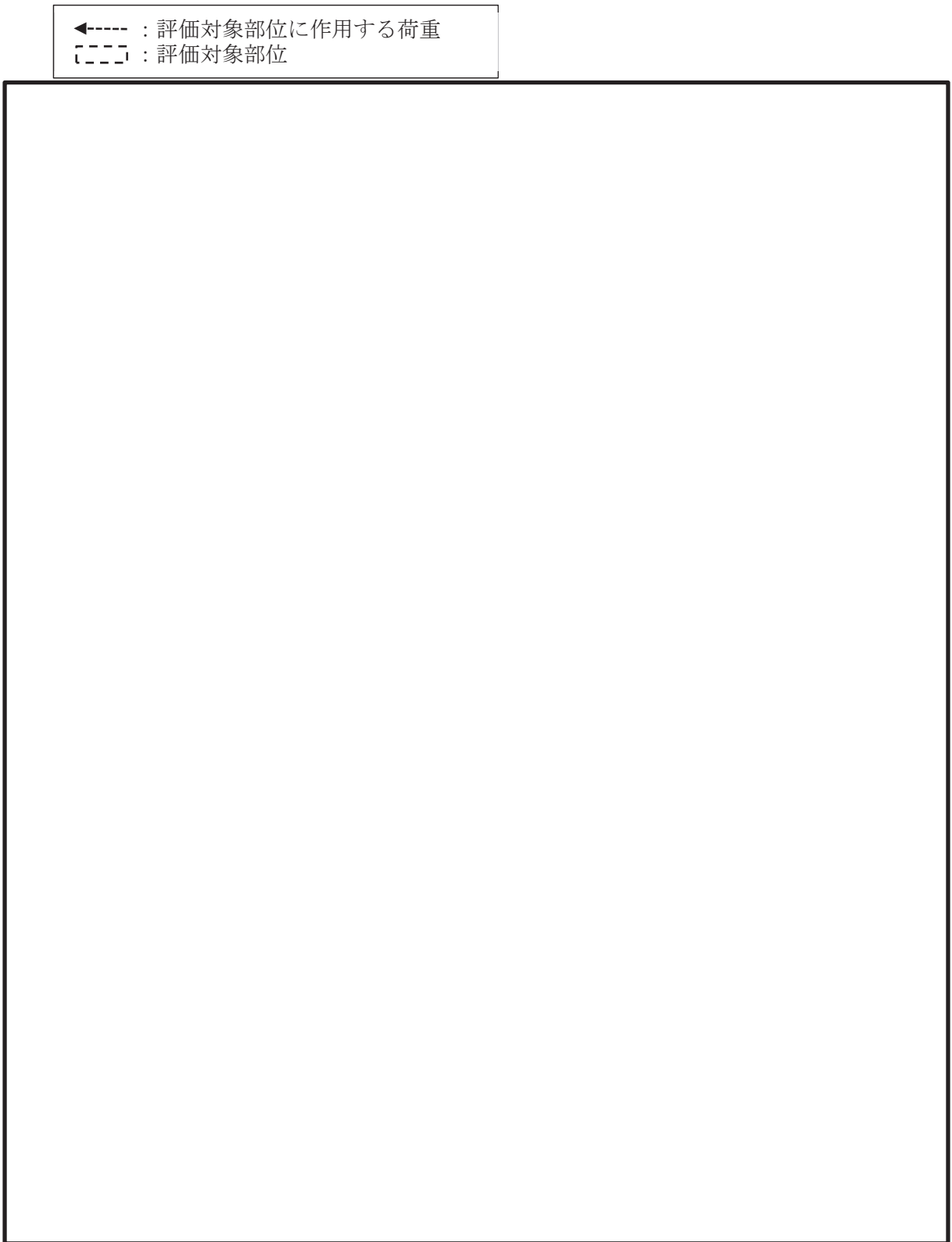


図 3-12 アンカーボルトに作用する荷重の例(2/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

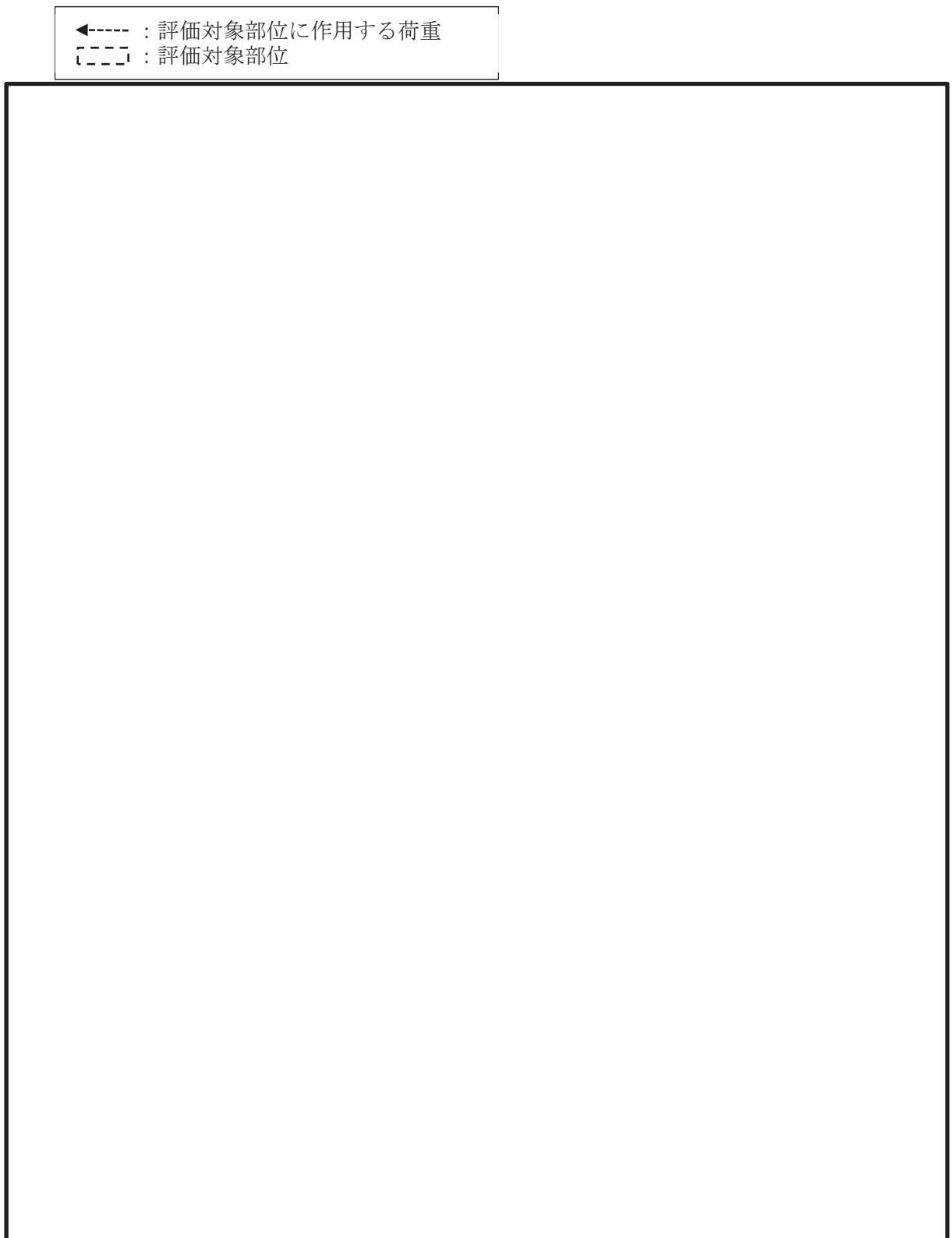


図 3-12 アンカーボルトに作用する荷重の例(3/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.1.4.2 断面検定

評価対象部位に生じる応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界以下であることを確認する。

(1) 扉板及びパネル板

扉板及びパネル板に生じる曲げ応力度を「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき、算定し、扉板及びパネル板の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot \frac{w_D \cdot L_{PL}^2}{t^2}$$

ここで、

- σ : 扉板又はパネル板に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)
- w_D : 扉下端に作用する静水圧荷重 (N/mm²)
- β_1 : 四辺支持長方形板の応力係数
- L_{PL} : 扉板又はパネル板の短辺長さ (mm)
- t : 扉板又はパネル板の板厚 (mm)

(2) 芯材、方立及びマグサ

芯材、方立及びマグサに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材、方立及びマグサの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

- σ : 芯材、方立又はマグサに生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- M : 芯材、方立又はマグサに生じる最大曲げモーメント (N・mm)
- Z : 芯材、方立又はマグサの断面係数 (mm³)
- τ : 芯材、方立又はマグサに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)
- Q : 芯材、方立又はマグサに生じる最大せん断力 (N)
- A_s : 芯材、方立又はマグサのせん断断面積 (mm²)

(3) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : カンヌキに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : カンヌキに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキ受けピンの断面係数 (mm³)

τ : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキ受けピンのせん断断面積 (mm²)

- c. カンヌキ受けボルト，扉付固定ボルト，枠付固定ボルト及びパネル取付ボルト
カンヌキ受けボルト，扉付固定ボルト，枠付固定ボルト及びパネル取付ボルトに
生じる引張応力度又はせん断応力度を次式により算定し，カンヌキ受けボルト，扉
付固定ボルト，枠付固定ボルト及びパネル取付ボルトの短期許容応力度を下回る
ことを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで，

σ_t : ボルトに生じる最大引張応力度(N/mm²)

T : ボルトに生じる最大引張力(N)

A : ボルトの断面積(mm²)

τ : ボルトに生じる最大せん断応力度(N/mm²)

Q : ボルトに生じる最大せん断力(N)

A_s : ボルトのせん断断面積(mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト1本あたりに生じる引張力又はせん断力を「日本建築学会 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。

(0° 方向配置の場合)

$$\frac{Q_d}{Q_a} \leq 1.0$$

(90° 方向配置の場合)

$$\frac{T_d}{T_a} \leq 1.0$$

(0° 方向配置及び90° 方向配置の複合配置の場合)

$$\frac{R_a}{Q_a \cdot n_{a1} + T_a \cdot n_{a2}}$$

(45° 方向配置の場合)

$$(T_d / T_a)^2 + (Q_d / Q_a)^2 \leq 1.0$$

ここで、

R_a : 左右もしくは上下のアンカーボルトに作用する荷重(N)

T_d : アンカーボルト1本あたりに生じる引張力(N)

T_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容引張力(N)

Q_d : アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

Q_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容せん断力(N)

n_{a1} : 0° 方向左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

n_{a2} : 90° 方向左右もしくは上下のアンカーボルトの本数

3.1.5 評価条件

「3.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-5に示す。

表3-5 強度評価に用いる評価条件(1/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				3	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	5700	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	w _D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重	0.06	
	L _{PL}	mm	扉板の短辺長さ	695	
	t	mm	扉板の板厚	16	
	β_1	—	応力係数	0.5	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	38.55	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	642.5	
	L	mm	芯材の支持間距離	1059	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	153000	
	A _s	mm ²	芯材のせん断面積	1113	
カンヌキ部	共通	L _D	mm	扉の幅	1186
		H _D	mm	扉の高さ	2076
		n ₂	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L ₅	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	108
		τ	N/mm ²	せん断応力度	14
	カンヌキ 受けピン	L _p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	251
		τ	N/mm ²	せん断応力度	27
	カンヌキ 受けボルト	n _b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	118

表 3-5 強度評価に用いる計算条件(2/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				3
アンカーボルト	L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2000
	L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1000
	n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	12
	n_{a3}	本	45° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	Q_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	25826
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
	T_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	28852
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—

表 3-5 強度評価に用いる評価条件(3/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				7	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	3900	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重	0.04	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	673	
	t	mm	扉板の板厚	9	
	β_1	—	応力係数	0.8	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	70.6	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	1765	
	L	mm	芯材の支持間距離	3060	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	472000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1408	
カンヌキ部	共通	L_D	mm	扉の幅	—
		H_D	mm	扉の高さ	—
		n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
σ_t		N/mm ²	引張応力度	—	
扉固定部	扉付固定 ボルト	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	14
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	50
	枠付固定 ボルト	A_s	mm ²	枠付固定ボルトのせん断断面積	157
		τ	N/mm ²	せん断応力度	50

表 3-5 強度評価に用いる計算条件(4/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				7
アンカーボルト	L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	3470
	L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	3000
	n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	n_{a3}	本	45° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	42
	Q_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	19172
	T_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	37194

表 3-5 強度評価に用いる評価条件 (5/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				10	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	1900	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重	0.02	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	673	
	t	mm	扉板の板厚	9	
	β_1	—	応力係数	0.8	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	30.6	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	1530	
	L	mm	芯材の支持間距離	3530	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	326200	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	2670	
カンヌキ部	共通	L_D	mm	扉の幅	—
		H_D	mm	扉の高さ	—
		n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
σ_t		N/mm ²	引張応力度	—	
扉固定部	扉付固定 ボルト	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	14
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	50
	枠付固定 ボルト	A_s	mm ²	枠付固定ボルトのせん断断面積	157
		τ	N/mm ²	せん断応力度	50

表 3-5 強度評価に用いる計算条件 (6/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				10
アンカーボルト	L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	3470
	L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	3000
	n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	n_{a3}	本	45° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	42
	Q_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	19172
	T_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	37194

表 3-5 強度評価に用いる評価条件(7/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				24	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	5600	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重	0.05	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	1235	
	t	mm	扉板の板厚	32	
	β_1	—	応力係数	0.6	
カンヌキ部	共通	L_D	mm	扉の幅	—
		H_D	mm	扉の高さ	—
		n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
	アンカーボルト	L_{C1}	mm	躯体開口部の高さ	2380
L_{C2}		mm	躯体開口部の幅	1490	
n_{a1}		本	0° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	20	
n_{a2}		本	90° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	—	
R_a		N	アンカーボルトに作用する荷重	177300	
T_a		N/本	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力	26104	
Q_a		N/本	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	18433	

表 3-5 強度評価に用いる評価条件 (8/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				29	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	3000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	w _D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重	0.03	
	L _{PL}	mm	扉板の短辺長さ	885	
	t	mm	扉板の板厚	12	
	β_1	—	応力係数	0.5	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	25.28	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	842.5	
	L	mm	芯材の支持間距離	1360	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	153000	
	A _s	mm ²	芯材のせん断断面積	1113	
カンヌキ部	共通	L _D	mm	扉の幅	1360
		H _D	mm	扉の高さ	2460
		n ₂	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L ₅	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	141
		τ	N/mm ²	せん断応力度	13
	カンヌキ 受けピン	L _p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	62
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	147
		τ	N/mm ²	せん断応力度	18
	カンヌキ 受けボルト	n _b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	52

表 3-5 強度評価に用いる計算条件 (9/9)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				29
アンカーボルト	L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2400
	L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1300
	n_{a1}	本	0° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	n_{a2}	本	90° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
	n_{a3}	本	45° 方向 左右もしくは上下の アンカーボルト本数	16
	Q_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	12824
	T_a	N/本	0° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			90° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
			45° 方向 アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	38098

3.1.6 評価結果

水密扉の強度評価結果を表3-6に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生値は許容限界を下回ることから、水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表3-6 水密扉の強度評価結果(1/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界	備考
3	扉板		57	235	0.25	曲げ
	芯材*1		36	235	0.16	曲げ
	カンヌキ部	カンヌキ*2	111	205	0.55	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	251	345	0.73	曲げ
		カンヌキ受けボルト	118	728	0.17	引張
	アンカーボルト*3		10000	28852	0.35	引張
7	扉板		179	235	0.77	曲げ
	芯材*1		176	315	0.56	曲げ
	カンヌキ部	カンヌキ*2	—	—	—	—
		カンヌキ受けピン*1	—	—	—	—
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	扉固定部	扉付固定ボルト	50	728	0.07	引張
		枠付固定ボルト	50	420	0.12	せん断
アンカーボルト*3		—	—	0.02	組合せ	
10	扉板		90	235	0.39	曲げ
	芯材*1		147	235	0.63	曲げ
	カンヌキ部	カンヌキ*2	—	—	—	—
		カンヌキ受けピン*1	—	—	—	—
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	扉固定部	扉付固定ボルト	50	728	0.07	引張
		枠付固定ボルト	50	420	0.12	せん断
アンカーボルト*3		—	—	0.02	組合せ	

注記*1：曲げ及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

*2：曲げ、せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

*3：引張、せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-6 水密扉の強度評価結果 (2/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界	備考
24	扉板		45	235	0.20	曲げ
	カンヌキ部	カンヌキ* ²	—	—	—	—
		カンヌキ受けピン* ¹	—	—	—	—
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト* ³		8865	18433	0.49	せん断
29	扉板		82	235	0.35	曲げ
	芯材* ¹		39	235	0.17	曲げ
	カンヌキ部	カンヌキ* ²	143	205	0.70	組合せ
		カンヌキ受けピン* ¹	147	345	0.43	曲げ
		カンヌキ受けボルト	52	728	0.08	引張
	アンカーボルト* ³		—	—	0.12	組合せ

注記*1：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*2：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*3：引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

3.2 タイプⅡ

3.2.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

取付金具を躯体に定着することで荷重を躯体に伝達する構造の水密扉であるため、水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重は、扉板から芯材に伝わり、壁と一体化した取付金具を介して開口部周辺の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材となる。

水密扉を開く方向に内部から生じる静水圧荷重は、扉板から芯材に伝わり、カンヌキ部及びヒンジに伝達され、取付金具及び固定リングを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位は、扉板、芯材、カンヌキ部、ヒンジ、取付金具及び固定リングとする。

また、タイプⅡの水密扉はNo. 38, No. 39であり、同様の構造であることを踏まえ、代表として水密扉No. 38にて評価を行う。

水密扉に作用する荷重の作用図を図3-13に示す。

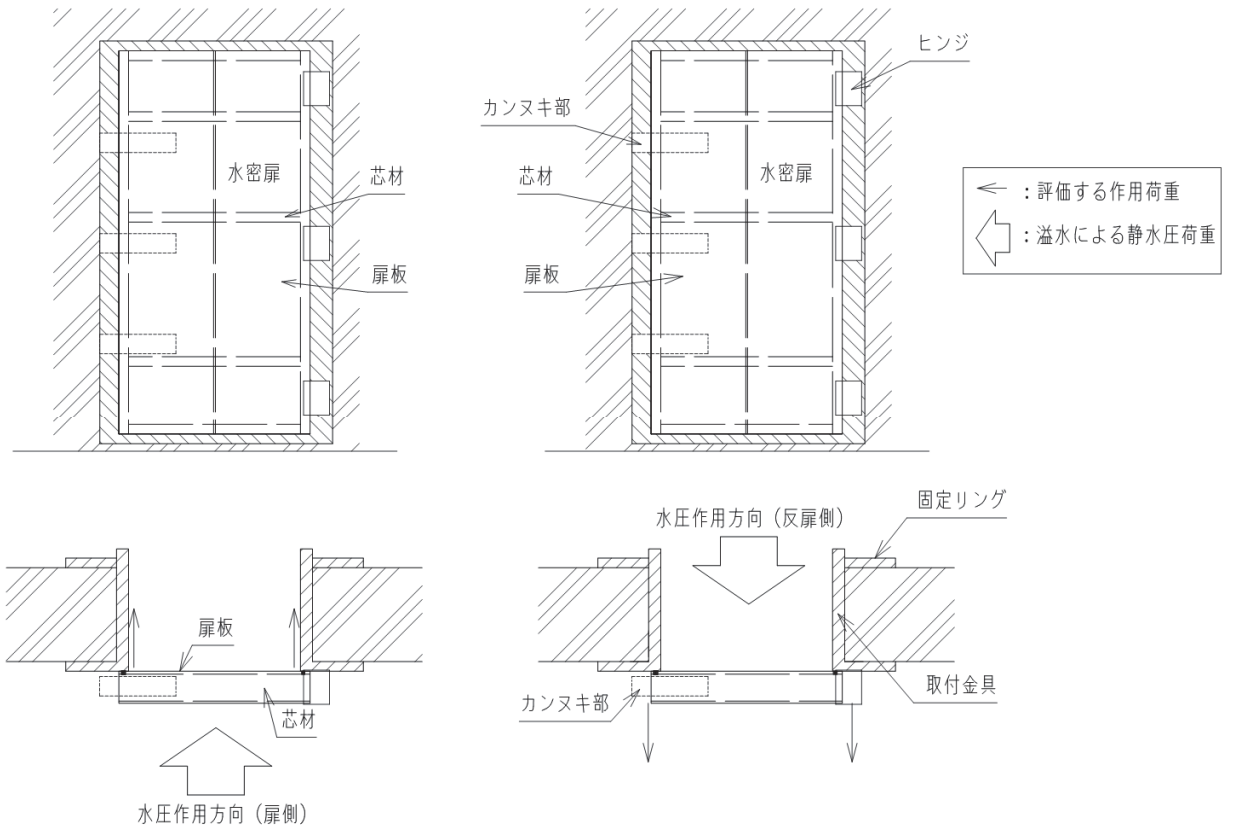


図 3-13 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉 No. 38, No. 39)

3.2.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 溢水による静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は、対象とする液体の密度に当該部分の水圧作用高さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

3.2.2.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

P_h

ここで、

P_h : 溢水による静水圧荷重 (kN/m²)

3.2.3 許容限界

許容限界は、「3.2.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.2.3.1 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材、カンヌキ部、ヒンジ、取付金具及び固定リングの使用材料を表3-7に示す。

表 3-7 使用材料

部位		材質	仕様 (mm)
扉板		SS400	PL-6
芯材	横リブ	SS400	C-100×50
	縦リブ	SS400	C-100×50
		SS400	FB-100×9
カンヌキ部	カンヌキ	S45C	40×36
	カンヌキ受け	SS400	95×15
	カンヌキ受けボルト	SCM435	M16
ヒンジ	ヒンジピン	SUS304	φ 30
	ヒンジ受け	SS400	100×40
	ヒンジ受けボルト (扉側)	SCM435	M12
	ヒンジ受けボルト (躯体側)	SCM435	M16
取付金具		SS400	PL-9
固定リング		SS400	PL-19

3.2.3.2 許容限界

(1) 扉板, 芯材, カンヌキ部, ヒンジ, 取付金具及び固定リング

扉板, 芯材, カンヌキ部, ヒンジ, 取付金具及び固定リングの鋼材の許容限界は, 「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力を踏まえて表3-8の値とする。

表 3-8 扉板, 芯材, カンヌキ部, ヒンジ, 取付金具及び固定リングの許容限界

材料	「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力*1 *2		
	引張, 曲げ	せん断	組合せ
SS400 (t ≤ 40)	234	135	234
SS400 (溶接部)	105	60	105
S45C	483	277	483
SUS304	204	117	204

注記*1: 温度条件は, 周囲環境温度である 40℃とする。

*2: SS400 (溶接部)の許容応力は, 非破壊試験 (放射線透過試験, 超音波探傷試験, 磁粉探傷試験又は浸透探傷試験) を行っていない箇所を対象とする。

(2) ボルト

ボルト材の許容限界は, 「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力を踏まえて表3-9の値とする。

表 3-9 ボルトの許容限界

材料	「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力*		
	引張	せん断	組合せ
SCM435	487	375	—

注記*: 温度条件は, 周囲環境温度である 40℃とする。

3.2.4 評価方法

水密扉の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.2.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、等分布荷重を受ける四辺支持板として算定する。

この時、実際に作用する静水圧は台形分布もしくは、三角形分布であるが、扉最下部の最大静水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。扉板に生じる荷重の例を図3-14に示す。

$$w = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

w : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

ρ_0 : 液体の密度(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 扉の水圧作用高さ(mm)

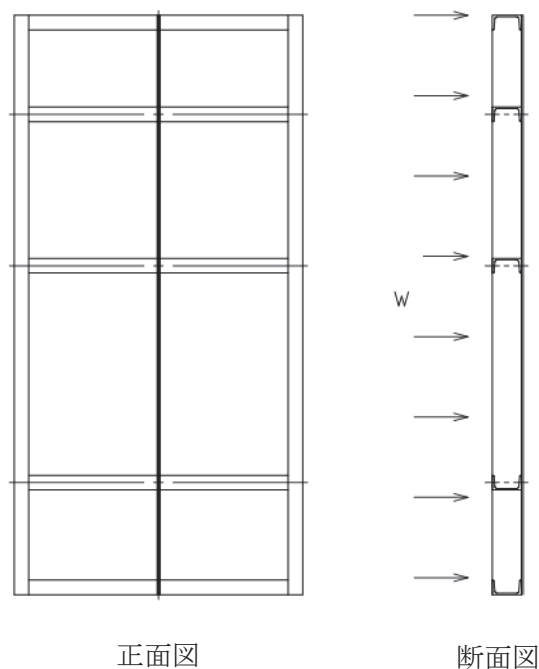


図3-14 扉板に生じる荷重の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。なお、芯材の取付け方向は、水平・鉛直の2方向があるが、両者とも上述の扉最下部の最大静水圧に、芯材の支配幅(=間隔)を乗じた荷重が等分布に作用するものとして安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図3-15及び図3-16に示す。

$$M = w' \cdot (L_L \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q = w' \cdot L_L \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで、 $w' = w \cdot b_L \cdot 10^{-3}$

- w' : 芯材に作用する等分布荷重(kN/m)
- M : 芯材に生じる最大曲げモーメント(kN・m)
- Q : 芯材に生じる最大せん断力(kN)
- L_{L1} : 芯材の支持長さ(横リブ)(mm)
- L_{L2} : 芯材の支持長さ(縦リブ)(mm)
- w : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)
- b_{L1} : 芯材に作用する荷重の負担幅(横リブ)(mm)
- b_{L2} : 芯材に作用する荷重の負担幅(縦リブ)(mm)

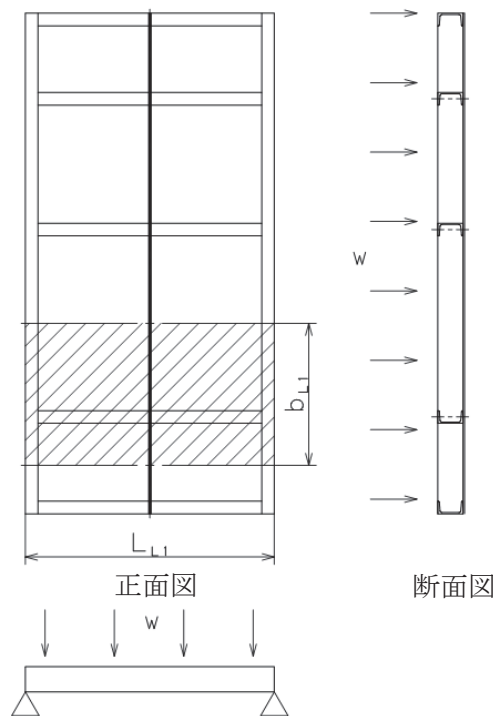


図3-15 芯材(横リブ)に生じる荷重の例

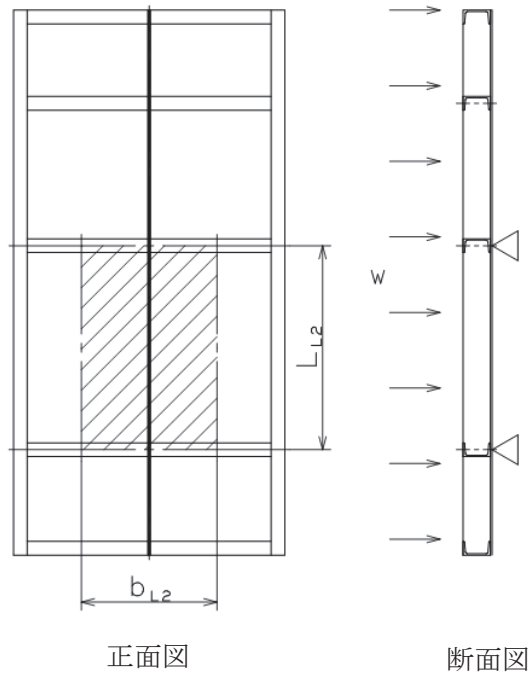


図 3-16 芯材(縦リブ)に生じる荷重の例

(3) カンヌキ部及びヒンジ

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受け及びカンヌキ受けボルトで構成しており、また、ヒンジはヒンジ受け、ヒンジピン及びヒンジ受けボルトで構成している。カンヌキ部及びヒンジに生じる荷重 R_p は、次式により算定する扉に作用する全静水圧を集中荷重に置換した設計水圧荷重 P_0 により算定し、各構成部材に発生する応力を算定する。カンヌキ部及びヒンジに生じる荷重の例を図3-17に示す。

$$R_p = P_0 / n_2$$

$$P_0 = w \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$$

ここで、 $w = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$

R_p : カンヌキ部及びヒンジに作用する荷重(kN)

P_0 : 設計水圧荷重(kN)

n_2 : カンヌキ部及びヒンジの個数(個)

w : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

ρ_0 : 液体の密度(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 扉の水圧作用高さ(mm)

L_1 : 扉高さ(mm)

L_2 : 扉幅(mm)

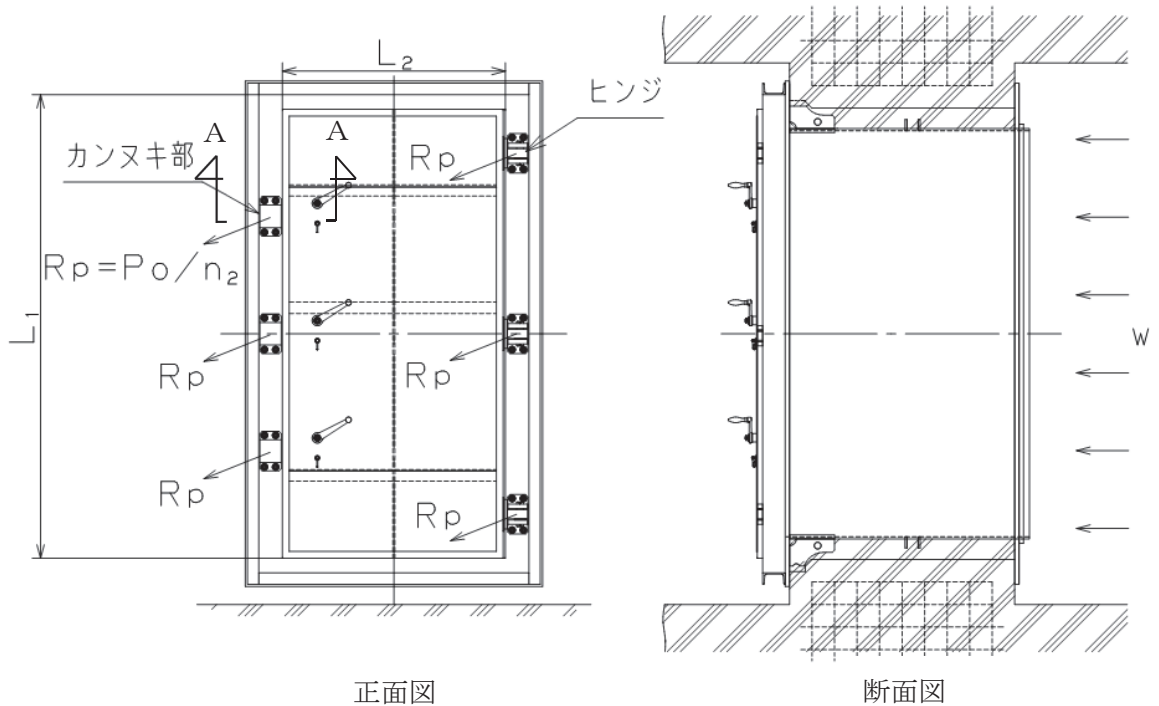


図3-17 カンヌキ部及びヒンジに生じる荷重の例

a. カンヌキ部
 (a) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキの接触面中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに生じる荷重の例を図3-18に示す。

$$M = R_p \cdot L_{K1} \cdot 10^{-3}$$

$$Q = R_p$$

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (kN)

R_p : カンヌキに作用する荷重 (kN)

L_{K1} : カンヌキの突出長さ (mm)

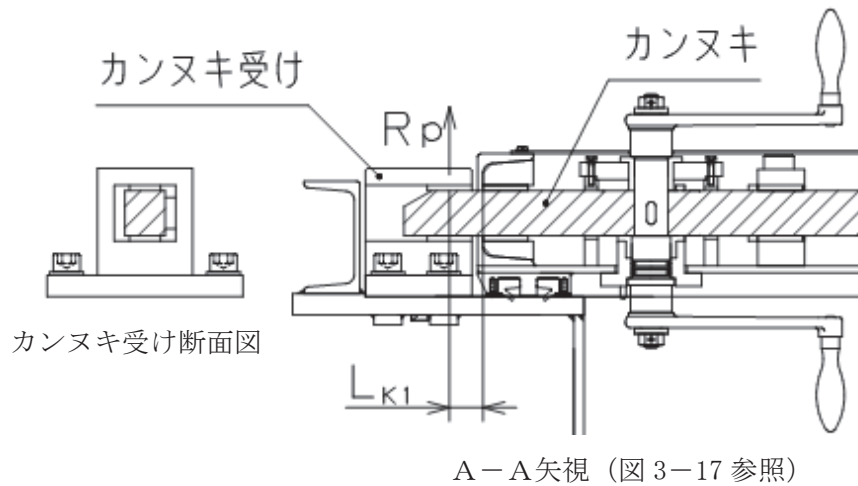


図3-18 カンヌキに生じる荷重の例

(b) カンヌキ受け

カンヌキ受けに生じる応力は、カンヌキ受けに集中荷重が作用する両端支持梁とみなし、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキの形状に応じてカンヌキ受けに作用する応力を考慮する。カンヌキ受けに生じる荷重の例を図 3-19 に示す。

$$M = R_p \cdot L_{K2} \cdot 10^{-3} / 4$$

$$Q = R_p / 2$$

M : カンヌキ受けに生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Q : カンヌキ受けに生じる最大せん断力 (kN)

R_p : カンヌキ受けに作用する荷重 (kN)

L_{K2} : カンヌキ受けの支持長さ (mm)

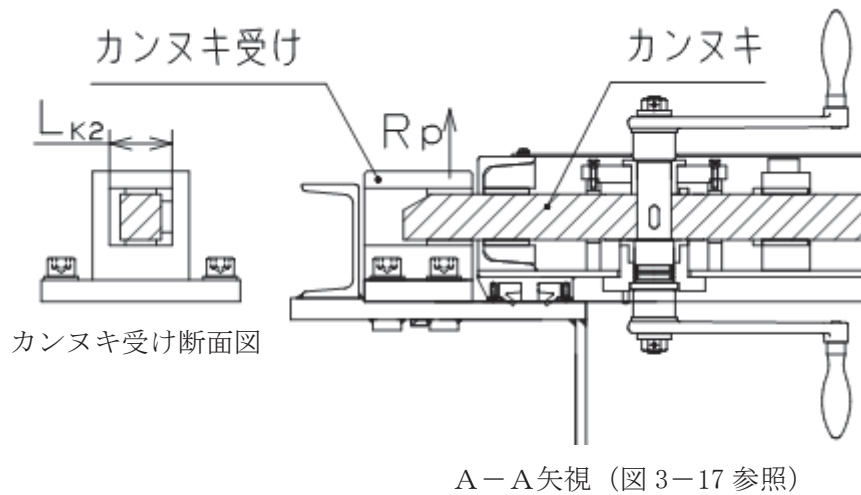


図 3-19 カンヌキ受けに生じる荷重の例

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる応力の例を図3-20に示す。

$$T = R_p / n_b$$

T : カンヌキ受けボルトに作用する引張力(kN)

R_p : カンヌキ受けボルトに作用する荷重(kN)

n_b : カンヌキ受けボルトの本数(本)

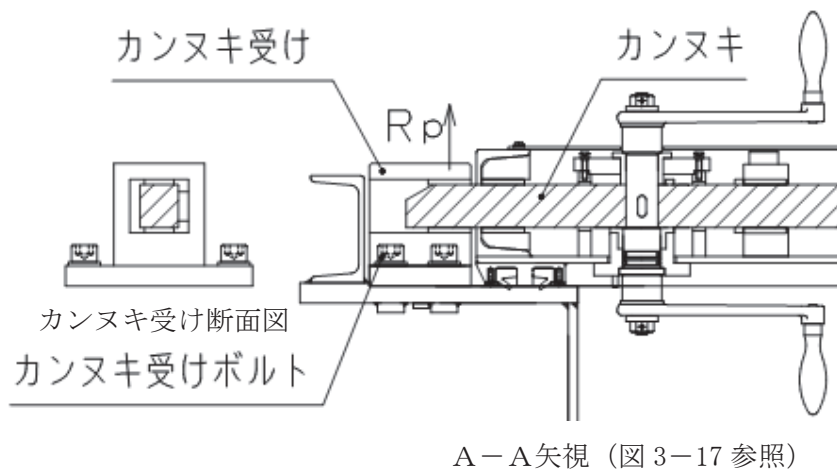


図3-20 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(d) カンヌキ受け溶接部

カンヌキ受け溶接部に生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受け溶接部に作用する荷重の例を図3-21に示す。

$$T = R_p$$

T : カンヌキ受け溶接部に作用する引張力(kN)

R_p : カンヌキ受け溶接部に作用する荷重(kN)

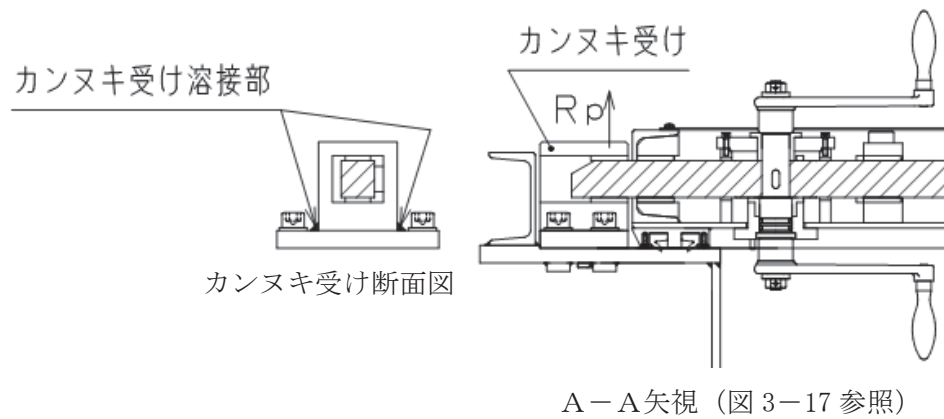


図3-21 カンヌキ受け溶接部に生じる荷重の例

b. ヒンジ

(a) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、ヒンジピンに集中荷重が作用する両端支持梁とみなし、次式により算定する。なお、算定にあたっては、ヒンジ受けの形状に応じてヒンジピンに作用する応力を考慮する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図3-22に示す。

$$M = R_p \cdot L_{H1} \cdot 10^{-3} / 4$$

$$Q = R_p / 2$$

M : ヒンジピンに生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Q : ヒンジピンに生じる最大せん断力 (kN)

R_p : ヒンジピンに作用する荷重 (kN)

L_{H1} : ヒンジピンの支持長さ (mm)

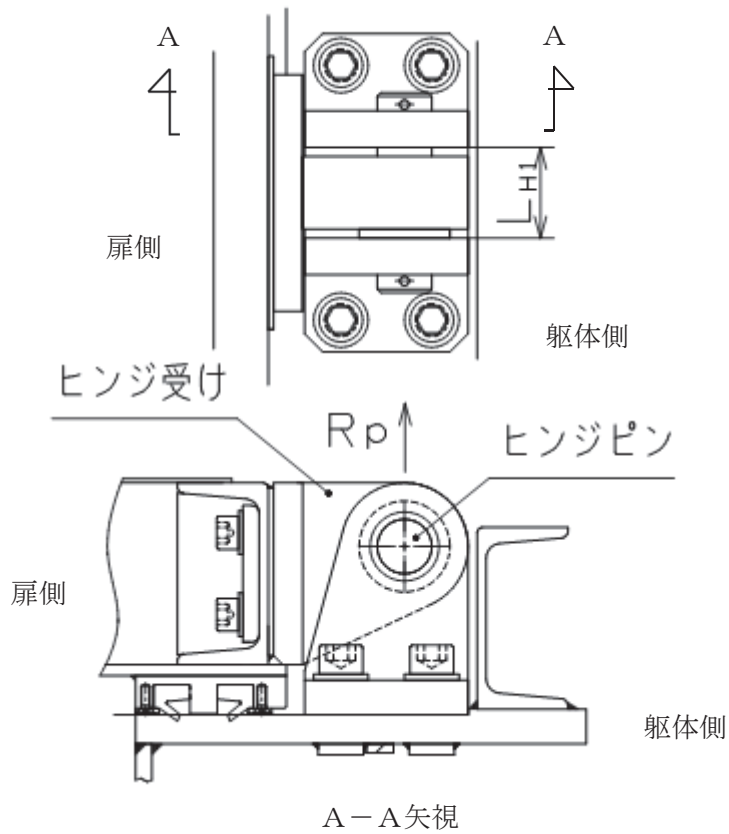


図 3-22 ヒンジピンに生じる荷重の例

(b) ヒンジ受けピン穴部（扉側）

ヒンジ受けピン穴部（扉側）に生じる応力は、ヒンジ受けピン穴部（扉側）に集中荷重が作用する両端支持梁とみなし、次式により算定する。なお、算定にあたっては、ヒンジピンの形状に応じてヒンジ受けピン穴部（扉側）に作用する応力を考慮する。ヒンジ受けピン穴部（扉側）に生じる荷重の例を図 3-23 に示す。

$$M = R_p \cdot L_{H2} \cdot 10^{-3} / 4$$

$$Q = R_p$$

M : ヒンジ受けピン穴部（扉側）に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Q : ヒンジ受けピン穴部（扉側）に生じる最大せん断力 (kN)

R_p : ヒンジ受けピン穴部（扉側）に作用する荷重 (kN)

L_{H2} : ヒンジ受けピン穴部（扉側）支持長さ (mm)

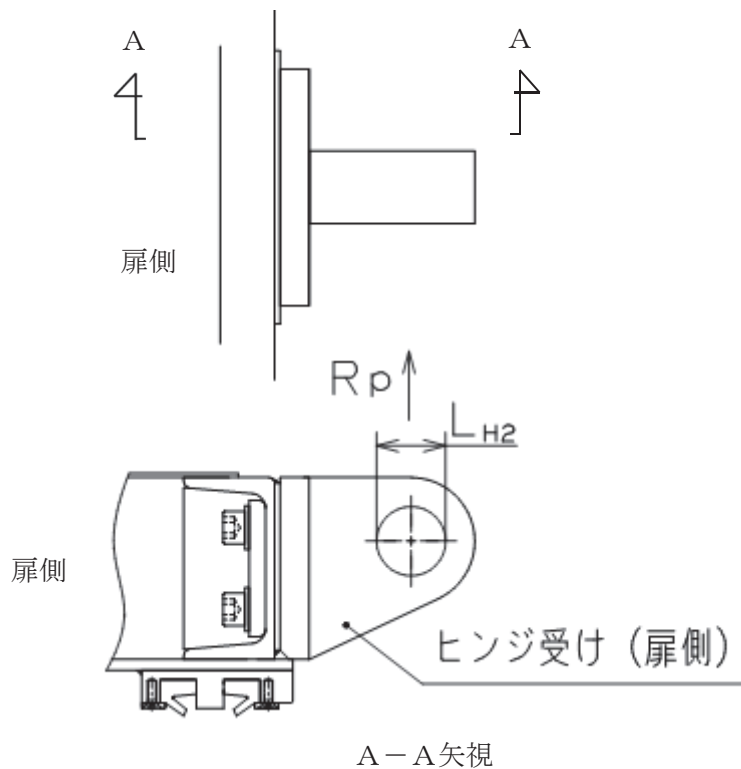


図 3-23 ヒンジ受けピン穴部（扉側）に生じる荷重の例

(c) ヒンジ受けピン穴部（躯体側）

ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に生じる応力は、ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に集中荷重が作用する両端支持梁とみなし、次式により算定する。なお、算定にあたっては、ヒンジピンの形状に応じてヒンジ受けピン穴部（躯体側）に作用する応力を考慮する。ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に生じる荷重の例を図 3-24 に示す。

$$M = R_p / 2 \cdot L_{H3} \cdot 10^{-3} / 4$$

$$Q = R_p / 2$$

M : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Q : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に生じる最大せん断力(kN)

R_p : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に作用する荷重(kN)

L_{H3} : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）支持長さ(mm)

