

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-3-015-5 改2
提出年月日	2020年7月30日

V-3-別添 3-1-5 水密扉の強度計算書

K7 ① V-3-別添 3-1-5 R0

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

V-3-別添 3-1-5 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	6
2.4 評価方針	7
2.5 適用規格・基準等	9
2.6 記号の説明	10
3. 強度評価方法	11
3.1 評価対象部位	11
3.2 荷重及び荷重の組合せ	14
3.2.1 荷重の設定	14
3.2.2 荷重の組合せ	17
3.3 許容限界	18
3.3.1 使用材料	18
3.3.2 許容限界	19
3.4 評価方法	21
3.4.1 応力算定	21
3.4.2 断面検定	29
3.5 評価条件	32
3.6 評価結果	33

1. 概要

本資料は、V-3-別添 3-1-1「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タービン建屋に設置する水密扉が、津波の冠水に伴う津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、浸水防護重点化範囲であるタービン建屋内に津波が侵入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、津波荷重については、敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

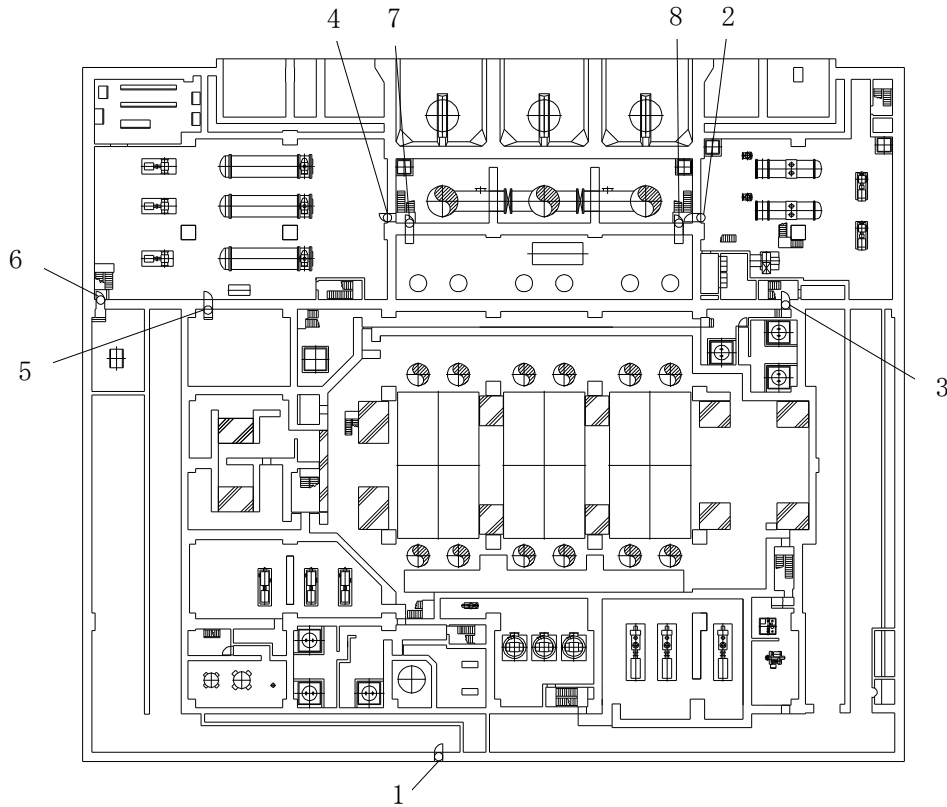
検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	設置高さ
		T. M. S. L.
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	-5.1m
2	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉	-4.8m
3	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	-4.8m
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉1	-4.8m
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉2	-4.8m
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉3	-4.8m
7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	-5.1m
8	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	-5.1m
9	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	-1.1m
10	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	-1.1m
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉	-1.1m
12	循環水配管メンテナンス室 水密扉1	-1.1m
13	循環水配管メンテナンス室 水密扉2	-1.1m
14	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉2	3.5m
15	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉	3.5m

