

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-909 改0
提出年月日	平成30年7月5日

V-3-別添 3-2-7 水密扉の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	10
2.4 適用規格	12
<強度評価方法>	
3. 原子炉建屋原子炉棟水密扉	13
3.1 記号の定義	13
3.2 評価対象部位	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.4 許容限界	18
3.5 評価方法	20
3.6 評価条件	28
3.7 強度評価結果	32
4. 原子炉建屋付属棟北側水密扉1	33
4.1 記号の定義	13
4.2 評価対象部位	35
4.3 荷重及び荷重の組合せ	36
4.4 許容限界	37
4.5 評価方法	39
4.6 評価条件	49
4.7 強度評価結果	53
5. 原子炉建屋付属棟北側水密扉2	54
5.1 記号の定義	54
5.2 評価対象部位	56
5.3 荷重及び荷重の組合せ	57
5.4 許容限界	59
5.5 評価方法	61
5.6 評価条件	71
5.7 強度評価結果	75
6. 原子炉建屋付属棟東側水密扉	76
6.1 記号の定義	76
6.2 評価対象部位	78
6.3 荷重及び荷重の組合せ	79
6.4 許容限界	81
6.5 評価方法	82

6.6	評価条件	-----	84
6.7	強度評価結果	-----	86
7.	原子炉建屋付属棟南側水密扉	-----	87
7.1	記号の定義	-----	87
7.2	評価対象部位	-----	89
7.3	荷重及び荷重の組合せ	-----	90
7.4	許容限界	-----	92
7.5	評価方法	-----	94
7.6	評価条件	-----	104
7.7	強度評価結果	-----	108
8.	原子炉建屋付属棟南側水密扉	-----	109
8.1	記号の定義	-----	109
8.2	評価対象部位	-----	111
8.3	荷重及び荷重の組合せ	-----	112
8.4	許容限界	-----	114
8.5	評価方法	-----	115
8.6	評価条件	-----	119
8.7	強度評価結果	-----	121

1. 概要

本資料は、原子炉建屋1階に設置する津波防護施設及び浸水防護施設である水密扉が、基準津波を超え敷地に遡上する津波に伴う荷重等に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建屋1階の水密扉として、原子炉建屋大物搬入口に原子炉建屋原子炉棟水密扉、原子炉建屋附属棟北側開口部に原子炉建屋附属棟北側水密扉1及び原子炉建屋附属棟北側水密扉2、原子炉建屋附属棟東側開口部に原子炉建屋附属棟東側水密扉、原子炉建屋附属棟南側開口部に原子炉建屋附属棟南側水密扉、原子炉建屋附属棟西側開口部に原子炉建屋附属棟西側水密扉を設置する。原子炉建屋水密扉の設置位置図を図2.1-1図に示す。

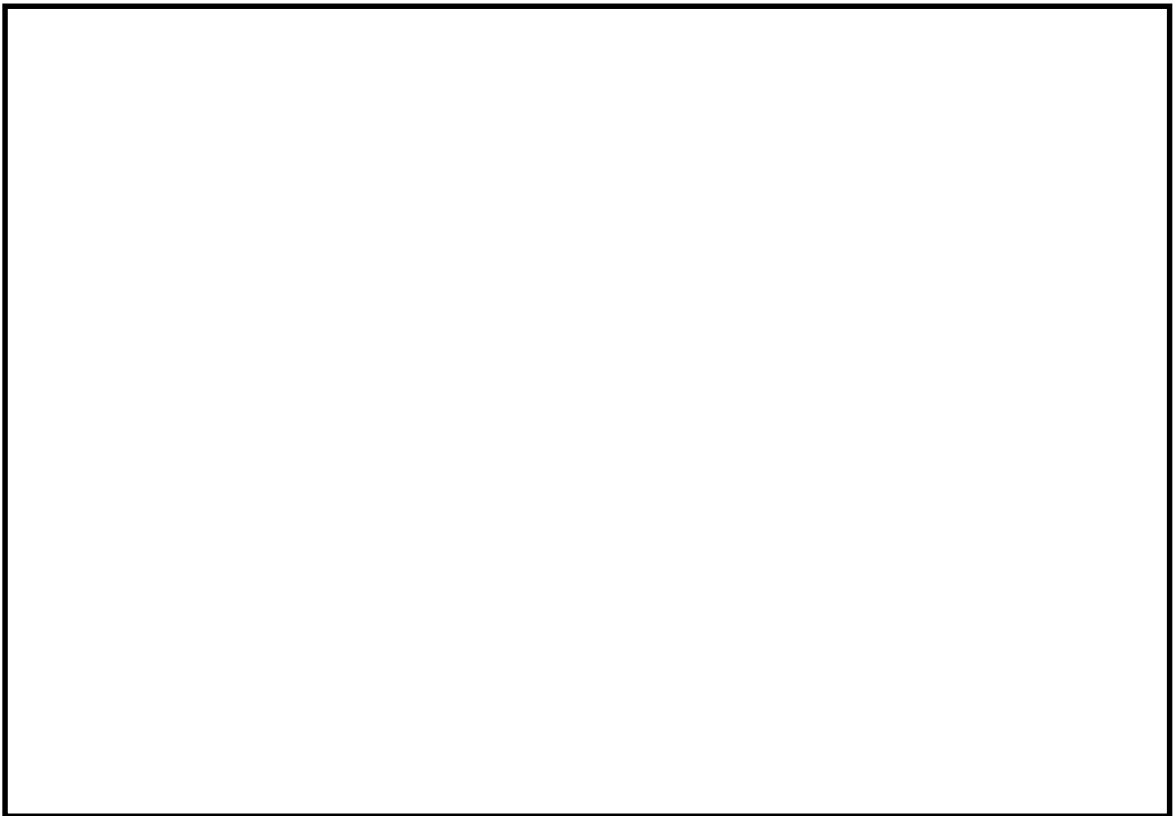


図2.1-1 水密扉配置図（原子炉建屋1階）

2.2 構造概要

水密扉の構造について、添付資料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」において、津波防護施設及び浸水防止設備に設定している荷重を踏まえて設計した構造計画を表2.2-1に示す。また、原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋附属棟北側水密扉1，原子炉建屋附属棟北側水密扉2，原子炉建屋附属棟東側水密扉，原子炉建屋附属棟南側水密扉及び原子炉建屋附属棟西側水密扉の構造図を図2.2-1，図2.2-2，図2.2-3，図2.2-4，図2.2-5及び図2.2-6に示す。

表 2.2-1 構造計画

計画の概要		説明図
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（カンヌキ又はロックバー）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。</p> <p>また、扉と扉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、締付装置（カンヌキ又はロックバー）により扉が扉枠に固定される構造とする。</p> <p>また、扉枠を建屋の開口部周辺に、アンカーボルトにより固定する構造とする。</p>	

