

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

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-911 改0
提出年月日	平成30年7月6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. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格	11
3. 地震応答解析	12
3.1 基本方針	12
3.2 固有振動数の計算方法	12
4. 耐震評価方法	14
4.1 評価対象部位	14
4.2 荷重及び荷重の組合せ	26
<評価方法>	
5.1 原子炉建屋原子炉棟水密扉	27
5.2 許容限界	27
5.3 評価方法	30
5.4 評価条件	40
5.5 耐震評価結果	44
6.1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	45
6.2 許容限界	45
6.3 評価方法	47
6.4 評価条件	54
6.5 耐震評価結果	55
7.1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	56
7.2 許容限界	56
7.3 評価方法	58
7.4 評価条件	65
7.5 耐震評価結果	66
8.1 原子炉建屋付属棟東側水密扉	67
8.2 許容限界	67
8.3 評価方法	69
8.4 評価条件	77
8.5 耐震評価結果	81

9.1	原子炉建屋付属棟南側水密扉	82
9.2	許容限界	82
9.3	評価方法	84
9.4	評価条件	91
9.5	耐震評価結果	92
10.1	原子炉建屋付属棟西側水密扉	93
10.2	許容限界	93
10.3	評価方法	95
10.4	評価条件	103
10.5	耐震評価結果	107

1. 概要

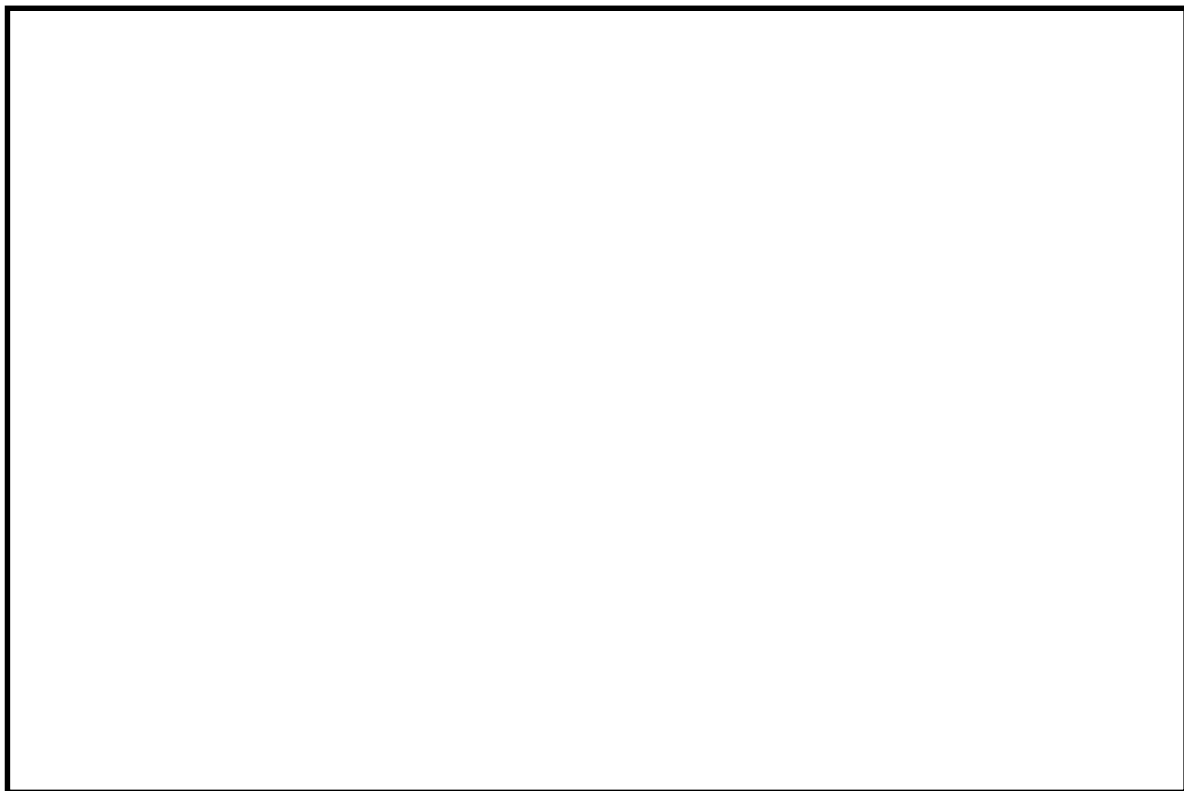
本資料は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針に準じて、原子炉建屋1階に設置する水密扉（以下「原子炉建屋1階水密扉」という。）が、基準地震動S₀による地震力に対して、浸水防護重点化範囲である原子炉建屋内に敷地に遡上する津波が流入することを防止するために、十分な構造強度及び止水性を有していることを説明するものである。

原子炉建屋1階水密扉は、原子炉建屋大物搬入口に原子炉建屋原子炉棟水密扉、原子炉建屋附属棟北側開口部に原子炉建屋附属棟北側水密扉1及び原子炉建屋附属棟北側水密扉2、原子炉建屋附属棟東側開口部に原子炉建屋附属棟東側水密扉、原子炉建屋附属棟南側開口部に原子炉建屋附属棟南側水密扉、原子炉建屋附属棟西側開口部に原子炉建屋附属棟西側水密扉を設置する。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建屋水密扉の設置位置図を図2.1-1図に示す。



平面図

□ : 水密扉

図2.1-1図 水密扉配置図（原子炉建屋1階：床面レベルEL. +8.2m）

2.2 構造概要

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。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。原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋附属棟北側水密扉1，原子炉建屋附属棟北側水密扉2，原子炉建屋附属棟東側水密扉，原子炉建屋附属棟南側水密扉及び原子炉建屋附属棟西側水密扉の構造図を図2.2-1，図2.2-2，図2.2-3，図2.2-4，図2.2-5及び図2.2-6に示す。このうち原子炉建屋原子炉棟水密扉については、くぐり戸付きの構造としている。