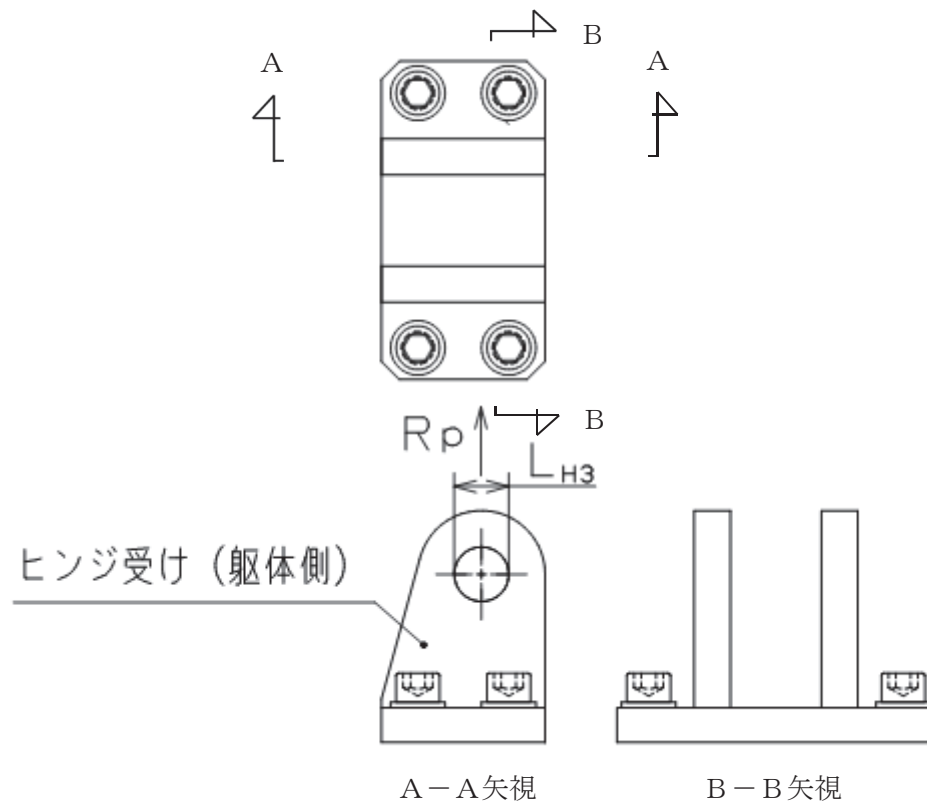


図 3-24 ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に生じる荷重の例

(d) ヒンジ受け溶接部（扉側）

ヒンジ受け溶接部（扉側）に生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、ヒンジ受け中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し、ヒンジ受けの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。ヒンジ受け溶接部（扉側）に生じる荷重の例を図 3-25 に示す。

$$M = R_p \cdot L_{H4} \cdot 10^{-3}$$

$$Q = R_p$$

M : ヒンジ受け溶接部（扉側）に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Q : ヒンジ受け溶接部（扉側）に生じる最大せん断力 (kN)

R_p : ヒンジ受けに作用する荷重 (kN)

L_{H4} : ヒンジ受けの突出長さ (mm)

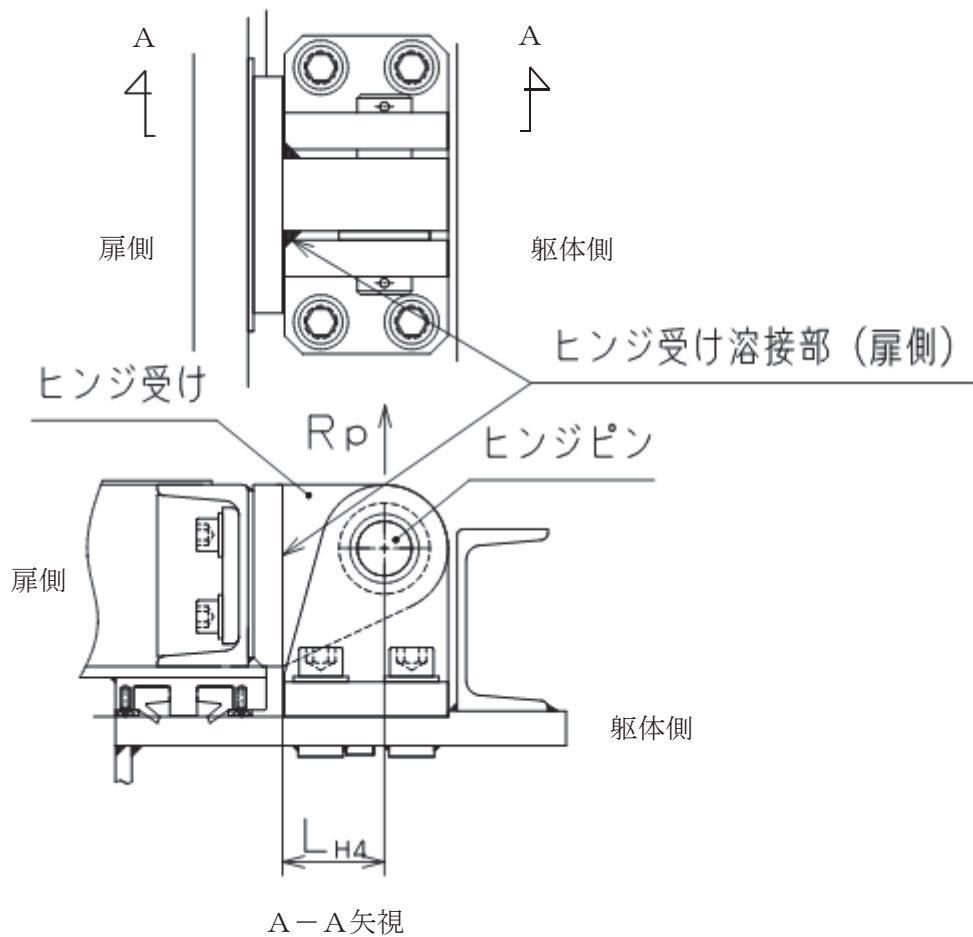


図 3-25 ヒンジ受け溶接部（扉側）に生じる荷重の例

(e) ヒンジ受け溶接部（躯体側）

ヒンジ受け溶接部（躯体側）に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ受け溶接部（躯体側）に生じる荷重の例を図 3-26 に示す。

$$T = R_p$$

T : ヒンジ受け溶接部（躯体側）に作用する引張力(kN)

R_p : ヒンジ受け溶接部（躯体側）に作用する荷重(kN)

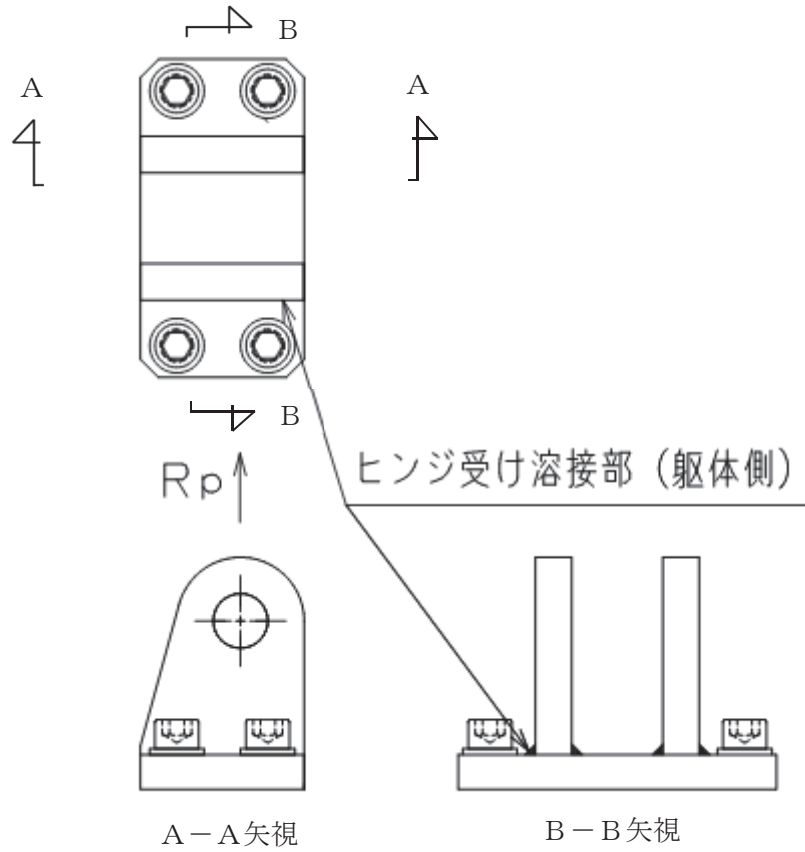


図 3-26 ヒンジ受け溶接部（扉側）に生じる荷重の例

(f) ヒンジ受けボルト（扉側）

ヒンジ受けボルト（扉側）に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ受けボルト（扉側）に生じる荷重の例を図3-27に示す。

$$Q = R_p / n_{bH6}$$

Q : ヒンジ受けボルト（扉側）に作用するせん断力(kN)

R_p : ヒンジ受けボルト（扉側）に作用する荷重(kN)

n_{bH6} : ヒンジ受けボルト（扉側）の本数(本)

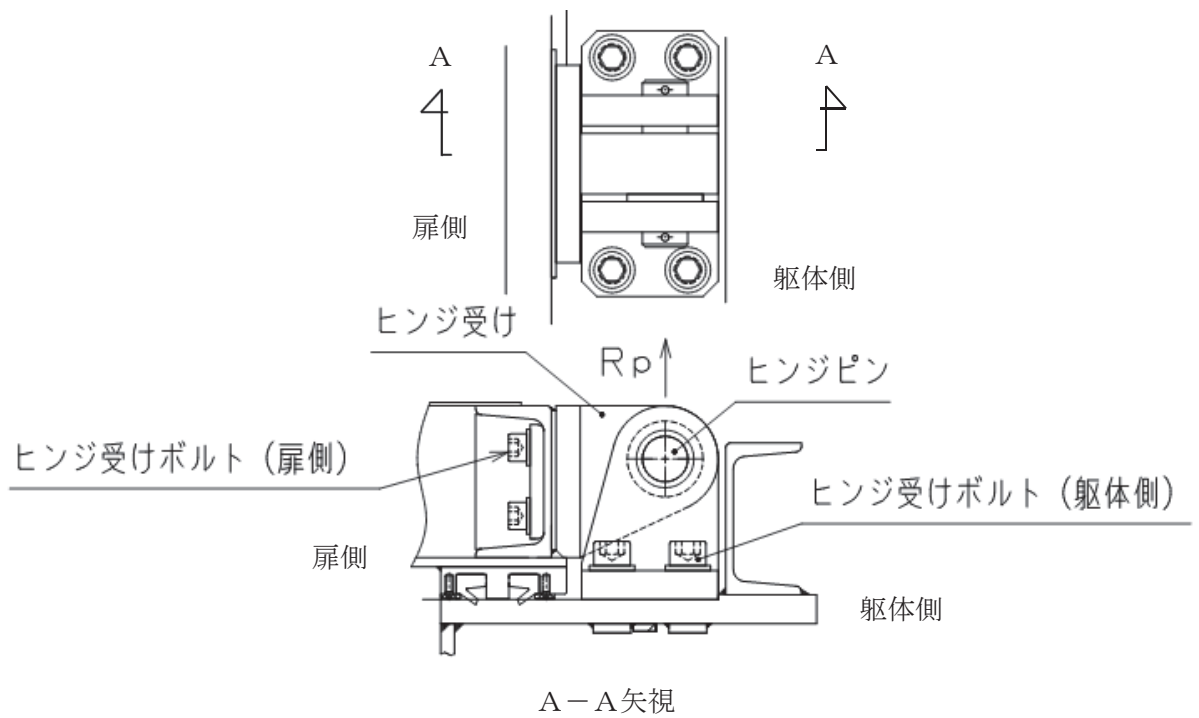


図3-27 ヒンジ受けボルト（扉側）に生じる荷重の例

(g) ヒンジ受けボルト（躯体側）

ヒンジ受けボルト（躯体側）に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ受けボルト（躯体側）に生じる荷重の例を図3-28に示す。

$$T = R_p / n_{bH7}$$

T : ヒンジ受けボルト（躯体側）に作用する引張力(kN)

R_p : ヒンジ受けボルト（躯体側）に作用する荷重(kN)

n_{bH7} : ヒンジ受けボルト（躯体側）の本数(本)

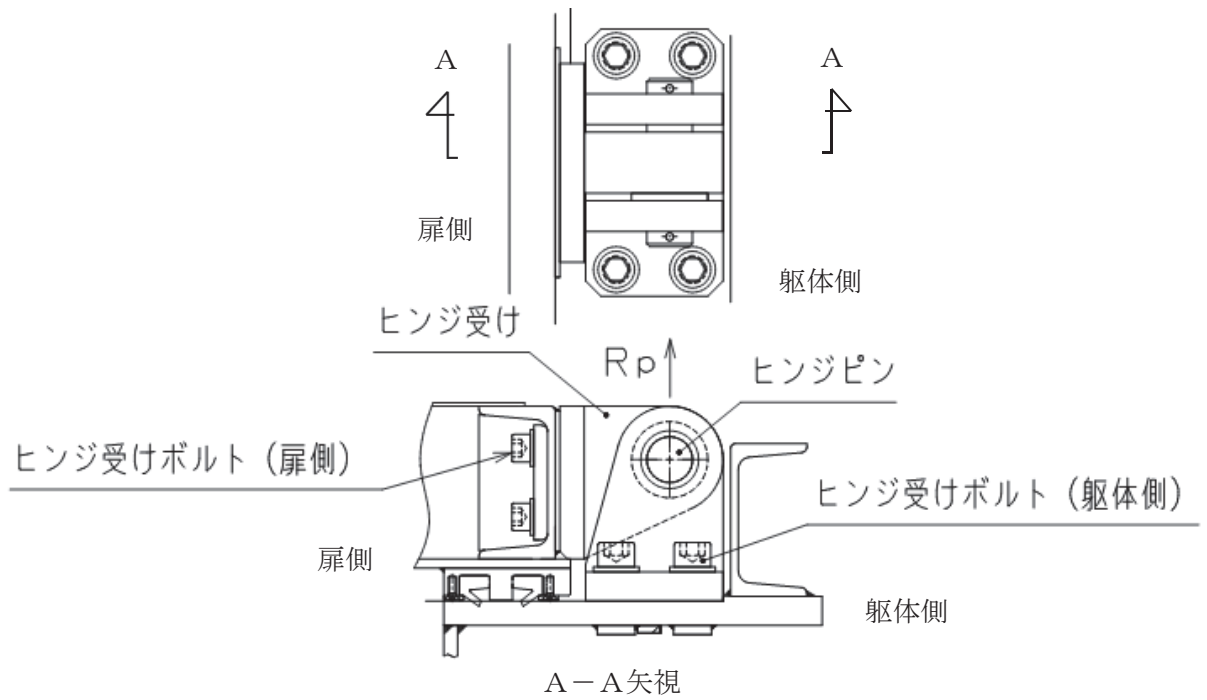


図3-28 ヒンジ受けボルト（躯体側）に生じる荷重の例

(4) 取付金具リブ溶接部

取付金具リブ溶接部に生じる応力は、次式により算定する。取付金具リブ溶接部に作用する荷重の例を図 3-29 に示す。

$$T_1 = P_0 / n_3$$

ここで、 $P_0 = w \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$

T_1 : 取付金具リブ溶接部に作用する引張力 (kN)

P_0 : 取付金具リブ溶接部に作用する設計水圧荷重 (kN)

n_3 : 取付金具リブの本数 (本)

w : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

L_1 : 扉高さ (mm)

L_2 : 扉幅 (mm)

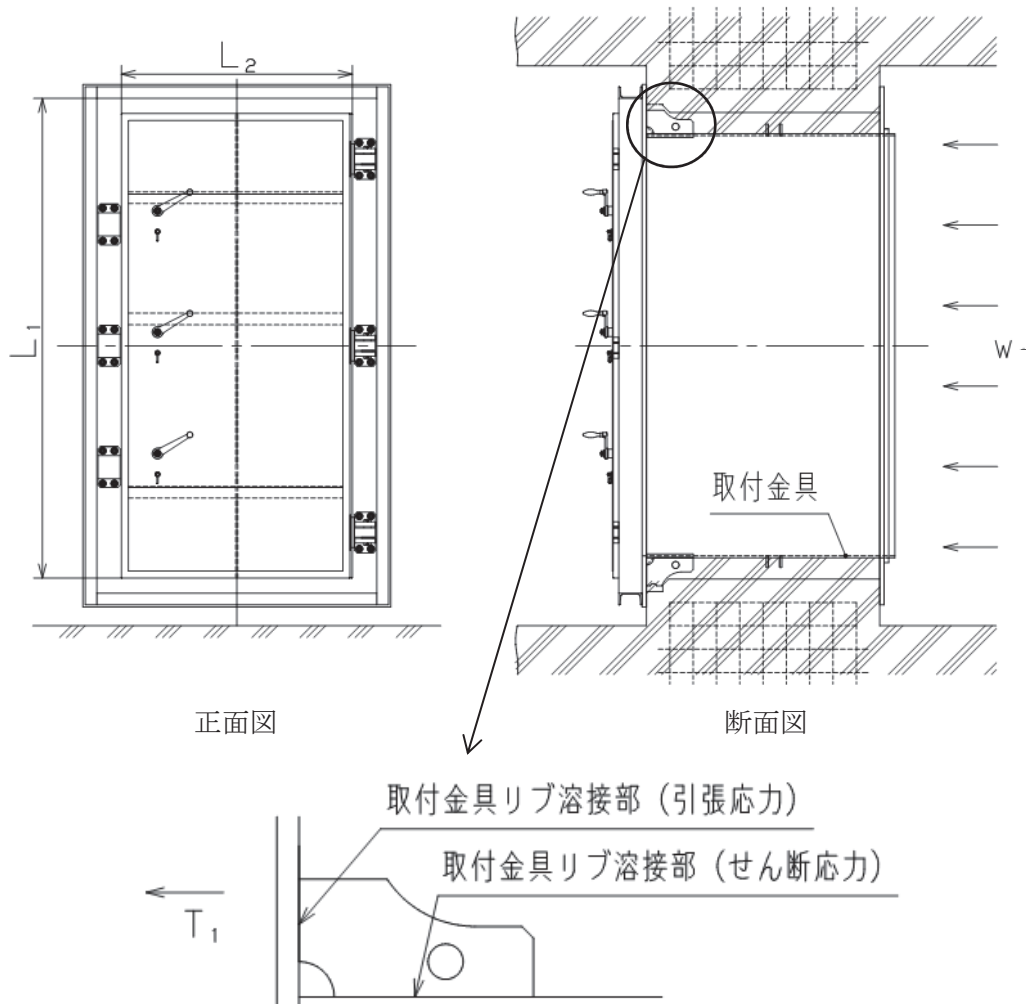


図 3-29 取付金具リブ溶接部に生じる荷重の例

(5) 固定リング溶接部

固定リング溶接部に生じる荷重は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、固定リングの形状に応じて固定リング溶接部に作用する応力を考慮し、発生する応力を算定する。固定リング溶接部に生じる荷重の例を図 3-30 に示す。

$$P_0 = w \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$$

P_0 : 固定リング溶接部に作用する設計水圧荷重(kN)

w : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

L_1 : 扉高さ(mm)

L_2 : 扉幅(mm)

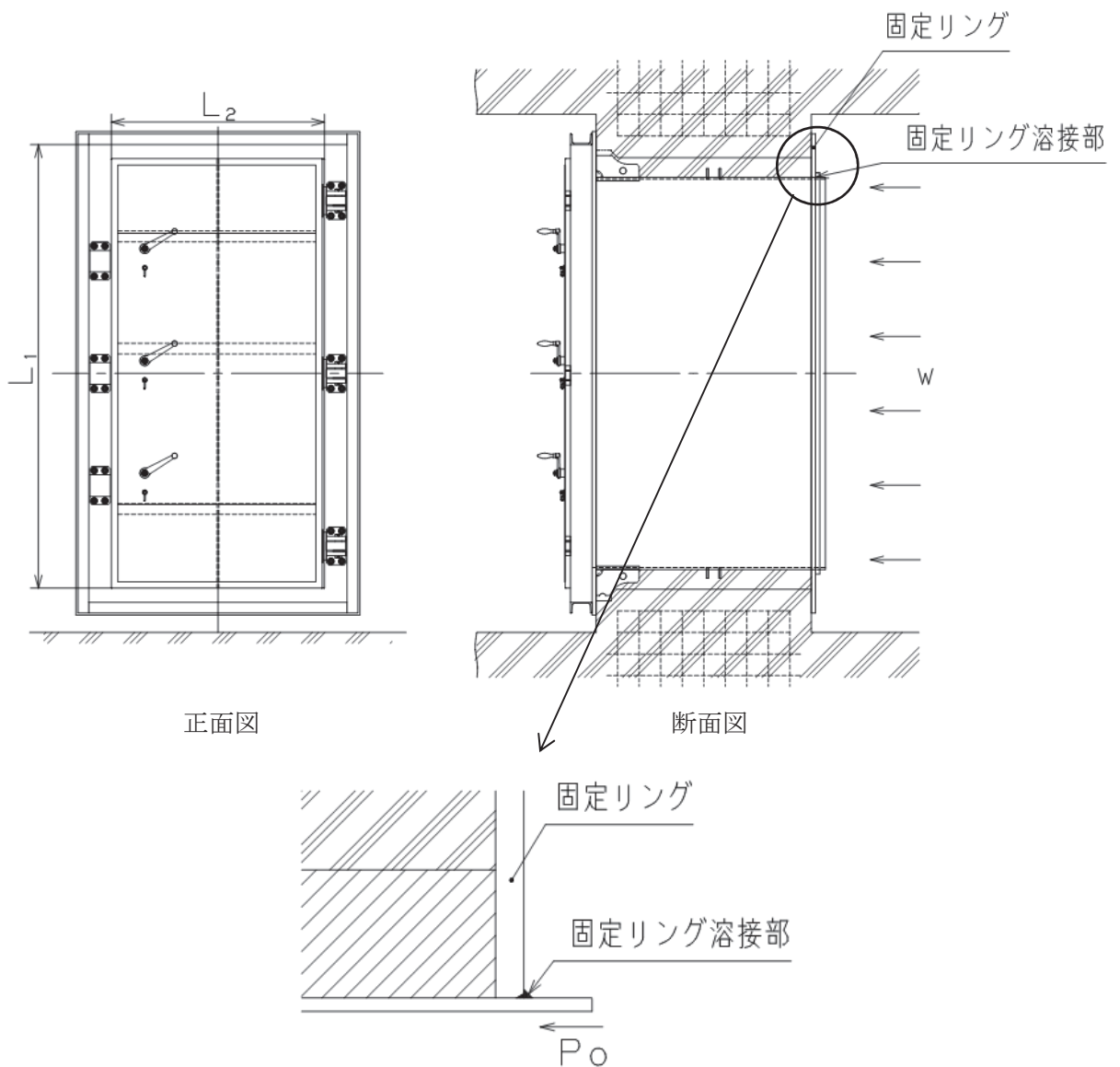


図 3-30 固定リング溶接部に生じる荷重の例

3.2.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し、扉板の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot w \cdot 10^3 \cdot L_{PL}^2 \cdot 10^{-6} / t^2$$

σ : 扉板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

β_1 : 四辺支持長方形板の応力係数

w : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

L_{PL} : 扉板の短辺長さ (mm)

t : 扉板の厚さ (mm)

(2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_L$$

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_{L1} : 芯材の断面係数 (横リブ) (mm³)

Z_{L2} : 芯材の断面係数 (縦リブ) (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_L$$

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

A_{L1} : 芯材の断面積 (横リブ) (mm²)

A_{L2} : 芯材の断面積 (縦リブ) (mm²)

(3) カンヌキ部, ヒンジ

a. カンヌキ部

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から, 組合せ応力度を「設計・建設規格」に基づく次式により算定し, カンヌキの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで, $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_{K1}$

σ : カンヌキの最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキの最大曲げモーメント (kN・m)

Z_{K1} : カンヌキの断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_{K1}$$

τ : カンヌキの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキの最大せん断力 (kN)

A_{K1} : カンヌキの断面積 (mm²)

(b) カンヌキ受け

カンヌキ受けに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し, カンヌキ受けの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_{K2}$$

ここで, σ : カンヌキ受けの最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキ受けの最大曲げモーメント (kN・m)

Z_{K2} : カンヌキ受けの断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_{K2}$$

ここで, τ : カンヌキ受けの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキ受けの最大せん断力 (kN)

A_{K2} : カンヌキ受けの断面積 (mm²)

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A_b$$

σ_t : カンヌキ受けボルトの最大引張応力度 (N/mm²)

T : カンヌキ受けボルトの最大引張力 (kN)

A_b : カンヌキ受けボルトの断面積 (mm²)

(d) カンヌキ受け溶接部

カンヌキ受け溶接部に生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受け溶接部の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A_{K3}$$

σ_t : カンヌキ受け溶接部の最大引張応力度 (N/mm²)

T : カンヌキ受け溶接部の最大引張力 (kN)

A_{K3} : カンヌキ受け溶接部の断面積 (mm²)

b. ヒンジ

(a) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、ヒンジピンの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_{H1}$$

σ : ヒンジピンの最大曲げ応力度(N/mm²)

M : ヒンジピンの最大曲げモーメント(kN・m)

Z_{H1} : ヒンジピンの断面係数(mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_{H1}$$

τ : ヒンジピンの最大せん断応力度(N/mm²)

Q : ヒンジピンの最大せん断力(kN)

A_{H1} : ヒンジピンの断面積(mm²)

(b) ヒンジ受けピン穴部 (扉側)

ヒンジ受けピン穴部 (扉側) に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、ヒンジ受けピン穴部 (扉側) の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_{H2}$$

σ : ヒンジ受けピン穴部 (扉側) の最大曲げ応力度(N/mm²)

M : ヒンジ受けピン穴部 (扉側) の最大曲げモーメント(kN・m)

Z_{H2} : ヒンジ受けピン穴部 (扉側) の断面係数(mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_{H2}$$

τ : ヒンジ受けピン穴部 (扉側) の最大せん断応力度(N/mm²)

Q : ヒンジ受けピン穴部 (扉側) の最大せん断力(kN)

A_{H2} : ヒンジ受けピン穴部 (扉側) の断面積(mm²)

(c) ヒンジ受けピン穴部（躯体側）

ヒンジ受けピン穴部（躯体側）に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、ヒンジ受けピン穴部（躯体側）の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_{H3}$$

σ : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）の最大曲げ応力度(N/mm²)

M : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）の最大曲げモーメント(kN・m)

Z_{H3} : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）の断面係数(mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_{H3}$$

τ : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）の最大せん断応力度(N/mm²)

Q : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）の最大せん断力(kN)

A_{H3} : ヒンジ受けピン穴部（躯体側）の断面積(mm²)

(d) ヒンジ受け溶接部（扉側）

ヒンジ受けに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「設計・建設規格」に基づく次式により算定し、ヒンジ受け溶接部（扉側）の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

σ_x : 組合せ応力度(N/mm²)

ここで、 $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_{H4}$

σ : ヒンジ受け溶接部（扉側）の最大曲げ応力度(N/mm²)

M : ヒンジ受け溶接部（扉側）の最大曲げモーメント(kN・m)

Z_{H4} : ヒンジ受け溶接部（扉側）の断面係数(mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_{H4}$$

τ : ヒンジ受け溶接部（扉側）の最大せん断応力度(N/mm²)

Q : ヒンジ受け溶接部（扉側）の最大せん断力(kN)

A_{H4} : ヒンジ受け溶接部（扉側）の断面積(mm²)

(e) ヒンジ受け溶接部（躯体側）

ヒンジ受け溶接部（躯体側）に生じる引張応力度を次式により算定し、ヒンジ受け溶接部（躯体側）の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A_{H5}$$

σ_t : ヒンジ受け溶接部（躯体側）の最大引張応力度 (N/mm²)

T : ヒンジ受け溶接部（躯体側）の最大引張力 (kN)

A_{H5} : ヒンジ受け溶接部（躯体側）の断面積 (mm²)

(f) ヒンジ受けボルト（扉側）

ヒンジ受けボルト（扉側）に生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジ受けボルト（扉側）の許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_{bH6}$$

τ : ヒンジ受けボルト（扉側）の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジ受けボルト（扉側）の最大せん断力 (kN)

A_{bH6} : ヒンジ受けボルト（扉側）の断面積 (mm²)

(g) ヒンジ受けボルト（躯体側）

ヒンジ受けボルト（躯体側）に生じる引張応力度を次式により算定し、ヒンジ受けボルト（躯体側）の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A_{bH7}$$

σ_t : ヒンジ受けボルト（躯体側）の最大引張応力度 (N/mm²)

T : ヒンジ受けボルト（躯体側）の最大引張力 (kN)

A_{bH7} : ヒンジ受けボルト（躯体側）の断面積 (mm²)

(4) 取付金具リブ溶接部

取付金具リブ溶接部に生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し、取付金具リブ溶接部の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A_{H8}$$

σ_t : 取付金具リブ溶接部の最大引張応力度 (N/mm²)

T : 取付金具リブ溶接部の最大引張力 (kN)

A_{H8} : 取付金具リブ溶接部の引張方向の断面積 (mm²)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A'_{H8}$$

τ : 取付金具リブ溶接部の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 取付金具リブ溶接部の最大せん断力 (kN)

A'_{H8} : 取付金具リブ溶接部のせん断方向の断面積 (mm²)

(5) 固定リング溶接部

固定リング溶接部に生じる引張応力度を次式により算定し、固定リング溶接部の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A_{H9}$$

σ_t : 固定リング溶接部の最大引張応力度 (N/mm²)

T : 固定リング溶接部の最大引張力 (kN)

A_{H9} : 固定リング溶接部の断面積 (mm²)

3.2.5 評価条件

「3.2.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-10に示す。

表3-10 強度評価に用いる評価条件 (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.	
				38	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	2300	
	ρ_0	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
	w	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重	22.5553	
	L ₁	mm	扉高さ	1990	
	L ₂	mm	扉幅	990	
扉板	L _{PL}	mm	扉板の短辺長さ	495	
	β_1	—	四辺支持長方形板の応力係数	0.5	
	t	mm	扉板の厚さ	6	
芯材 (横リブ)	b _{L1}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅 (横リブ)	632.5	
	L _{L1}	mm	芯材の支持長さ (横リブ)	990	
	Z _{L1}	mm ³	芯材の断面係数 (横リブ)	37.6×10 ³	
	A _{L1}	mm ²	芯材の断面積 (横リブ)	1192	
芯材 (縦リブ)	b _{L2}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅 (縦リブ)	495	
	L _{L2}	mm	芯材の支持長さ (縦リブ)	745	
	Z _{L2}	mm ³	芯材の断面係数 (縦リブ)	15.0×10 ³	
	A _{L2}	mm ²	芯材の断面積 (縦リブ)	900	
カンヌキ部	共通	n ₂	個	カンヌキとヒンジの個数	6
	カンヌキ	L _{K1}	mm	カンヌキの突出長さ	30
		Z _{K1}	mm ³	カンヌキの断面係数	9600
		A _{K1}	mm ²	カンヌキの断面積	1440
	カンヌキ受け	L _{K2}	mm	カンヌキ受けの支持長さ	55
		Z _{K2}	mm ³	カンヌキ受けの断面係数	3562.5
		A _{K2}	mm ²	カンヌキ受けの断面積	1425
	カンヌキ受けボルト	n _b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		A _b	mm ²	カンヌキ受けボルトの断面積	157
	カンヌキ受け溶接部	A _{K3}	mm ²	カンヌキ受け溶接部の断面積	1343.50

表3-10 強度評価に用いる評価条件 (2/2)

評価対象部位		記号	単位	定義	水密扉No.
					38
ヒンジ	ヒンジピン	L_{H1}	mm	ヒンジピンの支持長さ	50
		A_{H1}	mm ²	ヒンジピンの断面積	706.858
		Z_{H1}	mm ³	ヒンジピンの断面係数	2650.72
	ヒンジ受けピン穴部 (扉側)	L_{H2}	mm	ヒンジ受けピン穴 (扉側) の支持長さ	38
		A_{H2}	mm ²	ヒンジ受けピン穴 (扉側) の断面積	640
		Z_{H2}	mm ³	ヒンジ受けピン穴 (扉側) の断面係数	1706.67
	ヒンジ受けピン穴部 (躯体側)	L_{H3}	mm	ヒンジ受けピン穴 (躯体側) の支持長さ	30
		A_{H3}	mm ²	ヒンジ受けピン穴 (躯体側) の断面積	400
		Z_{H3}	mm ³	ヒンジ受けピン穴 (躯体側) の断面係数	1333.33
	ヒンジ受け溶接部 (扉側)	L_{H4}	mm	ヒンジ受け (扉側) の突出長さ	56
		A_{H4}	mm ²	ヒンジ受け溶接部 (扉側) の断面積	1414.21
		Z_{H4}	mm ³	ヒンジ受け溶接部 (扉側) の断面係数	23570.2
	ヒンジ受け溶接部 (躯体側)	A_{H5}	mm ²	ヒンジ受け溶接部 (躯体側) の断面積	2545.58
	ヒンジ受けボルト (扉側)	n_{bH6}	本	ヒンジ受けボルト (扉側) の本数	6
		A_{bH6}	mm ²	ヒンジ受けボルト (扉側) の断面積	84.3
ヒンジ受けボルト (躯体側)	n_{bH7}	本	ヒンジ受けボルト (躯体側) の本数	4	
	A_{bH7}	mm ²	ヒンジ受けボルト (躯体側) の断面積	157	
取付金具リブ溶接部	n_3	本	取付金具リブの本数	32	
	A_{H8}	mm ²	取付金具リブ溶接部の引張方向の断面積	692.965	
	A'_{H8}	mm ²	取付金具リブ溶接部のせん断方向の断面積	1682.91	
固定リング溶接部	A_{H9}	mm ²	固定リング溶接部の断面積	22367.2	

3.2.6 評価結果

水密扉の強度評価結果を表3-11に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生値は、許容限界以下であることを確認した。

表3-11 水密扉の強度評価結果

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	発生値 /許容限界	備考	
38	扉板	77	234	0.329	曲げ	
	芯材	横リブ* ¹	47	234	0.201	曲げ
		縦リブ* ¹	52	234	0.222	曲げ
	カンヌキ部	カンヌキ* ²	25	483	0.052	組合せ
		カンヌキ受け* ¹	29	234	0.124	曲げ
		カンヌキ受けボルト	12	487	0.025	引張
		カンヌキ受け溶接部	6	105	0.057	引張
	ヒンジ	ヒンジピン* ¹	35	204	0.172	曲げ
		ヒンジ受けピン穴部(扉側)* ¹	42	234	0.179	曲げ
		ヒンジ受けピン穴部(躯体側)* ¹	21	234	0.090	曲げ
		ヒンジ受け溶接部(扉側)* ²	20	105	0.190	組合せ
		ヒンジ受け溶接部(躯体側)	3	105	0.029	曲げ
		ヒンジ受けボルト(扉側)	15	375	0.040	せん断
		ヒンジ受けボルト(躯体側)	12	487	0.025	引張
	取付金具リブ溶接部* ³	3	105	0.029	引張	
固定リング溶接部	2	60	0.033	せん断		

注記*1：曲げ及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

*2：曲げ、せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

*3：引張及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

3.3 タイプⅢ

3.3.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重は、扉板から芯材を介し、扉枠に伝わり、開口部周辺の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材とする。

なお、荷重は扉枠から躯体に伝達されることから、アンカーボルトは静水圧荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

また、タイプⅢの水密扉はNo. 40, No. 41であり、同様の構造であることを踏まえ、代表として水密扉No. 40にて評価を行う。水密扉に作用する荷重の作用図を図3-31に示す。

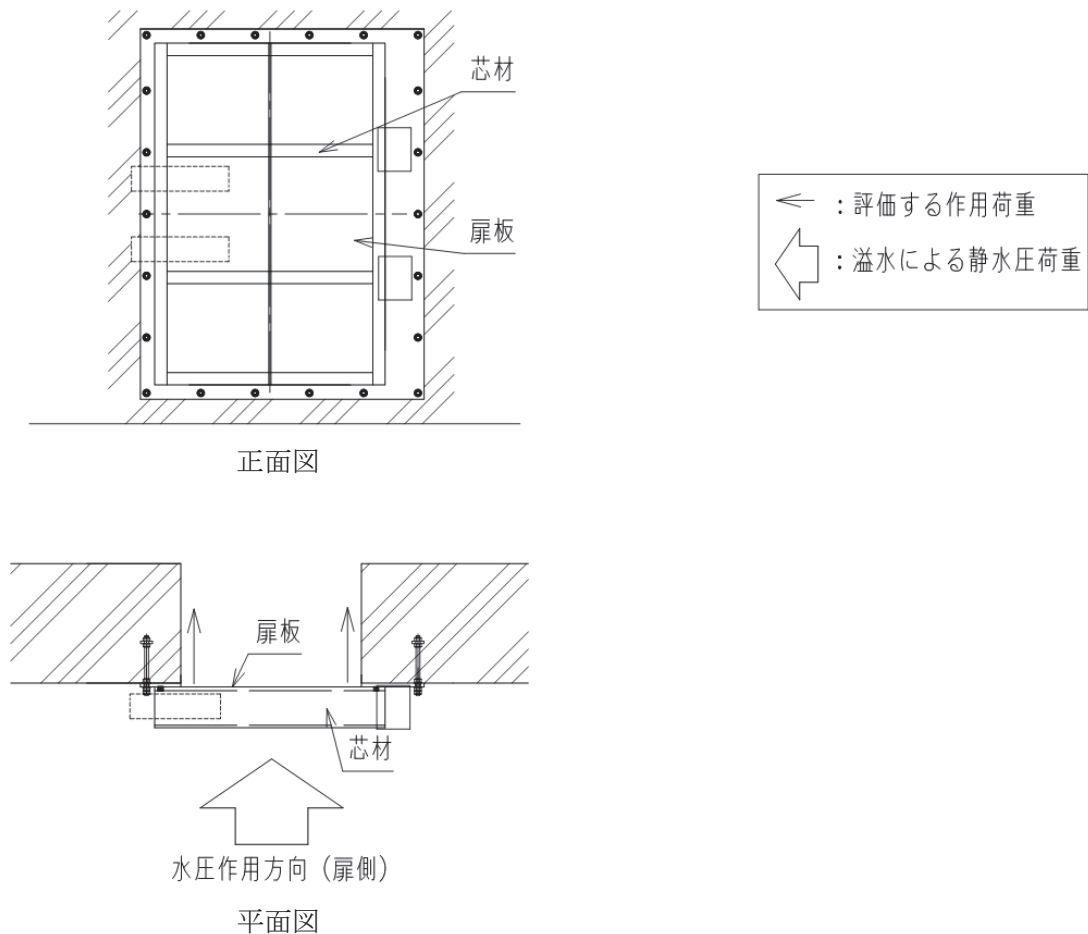


図 3-31 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉 No. 40, No. 41)

3.3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 溢水による静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は、対象とする液体の密度に当該部分の水圧作用高さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

3.3.2.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h$$

ここで、

P_h : 溢水による静水圧荷重 (kN/m²)

3.3.3 許容限界

許容限界は、「3.3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.3.3.1 使用材料

水密扉を構成する、扉板及び芯材の使用材料を表3-12に示す。

表 3-12 使用材料

部位		材質	仕様(mm)
扉板		SS400	PL-9
芯材	横リブ	SS400	C-100×50
	縦リブ	SS400	C-100×50
		SS400	FB-100×9

3.3.3.2 許容限界

(1) 扉板, 芯材

扉板及び芯材の鋼材の許容限界は, 「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力を踏まえて表3-13の値とする。

表 3-13 扉板及び芯材の許容限界

材料	「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力*		
	引張, 曲げ	せん断	組合せ
SS400 ($t \leq 40$)	234	135	234

注記* : 温度条件は, 周囲環境温度である 40℃とする。

3.3.4 評価方法

水密扉の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.3.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、等分布荷重を受ける四辺支持板として算定する。

この時、実際に作用する静水圧は台形分布もしくは、三角形分布であるが、扉最下部の最大静水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。扉板に生じる荷重の例を図3-32に示す。

$$w = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

w : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

ρ_0 : 液体の密度(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 扉の水圧作用高さ(mm)

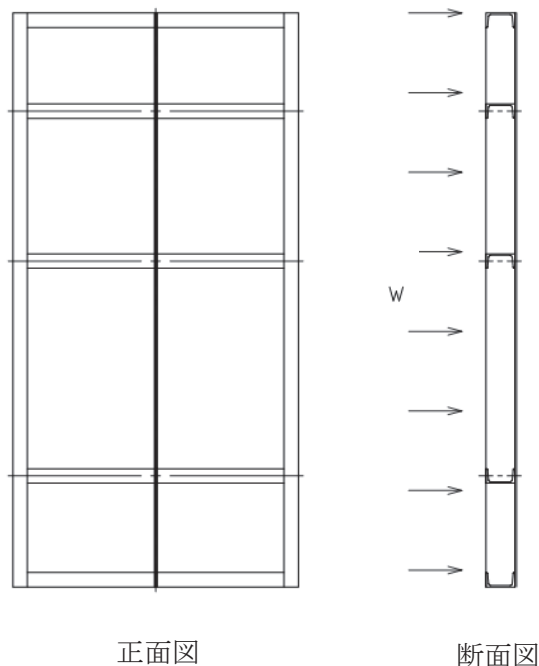


図3-32 扉板に生じる荷重の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。なお、芯材の取付け方向は、水平・鉛直の2方向があるが、両者とも上述の扉最下部の最大静水圧に、芯材の支配幅（=間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとして安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図3-33及び図3-34に示す。

$$M = w' \cdot (L_L \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q = w' \cdot L_L \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで、 $w' = w \cdot b_L \cdot 10^{-3}$

- w' : 芯材に作用する等分布荷重(kN/m)
- M : 芯材に生じる最大曲げモーメント(kN・m)
- Q : 芯材に生じる最大せん断力(kN)
- L_{L1} : 芯材の支持長さ(横リブ)(mm)
- L_{L2} : 芯材の支持長さ(縦リブ)(mm)
- w : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)
- b_{L1} : 芯材に作用する荷重の負担幅(横リブ)(mm)
- b_{L2} : 芯材に作用する荷重の負担幅(縦リブ)(mm)

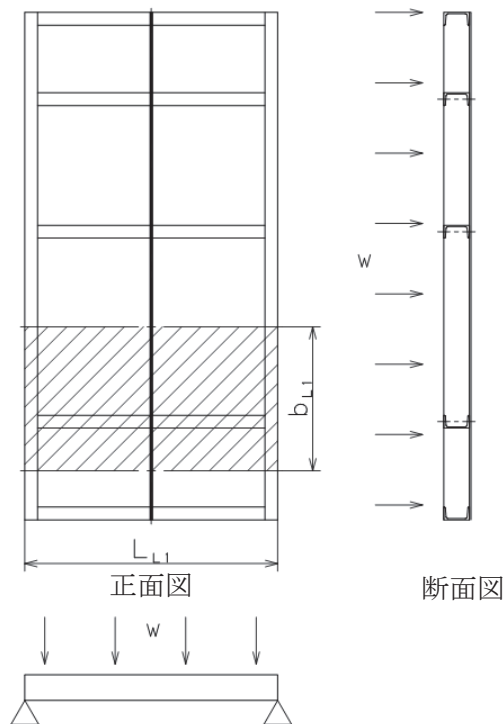


図3-33 芯材(横リブ)に生じる荷重の例

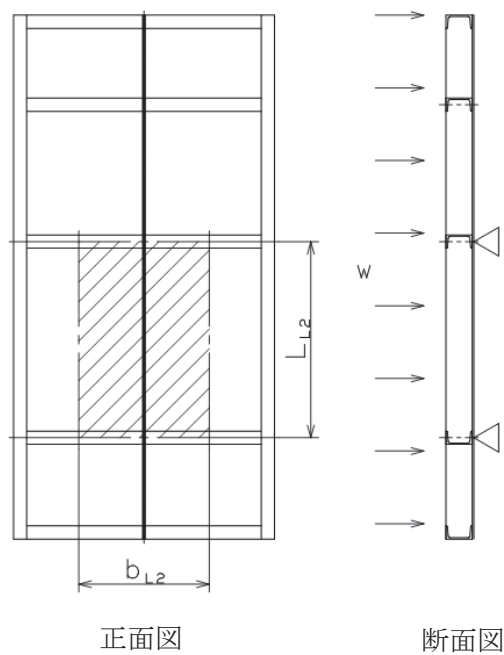


図 3-34 芯材(縦リブ)に生じる荷重の例

3.3.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し、扉板の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot w \cdot 10^3 \cdot L_{PL}^2 \cdot 10^{-6} / t^2$$

σ : 扉板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

β_1 : 四辺支持長方形板の応力係数

w : 扉下端に作用する静水压荷重 (kN/m²)

L_{PL} : 扉板の短辺長さ (mm)

t : 扉板の厚さ (mm)

(2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_L$$

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_{L1} : 芯材の断面係数 (横リブ) (mm³)

Z_{L2} : 芯材の断面係数 (縦リブ) (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_L$$

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

A_{L1} : 芯材のせん断断面積 (横リブ) (mm²)

A_{L2} : 芯材のせん断断面積 (縦リブ) (mm²)