2.2 配置概要

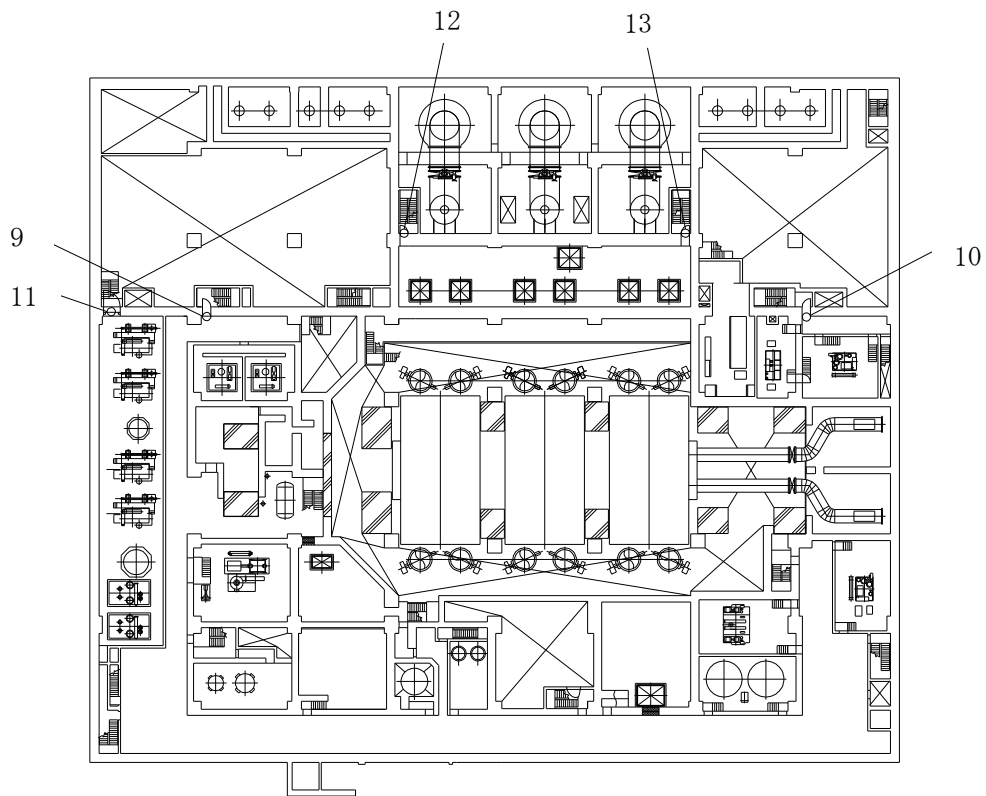
水密扉の設置位置図を図 2-1 に示す。



K7 ① V-3-別添 3-1-5 R0

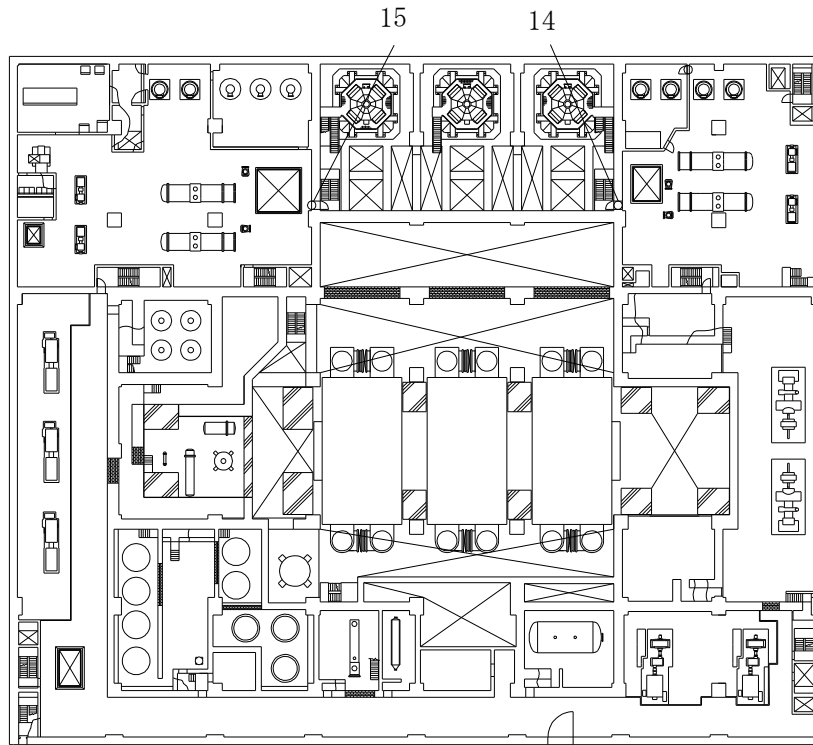
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)
2	原子炉補機冷却水系 熱交換器・ポンプ室 水密扉
3	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉 1
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉 2
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉 3
7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 1
8	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 2

図 2-1 (1/3) 水密扉の設置位置図 (タービン建屋地下2階)



9	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉
10	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉
12	循環水配管メンテナンス室 水密扉 1
13	循環水配管メンテナンス室 水密扉 2

図 2-1 (2/3) 水密扉の設置位置図 (タービン建屋地下中2階)




14	原子炉補機冷却水系	熱交換器・ポンプ室	水密扉 2
15	原子炉補機冷却水系	熱交換器・ポンプ室	水密扉

図 2-1 (3/3) 水密扉の設置位置図 (タービン建屋地下 1 階)

2.3 構造計画

水密扉は、片開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、閉鎖状態において締付装置により固定され水密性を確保しており、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。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

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>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込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と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、扉閉止時には、締付装置により扉と扉枠が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躯体へ固定する構造とする。</p>	

2.4 評価方針

水密扉の強度評価は、V-3-別添 3-1-1「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、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 2-2 に示す。水密扉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、扉板及び芯材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、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通りに呼ぶこととする。

- (a)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
- (b)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
- (c)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

