

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-1925 改4
提出年月日	平成30年9月26日

V-2-10-2-8-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	3
2.4	適用基準	4
2.5	記号の説明	5
3.	固有周期	7
3.1	固有周期の計算方法	7
3.2	固有周期の計算条件	7
3.3	固有周期の計算結果	8
4.	原子炉建屋原子炉棟水密扉	10
4.1	評価部位	10
4.2	荷重及び荷重の組合せ	13
4.3	許容限界	14
4.4	設計用地震力	16
4.5	計算方法	16
4.6	計算条件	24
4.7	評価結果	25
5.	原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	26
5.1	評価部位	26
5.2	荷重及び荷重の組合せ	28
5.3	許容限界	28
5.4	設計用地震力	29
5.5	評価方法	30
5.6	計算条件	35
5.7	評価結果	36
6.	原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	37
6.1	評価部位	37
6.2	荷重及び荷重の組合せ	39
6.3	許容限界	40
6.4	設計用地震力	41
6.5	計算方法	41
6.6	計算条件	47
6.7	評価結果	48
7.	原子炉建屋付属棟東側水密扉	49

7.1	評価部位	49
7.2	荷重及び荷重の組合せ	52
7.3	許容限界	52
7.4	設計用地震力	54
7.5	計算方法	54
7.6	計算条件	62
7.7	評価結果	63
8.	原子炉建屋付属棟南側水密扉	64
8.1	評価部位	64
8.2	荷重及び荷重の組合せ	66
8.3	許容限界	67
8.4	設計用地震力	68
8.5	計算方法	68
8.6	計算条件	74
8.7	評価結果	75
9.	原子炉建屋付属棟西側水密扉	76
9.1	評価部位	76
9.2	荷重及び荷重の組合せ	78
9.3	許容限界	79
9.4	設計用地震力	81
9.5	計算方法	81
9.6	計算条件	88
9.7	評価結果	89
10	立坑部水密扉	90
10.1	評価部位	90
10.2	荷重及び荷重の組合せ	92
10.3	許容限界	92
10.4	設計用地震力	93
10.5	計算方法	94
10.6	計算条件	103
10.7	評価結果	104

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針に準じて、原子炉建屋1階に設置する水密扉（以下「原子炉建屋1階水密扉」という。）及び常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）地下1階に設置する常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉（以下「立坑部水密扉」という。）が、基準地震動 S_0 による地震力に対して、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、十分な構造強度及び止水性を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

水密扉は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建屋水密扉の設置位置図を図2.1-1図に、立坑部水密扉の設置位置図を図2.1-2に示す。

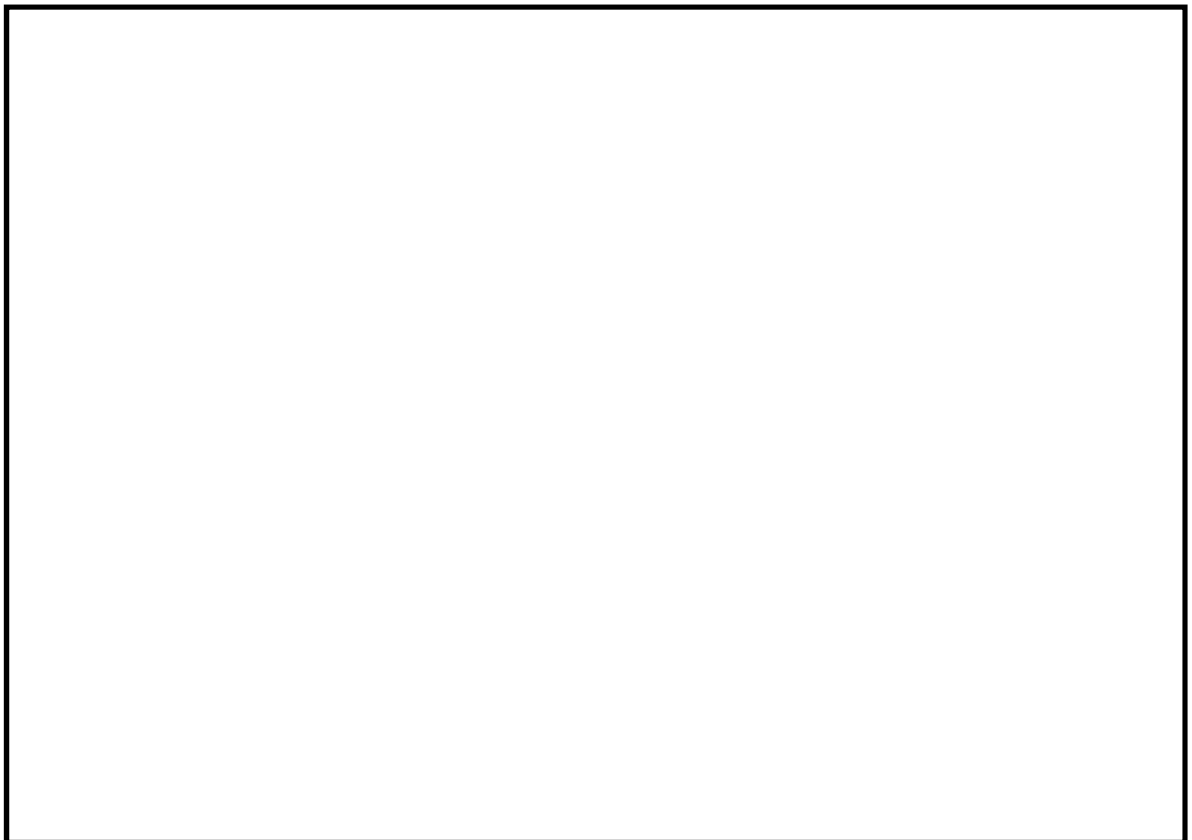


図2.1-1図 水密扉設置位置図（原子炉建屋1階：床面レベルEL. 8.2 m）

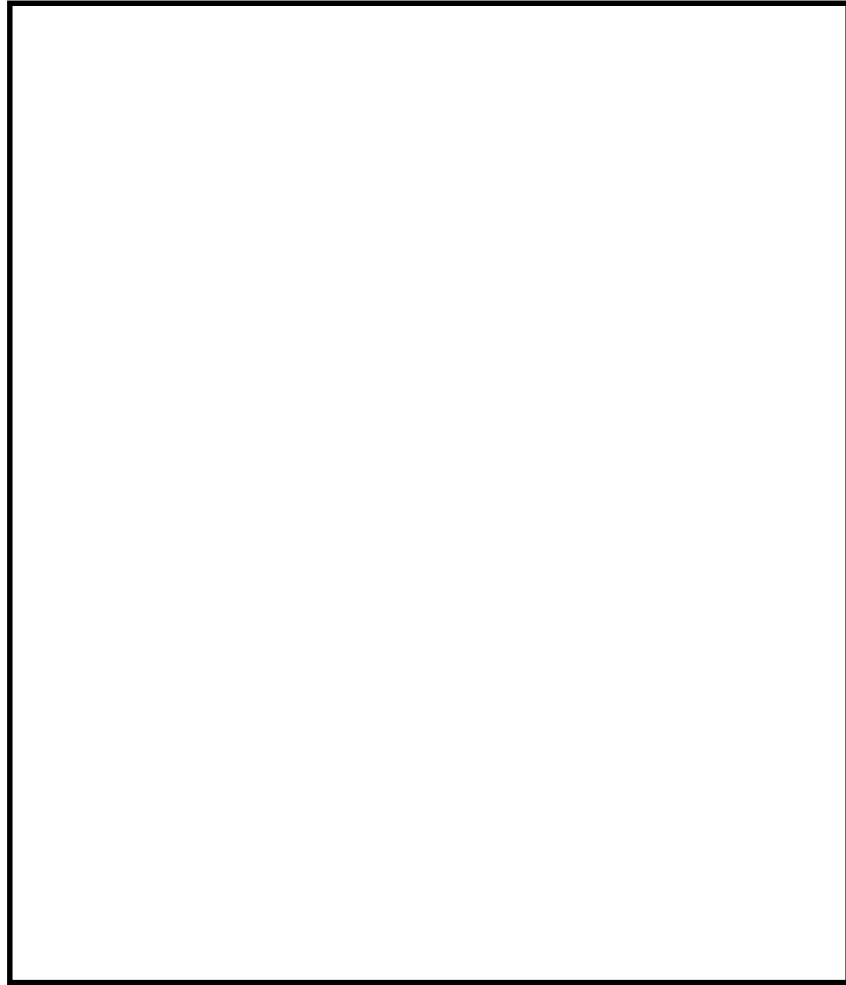


図2.1-2 水密扉設置位置図（常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）：床面レベル EL. 2.7 m)

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。）。水密扉は、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。構造計画を表2.2-1に示す。

表 2.2-1 水密扉の構造計画

計画構造		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時には、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、締付装置（カンヌキ）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>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付、扉に設置された締付装置（カンヌキ）を鋼製の扉枠に、差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

NT2 補② V-2-10-2-8 R1

2.3 評価方針

水密扉の耐震評価は、重大事故等対処施設及び設計基準対象施設として、表2.3-1に示すとおり構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価については、「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

水密扉の耐震評価フローを図2.3-1に示す。

表2.3-1 水密扉の評価項目

評価方針	評価項目	地震力	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	基準地震動 S_s	各水密扉の「評価部位」にて設定する部位	発生応力等が許容限界を超えないことを確認する	概ね弾性
止水性を損なわないこと					

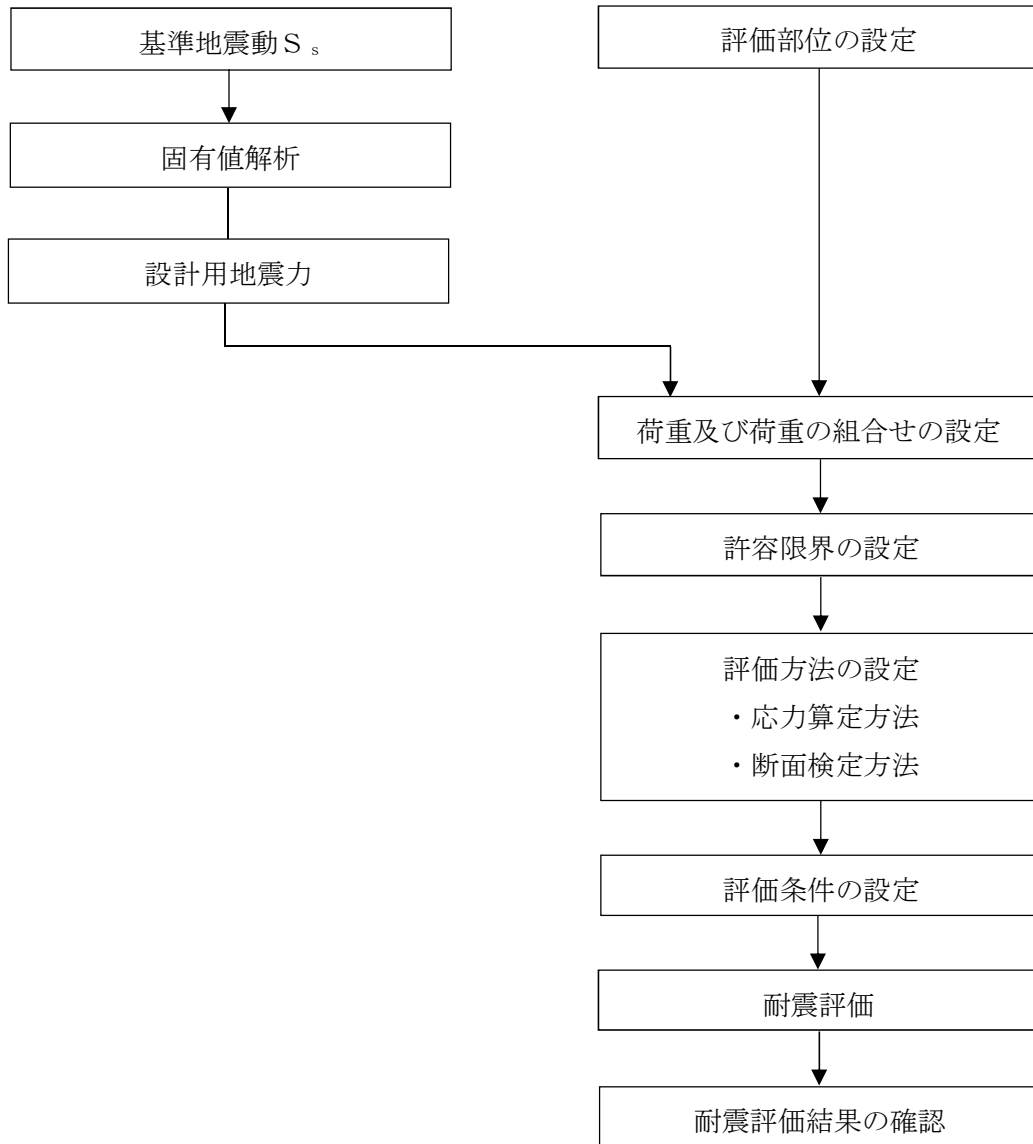


図2.3-1 水密扉の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 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) 各種合成構造指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 －1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）
- (7) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）

2.5 記号の説明

水密扉の耐震評価に用いる記号を表 2.5-1 に示す。

表 2.5-1 耐震評価に用いる記号 (1/2)

項目		記号	定義	単位
共通		W_x	扉体自重	kN
		K_H	水平方向設計震度	-
		K_V	鉛直方向設計震度	-
ヒンジ部	共通	L_r	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (幅方向)	m
		L_t	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (厚方向)	m
		L_j	ヒンジ中心間距離	m
	ヒンジアーム	L, L_1	作用点間距離	mm
		Z, Z_1	断面係数	mm ³
		A, A_1	断面積	mm ²
	ヒンジピン	L, L_2	軸支持間距離	mm
		B_2	ブッシュ長さ	mm
		Z, Z_2	断面係数	mm ³
		A, A_2	断面積	mm ²
ヒンジ	ヒンジボルト	n, n_1	本数	本
		A, A_{b1}	断面積	mm ²
	アンカー	n	本数	本
		A_b	断面積	mm ²
	A_a	表面積	mm ²	
カンヌキ部	カンヌキ	L_b	作用点間距離	mm
		Z	断面係数	mm ³
		A	断面積	mm ²
	カンヌキ受けピン	L_P	作用点間距離	mm
		Z	断面係数	mm ³
		A	断面積	mm ²
	カンヌキ受けボルト	n	本数	本
		A_b	断面積	mm ²
アンカーボルト		n	本数	本
		L	埋込長	mm
		A_b	断面積	mm ²
ロックバー		L_3	作用点間距離	mm
		Z_3	断面係数	mm ³
		A_3	断面積	mm ²

表2.5-1 耐震評価に用いる記号 (2/2)

項目	記号	定義	単位
ロックボルト	n_2	本数	本
	A_{b2}	1本当たりの断面積	mm^2

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。解析モデル図を図 3.1-1 に示す。

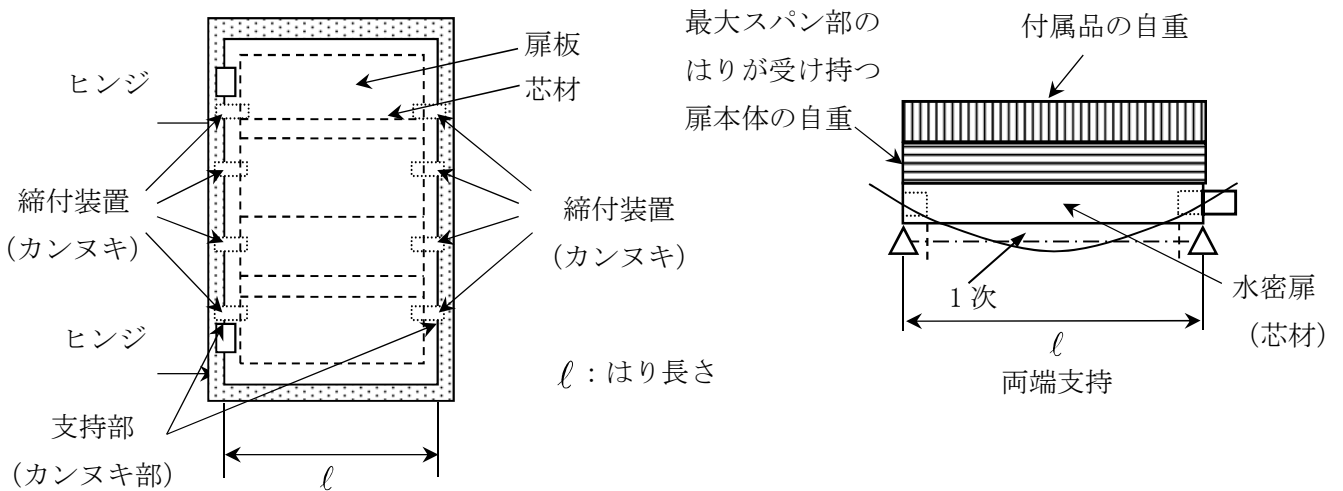


図 3.1-1 水密扉の固有周期解析モデル

3.2 固有周期の計算条件

3.2.1 記号の説明

水密扉の固有周期計算に用いる記号を表3.2.1-1に示す。

表3.2.1-1 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

3.2.2 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

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

(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

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

3.2.3 固有周期の計算条件

水密扉の固有周期の計算条件を表3.2.3-1及び表3.2.3-2に示す。

表3.2.3-1 水密扉の固有振動数及び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				
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1				
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2				
原子炉建屋付属棟南側水密扉				
原子炉建屋付属棟西側水密扉				
立坑部水密扉				

表3.2.3-2 水密扉の固有振動数及び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)
原子炉建屋付属棟 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 水密扉の固有振動数及び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	固有周期 (s)	固有振動数 f (Hz)
原子炉建屋原子炉棟水密扉	0.030	33.671
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	0.008	123.138
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	0.008	123.138
原子炉建屋付属棟南側水密扉	0.009	120.652
原子炉建屋付属棟西側水密扉	0.011	94.251
立坑部水密扉	0.025	41.492

表3.3-2 水密扉の固有振動数及び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	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	0.002	513.37

4. 原子炉建屋原子炉棟水密扉

4.1 評価部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに扉の開閉状況を考慮のうえ地震荷重を設定する。

水密扉に生じる地震力（水平、鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は、ヒンジ及びカンヌキから、ボルトを介して扉枠に伝達し、アンカーを介して躯体に伝達しているため、評価部位をヒンジ、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトとする。

原子炉建屋原子炉棟水密扉構造図を図4.1-1、水密扉閉鎖時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位及び水密扉開放時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図4.1-2から図4.1-3に示す。