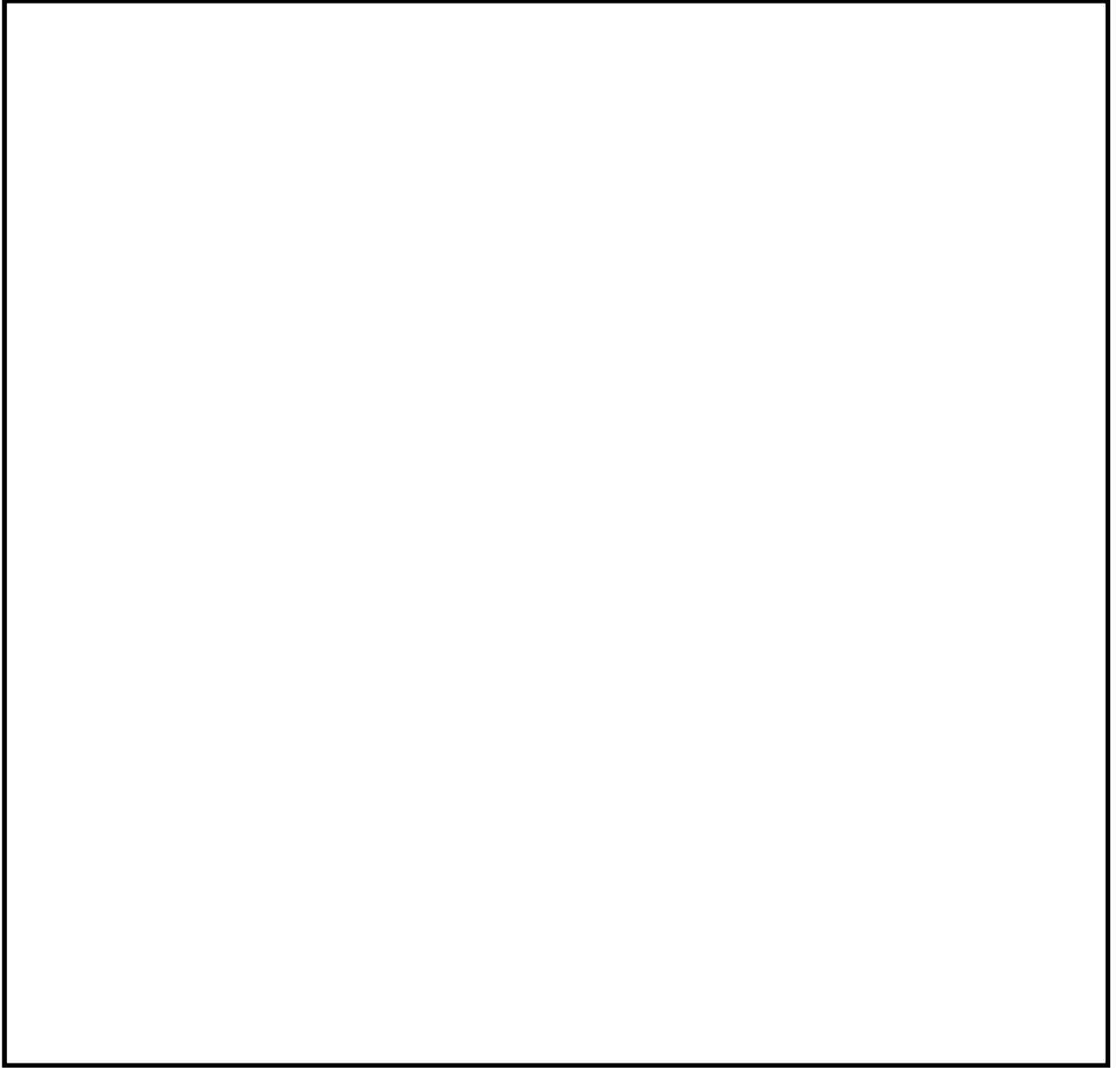


図2.2-1 原子炉建屋原子炉棟水密扉構造図

NT2 補③ V-2-10-2-8-1 R0

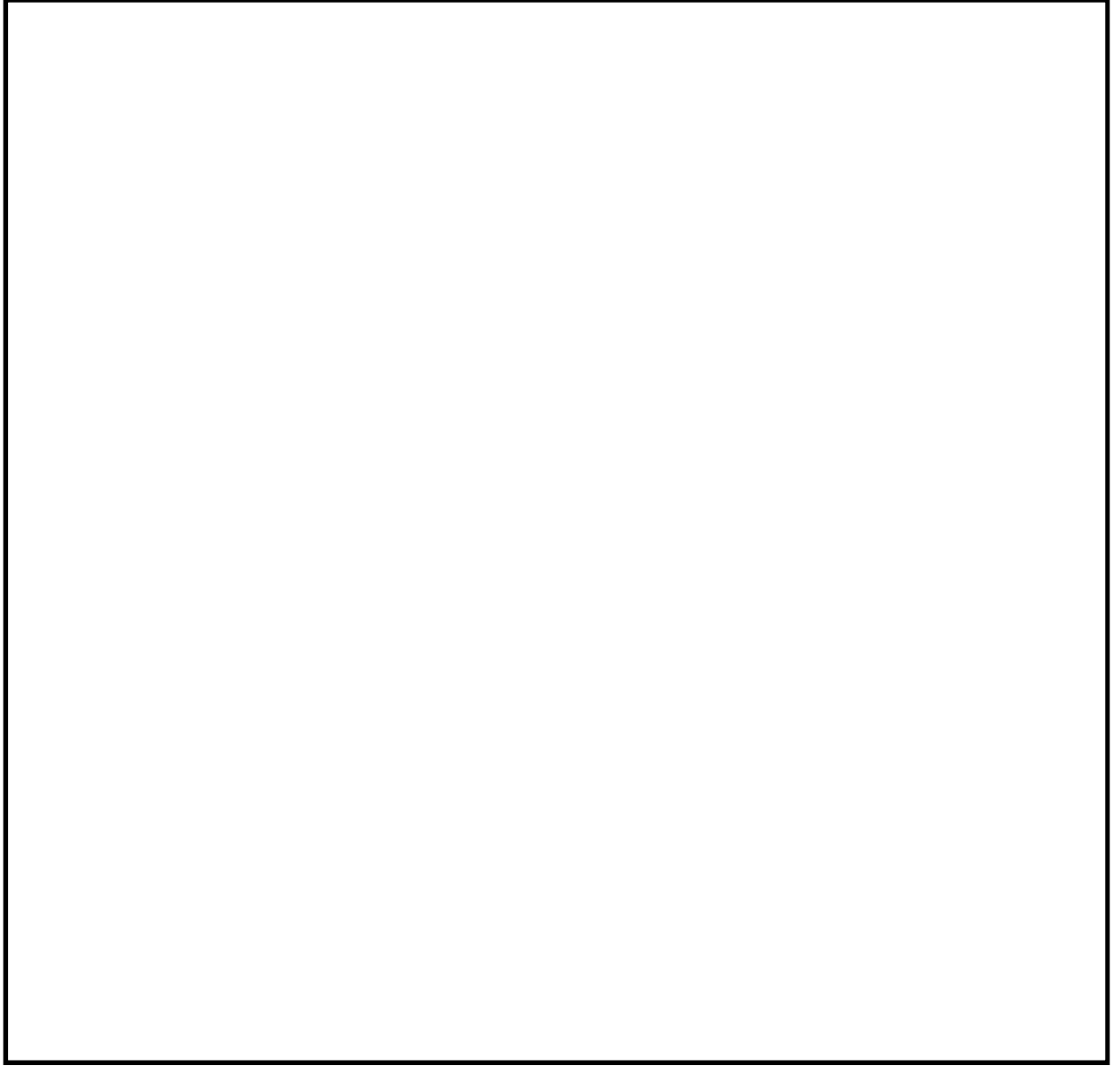


图2.2-2 原子炉建屋付属棟北側水密扉1

NT2 補③ V-2-10-2-8-1 R0

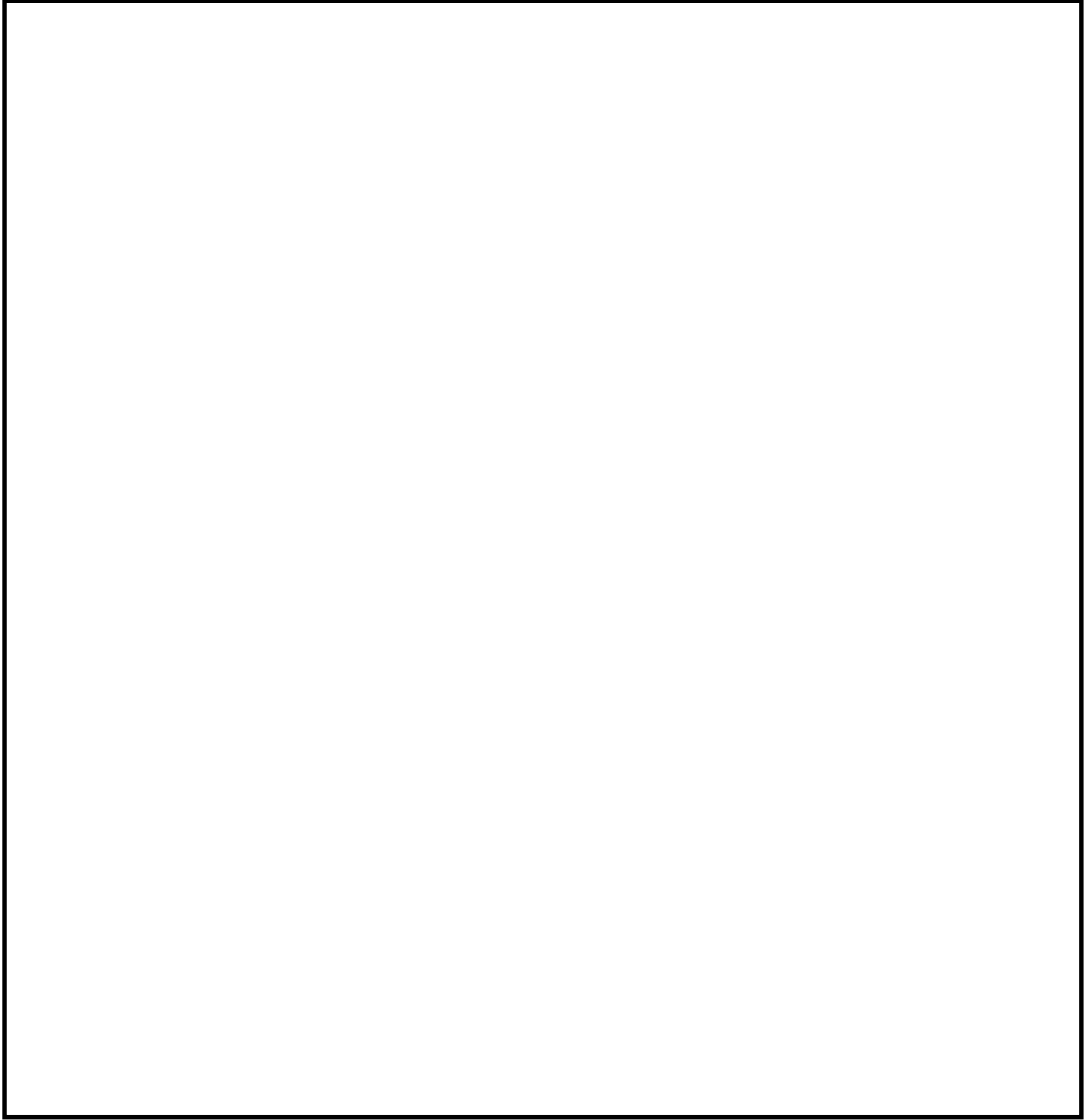


图2.2-3 原子炉建屋付属棟北側水密扉2

NT2 補③ V-2-10-2-8-1 R0

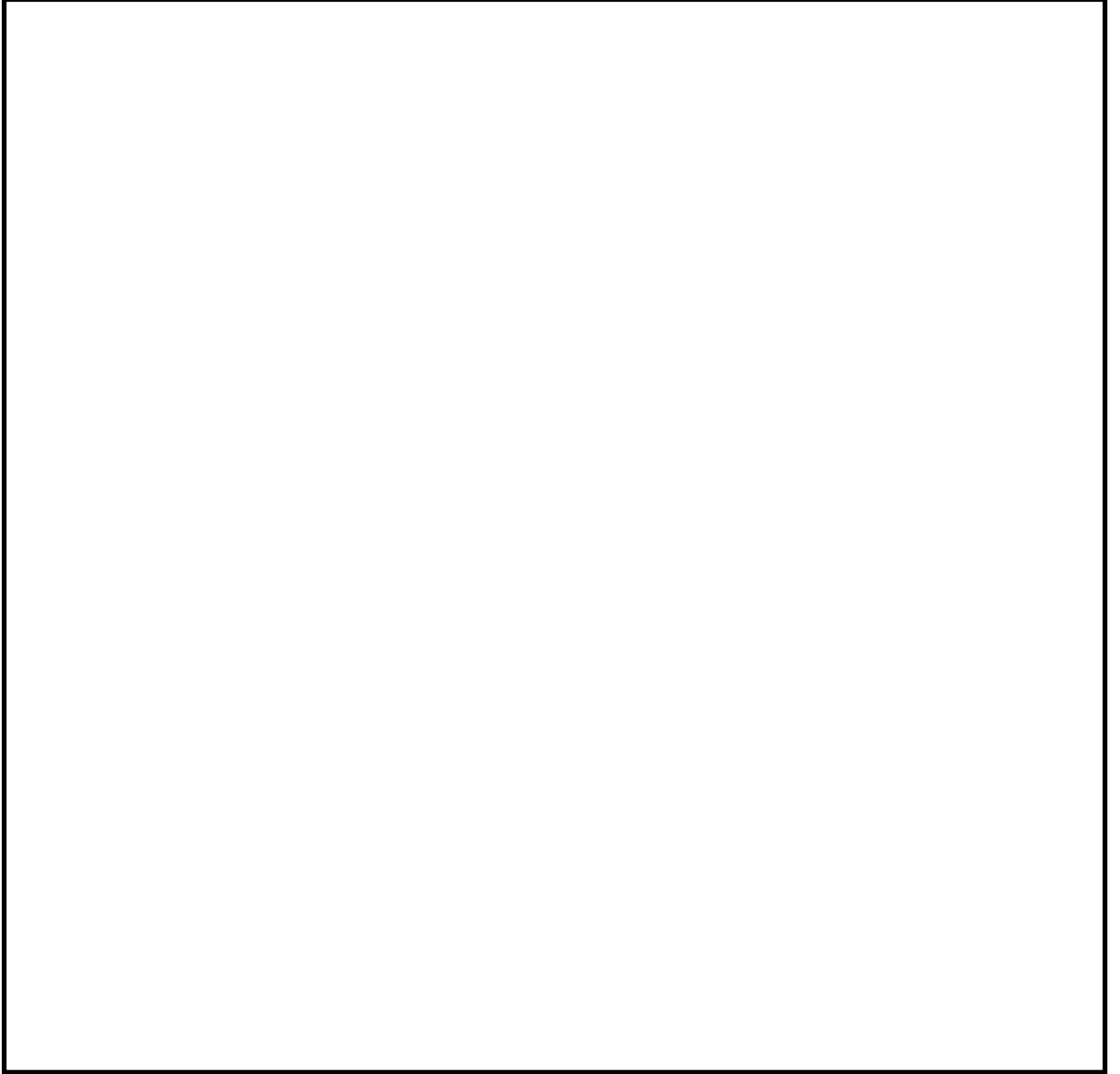


図2.2-4 原子炉建屋付属棟東側水密扉

NT2 補③ V-2-10-2-8-1 R0

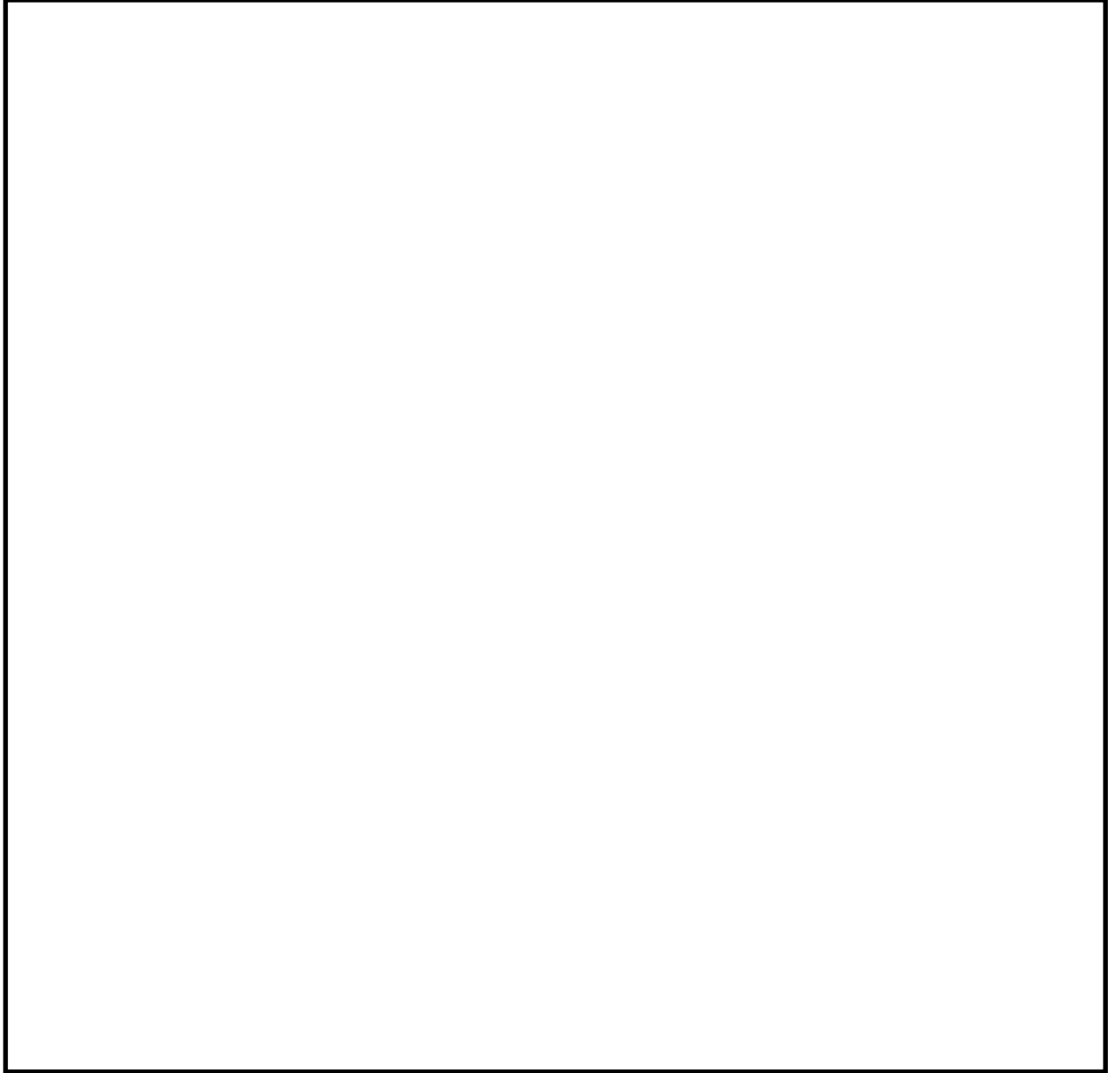


図2.2-5 原子炉建屋付属棟南側水密扉

NT2 補③ V-2-10-2-8-1 R0

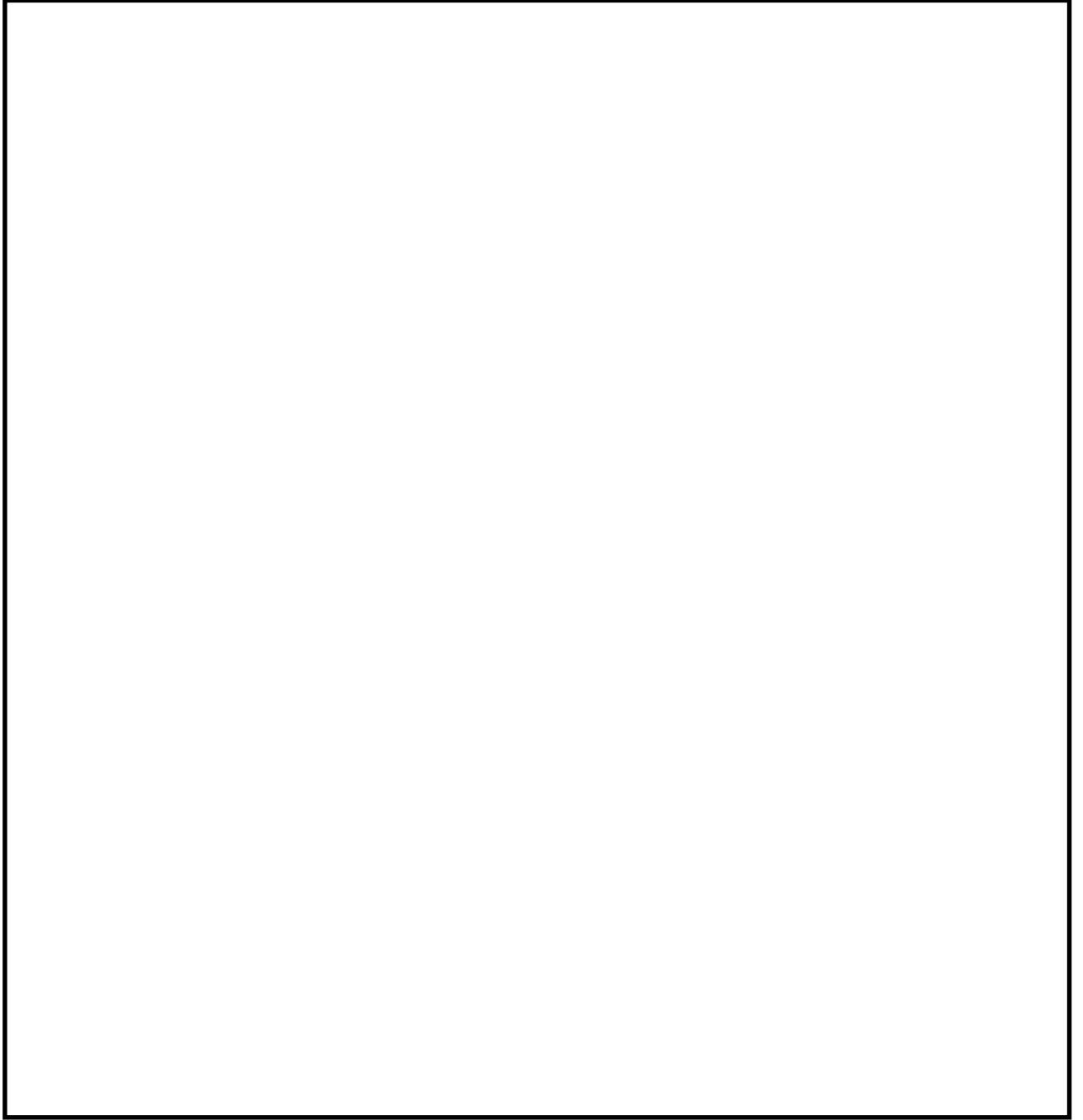


图2.2-6 原子炉建屋附属棟西側水密扉

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、水密扉設置位置の地震応答解析から得られる応答加速度を用いた応力評価を行い、構造部材に発生する応力などが許容限界を超えないことを確認する。

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	全構造部材	発生応力などが許容限界を超えないことを確認	概ね弾性
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	基準地震動 S_s	全構造部材	発生応力などが許容限界を超えないことを確認	概ね弾性