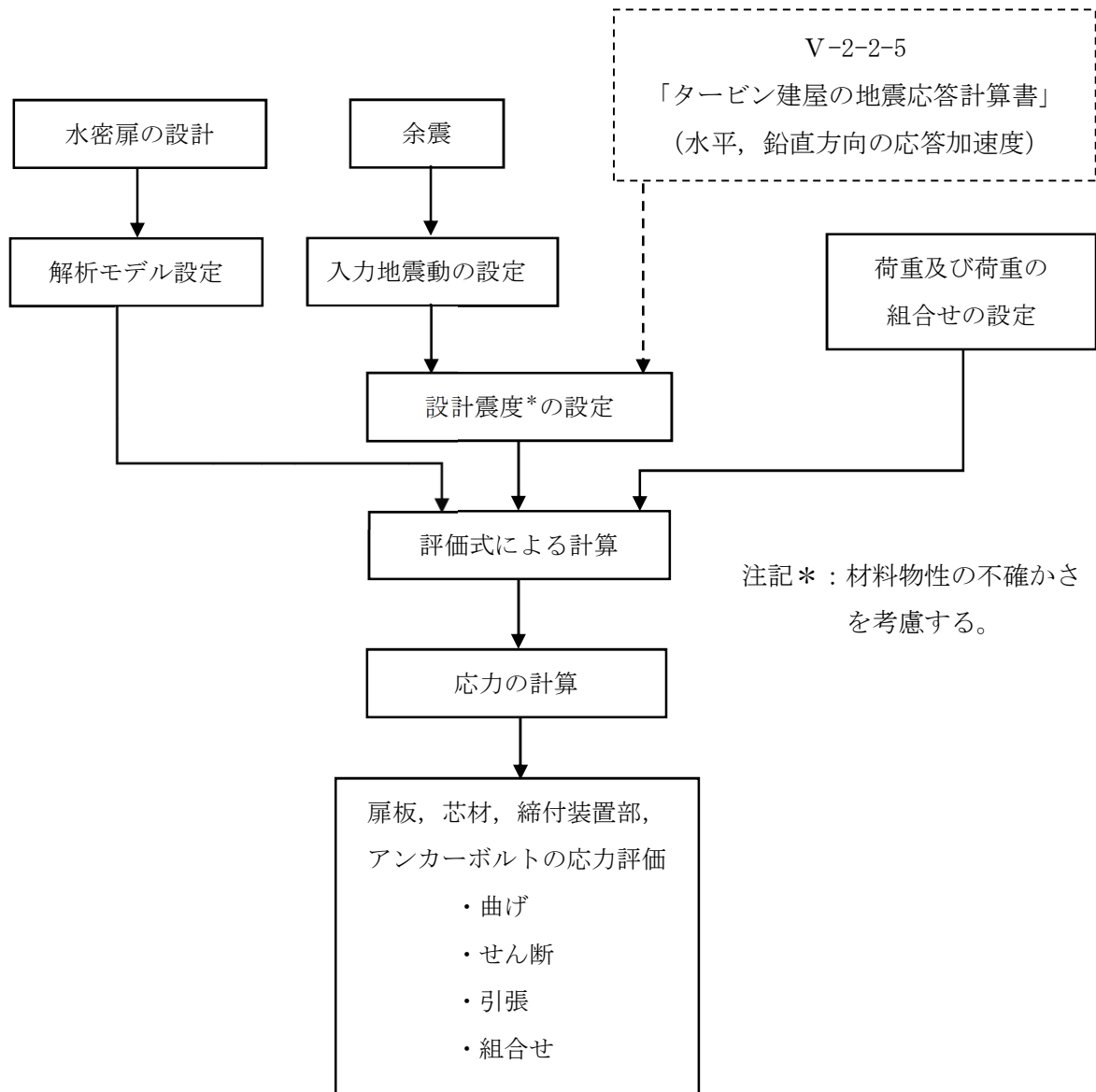


図 2-2 水密扉の強度評価フロー

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・同施行令
- ・ 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－
（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 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）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 日本工業規格（J I S）

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

記号	単位	定義
h	mm	当該扉の浸水深さ
ρ_o	t/m ³	水の密度
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
ρ_s	t/m ³	扉板の密度
W_D	kN	扉重量
Z_1	mm ³	扉板の断面係数
w_1	kN/m ²	扉上端に作用する津波荷重
w_2	kN/m ²	扉下端に作用する津波荷重
w_D	kN/m ²	扉下端に作用する津波荷重及び余震を考慮した荷重
w'	kN/m	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	芯材の支持スパン
Z_2	mm ³	芯材の断面係数
A_s	mm ²	芯材のせん断断面積
n_2	本	締付装置の本数
L_5	mm	締付装置の突出長さ
L_p	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離
b'	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ
n_b	本	締付装置受けボルトの本数
L_1	mm	躯体開口部の高さ
L_2	mm	躯体開口部の幅
M	kN・m	曲げモーメント
T	kN	引張力
Q	kN	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
P	kN/m ²	動水圧荷重
S_d	kN/m ²	余震による地震荷重
m	kg/m	芯材の質量分布
Q_d	kN	アンカーボルト1本当りのせん断力
T_d	kN	アンカーボルト1本当りの引張力
Q_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力
T_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容引張力
n	本	片側(左右もしくは上下)のアンカーボルトの本数

3. 強度評価方法

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浸水津波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内部から生じる浸水津波荷重は、扉板から芯材に伝わり、締付装置部(締付装置、締付装置受けピン、締付装置受けボルト)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、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材、締付装置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又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、ヒンジは浸水津波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, 4 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。

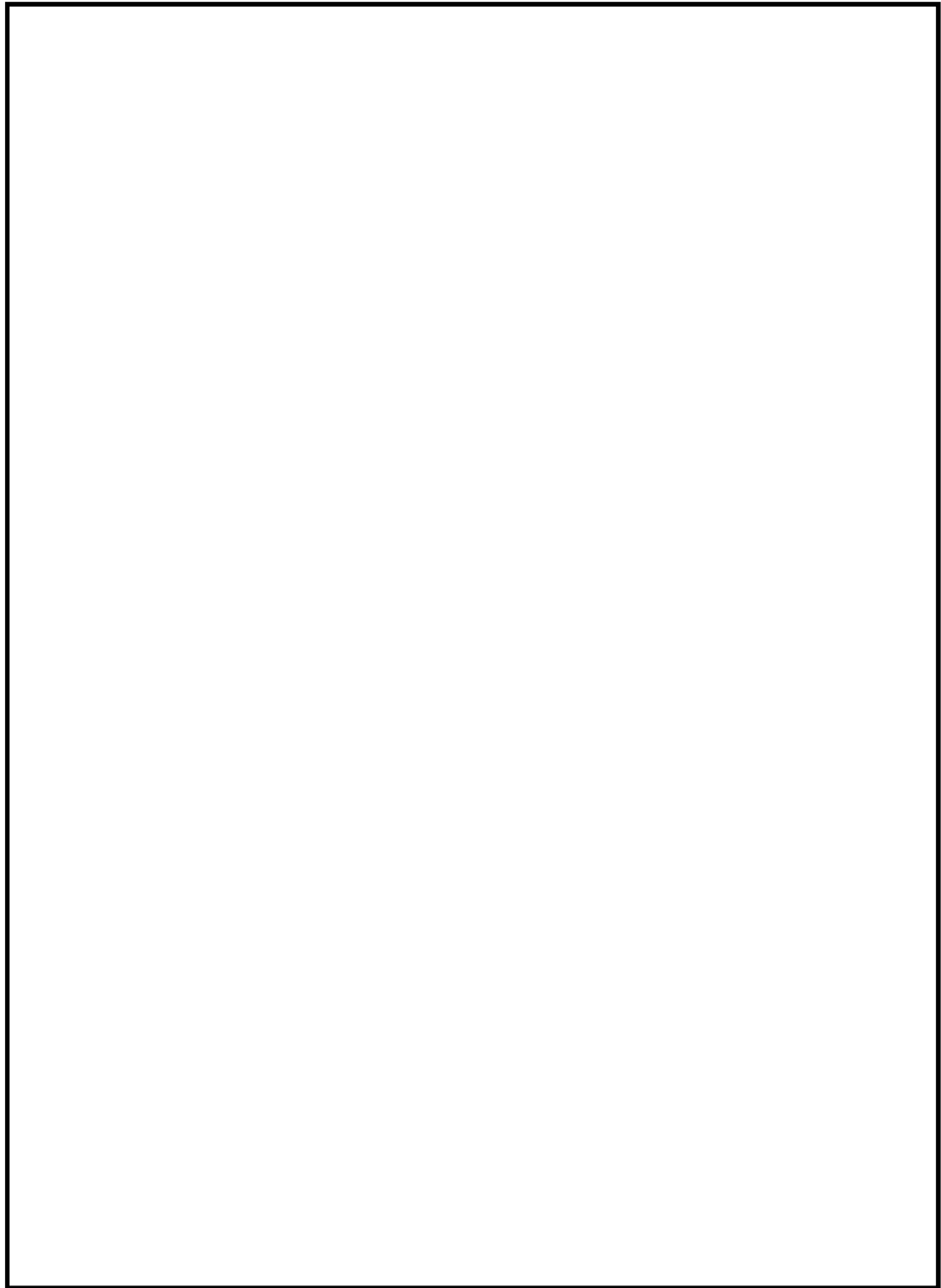
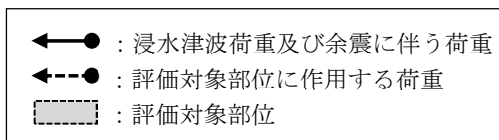


