

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の廃止措置計画用設計津波に
対する津波影響評価に関する説明書

【概要】

- 令和2年5月29日の補正申請(令02原機(再)020)においては、高放射性廃液貯蔵場(HAW)(以下、「HAW」という。)の建家外壁について強度評価を実施し、建家に接続するトレンチ等、浸水防止扉については、浸水の可能性のある経路の確認として、構造、耐震性等について示した。このなかで、これら設備の構造強度については、令和2年7月末までに確認する計画としており、今回これらの強度評価の結果を示す。
- 高放射性廃液貯蔵場(HAW)(以下、「HAW」という。)の浸水防止扉について、廃止措置計画用設計津波(以下、「設計津波」という。)に対し、余震、建家設計用漂流物の衝突による荷重の組み合わせを考慮した津波荷重に対し構造強度を維持していることを示す。
- HAW に接続するトレンチ(連絡管路, T15, T21)が浸水した場合を想定しても建家内が浸水しないよう、トレンチ内壁とスラブの構造強度を維持していることを強度評価により示す。

令和2年7月16日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 廃止措置計画変更認可申請書
変更前後比較表

(高放射性廃液貯蔵場(HAW)の廃止措置計画用設計津波に対する津波影響評価に関する説明書)

変更前	変更後	変更理由
<p>廃止措置計画補正（令和2年5月29日付け 令02原機（再）020）</p> <p>I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設的设计方針（省略）</p> <p>II 余震による地震応答解析（省略）</p> <p>III-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価</p> <p>1. 概要から5.3 ケース3（波力＋漂流物衝突荷重）の強度評価結果（省略）</p> <p>5.4 評価のまとめ（省略）</p> <p>一方、1階外壁南面（開口有）の応力は、ケース1, 2, 3いずれにおいても許容限界を超えるため、当該部位に対しコンクリートの増打ち補強を実施する。<u>具体的な補強方法については、令和2年7月に変更申請を行う。</u></p> <p>外壁補強に係る補足説明を「添付資料6-1-3-2-3 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について」に示す。</p>	<p>I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設的设计方針（変更なし）</p> <p>II 余震による地震応答解析（変更なし）</p> <p>III-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価</p> <p>1. 概要から5.3 ケース3（波力＋漂流物衝突荷重）の強度評価結果（省略）</p> <p>5.4 評価のまとめ（省略）</p> <p>一方、1階外壁南面（開口有）の応力は、ケース1, 2, 3いずれにおいても許容限界を超えるため、当該部位に対しコンクリートの増打ち補強を実施する。外壁補強に係る補足説明を「添付資料6-1-3-2-3 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について」に示す。工事の計画として具体的な補強方法を「別冊1-14」に示す。また、増打ち補強後の評価を「添付資料6-1-3-2-3 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について」に示す。</p>	<p>具体的な補強方法として申請書に反映</p>

Ⅲ-2 設計津波に対する浸水防止設備（浸水防止扉）の強度評価

1. 概要

本資料は、別添 6-1-3-2「Ⅰ 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設の設計方針」に基づき、津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、高放射性貯蔵場(HAW) 建家 1 階に設置している浸水防止扉（以下「建家 1 階浸水防止扉」という。）が、構造強度を保持することを示す。

設計津波が到達する建家 1 階に設置している浸水防止扉 HAW-1, 浸水防止扉 HAW-2 及び浸水防止扉 HAW-3 について評価を行う。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止扉の設置位置図を図 2.1-1 に示す。

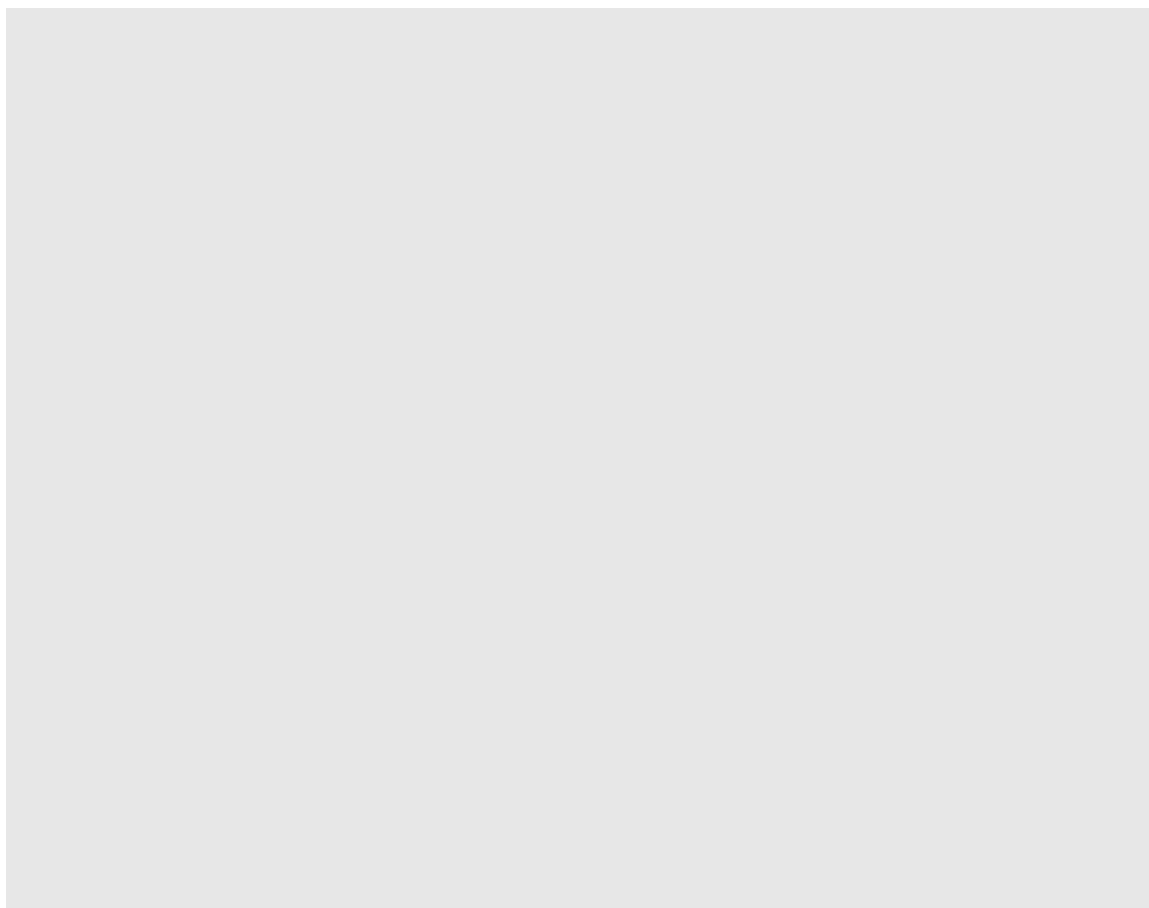


図 2.1-1 浸水防止扉の設置位置図（HAW 建家 1 階平面）

2.2 構造概要

浸水防止扉は、片開型及び横引型で一部固定の鋼製扉とし扉板の背面に芯材（主桁及び縦桁）を配した構造である。また、閉止状態においてゴムにより水密性を確保している。扉枠は、アンカーボルトにより建家壁面に固定する構造である。

2.3 評価方針

浸水防止扉の強度評価は、別添 6-1-3-2「Ⅰ 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設の設計方針」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、浸水防止扉の評価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「構造強度評価方法」に示す方法により、「計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、応力評価により確認する。

浸水防止扉の強度評価フローを図 2.3-1 に示す。

浸水防止扉の構造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（静水圧荷重及び波圧）の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価部位を設定する。

構造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、扉板及び芯材の発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、以下のとおりとする。

(1) 荷重

① 遡上津波荷重 (P_{hn})

遡上津波荷重については、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の地表面から波力算定用津波高さ h までの高さを考慮して算定する。算定にあたっては、静水圧及び動水圧の影響として水深係数 $\alpha=3.0$ を考慮する。

② 余震荷重 (K_S)

余震による荷重として、別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」の応答値による慣性力を考慮する。

③ 漂流物衝突荷重 (D_R)

津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある漂流物として、防砂林(0.55 t の流木)を想定する。流木は、津波漂流物防護柵への衝突等によりエネルギーを失った後に、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等に到達する想定としており、流木等が河川の橋脚に衝突する状況を想定した衝突力を評価する「道路橋示方書・同解説 Ⅰ 共通編, Ⅴ 耐震設計編」(以下「道路橋示方書」という。)の算定式に基づく荷重を考慮する。

④ 風荷重

風荷重については、建築基準法施行令(昭和 25 年政令第 338 号)の規定に基づき組合せを考慮しない。

⑤ 積雪荷重

積雪荷重については、浸水防止扉の設置状況から考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重の組合せは、施設の配置、構造計画に基づく形状及び評価部位を踏まえて、「(1) 荷重の種類」で示した荷重①～③を津波の形態に応じた津波荷重と適切に組み合わせる。

津波荷重については「(1) 荷重の種類で示す通り、遡上津波荷重と浸水津波荷重がある。高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家に対しては、以下の3ケースについて耐津波強度評価を実施し、ケース2の検定比が最も厳しいことを確認した。

ケース1：津波浸水荷重+余震荷重

ケース2：遡上津波荷重+余震荷重

ケース3：遡上津波荷重+漂流物衝突荷重

以上より、浸水防止扉の耐津波強度評価においては、荷重条件の最も厳しいケース2に漂流物衝突荷重を付加した保守的な条件で実施する。

構造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、扉板及び芯材の発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

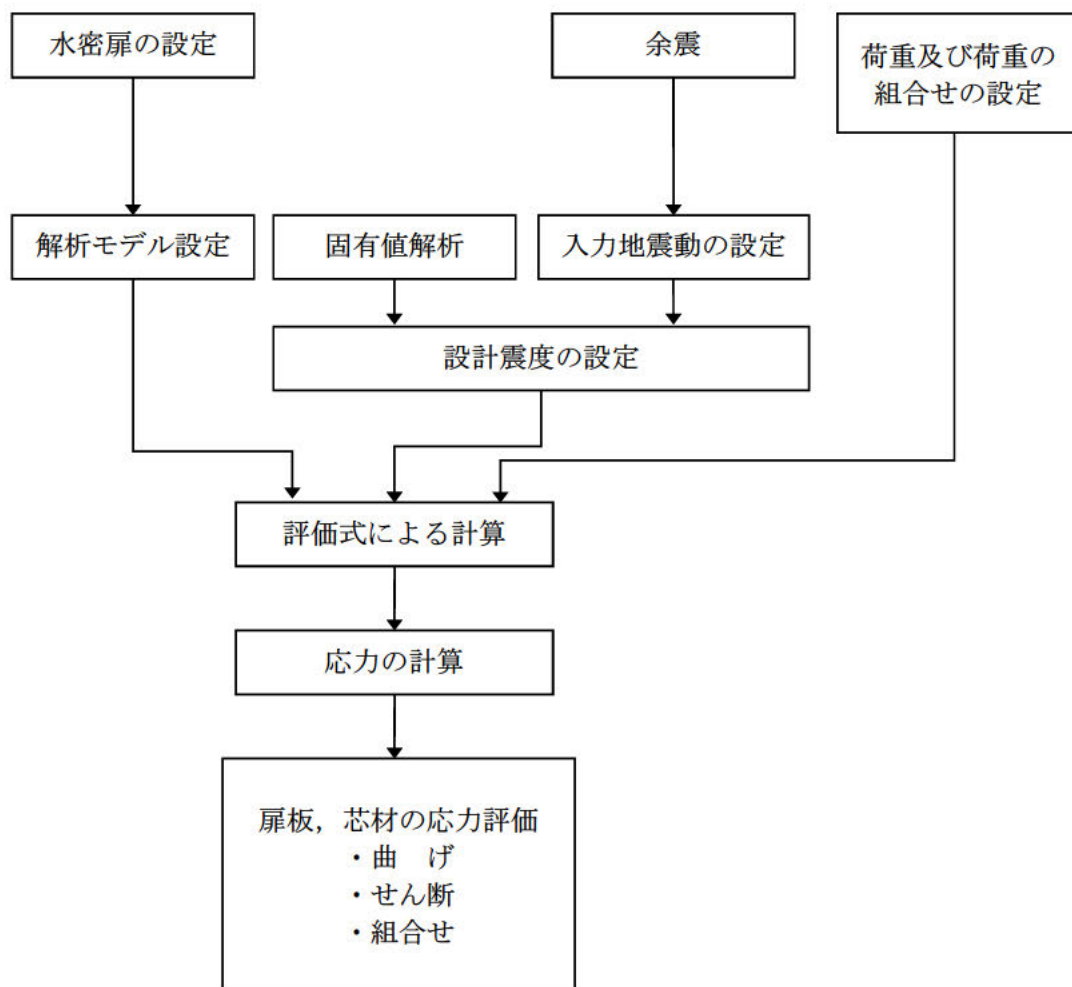


図 2.3-1 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- (4) 日本工業規格 JIS G 4304（2012）熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯

2.5 記号の説明

建家1階に設置する浸水防止扉の強度評価に用いる記号を表2.5-1に示す。

表 2.5-1 強度評価に用いる記号 (1/4)

記号	定義	単位
A_{wn}	主桁のせん断断面積 HAW-1, 3 浸水防止扉	mm^3
A_{w1n}	主桁のせん断断面積 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	mm^3
A_{w2n}	主桁のせん断断面積 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	mm^3
A'_{wn}	縦桁のせん断断面積 HAW-1, 3 浸水防止扉	mm^3
A'_{w1n}	縦桁のせん断断面積 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	mm^3
A'_{w2n}	縦桁のせん断断面積 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	mm^3
a_n	主桁ピッチ (n=1~3) HAW-1, 3 浸水防止扉	m
a_{1n}	主桁ピッチ (n=1) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	m
a_{2n}	主桁ピッチ (n=1~3) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	m
B	受圧幅	m
b	扉全体の受圧幅	m
b_m	縦桁ピッチ (m=1, 2)	m
D_R	漂流物衝突荷重	kN
D_R'	単位面積あたりの漂流物衝突荷重 HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/mm^2
D_{R1}'	単位面積あたりの漂流物衝突荷重 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/mm^2
D_{R2}'	単位面積あたりの漂流物衝突荷重 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/mm^2
g	重力加速度	m/s^2
G	扉体自重 HAW-1, 3 浸水防止扉	t
G_1	扉体自重 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	t
G_2	扉体自重 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	t
H_{Xn}	当該部分の浸水深 (n=1~4) HAW-1, 3 浸水防止扉	m
H_{X1n}	当該部分の浸水深 (n=1, 2) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	m
H_{X2n}	当該部分の浸水深 (n=1~4) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	m
H_g	受圧高 HAW-1, 3 浸水防止扉	m
H_{g1}	受圧高 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	m
H_{g2}	受圧高 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	m

表 2.5-1 強度評価に用いる記号 (2/4)

記号	定義	単位
K_H	水平震度	—
K_S	単位面積あたりの余震による地震荷重 HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/m^2
K_{S1}	単位面積あたりの余震による地震荷重 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/m^2
K_{S2}	単位面積あたりの余震による地震荷重 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/m^2
L	主桁の長さ	m
M_n	桁に生じる曲げモーメント ($n=1\sim 4$) HAW-1, 3 浸水防止扉	$\text{kN}\cdot\text{m}$
M_{1n}	桁に生じる曲げモーメント ($n=1, 2$) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	$\text{kN}\cdot\text{m}$
M_{2n}	桁に生じる曲げモーメント ($n=1\sim 4$) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	$\text{kN}\cdot\text{m}$
Q_n	桁に生じるせん断力 ($n=1\sim 4$) HAW-1, 3 浸水防止扉	$\text{kN}\cdot\text{m}$
Q_{1n}	桁に生じるせん断力 ($n=1, 2$) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	$\text{kN}\cdot\text{m}$
Q_{2n}	桁に生じるせん断力 ($n=1\sim 4$) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	$\text{kN}\cdot\text{m}$
P_{an}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの直線形分布荷重 HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/m
P_{a1n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの直線形分布荷重 ($n=1, 2$) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/m
P_{a2n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの直線形分布荷重 ($n=1, 2$) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/m
P_{bn}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの等分布荷重 ($n=1, 2$) HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/m
P_{b1n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの等分布荷重 ($n=1, 2$) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/m
P_{b2n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの等分布荷重 ($n=1, 2$) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/m
P_n	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積あたりの荷重 ($n=1\sim 4$) HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/m^2
P_{1n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積あたりの荷重 ($n=1, 2$) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/m^2
P_{2n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積あたりの荷重 ($n=1\sim 4$) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/m^2
P'_n	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの荷重 ($n=1\sim 4$) HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/m

表 2.5-1 強度評価に用いる記号 (3/4)

記号	定義	単位
P'_{1n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの荷重 (n=1, 2) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/m
P'_{2n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さあたりの荷重 (n=1~4) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/m
P_{hn}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積あたりの静水圧 荷重(n=1~4) HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/m ²
P_{h1n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積あたりの静水圧 荷重(n=1, 2) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/m ²
P_{h2n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積あたりの静水圧 荷重(n=1~4) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/m ²
f	1次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	断面2次モーメント	m ⁴
m	質量分布	kg/m
T	固有周期	sec
λ	定数	—
Z_{wn}	主桁の断面係数 HAW-1, 3 浸水防止扉	mm ³
Z_{w1n}	主桁の断面係数 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	mm ³
Z_{w2n}	主桁の断面係数 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	mm ³
Z'_{wn}	縦桁の断面係数 HAW-1, 3 浸水防止扉	mm ³
Z'_{w1n}	縦桁の断面係数 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	mm ³
Z'_{w2n}	縦桁の断面係数 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	mm ³

表 2.5-1 強度評価に用いる記号 (4/4)

記号	定義	単位
t	扉体の板厚	mm
W_n	該当部位の主桁が受ける単位長さあたりの荷重 (n=1~4) HAW-1, 3 浸水防止扉	kN/m
W_{1n}	該当部位の主桁が受ける単位長さあたりの荷重 (n=1, 2) HAW-2 浸水防止扉 (上段)	kN/m
W_{2n}	該当部位の主桁が受ける単位長さあたりの荷重 (n=1~4) HAW-2 浸水防止扉 (下段)	kN/m
Z_{Xn}	桁の断面係数 HAW-1, 3 浸水防止扉	mm ³
Z_{X1n}	桁の断面係数 HAW-2 浸水防止扉 (上段)	mm ³
Z_{X2n}	桁の断面係数 HAW-2 浸水防止扉 (下段)	mm ³
β, β_n	扉板に発生する応力の応力係数	—
C_n	扉板の短辺側の長さ	mm
γ	モーメント係数	—
ρ	水の密度	t/m ³
σ_n	桁に生じる曲げ応力 (n=1~4) (HAW-1, 3 浸水防止扉)	N/mm ²
σ_{1i}	桁に生じる曲げ応力 (主桁:n, 縦桁:m) (HAW-2 浸水防止扉 上段)	N/mm ²
σ_{2i}	桁に生じる曲げ応力 (主桁:n, 縦桁:m) (HAW-2 浸水防止扉 下段)	N/mm ²
$\sigma_{pa\ n\ m}$	津波と余震荷重により扉板に生じる応力 (区画 n, m)	N/mm ²
σ_{pa}	津波と余震荷重により扉板に生じる応力	N/mm ²
σ_{pb}	漂流物衝突荷重により扉板に生じる応力	N/mm ²
σ_p	扉板に生じる応力	N/mm ²
σ_c	組合せ応力 (HAW-1, 3 浸水防止扉)	N/mm ²
σ_{c1}	組合せ応力 (HAW-2 浸水防止扉 上段)	N/mm ²
σ_{c2}	組合せ応力 (HAW-2 浸水防止扉 下段)	N/mm ²
τ_n	桁に生じるせん断応力 (n=1~4) (HAW-1, 3 浸水防止扉)	N/mm ²
τ_{1i}	桁に生じるせん断応力 (主桁:n, 縦桁:m) (HAW-2 浸水防止扉 上段)	N/mm ²
τ_{2i}	桁に生じるせん断応力 (主桁:n, 縦桁:m) (HAW-2 浸水防止扉 下段)	N/mm ²

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

浸水防止扉の構造に応じて解析モデルを設定し、固有周期を計算する。

3.1.1 解析モデルの設定

浸水防止扉は、扉板及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに、ヒンジ及び締付装置により扉を扉枠に支持させる構造であることから、両端支持はりに単純化したモデルとし、最大スパン部のはり（芯材）に、当該はりが受ける扉本体（扉板、芯材）の自重及び付属品（締結装置等）の自重を加えるものとする。はり長さは扉幅とする。浸水防止扉の固有周期解析モデル図を図 3.1-1 に示す。

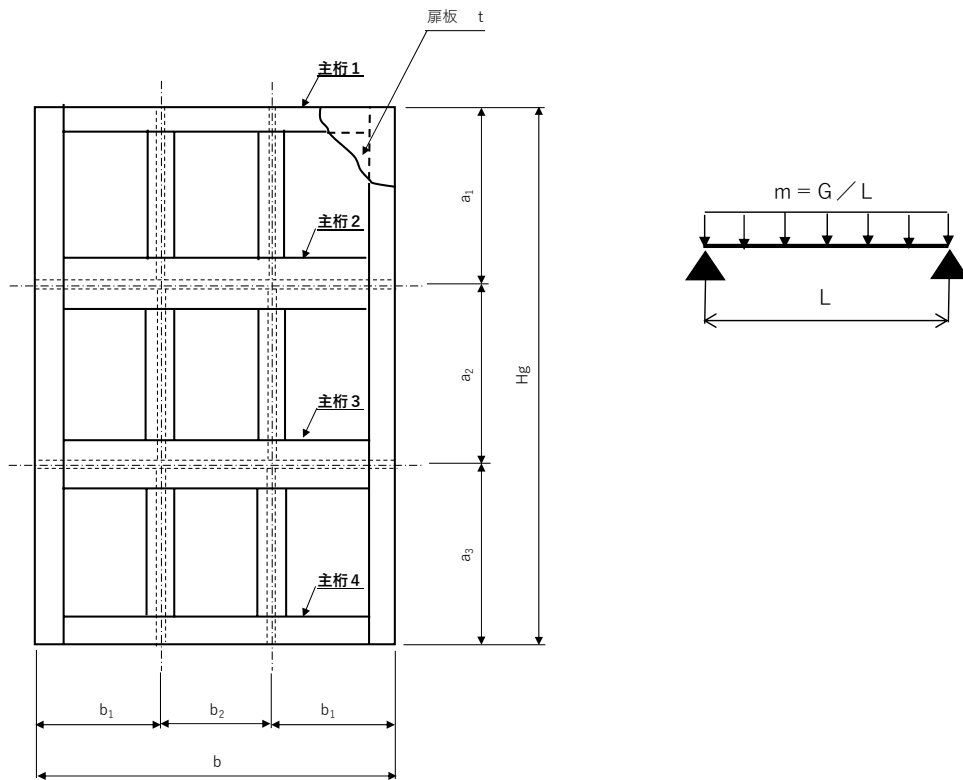


図 3.1-1 浸水防止扉の固有周期解析モデル

3.1.2 固有周期の計算方法

1次固有振動数 f を「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき以下の式より計算する。

(1) 両端支持はりモデルの周波数

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L_2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

(2) 固有周期

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

3.2 固有周期の計算条件

浸水防止扉の固有周期の計算条件を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 浸水防止扉の固有周期の計算条件及び結果（両端支持はりモデル）

浸水防止扉名称	はり長さ L (m)	縦弾性係数※ E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (m ⁴)	質量分布 m (kg/m)
HAW-1 浸水防止扉	1.212	1.93×10 ¹¹	0.0004963	495.05
HAW-2 浸水防止扉 上段固定扉	3.250	1.93×10 ¹¹	0.0004375	400.00
HAW-2 浸水防止扉 下段横引扉	3.250	1.93×10 ¹¹	0.0010982	1046.15
HAW-3 浸水防止扉	1.232	1.93×10 ¹¹	0.00004963	487.01

※ JIS B8265

3.3 固有周期の計算結果

浸水防止扉の固有周期の計算結果を表 3.3-1 に示す。各浸水防止扉の固有周期が 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 3.3-1 浸水防止扉の固有周期の計算条件及び結果

浸水防止扉名称	固有周期 (s)	固有振動数 f (Hz)
HAW-1 浸水防止扉	0.007	148
HAW-2 浸水防止扉 上段固定扉	0.014	68
HAW-2 浸水防止扉 下段横引扉	0.014	66
HAW-3 浸水防止扉	0.007	145