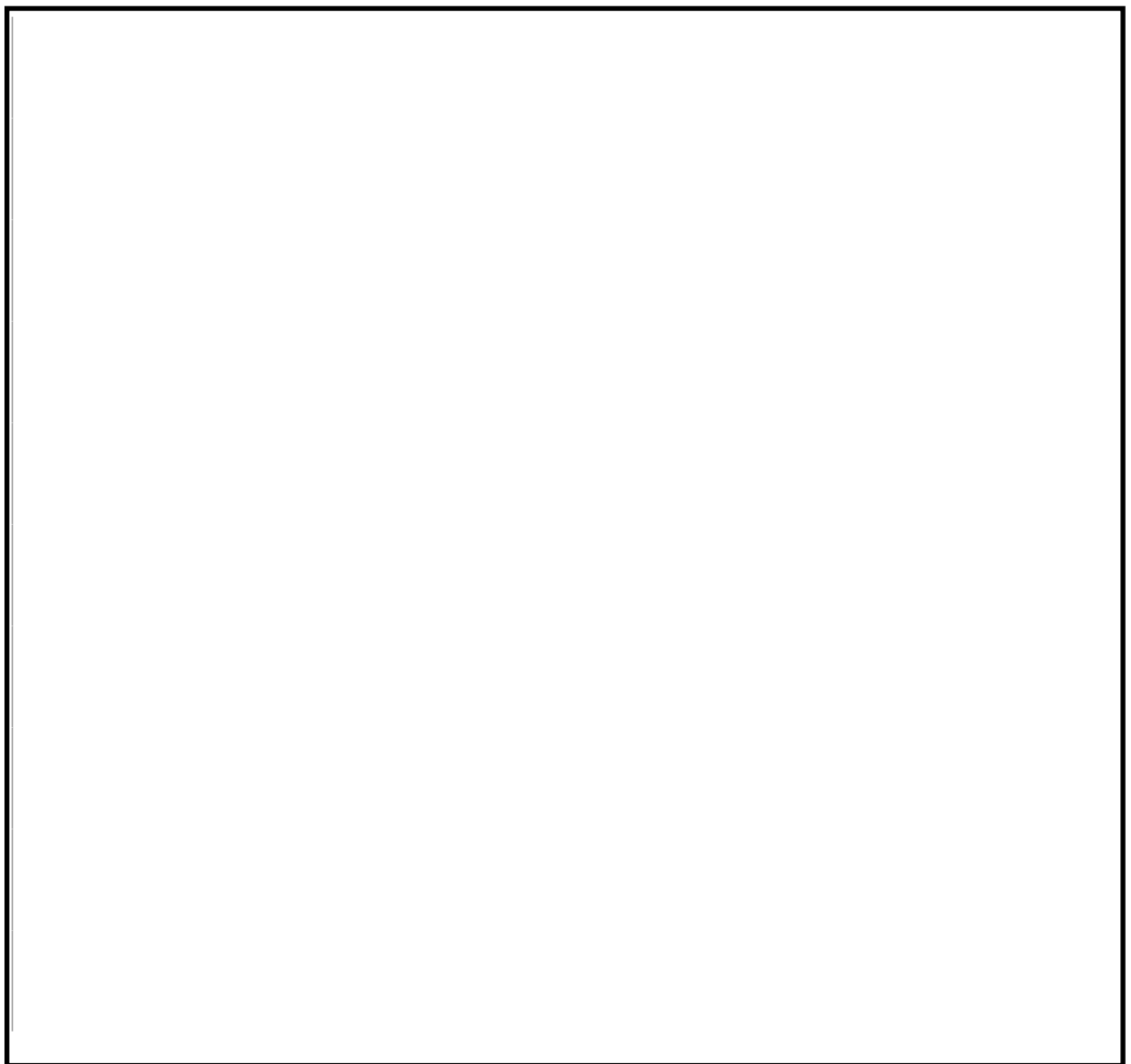


図4.1-1 原子炉建屋原子炉棟水密扉構造図

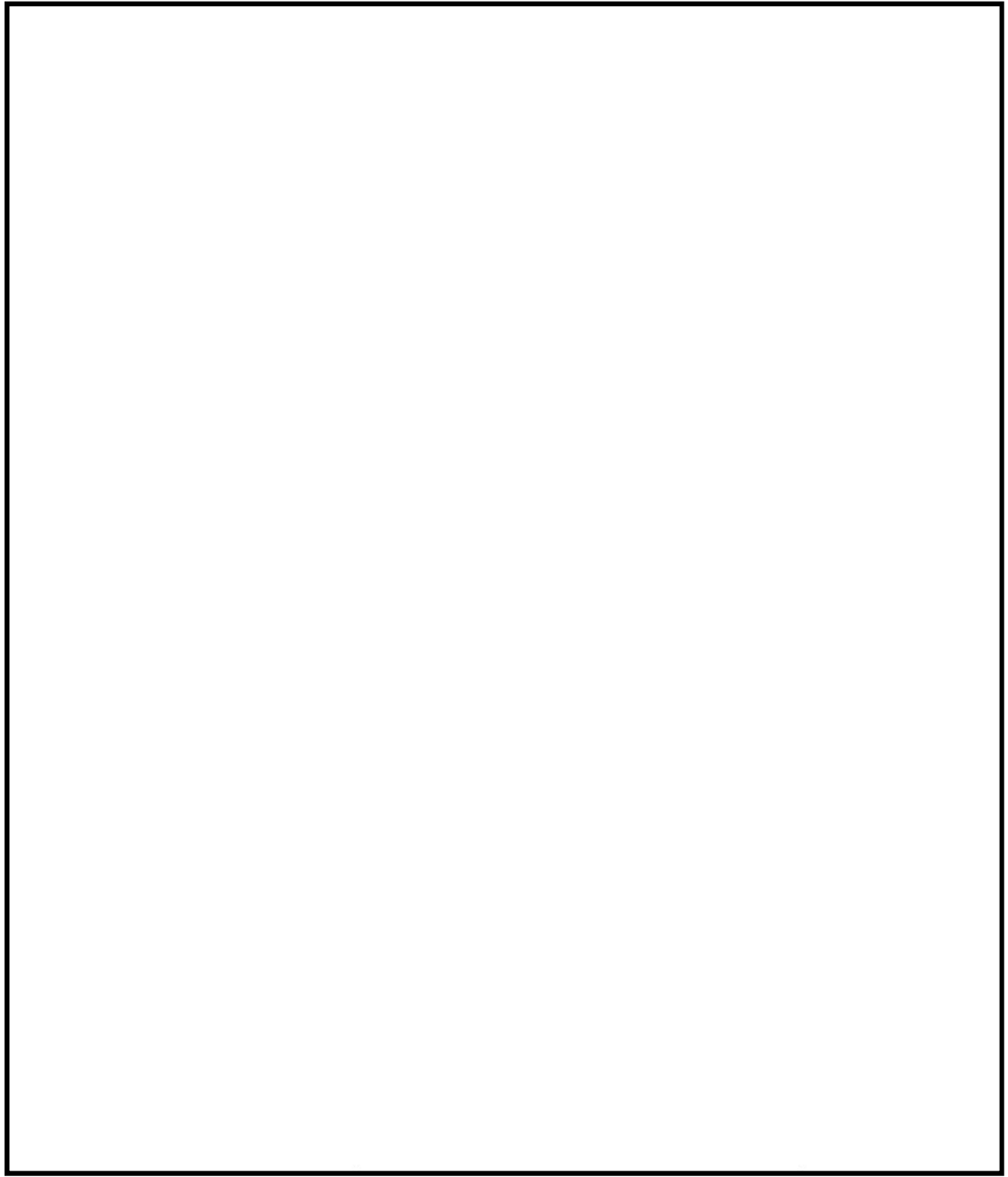


図4.1-2 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋原子炉棟水密扉）

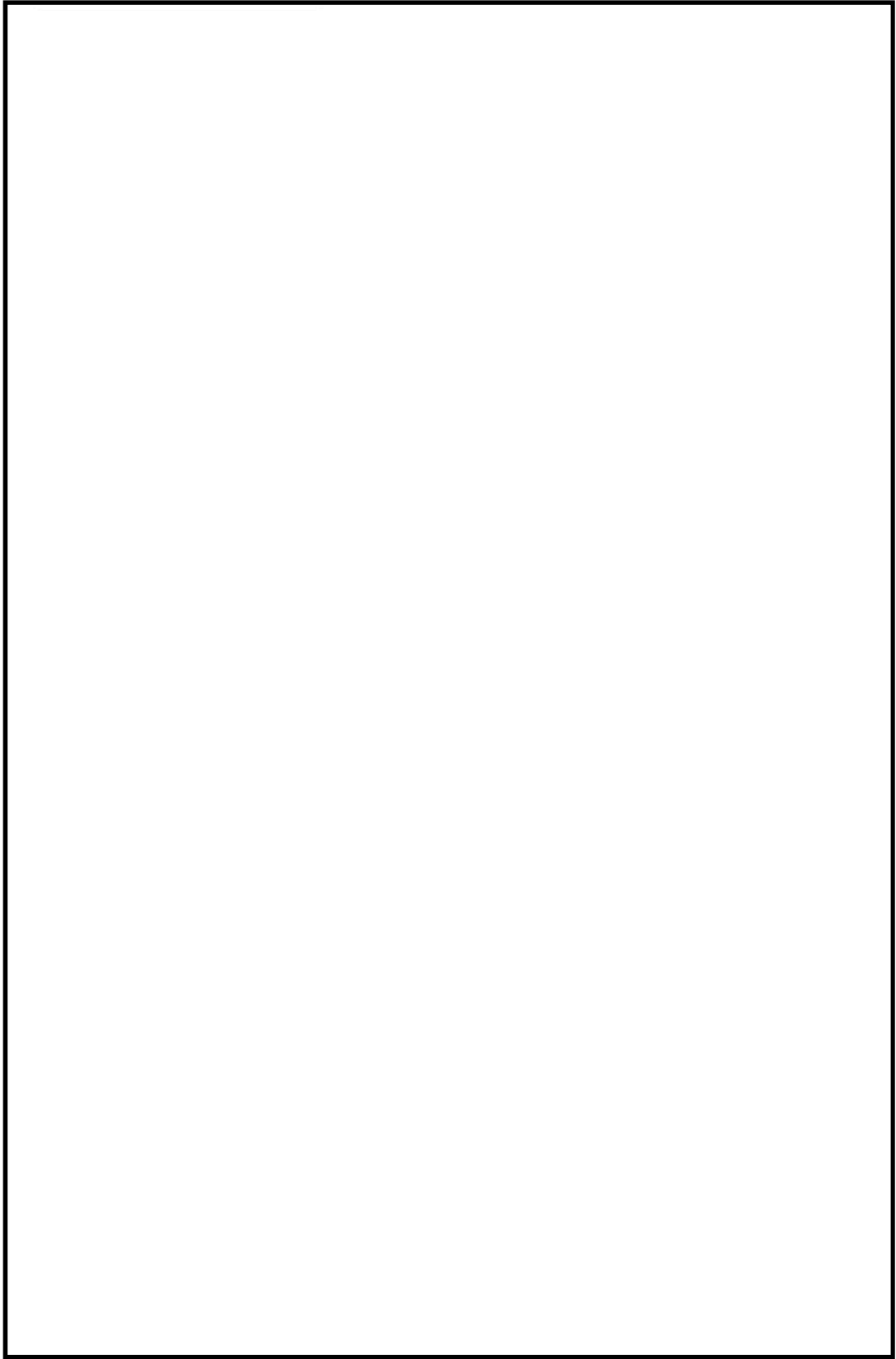


図 4.1-3 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋原子炉棟水密扉）

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せに準じて設定する。

添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P + K_s$$

(1) 耐震評価上考慮する荷重

水密扉の耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

G：固定荷重

P：積載荷重

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

K_s ：基準地震動 S_s による地震力

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表4.2-1に示す。

表4.2-1 水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
原子炉建屋原子炉棟水密扉	262.82

b. 地震荷重 (K_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K$$

ここで、

K_s ：地震荷重 (kN)

G：水密扉の固定荷重 (kN)

K：設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、絶対和法により評価する。

(3) 荷重の組合せ

原子炉建屋水密扉の荷重の組合せを表4.2-2に示す。

表4.2-2 水密扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
原子炉建屋原子炉棟水密扉	G + K _s

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

4.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料及び許容限界

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、カンヌキ部の使用材料及び許容限界を表4.3-1及び表4.3-2に示す。

表4.3-1 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 : t は板厚 (mm) , φ は径 (mm) を示す。 (以下同じ)

(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4.3-2の値とする。

表4.3-2 許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *1	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) *1	215	124
SS400 (100 < t) *1	205	118
SUS304*2	205*3	118
SCM440*4	686*5	396
S45C*6	345*7	199
SCM435*4	651*5	375

注記 *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: 引張りの短期許容応力度についても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。

*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 3 : 2012 機械構造用合金鋼鋼材」に基づく。

*5: 引張りの短期許容応力度についても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。

*6: 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。

*7: 引張りの短期許容応力度についても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。

4.4 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4.4-1に示す。

表4.4-1 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 (m)	地震による設計震度	
		基準地震動 S_s	原子炉建屋1階 EL. 8.2
		鉛直方向 C_V^*	0.99

注記 *：設置階の上階（原子炉建屋2階：EL. 14.0m）の値を示す。

4.5 計算方法

(1) 荷重算定

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン、ヒンジボルト及びアンカーで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）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4.5-1に示す。

$$F_H = W_x \cdot K_H$$

$$F_V = W_x \cdot K_V$$

$$R_r = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

ここで、

W_x ：扉体自重 (kN)

K_H ：水平方向設計震度

K_V ：鉛直方向設計震度

F_H ：水平地震力 (kN)

F_V ：鉛直地震力 (kN)

R_r ：扉体幅方向自重反力 (kN)

R_t ：扉体厚方向自重反力 (kN)

L_r ：扉体重心（幅方向）～ヒンジ芯間距離 (m)

L_t ：扉体重心（厚方向）～ヒンジ芯間距離 (m)

L_j ：ヒンジ間距離 (m)

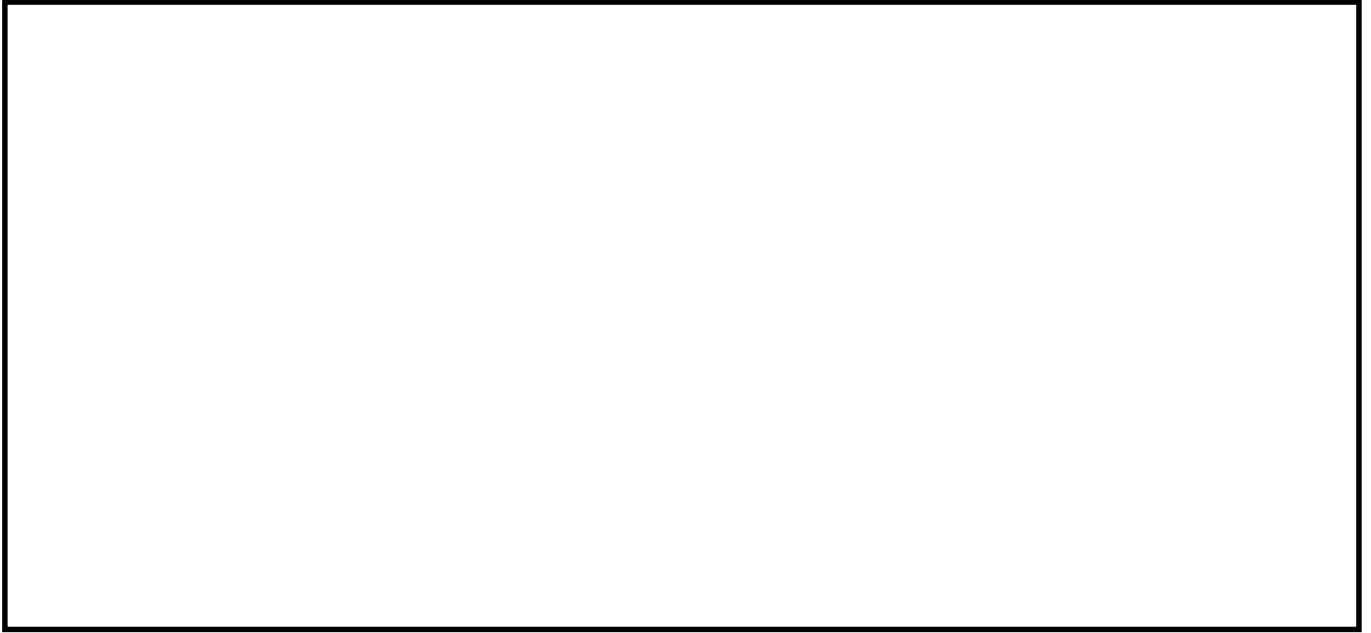


図4.5-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジアームに生じる荷重の例を図4.5-2に示す。

$$M = (W_x + F_v) \cdot L$$

$$Q = W_x + F_v$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_v : 鉛直地震力 (kN)

L : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)



図 4.5-2 ヒンジアームに生じる荷重の例

(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4.5-3に示す。

$$M = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L$$

$$Q = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (kN・m)
- F_H : 水平地震力 (kN)
- R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)
- R_t : 扉体厚方向自重反力 (kN)
- L : 軸支持間距離 (mm)
- Q : せん断力 (kN)

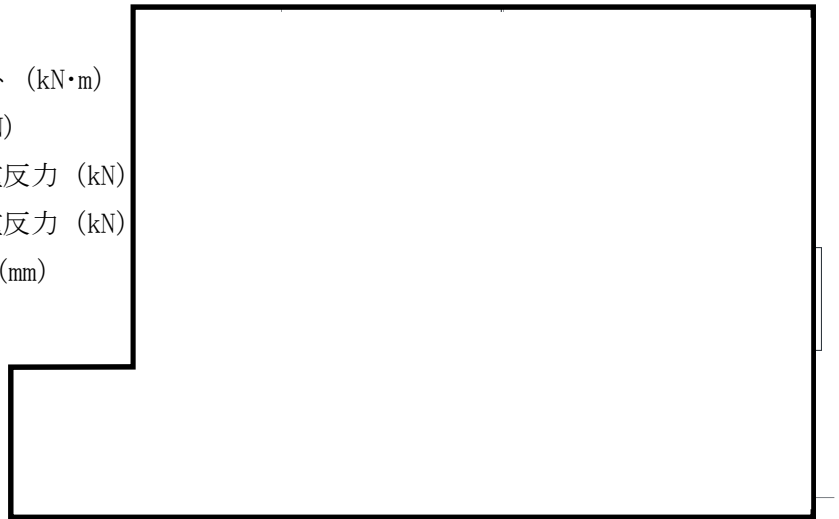


図 4.5-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる荷重は、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4.5-4に示す。

$$Q = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

ここで、

- Q : せん断力 (kN)
- F_H : 水平地震力 (kN)
- F_v : 鉛直地震力 (kN)
- R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

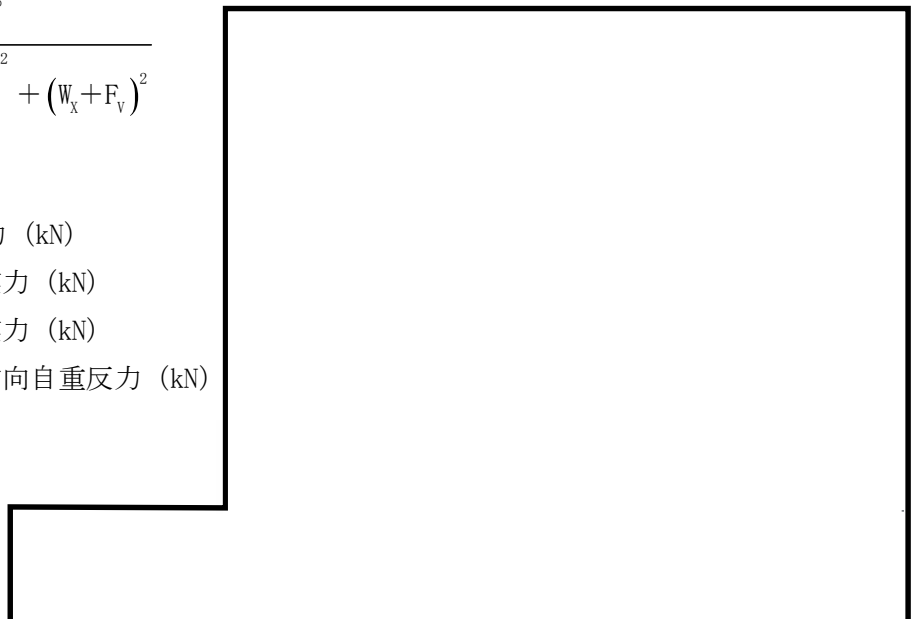


図 4.5-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(d) (ヒンジ部) アンカー

(ヒンジ部) アンカーに生じる荷重は、次式により算出する。(ヒンジ部) アンカーに生じる荷重の例を図4.5-5に示す。

$$T = \left(R_r + \frac{F_H}{2} \right) / n$$

$$Q = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2} \right)^2 + (W_x + F_v)^2} / 2n$$

ここで、

T : 引張力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

n : アンカー本数 (本)

Q : せん断力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_v : 鉛直地震力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

n : アンカー本数 (本)

図 4.5-5 (ヒンジ部) アンカーに生じる荷重の例

b. カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受け及びカンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力から、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4.5-6に示す。

$$F_H = W_x \cdot K_H$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

K_H : 水平震度

F_H : 水平地震力 (kN)

図 4.5-6 カンヌキ部に生じる荷重の例

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図4.5-7に示す。

$$M = \frac{F_H}{n} \cdot L_b$$

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数

L_b : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)

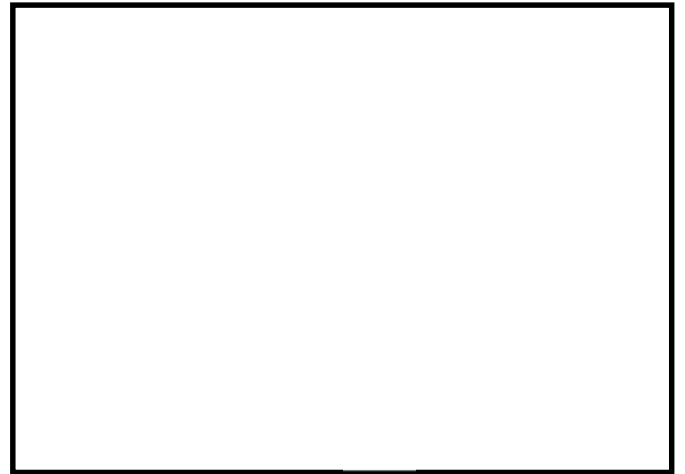


図 4.5-7 カンヌキに生じる荷重の例

(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4.5-8に示す。

$$M = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H}{n} \cdot L_p$$

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数

L_p : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)



図 4.5-8 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4.5-9に示す。

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

ここで、

T : 引張力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数



図 4.5-9 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. ヒンジ

(a) ヒンジアーム

ヒンジアーム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、ヒンジアームの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで、

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

A : 断面積 (mm²)

(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から、組合せ応力度を次式により算定し、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。

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

ここで、

- σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : 断面積 (mm²)

b. 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。

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

ここで、

- σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : 断面積 (mm²)

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、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。

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

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

ここで、

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : 断面積 (mm²)

c. ボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度及びカンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{n \cdot A_b}$$

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

ここで、

τ : せん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (kN)

n : 本数 (本)

A_b : 1本当たりの断面積 (mm²)

σ_T : 引張応力度 (N/mm²)

T : 引張力 (kN)

d. (ヒンジ部) アンカー

(ヒンジ部) アンカーに生じる引張力が、次式により算定したアンカーの短期許容引張力以下であることを確認する。

$$P_{a1} = 1 \cdot s_{\sigma_{pa}} \cdot s_{c} a$$

$$P_a = P_{a1}$$

ここで、

P_a : 短期許容引張力 (kN)

P_{a1} : 鋼材の耐力で決まる許容引張力 (kN)

$s_{\sigma_{pa}}$: 頭付きアンカーボルトの引張強度 (N/mm²)

$s_c a$: 頭付きアンカーボルトの1本当たりの断面積 (mm²)

