

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又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3
提出年月日	平成30年9月19日

V-3-別添 3-2-7 水密扉の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	7
2.5 記号の説明	8
3. 固有周期	12
3.1 固有周期の計算方法	12
3.2 固有周期の計算条件	13
3.3 固有周期の計算結果	15
<構造強度評価>	
4. 原子炉建屋原子炉棟水密扉	16
4.1 評価部位	16
4.2 構造強度評価方法	18
4.3 荷重及び荷重の組合せ	18
4.4 許容限界	20
4.5 設計用地震力	22
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	26
4.8 評価結果	28
5. 原子炉建屋付属棟北側水密扉1	29
5.1 評価部位	29
5.2 構造強度評価方法	18
5.3 荷重及び荷重の組合せ	31
5.4 許容限界	33
5.5 設計用地震力	22
5.6 計算方法	35
5.7 計算条件	45
5.8 評価結果	49
6. 原子炉建屋付属棟北側水密扉2	50
6.1 評価部位	50
6.2 構造強度評価方法	18
6.3 荷重及び荷重の組合せ	52
6.4 許容限界	54
6.5 設計用地震力	22
6.6 計算方法	56

6.7	計算条件	66
6.8	評価結果	70
7.	原子炉建屋付属棟東側水密扉	71
7.1	評価部位	71
7.2	構造強度評価方法	18
7.3	荷重及び荷重の組合せ	73
7.4	許容限界	75
7.5	設計用地震力	22
7.6	計算方法	76
7.7	計算条件	78
7.8	評価結果	79
8.	原子炉建屋付属棟南側水密扉	80
8.1	評価部位	80
8.2	構造強度評価方法	18
8.3	荷重及び荷重の組合せ	82
8.4	許容限界	84
8.5	設計用地震力	22
8.6	計算方法	86
8.7	計算条件	96
8.8	評価結果	100
9.	原子炉建屋付属棟西側水密扉	101
9.1	評価部位	101
9.2	構造強度評価方法	18
9.3	荷重及び荷重の組合せ	103
9.4	許容限界	105
9.5	設計用地震力	22
9.6	計算方法	106
9.7	計算条件	109
9.8	評価結果	111
10.	立坑部水密扉	112
10.1	評価部位	112
10.2	構造強度評価方法	18
10.3	荷重及び荷重の組合せ	115
10.4	許容限界	117
10.5	設計用地震力	22
10.6	計算方法	118
10.7	計算条件	122
10.8	評価結果	124

1. 概要

本資料は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、津波防護施設及び浸水防止設備である原子炉建屋1階及び常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）地下1階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原子炉建屋内に津波が流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。

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、原子炉建屋付属棟北側開口部に原子炉建屋付属棟北側水密扉1及び原子炉建屋付属棟北側水密扉2、原子炉建屋付属棟東側開口部に原子炉建屋付属棟東側水密扉、原子炉建屋付属棟南側開口部に原子炉建屋付属棟南側水密扉、原子炉建屋付属棟西側開口部に原子炉建屋付属棟西側水密扉を、常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の水密扉として、常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）地下1階に立坑部水密扉を設置する。

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 配置概要

水密扉の設置位置図を図2.1-1図、図2.1-2図に示す。

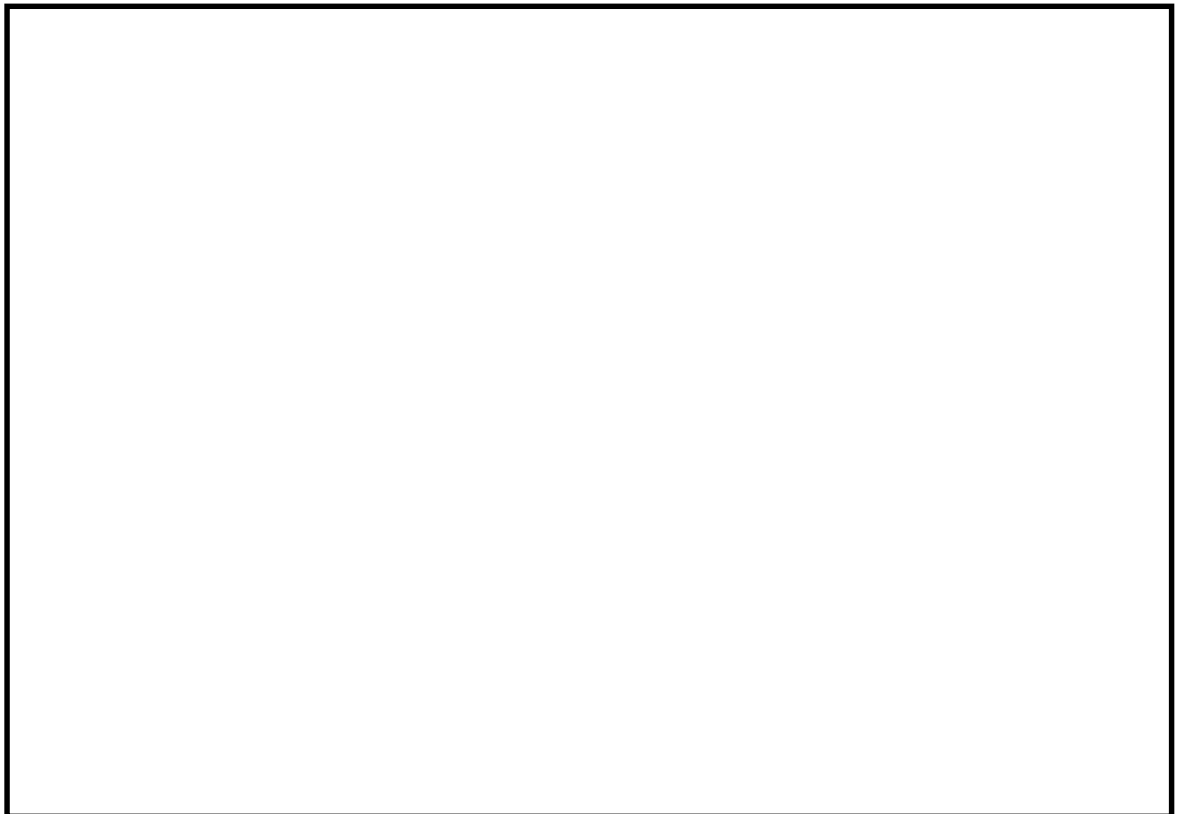


図2.1-1 水密扉の設置位置図（原子炉建屋1階）

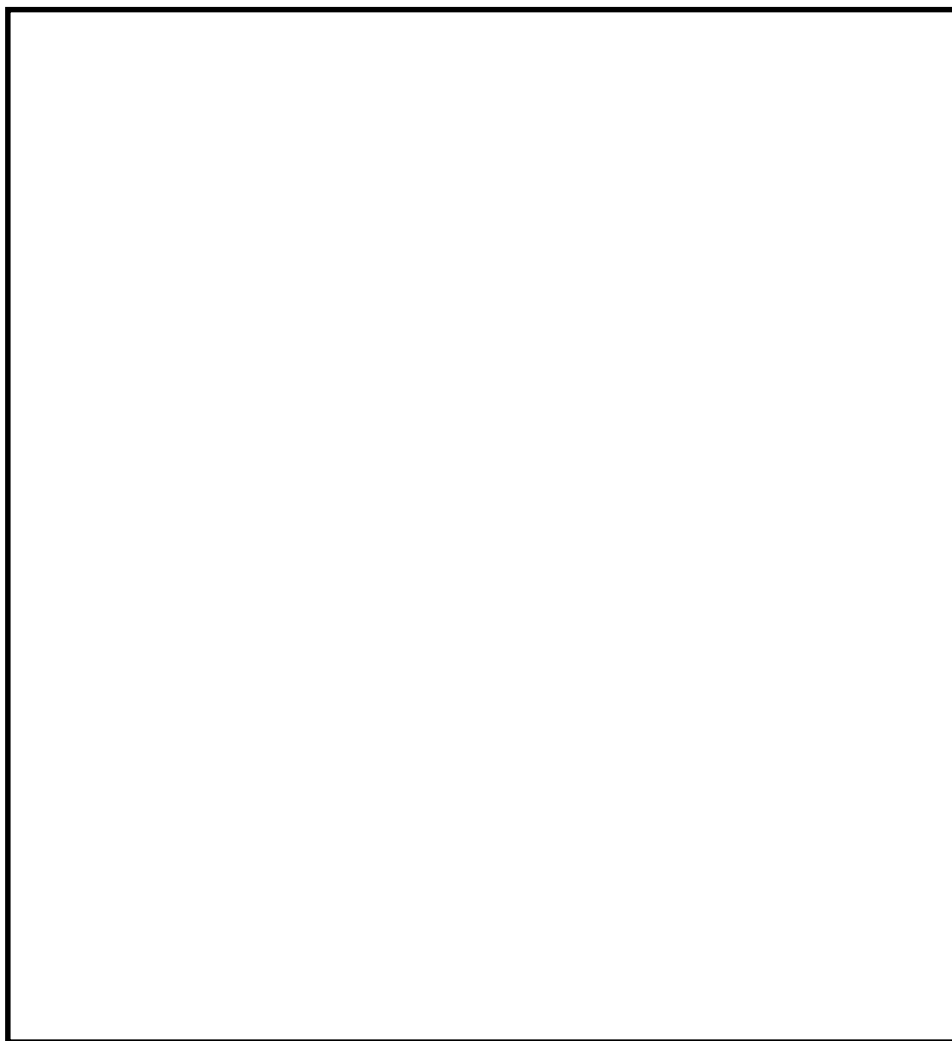


図2.1-2 水密扉の設置位置図
(常設代替高圧電源装置用カルバート (立坑部) 地下1階)

2.2 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（主桁及び横桁）を配した構造である（原子炉建屋付属棟東側水密扉を除く。）。また、閉鎖状態においてカンヌキ（又はロックバー）により固定され水密性を確保している。

原子炉建屋1階水密扉及び立坑部水密扉は、扉枠を介して建屋の壁の開口部にアンカーボルト等で固定し支持する構造とする。

水密扉の構造計画を表2.2-1に示す。

表 2. 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
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。 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。	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。 また、扉と扉の接 続はヒンジを介する 構造とする。	<p>概略構造図</p> <p>The diagram illustrates the structural details of a door assembly. The top view shows a rectangular door frame with dimensions 1005~5400 mm in width and 1940~5585 mm in height. It is anchored to a concrete floor (床面) using anchor bolts (アンカーボルト). The door itself consists of a steel plate (扉板) with a core (芯材). It is hinged (ヒンジ) to the frame and features a locking device (締付装置) or cam (カンヌキ) for closure. The side view shows the door's profile, highlighting the water-tight door (水密扉) and the water-tight packing (水密パッキン) at the bottom. Arrows indicate the direction of water pressure and seismic action (水圧及び余震作用方向 (外側)).</p> <p>(単位：mm)</p>

2.3 評価方針

水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に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、応力評価の確認結果を「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。

なお、具体的な計算方法については、添付書類「V-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

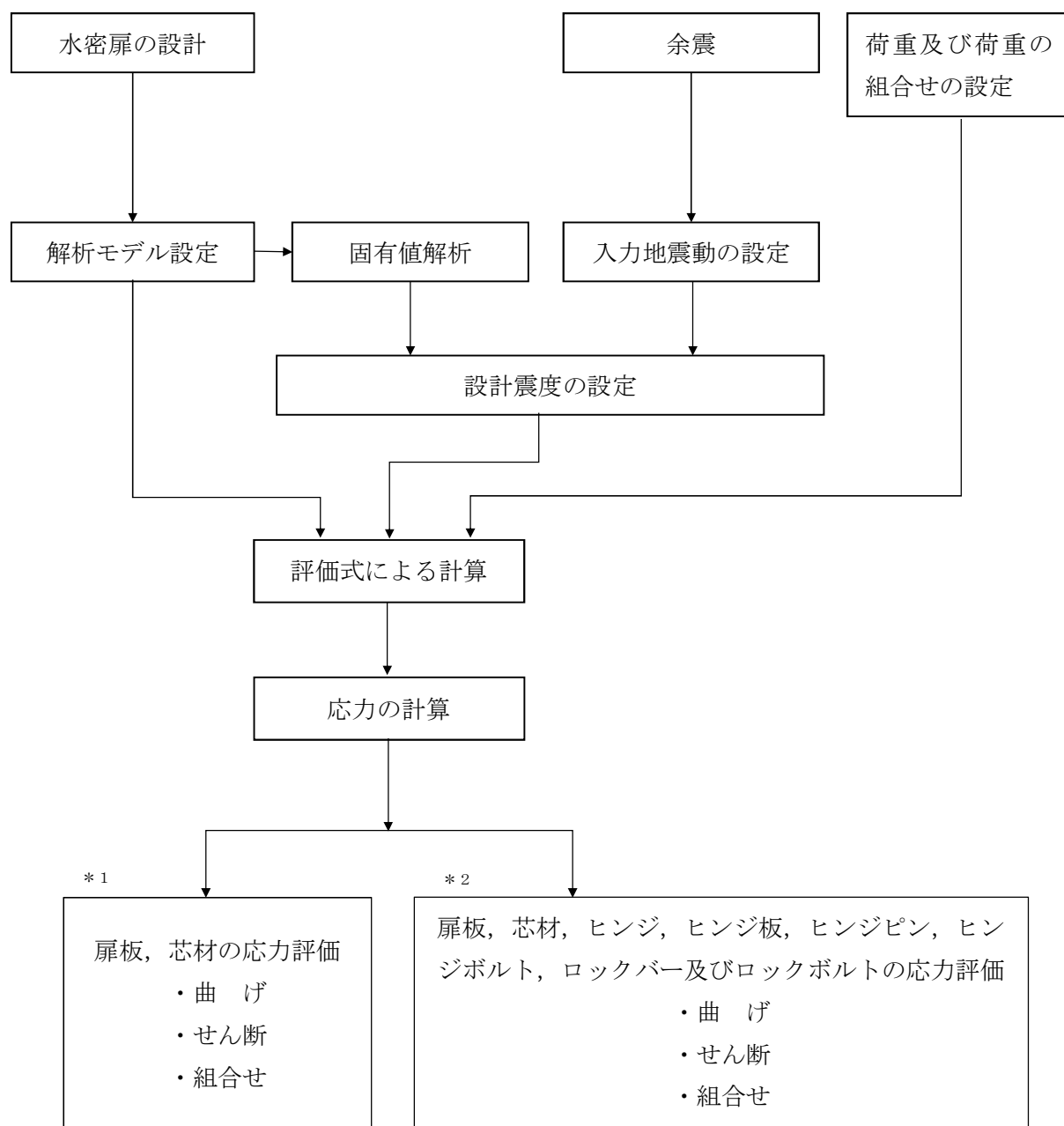
水密扉の構造強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重（静水圧荷重及び波圧）の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う静水圧荷重、波圧、地震に伴う低耐震クラスの設備（屋外タンク）からの溢水に伴う静水圧荷重、風荷重及び余震に伴う荷重作用時（以下、「重畳時」という）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時においては、「添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d 」を入力して得られた最大床応答加速度の最大値を設計震度として用いる。

漂流物の衝突荷重については、水密扉の設置環境を考慮し、漂流物の影響を直接受ける可能性のある屋外に面した水密扉について評価対象とし、具体的には原子炉建屋附属棟東側水密扉とする。漂流物の影響を直接受けない設置環境の水密扉は漂流物の影響評価対象外とし、具体的には、原子炉建屋大物搬入口内の原子炉建屋原子炉棟水密扉、原子炉建屋附属棟北側のタービン建屋との間に設置される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、廃棄物処理建屋への連絡歩廊内の原子炉建屋附属棟南側水密扉、サービス建屋との間に設置される原子炉建屋附属棟西側水密扉及び地下格納槽である常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）内に設置される常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側開口部水密扉とする。

なお、構造強度評価に当たっては、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。

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、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。

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、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。



注 *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（扉板のみ），原子炉建屋附属棟西側水密扉及び立坑部水密扉

*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 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) 水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年版）
- (5) 日本工業規格 J I S G 3 1 0 1（2015） 一般構造用圧延鋼材
- (6) 日本工業規格 J I S G 4 5 0 3（2012） 機械構造用 合金鋼鋼材

2.5 記号の説明

原子炉建屋1階に設置する水密扉の強度評価に用いる記号を表2.5-1、常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）地下1階に設置する水密扉の強度評価に用いる記号を表2.5-2に示す。

表2.5-1 強度評価に用いる記号（1/2）

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

表2.5-1 強度評価に用いる記号 (2/2)

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

表 2.5-2 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 _n	m	主桁ピッチ
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 _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
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

表 2.5-2 強度評価に用いる記号 (2/2)

記 号	単 位	定 義
P_h	kN/m^2	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重
P_n	kN/m^2	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重
P_c	kN/m^2	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重
P'_h	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重
P'_n	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重
P'_c	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重
Q	kN	せん断力
W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重
W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重
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
τ	N/mm^2	せん断応力度

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

水密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

水密扉は、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（カンヌキ）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（ヒンジ、カンヌキ等）の自重を加えるものとする。はり長さは扉幅とする。水密扉の固有周期解析モデル図を図 3.1.1-1 に示す。

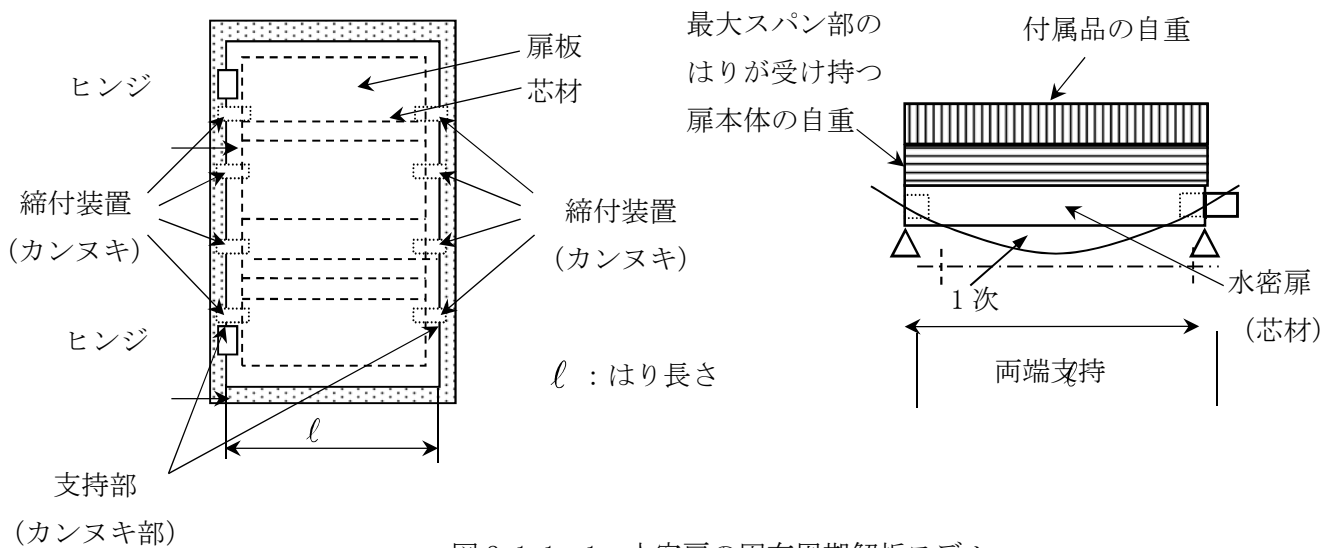


図 3.1.1-1 水密扉の固有周期解析モデル

3.1.2 固有周期の計算方法

1次固有振動数 f を「土木学会 鋼構造力学公式集」に基づき以下の式より計算する。

(1) 両端支持はりモデル

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

(2) 周辺固定の長方形板モデル

$$f = \frac{\lambda \pi h}{2b^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