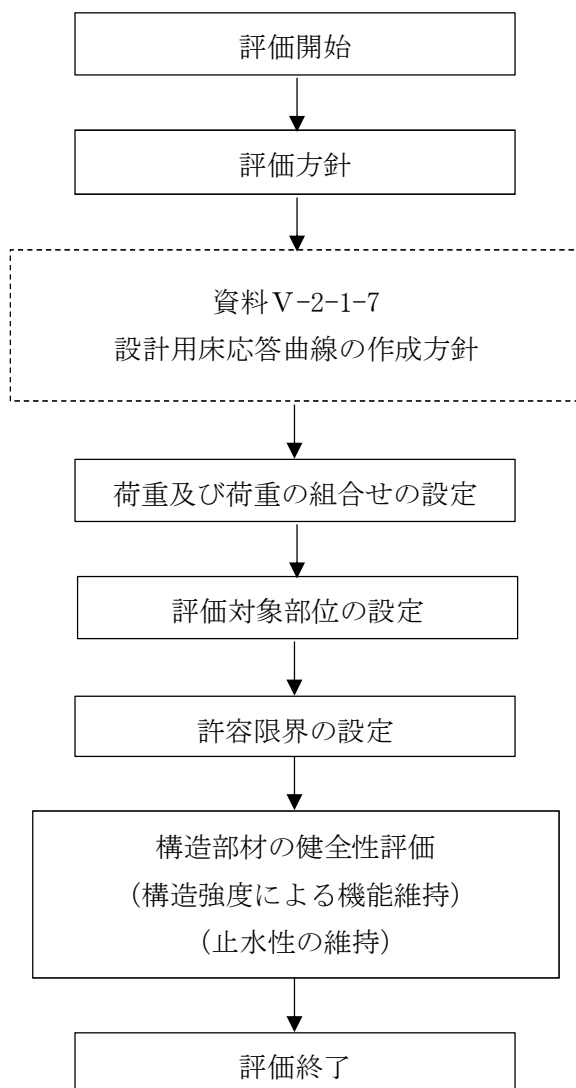


図2.3-1 水密扉の耐震評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005改定）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）

3. 地震応答解析
 3. 地震応答解析
 3.1 基本方針

地震応答解析は、資料V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて示す水密扉設置位置における地震応答解析結果を用いる。

地震応答解析に基づいて算定された、水密扉設置位置における最大応答加速度から各扉の設計用震度を設定する。最大応答加速度は、加速度を保守的に評価するために、その抽出位置は、原子炉建屋水密扉設置階の上階（上層）の値とする。また、水密扉は建物・構築物として評価する。各扉の設置位置における最大応答加速度から算出した設計震度を表3.1-1に示す。

表3.1-1 各扉の設計用震度（原子炉建屋）

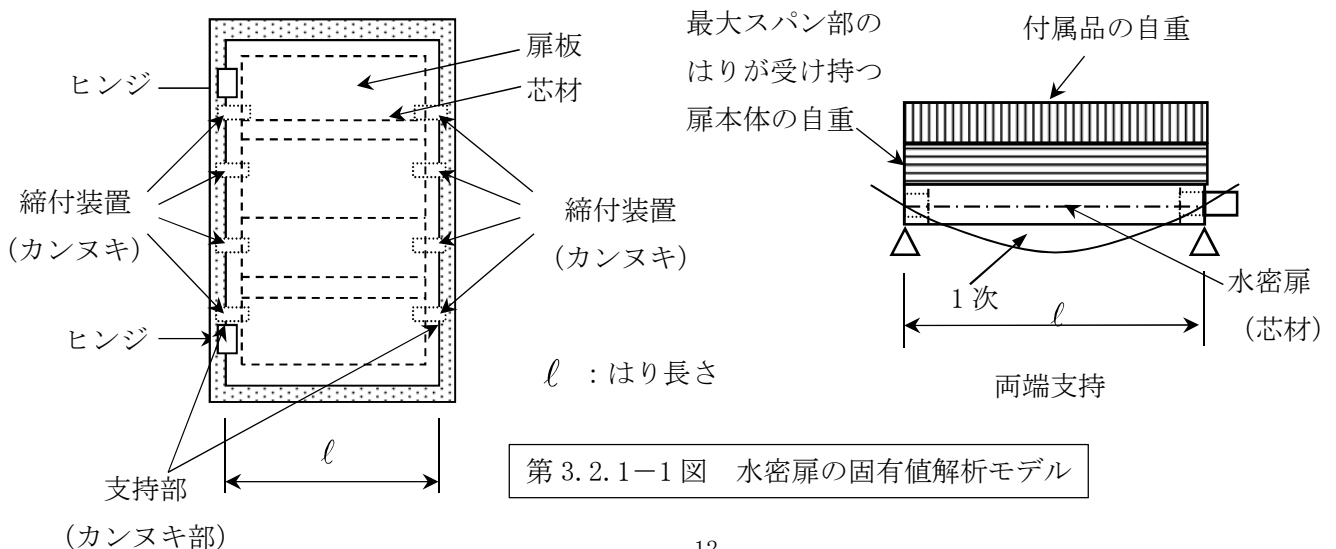
扉名称	設計用震度	
	水平	鉛直
原子炉建屋原子炉棟水密扉	1.67	1.46
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	1.67	1.46
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	1.67	1.46
原子炉建屋付属棟東側水密扉	1.67	1.46
原子炉建屋付属棟南側水密扉	1.67	1.46
原子炉建屋付属棟西側水密扉	1.67	1.46

3.2 固有振動数の計算方法

水密扉の構造に応じて解析モデルを設定し、1次固有振動数を算出する。

3.2.1 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3.2.1-1に示す。



3.2.2 記号の説明

水密扉の固有振動数算出に用いる記号を表3.2.2-1に示す。

表3.2.2-1 水密扉の固有振動数算出に用いる記号

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

3.2.3 固有振動数の算出方法

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算出する。

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

3.2.4 固有振動数の計算条件

水密扉の固有振動数の計算条件及び結果を表3.2.4-1に示す。各水密扉の固有振動数は20Hz以上であることを確認した。

表3-3 水密扉の固有振動数の計算条件及び結果

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)	固有振動数 f (Hz)
原子炉建屋原子炉 棟水密扉	追而	追而	追而	追而	追而
原子炉建屋附属棟 北側水密扉 1	追而	追而	追而	追而	追而
原子炉建屋附属棟 北側水密扉 2	追而	追而	追而	追而	追而
原子炉建屋附属棟 東側水密扉	追而	追而	追而	追而	追而
原子炉建屋附属棟 南側水密扉	追而	追而	追而	追而	追而
原子炉建屋附属棟 西側水密扉	追而	追而	追而	追而	追而

4. 耐震評価方法

4.1 評価対象部位

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、評価対象部位をヒンジ、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。

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4.1-1から図4.1-12に示す。

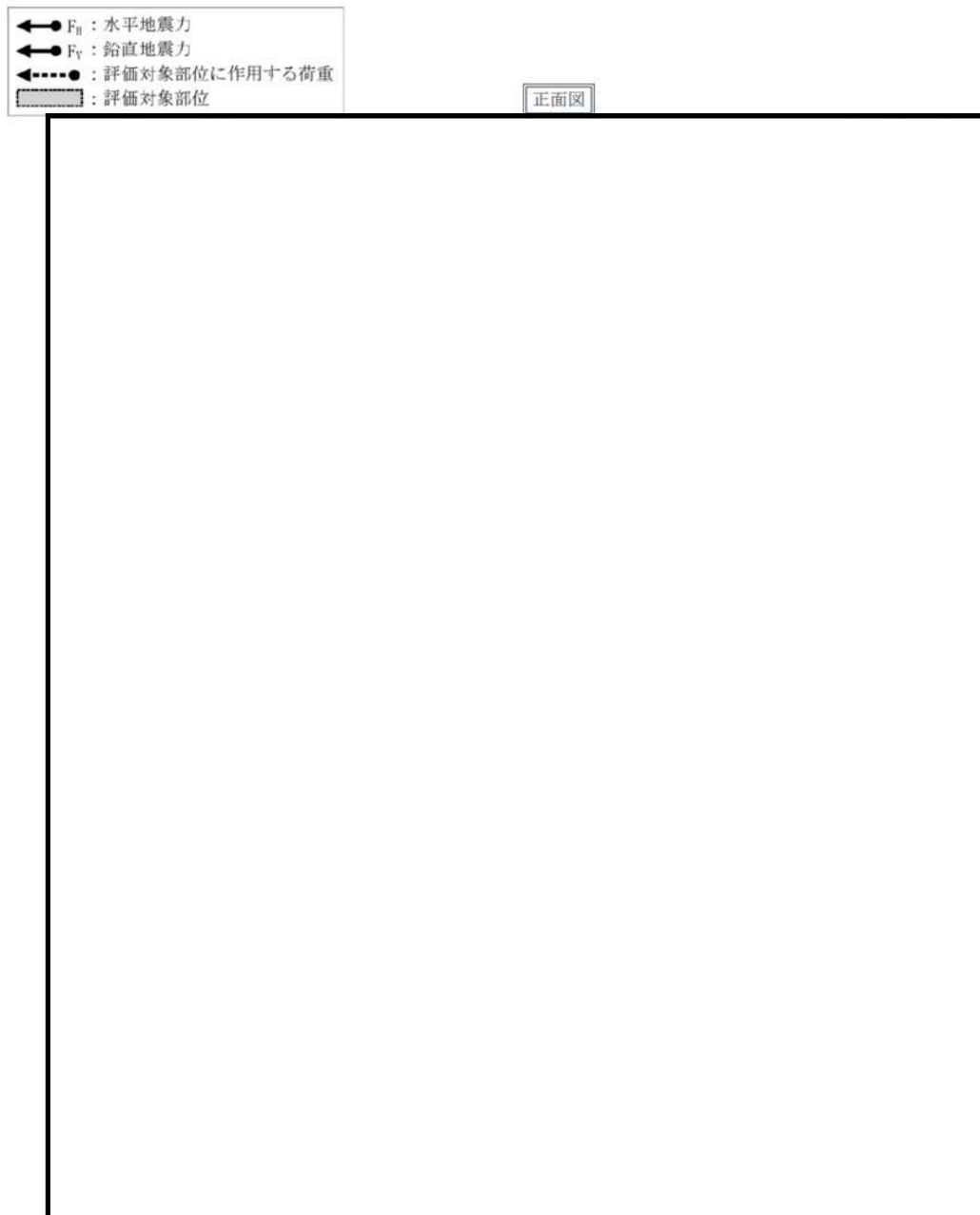


図4.1-1 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋原子炉棟水密扉

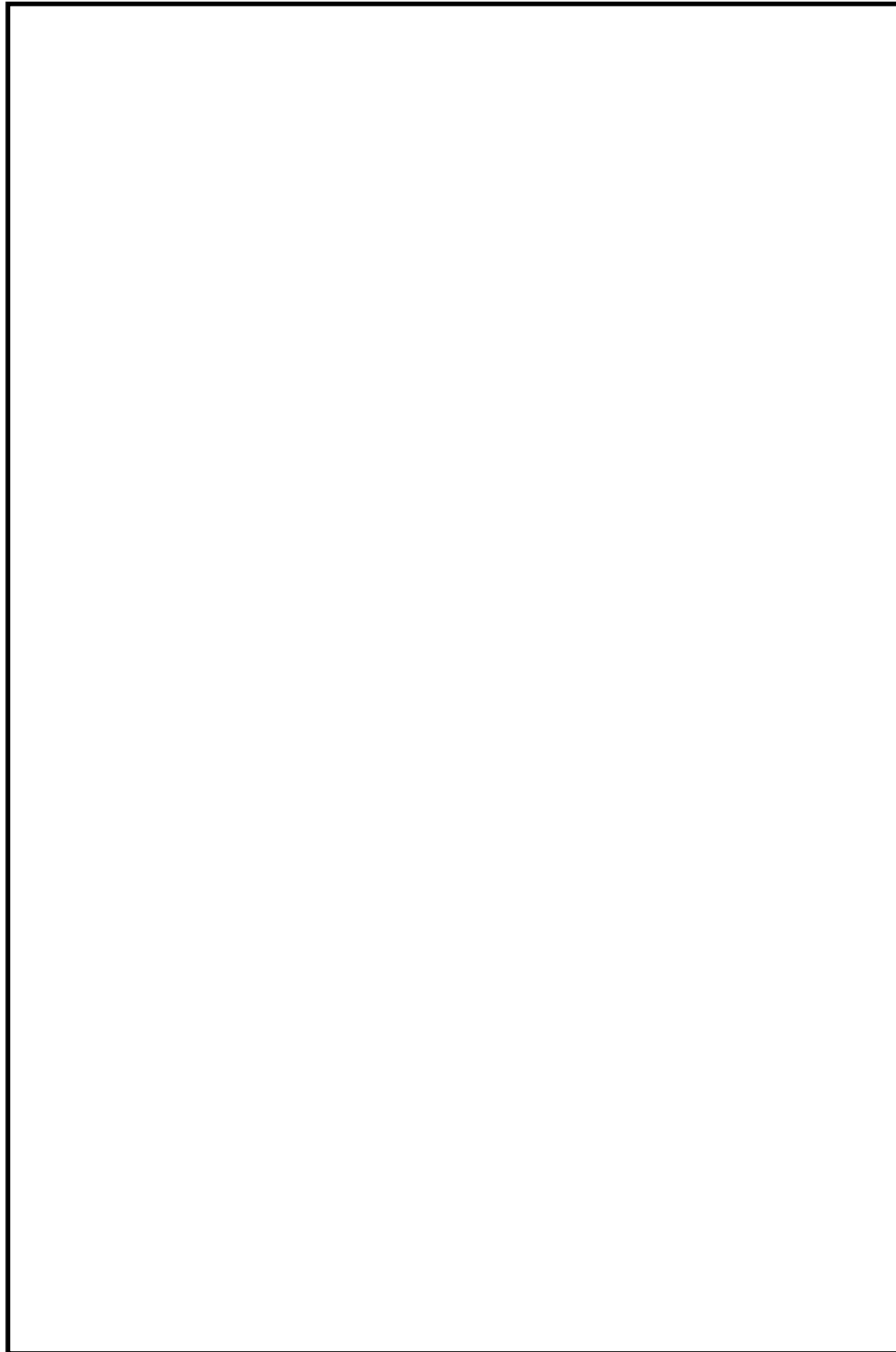
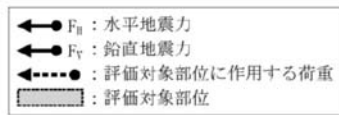