4. HAW-1 浸水防止扉

4.1 評価部位

基礎・支持構造として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、締付装置により扉が扉枠に固定される構造とする。また、扉枠を建家の開口部周辺に、アンカーボルトにより固定する構造とする。

主体構造として片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に、差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。また、扉と扉の接続はヒンジを介する構造とする。

HAW-1 浸水防止扉に生じる外部からの津波、余震及び漂流物に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材から扉枠を介し、躯体に伝達されることから、評価部位は、扉板及び芯材とする。

HAW-1 浸水防止扉の構造図を図 4.1-1 に示す。

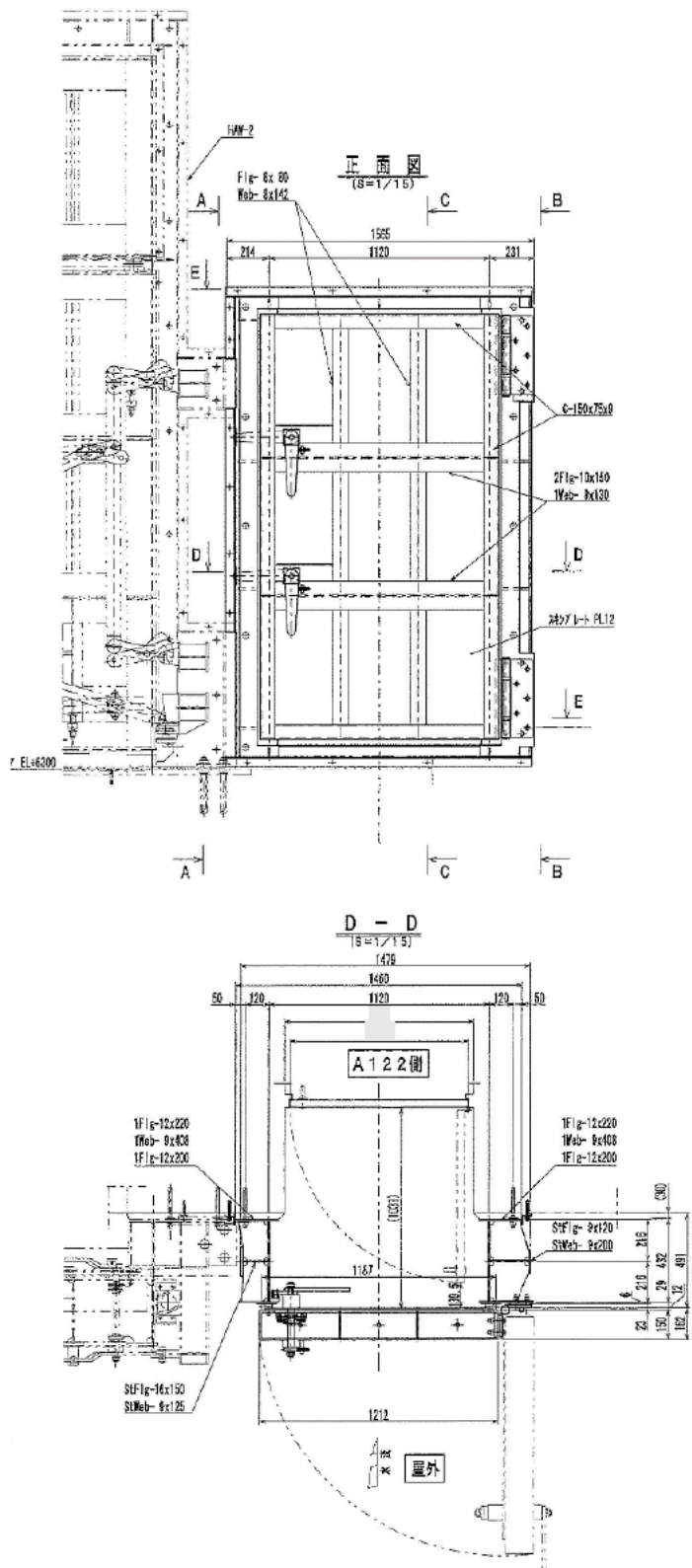


図 4.1-1 HAW-1 浸水防止扉の構造図

4.2 構造強度評価方法

HAW-1 浸水防止扉の強度評価は、「4.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.4 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、「4.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.3 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、以下のとおりとする。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 津波による遡上津波荷重 (P_{hn})

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$P_{hn} = \rho \cdot g \cdot H_{Xn}$$

b. 漂流物衝突荷重 (D_R')

津波に伴う荷重として、漂流物衝突荷重を考慮する。

$$D_R' = \frac{D_R}{b \cdot H_g}$$

c. 余震荷重 (K_S)

余震荷重は、弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力（動水圧を含まない。）とする。

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。地震荷重 K_S は、浸水防止扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = \frac{K_H \cdot G \cdot g}{b \cdot H_g}$$

d. 縦桁に作用する荷重 (P'_n)

縦桁に作用する荷重は、上記 a~c の荷重の合計に、縦桁が受け持つ荷重の受圧幅 B を乗じた次式により算出する。

$$P'_n = B \cdot P_n$$

津波の浸水高さは、T.P. +12.1 m (浸水深 6.1 m) に水深係数 $\alpha = 3.0$ を考慮して 18.3m として評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び水の密度を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 水圧作用高さ及び水の密度

扉名称	水圧作用高さ EL. (m)	水の密度 (t/m^3)
HAW-1 浸水防止扉	18.3	1.03

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、津波時の最大荷重を用いる。強度評価に用いる荷重の組合せを表 4.3-2 に示す。

表 4.3-2 強度評価に用いる荷重の組合せ

扉名称	事象	荷重の組合せ*
HAW-1 浸水防止扉	津波時	$P_n = P_{nn} + K_S + D_R'$

注記* : P_{nn} は津波に伴う荷重、 K_S は余震荷重、 D_R' は漂流物衝突荷重を示す。

4.4 許容限界

HAW-1 浸水防止扉の許容限界は、「4.1 評価対象部位」にて設定した評価部位の機機能損傷モードを考慮して設定する。

(1) 使用材料

HAW-1 浸水防止扉を構成する扉板、芯材の使用材料を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 扉板、芯材の使用材料

部 位		材 質	仕 様[mm]
扉 板		SUS304	2174 x 1212 x t12
芯 材	主 桁（上段及び下段）	SUS304	C150x75x9x9
	主 桁（中間）	SUS304	H150x150x9x10
	縦桁	SUS304	T150x80x8x8

(2) 許容限界

- a. 扉板, 芯材の許容限界は, 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—(社)日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえて表 4.4-2 の値とする。

表 4.4-2 扉板, 芯材の許容限界

材 料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SUS304*1	205	118

注 *1 : 許容応力度を決定する場合の基準値 F の値は, 「JIS G 4304:2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

4.5 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり HAW-1 浸水防止扉の固有周期が 0.05 秒以下であることを確認したため、HAW-1 浸水防止扉の強度計算で用いる設計震度は、別添 6-1-3-2 「余震による地震応答解析」で得られた水平震度：0.5 を 1.2 倍した 0.6 を用いる。

4.6 計算方法

HAW-1 浸水防止扉の強度評価における計算方法を以下に示す。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる応力は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、等変分布荷重及び等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として、「土木学会 構造力学公式集」に基づき、次式により算定する。

$$\sigma_{pa\ nm} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_n \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{n+1} - P_n) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_n, b_m)$$

$$\sigma_{pa} = \text{MAX}(\sigma_{\tau_{pa\ nm}})$$

$$(n = 1 \sim 3, m = 1, 2)$$

$$\sigma_{pb} = \frac{\beta \cdot 1000 \cdot D_R}{t^2} \quad \beta = 6\gamma$$

$$\sigma_p = \sigma_{pa} + \sigma_{pb}$$

扉板に生じる応力の例を図 4.6-1 に示す。

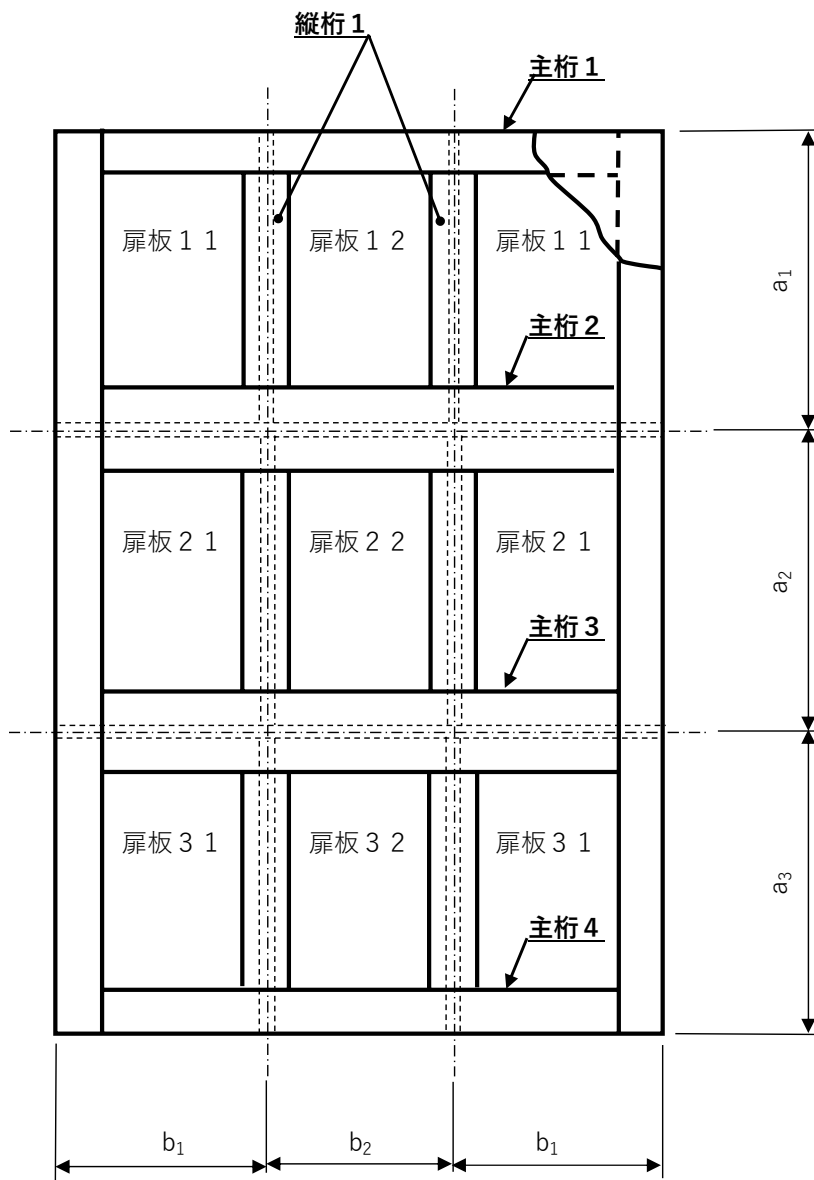


図 4.6-1 扉板に生じる応力評価部位

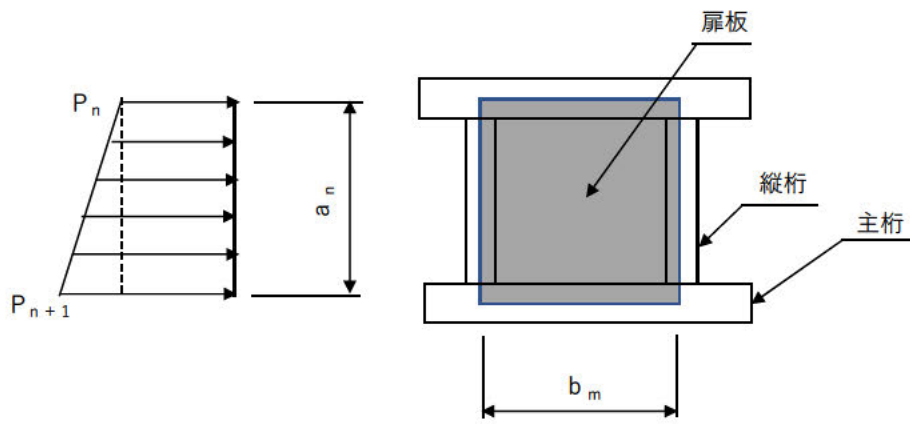


図 4.6-1 扉板に生じる応力の例

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平）に応じて「日本機械学会 機械工学便覧 基礎編 A 4 材料力学」の「はり」の公式に基づき、それぞれ算定する。

水平方向に取付く主桁については、扉に生じる荷重を算定し、次式により算定する。

鉛直方向に取付く縦桁については、各桁（中間縦桁及び端縦桁）に分担することとし、等分布荷重を受ける両端支持の単純梁として、次式により算定する。芯材に生じる荷重の例を図 4.6-2 に示す。

(a) 主桁

$$w_1 = \frac{(2P_1 + P_2) \cdot a_1}{6}$$

$$w_2 = \frac{(2P_2 + P_1) \cdot a_1}{6} + \frac{(2P_2 + P_3) \cdot a_2}{6}$$

$$w_3 = \frac{(2P_3 + P_2) \cdot a_2}{6} + \frac{(2P_3 + P_4) \cdot a_3}{6}$$

$$w_4 = \frac{(2P_4 + P_3) \cdot a_3}{6}$$

$$M_n = \frac{W_n \cdot L^2}{8} \quad Q_n = \frac{W_n \cdot L}{2}$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 M_n}{Z_{xn}} \quad \tau_n = \frac{1000 Q_n}{A_{wn}}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 4)$$

(b) 縦桁

$$M_n = a_n^2 \cdot \left(\frac{P_{an}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{bn}}{8} \right)$$

$$Q_n = a_n \cdot \left(\frac{P_{an}}{3} + \frac{P_{bn}}{2} \right)$$

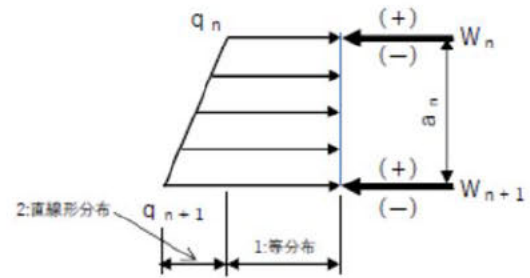
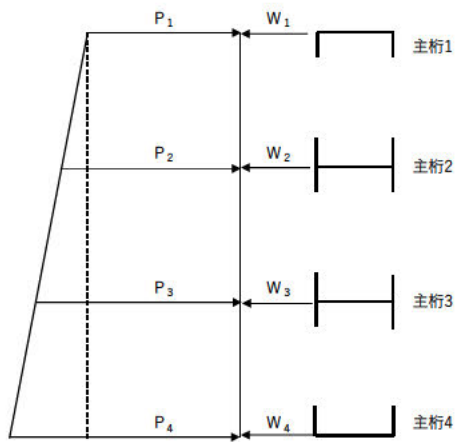
$$P_{an} = P'_{n+1} - P'_n, \quad P_{bn} = P'_n$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_n}{Z'_{x1}}$$

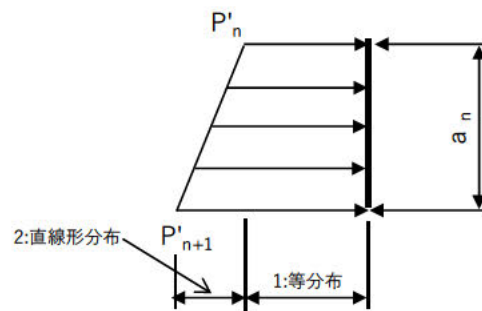
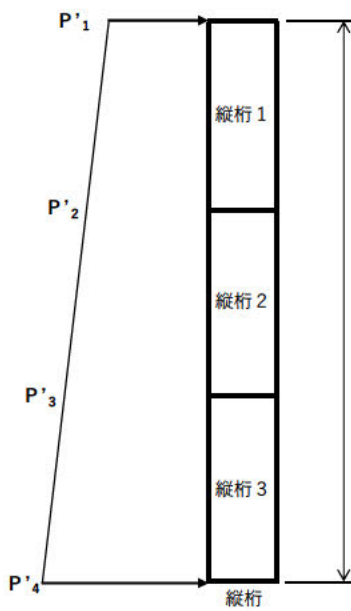
$$\tau_n = \frac{1000Q_n}{A'_{w1}}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 3)$$



主桁に生じる荷重の例



縦桁に生じる荷重の例

(1 : 等分布成分が P_{bn} , 2 : 直線形分布成分が P_{an})

図 4.6-2 芯材に生じる荷重の例

4.7 計算条件

「4.6 計算方法」に用いる評価条件を表 4.7-1 に示す。

表 4.7-1 HAW-1 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(1/3)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
扉板	P_{h1}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(最上段部)	158.4
	P_{h2}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(中段上部)	165.7
	P_{h3}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(中段下部)	172.9
	P_{h4}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(最下段部)	180.3
	K_S	kN/m^2	単位面積当たりの 余震荷重	1.34
	D_R	kN/m^2	単位面積当たりの 漂流物衝突荷重	1.063
	P_1	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(最上段部)	160.8
	P_2	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(中段上部)	168.1
	P_3	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(中段下部)	175.3
	P_4	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(最下段部)	182.7

表 4.7-1 HAW-1 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(2/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	Hg	m	受圧高	2.174
	P ₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最上段部)	160.8
	P ₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段上部)	168.1
	P ₃	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段下部)	175.3
	P ₄	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最下段部)	182.7
	a ₁	m	主桁ピッチ	0.730
	a ₂	m	主桁ピッチ	0.710
	a ₃	m	主桁ピッチ	0.734
	Z _{x1}	mm ³	断面係数 (最上段部)	112600
	Z _{x2}	mm ³	断面係数 (中段上部)	218300
	Z _{x3}	mm ³	断面係数 (中段下部)	218300
	Z _{x4}	mm ³	断面係数 (最下段部)	112600
	A _{w1}	mm ³	せん断断面積 (最上段部)	1188
	A _{w2}	mm ³	せん断断面積 (中段上部)	1170
	A _{w3}	mm ³	せん断断面積 (中段下部)	1170
	A _{w4}	mm ³	せん断断面積 (最下段部)	1188

表 4.7-1 HAW-1 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(3/3)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁)	Hg	m	受圧高	2.174
	B	m	受圧幅	1.212
	P' ₁	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最上段部)	64.56
	P' ₂	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段上部)	67.49
	P' ₃	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段下部)	70.38
	P' ₄	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最下段部)	73.35
	b ₁	m	縦桁ピッチ	0.409
	b ₂	m	縦桁ピッチ	0.394
	Z' _{x1}	mm ³	断面係数	43010
	A' _{w1}	mm ³	せん断断面積	1136

4.8 評価結果

HAW-1 浸水防止扉の強度評価結果を表 4.8-1 に示す。HAW-1 浸水防止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以下であることから、HAW-1 浸水防止扉が構造健全性を有することを確認した。

表 4.8-1 強度評価結果

名 称	評価部位	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	発生応力/ 許容応力
HAW-1 浸水防止扉	扉 板	124	205	0.61
	主桁	109	205	0.54
	縦桁	120	205	0.59

5. HAW-2 浸水防止扉

5.1 評価部位

基礎・支持構造として扉開放時においては、ガイドにより扉が建家に支持され、扉閉止時においては、締付装置により扉が扉枠に固定される構造とする。また、扉枠を建家の開口部周辺に、アンカーボルトにより固定する構造とする。

主体構造として横引型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に、差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。

HAW-2 浸水防止扉に生じる外部からの津波、余震及び漂流物に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材から扉枠を介し、躯体に伝達されることから、評価部位は、扉板及び芯材とする。

HAW-2 浸水防止扉の構造図を図 5.1-1 に示す。

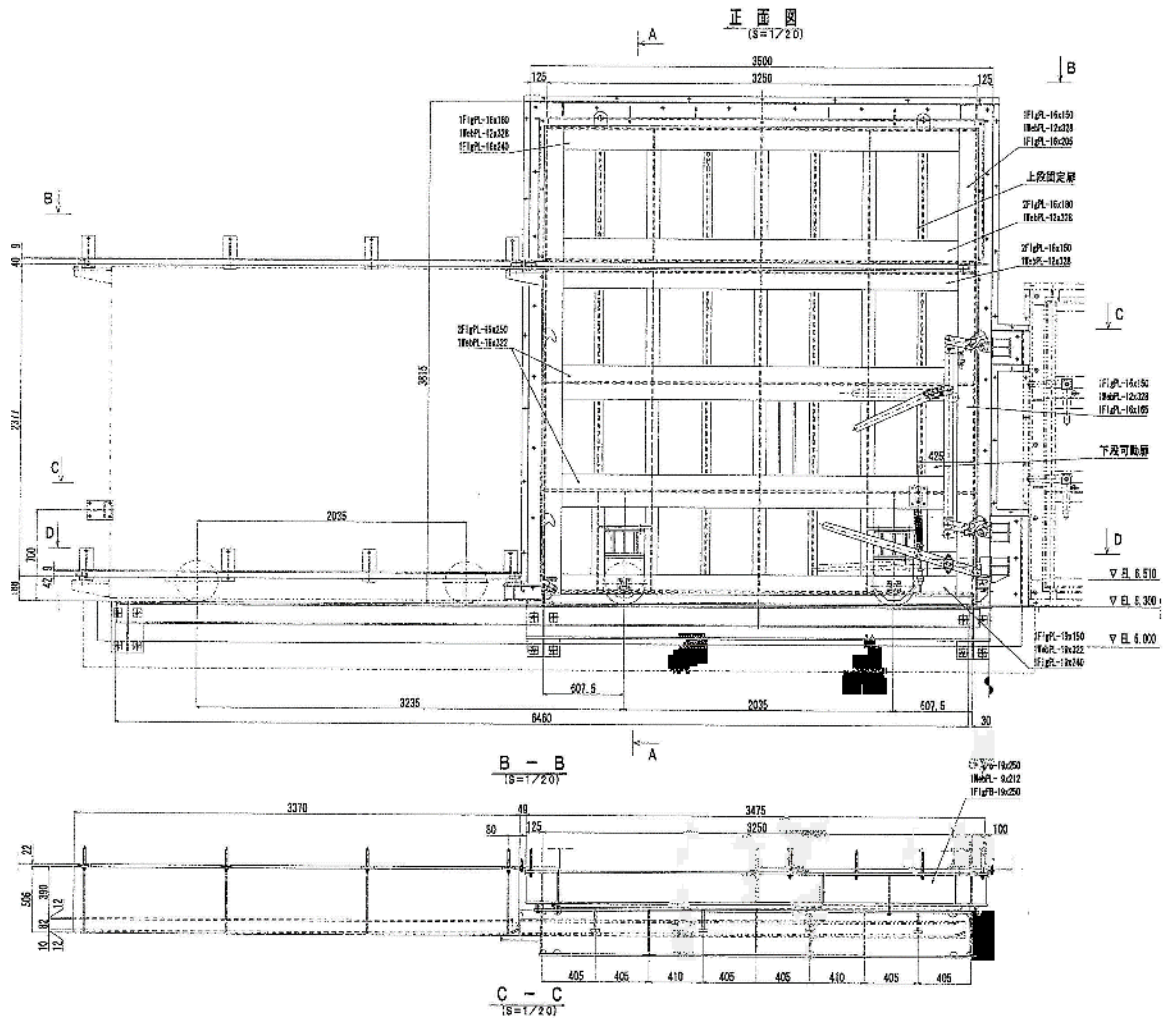


図 5.1-1 HAW-2 浸水防止扉の構造

5.2 構造強度評価方法

HAW-2 浸水防止扉の強度評価は、「5.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「5.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.4 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、「5.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.3 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、以下のとおりとする。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 津波による遡上津波荷重 (P_{hn})

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$P_{hn} = \rho \cdot g \cdot H_{Xn}$$

b. 漂流物衝突荷重 (D_R')

津波に伴う荷重として、漂流物衝突荷重を考慮する。

$$D_R' = \frac{D_R}{b \cdot H_g}$$

c. 余震荷重 (K_S)

余震荷重は弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力とする。

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。地震荷重 K_S は、浸水防止扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = \frac{K_H \cdot G \cdot g}{b \cdot H_g}$$

d. 縦桁に作用する荷重 (P'_n)

縦桁に作用する荷重は、上記 a~c の荷重の合計に、縦桁が受け持つ荷重の受圧幅 B を乗じた次式により算出する。

$$P'_n = B \cdot P_n$$

津波の浸水高さは、T.P.+12.1 m (浸水深 6.1 m) に水深係数 $\alpha=3.0$ を考慮して 18.3m として評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び水の密度を表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 水圧作用高さ及び水の密度