(3) 固有周期

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

水密扉の固有周期計算に用いる記号を表3.1.1-1に示す。

表3.1.1-1 水密扉の固有周期計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	水密扉の1次固有振動数
ℓ	m	はり長さ
E	N/m ²	ヤング率
I	m ⁴	断面2次モーメント
m	kg/m	質量分布
λ	—	定数（板モデルの固有振動数算出）
h	m	板の厚さ
b	m	モデル化に用いる板の長さ
ν	—	ポアソン比
ρ	kg/m ³	材料の密度

3.2 固有周期の計算条件

水密扉の固有周期の計算条件を表3.2-1に示す。

表3.2-1 水密扉の固有周期の計算条件及び結果（両端支持はりモデル）

水密扉名称	はり長さ ℓ (m)	ヤング率E (N/m ²)	断面2次 モーメント I (m ⁴)	質量分布m (kg/m)
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 南側水密扉				
原子炉建屋附属棟 西側水密扉				
立坑部水密扉				

表3.2.4-2 水密扉の固有周期の計算条件及び結果
(周辺固定の長方形板モデル)

水密扉名称	定数 λ	板厚h (m)	板の 長さb (m)	ヤング率E (N/m ²)	ポアソ ン比 ν	密度 ρ (kg/ m ³)
原子炉建屋附属 棟東側水密扉						

3.3 固有周期の計算結果

水密扉の固有周期の計算結果を表3.3-1及び表3.3-2に示す。各水密扉の固有周期が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 水密扉の固有周期の計算条件及び結果
(両端支持はりモデル)

水密扉名称	モード	固有周期 (s)	固有振動数 f (Hz)
原子炉建屋原子炉棟水密扉	1次	0.030	33.671
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	1次	0.008	123.138
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	1次	0.008	123.138
原子炉建屋付属棟南側水密扉	1次	0.009	120.652
原子炉建屋付属棟西側水密扉	1次	0.011	94.251
立坑部水密扉	1次	0.025	41.492

表3.3-2 水密扉の固有周期の計算条件及び結果
(周辺固定の長方形板モデル)

水密扉名称	モード	固有周期 (s)	固有振動数 f (Hz)
原子炉建屋付属棟東側水密扉	1次	0.002	513.37

4. 原子炉建屋原子炉棟水密扉

4.1 評価部位

原子炉建屋原子炉棟水密扉の評価対象部位は、「2.2 構造計画」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。

原子炉建屋原子炉棟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、評価部位は、扉板及び芯材とする。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の構造図を図4.1-1に、原子炉建屋原子炉棟水密扉に作用する荷重の作用図を図4.1-2に示す。

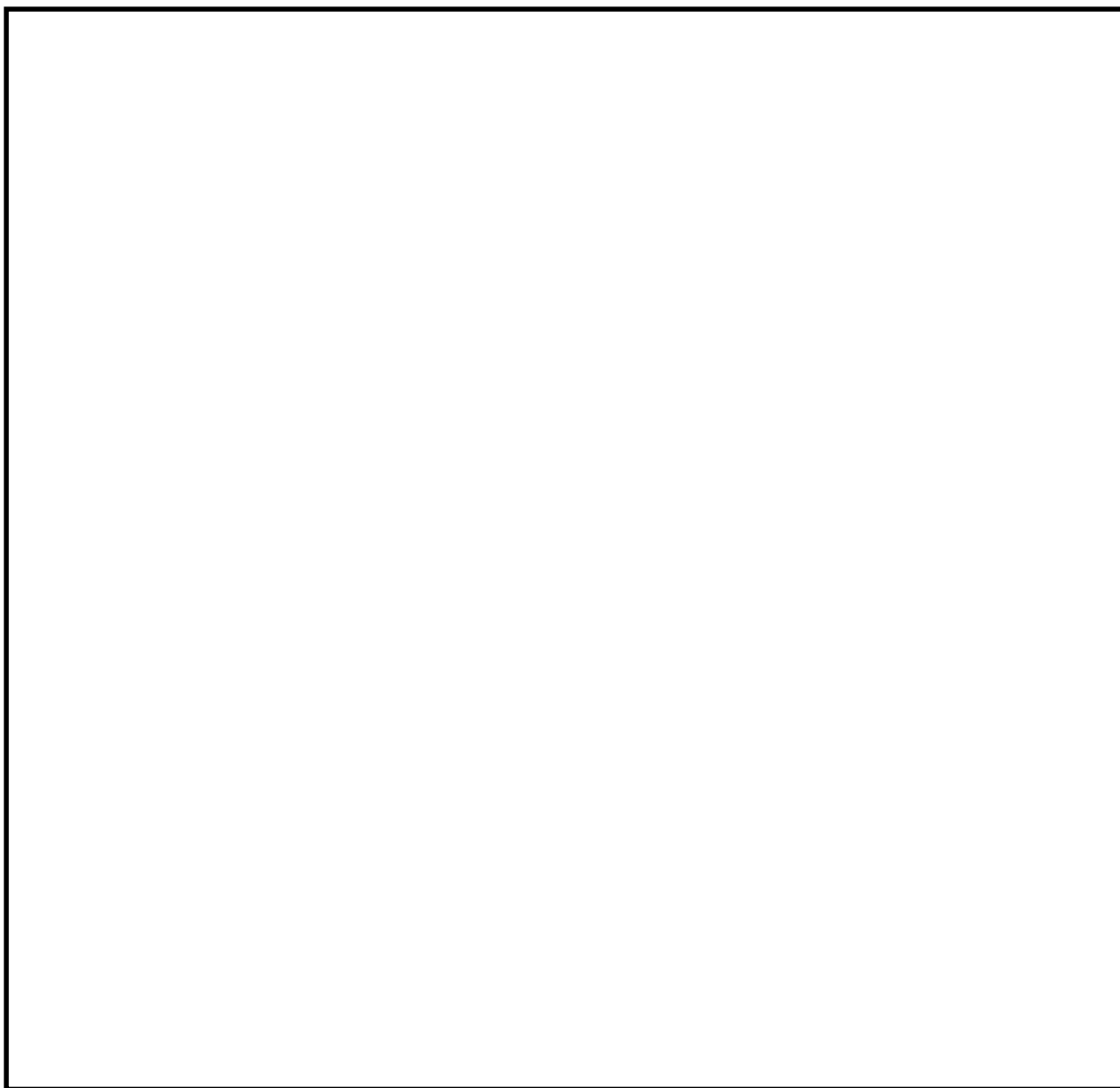


図4.1-1 原子炉建屋原子炉棟水密扉の構造図

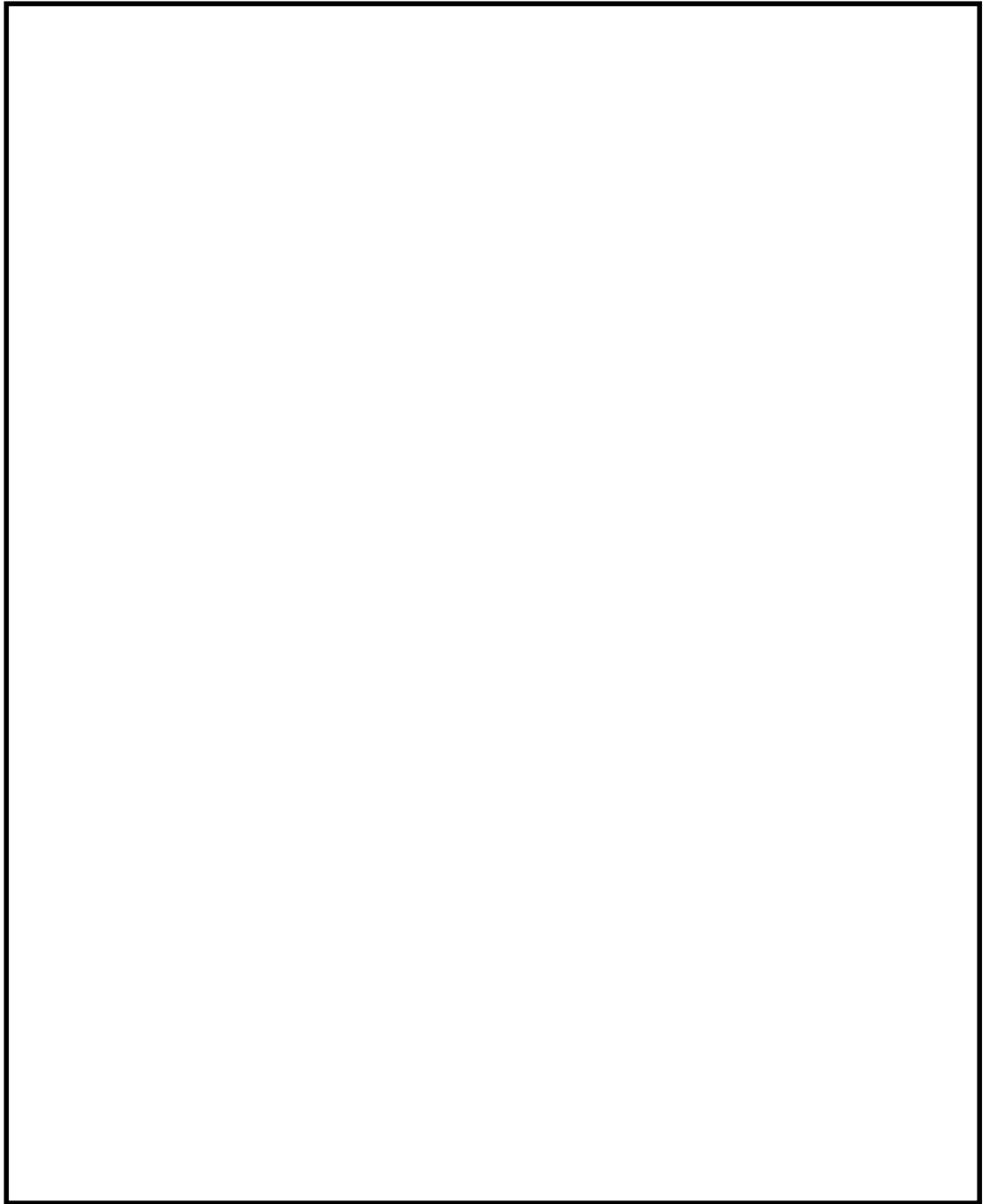


図4.1-2 原子炉建屋原子炉棟水密扉に作用する荷重の作用図

4.2 構造強度評価方法

原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価は、「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、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重 (G) を考慮する。

b. 津波による遡上津波荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$H = 3 \cdot \frac{h}{2}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H$$

敷地に遡上する津波の浸水深は原子炉建屋設置面において0.4mから0.6m程度であり、保守的に1.0 mを設定する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水 (0.2 m) の重畳を考慮する。なお、遡上津波荷重を考慮しても水密扉の上端位置を超えない場合は、水密扉上端位置より1m高い水位による水圧を考慮することとし、原子炉建屋原子炉棟水密扉については、原子炉建屋設置面レベルEL. +8.0 mを基点とし、扉上端部から1 mの浸水深を考慮した水圧作用高さEL. +14.785 mでの評価を行う。

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

表4.3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ (EL. m)	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋原子炉棟水密扉	+14.785	1.03

c. 余震荷重 (K_S)

余震荷重は，添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり，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，水密扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K_H$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「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4.3-2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。

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*
原子炉建屋原子炉棟水密扉	津波時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_h + K_S$

注記 * : G は固定荷重， P_h は津波による静水圧荷重， K_S は余震荷重を示す。

4.4 許容限界

原子炉建屋原子炉棟水密扉の許容限界は、「4.1 評価部位」にて設定した評価部位の機能損傷モードを考慮し、添付書類「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

原子炉建屋原子炉棟水密扉を構成する、扉板、芯材、カンヌキ部の使用材料を表4.4-1に示す。

表4.4-1 扉板、芯材、カンヌキ部の使用材料

部 位		材 質	仕 様[mm]
扉 板			
芯 材 (主 桁)			
芯 材 (横 桁)			
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
	アンカー		
カンヌキ部	カンヌキ		
	カンヌキ受けピン		
	カンヌキ受けボルト		

注 *1: tは板厚(mm), ϕ は径 (mm)を示す (以下同じ) (1) 荷重算定

(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4. 4-2の値とする。

表4. 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	引張り	せん断
	235	235	135
	215	215	124
	205	205	118
	205	205	118
	686	686	396
	345	345	199
	651	651	375

注 *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 : 2012 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

*3: 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 0 5 3 : 2012 機: 械構造用合金鋼鋼材」に基づく

*4: 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 0 5 1 : 2012 機械構造用炭素鋼鋼材」に基づく

4.5 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり原子炉建屋原子炉棟水密扉の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度計算で用いる設計震度は、添付書類「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。原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度計算で用いる設計震度を表4.5-1に示す。

表4.5-1 原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度計算で用いる設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (EL. m)	地震による設計震度	
弾性設計用地震動 $S_d - D1$	原子炉建屋1階 +8.2	水平方向 C_H^{*1}	0.64
		鉛直方向 C_V^{*1}	0.53

注 *1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

4.6 計算方法

原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「2.2 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）」に基づく次式に余震による荷重を等分布荷重として加え算定する。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4.6-1に示す。

$$M = M_{X1} \cdot W_U \cdot L^2 + M_{X2} \cdot (W_d - W_U) \cdot L^2$$

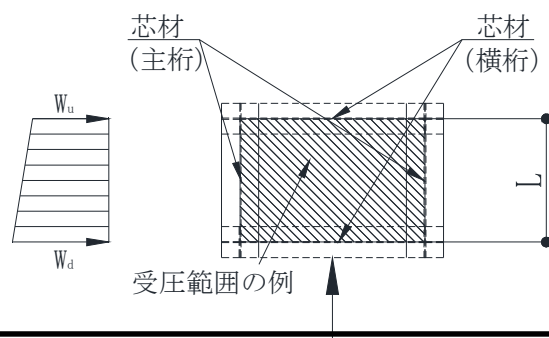


図4.6-1 扉板に生じる応力の例

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、浸水津波荷重又は溢水に伴う荷重及び余震による荷重を考慮し、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。ただし、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4.6-2に示す。芯材（横桁）に生じる荷重の例を図4.6-3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

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

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

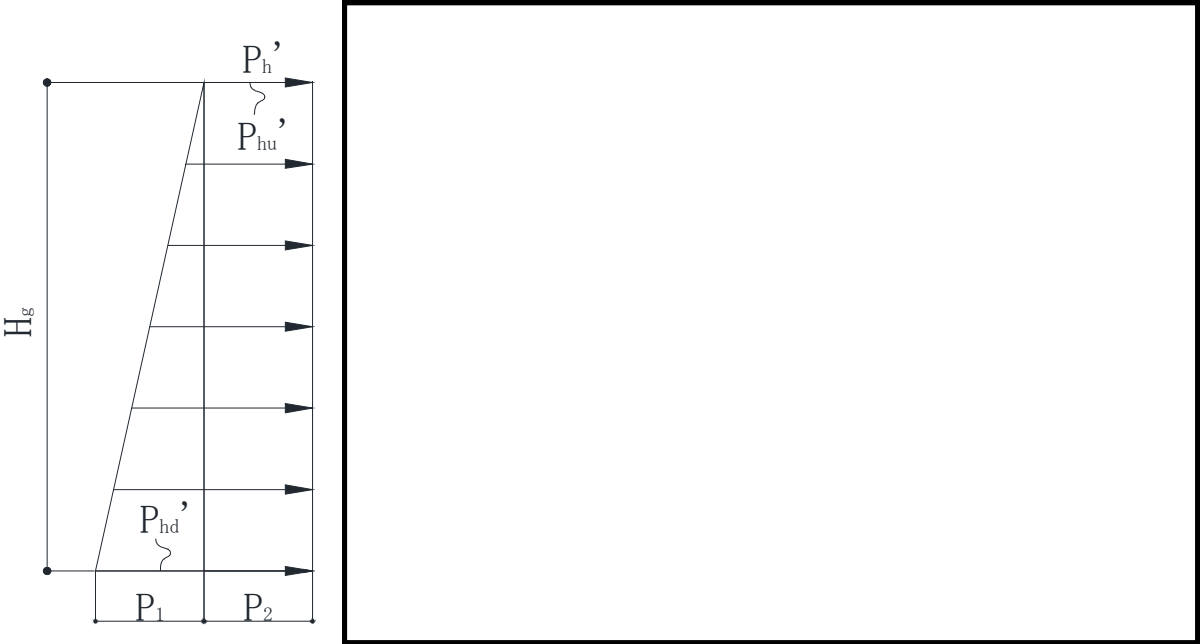


図4.6-2 芯材（主桁）に生じる荷重の例

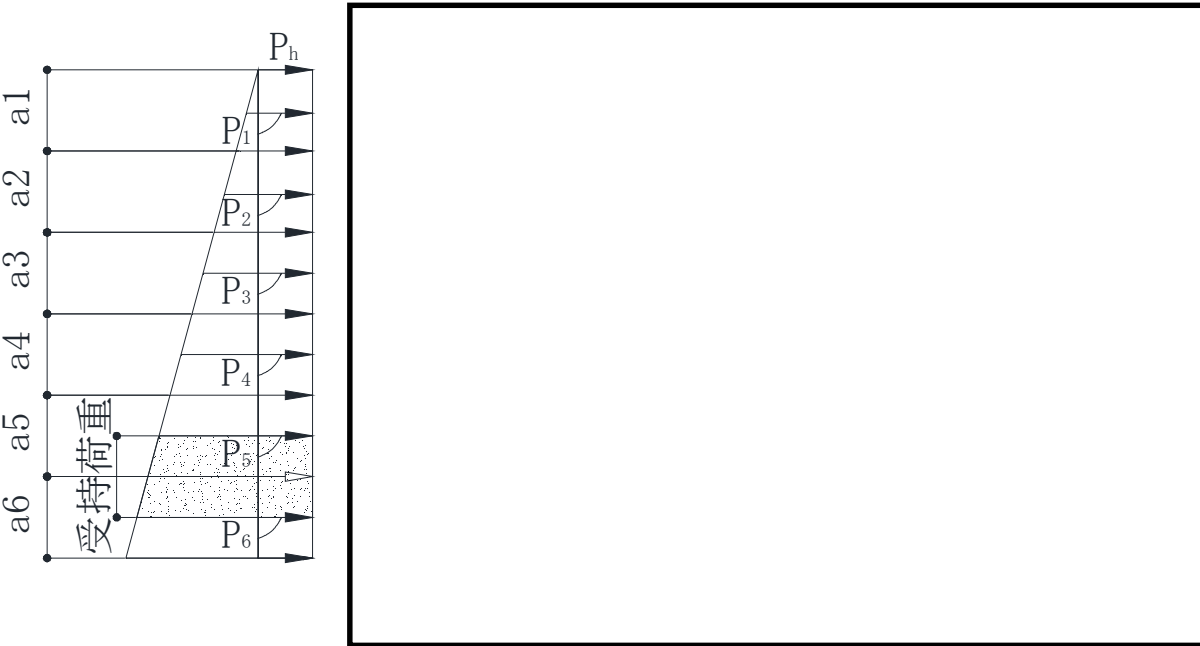


図4.6-3 芯材（横桁）に生じる荷重の例

(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。
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。