3.3.5 評価条件

「3.3.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-14に示す。

表3-14 強度評価に用いる評価条件

評価対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.
				40
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	570
	ρ_0	t/m ³	液体の密度	1.00
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	w	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重	5.58979
扉板	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	467
	β_1	—	四辺支持長方形板の応力係数	0.38
	t	mm	扉板の厚さ	9
芯材（横リブ）	b_{L1}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅（横リブ）	474.5
	L_{L1}	mm	芯材の支持長さ（横リブ）	934
	Z_{L1}	mm ³	芯材の断面係数（横リブ）	37.6×10^3
	A_{L1}	mm ²	芯材の断面積（横リブ）	1192
芯材（縦リブ）	b_{L2}	mm	芯材に作用する荷重の負担幅（縦リブ）	467
	L_{L2}	mm	芯材の支持長さ（縦リブ）	514
	Z_{L2}	mm ³	芯材の断面係数（縦リブ）	15.0×10^3
	A_{L2}	mm ²	芯材の断面積（縦リブ）	900

3.3.6 評価結果

水密扉の強度評価結果を表3-15に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生値は、許容限界以下であることを確認した。

表3-15 水密扉の強度評価結果

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	発生値 /許容限界	備考	
40	扉板	6	234	0.026	曲げ	
	芯材	横リブ*	8	234	0.034	曲げ
		縦リブ*	6	234	0.026	曲げ

注記*：曲げ及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

VI-3-別添 3-4-2 堰の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 検討対象堰一覧	1
2.2 配置概要	2
2.3 構造計画	3
2.4 評価方針	4
2.5 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の説明	6
3.2 評価対象部位及び評価対象設備	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	12
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	15
3.6 評価条件	28
4. 評価結果	29

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設である浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰（以下「堰」という。）が、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の建屋ごとの数を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象堰

設置建屋	対象堰数
原子炉建屋	33
制御建屋	5
タービン建屋	5
合計	43

2.2 配置概要

堰は、VI-1-1-8-5「溢水防護施設の詳細設計」の「4.1.3 浸水防止堰の設計方針」及び「4.1.4 管理区域外伝播防止水密扉及び管理区域外伝播防止堰の設計方針」に示すとおり、原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋に設置する。

2.3 構造計画

堰の構造は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

堰は、止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いる構造とする。

堰の構造計画を表 2-1 に概略構造図を図 2-1 に示す。

表 2-1 堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いて構成する。	図 2-1

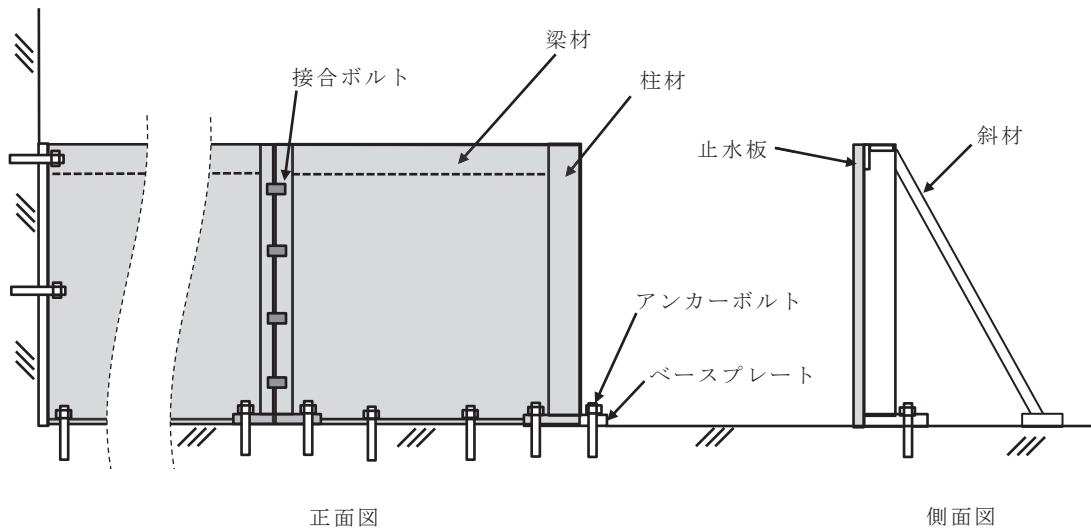


図 2-1 堰の概略構造図

2.4 評価方針

堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内にあることを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「3.6. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「4. 評価結果」にて確認する。

堰の強度評価フローを図 2-2 に示す。

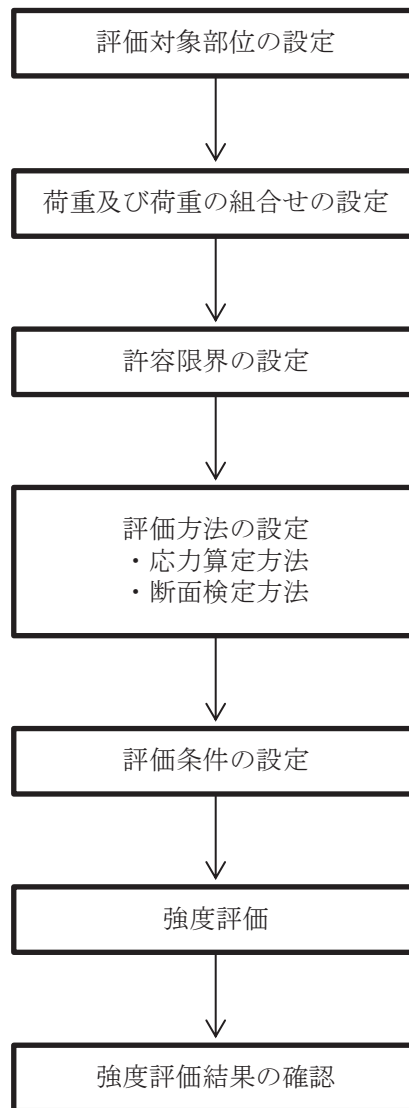


図2-2 堰の強度評価フロー

2.5 適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ J S M E S N C 1 - 2005 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・ 日本機械学会 機械工学便覧
- ・ 日本建築学会 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－
- ・ 日本建築学会 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 構造計算便覧（産業図書）
- ・ 日本産業規格（J I S）

3. 強度評価方法

堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

堰の強度評価は、「3.2 評価対象部位及び評価対象設備」に示す評価対象部位に対し、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「3.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1 記号の説明

堰の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
ρ_0	kg/m ³	溢水の密度
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	堰の高さ
P_h	N/mm ²	静水圧荷重
σ_p	N/mm ²	止水板の曲げ応力度
t	mm	止水板の板厚
a	mm	止水板の長辺方向の幅
β	—	長方形板の応力係数
h_1	mm	評価する止水板の最下端の高さ
h_2	mm	評価する梁材の最下端の高さ
σ_f	N/mm ²	梁材の曲げ応力度
M_f	N・mm	梁材の曲げモーメント
τ_f	N/mm ²	梁材のせん断応力度
Q_f	N	梁材の発生せん断力
σ_{ef}	N/mm ²	梁材の組合せ応力度
a'	mm	梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅
L'	mm	評価する梁材の長さ
Z	mm ³	梁材の断面係数
A_s	mm ²	梁材のせん断断面積
P_0	N	アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重
V_0	N	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
T	N	床側アンカーボルト発生引張力
M_h	N・mm	転倒モーメント
S	N	床側アンカーボルト発生せん断力
R_s	N	堰下端の発生せん断力
q	N	壁側アンカーボルト発生せん断力
R_q	N	片側の壁の発生せん断力
n_1	本	引張を受ける床側アンカーボルト本数
n_2	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
n_3	本	ベースプレートのアンカーボルト本数
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離
W_f	N/mm	梁材の平均水圧による分布荷重
W_{f1}	N/mm	接合ボルトの平均水圧による分布荷重
W_{f2}	N/mm	柱材の平均水圧による分布荷重
W_{f3}	N/mm	堰下端の平均水圧による分布荷重
σ_Y	N/mm ²	柱材の曲げ応力度
M_Y	N・mm	柱材の曲げモーメント
τ_Y	N/mm ²	柱材のせん断応力度
Q_Y	N	柱材の発生せん断力
σ_{eY}	N/mm ²	柱材の組合せ応力度
L	mm	評価する堰の全幅
B	mm	評価する堰の側面全幅
L_1'	mm	柱材 1 本あたりが負担する柱材及び止水板の幅
L_2'	mm	斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅
L_3'	mm	接合ボルトが負担する堰の幅
Z_Y	mm ³	柱材の断面係数
A_Y	mm ²	柱材のせん断断面積
σ_{ps}	N/mm ²	ベースプレートの曲げ応力度
L_{ps}	mm	ベースプレートのレバー長さ
Z_{ps}	mm ³	ベースプレートの断面係数
σ_{pc}	N/mm ²	斜材の圧縮応力度
P_c	N	斜材の発生圧縮力
A	mm ²	斜材の断面積
θ	deg	止水板と斜材のなす角度 ($\sin \theta = C/L_2$)
L_2	mm	評価する斜材の長さ
C	mm	止水板と斜材付け根部までの距離
N	本	せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数
σ_B	N/mm ²	接合ボルトの曲げ応力度
F_B	N	接合ボルトに加わる引張力

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
M_B	N・mm	接合ボルトの曲げモーメント
e_B	mm	接合ボルト位置からの縁端距離
N_B	本	接合ボルト本数
A_B	mm ²	接合ボルトの断面積

3.2 評価対象部位及び評価対象設備

評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、「2.3 構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。また、結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表として評価する。

評価対象部位は堰に作用する静水圧荷重が、止水板、梁材、柱材及び斜材から接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介し、躯体に伝わることから、止水板、梁材、柱材、斜材、接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトとする。評価の対象となる堰の選定結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(1/3)

設置建屋	設置床高さ(m)	設備名称	溢水水位床上(m)	堰高さ床上(m)	評価対象設備(代表)
原子炉建屋	0. P. 33. 20	R-01階段浸水防止堰(地上3階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 32. 30	R-02階段浸水防止堰(地上3階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	R-01階段浸水防止堰(地上2階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	FCS再結合装置(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	FCS再結合装置(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	R-02階段浸水防止堰(地上2階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSヒータユニット(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMSラック(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSヒータユニット(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMSラック(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSフィルタユニット室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	R-01階段浸水防止堰(地上1階)	0. 3	0. 4以上	

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(2/3)

設置建屋	設置床 高さ(m)	設備名称	溢水水位 床上 (m)	堰高さ 床上 (m)	評価対象 設備 (代表)
原子炉 建屋	0. P. 15. 00	R-02階段浸水防止堰 (地上1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	バルブ(B)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	バルブ(A)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	FPCポンプ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	R-01階段浸水防止堰 (地下1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	R-02階段浸水防止堰 (地下1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	MSトンネル室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	RCIC MCC室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	TIP駆動装置室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	復水補給水ポンプ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	CUW配管・バルブ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	原子炉補機(A)室送風 機室-原子炉補機 (HPCS)室送風機室浸水 防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	原子炉補機(HPCS)室送 風機室-原子炉補機(B) 室送風機室および送風 機エリア浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	2F通路浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	区分Ⅰ・Ⅲ非所用D/G 制御盤室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	D/G補機(A)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	区分ⅢHPCS電気品室浸 水防止堰	0. 3	0. 4以上	

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(3/3)

設置建屋	設置床 高さ(m)	設備名称	溢水水位 床上 (m)	堰高さ 床上 (m)	評価対象 設備 (代表)
原子炉 建屋	0. P. -0. 80	静止型PLRポンプ電源 装置室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	IA・SA室および 通路浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMS (A) 室空調機 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMS (B) 室空調機 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
制御 建屋	0. P. 19. 50	区分 I ケーブル処理室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 19. 50	常用系ケーブル処理室 浸水防止堰 (No. 2)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 19. 50	常用系ケーブル処理室 浸水防止堰 (No. 1)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 1. 50	中央制御室再循環フイ ルタ装置浸水防止堰	0. 6	0. 7以上	○*
	0. P. 19. 50	ハッチ上部スペース 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
タービン 建屋	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 1)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 2)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 3)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 4)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 7. 60	HNCW冷凍機・ポンプ室 管理区域外伝播防止堰	0. 3	0. 4以上	

注記* : 最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1 溢水による静水圧荷重

溢水による静水圧荷重として、発生を想定する溢水による浸水高さを用いた静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は次式により算定する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H$$

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重を踏まえて設定する。荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ
堰	P_h

3.4 許容限界

堰の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し短期許容応力度または、短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

(1) 止水板

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-4 に示す。

表 3-4 止水板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm ²)
SS400	235

(2) 梁材，柱材及び斜材

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-5 に示す。

表 3-5 梁材，柱材及び斜材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	圧縮又は曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
SS400	235	135	235

(3) 接合ボルト

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-6 に示す。

表 3-6 接合ボルトの短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	引張 (N/mm ²)
SS400	240

(4) アンカーボルト

「日本建築学会 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した短期許容荷重を表 3-7 に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては、アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3-7 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (N)	せん断 (N)
SS400	10000	23800

3.5 評価方法

堰の強度評価は、「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

3.5.1 堰の評価方法

静水圧荷重を受ける平板モデル、はりモデルに置き換え、止水板、梁材、柱材、斜材、接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力を算定し、各許容限界との比較により強度評価を行う。

(1) 応力算定

静水圧荷重を受ける止水板に生じる曲げ応力度、梁材及び柱材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度、斜材に生じる圧縮応力度、接合ボルトに生じる引張応力度、床アンカーボルトに生じる引張力及びせん断力、壁アンカーボルトに生じるせん断力及びベースプレートに生じる曲げ応力度に対する確認を行うに当たり、各荷重により生じる応力を算定する。堰に生じる力の概念図を図 3-1～図 3-8 に示す。

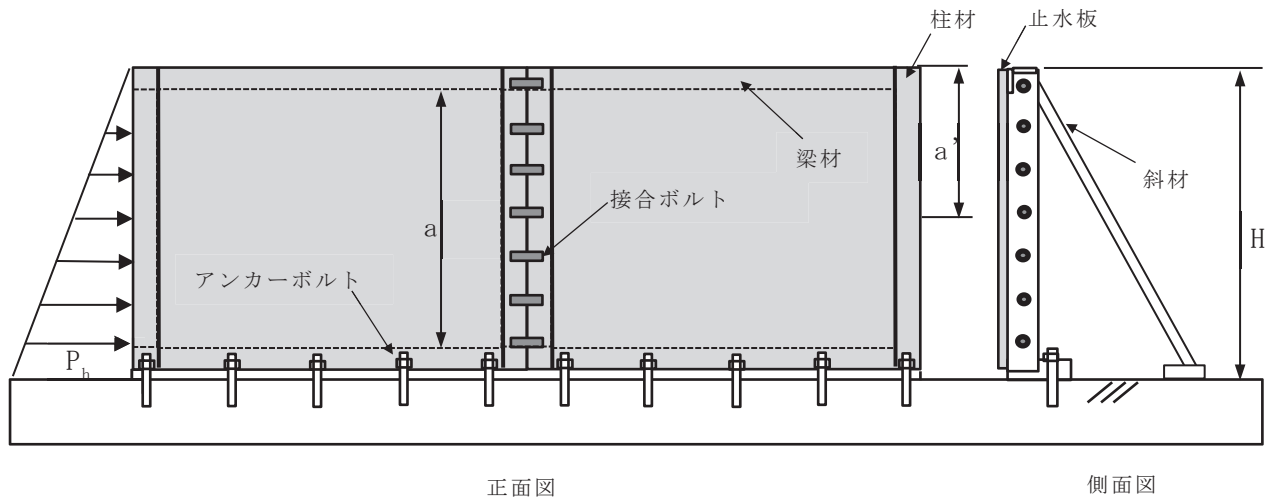


図 3-1 溢水時の堰に生じる力の断面概念図

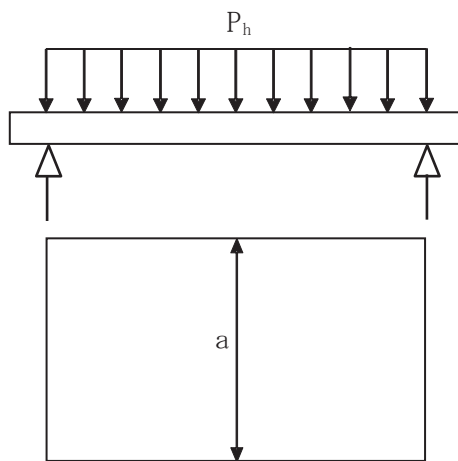


図 3-2 溢水時の止水板に生じる力の断面概念図（等分布荷重，4辺支持）

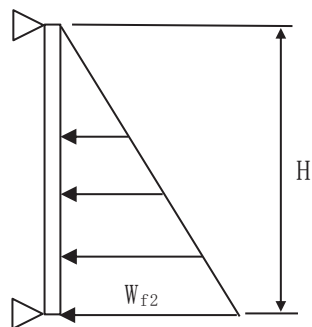


図 3-3 溢水時の柱材に生じる力の断面概念図（直線分布荷重，両端支持）

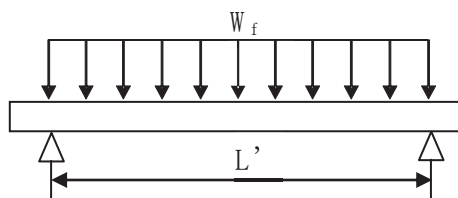


図 3-4 溢水時の梁材に生じる力の断面概念図（等分布荷重，両端支持）

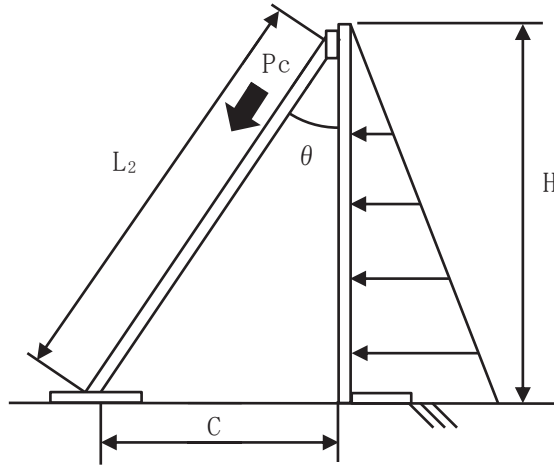


図 3-5 溢水時の斜材に生じる力の断面概念図

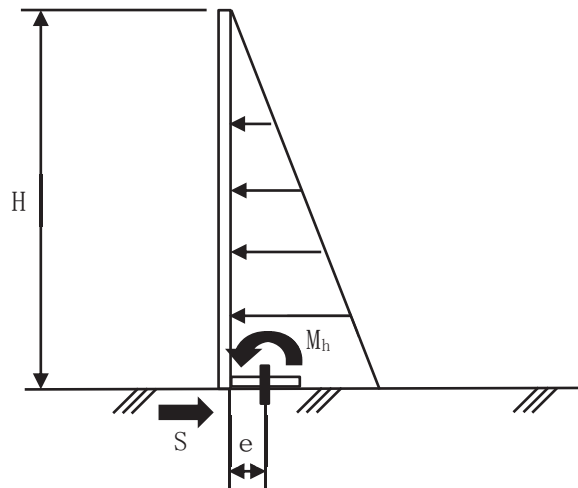


図 3-6 溢水時の床側アンカーボルトに生じる力の断面概念図

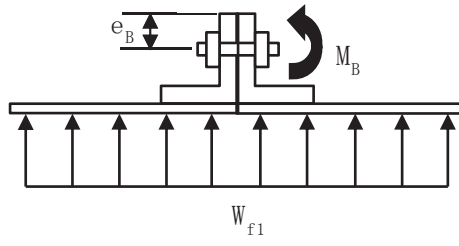


図 3-7 溢水時の接合ボルトに生じる力の断面概念図

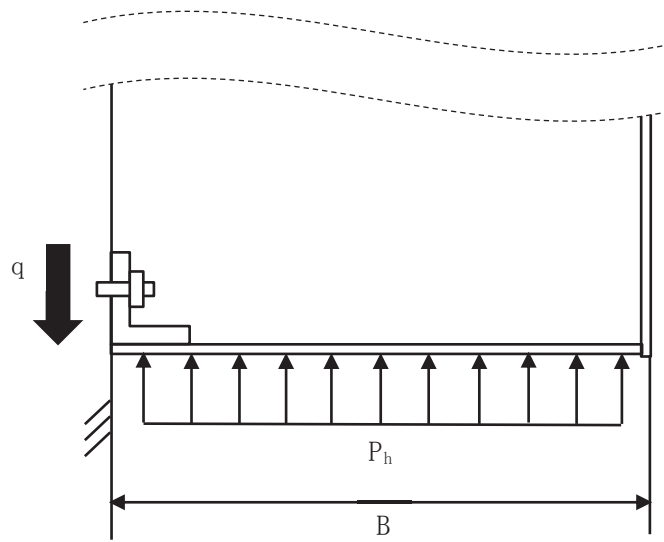


図 3-8 溢水時の壁側アンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 止水板

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

止水板に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_1) \cdot 10^{-9}$$

P_h : 止水板最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

h_1 : 評価する止水板の最下端の高さ (mm)

(b) 曲げ応力度に対する検定

止水板に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、止水板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_p = \beta \cdot P_h \cdot a^2 / t^2$$

σ_p : 止水板の曲げ応力度 (N/mm²)

β : 長方形板の最大応力の係数

P_h : 止水板最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

a : 止水板の長辺方向の幅 (mm)

t : 止水板の板厚 (mm)

b. 柱材

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

柱材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f2} = P_h \cdot L_1'$$

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

L_1' : 柱材 1 本あたりが負担する柱材及び止水板の幅 (mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = M_Y / Z_Y$$

$$M_Y = (W_{f2} \cdot H^2) / 6$$

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_Y : 柱材の曲げモーメント (N・mm)

Z_Y : 柱材の断面係数 (mm³)

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

H : 堰の高さ (mm)

(d) せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_Y = Q_Y / A_Y$$

$$Q_Y = (W_{f2} \cdot H) / 2$$

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_Y : 柱材の発生せん断力 (N)

A_Y : 柱材のせん断断面積 (mm²)

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

H : 堰の高さ (mm)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規
準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算出し、柱材の短期許容組合
せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

σ_{eY} : 柱材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

c. 梁材

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

梁材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_2) \cdot 10^{-9}$$

P_h : 梁材最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

h_2 : 評価する梁材の最下端の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_f = P_h \cdot a'$$

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

P_h : 梁材最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

a' : 梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅 (mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = M_f / Z$$

$$M_f = (W_f \cdot L'^2) / 8$$

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_f : 梁材の曲げモーメント (N・mm)

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

Z : 梁材の断面係数 (mm³)

(d) せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = Q_f / A_s$$

$$Q_f = (W_f \cdot L') / 2$$

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_f : 梁材の発生せん断力 (N)

A_s : 梁材のせん断断面積 (mm²)

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算定し、梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

σ_{ef} : 梁材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

d. 斜材

(a) 単位長さ当たりの水圧荷重

斜材に作用する単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 圧縮応力度に対する検定

斜材に加わる圧縮応力度は次式より算出し、斜材の短期許容圧縮応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{pc} = P_c / A$$

$$P_c = (P_h \cdot L_2' \cdot H / 6) / \sin \theta$$

$$\sin \theta = C / L_2$$

σ_{pc} : 斜材の圧縮応力度 (N/mm²)

P_c : 斜材の発生圧縮力 (N)

A : 斜材の断面積 (mm²)

P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

L_2' : 斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅 (mm)

H : 堰の高さ (mm)

C : 止水板と斜材付け根部までの距離 (mm)

L_2 : 評価する斜材の長さ (mm)

e. 接合ボルト

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

接合ボルトに作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f1} = (P_h \cdot H) / 2$$

- W_{f1} : 接合ボルトの平均水圧による分布荷重 (N/mm)
- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- H : 堰の高さ (mm)

(c) 引張応力度に対する検定

接合ボルトに生じる引張応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、接合ボルトの短期許容引張応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_B = F_B / A_B$$

$$F_B = M_B / (e_B \cdot N_B)$$

$$M_B = (W_{f1} \cdot L_3'^2) / 8$$

- σ_B : 接合ボルトの引張応力度 (N/mm²)
- F_B : 接合ボルトに加わる引張力 (N)
- M_B : 接合ボルトの曲げモーメント (N・mm)
- e_B : 接合ボルト位置からの縁端距離 (mm)
- W_{f1} : 接合ボルトの平均水圧による分布荷重 (N/mm)
- N_B : 接合ボルト本数 (本)
- A_B : 接合ボルトの断面積 (mm²)
- L_3' : 接合ボルトが負担する堰の幅 (mm)

f. 床側アンカーボルト

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

床側アンカーボルトに作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f3} = P_h \cdot L$$

W_{f3} : 堰下端の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

L : 評価する堰の全幅 (mm)

(c) 引張力に対する検定

床側アンカーボルトに作用する曲げモーメントを「機械工学便覧」に基づき算出する。さらに、曲げモーメントより引張力を算出し、アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T = M_h / (n_1 \cdot e)$$

$$M_h = (W_{f3} \cdot H^2) / 6$$

T : 床側アンカーボルト発生引張力 (N)

M_h : 転倒モーメント (N・mm)

n_1 : 引張を受ける床側アンカーボルト本数 (本)

e : 床側アンカーボルト位置からの縁端距離 (mm)

W_{f3} : 堰下端の平均水圧による水平分布荷重 (N/mm)

H : 堰高さ (mm)

(d) せん断力に対する検定

床側アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$S = R_s / n_2$$

$$R_s = (W_{f3} \cdot H) / 2$$

- S : 床側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 R_s : 堰下端の発生せん断力 (N)
 n₂ : せん断を受ける床側アンカーボルト本数 (本)
 W_{f3} : 堰下端の平均水圧による水平分布荷重 (N/mm)
 H : 堰高さ (mm)

(e) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「日本建築学会 各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し、1以下であることを確認する。

$$(T / P_0)^2 + (S / V_0)^2 \leq 1$$

- T : アンカーボルトの発生引張力 (N)
 P₀ : アンカーボルトの引張りに対する短期許容荷重 (N)
 S : アンカーボルトの発生せん断力 (N)
 V₀ : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (N)

g. 壁側アンカーボルト

(a) 静水圧荷重

壁に平行方向に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
 ρ₀ : 溢水の密度 (kg/m³)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 H : 堰の高さ (mm)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = R_q / N$$

$$R_q = ((P_h \cdot H / 2) \cdot B) / 2$$

- q : 壁側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 R_q : 片側の壁の発生せん断力 (N)
 N : せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数 (本)
 P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
 H : 堰の高さ (mm)
 B : 堰の側面全幅 (mm)

h. ベースプレート

(a) 曲げ応力度に対する検定

ベースプレートに作用する曲げ応力度は次式より算出し、ベースプレートの短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ps} = T \cdot n_3 \cdot L_{ps} / Z_{ps}$$

- σ_{ps} : ベースプレートの曲げ応力度 (N/mm²)
 T : アンカーボルトの発生引張力 (N)
 n_3 : ベースプレートのアンカーボルト本数 (本)
 L_{ps} : ベースプレートレバー長さ (mm)
 Z_{ps} : ベースプレートの断面係数 (mm³)

3.6 評価条件

評価対象設備である堰（中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰）の強度評価に用いる入力値を表 3-7 示す。

表 3-7 堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	kg/m ³	溢水の密度	1000
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	1100
β	—	長方形板の応力係数	0.5
a	mm	止水板の長辺方向の幅	800
t	mm	止水板の厚さ	4.5
a'	mm	梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅	550
Z	mm ³	梁材の断面係数	30100
A _s	mm ²	梁材のせん断断面積	1200
L'	mm	評価する梁材の長さ	2450
A	mm ²	斜材の断面積	2856
L ₂	mm	評価する斜材の長さ	1220
L ₂ '	mm	斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅	2450
C	mm	止水板と斜材付け根部までの距離	525
P ₀	N	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重	10000
V ₀	N	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重	23800
n ₁	本	引張を受ける床側アンカーボルト本数	4
n ₂	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数	5
N	本	せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数	2
L	mm	評価する堰の全幅	1730
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離	700
B	mm	評価する堰の側面全幅	635
h ₁	mm	評価する止水板の最下端高さ	0
h ₂	mm	評価する梁材の最下端高さ	0
e _B	mm	接合ボルト位置からの縁端距離	50
N _B	本	接合ボルト本数	7
A _B	mm ²	接合ボルトの断面積	84.3
L ₃ '	mm	接合ボルトが負担する堰の幅	2450

4. 評価結果

堰の強度評価結果を表 4-1 に示す。

堰の止水板，梁材，斜材，接合ボルト，床アンカーボルト及び壁アンカーボルトに発生する応力発生値は許容限界以下であり，静水压荷重に対して止水性を維持するために十分な構造強度を有することを確認した。

表 4-1 堰の強度評価結果

評価対象設備	評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力)		許容限界		検定値
中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰	止水板	曲げ	171	N/mm ²	235	N/mm ²	0.73 < 1.0
	梁材	曲げ	148	N/mm ²	235	N/mm ²	0.63 < 1.0
		せん断	7	N/mm ²	135	N/mm ²	0.06 < 1.0
		組合せ	149	N/mm ²	235	N/mm ²	0.64 < 1.0
	斜材	圧縮	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	接合ボルト	引張	151	N/mm ²	240	N/mm ²	0.63 < 1.0
	床アンカーボルト	引張	1369	N	10000	N	0.14 < 1.0
		せん断	2090	N	23800	N	0.09 < 1.0
		組合せ	—	—	—	—	0.03 < 1.0
	壁アンカーボルト	せん断	943	N	23800	N	0.04 < 1.0

VI-3-別添 3-4-3 逆流防止装置の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置計画	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重及び荷重の組合せ	8
4.3 許容限界	9
4.4 計算方法	11
4.5 計算条件	14
5. 評価結果	15

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち逆流防止装置が溢水による静水压荷重に対し、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置計画

強度評価の対象施設となる逆流防止装置の配置計画は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示す。

2.2 構造計画

逆流防止装置の構造計画は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

逆流防止装置は、フロート式の逆止弁であり、配管内で逆流が発生するとフロートが押し上げられ、弁座に密着することで止水する。逆流防止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
型式	主体構造	支持構造	
外ねじ 取付型	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	

2.3 評価方針

逆流防止装置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では、逆流防止装置の評価部位に作用する応力等が許容限界であることを、「4.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「4.5 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。また、構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については、評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「4.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「4.5 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

逆流防止装置の強度評価フローを図2-1に示す。

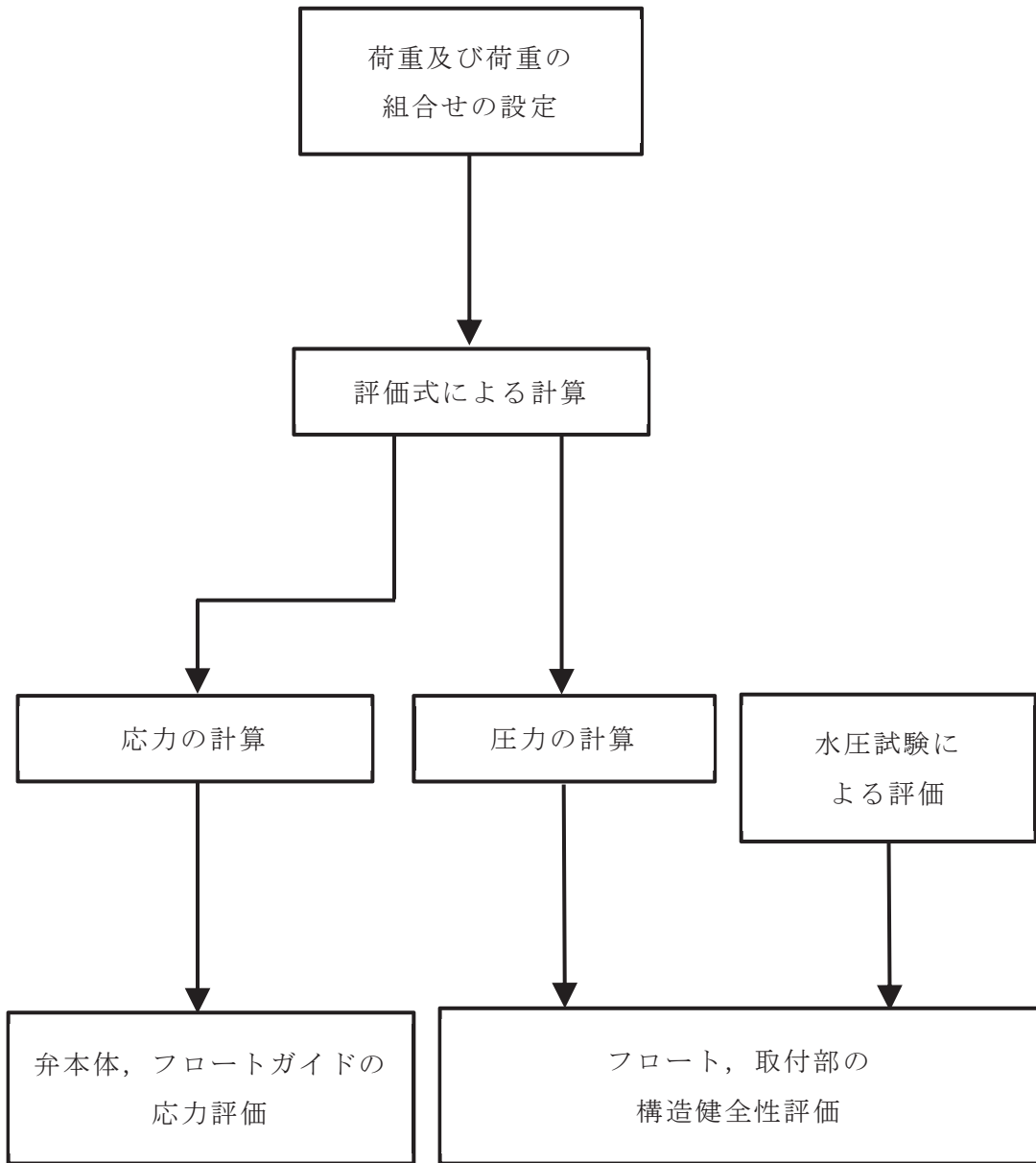


図 2-1 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下「設計・建設規格」という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (3) 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)
- (4) 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)
- (5) 日本産業規格 (J I S)
- (5) 日本機械学会 機械工学便覧

2.5 記号の説明

逆流防止装置の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 逆流防止装置の強度評価に用いる記号

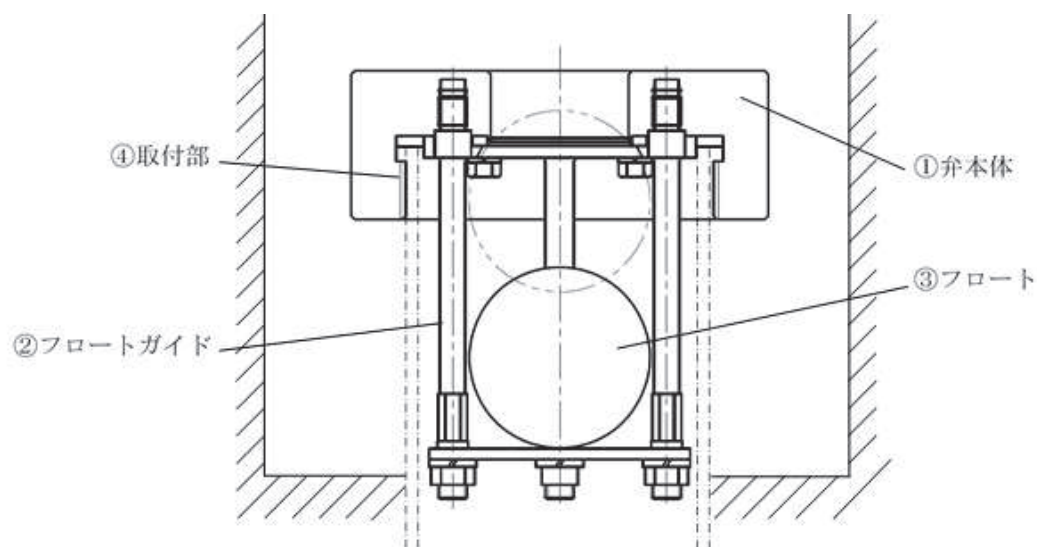
記号	記号の説明	単位
A_1	弁本体の最小断面積	mm^2
A_2	弁本体に作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_3	フロートガイドの最小断面積	mm^2
A_4	フロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
D_2	弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
D_3	フロートガイドの最小直径	mm
D_4	フロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
d_1	弁本体の内径	mm
D_1	弁本体の外径	mm
g	重力加速度	m/s^2
h	溢水による水頭	mm
L_1	弁全体の長さ	mm
L_2	フロートガイドの長さ	mm
m_1	弁の全質量	kg
m_2	フロートガイドの 1 本当たりの質量	kg
D	固定荷重	N
P_h	溢水による静水圧	MPa
P_w	フロートに発生する圧力	MPa
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料(ボルト材を除く)の各温度における許容引張応力	MPa
W_{d1}	弁本体自重	N
W_{d2}	フロートガイド自重	N
ρ_0	溢水の密度	kg/m^3
σ_{v1}	弁本体に加わる圧縮応力	MPa
σ_{v2}	フロートガイドに加わる圧縮応力	MPa

3. 評価部位

逆流防止装置の評価部位は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価部位を踏まえて、溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

溢水時は、逆止弁下流からの溢水による静水圧荷重により、弁本体、フロートガイド及びフロートに圧縮力が作用する。

このことから、逆流防止装置の強度評価においては、応力評価による評価部位として、弁本体及びフロートガイドを選定し、構造健全性評価による評価部位としてフロート及び取付部を選定する。逆流防止装置の評価部位について図3-1に示す。



図中の①及び②は応力評価による評価部位を、③及び④は構造健全性評価による評価部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆流防止装置の評価部位

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

逆流防止装置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

逆流防止装置の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「4.4 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (D)

常時作用する荷重は、弁本体及びフロートガイドの自重とする。

b. 静水圧荷重 (P_h)

静水圧荷重として、溢水に伴う水位による静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-9}$$

(2) 荷重の組合せ

逆流防止装置の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 逆流防止装置の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設	逆流防止装置	D + P _h

注記 * : Dを組み合わせることでP_hを緩和する方向に作用する場合は、保守的に組み合わせない評価を実施する。

4.3 許容限界

(1) 逆流防止装置

逆流防止装置の許容限界は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定している評価部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、弁本体及びフロートガイドについては、設計・建設規格に準じた供用状態Cの許容応力を用いる。

フロート及び取付部については、水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では、逆流防止装置の閉状態に対して、静水圧0.3MPaをフロート及び取付部に負荷し、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

逆流防止装置の弁本体及びフロートガイドの許容限界を表4-2に、弁本体及びフロートガイドの許容応力評価条件を表4-3に、弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果を表4-4にそれぞれ示す。

また、フロート及び取付部の許容限界を表4-5に示す。

表 4-2 弁本体及びフロートガイドの許容限界

供用状態	許容限界*
	一次応力
	圧縮
C	1.2・S

注記 *：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）を準用し、「管」の許容限界のうちクラス2, 3配管に対する許容限界に準じて設定する。

表 4-3 弁本体及びフロートガイドの許容応力評価条件

評価部位	材 料	温度条件 (℃)	S* (MPa)
弁本体	SUS303	60	127
フロートガイド	SUS304		127

注記 *：鉄鋼材料（ボルト材を除く）の許容引張応力を示す。

表 4-4 弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果

供用状態	評価部位	許容限界
		一次応力
		圧縮 (MPa)
C	弁本体	152
	フロートガイド	152

表 4-5 フロート及び取付部の許容限界

評価部位	水圧試験の圧力 (MPa)
フロート及び取付部	0.3

4.4 計算方法

逆流防止装置の強度評価は、構造部材に作用する応力が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

4.4.1 荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する。

(1) 固定荷重 (D)

逆流防止装置の自重は、溢水による静水圧荷重を緩和する方向に作用することから、考慮しない。

(2) 静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重 P_h は、逆流防止装置の設置位置における装置下流からの溢水に伴う静水圧を考慮する。

4.4.2 応力計算

(1) 弁本体

a. 圧縮

弁本体に加わる圧縮応力 σ_{v1} を以下の式より算出する。また、溢水による静水圧が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積 A_2 は、弁本体のうち溢水による静水圧を受ける面積が最も広い箇所を適用し、弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 から求める。弁本体の断面積 A_1 は、図4-1に示すとおり、弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし、弁本体の自重 W_{d1} は、圧縮応力 σ_{v1} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{v1} = \frac{W_{d1} + P_h \cdot A_2}{A_1}$$

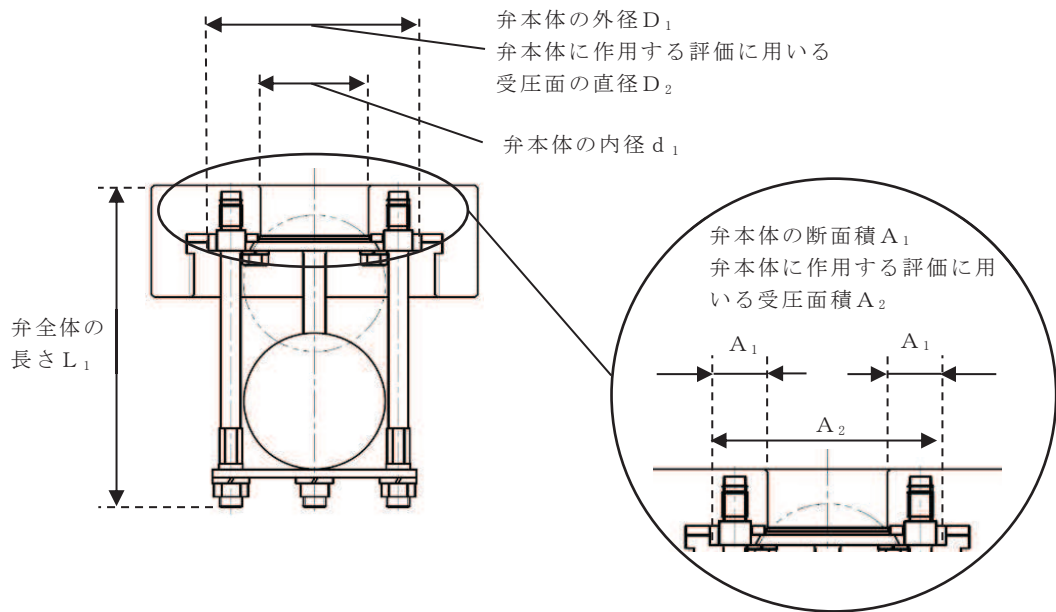


図 4-1 弁本体の寸法図

b. フロートガイド

(a) 圧縮

フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。また、溢水による静水圧がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積 A_4 は、フロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 から求める。フロートガイドの最小断面積 A_3 は、図4-2に示すとおり、フロートガイドのうち最も小さい径の断面を適用する。ただし、フロートガイド自重 W_{d2} は圧縮応力 σ_{V2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + P_h \cdot A_4}{A_3}$$

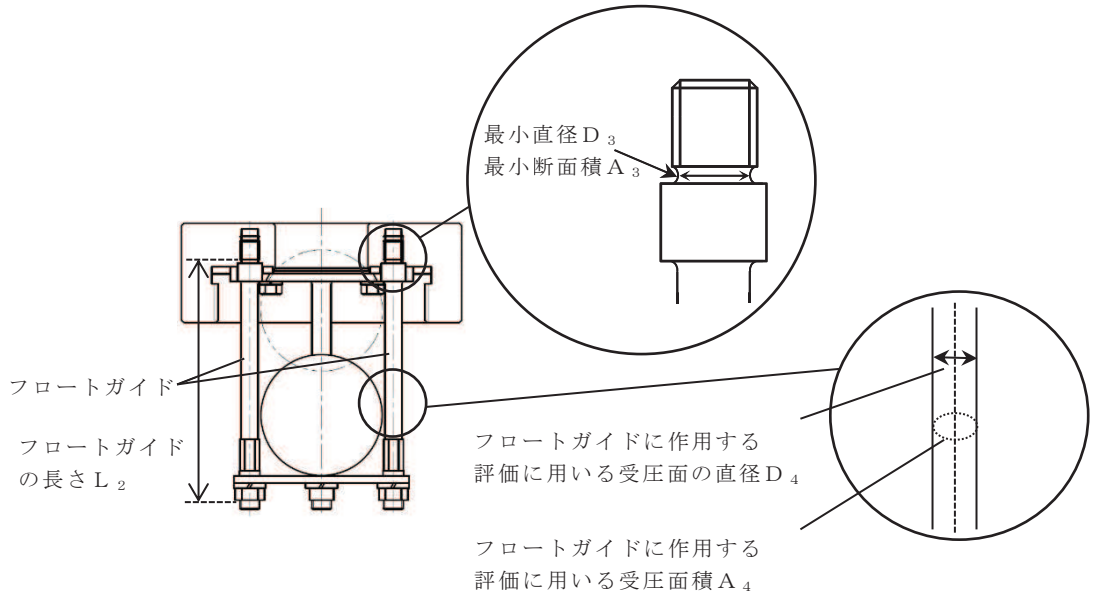


図 4-2 フロートガイドの寸法図

c. フロート及び取付部

フロート及び取付部に発生する圧力 P_w は溢水による静水圧とする。

$$P_w = P_h$$

4.5 計算条件

逆流防止装置の強度評価に用いる計算条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 逆流防止装置の強度評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁本体の長さ L_1 (mm)
SUS303	2.90	120