図 4.1-2 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋原子炉棟水密扉

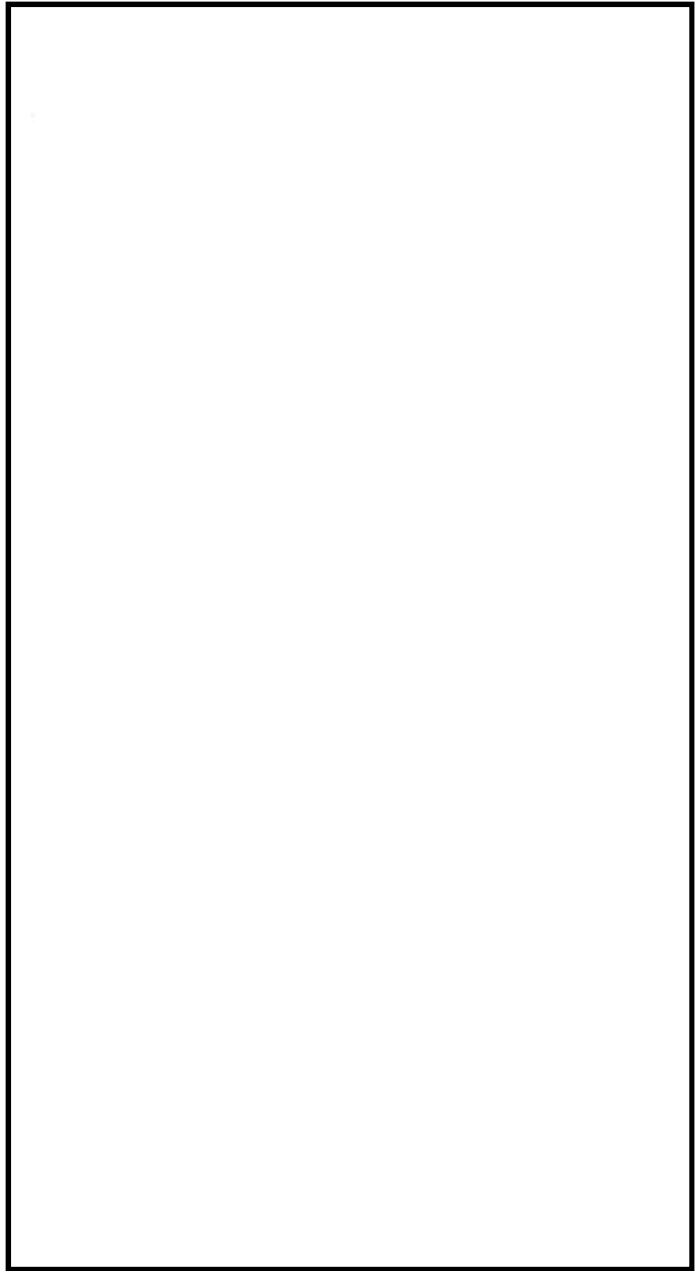
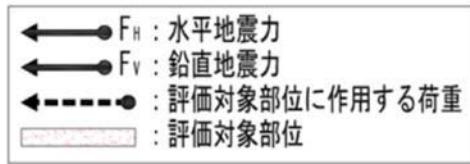


図4.1-3 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋付属棟北側水密扉1

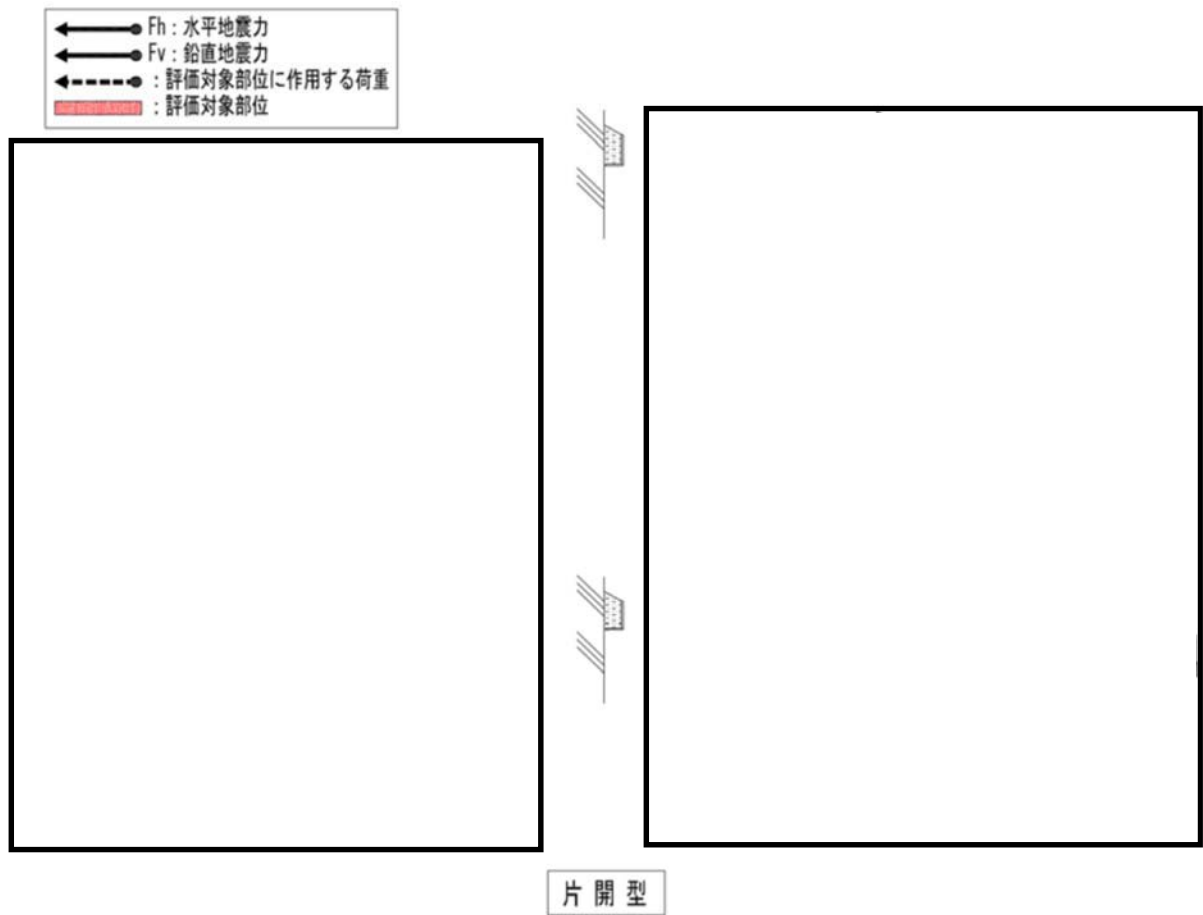
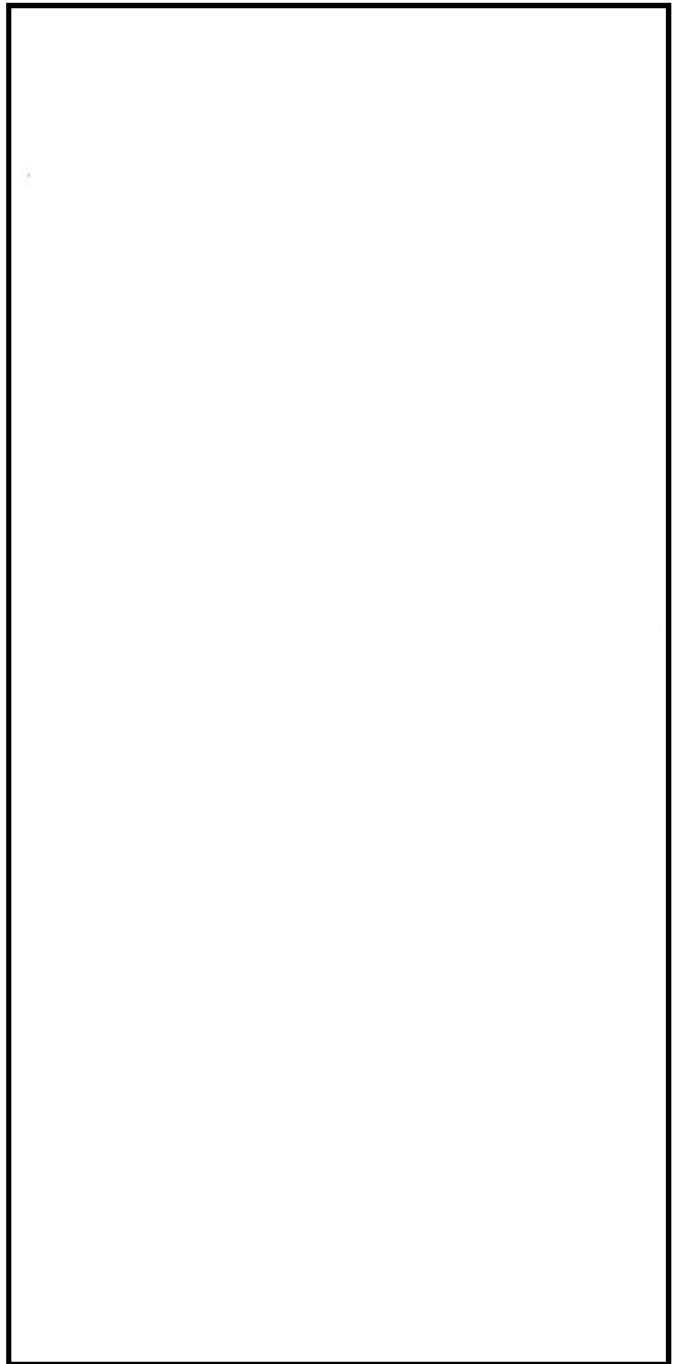
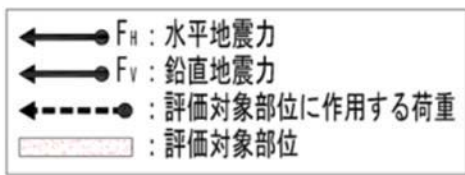
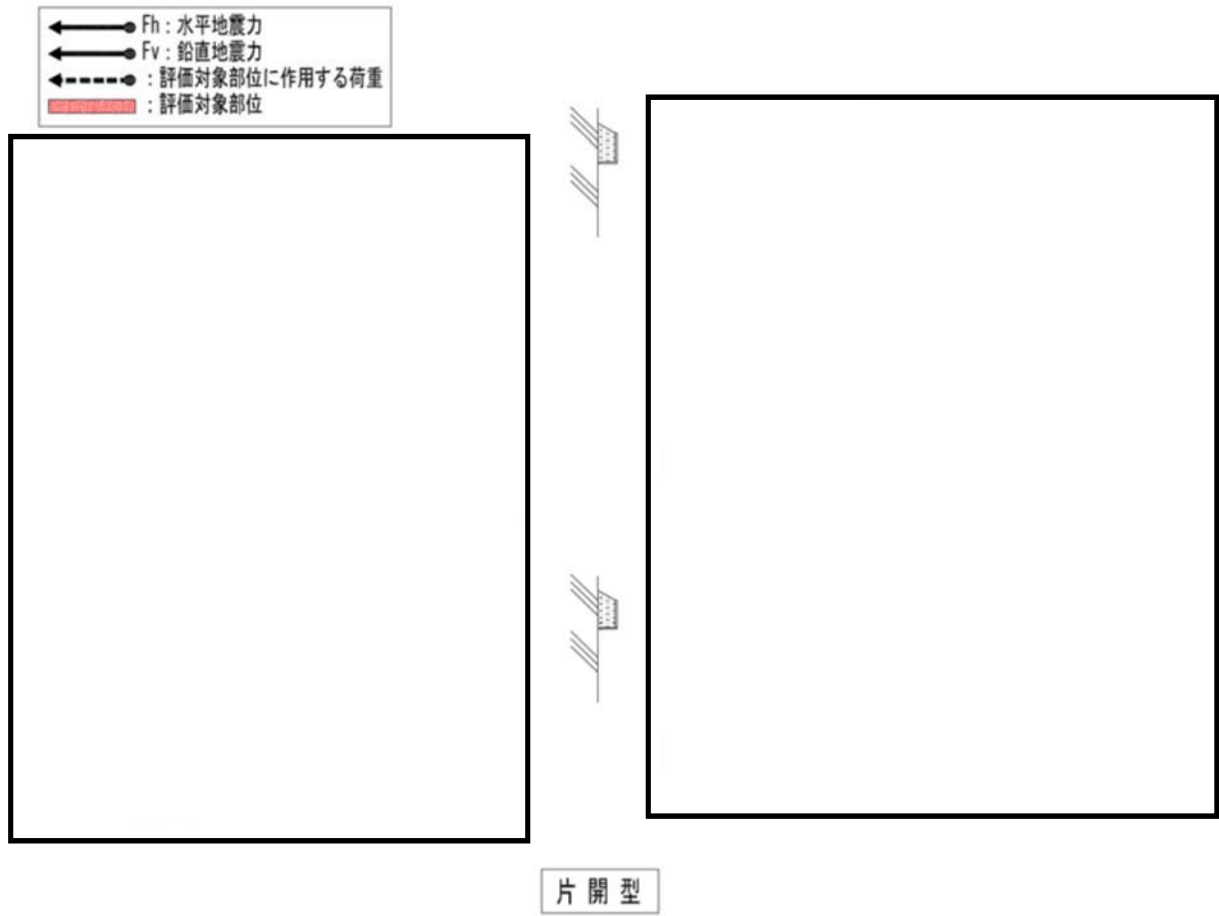


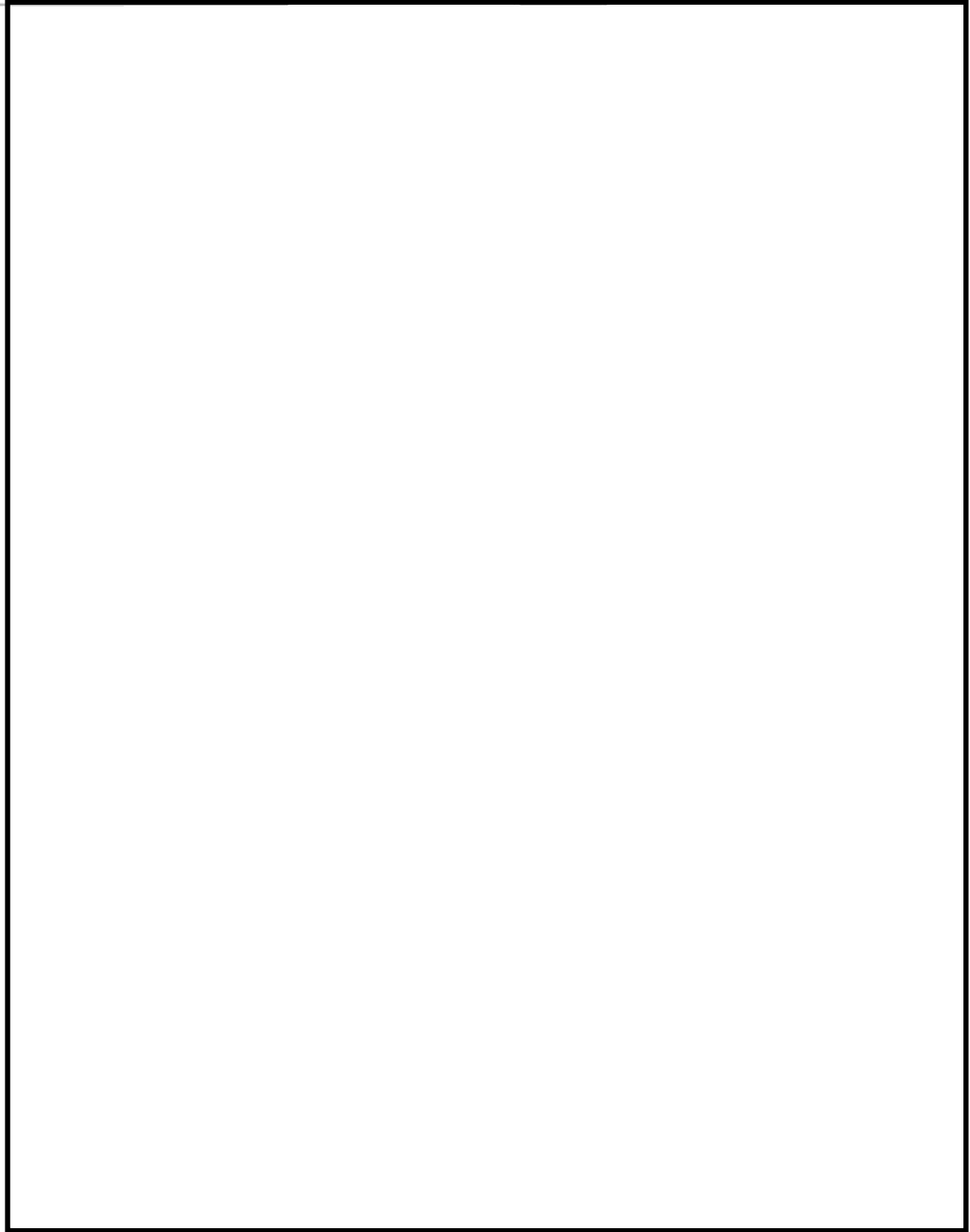
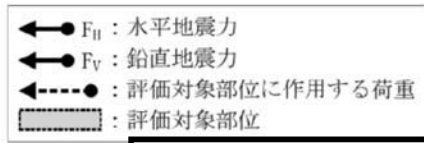
図 4.1-4 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1