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

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

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 原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価に用いる条件(1/2)

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	54.43
	W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重	69.58
	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及び余震による荷重（上部）	15.68
	P_{hd}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧及び余震による荷重（下部）	72.09
	Z	mm ³	断面係数	5890000
	A	mm ²	断面積	27920

表4.7-1 原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価に用いる条件(2/2)

対象部位	記 号	単 位	定 義	数値
(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	津波及び余震荷重	20.93
	P ₂	kN/m ²	津波及び余震荷重	31.24
	P ₃	kN/m ²	津波及び余震荷重	41.34
	P ₄	kN/m ²	津波及び余震荷重	51.44
	P ₅	kN/m ²	津波及び余震荷重	60.02
	P ₆	kN/m ²	津波及び余震荷重	67.83
	Z	mm ³	断面係数	860000
	A	mm ²	断面積	9143

4.8 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4.8-1に示す。原子炉建屋原子炉棟水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生応力又は荷重は許容限界値以下であることから、原子炉建屋原子炉棟水密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
原子炉建屋原子炉 棟水密扉	扉板	26	235	0.11
	芯材*1	33	235	0.14

注 *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

5. 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

5.1 評価部位

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の評価部位は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示している評価部位を踏まえて設定する。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 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部位となる。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の構造図を図 5.1-1、原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 に作用する荷重の作用図を図 5.1-2 に示す。

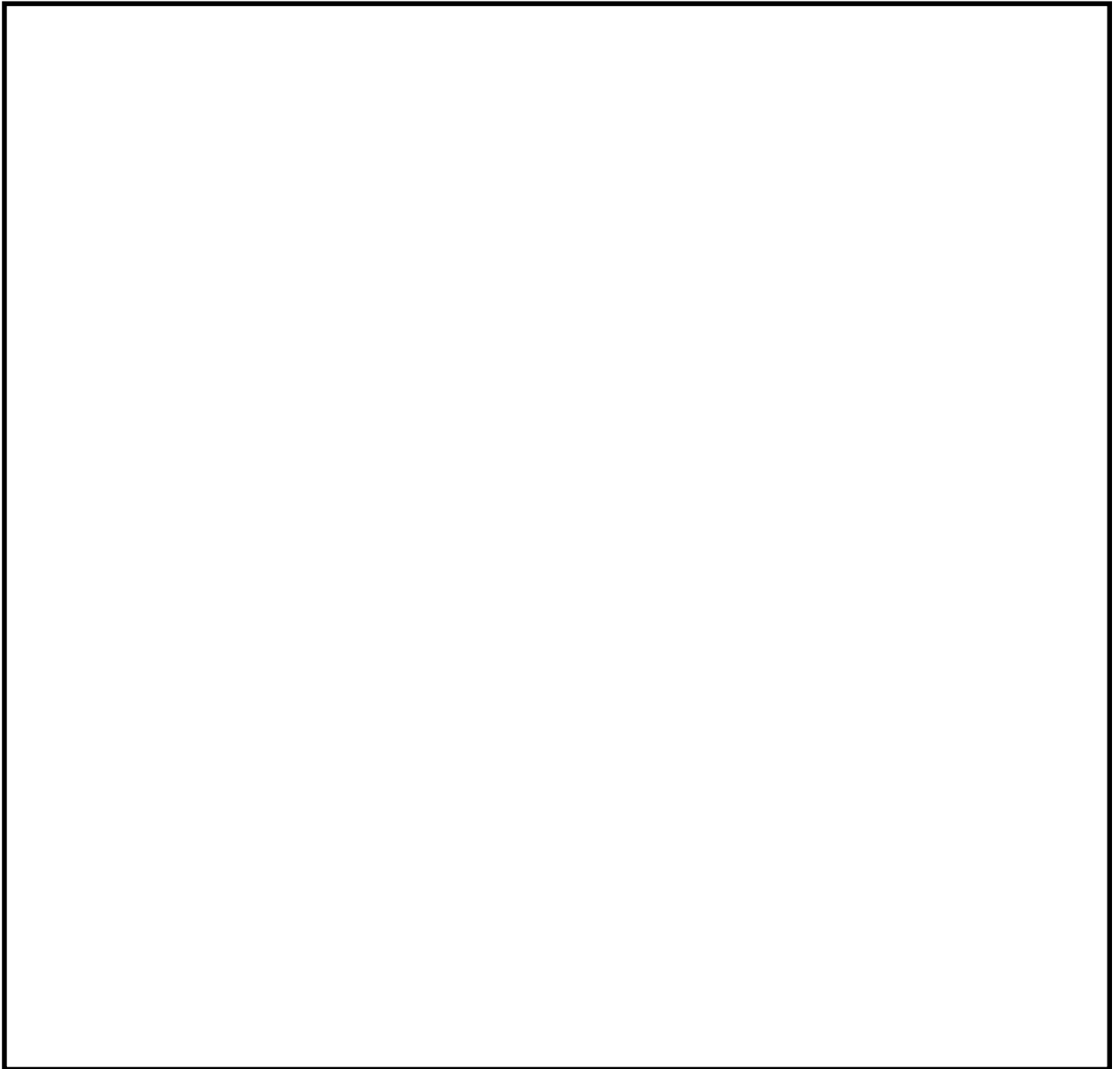


図5.1-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉1の構造図

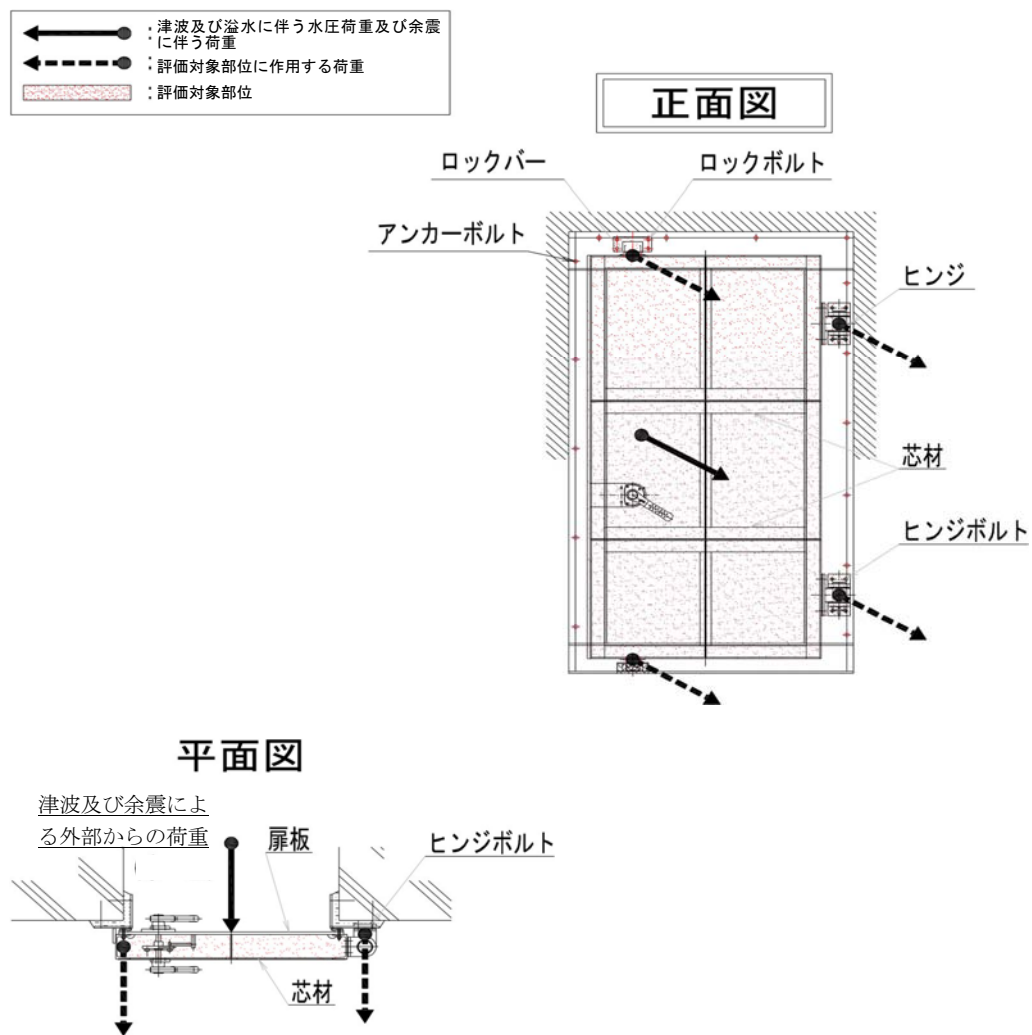


図 5.1-2 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 に作用する荷重の作用図

5.2 構造強度評価方法

原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の強度評価は、「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、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

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. 津波による遡上津波荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$H = 3 \cdot \frac{h}{2}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H$$

敷地に遡上する津波の浸水深は、原子炉建屋設置面において 0.4m から 0.6m 程度であり、保守的に 1.0 m を設定する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水 (0.2 m) の重畳を考慮する。なお、遡上津波荷重を考慮しても水密扉の上端位置を超えない場合は、水密扉上端位置より 1m 高い水位による水圧を考慮することとし、原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 については、原子炉建屋設置面レベル EL. +8.0 m を基点とし、扉上端部から 1 m の浸水深を考慮した水圧作用高 EL. +11.240m での評価を行う。

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)
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	+11.240	1.03

c. 余震荷重 (K_S)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、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、水密扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K_H$$

(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 5.3-3 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*
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	津波時	$W_X + P_h$
	重畳時	$W_X + P_h + K_S$

注記 * : W_X は固定荷重, P_h は津波に伴う荷重, K_S は余震荷重を示す。

5.4 許容限界

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 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、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 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 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

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

注 *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 : 2012 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 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり原子炉建屋付属棟北側水密扉1の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、原子炉建屋付属棟北側水密扉1の強度計算で用いる設計震度は、添付書類「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。原子炉建屋付属棟北側水密扉1の強度計算で用いる設計震度を表5.5-1に示す。

表5.5-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉1の強度計算で用いる設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (EL. m)	地震による設計震度	
弾性設計用地震動 S _d -D1	原子炉建屋1階 +8.2	水平方向 C _H *1	0.64
		鉛直方向 C _V *1	0.53

注 *1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

5.6 計算方法

原子炉建屋付属棟北側水密扉1の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に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、次式により算定する。

扉板に生じる応力の例を第5.6-1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のうち最も大きい応力の区画の数値を採用し検討するものとする。

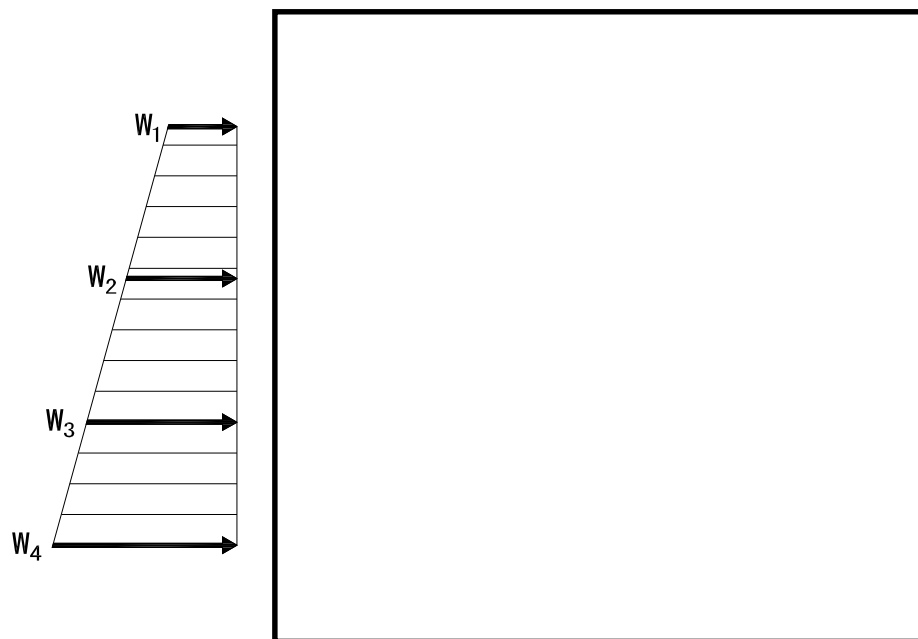


図 5.6-1 扉板に生じる応力の例

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、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

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

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

(b) 縦桁

$$M = a_n^2 \cdot \left\{ \left(\frac{P_{(1 \sim 3)}}{9\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{P_{(4 \sim 6)}}{8} \right) \right\} \cdot c$$

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

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

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

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

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

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

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

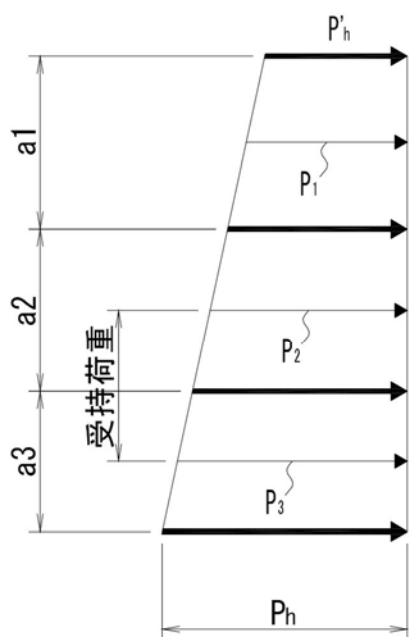
$$P'_{h1} = P_{h1} \cdot B_1$$

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

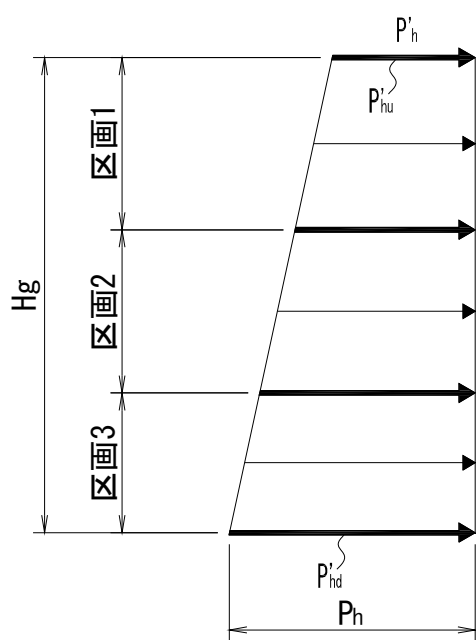
$$P'_{h3} = P_{h3} \cdot B_1$$

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

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 5.6-2 芯材に生じる荷重の例

扉全閉時にかかる水圧及び余震荷重は、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、水圧及び余震荷重のうち各々 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及び余震荷重から、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 5.6-3 に示す。

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

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

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

$$K_s = W_X \cdot K_H$$

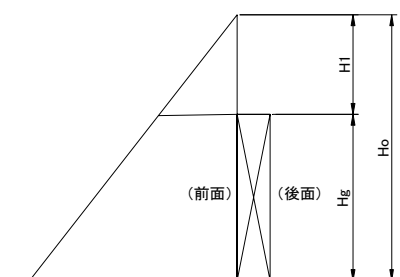


図 5.6-3 ヒンジ部に生じる荷重の例

(a) 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 5.6-4 に示す。

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



図 5.6-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

(b) 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 5.6-5 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)

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

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

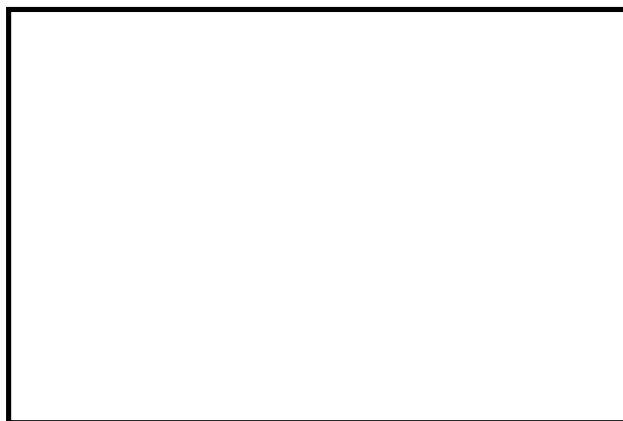


図 5.6-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト（枠体側）

ヒンジボルト（枠体側）には水圧及び余震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 5.6-6 に示す。

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



図 5.6-6 ヒンジボルト（枠体側）に生じる荷重の例

(d) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）には水圧及び余震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 5.6-7 に示す。

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



図 5.6-7 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及び余震荷重から、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 5.6-8 に示す。

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

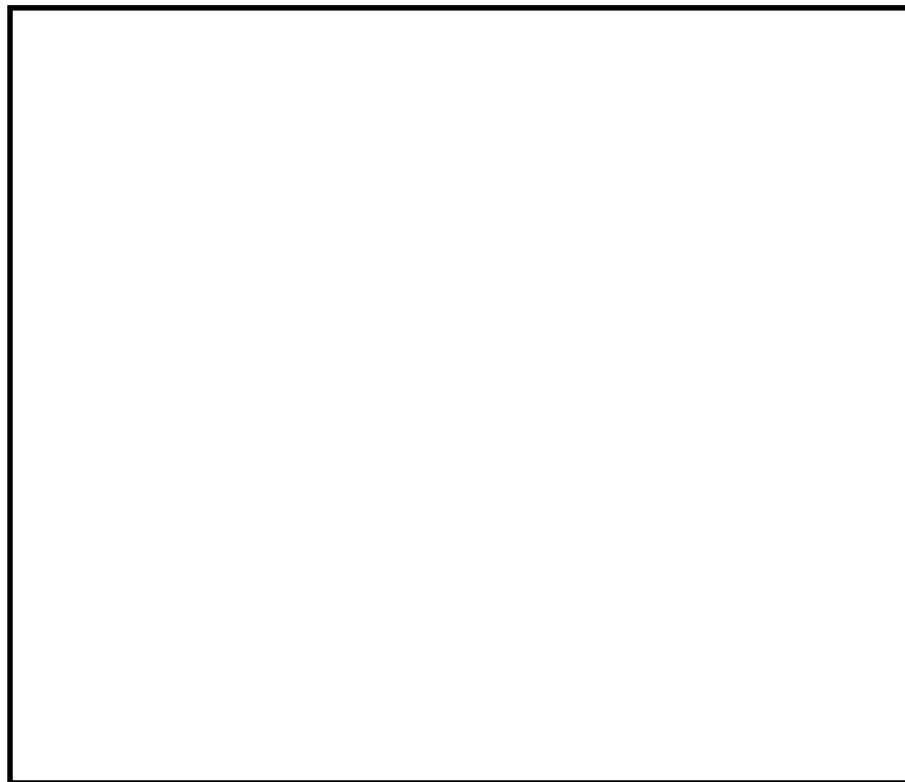


図 5.6-8 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 5.6-9 に示す。

$$M = Rog \cdot L_3$$



図 5.6-9 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及び余震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 5.6-10 に示す。