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小直径 D_3 (mm)
75	38	SUS304	6.6

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの 長さ L_2 (mm)	弁体に作用する評 価に用いる受圧面 の直径 D_2 (mm)	フロートガイドに 作用する評価に用 いる受圧面の直径 D_4 (mm)
0.05	102	75	7

重力加速度 g (m/s^2)	溢水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	溢水による水頭 h (mm)
9.80665	1000	2700

5. 評価結果

(1) 応力評価

弁本体及びフロートガイドの応力評価結果を表5-1に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 弁本体及びフロートガイドの応力評価結果

評価部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
弁本体	圧縮	1	152
フロートガイド	圧縮	1	152

(2) 構造健全性評価

フロート及び取付部の構造健全性評価結果を表 5-2 に示す。発生応力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価部位であるフロート及び取付部が構造健全性を有することを確認した。

表 5-2 フロート及び取付部の構造健全性評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
フロート及び取付部	圧縮	0.027	0.3

VI-3-別添 3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の説明	7
3.2 評価対象部位	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	9
3.5 計算方法	11
3.6 計算条件	12
4. 評価結果	13

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち貫通部止水処置が溢水による静水圧荷重に対し、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 位置

貫通部止水処置は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示すとおり、原子炉建屋，タービン建屋，制御建屋，海水ポンプ室及び軽油タンクエリアの貫通口と貫通物との隙間又は貫通物の周囲に施工する。

2.2 構造概要

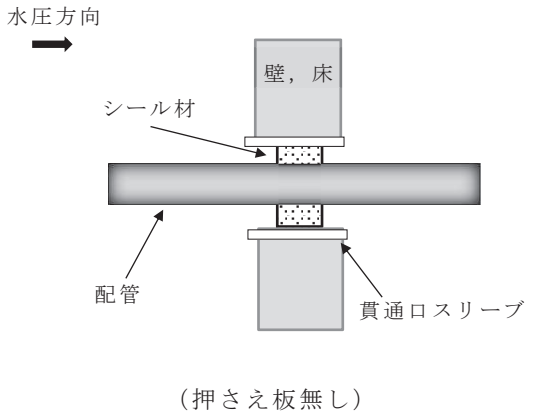
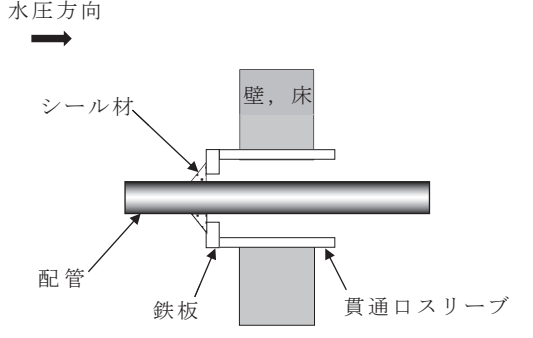
貫通部止水処置の構造は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は、貫通部の位置条件及び貫通物の強度条件に応じて、シール材、モルタル及びブーツを使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間に施工し、壁又は床面と貫通物を接合する構造とする。ブーツは、伸縮性ゴムを用い、壁又は床面の貫通口スリーブと配管を締付けバンドにて固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表2-1 に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (1/2)

設備名称	計画の概要		概略構造図*
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面の貫通ロスリーブと配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプの シール材にて 構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。また、押さえ板は、水圧作用時のシール材の変位を抑える。	<p>(押さえ板有り)</p>

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		概略構造図*
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	充填タイプの シール材にて 構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 <p>水圧方向 →</p> <p>壁, 床</p> <p>シール材</p> <p>配管</p> <p>貫通ロスリーブ</p> <p>(押さえ板無し)</p>
	コーキングタイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部と貫通物の隙間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 <p>水圧方向 →</p> <p>壁, 床</p> <p>シール材</p> <p>配管</p> <p>鉄板</p> <p>貫通ロスリーブ</p>

注記* : 水圧方向は、主たる作用方向を示す。

2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、貫通部止水処置の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内にあることを確認する。

貫通部止水処置は構造上の特徴の違いから、シール材及びブーツ並びにモルタルに分けて設計を行うこととする。シール材及びブーツの強度評価フローを図2-1 に、モルタルの強度評価フローを図2-2 に示す。

シール材及びブーツについては、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定しているとおおり、溢水による静水圧により生じる圧力を求め、水圧試験で確認した水圧以下であることにより確認する。

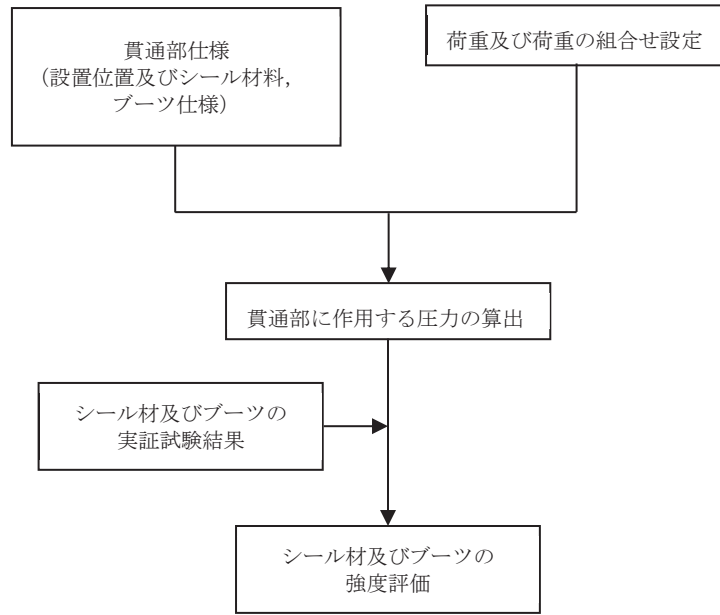


図2-1 シール材及びブーツの強度評価フロー

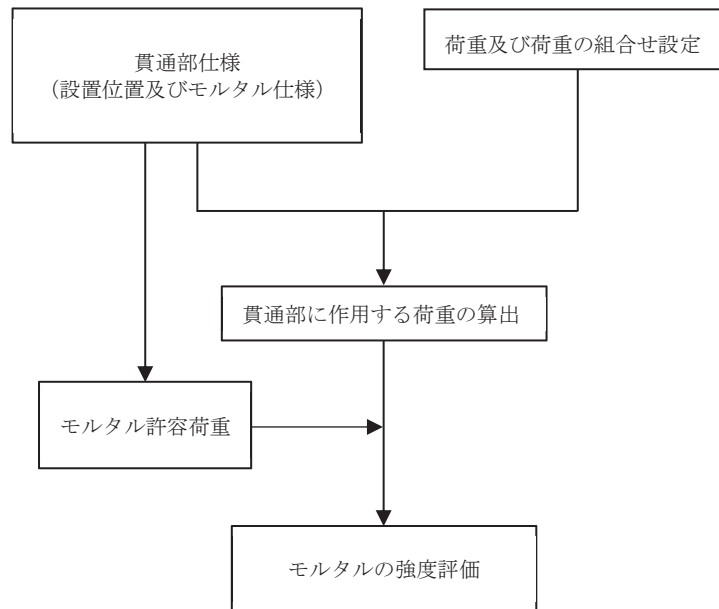


図2-2 モルタルの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]

3. 強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は、「3.2 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「3.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1 記号の説明

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 モルタルの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	静水圧荷重
ρ	kg/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	m	貫通部位置における水頭
S	m	貫通物の周長
W	kg	貫通物の支持間隔の質量
L	m	モルタルの充てん深さ
F_H	kN	貫通物の軸方向に作用する荷重
F_S	kN	貫通物の自重によりモルタルに生じるせん断荷重
$F_{S \text{ total}}$	kN	モルタル部に生じる合計せん断荷重
A'	mm^2	モルタルが水圧を受ける面積（受圧面積）
f_s	kN	モルタルの許容付着強度
f'_{bok}	N/mm^2	モルタルの付着強度
f'_{ck}	N/mm^2	モルタルの圧着強度
γ_c	—	材料定数

3.2 評価対象部位

貫通部止水処置の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価対象部位を踏まえて「2.2 構造概要」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水によって生じる静水圧を考慮した荷重は、止水処置全体へ伝達される。このことから、シール材、ブーツ及びモルタルを用いた止水処置の全体を評価対象部位として設定する。

モルタルについては、裕度が最も小さい貫通部を代表として評価を行う。シール材及びブーツについては、作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 自重 (D)

常時作用する荷重として自重を考慮する。

(2) 静水圧荷重 (P_h)

静水圧荷重として、浸水によって生じる静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

3.3.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ*
貫通部止水処置	$D + P_h$

注記* : Dは自重, P_h は溢水による静水圧荷重を示す。

3.4 許容限界

(1) モルタル

各評価対象部位の許容値は、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 3-3、許容限界評価条件を表 3-4、貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 3-5 に示す。また、モルタルの施工例を図 3-1 に示す。

表 3-3 貫通部止水処置の許容限界 (許容荷重)

状態	許容限界*
	付着荷重
短期	f_s

注記* : モルタルの許容限界は、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] によりモルタルの許容付着荷重 f_s 、モルタル付着強度 f'_{bok} を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。また、評価において最も裕度が小さくなる貫通物の口径=25A、モルタル充填深さ $L=0.46\text{m}$ とする。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

表 3-4 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価対象部位	f'_{ck} (N/mm^2)	γ_c (-)
モルタル	30	1.3

表 3-5 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価対象部位	許容限界
		付着荷重 (kN)
短期	モルタル	40

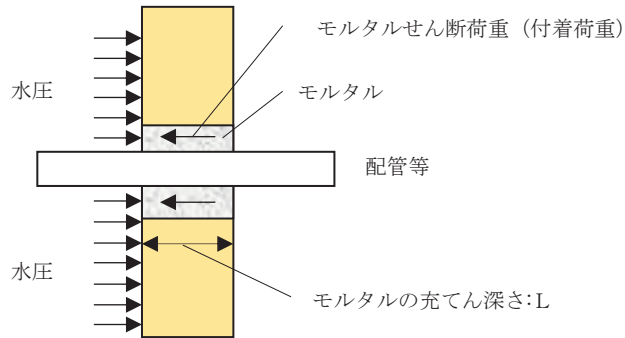


図 3-1 モルタルの施工例

(2) シール材

シール材の許容限界は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。シール材の水圧試験の概要を図 3-2 に示す。実機施工時には、試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界以上の耐圧性を有し、かつ、想定する浸水高さから求まる静水圧が、許容限界以内であることを確認して、確実に耐圧性を確保する。

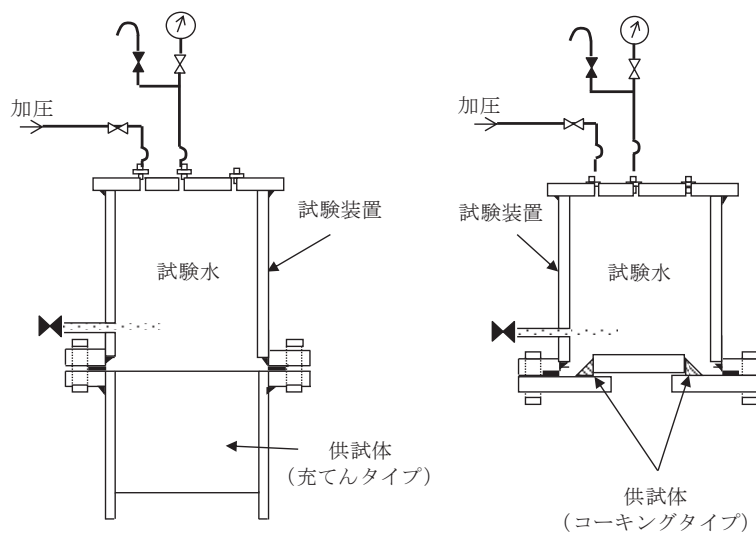


図 3-2 シール材の水圧試験の概要

(3) ブーツ

ブーツの許容限界は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。また、実機の施工状況を考慮し、受圧面がブーツ内側又は外側のどちらの場合でも止水機能が確保できることを確認するため、内圧試験及び外圧試験の両ケースを実施する。ブーツの水圧試験の概要を図3-3に示す。

実機施工時には、試験検証済みの寸法以下で施工する。

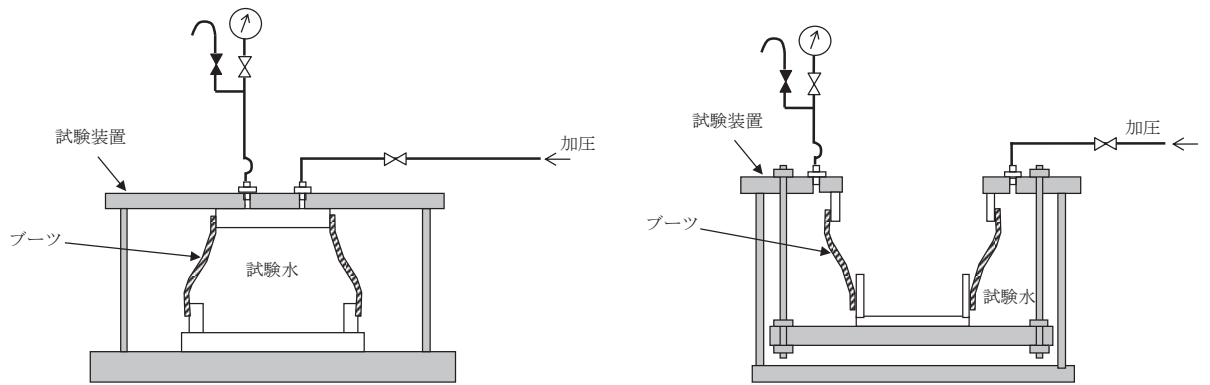


図3-3 ブーツの水圧試験の概要

3.5 計算方法

3.5.1 シール材及びブーツの強度評価

シール材及びブーツについては浸水によって生じる静水圧荷重 (P_h) を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

3.5.2 モルタルの強度評価

(1) 自重により生じる荷重

自重によりモルタルに生じる荷重は、次のとおり算出する。貫通物の自重は鉛直に作用するため、水圧が作用する方向と等しい床貫通部のみ考慮する。

$$F_H = W \cdot g$$

$$F_S = F_H$$

(2) 合計荷重

モルタルに発生する合計せん断荷重 $F_{S \text{ total}}$ は次のとおり算出する。

$$F_{S \text{ total}} = F_S + P_h \cdot A'$$

3.6 計算条件

貫通部止水処置の「3.5 計算方法」に用いる評価条件を表 3-6 に示す。

表 3-6 評価条件

貫通部箇所	重力加速度 g (m/s ²)	水の密度 ρ (kg/m ³)
海水ポンプ室壁面 (モルタル)	9.80665	1030 (海水)

貫通部位置における 水頭 h (m)	貫通物の支持間隔 の質量* W (kg)	モルタルが水圧を 受ける面積 A' (m ²)
4.33	□	0.06

注記 * :

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 評価結果

シーリング材、モルタル及びブーツの強度評価結果を表 4-1 に示す。シーリング材、モルタル及びブーツの発生圧力又は発生荷重は許容圧力又は許容荷重以下であることを確認した。

表4-1 強度評価結果

(シーリング材)

評価対象部位	発生圧力* (MPa)	許容圧力 (MPa)
シーリング材	0.23	0.40

(モルタル)

評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
モルタル		40

(ブーツ)

評価対象部位	発生圧力* (MPa)	許容圧力 (MPa)
ブーツ	0.23	0.37

注記 * : 保守的に原子炉建屋地下 3 階 (O. P. -8.1m) から地表面 (O. P. 14.8m) までの高さとして設定

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-別添 4 発電用火力設備の技術基準による強度に関する説明書

まえがき

本資料は、「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（平成 9 年 3 月 27 日通商産業省令第 51 号）を準用する設備に対して十分な強度を有することを確認するため以下により構成される。

第一部 発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針

第二部 発電用火力設備の技術基準による強度評価方法

第三部 発電用火力設備の技術基準による強度評価書

第一部 発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針

目次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象設備	2
2.2 評価方法の選定	3

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）第 48 条第 2 項及び第 3 項並びに第 78 条第 1 項に基づき、添付書類「VI-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」及び「VI-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」で「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（平成 9 年 3 月 27 日通商産業省令第 51 号）（以下「火力省令」という。）を準用する設備として対象としている設計基準対象施設又は重大事故等対処設備に施設するガスタービン及び内燃機関が、十分な強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

2. 強度評価の基本方針

設計基準対象施設又は重大事故等対処設備に施設するガスタービン及び内燃機関については、技術基準規則第 48 条第 2 項及び第 3 項並びに第 78 条第 1 項に基づき、ガスタービンは火力省令第 19 条から第 23 条を、内燃機関は火力省令第 25 条から第 29 条の規定を準用し、強度評価においては、火力省令第 19 条 4 項及び第 25 条第 3 項を適用する。また、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 1306194 号）第 48 条第 5 項において、火力省令の準用にあたっては、「発電用火力設備の技術基準の解釈」（平成 25 年 5 月 17 日 20130507 経済産業省商局第 2 号）（以下「火力基準解釈」という。）の該当部分によることが規定されている。

よって、ガスタービンについては、火力省令第 19 条第 4 項を受けた火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号に、内燃機関については、火力省令第 25 条第 3 項を受けた火力基準解釈第 39 条第 1 項第 2 号に基づき、同解釈第 5 条を準用した水圧試験による強度評価又は最高使用圧力の 1.5 倍*の水圧に耐える強度を有することを確認するための強度計算による評価を実施する。

上記によらない評価方法により強度評価を実施するものについては、その評価方法により火力省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できることを確認した上で、強度評価を実施する。

注記*：火力基準解釈については、平成 28 年 2 月 25 日に一部改正され、材料の許容応力を求める際の安全率や水圧試験の倍率が見直されているが、より厳しい評価となるよう改正前の解釈を用いる。

2.1 評価対象設備

設計基準対象施設又は重大事故等対処設備に施設するガスタービン及び内燃機関として、添付書類「VI-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」及び「VI-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」に基づき、強度評価を実施する設備について以下に示す。

- ・非常用ディーゼル機関
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関
- ・ガスタービン機関
- ・屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプ

また、ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）についても強度評価対象とする。

2.2 評価方法の選定

強度評価については、火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号にて、同解釈第 5 条（水圧試験）を準用することが規定されている。

ただし、当該機種と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの並びに最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することが強度計算等で確認できるものについては、水圧試験を要しないことが規定されている。

よって、上記規定のいずれかの方法により強度評価を行うこととするが、評価対象設備において水圧試験の試験結果があるもの並びに評価対象設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の試験結果があるものについては、それらの試験結果の確認により強度評価を実施する。なお、ガスタービン車室及び管については、最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを強度計算で確認する。

また、開放型タンク及びその管台については、最高使用圧力が 0MPa であることから耐圧部分に該当せず火力基準解釈第 5 条要求に該当しないものの、消防法に準じた水圧試験を実施していることを確認する。

第二部 発電用火力設備の技術基準による強度評価方法

目次

1. 概要	1
2. 強度評価方法	2
2.1 水圧試験	2
2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験	4
2.3 強度計算方法	5
2.3.1 ガスタービン車室の強度計算	5
2.3.2 管の強度計算	7
3. 強度評価書のフォーマット	9
3.1 強度評価書のフォーマットの概要	9
3.2 記載する数値に関する注意事項	9
3.3 強度評価書のフォーマット	9

1. 概要

本資料は、第一部「発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針」に基づき、非常用ディーゼル機関の内燃機関、高圧炉心スプレィ系ディーゼル機関の内燃機関、ガスタービン機関のガスタービン、屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプの内燃機関及びガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認するための強度評価方法について説明するものであり、強度評価方法及び強度評価書のフォーマットにより構成する。

2. 強度評価方法

「発電用火力設備の技術基準の解釈」（平成 25 年 5 月 17 日 20130507 経済産業省商局第 2 号）（以下「火力基準解釈」という。）の第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号に基づき、以下の(1)に示す火力基準解釈第 5 条の水圧試験の試験結果の確認による強度評価を基本とする。

ただし、評価対象設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果があるものについては、(2)に示す水圧試験の試験結果の確認により強度評価を実施する。また、ガスタービン車室及び管については、(3)に示す強度計算により強度評価を実施する。

(1) 水圧試験

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐え、これに適合するものであることを確認する。

(2) 内燃機関ケーシングの水圧試験

当該機種と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するものについては、その結果を確認する。

(3) 強度計算

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐える強度を有することを強度計算により確認する。

2.1 水圧試験

ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備のうち水圧試験により評価を実施するものについては、火力基準解釈第 5 条に基づき、最高使用圧力の 1.5 倍以上の水圧まで昇圧した後、適切な時間保持したとき、これに耐えることを確認する。また、上記試験に引き続き最高使用圧力以上の水圧で点検を行ったときに、漏えいがないものであることを確認する。

試験条件を以下に示す。

名 称		最高使用 圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の 附属施設 (非常用電源設備)	非常用ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	静水頭	*1	
	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 ^{*5}	1.5以上 ^{*2}	1.47 ^{*5}
	非常用ディーゼル発電設備軽油タンク	静水頭	*1	
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	静水頭	*1	
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 ^{*5}	1.5以上 ^{*2}	1.47 ^{*5}
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 軽油タンク	静水頭	*3	
	ガスタービン発電設備燃料小出槽	静水頭	*1	
	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	0.95	1.5以上 ^{*4}	1.43
	ガスタービン発電設備軽油タンク	静水頭	*1	
	緊急時対策所軽油タンク	静水頭	*1	
	ガスタービン発電設備 フレキシブルホース	0.95	1.5以上 ^{*4}	1.43

注記*1：消防法に準じた水圧試験に合格している。

*2：火力基準解釈第5条の水圧試験による試験結果を確認する。

*3：消防法に準じた水圧試験を実施する。

*4：火力基準解釈第5条の水圧試験を実施する。

*5：SI 単位に換算したものである。

2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験

内燃機関ケーシングの水圧試験の実績により評価を実施するものについては、火力基準解釈第39条第1項第2号において、「当該機種と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第5条を満たす水圧試験の実績を有するもの」にあつては水圧試験を要しないと規定されていることから、圧力バウンダリとして主要な耐圧部である内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果を確認する。また、水圧試験の実績には、「当該設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第5条を満たす水圧試験の実績を有するもの」として当該評価対象機種の内燃機関ケーシングにおける水圧試験を含める。試験条件を以下に示す。

名 称		最高使用 圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設 (非常用電源設備)	非常用ディーゼル機関 *1	0.64 *2	1.5 以上	0.98 *2
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 *3	0.64 *2	1.5 以上	0.98 *2
その他発電用原子炉の附属施設 (火災防護設備)	屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプ	0.049 *2	1.5 以上	0.074 *2

注記*1：非常用ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

*2：SI 単位に換算したものである。

*3：高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

2.3 強度計算方法

2.3.1 ガスタービン車室の強度計算

(1) 強度計算方法

ガスタービンのうち強度計算を実施するガスタービン車室については、火力基準解釈第32条第1項第3号ロに定める強度計算において、火力基準解釈第6条第2項第2号に記載されている計算式を準用し、ガスタービン車室として最高使用圧力の1.5倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また、火力基準解釈別表第1に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に、温度が記載値の中間値の場合は、比例法を用いて許容引張応力を計算し、その場合の端数処理は、小数第1位以下を切捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 記号の定義

ガスタービン車室の厚さの計算に用いる記号について、以下に説明する。

	記号	単位	定義
ガスタービン車室の厚さ計算に使用するもの	t	mm	円筒部の計算上必要な厚さ
	P	MPa	最高使用圧力
	D_i	mm	tを計算する部分の内径
	σ_a	N/mm ²	最高使用温度における火力基準解釈別表第1に規定する材料の許容引張応力
	η	—	継手の効率又はリガメント効率
	α_1	mm	付け代
	k	—	材料の係数

(3) 厚さの計算

ガスタービン車室の厚さが、以下の計算式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区分	適用基準	計算式
円筒形の胴	火力基準解釈第6条 第2項第2号	*1, *2 $t = \frac{P \cdot D_i}{2\sigma_a \cdot \eta - 2P \cdot (1 - k)} + \alpha_1$

注記*1：継手の効率 η

長手継手の効率は、火力基準解釈第6条第3項に規定される J I S B 8201 における表 8.2 を用いるが、今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあつては火力基準解釈第125条及び第127条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い、同条第3項第1号の規定に適合するもの、それ以外のものにあつては同解釈第143条及び第145条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い、同条第3項第1号の規定に適合するもの	
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

注記*2：付け代 α_1

付け代は、火力技術基準解釈第6条第2項に規定される J I S B 8201 にて定義されている。今回の評価ではボイラー等及び独立節炭器以外のものに属する容器の胴に該当するため、火力基準解釈第6条第2項により付け代を0とする。

2.3.2 管の強度計算

(1) 強度計算方法

ガスタービン又は内燃機関のうち強度計算を実施する管については、火力基準解釈第32条第1項第3号口及び39条第1項第2号口に定める強度計算において、火力基準解釈第12条第1項第7号に記載されている計算式を準用し、ガスタービン及び内燃機関の管として最高使用圧力の1.5倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また、火力基準解釈別表第1に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に、温度が記載値の中間値の場合は、比例法を用いて許容引張応力を計算し、その場合の端数処理は、小数第1位以下を切捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

フランジについては、火力基準解釈第13条第1項に規定される日本産業規格等、火力省令を準用する管継手については、日本産業規格等に適合するものを使用する。

(2) 記号の定義

管の厚さの計算に用いる記号について、以下に説明する。

	記号	単位	定義
管の厚さ計算に使用するもの	P	MPa	管の内側の最高使用圧力
	σ_a	N/mm ²	最高使用温度における火力基準解釈別表第1に規定する材料の許容引張応力
	d _o	mm	管の外径
	t	mm	管の計算上必要な厚さ
	η	-	継手の効率

(3) 管の厚さの計算

管の厚さが，以下の計算式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区分	適用基準	計算式
その他管	火力基準解釈第 12 条 第 1 項第 7 号	$t = \frac{P \cdot d_o}{2\sigma_a \cdot \eta + 0.8P}$ *

注記*：継手の効率 η

長手継手の効率は，火力基準解釈第 12 条第 1 項に規定される J I S B 8 2 0 1 に
おける表 8.2 を用いるが，今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあっては火力基準解釈第 125 条及び第 127 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの，それ以外のもの にあっては同解釈第 143 条及び第 145 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの	
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

3. 強度評価書のフォーマット

3.1 強度評価書のフォーマットの概要

水圧試験結果のフォーマットは、試験条件及び結果を記載し、強度計算書のフォーマットは、耐圧部分を構成する部材についてフォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2 記載する数値に関する注意事項

フォーマットに挙げた諸元のうち、計算に使用しないものや計算結果のないものは、計算結果表の欄には として記載する。

3.3 強度評価書のフォーマット

強度評価書のフォーマットは、以下のとおりである。

FORMAT-I	水圧試験結果
FORMAT-II	内燃機関ケーシングの水圧試験結果
FORMAT-III	ガスタービン車室の厚さの計算結果
FORMAT-IV	管の厚さの計算結果

FORMAT- I 水圧試験結果

設備区分

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価

FORMAT-II 内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価

FORMAT-III ガスタービン車室の厚さの計算結果

設備区分

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	内径 D_i (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の 許容差 Q	継手の効率 η	材料の係数 k	計算上 必要な厚さ t (mm)	車室の厚さ (最小厚さ) (mm)
評 価 :											

FORMAT-IV 管の厚さの計算結果

設備区分

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d _o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
評 価 :											

第三部 発電用火力設備の技術基準による強度評価書

目次

1. 概要	1
2. その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）の ガスタービン及び内燃機関の強度評価書	2
2.1 水圧試験結果	3
2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験結果	4
2.3 強度計算結果	5
2.3.1 ガスタービン車室の設計仕様	5
2.3.2 ガスタービン車室の厚さの計算結果	6
2.3.3 管の設計仕様	7
2.3.4 管の厚さ計算結果	11
3. その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）の管の強度評価書	14
3.1 強度計算結果	15
3.1.1 管の設計仕様	15
3.1.2 管の厚さの計算結果	16

1. 概要

本資料は、第二部「発電用火力設備の技術基準による強度評価方法」に基づき、非常用ディーゼル機関の内燃機関、高圧炉心スプレィ系ディーゼル機関の内燃機関、ガスタービン機関のガスタービン、屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプの内燃機関及びガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認した結果を示す。

2. その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）の
ガスタービン及び内燃機関の強度評価書

2.1 水圧試験結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 *	1.47 *	1.5	良	適合
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 *	1.47 *	1.5	良	適合
ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ	0.95	1.43	1.5	良	適合

注記* : SI 単位に換算したものである。

2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価
非常用ディーゼル機関 *1	0.64 *2	0.98 *2	1.53	良	適合
高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 *3	0.64 *2	0.98 *2	1.53	良	適合

注記*1：非常用ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

*2：SI 単位に換算したものである。

*3：高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

2.3 強度計算結果

2.3.1 ガスタービン車室の設計仕様

名 称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	内径 D_i (mm)	公称厚さ (mm)	材料	番号
<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>						1
						2
						3
						4
						5
						6
						7

5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3.2 ガスタービン車室の厚さの計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源施設） 非常用発電装置

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (℃)	材 料	許容引張 応力* σ_a (N/mm ²)	内径 D _i (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の 許容差 Q	継手の効率 η	材料の係数 k	計算上 必要な厚さ t (mm)	車室の厚さ (最小厚さ) (mm)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
<p>評 価：上記車室の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。</p>											

注記*：製造メーカー提示値による。

2.3.3 管の設計仕様

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	*1 外 径 (mm)	*1 厚 さ (mm)	材 料	番 号
非常用ディーゼル発電設備	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク ～ 燃料移送ポンプ入口配管分 岐点	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	1
	燃料移送ポンプ入口配管分 岐点 ～ 燃料移送ポンプ	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	2
				60.5	5.5	STPT370	3
				76.3	5.2	STPT370	4
	燃料移送ポンプ ～ 燃料デイタンク	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	5
				*2 60.5	*2 5.5	*2 STPT38	6

注記*1：公称値を示す。

*2：本設備は既存の設備である。

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	*1 外 径 (mm)	*1 厚 さ (mm)	材 料	番 号
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク ～ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ入口配管分岐点	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	7
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ入口配管分岐点 ～ 燃料移送ポンプ	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	8
				60.5	5.5	STPT370	9
				76.3	5.2	STPT370	10
	燃料移送ポンプ ～ 燃料デイタンク	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	11
				*2 60.5	*2 5.5	*2 STPT38	12

注記*1：公称値を示す。

*2：本設備は既存の設備である。

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	* 外 径 (mm)	* 厚 さ (mm)	材 料	番 号
ガ ス タ ー ビ ン 発 電 設 備	ガスタービン発電設備軽油 タンク給油口	0.95	50	60.5	5.5	STS410	13
	～ ガスタービン発電設備軽油 タンク			89.1	5.5	STS410	14
	ガスタービン発電設備軽油 タンク ～ ガスタービン発電設備軽油 タンク出口配管分岐点	0.95	50	60.5	5.5	STS410	15
	ガスタービン発電設備軽油 タンク出口配管分岐点 ～ ガスタービン発電設備燃料 移送ポンプ	0.95	50	60.5	5.5	STS410	16
				76.3	5.2	STS410	17
	ガスタービン発電設備燃料 移送ポンプ ～ ガスタービン発電設備燃料 小出槽	0.95	50	60.5	5.5	STS410	18
				60.5	3.9	SUS304TP	19
				34.0	3.4	SUS304TP	20

注記*：公称値を示す。

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	* 外 径 (mm)	* 厚 さ (mm)	材 料	番 号
緊急時対策所ディーゼル発電設備	緊急時対策所軽油タンク ～ 給油口	0.05	50	60.5	5.5	STS410	21
				34.0	4.5	STS410	22

注記*：公称値を示す。

2.3.4 管の厚さ計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d _o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
1	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
2	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
3	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
4	0.98	66	STPT370	92	76.3	5.2	12.5%	1.00	0.41	—	4.55
5	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
6	0.98	66	(STPT38)*	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
7	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
8	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
9	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
10	0.98	66	STPT370	92	76.3	5.2	12.5%	1.00	0.41	—	4.55

評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

注記*：() は旧 J I S 記号を示す。

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d_o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	計算上必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管の必要最小厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
11	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
12	0.98	66	(STPT38)*	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
13	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
14	0.95	50	STS410	103	89.1	5.5	12.5%	1.00	0.41	—	4.82
15	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
16	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
17	0.95	50	STS410	103	76.3	5.2	12.5%	1.00	0.35	—	4.55
18	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
19	0.95	50	SUS304TP	126	60.5	3.9	0.5mm	1.00	0.23	—	3.40
20	0.95	50	SUS304TP	126	34.0	3.4	0.5mm	1.00	0.13	—	2.90

評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

注記*：() は旧 J I S 記号を示す。

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d _o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
21	0.05	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.02	—	4.82
22	0.05	50	STS410	103	34.0	4.5	12.5%	1.00	0.01	—	3.94
評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。											

3. その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）の管の強度評価書

3.1 強度計算結果

3.1.1 管の設計仕様

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	* 外 径 (mm)	* 厚 さ (mm)	材 料	番 号
補機 駆動 用 燃 料 設 備	燃料移送ポンプ入口配管分岐点 ～ 非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク払出口	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	1
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ入口配管分岐点 ～ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク払出口	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	2
	ガスタービン発電設備軽油タンク出口配管分岐点 ～ ガスタービン発電設備軽油タンク払出口	0.95	50	60.5	5.5	STS410	3

注記*：公称値を示す。

3.1.2 管の厚さの計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備） 燃料設備

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d _o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
1	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
2	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
3	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82

評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

VI-3-別添 5 非常用発電装置(可搬型)の強度に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象設備	2
2.2 評価方法の選定	2
3. 強度評価方法	3
3.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価	3
4. 強度評価結果	3
4.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価結果	3

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」にて、「発電用火力設備の技術基準を定める省令」を引用している「NEGA C 33 1-2005 可搬形発電設備技術基準」（以下「可搬形発電設備技術基準」という。）の準用を確認した可搬型の非常用発電装置の内燃機関が、十分な強度を有することを確認するための強度評価方針，強度評価方法について説明するものである。

2. 強度評価の基本方針

非常用発電装置(可搬型)の内燃機関の強度評価は、常設の非常用発電装置の内燃機関と同様に耐圧部の強度評価を行う。ただし、可搬形発電設備技術基準には耐圧部の強度に関連する事項がないため、完成品として一般産業品の規格及び基準により、耐圧部が要求される強度を有していることを確認する。

2.1 評価対象設備

強度評価を行う非常用発電装置(可搬型)の内燃機関を表 2-1 に示す。

表 2-1 強度評価の対象設備

施設 分類	強度評価の対象設備
その他 発電用 原子炉 の 附属 施設	<ul style="list-style-type: none"> • 電源車(内燃機関) • 電源車(緊急時対策所用)(内燃機関) • 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(内燃機関)

2.2 評価方法の選定

強度評価については、内燃機関等を含めた一体構造品の完成品として製作されている非常用発電装置(可搬型)が重大事故等時に給電で要求される強度を有することを確認するため、「JEM-1398-2005 ディーゼルエンジン駆動可搬形交流発電装置」(以下「JEM-1398」という。)又は「JEM-1435-2014 非常用陸用同期発電機」(以下「JEM-1435」という。)に規定される温度試験により、非常用発電装置(可搬型)が内燃機関等を含めた一体構造品として、定格負荷状態において安定した運転が維持されることの確認による評価を実施する。

3. 強度評価方法

非常用発電装置(可搬型)は、JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験により、強度の要求を満たしていることを以下のとおり確認する。

また、温度試験による強度評価は、対象となる非常用発電装置(可搬型)又はその発電装置と同一型式の発電装置の試験結果にて実績を確認する。

3.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価

(1) 使用条件に対する強度の確認

JEM-1398又はJEM-1435に基づいた温度試験により、対象となる非常用発電装置(可搬型)の定格負荷状態における最高温度が、メーカー許容値の範囲内であることを確認し、当該非常用発電装置(可搬型)が十分な強度を有することを確認する。

4. 強度評価結果

4.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価結果

非常用発電装置(可搬型)は、内燃機関等を含めた一体構造品としてJEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験により強度評価を実施しているため、強度評価結果を重大事故等クラス3機器である非常用発電装置(可搬型)の冷却水ポンプが記載されている添付書類「VI-3-3-7-1-1-3-1 電源車(冷却水ポンプ)の強度評価書」、添付書類「VI-3-3-7-1-1-4-1 電源車(緊急時対策所用)(冷却水ポンプ)の強度評価書」及び添付書類「VI-3-3-7-1-1-5-1 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(冷却水ポンプ)の強度評価書」並びに燃料タンクが記載されている添付書類「VI-3-3-7-1-1-3-2 電源車(燃料タンク)の強度評価書」、添付書類「VI-3-3-7-1-1-4-2 電源車(緊急時対策所用)(燃料タンク)の強度評価書」及び添付書類「VI-3-3-7-1-1-5-2 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(燃料タンク)の強度評価書」に示す。

強度評価結果より、表2-1の非常用発電装置(可搬型)の内燃機関は、重大事故等時における非常用発電装置(可搬型)の所要負荷に対する給電で要求される強度を有している。

VI-3-別添 6 炉心支持構造物の強度に関する説明書

目次

- VI-3-別添 6-1 炉心シュラウドの強度計算書
- VI-3-別添 6-2 シュラウドサポートの強度計算書
- VI-3-別添 6-3 炉心シュラウド支持ロッドの強度計算書
- VI-3-別添 6-4 上部格子板の強度計算書
- VI-3-別添 6-5 炉心支持板の強度計算書
- VI-3-別添 6-6 燃料支持金具の強度計算書
- VI-3-別添 6-7 制御棒案内管の強度計算書

VI-3-別添 6-1 炉心シュラウドの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	5
2.1	重大事故等時の条件	5
2.2	材料	5
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	5
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	5
2.5	許容応力	5
2.6	応力の記号と方向	5
3.	応力計算	6
3.1	応力評価点	6
3.2	差圧による応力	6
3.2.1	荷重条件	6
3.2.2	計算方法	6
3.3	外荷重による応力	7
3.3.1	荷重条件	7
3.3.2	計算方法	7
3.4	応力の評価	7
4.	応力強さの評価	8
4.1	一次一般膜応力強さの評価	8
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5.	特別な応力の評価	9
5.1	支圧応力の評価	9
5.1.1	支圧面積	9
5.1.2	支圧荷重	9
5.1.3	平均支圧応力	9
5.1.4	支圧応力の評価	9

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 5-1	支圧荷重の支持面	10
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	12
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14
表 5-1	支圧応力の評価	15

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの強度計算書である。

炉心シュラウドは、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」（2）強度評価編の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
σ _c	平均支圧応力	MPa

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

なお、下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は、添付書類「VI-3-別添 6-2 シュラウドサポートの強度計算書」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

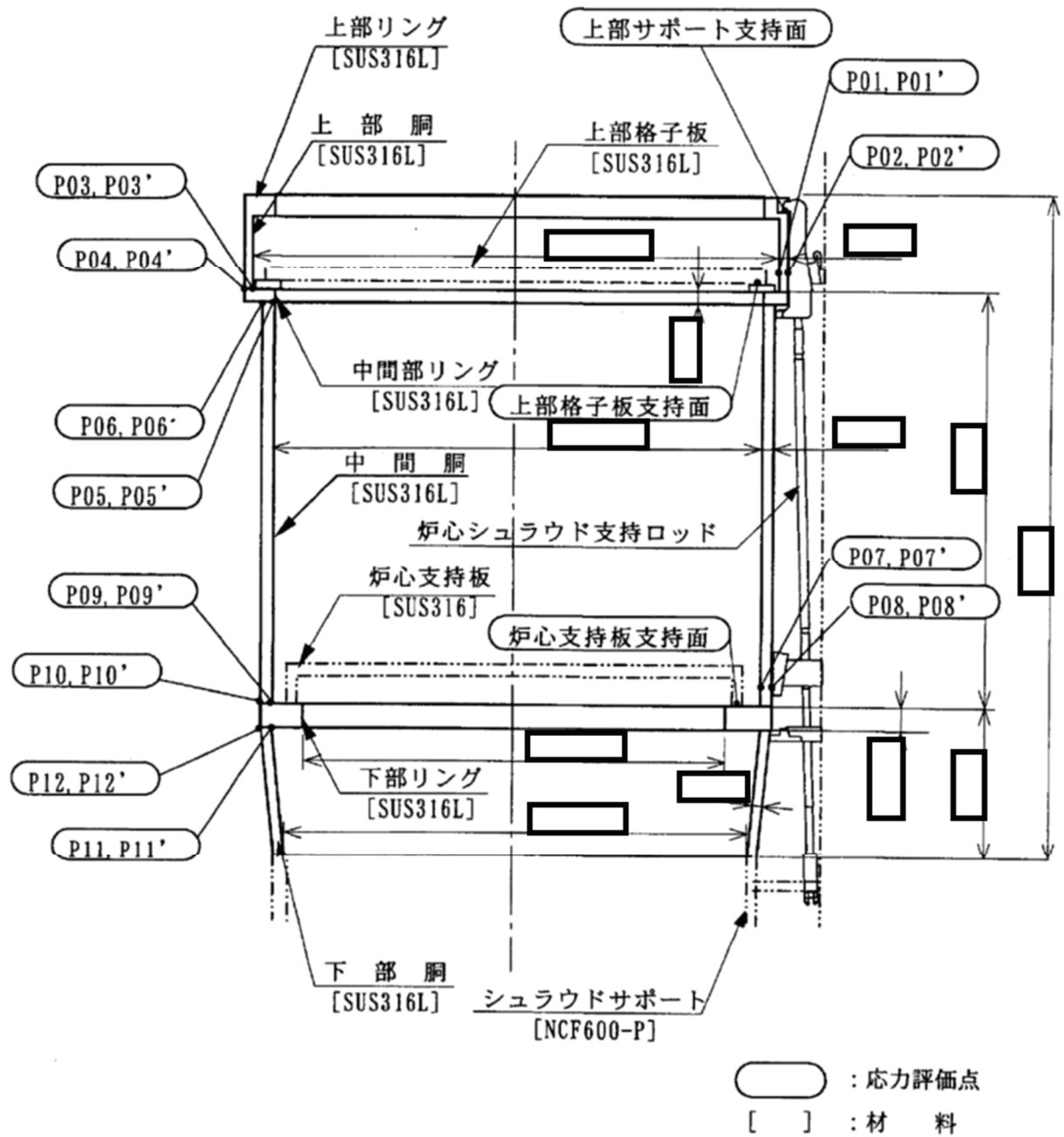


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
上部胴 SUS316L	V	15	223	P01-P02	15	335	P01-P02
	V	15	145*	P03-P04	15	218*	P03-P04
中間胴 SUS316L	V	14	145*	P05-P06	14	218*	P05-P06
	V	14	223	P07-P08	14	335	P07-P08
	V	14	145*	P09-P10	14	218*	P09-P10
下部胴 SUS316L	V	27	145*	P11-P12	27	218*	P11-P12

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	支圧応力	
		平均支圧応力	許容応力
上部格子板支持面 SUS316L	V	2	207
炉心支持板支持面 SUS316L	V	1	207
上部サポート支持面 SUS316L	V	15	207

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.3 節に示す。

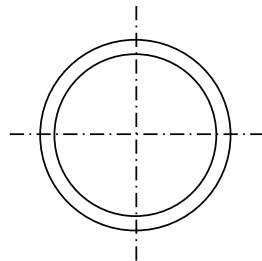
2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節に示す。

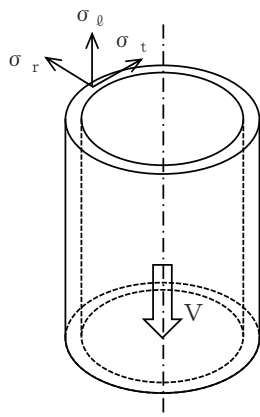
溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.6 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。



- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- $\tau_{\ell r}$: せん断応力
- V : 鉛直力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.2 節に示す。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_\theta = \frac{V}{A}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は、存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.1節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は、存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の5.3.2項に定められておりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態 V の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

5.1 支圧応力の評価

炉心シュラウドの上部格子板支持面及び炉心支持板支持面には、それぞれの鉛直力により支圧応力が生じ、炉心シュラウドの上部サポート支持面には炉心シュラウド支持ロッドの軸力による支圧応力が発生するため、支圧応力の評価を行う。

5.1.1 支圧面積（図 5-1 参照）

(1) 上部格子板支持面

上部格子板支持面の支圧荷重を受ける面積は、以下のとおりである。

$$A = \boxed{\hspace{10em}} \text{ mm}^2$$

(2) 炉心支持板支持面

炉心支持板支持面の支圧荷重を受ける面積は、以下のとおりである。

$$A = \boxed{\hspace{10em}} \text{ mm}^2$$

(3) 上部サポート支持面

上部サポート支持面の支圧荷重を受ける面積は、以下のとおりである。

$$A = \boxed{\hspace{20em}} \text{ mm}^2$$

5.1.2 支圧荷重

重大事故等時における上部格子板支持面、炉心支持板支持面及び上部サポート支持面に作用する鉛直力を「応力解析の方針」（2）強度評価編の 4.1 節（荷重用点 G、H 及び J）に示す。