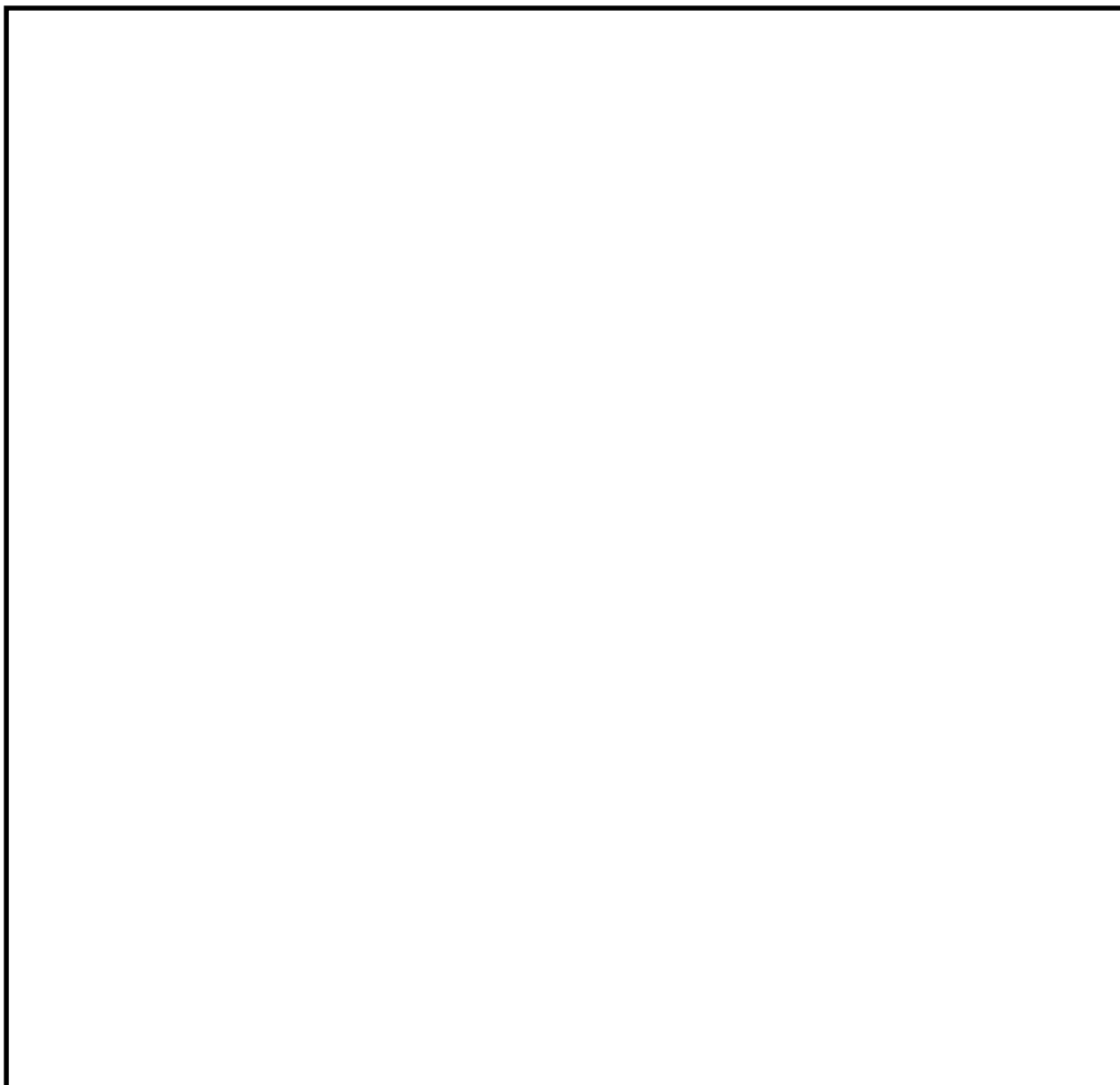


図2.2-2 原子炉建屋原子炉棟水密扉構造図

NT2 補③ V-3-別添-3-2-7 R0

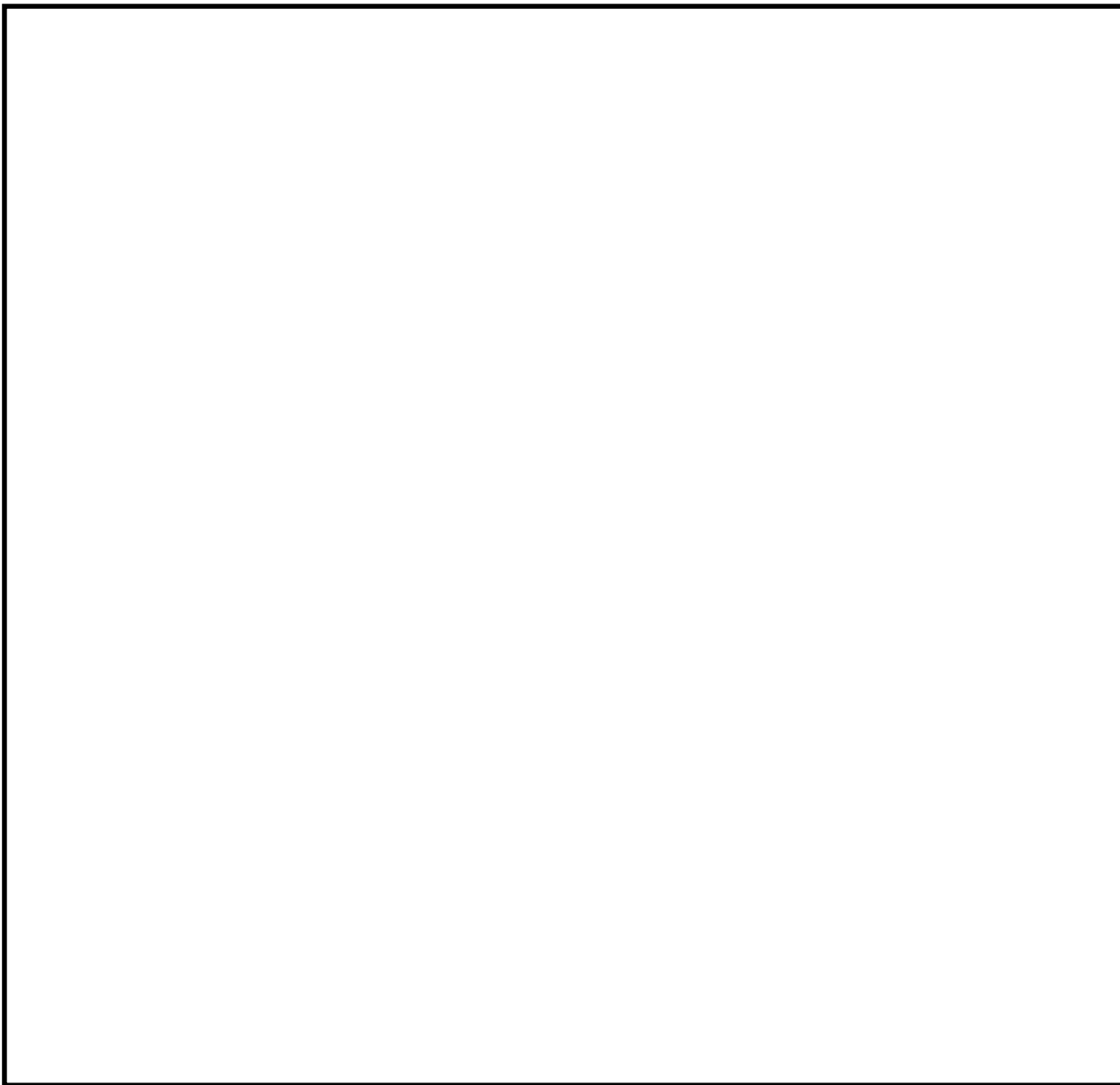


図2.2-3 原子炉建屋付属棟北側水密扉1

NT2 補③ V-3-別添-3-2-7 R0

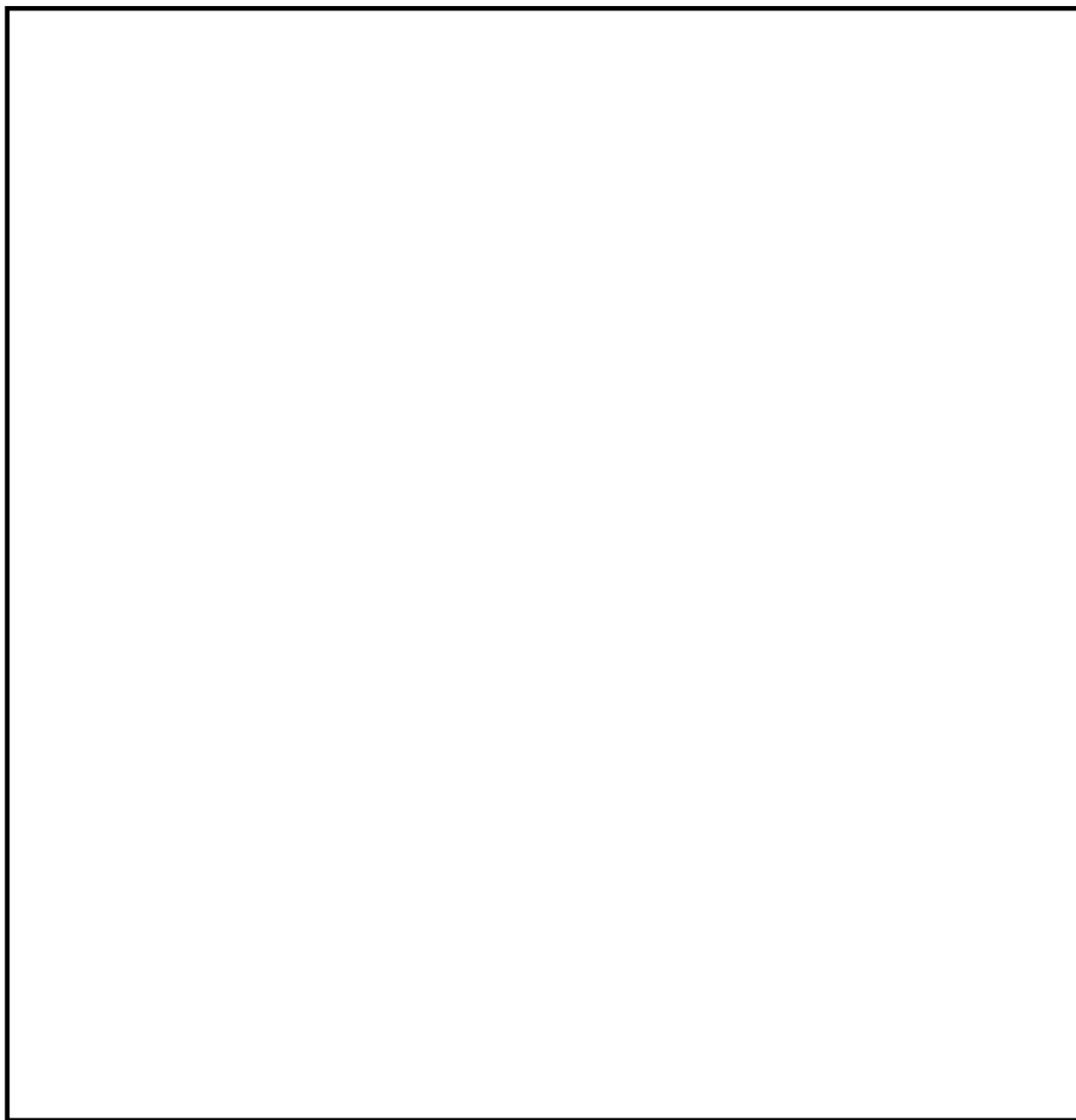


图2.2-4 原子炉建屋付属棟北側水密扉2

NT2 補③ V-3-別添-3-2-7 R0

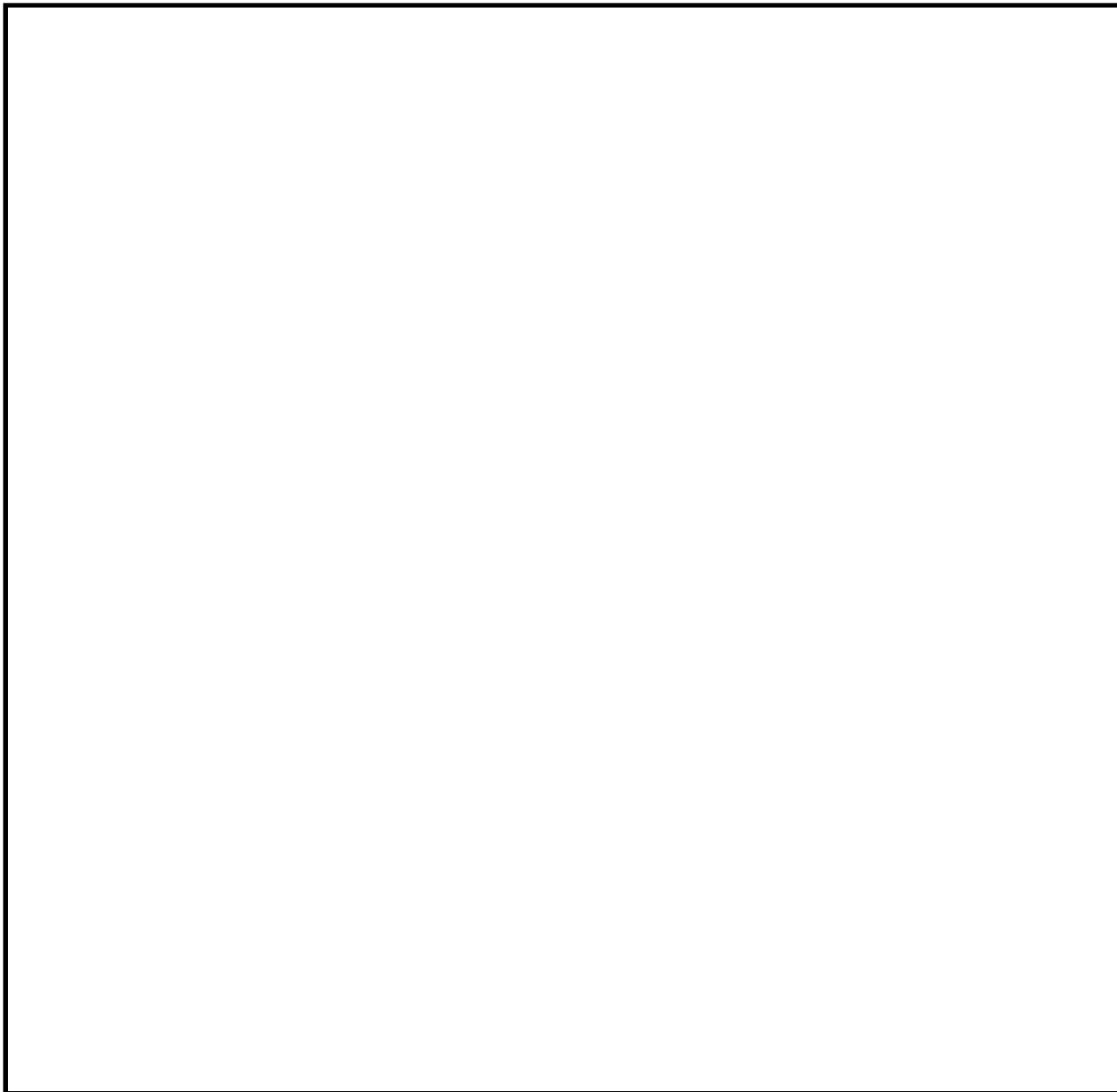


図2.2-5 原子炉建屋付属棟東側水密扉

NT2 補③ V-3-別添-3-2-7 R0

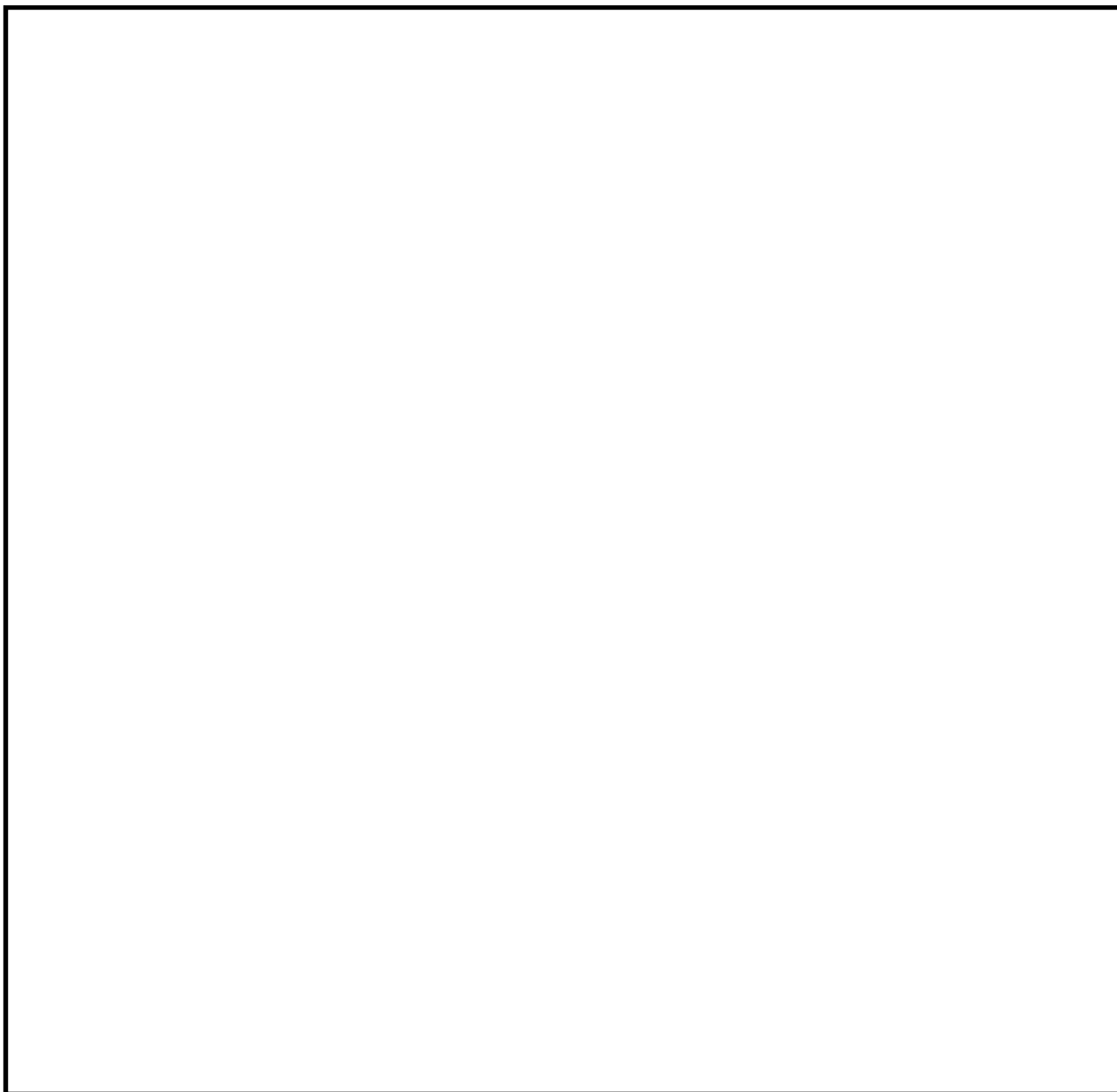


図2.2-5 原子炉建屋付属棟南側水密扉

NT2 補③ V-3-別添-3-2-7 R0

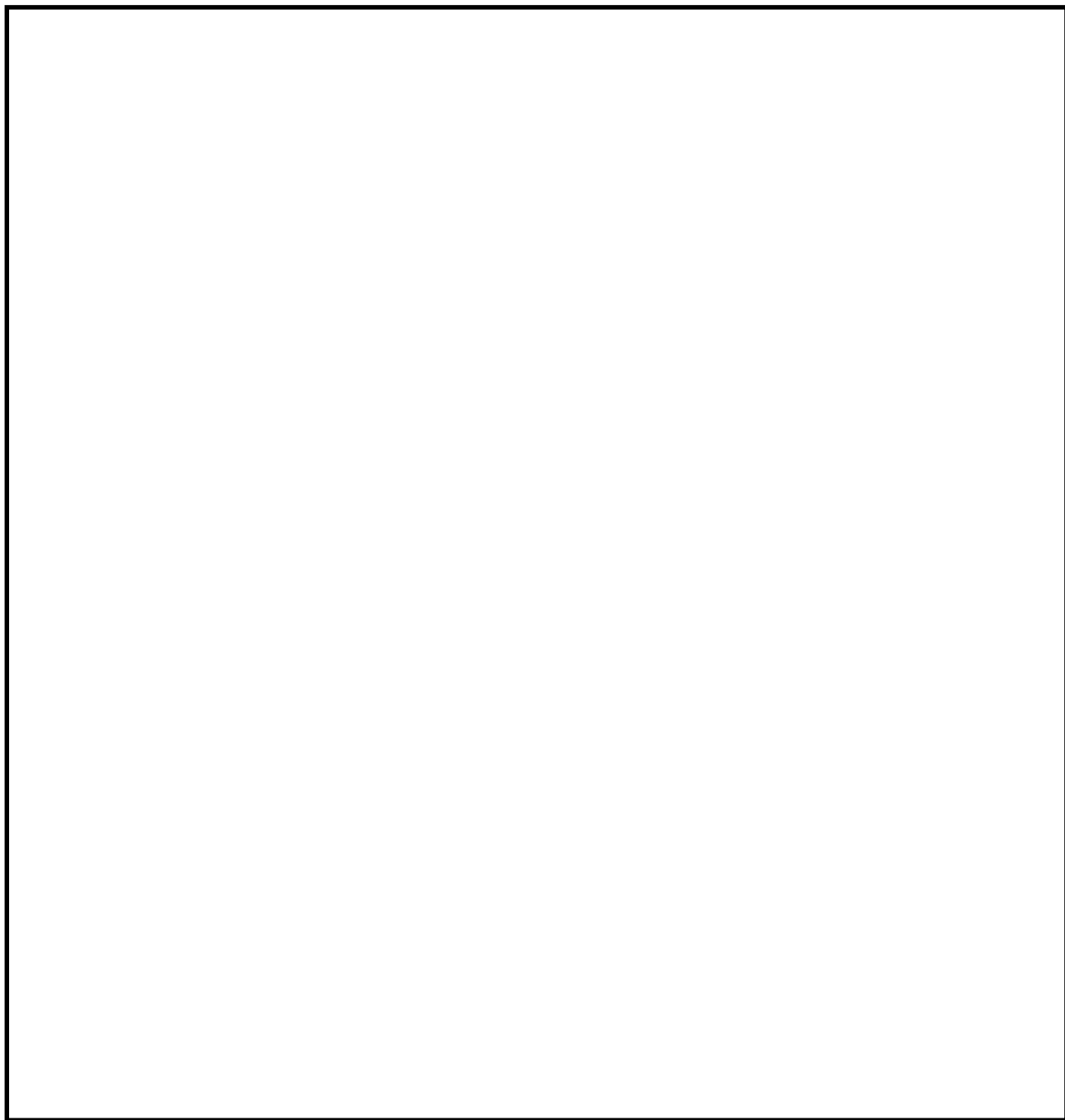


図2.2-5 原子炉建屋付属棟西側水密扉

2.3 評価方針

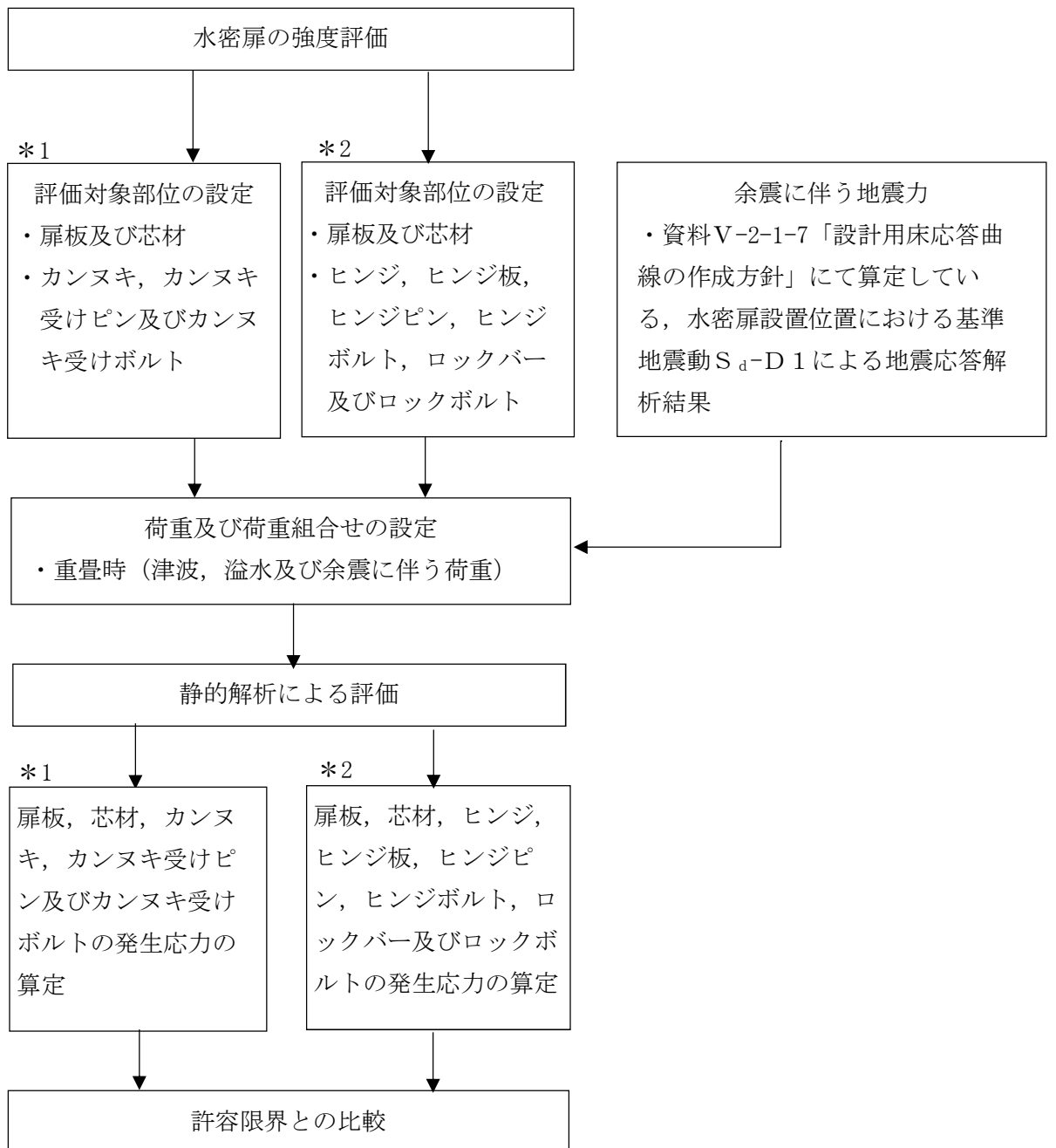
水密扉の強度評価は、添付資料V-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示す津波防護施設及び浸水防止設備に設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、水密扉の評価対象部位に作用する応力などが許容限界に収まることを各水密扉の「強度評価方法」に示す方法により、「評価条件」に示す評価条件を用いて評価し「強度評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図2.3-1に示す。水密扉の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波に伴う荷重（静水圧荷重及び波圧）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。

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う静水圧荷重、波圧、地震に伴う低耐震クラスの設備（屋外タンク）からの溢水に伴う静水圧荷重、風荷重及び余震に伴う荷重作用時（以下、「重畳時」という）を考慮する。なお、風荷重については、津波による荷重と比較し十分に小さい場合は津波荷重の評価に包絡されるものとして個別の評価は省略する。また、評価を積雪荷重については、水密扉の設置状況から考慮不要とする。

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、芯材及び設置状況に応じ、締付装置（以下、「カンヌキ」又は「ロックボルト」という）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。

重畳時の評価における余震に伴う地震力は、資料V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて算定している、水密扉設置位置上階における弾性設計用地震動 S_a-D1 による地震応答解析結果を用いて設定する。



- *1 : 原子炉建屋原子炉棟水密扉, 原子炉建屋附属棟東側水密扉及び原子炉建屋附属棟西側水密扉
- *2 : 原子炉建屋附属棟北側水密扉1, 原子炉建屋附属棟北側水密扉2及び原子炉建屋附属棟南側水密扉

図2.3-1 水密扉の強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年版）
- ・ J I S G 3 1 0 1－2015 一般構造用圧延鋼材
- ・ J I S G 4 5 0 3－2012 機械構造用合金鋼鋼材

<強度評価方法>

3. 原子炉建屋原子炉棟水密扉

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表3.1-1に示す。

表3.1-1 強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	断面積
A _a	mm ²	1本当たりの表面積
A _b	mm ²	1本当たりの断面積
a _n	m	横桁ピッチ
B	m	受圧幅
g	m/s ²	重力加速度
G	kN	扉体自重
h	m	当該部分の浸水深
H	m	水深
h [']	m	水圧中心位置からカンヌキ間距離
H _g	m	受圧高
K _H	—	水平震度
K _S	kN	余震による地震荷重
L	M	区画短辺の長さ
L _b	Mm	軸支持間距離 (カンヌキ)
L _p	M	軸支持間距離 (カンヌキ受けピン)
L _k	M	カンヌキ中心間距離
M	kN・m	曲げモーメント
M _{X1}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
M _{X2}	—	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数
n	本	ボルトの本数
P _o	kN	設計水圧荷重
P _a	kN	扉板全体に作用する合計荷重
P _b	kN	水密扉から伝達される荷重
P _d	kN/m ²	余震による動水圧荷重
P _h	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重
P _{h d}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (下部)
P _{h u}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (上部)
P _T	kN	許容引張力
p _n	kN/m ²	横桁負担溢水時荷重

第3.1-1表 強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
Q	kN	せん断力
R_p	kN	溢水に伴う荷重による反力
T	kN	引張力
W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重
W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重
Y	m	主桁ピッチ
Z	mm ³	断面係数
β	-	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数
ρ	t/m ³	水の密度
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ_T	N/mm ²	引張応力度
σ_x	N/mm ²	組合せ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
Q_a	kN	アンカーボルトの短期許容せん断力

3.2 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.2 構造概要」の構造計画に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえて選定する。

水密扉に生じる外部からの津波に伴う荷重は、扉板から芯材に伝わり、壁と一体化した扉枠を介し、躯体に伝達されることから、評価対象部位は、扉板及び芯材とする。

水密扉に作用する荷重の作用図を図3.2-1に示す。

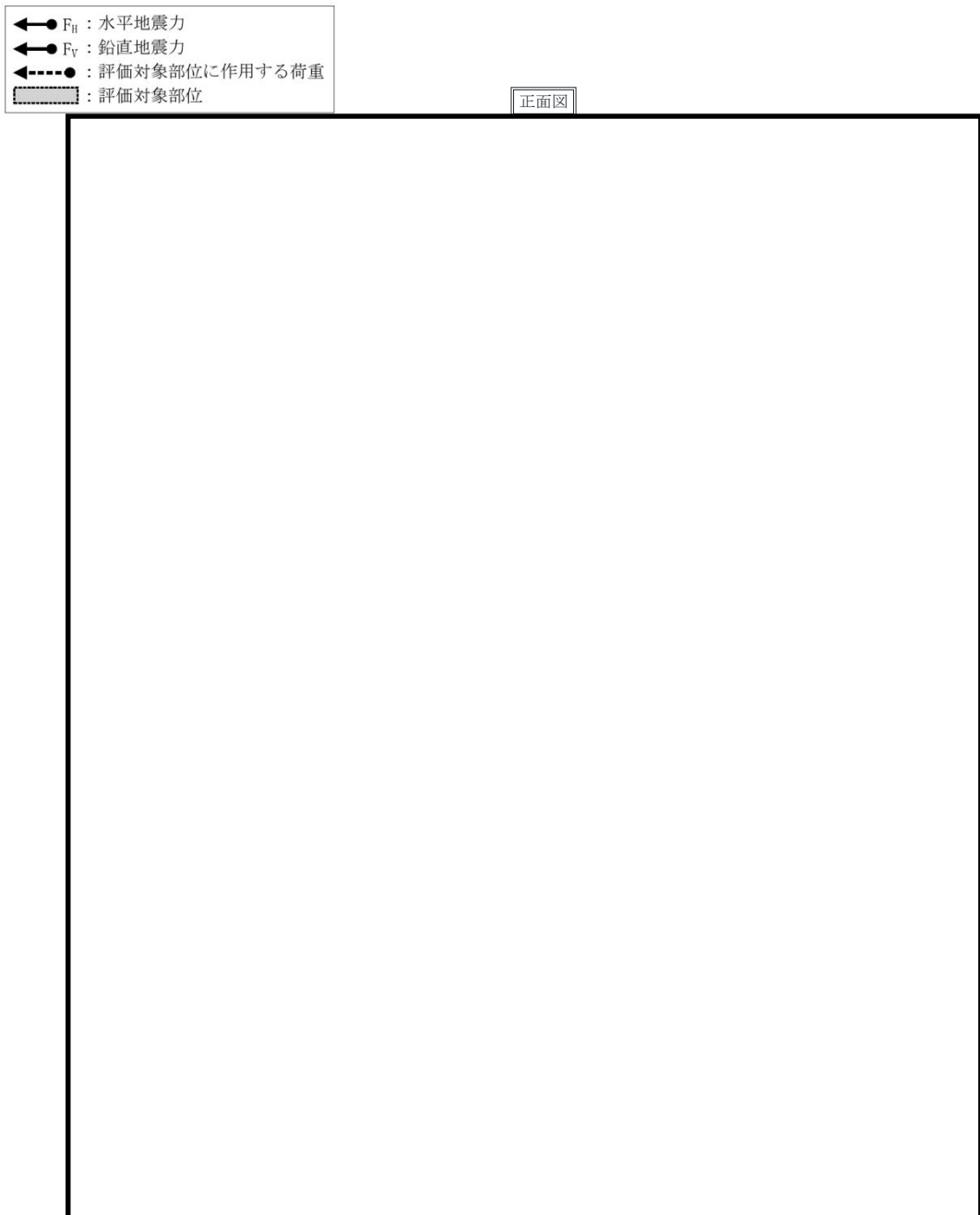


図3.2-1 水密扉に作用する荷重の作用図

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、添付資料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」にて示される荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

P_h (津波時)

$P_h + K_s$ (重畳時)

なお、本資料において、余震による地震荷重を K_s 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. 津波による静水圧荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。津波による静水圧荷重は、対象とする海水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。尚、敷地に遡上する津波の浸水深は原子炉建屋設置地盤レベルにおいて1.0mを超えないが、本評価においては、遡上津波荷重の水圧として考慮する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水(0.2m)を考慮し、原子炉建屋設置地盤レベルEL.+8.0mでの15mの浸水深を考慮した水圧作用高さEL.+23.0mでの評価を行う。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

津波に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び海水の密度を表3.3-1に示す。

表3.3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ (m)	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋原子炉棟水密扉	EL.+23.0	1.03

b. 余震荷重 (地震荷重 K_s)

余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大床応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大床応答加速度を保守的に評価するために、最大床応答加速度の抽出位置は、水密扉設置位置よりも上部の節点の値とし、原子炉建屋については、水密扉設置階の上階(上層)の値とする。なお、静的震度は最大床応答加速度を重力加速度で除して算出する。

原子炉建屋水密扉の震度の設定に用いる最大床応答加速度は資料V-2-1「耐震設計の基本方針」のうち資料V-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。

水密扉の水平震度 K_H を表3.3-2に示す。

地震荷重 K_S は、水密扉の固定荷重に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K_H$$

第3.3-2表 水密扉の水平震度 K_H

弾性設計用 地震動	設置場所 (床面高さ)	水平震度 C_H^{*1}	鉛直震度 C_V^{*1}
S_d-D1	原子炉建屋1階 (EL. +8.2m)	0.28	0.24

*1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」にて設定している荷重を踏まえて水密扉の設置位置ごとに設定する。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の荷重の組合せを表3.3-3に示す。

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。

原子炉建屋水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せを表4.3-3に示す。

なお、敷地に遡上する津波の最大浸水深は保守的に1.0mとしており、また排水設備は基準地震動 S_s に耐える設計であり、防潮堤内側に流入した津波の排水機能に期待できることから、津波荷重との重畳評価は不要とする。

表3.3-3 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
原子炉建屋原子炉棟水密扉	津波時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_h + K_S^{*1}$

*1：本評価においては津波荷重との重畳は不要

3.4 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、資料V-3-別添3-1「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設定する。

(1) 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材、カンヌキ部の使用材料を表3.4-1に示す。

表3.4-1 使用材料

部 位		材 質	仕 様
扉 板			
芯 材 (主 桁)			
芯 材 (横 桁)			
カンヌキ	カンヌキ		
	カンヌキ受けピン		
	カンヌキ受けボルト		

*1 : tは板厚 (mm)を示す

*2 : φは径 (mm)を示す

(2) 許容限界

a. 扉板, 芯材, ヒンジ部, カンヌキ部

扉板, 芯材, ヒンジ部, カンヌキ部の許容限界は, 「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3.4-2の値とする。

表3.4-2 扉板, 芯材, ヒンジ部, カンヌキ部の許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
	235	135
	205* ³	118
	345* ⁵	199
	651* ⁷	375

*1: tは板厚(mm)を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「JIS G 4303:2012 ステンレス鋼棒」, 「JIS G 4304:2102 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」及び「JIS G 4317:2013 熱間成形ステンレス鋼板鋼」に基づく

*3: 引張りの短期許容応力度も同様

*4: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「JIS G 4051:2005 機械構造用炭素鋼鋼材」に基づく

*5: 引張りの短期許容応力度も同様

*6: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「JIS G 4053:2008 機械構造用合金鋼鋼材」に基づく

*7: 引張りの短期許容応力度も同様

3.5 評価方法

水密扉の強度評価は、資料V-3-別添3-1「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。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる応力は、津波に伴う等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として、「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）」に基づく次式により算定する。なお，算定に当たっては，水圧作用高さにより台形分布状の荷重形態を考慮する。

扉板に生じる応力の例を図3.5-1に示す。

$$M = M_{x1} \cdot W_u \cdot L^2 + M_{x2} \cdot (W_d - W_u) \cdot L^2$$

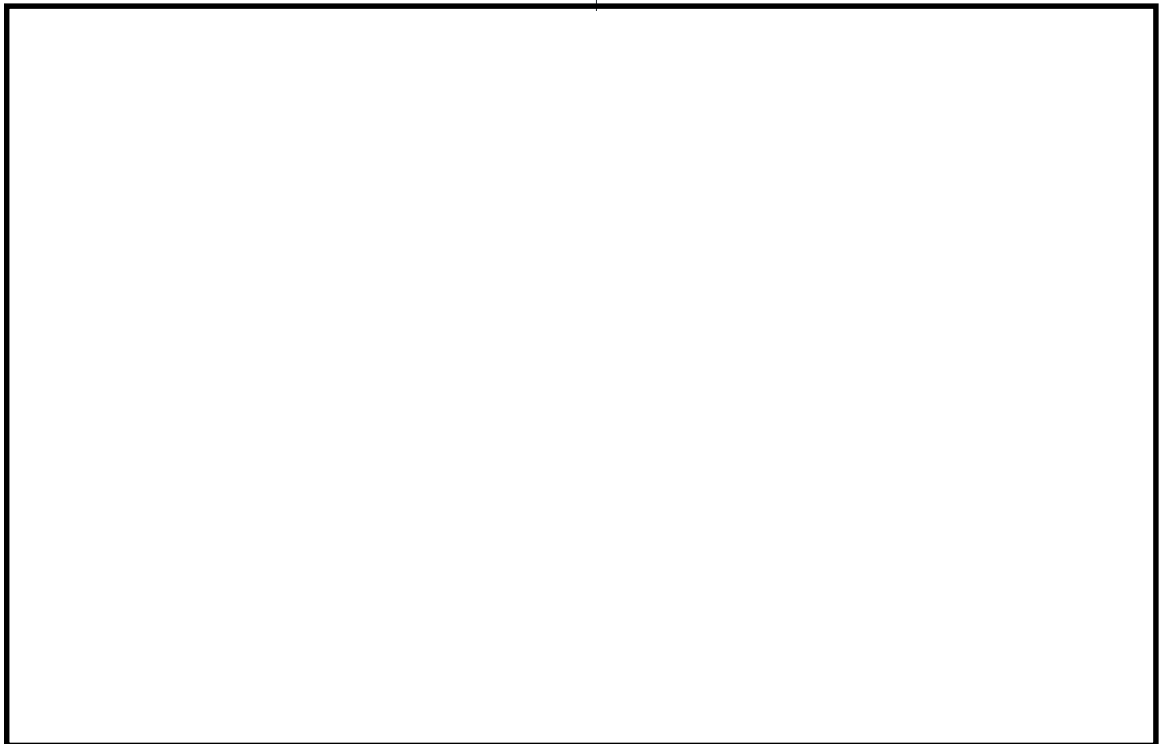
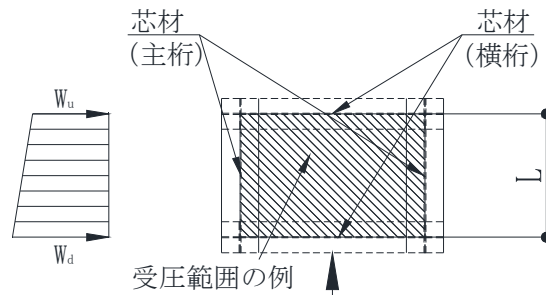


図3.5-1図 扉板に生じる応力の例

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、浸水津波荷重又は溢水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、それぞれ算定する。鉛直方向に取付く、主桁については、扉に生じる荷重を算定し、各桁（中間主桁及び端主桁）に分担することとし、次式により算定する。但し、正圧時の端主桁については、扉枠で全長を支持されるために評価外とする。横桁については、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（主桁）に生じる荷重の例を図3.5-2に示す。芯材（横桁）に生じる荷重の例を図3.5-3に示す。