扉名称	水圧作用高さ (EL. m)	水の密度 (t/m ³)
HAW-2 浸水防止扉	18.3	1.03

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、津波時の最大荷重を用いる。強度評価に用いる荷重の組合せを表 5.3-2 に示す。

表 5.3-2 強度評価に用いる荷重の組合せ

扉名称	事象	荷重の組合せ*
HAW-2 浸水防止扉	津波時	$P_n = P_{hn} + K_S + D_R'$

注記* : P_{hn} は津波に伴う荷重, K_S は余震荷重, D_R' は漂流物衝突荷重を示す。

5.4 許容限界

HAW-2 浸水防止扉の許容限界は、「5.1 評価対象部位」にて設定した評価部位の機能損傷モードを考慮し設定する。

(1) 使用材料

HAW-2 浸水防止扉を構成する扉板、芯材の使用材料を表 5.4-1 に示す。

表 5.4-1 扉板、芯材の使用材料

部 位		材 質	仕 様[mm]
扉 板 (上段固定扉)		SUS304	3500 x 1090 x t12
扉 板 (下段横引扉)		SUS304	3500 x 2600 x t12
芯 材 (上段固定扉)	主 桁 (最上段)	SUS304	H360 x 180(240) x 12 x 16
	主 桁 (最下段)	SUS304	C360 x 180 x 12 x 16
	縦 桁 1*	SUS304	T360 x 100 x 12 x 12
	縦 桁 2*	SUS304	T170 x 65 x 16 x 16
芯 材 (下段横引扉)	主 桁 (最上段)	SUS304	C360 x 180 x 12 x 16
	主 桁 (中間)	SUS304	H360 x 250 x 19 x 19
	主 桁 (最下段)	SUS304	H360 x 150(240) x 12 x 19
	縦 桁 1*	SUS304	T360 x 100 x 9 x 12
	縦 桁 2*	SUS304	T170 x 65 x 12 x 16

※板の組合せ構造

(2) 許容限界

- a. 扉板, 芯材の許容限界は, 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—(社)日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえて表 5.4-2 の値とする。

表 5.4-2 扉板, 芯材の許容限界

材 料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SUS304*1	205	118

注 *1 : 許容応力度を決定する場合の基準値 F の値は, 「JIS G 4304:2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

5.5 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり HAW-2 浸水防止扉の固有周期が 0.05 秒以下であることを確認したため、HAW-2 浸水防止扉の強度計算で用いる設計震度は、別添 6-1-3-2 「余震による地震応答解析」で得られた水平震度：0.5 を 1.2 倍した 0.6 を用いる。

5.6 計算方法

HAW-2 浸水防止扉の強度評価における計算方法を以下に示す。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる応力は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、等変分布荷重及び等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として、「土木学会 構造力学公式集」に基づき次式により算定する。

・ 上段固定扉

$$\sigma_{pa\ 11m} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_{11} \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{12} - P_{11}) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_{11}, b_{1m})$$

$$\sigma_{pa} = \text{MAX}(\sigma_{pa\ 11m}) \quad (m = 1, 2)$$

$$\sigma_{pb} = \frac{\beta \cdot 1000 \cdot D_R}{t^2} \quad \beta = 6\gamma$$

$$\sigma_p = \sigma_{pa} + \sigma_{pb}$$

・ 下段横引扉

$$\sigma_{pa\ 2nm} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_{2n} \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{2,n+1} - P_{2n}) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_{2n}, b_m)$$

$$\sigma_{pa} = \text{MAX}(\sigma_{pa\ 2nm}) \quad (n = 1 \sim 3, m = 1, 2)$$

$$\sigma_{pb} = \frac{\beta \cdot 1000 \cdot D_R}{t^2} \quad \beta = 6\gamma$$

$$\sigma_p = \sigma_{pa} + \sigma_{pb}$$

扉板に生じる応力の例を図 5.6-1 に示す。

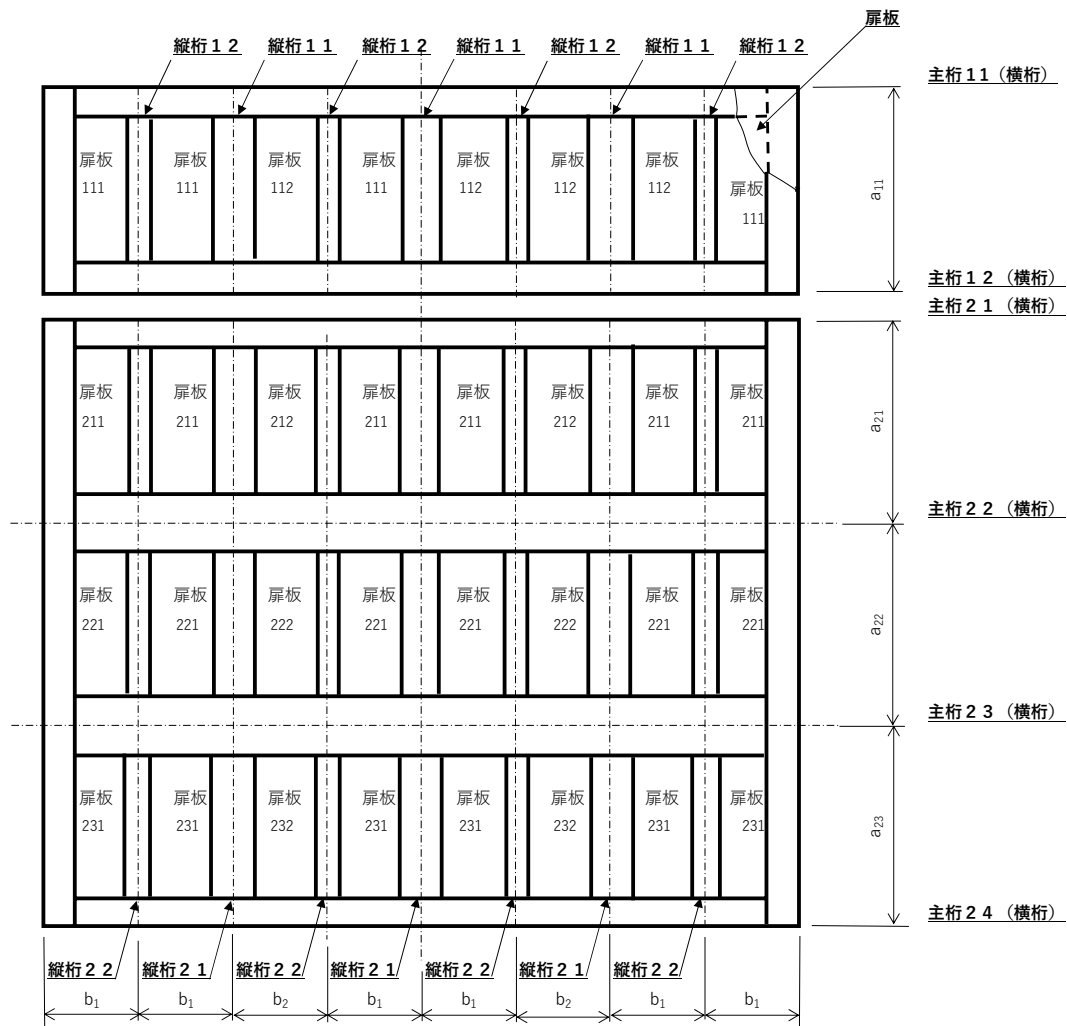


図 5.6-1 扉板に生じる応力評価部位

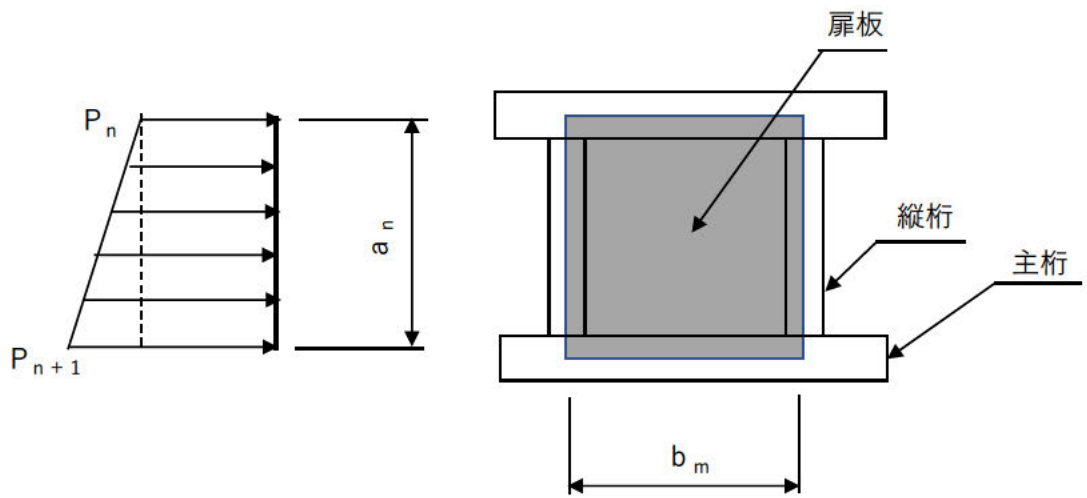


図 5.6-1 扉板に生じる応力の例

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平）に応じて「日本機械学会 機械工学便覧 基礎編 A 4 材料力学」の「はり」の公式に基づき、それぞれ算定する。

水平方向に取付く主桁については、扉に生じる荷重を算定し、次式により算定する。

鉛直方向に取付く縦桁については、各桁（中間縦桁及び端縦桁）に分担することとし、等分布荷重を受ける両端支持の単純梁として、次式により算定する。芯材に生じる荷重の例を図 5.6-2 に示す。

(a) 主桁

・ 上段固定扉

$$w_{11} = \frac{(2P_{11} + P_{12}) \cdot a_{11}}{6}$$

$$w_{12} = \frac{(2P_{12} + P_{11}) \cdot a_{11}}{6}$$

$$M_{1n} = \frac{w_{1n} \cdot L^2}{8} \quad Q_{1n} = \frac{w_{1n} \cdot L}{2}$$

$$\sigma_{1n} = \frac{1 \times 10^6 M_{1n}}{Z_{x1n}} \quad \tau_{1n} = \frac{1000 Q_{1n}}{A_{w1n}}$$

$$\sigma_{c1n} = \sqrt{\sigma_{1n}^2 + 3\tau_{1n}^2}$$

$$\sigma_{c1} = \text{MAX}(\sigma_{c1n}) \quad (n = 1, 2)$$

・ 下段横引扉

$$w_{21} = \frac{(2P_{21} + P_{22}) \cdot a_{21}}{6}$$

$$w_{22} = \frac{(2P_{22} + P_{21}) \cdot a_{21}}{6} + \frac{(2P_{22} + P_{23}) \cdot a_{22}}{6}$$

$$w_{23} = \frac{(2P_{23} + P_{22}) \cdot a_{22}}{6} + \frac{(2P_{23} + P_{24}) \cdot a_{23}}{6}$$

$$w_{24} = \frac{(2P_{24} + P_{23}) \cdot a_{23}}{6}$$

$$M_{2n} = \frac{w_{2n} \cdot L^2}{8} \quad Q_{2n} = \frac{w_{2n} \cdot L}{2}$$

$$\sigma_{2n} = \frac{1 \times 10^6 M_{2n}}{Z_{x2n}} \quad \tau_{2n} = \frac{1000 Q_{2n}}{A_{w2n}}$$

$$Q_{c2n} = \sqrt{\sigma_{2n}^2 + 3\tau_{2n}^2}$$

$$\sigma_{c2} = \text{MAX}(\sigma_{c2n}) \quad (n = 1 \sim 4)$$

(b) 縦桁

• 上段固定扉

$$M_{11} = a_{11}^2 \cdot \left(\frac{P_{a11}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{b11}}{8} \right)$$

$$Q_{11} = a_{11} \cdot \left(\frac{P_{a11}}{3} + \frac{P_{b11}}{2} \right)$$

$$P_{a11} = P'_{12} - P'_{11} \quad P_{b11} = P'_{11}$$

$$\sigma_{1m} = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_{11}}{Z'_{x1m}}$$

$$\tau_{1m} = \frac{1000 Q_{11}}{A'_{w1m}}$$

$$\sigma_{c1m} = \sqrt{\sigma_{1m}^2 + 3\tau_{1m}^2}$$

$$\sigma_{c1} = \text{MAX}(\sigma_{c1m}) \quad (m = 1, 2)$$

• 下段横引扉

$$M_{2n} = a_{2n}^2 \cdot \left(\frac{P_{a2n}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{b2n}}{8} \right)$$

$$Q_{2n} = a_{2n} \cdot \left(\frac{P_{a2n}}{3} + \frac{P_{b2n}}{2} \right)$$

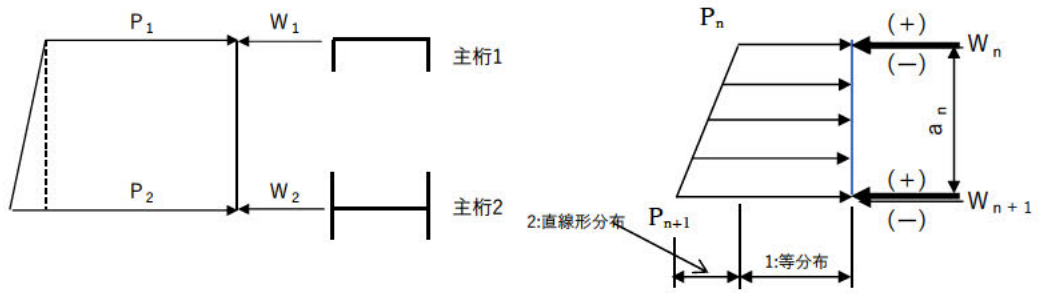
$$P_{a2n} = P'_{2n+1} - P'_{2n}, \quad P_{b2n} = P'_{2n} \quad (n = 1 \sim 3)$$

$$\sigma_{2n m} = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_{2n}}{Z'_{xm}}$$

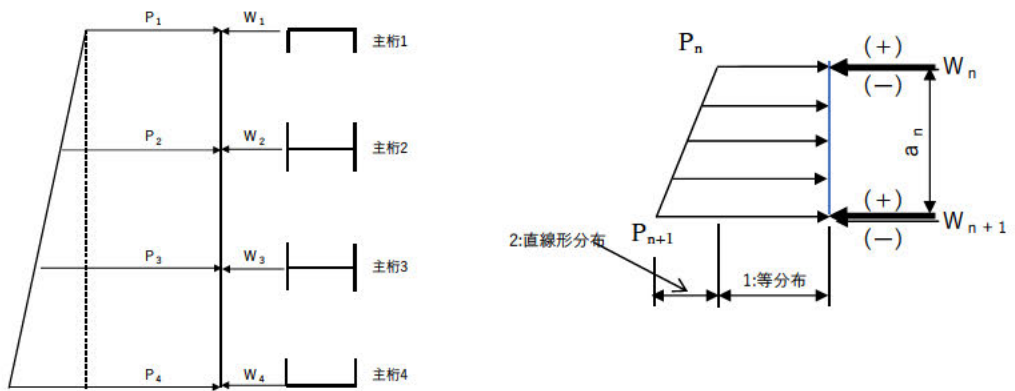
$$\tau_{2n m} = \frac{1000 \cdot Q_{2n}}{A'_{wm}}$$

$$\sigma_{c2n m} = \sqrt{\sigma_{2n m}^2 + 3\tau_{2n m}^2}$$

$$\sigma_{c2} = \text{MAX}(\sigma_{c2n m}) \quad (m = 1, 2)$$



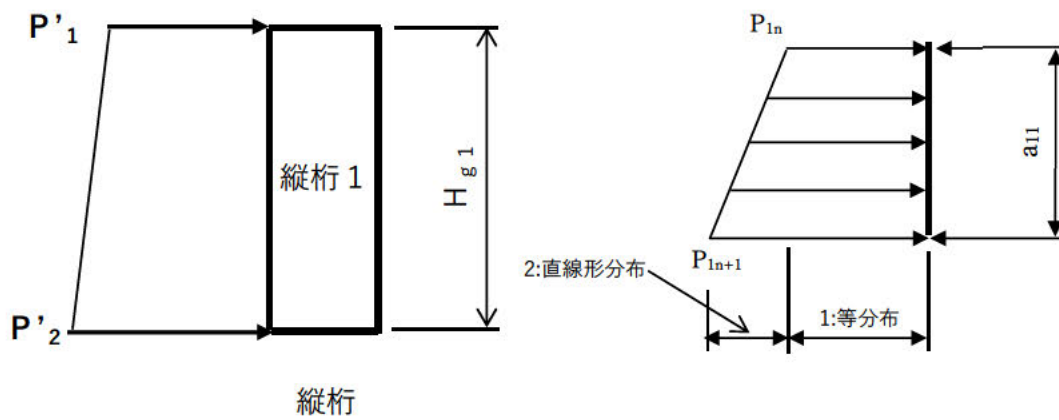
主桁に生じる荷重の例（上段固定扉）



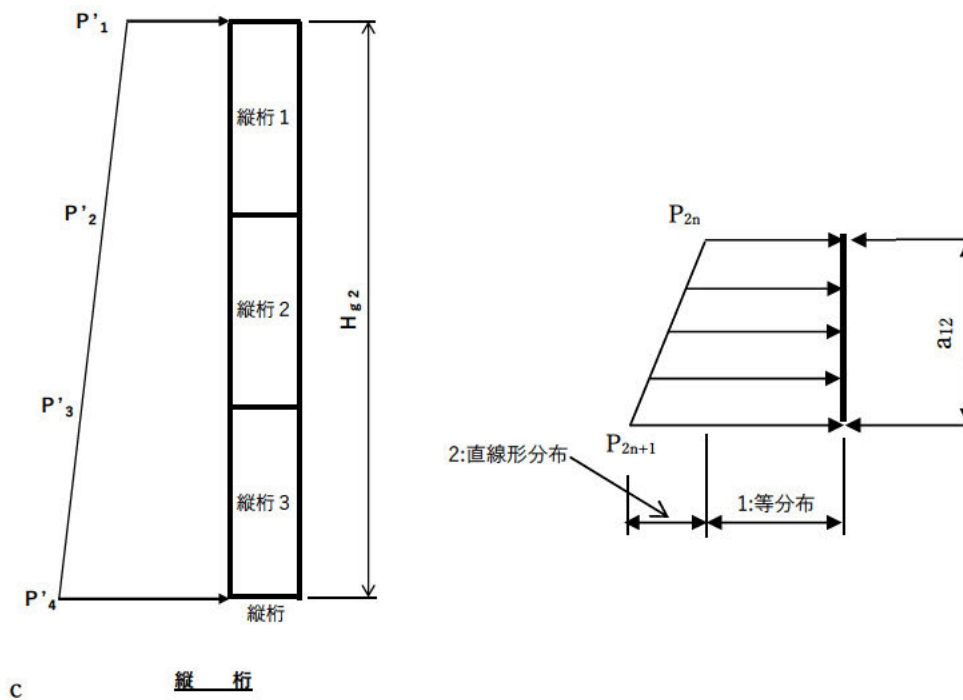
主桁に生じる荷重の例（下段横引扉）

（1：等分布成分が P_{bn} ，2：直線形分布成分が P_{an} ）

図 5.6-2 芯材に生じる荷重の例（1/2）



縦桁に生じる荷重の例（上段固定扉）



縦桁に生じる荷重の例（下段横引扉）

(1 : 等分布成分が P_{bn} , : 直線形分布成分が P_{an})

図 5.6-2 芯材に生じる荷重の例 (2/2)

5.7 計算条件

「5.6 計算方法」に用いる評価条件を表 5.7-1 に示す。

表 5.7-1 HAW-2 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(1/5)

対象部位	記号	単位	定義	数値
扉板 (上段)	P_{h11}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (上段固定扉上段部)	143.1
	P_{h12}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (上段固定扉下段部)	153.2
	K_{S1}	kN/m^2	単位面積当たりの余震荷重 (上段固定扉)	2.354
	$D_{R'1}$	kN/m^2	単位面積当たりの漂流物 衝突荷重 (上段固定扉)	0.8615
	P_{11}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷 重(上段固定扉上段部)	146.4
	P_{12}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (上段固定扉下段部)	156.4

表 5.7-1 HAW-2 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(2/5)

対象部位	記号	単位	定義	数値
扉板 (下段)	P_{h21}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (下段横引扉上段部)	154.1
	P_{h22}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (下段横引扉中段上部)	162.6
	P_{h23}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	170.9
	P_{h24}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	178.7
	K_{S2}	kN/m^2	単位面積当たりの余震荷重 (下段横引扉)	2.533
	$D_{R'2}$	kN/m^2	単位面積当たりの漂流物 衝突荷重 (下段横引扉)	0.355
	P_{21}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉上段部)	157.0
	P_{22}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段上部)	165.5
	P_{23}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	173.8
	P_{24}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	181.6

表 5.7-1 HAW-2 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(3/5)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁) (上段固定扉)	Hg ₁	m	受圧高 (上部固定扉)	1.000
	B	m	受圧幅	3.250
	P ₁₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (上部固定扉上段部)	146.4
	P ₁₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (上部固定扉下段部)	156.4
	a ₁₁	m	主桁ピッチ (上段固定扉)	1.000
	Z _{x11}	mm ³	断面係数 (上段固定扉上段部)	1185000
	Z _{x12}	mm ³	断面係数 (上段固定扉下段部)	1143000
	A _{w11}	mm ³	せん断断面積 (上段固定扉上段部)	4128
	A _{w12}	mm ³	せん断断面積 (上段固定扉下段部)	4032
芯材 (縦桁) (上段固定扉)	P' ₁₁	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (上段固定扉上段部)	59.64
	P' ₁₂	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (上段固定扉下段部)	63.74
	b ₁	m	縦桁ピッチ (上段固定扉)	0.405
	b ₂	m	縦桁ピッチ (上段固定扉)	0.410
	Z' _{x11}	mm ³	断面係数 1 (上段固定扉)	337800
	Z' _{x12}	mm ³	断面係数 2 (上段固定扉)	99570
	A' _{w11}	mm ³	せん断断面積 1 (上段固定扉)	4176
	A' _{w12}	mm ³	せん断断面積 2 (上段固定扉)	2464

表 5.7-1 HAW-2 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(4/5)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁) (下段横引扉)	Hg ₂	m	受圧高 (下段横引扉)	2.430
	B	m	受圧幅	3.250
	P ₂₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉上段部)	157.0
	P ₂₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段上部)	165.5
	P ₂₃	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	173.8
	P ₂₄	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	181.6
	a ₂₁	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.840
	a ₂₂	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.820
	a ₂₃	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.770
	Z _{x21}	mm ³	断面係数 (下段横引扉上段部)	985500
	Z _{x22}	mm ³	断面係数 (下段横引扉中段上部)	1830000
	Z _{x23}	mm ³	断面係数 (下段横引扉中段下部)	1830000
	Z _{x24}	mm ³	断面係数 (下段横引扉下段部)	1301000
	A _{w21}	mm ³	せん断断面積 (下段横引扉上段部)	4032
	A _{w22}	mm ³	せん断断面積 (下段横引扉中段上部)	6118
A _{w23}	mm ³	せん断断面積 (下段横引扉中段下部)	6118	
A _{w24}	mm ³	せん断断面積 (下段横引扉下段部)	6479	

表 5.7-1 HAW-2 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(5/5)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁) (下段横引扉)	P'_{21}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉上段部)	63.99
	P'_{22}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉中段上部)	67.44
	P'_{23}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	70.82
	P'_{24}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	74.00
	b_1	m	縦桁ピッチ (下段横引扉)	0.405
	b_2	m	縦桁ピッチ (下段横引扉)	0.410
	Z'_{x21}	mm ³	断面係数 1 (下段横引扉)	266800
	Z'_{x22}	mm ³	断面係数 2 (下段横引扉)	78830
	A'_{w21}	mm ³	せん断断面積 1 (下段横引扉)	3132
	A'_{w22}	mm ³	せん断断面積 2 (下段横引扉)	1848

5.8 評価結果

HAW-2 浸水防止扉の強度評価結果を表 5.8-1 に示す。HAW-2 浸水防止扉の各部分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以下であることから、HAW-2 浸水防止扉が構造健全性を有することを確認した。

表 5.8-1 強度評価結果

名称		評価部位	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	発生応力/ 許容応力
HAW-2 浸水防止扉	上段固定扉	扉板	109	205	0.54
		主桁	89	205	0.44
		縦桁	101	205	0.39
	下段横引扉	扉板	124	205	0.61
		主桁	81	205	0.40
		縦桁	79	205	0.39