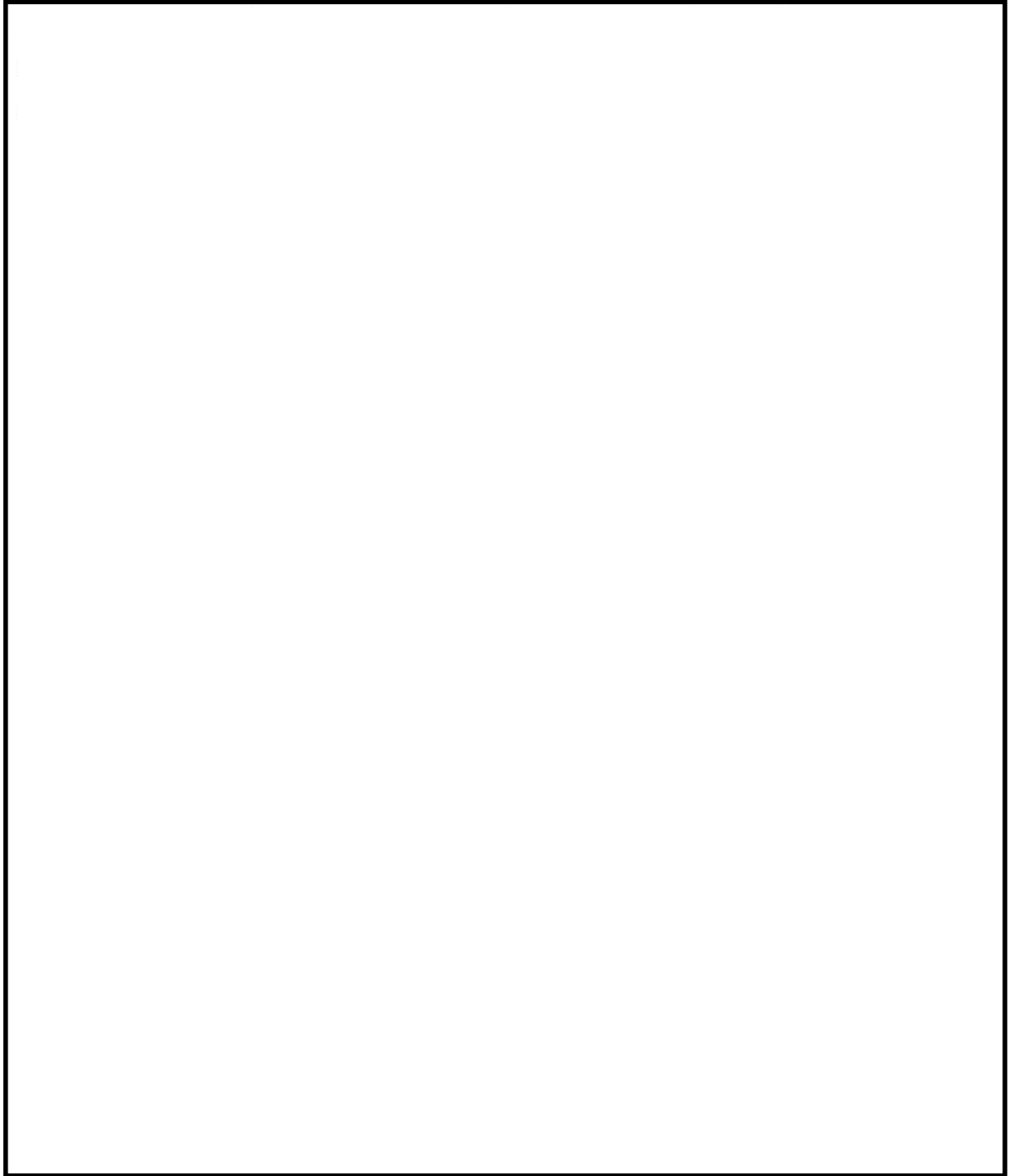
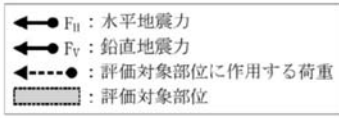
第 4.1-5 図 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2



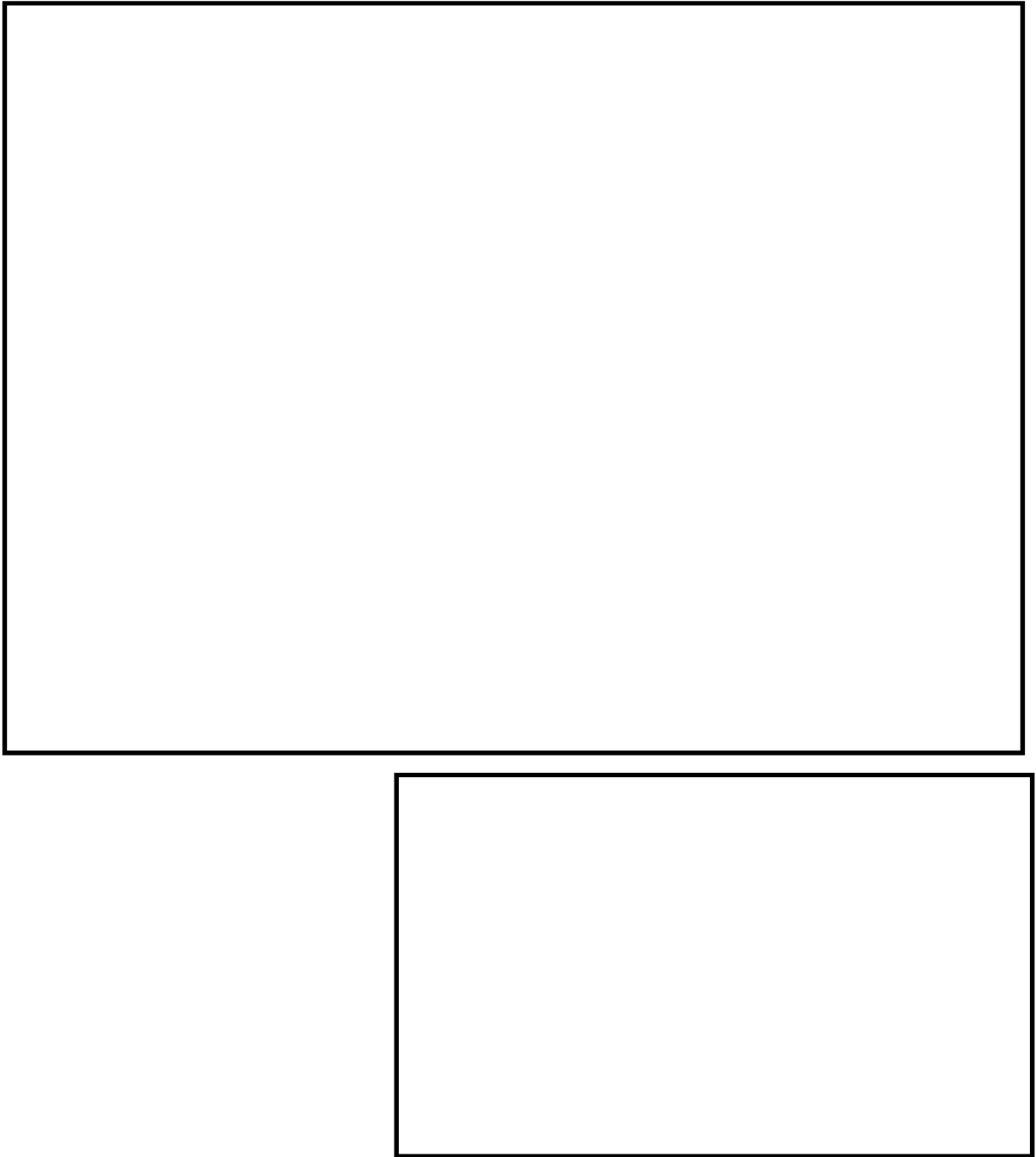
第 4.1-6 図 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋付属棟北側水密扉2



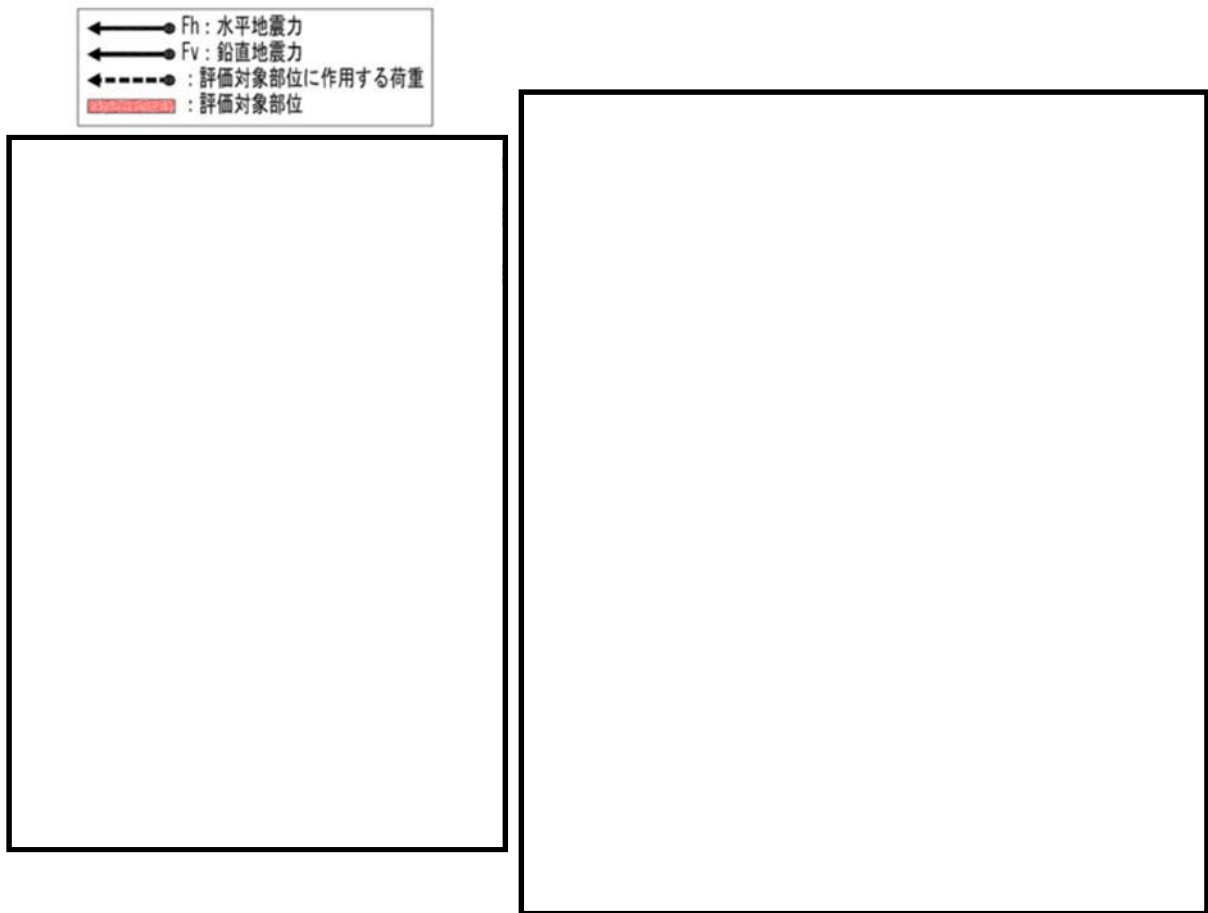
第 4.1-7 図 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋付属棟東側水密扉