5.1.3 平均支圧応力

平均支圧応力 σ_c は、次式で求める。

$$\sigma_c = \frac{V}{A}$$

5.1.4 支圧応力の評価

運転状態 V における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、運転状態 V の平均支圧応力は、「応力解析の方針」（2）強度評価編の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

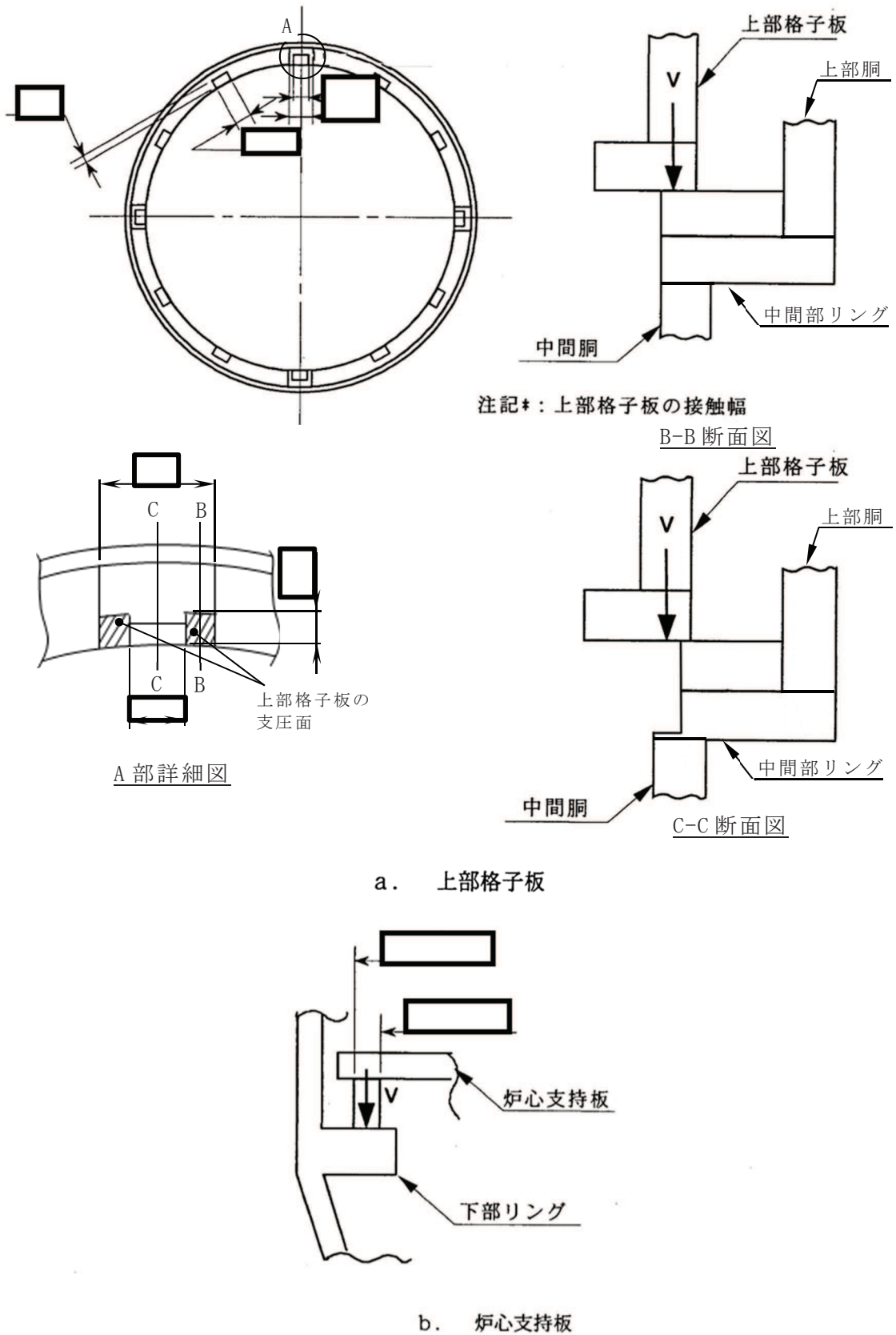


図 5-1(1) 支圧荷重の支持面 (単位: mm)

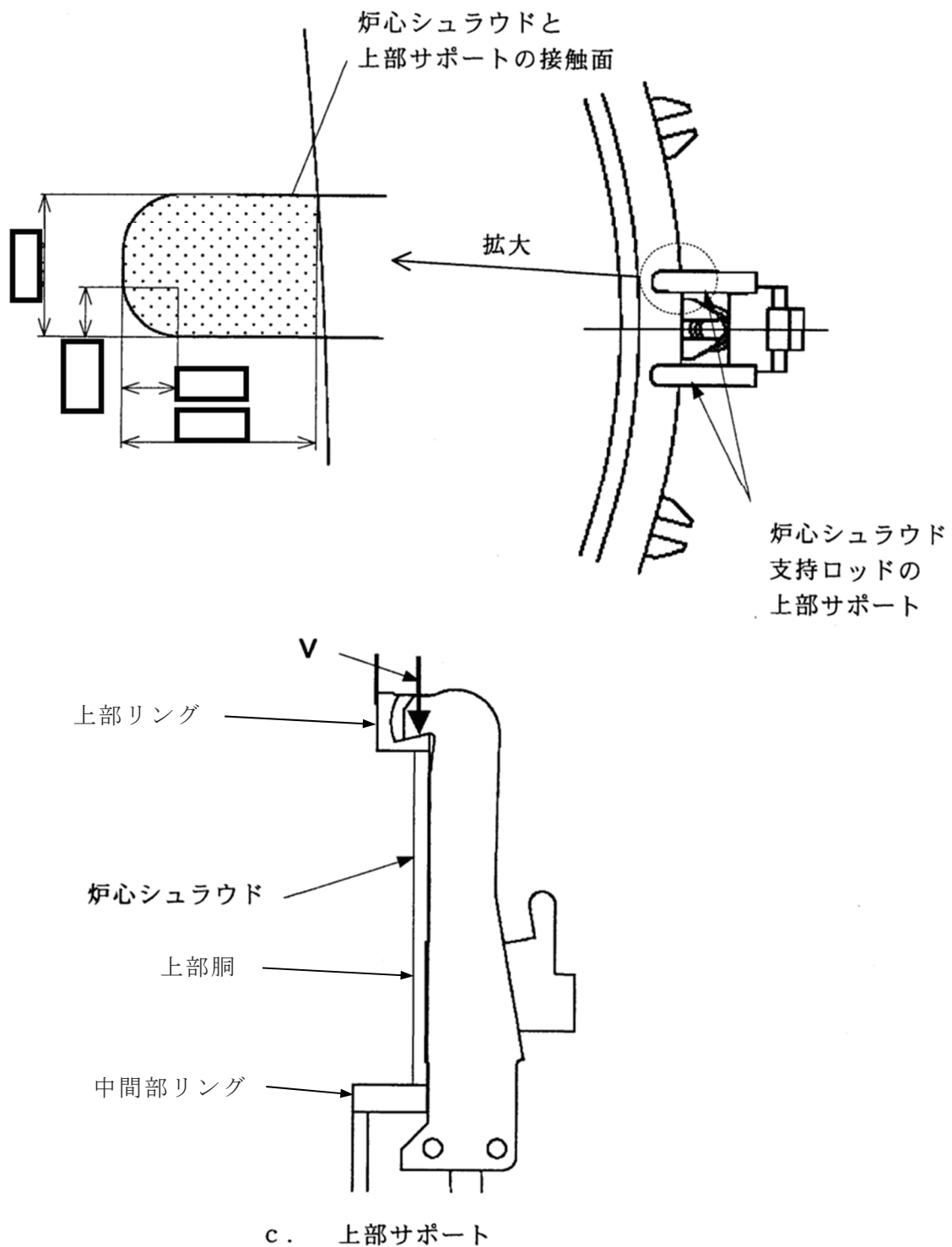


図 5-1(2) 支圧荷重の支持面 (単位: mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm ²)
P01, P02			
P03, P04			
P05, P06			
P07, P08			
P09, P10			
P11, P12			

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	15	223
P01' P02'	15	223
P03 P04	15	145*
P03' P04'	15	145*
P05 P06	14	145*
P05' P06'	14	145*
P07 P08	14	223
P07' P08'	14	223
P09 P10	14	145*
P09' P10'	14	145*
P11 P12	27	145*
P11' P12'	27	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	15	335
P01' P02'	15	335
P03 P04	15	218*
P03' P04'	15	218*
P05 P06	14	218*
P05' P06'	14	218*
P07 P08	14	335
P07' P08'	14	335
P09 P10	14	218*
P09' P10'	14	218*
P11 P12	27	218*
P11' P12'	27	218*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-1(1) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均支圧応力	許容応力
上部格子板 支持面	V	2	207

表 5-1(2) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均支圧応力	許容応力
炉心支持板 支持面	V	1	207

表 5-1(3) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均支圧応力	許容応力
上部サポート 支持面	V	15	207

VI-3-別添 6-2 シュラウドサポートの強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 記号の説明	1
1.2 形状・寸法・材料	2
1.3 解析範囲	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	6
2.1 重大事故等時の条件	6
2.2 材料	6
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	6
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	6
2.5 許容応力	6
2.6 応力の記号と方向	6
3. 応力計算	7
3.1 応力評価点	7
3.2 差圧による応力	7
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 シュラウドサポート全体に作用する外荷重	7
3.3.2 支持ロッドから作用する荷重	7
3.4 応力の評価	9
4. 応力強さの評価	9
4.1 一次一般膜応力強さの評価	9
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9
5. 特別な応力の評価	10
5.1 軸圧縮荷重による座屈に対する評価	10
5.2 支圧応力の評価	12

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 3-1	応力計算のモデル	13
図 3-2	支持ロッドから作用する荷重による応力の計算モデル	14
図 5-1	支圧荷重の支持面	15
表 1-1	計算結果の概要	4
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17
表 5-1	座屈に対する評価	18
表 5-2	支圧応力の評価	18

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドサポートの強度計算書である。

シュラウドサポートは、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

注：以下、シュラウドサポートレグ、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートプレート、炉心シュラウド下部胴及び炉心シュラウド支持ロッドを、それぞれ「レグ」、「シリンダ」、「プレート」、「下部胴」及び「支持ロッド」という。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」（2）強度評価編の2.4節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	レグ1本当たりの断面積	mm ²
B	レグの幅	mm
C	部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数	—
F	告示第88条第3項第1号に定める値	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
I	座屈軸についての断面二次モーメント	mm ⁴
W	支持ロッドから作用する荷重	N
X, Y	支持ロッドの取付部の円板モデルによる応力計算に用いる係数	—
a, b	支持ロッドの取付部の円板モデルの寸法	mm
c~e	支圧面積の計算に用いる寸法	mm
t	プレートの板厚	mm
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l	レグの長さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
T	レグの板厚	mm
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	告示第88条第3項第1号イに定める ν	—
A_c	支圧面積	mm ²
σ_c	平均支圧応力	MPa

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力が厳しくなる評価点を記載する。

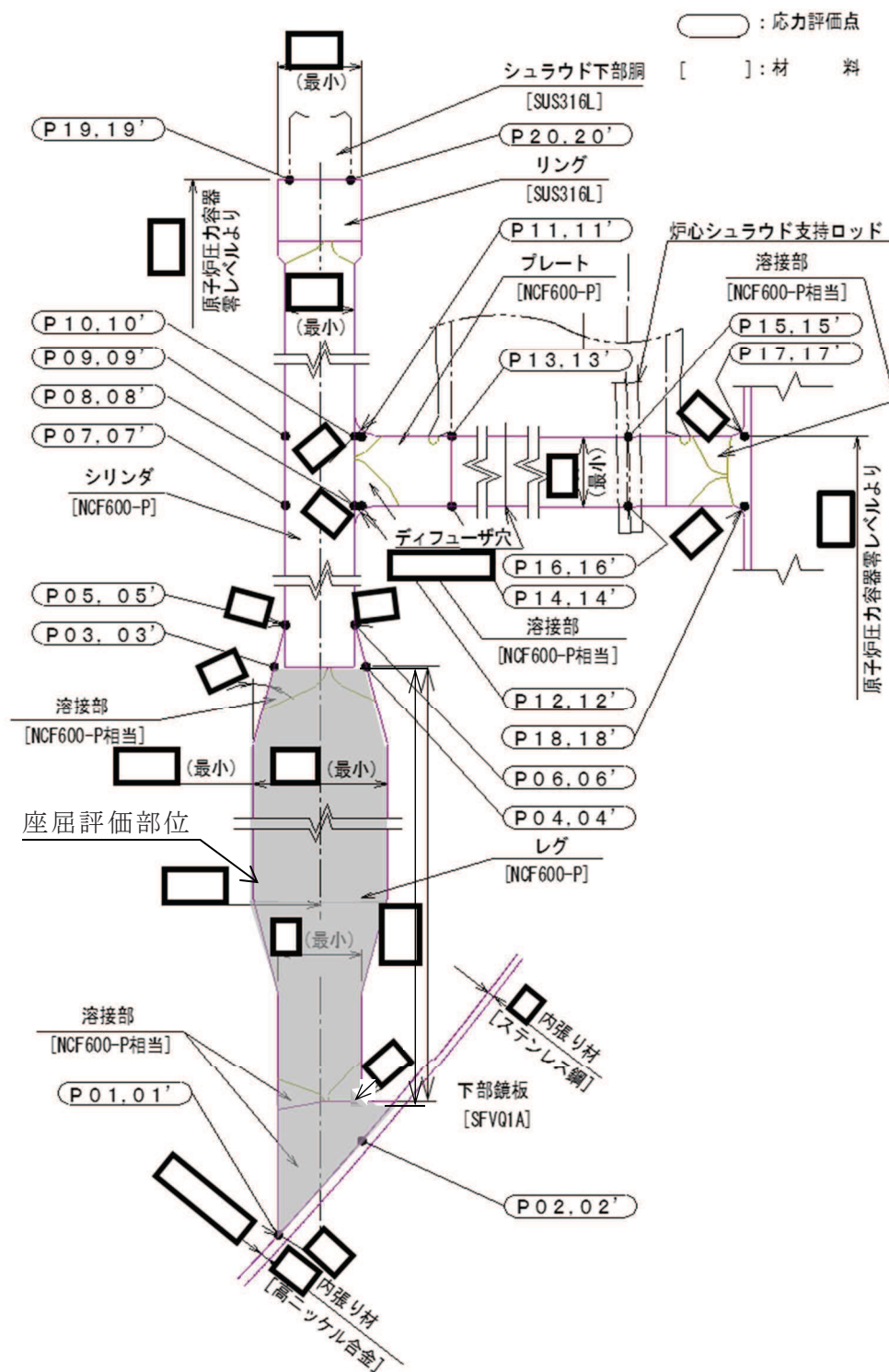


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
レグ NCF600-P	V	51	300*	P01 - P02	51	450*	P01 - P02
シリンダ NCF600-P	V	17	334	P09 - P10	17	501	P09 - P10
プレート NCF600-P	V	11	300*	P17 - P18	14	450*	P17 - P18
下部胴 SUS316L	V	27	201*	P19 - P20	27	301*	P19 - P20

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
レグ NCF600-P	V	7	207

表1-1(3) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	支圧応力の評価	
		平均支圧応力	許容応力
プレートのトグル支持面 NCF600-P	V	9	384

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.2節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.3節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.3節に示す。

2.5 許容応力

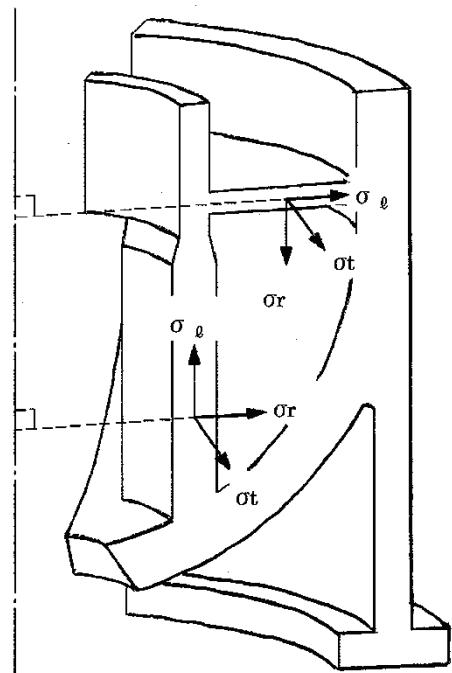
許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.6節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- $\tau_{\ell r}$: せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

3.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.2節に示す。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、計算機コード「STAX」により行う。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件(拘束条件)を図3-1に示す。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 シュラウドサポート全体に作用する外荷重

(1) 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.1節に示す。

(2) 計算方法

軸対称荷重(鉛直力 V_1 及び V_2)による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、計算機コード「STAX」により行う。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件(拘束条件)を図3-1に示す。

3.3.2 支持ロッドから作用する荷重

(1) 荷重条件 (L02)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.1節に示す。

(2) 計算方法

支持ロッドから作用する荷重による応力の計算は、以下の式で算出する。

支持ロッドから作用する荷重は、プレートを垂直上方に引っ張る荷重であるが、荷重が作用する位置の周辺は、図3-2に示すように原子炉压力容器やシリンダ等で拘束されており、支持ロッドを中心とした円板を仮定することで支持ロッド近傍に発生する応力と拘束された位置での応力を求める。

具体的には、外周固定、内周に輪形荷重が作用する円板モデルを仮定し、その内部に発生する応力を計算する。

計算式は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の引用文献(1)の表 5・1 の No. 10 式による。この計算式において、支持ロッドの穴の周辺部については、円板モデルの内周に発生する応力を適用し、原子炉压力容器で拘束されている部分については、円板モデルの外周に発生する応力を適用する。

応力を求める計算式を以下に示す。なお、計算式中の記号は、図 3-2 に示すとおりである。

支持ロッドの穴の周辺部

$$\sigma_t = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(X + \ln \frac{a}{b} \right) - (1 - \nu) \cdot \left(1 - Y \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}$$

$$\sigma_\theta = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(X + \ln \frac{a}{b} \right) + (1 - \nu) \cdot \left(1 - Y \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}$$

原子炉压力容器で拘束されている部分

$$\sigma_t = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot X + (1 - \nu) \cdot (1 - Y) \}$$

$$\sigma_\theta = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot X - (1 - \nu) \cdot (1 - Y) \}$$

応力式の複号は、上がプレート上面、下がプレート下面を表す。

ここで、

$$X = -\frac{1}{2} \cdot \frac{a^2}{(1 - \nu) \cdot a^2 + (1 + \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} \cdot \ln \frac{a}{b} + (1 - \nu) \cdot \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \right\}$$

$$Y = -\frac{2 \cdot b^2}{(1 - \nu) \cdot a^2 + (1 + \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ (1 + \nu) \cdot \ln \frac{a}{b} - 1 \right\}$$

ν : ポアソン比 (=)

また、せん断応力は、次式で求める。
支持ロッドの穴の周辺部

$$\tau_{rt} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot t}$$

原子炉圧力容器で拘束されている部分

$$\tau_{\theta r} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot t}$$

上記の方法で求めた応力を一次応力として用いる。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の5.3.2項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-1に示す。

表4-1より、運転状態Vの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-2に示す。

表4-2より、運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

5.1 軸圧縮荷重による座屈に対する評価

レグには、シュラウドサポートに作用する鉛直力により、圧縮応力が生じる。したがって、この荷重により発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

a. 座屈長さ ℓ_k

$$\ell_k = C \cdot \ell = 0.7 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 $C = 0.7$

$$\ell : \text{レグの長さ} = \boxed{} \text{ mm}$$

b. 座屈軸についての断面二次半径 i

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\boxed{}} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 I : 座屈軸についての断面二次モーメント

$$= \frac{1}{12} \cdot T^3 \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$T : \text{レグの板厚} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$B : \text{レグの幅} = \boxed{} \text{ mm}$$

A : レグ 1 本当たりの断面積

$$= T \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^2$$

c. 有効細長比 λ

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} = \boxed{} = \boxed{}$$

(2) 荷重

シュラウドサポートに作用する鉛直力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.1節に示す。

(3) 圧縮応力

運転状態 V においてレグに発生する圧縮応力を表5-1に示す。

レグに発生する圧縮応力は、応力評価面 P03' - P04' での一次一般膜応力 (σ_θ) を示す。

(4) 許容応力

運転状態Vにおける許容応力の計算は、告示第88条第3項第1号を準用して計算する。

運転状態Vにおける許容応力度Fは、以下の3つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 259 \text{ MPa} \quad (\text{ } \square \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 350 \text{ MPa} \quad (\text{ } \square \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$1.2 \cdot S_y = 294 \text{ MPa} \quad (\text{ } \square \text{ } \text{ における値})$$

したがって、許容応力度 $F = 259 \text{ MPa}$ とする。

運転状態Vにおける許容圧縮応力 f_c は、次のように得られる。

$$\text{限界細長比} : \Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \square}{0.6 \times 259}} = \square$$

ここで、E：縦弾性係数 = $\square \text{ MPa}$ ($\square \text{ } ^\circ\text{C}$ における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\square \right)^2 \right\} \times \frac{259}{\square} = 207 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 = 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\square \right)^2 = \square$$

(5) 軸圧縮荷重による座屈に対する評価

運転状態Vにおける軸圧縮荷重による座屈に対する評価を表5-1に示す。

表5-1より、運転状態Vにおける圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

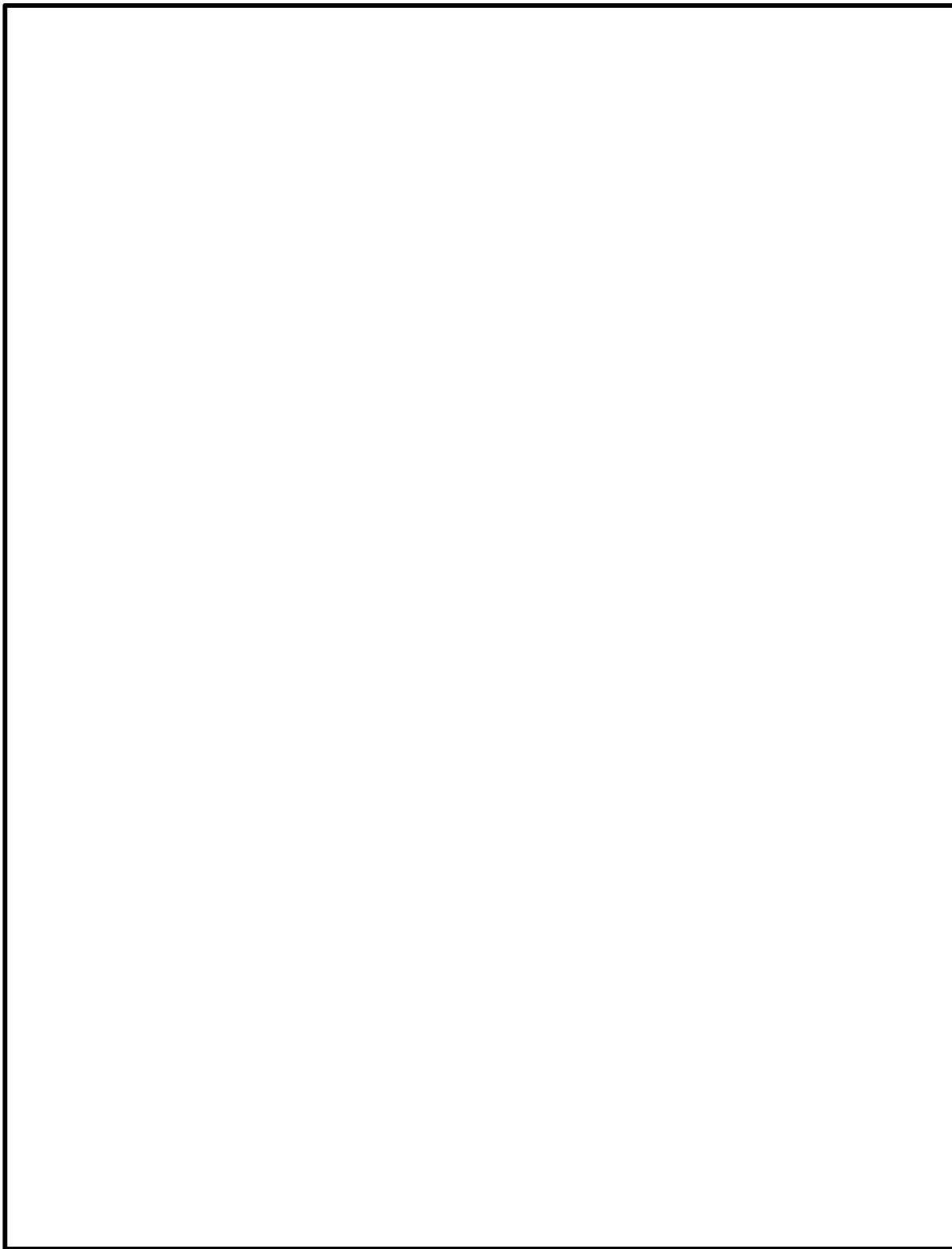


図3-1 応力計算のモデル

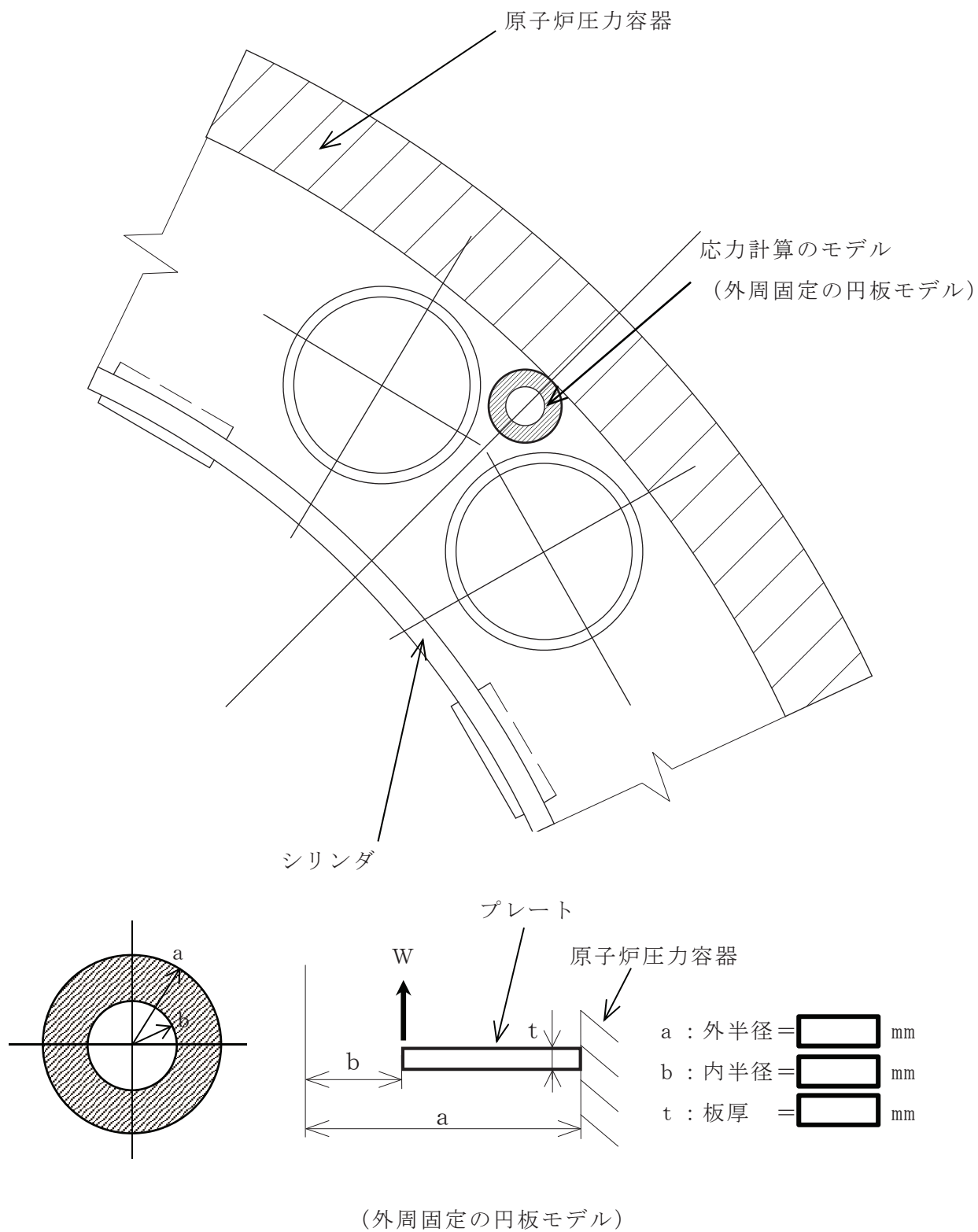


図 3-2 支持ロッドから作用する荷重による応力の計算モデル

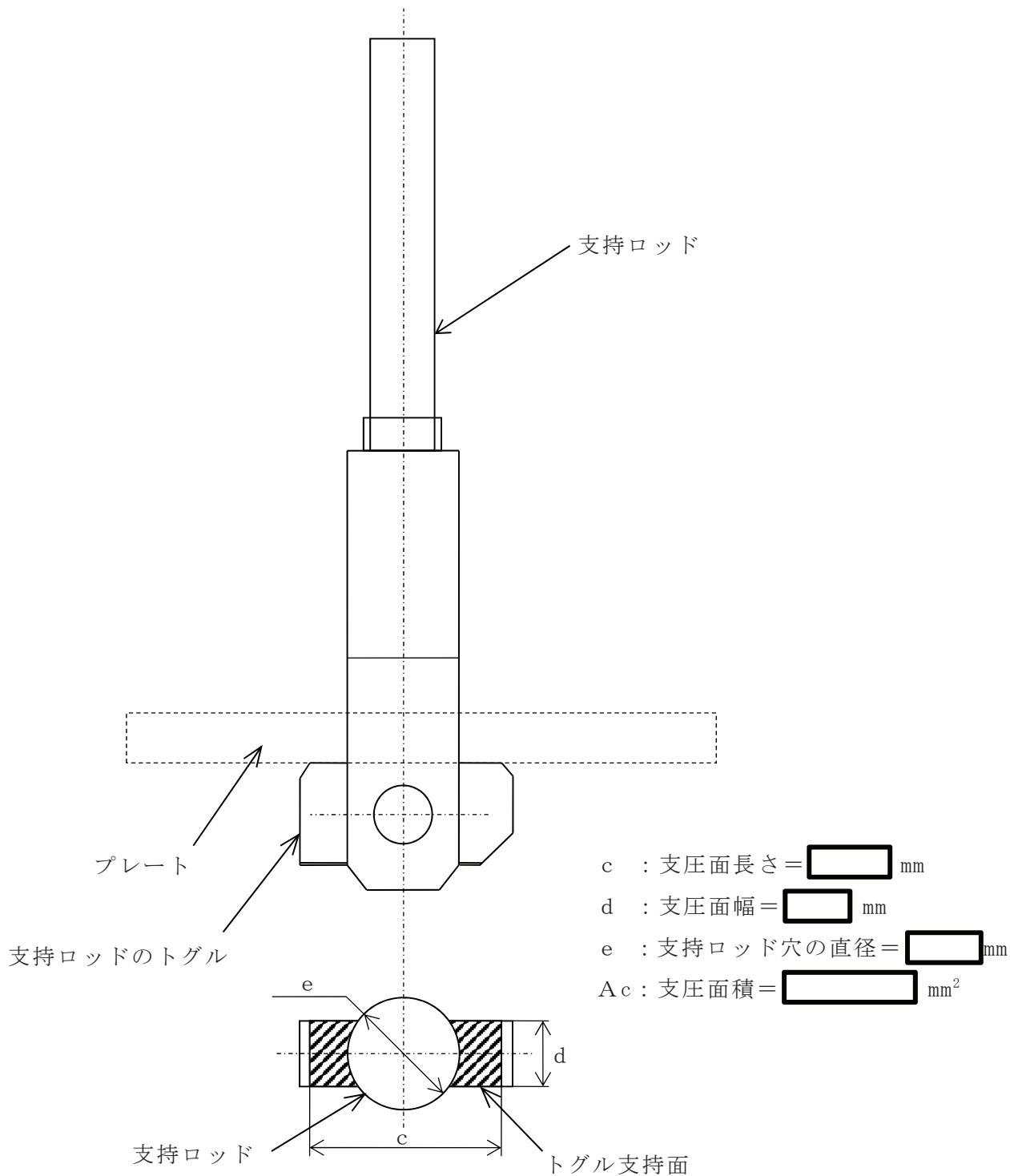


図 5-1 支圧荷重の支持面

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	51	300*
P01' P02'	51	300*
P03 P04	43	334
P03' P04'	43	334
P05 P06	16	334
P05' P06'	16	334
P07 P08	15	334
P07' P08'	15	334
P09 P10	17	334
P09' P10'	17	334
P11 P12	7	300*
P11' P12'	7	300*
P13 P14	9	334
P13' P14'	9	334
P15 P16	9	334
P15' P16'	9	334
P17 P18	11	300*
P17' P18'	11	300*
P19 P20	27	201*
P19' P20'	27	201*

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	51	450*
P01' P02'	51	450*
P03 P04	43	501
P03' P04'	43	501
P05 P06	16	501
P05' P06'	16	501
P07 P08	15	501
P07' P08'	15	501
P09 P10	17	501
P09' P10'	17	501
P11 P12	7	450*
P11' P12'	7	450*
P13 P14	9	501
P13' P14'	9	501
P15 P16	10	501
P15' P16'	10	501
P17 P18	14	450*
P17' P18'	14	450*
P19 P20	27	301*
P19' P20'	27	301*

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表5-1 座屈に対する評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	圧縮応力	許容応力
P03' - P04'	V	7	207

表5-2 支圧応力の評価

(単位：MPa)

評価部位	運転状態	平均支圧応力	許容応力
プレートのトグル支持面	V	9	384

VI-3-別添 6-3 炉心シュラウド支持ロッドの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	9
2.1	重大事故等時の条件	9
2.2	材料	9
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	9
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	9
2.5	許容応力	9
2.6	応力の記号と方向	9
3.	応力計算	10
3.1	応力評価点	10
3.2	上部サポートの外荷重による応力	10
3.2.1	荷重条件	10
3.2.2	計算方法	10
3.3	上部タイロッド，下部タイロッド及びトグルクレビスの外荷重による応力	11
3.3.1	荷重条件	11
3.3.2	計算方法	11
3.4	応力の評価	11
4.	応力強さの評価	12
4.1	一次一般膜応力強さの評価	12
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	12
5.	特別な応力の評価	13
5.1	せん断応力の評価	13
5.1.1	せん断面積	13
5.1.2	純せん断荷重	13
5.1.3	平均せん断応力	13
5.1.4	せん断応力の評価	13

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	7
表 3-1	断面性状	14
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	15
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	16
表 5-1	せん断応力の評価	17

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウド支持ロッドの強度計算書である。

炉心シュラウド支持ロッドは、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」（2）強度評価編の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D。	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	荷重作用点と応力評価断面との距離	mm
t	板厚	mm
b	六角断面の対面距離	mm
τ	平均せん断応力	MPa

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

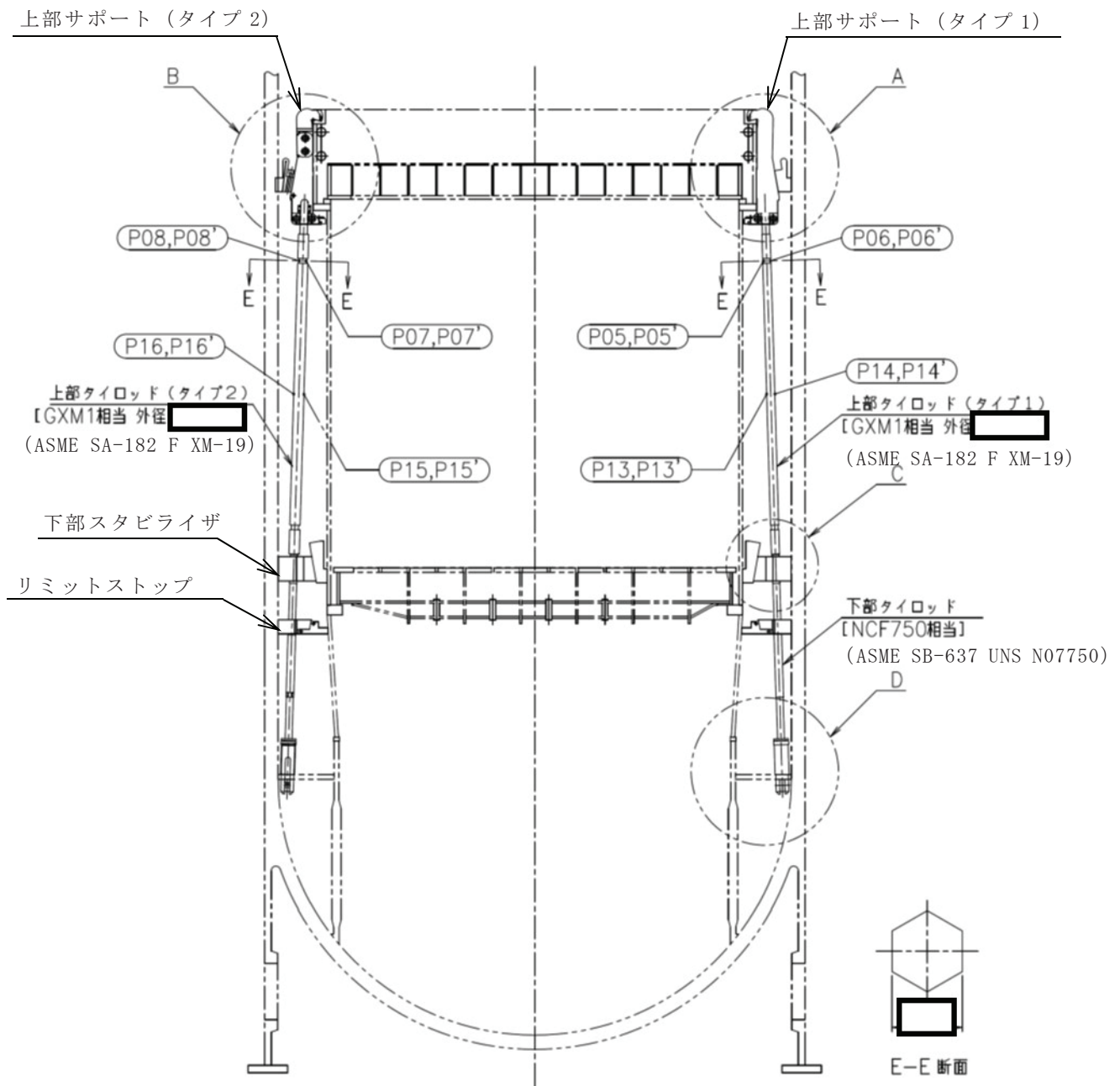
1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

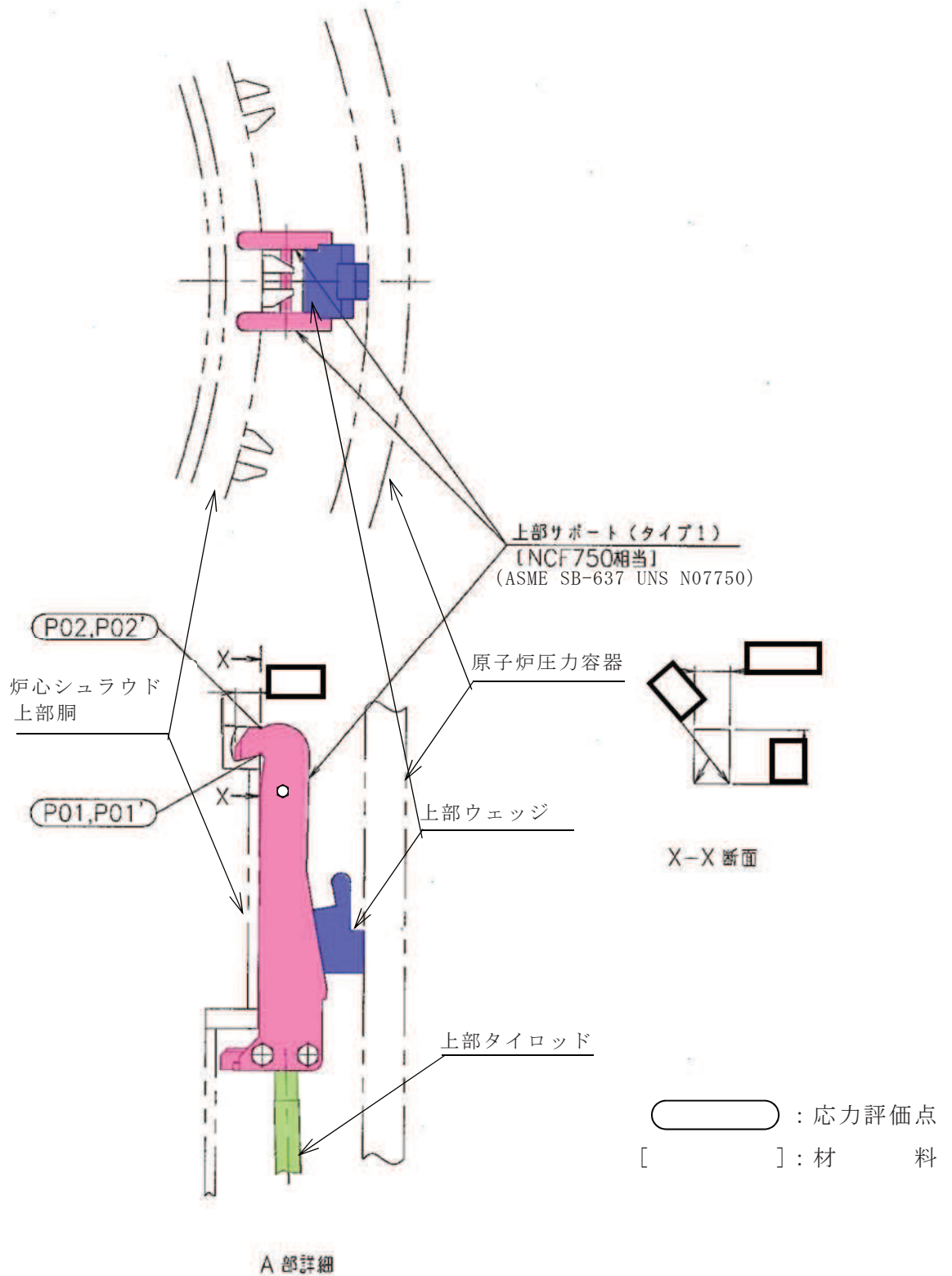
計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



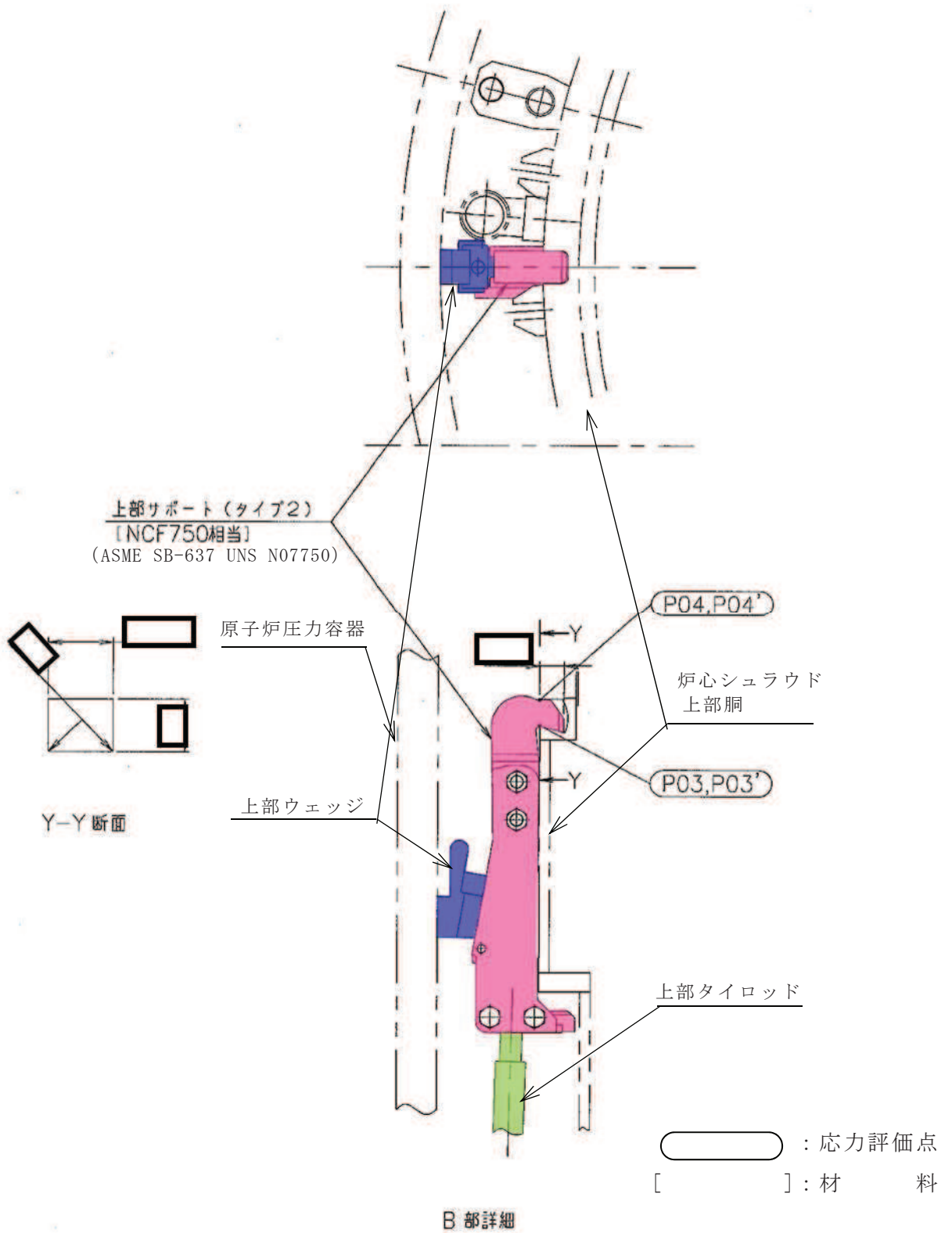
○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