6. HAW-3 浸水防止扉

6.1 評価部位

基礎・支持構造として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、締付装置により扉が扉枠に固定される構造とする。また、扉枠を建家の開口部周辺に、アンカーボルトにより固定する構造とする。

主体構造として片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に、差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。また、扉と扉の接続はヒンジを介する構造とする。

HAW-3 浸水防止扉に生じる外部からの津波、余震及び漂流物に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材から扉枠体に伝達されることから、評価部位は、扉板及び芯材とする。

HAW-3 浸水防止扉の構造図を図 6.1-1 に示す。

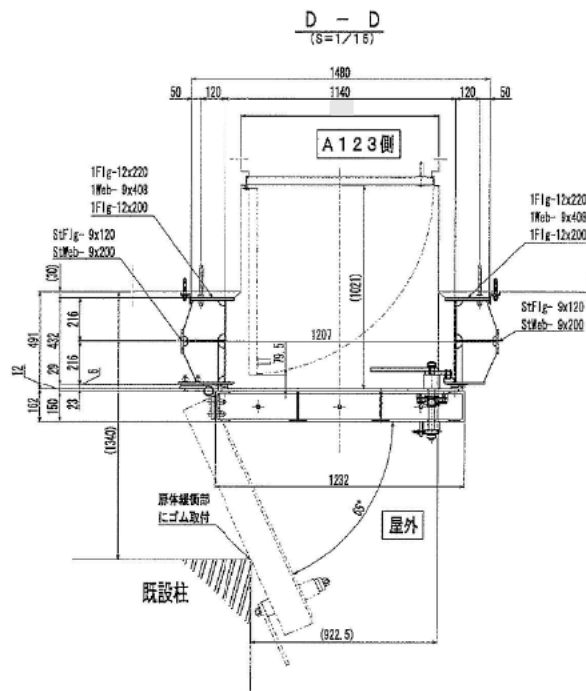
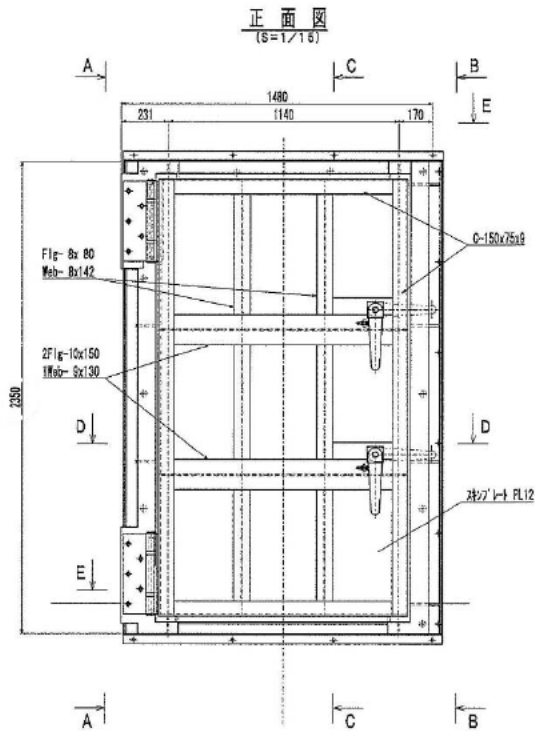


図 6.1-1 HAW-3 浸水防止扉の構造

6.2 構造強度評価方法

HAW-3 浸水防止扉の強度評価は、「6.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「6.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「6.4 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、「6.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

6.3 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、以下のとおりとする。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 津波による遡上津波荷重 (P_{hn})

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$P_{hn} = \rho \cdot g \cdot H_{Xn}$$

b. 漂流物衝突荷重 (D_R')

津波に伴う荷重として、漂流物衝突荷重を考慮する。

$$D_R' = \frac{D_R}{b \cdot H_g}$$

c. 余震荷重 (K_S)

余震荷重は弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力（動水圧を含まない。）とする。

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。地震荷重 K_S は、浸水防止扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = \frac{K_H \cdot G \cdot g}{b \cdot H_g}$$

d. 縦桁に作用する荷重 (P'_n)

縦桁に作用する荷重は、上記 a~c の荷重の合計に、縦桁が受け持つ荷重の受圧幅 B を乗じた次式により算出する。

$$P'_n = B \cdot P_n$$

津波の浸水高さは、T.P.+12.1 m (浸水深 6.1 m) に水深係数 $\alpha=3.0$ を考慮して 18.3m として評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び水の密度を表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1 水圧作用高さ及び水の密度

扉名称	水圧作用高さ (EL. m)	水の密度 (t/m ³)
HAW-3 浸水防止扉	18.3	1.03

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、津波時の最大荷重を用いる。強度評価に用いる荷重の組合せを表 6.3-2 に示す。

表 6.3-2 強度評価に用いる荷重の組合せ

扉名称	事象	荷重の組合せ*
HAW-3 浸水防止扉	津波時	$P_n = P_{hn} + K_S + D_R'$

注記* : P_{hn} は津波に伴う荷重, K_S は余震荷重, D_R' は漂流物衝突荷重を示す。

6.4 許容限界

HAW-3 浸水防止扉の許容限界は、「6.1 評価対象部位」にて設定した評価部位の機能損傷モードを考慮し設定する。

(1) 使用材料

HAW-3 浸水防止扉を構成する扉板、芯材の使用材料を表 6.4-1 に示す。

表 6.4-1 扉板、芯材の使用材料

部 位		材 質	仕 様[mm]
扉 板		SUS304	2174 × 1232 × t12
芯 材	主 桁（上段及び下段）	SUS304	C150 × 75 × 9
	主 桁（中間）	SUS304	H150 × 150 × 9 × 10
	縦 桁 ※	SUS304	T150 × 80 × 8 × 8

※板の組合せ構造

(2) 許容限界

- a. 扉板, 芯材の許容限界は, 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—(社)日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえて表 6.4-2 の値とする。

表 6.4-2 扉板, 芯材の許容限界

材 料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SUS304*1	205	118

注 *1 : 許容応力度を決定する場合の基準値 F の値は, 「JIS G 4304:2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

6.5 評価用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり HAW-3 浸水防止扉の固有周期が 0.05 秒以下であることを確認したため、HAW-3 浸水防止扉の強度計算で用いる設計震度は、別添 6-1-3-2 「余震による地震応答解析」で得られた水平震度：0.5 を 1.2 倍した 0.6 を用いる。

6.6 計算方法

HAW-3 浸水防止扉の強度評価における計算方法を以下に示す。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる応力は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、等変分布荷重及び等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として「土木学会 楮王力学公式集」に基づき、次式により算定する。

$$\sigma_{pnm} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_n \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{n+1} - P_n) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_n, b_m)$$

$$\sigma_{pb} = \text{MAX}(\tau_{pnm})$$

$$(n = 1 \sim 3, m = 1, 2)$$

$$\sigma_{pb} = \frac{\beta \cdot 1000 \cdot D_R}{t^2} \quad \beta = 6\gamma$$

$$\sigma_p = \sigma_{pa} + \sigma_{pb}$$

扉板に生じる応力の例を図 6.6-1 に示す。

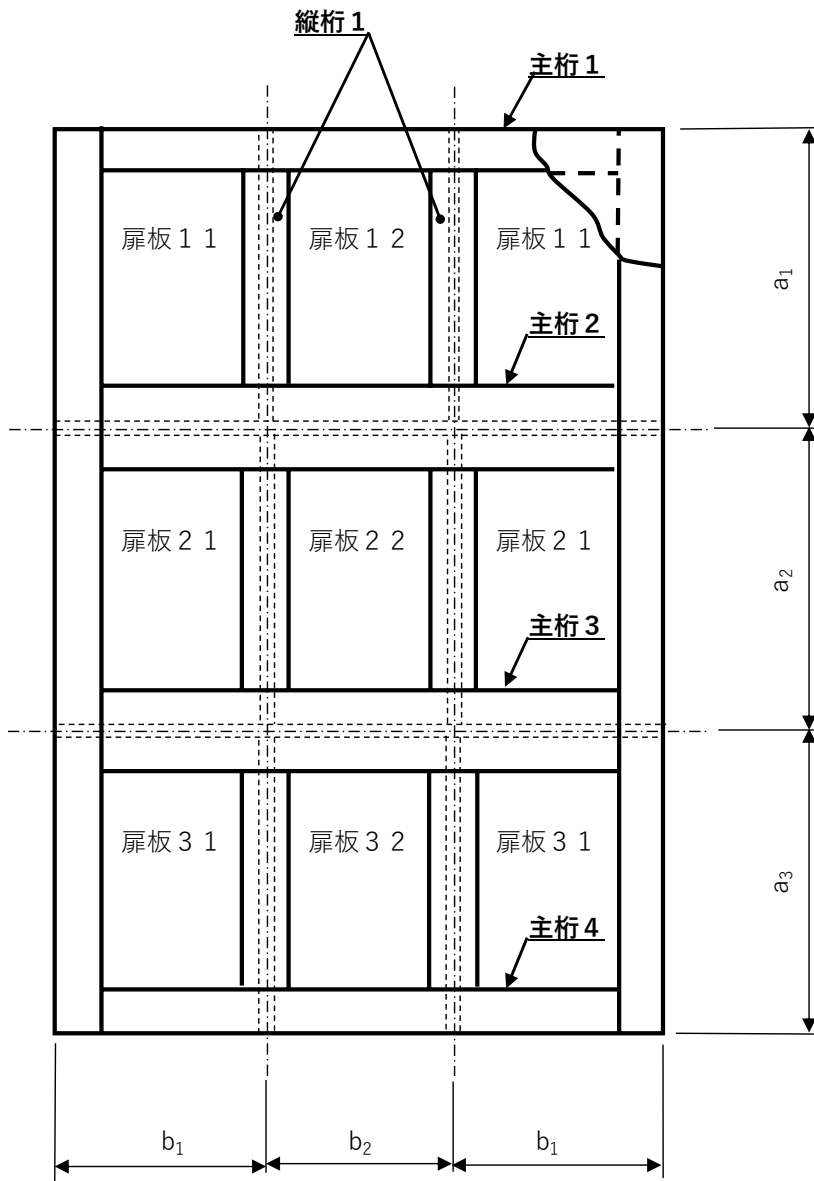


図 6.6-1 扉板に生じる応力評価部位

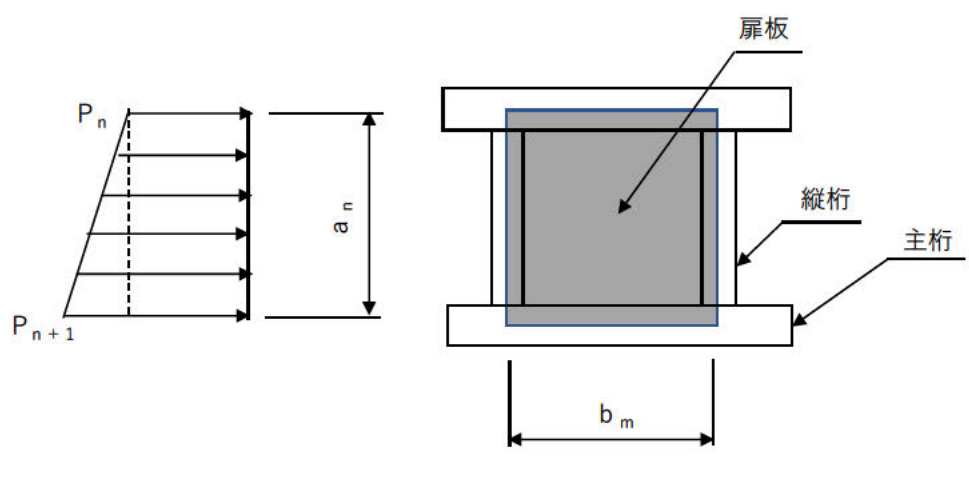


図 6.6-2 扉板に生じる応力の例

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平）に応じて「日本機械学会 機械工学便覧 基礎編 A 4 材料力学」の「はり」の公式に基づき、それぞれ算定する。

水平方向に取付く主桁については、扉に生じる荷重を算定し、次式により算定する。

鉛直方向に取付く縦桁については、各桁（中間縦桁及び端縦桁）に分担することとし、等分布荷重を受ける両端支持の単純梁として、次式により算定する。芯材に生じる荷重の例を図 6. 6-2 に示す。

$$w_1 = \frac{(2P_1 + P_2) \cdot a_1}{6}$$

$$w_2 = \frac{(2P_2 + P_1) \cdot a_1}{6} + \frac{(2P_2 + P_3) \cdot a_2}{6}$$

$$w_3 = \frac{(2P_3 + P_2) \cdot a_2}{6} + \frac{(2P_3 + P_4) \cdot a_3}{6}$$

$$w_4 = \frac{(2P_4 + P_3) \cdot a_3}{6}$$

$$M_n = \frac{W_n \cdot L^2}{8} \quad Q_n = \frac{W_n \cdot L}{2}$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 M_n}{Z_{xn}} \quad \tau_n = \frac{1000 Q_n}{A_{wn}}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 4)$$

(b) 縦桁

$$M_n = a_n^2 \cdot \left(\frac{P_{an}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{bn}}{8} \right)$$

$$Q_n = a_n \cdot \left(\frac{P_{an}}{3} + \frac{P_{bn}}{2} \right)$$

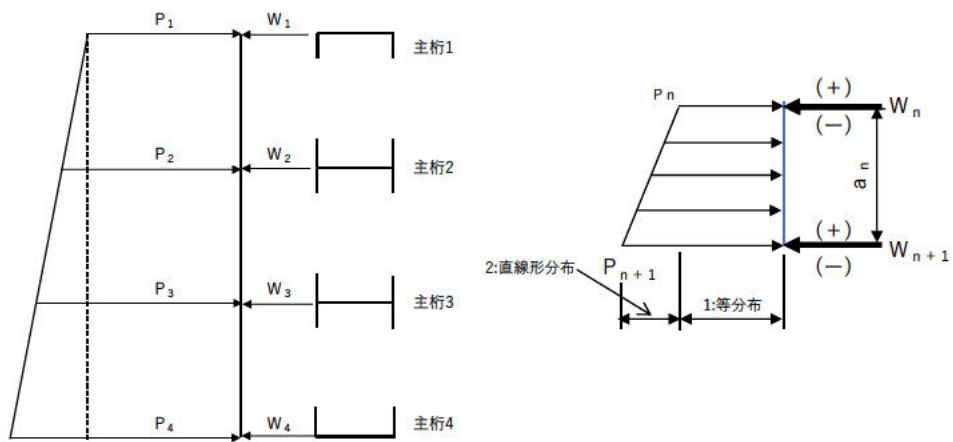
$$P_{an} = P'_{n+1} - P'_n \quad P_{bn} = P'_n$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_n}{Z'_{x1}}$$

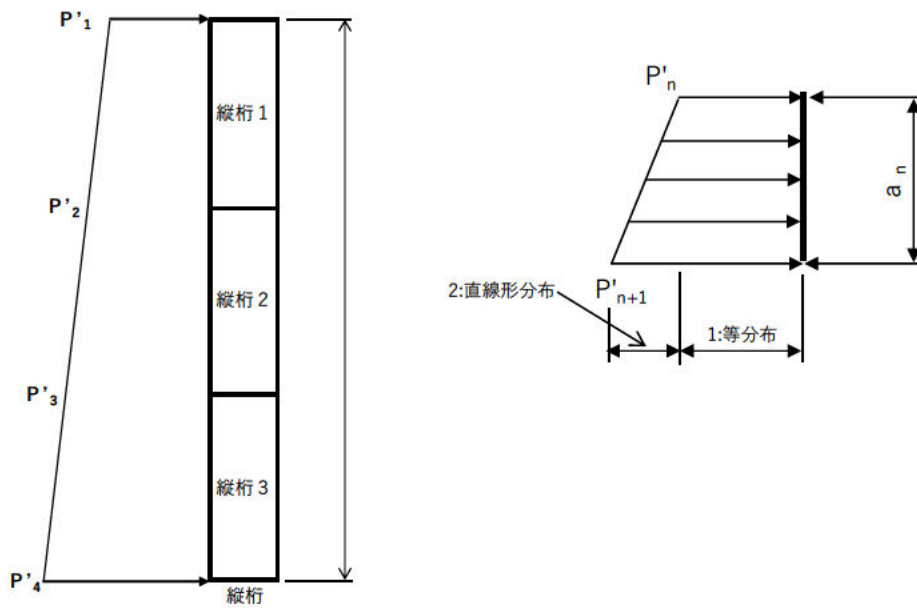
$$\tau_n = \frac{1000Q_n}{A'_{w1}}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 3)$$



主桁に生じる荷重の例



縦桁に生じる荷重の例

(1 : 等分布成分が P_{bn} , 2 : 直線形分布成分が P_{an})

図 6.6-2 芯材に生じる荷重の例

6.7 計算条件

「6.6 計算方法」に用いる評価条件を表 6.7-1 に示す。

表 6.7-1 HAW-3 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(1/3)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
扉板	P_{h1}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(最上段部)	158.4
	P_{h2}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(中段上部)	165.9
	P_{h3}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(中段下部)	173.2
	P_{h4}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(最下段部)	180.3
	K_S	kN/m^2	単位面積当たりの 余震荷重	1.318
	D_R'	kN/m^2	単位面積当たりの 漂流物衝突荷重	1.045
	P_1	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(最上段部)	160.7
	P_2	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(中段上部)	168.3
	P_3	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(中段下部)	175.6
	P_4	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(最下段部)	182.7

表 6.7-1 HAW-3 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(2/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	Hg	m	受圧高	2.174
	P ₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最上段部)	160.7
	P ₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段上部)	168.3
	P ₃	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段下部)	175.6
	P ₄	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最下段部)	182.7
	a ₁	m	主桁ピッチ	0.750
	a ₂	m	主桁ピッチ	0.720
	a ₃	m	主桁ピッチ	0.704
	Z _{x1}	mm ³	断面係数 (最上段部)	112600
	Z _{x2}	mm ³	断面係数 (中段上部)	218300
	Z _{x3}	mm ³	断面係数 (中段下部)	218300
	Z _{x4}	mm ³	断面係数 (最下段部)	112600
	A _{w1}	mm ³	せん断断面積 (最上段部)	1188
	A _{w2}	mm ³	せん断断面積 (中段上部)	1170
	A _{w3}	mm ³	せん断断面積 (中段下部)	1170
A _{w4}	mm ³	せん断断面積 (最下段部)	1188	

表 6.7-1 HAW-3 浸水防止扉の強度評価に用いる条件(3/3)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁)	Hg	m	受圧高	2.174
	B	m	受圧幅	1.232
	P' ₁	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最上段部)	65.97
	P' ₂	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段上部)	69.09
	P' ₃	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段下部)	72.08
	P' ₄	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最下段部)	75.0
	b ₁	m	縦桁ピッチ	0.411
	b ₂	m	縦桁ピッチ	0.410
	Z' _{x1}	mm ³	断面係数	43010
	A' _{w1}	mm ³	せん断断面積	1136

6.8 評価結果

HAW-3 浸水防止扉の強度評価結果を表 6.8-1 に示す。HAW-3 浸水防止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以下であることから，HAW-3 浸水防止扉が構造健全性を有することを確認した。

表 6.8-1 強度評価結果

名称	評価部位	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	発生応力/ 許容応力
HAW-3 浸水防止扉	扉板	125	205	0.61
	主桁	110	205	0.54
	縦桁	118	205	0.58

高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家貫通部からの
浸水の可能性について

1. はじめに
変更なし
2. 確認対象箇所
変更なし
3. 浸水の可能性のある経路の構造
変更なし
4. トレンチ及び連絡管路の耐震性
変更なし

5. 貫通部等の確認

5.1 トレンチ等の確認

令和2年5月29日に補正申請した別添6-1-3-2-1「I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設の設計方針」（令02原機（再）020）において、高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家貫通部からの浸水の可能性について確認した。その中で、浸水の可能性のある経路としてトレンチ及び連絡管路・壁貫通部・扉及びシャッター部の構造について確認した。また、トレンチ及び連絡管路の耐震性についても確認した。一方、津波襲来時における、トレンチ等と接するセル壁及び建家内壁等の健全性については、確認結果を令和2年7月末までに示すとしていた。

このことから、津波襲来時における、トレンチ等と接するセル壁及び建家内壁等の健全性を以下のとおり確認した。

5.1.1 トレンチの健全性評価の概要

別添6-1-3-2「I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設の設計方針」（令02原機（再）020）に基づき、津波襲来時に高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチ及び連絡管路内が浸水した場合においても建家内が浸水しないよう、トレンチ及び連絡管路が健全であることを確認する。

トレンチ及び連絡管路の内壁とスラブの評価部位において、浸水により発生する応力（曲げ、せん断）が許容応力を下回ることを評価する。浸水による荷重は、建家構造物の荷重及び浮力算定用津波高さによる静水圧とする。

5.1.2 一般事項

(1) 位置

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置を図 5-1-2-1 に示す。

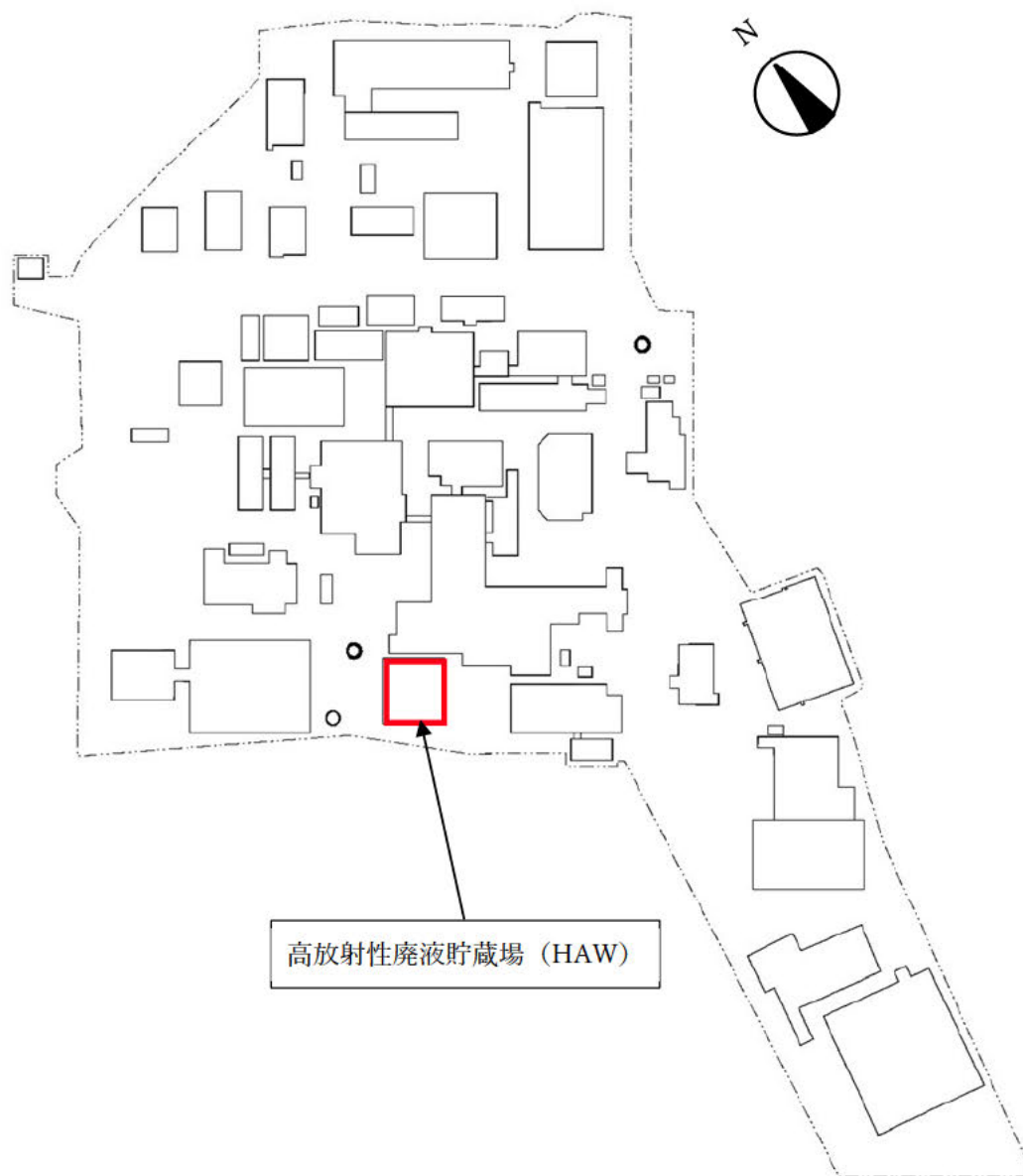


図 5-1-2-1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置

(2) 構造概要

高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチのうち、廃止措置計画用設計津波の浸水深による水圧を受けるトレンチの位置を図 5-1-2-2 に示す。