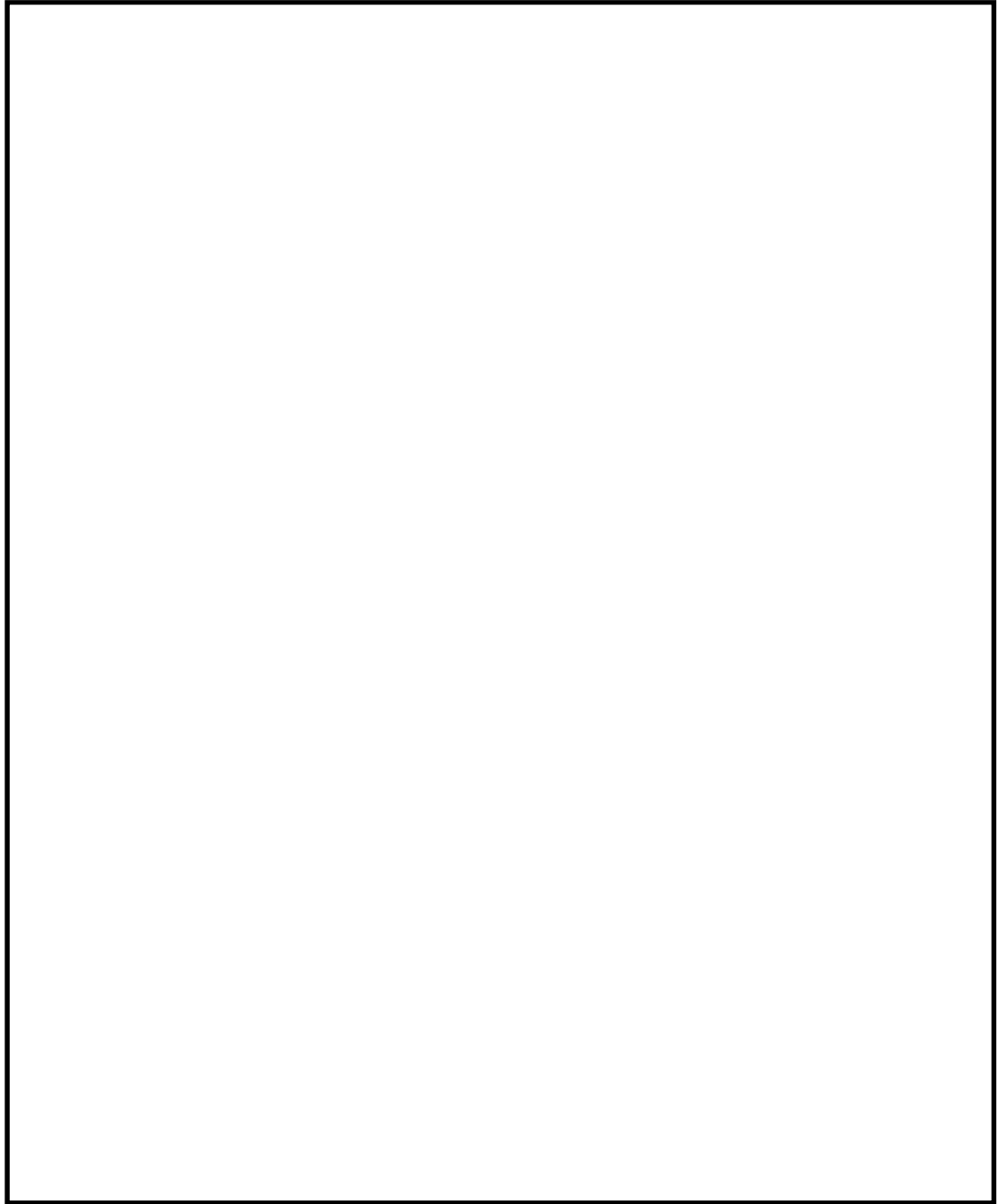
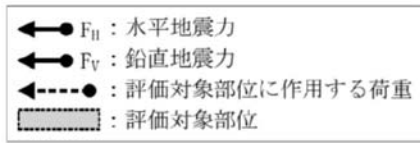
第 4.1-8 図 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋付属棟東側水密扉



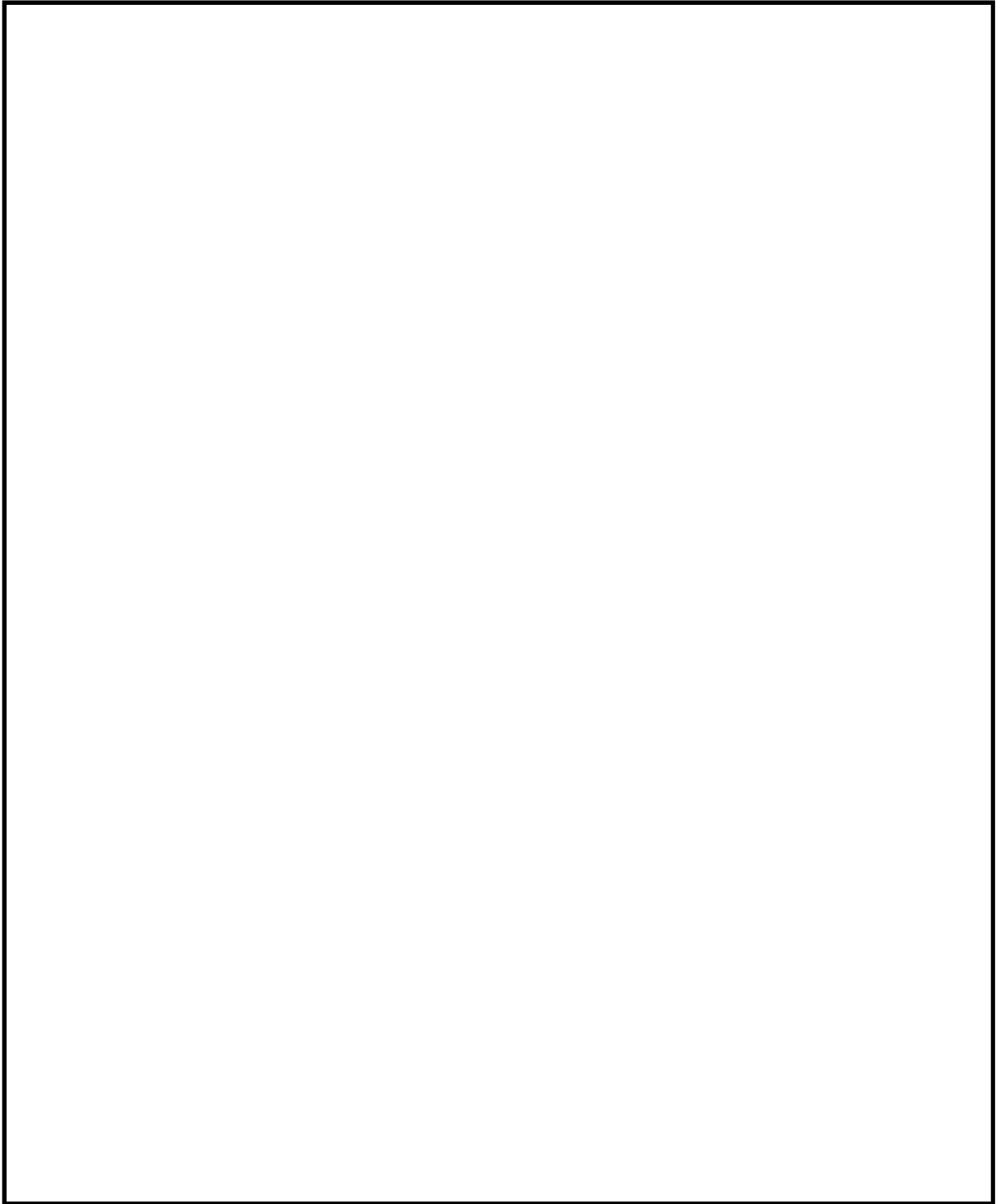
第 4.1-9 図 水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位
原子炉建屋付属棟南側水密扉



第 4. 1-10 図 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



第 4.1-11 図 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



第 4.1-12 図 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

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、資料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。

資料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

< 評価方法 >

5.1 原子炉建屋原子炉棟水密扉

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表5.1-1に示す。

表5.1-1 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	

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5.1-2に示す。

表5.1-2 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

5.2 許容限界

許容限界は、資料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5.2-1及び表5.2-2に示す。

表5.2-1 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		

*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4.3-2の値とする。

表5.2-2 許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
	235	135
	215	124
	205	118
	205* ³	118
	686* ⁵	396
	345* ⁷	199
	651* ⁵	375

*1: tは板厚 (mm) を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「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も*2同様

*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も*4同様

*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も*6同様

5.3 評価方法

(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5.3-1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 : 水平震度

k_V : 鉛直震度

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5.3-1 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5.3-2に示す。

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

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)

$$Q = W_x + F_v$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

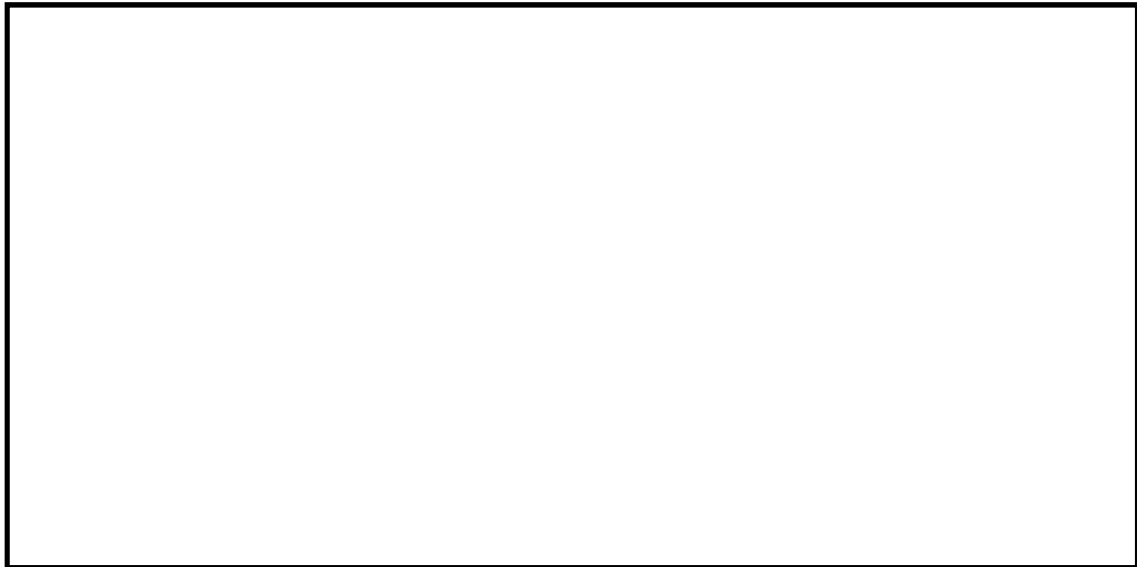


図5.3-2 ヒンジアームに生じる荷重の例

(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5.3-3に示す。

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

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・m)

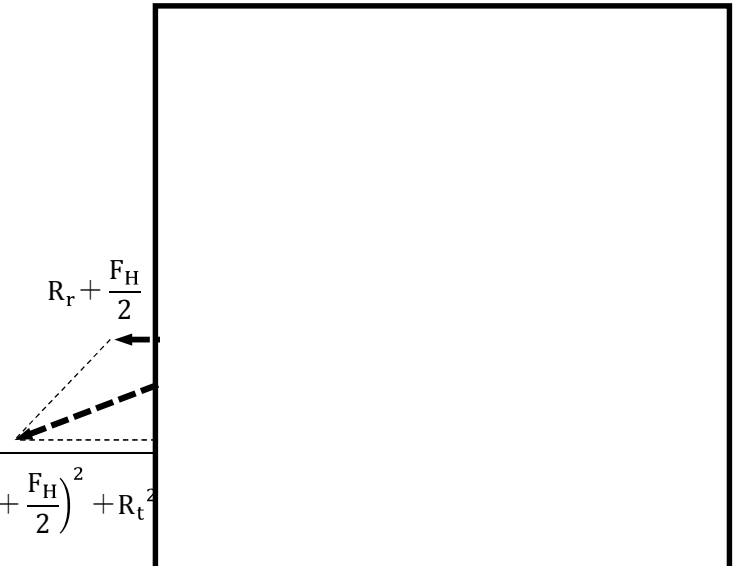
F_H : 水平地震力 (kN)

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)

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



ここで、

Q : せん断力 (kN)

図5.3-3 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5.3-4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)

$$R_r + \frac{F_H}{2}$$

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

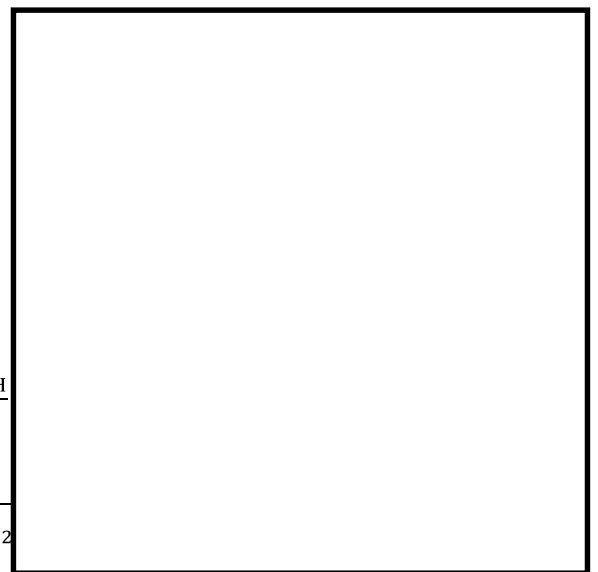


図5.3-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(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5.3-5に示す。

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

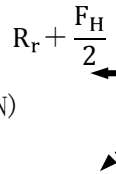
ここで、

- 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)

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

ここで、

- 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)



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

図5.3-5 (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5.3-6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)

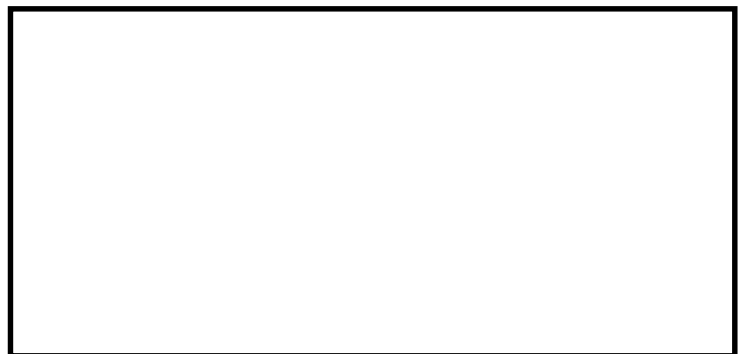


図5.3-6 カンヌキ部に生じる荷重の例

(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5.3-7に示す。

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

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)

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

ここで、

Q : せん断力 (kN)



図5.3-7 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5.3-8に示す。

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

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)

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

ここで、

Q : せん断力 (kN)



図5.3-8 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5.3-9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

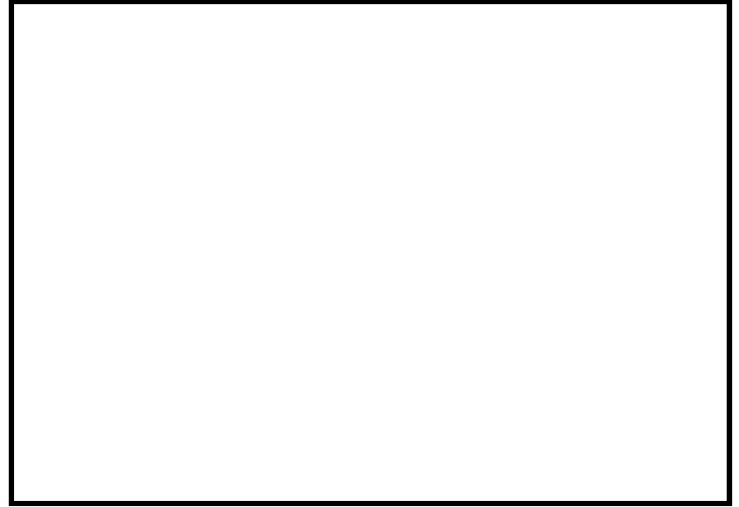


図5.3-9 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(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。

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

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)

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

ここで、

σ_T : 引張応力度 (N/mm²)

T : 引張力 (kN)

n : 本数 (本)

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。

$$P_{a1} = l \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot SC^a$$

$$P_a = P_{a1}$$

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)

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

SC^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)

$s \sigma_y$: 鋼材の降伏強度 (N/mm²)

A_b : 1本当たりの断面積 (mm²)