(ヒンジ部) アンカーに生じるせん断力が、次式により算定したアンカーの短期許容せん断力以下であることを確認する。

$$Q_{a1} = 0.7 \cdot s_{\sigma_y} \cdot A_b$$

$$Q_a = Q_{a1}$$

ここで、

Q_a : アンカーの短期許容せん断力 (kN)

Q_{a1} : 鋼材の耐力で決まるせん断耐力 (kN)

s_{σ_y} : 鋼材の降伏強度 (N/mm²)

A_b : 1本当たりの断面積 (mm²)

4.6 計算条件

「4.5 計算方法」に用いる評価条件を表4.6-1に示す。

表4.6-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		K_H	-	水平方向設計震度	
		K_v	-	鉛直方向設計震度	
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離（幅方向）	
		L_t	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離（厚方向）	
		L_j	m	ヒンジ間距離	
	ヒンジアーム	L	mm	作用点間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
	ヒンジピン	L	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
ヒンジ	ヒンジボルト	n	本	本数	
		A	mm ²	断面積	
	アンカー	n	本	本数	
		A_b	mm ²	断面積	
		A_a	mm ²	表面積	
カンヌキ部	カンヌキ	L_b	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
カンヌキ部	カンヌキ受けピン	L_p	Mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
	カンヌキ受けボルト	n	本	本数	
		A_b	mm ²	断面積	

4.7 評価結果

原子炉建屋原子炉棟水密扉の評価結果を表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 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 /許容限界値
原子炉建屋 原子炉棟 水密扉	ヒンジ部	ヒンジアーム	85	205	0.42
		ヒンジピン	286	686	0.42
		ヒンジボルト*2	90	375	0.24
		アンカー*2	24	40	0.59
	カンヌキ部	カンヌキ	116	205	0.57
		カンヌキ受けピン*1	315	686	0.46
		カンヌキ受けボルト	68	375	0.11

注記 *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

*2：アンカーの単位 (kN)

5. 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

5.1 評価部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに、扉の開閉状況を考慮のうえ地震荷重を設定する。

水密扉に生じる地震力（水平、鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は、ヒンジ及びロックバーから、ボルトを介して扉枠に伝達し、アンカーを介して躯体に伝達しているため、評価部位をヒンジ（板及びピン）、ロックバー、ヒンジボルト及びロックボルトとする。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の構造図を図5.1-1、水密扉閉鎖時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位及び水密扉開放時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図5.1-2及び図5.1-3に示す。

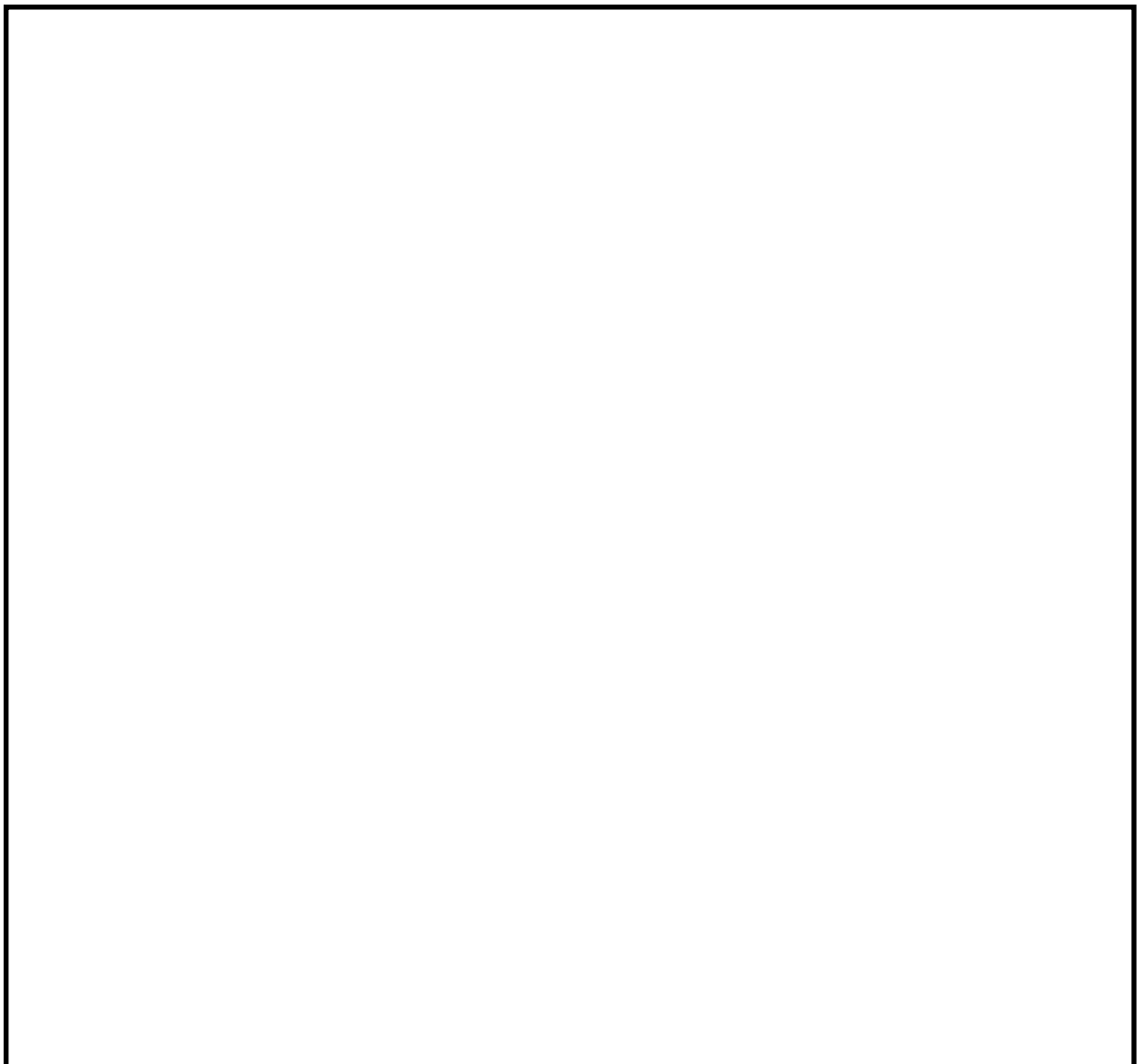


図5.1-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 構造図

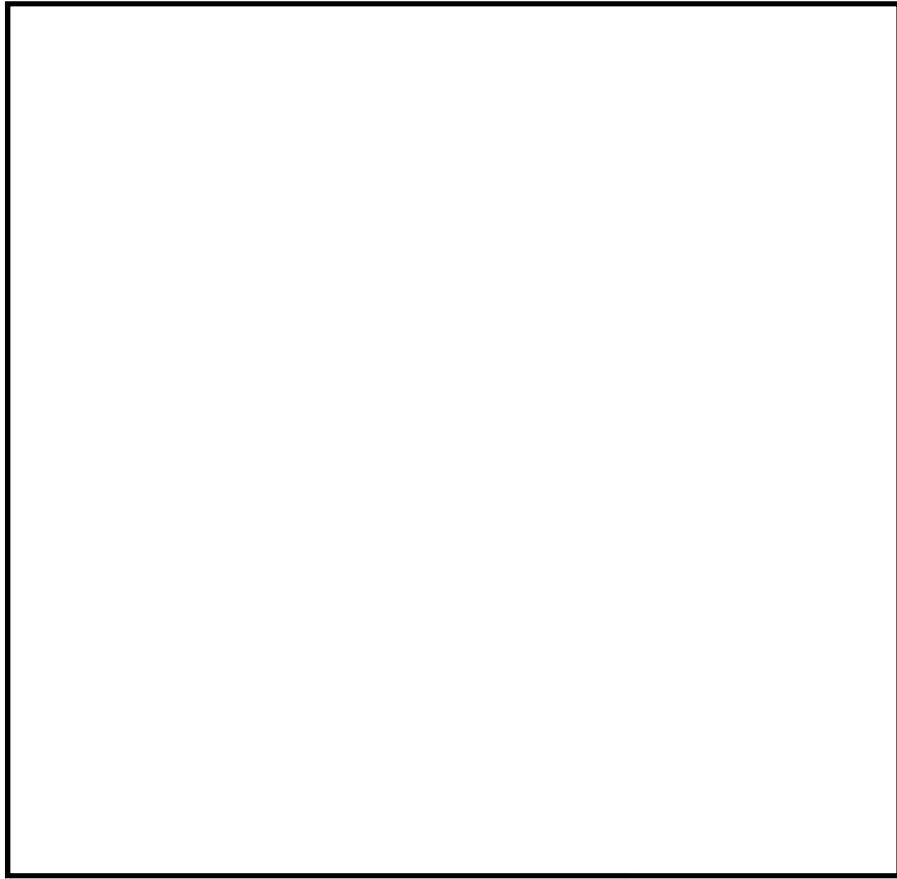


図5.1-2 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
(原子炉建屋付属棟北側水密扉 1)

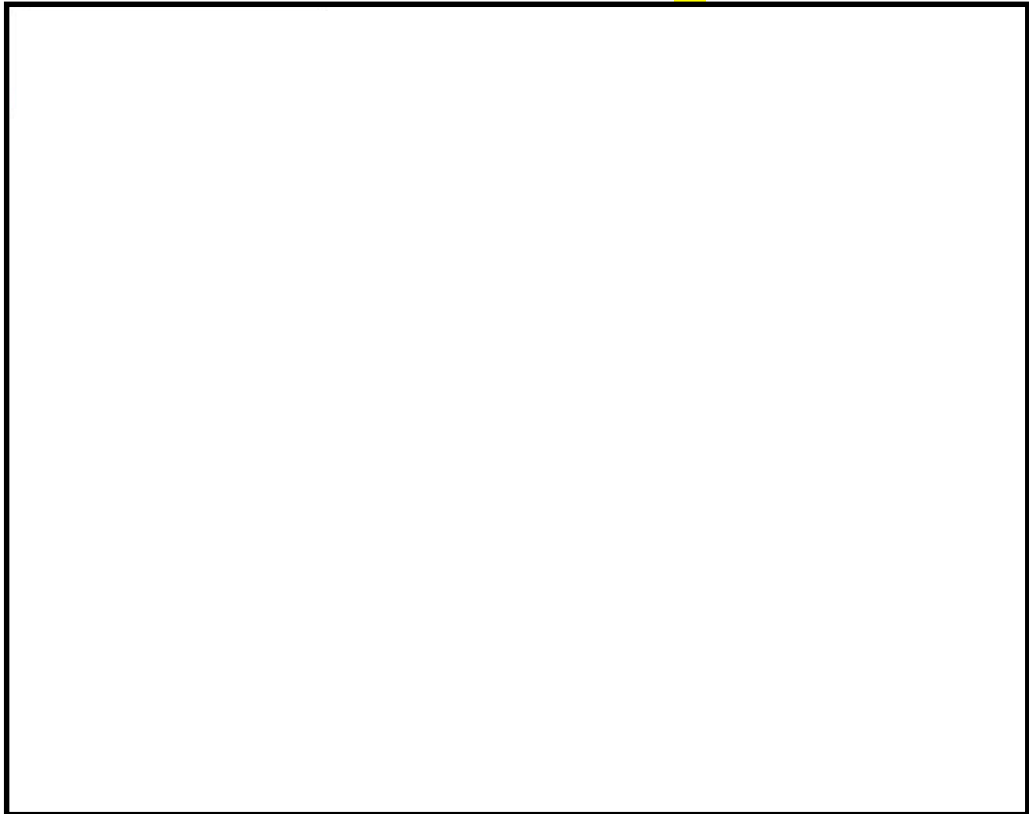


図5.1-3 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
(原子炉建屋付属棟北側水密扉 1)

5.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表5.2-1に示す。

表5.2-1 水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	4.95

b. 地震荷重 (K_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K$$

ここで、

K_s : 地震荷重 (kN)

G : 水密扉の固定荷重 (kN)

K : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、絶対和法により評価する。

(2) 荷重の組合せ

原子炉建屋水密扉の荷重の組合せを表5.2-2に示す。

表5.2-2 水密扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	$G + K_s$

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料及び許容限界

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、ロックバー部の使用材料及び許容限界を表5.3-1及び表5.3-2に示す。

表5.3-1 使用材料

部位		材質	仕様 (mm)
扉板			
芯材	主桁		
	中間縦桁		
	端縦桁		
ヒンジ部	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			

表5.3-2 許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ¹	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) * ¹	215	124
SUS304* ²	205	118
SUS304N2* ²	345	199

注記 *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 0 5 3 : 2012 機械構造用 合金鋼鋼材」に基づく。

5.4 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5.4-1に示す。

表5.4-1 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 (m)	地震による設計震度	
		水平方向 C _H * [*]	鉛直方向 C _V * [*]
基準地震動 S _s	原子炉建屋1階 EL. 8.2	水平方向 C _H * [*]	1.13
		鉛直方向 C _V * [*]	0.99

注記 * : 設置階の上階 (原子炉建屋2階 : EL. 14.0m) の値を示す。

5.5 評価方法

(1) 荷重算定

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）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 5.5-1 に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

$$F_V = W_x \cdot k_V$$

$$R_r = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

k_H : 水平方向設計震度

k_V : 鉛直方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体自重反力 (kN)

L_r : 扉体重心～ヒンジ中心間距離 (m)

L_j : ヒンジ中心間距離 (m)

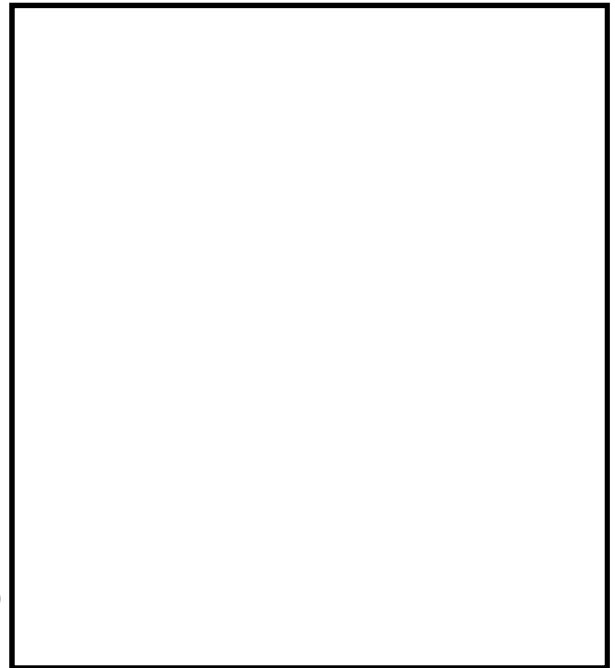


図 5.5-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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 5.5-2 に示す。

$$M = \sqrt{\left(\frac{F_H}{2} + R_r\right)^2 + (W_x + F_V)^2} \cdot L_1$$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H}{2} + R_r\right)^2 + (W_x + F_V)^2}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体自重反力 (kN)

L_1 : 作用点間距離 (mm)

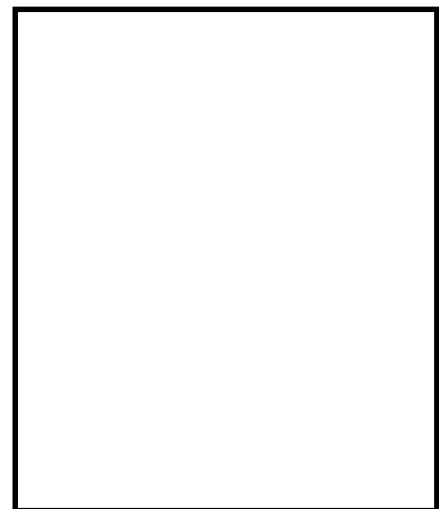


図 5.5-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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 5.5-3 に示す。

$$M = \frac{(F_H/2 + R_r) \cdot (2 \cdot L_2 - B_2)}{8}$$

$$Q = \frac{F_H/2 + R_r}{2}$$

ここで、

M：曲げモーメント (kN・m)

Q：せん断力 (kN)

F_H：水平地震力 (kN)

R_r：扉体自重反力 (kN)

L₂：軸支持間距離 (mm)

B₂：ブッシュ長さ (mm)

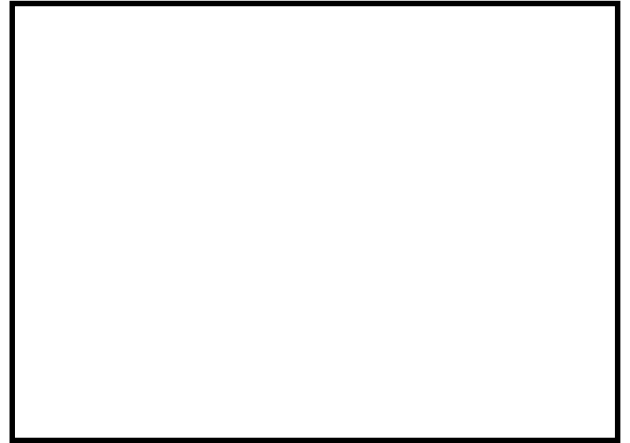


図 5.5-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトには荷重によりせん断力がかかる、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 5.5-4 に示す。

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H}{2} + R_r\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

ここで、

Q：せん断力 (kN)

W_x：扉体自重 (kN)

F_H：水平地震力 (kN)

F_v：鉛直地震力 (kN)

R_r：扉体自重反力 (kN)



図 5.5-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

b. 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平地震力から、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5.5-5に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

ここで、

F_H : 水平地震力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

k_H : 水平震度

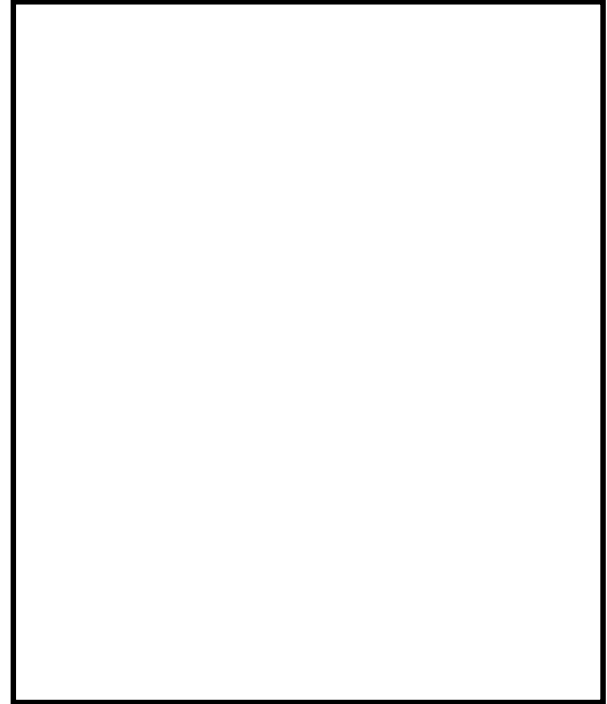


図 5.5-5 ロックバー部に生じる荷重の例

(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5.5-6に示す。

$$M = \frac{F_H}{4} \cdot L_3$$

$$Q = \frac{F_H}{4}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

L_3 : 作用点間距離 (mm)



図 5.5-6 ロックバー部に生じる荷重の例

(b) ロックボルト

ロックボルトに生じる荷重は、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 5.5-7 に示す。

$$Q = \frac{F_H}{4}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)



図 5.5-7 ロック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. ヒンジ部

(a) ヒンジ板

ヒンジ板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、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z_1 : 断面係数 (mm³)

A_1 : 断面積 (mm²)

(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を次式により算定し、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。

$$\sigma = \frac{M}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N・mm²)

τ : せん断応力度 (N・mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₂ : 断面係数 (mm³)

A₂ : 断面積 (mm²)

(c) ヒンジボルト

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

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

ここで、

τ : せん断応力度 (N・mm²)

Q : せん断力 (kN)

n₁ : 本数 (本)

A_{b1} : 1 本当たりの断面積 (mm²)

b. ロックバー部

(a) ロックバー

ロックバー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、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。

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_3}\right)^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₃ : 断面係数 (mm³)

A₃ : 断面積 (mm²)

(b) ロックボルト

ロックボルト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。

$$\tau = \frac{Q}{n_2 \cdot A_{b2}}$$

ここで、

τ : せん断応力度 (N・mm²)

Q : せん断力 (kN)

n_2 : 本数 (本)

A_{b2} : 1 本当たりの断面積 (mm²)

5.6 計算条件

「5.5 計算方法」用いる評価条件を表 5.6-1 に示す。

表 5.6-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_X	kN	扉体自重	
		k_H	—	水平方向設計震度	
		k_V	—	鉛直方向設計震度	
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	L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
		A_1	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_2	mm ³	断面係数	
		A_2	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト	n_1	本	本数	
A_{b1}		mm ²	1 本当たりの断面積 (M16)		
ロックバー	L_3	mm	作用点間距離		
	Z_3	mm ³	断面係数		
	A_3	mm ²	断面積		
ロックボルト	n_2	本	本数		
	A_{b2}	mm ²	1 本当たりの断面積 (M16)		

5.7 評価結果

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の評価結果を表 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 耐震評価結果

名称	評価部位		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	67	205	0.33
		ピン*	14	345	0.04
		ヒンジボルト	20	118	0.17
	ロックバー部	ロックバー	3	345	0.01
		ロックボルト	3	118	0.03

注記 * : 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

6. 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

6.1 評価部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに、扉の開閉状況を考慮のうえ地震荷重を設定する。

水密扉に生じる地震力（水平、鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は、ヒンジ及びロックバーから、ボルトを介して扉枠に伝達し、アンカーを介して躯体に伝達しているため、評価部位をヒンジ（板及びピン）、ロックバー、ヒンジボルト及びロックボルトとする。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の構造図を図6.1-1、水密扉閉鎖時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位及び水密扉開放時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図6.1-2及び図6.1-3に示す。