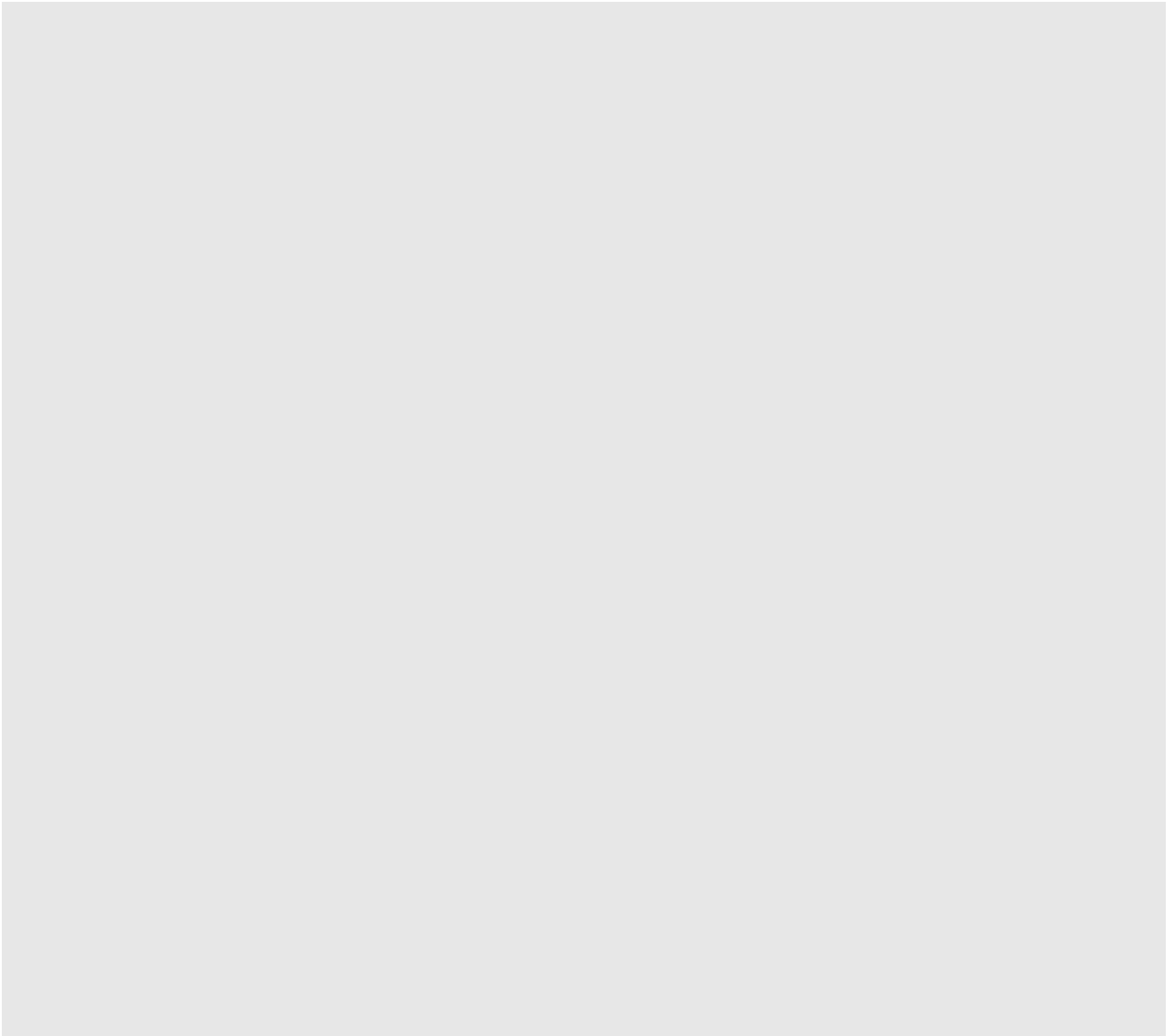


図 5-1-2-2 高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチの位置

5.1.3 評価方針

評価に当たっては高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチの内壁が廃止措置計画用設計津波による水圧及び建家構造物等を考慮した荷重に対して構造強度を有することを確認する。

表 5-1-3-1 評価項目

評価方針	評価項目	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	トレンチの健全性（トレンチ内壁）	発生応力（曲げモーメント、せん断）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力

5.1.4 適用基準

高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチの強度評価において、適用する基準等を以下に示す。

- (1) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018年）

5.1.5 強度評価方法

(1) 記号の定義

高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチの強度評価の計算に用いる記号を表 5-1-5-1 に示す。

表 5-1-5-1 トレンチの強度評価計算に用いる記号（1/2）

記号	定義	単位
P_W	津波浸水時の静水圧荷重	kN
P_T	コンクリートスラブの自重	kN
P_E	トレンチ内に設置した遮へい体の自重	kN
h_T	廃止措置計画用設計津波高さ	m
h_1	トレンチ下スラブ（+遮へい体）天端高さ	m
M_a	スラブ及び壁の短期許容曲げモーメント	kN・m
Q_{AS}	スラブ及び壁の短期許容せん断力	kN
a_t	既存断面の引張鉄筋断面積	mm ²
f_t	引張鉄筋の短期許容引張応力度	N/mm ²
j	応力中心間距離（7/8d）	mm
d	部材の有効せい	mm
T	鉄筋コンクリートスラブ及び壁厚	m
T_E	遮へい体厚	m
d_t	引張縁から引張鉄筋重心までの距離	m
f_s	コンクリートの短期許容せん断応力度	N/mm ²
b	スラブ及び壁，遮へい体の単位幅	m
ρ_o	海水の単位体積重量	kN/m ³
ρ_s	遮へい体の単位体積重量	kN/m ³
ρ_c	コンクリートの単位体積重量	kN/m ³
L	下スラブ及び壁の長さ	m
M_A	A点における曲げモーメント	kN・m
M_B	B点における曲げモーメント	kN・m
M_C	C点における曲げモーメント	kN・m
M_D	D点における曲げモーメント	kN・m
h	トレンチの張出長さ	m
\varnothing	トレンチの高さ	m
k	ラーメン構造の剛比	—

表 5-1-5-1 トレンチの強度評価計算に用いる記号 (2/2)

記号	定義	単位
w	各等分布荷重の総和 (単位長さ当たり)	kN/m
P	各集中荷重の総和	kN
p _W	津波浸水時の静水圧 (単位長さあたり)	kN/m
p _T	コンクリートスラブの自重 (単位長さあたり)	kN/m
p _E	トレンチ内に設置した遮へい体の自重 (単位長さあたり)	kN/m
M	断面に生じる曲げモーメント	kN・m
Q	断面に生じるせん断力	kN
P _{E1}	断面に作用する遮へい体の全体自重	kN
L1	HAW 外壁内面からセル壁までの長さ	m
L2	下あご部の正面長さ	m
P _e	許容応力	kN/m ²
p	津波浸水時の静水圧	kN/m ²
t _s	製造上の最小厚さ	mm
t	二重管外管厚さ	mm
D ₀	二重管外管外径	mm
B	付録材料図 表 Part7 により定まる値	—
M ₁	M _A とM _D の最大モーメント	kN・m
M ₂	M _B とM _C の最大モーメント	kN・m

5.1.6 評価部位

(1) HAW 連絡管路（分離精製工場（MP）との接続）

HAW 連絡管路の平面図を図 5-1-6-1，評価部位を図 5-1-6-2 に示す。

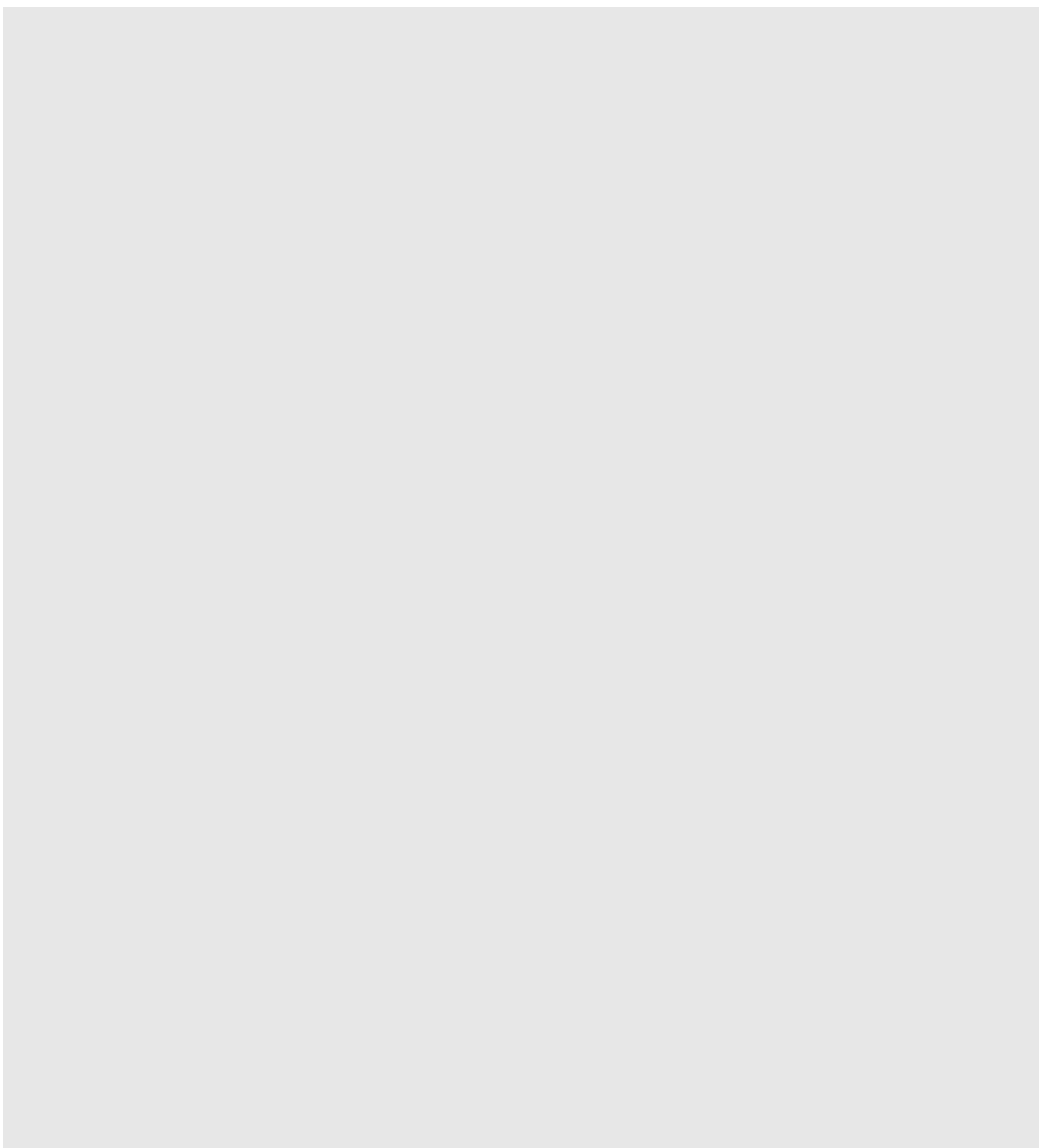


図 5-1-6-1 HAW 連絡管路の平面図

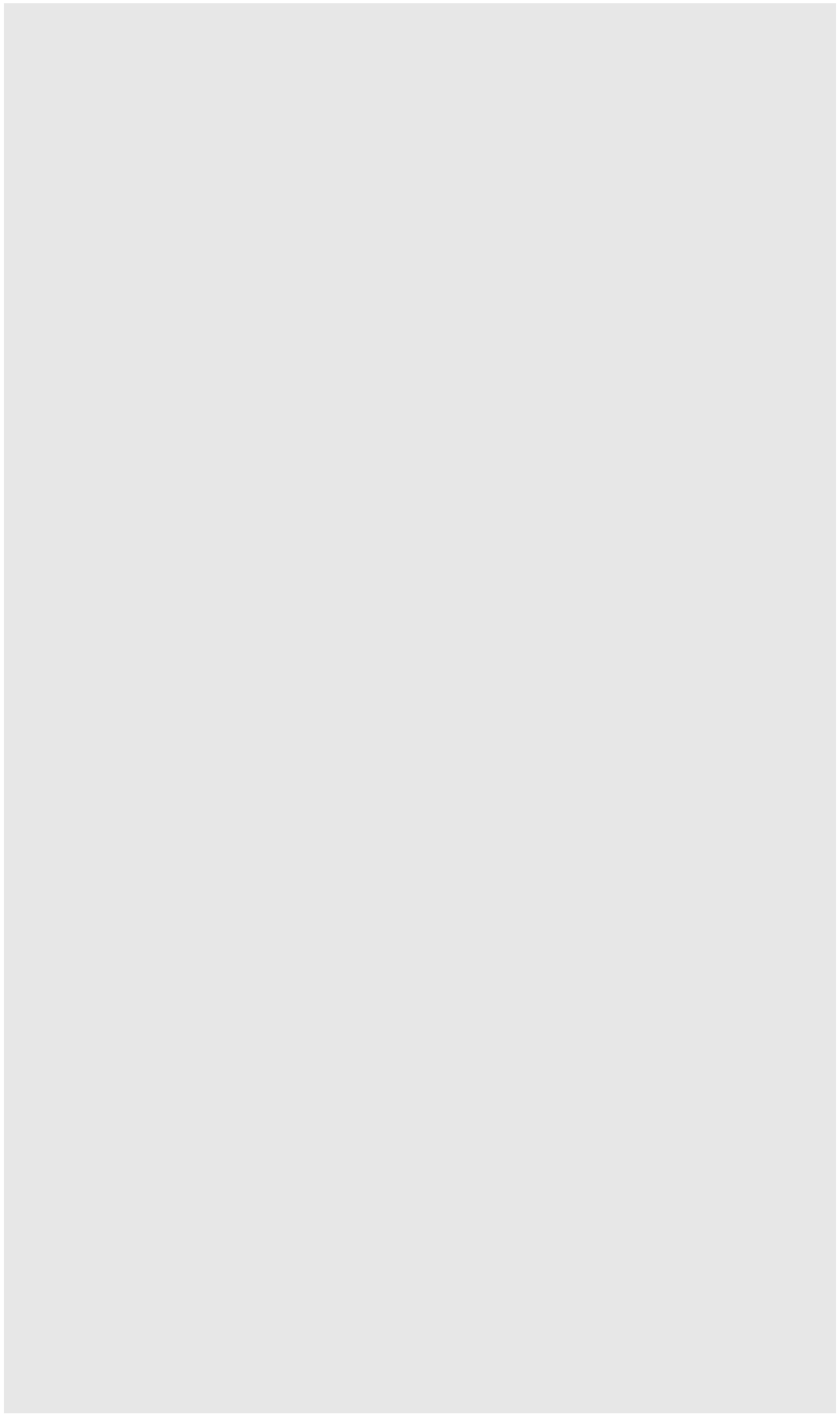


図 5-1-6-2 連絡管路の評価部位(1/2)

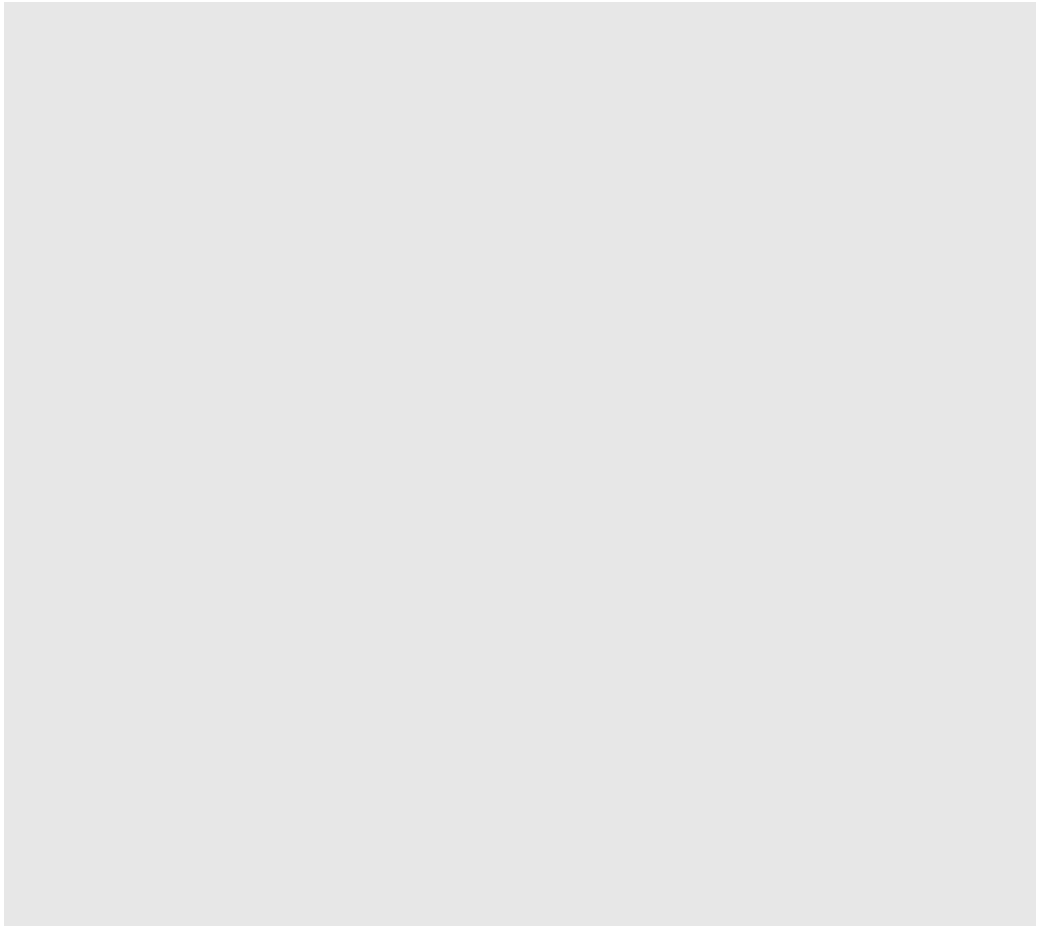


図 5-1-6-2 連絡管路の評価部位 (2/2)