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

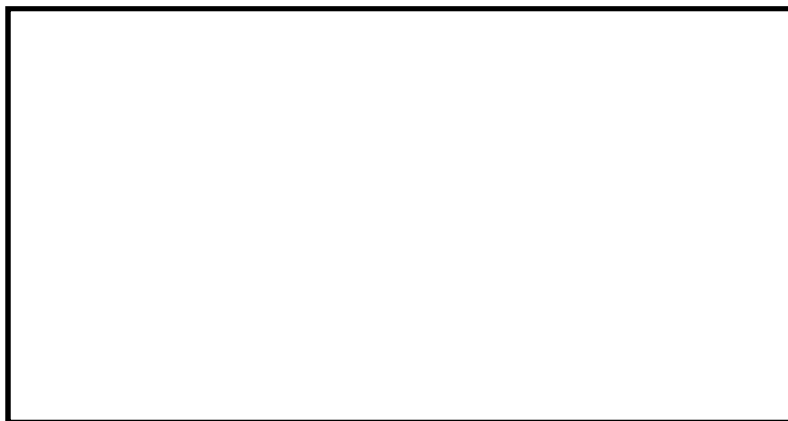


図 5.6-10 ロックボルトに生じる荷重の例

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 5.6-11 に示す。(枠体側)

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



図 5.6-11 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。

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

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 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の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	0.515 (515mm)
	W ₁	kN/m	最上段部の単位長さ 当たりの作用荷重	10.78
	W ₂	kN/m	中段上部の単位長さ 当たりの作用荷重	17.55
	W ₃	kN/m	中段下部の単位長さ 当たりの作用荷重	23.94
	W ₄	kN/m	最下段部の単位長さ 当たりの作用荷重	29.42
	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 5.7-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の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	津波による静水圧及び余震による荷重 (最上部)	11.93
	P _{h2}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震による荷重 (中間上部)	19.41
	P _{h3}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震による荷重 (中間下部)	26.48
	P _{h4}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震による荷重 (最下部)	32.54
	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	津波による水圧及び余震による荷重	15.67
	p2	kN/m ²	津波による水圧及び余震による荷重	22.94
	p3	kN/m ²	津波による水圧及び余震による荷重	29.51
	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 5.7-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の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 5. 7-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の強度評価に用いる条件 (4/4)

対象部位	記 号	単 位	定 義	数 値
バ ー ロ ック	L_3	mm	作用点間距離	
	Z_7	mm^3	断面係数	
	A_6	mm^2	断面積	
ボ ルト ロ ック	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)	

5.8 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 5.8-1 に示す。原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 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、原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 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 (1/3)

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
原子炉建屋 付属棟北側 水密扉 1	扉 板	37	235	0.16
	芯材*1	21	235	0.09

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 5.8-1 強度評価結果 (2/3)

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
原子炉建屋付属棟 北側水密扉 1	ヒンジ部	板	4	118	0.04
		ピン*1	38	345	0.11
		ヒンジボルト (杵体側)	17	205	0.09
		ヒンジボルト (扉側)	17	118	0.15
	ロックバー部	ロックバー	18	345	0.06
		ロックボルト	18	205	0.09

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 5.8-1 強度評価結果 (3/3)

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
原子炉建屋付属棟 北側水密扉 1	アンカーボルト	3	26	0.12

6. 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

6.1 評価部位

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の評価対象部位は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示している評価部位を踏まえて設定する。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 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部位となる。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の構造図を図 6.1-1、原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 に作用する荷重の作用図を図 6.1-2 に示す。

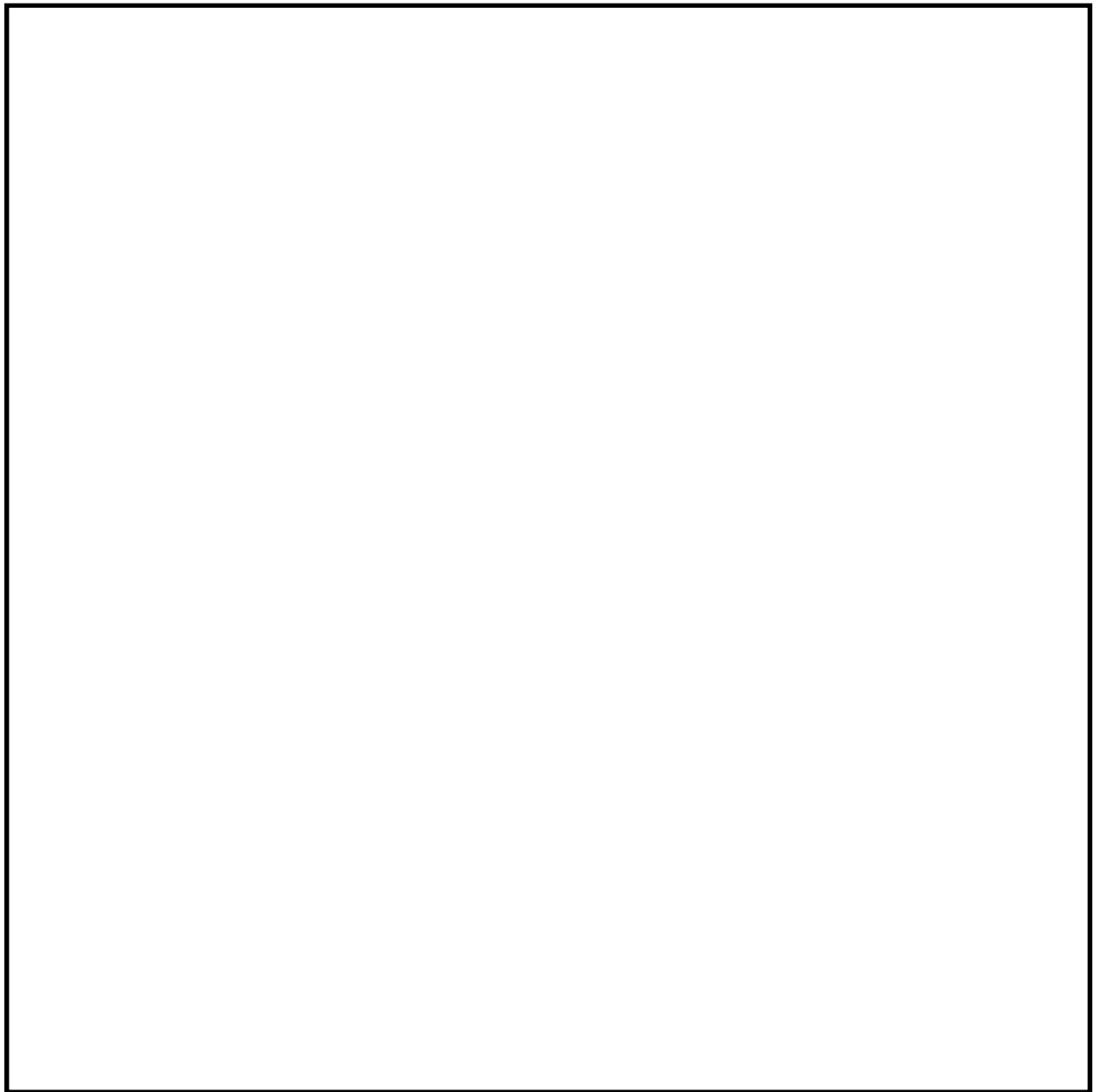


図6.1-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の構造図

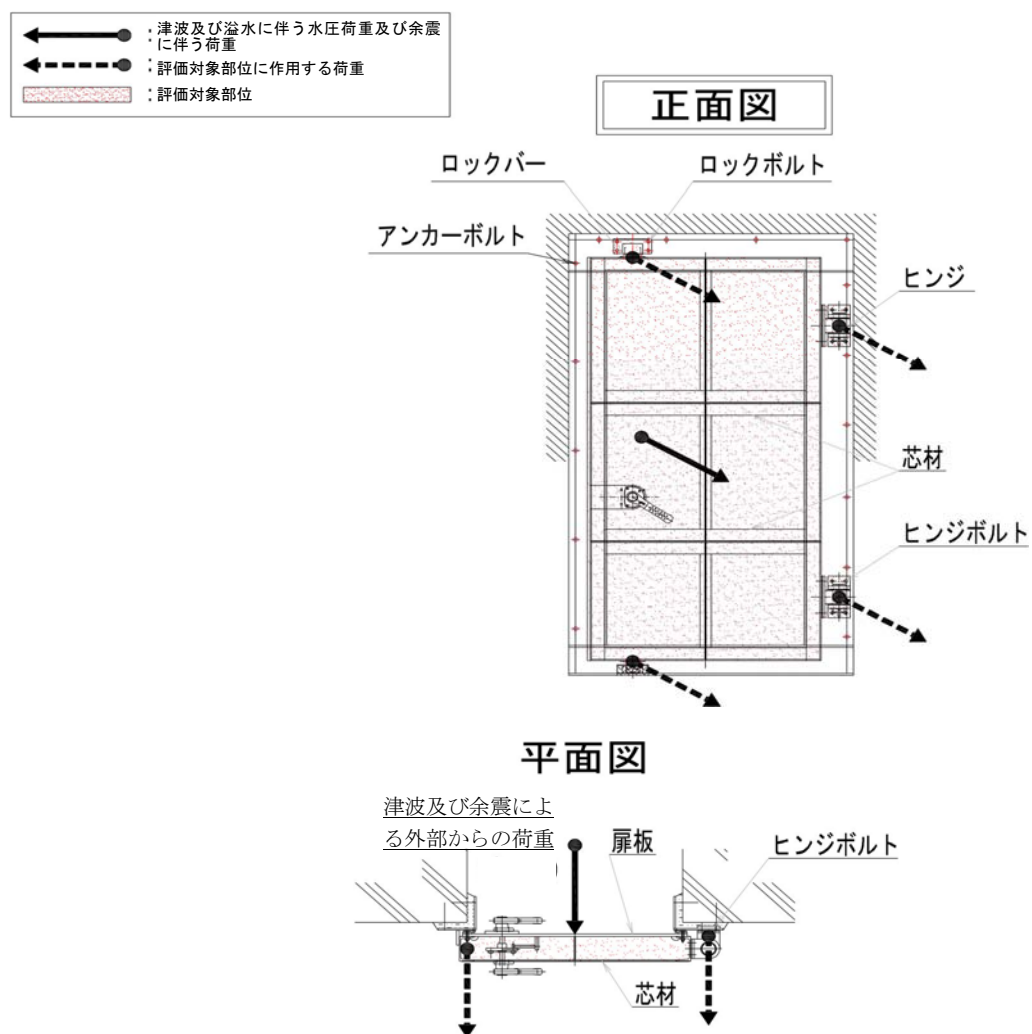


図 6.1-2 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 に作用する荷重の作用図

6.2 構造強度評価方法

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 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、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

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. 津波による遡上津波荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$H = 3 \cdot \frac{h}{2}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H$$

敷地に遡上する津波の浸水深は、原子炉建屋設置面において 0.4m から 0.6m 程度であり、保守的に 1.0 m を設定する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水 (0.2 m) の重畳を考慮する。なお、遡上津波荷重を考慮しても水密扉の上端位置を超えない場合は、水密扉上端位置より 1m 高い水位による水圧を考慮することとし、原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 については、原子炉建屋設置面レベル EL. +8.0 m を基点とし、扉上端部から 1 m の浸水深を考慮した水圧作用高 EL. +11.240m での評価を行う。

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 6.2-1 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)
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	+11.240	1.03

c. 余震荷重 (K_s)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、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、水密扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K_H$$

(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 6.3-3 に示す。

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*
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	津波時	$W_x + P_h$
	重畳時	$W_x + P_h + K_s$

注記 * : W_x は固定荷重, P_h は津波に伴う荷重, K_s は余震荷重を示す。

6.4 許容限界

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 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、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 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 6.4-1 表に示す。


表 6.4-1 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

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 6.4-2 の値とする。

表 6.4-2 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

注 *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 : 2012 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）日本建築学術，2010 改定）」に基づき算定した，表 6.4-3 の値とする。

表 6.4-3 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

6.5 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり原子炉建屋付属棟北側水密扉2の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、原子炉建屋付属棟北側水密扉2の強度計算で用いる設計震度は、添付書類「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。原子炉建屋付属棟北側水密扉2の強度計算で用いる設計震度を表6.5-1に示す。

表6.5-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉1の強度計算で用いる設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (EL. m)	地震による設計震度	
弾性設計用地震動 $S_d - D1$	原子炉建屋1階 +8.2	水平方向 C_H^{*1}	0.64
		鉛直方向 C_V^{*1}	0.53

注 *1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

6.6 計算方法

原子炉建屋付属棟北側水密扉2の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に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、次式により算定する。

扉板に生じる応力の例を図6.6-1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のうち最も大きい応力の区画の数値を採用し検討するものとする。

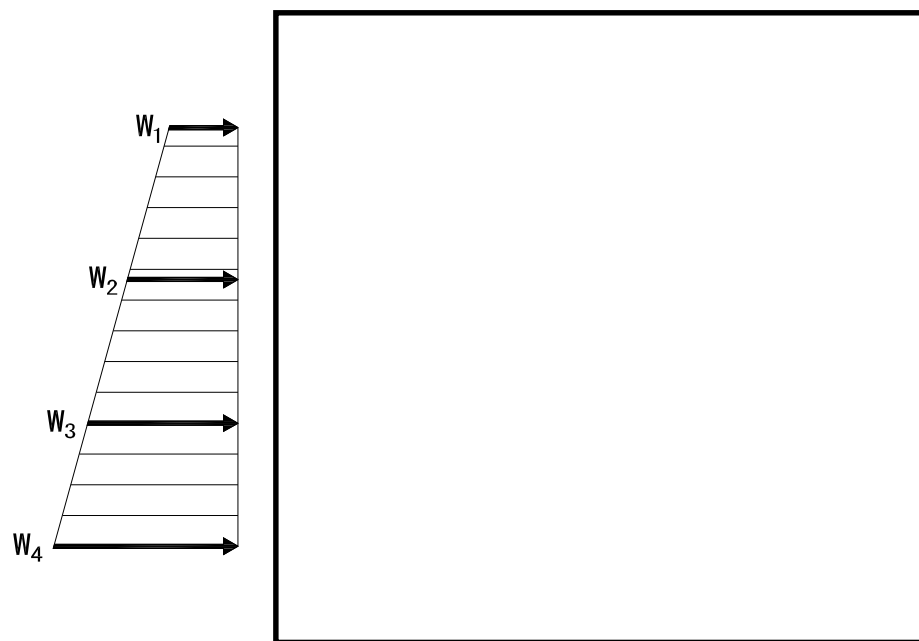


図 6.6-1 扉板に生じる応力の例

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、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。

(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

$$M = a_n^2 \cdot \left\{ \left(\frac{P_{(1 \sim 3)}}{9\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{P_{(4 \sim 6)}}{8} \right) \right\} \cdot c$$

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

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

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

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

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

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

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

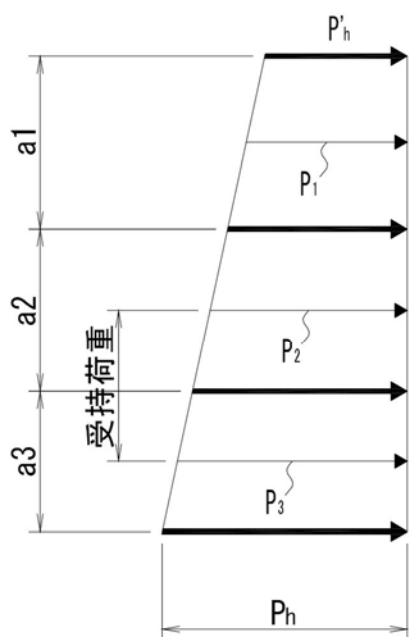
$$P'_{h1} = P_{h1} \cdot B_1$$

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

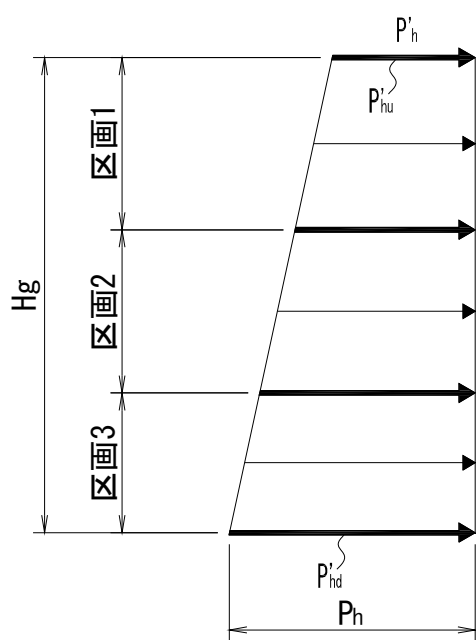
$$P'_{h3} = P_{h3} \cdot B_1$$

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

$$\text{中間縦桁 } c = 1/2, \text{ 端縦桁 } c = 1/4$$



主桁に生じる荷重の例



縦桁に生じる荷重の例

図 6.6-2 芯材に生じる荷重の例

扉全閉時にかかる水圧及び余震荷重は、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、水圧及び余震荷重のうち各々 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及び余震荷重から、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 6.6-3 に示す。

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

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

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

$$K_s = W_X \cdot K_H$$

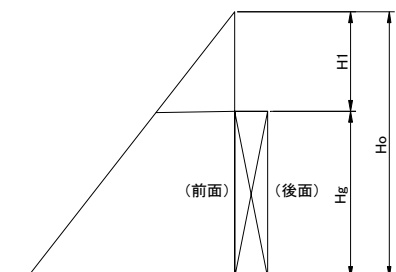


図 6.6-3 ヒンジ部に生じる荷重の例

(a) 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 6.6-4 に示す。

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



図 6.6-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

(b) 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 6.6-5 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)

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

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

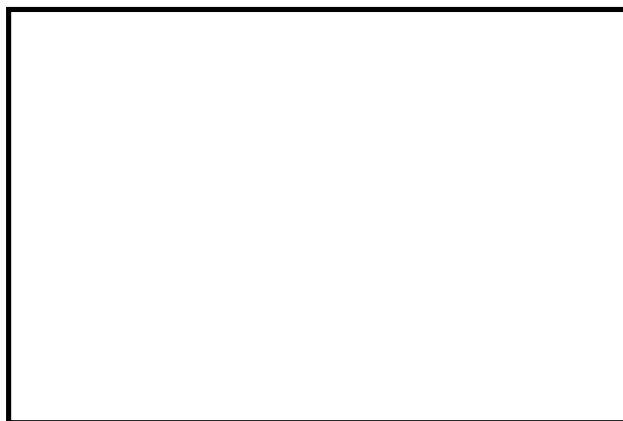


図 6.6-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト（枠体側）

ヒンジボルト（枠体側）には水圧及び余震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 6.6-6 に示す。