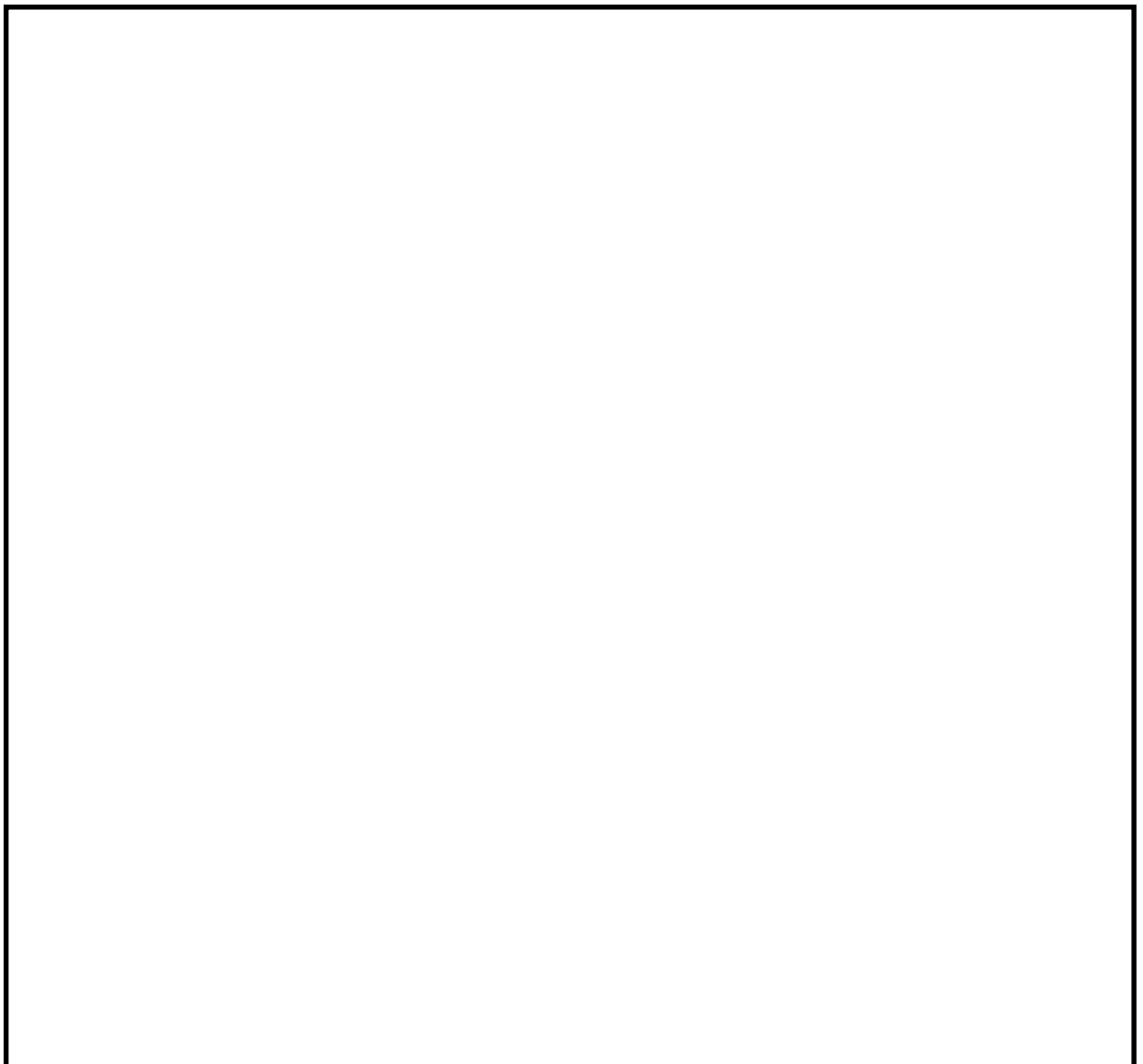


図 6.1-1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

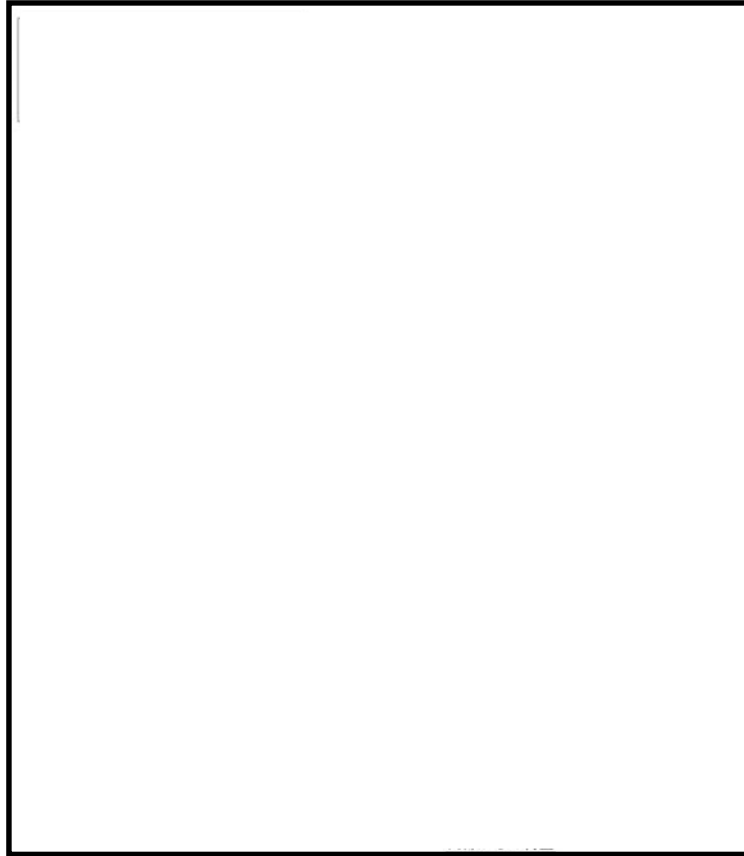


図 6.1-2 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
(原子炉建屋付属棟北側水密扉 2)

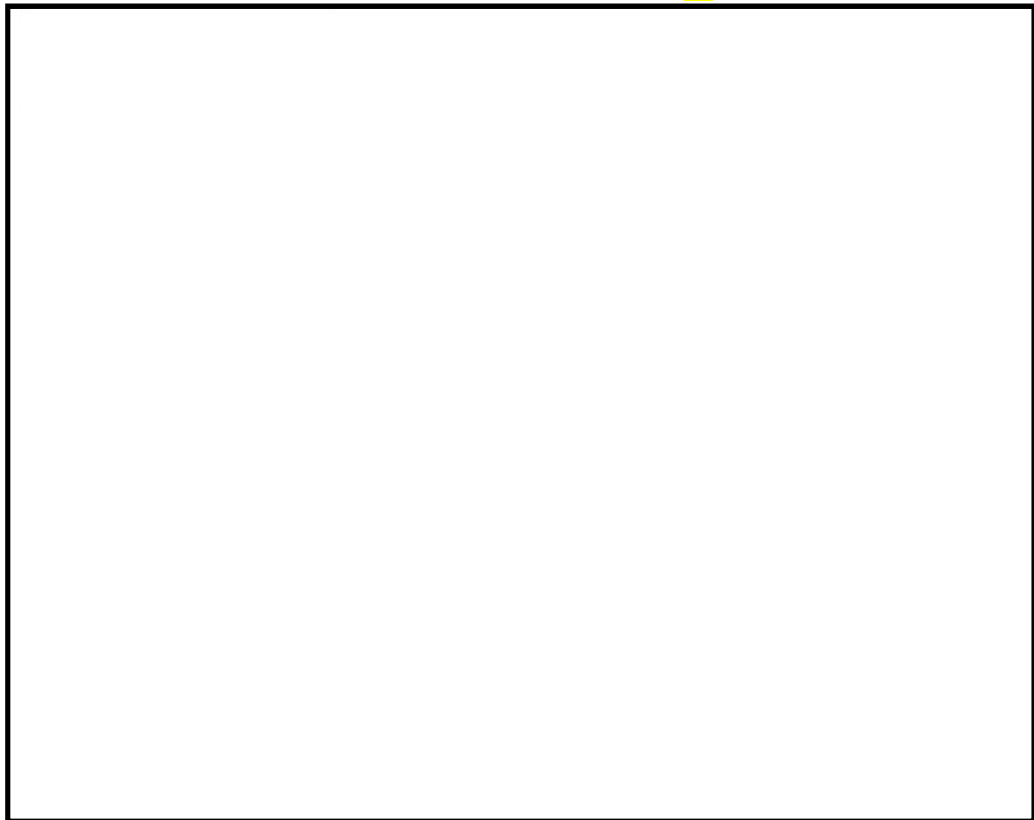


図 6.1-3 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
(原子炉建屋付属棟北側水密扉 2)

6.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表6.2-1に示す。

表6.2-1 原子炉建屋1階水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	4.95

b. 地震荷重 (K_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K$$

ここで、

K_s : 地震荷重 (kN)

G : 水密扉の固定荷重 (kN)

K : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、絶対和法により評価する。

(2) 荷重の組合せ

水密扉の荷重の組合せを表6.2-2に示す。

表6.2-2 水密扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	$G + K_s$

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

6.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料及び許容限界

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、ロックバー部の使用材料及び許容限界を表6.3-1及び表6.3-2に示す。

表6.3-1 使用材料

部位		材質	仕様 (mm)
扉板			
芯材	主桁		
	中間縦桁		
	端縦桁		
ヒンジ部	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			

表6.3-2 許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *1	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) *1	215	124
SUS304 *2	205	118
SUS304N2 *2	345	199

注記 *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版及び鋼帯」及び「J I S G 4 3 1 7 : 2013 熱間成形ステンレス鋼版鋼」に基づく。

6.4 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6.4-1に示す。

表6.4-1 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

地震動	設置場所及び床面高さ (m)	地震による設計震度	
		基準地震動 S_s	原子炉建屋1階 EL. 8.2
		鉛直方向 C_V^*	0.99

注記 * : 設置階の上階 (原子炉建屋2階 : EL. 14.0m) の値を示す。

6.5 計算方法

(1) 荷重算定

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力 (鉛直地震力を含む) 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6.5-1に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

$$F_V = W_x \cdot k_V$$

$$R_r = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

k_H : 水平方向設計震度

k_V : 鉛直方向設計震度

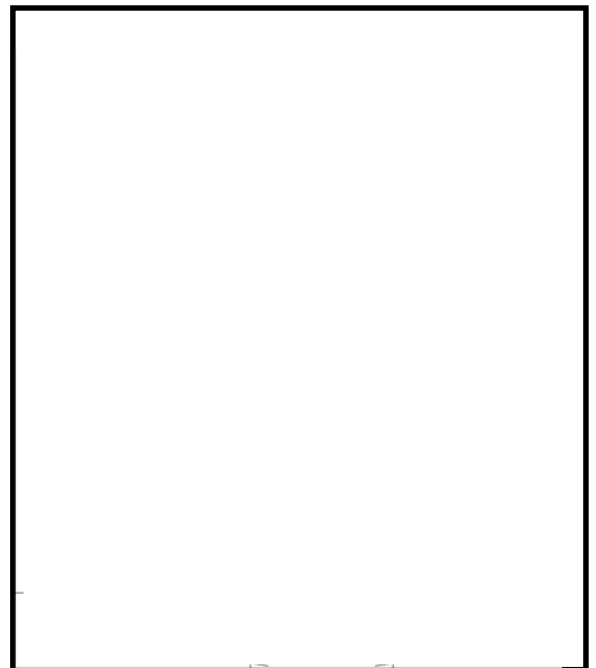
F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体自重反力 (kN)

L_r : 扉体重心～ヒンジ中心間距離 (m)

L_j : ヒンジ中心間距離 (m)



第6.5-1図 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 6.5-2 に示す。

$$M = \sqrt{\left(\frac{F_H/2 + R_r}{2}\right)^2 + (W_x + F_V)^2} \cdot L_1$$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H/2 + R_r}{2}\right)^2 + (W_x + F_V)^2}$$

ここで、

M：曲げモーメント (kN・m)

Q：せん断力 (kN)

W_x ：扉体自重 (kN)

F_H ：水平地震力 (kN)

F_V ：鉛直地震力 (kN)

R_r ：扉体自重反力 (kN)

L_1 ：作用点間距離 (mm)

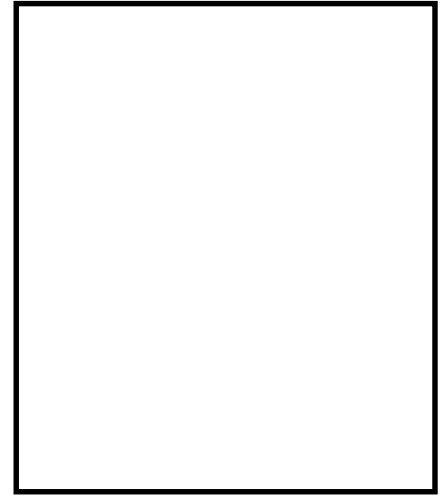


図 6.5-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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 6.5-3 に示す。

$$M = \frac{(F_H/2 + R_r) \cdot (2 \cdot L_2 - B_2)}{8}$$

$$Q = \frac{F_H/2 + R_r}{2}$$

ここで、

M：曲げモーメント (kN・m)

Q：せん断力 (kN)

F_H ：水平地震力 (kN)

R_r ：扉体自重反力 (kN)

L_2 ：軸支持間距離 (mm)

B_2 ：ブッシュ長さ (mm)



図 6.5-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトには荷重によりせん断力がかかる，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 6.5-4 に示す。

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H}{2} + R_r\right)^2 + (W_x + F_V)^2}$$

ここで，

Q：せん断力 (kN)

W_x ：扉体自重 (kN)

F_H ：水平地震力 (kN)

F_V ：鉛直地震力 (kN)

R_r ：扉体自重反力 (kN)



図 6.5-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

b. 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平地震力から，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 6.5-5 に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

ここで，

F_H ：水平地震力 (kN)

W_x ：扉体自重 (kN)

k_H ：水平震度

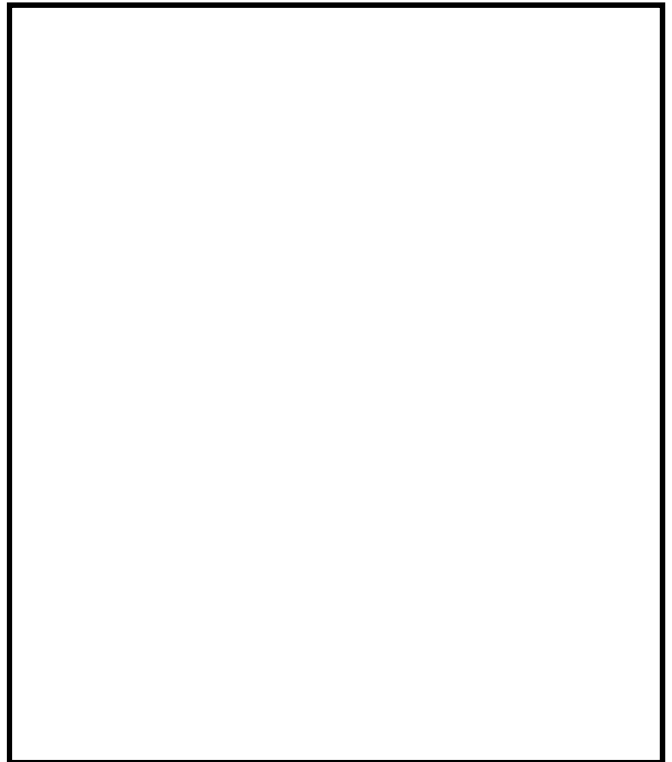


図 6.5-5 ロックバー部に生じる荷重の例

(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6.5-6に示す。

$$M = \frac{F_H}{4} \cdot L_3$$

$$Q = \frac{F_H}{4}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

L_3 : 作用点間距離 (mm)

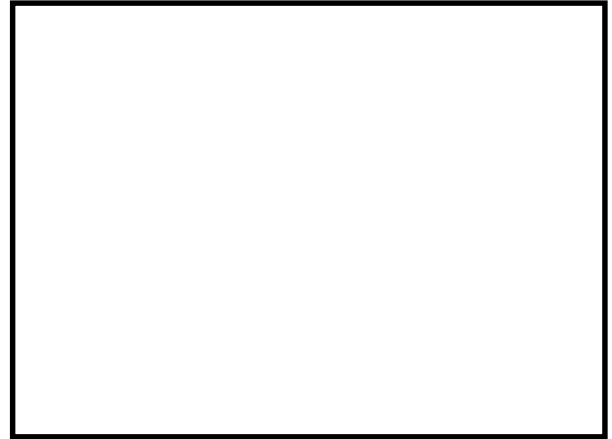


図 6.5-6 ロックバー部に生じる荷重の例

(b) ロックボルト

ロックボルトに生じる荷重は、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6.4-7に示す。

$$Q = \frac{F_H}{4}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)



図 6.5-7 ロック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. ヒンジ部

(a) ヒンジ板

ヒンジ板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、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₁ : 断面係数 (mm³)

A₁ : 断面積 (mm²)

(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を次式により算定し、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。

$$\sigma = \frac{M}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N・mm²)

τ : せん断応力度 (N・mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₂ : 断面係数 (mm³)

A₂ : 断面積 (mm²)

(c) ヒンジボルト

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

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

ここで、

τ : せん断応力度 (N・mm²)

Q : せん断力 (kN)

n_1 : 本数 (本)

A_{b1} : 1 本当たりの断面積 (mm²)

b. ロックバー部

(a) ロックバー

ロックバー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、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。

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_3}\right)^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z_3 : 断面係数 (mm³)

A_3 : 断面積 (mm²)

(b) ロックボルト

ロックボルト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。

$$\tau = \frac{Q}{n_2 \cdot A_{b2}}$$

ここで、

τ : せん断応力度 (N・mm²)

Q : せん断力 (kN)

n_2 : 本数 (本)

A_{b2} : 1 本当たりの断面積 (mm²)

6.6 計算条件

「6.5 計算方法」用いる評価条件を表 6.6-1 に示す。

表 6.6-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		k_H	—	水平方向設計震度	
		k_V	—	鉛直方向設計震度	
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	L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
		A_1	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_2	mm ³	断面係数	
		A_2	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト	n_1	本	本数	
A_{b1}		mm ²	1本当たりの断面積 (M16)		
ロックバー		L_3	mm	作用点間距離	
		Z_3	mm ³	断面係数	
		A_3	mm ²	断面積	
ロックボルト		n_2	本	本数	
		A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	

6.7 評価結果

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の評価結果を表 6.6-1 表に示す。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 6.6-1 表 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 ／許容限界値
原子炉建屋 付属棟北側 水密扉 2	ヒンジ部	板	67	205	0.33
		ピン*	14	345	0.04
		ヒンジボルト	20	118	0.17
	ロックバー部	ロックバー	3	345	0.01
		ロックボルト	3	118	0.03

注記 * :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

7. 原子炉建屋付属棟東側水密扉

7.1 評価部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに、扉の開閉状況を考慮のうえ地震荷重を設定する。

水密扉に生じる地震力（水平、鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は、ヒンジ及びカンヌキから、ボルトを介して扉枠に伝達し、アンカーを介して躯体に伝達しているため、評価部位をヒンジ、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトとする。

原子炉建屋付属棟東側水密扉構造図を図7.1-1、水密扉閉鎖時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位及び水密扉開放時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図7.1-2及び図7.1-3に示す。