(2) T15 トレンチ（分離精製工場（MP）との接続）

HAW 連絡管路の平面図を図 5-1-6-3，評価部位を図 5-1-6-4 に示す。

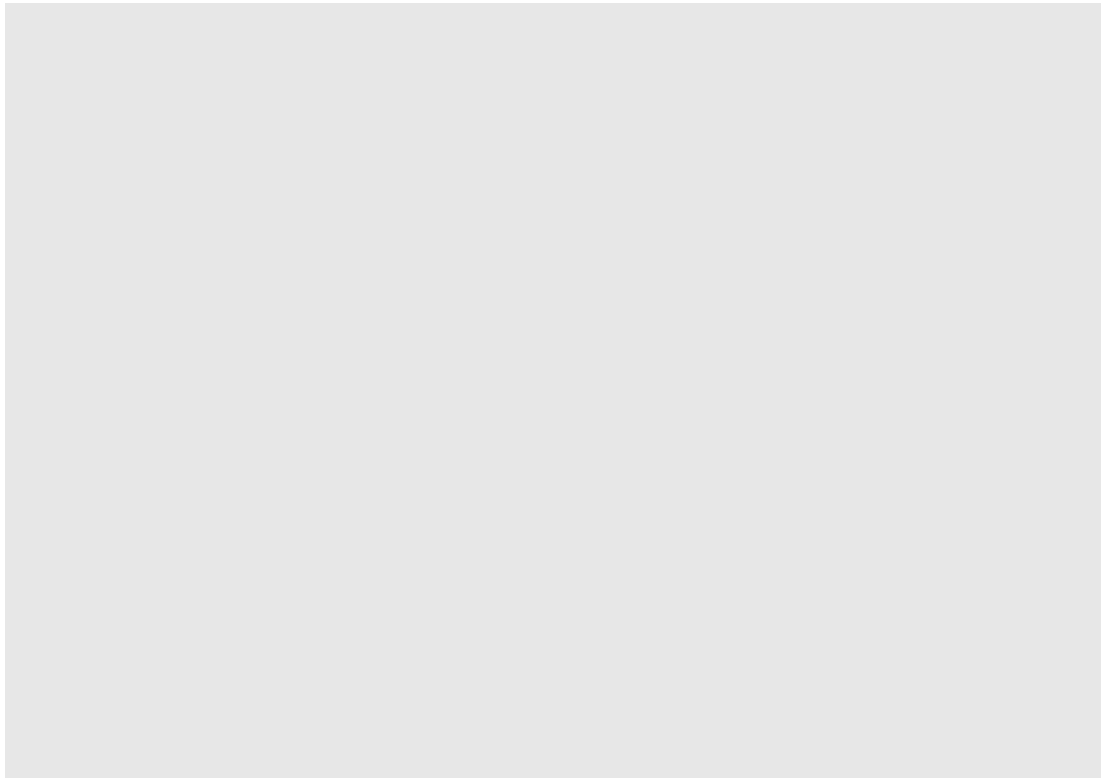


図 5-1-6-3 T15 トレンチの平面図

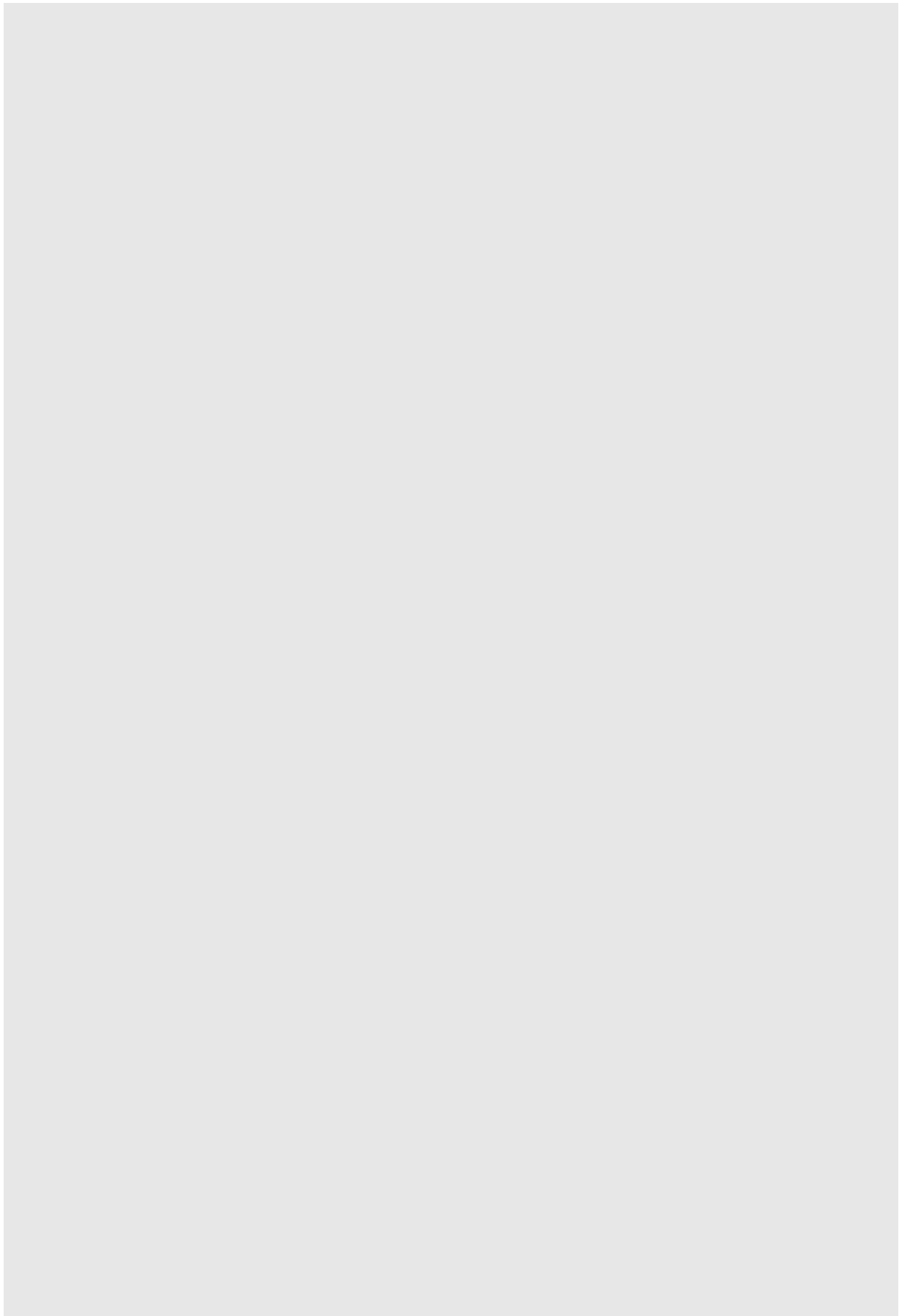


図 5-1-6-4 T15 トレンチの評価部位

(3) T21 トレンチ（ガラス固化技術開発施設（TVF）との接続）

T21 トレンチの評価部位を図 5-1-6-5 に示す。

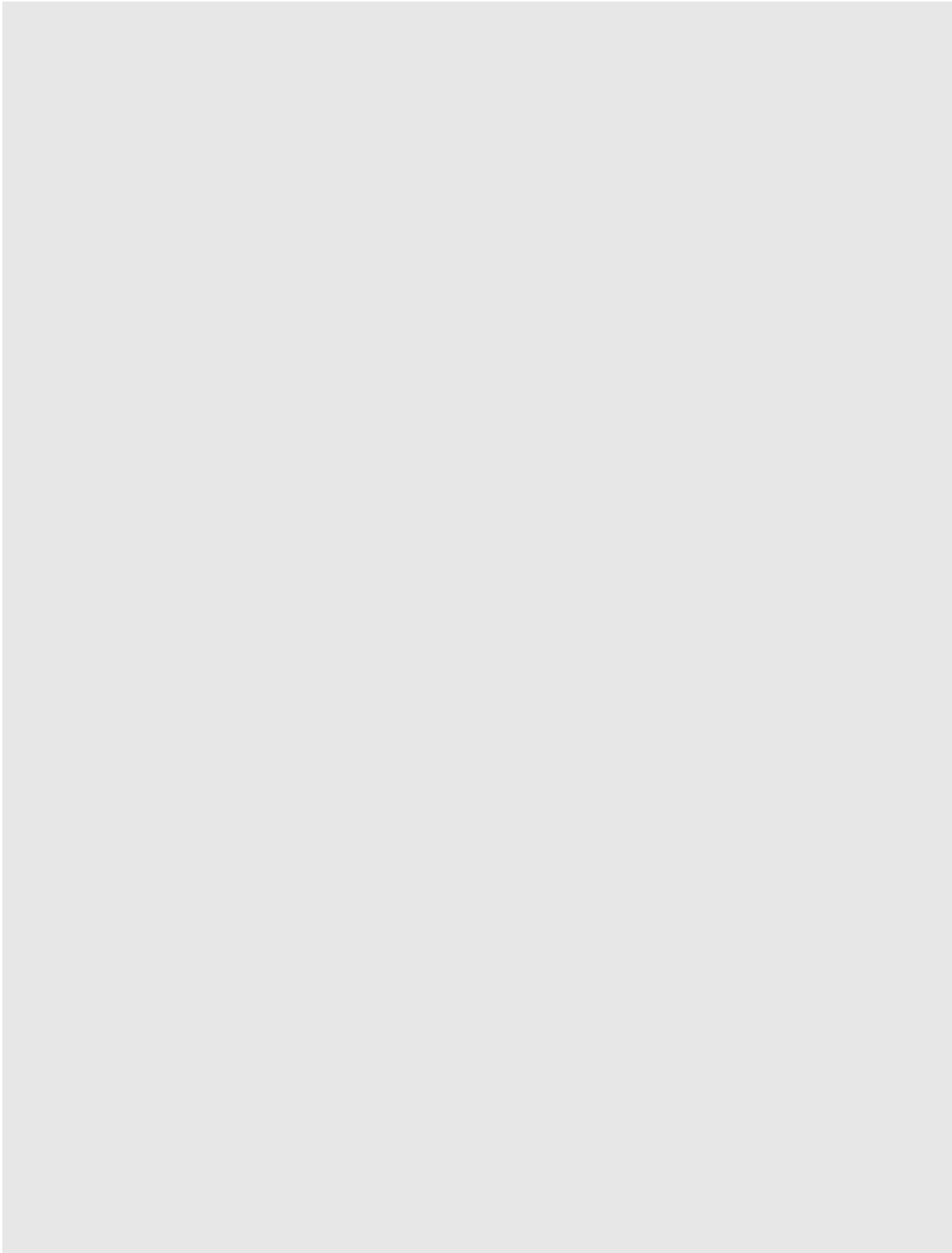


図 5-1-6-5 T21 トレンチの評価部位

5.1.7 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

① 津波浸水時の静水圧 (P_W)

津波浸水時の水圧については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) におけるトレンチ下スラブ (+遮へい体) 天端高さ h_1 から廃止措置計画用設計津波高さ h_T までの高さによる静水圧 (P_W) を考慮する。

② コンクリートスラブによる荷重 (P_T)

建家構造物の荷重として、トレンチの自重をコンクリートスラブによる荷重 (P_T) として考慮する。

③ 遮へい体による荷重 (P_E)

建家構造物の荷重として、トレンチ内に設置した遮へい体の自重を遮へい体による荷重 (P_E) として考慮する。

5.1.8 許容限界

(1) 使用材料

許容限界は、トレンチが崩落しないことを考慮し、保守的な短期許容応力とする。

強度評価に用いる使用材料は既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その25）」に基づき設定する。使用材料を表5-1-8-1に示す。

表 5-1-8-1 使用材料

使用材料	短期許容応力度
コンクリート 設計基準強度：Fc20.6 N/mm ² (Fc210 kgf/cm ²)	せん断 1.03 N/mm ²
鉄筋 SD30 (F = 3000 kgf/cm ²)	引張 295 N/mm ²

(2) 短期許容応力

トレンチ下スラブの許容限界は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018年）」に基づき算定する。

短期許容曲げモーメント（Ma）及び短期許容せん断力（Q_{AS}）の算定式を以下に示す。

$$Ma = a_t \cdot f_t \cdot j$$

- M_a : 短期許容曲げモーメント(kN・m)
- a_t : 既存断面の引張鉄筋断面積(mm²)
- f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度(N/mm²)
- j : 応力中心間距離 (7/8d) (mm)
- d : 部材の有効せい(mm)

$$d = T - d_t$$

- T : 鉄筋コンクリートスラブ及び壁厚(m)
- d_t : 引張縁から引張鉄筋重心までの距離(mm)

$$Q_{AS} = b \cdot j \cdot f_s$$

- Q_{AS} : 短期許容せん断力(kN)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度(N/mm²)
- b : スラブ幅(m)
- j : 応力中心間距離 (7/8d) (mm)

5.1.9 評価方法

(1) 評価部位 A, C, D, E

① 評価モデル

評価部位 A, C, D, E は、両端固定梁として左右の壁を固定端とする一方向板として、曲げモーメント及びせん断力を算出する。応力算定モデルを図 5-1-9-1 に示す。単位幅は 1 m として計算する。

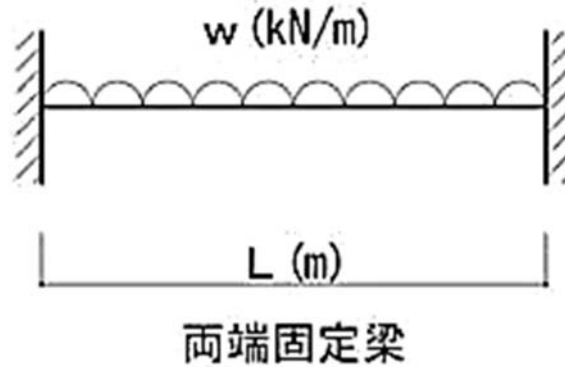


図 5-1-9-1 評価部位 A, C, D, E の応力算定モデル

② 評価式

コンクリート自重 (P_T) 及び遮へい体自重 (P_E) , 静水圧 (P_W) による曲げモーメント (M) , せん断力の算定 (Q) は、下式にて行う。

(単位長さあたりのコンクリート自重 (p_T) 及び遮へい体自重 (p_E) , 静水圧 (p_W) の算定式)

$$w = p_W + p_T + p_E$$

$$p_T = \rho_c \cdot b \cdot T$$

$$p_E = \rho_s \cdot b \cdot T_E$$

$$p_W = \rho_o \cdot b(h_T - h_1)$$

w : 各等分布荷重の総和 (kN/m)

p_T : コンクリートスラブの自重 (kN/m)

ρ_c : コンクリートの単位体積重量 (kN/m³)

b : スラブ及び遮へい体の単位幅 (m)

T : 鉄筋コンクリートスラブ厚 (m)

p_E : 遮へい体の自重 (kN/m)

ρ : 遮へい体の単位体積重量 (kN/m³)

T_E : 遮へい体厚 (m)

p_W : 津波浸水時の静水圧 (kN/m)

ρ_o : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

h_T : 設計津波高さ (m)

h_1 : トレンチ下スラブ + 遮へい体天端高さ (m)

(発生荷重による曲げモーメントの算定式)

$$M = \max (M(\text{中央}), M(\text{下端}))$$

$$M(\text{中央}) = w \frac{L^2}{24}$$

$$M(\text{下端}) = w \frac{L^2}{12}$$

M : 断面に生じる曲げモーメント (kN・m)

w : 各等分布荷重の総和 (kN/m)

(発生荷重によるせん断力の算定式)

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

Q : 断面に生じるせん断力 (kN)

L : 下スラブの長さ (m)

(2) 評価部位 B

① 評価モデル

評価部位 B は、セル壁を固定端とするラーメン構造として曲げモーメント及びせん断力を算出する。応力算定モデルを図 5-1-9-2 に示す。単位幅は 1 m として計算する。

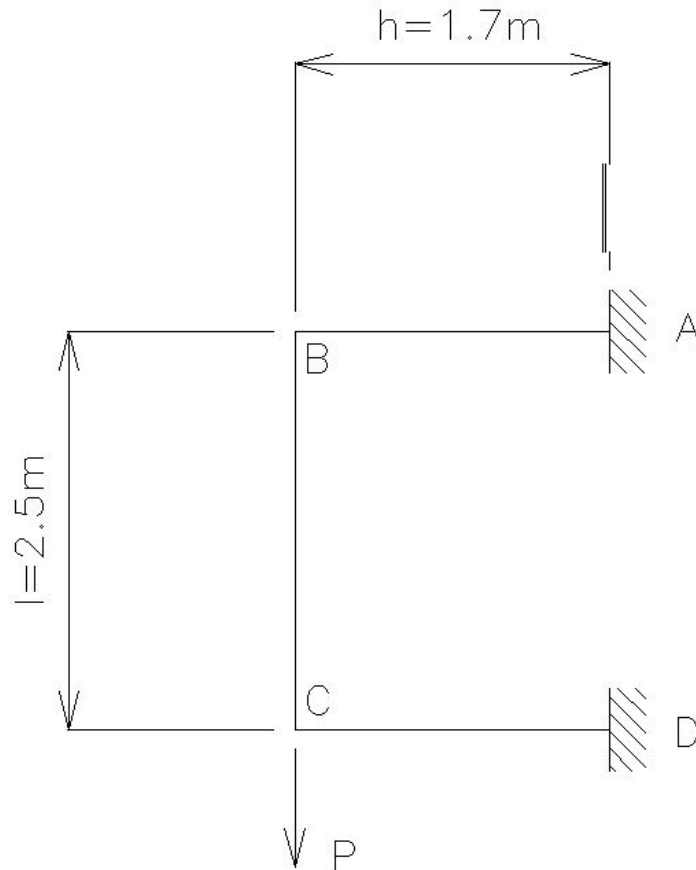


図 5-1-9-2 評価部位 B の応力算定モデル

② 評価式

コンクリート自重 (P_T) 及び遮へい体自重 (P_E) , 静水圧 (P_W) による曲げモーメント (M) , せん断力の算定 (Q) は、下式にて行う。

(コンクリート自重 (P_T) 及び遮へい体自重 (P_E) , 静水圧 (P_W) の算定式)

$$P = P_W + P_T + P_E$$

$$P_T = \rho_c b \left(\frac{h - T}{2} \times 2 + l \right) T$$

$$P_E = \rho_s b \left(\frac{h - (T + T_E)}{2} \times 2 + (l - 2T) \right) T_E$$

$$P_W = \rho_o b(h_T - h_1)(h - (T + T_E))$$

- P : 各集中荷重の総和 (kN)
- P_T : コンクリートスラブの自重 (kN)
- ρ_c : コンクリートの単位体積重量 (kN/m³)
- b : スラブ及び遮へい体の単位幅 (m)
- T : 鉄筋コンクリートスラブ厚 (m)
- P_E : 遮へい体の自重 (kN)
- ρ_s : 遮へい体の単位体積重量 (kN/m³)
- T_E : 遮へい体厚 (m)
- P_W : 津波浸水時の静水圧 (kN)
- ρ_o : 海水の単位体積重量 (kN/m³)
- h_T : 設計津波高さ (m)
- h_1 : トレンチ下スラブ + 遮へい体天端高さ (m)
- h : トレンチの張出長さ(m)
- ℓ : トレンチの高さ (m)

(発生荷重による曲げモーメントの算定式)

$$M = \max(M_1, M_2)$$

$$M_1 = \max(M_A, M_D)$$

$$M_2 = \max(M_B, M_C)$$

$$M_A, M_D = \frac{Ph}{2} \left(\frac{1 + 3k}{1 + 6k} \right)$$

$$M_B, M_C = -\frac{Ph}{2} \left(\frac{3k}{1 + 6k} \right)$$

$$k = \frac{h}{\ell}$$

- M : 断面に生じる曲げモーメント (kN・m)
- M_A : A点における曲げモーメント (kN・m)
- M_B : B点における曲げモーメント (kN・m)
- M_C : C点における曲げモーメント (kN・m)
- M_D : D点における曲げモーメント (kN・m)
- k : ラーメン構造の剛比(-)

(発生荷重によるせん断力の算定式)

$$Q = \frac{P}{2}$$

Q : 断面に生じるせん断力 (kN)

(3) 評価部位 F

① 評価モデル

評価部位 F は、セル壁を固定端とする片持ち梁として曲げモーメント及びせん断力を算出する。応力算定モデルを図 5-1-9-3 に示す。単位幅は 1 m として計算する。

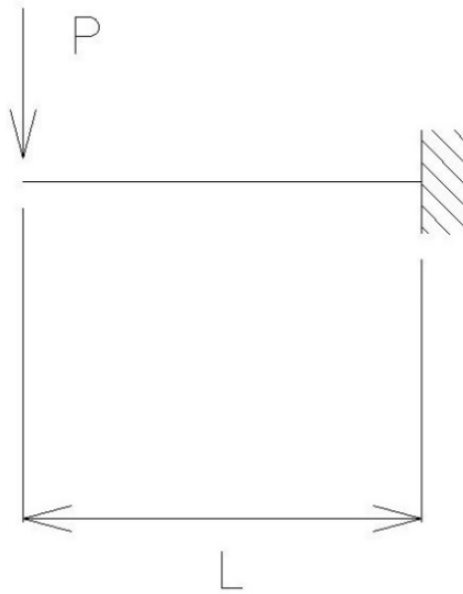


図 5-1-9-3 評価部位 F の応力算定モデル

② 評価式

③ 遮へい体自重 (P_E) 及び静水圧 (P_W) による曲げモーメント (M) , せん断力の算定 (Q) は、下式にて行う。遮へい体自重 (P_E) については、TVF-700K-009「配管トレンチ用鉄遮へい体 G11IS10 強度計算書」より既知の値 P_{E1} (110(kN)) を用いる。

(遮へい体自重 (P_E) 及び静水圧 (P_W) の算定式)

$$P = P_W + P_E$$

$$P_E = \frac{P_{E1}}{L^2} b$$

$$P_W = \frac{\rho_0 b (h_T - h_1) L^1}{2}$$

P : 各集中荷重の総和 (kN/m)

b : スラブ及び遮へい体の単位幅 (m)

P_E : 遮へい体の自重 (kN)

P_{E1} : 断面に作用する遮へい体の全体自重 (kN)

P_W : 津波浸水時の静水圧 (kN)

- ρ_0 : 海水の単位体積重量 (kN/m³)
 h_T : 設計津波高さ (m)
 h_1 : トレンチ下スラブ天端高さ (m)
 $L1$: HAW 外壁内面からセル壁までの長さ (m)
 $L2$: 下あご部の正面長さ (m)

(発生荷重による曲げモーメントの算定式)

$$M = PL$$

M : 断面に生じる曲げモーメント (kN・m)

L : 断面に生じる曲げモーメント (kN・m)

(発生荷重によるせん断力の算定式)

$$Q = P$$

Q : 断面に生じるせん断力 (kN)

5.1.10 評価条件

建家構造物自重+静水圧の評価条件を表 5-1-10-1 に示す。

表 5-1-10-1 建家構造物自重+静水圧の評価条件(1/2)

記号	定義	数値	単位
トレンチ評価の諸元			
ρ_o	海水の単位体積重量	10.10	kN/m ³
ρ_s	遮へい体の単位体積重量	78.50	kN/m ³
ρ_c	コンクリートの単位体積重量	24.00	kN/m ³
h_T	廃止措置計画設計津波高さ (TP+13.6m)	7.60	m
評価部位 A			
T	鉄筋コンクリートスラブ厚	■	m
T_E	遮へい体厚	0.45	m
L	下スラブの長さ	1.60	m
h_1	トレンチ下スラブ (+遮へい体) 天端高さ	3.13	m
p_T	コンクリートスラブの自重 (単位長さ当たり)	13.20	kN/m
p_E	遮へい体の自重 (単位長さ当たり)	166.03	kN/m
p_W	津波浸水時の静水圧 (単位長さ当たり)	45.15	kN/m
評価部位 B			
T	鉄筋コンクリートスラブ厚	■	m
T_E	遮へい体厚	0.25	m
h_1	トレンチ下スラブ (+遮へい体) 天端高さ	3.18	m
P_T	コンクリートスラブの自重	25.92	kN
P_E	遮へい体の自重	54.95	kN
P_W	津波浸水時の静水圧	51.34	kN
h	トレンチの張出長さ	1.70	m
l	トレンチの高さ	2.50	m
評価部位 C			
T	鉄筋コンクリート壁厚	■	m
T_E	遮へい体厚	0.45	m
L	壁スラブの長さ	2.40	m
h_1	トレンチ下スラブ+遮へい体天端高さ	3.13	m
p_T	コンクリートスラブの自重 (単位長さ当たり)	0.00	kN/m
p_E	遮へい体の自重 (単位長さ当たり)	0.00	kN/m
p_W	津波浸水時の静水圧 (単位長さ当たり)	45.15	kN/m

表 5-1-10-1 建家構造物自重+静水圧の評価条件(2/2)

記号	定義	数値	単位
評価部位 D			
T	鉄筋コンクリートスラブ厚	■	m
L	下スラブの長さ	1.40	m
h ₁	トレンチ下スラブ(+遮へい体)天端高さ	-1.14	m
p _T	コンクリートスラブの自重(単位長さ当たり)	12.00	kN/m
p _W	津波浸水時の静水圧(単位長さ当たり)	88.27	kN/m
評価部位 E			
T	鉄筋コンクリートスラブ壁厚	■	m
L	壁スラブの長さ	0.77	m
h ₁	トレンチ下スラブ(+遮へい体)天端高さ	-1.14	m
p _T	コンクリートスラブの自重(単位長さ当たり)	0.00	kN/m
p _W	津波浸水時の静水圧(単位長さ当たり)	88.27	kN/m
評価部位 F			
T	鉄筋コンクリートスラブ(下あご)厚	0.25	m
L	下あごの長さ	0.15	m
h ₁	トレンチ下スラブ天端高さ	-1.24	m
P _E	遮へい体の自重	36.91	kN
P _W	津波浸水時の静水圧	62.50	kN
L1	HAW 外壁内面からセル壁までの長さ	1.40	m
L2	下あご部の正面長さ	2.98	m

5.1.11 評価結果

(1) トレンチの強度評価結果

廃止措置計画用設計津波の浸水による水圧に対するトレンチの健全性評価を表 5-1-11-1 に示す。

各評価部位の発生応力は、許容限界以下であることを確認した。

表 5-1-11-1 トレンチの健全性評価結果

評価対象部位		許容限界 Ma (kN・m)	曲げ応力 M (kN・m)	M / Ma
評価部位 A	鉄筋コンクリート造	239.87	47.87	0.20
評価部位 B		85.08	67.25	0.79
評価部位 C		177.55	21.67	0.12
評価部位 D		214.88	16.38	0.08
評価部位 E		110.22	42.37	0.38
評価部位 F		66.58	14.91	0.22

評価対象部位		許容限界 Q _{AS} (kN)	せん断応力 Q (kN)	Q/Q _{AS}
評価部位 A	鉄筋コンクリート造	432.60	179.50	0.41
評価部位 B		207.29	66.10	0.32
評価部位 C		432.60	54.18	0.13
評価部位 D		387.54	70.19	0.18
評価部位 E		387.54	105.93	0.27
評価部位 F		162.23	99.41	0.61

(2) 評価のまとめ

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) に接続するトレンチは、各評価部位において許容限界 (短期許容応力) 以下であることを確認した。

これにより、トレンチが廃止措置計画用設計津波により浸水した場合でも、トレンチの健全性は確保された設計であることを確認した。

5.2 二重配管の確認

津波襲来時における、トレンチ内部に敷設された二重管の健全性を以下のとおり確認した。

5.2.1 二重管の健全性評価の概要

津波等によりトレンチが損傷し水が流入した際に、内部に敷設された二重管が外圧に対し機能を維持できることを確認するため、設計浸水深における静水圧を荷重として加えた際、その荷重が二重管の許容圧力を上回らないことを評価する。

5.2.2 評価方針

評価に当たっては高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチ内に敷設された二重管が廃止措置計画用設計津波による水圧を考慮した荷重に対して構造強度を有することを確認する。

表 5-2-2-1 評価項目

評価方針	評価項目	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	部材の健全性 (二重管)	配管に係る外圧（静水圧）が許容圧力以下であることを確認	許容圧力

5.2.3 適用基準

- (1) 日本産業規格 (JIS)
- (2) 発電用原子力設備規格「設計・建設規格 2005 年度版 (2007 追補版含む)」(JSME S NC1-2005/2007)

5.2.4 評価方法

(1) 評価対象

高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチ等は 3 か所あり、それぞれのトレンチ等の内部に敷設された移送用配管を内包する二重管外管に対して評価を実施する。

(2) 荷重

津波浸水時の静水圧については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における、トレンチ床スラブ高さから、廃止措置計画用設計津波高さまでの高さによる静水圧を考慮する。

(3) 使用材料

評価対象とする各配管について、使用材料を表 5-2-4-1 に示す。

表 5-2-4-1 対象配管の使用材料

トレンチ名	対象配管	材質
T21 トレンチ	G11-VU-1-550-5-2	SUS304L
連絡管路	VU-80-600-P23	SUS304L
T15 トレンチ	VU-78-80-F3	SUS304L

(4) 許容圧力

想定される津波の浸水深さに対する水頭圧を配管に加わる外圧と考え、健全性評価を実施する。トレンチ浸水時の水頭圧が二重管外管の板厚から算出した許容圧力を上回っていないことを確認する。許容圧力の算定式は「JSME S NC1-2005/2007 PPC-3411 直管(2) 外圧を受ける直管」を準用した以下の式を適用する。

$$t_s = \frac{3P_e D_0}{4B} \quad \text{より} \quad P_e = \frac{4Bt_s}{3D_0} \quad \text{と変形する}$$

- P_e : 許容圧力 (MPa)
- t_s : 製造上の最小厚さ (mm)
- D_0 : 管外径 (mm)
- B : 付録材料図 表 Part7 により定まる値