図 3-1 (1/2) 水密扉に作用する荷重の作用図

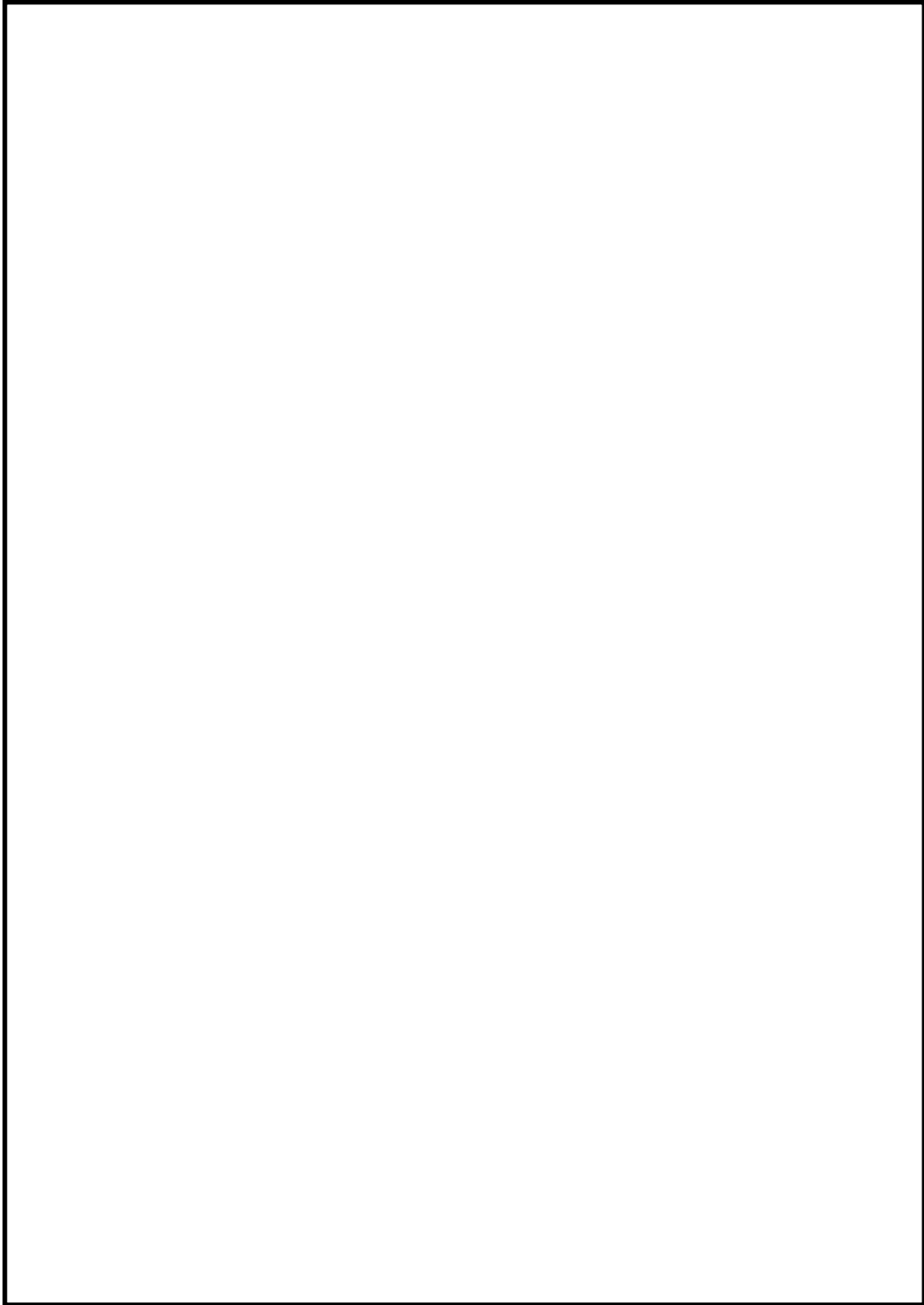
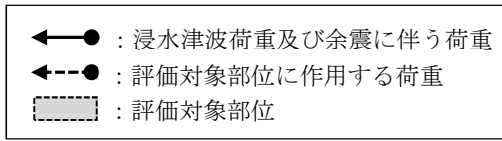


図 3-1 (2/2) 水密扉に作用する荷重の作用図

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、V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.1 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) 津波に伴う浸水津波荷重 (P_h)

津波に伴う静水圧としての浸水津波荷重を考慮する。浸水津波荷重は、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。

$$P_h = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

P_h : 津波に伴う浸水津波荷重(kN/m²)