(a) 主桁

$$M = H_g^2 \cdot \left(\frac{P_1}{9\sqrt{3}} + \frac{P_2}{8} \right) \cdot c$$

$$Q = H_g \cdot \left(\frac{P_1}{3} + \frac{P_2}{2} \right) \cdot c$$

$$P_1 = P'_{hd} - P'_{hu}$$

$$P_2 = P'_{hu}$$

$$P'_{hu} = P_{hu} \cdot B$$

$$P'_{hd} = P_{hd} \cdot B$$

$$B = \frac{Y_2 + Y_3}{2}$$

$$\text{中間主桁} c = \frac{Y_2 + Y_3}{2 \cdot Y}$$

(b) 横桁

$$M = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{Y_3^2}{8}$$

$$Q = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{Y_3}{2}$$

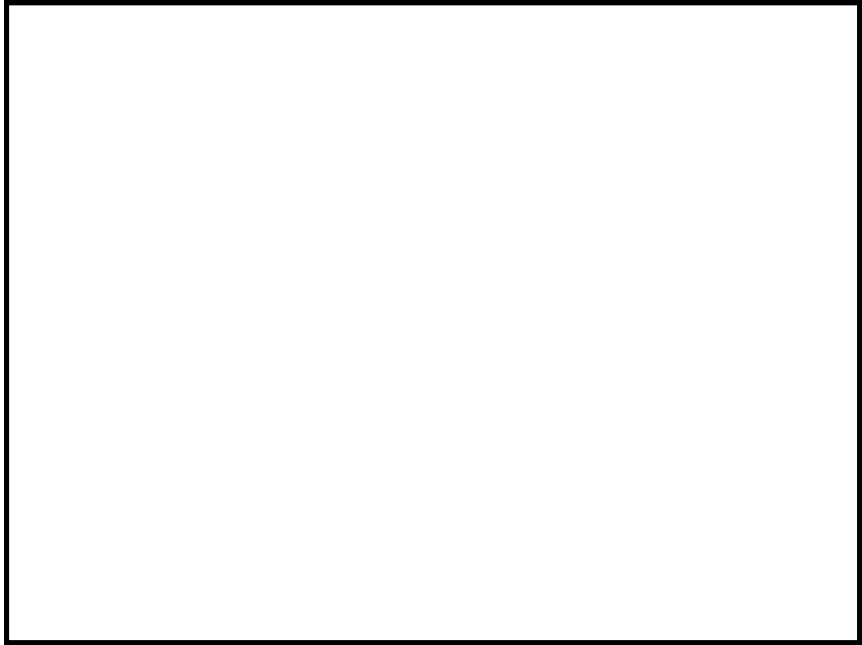
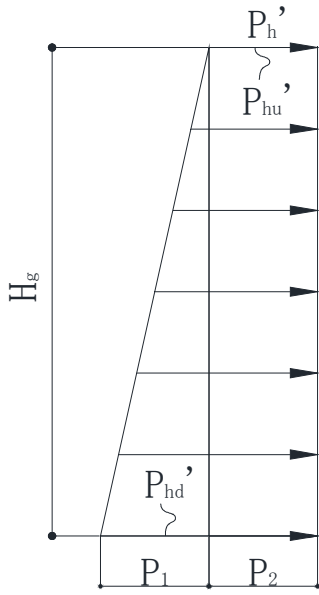


図3.5-2 芯材（主桁）に生じる荷重の例

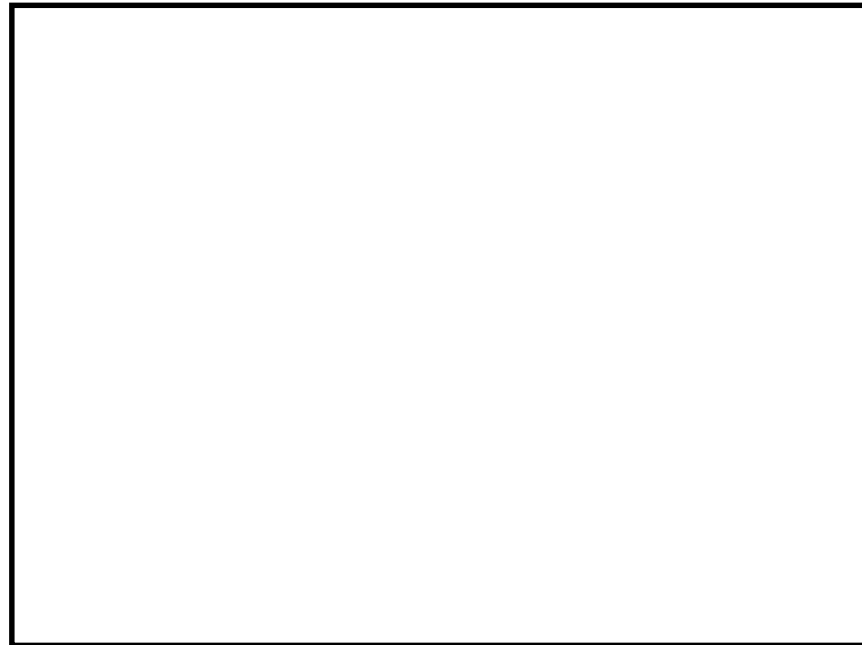
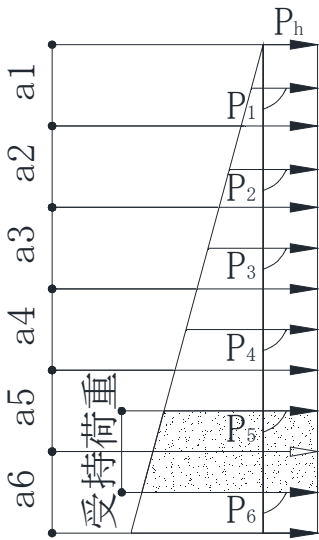


図3.5-3 芯材（横桁）に生じる荷重の例

c. 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ボルトで構成されており、次式により算定する溢水に伴う荷重による反力から、各部材に発生する荷重を算定する。カンヌキ部に生じる荷重の例を図3.5-4に示す。

$$R_p = P_0 \cdot \frac{h'}{n \cdot H_g}$$

$$h' = H_g - h_c$$

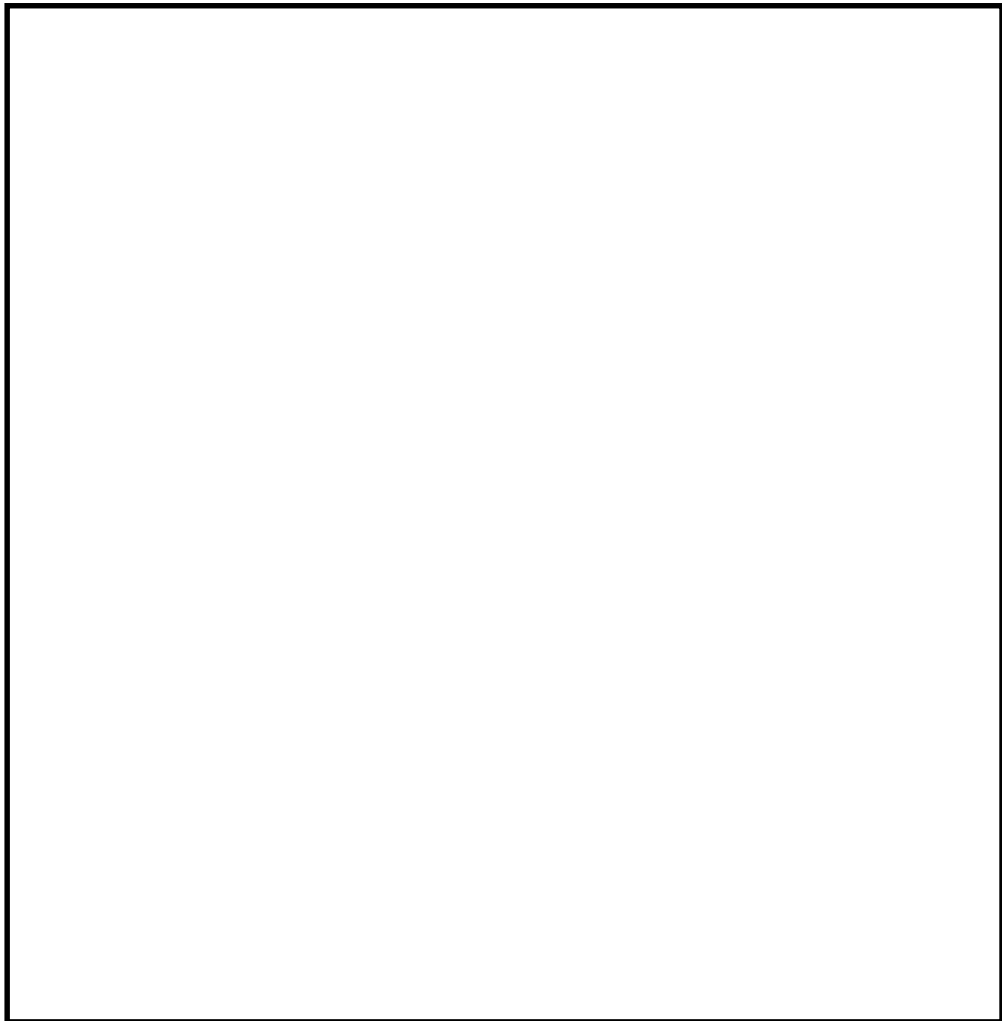


図3.5-4 カンヌキ部に生じる荷重の例

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる荷重は，次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図3.5-5に示す。

$$M = R_p \cdot L_b$$

$$Q = R_p$$

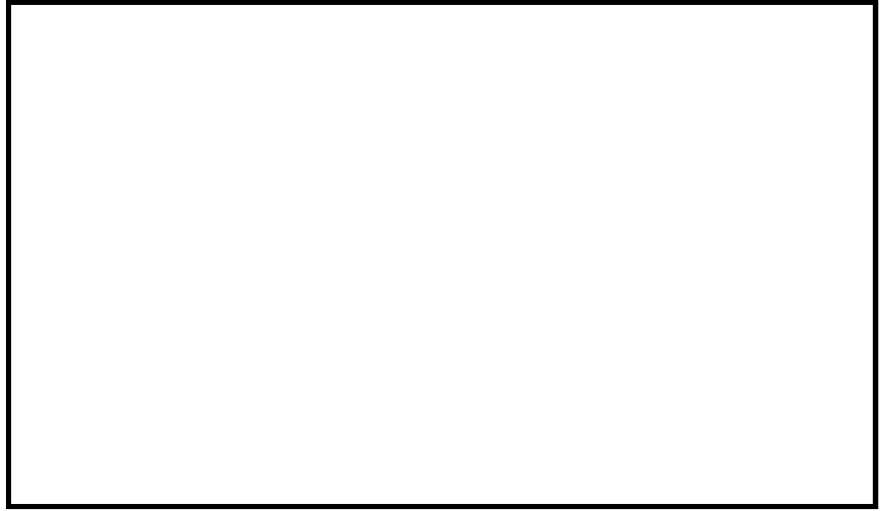


図3.5-5 カンヌキに生じる荷重の例

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる荷重は，次式により算定する。カンヌキ受けピンに生じる荷重の例を図3.5-6に示す。

$$M = R_p \cdot \frac{L_p}{4}$$

$$Q = R_p$$

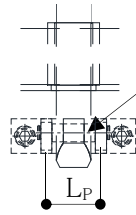


図3.5-6 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる荷重は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例を図3.5-7に示す。

$$T=R_p$$



図3.5-7 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(2) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

a. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

b. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

c. カンヌキ

(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、組合せ応力度を次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M}{Z}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2}$$

(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以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{2 \cdot A}$$

(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算定し，ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_T = \frac{T}{n \cdot A_b}$$

3.6 評価条件

「3.5 評価方法」に用いる評価条件を表3.6-1に示す。

表3.6-1 強度評価に用いる条件(1/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値
				原子炉建屋原子炉棟水密扉
共通	G	kN	水密扉の自重	
扉板	L	m	区画短辺の長さ	
	W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重	170.1
	W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重	185.3
	M_{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.08
	M_{x2}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.05
	Z	mm ³	断面係数	196000
芯材(主桁)	H_g	m	受圧高	5.585
	B	m	受圧幅	1.100
	P_{hu}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重(上部)	113.4
	P_{hd}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重(下部)	123.5
	Z	mm ³	断面係数	5890000
	A	mm ²	断面積	27920

表3.6-1 強度評価に用いる条件(2/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値	
				原子炉建屋原子炉棟水密扉	
(主桁) 芯材	Y	m	主桁ピッチ		
芯材 (横桁)	a ₁	m	横桁ピッチ		
	a ₂	m	横桁ピッチ		
	a ₃	m	横桁ピッチ		
	a ₄	m	横桁ピッチ		
	a ₅	m	横桁ピッチ		
	a ₆	m	横桁ピッチ		
	P ₁	kN/m ²	津波荷重		98.03
	P ₂	kN/m ²	津波荷重		108.3
	P ₃	kN/m ²	津波荷重		118.4
	P ₄	kN/m ²	津波荷重		128.5
	P ₅	kN/m ²	津波荷重		137.1
	P ₆	kN/m ²	津波荷重		144.9
	Z	mm ³	断面係数	860000	
A	mm ²	断面積	9143		

表3.6-1 強度評価に用いる条件(3/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値	
				原子炉建屋原子炉棟水密扉	
カンヌキ部	R_p	kN	設計水圧荷重	0.381	
	h_c	m	水圧中心位置	0.040	
	H_g	m	重圧高	0.120	
カンヌキ部	カンヌキ	L_b	mm	軸支持間距離	66.0
		n	本	本数	4
		Z	mm ³	断面係数	12270
		A	mm ²	断面積	1963
	カンヌキ受け ピン	L_p	mm	軸支持間距離	91.0
		n	本	本数	1
		Z	mm ³	断面係数	1534
		A	mm ²	断面積	490.9
	カンヌキ受け ルト	n	本	本数	2
		A_b	mm ²	断面積	157

3.7 強度評価結果

原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価結果を表5-1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以下である。

表5-1 原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価結果

名 称	評価対象部位	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生応力度/ 許容限界	
原子炉建屋 原子炉棟水 密扉	扉 板	74	235	0.32	
	芯材* ¹	87	235	0.38	
	カン ヌ キ 部	カンヌキ* ²	3	205	0.01
		カンヌキ受けピン* ³	6	686	0.01
		カンヌキ受けボルト	2	651	0.01

*1：主桁及び横桁のせん断及び曲げのうち評価結果が最も厳しくなる主桁の曲げによる値を記載

*2：曲げ応力度及びせん断応力度の組合せ応力度値を記載

*3：せん断及び引張のうち評価結果が厳しくなるせん断による値を記載

4. 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

4.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を第 4.1-1 表に示す。

第 4.1-1 表 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	断面積
A _a	mm ²	1 本当たりの表面積
A _b	mm ²	1 本当たりの断面積
a _n	m	主桁ピッチ
B ₁	m	受圧幅
B ₂	m	ブッシュ長さ
g	m/s ²	重力加速度
h	m	当該部分の浸水深
H ₀	m	水深
H _g	m	受圧高
H _{1~3}	m	各区画長辺の長さ
L ₁	mm	ヒンジ板作用点間距離
L ₂	mm	ヒンジピン軸支持間距離
L ₃	mm	ロックバー作用点間距離
L ₄	m	区画短辺の長さ
L _j	m	ヒンジ中心間距離
L _r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離
M	kN・m	曲げモーメント
M _{x1・3・5}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
M _{x2・4・6}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数
n	本	ボルト及びアンカーボルトの本数

第 4.1-1 表 強度評価に用いる記号(2/2)

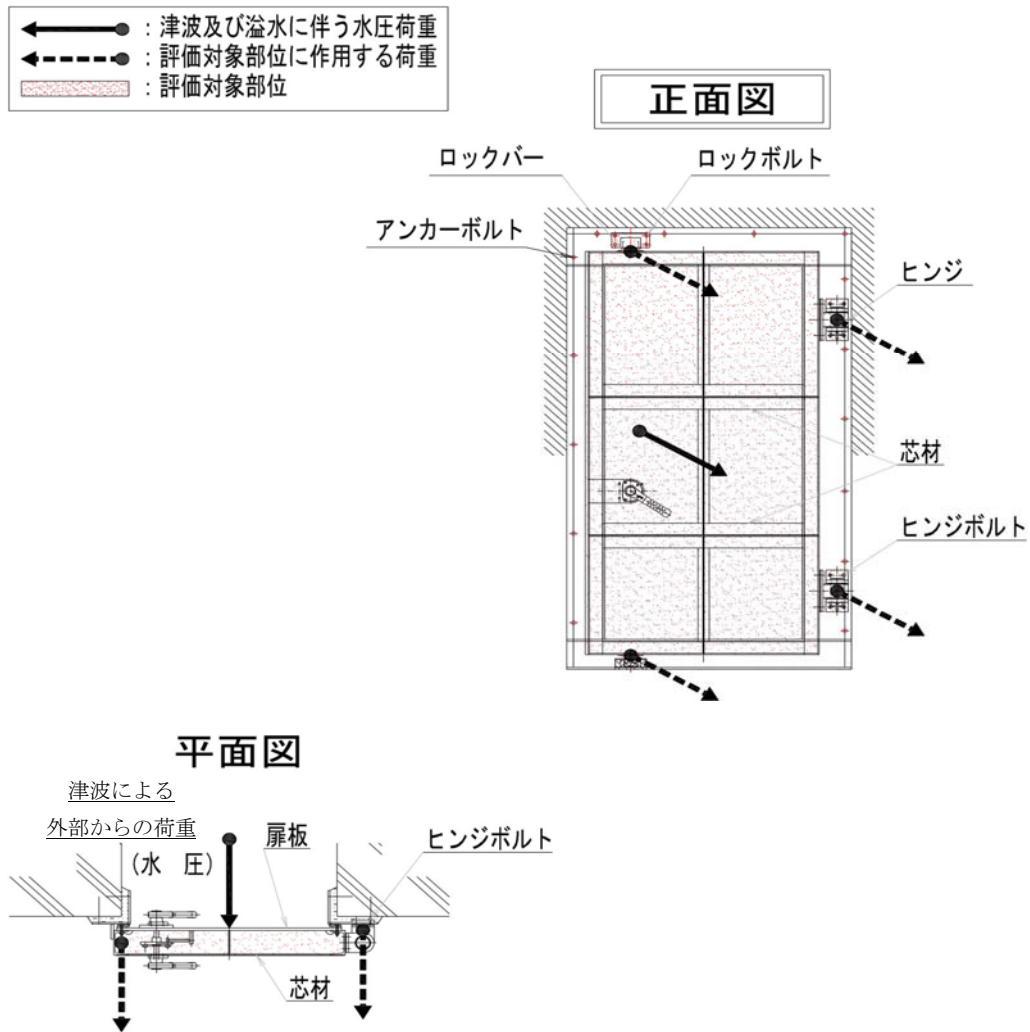
記号	単位	定義
P	kN	扉板（上部欄間又は上部パネル）全体に作用する合計荷重
P_a	N/mm^2	アンカーの短期許容付着応力度
P_h	kN/m^2	津波による静水圧荷重
P_{hd}	kN/m^2	津波による静水圧荷重（下部）
P_{hu}	kN/m^2	津波による静水圧荷重（上部）
P_o	kN	水圧荷重
Q	kN	せん断力
R_{og}	kN	ヒンジ, ロックバーにかかる水平荷重
R_r	kN	扉体自重反力
T	kN	引張力
$W_{1\sim4}$	kN/m	各区画短辺にかかる単位長さ当たりの作用荷重
W_x	kN	扉体自重
Y	m	縦桁ピッチ
Z	mm^3	断面係数
ρ	t/m^3	水の密度
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_T	N/mm^2	引張応力度
σ_x	N/mm^2	組合せ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

4.2 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、添付資料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」にて示している評価対象部位を踏まえて設定する。

水密扉に生じる津波に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材からヒンジ及びロックバーに伝わり、ヒンジボルト及びロックボルトを介して、枠体に伝達される。また、枠体はアンカーボルトにより壁と一体化しており荷重は躯体に伝わる。従ってヒンジ、ロックバー、ヒンジボルト、ロックボルト及びアンカーボルトも評価対象部位となる。

水密扉に作用する荷重の作用図を第 4.2-1 図に示す。



第 4.2-1 図 水密扉に作用する荷重の作用イメージと評価対象部位

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、添付資料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。

P_h (溢水時)

$P_h + K_s$ (重畳時)

なお、本資料において、余震による地震荷重を K_s 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. 固定荷重(W_x)

固定荷重 W_x として、水密扉の自重を考慮する。

b. 津波に伴う荷重(P_h)

津波に伴う荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。津波による静水圧荷重は、対象とする海水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。尚、敷地に遡上する津波の浸水深は原子炉建屋設置地盤レベルにおいて1.0mを超えないが、本評価においては、遡上津波荷重の水圧として考慮する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水(0.2m)を考慮し、原子炉建屋設置地盤レベルEL.+8.0mでの15mの浸水深を考慮した水圧作用高さEL.+23.0mでの評価を行う。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

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	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	EL. 23.0m	1.03

c. 余震荷重 (地震荷重 K_s)

余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大床応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大床応答加速度を保守的に評価するために、最大床応答加速度の抽出位置は、水密扉設置位置よりも上部の節点の値とし、原子炉建屋については、水密扉設置階の上階(上層)の値とする。。なお、静的震度は最大床応答加速度を重力加速度で除して算出する。

原子炉建屋水密扉の震度の設定に用いる最大床応答加速度は資料V-2-1「耐震設計の

基本方針」のうち資料V-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。

水密扉の水平震度 K_H を表4.3-2に示す。

地震荷重 K_S は、水密扉の固定荷重に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K_H$$

表4.3-2 水密扉の水平震度 K_H

弾性設計用 地震動	設置場所 (床面高さ)	水平震度 C_H^{*1}	鉛直震度 C_V^{*1}
S_d-D1	原子炉建屋1階 (EL. +8.2m)	0.28	0.24

*1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

(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4.3-3に示す。

なお、敷地に遡上する津波の最大浸水深は保守的に1.0mとしており、また排水設備は基準地震動 S_s に耐える設計であり、防潮堤内側に流入した津波の排水機能に期待できることから、津波荷重との重畳評価は不要とする。

表4.3-3 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
原子炉建屋付属棟北側水密扉1	津波時	$W_x + P_h$
	重畳時	$W_x + P_h + K_S^{*1}$

*1：本評価においては津波荷重との重畳不要

4.4 許容限界

水密扉の許容限界は、「4.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、添付資料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」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト、ロックバー、ロックボルト及びアンカーボルトの使用材料を表4.4-1表に示す。

表 4.4-1 使用材料

部 位		材 質	仕 様[mm]
扉 板			
芯 材	主 桁		
	中間縦桁		
	端縦桁		
ヒンジ	ヒンジ板		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト (枠体側)		
	ヒンジボルト (扉側)		
ロックバー			
ロックボルト			
アンカーボルト			

(2) 許容限界

- a. 扉板, 芯材, ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト, ロックバー, ロックボルト及びアンカーボルトの許容限界は, 「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, ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト, ロックバー, ロックボルトの許容限界

材 料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ・引張り	せん断
	235	135
	215	124
	205	118
	345	199

*1: t は板厚(mm)を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「JIS G 4303:2012 ステンレス鋼棒」, 「JIS G 4304:2102 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」及び「JIS G 4317:2013 熱間成形ステンレス鋼板鋼」に基づく

- b. アンカーボルトの許容限界は、「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説((社)日本建築学界, 2010 改定)」に基づき算定した, 表 4.4-3 の値とする。

表 4.4-3 アンカーボルトの許容限界

コンクリート設計基準強度	fa : 短期許容付着応力度
(N/mm ²)	(N/mm ²)
22.1	1.98

4.5 評価方法

水密扉の強度評価は, 添付資料 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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる荷重は, 津波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, 次式により算定する。

扉板に生じる荷重の例を第 3-2 図に示す。

$$\text{区画 1 : } M_1 = M_{x1} \cdot W_1 \cdot L_4^2 + M_{x2} \cdot (W_2 - W_1) \cdot L_4^2$$

$$\text{区画 2 : } M_2 = M_{x3} \cdot W_2 \cdot L_4^2 + M_{x4} \cdot (W_3 - W_2) \cdot L_4^2$$

$$\text{区画 3 : } M_3 = M_{x5} \cdot W_3 \cdot L_4^2 + M_{x6} \cdot (W_4 - W_3) \cdot L_4^2$$