5.2.5 評価条件

評価条件を表 5-2-5-1 に示す。

表 5-2-5-1 静水圧の評価条件

記号	定義	数値	単位
トレンチ評価の諸元			
ρ_o	海水の単位体積重量	10.10	kN/m ³
h_T	廃止措置計画用設計津波高さ (T.P.)	13.6	m
T21 トレンチ			
D_0	二重管外管外径	558.8	mm
t	二重管外管板厚	9.5	mm
—	寸法許容誤差 ^{※1}	12.5	%
t_s	二重管外管最小厚さ ($t - (t \times \text{寸法許容誤差})$)	8.31	mm
L	配管長さ	65,861	mm
B	付録材料図 表 Part7 により定まる値 ^{※2}	24	—
h_1	トレンチ床スラブ高さ (T.P.)		m
P	津波浸水時の静水圧	116	kN/m ²
連絡管路			
D_0	二重管外管外径	609.6	mm
t	二重管外管板厚	9.0	mm
—	寸法許容誤差 ^{※1}	12.5	%
t_s	二重管外管最小厚さ ($t - (t \times \text{寸法許容誤差})$)	7.87	mm
L	配管長さ	20,579	mm
B	付録材料図 表 Part7 により定まる値 ^{※2}	18	—
h_1	トレンチ床スラブ高さ (T.P.)		m
P	津波浸水時の静水圧	51	kN/m ²
T15 トレンチ			
D_0	二重管外管外径	89.1	mm
t	二重管外管板厚	3.0	mm
—	寸法許容誤差 ^{※1}	12.5	%
t_s	二重管外管最小厚さ ($= t - (t \times \text{寸法許容誤差})$)	2.62	mm
L	配管長さ	24,185	mm
B	付録材料図 表 Part7 により定まる値 ^{※2}	62	—
h_1	トレンチ床スラブ高さ (T.P.)		m
P	津波浸水時の静水圧	105	kN/m ²

※1 : JIS G3468 配管用溶接大径ステンレス鋼鋼管より最大の負の許容差を適用

※2 : JSME S NC1-2005/2007 付録材料図 表 Part7 による読み取り値 (L/D₀, D₀/t_sに基づきチャートより B を読み取り)

5.2.6 評価結果

廃止措置計画用設計津波の浸水による水圧に対する、評価対象ごとの許容圧力と静水圧の比較を表 5-2-6-1 に示す。

表 5-2-6-1 二重管の健全性評価結果

評価対象	許容圧力 P_e (kN/m ²)	静水圧 P (kN/m ²)	P/P_e
T21 トレンチ	470	116	0.25
連絡管路	310	51	0.17
T15 トレンチ	2,430	105	0.05

5.2.7 評価のまとめ

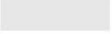
高放射性廃液貯蔵場（HAW）に接続するトレンチ及び連絡管路の内部に敷設された二重管は、廃止措置計画用設計津波の浸水による水圧に対し許容圧力以下であることを確認した。

これにより、トレンチ及び連絡管路が廃止措置計画用設計津波により浸水した場合においても、トレンチ及び連絡管路の内部に敷設された二重管が健全であることを確認した。

5.3 トレンチ等を除く壁貫通配管等の確認 変更なし

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強後について

1. 概要

本資料は、廃止措置計画変更認可申請書（令和2年5月29日付け令 02 原機（再）020）Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価において、許容限界を超える結果となった1階外壁南面  に対して、コンクリートの増打ち補強後の建家外壁の健全性評価を行うものである。評価対象とする外壁を図 1-1 に示す。

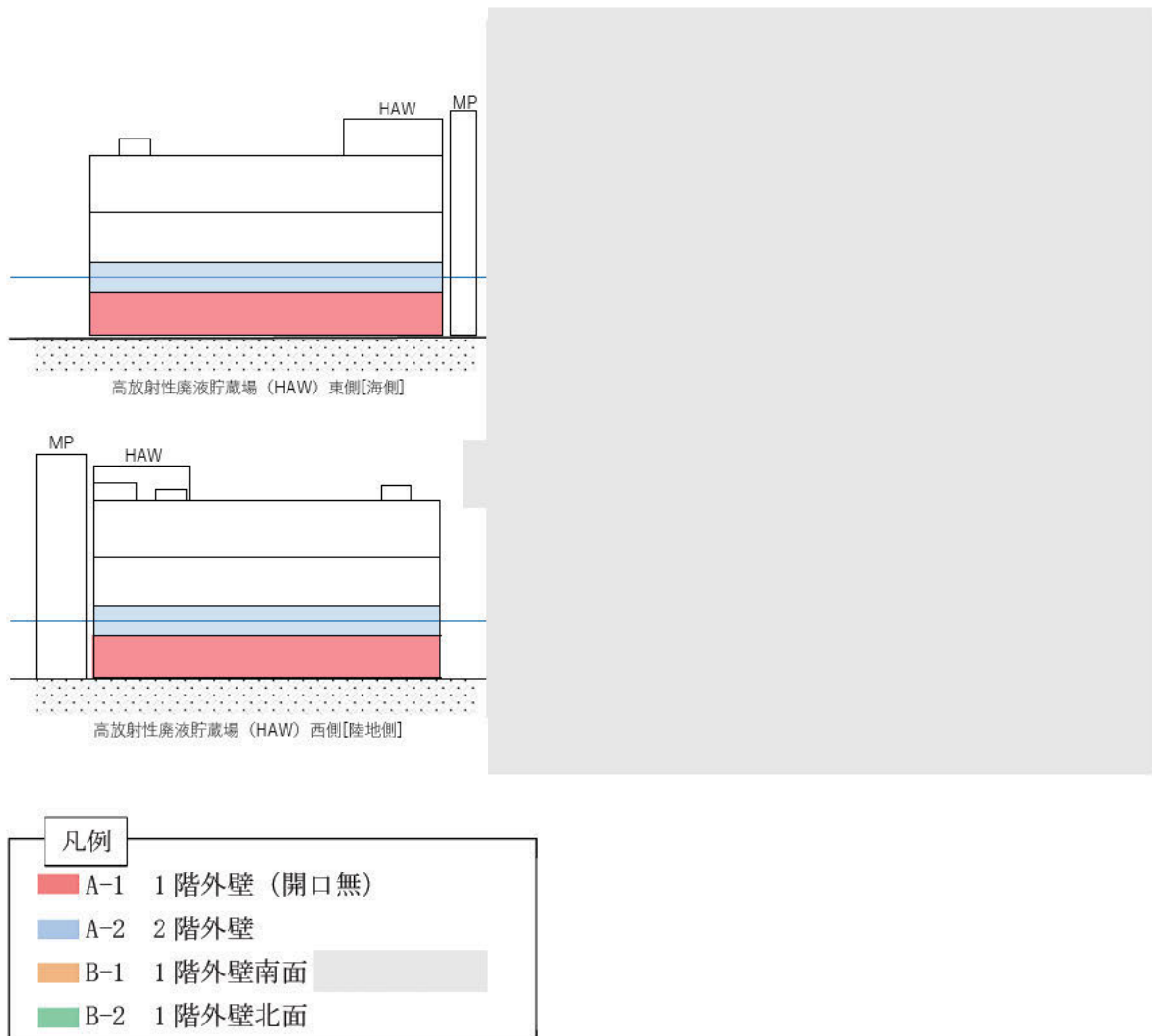


図 1-1 評価対象とする外壁

2. 一般事項

2.1 構造概要

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は、のほぼ正方形を成しており、の鉄筋コンクリート造の建家である。基礎は、直接基礎とし、基礎地盤である久米層（砂質泥岩）に設置されている。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）周辺において、地盤による拘束効果を高めるため、基礎地盤の深さまで地盤改良を実施する。

また、高放射性廃液貯蔵場（HAW）1階外壁南面は津波によりかかる応力が耐力を上回ることから、コンクリートの増打ち補強を行う。構造概要を図 2-1 に示す。

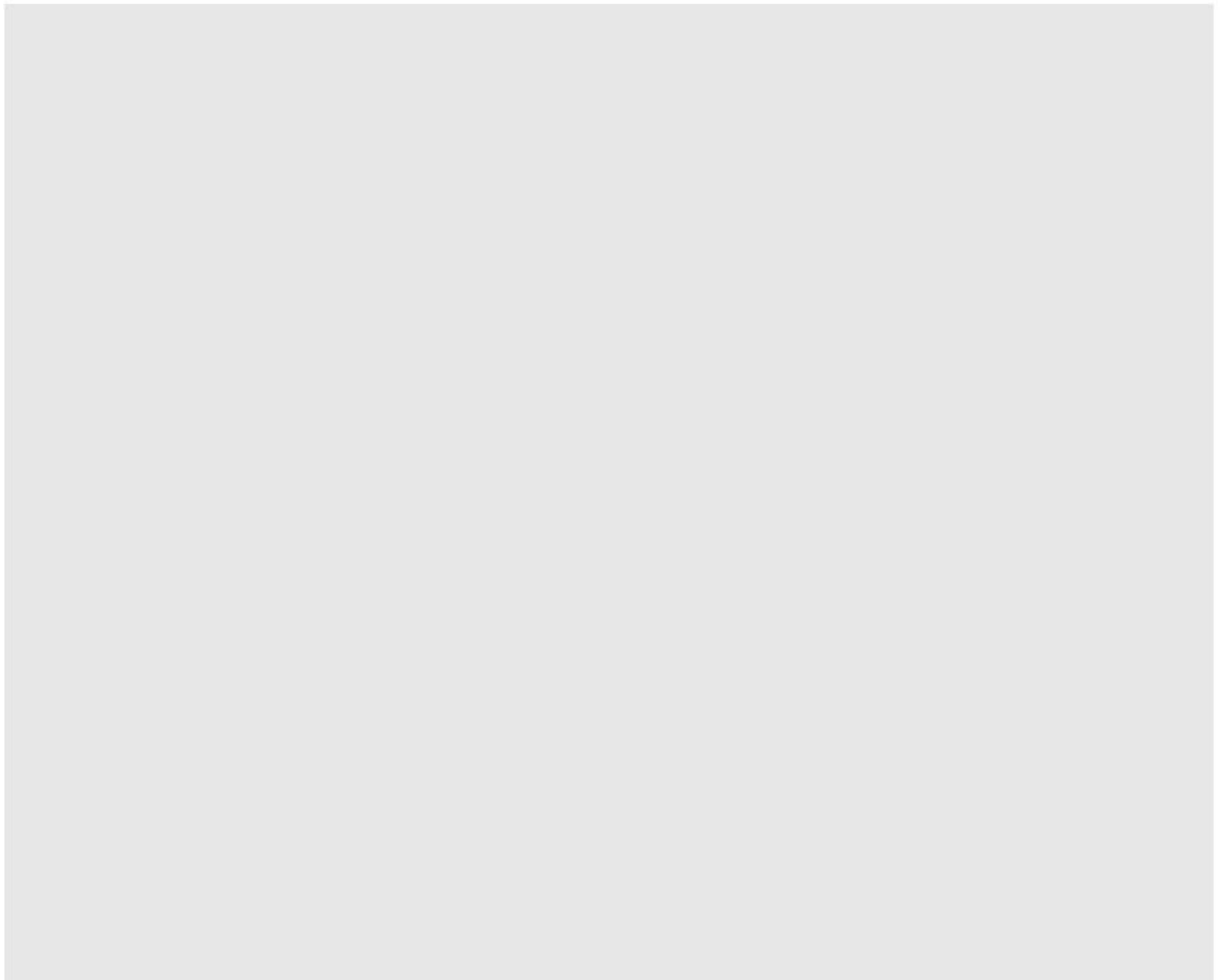


図 2-1 1階外壁南面

2.2 評価方針

廃止措置計画変更認可申請書（令和2年5月29日付け令 02 原機（再）020）別添 6-1-3-2「I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設の設計方針」に基づき、建家外壁が止水性を損なわないことを確認する。

2.3 適用基準

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価において、適用する基準等を以下に示す。

- (1) 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（2011年11月17日「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（技術的助言）」（国住指第2570号）の別添）
- (2) 津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料 第673号，平成24年）
- (3) 建築基準法・同施行令
- (4) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（建築行政情報センター・日本建築防災協会編集，2015年）
- (5) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018年）
- (6) 建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2015年）
- (7) 道路橋示方書・同解説 I 共通編，V 耐震設計編（日本道路協会，2017年）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価の計算に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価計算に用いる記号（1/2）

記号	定義
h	波力算定用津波高さ：G. L. +6.1 m (T. P. +12.1 m)
α	水深係数
h'	浮力算定用津波高さ：G. L. +7.6 m (T. P. +13.6 m)
α_{SR}	最大応答水平加速度
P	漂流物衝突荷重
W_1	漂流物重量
V_1	流速
Ma	建家外壁の短期許容曲げモーメント
a_t	既存断面の引張鉄筋断面積
f_t	引張鉄筋の短期許容引張応力度
j	応力中心間距離（7/8d）
d	部材の有効せい
T	鉄筋コンクリート外壁の壁厚
d_t	引張縁から引張鉄筋重心までの距離
Q_{AS}	建家外壁の短期許容せん断力
b	壁幅
f_s	コンクリートの短期許容せん断応力度
wf_t	せん断補強筋の短期許容引張応力度
p_w	せん断補強筋比
α'	せん断スパン比 $M/(Q \cdot d)$ による割増係数
M	建家外壁に生じる曲げモーメント
Q	建家外壁に生じるせん断力
z	水面からの浸水深

表 3-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の強度評価計算に用いる記号 (2/2)

記号	定義
l	壁高さ
h_1	G.L. ± 0 m から上階スラブ下端までの高さ
h_2	G.L. ± 0 m から対象階の床面上端までの高さ
h_3	h_2 から平方根分布荷重の重心位置までの高さ
P_1	平方根分布荷重の合力
M_s'	平方根分布荷重による曲げモーメント
Q_s'	平方根分布荷重によるせん断力
Q_s	三角形分布荷重によるせん断力
Q_e	等分布荷重によるせん断力
M_e'	余震による曲げモーメント
w_3	余震による等分布荷重
Q_e'	余震によるせん断力
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量
M_p	漂流物衝突荷重による曲げモーメント
Q_p	漂流物衝突荷重によるせん断力
g	重力加速度
M_w	静水圧による曲げモーメント
Q_w	静水圧によるせん断力
M_w'	動水圧による曲げモーメント
Q_w'	動水圧によるせん断力
M_R	波力による曲げモーメント
Q_R	波力によるせん断力
W	動水圧による層せん断力
ρ_o	海水の単位体積重量
k_h	水平震度
k	荷重増分係数
h_T	水深係数 (α) \times 波力算定用津波高さ (h)
M_s	三角形分布荷重による曲げモーメント
M_e	等分布荷重による曲げモーメント

3.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

① 津波による波力 (P_R)

津波による波力については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の地表面から波力算定用津波高さ h^{*1} までの高さを考慮して算定する。算定にあたっては、静水圧及び動水圧の影響として水深係数 $\alpha=3.0^{*2}$ を考慮する。

② 津波浸水時の浮力 (P_Q)

津波浸水時の浮力については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における基礎底面から浮力算定用津波高さ h^{*1} までの高さを考慮して算定する。

③ 津波浸水時の水圧 (P_W, P_W')

津波浸水時の水圧については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における地表面から浮力算定用津波高さ h^{*1} までの高さによる静水圧 (P_W) 及び動水圧 (余震時 (P_W')) を考慮する。

④ 余震による荷重 (P_E)

余震による荷重として、別添 6-1-3-2「II 余震による地震応答解析」の応答値 (加速度, せん断力, 転倒モーメント, 最大応答軸力) による慣性力を考慮する。

⑤ 漂流物衝突荷重 (P_P)

津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある漂流物として、防砂林 (0.55 t の流木) ^{*3} を想定する。流木は、津波漂流物防護柵への衝突等によりエネルギーを失った後に、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の建家外壁等に到達すると考えられる。このため、流木等が河川の橋脚に衝突する状況を想定した衝突力を評価する「道路橋示方書・同解説 I 共通編, V 耐震設計編」 (以下「道路橋示方書」という。) の算定式に基づく荷重を考慮する。

⑥ 風荷重

風荷重については、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) の規定に基づき組合せを考慮しない。

⑦ 積雪荷重

積雪荷重については、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) の規定に基づき特定行政庁が指定する区域に該当しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を参考として、津波到達時に生じる津波による波力と余震による荷重及び津波による波力と漂流物衝突荷重の同時作用を考慮する。上記2ケースに加えて、津波到達後、建家の周囲が浸水することから、浸水時の浮力と余震による荷重及び水圧の同時作用を考慮する。

表 3-2 に荷重の組合せ、表 3-3 に荷重算定条件を示す。

① ケース 1 (浮力+余震+水圧, $P_Q + P_E + P_W + P_W'$)

津波到達後、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の周囲が浸水した状況において、余震が発生することを想定する。外力として津波浸水時の浮力と静水圧、動水圧 (余震時) 及び余震による慣性力を同時に作用させる。静水圧 (P_W) は、建家両側から作用するため、保有水平耐力と接地圧の評価時は考慮しない。

② ケース 2 (波力+余震, $P_R + P_E$)

津波到達時に、余震が発生することを想定する。外力として津波による波力と余震による慣性力を同時に作用させる。地下水位による浮力を考慮する。

③ ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重, $P_R + P_P$)

津波到達時に、漂流物が衝突することを想定する。外力として津波による波力と漂流物衝突荷重を同時に作用させる。地下水位による浮力を考慮する。

表 3-2 荷重の組合せ

荷重の組合せ	
<p>ケース 1 (浮力+余震+水圧, $P_Q + P_E + P_w + P_w'$)</p> <p>津波到達後、建家周囲が浸水した状況において、余震が発生することを想定する。</p>	<p>▽浮力算定用津波高さ I.P.+13.6 m</p> <p>▽地表面 I.P.+6.0 m</p> <p>基礎底面</p> <p>※静水圧は建家両側から作用するため、保有水平耐力と接地圧の評価時は考慮しない。</p>
<p>ケース 2 (波力+余震, $P_R + P_E$)</p> <p>津波到達時、余震が発生することを想定する。</p>	<p>▽波力算定用津波高さ I.P.+12.1 m</p> <p>▽地表面 I.P.+6.0 m</p> <p>基礎底面</p>
<p>ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重, $P_R + P_P$)</p> <p>津波到達時、漂流物が衝突することを想定する。</p>	<p>▽波力算定用津波高さ I.P.+12.1 m</p> <p>▽地表面 I.P.+6.0 m</p> <p>基礎底面</p>

表 3-3 荷重算定条件

荷重の組合せ	荷重算定条件
ケース 1 (浮力+余震+水圧, $P_Q + P_E + P_w + P_w'$)	○浮力 浮力算定用津波高さ : T. P. +13.6 m ^{※1} 海水の単位体積重量 : 10.1 kN/m ³ ○余震 (Sd-D) 水平加速度 (α_{SR}) : 5.0 m/s ^{2※4} ○水圧 浮力算定用津波高さ : T. P. +13.6 m ^{※1} 水平震度 (k_h) : 0.5 ^{※4}
ケース 2 (波力+余震, $P_R + P_E$)	○波力 波力算定用津波高さ : T. P. +12.1 m ^{※1} 海水の単位体積重量 : 10.1 kN/m ³ ○余震 (Sd-D) 水平加速度 (α_{SR}) : 5.0 m/s ^{2※4}
ケース 3 (波力+漂流物衝突荷重, $P_R + P_P$)	○波力 波力算定用津波高さ : T. P. +12.1 m ^{※1} 海水の単位体積重量 : 10.1 kN/m ³ ○漂流物 代表漂流物 : 0.55 t の流木 ^{※3} 算定式 : 道路橋示方書 $P = 0.1 \times W_1 \times V_1 = 2.8 \text{ kN}$ $W_1 : \text{流送物の重量}$ $\text{(漂流物重量) } 5.4 \text{ kN}$ $V_1 : \text{表面流速 } 5.2 \text{ m/s}^{\text{※1}}$

※1 廃止措置計画変更認可申請書 (令和 2 年 5 月 29 日付け令 02 原機 (再) 020) 別添 6-1-3-1 「Ⅲ 入力津波の設定」

浮力算定用津波高さ : 入力津波の最高水位

波力算定用津波高さ : 進行波による津波高さ

※2 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 (国総研資料第 673 号, 平成 24 年)

※3 船舶や車両等の大型の漂流物に対しては, 津波漂流物防護柵の設置等の対策により捕捉し, 建家外壁への到達を防止する。流木や瓦礫等の比較的小型の漂流物は, 建家外壁に到達することを考慮する。廃止措置計画変更認可申請書 (令和 2 年 5 月 29 日付け令 02 原機 (再) 020) 別添 6-1-3-1 「Ⅴ 漂流可能性のある漂流物の選定 3.2 津波防護施設において考慮すべき代表漂流物」

※4 廃止措置計画変更認可申請書 (令和 2 年 5 月 29 日付け令 02 原機 (再) 020) 別添 6-1-3-2 「Ⅱ 余震による地震応答解析」

3.3 許容限界

(1) 使用材料

建家外壁の許容限界は、要求機能が止水性の確保であること及び津波後の再使用性を考慮して短期許容応力とする。

使用材料を表 3-4、表 3-5 に示す。強度評価に用いる使用材料は既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その 25）」に基づき設定する。

表 3-4 使用材料（既設）

使用材料	短期許容応力度
コンクリート 設計基準強度： $F_c 20.6 \text{ N/mm}^2$ ($F_c 210 \text{ kgf/cm}^2$)	せん断 1.03 N/mm^2
鉄筋 SD30 ($F = 3000 \text{ kgf/cm}^2$)	引張 295 N/mm^2

表 3-5 使用材料（新設）

使用材料	短期許容応力度
コンクリート 設計基準強度： $F_c 24.0 \text{ N/mm}^2$	せん断 1.09 N/mm^2
鉄筋 SD295A	引張 295 N/mm^2

(2) 建家外壁の短期許容応力

建家外壁の許容限界は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき算定する。

短期許容曲げモーメント (M_a) 及び短期許容せん断力 (Q_{AS}) の算定式を以下に示す。

$$M_a = a_t f_t j$$

- M_a : 短期許容曲げモーメント
- a_t : 既存断面の引張鉄筋断面積
- f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度
- j : 応力中心間距離 ($7/8d$)
- d : 部材の有効せい

$$d = T - d_t$$

- T : 鉄筋コンクリート外壁の壁厚
- d_t : 引張縁から引張鉄筋重心までの距離

$$Q_{AS} = bj \left\{ \frac{2}{3} \alpha' f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002) \right\}$$

ただし, $\alpha' = \left(\frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \right)$ かつ $(1 \leq \alpha' \leq 2)$

- Q_{AS} : 短期許容せん断力
- b : 壁幅
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度
- wf_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度
- p_w : せん断補強筋比
- α' : せん断スパン比 $M/(Q \cdot d)$ による割増係数
- M : 建家外壁に生じる曲げモーメント
- Q : 建家外壁に生じるせん断力