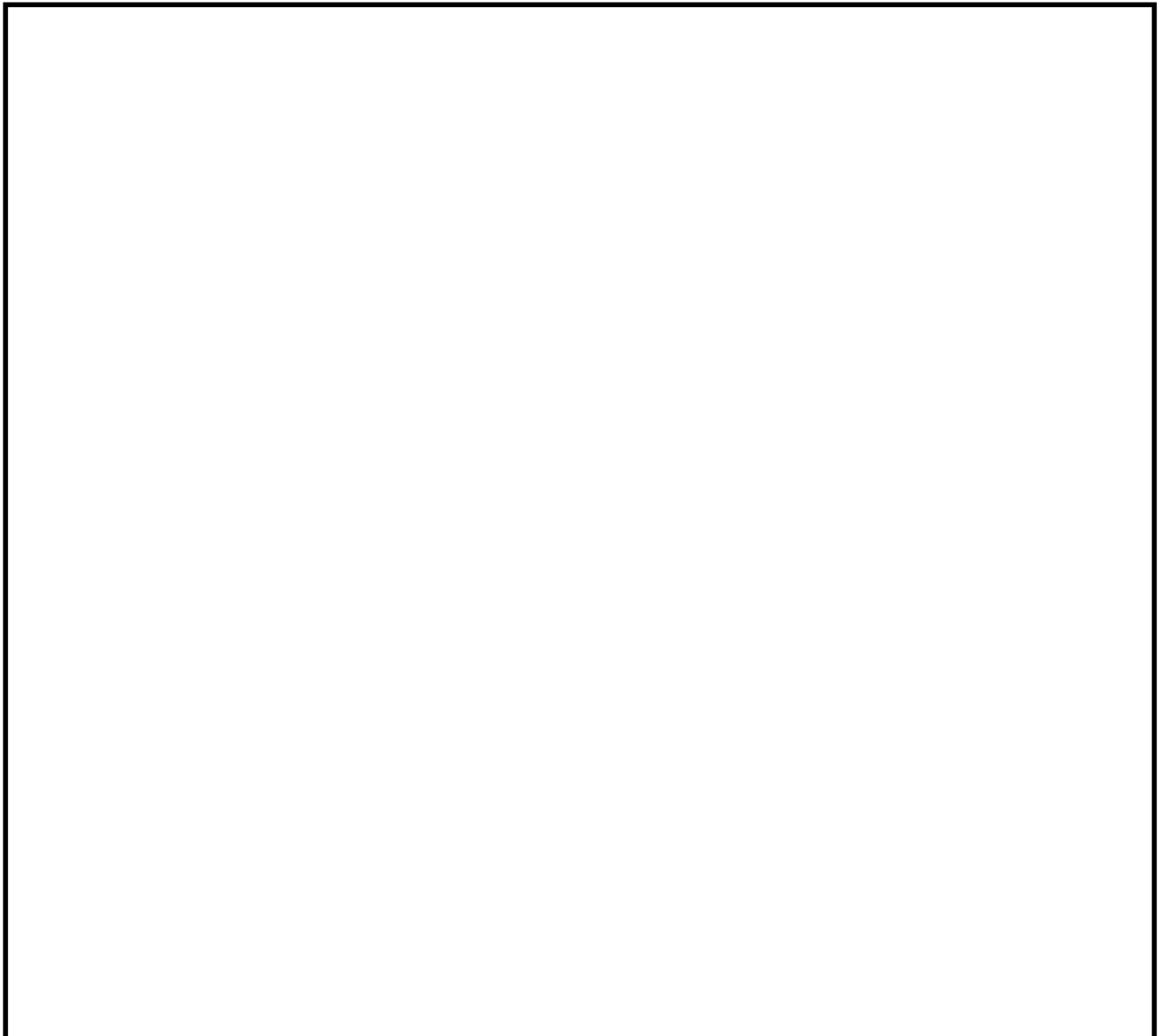


図 7.1-1 原子炉建屋付属棟東側水密扉構造図

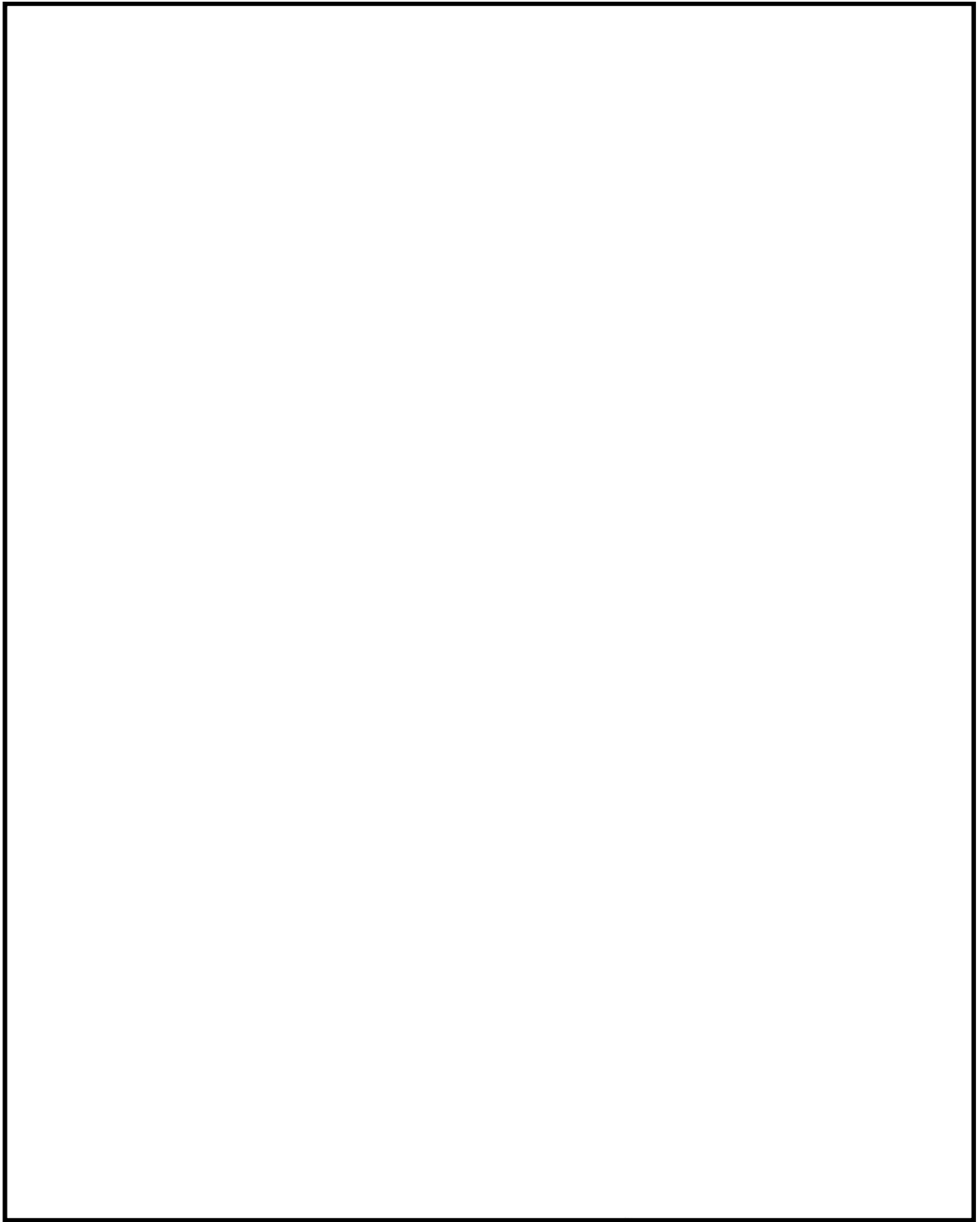


図 7.1-2 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋付属棟東側水密扉）

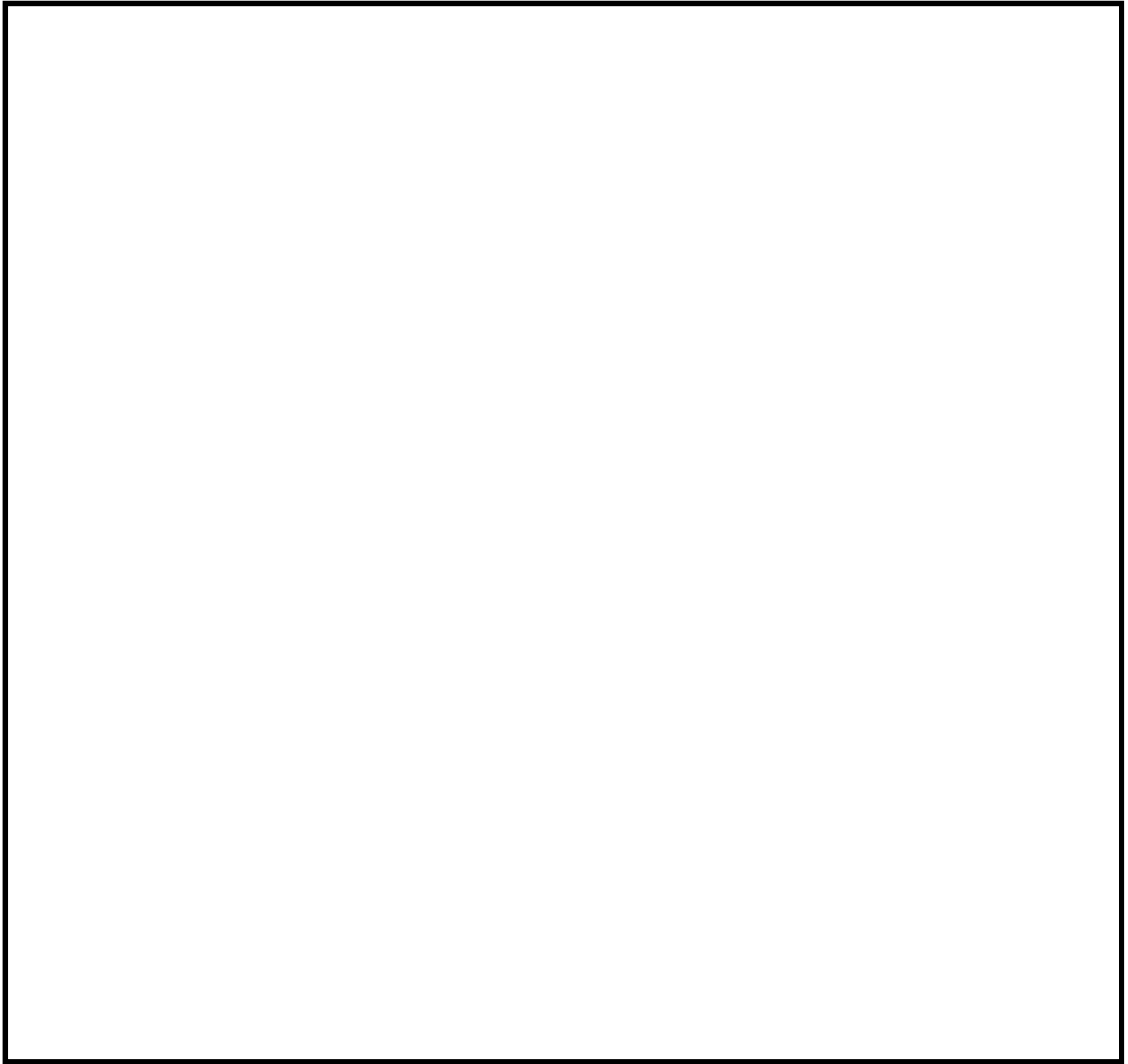


図 7.1-3 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋付属棟東側水密扉）

7.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表7.2-1に示す。

表7.2-1 水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
原子炉建屋付属棟東側水密扉	58.84

b. 地震荷重 (K_S)

地震荷重として、基準地震動 S_S に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K$$

ここで、

K_S : 地震荷重 (kN)

G : 水密扉の固定荷重 (kN)

K : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、絶対和法により評価する。

(2) 荷重の組合せ

原子炉建屋水密扉の荷重の組合せを表7.2-2に示す。

表7.2-2 水密扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
原子炉建屋付属棟東側水密扉	$G + K_S$

G : 固定荷重

K_S : 地震荷重

7.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料及び許容限界

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、カンヌキ部の使用材料及び許容限界を表7.3-1及び表7.3-2に示す。

表7.3-1 使用材料（原子炉建屋付属棟東側水密扉）

部位		材質	仕様 (mm)
扉板			
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
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		

表7.3-2 使用材料（原子炉建屋付属棟東側水密扉）

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *1	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) *1	215	124
SS400 (100 < t) *1	205	118
SUS304 *2	205 *3	118
SCM440 *4	686 *5	396
S45C *6	345 *7	199
SCM435 *4	651 *5	375

注記 *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: 引張りの短期許容応力度についても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。

*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 3 : 2012 機械構造用合金鋼鋼材」に基づく。

*5: 引張りの短期許容応力度についても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。

*6: 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。

*7: 引張りの短期許容応力度についても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。

7.4 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7.4-1に示す。

表7.4-1 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 (m)	地震による設計震度	
		基準地震動 S_s	原子炉建屋 1 階 EL. 8. 2
		鉛直方向 C_V^*	0. 99

注記 * : 設置階の上階 (原子炉建屋2階 : EL. 14.0m) の値を示す。

7.5 計算方法

(1) 荷重算定

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力 (鉛直地震力を含む) から、各部材に発生する荷重を算定する。風荷重はヒンジ部に影響を及ぼさないことから除外する。ヒンジ部に生じる荷重の例を図7.5-1に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

$$F_V = W_x \cdot k_V$$

$$R_r = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

k_H : 水平方向設計震度

k_V : 鉛直方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

R_t : 扉体厚方向自重反力 (kN)

L_r : 扉体重心 (幅方向) ~ ヒンジ芯間距離 (m)

L_t : 扉体重心 (厚方向) ~ ヒンジ芯間距離 (m)

L_j : ヒンジ間距離 (m)

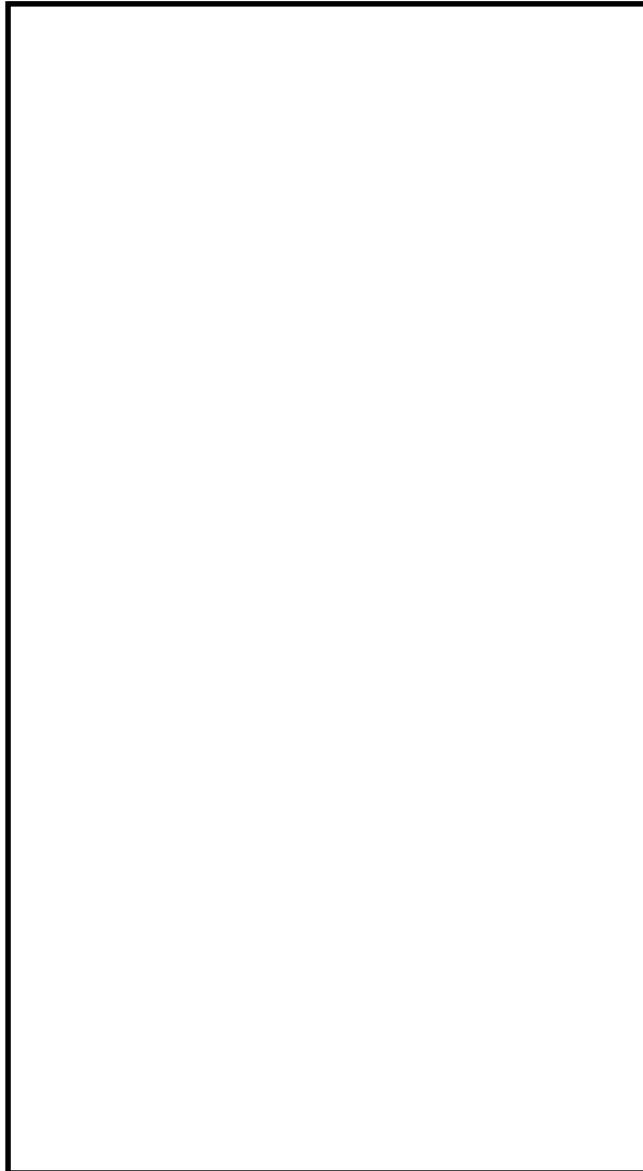


図7.5-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジアームに生じる荷重の例を図7.5-2に示す。

$$M = (W_x + F_v) \cdot L$$

$$Q = W_x + F_v$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_v : 鉛直地震力 (kN)

L : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)



図7.5-2 ヒンジアームに生じる荷重の例

(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7.5-3に示す。

$$M = \frac{\sqrt{(R_r + F_H/2)^2 + R_t^2}}{2} \cdot L$$

$$Q = \frac{\sqrt{(R_r + F_H/2)^2 + R_t^2}}{2}$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (kN・m)
- F_H : 水平地震力 (kN)
- R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)
- R_t : 扉体厚方向自重反力 (kN)
- L : 軸支持間距離 (mm)
- Q : せん断力 (kN)

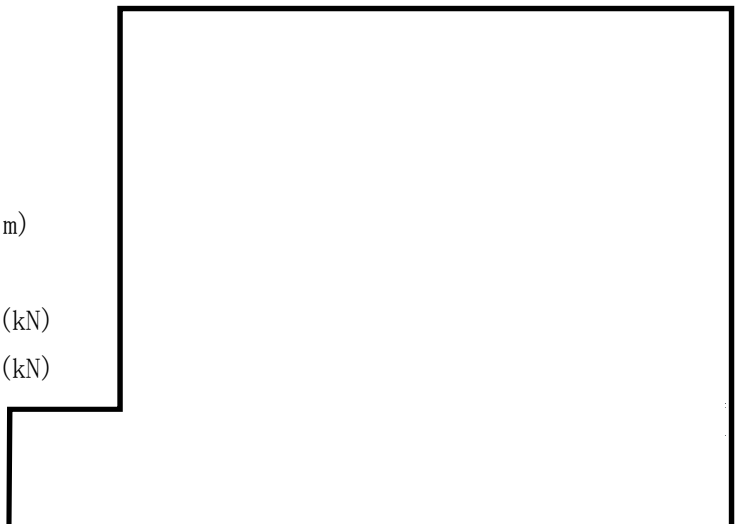


図 7.5-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる荷重は、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7.4-4に示す。

$$Q = \sqrt{\left(\frac{R_r + F_H/2}{2}\right)^2 + (W_x + F_V)^2}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

図 7.5-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

b. カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び風荷重から、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7.5-5に示す。尚、風荷重はカンヌキ部へは発生しない。

$$F_H = W_x \cdot K_H$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

K_H : 水平方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)

図 7.5-5 カンヌキ部に生じる荷重の例

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図7.4-6に示す。

$$M = \frac{F_H}{n} \cdot L_b$$

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数

L_b : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)

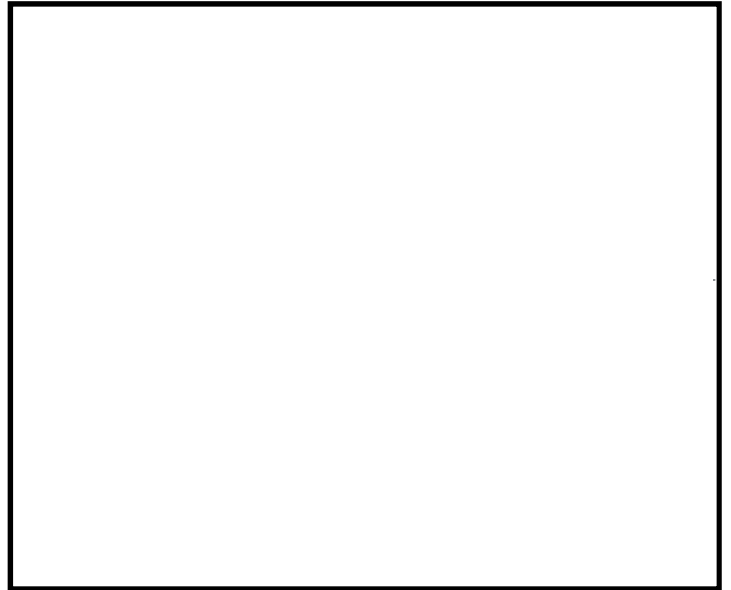


図 7.5-6 カンヌキに生じる荷重の例

(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7.5-7に示す。

$$M = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H}{n} \cdot L_p$$

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数

L_p : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)



図 7.5-7 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7.5-8に示す。

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

ここで、

T : 引張力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数



図7.5-8 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. ヒンジ

(a) ヒンジアーム

ヒンジアーム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、ヒンジアームの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで、

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

A : 断面積 (mm²)

(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から、組合せ応力度を次式により算定し、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。

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

ここで、

- σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : 断面積 (mm²)

b. 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。

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

ここで、

- σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : 断面積 (mm²)

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、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。

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

$$\tau = \frac{Q}{2 \cdot A} \dots \dots \dots (2\text{面せん断})$$

ここで、

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : 断面積 (mm²)

c. ボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度及びカンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{n \cdot A_b}$$

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

ここで、

τ :せん断応力度 (N/mm²)

Q :せん断力 (kN)

n :本数 (本)

A_b :1本当たりの断面積 (mm²)

σ_T :引張応力度 (N/mm²)

T :引張力 (kN)

n :本数 (本)

A_b :1本当たりの断面積 (mm²)

7.6 計算条件

「7.5 計算方法」に用いる評価条件を表7.6-1に示す。

表7.6-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		$K_H \cdot K_V$	-	水平方向設計震度	
				鉛直方向設計震度	
ヒンジ部	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離（幅方向）	
		L_t	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離（厚方向）	
		L_j	m	ヒンジ間距離	
	ヒンジアーム	L	mm	作用点間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
ヒンジ部	ヒンジピン	L	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト	n	本	本数	
		A_b	mm ²	断面積	
カンヌキ部	カンヌキ	L_b	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
カンヌキ部	カンヌキ受けボルト	n	本	本数	
		A_b	mm ²	断面積	

7.7 評価結果

原子炉建屋付属棟東側水密扉の評価結果を表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 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 /許容限界値
原子炉建屋 付属棟東側 水密扉	ヒンジ部	ヒンジアーム	123	205	0.60
		ヒンジピン	47	686	0.07
		ヒンジボルト	56	375	0.15
	カンヌキ部	カンヌキ	97	205	0.48
		カンヌキ受けピン*	279	686	0.41
		カンヌキ受けボルト	36	375	0.06

注記 *：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

8. 原子炉建屋付属棟南側水密扉

8.1 評価部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに、扉の開閉状況を考慮のうえ地震荷重を設定する。

水密扉に生じる地震力（水平、鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は、ヒンジ及びロックバーから、ボルトを介して扉枠に伝達し、アンカーを介して躯体に伝達しているため、評価部位をヒンジ（板及びピン）、ロックバー、ヒンジボルト及びロックボルトとする。

原子炉建屋付属棟南側水密扉の構造図を図8.1-1、水密扉閉鎖時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位及び水密扉開放時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図8.1-2及び図8.1-3に示す。