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 3-1 に示す。

表 3-1 水圧作用高さ及び水の密度

水密扉No.	扉名称	水圧作用高さ (mm)	水の密度 (t/m ³)
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	8600	1.03
2	原子炉補機冷却水系 熱交換器・ポンプ室 水密扉	17100	1.03
3	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	8600	1.03
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉1	17100	1.03
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉2	8600	1.03
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉3	8600	1.03
7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	17400	1.03
8	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	17400	1.03
9	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	4600	1.03
10	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	4600	1.03
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉	4800	1.03
12	循環水配管メンテナンス室 水密扉1	13400	1.03
13	循環水配管メンテナンス室 水密扉2	13400	1.03
14	原子炉補機冷却水系 熱交換器・ポンプ室 水密扉2	8800	1.03
15	原子炉補機冷却水系 熱交換器・ポンプ室 水密扉	8800	1.03

(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 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 V-2-2-5 「タービン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 3-2 に示す。

また、動水圧荷重は「水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，1997 年版）」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 3-3 に示す。

$$P = \beta \cdot 7/8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

α_H : 水平方向の設計震度

表 3-2 各扉の設計震度

(a) 水平方向

建屋	階	T. M. S. L.	弾性設計用地震動 S d の設計震度 α_H
タービン 建屋	1F	12.3m	0.551
	B1F	4.9m	0.453
	MB2F	-1.1m	0.421
	B2F	-5.1m	0.394

(b) 鉛直方向

建屋	階	T. M. S. L.	弾性設計用地震動 S d の設計震度 α_{UD}
タービン 建屋	1F	12.3m	0.395
	B1F	4.9m	0.375
	MB2F	-1.1m	0.365
	B2F	-5.1m	0.366

表 3-3 動水圧荷重の算出結果

水密扉No.	扉名称	動水圧荷重 (kN/m ²)
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	34.0
2	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉	67.6
3	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	34.0
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉1	67.6
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉2	34.0
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉3	34.0
7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	68.8
8	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	68.8
9	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	18.5
10	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	18.5
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉	19.2
12	循環水配管メンテナンス室 水密扉1	53.7
13	循環水配管メンテナンス室 水密扉2	53.7
14	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉2	42.9
15	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉	42.9

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、V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記の通りに設定する。

$$P_h + K S d$$

P_h : 津波に伴う浸水津波荷重(kN/m²)

$K S d$: 余震荷重(kN/m²)

3.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、V-3-別添 3-1-1「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。

3.3.1 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材及びアンカーボルトの使用材料を表 3-4 に示す。

表 3-4 扉板、芯材、アンカーボルトの使用材料

評価対象部位		材質	仕様
扉板		SS400	PL-9, 12, 19 (mm)
芯材		SS400	C-150×75×6.5×10 (mm) C-180×75×7×10.5 (mm) C-200×80×7.5×11 (mm) C-200×90×8×13.5 (mm)
締付装置部	締付装置	SS400 SUS304 SUS403	径(mm) 50, 60, 70, 90
	締付装置 受けピン	SUS304 SUS304N2 S45C	径(mm) 50, 40, 25, 22, 20, 16
	締付装置 受けボルト	SCM435 SUS304	M10, M12, M16, M20
アンカーボルト		SS400	M16, M20, φ16

3.3.2 許容限界

(1) 扉板, 芯材, アンカーボルト

鋼材の許容限界は, 「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 3-5 の値とする。

表 3-5 鋼材の許容限界

材質*2	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤40) *1	235	135
SS400 (40 < t ≤100) *1	215	124
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
SUS304J3	175	101
SUS403	390	225
S45C	345	199
SCM435	651	375
高強度ステンレス	640	520

注記*1: t は板厚を示す。

注記*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fは, 日本工業規格 (J I S) に基づく。

(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、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づき算定した，表 3-6 の値とする。

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耐力，及び付着力により決まる耐力を比較して，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，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3-6 動水圧荷重を考慮する場合の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 (kN/本)	
		せん断	引張
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	—*1	—*1
2	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉	11.7	32.1
3	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	—*2	34.1
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉1	—*2	34.1
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉2	—*2	33.5
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉3	—*2	34.1
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	—*2	57.5
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	—*2	57.5
9	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	—*2	34.1
10	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	—*2	34.1
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉	13.3	—*3
12	循環水配管メンテナンス室 水密扉1	23.3	57.5
13	循環水配管メンテナンス室 水密扉2	23.3	57.5
14	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉2	11.7	32.1
15	原子炉補機冷却水系 <input type="checkbox"/> 熱交換器・ポンプ室 水密扉	—*2	—*1

注記*1：アンカーボルトに引張力が作用しないことを示す。

注記*2：アンカーボルトにせん断力が作用しないことを示す。

注記*3：90° 方向アンカーボルトが存在しないことを示す。

3.4 評価方法

水密扉の強度評価は、V-3-別添 3-1-1「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、等分布荷重を受ける両端固定の一方向版として算定する。この時、実際に作用する浸水津波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と安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3-2 に示す。

$$M = w_D \cdot (L_{PL} \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

M : 扉板の最大曲げモーメント (kN・m/m)

L_{PL} : 扉板の短辺長さ (mm)

ここで、 $w_D = w_2 + P + S_d$

w_D : 扉下端に作用する津波荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m²)

w_2 : 扉下端に作用する津波荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

S_d : 余震による地震荷重

α_H : 水平方向の設計震度 (m/s²)

$$w_2 = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

$$P = \beta \cdot 7/8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

$$S_d = t \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$$

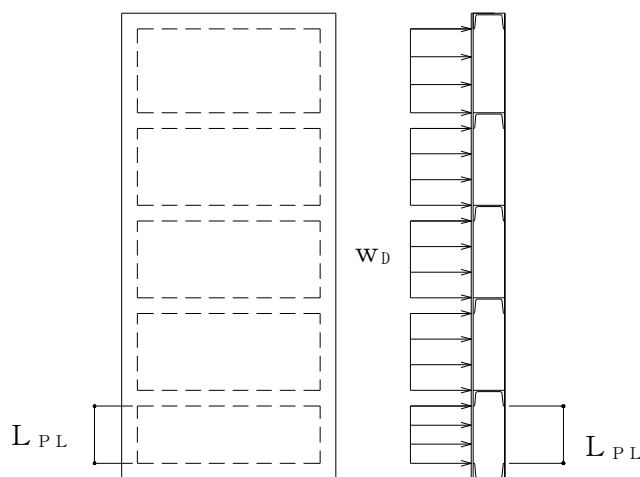


図 3-2 扉板に作用する荷重の例

(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、両者とも上記の動水圧荷重と浸水津波荷重を加えた水圧に、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3-3に示す。

$$M = w' \cdot (L \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

M : 芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

$$Q = w' \cdot L \cdot 10^{-3} / 2$$

Q : 芯材の最大せん断力(kN)