3.4 評価方法

(1) 建家外壁の健全性評価

建家外壁は上下階のスラブで拘束されているため、両端固定の一方向版として検討することとし、単位幅による評価を基本とする。

各荷重の組合せに対して、対象とする建家外壁に生じる応力を算定し、短期許容曲げモーメント (M_a) と、短期許容せん断力 (Q_{AS}) との比較を行う。

① ケース1 (浮力+余震+水圧)

a. 余震の慣性力による応力

余震の慣性力による応力は下式により算定する。

余震による曲げモーメント Me'

$$Me' \text{ (中央)} = \frac{w_3 \cdot l^2}{24}$$

$$Me' \text{ (下端)} = \frac{w_3 \cdot l^2}{12}$$

余震によるせん断力 Qe'

$$Qe' = \frac{w_3 \cdot l}{2}$$

w_3 : 余震による荷重

$$w_3 = \frac{\rho \cdot T \cdot \alpha_{SR}}{g}$$

ρ : 鉄筋コンクリートの単位体積重量

T : 鉄筋コンクリート外壁の壁厚

α_{SR} : 最大応答加速度

l : 壁高さ

g : 重力加速度

b. 津波浸水時の静水圧による応力

津波浸水時の静水圧による応力算定の考え方を図3-8に示す。台形分布荷重を三角形分布荷重と等分布荷重の応力の足し合わせにより求める。算定式を以下に示す。

静水圧による曲げモーメント M_W

$$M_W = M_s + M_e$$

M_s : 三角形分布荷重による曲げモーメント

M_e : 等分布荷重による曲げモーメント

三角形分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_s \text{ (中央)} = 0.043l \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

$$M_s \text{ (下端)} = \frac{l}{10} \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_e \text{ (中央)} = \rho_o(h' - h_1) \frac{l^2}{24}$$

$$M_e \text{ (下端)} = \rho_o(h' - h_1) \frac{l^2}{12}$$

静水圧によるせん断力 Q_w

$$Q_w = Q_s + Q_e$$

Q_s : 三角形分布荷重によるせん断力

Q_e : 等分布荷重によるせん断力

三角形分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_s = \frac{7}{10} \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_e = \rho_o (h' - h_1) \frac{l}{2}$$

l : 壁高さ

h_1 : G. L. ± 0 m から上階のスラブ下端までの高さ

h' : 浮力算定用津波高さ

ρ_o : 海水の単位体積重量

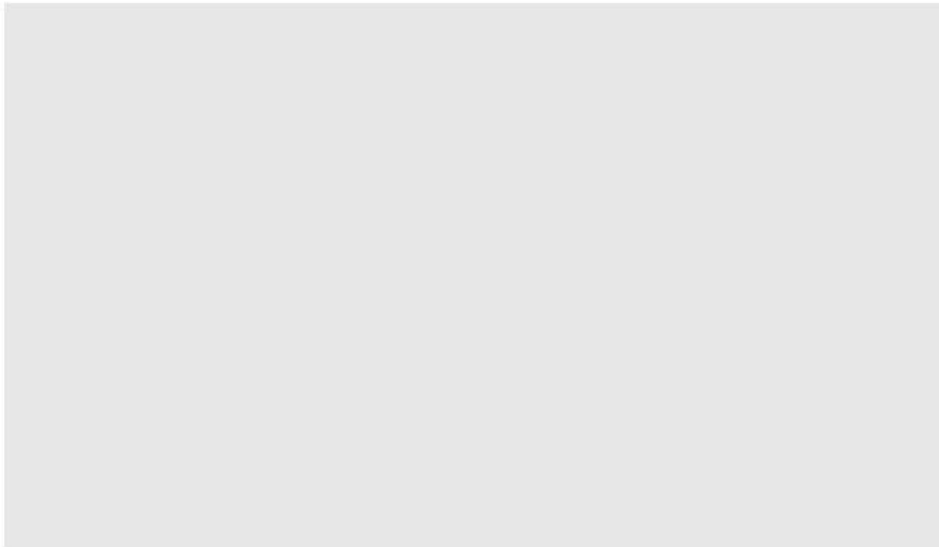


図 3-8 建家外壁の津波浸水時の静水圧による応力算定の考え方

c. 津波浸水時の動水圧による応力

津波浸水時の動水圧による応力算定の考え方を図3-9に示す。算定式を以下に示す。

動水圧による曲げモーメント M_W'

$$M_W' = M_s' + M_e$$

M_s' : 平方根分布荷重による曲げモーメント

M_e' : 等分布荷重による曲げモーメント

平方根分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_s' \text{ (中央)} = 2 \cdot P_1 \cdot h_3^2 \cdot (l - h_3)^2 / l^3$$

$$M_s' \text{ (下端)} = P_1 \cdot h_3 \cdot (l - h_3)^2 / l^2$$

M_s' (中央) : 中央の平方根分布荷重による曲げモーメント

M_s' (下端) : 下端の平方根分布荷重による曲げモーメント

$$P_1 = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h'} \times \int_{h'-h_1}^{h'-h_2} (\sqrt{z} - \sqrt{h' - h_1}) dz$$

P_1 : 平方根分布の合力

l : 壁高さ

h_3 : h_2 から平方根分布荷重の重心位置までの高さ
($l = 3.99 \text{ m}$ の場合, $h_3 = 1.37 \text{ m}$)

ρ_0 : 海水の単位体積重量

k_h : 水平震度

h' : 浮力算定用津波高さ

h_2 : G. L. $\pm 0 \text{ m}$ から対象階の床面上端までの高さ

z : 水面からの浸水深

h_1 : G. L. $\pm 0 \text{ m}$ から上階のスラブ下端までの高さ

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_e \text{ (中央)} = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot (h' - h_1)} \times \frac{l^2}{24}$$

$$M_e \text{ (下端)} = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot (h' - h_1)} \times \frac{l^2}{12}$$

動水圧によるせん断力 Q_w'

$$Q_w' = Q_s' + Q_e$$

Q_s' : 平方根分布荷重によるせん断力

Q_e : 等分布荷重によるせん断力

平方根分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_s' = P_1 \cdot (l - h_3)^2 \cdot (2 \cdot h_3 + l) / l^3$$

等分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_e = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot (h' - h_1)} \times \frac{l}{2}$$

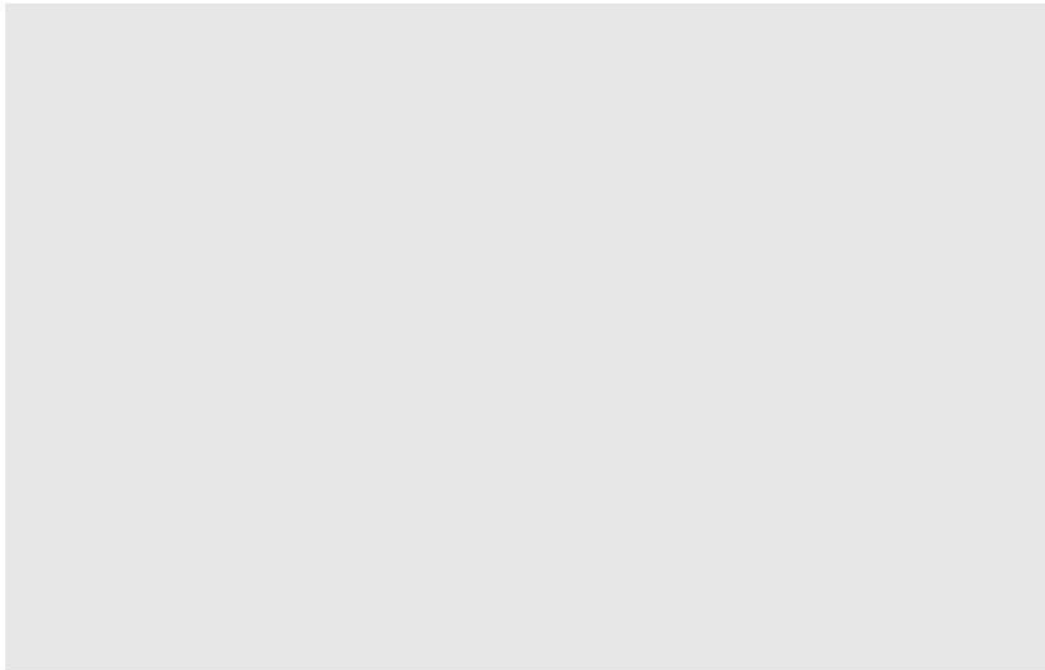


図 3-9 建家外壁の津波浸水時の動水圧による応力算定の考え方

② ケース2 (波力+余震)

余震による応力は「①ケース1 (浮力+余震+水圧) a. 余震の慣性力による応力」と同様に算定する。

a. 波力による応力

波力による曲げモーメント及びせん断力の算定の考え方を、図3-10に示す。台形分布荷重を、三角形分布荷重と等分布荷重の応力の足し合わせにより求める。算定式を以下に示す。

波力による曲げモーメント M_R

$$M_R = M_s + M_e$$

M_s : 三角形分布荷重による曲げモーメント

M_e : 等分布荷重による曲げモーメント

三角形分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_s \text{ (中央)} = 0.043l \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

$$M_s \text{ (下端)} = \frac{l}{10} \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$M_e \text{ (中央)} = \rho_o (h_T - h_1) \frac{l^2}{24}$$

$$M_e \text{ (下端)} = \rho_o (h_T - h_1) \frac{l^2}{12}$$

波力によるせん断力 Q_R

$$Q_R = Q_s + Q_e$$

Q_s : 三角形分布荷重によるせん断力

Q_e : 等分布荷重によるせん断力

三角形分布荷重によるせん断力算定式

$$Q_s = \frac{7}{10} \left\{ \rho_o \frac{l^2}{2} \right\}$$

等分布の荷重によるせん断力算定式

$$Q_e = \rho_o (h_T - h_1) \frac{l}{2}$$

l : 壁高さ

h_1 : G. L. ± 0 m から上階スラブ下端までの高さ

h_T : 水深係数 (α) \times 波力算定用津波高さ (h)

ρ_o : 海水の単位体積重量

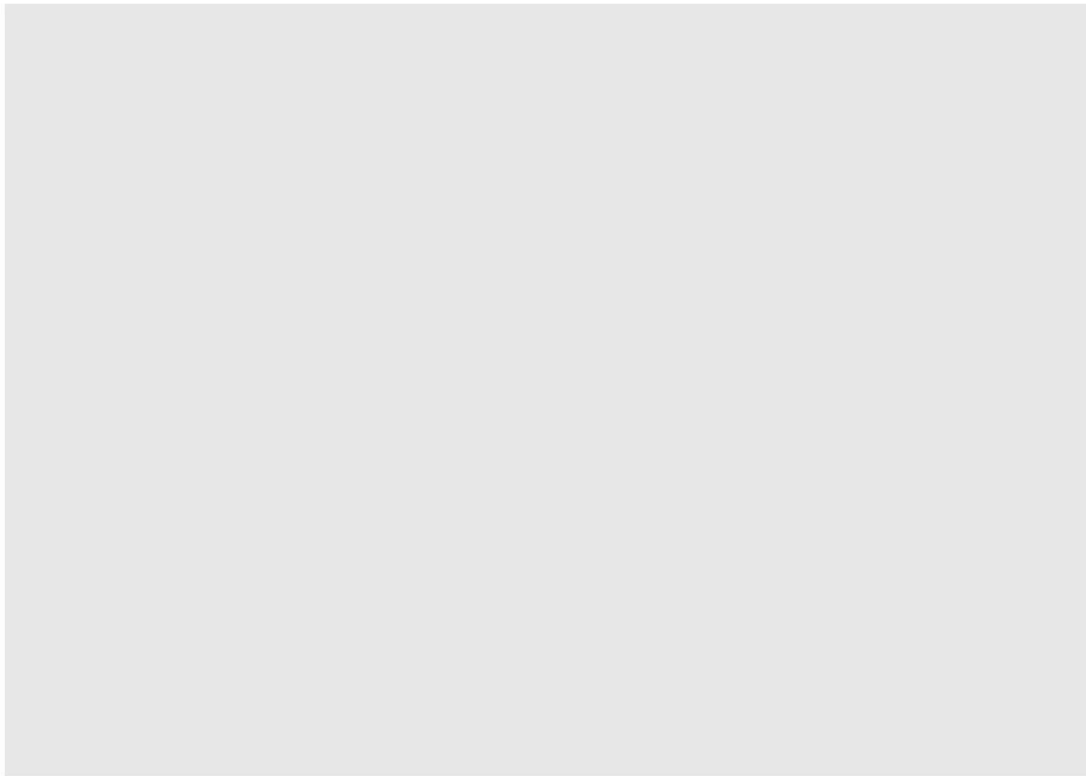


図 3-10 建家外壁の波力による応力算定の考え方

③ ケース3 (波力+漂流物衝突荷重)

波力による応力は「②ケース2 (波力+余震) a. 波力による応力」と同様に算定する。

a. 漂流物の衝突による応力

漂流物衝突荷重の作用位置は、検討内容に応じて保守的となるように設定する。

図3-11に漂流物衝突荷重の作用位置設定の考え方を示す。

漂流物衝突荷重は、部材端部の曲げ検討時には部材下端部から壁高さの1/3の位置に、部材中央の曲げ検討時には中央に作用させる。

せん断検討時には、対象部材の端部に作用させる。

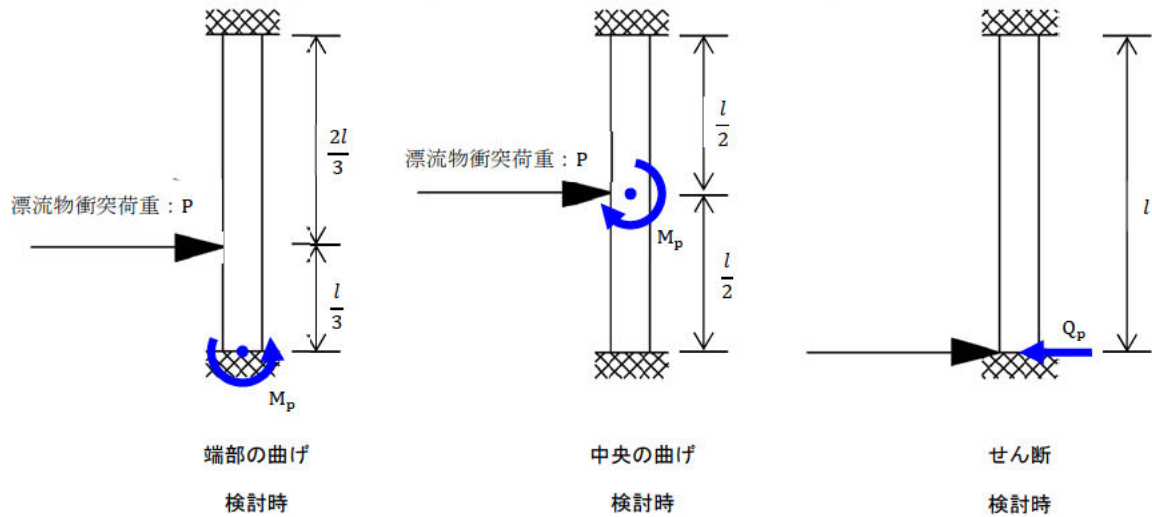


図 3-11 漂流物衝突荷重の作用位置設定の考え方

漂流物衝突荷重による応力は下式により算定する。

漂流物衝突荷重による曲げモーメント M_p

$$M_p \text{ (下端)} = \frac{4Pl}{27}$$

$$M_p \text{ (中央)} = \frac{Pl}{8}$$

P : 漂流物衝突荷重

l : 壁高さ

漂流物衝突荷重によるせん断力 Q_p

$$Q_p = P$$

④ 開口部周辺の応力評価

開口部を有する外壁について、壁補強による開口幅変更を考慮した有効負担幅により評価を行う。

各荷重の組合せ荷重による応力は、単位幅の外壁の荷重に荷重増分係数を乗じて算定する（漂流物衝突荷重を除く）。

a. 有効負担幅

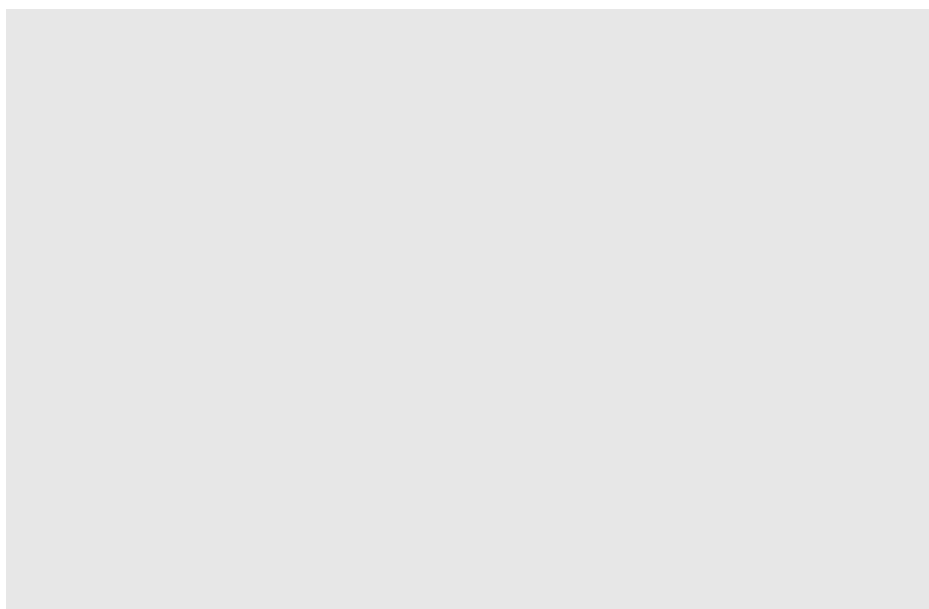
外壁の両側が開口部に接する外壁については、開口部間の外壁の幅を有効負担幅とする。

外壁の片側が開口部に接する外壁については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」を踏まえ、開口端から壁厚さの2倍の範囲を有効負担幅とする。

b. 荷重増分係数

荷重増分係数の考え方を図3-12及び図3-13に示す。

荷重増分係数は、単位幅の外壁に対する有効負担幅と開口幅の1/2との和の比率とする。



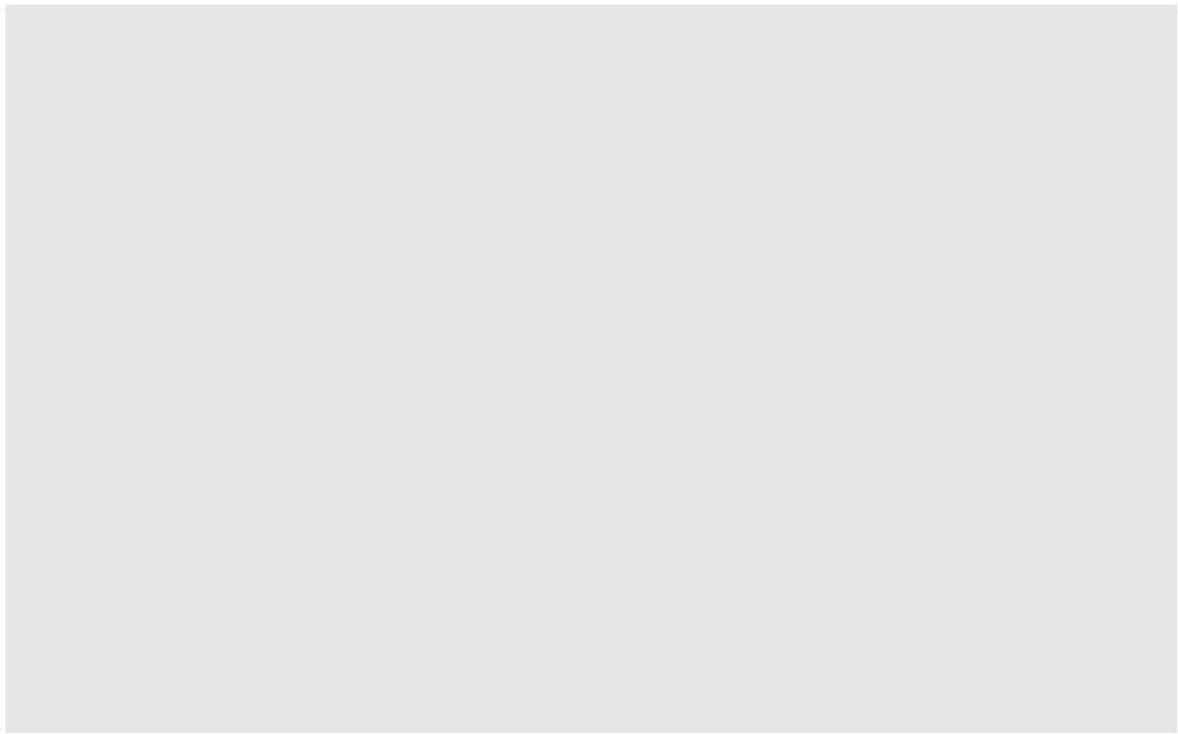


図 3-12 開口部を有する外壁の荷重増分係数の考え方 (1階外壁南面)

4. 評価条件

4.1 各ケース共通評価条件

各ケースの評価に用いる共通の評価条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 各ケース共通評価条件

記号	定義	数値	単位
l	壁高さ		m
T	鉄筋コンクリート外壁の既存壁厚		m
—	鉄筋コンクリート外壁の既存壁筋	D22@200D	—
—	鉄筋コンクリート外壁の B-1a, B-1b () の既存開口補強筋	B-1a 1階外壁南面 () : 6-D22	
—		B-1b 1階外壁南面 () : 6-D22	
—	鉄筋コンクリート外壁の補強壁筋	D22@200	—
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量	24.0	kN/m ³
ρ_0	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
h'	浮力算定用津波高さ ^{※1}	7.6	m
h	波力算定用津波高さ ^{※1}	6.1	m
α	水深係数 ^{※2}	3	—
h_T	水深係数×波力算定用津波高さ	18.3	m
k_h	水平震度 ^{※4}	0.5	—
α_{SR}	最大応答加速度 ^{※4}	5.0	m/s ²

※1 別添 6-1-3-1 「Ⅲ 入力津波の選定」

※2 津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料第 673 号，平成 24 年）

※4 別添 6-1-3-2 「Ⅱ 余震による地震応答解析」

※5 1階外壁南面の評価部位 B-1a 部の壁高さは，床増打補強により () とする。

4.2 ケース1（浮力+余震+水圧）の評価条件

ケース1（浮力+余震+水圧）の評価に用いる条件を表4-2に示す。

表4-2 ケース1（浮力+余震+水圧）の評価条件

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：B-1a 1階外壁南面（ ）			
k	荷重増分係数	2.890	—
M_e'	余震による曲げモーメント	49.3	kN・m
M_w	静水圧による曲げモーメント	213.9	kN・m
M_w'	動水圧による曲げモーメント	122.4	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	74.1	kN
Q_w	静水圧によるせん断力	344.9	kN
Q_w'	動水圧によるせん断力	173.1	kN
評価部位：B-1b 1階外壁南面（ ）			
k	荷重増分係数	2.575	—
M_e'	余震による曲げモーメント	37.6	kN・m
M_w	静水圧による曲げモーメント	190.6	kN・m
M_w'	動水圧による曲げモーメント	109.1	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	56.6	kN
Q_w	静水圧によるせん断力	307.3	kN
Q_w'	動水圧によるせん断力	154.3	kN

4.3 ケース2（波力+余震）の評価条件

ケース2（波力+余震）検討時の評価に用いる条件を表4-3に示す。

表4-3 ケース2（波力+余震）の評価条件

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：B-1a 1階外壁南面（  ）			
k	荷重増分係数	2.890	—
M_R	波力による曲げモーメント	638.3	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	49.3	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	968.0	kN
Q_e'	余震によるせん断力	74.1	kN
評価部位：B-1b 1階外壁南面（  ）			
k	荷重増分係数	2.575	—
M_R	波力による曲げモーメント	559.8	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	37.6	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	862.5	kN
Q_e'	余震によるせん断力	56.6	kN

4.4 ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の評価条件

ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の評価に用いる条件を表4-4に示す。

表4-4 ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の評価条件

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：B-1a 1階外壁南面（  ）			
k	荷重増分係数	2.890	—
M_R	波力による曲げモーメント	628.3	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	968.0	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN
評価部位：B-1b 1階外壁南面（  ）			
k	荷重増分係数	2.575	—
M_R	波力による曲げモーメント	559.8	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	862.5	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN

5. 評価結果

5.1 ケース1（浮力+余震+水圧）の強度評価結果


ケース1（浮力+余震+水圧）に対する建家外壁の健全性評価結果を表5-1に示す。補強した1階外壁南面（）の応力は検討断面2箇所共に短期許容応力以下であった。

表 5-1 建家外壁評価結果ケース1（浮力+余震+水圧）

評価対象部位		短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	曲げモーメント M (kN・m)	検定比 M/Ma
B-1a 1階外壁南面		962.2	385.6	0.40
B-1b 1階外壁南面		677.5	337.3	0.50

評価対象部位		短期許容せん断力 Q _{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q _{AS}
B-1a 1階外壁南面		1285.8	592.1	0.46
B-1b 1階外壁南面		1222.1	518.2	0.42

5.2 ケース2（波力+余震）の強度評価結果


ケース2（波力+余震）に対する建家外壁の健全性評価結果を表5-2に示す。補強した1階外壁南面（）の応力は検討断面2箇所共に短期許容応力以下であった。

表5-2 建家外壁の健全性評価結果ケース2（波力+余震）

評価対象部位		短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	曲げモーメント M (kN・m)	検定比 M/Ma
B-1a 1階外壁南面		962.2	677.5	0.70
B-1b 1階外壁南面		677.5	597.4	0.88

評価対象部位		短期許容せん断力 Q _{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q _{AS}
B-1a 1階外壁南面		1285.8	1042.1	0.81
B-1b 1階外壁南面		1222.1	919.1	0.75

5.3 ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の強度評価結果


ケース3（波力+漂流物衝突荷重）に対する建家外壁の健全性評価結果を表5-3に示す。補強した1階外壁南面（）の応力は検討断面2箇所共に短期許容応力以下であった。

表5-3 建家外壁の健全性評価結果ケース3（波力+漂流物衝突荷重）

評価対象部位		短期許容曲げモーメント Ma (kN・m)	曲げモーメント M (kN・m)	検定比 M/Ma
B-1a 1階外壁南面		962.2	629.9	0.65
B-1b 1階外壁南面		677.5	561.4	0.83

評価対象部位		短期許容せん断力 Q _{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q _{AS}
B-1a 1階外壁南面		1285.8	970.8	0.76
B-1b 1階外壁南面		1222.1	865.3	0.71

5.4 評価のまとめ

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は、ケース 1（浮力＋余震＋水圧）、ケース 2（波力＋余震）、ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）の荷重条件に対して、建屋外壁の検定比は最大 0.88 であり、許容限界（短期許容応力）以下であることを確認した。