区画 1~3 のうち最も大きい荷重の区画の数値を採用し検討するものとする。

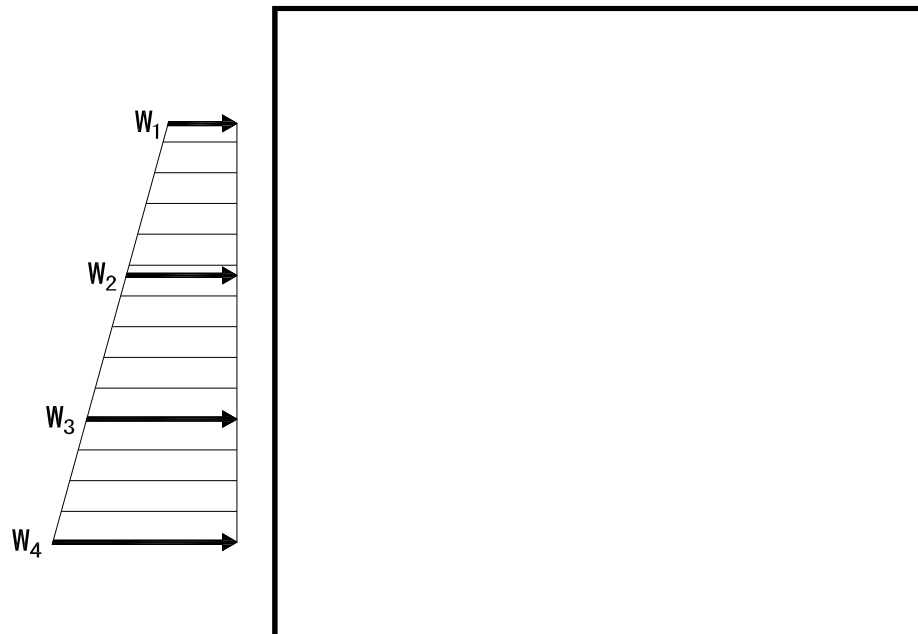


図 4.5-1 扉板に生じる荷重の図

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、津波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、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 4.5-2 に示す。

(a) 主桁

$$M = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{B_1^2}{8}$$

$$M = a_n^2 \cdot \left\{ \left(\frac{P_{(1\sim3)}}{9\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{P_{(4\sim6)}}{8} \right) \right\} \cdot c$$

$$Q = H_g \cdot \left(\frac{P_1}{3} + \frac{P_2}{2} \right) \cdot c$$

(b) 縦桁

$$P_1 = P'_{h2} - P'_{h1}$$

$$P_2 = P'_{h3} - P'_{h2}$$

$$P_3 = P'_{h4} - P'_{h3}$$

$$P_4 = P'_{h1}$$

$$P_5 = P'_{h2}$$

$$P_6 = P'_{h3}$$

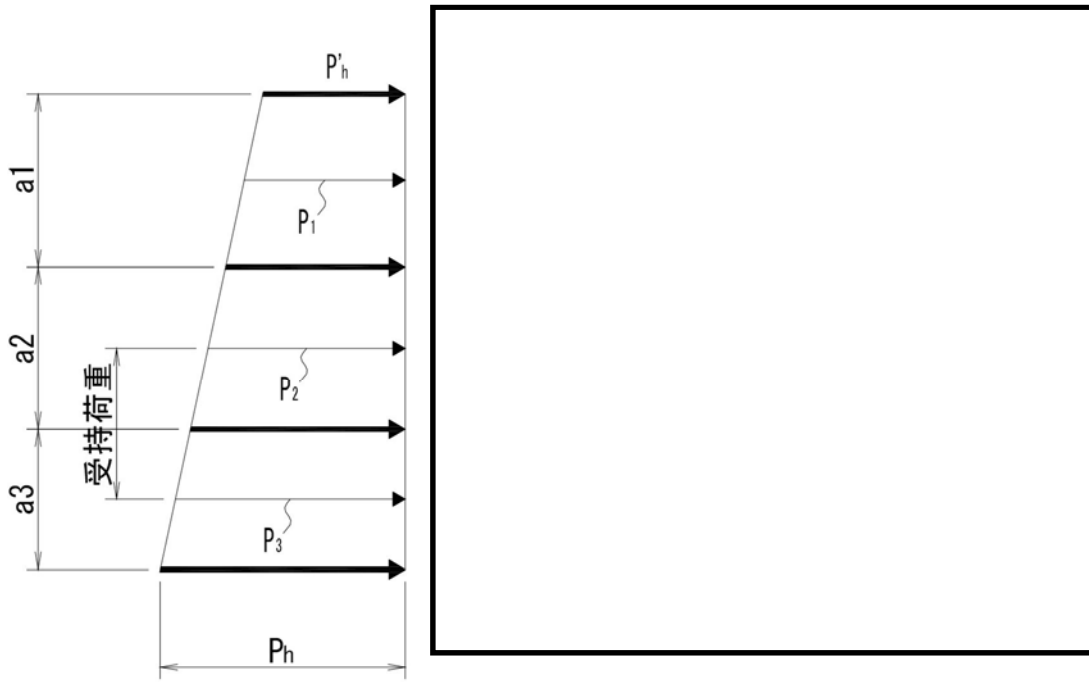
$$P'_{h1} = P_{h1} \cdot B_1$$

$$P'_{h2} = P_{h2} \cdot B_1$$

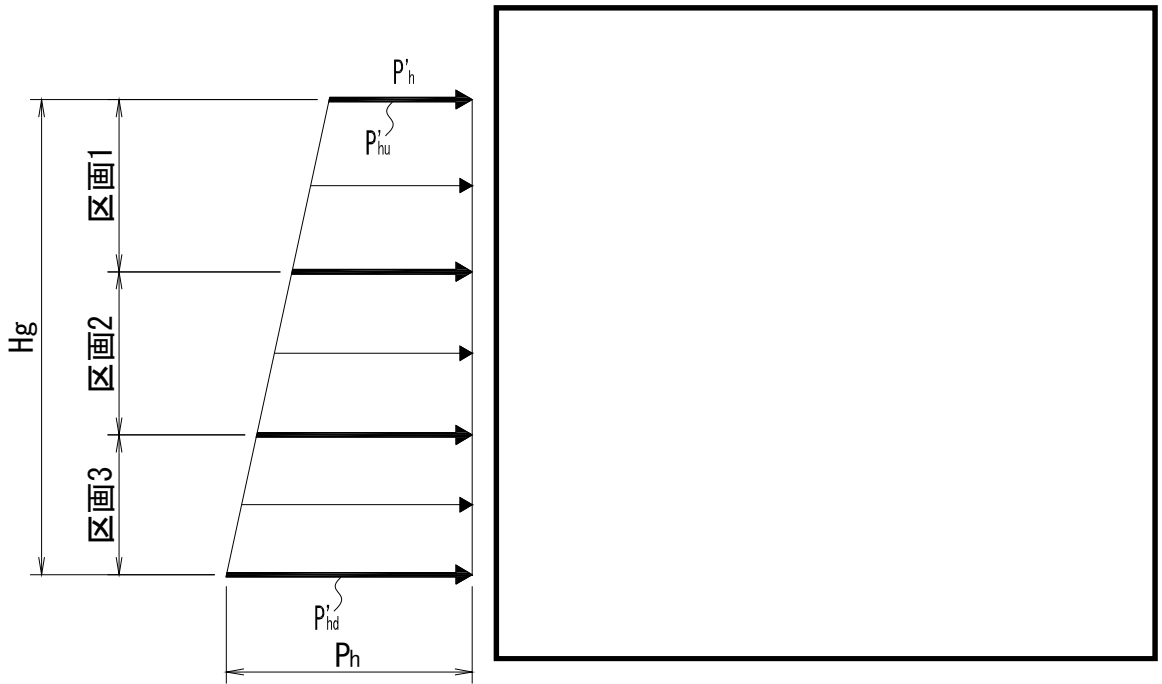
$$P'_{h3} = P_{h3} \cdot B_1$$

$$P'_{h4} = P_{h4} \cdot B_1$$

中間縦桁 $c = 1/2$ ，端縦桁 $c = 1/4$



主桁に生じる荷重の例



縦桁に生じる荷重の例

図 4.5-2 芯材に生じる荷重の例

扉全閉時にかかる水圧荷重は、上下計 2ヶ所のロックバー部と本図右側 2ヶ所のヒンジ部でうけもち、水圧荷重のうち各々 1/4 がかかるものとして検討する。

c. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水圧荷重から、各部材に発生する荷重を算定する。

ヒンジ部に生じる荷重の例を図 4.5-3 に示す。

$$R_{og} = \sqrt{\left(\frac{P_0}{4}\right)^2 + R_r^2}$$

$$P_0 = \frac{\rho \cdot B_1 \cdot (H_0^2 - H_1^2)}{2}$$

$$R_r = W_x \cdot \left(\frac{L_r}{L_j}\right)$$

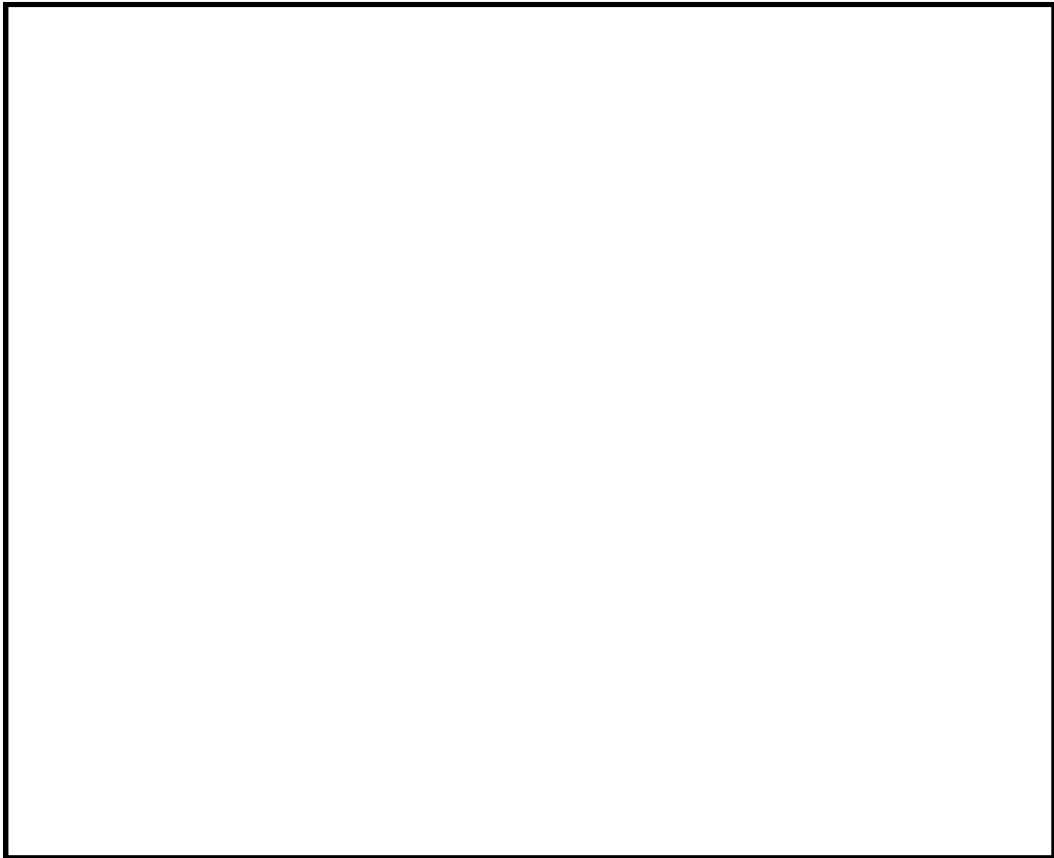
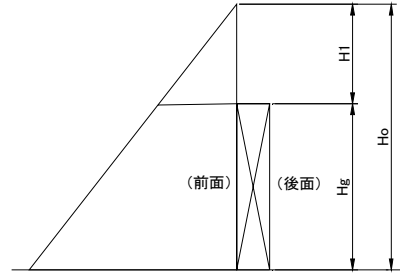


図 4.5-3 ヒンジ部に生じる荷重の例

(b) ヒンジ板

ヒンジ板に生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 4.5-4 に示す。

$$Q = \frac{R_{og}}{2}$$

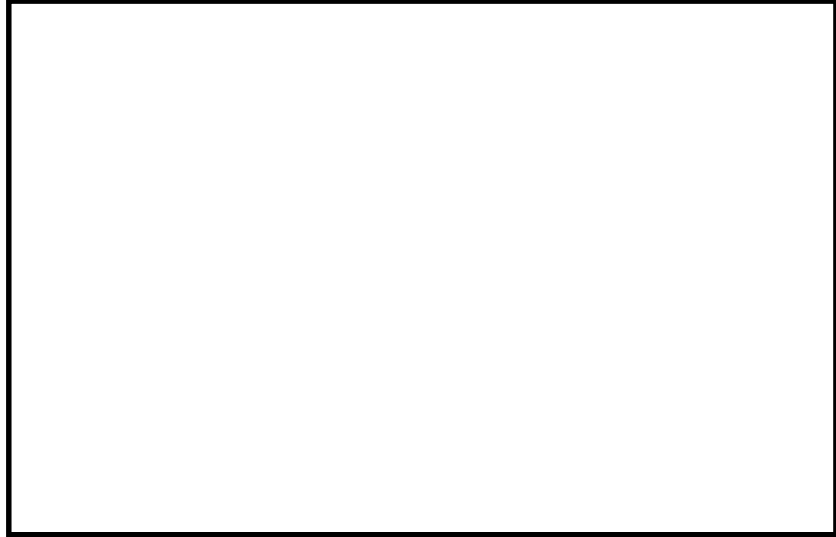


図 4.5-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

(c) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 4.5-5 に示す。(戸当り側のヒンジは上下 2ヶ所、1ヶ所当りヒンジ板は 2枚)

$$M = R_{og} \cdot \frac{(2 \cdot L_2 - B_2)}{8}$$

$$Q = \frac{R_{og}}{2}$$



図 4.5-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

(d) ヒンジボルト（枠体側）

ヒンジボルト（枠体側）には水圧により引張力がかかる。次式により算定する。
ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.5-6 に示す。

$$T=Rog= \sqrt{\left(\frac{P_0}{4}\right)^2+Rr^2}$$



図 4.5-6 ヒンジボルト（枠体側）に生じる荷重の例

(e) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）には水圧により引張力がかかる。次式により算定する。
ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.5-7 に示す。

$$Q=Rog= \sqrt{\left(\frac{P_0}{4}\right)^2+Rr^2}$$



図 4.5-7 ヒンジボルト（扉側）に生じる荷重の例

d. ロックバー部

ロックバー部は、ロックバー及びロックボルトで構成されており、次式により算定する水圧荷重から、各部材に発生する荷重を算定する。ロックバー部に生じる荷重の例を図 4.5-8 に示す。

$$R_{og} = \frac{P_0}{4}$$

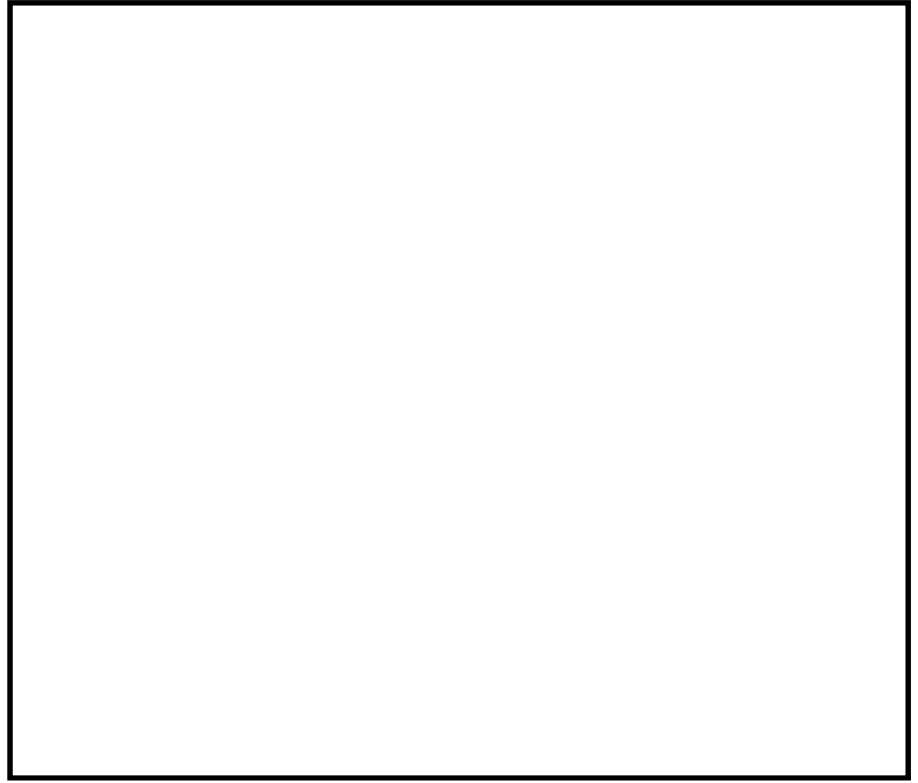


図 4.5-8 図 ロックバー部に生じる荷重の例

(a) ロックバー

ロックバーに生じる応力は、次式により算定する。ロックバーに生じる荷重の例を図 4.5-9 に示す。

$$M = R_{og} \cdot L_3$$



図 4.5-9 ロックバー部に生じる荷重の例

(b) ロックボルト

ロックボルトには水圧により引張力がかかる，次式により算出する。
 ロックボルトに生じる荷重の例を図 4.5-10 に示す。

$$T=Rog=\frac{P_0}{4}$$



図 4.5-10 ロックボルトに生じる荷重の例

e. アンカーボルト

アンカーボルトは，枠体を躯体に固定している。扉体に生じる水平荷重が枠体に伝わるとして，各アンカーボルトに発生する荷重を次式により算定する。

アンカーボルトに生じる荷重の例を図 4.5-11 に示す。(枠体側)

$$T=\frac{P_0}{n}$$

アンカーボルト
 M16x15本

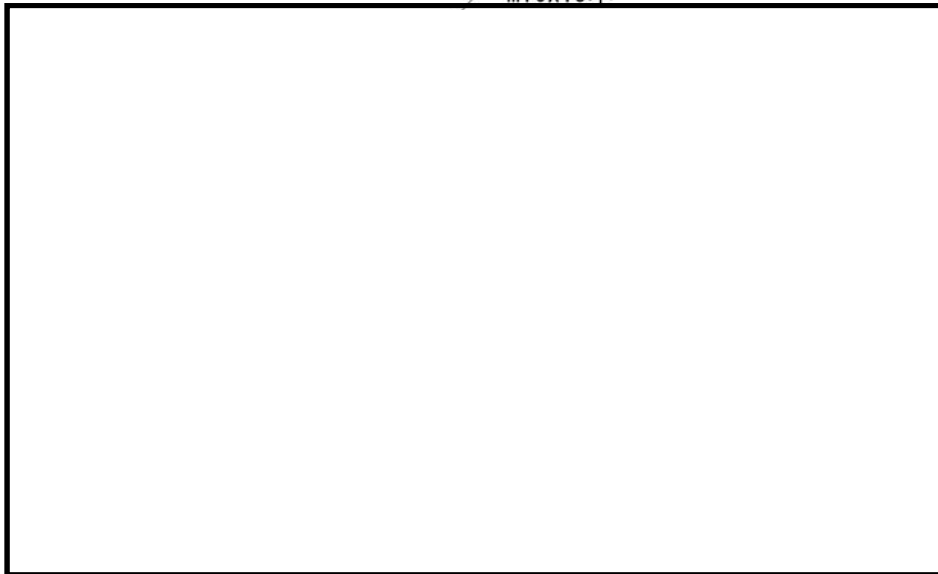


図 4.5-11 アンカーボルトに生じる荷重の例

(2) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

a. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

b. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

c. ヒンジ

(a) ヒンジ板

ヒンジ板に生じるせん断応力度がヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

(b) 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がヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\Sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

(c) ヒンジボルト

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

$$\sigma_T = \frac{T}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

(d) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）に生じるせん断応力度を次式により算定し、ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

d. ロックバー

(a) ロックバー

ロックバーに生じる曲げ応力度がロックバーの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

(b) ロックボルト

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

$$\sigma_T = \frac{T}{n_2 \cdot A_{b3}}$$

e. アンカーボルト

(1) 応力算定で算定した T : 荷重を、アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力とし、短期許引張力以下であることを確認する。

$$T = \frac{P_0}{n}$$

4.6 評価条件

「4.5 評価方法」に用いる評価条件を表 4.6-1 に示す。

表 4.6-1 強度評価に用いる条件(1/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
扉板	L ₄	m	区画短辺の長さ	
	W ₁	kN/m	最上段部の単位長さ当たりの作用荷重	128.2
	W ₂	kN/m	中段上部の単位長さ当たりの作用荷重	135.7
	W ₃	kN/m	中段下部の単位長さ当たりの作用荷重	142.7
	W ₄	kN/m	最下段部の単位長さ当たりの作用荷重	148.8
	M _{X1}	-	区画1等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.074
	M _{X2}	-	区画1等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.042
	M _{X3}	-	区画2等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.072
	M _{X4}	-	区画2等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.042
	M _{X5}	-	区画3等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.063
	M _{X6}	-	区画3等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.038
Z ₁	mm ³	断面係数	12360	

表 4.6-1 強度評価に用いる条件 (2/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	Hg	m	受圧高	
	B ₁	m	受圧幅	
	P _{h1}	kN/m ²	津波による 静水圧荷重 (最上部)	128.2
	P _{h2}	kN/m ²	津波による静水圧荷重 (中間上部)	135.7
	P _{h3}	kN/m ²	津波による静水圧荷重 (中間下部)	142.7
	P _{h4}	kN/m ²	津波による 静水圧荷重 (最下部)	148.8
	Z ₂	mm ³	断面係数	131964
	A ₁	mm ²	断面積	695.5
芯材 (縦桁)	a1	m	主桁ピッチ	
	a2	m	主桁ピッチ	
	a3	m	主桁ピッチ	
	Y	m	縦桁ピッチ	
	p1	kN/m ²	津波による水圧荷重	131.9
	p2	kN/m ²	津波による水圧荷重	139.1
	p3	kN/m ²	津波による水圧荷重	145.7
	Z ₃	mm ³	断面係数	31264
	Z ₄	mm ³	断面係数	67396
	A ₂	mm ³	断面積	1044
	A ₃	mm ³	断面積	654

表 4.6-1 強度評価に用いる条件 (3/4)

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		P_o	kN	水圧荷重	
		P_r	kN	ヒンジ部にかかる 扉自重反力	
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離	
		L_j	m	ヒンジ中心間距離	
	板	Z_5	mm ³	断面係数	
		A_4	mm ²	断面積	
	ピン	L_2	mm	軸支持間距離	
		B_2	mm	ブッシュ長さ	
		Z_6	mm ³	断面係数	
		A_5	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト (枠体側)	n_1	本	本数	
		A_{b1}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	
	ヒンジボルト (扉側)	n_2	本	本数	
		A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	

表 4.6-1 強度評価に用いる条件 (4/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
ロック バー	L_3	mm	作用点間距離	
	Z_7	mm^3	断面係数	
	A_6	mm^2	断面積	
ロック ボルト	n_3	本	本数	
	A_{b3}	mm^2	1本当たりの断面積 (M16)	
アンカー ボルト	n_4	本	本数	
	A_a	mm^2	1本当たりの表面積 (M16)	
	A_{b4}	mm^2	1本当たりの断面積 (M16)	

4.7 強度評価結果

原子炉建屋付属棟北側水密扉1の強度評価結果を表4.7-1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以下である。

表 4.7-1 強度評価結果 (1/3)

名 称	評価対象部位	発生応力度	許容限界値	発生応力度/許容限界
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
原子炉建屋 付属棟北側 水密扉1	扉板	216	235	0.92
	芯材*1	131	235	0.56

*1：主桁及び縦桁のせん断及び曲げのうち評価結果が最も厳しくなる中間縦桁区画1の曲げによる値を記載

表 4.7-1 強度評価結果 (2/3)

名 称	評価対象部位		発生 応力度 (N/mm ²)	許容 限界値 (N/mm ²)	発生応力 度/許容限 界値
原子炉建屋付属棟 北側水密扉1	ヒンジ部	板	22	118	0.19
		ピン*1	250	345	0.73
		ヒンジボルト (枠体側)	111	205	0.55
		ヒンジボルト (扉側)	111	118	0.95
	ロックバー部	ロックバー	108	345	0.32
		ロックボルト	111	205	0.55

*1：せん断及び曲げのうち評価結果が厳しくなる曲げによる値を記載

表 4.7-1 強度評価結果 (3/3)

名 称	評価対象部位	発生 応力(kN)	許容 限界値 (kN)	発生応力 度/許容限 界値
原子炉建屋付属棟 北側水密扉1	アンカーボルト	19	26	0.74

5. 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

5.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 5.1-1 に示す。

表 5.1-1 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	断面積
A _a	mm ²	1 本当たりの表面積
A _b	mm ²	1 本当たりの断面積
a _n	m	主桁ピッチ
B ₁	m	受圧幅
B ₂	m	ブッシュ長さ
g	m/s ²	重力加速度
h	m	当該部分の浸水深
H ₀	m	水深
H _g	m	受圧高
H _{1~3}	m	各区画長辺の長さ
L ₁	mm	ヒンジ板作用点間距離
L ₂	mm	ヒンジピン軸支持間距離
L ₃	mm	ロックバー作用点間距離
L ₄	m	区画短辺の長さ
L _j	m	ヒンジ中心間距離
L _r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離
M	kN・m	曲げモーメント
M _{x1・3・5}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
M _{x2・4・6}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数
n	本	ボルト及びアンカーボルトの本数