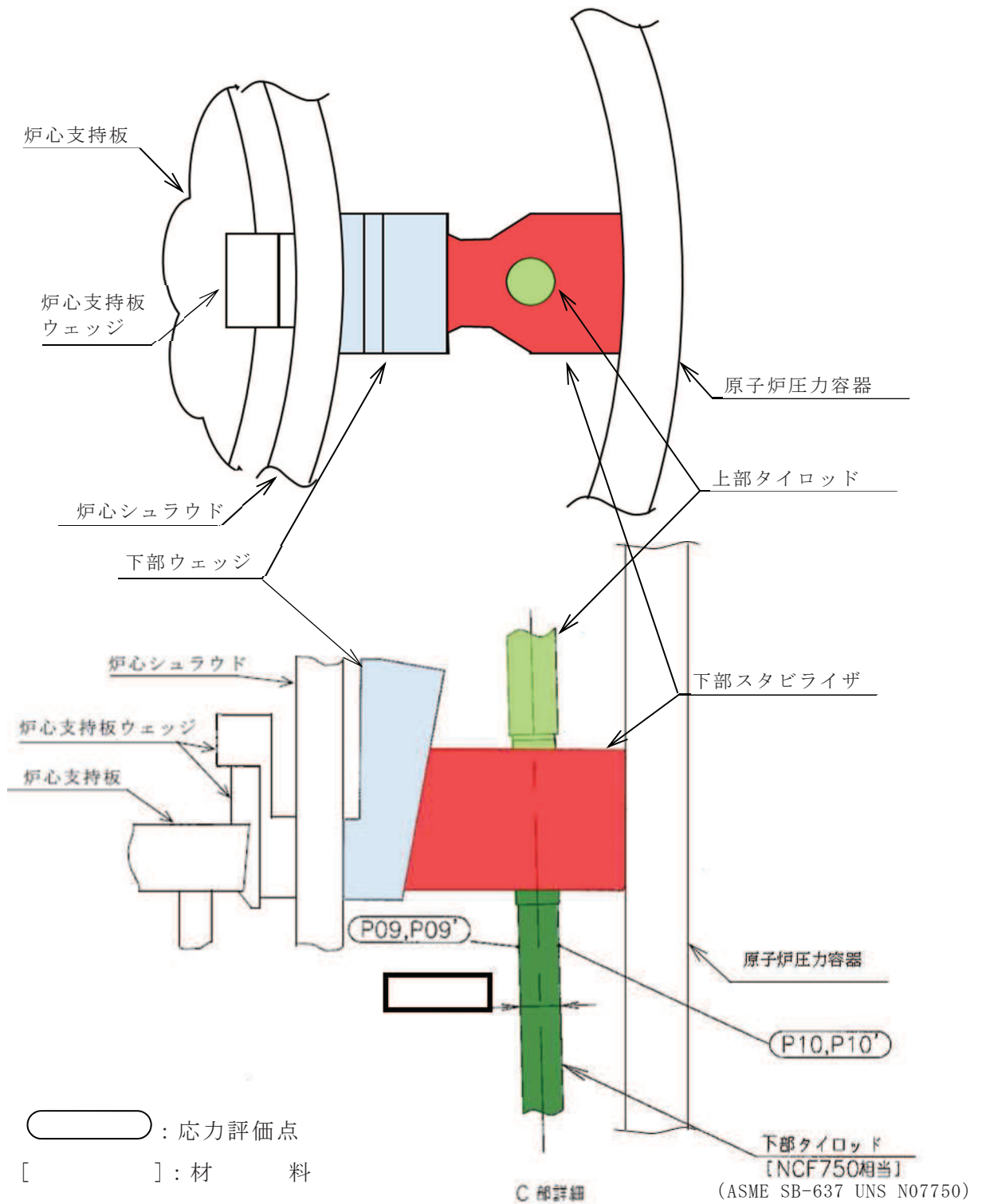
注：上部ウェッジは原子炉压力容器に面接触し，上部サポート（タイプ1）と機械的に接合している。
 上部サポート（タイプ1）は炉心シュラウド上端に嵌合するとともに上部胴側面に面接触している。

図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）



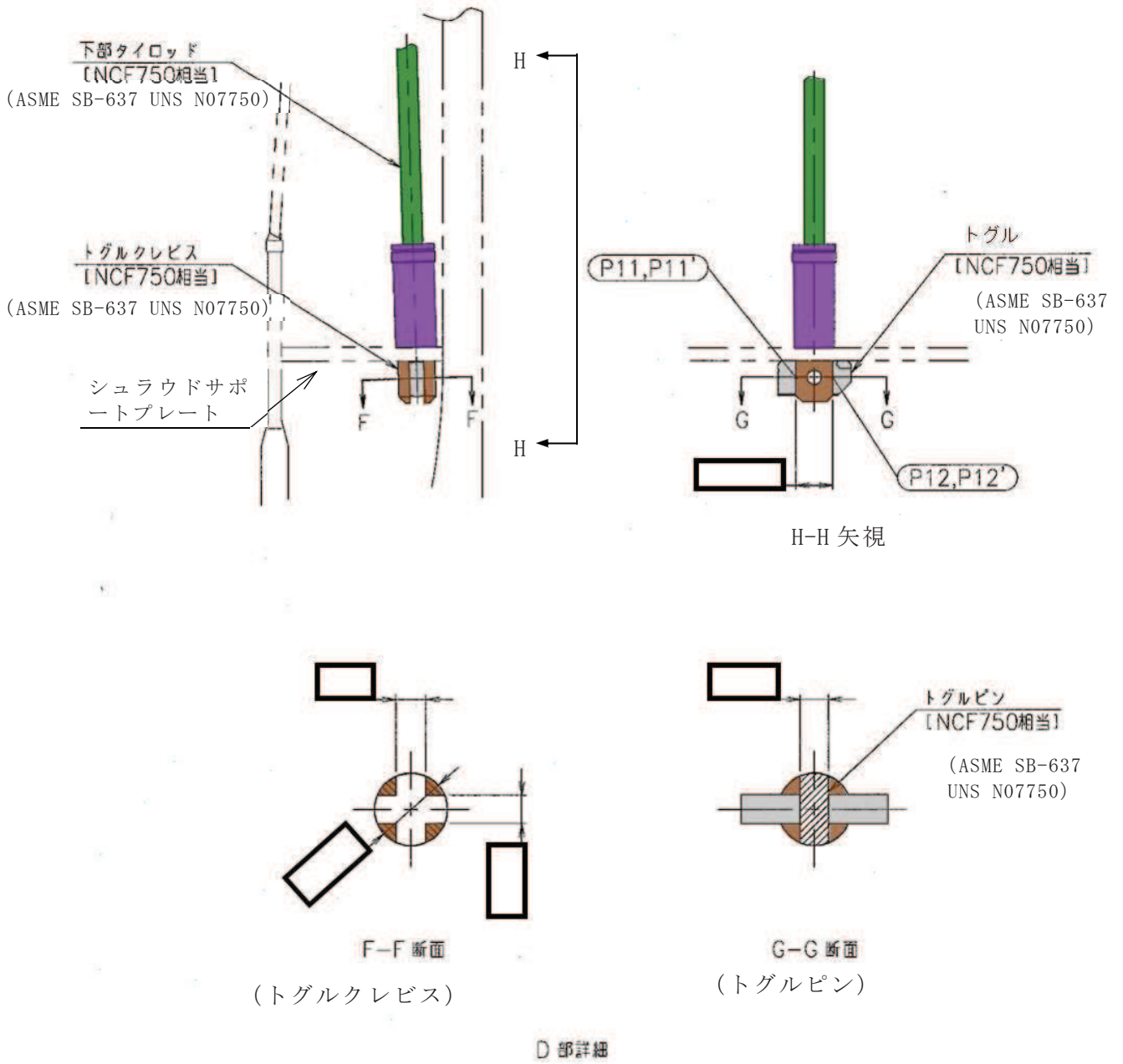
注：上部ウェッジは原子炉压力容器に面接触し、上部サポート（タイプ2）と機械的に接合している。
上部サポート（タイプ2）は炉心シュラウド上端に嵌合するとともに上部胴側面に面接触している。

図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）



注：下部タイロッドは上部タイロッドとは異なり、タイプ1及びタイプ2で構造上の差異がない。なお、下部スタビライザは原子炉压力容器に面接触し、下部ウェッジと機械的に接合している。また、下部ウェッジは炉心シュラウドに面接触している。上部タイロッド及び下部タイロッドは下部スタビライザに機械的に接合されている。炉心支持板ウェッジは炉心シュラウドと炉心支持板に面接触している。

図 1-1(4) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



注：斜線部はトグルクレビス及びトグルピンの評価対象部を示す。なお、下部タイロッドはトグルクレビスと機械的に接合されている。トグルはトグルピンによりトグルクレビスにピン結合されている。トグルはシュラウドサポートプレート下面に面接触している。

○ : 応力評価点
[] : 材 料

図 1-1(5) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
上部サポート(タイプ 1) NCF750 相当 (ASME SB-637 UNS N07750)	V	22	585	P01-P02	38	878	P01-P02
上部サポート(タイプ 2) NCF750 相当 (ASME SB-637 UNS N07750)	V	23	585	P03-P04	41	878	P03-P04
上部タイロッド(タイプ 1) GXM1 相当 (ASME SA-182 F XM-19)	V	26	367	P05-P06	26	550	P05-P06
上部タイロッド(タイプ 2) GXM1 相当 (ASME SA-182 F XM-19)	V	26	367	P07-P08	26	550	P07-P08
下部タイロッド NCF750 相当 (ASME SB-637 UNS N07750)	V	31	585	P09-P10	31	878	P09-P10
トグルクレビス NCF750 相当 (ASME SB-637 UNS N07750)	V	47	585	P11-P12	47	878	P11-P12
上部タイロッド(タイプ 1) GXM1 相当 (ASME SA-182 F XM-19)	V	21	367	P13-P14	21	550	P13-P14
上部タイロッド(タイプ 2) GXM1 相当 (ASME SA-182 F XM-19)	V	14	367	P15-P16	14	550	P15-P16

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	せん断応力	
		平均せん断応力	許容応力
トグルピン NCF750 相当 (ASME SB-637 UNS N07750)	V	30	386

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.2節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.3節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.3節に示す。

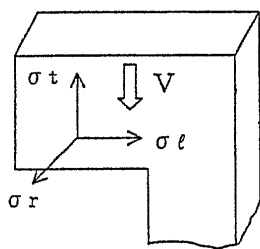
2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節に示す。

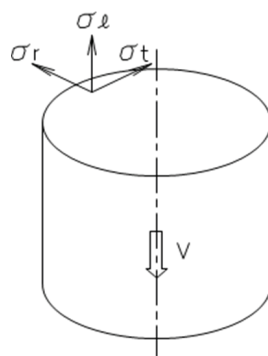
2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{tl} : せん断応力
- V : 鉛直力



上部サポート



上部サポート以外

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 上部サポートの外荷重による応力

3.2.1 荷重条件 (L02, L04)

炉心シュラウド支持ロッドに作用する外荷重を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.1 節に示す。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\tau_{t\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V \cdot L}{2 \cdot I} \cdot \frac{t}{2}$$

$$\tau_{t\theta} = \frac{V}{A}$$

3.3 上部タイロッド，下部タイロッド及びトグルクレビスの外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L02, L04)

炉心シュラウド支持ロッドに作用する外荷重を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め，応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は，「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 5.3.2 項に定められておりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-1に示す。

表4-1より、運転状態Vの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-2に示す。

表4-2より、運転状態Vの一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

炉心シュラウド支持ロッドの軸力により、トグルピンにはせん断応力が生じる。これについて、せん断応力の評価を行う。

5.1 せん断応力の評価

5.1.1 せん断面積

(1) トグルピン (図 1-1(5)参照)

トグルピンが鉛直荷重を受けるせん断面積は次のようになる。

$$A = 2 \times \frac{\pi}{4} \times \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ mm}^2$$

5.1.2 純せん断荷重

運転状態 V におけるトグルピンに作用する鉛直力を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.1 節に示す。

5.1.3 平均せん断応力

平均せん断応力 τ は、次式によって求める。

$$\tau = \frac{V}{A}$$

5.1.4 せん断応力の評価

運転状態 V における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、運転状態 V の平均せん断応力は、「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	D _o (mm)	L (mm)	t (mm)	b (mm)	A (mm ²)
P01, P02					
P03, P04					
P05, P06					
P07, P08					
P09, P10					
P11, P12					
P13, P14					
P15, P16					

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	22	585
P01' P02'	22	585
P03 P04	23	585
P03' P04'	23	585
P05 P06	26	367
P05' P06'	26	367
P07 P08	26	367
P07' P08'	26	367
P09 P10	31	585
P09' P10'	31	585
P11 P12	47	585
P11' P12'	47	585
P13 P14	21	367
P13' P14'	21	367
P15 P16	14	367
P15' P16'	14	367

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	38	878
P01' P02'	38	878
P03 P04	41	878
P03' P04'	41	878
P05 P06	26	550
P05' P06'	26	550
P07 P08	26	550
P07' P08'	26	550
P09 P10	31	878
P09' P10'	31	878
P11 P12	47	878
P11' P12'	47	878
P13 P14	21	550
P13' P14'	21	550
P15 P16	14	550
P15' P16'	14	550

表 5-1 せん断応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均せん断応力	許容応力
トグルピン	V	30	386

VI-3-別添 6-4 上部格子板の強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
2.6	応力の記号と方向	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	6
3.3.1	荷重条件	6
3.3.2	計算方法	6
3.4	応力の評価	6
4.	応力強さの評価	7
4.1	一次一般膜応力強さの評価	7
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	応力計算モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	9
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11

1. 一般事項

本計算書は、上部格子板の強度計算書である。

上部格子板は、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」（2）強度評価編の 2.4 節に示す。
さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a	グリッドプレートの高さ	mm
b	グリッドプレートの下溝の高さ	mm
c	グリッドプレートの上溝の高さ	mm
d	グリッドプレートの高さ	mm
e	グリッドプレートの切欠きの高さ	mm
h	グリッドプレートの板厚	mm
L	グリッドプレート 13 スパンの長さ	mm
ℓ	グリッドプレート 1 スパンの長さ	mm
Z	断面係数	mm ³

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

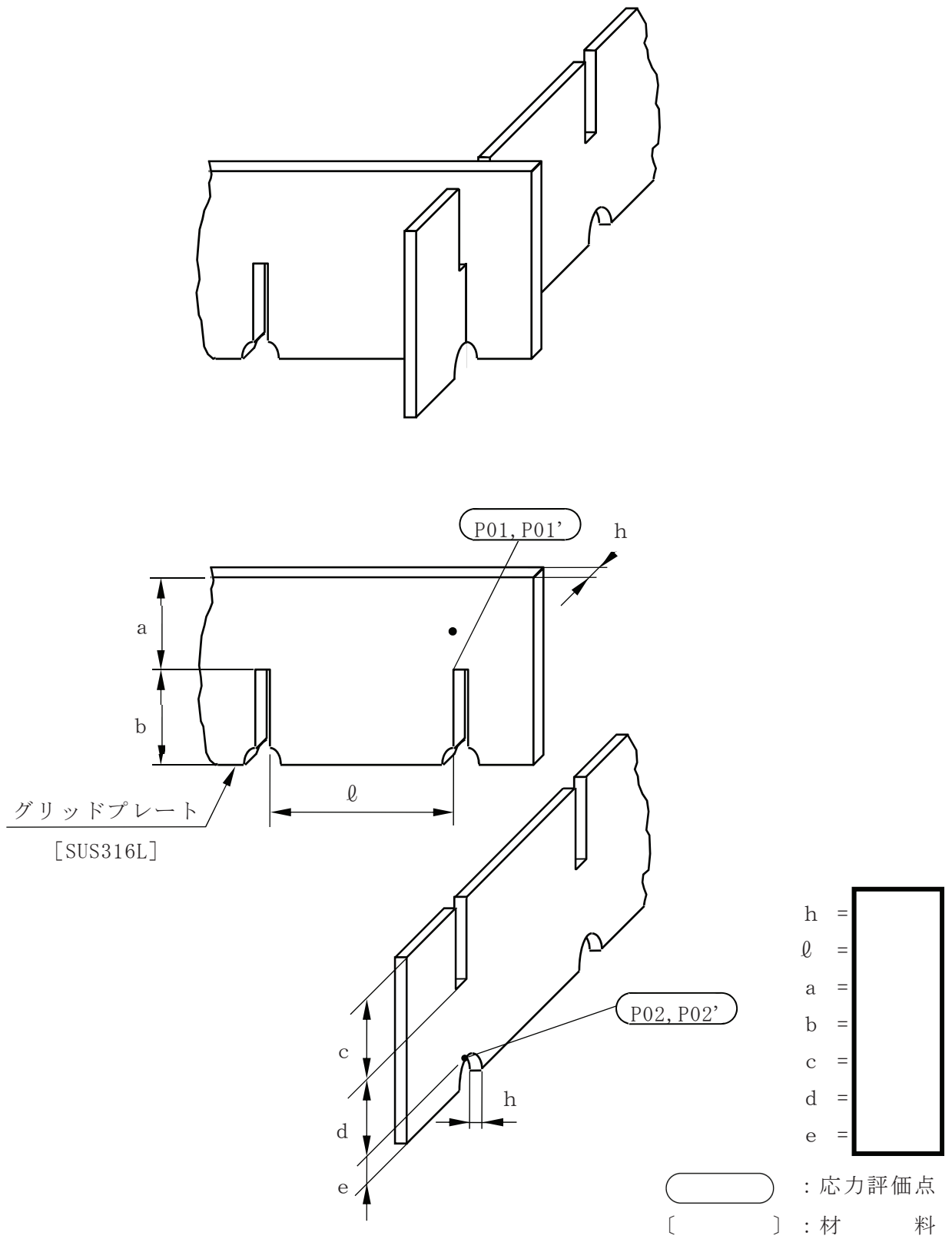


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価点	応力強さ	許容応力	応力評価点
グリッド プレート SUS316L	V	1	223	P01	2	335	P01
	V	1	223	P02	2	335	P02

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.3 節に示す。

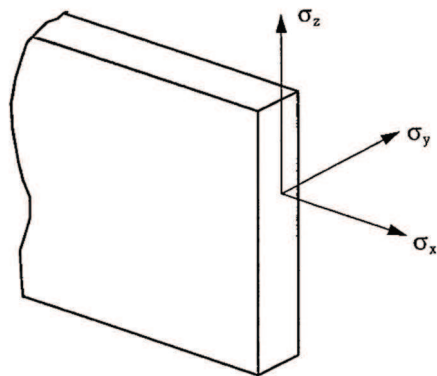
2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 5.3.1 項に示される式において、 σ_t , σ_θ , σ_r , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta r}$, τ_{rt} をそれぞれ σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} に添字を置き換えて求める。



- σ_x : x 方向応力
- σ_y : y 方向応力
- σ_z : z 方向応力
- τ_{xy} : せん断応力
- τ_{yz} : せん断応力
- τ_{zx} : せん断応力

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.2 節に示す。

3.2.2 計算方法

差圧 P_{34} による応力は、以下により求める。

なお、計算は、最大応力の発生する最長のグリッドプレートについて行う。

応力計算モデルを図 3-1 に示す。

(1) 差圧 P_{34} による荷重

$$W_P = -P_{34} \cdot h \cdot L$$

(2) 端部におけるモーメント

$$M = \frac{W_P \cdot L}{12}$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{Z}$$

(4) せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_P}{2 \cdot A}$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による一次応力は、以下により求める。

応力計算モデルを図 3-1 に示す。

(1) 鉛直方向荷重による応力

- a. グリッドプレートの端部における鉛直方向荷重

$$W_V = 13 \cdot V$$

- b. グリッドプレートの端部におけるモーメント

$$M_V = \frac{W_V \cdot L}{12}$$

- c. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_V}{Z}$$

- d. せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_V}{2 \cdot A}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態 V の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

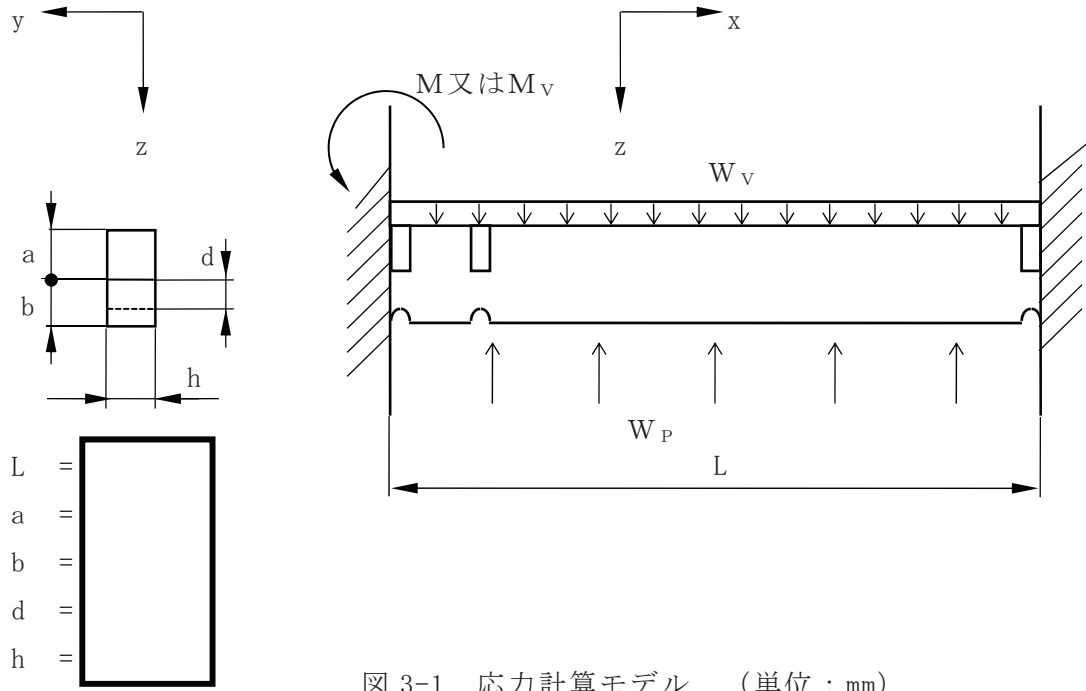


図 3-1 応力計算モデル (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	h (mm)	L (mm)	A (mm ²)	Z (mm ³)
P01, P02				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	1	223
P01'	1	223
P02	1	223
P02'	1	223

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	2	335
P01'	2	335
P02	2	335
P02'	2	335

VI-3-別添 6-5 炉心支持板の強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 記号の説明	1
1.2 形状・寸法・材料	2
1.3 解析範囲	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	7
2.1 重大事故等時の条件	7
2.2 材料	7
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	7
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	7
2.5 許容応力	7
2.6 応力の記号と方向	8
3. 応力計算	9
3.1 応力評価点	9
3.2 差圧による応力	9
3.2.1 荷重条件	9
3.2.2 計算方法	9
3.3 外荷重による応力	12
3.3.1 荷重条件	12
3.3.2 計算方法	12
3.4 応力の評価	13
4. 応力強さの評価	14
4.1 一次一般膜応力強さの評価	14
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	14

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 3-1	補強ビームの応力計算モデル	15
図 3-2	支持板の応力計算モデル	17
表 1-1	計算結果の概要	6
表 3-1	断面性状	18
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	19
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	20

1. 一般事項

本計算書は、炉心支持板の強度計算書である。

炉心支持板は、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」（2）強度評価編の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
a_i	補強ビーム長さ	mm
b_e	等価幅	mm
D	制御棒案内管用穴径	mm
e_0	中立軸からの距離	mm
e_0'	中立軸からの距離	mm
e_1	中立軸からの距離	mm
e_1'	中立軸からの距離	mm
h_c	支持板の板厚	mm
h_0	補強ビーム高さ	mm
h_1	補強ビーム高さ	mm
I_0	断面二次モーメント	mm ⁴
I_1	断面二次モーメント	mm ⁴
I_2	断面二次モーメント	mm ⁴
I_3	断面二次モーメント	mm ⁴
I_A	断面二次モーメント	mm ⁴
I_B	断面二次モーメント	mm ⁴
l_i	補強ビームの長さ	mm
l_p	補強ビーム 1 スパン当たりの長さ	mm
t	補強ビーム板厚	mm

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所^①の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

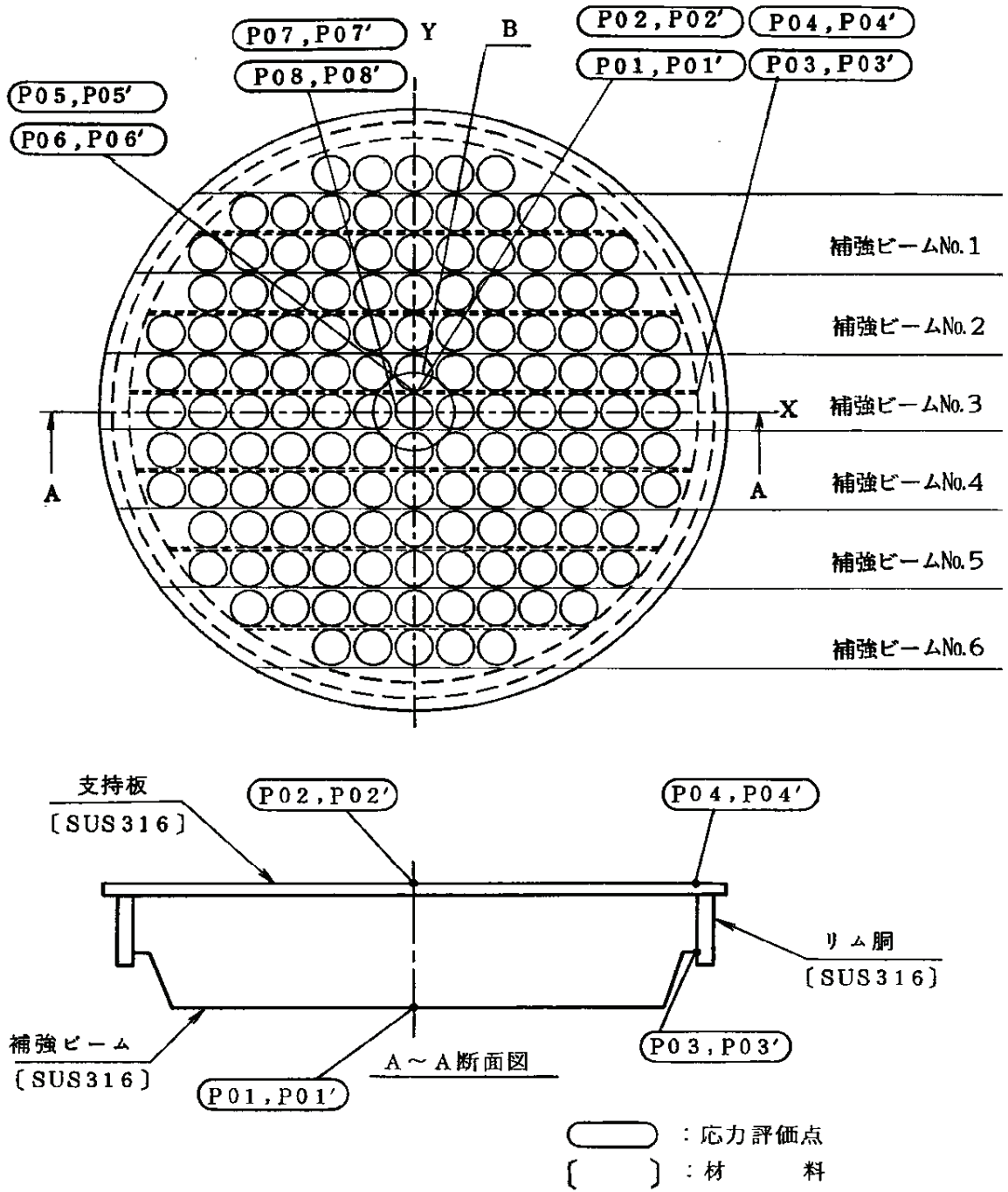
1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

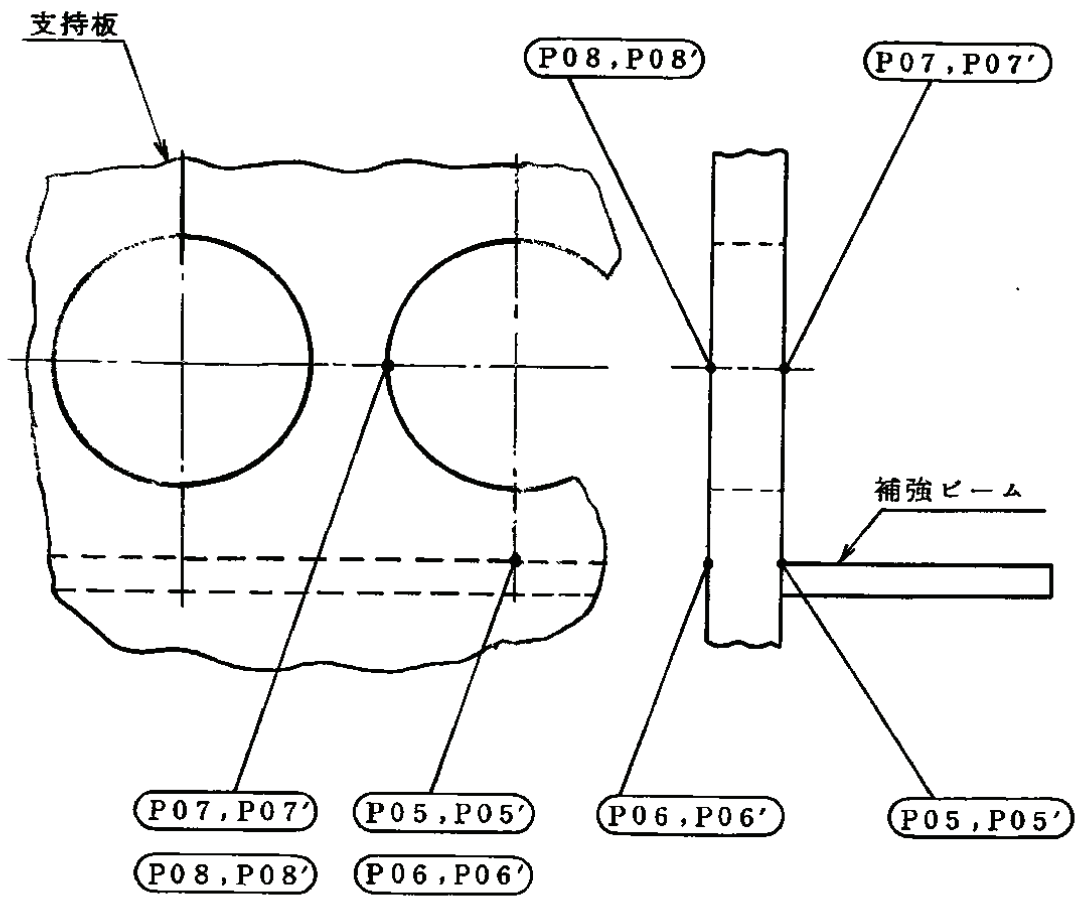
なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



注1：各補強ビームの寸法を図1-1(3)に示す。

注2：B部の詳細は図1-1(2)参照。

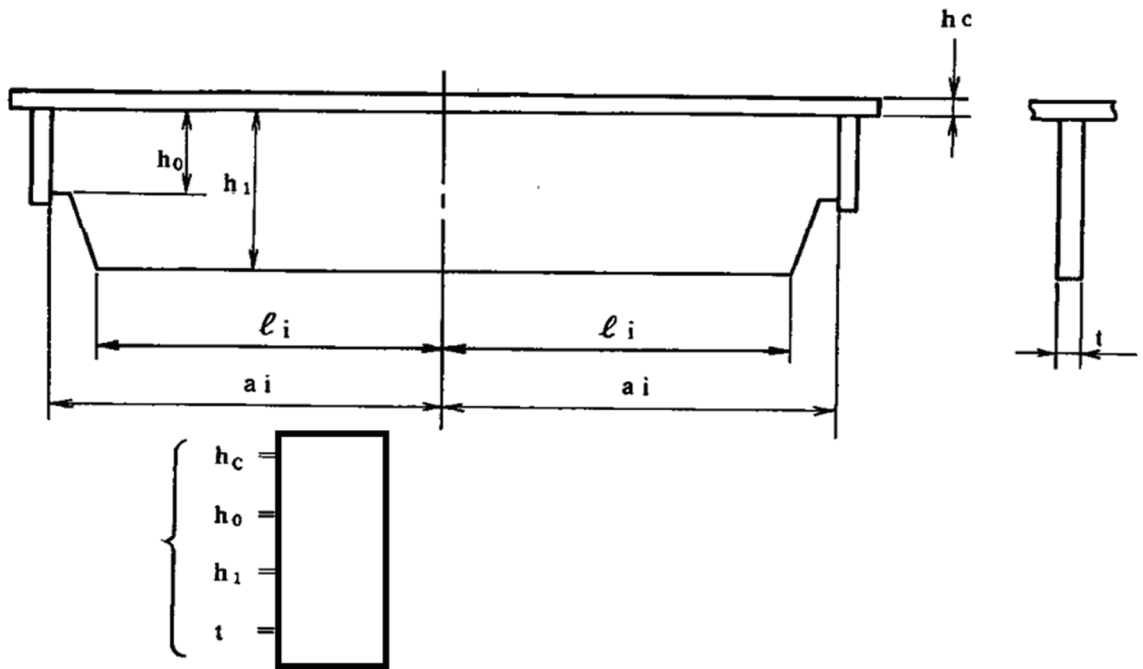
図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点



B 部詳細図

○ : 応力評価点

図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点



各補強ビームの a_i , l_i の寸法 (単位: mm)

寸法 ビームNo.	a_i	l_i
補強ビームNo.1		
補強ビームNo.2		
補強ビームNo.3		
補強ビームNo.4		
補強ビームNo.5		
補強ビームNo.6		

(単位: mm)

図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
補強ビーム SUS316	V	11	182*	P03	56	422	P01
支持板 SUS316	V	6	281	P07	42	422	P06

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

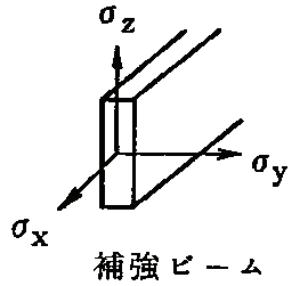
許容応力を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 3.6 節に示す。

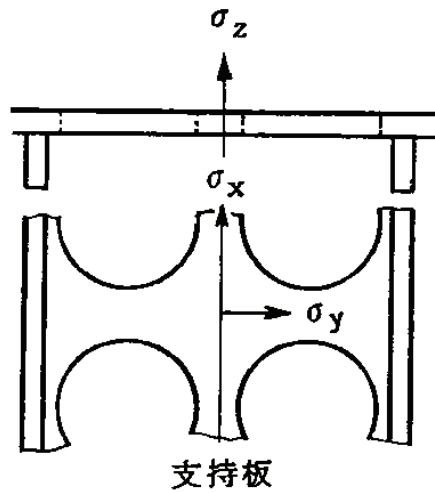
2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 5.3.1 項に示される式において、 σ_t , σ_θ , σ_r , $\tau_{t\theta}$, $\tau_{\theta r}$, τ_{rt} をそれぞれ σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} に添字を置き換えて求める。



{	σ_x : X方向応力
	σ_y : Y方向応力
	σ_z : Z方向応力
	τ_{xy} : せん断応力
	τ_{yz} : せん断応力
	τ_{zx} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.2 節に示す。

3.2.2 計算方法

(1) 補強ビーム

a. 差圧による荷重

補強ビームの荷重計算モデルを図 3-1 に示す。

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_1 は、次式で求める。

$$W_1 = P_{13} \cdot \frac{2}{\ell_p} \cdot \left(\ell_p^2 - \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right)$$

b. 曲げ応力 (応力分類：一次応力)

図 3-1 に示す補強ビームの荷重計算モデルにより荷重を求め、図 3-1 に示す補強ビームの応力計算モデルにより曲げ応力を求める。ここで、断面二次モーメント I_0 、 I_1 は、支持板を穴の部分の面積を除いたものと等しい面積を持つ穴のない帯状の板に置き換えて計算する。穴としては、制御棒案内管の入る穴及び中性子束計測案内管の入る穴を考慮する。

(a) $0 \leq x \leq \ell_i$ のとき

イ モーメント

$$M = \frac{W_1}{2} \cdot (a_1^2 - x^2)$$

ロ 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M}{I_1} \cdot e_1 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_1} \cdot e_1' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

(b) $\ell_i \leq x \leq a_i$ のとき

イ モーメント

$$M = \frac{W_1}{2} \cdot (a_1^2 - x^2)$$

ロ 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M}{I_0} \cdot e_0 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_0} \cdot e_0' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

ここで、 I_1 : I_1 部の断面二次モーメント

I_0 : I_0 部の断面二次モーメント

c. せん断応力 (応力分類 : 一次一般膜応力)

補強ビームの固定端でせん断力は最大となり、補強ビームの中央でせん断力は 0 となる。

補強ビームの固定端におけるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{zx} = \frac{F}{A_0}$$

ここで、 F : 固定端におけるせん断力

$$F = W_1 \cdot a_i$$

A_0 : 固定端の断面積

$$A_0 = b_e \cdot h_c + h_0 \cdot t$$

(2) 支持板

a. 差圧による荷重

支持板の荷重計算モデルを図 3-2 に示す。

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_2 は、次式で求める。

$$W_2 = P_{13} \cdot \frac{1}{\ell_4} \cdot \left(\ell_4 \cdot \ell_p - \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right)$$

b. 曲げ応力（応力分類：一次応力）

図 3-2 に示す支持板の応力計算モデルにより曲げ応力を求める。

(a) モーメント

$$M = M_B - W_2 \cdot \ell_4 \cdot y + \frac{W_2}{2} \cdot y^2$$

(b) 曲げ応力

固定端における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M_B}{I_2} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M_B}{I_2} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の上面})$$

また、 $y = \boxed{}$ mm における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M(y = \boxed{})}{I_3} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M(y = \boxed{})}{I_3} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の上面})$$

ここで、 M_B ：固定端モーメント

$$M_B = \left[\frac{2 \cdot \ell_4^3 - \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3^3 - \ell_2^3 - 3 \cdot \ell_3^2 \cdot \ell_4 + 3 \cdot \ell_2^2 \cdot \ell_4)}{6 \cdot \left\{ \ell_4 + \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3 - \ell_2) \right\}} \right] \cdot W_2$$

I_2 ： I_2 部の断面二次モーメント

I_3 ： I_3 部の断面二次モーメント

- c. せん断応力（応力分類：一次一般膜応力）

固定端におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2 \cdot \ell_4}{h_c \cdot \ell_5}$$

y = mm におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2}{h_c \cdot \ell_6} \cdot (\ell_4 - \text{ })$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件（L04）

外荷重を「応力解析の方針」（2）強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 補強ビーム

- a. 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

補強ビームの荷重計算モデルを図 3-1 に示す。

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_3 は、次式で求める。

$$W_3 = \frac{V_1}{\ell_p}$$

- b. 曲げ応力及びせん断応力

3.2.2(1) 項と同様にして求める。

(2) 支持板

- a. 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

支持板の荷重計算モデルを図 3-2 に示す。

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_4 は、次式で求める。

$$W_4 = \frac{V_2}{2 \cdot \ell_4}$$

- b. 曲げ応力及びせん断応力
 - (a) 鉛直方向荷重（死荷重）

3.2.2 (2)項と同様にして求める。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。なお、支持板は、補強ビームで計算された曲げ応力 σ_x も考慮し、組合せ応力を求める。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の5.3.2項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