ここで、 $w' = (w_2 + P) \cdot b \cdot 10^{-3} + S_d$

$$S_d = (\rho_s \cdot b \cdot t \cdot 10^{-6} + m \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g$$

S_d : 芯材に生じる余震による地震荷重(kN/m)

w' : 芯材に作用する等分布荷重(kN/m)

L : 芯材の支持スパン(mm)

w_2 : 扉下端に作用する津波荷重(kN/m²)

P : 動水圧荷重(kN/m²)

b : 芯材に作用する荷重の負担幅(mm)

ρ_s : 扉板の密度(t/m³)

t : 扉板の厚さ(mm)

m : 芯材の質量分布(kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度(m/s²)

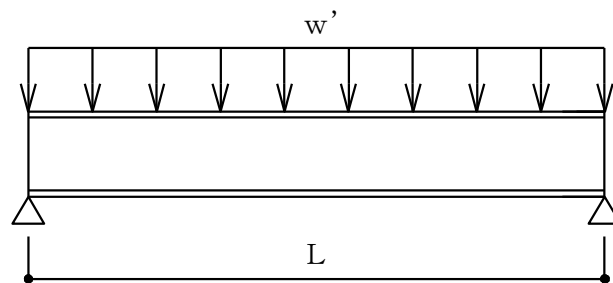


図3-3 芯材に作用する荷重の例

(3) 締付装置部

締付装置部は、締付装置、締付装置受けピン及び締付装置受けボルトで構成されており、生じる応力は次式により算定する。ここで、浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力は、扉の上端と下端に作用する津波荷重を合計したものに、動水圧荷重及び扉重量による余震荷重を加えた荷重を締付装置部が均等に負担するとして算定する。締付装置部に作用する荷重の例を図3-4に示す。

$$R_1 = ((w_1 + w_2) / 2 + P) \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6} + W_D \cdot \alpha_H$$

R_1 : 浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

w_1 : 扉上端に作用する津波荷重(kN/m²)

w_2 : 扉下端に作用する津波荷重(kN/m²)

P : 動水圧荷重(kN/m²)

L_1 : 躯体開口部の高さ(mm)

L_2 : 躯体開口部の幅(mm)

W_D : 扉重量(kN)

α_H : 水平方向の設計震度

n_2 : 締付装置の本数(本)

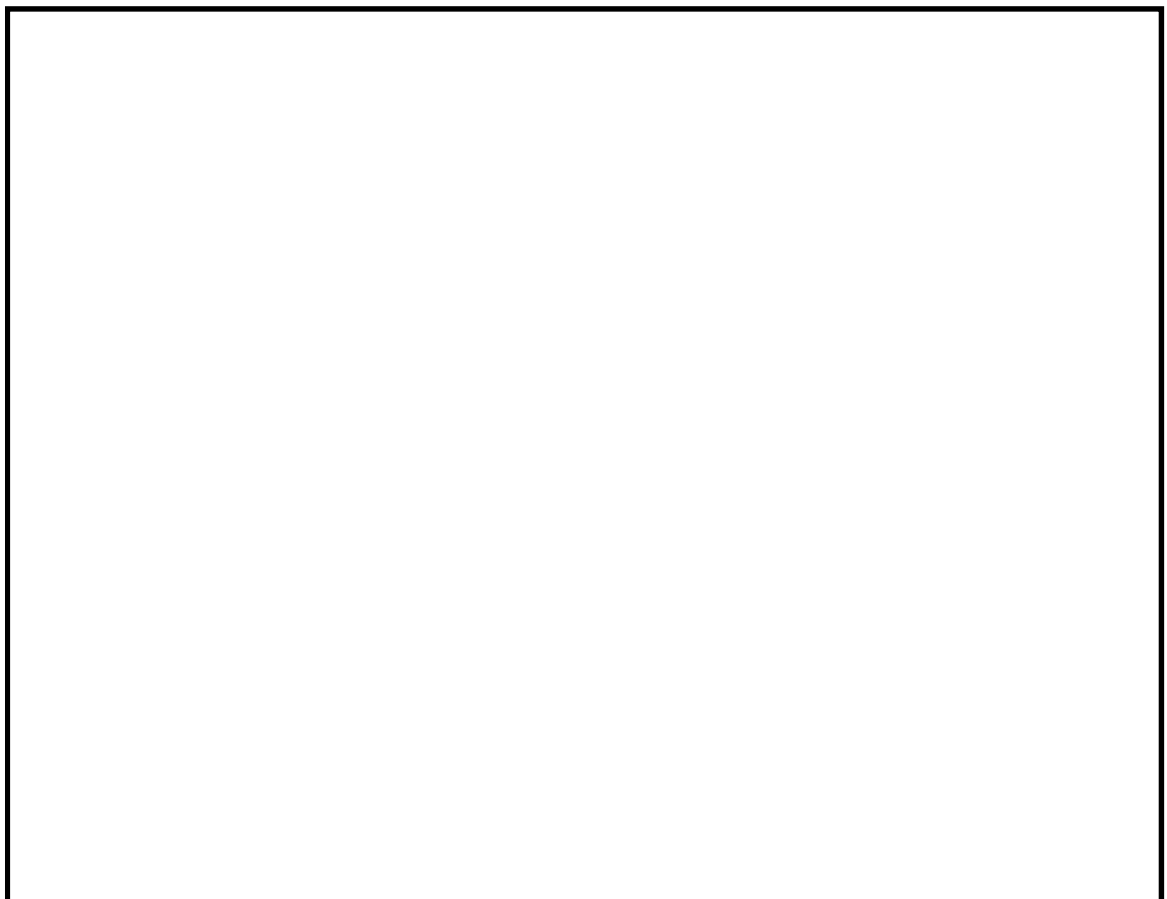


図3-4 締付装置部に作用する荷重の例

a. 締付装置

締付装置に生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、締付装置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、締付装置の取付部位に応じて作用する応力を考慮する。締付装置に生じる荷重の例を図3-5に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