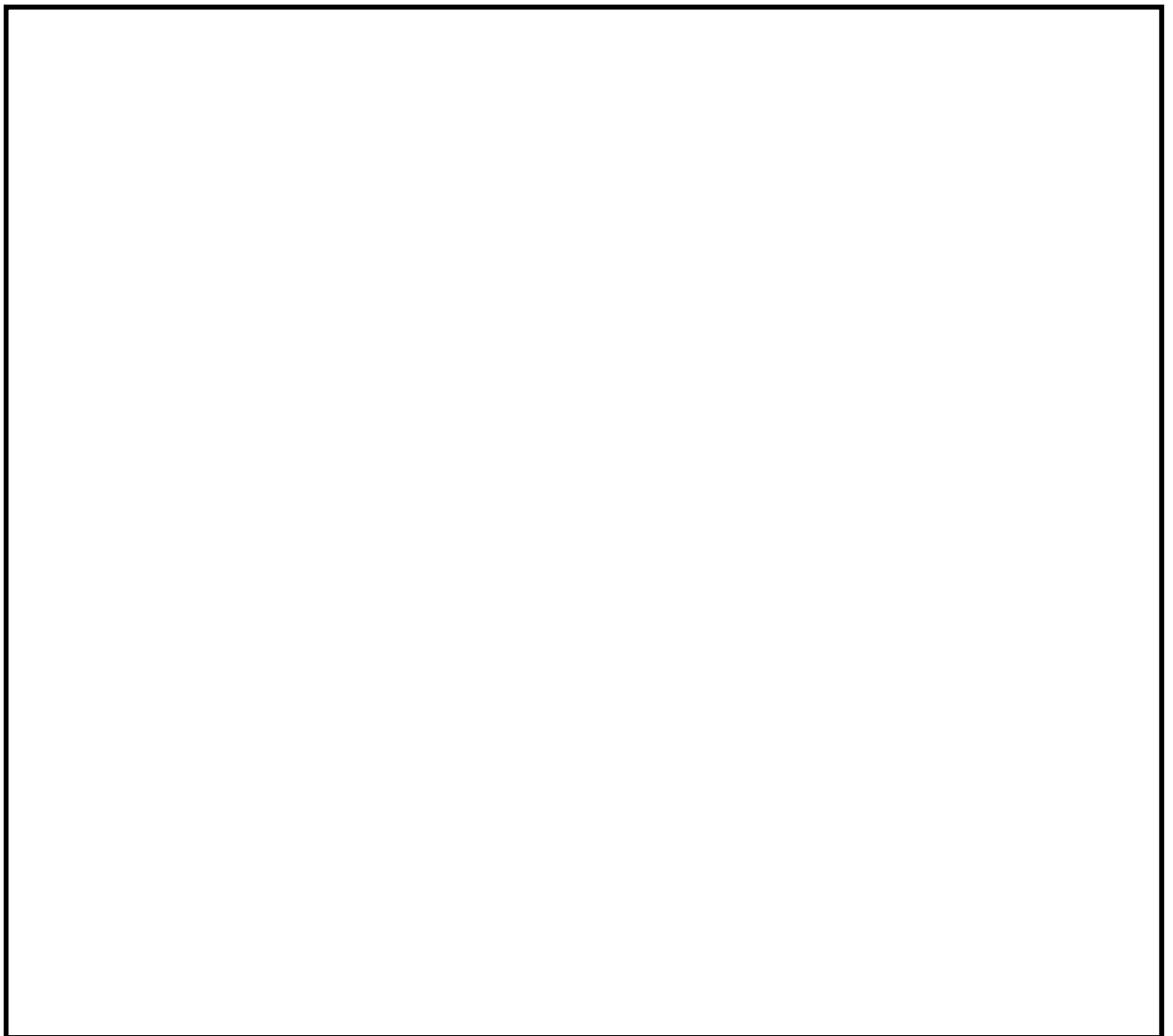


図8.1-1 原子炉建屋付属棟南側水密扉構造図



図 8.1-2 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋付属棟南側水密扉）

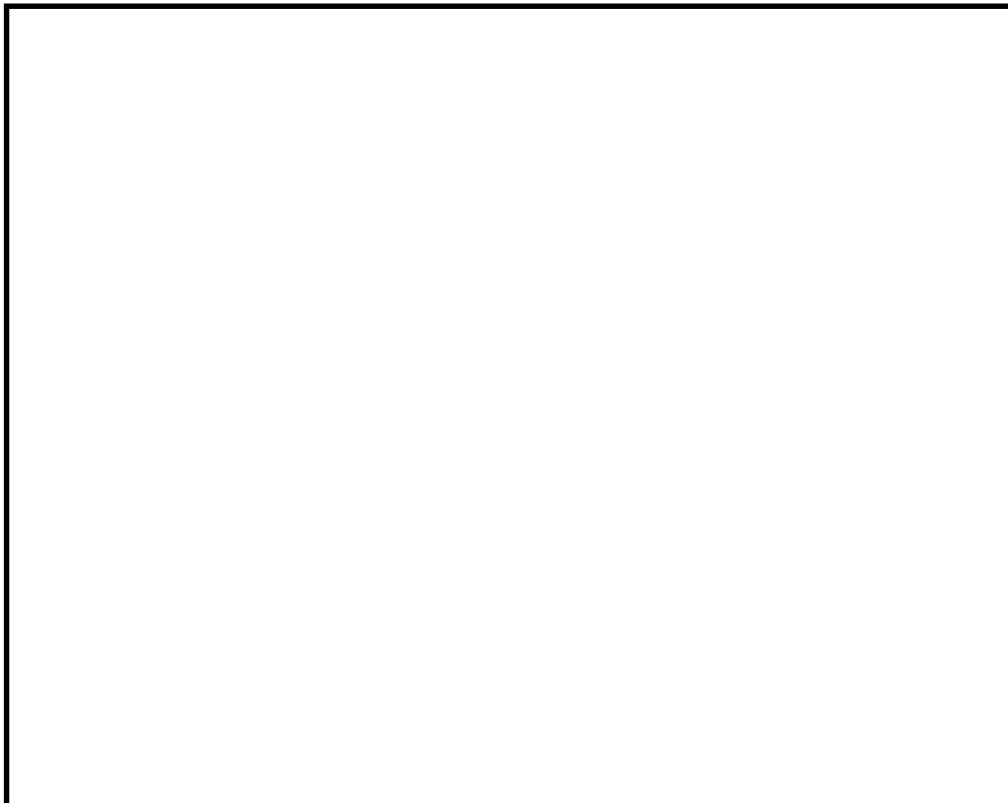


図 8.1-3 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋付属棟南側水密扉）

8.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表8.2-1に示す。

表8.2-1 水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
原子炉建屋付属棟南側水密扉	8.85

b. 地震荷重 (K_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K$$

ここで、

K_s : 地震荷重 (kN)

G : 水密扉の固定荷重 (kN)

K : 設計用地震力

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、絶対和法により評価する。

(2) 荷重の組合せ

原子炉建屋水密扉の荷重の組合せを表8.2-2に示す。

表8.2-2 水密扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
原子炉建屋付属棟南側水密扉	$G + K_s$

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

8.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料及び許容限界

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、ロックバー部の使用材料及び許容限界を表8.3-1及び表8.3-2に示す。

表8.3-1 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		
ロックバー			
ロックボルト			

表8.3-2 使用材料（原子炉建屋付属棟南側水密扉）

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *1	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) *1	215	124
SUS304*2	205	118
SUS304N2*2	345	199

注記 *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版及び鋼帯」及び「J I S G 4 3 1 7 : 2013 熱間成形ステンレス鋼版鋼」に基づく。

8.4 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8.4-1に示す。

表8.4-1 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 (m)	地震による設計震度	
		基準地震動 S_s	原子炉建屋 1 階 EL. 8. 2
		鉛直方向 C_V^*	0. 99

注記 * : 設置階の上階 (原子炉建屋2階 : EL. 14. 0m) の値を示す。

8.5 計算方法

(1) 荷重算定

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力 (鉛直地震力を含む) 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8.5-1に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

$$F_V = W_x \cdot k_V$$

$$R_r = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

k_H : 水平方向設計震度

k_V : 鉛直方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体自重反力 (kN)

L_r : 扉体重心～ヒンジ中心間距離 (m)

L_j : ヒンジ中心間距離 (m)

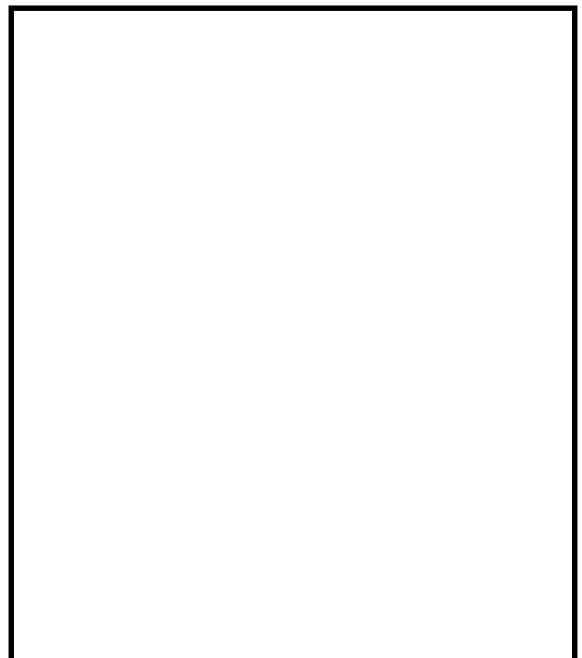


図 8.5-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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 8.5-2 に示す。

$$M = \sqrt{\left(\frac{F_H/2 + R_r}{2}\right)^2 + (W_x + F_V)^2} \cdot L_1$$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H/2 + R_r}{2}\right)^2 + (W_x + F_V)^2}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体自重反力 (kN)

L_1 : 作用点間距離 (mm)

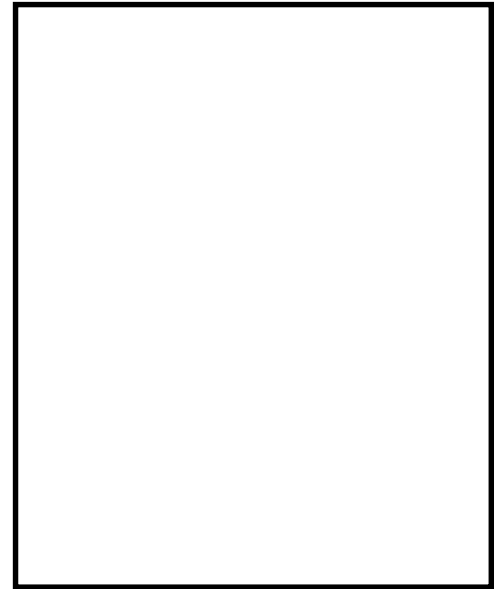


図 8.5-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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 8.5-3 に示す。

$$M = \frac{(F_H/2 + R_r) \cdot (2 \cdot L_2 - B_2)}{8}$$

$$Q = \frac{F_H/2 + R_r}{2}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

R_r : 扉体自重反力 (kN)

L_2 : 軸支持間距離 (mm)

B_2 : ブッシュ長さ (mm)

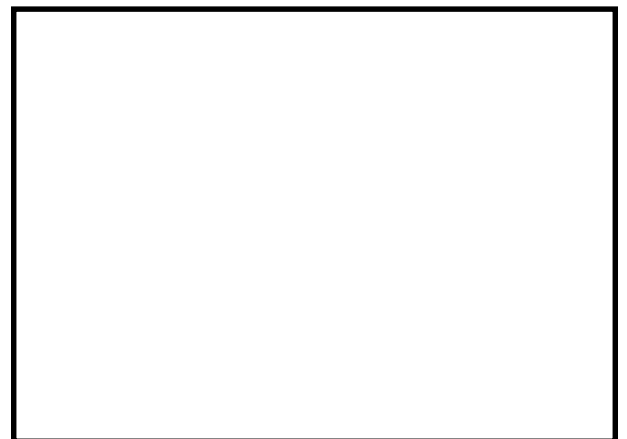


図 8.5-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトには荷重によりせん断力がかかる，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 8.5-4 に示す。

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H}{2} + R_r\right)^2 + (W_x + F_V)^2}$$

ここで，

Q：せん断力 (kN)

W_x ：扉体自重 (kN)

F_H ：水平地震力 (kN)

F_V ：鉛直地震力 (kN)

R_r ：扉体自重反力 (kN)

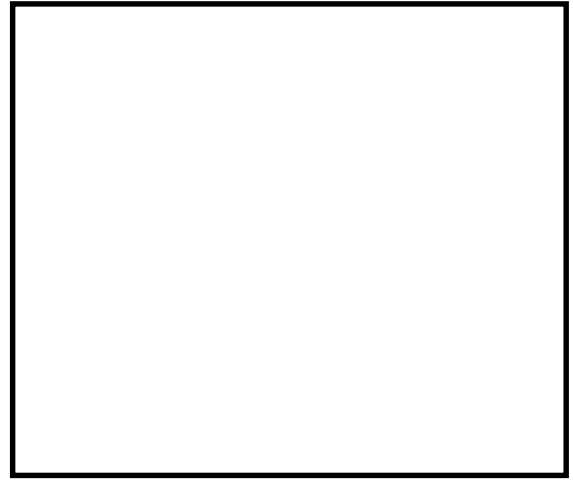


図 8.5-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

b. 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平地震力から，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 8.5-5 に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

ここで，

F_H ：水平地震力 (kN)

W_x ：扉体自重 (kN)

k_H ：水平方向設計震度

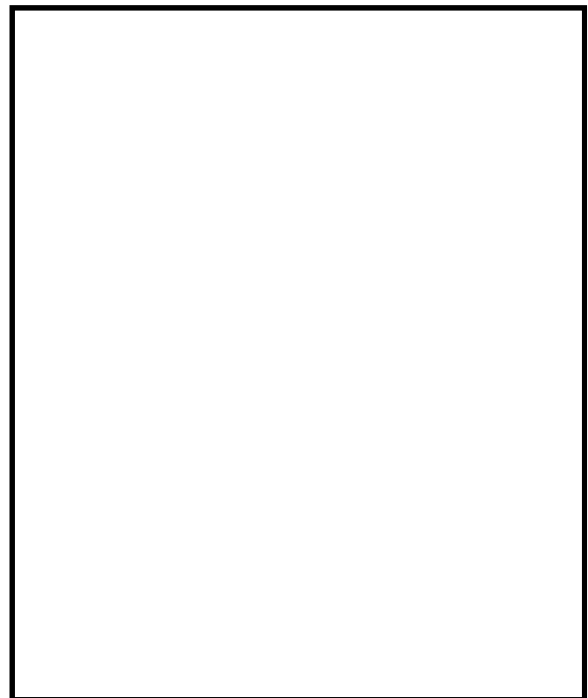


図 8.5-5 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 8.5-6 に示す。

$$M = \frac{F_H}{6} \cdot L_3$$

$$Q = \frac{F_H}{6}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

L_3 : 作用点間距離 (mm)

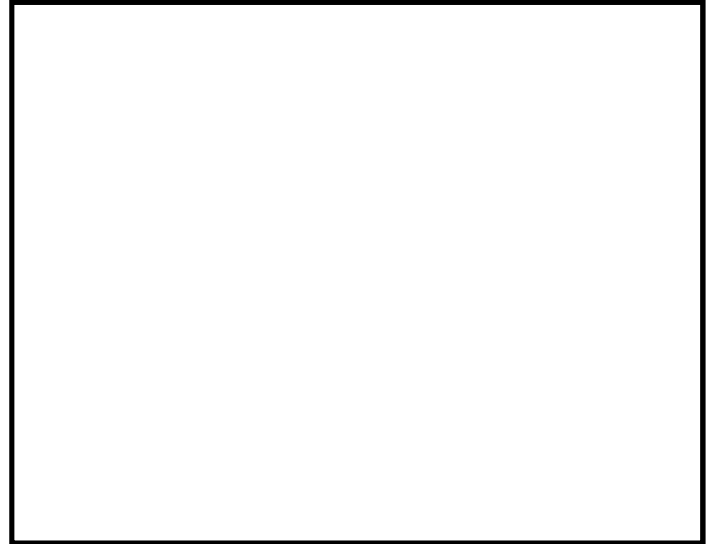


図 8.5-6 ロックバー部に生じる荷重の例

(b) ロックボルト

ロックボルトに生じる荷重は、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 8.5-7 に示す。

$$Q = \frac{F_H}{6}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

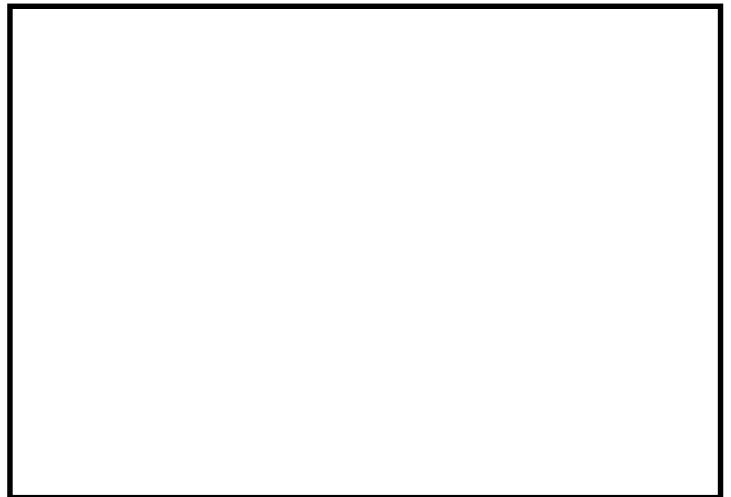


図 8.5-7 ロックボルトに生じる荷重の例

(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. ヒンジ部

(a) ヒンジ板

ヒンジ板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、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₁ : 断面係数 (mm³)

A₁ : 断面積 (mm²)

(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を次式により算定し、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。

$$\sigma = \frac{M}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N・mm²)

τ : せん断応力度 (N・mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₂ : 断面係数 (mm³)

A₂ : 断面積 (mm²)

(c) ヒンジボルト

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

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

ここで、

- τ : せん断応力度 (N・mm²)
- Q : せん断力 (kN)
- n_1 : 本数 (本)
- A_{b1} : 1本当たりの断面積 (mm²)

b. ロックバー部

(a) ロックバー

ロックバー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，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。

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_3}\right)^2}$$

ここで，

- σ : 組合せ応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z_3 : 断面係数 (mm³)
- A_3 : 断面積 (mm²)

(b) ロックボルト

ロックボルト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。

$$\tau = \frac{Q}{n_2 \cdot A_{b2}}$$

ここで，

- τ : せん断応力度 (N・mm²)
- Q : せん断力 (kN)
- n_2 : 本数 (本)
- A_{b2} : 1本当たりの断面積 (mm²)

8.6 計算条件

「8.5 計算方法」用いる評価条件を表 8.6-1 に示す。

表 8.6-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		k_H	—	水平方向設計震度	
		k_V	—	鉛直方向設計震度	
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	L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
		A_1	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_2	mm ³	断面係数	
		A_2	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト	n_1	本	本数	
A_{b1}		mm ²	1本当たりの断面積 (M16)		
ロックバー	L_3	mm	作用点間距離		
	Z_3	mm ³	断面係数		
	A_3	mm ²	断面積		
ロックボルト	n_2	本	本数		
	A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)		

8.7 評価結果

原子炉建屋付属棟南側水密扉の評価結果を表 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 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 /許容限界値
原子炉建屋 付属棟南側 水密扉	ヒンジ部	板	127	205	0.62
		ピン*	28	345	0.09
		ヒンジボルト	36	118	0.31
	ロックバー部	ロックバー	3	345	0.01
		ロックボルト	3	118	0.03

注記 * : 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

9. 原子炉建屋付属棟西側水密扉

9.1 評価部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに、扉の開閉状況を考慮のうえ地震荷重を設定する。

水密扉に生じる地震力（水平、鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は、ヒンジ及びカンヌキから、ボルトを介して扉枠に伝達し、アンカーを介して躯体に伝達しているため、評価部位をヒンジ、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトとする。

原子炉建屋原子炉建屋付属棟西側水密扉構造図を図9.1-1、水密扉閉鎖時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位及び水密扉開放時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図9.1-2及び図9.1-3に示す。