表 5.1-1 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
P	kN	扉板（上部欄間又は上部パネル）全体に作用する合計荷重
P_a	N/mm^2	アンカーの短期許容付着応力度
P_h	kN/m^2	津波による静水圧荷重
P_{hd}	kN/m^2	津波による静水圧荷重（下部）
P_{hu}	kN/m^2	津波による静水圧荷重（上部）
P_o	kN	水圧荷重
Q	kN	せん断力
R_{og}	kN	ヒンジ, ロックバーにかかる水平荷重
R_r	kN	扉体自重反力
T	kN	引張力
$W_{1\sim4}$	kN/m	各区画短辺にかかる単位長さ当たりの作用荷重
W_x	kN	扉体自重
Y	m	縦桁ピッチ
Z	mm^3	断面係数
ρ	t/m^3	水の密度
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_T	N/mm^2	引張応力度
σ_X	N/mm^2	組合せ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

5.2 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、添付資料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」に示している評価対象部位を踏まえて設定する。

水密扉に生じる津波に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材からヒンジ及びロックバーに伝わり、ヒンジボルト及びロックボルトを介して、枠体に伝達される。また、枠体はアンカーボルトにより壁と一体化しており荷重は躯体に伝わる。従ってヒンジ、ロックバー、ヒンジボルト、ロックボルト及びアンカーボルトも評価対象部位となる。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 5.2-1 に示す。

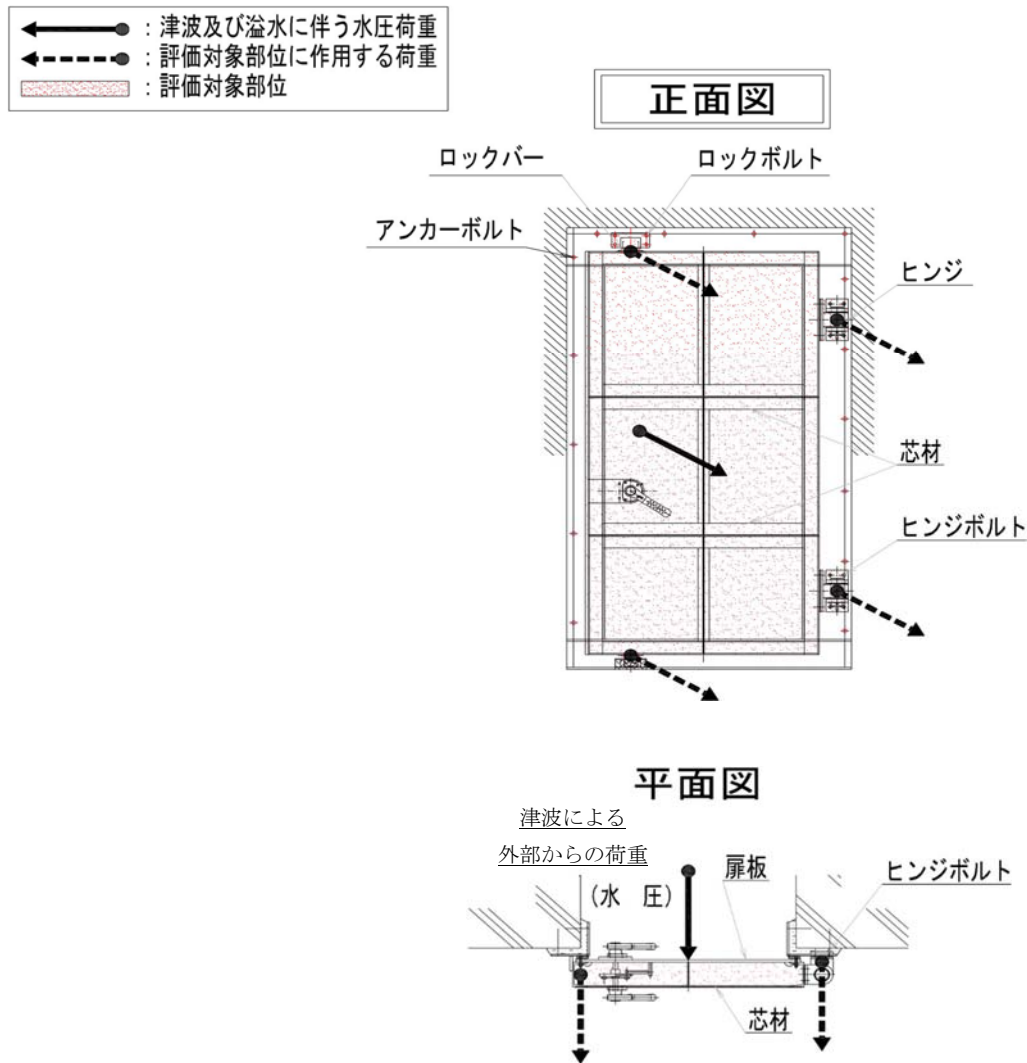


図 5.2-1 水密扉に作用する荷重の作用イメージと評価対象部位

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、添付資料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。

P_h (溢水時)

$P_h + K_s$ (重畳時)

なお、本資料において、余震による地震荷重を K_s 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. 固定荷重(W_x)

固定荷重 W_x として、水密扉の自重を考慮する。

b. 津波に伴う荷重(P_h)

津波に伴う荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。津波による静水圧荷重は、対象とする海水の密度に当該部分の水圧作用高さに乗じた次式により算出する。尚、敷地に遡上する津波の浸水深は原子炉建屋設置地盤レベルにおいて 1.0m を超えないが、本評価においては、遡上津波荷重の水圧として考慮する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水 (0.2m) を考慮し、原子炉建屋設置地盤レベル EL. +8.0m での 15m の浸水深を考慮した水圧作用高さ EL. +23.0m での評価を行う。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

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 5.3-2 に示す。

表 5.3-2 水圧作用高さ及び水の密度

扉名称	水圧作用高さ	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋附属棟北側水密扉 2	EL. 23.0m	1.03

c. 余震荷重 (地震荷重 K_s)

余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大床応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大床応答加速度を保守的に評価するために、最大床応答加速度の抽出位置は、水密扉設置位置よりも上部の節点の値とし、原子炉建屋については、水密扉設置階の上階 (上層) の値とする。なお、静的震度は最大床応答加速度を重力加速度で除して算出する。

原子炉建屋水密扉の震度の設定に用いる最大床応答加速度は資料V-2-1「耐震設計の

基本方針」のうち資料V-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。

水密扉の水平震度 K_H を表5.3-3に示す。

地震荷重 K_S は、水密扉の固定荷重に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K_H$$

表5.3-3 水密扉の水平震度 K_H

弾性設計用 地震動	設置場所 (床面高さ)	水平震度 C_H^{*1}	鉛直震度 C_V^{*1}
$S_d - D 1$	原子炉建屋1階 (EL. +8.2m)	0.28	0.24

*1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

(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。

原子炉建屋水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せを表5.2-3に示す。

なお、敷地に遡上する津波の最大浸水深は保守的に1.0mとしており、また排水設備は基準地震動 S_s に耐える設計であり、防潮堤内側に流入した津波の排水機能に期待できることから、津波荷重との重畳評価は不要とする。

表5.3-4 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
原子炉建屋附属棟北側水密扉2	津波時	$W_x + P_h$
	重畳時	$W_x + P_h + K_S^{*1}$

*1：本評価においては津波荷重との重畳は不要とする。

5.4 許容限界

水密扉の許容限界は、「5.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、添付資料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」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト、ロックバー、ロックボルト及びアンカーボルトの使用材料を表5.4-1に示す。

表 5.4-1 使用材料

部 位		材 質	仕 様[mm]
扉 板			
芯 材	主 桁		
	中間縦桁		
	端縦桁		
ヒンジ	ヒンジ板		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト (枠体側)		
	ヒンジボルト (扉側)		
ロックバー			
ロックボルト			
アンカーボルト			

(2) 許容限界

- a. 扉板, 芯材, ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト, ロックバー, ロックボルト及びアンカーボルトの許容限界は, 「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, ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト, ロックバー, ロックボルトの許容限界

材 料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ・引張り	せん断
	235	135
	215	124
	205	118
	345	199

*1: t は板厚(mm)を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「JIS G 4303:2012 ステンレス鋼棒」, 「JIS G 4304:2102 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」及び「JIS G 4317:2013 熱間成形ステンレス鋼板鋼」に基づく

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は, 「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説((社)日本建築学会, 2010 改定)」に基づき算定した, 表 5.4-3 の値とする。

表 5.4-3 アンカーボルトの許容限界

コンクリート設計基準強度	f _a : 短期許容付着応力度
(N/mm ²)	(N/mm ²)
22.1	1.98

5.5 評価方法

水密扉の強度評価は、添付資料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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる荷重は、津波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、次式により算定する。

扉板に生じる荷重の例を図 5.5-1 に示す。

$$\text{区画 1 : } M_1 = M_{x1} \cdot W_1 \cdot L_4^2 + M_{x2} \cdot (W_2 - W_1) \cdot L_4^2$$

$$\text{区画 2 : } M_2 = M_{x3} \cdot W_2 \cdot L_4^2 + M_{x4} \cdot (W_3 - W_2) \cdot L_4^2$$

$$\text{区画 3 : } M_3 = M_{x5} \cdot W_3 \cdot L_4^2 + M_{x6} \cdot (W_4 - W_3) \cdot L_4^2$$

区画 1～3 のうち最も大きい荷重の区画の数値を採用し検討するものとする。

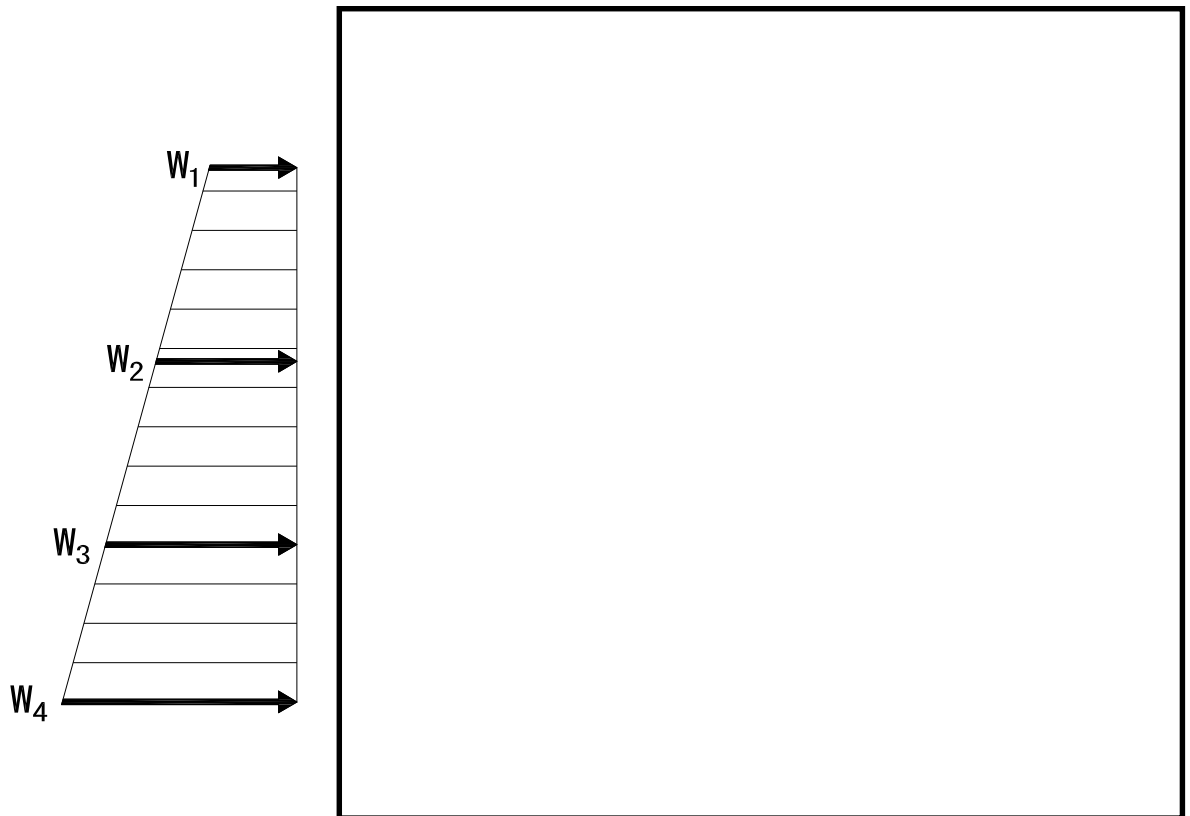


図 5.5-1 扉板に生じる荷重の図

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、津波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、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 5.5-2 に示す。

(a) 主桁
$$M = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{B_1^2}{8}$$

$$Q = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{B_1}{2}$$

(b) 縦桁
$$M = a_n^2 \cdot \left\{ \left(-\frac{P_{(1\sim3)}}{9\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{P_{(4\sim6)}}{8} \right) \right\} \cdot c$$

$$Q = H_g \cdot \left(\frac{P_1}{3} + \frac{P_2}{2} \right) \cdot c$$

$$P_1 = P'_{h2} - P'_{h1}$$

$$P_2 = P'_{h3} - P'_{h2}$$

$$P_3 = P'_{h4} - P'_{h3}$$

$$P_4 = P'_{h1}$$

$$P_5 = P'_{h2}$$

$$P_6 = P'_{h3}$$

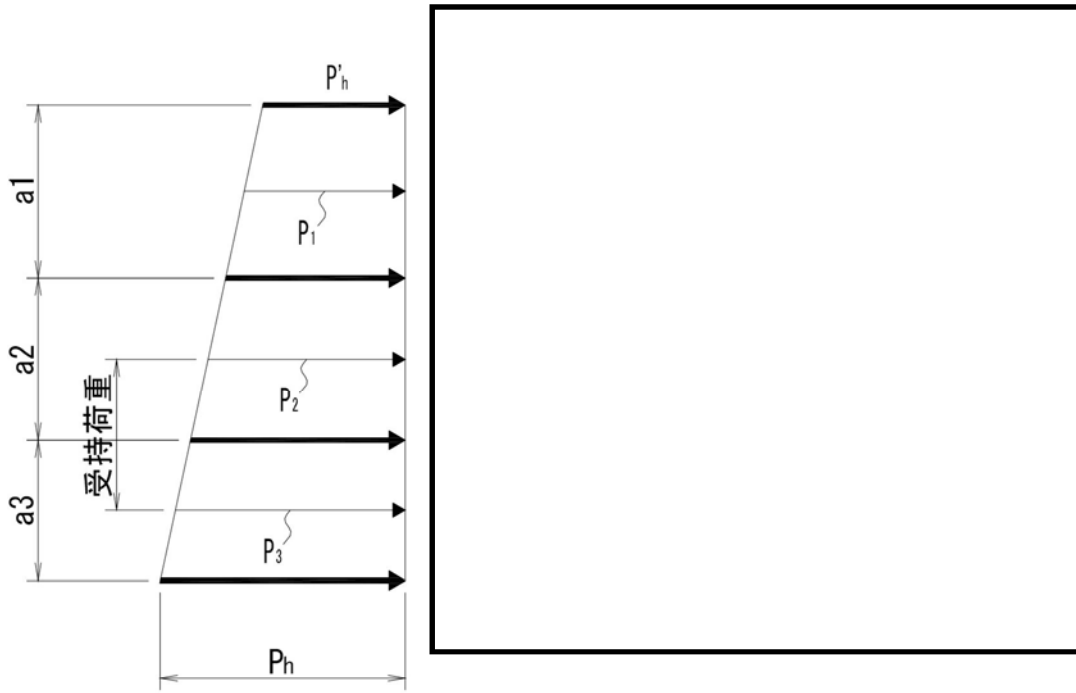
$$P'_{h1} = P_{h1} \cdot B_1$$

$$P'_{h2} = P_{h2} \cdot B_1$$

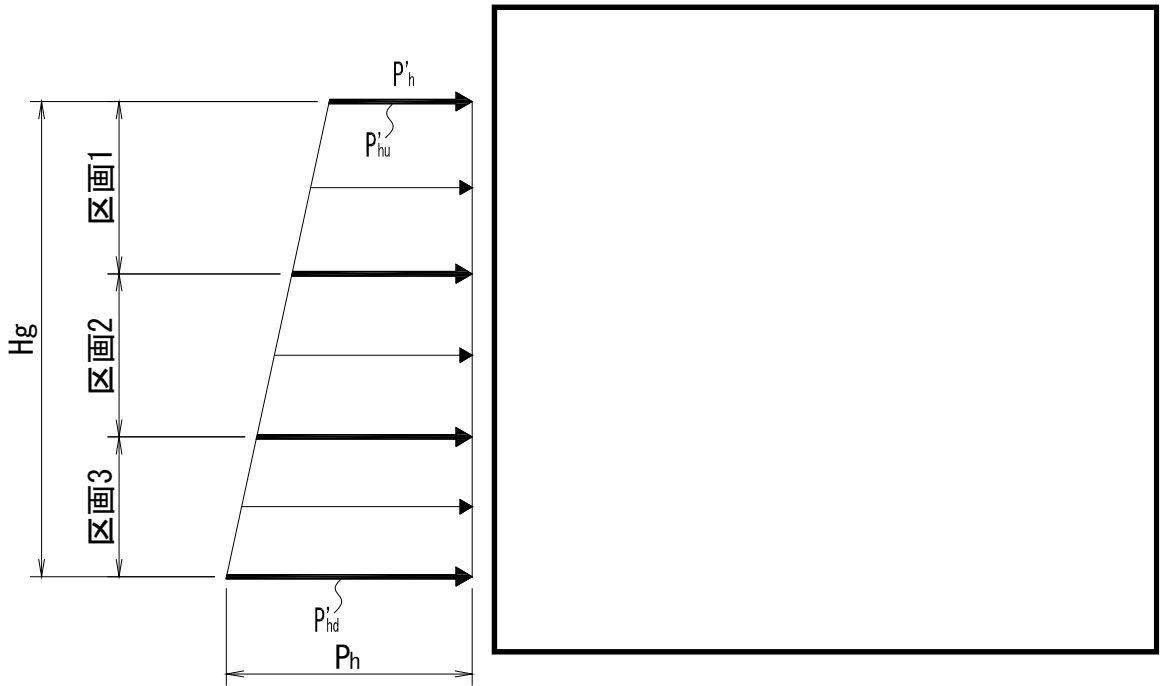
$$P'_{h3} = P_{h3} \cdot B_1$$

$$P'_{h4} = P_{h4} \cdot B_1$$

中間縦桁 $c = 1/2$ ，端縦桁 $c = 1/4$



主桁に生じる荷重の例



縦桁に生じる荷重の例

図 5.5-2 芯材に生じる荷重の例

扉全閉時にかかる水圧荷重は、上下計 2ヶ所のロックバー部と本図右側 2ヶ所のヒンジ部でうけもち、水圧荷重のうち各々 1/4 がかかるものとして検討する。

c. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水圧荷重から、各部材に発生する荷重を算定する。

ヒンジ部に生じる荷重の例を図 5.5-3 に示す。

$$R_{og} = \sqrt{\left(\frac{P_0}{4}\right)^2 + R_r^2}$$

$$P_0 = \frac{\rho \cdot B_1 \cdot (H_0^2 - H_1^2)}{2}$$

$$R_r = W_x \cdot \left(\frac{L_r}{L_j}\right)$$

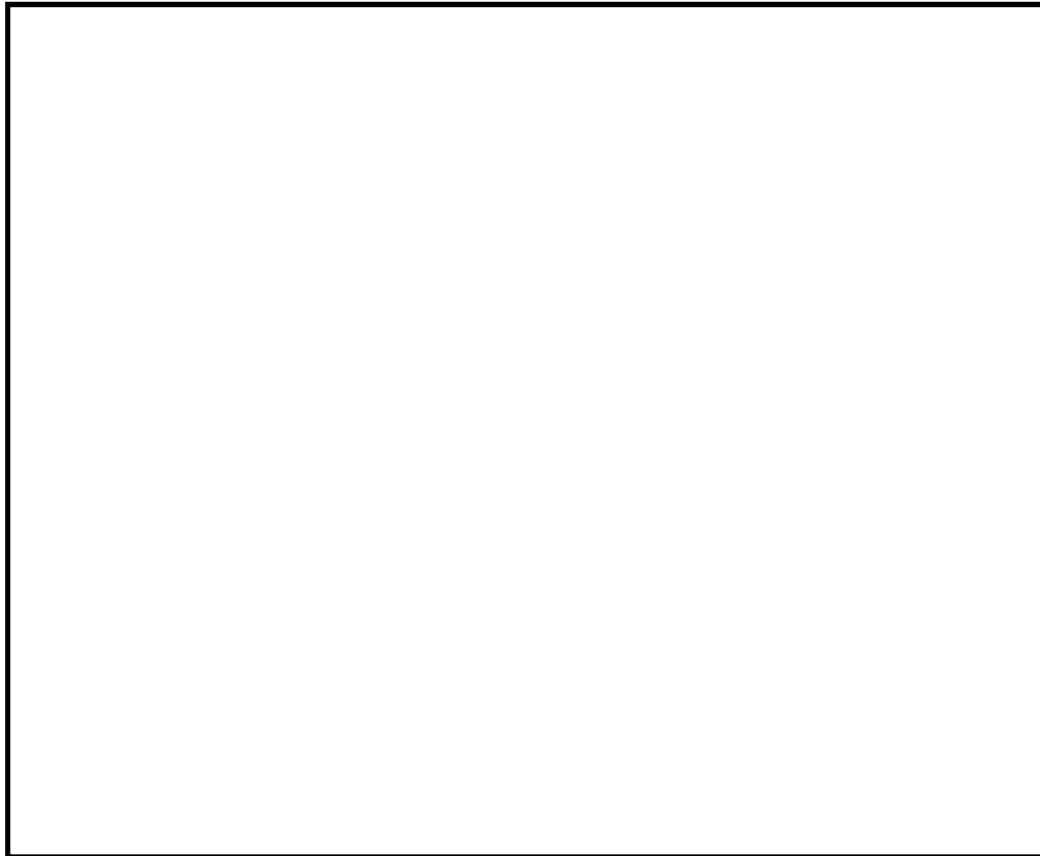
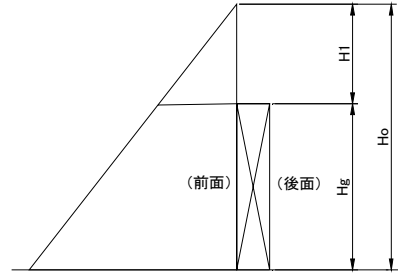