M : 締付装置の最大曲げモーメント (kN・m)

R₁ : 締付装置に生じる浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力 (kN)

L₅ : 締付装置の突出長さ (mm)

$$Q = R_1$$

Q : 締付装置の最大せん断力 (kN)

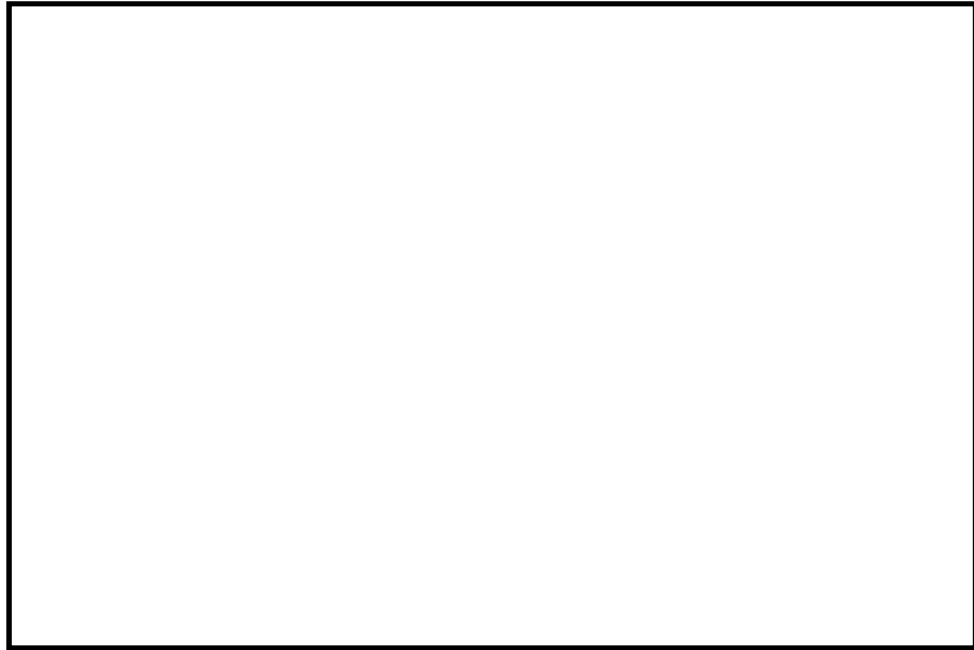


図 3-5 締付装置に生じる荷重の例

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、締付装置の形状に応じて締付装置受けピンに作用する応力を考慮する。締付装置受けピンに生じる荷重の例を図3-6に示す。

(締付装置と締付装置受けピンが線接触する場合)

締付装置受けピンを部分等分布荷重が作用する両端固定梁とみなし、次式により算定する。

$$M = R_1 \cdot (L_p^3 - 8 \cdot a'^3) / (24 \cdot b' \cdot L_p)$$

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

$$a' = (L_p - b') / 2$$

R₁ : 締付装置受けピンに生じる浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力 (kN)

L_p : 締付装置受けピンの軸支持間距離 (mm)

a' : 締付装置受けピンの支持点から締付装置軸の表面までの距離 (mm)

b' : 締付装置と締付装置受けピンが接する長さ (mm)

$$Q = R_1 / 2$$

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力 (kN)



図3-6 (1/2) 締付装置受けピンに生じる荷重の例
(締付装置と締付装置受けピンが線接触する場合)

(締付装置と締付装置受けピンが点接触する場合)

締付装置受けピンを集中荷重が作用する両端固定梁とみなし、次式により算定する。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$$

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

R₁ : 締付装置受けピンに生じる浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力 (kN)

L_p : 締付装置受けピンの軸支持間距離 (mm)

$$Q = R_1 / 2$$

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力 (kN)



図3-6 (2/2) 締付装置受けピンに生じる荷重の例
(締付装置と締付装置受けピンが点接触する場合)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。締付装置受けボルトに生じる荷重の例を図3-7に示す。

$$T = R_1 / n_b$$

T : 締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

R₁ : 締付装置受けボルトに生じる浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力(kN)



図 3-7 締付装置受けボルトに生じる荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、浸水津波荷重に動水圧荷重及び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。アンカーボルトに生じる荷重の例を図3-8に示す。

$$Q = R_1$$

Q : アンカーボルトの最大せん断力(kN)

R₁ : アンカーボルトに生じる浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

n : 片側(左右もしくは上下)のアンカーボルトの本数

アンカーボルトの方向

(0° 方向配置の場合)

$$Q_d = Q / 2 / n$$

(90° 方向配置の場合)

$$T_d = Q / 2 / n$$

(45° 方向配置の場合)