5.4 評価条件

「5.3 評価方法」に用いる評価条件を表5.4-1に示す。

表5.4-1 耐震評価に用いる条件 (1/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値	
共通	W_x	kN	扉体自重		
	K_H	-	水平震度	1.67	
	K_v	-	鉛直震度	1.46	
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (幅方向)	2.921
		L_t	m	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (厚方向)	0.275
		L_j	m	ヒンジ間距離	4.920
	ヒンジアーム	L	mm	作用点間距離	0.720
		Z	mm ³	断面係数	4500000
		A	mm ²	断面積	90000
	ヒンジピン	L	mm	軸支持間距離	77.5
		Z	mm ³	断面係数	130700
		A	mm ²	断面積	9503

表5.4-1 耐震評価に用いる条件 (2/3)

対象部位		記号	単位	定義	数値
ヒンジ	ヒンジボルト	n	本	本数	8
		A	mm ²	断面積	976
	アンカー	n	本	本数	15
		A _b	mm ²	断面積	283.5
		A _a	mm ²	表面積	11340
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	12270
		A	mm ²	断面積	1963

表5.4-1 耐震評価に用いる条件 (3/3)

対象部位		記号	単位	定義	数値
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	1534
		A	mm^2	断面積	490.9
	ボルト	n	本	本数	2
		A_b	mm^2	断面積	157

5.5 耐震評価結果

原子炉建屋原子炉棟水密扉の耐震評価結果を表4.4.1.2-1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5.5-1 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
原子炉建屋 原子炉棟水 密扉	ヒンジ部	ヒンジアーム	105	205	0.52
		ヒンジピン	375	686	0.55
		ヒンジボルト*3	114	375	0.31
		アンカー*3	29	40	0.75
	カンヌキ部	カンヌキ	171	205	0.84
		カンヌキ受けピン*1	465	686	0.68
		カンヌキ受けボルト	100	375	0.16

*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：せん断及び引張のうち評価結果が厳しくなる引張による値を記載

*3：アンカーの単位(kN)

6.1 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

(1) 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6.1-1 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	

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6.1-2 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

6.2 許容限界

許容限界は、資料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6.2-1及び表6.2-2に示す。

表6.2-1 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6.2-2 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

6.3 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 6.3-1 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 ：水平震度

k_V ：鉛直震度

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)

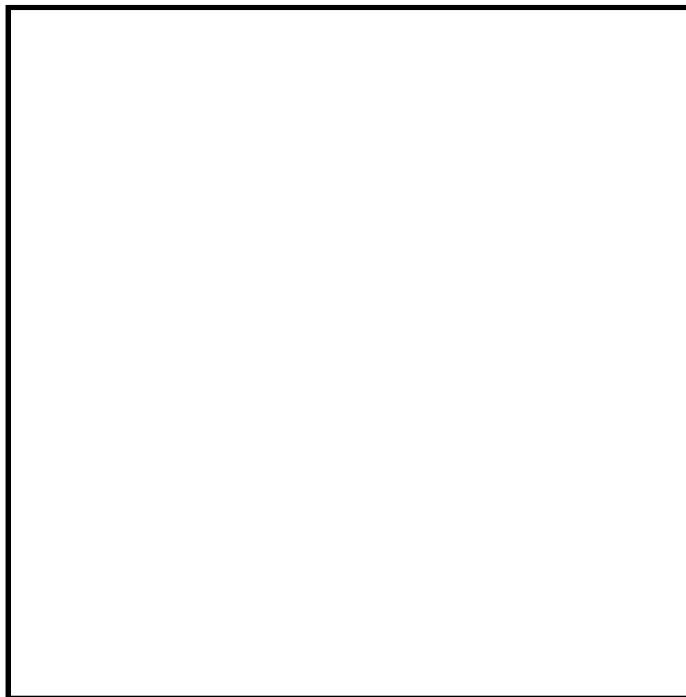


図 6.3-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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 6.3-2 に示す。

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

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

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)
- L₁ : 作用点間距離 (mm)

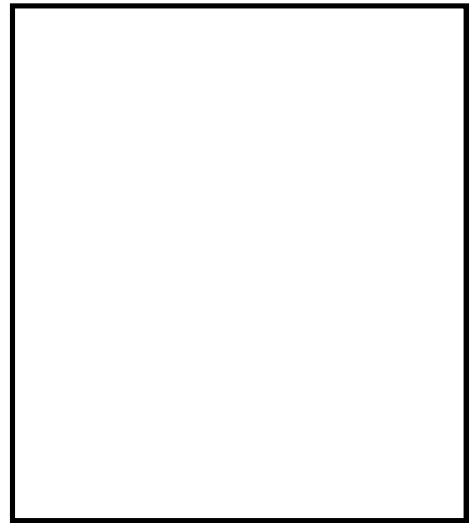


図 6.3-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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 6.3-3 に示す。

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

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

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)

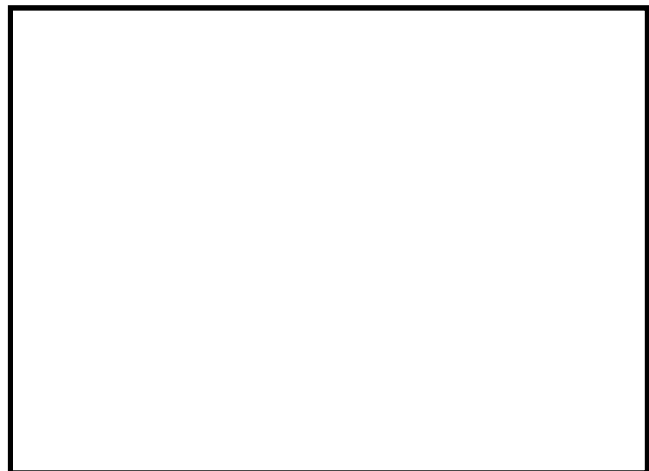


図 6.3-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(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 6.3-4 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 6.3-4 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 6.3-5 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

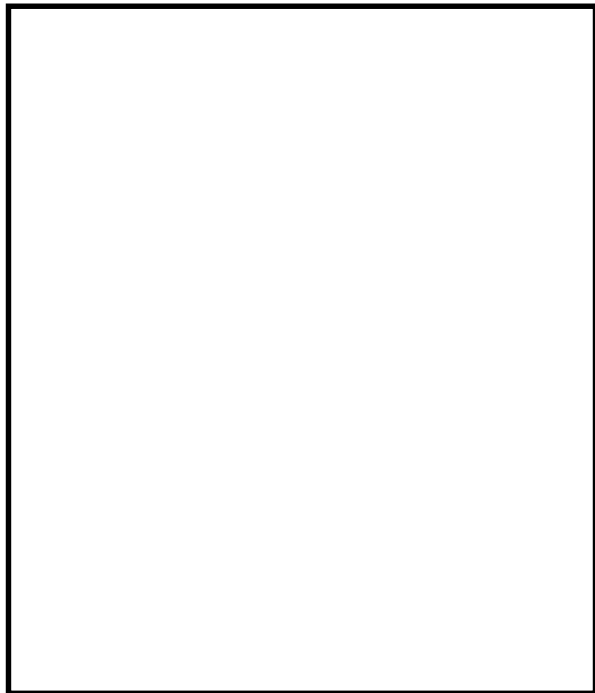


図 6.3-5 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 6.3-6 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 6.3-6 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 6.3-7 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 6.3-7 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)

Z_2 : 断面係数 (mm³)

A_2 : 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)

6.4 評価条件

「6.4 評価方法」用いる評価条件を表 6.4-1 に示す。

表 6.4-1 耐震評価に用いる条件 (1/2)

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		k_H	—	水平震度	1.67
		k_V	—	鉛直震度	1.46
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離	0.595 (595mm)
		L_j	m	ヒンジ中心間距離	1.44 (1440mm)
	板	L_1	mm	作用点間距離	67.5
		Z_1	mm ³	断面係数	10666
		A_1	mm ²	断面積	1600
	ピン	L_2	mm	軸支持間距離	
		B_2	mm	ブッシュ長さ	80
		Z_2	mm ³	断面係数	6283
		A_2	mm ²	断面積	1257
	ボルト	n_1	本	本数	4
		A_{b1}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	157

表 6.4-1 耐震評価に用いる条件 (2/2)

対象部位	記号	単位	定	数値
ロックバー	L_3	mm	作用点間距離	19
	Z_3	mm ³	断面係数	12271
	A_3	mm ²	断面積	1963
ロックボルト	n_2	本	本数	4
	A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	157

6.5 耐震評価結果

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の耐震評価結果を表 6.5-1 に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界値以下である。

表 6.5-1 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
原子炉建屋付属棟 北側水密扉 1	ヒンジ部	板	84	205	0.41
		ピン*1	33	345	0.10
		ヒンジボルト	25	118	0.22
	ロックバー部	ロックバー	4	345	0.02
		ロックボルト	4	118	0.04

*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：枠体を固定するアンカーについては、より荷重の大きな水圧荷重により強度計算の方で評価する。

(水圧荷重：Po=277.5(kN) 耐震荷重：F_H=8.267(kN), F_V=7.227(kN))

(Po：水圧荷重は強度計算 による。)

7.1 原子炉建屋付属棟北側水密扉2

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表7.1-1に示す。

表7.1-1 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	

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

水密扉の荷重の組合せを表7.1-2に示す。

表7.1-2 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

7.2 許容限界

許容限界は、資料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7.2-1及び表7.2-2に示す。

表7.2-1 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7.2-2 許容限界

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

*1: tは板厚 (mm) を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は, 「J I S G 4 3 0 3 : 2012 ステンレス鋼棒」, 「J I S G 4 3 0 4 : 2102 熱間圧延ステンレス鋼版及び鋼帯」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

7.3 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 7.3-1 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 : 水平震度

k_V : 鉛直震度

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)

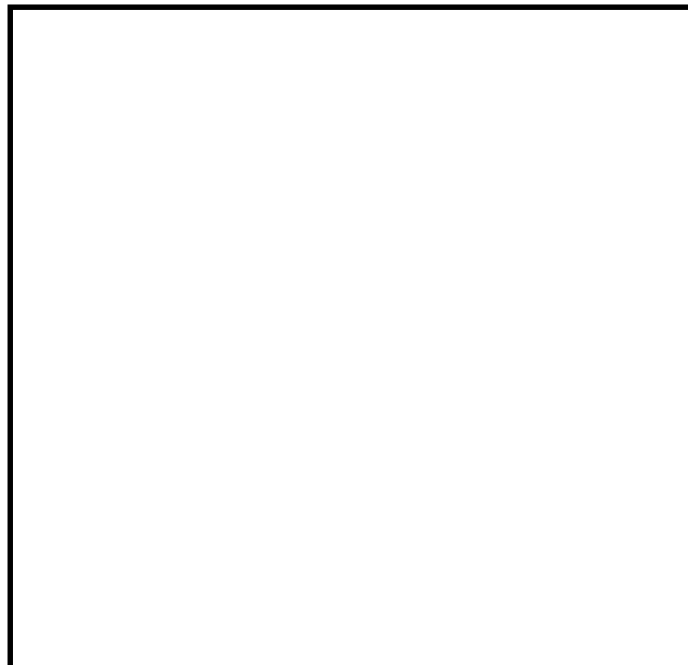


図 7.3-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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 7.3-2 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)

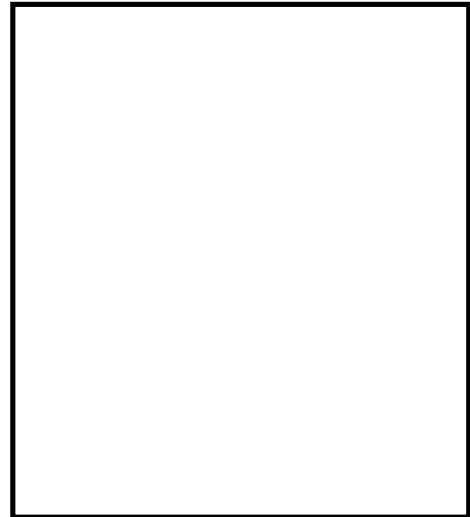


図 7.3-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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 7.3-3 に示す。

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

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

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)

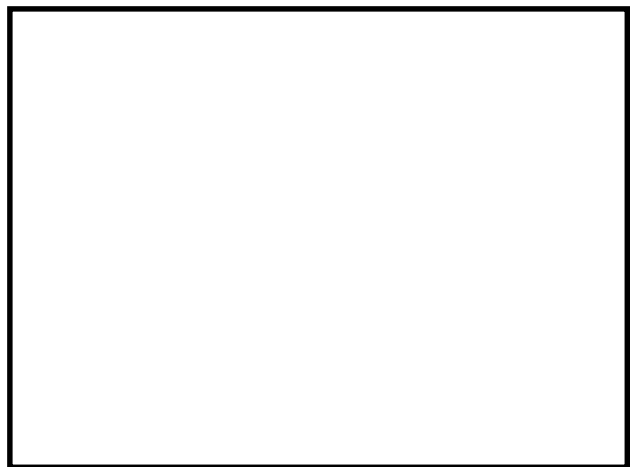


図 7.3-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(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 7.3-4 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 7.3-4 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 7.3-5 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

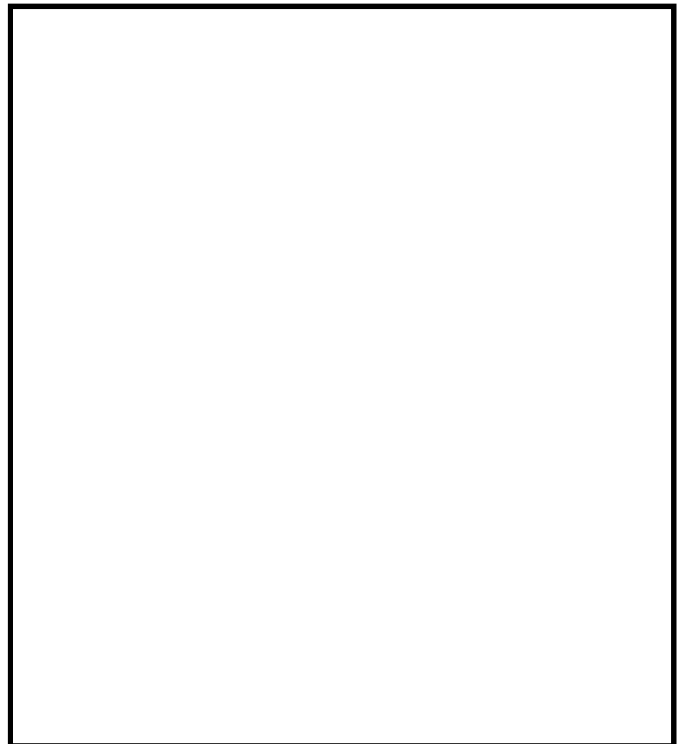


図 7.3-5 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 7.3-6 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)

L₃ : 作用点間距離 (mm)