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



図 6.6-6 ヒンジボルト（枠体側）に生じる荷重の例

(d) ヒンジボルト（扉側）

ヒンジボルト（扉側）には水圧及び余震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 6.6-7 に示す。

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



図 6.6-7 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及び余震荷重から、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 6.6-8 に示す。

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

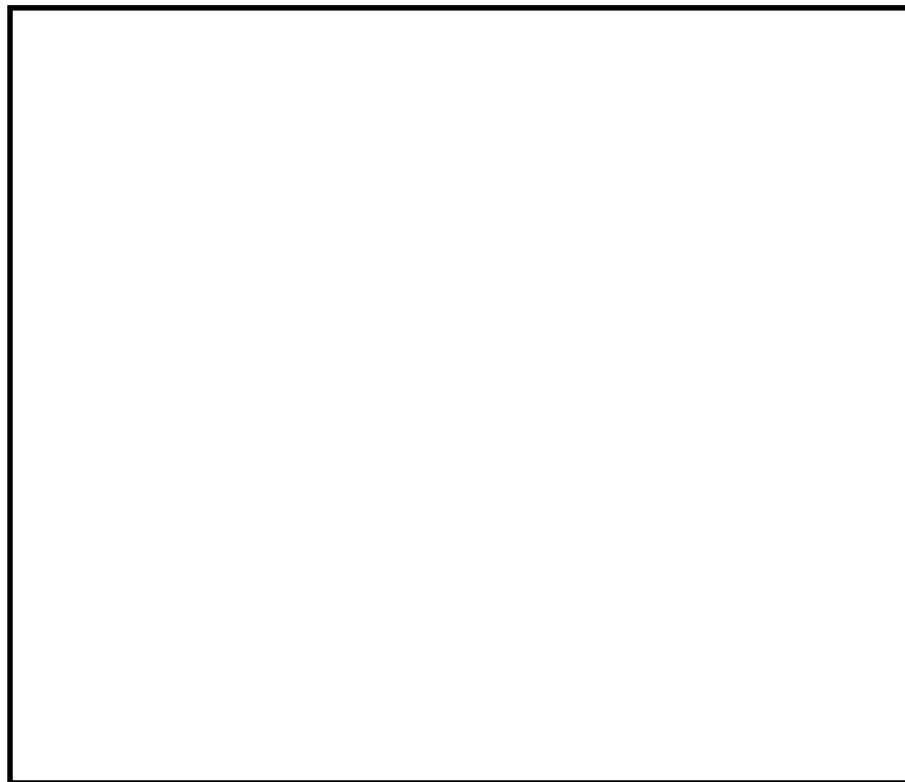


図 6.6-8 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 6.6-9 に示す。

$$M = Rog \cdot L_3$$



図 6.6-9 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及び余震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 6.6-10 に示す。

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

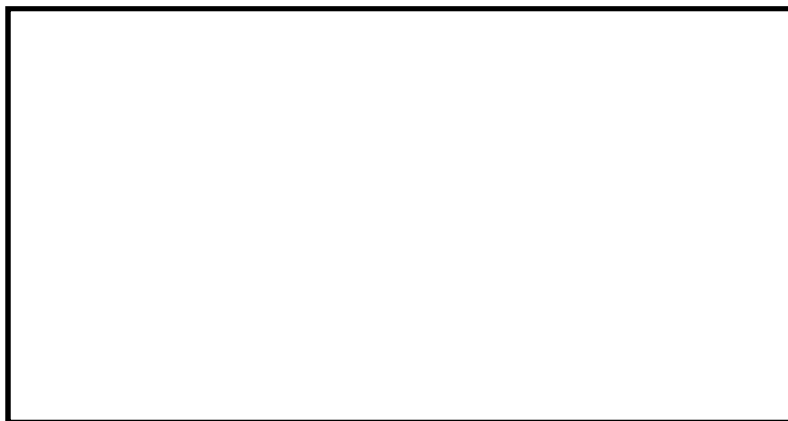


図 6.6-10 ロックボルトに生じる荷重の例

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 6.6-11 に示す。(枠体側)

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



図 6.6-11 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。

$$\frac{T}{n1 \cdot Ab1}$$

(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。

$$\sigma_T = \frac{T}{n1 \cdot Ab1}$$

(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。

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

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 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の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	0.515 (515mm)
	W_1	kN/m	最上段部の単位長さ 当たりの作用荷重	10.78
	W_2	kN/m	中段上部の単位長さ 当たりの作用荷重	17.55
	W_3	kN/m	中段下部の単位長さ 当たりの作用荷重	23.94
	W_4	kN/m	最下段部の単位長さ 当たりの作用荷重	29.42
	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 6.7-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の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	津波による静水圧及び余震による荷重 (最上部)	11.93
	P _{h2}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震による荷重 (中間上部)	19.41
	P _{h3}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震による荷重 (中間下部)	26.48
	P _{h4}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震による荷重 (最下部)	32.54
	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	津波による水圧及び余震による荷重	15.67
	p2	kN/m ²	津波による水圧及び余震による荷重	22.94
	p3	kN/m ²	津波による水圧及び余震による荷重	29.51
	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 6.7-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の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 6. 7-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の強度評価に用いる条件 (4/4)

対象部位	記 号	単 位	定 義	数 値
バ ー ロ ック	L_3	mm	作用点間距離	
	Z_7	mm^3	断面係数	
	A_6	mm^2	断面積	
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)	

6.8 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 6.8-1 に示す。原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 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、原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 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 (1/3)

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
原子炉建屋 付属棟北側 水密扉 2	扉 板	37	235	0.16
	芯材*1	21	235	0.09

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 6.8-1 強度評価結果 (2/3)

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
原子炉建屋付属棟 北側水密扉 2	ヒンジ部	板	4	118	0.04
		ピン*1	38	345	0.11
		ヒンジボル (杵体側)	17	205	0.09
		ヒンジボルト (扉側)	17	118	0.15
	ロックバー部	ロックバー	18	345	0.06
		ロックボルト	18	205	0.09

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 6.8-1 強度評価結果 (3/3)

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
原子炉建屋付属棟 北側水密扉 2	アンカーボルト	3	26	0.12

7. 原子炉建屋付属棟東側水密扉

7.1 評価対象部位

原子炉建屋付属棟東側水密扉の評価対象部位は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価部位を踏まえて設定する。

原子炉建屋付属棟東側水密扉に生じる外部からの津波及び余震に伴う荷重は、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、評価部位は、扉板とする。

原子炉建屋付属棟東側水密扉の構造図を図7.1-1、原子炉建屋付属棟東側水密扉に作用する荷重の作用図を図7.1-2に示す。



図7.1-1 原子炉建屋付属棟東側水密扉の構造図

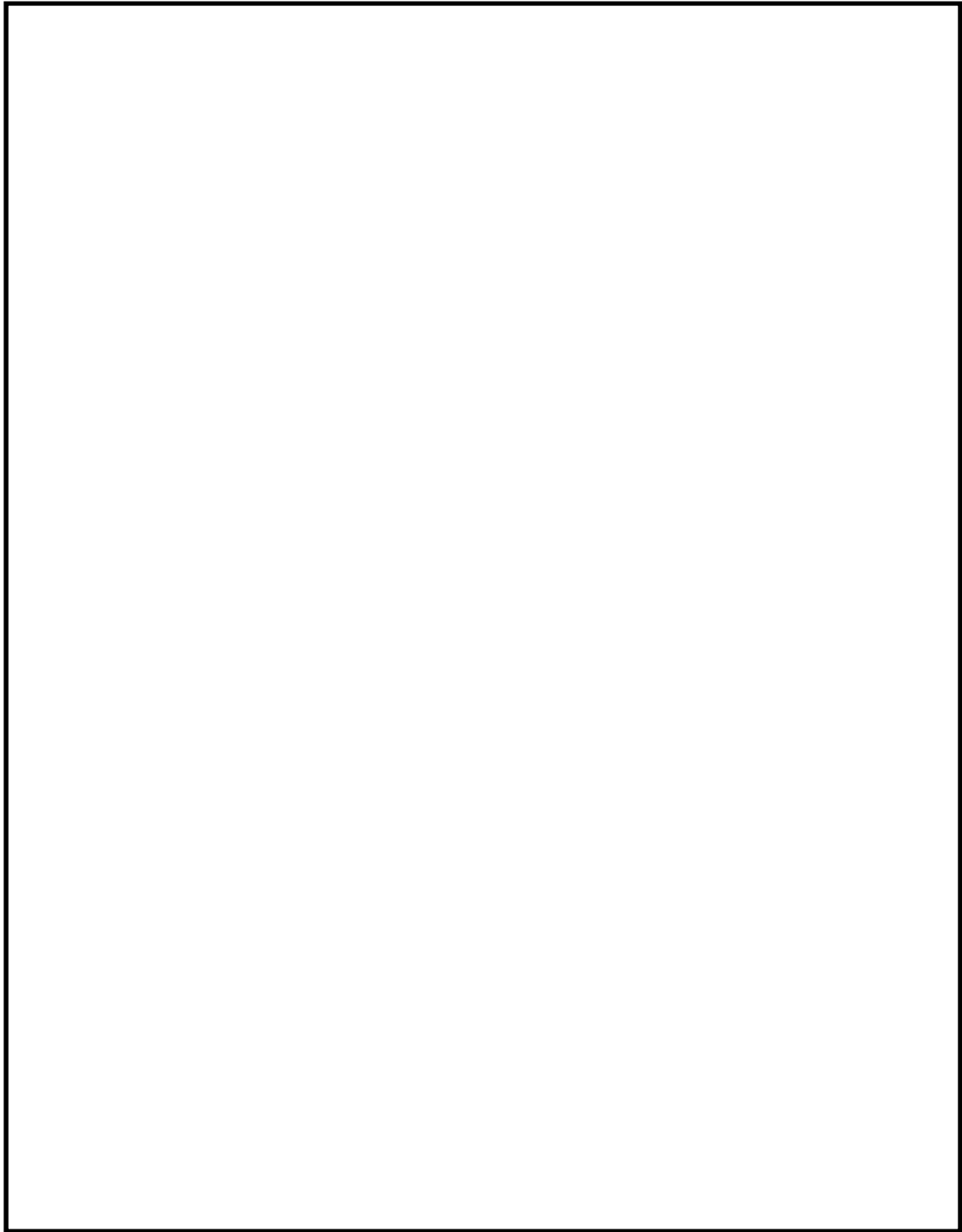


図7. 1-2 原子炉建屋付属棟東側水密扉に作用する荷重の作用図

7.2 構造強度評価方法

原子炉建屋付属棟東側水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

原子炉建屋付属棟東側水密扉の強度評価は、「7.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「7.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「7.4 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、「7.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

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、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 固定荷重(G)

固定荷重Gとして、水密扉の自重を考慮する。

b. 津波による遡上津波荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$H = 3 \cdot \frac{h}{2}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H$$

敷地に遡上する津波の浸水深は、原子炉建屋設置面において0.4mから0.6m程度であり、保守的に1.0 mを設定する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水(0.2 m)の重畳を考慮する。なお、遡上津波荷重を考慮しても水密扉の上端位置を超えない場合は、水密扉上端位置より1m高い水位による水圧を考慮することとし、原子炉建屋付属棟東側水密扉については、原子炉建屋設置面レベルEL. +8.0 mを基点とし、扉上端部から1 mの浸水深を考慮した水圧作用高EL. +12.225mでの評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び海水の密度を表7.3-1に示す。

表7.3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ (EL. m)	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋付属棟東側水密扉	+12.225	1.03

c. 余震荷重 (K_s)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、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、水密扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K_H$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「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7.2-3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。

表7.3-2 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*
原子炉建屋附属棟東側水密扉	津波時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_h + K_s$

注記 * : G は固定荷重, P_h は津波に伴う荷重, K_s は余震荷重を示す。

7.4 許容限界

原子炉建屋付属棟東側水密扉の許容限界は、「7.1 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、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

原子炉建屋付属棟東側水密扉を構成する、扉板の使用材料を表7.4-1に示す。

表7.4-1 扉板の使用材料

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7.4-2の値とする。

表7.4-2 扉板の許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ・引張り	せん断
	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 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

7.5 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり原子炉建屋付属棟東側水密扉の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、原子炉建屋付属棟東側水密扉の強度計算で用いる設計震度は、添付書類「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。原子炉建屋付属棟東側水密扉の強度計算で用いる設計震度を表7.5-1に示す。

表7.5-1 原子炉建屋付属棟東側水密扉の強度計算で用いる設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (EL. m)	地震による設計震度	
弾性設計用地震動 $S_d - D1$	原子炉建屋1階 +8.2	水平方向 C_H^{*1}	0.64
		鉛直方向 C_V^{*1}	0.53

注 *1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

7.6 計算方法

原子炉建屋付属棟東側水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に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、津波及び余震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。扉板に生じる応力の例を図7.6-1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

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

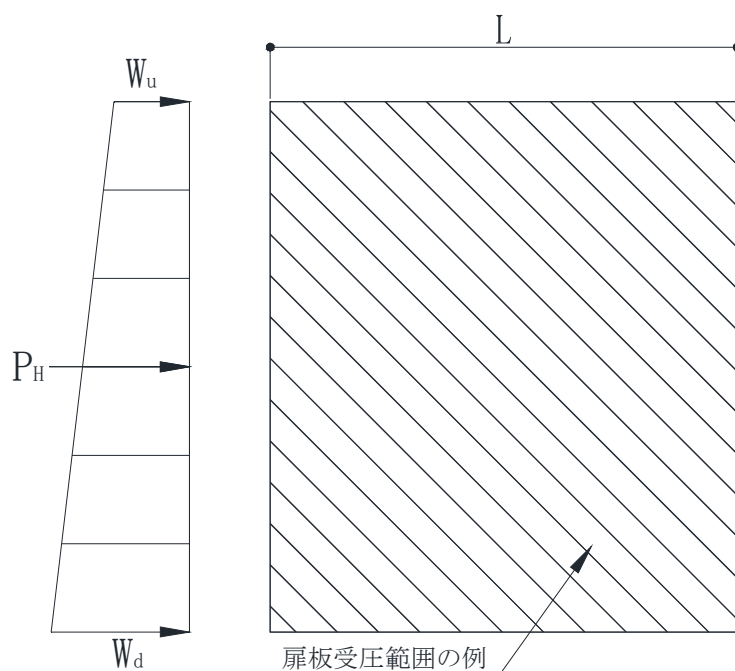


図7.6-1 扉板に生じる応力の例

(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。

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

7.7 計算条件

「7.6 計算方法」に用いる評価条件を表7.7-1に示す。

表7.7-1 原子炉建屋付属棟東側水密扉の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	28.61
	W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重	77.50
	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	
	B	m	受圧幅	
	P_{hu}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧及び余震による荷重（上部）	17.88
	P_{hd}	kN/m ²	浸水津波荷重又は溢水による静水圧及び余震による荷重（下部）	48.44

7.8 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7.8-1に示す。原子炉建屋付属棟東側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ことから、原子炉建屋付属棟東側水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表7.8-1 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
原子炉建屋付属棟東側水密扉	扉 板	23	205	0.12

8. 原子炉建屋付属棟南側水密扉

8.1 評価部位

原子炉建屋付属棟南側水密扉の評価部位は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示している評価部位を踏まえて設定する。

原子炉建屋付属棟南側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部位となる。

原子炉建屋付属棟南側水密扉の構造図を図 8.1-1、原子炉建屋付属棟南側水密扉に作用する荷重の作用図を図 8.1-2 に示す。



図8.1-1 原子炉建屋付属棟南側水密扉の構造図

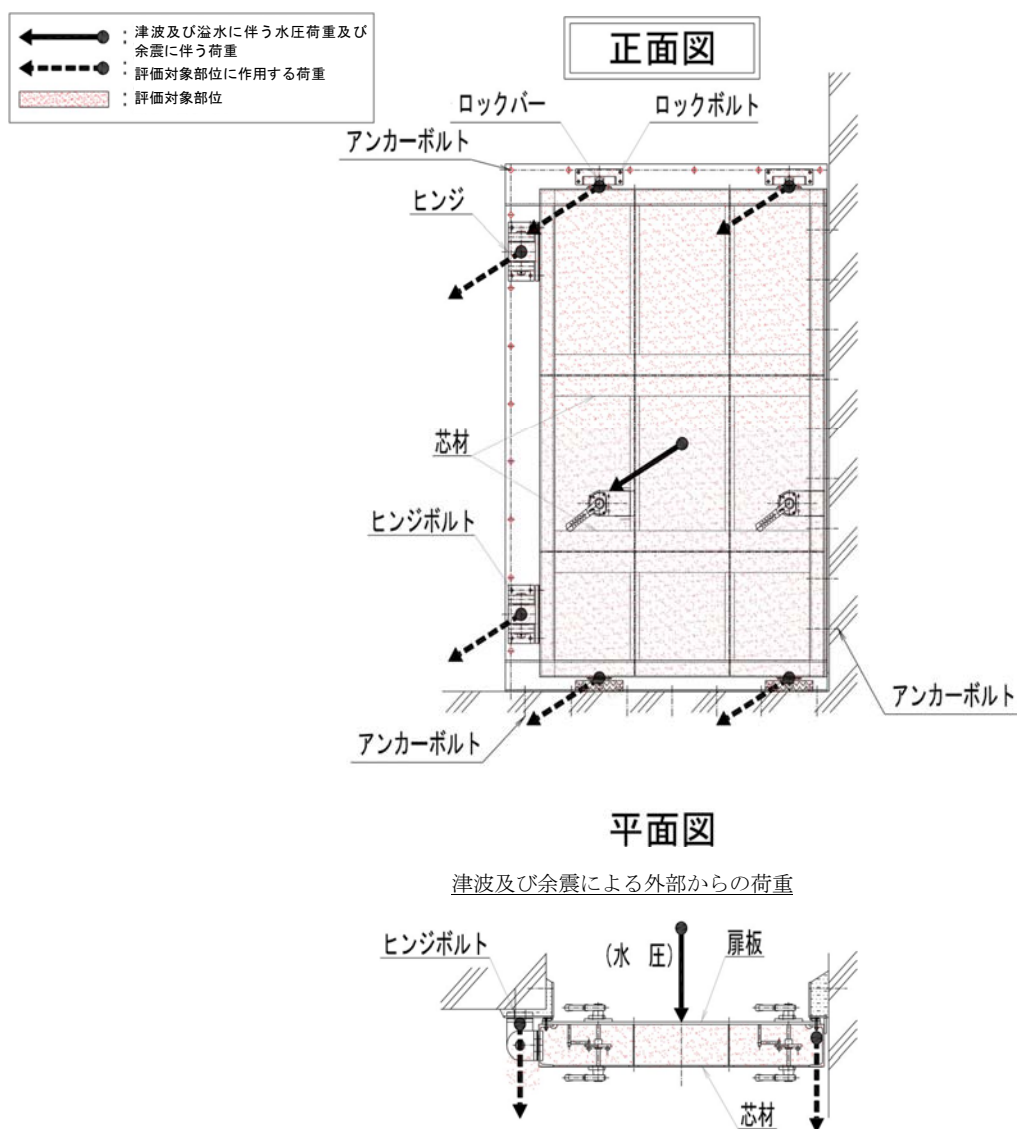


図 8. 1-2 原子炉建屋付属棟南側水密扉に作用する荷重の作用図

8.2 構造強度評価方法

原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度評価は、「8.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「8.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「8.4 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、「8.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