$$Q_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$$

$$T_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$$

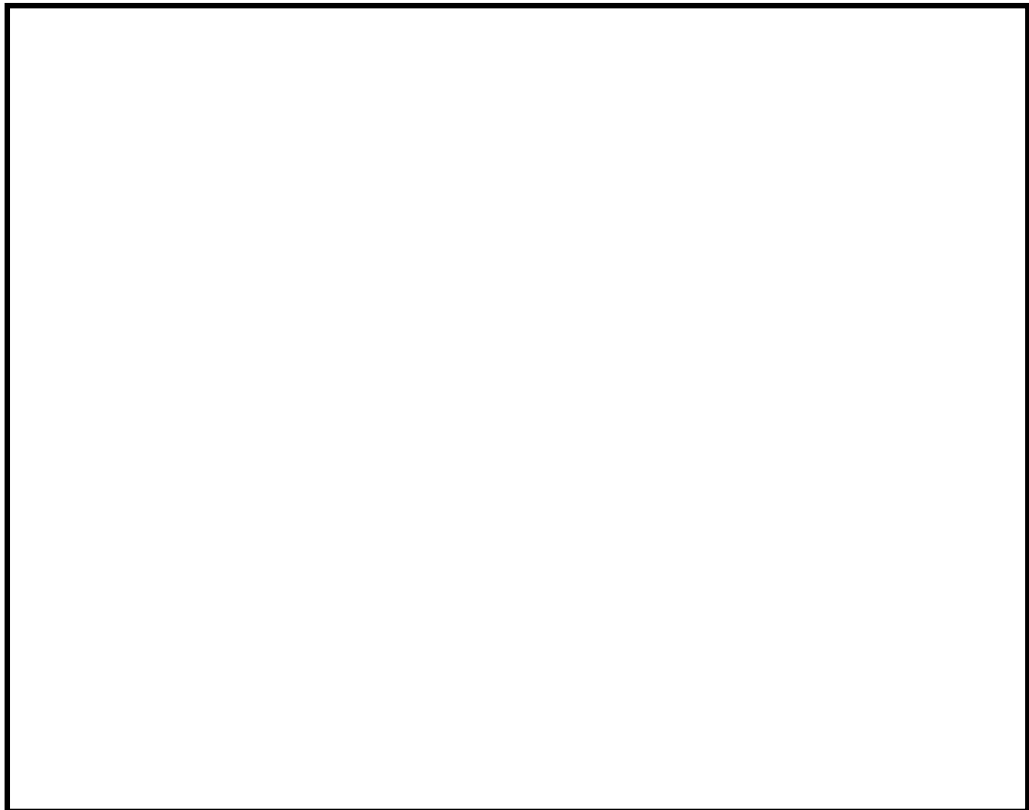


図3-8 アンカーボルトに生じる荷重の例(平面図)

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算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_1$$

σ : 扉板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 扉板の最大曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³/m)

(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以下であることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_2$$

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_2 : 芯材の断面係数 (mm³)

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

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_s : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) 締付装置部

a. 締付装置

締付装置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「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）」に基づく次式により算定し、締付装置の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)

ここで、 $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : 締付装置の最大曲げ応力度(N/mm²)

M : 締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

Z : 締付装置の断面係数(mm³)

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

τ : 締付装置の最大せん断応力度(N/mm²)

Q : 締付装置の最大せん断力(kN)

A_s : 締付装置のせん断断面積(mm²)

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピン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「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）」に基づく次式により算定し、締付装置受けピンの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)

ここで、 $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : 締付装置受けピンの最大曲げ応力度(N/mm²)

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

Z : 締付装置受けピンの断面係数(mm³)

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

τ : 締付装置受けピンの最大せん断応力度(N/mm²)

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

A_s : 締付装置受けピンのせん断断面積(mm²)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、締付装置受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A$$

σ_t : 締付装置受けボルトの最大引張応力度(N/mm²)

T : 締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

A : 締付装置受けボルトの断面積(mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本当りに生じる引張力又はせん断力を算定し、アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで、 $T_d = R_1 / 2 / n$

T_d : アンカーボルト1本当りの引張力(kN)

T_a : アンカーボルト1本当りの短期許容引張力(kN)

R_1 : アンカーボルトに生じる浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

n : 片側(左右もしくは上下)のアンカーボルトの本数

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで、 $Q_d = R_1 / 2 / n$

Q_d : アンカーボルト 1 本当りのせん断力(kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本当りの短期許容せん断力(kN)

R_1 : アンカーボルトに生じる浸水津波荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

n : 片側(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3-7に示す。

表3-7 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.		
				2	4	
共通	h	mm	当該扉の浸水深さ	17100	17100	
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03	1.03	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	9.80665	
扉板	L _{PL}	mm	扉板の短辺長さ	432	450	
	H	mm	浸水深さ	17100	17100	
	β	-	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1	1	
	α_H	-	余震震度(水平方向)	0.421	0.421	
	t	mm	扉板の厚さ	9	12	
	ρ_s	t/m ³	扉板の密度	7.85	7.85	
	W _D	kN	扉重量	6.62	7.51	
	Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数	1.350×10 ⁴	2.400×10 ⁴	
芯材	w ₂	kN/m ²	扉下端に作用する津波荷重	173	173	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	432	438	
	L	mm	芯材の支持スパン	1060	995	
	Z ₂	mm ³	芯材の断面係数	1.530×10 ⁵	1.530×10 ⁵	
	A _s	mm ²	芯材のせん断断面積	1.260×10 ³	1.260×10 ³	
締付装置部	共通	n ₂	本	締付装置の本数	2	4
	締付装置	L ₅	mm	締付装置の突出長さ	50	53
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	9.78	296
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1.19	42.3
	締付装置受けピン	L _P	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離	77	112
		b'	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ	-	48
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	29.3	169
	締付装置受けボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	2.38	47.5
n _b		本	締付装置受けボルトの本数	2	4	
アンカーボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	20.1	128	
	L ₁	mm	躯体開口部の高さ	2100	2100	
	L ₂	mm	躯体開口部の幅	1000	1000	
	n	本	0° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト本数	6	0	
			0° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト本数	6	0	
			90° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト本数	6	12	
			90° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト本数	6	12	
	Q _a	kN/本	0° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	11.7	-	
			0° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	11.7	-	
	T _a	kN/本	90° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力	32.1	34.1	
90° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力			32.1	34.1		

3.6 評価結果

水密扉の強度評価結果を表 3-8 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以下であることから、水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表 3-8 水密扉の強度評価結果

水密扉 No.	対象評価部材*	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生応力度/ 許容限界値	
2	扉板	222	235	0.95	
	芯材	94.8	235	0.41	
	締付装置部	締付装置	10.0	205	0.05
		締付装置受けピン	29.3	205	0.15
		締付装置受けボルト	20.1	651	0.04
	アンカーボルト	0.389	11.7	0.04	
4	扉板	167	235	0.72	
	芯材	84.5	235	0.36	
	締付装置部	締付装置	305	390	0.79
		締付装置受けピン	169	205	0.83
		締付装置受けボルト	128	651	0.20
	アンカーボルト	19.9	34.1	0.59	

注記*：芯材は、曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載し、
アンカーボルトは引張及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。
なお、アンカーボルトの評価結果は単位を kN とする。