図 5.5-3 ヒンジ部に生じる荷重の例

(g) ヒンジ板

ヒンジ板に生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 5.5-4 に示す。

$$Q = \frac{R_{0g}}{2}$$

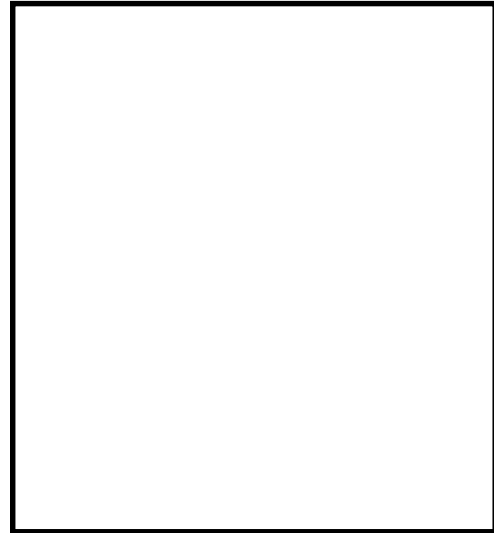


図 5.5-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

(h) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 5.5-5 に示す。(戸当り側のヒンジは上下 2ヶ所、1ヶ所当りヒンジ板は 2枚)

$$M = R_{0g} \cdot \frac{(2 \cdot L_2 - B_2)}{8}$$

$$Q = \frac{R_{0g}}{2}$$



図 5.5-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

(i) ヒンジボルト（枠体側）

ヒンジボルト（枠体側）には水圧により引張力がかかる。次式により算定する。
ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 5.5-6 に示す。

$$T=Rog= \sqrt{\left(\frac{P_0}{4}\right)^2+Rr^2}$$



図 5.5-6 ヒンジボルト（枠体側）に生じる荷重の例

(j) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）には水圧により引張力がかかる。次式により算定する。
ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 5.5-7 に示す。

$$Q=Rog= \sqrt{\left(\frac{P_0}{4}\right)^2+Rr^2}$$



図 5.5-7 ヒンジボルト（扉側）に生じる荷重の例

d. ロックバー部

ロックバー部は、ロックバー及びロックボルトで構成されており、次式により算定する水圧荷重から、各部材に発生する荷重を算定する。ロックバー部に生じる荷重の例を図 5.5-8 に示す。

$$R_{og} = \frac{P_0}{4}$$

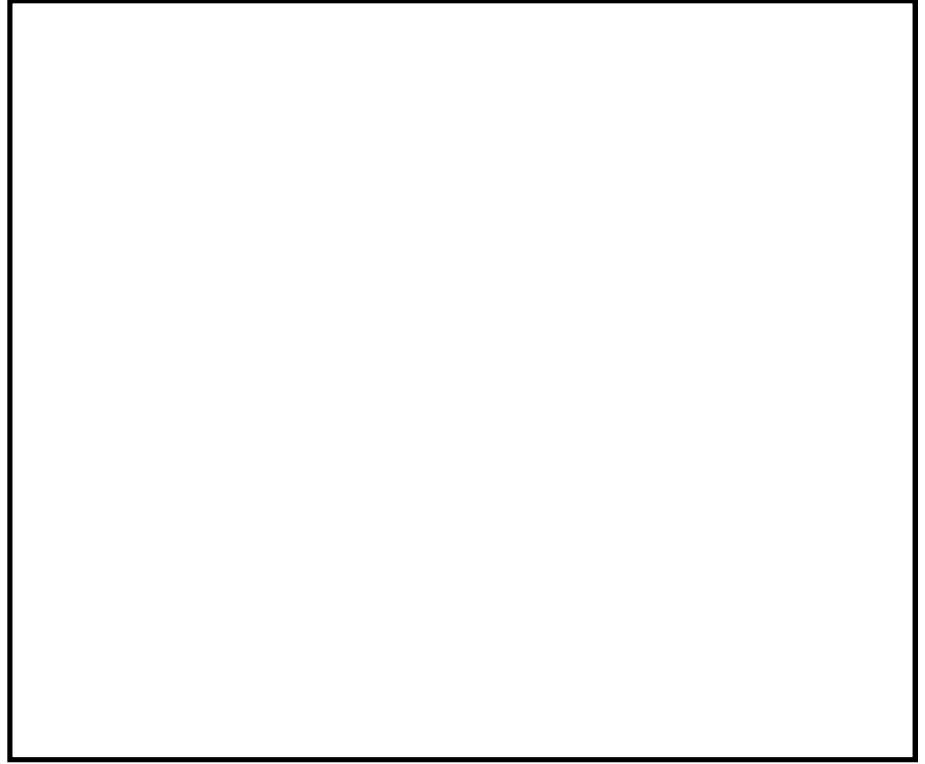


図 5.5-8 ロックバー部に生じる荷重の例

(c) ロックバー

ロックバーに生じる応力は、次式により算定する。ロックバーに生じる荷重の例を図 5.5-9 に示す。

$$M = R_{og} \cdot L_3$$



図 5.5-9 ロックバー部に生じる荷重の例

(d) ロックボルト

ロックボルトには水圧により引張力がかかる，次式により算出する。

ロックボルトに生じる荷重の例を図 5.5-10 に示す。

$$T=Rog=\frac{P_0}{4}$$



図 5.5-10 ロックボルトに生じる荷重の例

e. アンカーボルト

アンカーボルトは，枠体を躯体に固定している。扉体に生じる水平荷重が枠体に伝わるとして，各アンカーボルトに発生する荷重を次式により算定する。

アンカーボルトに生じる荷重の例を図 5.5-11 に示す。(枠体側)

$$T=\frac{P_0}{n}$$

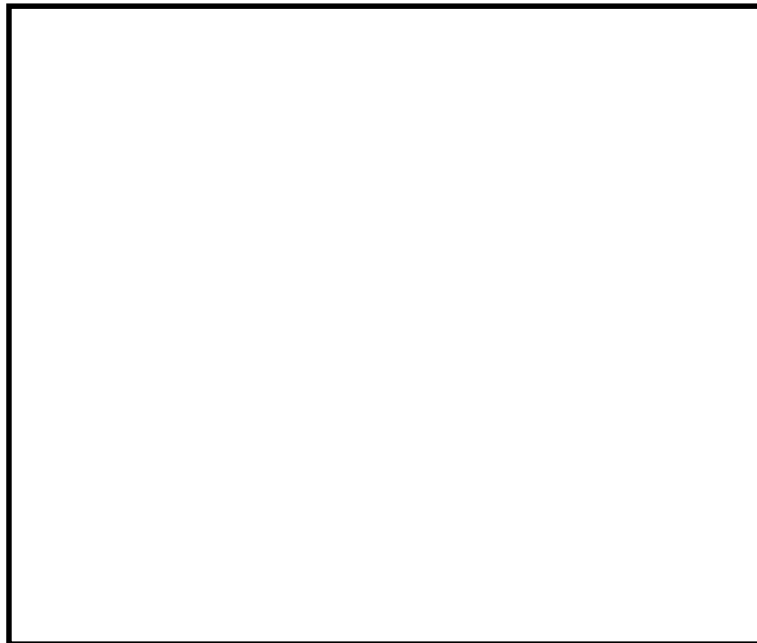


図 5.5-11 アンカーボルトに生じる荷重の例

(2) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

d. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

e. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

f. ヒンジ

(d) ヒンジ板

ヒンジ板に生じるせん断応力度がヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

(e) 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がヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\Sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

(f) ヒンジボルト

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

$$\sigma_T = \frac{T}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

(d) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）に生じるせん断応力度を次式により算定し、ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

d. ロックバー

(c) ロックバー

ロックバーに生じる曲げ応力度がロックバーの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

(d) ロックボルト

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

$$\sigma_T = \frac{T}{n_2 \cdot A_{b3}}$$

e. アンカーボルト

(1) 応力算定で算定した T: 荷重を、アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力とし、短期許引張力以下であることを確認する。

$$T = \frac{P_0}{n}$$

5.6 評価条件

「5.5 評価方法」に用いる評価条件を表 5.6-1 に示す。

表 5.6-1 強度評価に用いる条件(1/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
扉板	L ₄	m	区画短辺の長さ	
	W ₁	kN/m	最上段部の単位長さ当たりの作用荷重	128.2
	W ₂	kN/m	中段上部の単位長さ当たりの作用荷重	135.7
	W ₃	kN/m	中段下部の単位長さ当たりの作用荷重	142.7
	W ₄	kN/m	最下段部の単位長さ当たりの作用荷重	148.8
	M _{X1}	-	区画1等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.074
	M _{X2}	-	区画1等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.042
	M _{X3}	-	区画2等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.072
	M _{X4}	-	区画2等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.042
	M _{X5}	-	区画3等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.063
	M _{X6}	-	区画3等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.038
Z ₁	mm ³	断面係数	12360	

表 5.6-1 強度評価に用いる条件(2/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	Hg	m	受圧高	
	B ₁	m	受圧幅	
	P _{h1}	kN/m ²	津波による 静水圧荷重 (最上部)	128.2
	P _{h2}	kN/m ²	津波による静水圧荷重 (中間上部)	135.7
	P _{h3}	kN/m ²	津波による静水圧荷重 (中間下部)	142.7
	P _{h4}	kN/m ²	津波による 静水圧荷重 (最下部)	148.8
	Z ₂	mm ³	断面係数	131964
	A ₁	mm ²	断面積	695.5
芯材 (縦桁)	a1	m	主桁ピッチ	
	a2	m	主桁ピッチ	
	a3	m	主桁ピッチ	
	Y	m	縦桁ピッチ	
	p1	kN/m ²	津波による水圧荷重	131.9
	p2	kN/m ²	津波による水圧荷重	139.1
	p3	kN/m ²	津波による水圧荷重	145.7
	Z ₃	mm ³	断面係数	31264
	Z ₄	mm ³	断面係数	67396
	A ₂	mm ³	断面積	1044
	A ₃	mm ³	断面積	654

表 5.6-1 強度評価に用いる条件(3/4)

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		P_o	kN	水圧荷重	
		P_r	kN	ヒンジ部にかかる 扉自重反力	
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離	
		L_j	m	ヒンジ中心間距離	
	板	Z_5	mm ³	断面係数	
		A_4	mm ²	断面積	
	ピン	L_2	mm	軸支持間距離	
		B_2	mm	ブッシュ長さ	
		Z_6	mm ³	断面係数	
		A_5	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト (枠体側)	n_1	本	本数	
		A_{b1}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	
	ヒンジボルト (扉側)	n_2	本	本数	
		A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	

NT2 補③ V-3-別添-3-2-7 R0

表 5.6-1 強度評価に用いる条件(4/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
ロック バー	L_3	mm	作用点間距離	
	Z_7	mm^3	断面係数	
	A_6	mm^2	断面積	
ロック ボルト	n_3	本	本数	
	A_{b3}	mm^2	1本当たりの断面積 (M16)	
アンカー ボルト	n_4	本	本数	
	A_a	mm^2	1本当たりの表面積 (M16)	
	A_{b4}	mm^2	1本当たりの断面積 (M16)	

5.7 強度評価結果

原子炉建屋付属棟北側水密扉2の強度評価結果を表5.7-1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以下である。

表 5.7-1 強度評価結果 (1/3)

名 称	評価対象部位	発生応力度	許容限界値	発生応力度/許容限界
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
原子炉建屋 付属棟北側 水密扉2	扉板	216	235	0.92
	芯材*1	131	235	0.56

*1：主桁及び縦桁のせん断及び曲げのうち評価結果が最も厳しくなる中間縦桁区画1の曲げによる値を記載

表 5.7-1 強度評価結果 (2/3)

名 称	評価対象部位		発生 応力度 (N/mm ²)	許容 限界値 (N/mm ²)	発生応力 度/許容限 界値
原子炉建屋付属棟 北側水密扉2	ヒンジ部	板	22	118	0.19
		ピン*1	250	345	0.73
		ヒンジボルト (枠体側)	111	205	0.55
		ヒンジボルト (扉側)	111	118	0.95
	ロックバー部	ロックバー	108	345	0.32
		ロックボルト	111	205	0.55

*1：せん断及び曲げのうち評価結果が厳しくなる曲げによる値を記載

表 5.7-1 強度評価結果 (3/3)

名 称	評価対象部位	発生 応力(kN)	許容 限界値 (kN)	発生応力 度/許容限 界値
原子炉建屋付属棟 北側水密扉2	アンカーボルト	19	26	0.74

6. 原子炉建屋付属棟東側水密扉

6.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表6.1-1に示す。

表6.1-1 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	断面積
A _a	mm ²	1本当たりの表面積
A _b	mm ²	1本当たりの断面積
B	m	受圧幅
g	m/s ²	重力加速度
G	kN	扉体自重
h	m	当該部分の浸水深
H	m	水深
h _c	m	水圧中心位置
H _g	m	受圧高
K _H	-	水平震度
K _S	kN	余震による地震荷重
L	m	区画短辺の長さ
L _b	mm	軸支持間距離 (カンヌキ)
L _p	m	軸支持間距離 (カンヌキ受けピン)
L _k	m	カンヌキ中心間距離
M	kN・m	曲げモーメント
M _{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
M _{x2}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数
n	本	ボルトの本数
P ₀	kN	設計水圧荷重
P _a	kN	扉板全体に作用する合計荷重
P _b	kN	水密扉から伝達される荷重
P _d	kN/m ²	余震による動水圧荷重
P _h	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重
P _{hd}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (下部)
P _{hu}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (上部)
P _T	kN	許容引張力
p _n	kN/m ²	重畳荷重
Q	kN	せん断力

表6.1-1 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
R_p	kN	溢水に伴う荷重による反力
T	kN	引張力
W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重
W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重
Z	mm^3	断面係数
β	-	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数
ρ	t/m^3	水の密度
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_T	N/mm^2	引張応力度
σ_X	N/mm^2	組合せ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

6.2 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、添付資料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」に示している評価対象部位を踏まえて設定する。

水密扉に生じる外部からの津波に伴う荷重は、扉板に伝わり、壁と一体化した扉枠を介し、躯体に伝達されることから、評価対象部位は、扉板とする。

水密扉に作用する荷重の作用図を図6.2-1に示す。

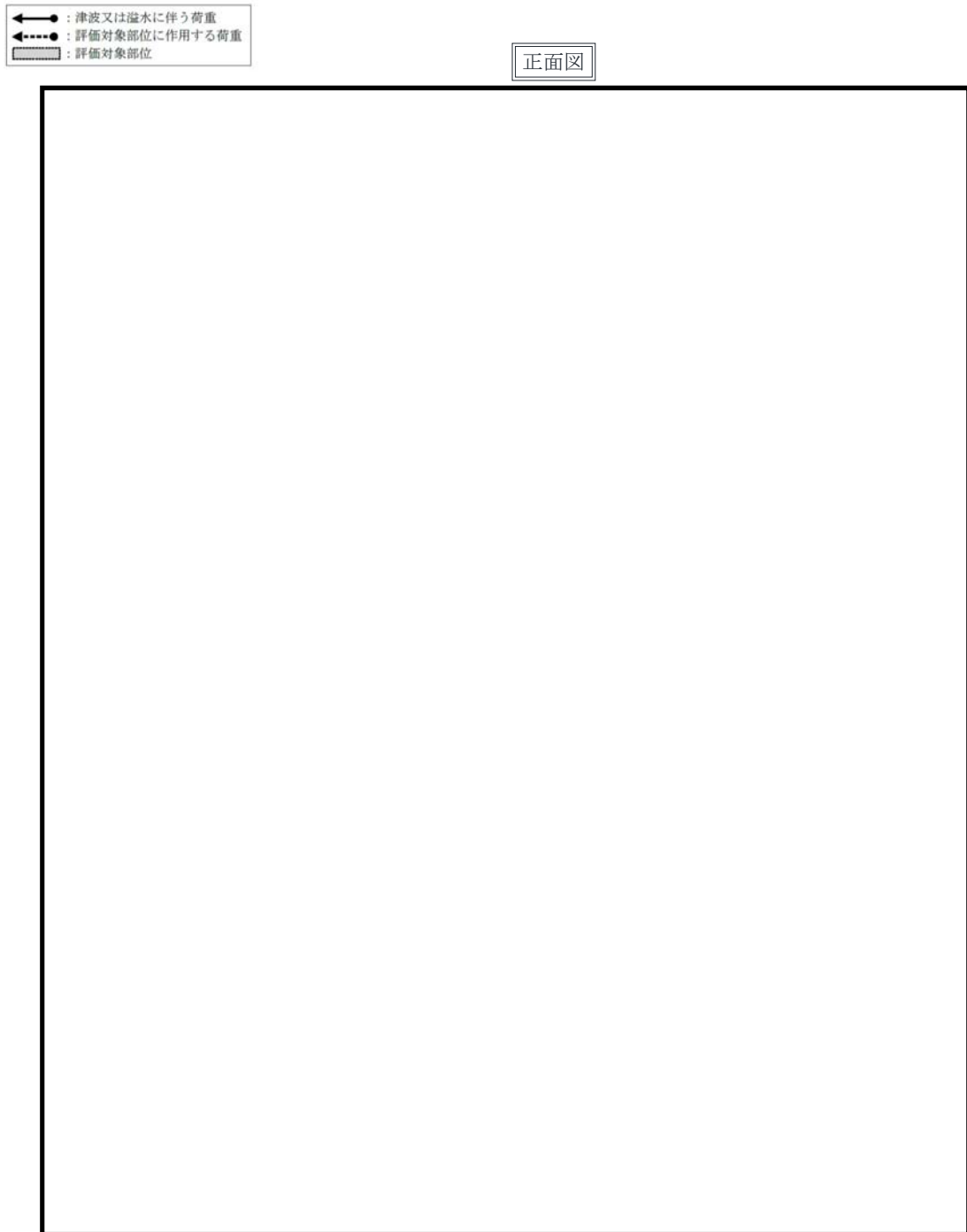


図6.2-1 水密扉に作用する荷重の作用図

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、添付資料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。

P_h (津波時)

$P_h + K_s$ (重畳時)

なお、本資料において、余震による地震荷重を K_s 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. 津波による静水圧荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。津波による静水圧荷重は、対象とする海水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。尚、敷地に遡上する津波の浸水深は原子炉建屋設置地盤レベルにおいて1.0mを超えないが、本評価においては、遡上津波荷重の水圧として考慮する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水(0.2m)を考慮するとともに、防潮堤を越流し原子炉建屋まで到達する敷地に遡上する津波の流向を考慮し、原子炉建屋設置地盤レベルEL. +8.0mでの22.7mの浸水深を考慮した水圧作用高さEL. +30.7mでの評価を行う。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

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

表6.3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ (m)	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋付属棟東側水密扉	EL. +30.7	1.03

b. 余震荷重 (地震荷重 K_s)

余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大床応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大床応答加速度を保守的に評価するために、最大床応答加速度の抽出位置は、水密扉設置位置よりも上部の節点の値とし、原子炉建屋については、水密扉設置階の上階(上層)の値とする。なお、静的震度は最大床応答加速度を重力加速度で除して算出する。

原子炉建屋水密扉の震度の設定に用いる最大床応答加速度は資料V-2-1「耐震設計の基本方針」のうち資料V-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。

水密扉の水平震度 K_H を表6.3-2に示す。

地震荷重 K_S は、水密扉の固定荷重に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K_H$$

表6.3-2 水密扉の水平震度 K_H

弾性設計用 地震動	設置場所 (床面高さ)	水平震度 C_H^{*1}	鉛直震度 C_V^{*1}
S_d-D1	原子炉建屋1階 (EL. +8.2m)	0.28	0.24

*1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」にて設定している荷重を踏まえて水密扉の設置位置ごとに設定する。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の荷重の組合せを表6.3-3に示す。

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。

なお、敷地に遡上する津波の最大浸水深は保守的に1.0mとしており、また排水設備は基準地震動 S_s に耐える設計であり排水に期待できることから、機能に期待できることから、津波荷重との重畳評価は不要とする。

表6.3-3 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
原子炉建屋附属棟東側水密扉	津波時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_h + K_S^{*1}$

*1：津波荷重との重畳は不要

6.4 許容限界

水密扉の許容限界は、「6.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、添付資料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」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

水密扉を構成する、扉板の使用材料を表6.4-1に示す。

表6.4-1 使用材料

部 位	材 質	仕 様
扉 板		

(2) 許容限界

a. 扉板

扉板の許容限界は、「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 扉板の許容限界

	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲 げ	せん断
	205 ^(注2)	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 4303:2012 ステンレス鋼棒」,「JIS G 4304:2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」及び「JIS G 4317:2013 熱間成形ステンレス鋼板鋼」に基づく

(注2) 引張りの短期許容応力度も(注1)同様

6.5 評価方法

水密扉の強度評価は、添付資料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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる荷重は、津波に伴う荷重を考慮し、等変分布荷重、等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板及び集中荷重を受ける両端固定の梁のとして、次式により算定する。扉板に生じる荷重の例を図6.5-1に示す。

$$M = M_1 + M_2$$

ここで

$$M_1 = M_{x1} \cdot W_u \cdot L^2 + M_{x2} \cdot (W_d - W_u) \cdot L^2$$

$$M_2 = \frac{1}{8} W_H \cdot L^2$$

ここで

$$W_H = \frac{P_H}{B}$$

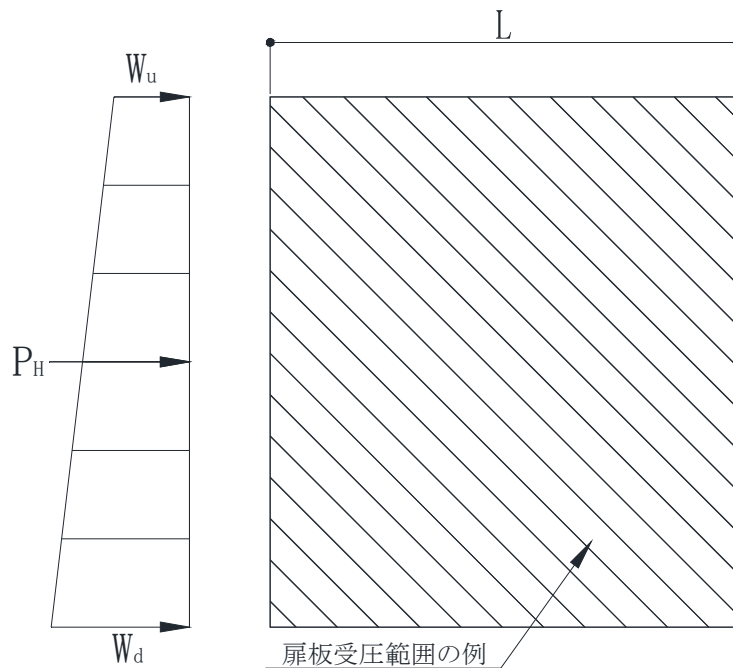


図6.5-1 扉板に生じる荷重の例

(2) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が，許容限界値以下であることを確認する。

a. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

6.6 評価条件

「6.5 評価方法」に用いる評価条件を表6.6-1に示す。

表6.6-1 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	G	kN	水密扉の自重	
扉板	L	m	区画短辺の長さ	
	W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重	313.9
	W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重	362.7
	M_{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.085
	M_{x2}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.05
	Z	mm ³	断面係数	3227000
	H_g	m	受圧高	3.025
	B	m	受圧幅	1.600
	P_{hd}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重（上部）	196.2
	K_s	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重（下部）	226.7

6.7 強度評価結果

原子炉建屋付属棟東側水密扉の強度評価結果を表6.7-1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以下である。

表6.7-1 強度評価結果

名 称	評価対象部位	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生応力度/ 許容限界
原子炉建屋付属棟東側水密扉	扉 板	42	205	0.21

7. 原子炉建屋付属棟南側水密扉

7.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 7.1-1 に示す。

表 7.1-1 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	断面積
A _a	mm ²	1 本当たりの表面積
A _b	mm ²	1 本当たりの断面積
a _n	m	主桁ピッチ
B ₁	m	受圧幅
B ₂	m	ブッシュ長さ
g	m/s ²	重力加速度
h	m	当該部分の浸水深
H ₀	m	水深
H _g	m	受圧高
H _{1~3}	m	各区画長辺の長さ
L ₁	mm	ヒンジ板作用点間距離
L ₂	mm	ヒンジピン軸支持間距離
L ₃	mm	ロックバー作用点間距離
L ₄	m	区画短辺の長さ
L _j	m	ヒンジ中心間距離
L _r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離
M	kN・m	曲げモーメント
M _{x1・3・5}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
M _{x2・4・6}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数
n	本	ボルト及びアンカーボルトの本数

表 7.1-1 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
P	kN	扉板（上部欄間又は上部パネル）全体に作用する合計荷重
P _a	N/mm ²	アンカーの短期許容付着応力度
P _h	kN/m ²	津波による静水圧荷重
P _{hd}	kN/m ²	津波による静水圧荷重（下部）
P _{hu}	kN/m ²	津波による静水圧荷重（上部）
P _o	kN	水圧荷重
Q	kN	せん断力
R _{og}	kN	ヒンジ, ロックバーにかかる水平荷重
R _r	kN	扉体自重反力
T	kN	引張力
W _{1~4}	kN/m	各区画短辺にかかる単位長さ当たりの作用荷重
W _x	kN	扉体自重
Y	m	縦桁ピッチ
Z	mm ³	断面係数
ρ	t/m ³	水の密度
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ _T	N/mm ²	引張応力度
σ _X	N/mm ²	組合せ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度

7.2 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、添付資料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」にて示している評価対象部位を踏まえて設定する。

水密扉に生じる津波に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材からヒンジ及びロックバーに伝わり、ヒンジボルト及びロックボルトを介して、枠体に伝達される。また、枠体はアンカーボルトにより壁と一体化しており荷重は躯体に伝わる。従ってヒンジ、ロックバー、ヒンジボルト、ロックボルト及びアンカーボルトも評価対象部位となる。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 7.2-1 に示す。