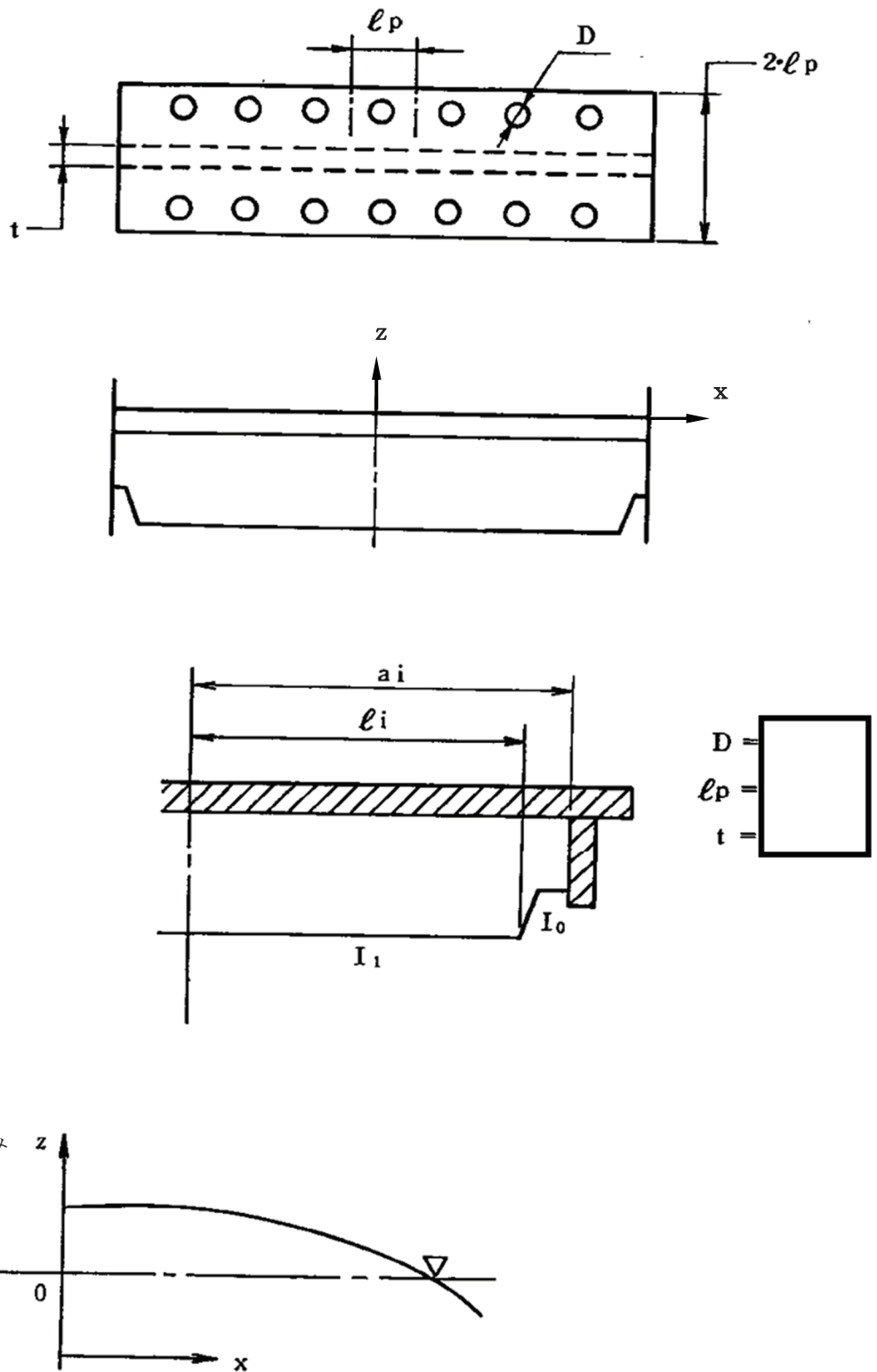
運転状態Vにおける評価を表4-1に示す。

表4-1より、運転状態Vの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

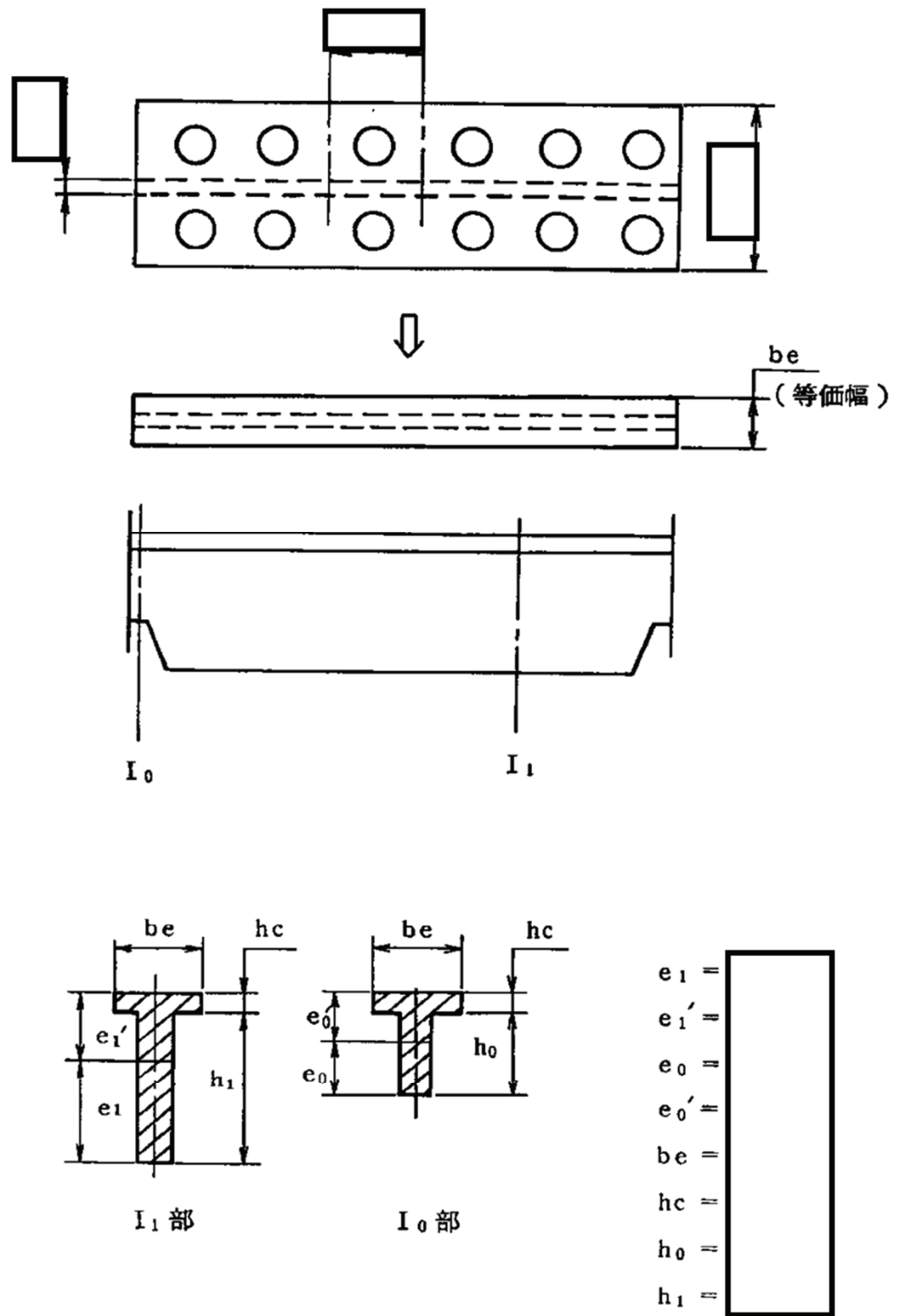
運転状態Vにおける評価を表4-2に示す。

表4-2より、運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。



(単位 : mm)

図3-1(1) 補強ビームの応力計算モデル



(単位 : mm)

図 3-1(2) 補強ビームの応力計算モデル

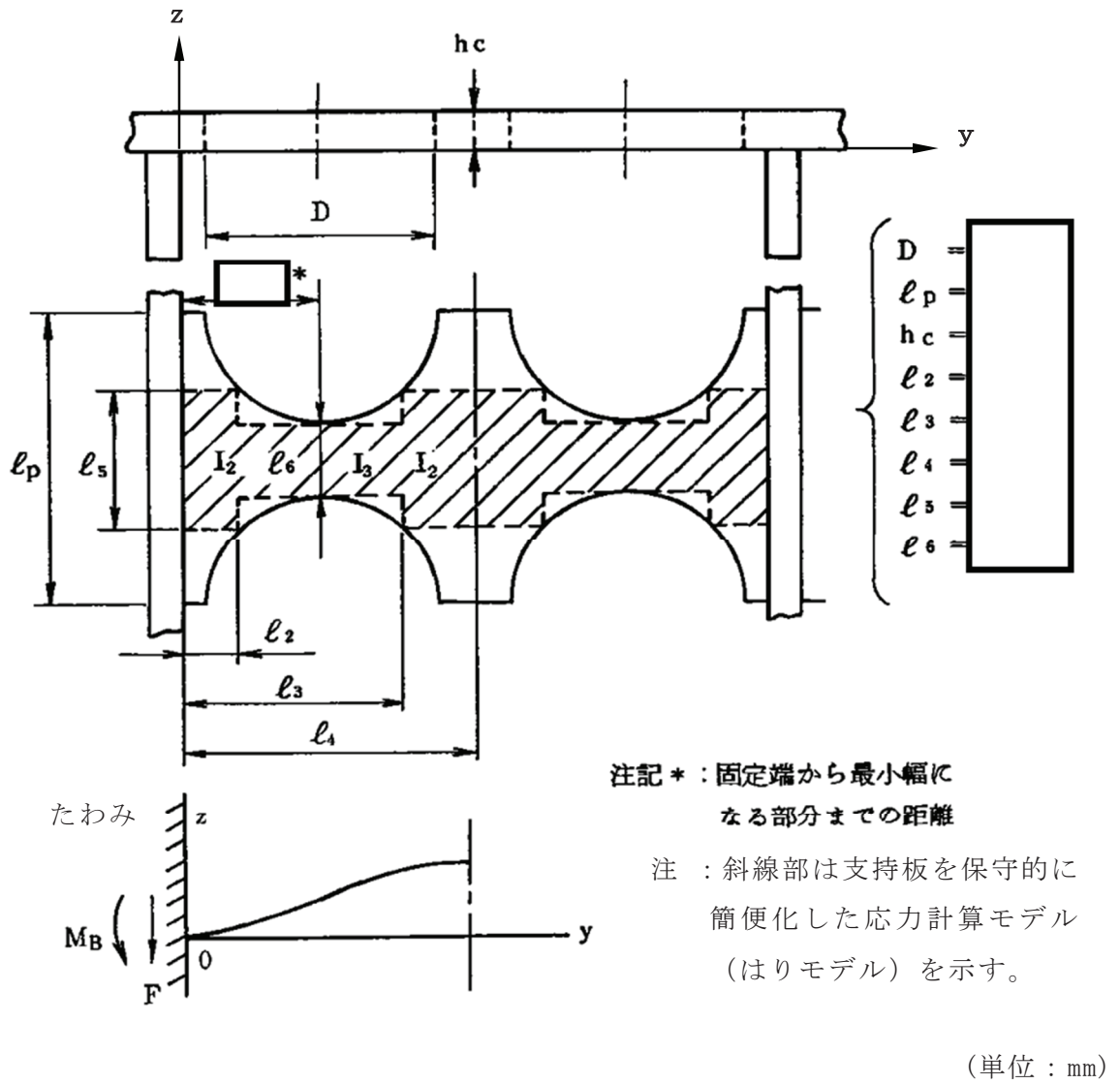


図3-2 支持板の応力計算モデル

表 3-1 断面性状

応力評価点	補強ビームに平行な軸		補強ビームに垂直な軸	
	I (mm ⁴)	e (mm)	I (mm ⁴)	e (mm)
P01, P01'				
P02, P02'				
P03, P03'				
P04, P04'				
P05, P05'				
P06, P06'				
P07, P07'				
P08, P08'				

表4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	0	281
P01'	0	281
P02	0	281
P02'	0	281
P03	11	182 ^{*1}
P03'	11	182 ^{*1}
P04	11	281
P04'	11	281
P05	4	168 ^{*2}
P05'	4	168 ^{*2}
P06	4	281
P06'	4	281
P07	6	281
P07'	6	281
P08	6	281
P08'	6	281

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

表4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	56	422
P01'	56	422
P02	26	422
P02'	26	422
P03	11	274 ^{*1}
P03'	11	274 ^{*1}
P04	11	422
P04'	11	422
P05	26	253 ^{*2}
P05'	26	253 ^{*2}
P06	42	422
P06'	42	422
P07	32	422
P07'	32	422
P08	27	422
P08'	27	422

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 6-6 燃料支持金具の強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 記号の説明	1
1.2 形状・寸法・材料	1
1.3 解析範囲	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 重大事故等時の条件	5
2.2 材料	5
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	5
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	5
2.5 許容応力	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 荷重条件	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル	9
図 3-2	中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	4
表 3-1	断面性状	10
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	12

1. 一般事項

本計算書は、燃料支持金具の強度計算書である。

燃料支持金具は、炉心支持構造物であるため、添付資料「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」（1）強度評価編の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

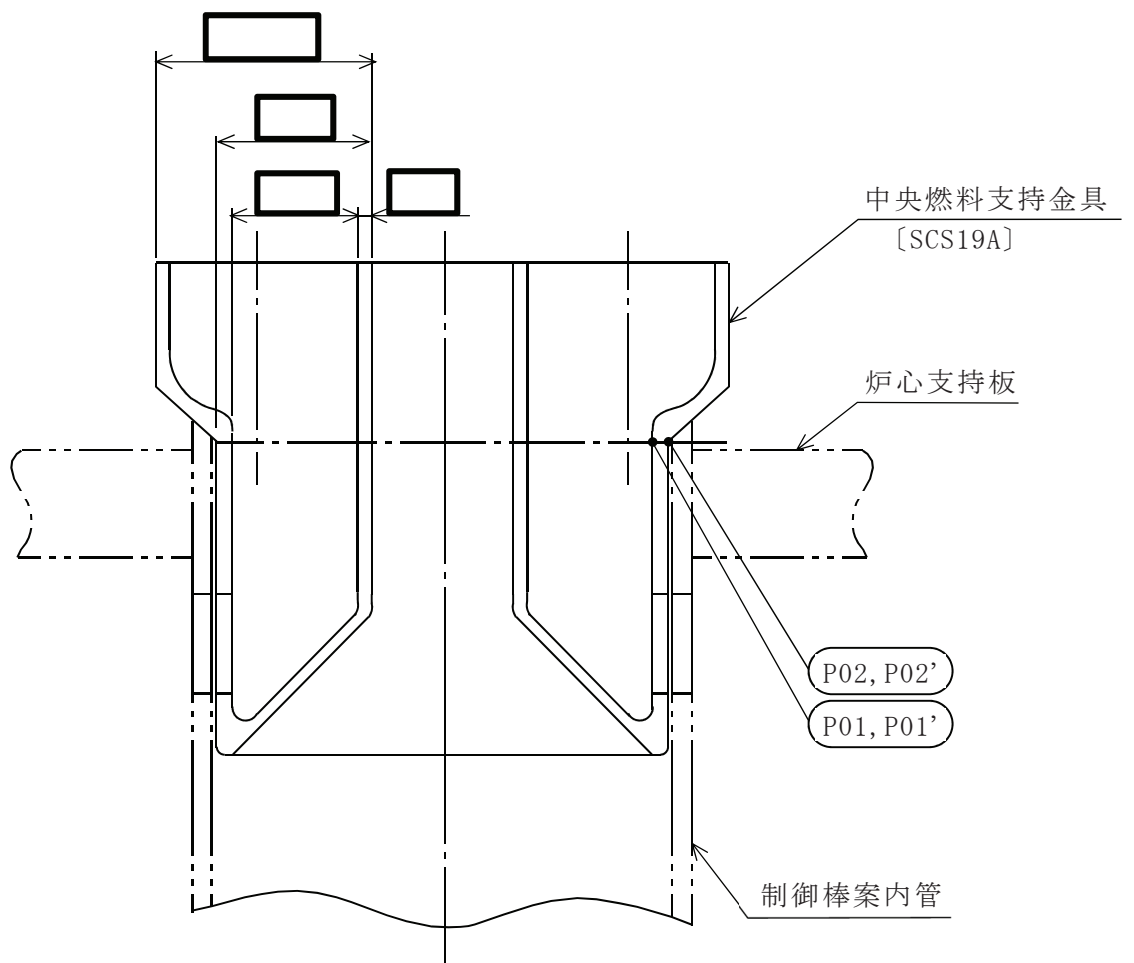
1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

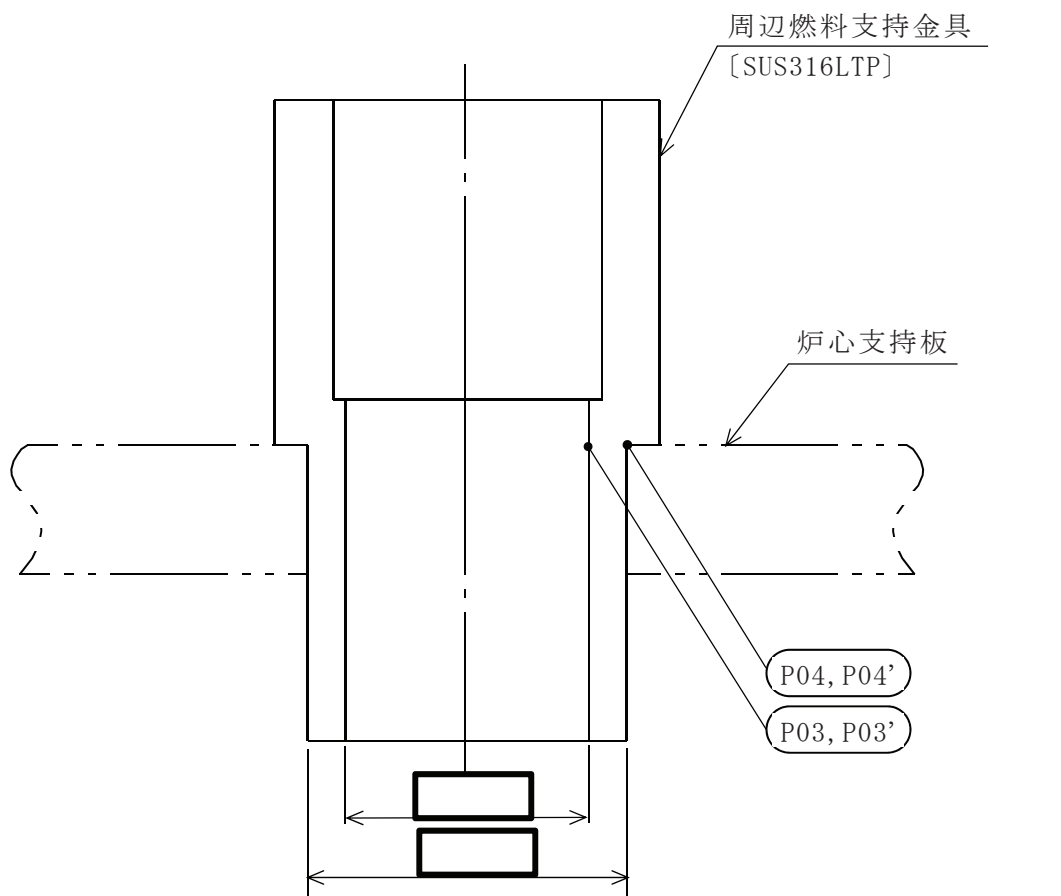
計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
[] : 材 料

図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



○ : 応力評価点
[] : 材 料

図1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
中央燃料支持金具 SCS19A	V	4	246	P01-P02	4	368	P01-P02
周辺燃料支持金具 SUS316LTP	V	2	134*	P03-P04	2	201*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

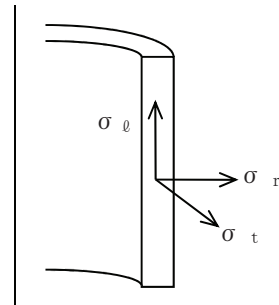
許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.6 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

3.2.2 計算方法

中央燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面で、外径を mm とし、かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデルを図 3-1 に示す。

周辺燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\theta = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{13}$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

中央燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面において、その断面の最小板厚及び内幅を用いて算出される最小外径 の円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデルを、図 3-2 に示す。

周辺燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は、存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より、運転状態 V の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より、運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

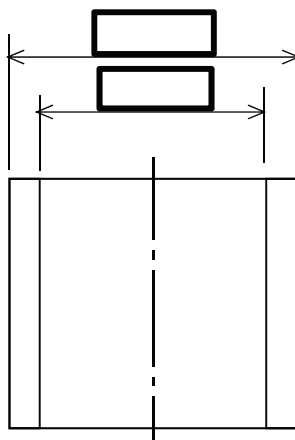


図 3-1 中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル (単位 : mm)

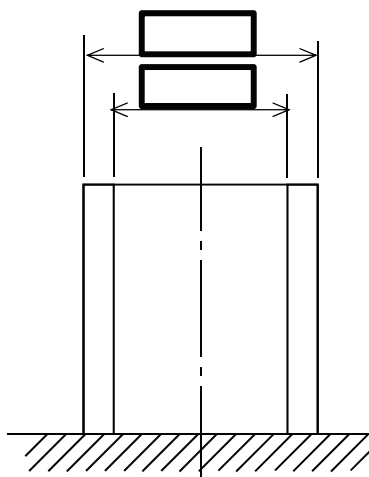


図 3-2 中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)
P01, P02*			
P03, P04			

注記*：上段は差圧による応力計算モデルの断面性状を示し，下段は外荷重による応力計算モデルの断面性状を示す。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	246
P01' P02'	4	246
P03 P04	2	134*
P03' P04'	2	134*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	368
P01' P02'	4	368
P03 P04	2	201*
P03' P04'	2	201*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 6-7 制御棒案内管の強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
2.6	応力の記号と方向	4
3	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	5
3.3.1	荷重条件	5
3.3.2	計算方法	5
3.4	応力の評価	5
4	応力強さの評価	6
4.1	一次一般膜応力強さの評価	6
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
5	特別な応力の評価	7
5.1	軸圧縮応力の評価	7
5.1.1	軸圧縮荷重	7
5.1.2	軸圧縮応力	7
5.1.3	許容軸圧縮応力	7
5.1.4	軸圧縮応力の評価	7
5.2	外圧の評価	8
5.2.1	外圧	8
5.2.2	許容外圧	8
5.2.3	外圧の評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	9
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11
表 5-1	軸圧縮応力の評価のまとめ	12
表 5-2	外圧の評価のまとめ	12

1. 一般事項

本計算書は、制御棒案内管の強度計算書である。

制御棒案内管は、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」（2）強度評価編の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D。	外径	mm
t	肉厚	mm

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

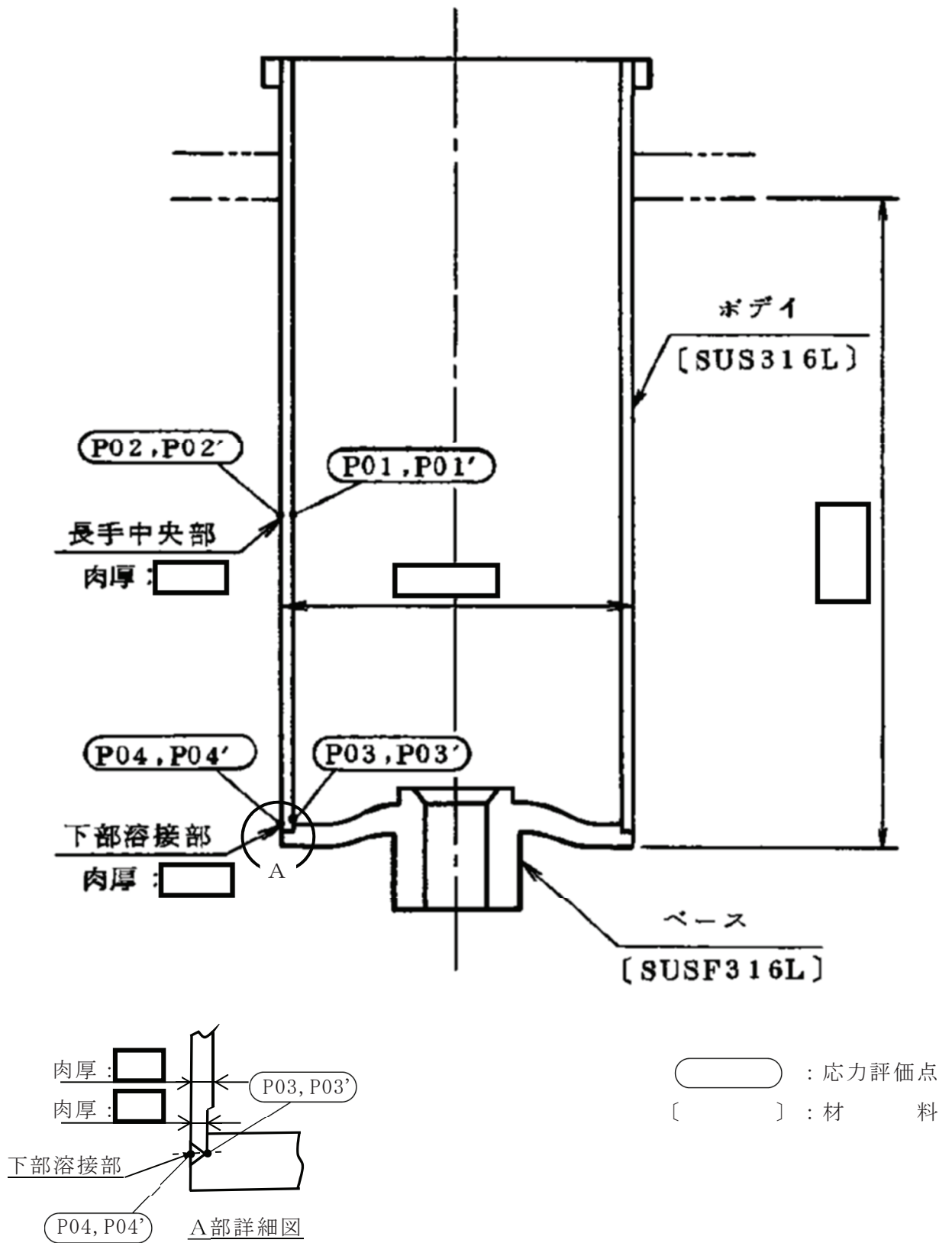


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
長手中央部 SUS316L	V	7	223	P01-P02	7	335	P01-P02
下部溶接部 SUS316L	V	7	145*	P03-P04	7	217*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	軸圧縮応力の評価		外圧による座屈の評価	
		軸圧縮応力	許容応力	外圧	許容外圧
長手中央部 SUS316L	V	5	94	0.25	0.77
下部溶接部 SUS316L	V	5	59*	0.25	0.63

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

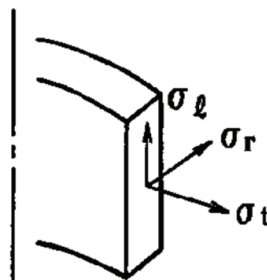
許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.6 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{lr} : せん断応力



3 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による一次応力の計算は、計算機コード「A-SAFIA」を用いて行う。

なお、評価に用いる計算機コードの概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = -\frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5 特別な応力の評価

5.1 軸圧縮応力の評価

制御棒案内管に作用する鉛直荷重により生じる軸圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 軸圧縮荷重

運転状態 V における制御棒案内管に作用する鉛直力を「応力解析の方針」(2) 強度評価編の 4.1 節に示す。

5.1.2 軸圧縮応力

軸圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma = \frac{V}{A}$$

5.1.3 許容軸圧縮応力

運転状態 V における許容軸圧縮応力の計算は、告示第 96 条第 1 項第 1 号チを準用し手計算する。

運転状態 V における許容応力は、次のように得られる。

(単位：MPa)

部分	運転状態	許容軸圧縮応力
長手中央部	V	$\eta \cdot \text{MIN} \left(2 \cdot S_m^{*1}, 2 \cdot B^{*2} \right) = 94$
下部溶接部	V	$\eta \cdot \text{MIN} \left(2 \cdot S_m^{*1}, 2 \cdot B^{*3} \right) = 59$

注記*1：運転状態 V の評価温度における

S_m の値 = 93MPa

*2：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における

B の値 = 47MPa

*3：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における

B の値 = 46MPa

5.1.4 軸圧縮応力の評価

運転状態 V における軸圧縮応力の評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、運転状態 V における軸圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

5.2 外圧の評価

制御棒案内管に作用する外圧の評価を行う。

5.2.1 外圧

運転状態 V における外圧を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

5.2.2 許容外圧

運転状態 V における許容外圧の計算は、告示第 96 条第 2 項第 1 号を準用して計算する。

運転状態 V における許容外圧は、次のように得られる。

(単位：MPa)

部分	運転状態	許容外圧
長手中央部	V	$2 \cdot \left(\frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} \right) = 0.77$
下部溶接部	V	$2 \cdot \left(\frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} \right) = 0.63$

注記*：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における B の値

長手中央部：B = 19MPa

下部溶接部：B = 17MPa

5.2.3 外圧の評価

運転状態 V における外圧の評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、運転状態 V における外圧は、許容外圧を満足するため、座屈は発生しない。

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	t (mm)	A (mm ²)
P01, P02			
P03, P04			

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	223
P01' P02'	7	223
P03 P04	7	145*
P03' P04'	7	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	335
P01' P02'	7	335
P03 P04	7	217*
P03' P04'	7	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-1 軸圧縮応力の評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	軸圧縮応力の評価	
		軸圧縮応力	許容応力
長手中央部	V	5	94
下部溶接部	V	5	59*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-2 外圧の評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	外圧による座屈の評価	
		外圧	許容外圧
長手中央部	V	0.25	0.77
下部溶接部	V	0.25	0.63

VI-3-別添7 原子炉圧力容器内部構造物の強度に関する説明書

目次

- VI-3-別添 7-1 ジェットポンプの強度計算書
- VI-3-別添 7-2 給水スパー ज्याの強度計算書
- VI-3-別添 7-3 高圧及び低圧炉心スプレイスパー ज्याの強度計算書
- VI-3-別添 7-4 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書
- VI-3-別添 7-5 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書
- VI-3-別添 7-6 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書

VI-3-別添 7-1 ジェットポンプの強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 重大事故等時の条件	4
2.2 材料	4
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件	5
3.3.2 計算方法	5
3.4 応力の評価	5
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプの強度計算書である。

ジェットポンプは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-

1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

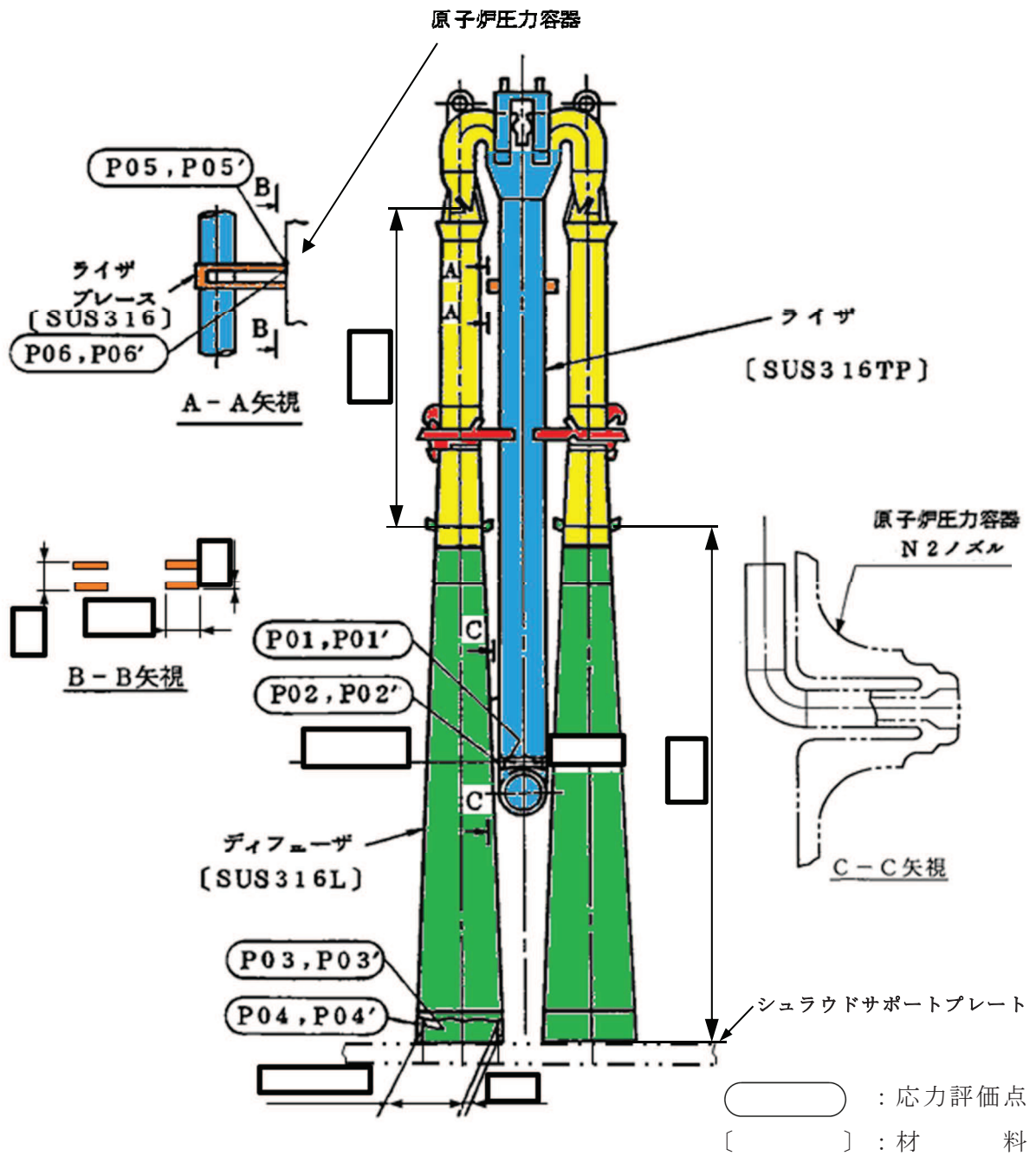


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ライザ SUS316TP	V	42	182 ^{*1}	P01-P02	42	274 ^{*1}	P01-P02
ディフューザ SUS316L	V	18	145 ^{*1}	P03-P04	18	217 ^{*1}	P03-P04
ライザブレース SUS316	V	12	253 ^{*2}	P05-P06	28	380 ^{*2}	P05-P06

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.2節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.3節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の4.3節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の3.6節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	42	182 ^{*1}
P01' P02'	42	182 ^{*1}
P03 P04	18	145 ^{*1}
P03' P04'	18	145 ^{*1}
P05 P06	12	253 ^{*2}
P05' P06'	12	253 ^{*2}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	42	274* ¹
P01' P02'	42	274* ¹
P03 P04	18	217* ¹
P03' P04'	18	217* ¹
P05 P06	28	380* ²
P05' P06'	8	380* ²

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-2 給水スパー ज्याの強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 重大事故等時の条件	4
2.2 材料	4
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件	5
3.3.2 計算方法	5
3.4 応力の評価	5
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、給水スパーージャの強度計算書である。

給水スパーージャは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-

1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」(以下「応力解析の方針」という。)に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

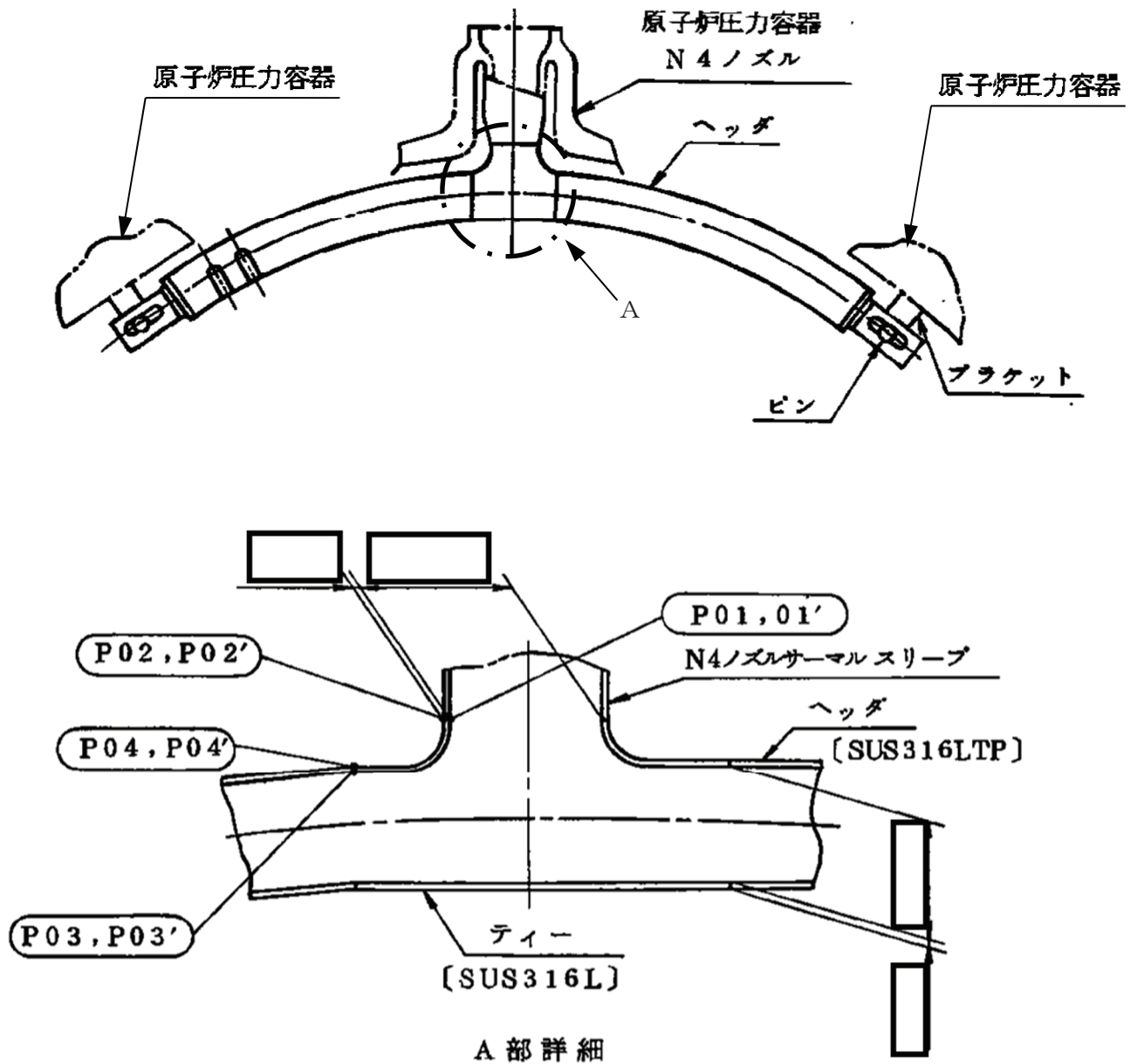
1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ティー SUS316L	V	4	145*	P01-P02	5	217*	P01'-P02'
ヘッド SUS316LTP	V	3	145*	P03-P04	19	217*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	145*
P01' P02'	4	145*
P03 P04	3	145*
P03' P04'	3	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	217*
P01' P02'	5	217*
P03 P04	19	217*
P03' P04'	18	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-3 高圧及び低圧炉心スプレースパー ज्याの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	5
3.3.1	荷重条件	5
3.3.2	計算方法	5
3.4	応力の評価	5
4.	応力強さの評価	6
4.1	一次一般膜応力強さの評価	6
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの強度計算書である。

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

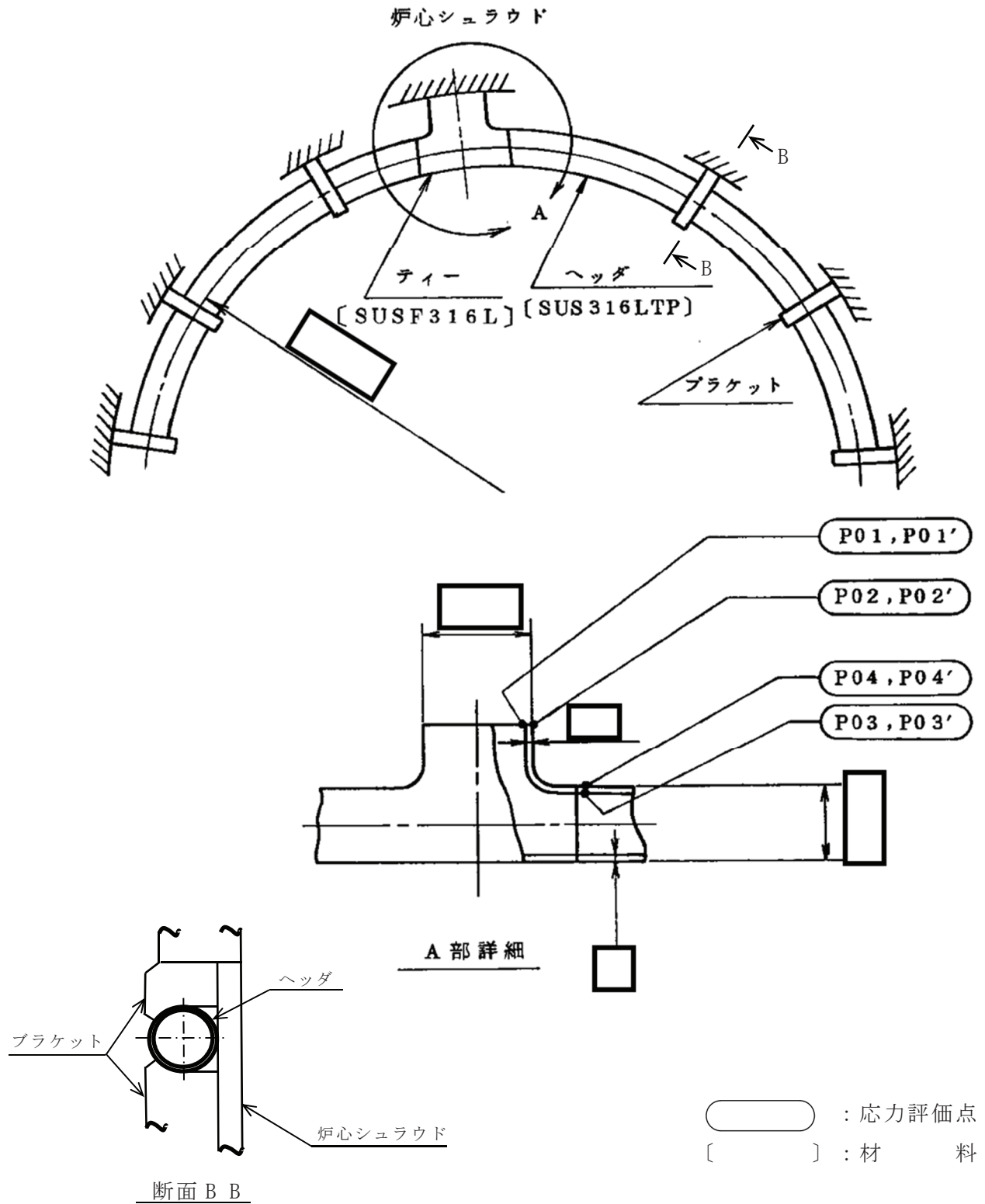


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ティー SUSF316L	V	7	145*	P01-P02	7	217*	P01-P02
ヘッド SUS316LTP	V	6	145*	P03-P04	6	217*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より、運転状態Vの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より、運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	145*
P01' P02'	7	145*
P03 P04	6	145*
P03' P04'	6	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	217*
P01' P02'	7	217*
P03 P04	6	217*
P03' P04'	6	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-4 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）の強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 重大事故等時の条件	4
2.2 材料	4
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件	5
3.3.2 計算方法	5
3.4 応力の評価	5
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書である。

残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

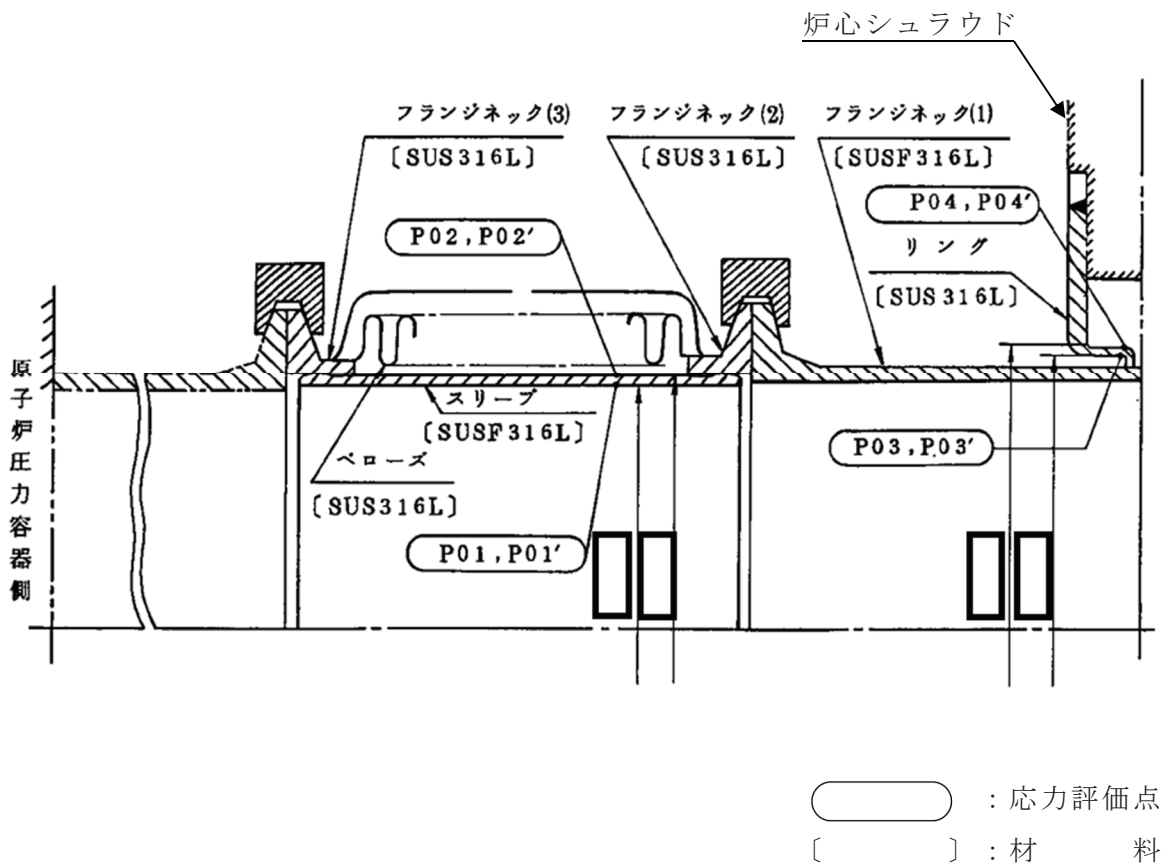


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
スリーブ SUSF316L	V	10	223	P01-P02	10	335	P01-P02
リング SUS316L	V	14	89*	P03-P04	14	134*	P03'-P04'

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)○. に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)○. に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)○. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	10	223
P01' P02'	10	223
P03 P04	14	89*
P03' P04'	14	89*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	10	335
P01' P02'	10	335
P03 P04	13	134*
P03' P04'	14	134*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-5 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	7
2.1	重大事故等時の条件	7
2.2	材料	7
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	7
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	7
2.5	許容応力	7
3.	応力計算	8
3.1	応力評価点	8
3.2	差圧による応力	8
3.2.1	荷重条件	8
3.2.2	計算方法	8
3.3	外荷重による応力	8
3.3.1	荷重条件	8
3.3.2	計算方法	8
3.4	応力の評価	8
4.	応力強さの評価	9
4.1	一次一般膜応力強さの評価	9
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	6
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）の強度計算書である。

高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）は、原子炉压力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