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、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

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. 津波による遡上津波荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$H = 3 \cdot \frac{h}{2}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H$$

敷地に遡上する津波の浸水深は、原子炉建屋設置面において 0.4m から 0.6m 程度であり、保守的に 1.0 m を設定する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水 (0.2 m) の重畳を考慮する。なお、遡上津波荷重を考慮しても水密扉の上端位置を超えない場合は、水密扉上端位置より 1m 高い水位による水圧を考慮することとし、原子炉建屋付属棟南側水密扉については、原子炉建屋設置面レベル EL. +8.0 m を基点とし、扉上端部から 1 m の浸水深を考慮した水圧作用高 EL. +11.545m での評価を行う。

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 8.3-1 に示す。

表 8.3-1 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)
原子炉建屋付属棟南側水密扉	+11.545	1.03

c. 余震荷重 (K_s)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、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、水密扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_s = W_x \cdot K_H$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「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。

原子炉建屋付属棟南側水密扉の荷重の組合せを表8.3-3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。

表 8.3-3 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*
原子炉建屋付属棟南側水密扉	津波時	$W_x + P_h$
	重畳時	$W_x + P_h + K_s$

注記 * : W_x は固定荷重, P_h は津波に伴う荷重, K_s は余震荷重を示す。

8.4 許容限界

原子炉建屋付属棟南側水密扉の許容限界は、「8.1 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、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

(1) 使用材料

原子炉建屋付属棟南側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 8.4-1 に示す。


表 8.4-1 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

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 8.4-2 の値とする。

表 8.4-2 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

注 *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 4：2012 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 8.4-3 の値とする。

表 8.4-3 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 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり原子炉建屋付属棟南側水密扉の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度計算で用いる設計震度は、添付書類「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。原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度計算で用いる設計震度を表5.5-1に示す。

表5.5-1 原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度計算で用いる設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (EL. m)	地震による設計震度	
弾性設計用地震動 $S_d - D1$	原子炉建屋 1 階 +8.2	水平方向 C_H^{*1}	0.64
		鉛直方向 C_V^{*1}	0.53

注 *1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

8.4 計算方法

原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に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、次式により算定する。

扉板に生じる応力と区画の例を第 8.6-1 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 のうち最も大きい応力の区画の数値を採用し検討するものとする。

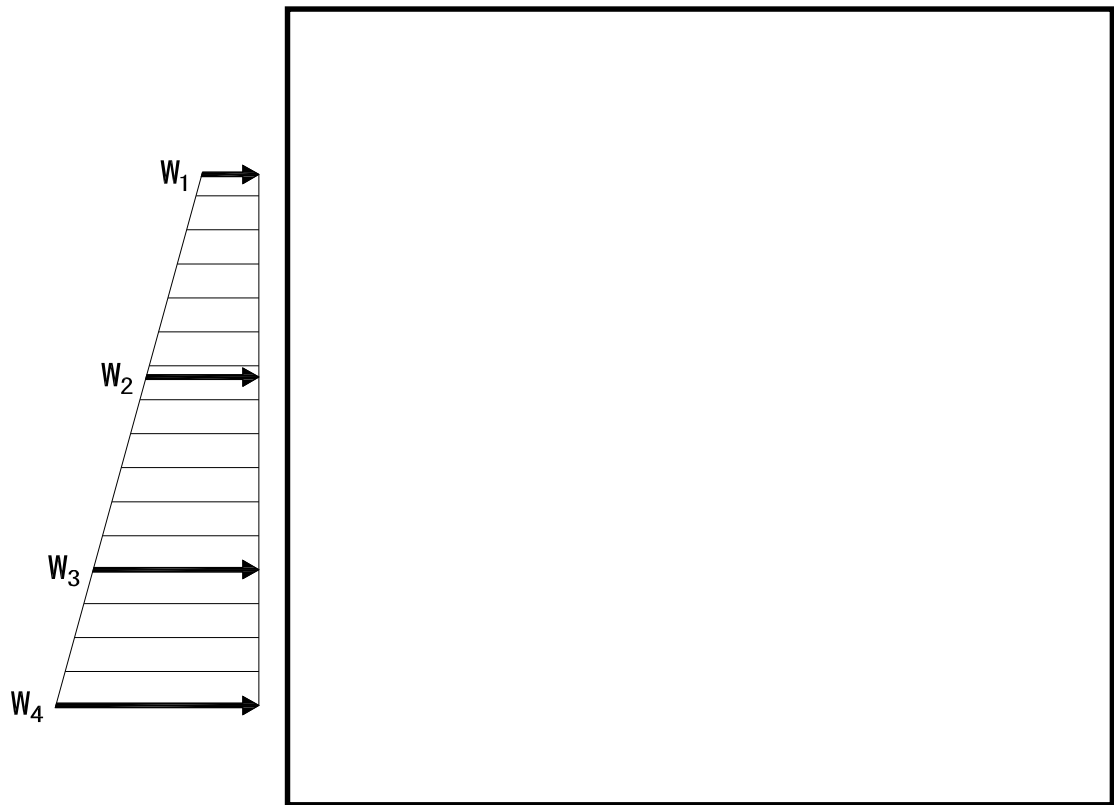


図 8.6-1 扉板に生じる応力の図

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、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 8.6-2 に示す。

(a) 主桁

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

$$M = a_n^2 \cdot \left\{ \left(\frac{P_{(1 \sim 3)}}{9\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{P_{(4 \sim 6)}}{8} \right) \right\} \cdot c$$

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

(b) 縦桁

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

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

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

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

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

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

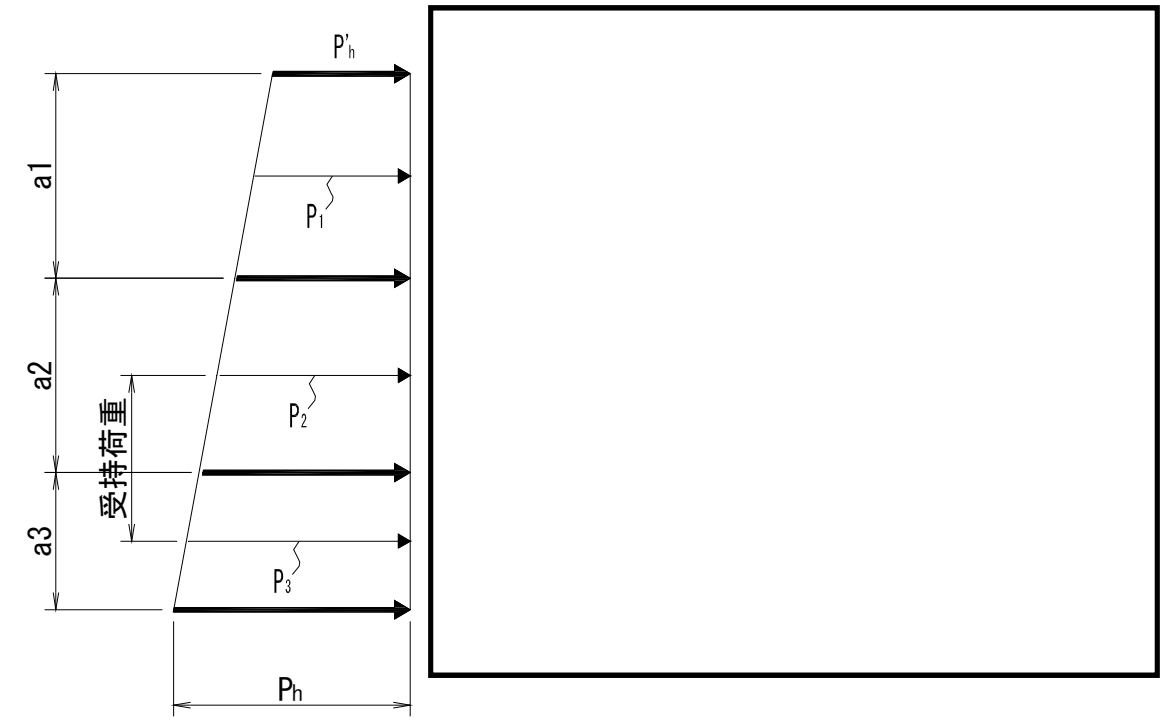
$$P'_{h1} = P_{h1} \cdot B_1$$

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

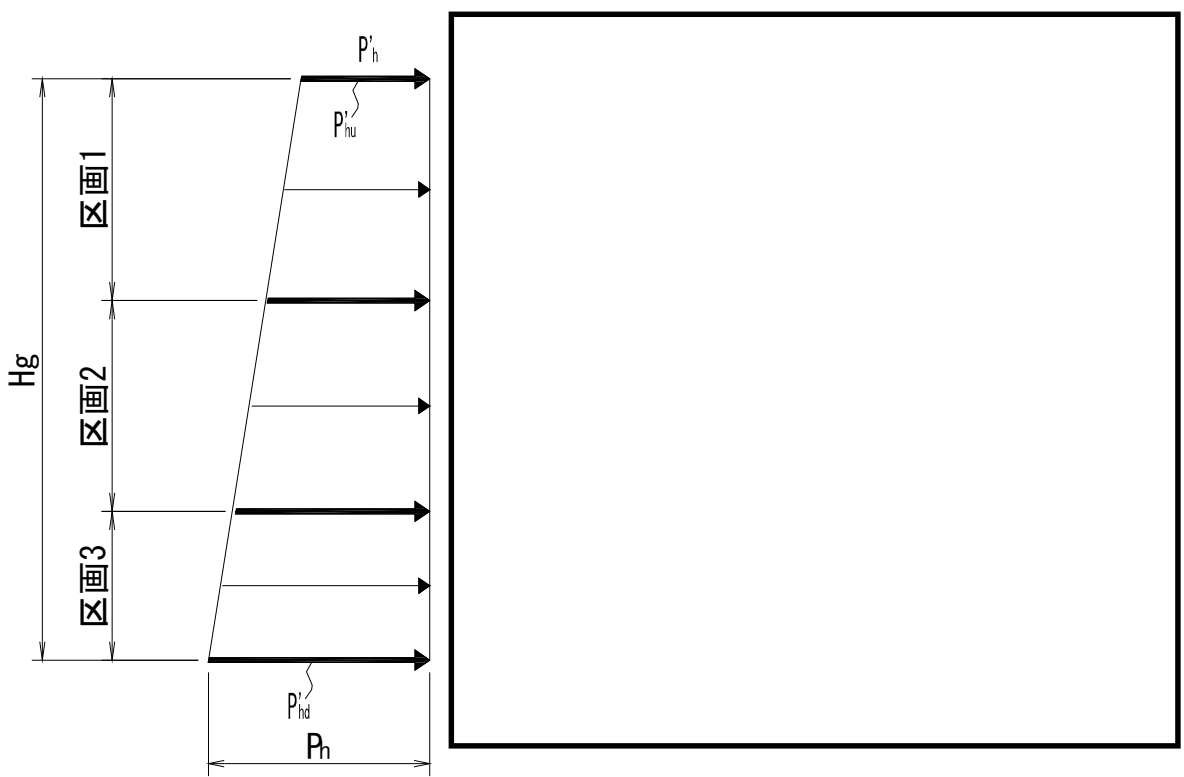
$$P'_{h3} = P_{h3} \cdot B_1$$

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

中間縦桁 $c = 1/3$, 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 8. 6-2 芯材に生じる荷重の例

扉全閉時にかかる水圧及び余震荷重は、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、水圧及び余震荷重のうち各々 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及び余震荷重から、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 8.6-3 に示す。

$$R_{og} = \sqrt{\left(\frac{P_0}{6}\right)^2 + \left(\frac{K_S}{6}\right)^2 + R_r^2}$$

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

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

$$K_S = W_X \cdot K_H$$

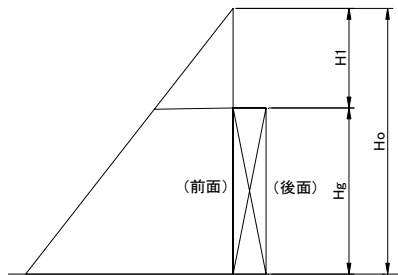


図 8.6-3 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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 8.6-4 に示す。

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

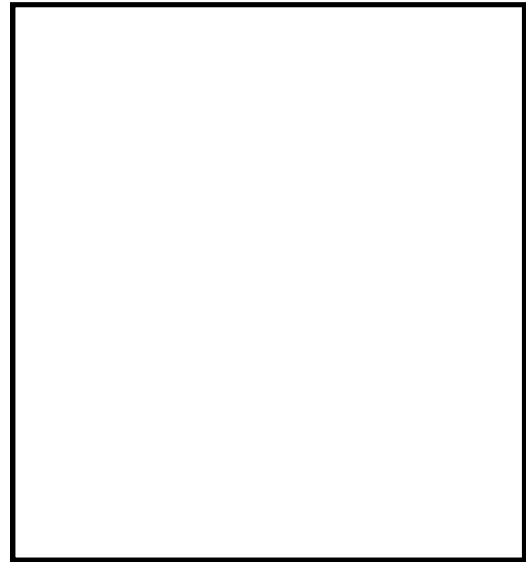


図 8.6-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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 8.6-5 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 8.6-5 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）には水圧及び余震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 8.6-6 に示す。

$$T=R_{og}=\sqrt{\left(\frac{P_0}{6}\right)^2+\left(\frac{K_S}{6}\right)^2+R_r^2}$$



図 8.6-6 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）には水圧及び余震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 8.6-7 に示す。

$$Q=R_{og}=\sqrt{\left(\frac{P_0}{6}\right)^2+\left(\frac{K_S}{6}\right)^2+R_r^2}$$

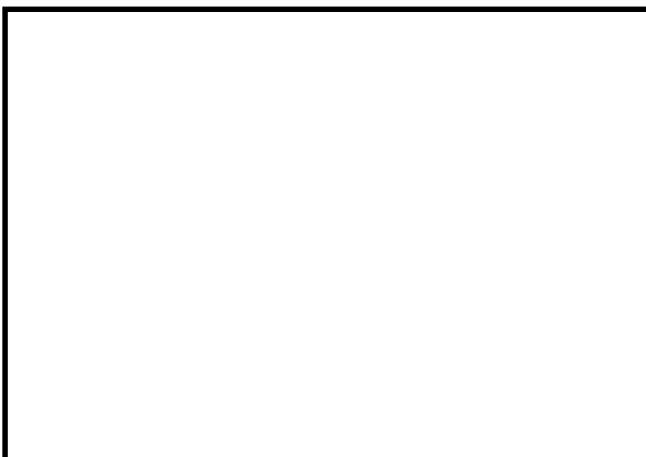


図 8.6-7 ヒンジボルト（扉側）に生じる荷重の例

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及び余震荷重から，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 8.6-8 に示す。

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

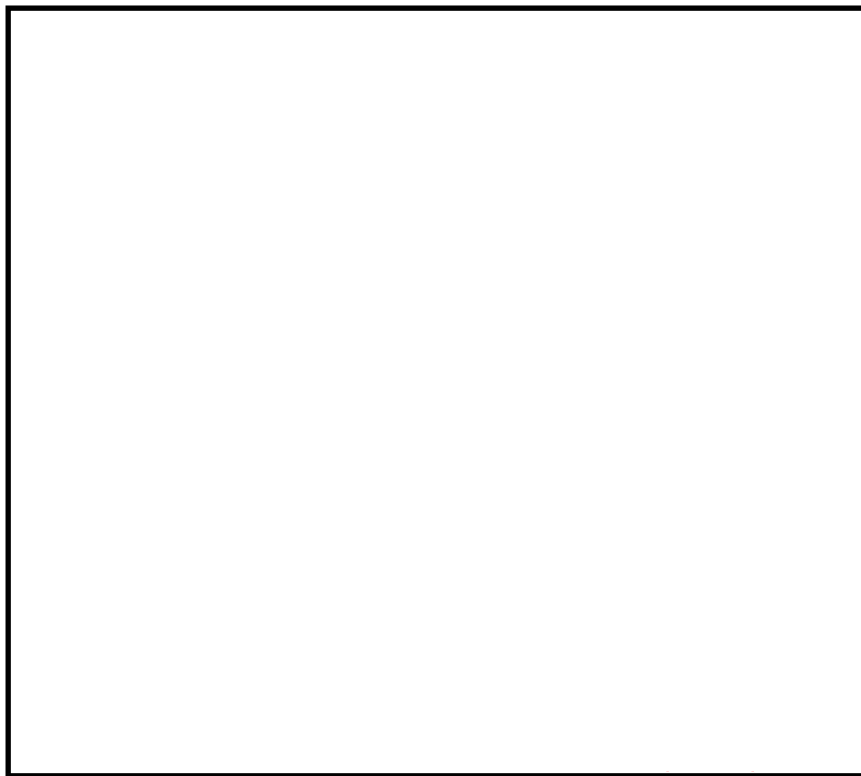


図 8.6-8 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 8.6-9 に示す。

$$M = Rog \cdot L_3$$

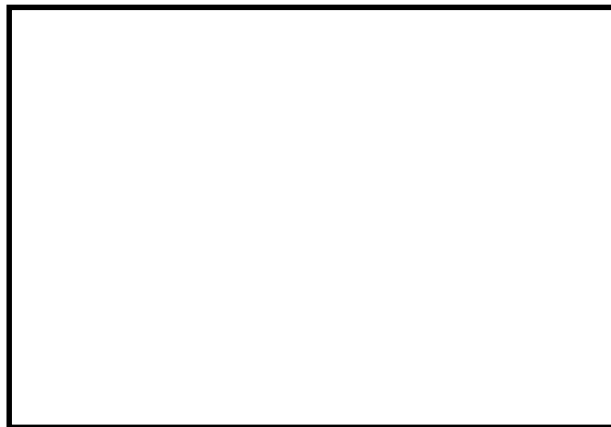


図 8.6-9 ロックバー部に生じる荷重の例

(b) ロックボルト

ロックボルトには水圧及び余震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 8.6-10 に示す。

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

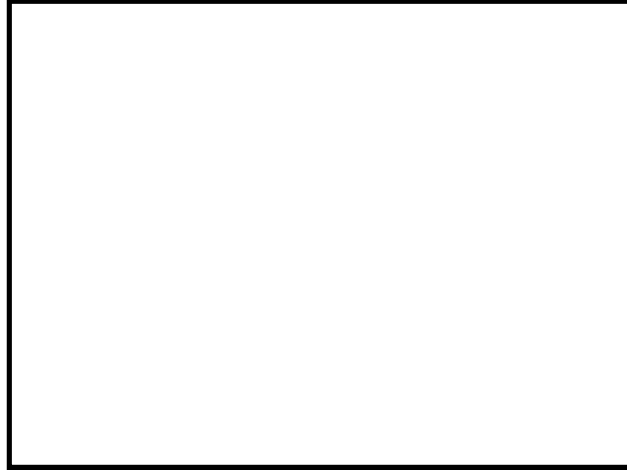


図 8.6-10 ロックボルトに生じる荷重の例

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 8.6-11 に示す。(枠体側)

$$T=\frac{P_0}{n_4}+\frac{K_s}{n_4}$$



図 8.6-11 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。

$$\frac{T}{n1 \cdot Ab1}$$

(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。

$$\sigma \tau = \frac{T}{n1 \cdot Ab1}$$

(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。

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

8.7 計算条件

「8.6 計算方法」に用いる評価条件を表 8.7-1 に示す。

表 8.7-1 原子炉建屋付属棟南側水密扉の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	16.64
	W ₂	kN/m	中段上部の単位長さ当たりの作用荷重	29.24
	W ₃	kN/m	中段下部の単位長さ当たりの作用荷重	41.22
	W ₄	kN/m	最下段部の単位長さ当たりの作用荷重	49.67
	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 8.7-1 原子炉建屋付属棟南側水密扉の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	津波による静水圧及び余震による荷重（最上部）	11.94
	P _{h2}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震による荷重（中間上部）	20.98
	P _{h3}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震荷重（中間下部）	29.57
	P _{h4}	kN/m ²	津波による静水圧及び余震荷重（最下部）	35.63
	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	津波による水圧及び余震による荷重	16.46
	p2	kN/m ²	津波による水圧及び余震による荷重	25.27
	p3	kN/m ²	津波による水圧及び余震による荷重	32.60
	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 8.7-1 原子炉建屋付属棟南側水密扉の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 8.7-1 原子炉建屋付属棟南側水密扉の強度評価に用いる条件(4/4)