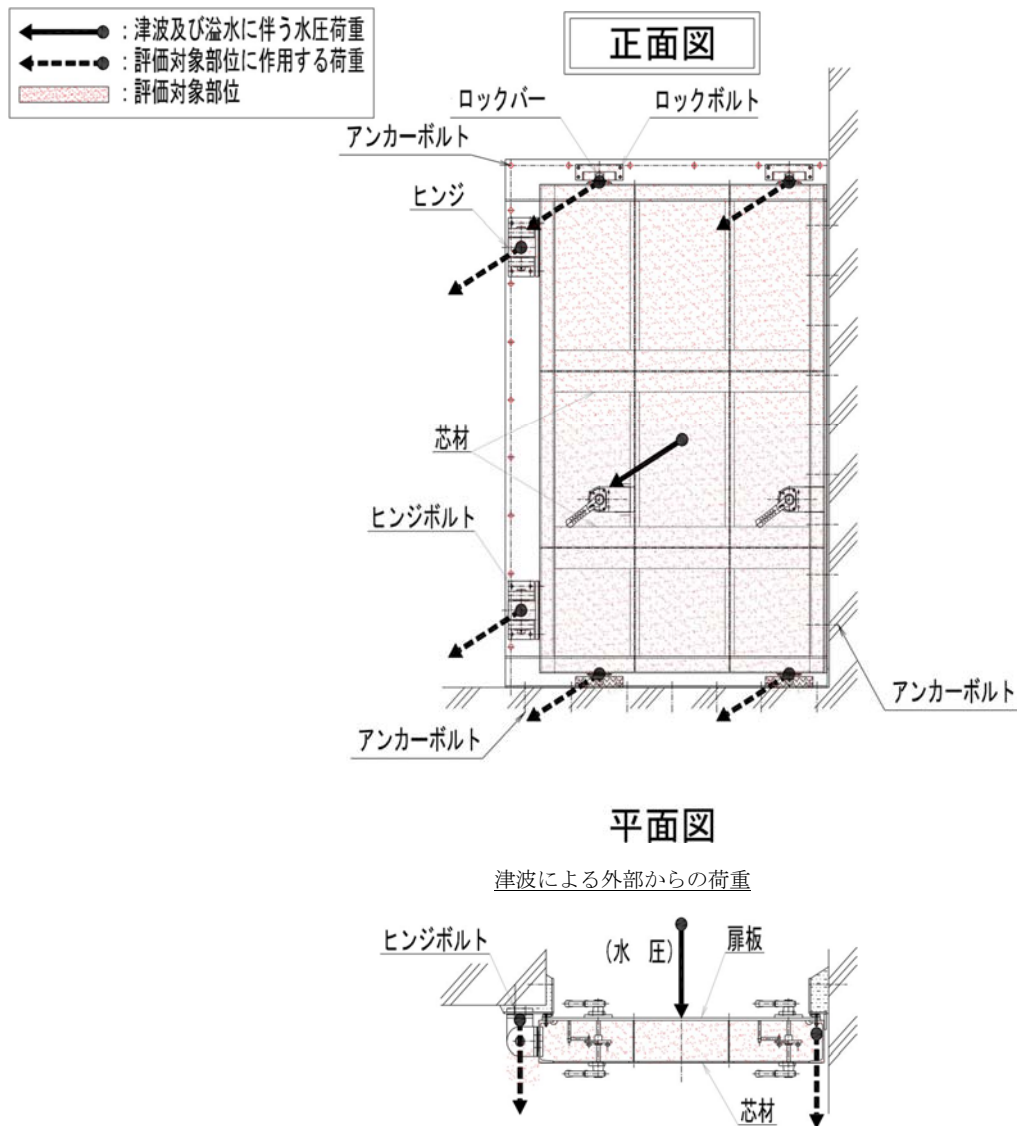


図 7.2-1 水密扉に作用する荷重の作用イメージと評価対象部位

7.3 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、添付資料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。

P_h (溢水時)

$P_h + K_s$ (重畳時)

なお、本資料において、余震による地震荷重を K_s 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. 固定荷重(W_x)

固定荷重 W_x として、水密扉の自重を考慮する。

b. 津波に伴う荷重(P_h)

津波に伴う荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。津波による静水圧荷重は、対象とする海水の密度に当該部分の水圧作用高さに乗じた次式により算出する。尚、敷地に遡上する津波の浸水深は原子炉建屋設置地盤レベルにおいて1.0mを超えないが、本評価においては、遡上津波荷重の水圧として考慮する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水(0.2m)を考慮し、原子炉建屋設置地盤レベルEL.+8.0mでの15mの浸水深を考慮した水圧作用高さEL.+23.0mでの評価を行う。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

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7.3-1に示す。

表 7.3-1 水圧作用高さ及び水の密度

扉名称	水圧作用高さ (m)	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋付属棟西側水密扉	EL. +23.0	1.03

c. 余震荷重 (地震荷重 K_s)

余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大床応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大床応答加速度を保守的に評価するために、最大床応答加速度の抽出位置は、水密扉設置位置よりも上部の節点の値とし、原子炉建屋については、水密扉設置階の上階(上層)の値とする。なお、静的震度は最大床応答加速度を重力加速度で除して算出する。

原子炉建屋水密扉の震度の設定に用いる最大床応答加速度は資料V-2-1「耐震設計の基本方針」のうち資料V-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。

水密扉の水平震度 K_H を表7.3-2に示す。

地震荷重 K_S は、水密扉の固定荷重に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = W_x \cdot K_H$$

表7.3-2 水密扉の水平震度 K_H

弾性設計用 地震動	設置場所 (床面高さ)	水平震度 C_H^{*1}	鉛直震度 C_V^{*1}
S_d-D1	原子炉建屋1階 (EL. +8.2m)	0.28	0.24

*1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」にて設定している荷重を踏まえて水密扉の設置位置ごとに設定する。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の荷重の組合せを表7.3-3に示す。

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。

なお、敷地に遡上する津波の最大浸水深は保守的に1.0mとしており、また排水設備は基準地震動 S_s に耐える設計であり、防潮堤内側に流入した津波の排水機能に期待できることから、津波荷重との重畳評価は不要とする。

表7.3-3 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
原子炉建屋付属棟西側水密扉	津波時	$W_x + P_h$
	重畳時	$W_x + P_h + K_S^{*1}$

*1：本評価においては津波荷重との重畳は不要とする。

7.4 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、添付資料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」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト、ロックバー、ロックボルト及びアンカーボルトの使用材料を表7.4-1に示す。

表 7.4-1 使用材料

部 位		材 質	仕 様[mm]
扉 板			
芯 材	主 桁		
	中間縦桁		
	端縦桁		
ヒンジ	ヒンジ板		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト (枠体側)		
	ヒンジボルト (扉側)		
ロックバー			
ロックボルト			
アンカーボルト			

(2) 許容限界

- a. 扉板, 芯材, ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト, ロックバー, ロックボルト及びアンカーボルトの許容限界は, 「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 7.4-2 の値とする。

表 7.4-2 扉板, 芯材, ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト, ロックバー, ロックボルトの許容限界

材 料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ・引張り	せん断
	235	135
	215	124
	205	118
	345	199

*1: t は板厚(mm)を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「J I S G 4 3 0 3 : 2012 ステンレス鋼棒」, 「J I S G 4 3 0 4 : 2102 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」及び「J I S G 4 3 1 7 : 2013 熱間成形ステンレス鋼板鋼」に基づく

- b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は, 「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説((社) 日本建築学会, 2010 改定)」に基づき算定した, 表 7.4-3 の値とする。

表 7.4-3 アンカーボルトの許容限界

コンクリート設計基準強度	f _a : 短期許容付着応力度
(N/mm ²)	(N/mm ²)
22.1	1.98

7.5 評価方法

水密扉の強度評価は、添付資料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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる荷重は、津波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、次式により算定する。

扉板に生じる荷重と区画の例を第3-2図に示す。

$$\text{区画 1 : } M_1 = M_{x1} \cdot W_1 \cdot L_4^2 + M_{x2} \cdot (W_2 - W_1) \cdot L_4^2$$

$$\text{区画 2 : } M_2 = M_{x3} \cdot W_2 \cdot L_4^2 + M_{x4} \cdot (W_3 - W_2) \cdot L_4^2$$

$$\text{区画 3 : } M_3 = M_{x5} \cdot W_3 \cdot L_4^2 + M_{x6} \cdot (W_4 - W_3) \cdot L_4^2$$

区画1～3のうち最も大きい荷重の区画の数値を採用し検討するものとする。

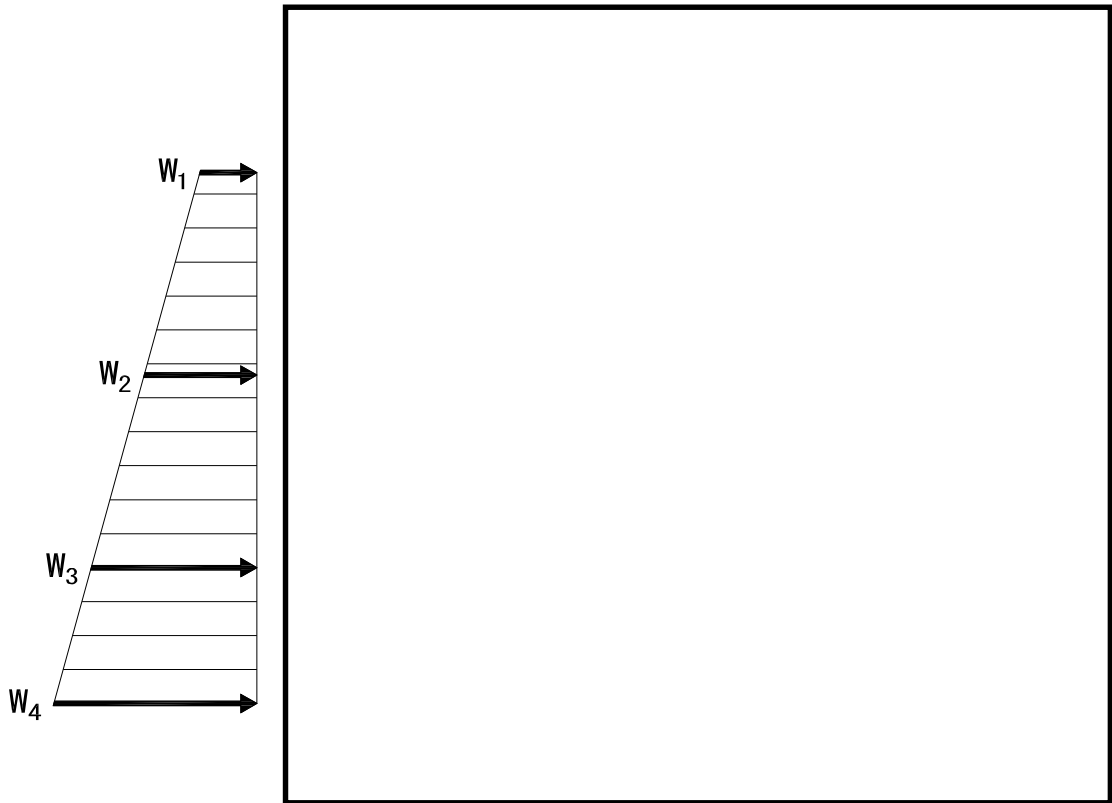


図 7.5-1 扉板に生じる荷重の図

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、津波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、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 7.5-2 に示す。

(a) 主桁

$$M = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{B_1^2}{8}$$

$$Q = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{B_1}{2}$$

(b) 縦桁

$$M = a_n^2 \cdot \left\{ \left(\frac{P_{(1\sim3)}}{9\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{P_{(4\sim6)}}{8} \right) \right\} \cdot c$$

$$Q = H_g \cdot \left(\frac{P_1}{3} + \frac{P_2}{2} \right) \cdot c$$

$$P_1 = P'_{h2} - P'_{h1}$$

$$P_2 = P'_{h3} - P'_{h2}$$

$$P_3 = P'_{h4} - P'_{h3}$$

$$P_4 = P'_{h1}$$

$$P_5 = P'_{h2}$$

$$P_6 = P'_{h3}$$

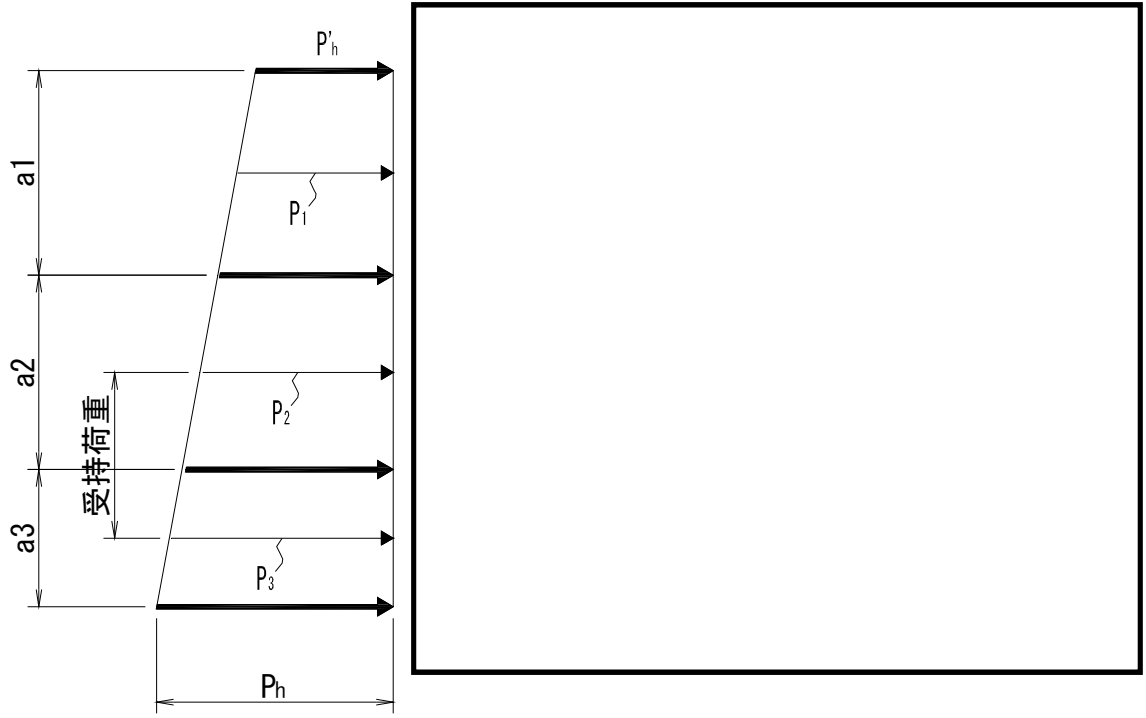
$$P'_{h1} = P_{h1} \cdot B_1$$

$$P'_{h2} = P_{h2} \cdot B_1$$

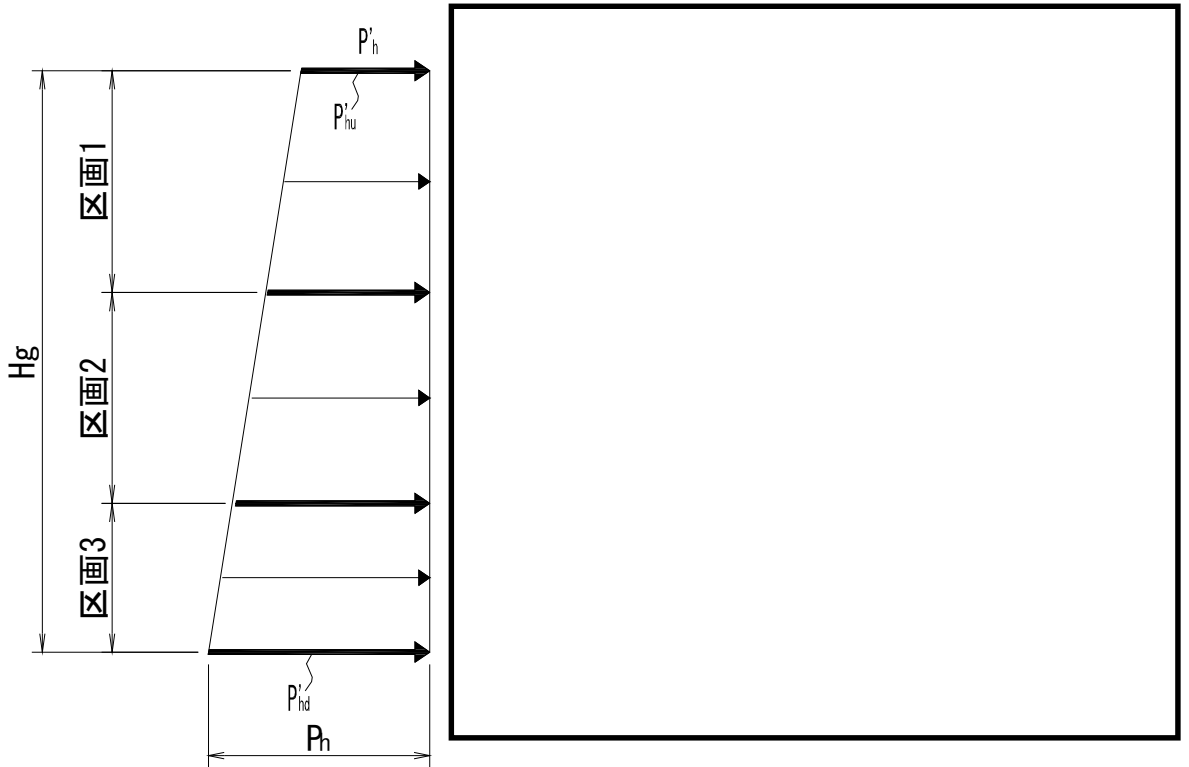
$$P'_{h3} = P_{h3} \cdot B_1$$

$$P'_{h4} = P_{h4} \cdot B_1$$

中間縦桁 $c = 1/3$, 端縦桁 $c = 1/6$



主桁に生じる荷重の例



縦桁に生じる荷重の例

図 7.5-2 芯材に生じる荷重の例

扉全閉時にかかる水圧荷重は、上下計 2ヶ所のロックバー部と本図右側 2ヶ所のヒンジ部で受けもち、水圧荷重のうち各々1/4がかかるものとして検討する。

c. ヒンジ部

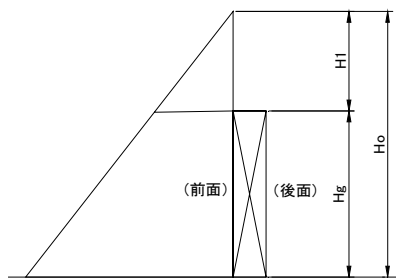
ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水圧荷重から、各部材に発生する荷重を算定する。

ヒンジ部に生じる荷重の例を図 7.5-3 に示す。

$$R_{og} = \sqrt{\left(\frac{P_0}{4}\right)^2 + R_r^2}$$

$$P_0 = \frac{\rho \cdot B_1 \cdot (H_0^2 - H_1^2)}{2}$$

$$R_r = W_x \cdot \left(\frac{L_r}{L_j}\right)$$



ロックバー部

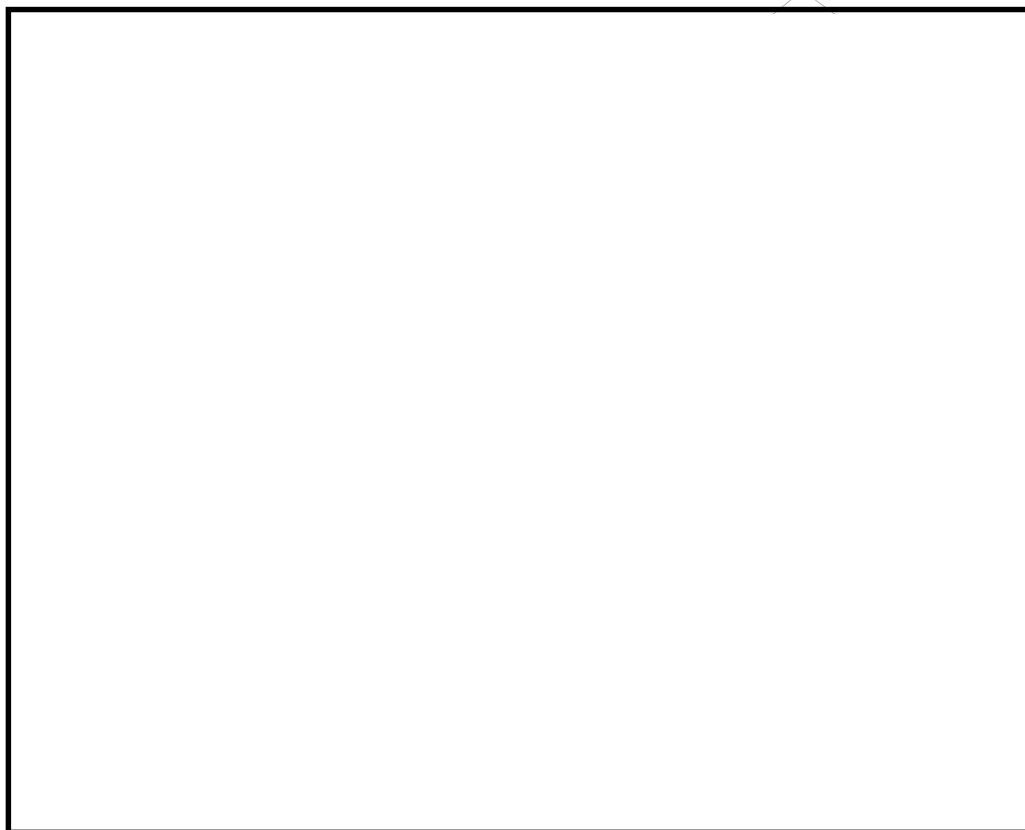


図 7.5-3 ヒンジ部に生じる荷重の例

(1) ヒンジ板

ヒンジ板に生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 7.5-4 に示す。

$$Q = \frac{R_{0g}}{2}$$

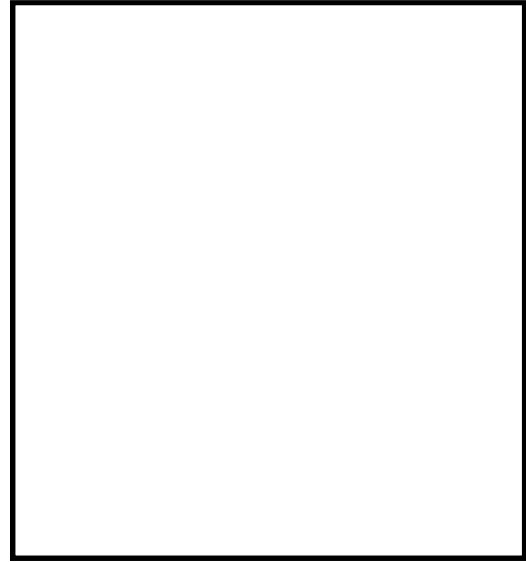


図 7.5-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

(m) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 7.5-5 に示す。(戸当り側のヒンジは上下 2ヶ所、1ヶ所当りヒンジ板は 2枚)

$$M = R_{0g} \cdot \frac{(2 \cdot L_2 - B_2)}{8}$$

$$Q = \frac{R_{0g}}{2}$$



図 7.5-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

(n) ヒンジボルト（枠体側）

ヒンジボルト（枠体側）には水圧により引張力がかかる。次式により算定する。
 ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 7.5-6 に示す。

$$T=Rog= \sqrt{\left(\frac{P_0}{6}\right)^2+Rr^2}$$



図 7.5-6 ヒンジボルト（枠体側）に生じる荷重の例

(o) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）には水圧により引張力がかかる。次式により算定する。
 ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 7.5-7 に示す。

$$Q=Rog= \sqrt{\left(\frac{P_0}{6}\right)^2+Rr^2}$$

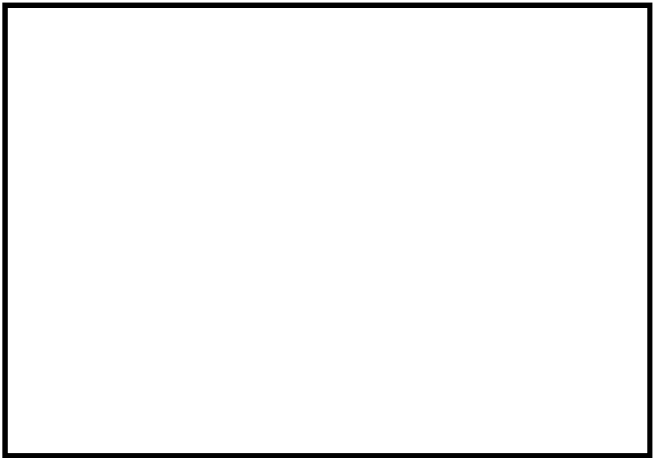


図 7.5-7 ヒンジボルト（扉側）に生じる荷重の例

d. ロックバー部

ロックバー部は、ロックバー及びロックボルトで構成されており、次式により算定する水圧荷重から、各部材に発生する荷重を算定する。ロックバー部に生じる荷重の例を図 7.5-8 に示す。