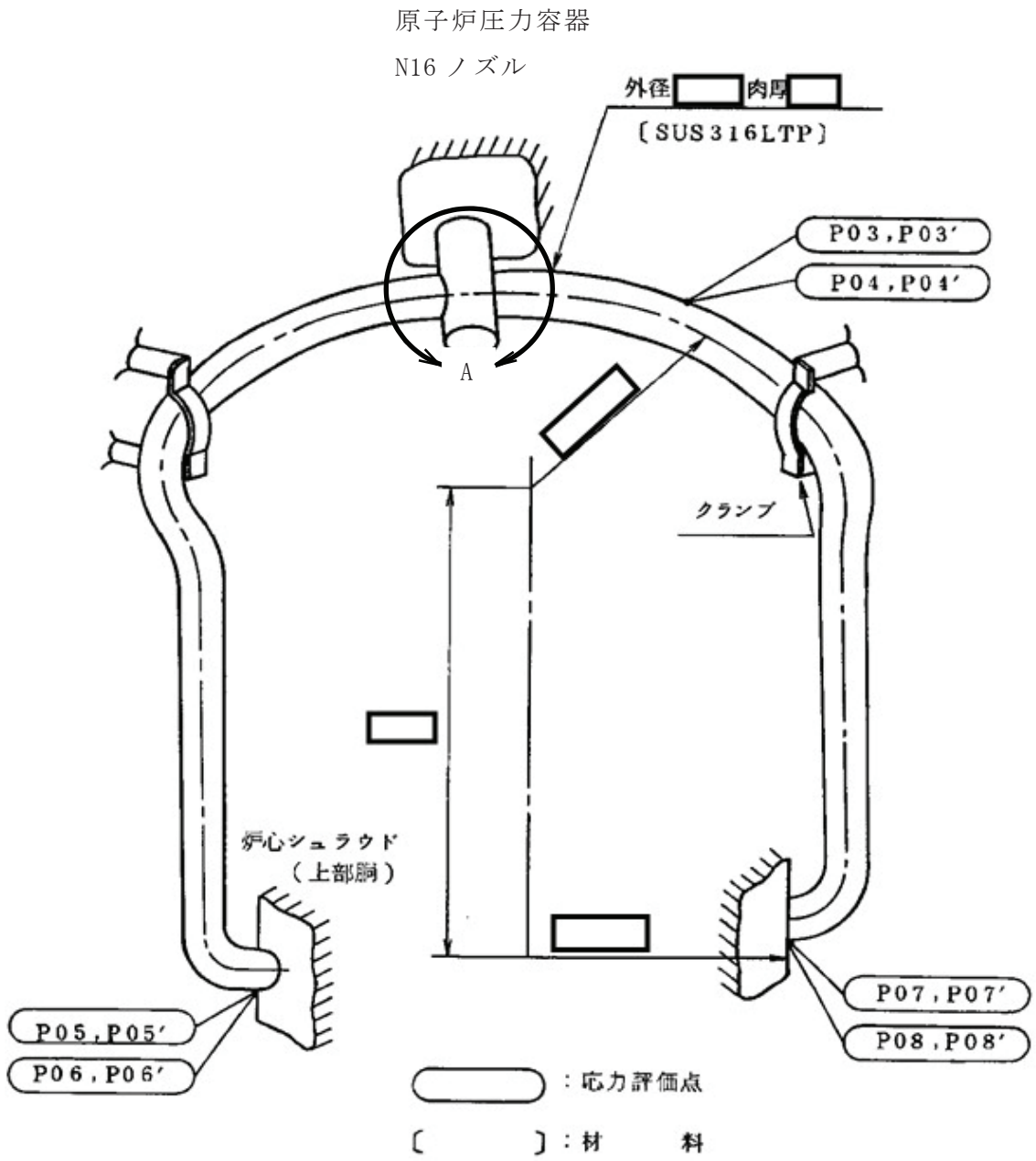


図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点(高压炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

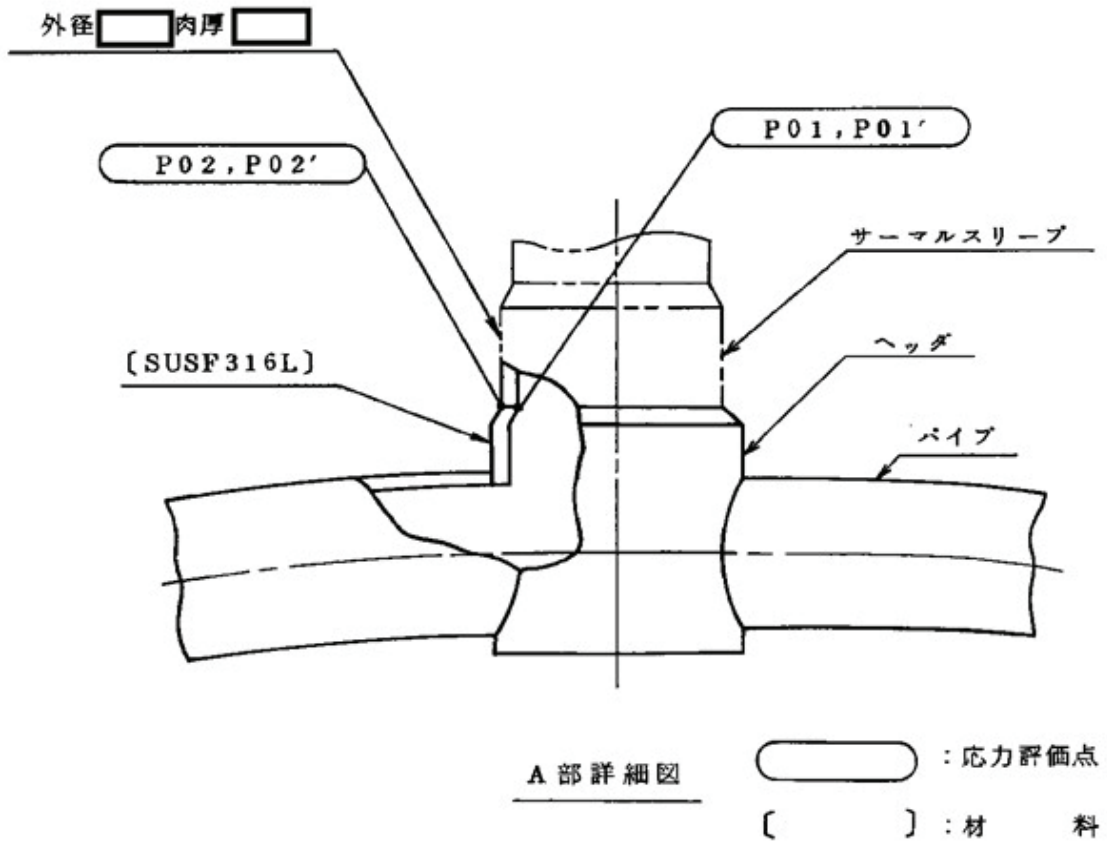


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点(高圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

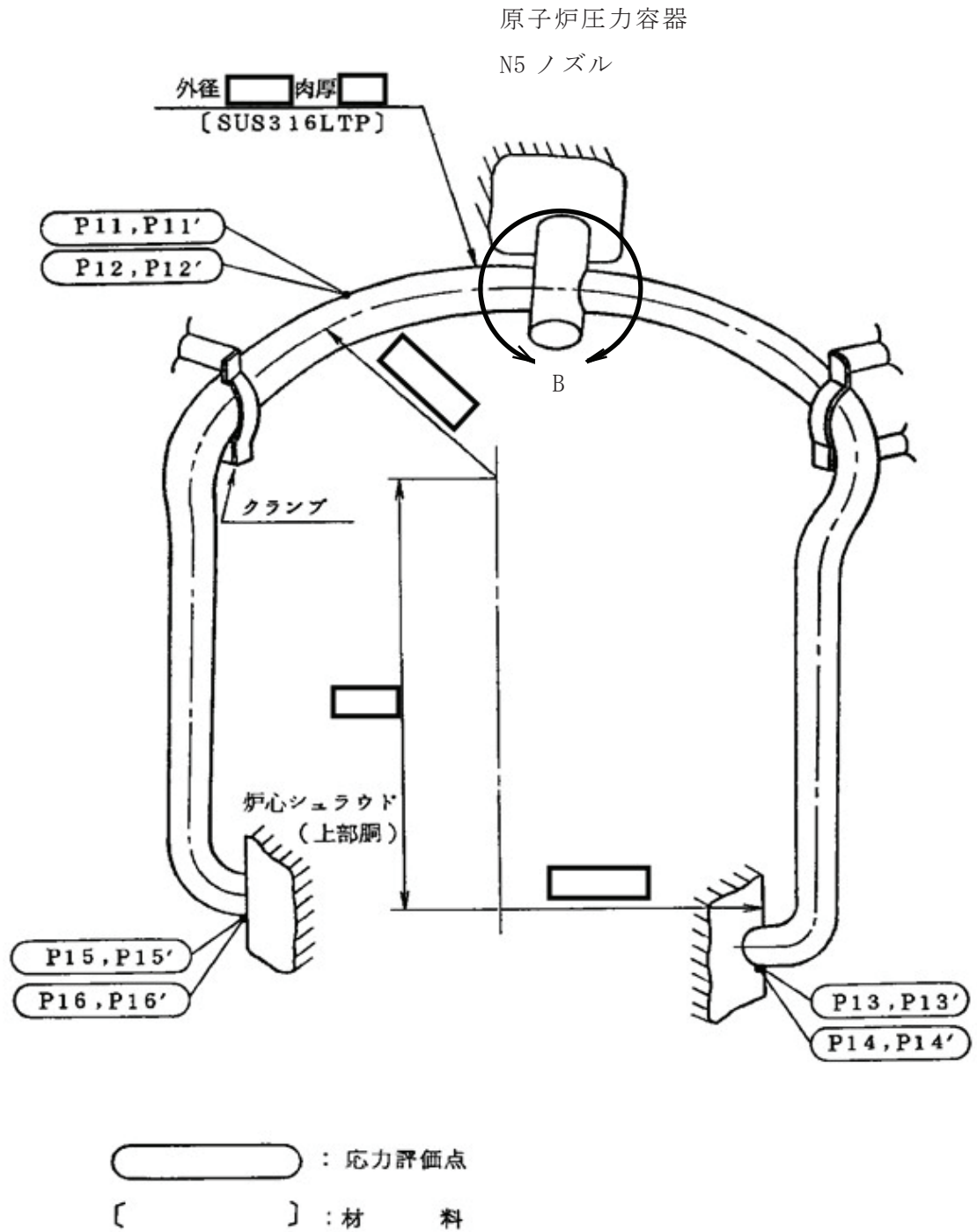


図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点(低圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

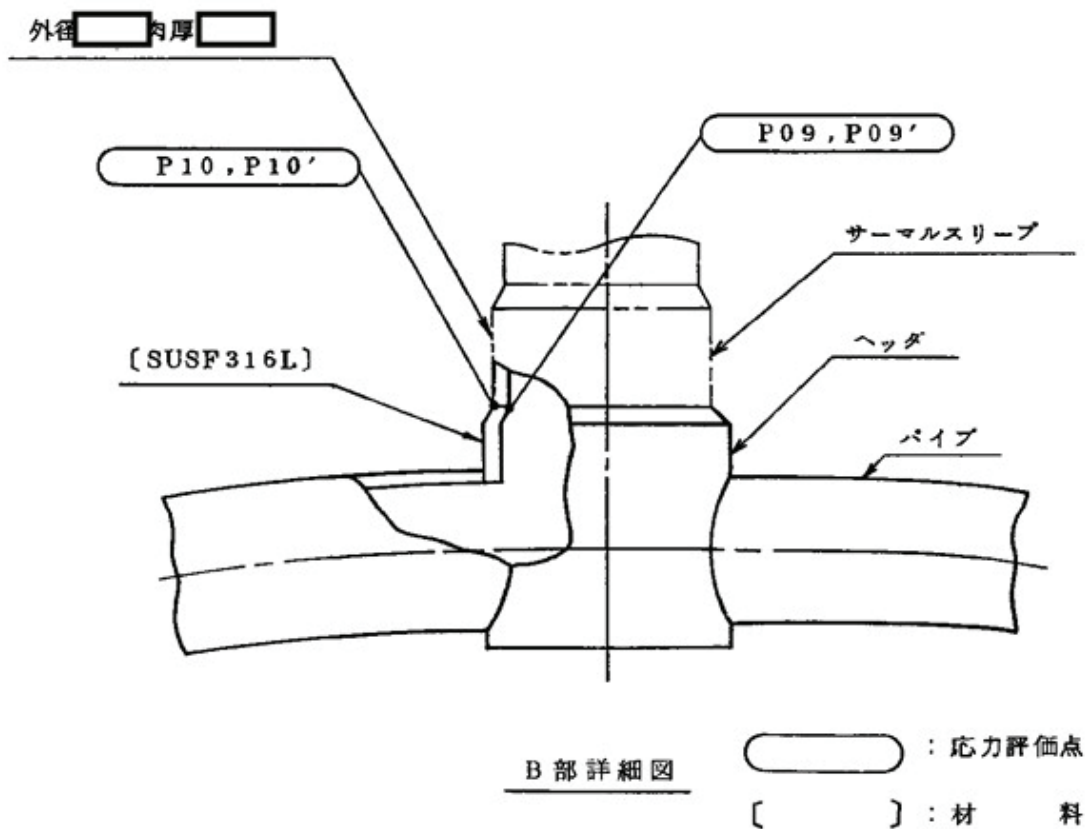


図 1-1(4) 形状・寸法・材料・応力評価点(低圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜+一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ヘッダ SUSF316L	V	8	145*	P01-P02	8	217*	P01'-P02'
パイプ SUS316LTP	V	8	223	P03-P04	10	335	P03-P04
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P05-P06	8	217*	P05'-P06'
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P07-P08	8	217*	P07'-P08'
ヘッダ SUSF316L	V	8	145*	P09-P10	8	217*	P09'-P10'
パイプ SUS316LTP	V	8	223	P11-P12	10	335	P11-P12
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P13-P14	8	217*	P13'-P14'
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P15-P16	8	217*	P15'-P16'

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	8	145*
P01' P02'	8	145*
P03 P04	8	223
P03' P04'	8	223
P05 P06	8	145*
P05' P06'	8	145*
P07 P08	8	145*
P07' P08'	8	145*
P09 P10	8	145*
P09' P10'	8	145*
P11 P12	8	223
P11' P12'	8	223
P13 P14	8	145*
P13' P14'	8	145*
P15 P16	8	145*
P15' P16'	8	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	8	217*
P01' P02'	8	217*
P03 P04	10	335
P03' P04'	8	335
P05 P06	8	217*
P05' P06'	8	217*
P07 P08	8	217*
P07' P08'	8	217*
P09 P10	8	217*
P09' P10'	8	217*
P11 P12	10	335
P11' P12'	8	335
P13 P14	8	217*
P13' P14'	8	217*
P15 P16	8	217*
P15' P16'	8	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-6 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 重大事故等時の条件	4
2.2 材料	4
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件	5
3.3.2 計算方法	5
3.4 応力の評価	5
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書である。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

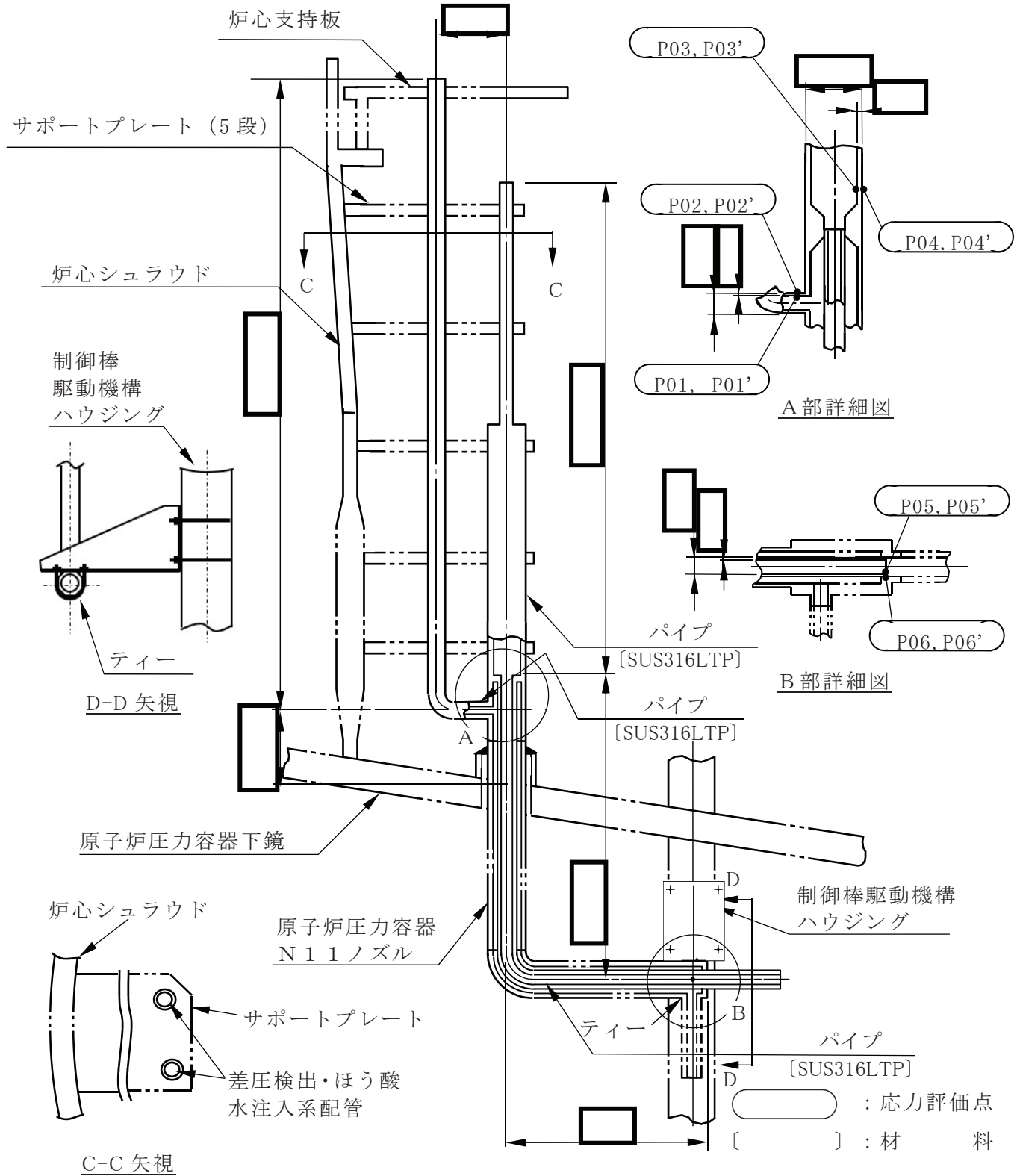


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
パイプ SUS316LTP	V	2	145*	P01-P02	5	217*	P01-P02
	V	2	145*	P03-P04	2	217*	P03-P04
	V	3	145*	P05-P06	4	217*	P05-P06

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.2 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.3 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」(2)強度評価編の 4.1 節に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」(2)強度評価編の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」(2)強度評価編の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Ⅴにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Ⅴの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Ⅴにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Ⅴの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」(2)強度評価編の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	2	145*
P01' P02'	2	145*
P03 P04	2	145*
P03' P04'	2	145*
P05 P06	3	145*
P05' P06'	3	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	5	217*
P01' P02'	5	217*
P03 P04	2	217*
P03' P04'	2	217*
P05 P06	4	217*
P05' P06'	3	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-4 その他計算書

目 次

VI-4-1 安全弁及び逃がし弁の吹出量計算書

VI-4-2 生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

VI-4-1 安全弁及び逃がし弁の吹出量計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	記号の定義	2
2.2	容量計算方法	7
3.	原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果	8
3.1	吹出量の計算 (E11-F048A, B)	9
3.1.1	設計条件	9
3.1.2	吹出量の計算式	9
3.1.3	逃がし弁の吹出量	10
3.1.4	必要吹出量の設定根拠	10
3.1.5	評価結果	10
3.2	吹出量の計算 (E11-F048C)	11
3.2.1	設計条件	11
3.2.2	吹出量の計算式	11
3.2.3	逃がし弁の吹出量	12
3.2.4	必要吹出量の設定根拠	12
3.2.5	評価結果	12
3.3	吹出量の計算 (E11-F050A, B)	13
3.3.1	設計条件	13
3.3.2	吹出量の計算式	13
3.3.3	逃がし弁の吹出量	14
3.3.4	必要吹出量の設定根拠	14
3.3.5	評価結果	14
3.4	吹出量の計算 (E11-F054A, B)	15
3.4.1	設計条件	15
3.4.2	吹出量の計算式	15
3.4.3	逃がし弁の吹出量	16
3.4.4	必要吹出量の設定根拠	16
3.4.5	評価結果	16
3.5	吹出量の計算 (E22-F023)	17
3.5.1	設計条件	17
3.5.2	吹出量の計算式	17
3.5.3	逃がし弁の吹出量	18
3.5.4	必要吹出量の設定根拠	18
3.5.5	評価結果	18
3.6	吹出量の計算 (E21-F017)	19
3.6.1	設計条件	19

3.6.2	吹出量の計算式	19
3.6.3	逃がし弁の吹出量	20
3.6.4	必要吹出量の設定根拠	20
3.6.5	評価結果	20
3.7	吹出量の計算 (E51-F059)	21
3.7.1	設計条件	21
3.7.2	吹出量の計算式	21
3.7.3	逃がし弁の吹出量	22
3.7.4	必要吹出量の設定根拠	22
3.7.5	評価結果	22
3.8	吹出量の計算 (E71-F010)	23
3.8.1	設計条件	23
3.8.2	吹出量の計算式	23
3.8.3	逃がし弁の吹出量	24
3.8.4	必要吹出量の設定根拠	24
3.8.5	評価結果	24
4.	計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果	25
4.1	吹出量の計算 (C41-F003A, B)	26
4.1.1	設計条件	26
4.1.2	吹出量の計算式	26
4.1.3	逃がし弁の吹出量	27
4.1.4	必要吹出量の設定根拠	27
4.1.5	評価結果	27
4.2	吹出量の計算 (C41-F022)	28
4.2.1	設計条件	28
4.2.2	吹出量の計算式	28
4.2.3	逃がし弁の吹出量	29
4.2.4	必要吹出量の設定根拠	29
4.2.5	評価結果	29
4.3	吹出量の計算 (P54-F065A, B)	30
4.3.1	設計条件	30
4.3.2	吹出量の計算式	30
4.3.3	安全弁の吹出量	31
4.3.4	必要吹出量の設定根拠	31
4.3.5	評価結果	31
4.4	吹出量の計算 (P54-F1005A, B)	32
4.4.1	設計条件	32
4.4.2	吹出量の計算式	32
4.4.3	安全弁の吹出量	33

4.4.4	必要吹出量の設定根拠.....	33
4.4.5	評価結果	33
5.	原子炉格納施設の安全弁等の容量計算結果.....	34
5.1	吹出量の計算 (E11-F084)	35
5.1.1	設計条件	35
5.1.2	吹出量の計算式	35
5.1.3	逃がし弁の吹出量	36
5.1.4	必要吹出量の設定根拠.....	36
5.1.5	評価結果	36
5.2	吹出量の計算 (E11-F085)	37
5.2.1	設計条件	37
5.2.2	吹出量の計算式	37
5.2.3	逃がし弁の吹出量	38
5.2.4	必要吹出量の設定根拠.....	38
5.2.5	評価結果	38
5.3	吹出量の計算 (T49-F007A, B)	39
5.3.1	設計条件	39
5.3.2	吹出量の計算式	39
5.3.3	逃がし弁の吹出量	40
5.3.4	必要吹出量の設定根拠.....	40
5.3.5	評価結果	40
5.4	吹出量の計算 (T63-F006)	41
5.4.1	設計条件	41
5.4.2	吹出量の計算式	41
5.4.3	逃がし弁の吹出量	42
5.4.4	必要吹出量の設定根拠.....	42
5.4.5	評価結果	42

1. 概要

本計算書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 20 条及び第 57 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」の安全弁等の規定に基づき設置された原子炉冷却系統施設、計測制御系統施設、原子炉格納施設及び非常用電源設備の安全弁及び逃がし弁が、必要な吹出量以上の容量を有することを確認するための容量計算の方針及びこれに基づいた計算結果について説明するものである。

なお、設計基準対象施設に関しては、技術基準規則の要求事項に変更がないため、今回の申請において変更は行わないが、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」の改正により追加となる安全弁及び逃がし弁については、本計算書にて必要吹出量又は容量の算定を行う。

重大事故等時に流路となる配管及び容器に付属する安全弁及び逃がし弁が、重大事故等対処設備としての申請範囲となるため、本計算書にて必要吹出量又は容量の算定を行う。

なお、重大事故等対処設備のうち、原子炉冷却系統施設の主蒸気逃がし安全弁（B21-F001A～H, J～L）、非常用電源設備の非常用ディーゼル発電設備空気だめ安全弁（R43-F318A, B）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめ安全弁（R44-F318）の吹出量は、平成 4 年 1 月 13 日付け 3 資庁第 10518 号にて認可された工事計画の IV-4-2「主蒸気逃がし安全弁の吹出量計算書」、IV-4-8「非常用ディーゼル発電設備空気だめ安全弁の吹出量計算書」及び IV-4-9「高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめ安全弁の吹出量計算書」において必要吹出量の算定を行っており、設計基準対象施設として使用する場合は系統設備及び使用方法に変更がないこと並びに設計基準対象施設に関しては技術基準規則の要求事項に変更がないため、今回の申請において変更は行わない。

2. 基本方針

蒸気用の安全弁、ガス用安全弁及び逃がし弁（以下「安全弁等」という。）の容量計算は、各安全弁等の施設時に適用された「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第 501 号）」（以下「S55 年告示第 501 号」という。）第 103 条（安全弁等の容量の計算式）又は「J SME S NC 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下「設計・建設規格」という。）第 10 章（安全弁等）の規定に基づいて算定し、算定結果が必要な吹出量以上であることを確認する。

2.1 記号の定義

安全弁等の容量計算に用いる記号について、次に説明する。

(1) 蒸気用の安全弁の容量計算に使用するもの

	記号	単位	定義
蒸気用の安全弁の容量計算*に使用するもの	Q_m	kg/h	公称吹出し量（容量）
	D	mm	弁座口の径
	d_t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	A	mm ²	吹出し面積 全量式の場合 $A = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ (J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書付図 1 による)
	p	MPa	公称吹出し量決定圧力 公称吹出し量決定圧力で、設定圧力が 0.1 MPa を超えるときは、設定圧力の 1.03 倍、設定圧力が 0.1 MPa 以下のときは、設定圧力に 0.02 MPa を加えた圧力とする。ただし、指定のある場合は、その値による。 (J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書 2. 蒸気に対する公称吹出し量による)
	K_d	-	公称吹出し係数（弁メーカーにおける実験で求めた値による）
C	-	蒸気の性質による係数 (J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書表 1 による)	

注記 * : 設計・建設規格 SRV-3111(1)による。

(2) ガス用安全弁の容量計算に使用するもの

a. S55年告示第501号に基づく評価を実施する場合

	記号	単位	定義
ガス用安全弁の容量計算*に使用するもの	Q_m	kg/h	公称吹出し量 (容量)
	D	mm	弁座口の径
	d_t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	C'	-	ガスの断熱指数による係数 (JIS B 8210-1986 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書図2による)
	P_1	kg/cm ² (MPa)	公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 (特に指定のない場合は、吹出圧力の1.1倍の絶対圧力)
	P_2	kg/cm ² (MPa)	背圧の絶対圧力
	K_d	-	公称吹出し係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による)
	A	mm ²	吹出し面積 揚程式平面座の場合 $A = \pi \cdot D \cdot L$ (JIS B 8210-1986 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書付図による)
	M	-	ガスの分子量
	Z	-	圧縮係数 (JIS B 8210-1986 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書図4による)
	T	K	公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度

注記 * : S55年告示第501号第103条第1項第二号による。

b. 設計・建設規格に基づく評価を実施する場合

	記号	単位	定義
ガス用安全弁の容量計算*に使用するもの	Q_m	kg/h	公称吹出し量 (容量)
	D	mm	弁座口の径
	d_t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	C'	-	ガスの断熱指数による係数 (J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書図 2 による)
	P_1	MPa	公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 (特に指定のない場合は, 吹出圧力の 1.1 倍の絶対圧力)
	P_2	MPa	背圧の絶対圧力
	K_d	-	公称吹出し係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による)
	A	mm ²	吹出し面積 揚程式平面座の場合 $A = \pi \cdot D \cdot L$ (J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書付図 1 による)
	M	-	ガスの分子量
	Z	-	圧縮係数 (J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁 附属書図 3 による)
	T	K	公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度

注記 * : 設計・建設規格 SRV-3111(2)による。

(3) 逃がし弁の容量計算に使用するもの

a. S55 年告示第 501 号に基づく評価を実施する場合

	記号	単位	定義
逃がし弁の容量計算*に使用するもの	W	kg/h	弁の容量
	A	mm ²	弁の流体通路の最小面積 以下の計算式で求めた値又は弁体が所定のリフトに達したときに形成される流体通路の最小面積のうち最も小さな値を使用する。 $\cdot A = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ $\cdot A = \pi \cdot D \cdot L$
	n	-	流量係数 (0.5 又は実験的に求めた値)
	D	mm	弁座口の径
	d _t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	△P	kg/cm ²	逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差
	G	g/cm ³	入口側の液体の比重量

注記* : S55 年告示第 501 号第 103 条第 1 項第三号による。

b. 設計・建設規格に基づく評価を実施する場合

	記号	単位	定義
逃がし弁の容量計算*に使用するもの	W	kg/h	弁の容量
	A	mm ²	弁の流体通路の最小面積 以下の計算式で求めた最も小さな値を使用する。 ・ $A = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ ・ $A = \pi \cdot D \cdot L$
	n	-	流量係数 (0.5 又は実験的に求めた値)
	D	mm	弁座口の径
	d _t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	△P	MPa	逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差
	G	kg/m ³	入口側の液体の密度

注記 * : 設計・建設規格 SRV-3112 による。

2.2 容量計算方法

安全弁等の容量については、次の適用基準に基づく計算式により容量を求める。

項目		適用基準	計算式
蒸気用安全弁の 吹出量（容量）	①	設計・建設規格 SRV-3111 (1) * ¹	$Q_m = 5.246 \cdot C \cdot K_d \cdot A \cdot (p + 0.1) \cdot 0.9$
	②	S55 年告示第 501 号 第 103 条第 1 項第二号* ²	$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$
ガス用安全弁の 吹出量（容量）	③	設計・建設規格 SRV-3111 (2) * ³	$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$
	④	S55 年告示第 501 号 第 103 条第 1 項第三号	$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$
逃がし弁の容量	⑤	設計・建設規格 SRV-3112	$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$

注記*1: 「J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「2. 蒸気に対する公称吹出し量」による。

*2: 「J I S B 8 2 1 0 -1986 蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガスに対する公称吹出し量」による。

*3: 「J I S B 8 2 1 0 -1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガスに対する公称吹出し量」による。

3. 原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要な吹出量を上回っていることを確認した。

番号	弁番号	適用基準	対象区分
1	E11-F048A, B	④	DB/SA
2	E11-F048C	④	DB/SA
3	E11-F050A, B	④	DB/SA
4	E11-F054A, B	④	DB/SA
5	E22-F023	④	DB/SA
6	E21-F017	④	DB/SA
7	E51-F059	④	SA
8	E71-F010	⑤	SA

3.1 吹出量の計算 (E11-F048A, B)

3.1.1 設計条件

名 称	E11-F048A, B
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	38 (3.73 MPa)
最高使用温度 (°C)	186 (DB/SA)
個 数	2
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55 年告示第 501 号第 103 条第 1 項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は 0.5 とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 37.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.1.3 逃がし弁の吹出量

3.1.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 37.5 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}$$

3.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

3.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.2 吹出量の計算 (E11-F048C)

3.2.1 設計条件

名 称	E11-F048C
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	38 (3.73 MPa)
最高使用温度 (°C)	100 (DB/SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.2.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55 年告示第 501 号第 103 条第 1 項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は 0.5 とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 37.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2.3 逃がし弁の吹出量

3.2.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 37.5 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}$$

3.2.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

3.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.3 吹出量の計算 (E11-F050A, B)

3.3.1 設計条件

名 称	E11-F050A, B
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	20 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	87.9 (8.62 MPa)
最高使用温度 (°C)	302 (DB) /315 (SA)
個 数	2
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.3.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55年告示第501号第103条第1項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 87.4

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3.3 逃がし弁の吹出量

3.3.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 87.4 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}$$

3.3.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、残留熱除去系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

3.3.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.4 吹出量の計算 (E11-F054A, B)

3.4.1 設計条件

名 称	E11-F054A, B
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	14 (1.37 MPa)
最高使用温度 (°C)	186 (DB/SA)
個 数	2
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.4.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55年告示第501号第103条第1項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 13.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4.3 逃がし弁の吹出量

3.4.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.5 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未滿切捨て)}$$

3.4.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

3.4.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.5 吹出量の計算 (E22-F023)

3.5.1 設計条件

名 称	E22-F023
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	14 (1.37 MPa)
最高使用温度 (°C)	100 (DB/SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.5.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55 年告示第 501 号第 103 条第 1 項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は 0.5 とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 13.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

3.5.3 逃がし弁の吹出量

3.5.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.5 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}$$

3.5.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離弁から高圧炉心スプレイ系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個 とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

3.5.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.6 吹出量の計算 (E21-F017)

3.6.1 設計条件

名 称	E21-F017
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	45 (4.41 MPa)
最高使用温度 (°C)	100 (DB/SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.6.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55 年告示第 501 号第 103 条第 1 項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は 0.5 とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 44.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.6.3 逃がし弁の吹出量

3.6.2 項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 44.5 \times 1.0} \\
 &= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}
 \end{aligned}$$

3.6.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離弁から低圧炉心スプレイ系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個 とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

3.6.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.7 吹出量の計算 (E51-F059)

3.7.1 設計条件

名 称	E51-F059
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	14 (1.37 MPa)
最高使用温度 (°C)	66 (SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.7.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55年告示第501号第103条第1項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 13.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.7.3 逃がし弁の吹出量

3.7.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.5 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}$$

3.7.4 必要吹出量の設定根拠

重大事故等対処設備として必要な吹出量は、原子炉冷却材圧力バウンダリの隔離弁から原子炉隔離時冷却系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個 とする。

3.7.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.8 吹出量の計算 (E71-F010)

3.8.1 設計条件

名 称	E71-F010
種 類	非平衡型
形 式	全量式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	12.5 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (MPa)	1.70
最高使用温度 (°C)	66 (SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

3.8.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、【事例規格】過圧防護に関する規定 (NC-CC-001) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 OPP-7000 により、設計・建設規格 SRV-3112 に従う。

$$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による)

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (MPa) 1.70

G : 入口側の液体の密度 (kg/m³) 1000.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.8.3 逃がし弁の吹出量

3.8.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 5.04 \times \square \times \square \times \sqrt{1.1 \times 1.70 \times 1000.0}$$

= \square kg/h (10 kg/h 未満切捨て)

3.8.4 必要吹出量の設定根拠

重大事故等対処設備として必要な吹出量は、高圧炉心スプレイ系の隔離弁から直流駆動低圧注水系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個 とする。

3.8.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4. 計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要な吹出量を上回っていることを確認した。

番号	弁番号	適用基準	対象区分
1	C41-F003A, B	④	DB/SA
2	C41-F022	④	DB/SA
3	P54-F065A, B	②	DB/SA
4	P54-F1005A, B	③	SA

4.1 吹出量の計算 (C41-F003A, B)

4.1.1 設計条件

名 称	C41-F003A, B
種 類	非平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	13 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	110 (10.79 MPa)
最高使用温度 (°C)	66 (DB/SA)
個 数	2
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

4.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55年告示第501号第103条第1項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 109.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.3 逃がし弁の吹出量

4.1.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 109.5 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}$$

4.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、SLC 注入電動弁が全閉状態でほう酸水注入系ポンプ出口配管にほう酸水注入系ポンプの定格流量が流入した場合に、流入流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

4.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4.2 吹出量の計算 (C41-F022)

4.2.1 設計条件

名 称	C41-F022
種 類	非平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	20 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	13 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	12 (1.18 MPa)
最高使用温度 (°C)	66 (DB/SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

4.2.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55年告示第501号第103条第1項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 11.5

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.3 逃がし弁の吹出量

4.2.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 11.5 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h (1 kg/h 未満切捨て)}$$

4.2.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉圧力容器に接続するほう酸水注入系ポンプ吐出配管に設置される常時閉の弁に弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個とする。

また、重大事故等対処設備として使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため、必要な吹出量の設定根拠は同じである。

4.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4.3 吹出量の計算 (P54-F065A, B)

4.3.1 設計条件

名 称	P54-F065A, B
種 類	非平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	15.0 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	窒素
吹出圧力 (kg/cm ²)	14.8 (1.45 MPa)
最高使用温度 (°C)	66 (DB/SA)
個 数	2
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

4.3.2 吹出量の計算式

ガス用安全弁の吹出し量の計算は、S55年告示第501号第103条第1項第二号により、「J I S B 8 2 1 0-1986 蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガスに対する公称吹出し量」に従う。

$$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$$

ここで、

Q_m : 公称吹出し量 (kg/h)

C' : κ と P_2/P_1 による係数 (附属書図 2 による。) 2.65

κ : P_1 における断熱指数 (不明の場合は、 $\kappa = 1.0$ とする。)

P_1 : 公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 (kg/cm²) 17.28

(特に指定のない場合は、設定圧力の 1.1 倍とする。)

P_2 : 背圧の絶対圧力 (kg/cm²)

K_d : 公称吹出し係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による)

A : 吹出し面積 (mm²)

M : ガスの分子量 28.01

Z : 圧縮係数 (附属書図 4 による。) 1.0

T : 公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度 (K) 339

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3.3 安全弁の吹出量

4.3.2 項の式より Q_m は以下となる。

$$Q_m = 2.65 \times \boxed{} \times \boxed{} \times 17.28 \times \sqrt{\frac{28.01}{1.0 \times 339}} \times 0.9$$

$$= \boxed{} \text{ kg/h (0.1 kg/h 未満切捨て)}$$

4.3.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータへの窒素供給時、高圧窒素ガス供給系の減圧弁が故障により全開となった場合に、供給ガス流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で $\boxed{}$ kg/h/個 とする。

また、重大事故等対処設備として必要な吹出量は、主蒸気逃がし安全弁への窒素供給時、高圧窒素ガスポンベの出口の減圧弁が故障により全開となった場合に、供給ガス流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で $\boxed{}$ kg/h/個 とする。

4.3.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4.4 吹出量の計算 (P54-F1005A, B)

4.4.1 設計条件

名 称	P54-F1005A, B
種 類	非平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	23 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	窒素
吹出圧力 (MPa)	2.06
最高使用温度 (°C)	66 (SA)
個 数	2
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

4.4.2 吹出量の計算式

ガス用安全弁の吹出量の計算は、設計・建設規格 SRV-3111(2)により、「J I S B 8 2 1 0-1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガス用に対する公称吹出し量」に従う。

$$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$$

ここで、

Q_m : 公称吹出し量 (kg/h)

C' : κ と P_2 / P_1 による係数 (附属書図 2 による。) 27.0

κ : P_1 における断熱指数 (不明の場合は、 $\kappa = 1.0$ とする。)

P_1 : 公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 (MPa) 2.36

(特に指定のない場合は、設定圧力の 1.1 倍とする。)

P_2 : 背圧の絶対圧力 (MPa)

K_d : 公称吹出し係数

A : 吹出し面積 (mm^2)

M : ガスの分子量 28.01

Z : 圧縮係数 (「附属書」図 3 による。) 1.0

T : 公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度 (K) 339

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4.3 安全弁の吹出量

4.4.2 項の式より Q_m は以下となる。

$$Q_m = 27.0 \times \square \times \square \times 2.36 \times \sqrt{\frac{28.01}{1.0 \times 339}} \times 0.9$$

$$= \square \text{ kg/h (1 kg/h 未満切捨て)}$$

4.4.4 必要吹出量の設定根拠

重大事故等対処設備として必要な吹出量は、主蒸気逃がし安全弁への窒素供給時、高圧窒素ガスポンベの出口の減圧弁が故障により全開となった場合に、供給ガス流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個 とする。

4.4.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5. 原子炉格納施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要な吹出量を上回っていることを確認した。

番号	弁番号	適用基準	対象区分
1	E11-F084	⑤	SA
2	E11-F085	⑤	SA
3	T49-F007A, B	④	DB
4	T63-F006	①	SA

5.1 吹出量の計算 (E11-F084)

5.1.1 設計条件

名 称	E11-F084
種 類	平衡型
形 式	全量式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	20 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (MPa)	3.73
最高使用温度 (°C)	186 (SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

5.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、【事例規格】過圧防護に関する規定 (NC-CC-001) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 OPP-7000 により、設計・建設規格 SRV-3112 に従う。

$$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による)

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (MPa) 3.68

G : 入口側の液体の密度 (kg/m³) 1000.0

5.1.3 逃がし弁の吹出量

5.1.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 5.04 \times \square \times \square \times \sqrt{1.1 \times 3.68 \times 1000.0}$$
$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未滿切捨て)}$$

5.1.4 必要吹出量の設定根拠

重大事故等対処設備として必要な吹出量は、代替循環冷却ポンプの吐出側配管の閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で \square kg/h/個 とする。

5.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5.2 吹出量の計算 (E11-F085)

5.2.1 設計条件

名 称	E11-F085
種 類	平衡型
形 式	全量式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	20 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (MPa)	1.37
最高使用温度 (°C)	186 (SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

5.2.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，【事例規格】過圧防護に関する規定 (NC-CC-001) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 OPP-7000 により，設計・建設規格 SRV-3112 に従う。

$$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による)

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (MPa) 1.32

G : 入口側の液体の密度 (kg/m³) 1000.0

5.2.3 逃がし弁の吹出量

5.2.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 5.04 \times \square \times \square \times \sqrt{1.1 \times 1.32 \times 1000.0}$$
$$= \square \text{ kg/h (10 kg/h 未満切捨て)}$$

5.2.4 必要吹出量の設定根拠

重大事故等対処設備として必要な吹出量は、代替循環冷却ポンプの吸込及び吐出側配管の閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で \square kg/h/個 とする。

5.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5.3 吹出量の計算 (T49-F007A, B)

5.3.1 設計条件

名 称	T49-F007A, B
種 類	平衡型
形 式	揚程式
呼び径 (入口)	25 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	24 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	水
吹出圧力 (kg/cm ²)	2 (196kPa)
最高使用温度 (°C)	171 (DB)
個 数	2
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

5.3.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、S55年告示第501号第103条第1項第三号に従う。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm²)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする) 0.5

ΔP : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm²) 2

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm³) 1.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.3.3 逃がし弁の吹出量

5.3.2 項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 2 \times 1.0}$$
$$= \square \text{ kg/h (1 kg/h 未満切捨て)}$$

5.3.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、可燃性ガス濃度制御系再結合装置に接続する冷却水配管に設置されるプラント通常運転時に閉の弁に弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で \square kg/h/個 とする。

5.3.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5.4 吹出量の計算 (T63-F006)

5.4.1 設計条件

名 称	T63-F006
種 類	平衡型
形 式	全量式
呼び径 (入口)	50 A
のど部の径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁座口の径 $D =$	40.0 mm
リフト $L =$	<input type="text"/> mm 以上
流体の種類	蒸気
吹出圧力 (MPa)	0.78
最高使用温度 (°C)	200 (SA)
個 数	1
必要吹出量 (kg/h/個)	<input type="text"/>

5.4.2 吹出量の計算式

蒸気用安全弁の吹出し量の計算は、設計・建設規格 SRV-3111(1)により、「J I S B 8 2 1 0-1994 蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「2. 蒸気に対する公称吹出し量」に従う。

$$Q_m = 5.246 \cdot C \cdot K_d \cdot A \cdot (p + 0.1) \cdot 0.9$$

ここで、

Q_m : 公称吹出し量 (kg/h)

A : 吹出し面積 (mm²)

p : 公称吹出し量決定圧力 (MPa) 0.858

(特に指定のない場合、設定圧力が 0.1 MPa を超えるときは、設定圧力の 1.03 倍とする。)

K_d : 公称吹出し係数 (弁メーカーにおける実験で求めた値による)

C : 蒸気の性質による係数 (附属書表 1 による。) 0.988

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4.3 逃がし弁の吹出量

5.4.2 項の式より Q_m は以下となる。

$$Q_m = 5.246 \times 0.988 \times \square \times \square \times (0.858 + 0.1) \times 0.9$$

$$= \square \text{ kg/h (1 kg/h 未満切捨て)}$$

5.4.4 必要吹出量の設定根拠

必要な吹出量は、重大事故等時に原子炉格納容器から原子炉格納容器フィルタベント系によるベントを実施した後に、フィルタ装置を原子炉格納容器及び大気から隔離した場合に、フィルタ装置内の放射性物質からの発熱を考慮しても、フィルタ装置の圧力を最高使用圧力（854kPa）以下に抑え得る容量として、質量流量で \square kg/h/個とする。

5.4.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

VI-4-2 生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

目 次

- VI-4-2-1 中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
- VI-4-2-2 緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

VI-4-2-1 中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽
及び熱除去についての計算書

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 38 条，第 54 条及び第 74 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に基づく，生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は，添付書類「VI-1-7-3 中央制御室の居住性に関する説明書」に含まれている。

VI-4-2-2 緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び
熱除去についての計算書

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第76条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に基づく、生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は、添付書類「VI-1-9-3-2 緊急時対策所の居住性に関する説明書」に含まれている。