対象部位	記 号	単 位	定 義	数 値
バ ー ロ ック	L_3	mm	作用点間距離	
	Z_7	mm ³	断面係数	
	A_{b2}	mm ²	断面積	
ボ ルト ロ ック	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)	

8.8 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 8.8-1 に示す。原子炉建屋付属棟南側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ことから、原子炉建屋付属棟南側水密扉が構造健全性を有することを確認した。。

表 8.8-1 強度評価結果 (1/3)

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
原子炉建屋 付属棟南側 水密扉	扉 板	62	235	0.27
	芯材*1	14	235	0.06

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 8.8-1 強度評価結果 (2/3)

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
原子炉建屋付属棟 南側水密扉	ヒンジ部	板	4	118	0.04
		ピン*1	51	345	0.15
		ヒンジボルト (枠体側)	22	205	0.11
		ヒンジボルト (扉側)	14	118	0.12
	ロックバー部	ロックバー	32	345	0.10
		ロックボルト	32	205	0.16

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 8.8-1 強度評価結果 (3/3)

名 称	評価部位	発生 応力 (kN)	許容 応力 (kN)	発生応力/ 許容応力
原子炉建屋付属棟 南側水密扉	アンカーボルト	6	39	0.16

9. 原子炉建屋付属棟西側水密扉

9.1 評価対象部位

原子炉建屋付属棟西側水密扉の評価対象部位は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示している評価部位を踏まえて設定する。

原子炉建屋付属棟西側水密扉に生じる外部からの津波及び余震に伴う荷重は、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。

原子炉建屋付属棟西側水密扉の構造図を図9.1-1、原子炉建屋付属棟西側水密扉に作用する荷重の作用図を図9.1-2に示す。

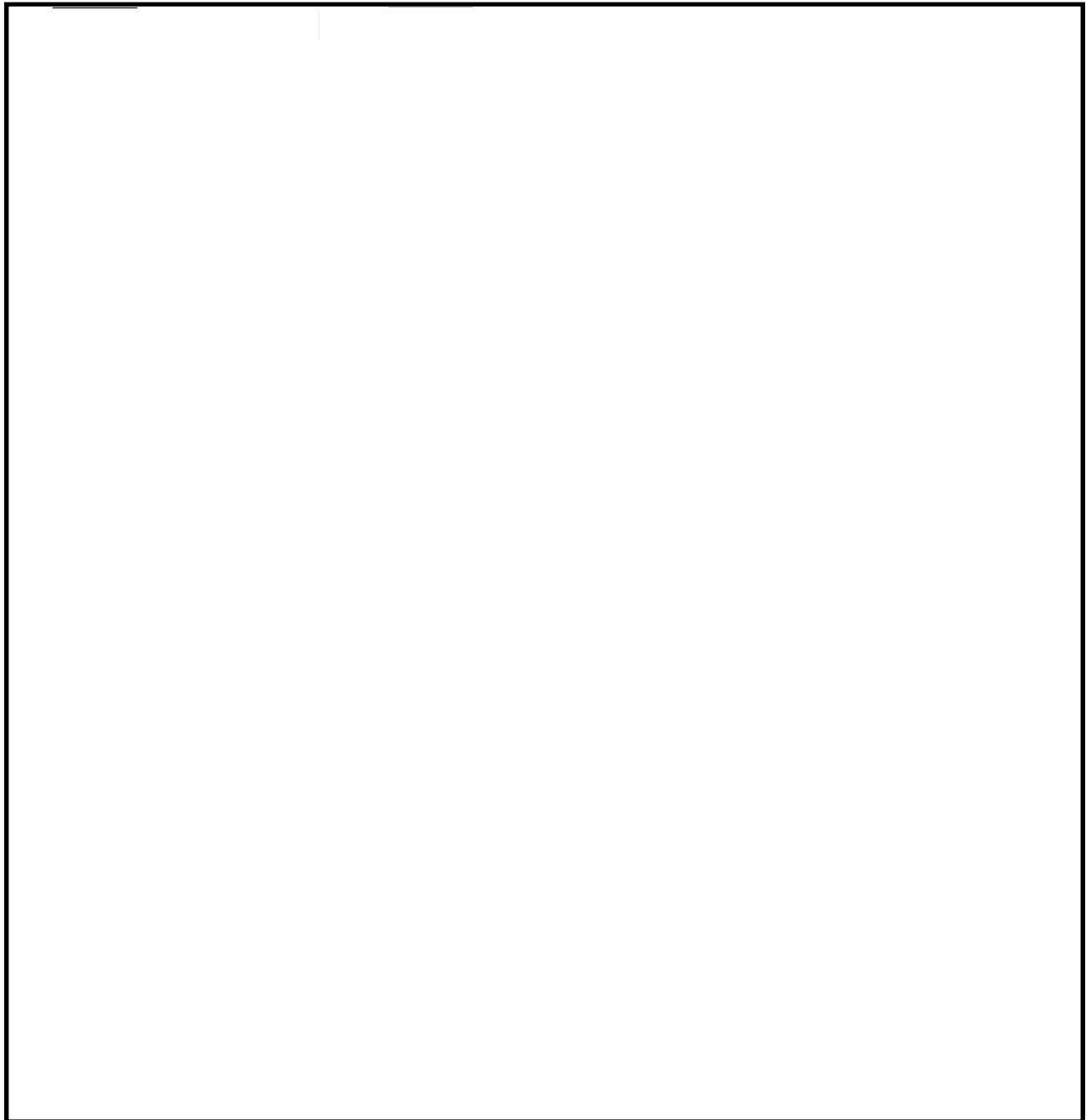


図9.1-1 原子炉建屋付属棟西側水密扉の構造図

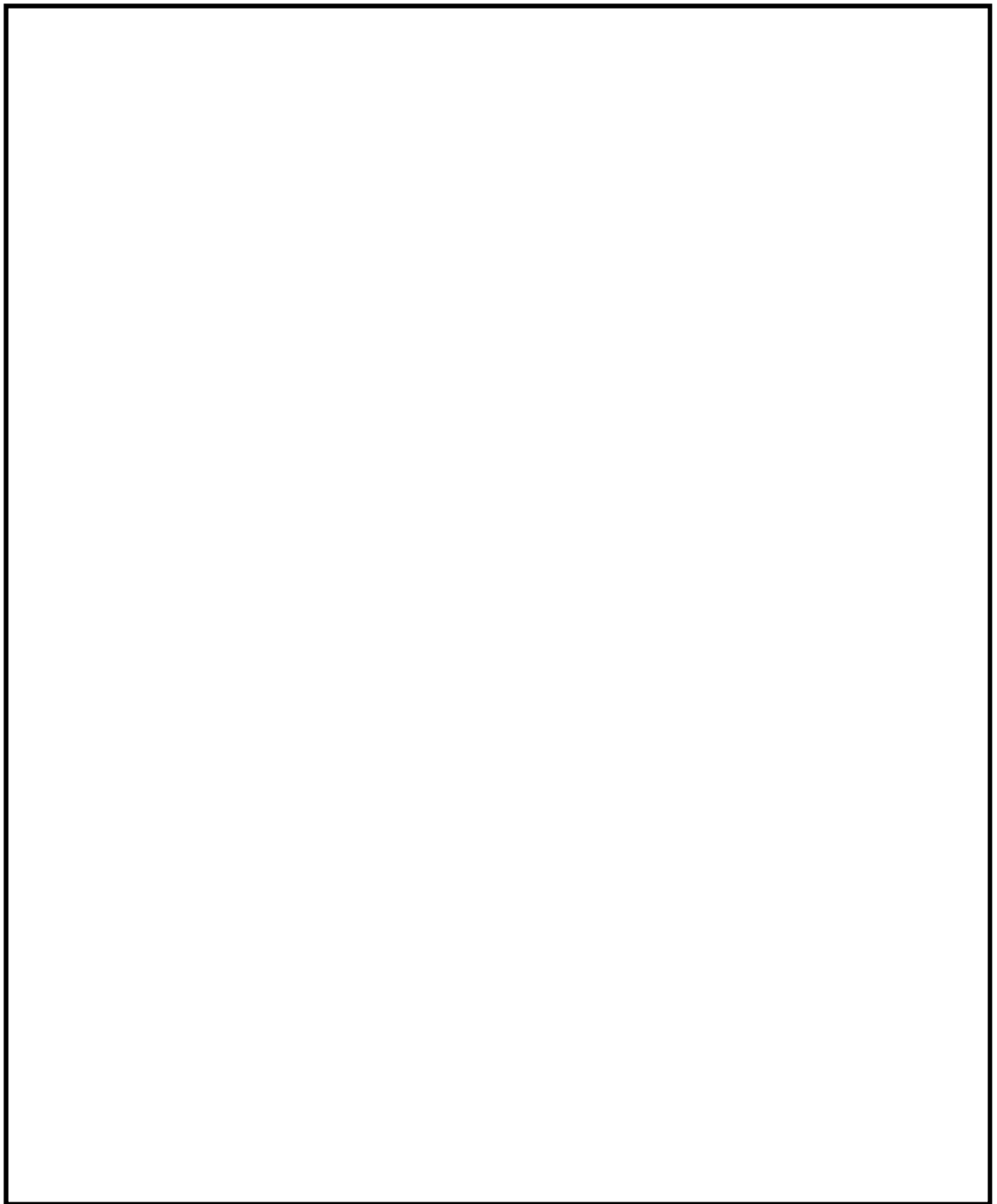


図9. 1-2 原子炉建屋付属棟西側水密扉に作用する荷重の作用図

9.2 構造強度評価方法

原子炉建屋付属棟西側水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

原子炉建屋付属棟西側水密扉の強度評価は、「9.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「9.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「9.4 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、「9.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

9.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重 (G) を考慮する。

b. 津波による遡上津波荷重 (P_h)

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$H = 3 \cdot \frac{h}{2}$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H$$

敷地に遡上する津波の浸水深は、原子炉建屋設置面において0.4mから0.6m程度であり、保守的に1.0 mを設定する。また、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水 (0.2 m) の重畳を考慮する。なお、遡上津波荷重を考慮しても水密扉の上端位置を超えない場合は、水密扉上端位置より1m高い水位による水圧を考慮することとし、原子炉建屋付属棟西側水密扉については、原子炉建屋設置面レベルEL. +8.0 mを基点とし、扉上端部から1 mの浸水深を考慮した水圧作用高水圧作用高さEL. +11.140mでの評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び海水の密度を表9.3-1に示す。

表9.3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ (EL. m)	水の密度 (t/m ³)
原子炉建屋付属棟西側水密扉	+11.140	1.03

c. 余震荷重 (K_s)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、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、水密扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K_H$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「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9.3-3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。

表9.3-3 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	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_h + K_s$

注記 * : G は固定荷重, P_h は津波に伴う荷重, K_s は余震荷重を示す。

9.4 許容限界

原子炉建屋付属棟西側水密扉の許容限界は、「9.1 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、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に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9.4-1に示す。

表9.4-1 扉板、芯材の使用材料

部 位	材 質	仕 様[mm]
扉 板		
芯 材		

(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9.4-2の値とする。

表9.4-2 扉板、芯材の許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ・引張り	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9.4-3の値とする。

表9.4-3 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

9.5 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり原子炉建屋付属棟西側水密扉の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、原子炉建屋付属棟西側水密扉の強度計算で用いる設計震度は、添付書類「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。原子炉建屋付属棟西側水密扉の強度計算で用いる設計震度を表9.5-1に示す。

表9.5-1 原子炉建屋付属棟西側水密扉の強度計算で用いる設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (EL. m)	地震による設計震度	
弾性設計用地震動 $S_d - D1$	原子炉建屋1階 +8.2	水平方向 C_H^{*1}	0.64
		鉛直方向 C_V^{*1}	0.53

注 *1：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. +14.0m）の値を示す。

9.6 計算方法

原子炉建屋付属棟西側水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に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、次式により算定する。

扉板に生じる応力の例を図9.6-1に示す。

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

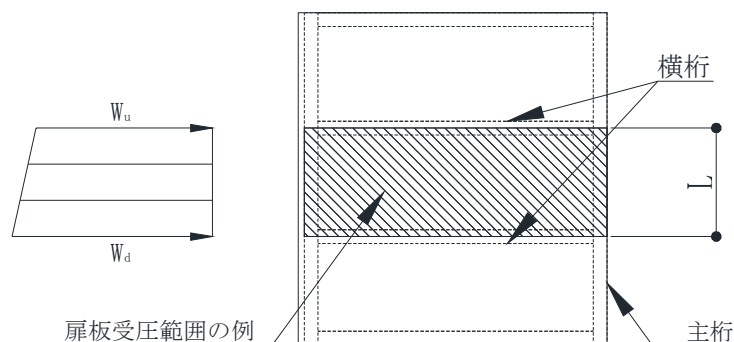


図9.6-1 扉板に生じる荷重の図

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、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9.6-2に示す。

(a) 横桁

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

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

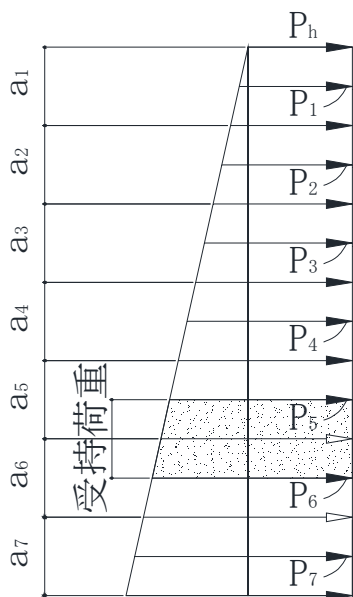


図9.6-2 芯材（横桁）に生じる荷重の例

(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。

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

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

9.7 計算条件

「9.6 計算方法」に用いる評価条件を表9.7-1に示す。

表9.7-1 原子炉建屋付属棟西側水密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
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	30.40
	W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重	33.25
	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9. 7-1 原子炉建屋付属棟西側水密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)	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及び余震荷重 (上部)	13. 48
	P _{hd}	kN/m ²	浸水津波による静水圧及び余震荷重 (下部)	33. 08
	Z	mm ³	断面係数	
	A	mm ²	断面積	
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	0. 300
	a ₅	m	横桁ピッチ	0. 300

表9. 7-1 原子炉建屋付属棟西側水密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 (横桁)	a ₆	m	横桁ピッチ	
	a ₇	m	横桁ピッチ	
	P ₁	kN/m ²	津波及び余震荷重	14. 89
	P ₂	kN/m ²	津波及び余震荷重	17. 52
	P ₃	kN/m ²	津波及び余震荷重	20. 25
	P ₄	kN/m ²	津波及び余震荷重	23. 28
	P ₅	kN/m ²	津波及び余震荷重	26. 31
	P ₆	kN/m ²	津波及び余震荷重	29. 04
	P ₇	kN/m ²	津波及び余震荷重	31. 66
	Z	mm ³	断面係数	63330
	A	mm ²	断面積	3800

9.8 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9.8-1に示す。原子炉建屋付属棟西側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ことから、原子炉建屋付属棟西側水密扉が構造健全性を有することを確認した。。

表9.8-1 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
原子炉建屋 付属棟西側 水密扉	扉 板	11	235	0.05
	芯材* ¹	15	235	0.07

注 *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

10. 立坑部水密扉

10.1 評価対象部位

立坑部水密扉の評価部位は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示している評価部位を踏まえて設定する。

立坑部水密扉に生じる外部からの津波及び余震に伴う荷重は、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。