$$Rog = \frac{P_0}{4}$$

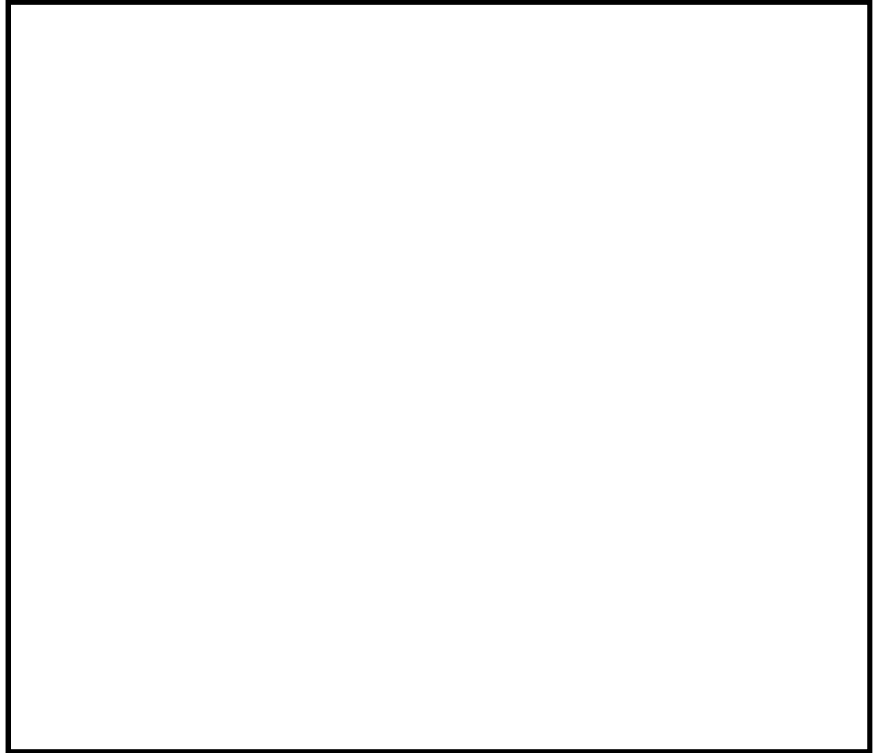


図 7.5-8 ロックバー部に生じる荷重の例

(e) ロックバー

ロックバーに生じる応力は、次式により算定する。ロックバーに生じる荷重の例を図 7.5-9 に示す。

$$M = Rog \cdot L_3$$



図 7.5-9 ロックバー部に生じる荷重の例

(f) ロックボルト

ロックボルトには水圧により引張力がかかる，次式により算出する。
 ロックボルトに生じる荷重の例を図 7.5-10 に示す。

$$T=Rog=\frac{P_0}{4}$$



図 7.5-10 ロックボルトに生じる荷重の例

e. アンカーボルト

アンカーボルトは，枠体を躯体に固定している。扉体に生じる水平荷重が枠体に伝わるとして，各アンカーボルトに発生する荷重を次式により算定する。

アンカーボルトに生じる荷重の例を図 7.5-11 に示す。(枠体側)

$$T=\frac{P_0}{n}$$

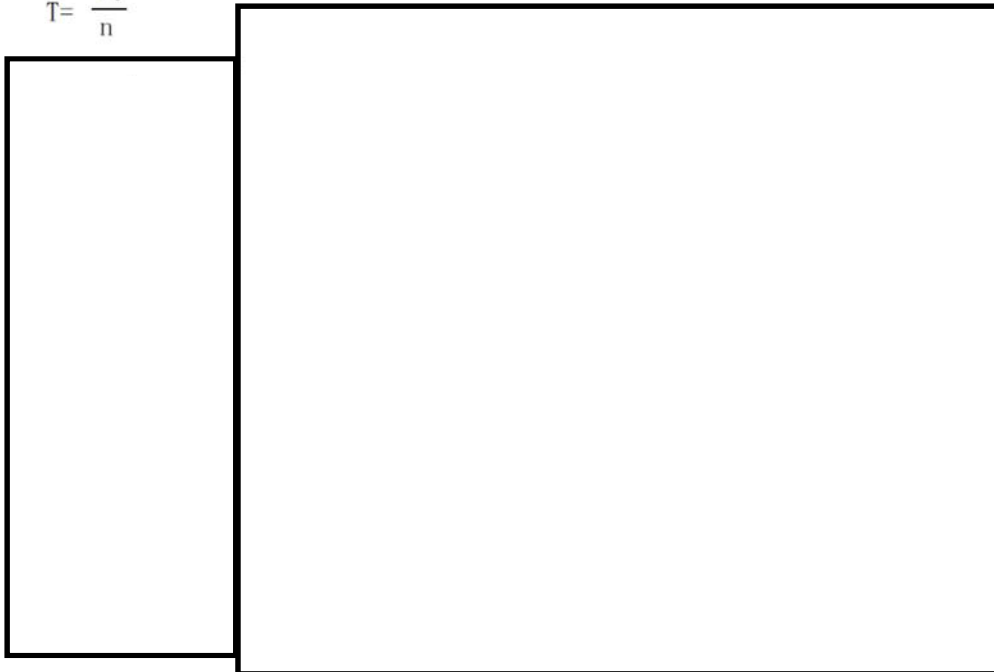


図 7.5-11 アンカーボルトに生じる荷重の例

(2) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

g. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

h. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

i. ヒンジ

(g) ヒンジ板

ヒンジ板に生じるせん断応力度がヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

(h) 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がヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\Sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

(i) ヒンジボルト

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

$$\sigma_T = \frac{T}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

(d) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）に生じるせん断応力度を次式により算定し、ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

d. ロックバー

(e) ロックバー

ロックバーに生じる曲げ応力度がロックバーの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

(f) ロックボルト

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

$$\sigma T = \frac{T}{n_2 \cdot A_{b3}}$$

e. アンカーボルト

(1) 応力算定で算定した T: 荷重を、アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力とし、短期許引張力以下であることを確認する。

$$T = \frac{P_0}{n}$$

7.6 評価条件

「3.5 評価方法」に用いる評価条件を表 7.6-1 に示す。

表 7.6-1 強度評価に用いる条件(1/4)

対象 部位	記 号	単 位	定 義	数 値
				原子炉建屋付属棟南側水密扉
扉 板	L ₄	m	区画短辺の長さ	
	W ₁	kN/m	最上段部の単位長さ当たりの作用荷重	125.1
	W ₂	kN/m	中段上部の単位長さ当たりの作用荷重	134.1
	W ₃	kN/m	中段下部の単位長さ当たりの作用荷重	142.7
	W ₄	kN/m	最下段部の単位長さ当たりの作用荷重	148.8
	M _{X1}	-	区画 1 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.081
	M _{X2}	-	区画 1 等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.047
	M _{X3}	-	区画 2 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.078
	M _{X4}	-	区画 2 等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.045
	M _{X5}	-	区画 3 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.063
	M _{X6}	-	区画 3 等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.038
	Z ₁	mm ³	断面係数	12240

表 7.6-1 強度評価に用いる条件(2/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
				原子炉建屋付属棟南側水密扉
芯材(主桁)	Hg	m	受圧高	
	B ₁	m	受圧幅	
	P _{h1}	kN/m ²	津波による 静水圧荷重(最上部)	125.1
	P _{h2}	kN/m ²	津波による静水圧荷重 (中間上部)	134.1
	P _{h3}	kN/m ²	津波による静水圧荷重 (中間下部)	142.7
	P _{h4}	kN/m ²	津波による 静水圧荷重(最下部)	148.8
	Z ₂	mm ³	断面係数	461050
	A ₁	mm ²	断面積	1408
芯材(縦桁)	a1	m	主桁ピッチ	
	a2	m	主桁ピッチ	
	a3	m	主桁ピッチ	
	Y	m	縦桁ピッチ	
	p1	kN/m ²	津波による水圧荷重	129.6
	p2	kN/m ²	津波による水圧荷重	138.4
	p3	kN/m ²	津波による水圧荷重	145.8
	Z ₃	mm ³	断面係数	75637
	Z ₄	mm ³	断面係数	192599
	A ₂	mm ³	断面積	1719
A ₃	mm ³	断面積	1335	

表 7.6-1 強度評価に用いる条件 (3/4)

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		P_o	kN	水圧荷重	
		P_r	kN	ヒンジ部にかかる 扉自重反力	
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離	
		L_j	m	ヒンジ中心間距離	
	板	Z_5	mm^3	断面係数	
		A_4	mm^2	断面積	
	ピン	L_2	mm	軸支持間距離	
		B_2	mm	ブッシュ長さ	
		Z_6	mm^3	断面係数	
		A_5	mm^2	断面積	
	ヒンジボルト (枠体側)	n_1	本	本数	
		A_{b1}	mm^2	1本当たりの断面積 (M16)	
	ヒンジボルト (扉側)	n_2	本	本数	
		A_{b2}	mm^2	1本当たりの断面積 (M20)	

表 7.6-1 強度評価に用いる条件 (4/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値
ロ ツ ク バ ー	L_3	mm	作用点間距離	
	Z_7	mm ³	断面係数	
	A_{b2}	mm ²	断面積	
ロ ツ ク ボ ル ト	n_3	本	本数	
	A_{b3}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	
ア ン カ ー ボ ル ト	n_4	本	本数	
	A_a	mm ²	1本当たりの表面積 (M20)	
	A_{b4}	mm ²	1本当たりの断面積 (M20)	

NT2 補③ V-3-別添-3-2-7 R0

7.7 強度評価結果

原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度評価結果を表 7.7-1 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以下である。

表 7.7-1 強度評価結果 (1/3)

名 称	評価対象部位	発生応力度	許容限界値	発生応力度/許容限界
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
原子炉建屋 付属棟南側 水密扉	扉 板	231	235	0.99
	芯材 (注1)	80	235	0.35

(注1) 主桁及び縦桁のせん断及び曲げのうち評価結果が最も厳しくなる中間縦桁区画1の

曲げによる値を記載

表 7.7-1 強度評価結果 (2/3)

名 称	評価対象部位		発生 応力度 (N/mm ²)	許容 限界値 (N/mm ²)	発生応力 度/許容限 界値
原子炉建屋付属棟 南側水密扉	ヒンジ部	板	20	118	0.17
		ピン (注1)	302	345	0.88
		ヒンジボルト (枠体側)	127	205	0.62
		ヒンジボルト (扉側)	82	118	0.70
	ロックバー部	ロックバー	185	345	0.54
		ロックボルト	191	205	0.94

(注1) せん断及び曲げのうち評価結果が厳しくなる曲げによる値を記載

表 7.7-1 強度評価結果 (3/3)

名 称	評価対象部位	発生 応力(kN)	許容 限界値 (kN)	発生応力 度/許容限 界値
原子炉建屋付属棟 南側水密扉	アンカーボルト	35	39	0.90

8. 原子炉建屋付属棟西側水密扉

8.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表8.1-1に示す。

表8.1-1 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	断面積
A _a	mm ²	1本当たりの表面積
A _b	mm ²	1本当たりの断面積
a _n	m	横桁ピッチ
B	m	受圧幅
g	m/s ²	重力加速度
G	kN	扉体自重
h	m	当該部分の浸水深
H	m	水深
h _c	m	水圧中心位置
H _g	m	受圧高
K _H	-	水平震度
K _S	kN	余震による地震荷重
L	m	区画短辺の長さ
L _b	mm	軸支持間距離 (カンヌキ)
L _p	m	軸支持間距離 (カンヌキ受けピン)
L _k	m	カンヌキ中心間距離
M	kN・m	曲げモーメント
M _{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
M _{x2}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数
n	本	ボルトの本数
P ₀	kN	設計水圧荷重
P _a	kN	扉板全体に作用する合計荷重
P _b	kN	水密扉から伝達される荷重
P _d	kN/m ²	余震による動水圧荷重
P _h	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重
P _{hd}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (下部)
P _{hu}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (上部)
P _T	kN	許容引張力
p _n	kN/m ²	重畳荷重
Q	kN	せん断力

表8.1-1 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
R_p	kN	溢水に伴う荷重による反力
T	kN	引張力
W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重
W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重
Y	m	主桁ピッチ
Z	mm^3	断面係数
β	-	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数
ρ	t/m^3	水の密度
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_T	N/mm^2	引張応力度
σ_X	N/mm^2	組合せ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

8.2 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、添付資料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」にて示している評価対象部位を踏まえて設定する。

水密扉に生じる外部からの津波に伴う荷重は、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、評価対象部位は、扉板及び芯材とする。

水密扉に作用する荷重の作用図を図8.2-1に示す。

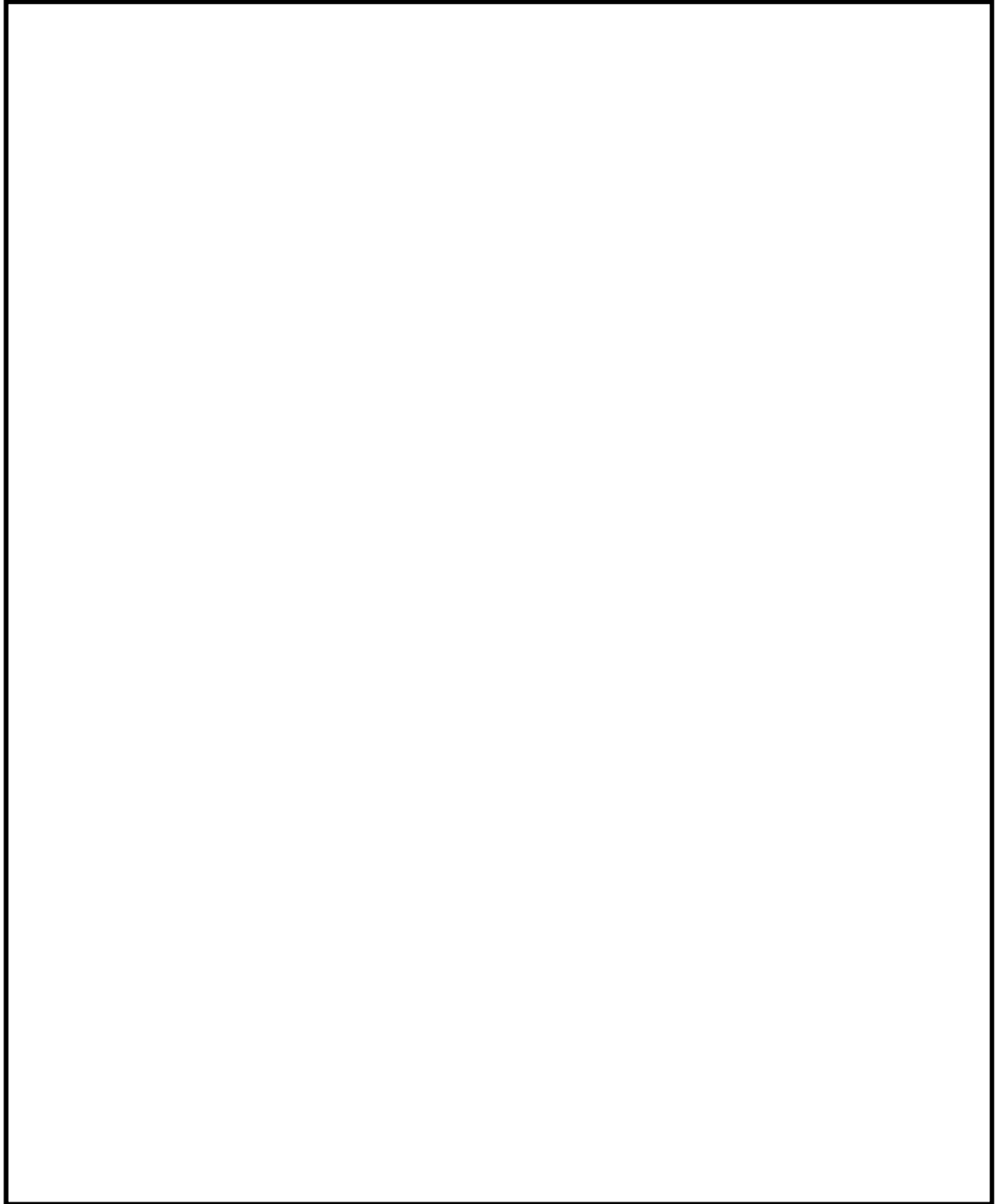


図8.2-1 水密扉に作用する荷重の作用図

8.3 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、添付資料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。

P_h (津波時)

$P_h + K_s$ (重畳時)

なお、本資料において、余震荷重のうち、余震による地震荷重を K_s 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. 津波による静水圧荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。津波による静水圧荷重は、対象とする海水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。尚、敷地に遡上する津波の浸水深は原子炉建屋設置地盤レベルにおいて1.0mを超えないが、本評価においては、遡上津波荷重の水圧として考慮する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水(0.2m)を考慮し、原子炉建屋設置地盤レベルEL.+8.0mでの15mの浸水深を考慮した水圧作用高さEL.+23.0mでの評価を行う。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

津波に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び海水の密度を表3.3-1に示す。

表8.3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ (m)	水の密度 (t/m^3)
原子炉建屋付属棟西側水密扉	EL.+23.0	1.03

b. 余震荷重 (地震荷重 K_s)

余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大床応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大床応答加速度を保守的に評価するために、最大床応答加速度の抽出位置は、水密扉設置位置よりも上部の節点の値とし、原子炉建屋については、水密扉設置階の上階(上層)の値とする。なお、静的震度は最大床応答加速度を重力加速度で除して算出する。

原子炉建屋水密扉の震度の設定に用いる最大床応答加速度は資料V-2-1「耐震設計の基本方針」のうち資料V-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。

水密扉の水平震度 K_H を表8.3-2に示す。

地震荷重 K_s は、水密扉の固定荷重に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K_H$$

表8.3-2 水密扉の水平震度 K_H

弾性設計用 地震動	設置場所 (床面高さ)	水平震度 C_H^{*1}	鉛直震度 C_V^{*1}
$S_d - D1$	原子炉建屋1階 (EL. +8.2m)	0.28	0.24

*1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」にて設定している荷重を踏まえて水密扉の設置位置ごとに設定する。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の荷重の組合せを表6.3-3に示す。

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。

なお、敷地に遡上する津波の最大浸水深は保守的に1.0mとしており、また排水設備は基準地震動 S_s に耐える設計であり、防潮堤内側に流入した津波の排水機能に期待できることから、津波荷重との重畳評価は不要とする。

表6.3-3 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
原子炉建屋附属棟西側水密扉	津波時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_h + K_s^{*1}$

*1：本評価においては津波荷重との重畳は不要

8.4 許容限界

水密扉の許容限界は、「8.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、添付資料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」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材の使用材料を表8.4-1に示す。

表8.4-1 使用材料

部 位	材 質	仕 様[mm]

(2) 許容限界

a. 扉板、芯材

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8.4-2の値とする。

表8.4-2 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
	235	135

(注1) tは板厚(mm)を示す

b. アンカー

アンカーの許容限界は、「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）」に基づき算定した、表8.4-3の値とする。

表8.4-3 アンカーの許容限界

コンクリート設計基準強度 (N/mm ²)	短期許容付着応力度f _a (N/mm ²)
22.0	1.98

8.5 評価方法

水密扉の強度評価は、添付資料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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 応力算定

a. 扉板

扉板に生じる荷重は、津波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、次式により算定する。扉板に生じる荷重の例を図8.5-1に示す。

$$M = M_{x1} \cdot W_u \cdot L^2 + M_{x2} \cdot (W_d - W_u) \cdot L^2$$

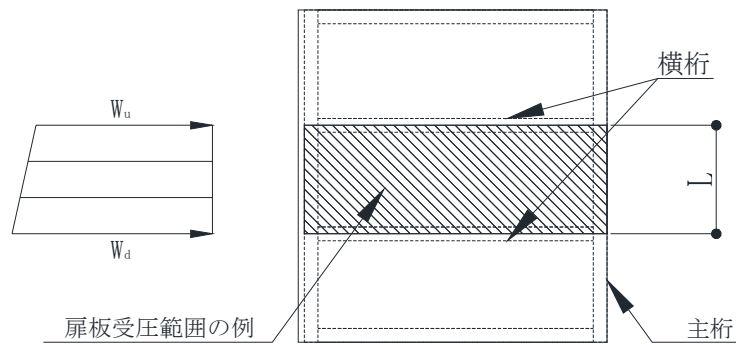


図8.5-1 扉板に生じる荷重の図

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、津波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、それぞれ算定する。正圧時は鉛直方向に取付く、主桁については、扉枠で全長を支持されるために評価外とする。水平方向に配されている横桁については、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8.5-2に示す。

(a) 横桁

$$M = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{Y^2}{8}$$

$$Q = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{Y}{2}$$

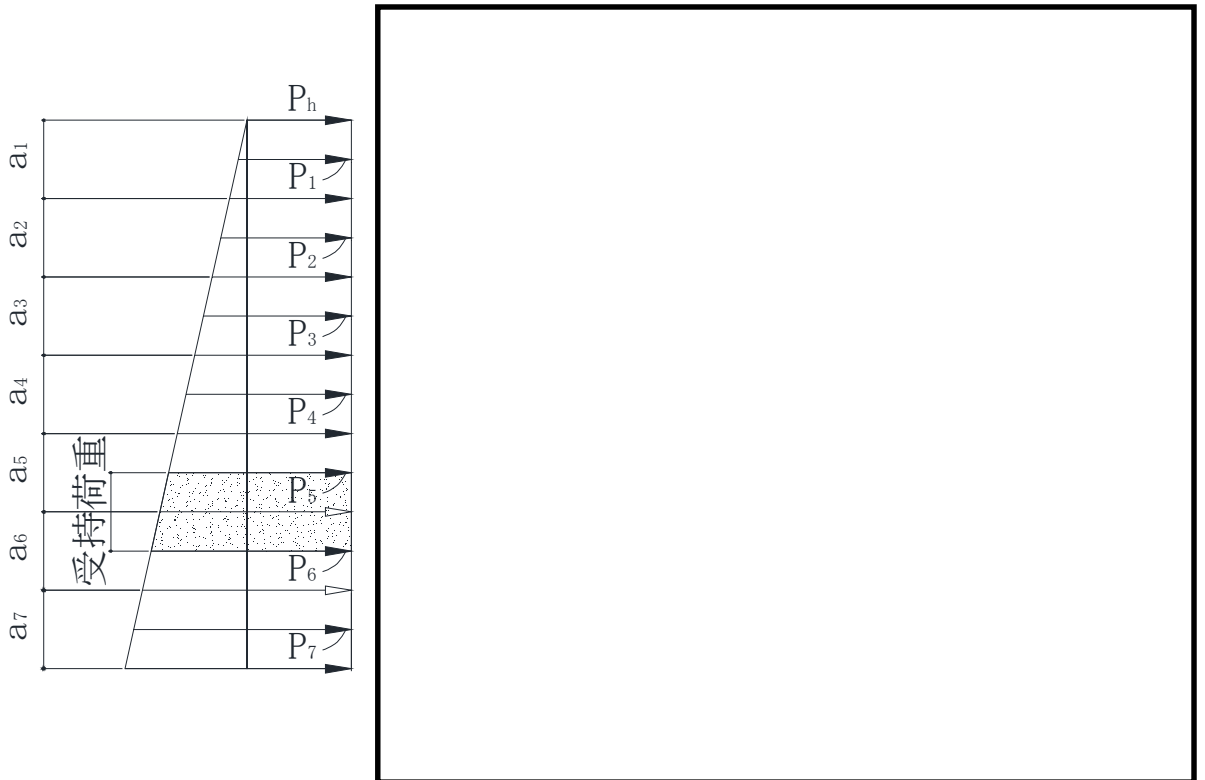


図8.5-2 芯材（横桁）に生じる荷重の例

(2) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が，許容限界値以下であることを確認する。

a. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

b. 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，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

8.6 評価条件

「8.5 評価方法」に用いる評価条件を表8.6-1に示す。

表8.6-1 強度評価に用いる条件(1/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	G	kN	水密扉の自重	
扉板	L	m	区画短辺の長さ	
	W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重	141.4
	W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重	144.4
	M_{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.085
	M_{x2}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.05
	Z	mm ³	断面係数	19660

表8.6-1 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)	H _g	m	受圧高	
	B	m	受圧幅	
	P _{hu}	kN/m ²	浸水津波による静水圧 (上部)	129.4
	P _{hd}	kN/m ²	浸水津波による静水圧 (下部)	149.0
	Z	mm ³	断面係数	31670
	A	mm ²	断面積	1900
芯材 (横桁)	Y	m	主桁ピッチ	
	a ₁	m	横桁ピッチ	
	a ₂	m	横桁ピッチ	
	a ₃	m	横桁ピッチ	
	a ₄	m	横桁ピッチ	
	a ₅	m	横桁ピッチ	

表8.6-1 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 (横桁)	a ₆	m	横桁ピッチ	
	a ₇	m	横桁ピッチ	
	P ₁	kN/m ²	津波荷重	130.8
	P ₂	kN/m ²	津波荷重	133.4
	P ₃	kN/m ²	津波荷重	136.2
	P ₄	kN/m ²	津波荷重	139.2
	P ₅	kN/m ²	津波荷重	142.2
	P ₆	kN/m ²	津波荷重	144.9
	P ₇	kN/m ²	津波荷重	147.6
	Z	mm ³	断面係数	63330
	A	mm ²	断面積	3800

8.7 強度評価結果

原子炉建屋付属棟西側水密扉の強度評価結果を表8.7-1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以下である。

表8.7-1 強度評価結果

名 称	評価対象部位	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生応力度/ 許容限界
原子炉建屋 付属棟西側 水密扉	扉 板	56	235	0.24
	芯材*1	79	235	0.34

*1：横桁のせん断及び曲げのうち評価結果が厳しくなる曲げによる値を記載