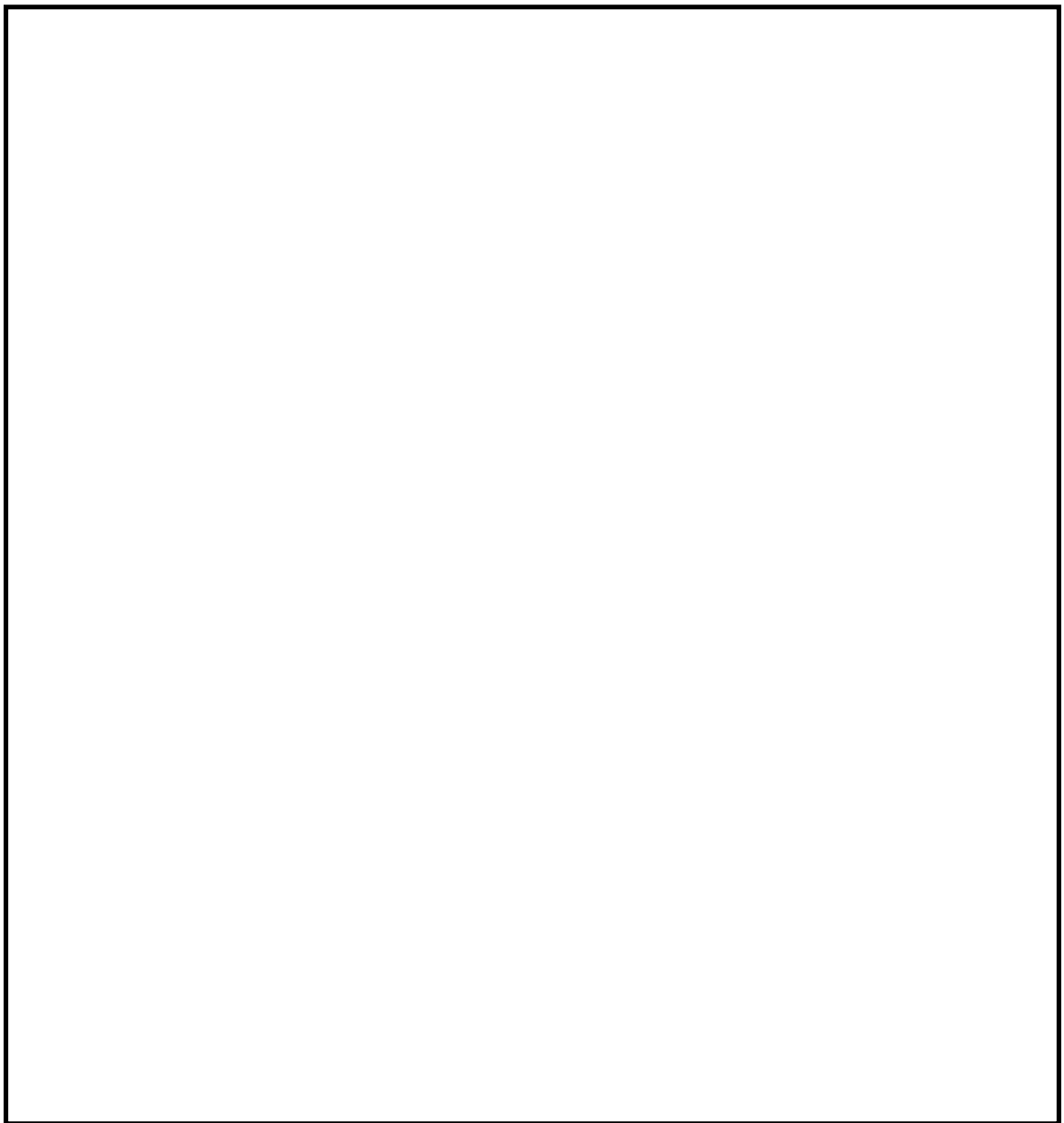


図9.1-1 原子炉建屋付属棟西側水密扉構造図

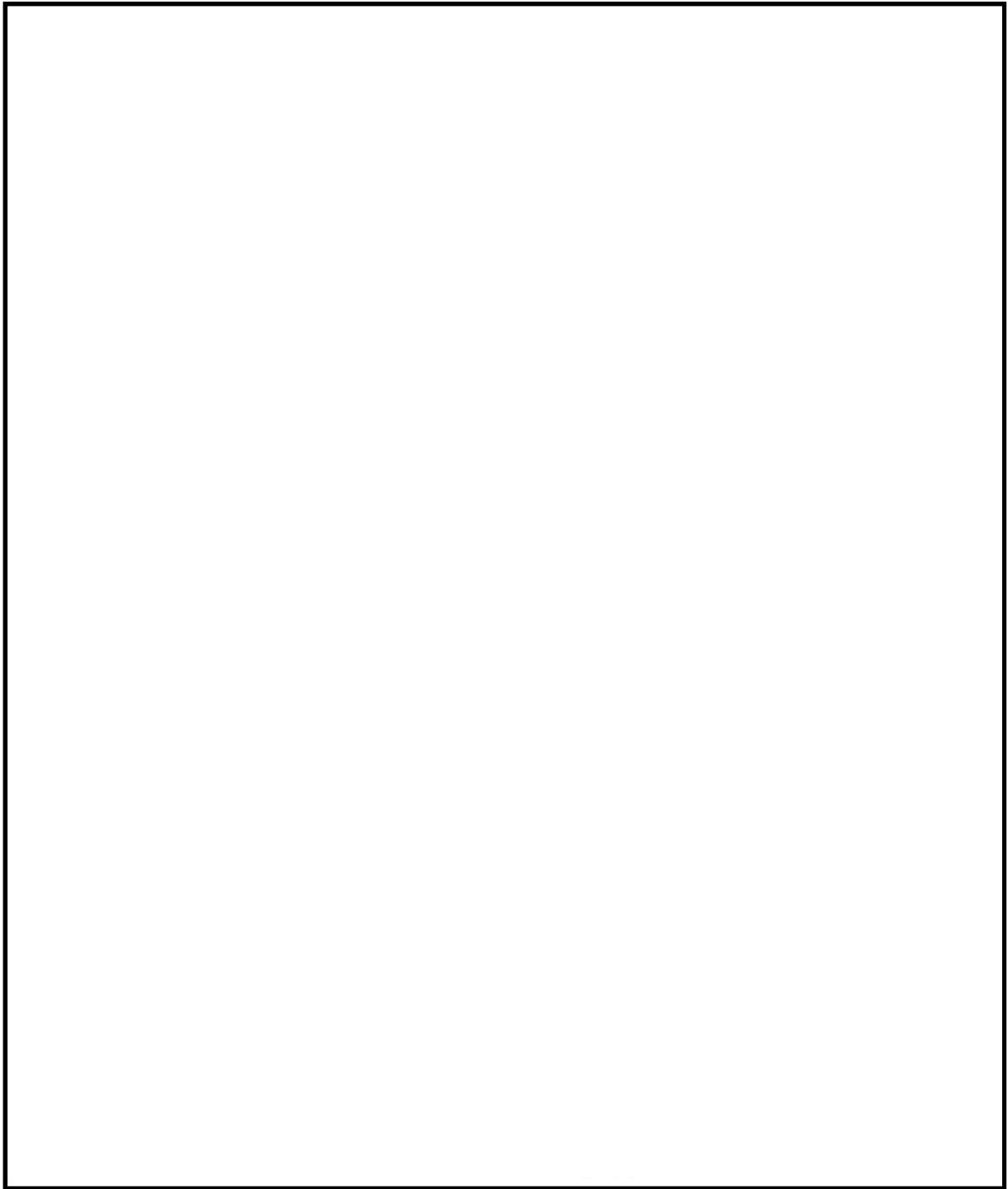


図 9.1-2 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋附属棟西側水密扉）

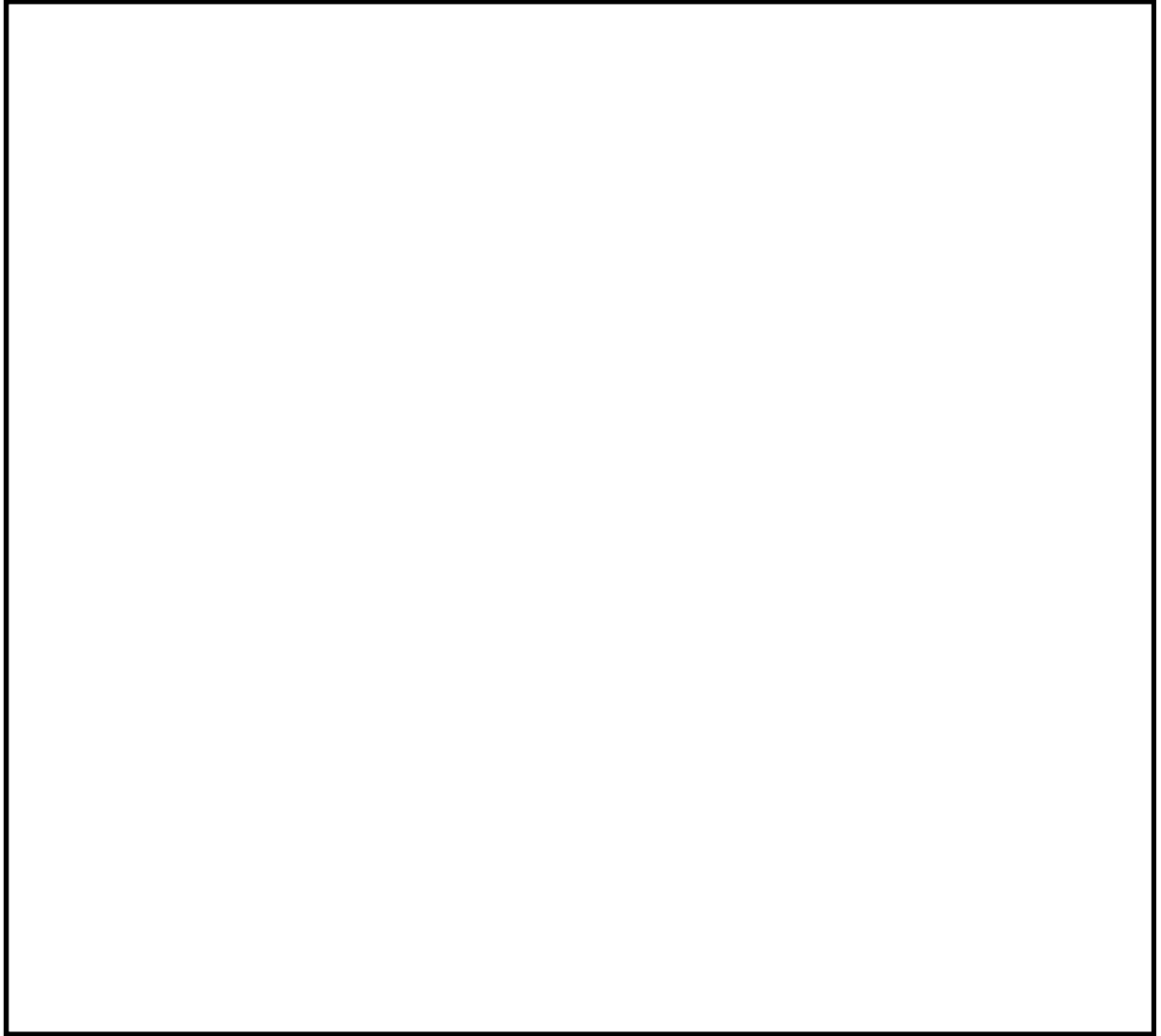


図 9.1-3 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（原子炉建屋付属棟西側水密扉）

9.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表9.2-1に示す。

表9.2-1 水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
原子炉建屋付属棟西側水密扉	10.30

b. 地震荷重 (K_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K$$

ここで、

K_s : 地震荷重 (kN)

G : 水密扉の固定荷重 (kN)

K : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、絶対和法により評価する。

(2) 荷重の組合せ

水密扉の荷重の組合せを表9.2-2に示す。

表9.2-2 水密扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
原子炉建屋付属棟西側水密扉	$G + K_s$

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

9.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料及び許容限界

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、カンヌキ部の使用材料及び許容限界を表9.3-1及び表9.3-2に示す。

表9.3-1 使用材料

部位		材質	仕様 (mm)
扉板			
芯材			
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
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		

表 9.3-2 許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *1	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) *1	215	124
SUS304*2	205*3	118
SCM440*4	686*5	396
SCM435*4	651*5	375
S45C*6	345*7	199

注記 *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 4304 : 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: 引張りの短期許容応力度についても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 4304 : 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。

*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 3 : 2012 機械構造用合金鋼鋼材」に基づく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。

*5: 引張りの短期許容応力度についても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。

*6: 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。

*7: 引張りの短期許容応力度についても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。

9.4 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9.4-1に示す。

表9.4-1 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 (m)	地震による設計震度	
		基準地震動 S_s	原子炉建屋 1 階 EL. 8.2
		鉛直方向 C_V^*	0.99

注記 * : 設置階の上階 (原子炉建屋2階 : EL. 14.0m) の値を示す。

9.5 計算方法

(1) 荷重算定

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力 (鉛直地震力を含む) 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9.5-1に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

$$F_V = W_x \cdot k_V$$

$$R_r = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

k_H : 水平方向設計震度

k_V : 鉛直方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

R_t : 扉体厚方向自重反力 (kN)

L_r : 扉体重心 (幅方向) ~ ヒンジ芯間距離 (m)

L_t : 扉体重心 (厚方向) ~ ヒンジ芯間距離 (m)

L_j : ヒンジ間距離 (m)

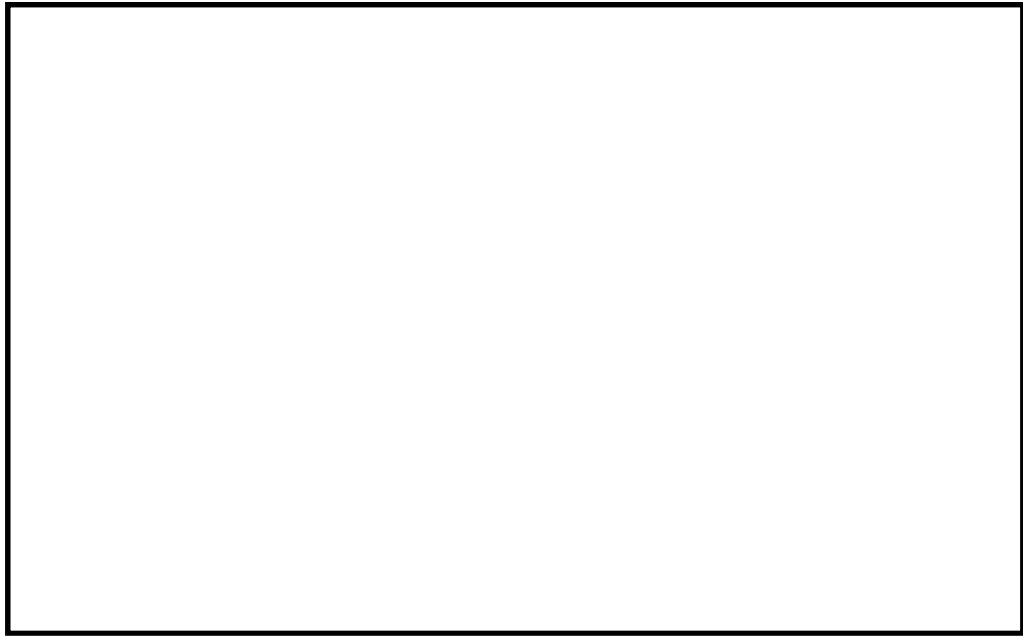


図9.5-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジアームに生じる荷重の例を図9.5-2に示す。

$$M = (W_x + F_v) \cdot L$$

$$Q = W_x + F_v$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_v : 鉛直地震力 (kN)

L : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)



図9.5-2 ヒンジアームに生じる荷重の例

(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9.5-3に示す。

$$M = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L$$

$$Q = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

F_H : 水平地震力 (kN)

R : 扉体自重反力 (kN)

L : 軸支持間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)

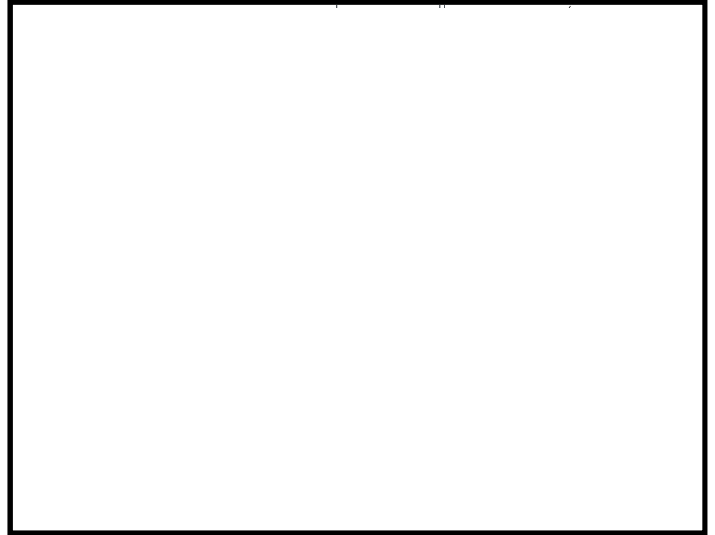


図9.5-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる荷重は、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9.5-4に示す。

$$Q = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_x + F_V)^2}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R : 扉体自重反力 (kN)

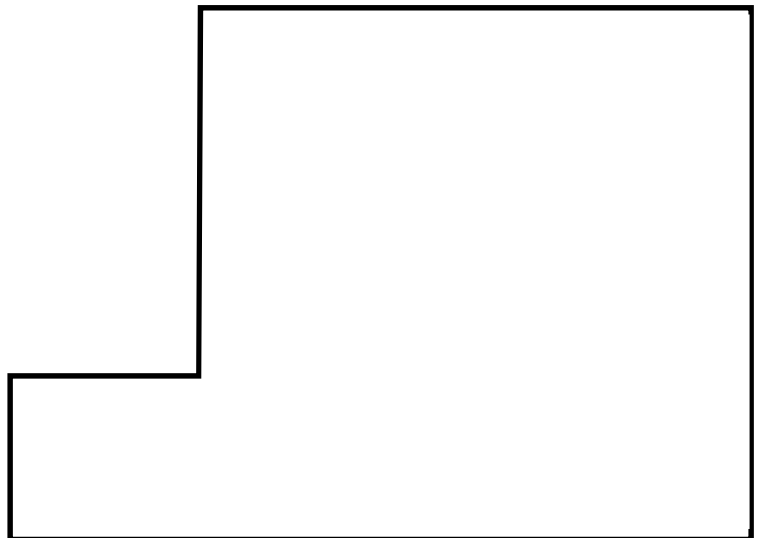


図9.5-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

b. カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力から、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9.5-5に示す。

$$F_H = W_X \cdot K_H$$

ここで、

W_X : 扉体自重 (kN)

K_H : 水平方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)



図9.5-5 カンヌキ部に生じる荷重の例

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図9.5-6に示す。

$$M = \frac{F_H}{n} \cdot L_b$$

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数

L_b : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)

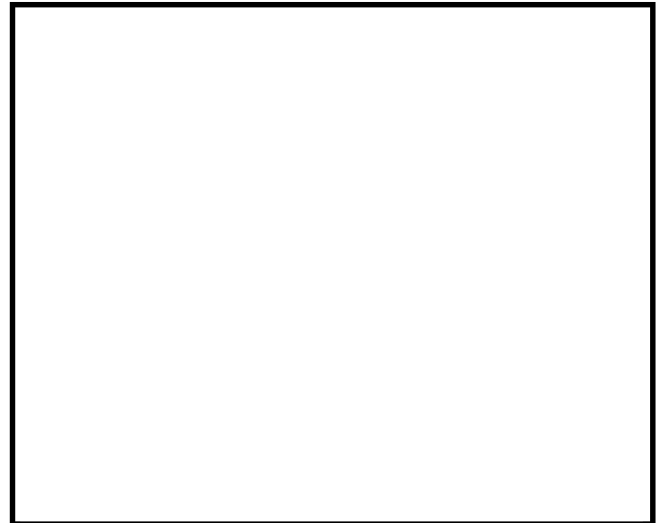


図9.5-6 カンヌキに生じる荷重の例

(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9.5-7に示す。

$$M = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H}{n} \cdot L_p$$

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数

L_p : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)



図9.5-7 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9.5-8に示す。

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

ここで、

T : 引張力 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : カンヌキの本数

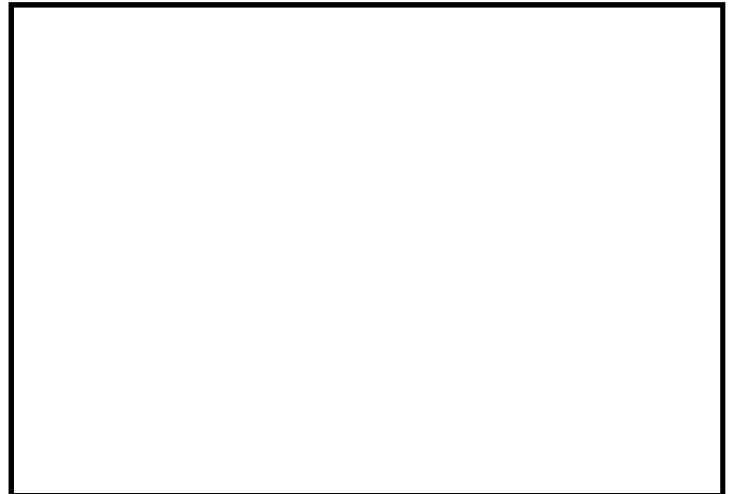


図9.5-8 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(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. ヒンジ

(a) ヒンジアーム

ヒンジアーム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、ヒンジアームの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで、

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

A : 断面積 (mm²)

(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から、組合せ応力度を次式により算定し、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。

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

ここで、

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

A : 断面積 (mm²)

b. 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。

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

ここで、

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 M : 曲げモーメント (kN・m)
 Q : せん断力 (kN)
 Z : 断面係数 (mm³)
 A : 断面積 (mm²)

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、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。

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

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

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)
 M : 曲げモーメント (kN・m)
 Q : せん断力 (kN)
 Z : 断面係数 (mm³)
 A : 断面積 (mm²)

c. ボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度及びカンヌキ受けボルトに生じるせん断応力度及び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。

$$\tau = \frac{Q}{n \cdot A_b}$$

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

ここで、

τ : せん断応力度 (N/mm²)
 Q : せん断力 (kN)
 n : 本数 (本)
 A_b : 1本当たりの断面積 (mm²)
 σ_T : 引張応力度 (N/mm²)
 T : 引張力 (kN)
 n : 本数 (本)
 A_b : 1本当たりの断面積 (mm²)

9.6 計算条件

「9.5 計算方法」に用いる評価条件を表9.6-1に示す。

表9.6-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		$K_H \cdot K_V$	-	水平方向設計震度	
				鉛直方向設計震度	
ヒンジ部	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離（幅方向）	
		L_t	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離（厚方向）	
		L_j	m	ヒンジ間距離	
	ヒンジアーム	L	mm	作用点間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
ヒンジ部	ヒンジピン	L	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト	n	本	本数	
		A	mm ²	断面積	
カンヌキ部	カンヌキ	L_b	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	
		A	mm ²	断面積	
	カンヌキ受けボルト	n	本	本数	
		A_b	mm ²	断面積	