立坑部水密扉の構造図を図10.1-1、立坑部水密扉に作用する荷重の作用図を図10.1-2に示す。

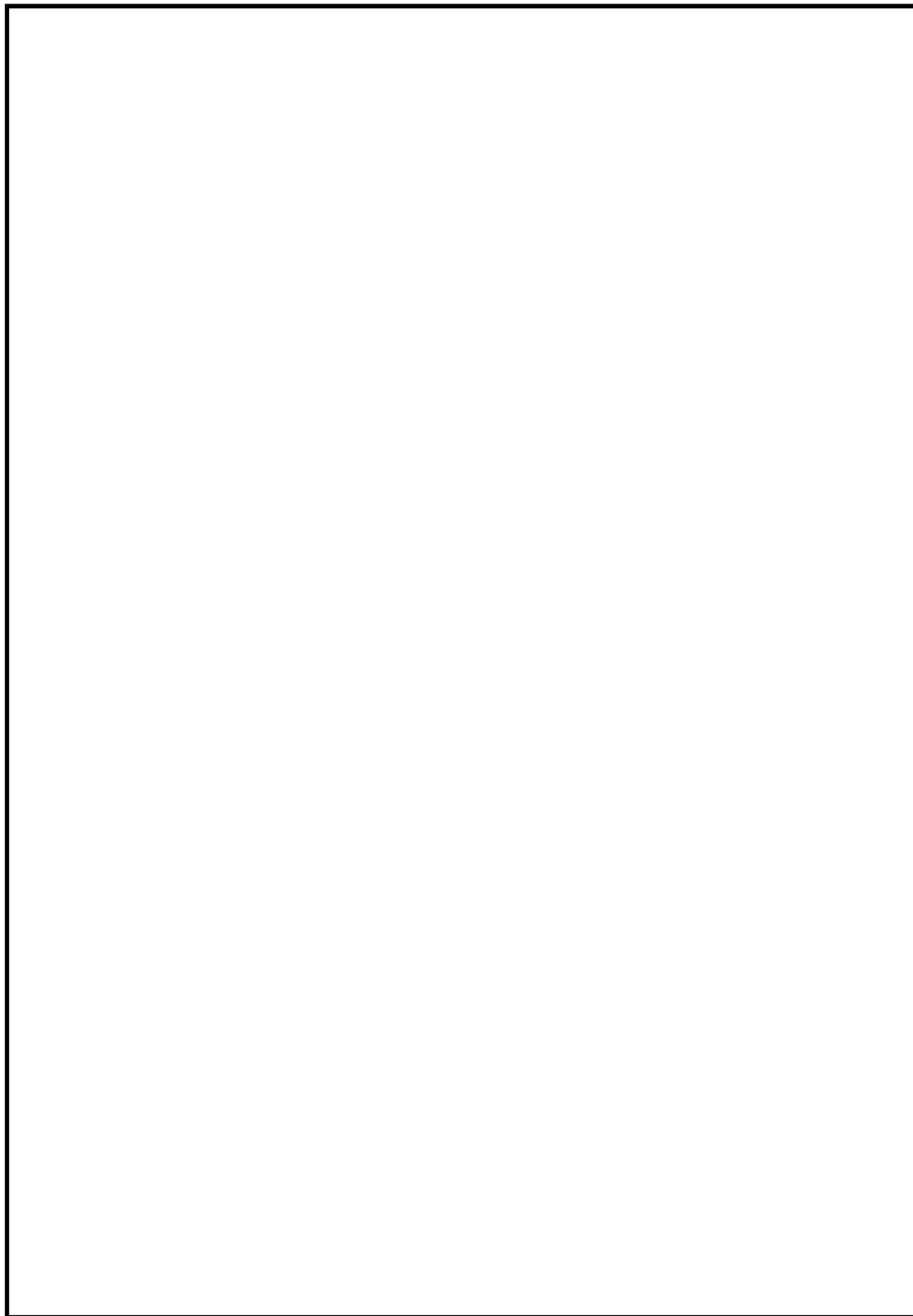


図10.1-1 立坑部水密扉の構造図

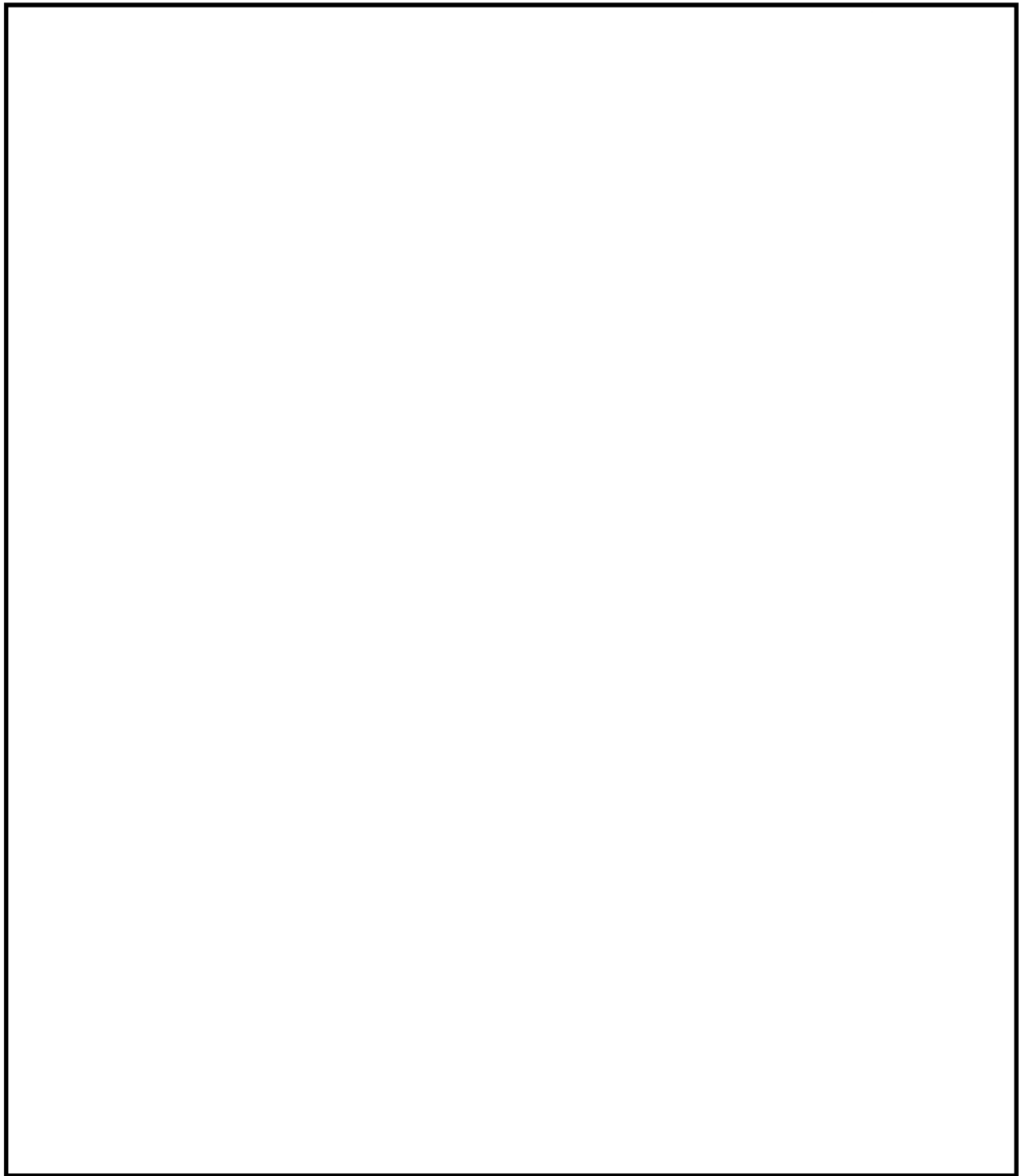


図10.1-2 立坑部水密扉に作用する荷重の作用図

10.2 構造強度評価方法

立坑部水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

立坑部水密扉の強度評価は、「10.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「10.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「10.4 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、「10.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

10.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-3-別添3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 固定荷重（G）

固定荷重として、扉体自重（G）を考慮する。

b. 津波による静水压荷重（ P_h ）

津波に伴う荷重として、水压作用高さまでの静水压を考慮する。津波による静水压荷重は、対象とする海水の密度に当該部分の水压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、遡上津波荷重の水压として考慮する。原子炉建屋設置地盤レベルEL. +8.0mでの1mの浸水深、低耐震クラスの屋外タンクの破損による溢水（0.2m）を考を考慮した水压作用高さEL. +9.2m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、水压作用高さ及び海水の密度を表10.3-1に示す。

表10.3-1 水压作用高さ及び海水の密度

扉名称	水压作用高さ (EL. m)	水の密度 (t/m ³)
立坑部水密扉	9.2	1.03

c. 余震荷重 (K_s)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、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、水密扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K_H$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「V-3-別添3-1 津波又は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。

立坑部水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せを表10.3-3に示す。

表10.3-3 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*
立坑部水密扉	津波時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_h + K_s$

注記 * : G は固定荷重, P_h は津波に伴う荷重, K_s は余震荷重を示す。

10.4 許容限界

立坑部水密扉の許容限界は、「10.1 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、添付書類「V-3-別添3-1 津波又は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

立坑部水密扉を構成する、扉板、芯材の使用材料を表10.4-1に示す。

表10.4-1 扉板、芯材の使用材料

部 位		材 質	仕 様
扉 板			
芯材	主 桁		
	中間縦桁		
	端縦桁		

注 *1：tは板厚(mm)を示す

(2) 許容限界

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）」及びJ I S G 3 1 0 1－2 0 1 5一般構造用圧延鋼材 を踏まえて表10.4-2 の値とする。

表10.4-2 扉板、芯材の許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ・引張り	せん断
SS400 (t≤16) ※ ¹	245	141
SS400 (16<t≤40) ※ ¹	235	135

注 *1：tは板厚(mm)を示す

10.5 設計用地震力

「3. 固有周期」に示したとおり立坑部水密扉の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、立坑部水密扉の強度計算で用いる設計震度は、添付書類「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。立坑部水密扉の強度計算で用いる設計震度を表10.5-1に示す。

表10.5-1 立坑部水密扉の強度計算で用いる設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (EL. m)	地震による設計震度	
弾性設計用地震動 S_d-D1	常設代替高圧電源装置用 カルバート（立坑部） +2.7	水平方向 C_H^{*1}	0.64

注 *1：設置階の上階の地盤高さ（常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）：EL. + 8.0m）の値を示す。

10.6 計算方法

立坑部水密扉の強度評価は、添付書類「V-3-別添3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の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、津波又は溢水に伴う不等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、「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）」に基づく次式に余震による荷重を等分布荷重として加え算定する。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10.6-1に示す。

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

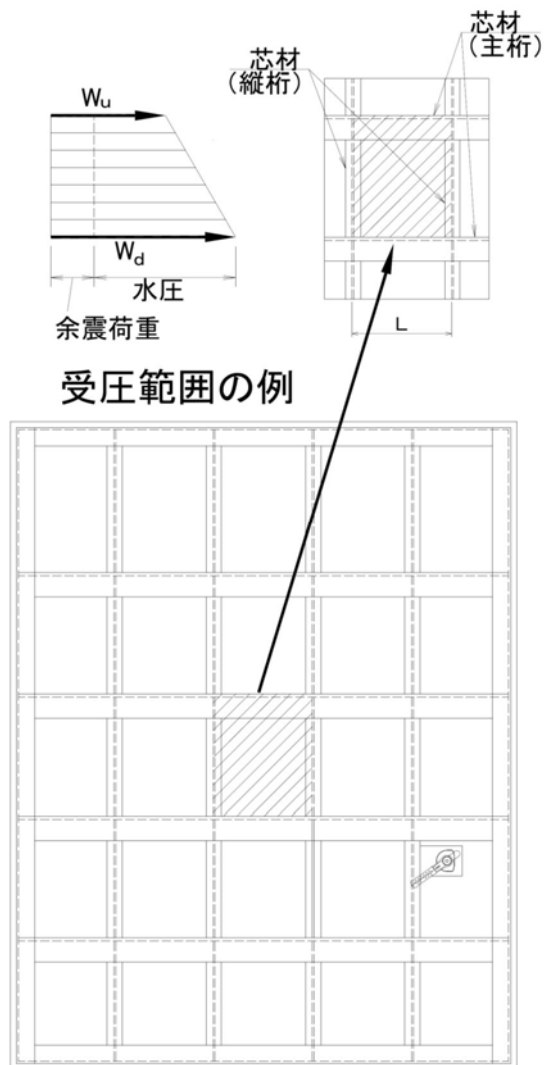


図10.6-1 扉板に生じる応力の例

b. 芯材

芯材に生じる荷重は、浸水又は溢水に伴う荷重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（水平又は鉛直）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、等分布荷重を受ける両端指示の単純梁として次式により算定する。鉛直方向に取り付く、縦桁については、扉に生じる荷重を算定し、各桁（中間縦桁及び端縦桁）に分担することとし、次式により算定する。芯材（主桁）に生じる荷重の例を図10.6-2に示す。芯材（端縦桁、中間縦桁）に生じる荷重の例を図10.6-3に示す。

(a) 主桁（横桁）

$$M = \frac{P_n + P_{n-1}}{2} \times \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \times \frac{B^2}{8}$$

$$Q = \frac{P_n + P_{n-1}}{2} \times \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \times \frac{B}{2}$$

(b) 縦桁

$$M = a_n^2 \times \left\{ \left(P'_{(1 \sim 5)} / (9\sqrt{3}) \right) + \left(P'_{(6 \sim 10)} / 8 \right) \right\} \times c$$

$$Q = a_n \times \left\{ \left(P'_{(1 \sim 5)} / 3 \right) + \left(P'_{(1 \sim 10)} / 2 \right) \right\} \times c$$

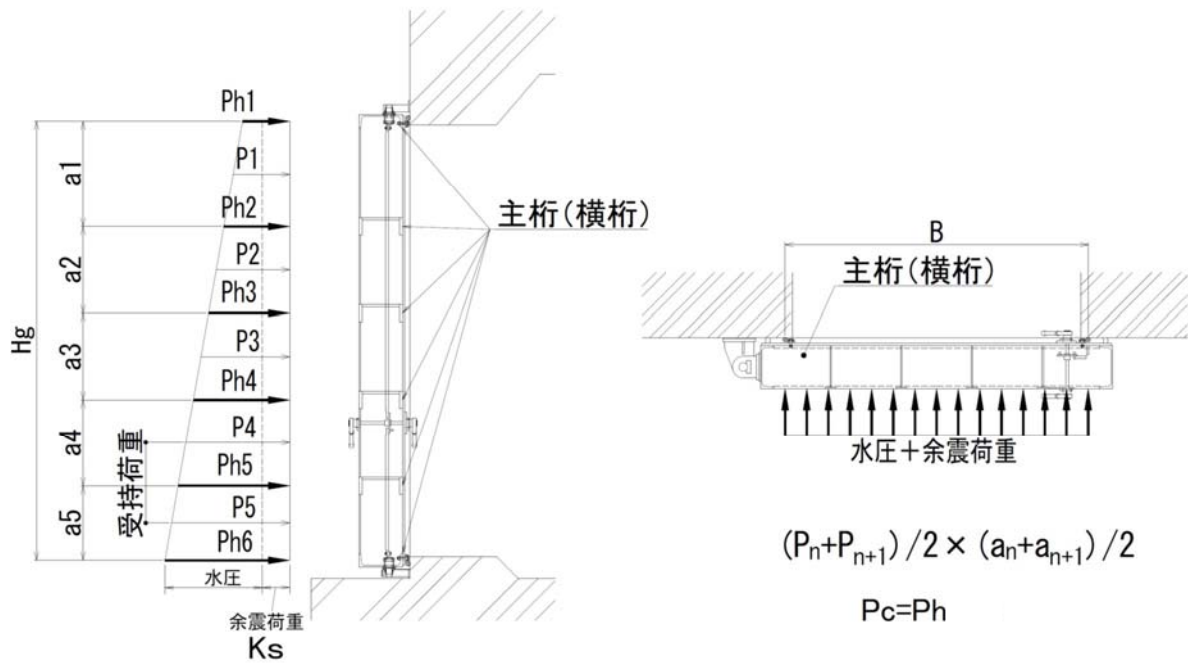


図10.6-2 芯材（主桁）に生じる荷重の例

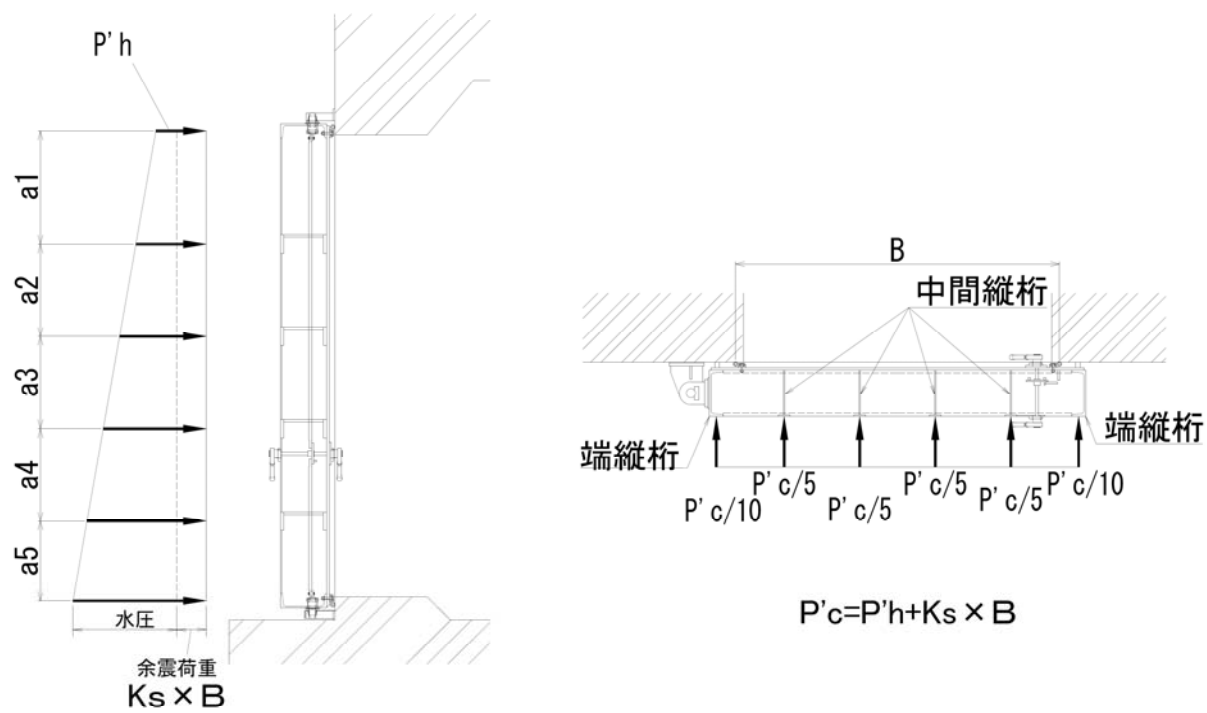


図10.6-3 芯材（端縦桁，中間縦桁）に生じる荷重の例

(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，芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

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

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

10.7 計算条件

「10.4 計算方法」に用いる評価条件を表10.7-1に示す。

表10.7-1 立坑部水密扉の強度評価に用いる条件(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	G	kN	扉体自重	28
扉板	L	m	区画短辺の長さ	0.490
	W_u	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重	128.2
	W_d	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重	141.0
	M_{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.066
	M_{x2}	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.039
	Z	mm ³	断面係数	20910
芯材 (主桁)	H_g	m	受圧高	3.1
	B	m	受圧幅	2.1
	P_{c1}	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (最上部)	35.81
	P_{c2}	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から2番目)	42.88
	P_{c3}	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から3番目)	48.94
	P_{c4}	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から4番目)	55.00
	P_{c5}	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から5番目)	61.06
	P_{c6}	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から6番目)	67.12
	P_1	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	39.34
	P_2	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	45.91
	P_3	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	51.97
	P_4	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	58.03
	P_5	kN/m ²	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	64.09
	Z	mm ³	断面係数	830600
	A	mm ²	断面積	4096

表 10.7-1 立坑部水密扉の強度評価に用いる条件(2/2)

対象部位	記 号	単 位	定 義	数値
芯材（縦桁）	a ₁	m	主桁ピッチ	
	a ₂	m	主桁ピッチ	
	a ₃	m	主桁ピッチ	
	a ₄	m	主桁ピッチ	
	a ₅	m	主桁ピッチ	
	Y	m	縦桁ピッチ	
	P' _{c1}	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (最上部)	75.20
	P' _{c2}	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から2番目)	90.05
	P' _{c3}	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から3番目)	102.8
	P' _{c4}	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から4番目)	115.5
	P' _{c5}	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から5番目)	128.2
	P' _{c6}	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重 (上から6番目)	141.0
	P' ₁	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	14.85
	P' ₂	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	12.75
	P' ₃	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	12.70
	P' ₄	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	12.70
	P' ₅	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	12.80
	P' ₆	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	75.20
	P' ₇	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	90.05
	P' ₈	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	102.8
	P' ₉	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	115.5
	P' ₁₀	kN/m	浸水又は溢水による静水圧及び余震による荷重	128.2
	Z	mm ³	断面係数	173400
	A	mm ²	断面積	2619

10.8 評価結果

立坑部水密扉の強度評価結果を表10.8-1に示す。立坑部水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度は許容限界値以下であることから、立坑部水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表10.8-1 立坑部水密扉の強度評価結果

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
立坑部 水密扉	扉 板	103	245	0.42
	芯材*1	25	235	0.11

注 *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