9.7 評価結果

原子炉建屋付属棟西側水密扉の評価結果を表9.7-1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9.7-1 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 /許容限界値
原子炉建屋 付属棟西側 水密扉	ヒンジ部	ヒンジアーム	69	215	0.33
		ヒンジピン	132	651	0.21
		ヒンジボルト	39	375	0.11
	カンヌキ部	カンヌキ	23	205	0.12
		カンヌキ受けピン*	84	345	0.25
		カンヌキ受けボルト	10	651	0.02

注記 *：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 評価部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに、扉の開閉状況を考慮のうえ地震荷重を設定する。

水密扉に生じる地震力（水平、鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は、ヒンジ及びロックバーから、ボルトを介して扉枠に伝達し、アンカーを介して躯体に伝達しているため、評価部位をヒンジ（板及びピン）、ロックバー、ヒンジボルト及びロックボルトとする。

立坑部水密扉1の構造図を図10.1-1、水密扉閉鎖時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位及び水密扉開放時の地震荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図10.1-2及び図10.1-3に示す。

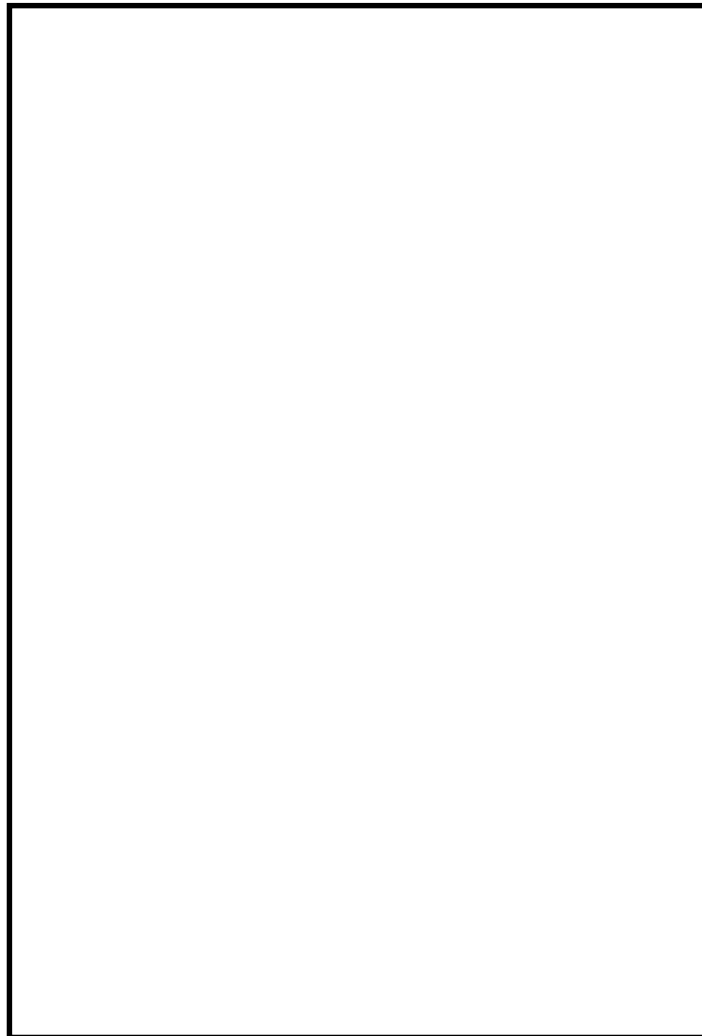


図10.1-1 立坑部水密扉構造図

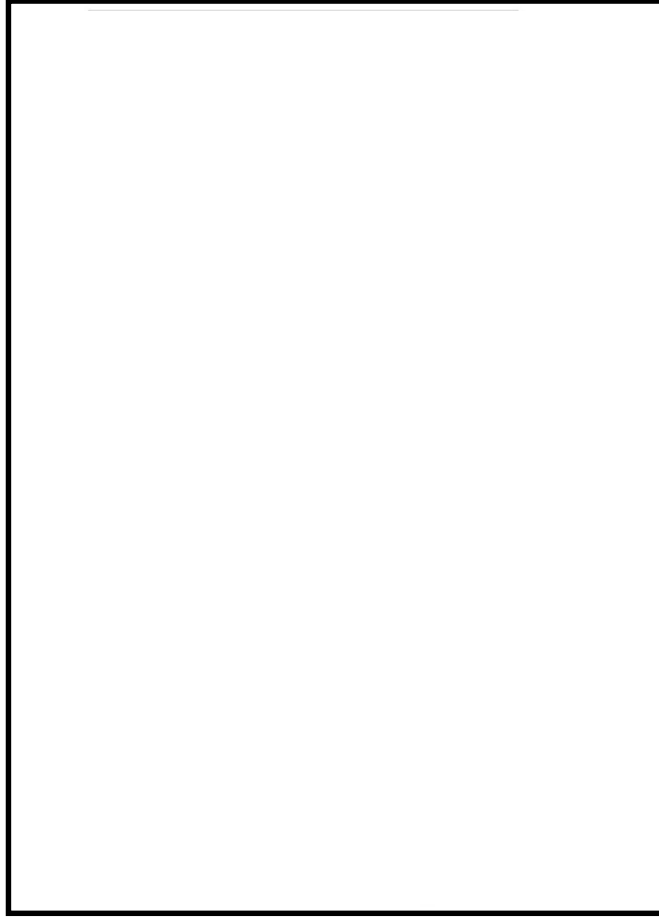


図10.1-2 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位（立坑部水密扉）

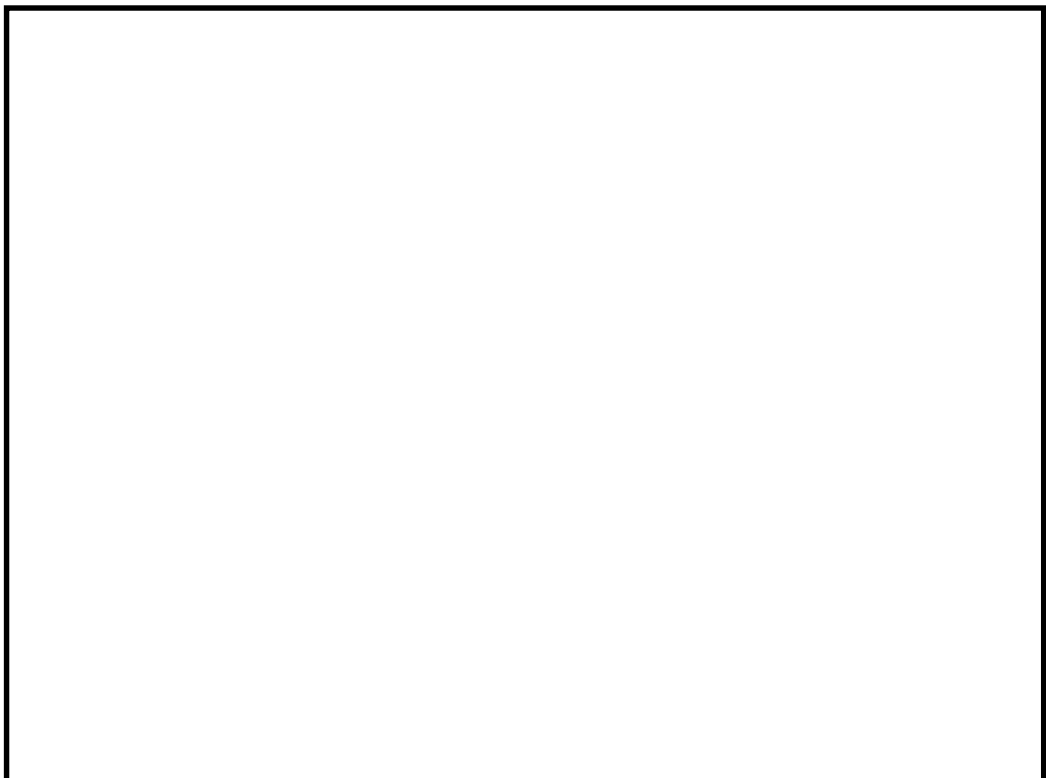


図 10.1-3 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位

10.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表10.2-1に示す。

表10.2-1 水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
立坑部水密扉	28

b. 地震荷重 (K_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K$$

ここで、

K_s : 地震荷重 (kN)

G : 水密扉の固定荷重 (kN)

K : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、絶対和法により評価する。

(2) 荷重の組合せ

水密扉の荷重の組合せを表10.2-2に示す。

表10.2-2 水密扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
立坑部水密扉	$G + K_s$

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

10.3 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえ、て設定する。

(1) 使用材料及び許容限界

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、ロックバー、ロックボルト及び支圧材の使用材料を表10.3-1に、許容限界を表10.3-2に示す。

表10.3-1 使用材料

部位		材質	仕様
扉板			
芯材	主 桁		
	中間縦桁		
	端縦桁		
ヒンジ部	ヒンジ板		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
ロックバー部	ロックバー		
	ロックボルト		
支圧材			

(2) 許容限界

- a. 扉板, 芯材, ヒンジ部, ロックバー, ロックボルト及び支圧材

扉板, 芯材, ヒンジ部, ロックバー, ロックボルト及び支圧材の許容限界は, 「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10.3-2の値とする。

表10.3-2 許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ・引張*3	せん断	支圧
SS400 (t ≤ 40) *1	235	—	—
SUS304*2	205	118	279
SUS304N2*2	345	—	—

注記 *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」に基づく。

*3: 組合せの短期許容応力度は, 引張と同じ。

10.4 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10.4-1に示す。

表10.4-1 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 (m)	地震による設計震度	
		基準地震動 S_s	原子炉建屋 1 階 EL. 8. 2
		鉛直方向 C_V^*	0. 51

注記 * : 設置階の上階の地盤高さ (常設代替高压電源装置用カルバート (立坑部) : EL. 8. 0m) の値を示す。

10.5 計算方法

(1) 荷重算定

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力 (鉛直地震力を含む) 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10.5-1に示す。

$$F_H = W_x \cdot k_H$$

$$F_V = W_x \cdot k_V$$

$$R_r = (W_x + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

k_H : 水平方向設計震度

k_V : 鉛直方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)

F_V : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

L_r : 扉体重心～ヒンジ芯間距離 (m)

L_j : ヒンジ中心間距離 (m)

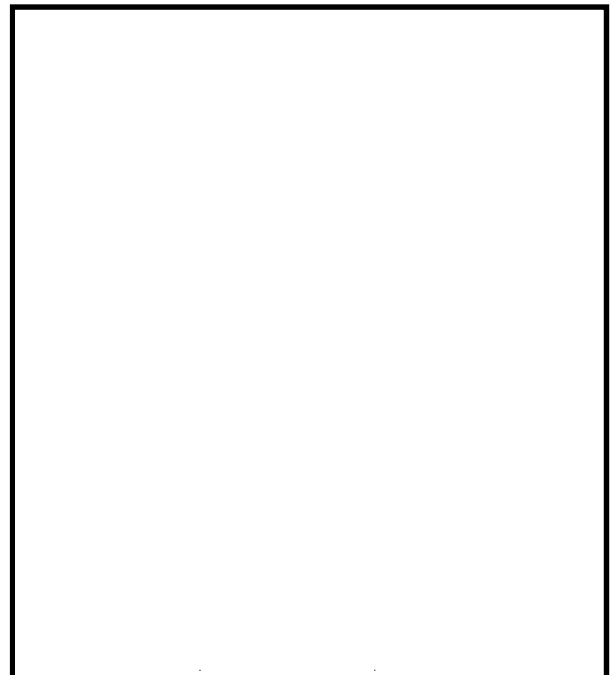


図10.5-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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10. 5-2に示す。

$$M = \sqrt{\left(\frac{F_H/2 + R_r}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2} \cdot L_1$$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H/2 + R_r}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_v : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉自重反力 (kN)

L_1 : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)

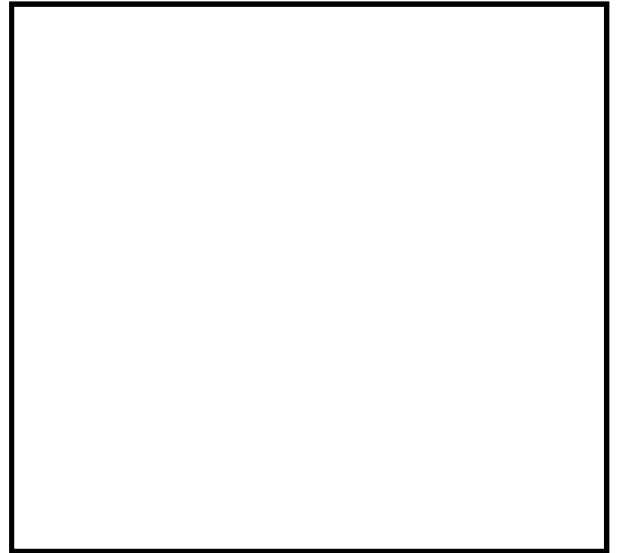


図10. 5-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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10. 5-3に示す。

$$M = \frac{(F_H/2 + R_r) \cdot (2 \cdot L_2 - B_2)}{8}$$

$$Q = \frac{F_H/2 + R_r}{2}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・mm)

F_H : 水平地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

R_t : 扉体厚方向自重反力 (kN)

L_2 : 軸支持間距離 (mm)

B_2 : ブッシュ長さ (mm)

Q : せん断力 (kN)



図10. 5-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる荷重は、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10.5-4に示す。

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_H/2 + R_r}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

F_v : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)



図10.5-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

b. ロックバー

ロックバーは、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平地震力から、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10.5-5に示す。

$$F_H = W_X \cdot K_H$$

ここで、

W_X : 扉体自重 (kN)

K_H : 水平方向設計震度

F_H : 水平地震力 (kN)

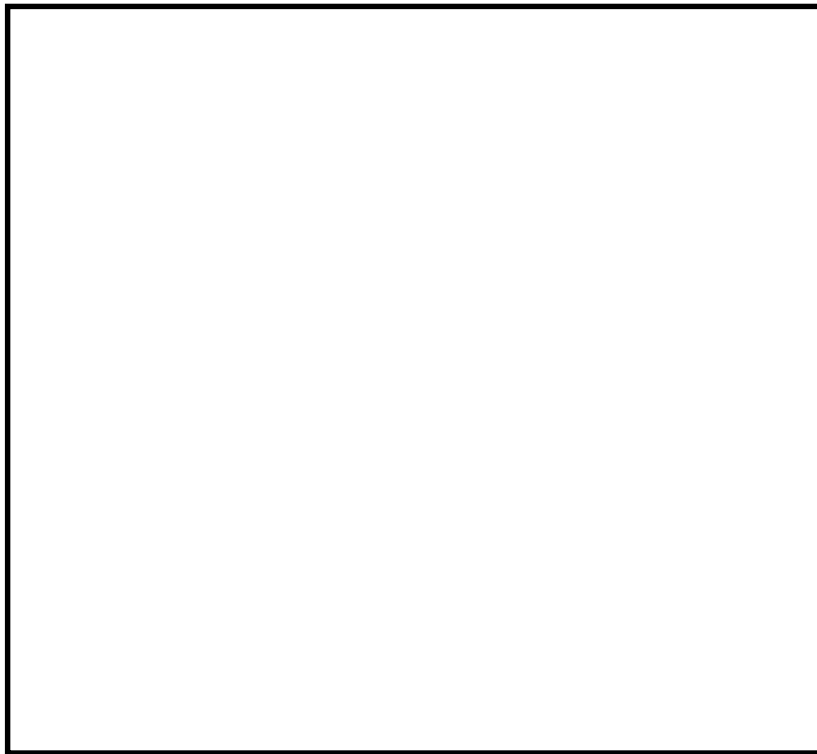


図10.5-5 ロックバー部に生じる荷重の例

(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10.5-6に示す。

$$M = \frac{F_H}{n} \cdot L_b$$

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・mm)

F_H : 水平地震力 (kN)

n : 水平荷重負担点数 (4点=ヒンジ2点+ロックバー2点)

L_b : 作用点間距離 (mm)

Q : せん断力 (kN)



図10.5-6 ロックバーに生じる荷重の例

(b) ロックボルト

ロックボルトに生じる荷重は、次式により算定する。ロックボルトに生じる荷重の例を図10.5-7に示す。

$$T = \frac{F_H}{n_2}, \quad Q = \frac{F_H}{n_2}$$

ここで、

T : 引張力 (kN)

Q : せん断力 (kN)

n_2 : ロックバー一部1か所におけるボルト本数



図10.5-7 ロックボルトに生じる荷重の例

c. 支圧材

次式により算定する水平地震力から、支圧材に発生する荷重を算定する。支圧材に生じる荷重の例を図10.5-8に示す。

$$F_H = W_x \cdot K_H$$

$$P = F_H$$

ここで、

W_x : 扉体自重 (kN)

K_H : 水平震度

F_H : 水平地震力 (kN)

P : 圧縮力 (kN)

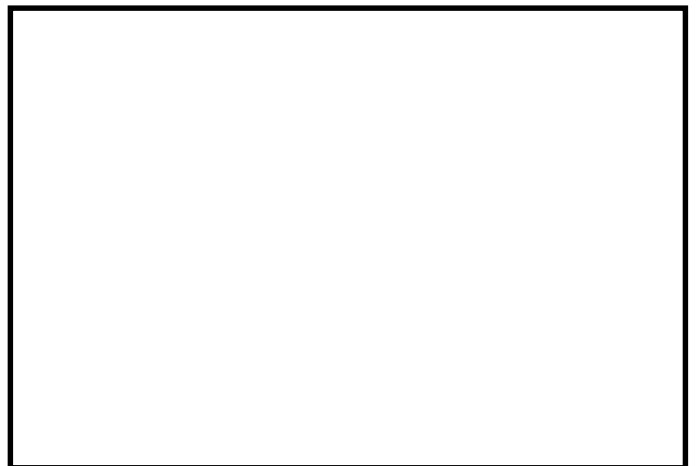


図 10.5-8 支圧材に生じる荷重の例

(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. ヒンジ部

(a) ヒンジ板

ヒンジ板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、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2}$$

ここで、

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₁ : 断面係数 (mm³)

A₁ : 断面積 (mm²)

(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から、応力度を次式により算定し、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。

$$\sigma_x = \frac{M}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_2}$$

ここで、

σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

Z₂ : 断面係数 (mm³)

A₂ : 断面積 (mm²)

(c) ヒンジボルト

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

$$\sigma = \frac{F}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

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

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F : 引張力 (kN)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- Q : せん断力 (kN)
- n_1 : 本数 (本)
- A_{b1} : 1本当たりの断面積 (mm²)

b. ロックバー部

(a) ロックバー

ロックバー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、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。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M}{Z_3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A_3}\right)^2}$$

ここで、

- σ_x : 組合せ応力度 (N/mm²)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- Q : せん断力 (kN)
- Z_3 : 断面係数 (mm³)
- A_3 : 断面積 (mm²)

(b) ロックボルト

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

$$\sigma = \frac{F}{(n_2 \cdot A_{b2})}$$

$$\tau = \frac{Q}{(n_2 \cdot A_{b2})}$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- F : 引張力 (kN)
- Q : せん断力 (kN)
- n_2 : ロックバー部 1 か所におけるボルト本数
- A_{b2} : ボルト1本当たりの断面積 (mm²)

c. 支圧材

(a) 支圧材

支圧材に生じる支圧応力を次式により算定し、支圧材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_p = \frac{P}{A_p}$$

$$A_p = n_p \cdot l_p \cdot W_p$$

ここで、

σ_p : 支圧応力度 (N/mm²)

P : 圧縮力 (kN)

A_p : 支圧材の合計受圧面積 (mm²)

n_p : 支圧材の本数

l_p : 支圧材の長さ (mm)

W_p : 支圧材の幅 (mm)

10.6 計算条件

「10.5 計算方法」に用いる評価条件を表10.6-1に示す。

表10.6-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		k_H	—	水平方向設計震度	
		k_V	—	鉛直方向設計震度	
ヒンジ部	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	
	ヒンジ板	L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
		A_1	mm ²	断面積	
	ヒンジピン	L_2	mm	軸支持間距離	
		B_2	mm	ブッシュ長さ	
		Z_2	mm ³	断面係数	
		A_2	mm ²	断面積	
	ヒンジボルト	n_1	本	本数	
A_{b1}		mm ²	1本当たりの断面積 (M20)		
ロックバー部	ロックバー	L_3	mm	作用点間距離	
		Z_3	mm ³	断面係数	
		A_3	mm ²	断面積	
	ロックボルト	n_2	本	本数	
		A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M18)	
支圧材		n_p	本	本数	
		l_p	mm	長さ	
		W_p	mm	幅	
		A_p	mm ²	合計支圧面積	

10.7 評価結果

水密扉の耐震評価結果を表10.7-1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10.7-1 耐震評価結果

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 ／許容限界値
立坑部 水密扉	ヒンジ部	板	141	235	0.60
		ピン*	43	205	0.21
		ヒンジボルト (引張)	47	205	0.23
		ヒンジボルト (せん断)	47	118	0.40
	ロックバー部	ロックバー	15	345	0.05
		ロックボルト (引張)	7	205	0.04
		ロックボルト (せん断)	7	118	0.06
	支圧材	支圧材	1	279	0.01

注記 * : 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