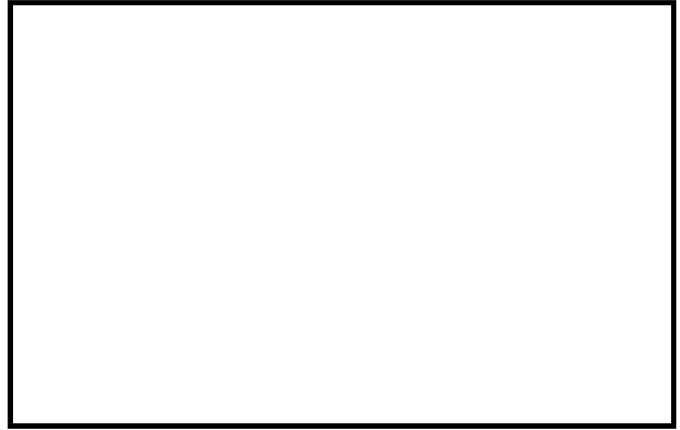


図 7.3-6 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 7.3-7 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 7.3-7 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。

c. 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)

d. 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)

Z_2 : 断面係数 (mm³)

A_2 : 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)

7.4 評価条件

「7.3 評価方法」用いる評価条件を表 7.4-1 に示す。

表 7.4-1 耐震評価に用いる条件 (1/2)

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		k_H	—	水平震度	1.67
		k_V	—	鉛直震度	1.46
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離	0.595 (595mm)
		L_j	m	ヒンジ中心間距離	1.44 (1440mm)
	板	L_1	mm	作用点間距離	67.5
		Z_1	mm ³	断面係数	10666
		A_1	mm ²	断面積	1600
	ピン	L_2	mm	軸支持間距離	
		B_2	mm	ブッシュ長さ	80
		Z_2	mm ³	断面係数	6283
		A_2	mm ²	断面積	1257
	ボルト	n_1	本	本数	4
		A_{b1}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	157

表 7.4-1 耐震評価に用いる条件 (2/2)

対象部位		記号	単位	定義	数値
ロックバー		L_3	mm	作用点間距離	19
		Z_3	mm ³	断面係数	12271
		A_3	mm ²	断面積	1963
ロックボルト		n_2	本	本数	4
		A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	157

7.5 耐震評価結果

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の耐震評価結果を表 7.5-1 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 7.5-1 表 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
原子炉建屋付属棟 北側水密扉 2	ヒンジ部	板	84	205	0.41
		ピン*1	33	345	0.10
		ヒンジボルト	25	118	0.22
	ロックバー部	ロックバー	4	345	0.02
		ロックボルト	4	118	0.04

*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：枠体を固定するアンカーについては、より荷重の大きな水圧荷重により強度計算の方で評価する。

(水圧荷重：Po=277.5(kN) 耐震荷重：F_H=8.267(kN), F_V=7.227(kN))

(Po：水圧荷重は強度計算 による。)

8.1 原子炉建屋付属棟東側水密扉

(1) 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)
原子炉建屋付属棟東側水密扉	

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
原子炉建屋付属棟東側水密扉	$G + K_s$

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

8.2 許容限界

許容限界は、資料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8.2-1及び表8.2-2に示す。

表8.2-1 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8.2-2 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
	235	135
	215	124
	205	118
	205* ³	118
	686* ⁵	396
	345* ⁷	199
	651* ⁵	375

*1: tは板厚 (mm) を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は、「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も*2同様

*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も*4同様

*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も*6同様

8.3 評価方法

(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8.3-1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 : 水平震度

K_V : 鉛直震度

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)

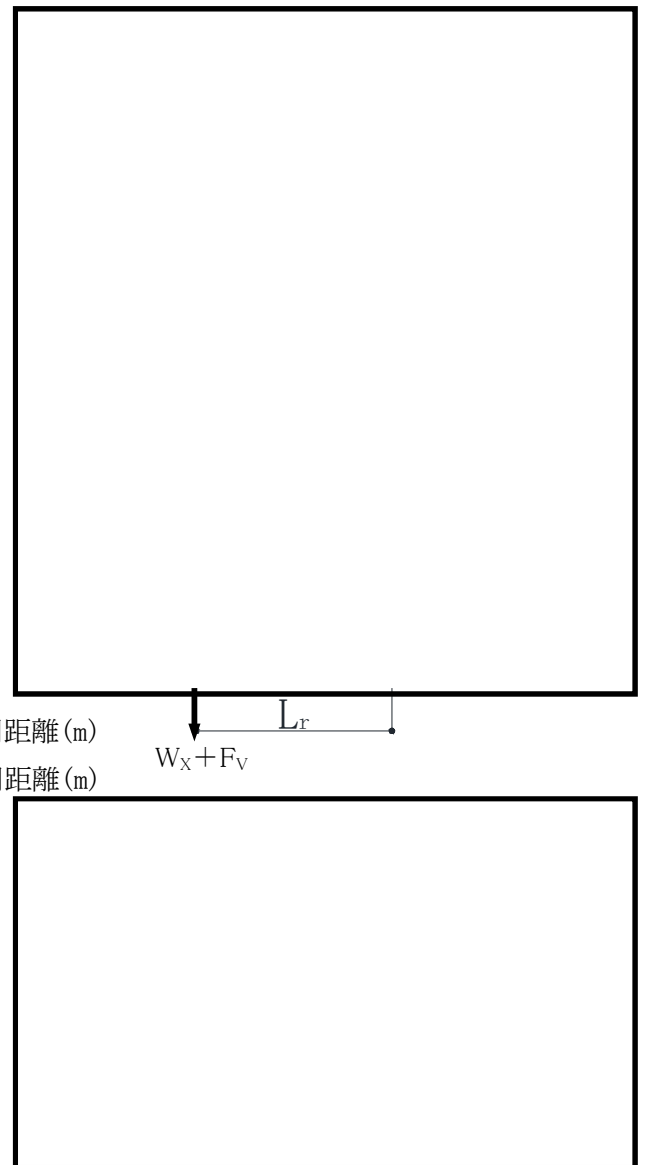


図8.3-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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8.3-2に示す。

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

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)

$$Q = W_x + F_v$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

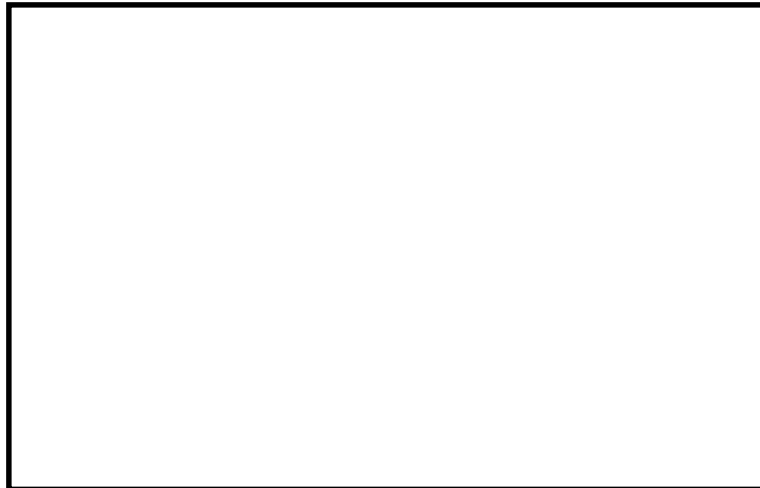


図8.3-2 ヒンジアームに生じる荷重の例

(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8.3-3に示す。

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

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)

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

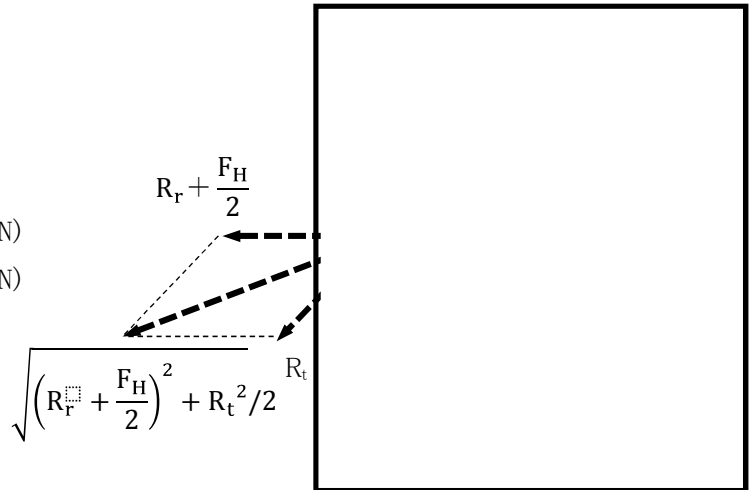


図8.3-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

ここで、

Q : せん断力 (kN)

(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8.3-4に示す。

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

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)

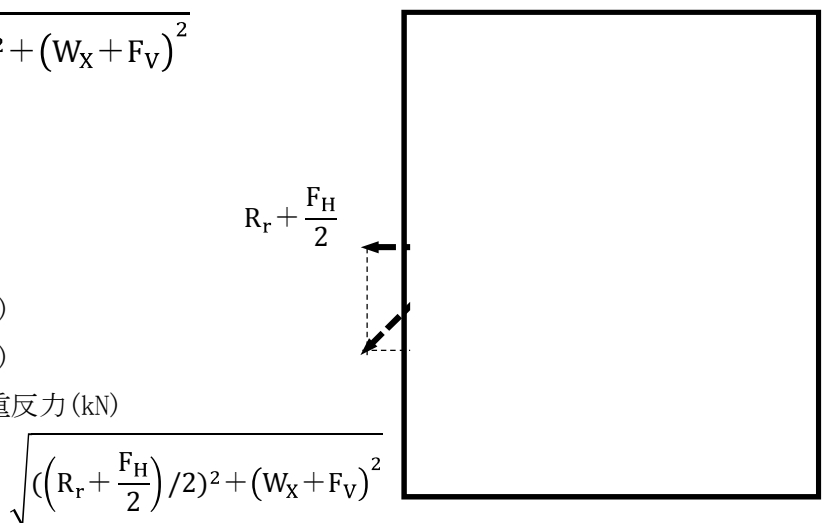


図8.3-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

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8.3-5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 : 水平震度

F_H : 水平地震力 (kN)

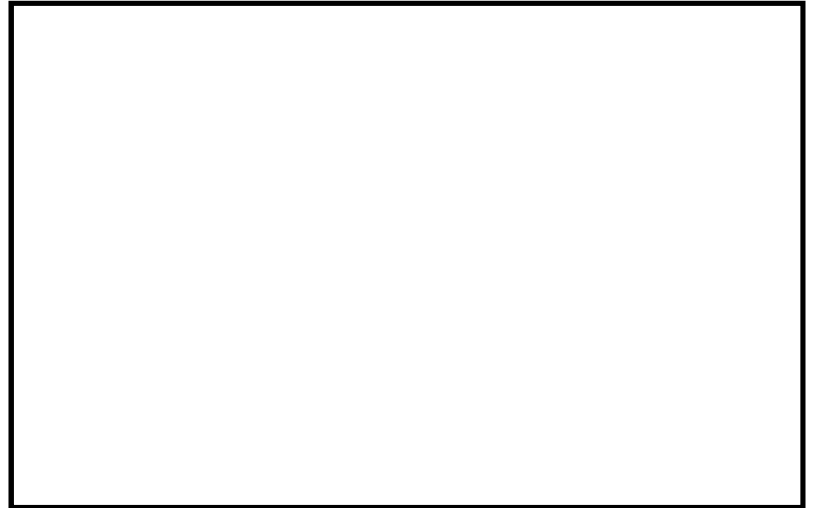


図8.3-5 カンヌキ部に生じる荷重の例

(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8.3-6に示す。

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

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)

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

ここで、

Q : せん断力 (kN)



図8.3-6 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8.3-7に示す。

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

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)



図8.3-7 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

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

ここで、

Q : せん断力 (kN)

(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8.3-8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

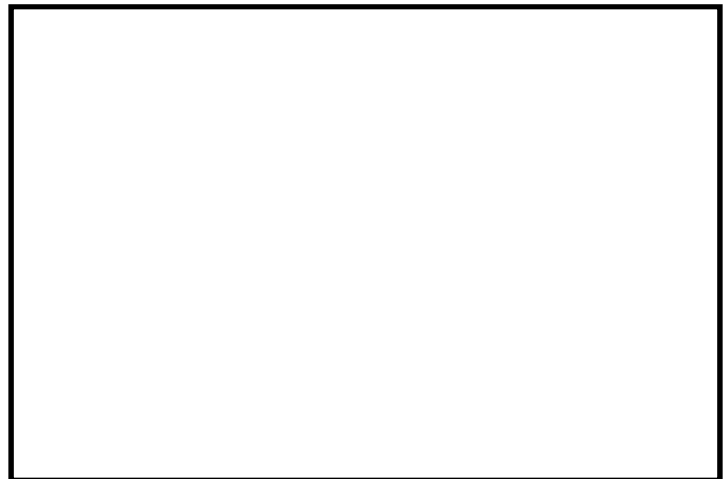


図8.3-8 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(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。

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

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

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。

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

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)

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

ここで、

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)

8.4 評価条件

「8.3 評価方法」に用いる評価条件を表8.4-1に示す。

表8.4-1 耐震評価に用いる条件 (1/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値	
共通	W_x	kN	扉体自重		
	$K_H \cdot K_V$	-	水平震度	1.67	
			鉛直震度	1.46	
ヒンジ部	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ芯 間距離 (幅方向)	0.930
		L_t	m	扉体重心～ヒンジ芯 間距離 (厚方向)	0.245
		L_j	m	ヒンジ間距離	
	ヒンジアーム	L	mm	作用点間距離	0.300
		Z	mm ³	断面係数	288000
		A	mm ²	断面積	14400

表8.4-1 耐震評価に用いる条件 (2/3)

対象部位		記号	単位	定義	数値
ヒンジ部	ヒンジピン	L	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	41420
		A	mm ²	断面積	4418
	ヒンジボルト	n	本	本数	4
		A _b	mm ²	断面積	561
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	12270
		A	mm ²	断面積	1963
	カンヌキ受けピン	L _p	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	785.4
		A	mm ²	断面積	314.2

表8.4-1 耐震評価に用いる条件 (3/3)

対象部位		記号	単位	定義	数値
カンヌキ部	カンヌキ受け ボルト	n	本	本数	2
		A_b	mm^2	断面積	157

8.5 耐震評価結果

原子炉建屋付属棟東側水密扉の耐震評価結果を表4.4.4.2-1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8.5 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
原子炉建屋 付属棟 東側水密扉	ヒンジ部	ヒンジアーム	152	205	0.75
		ヒンジピン	62	686	0.10
		ヒンジボルト	69	375	0.19
	カンヌキ部	カンヌキ	143	205	0.70
		カンヌキ受けピン*1	412	686	0.61
		カンヌキ受けボルト	53	375	0.09

*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

9.1 原子炉建屋付属棟南側水密扉

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表9.1-1に示す。

表9.1-1 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	

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9.1-2に示す。

表9.1-2 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

9.2 許容限界

許容限界は、資料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9.2-1及び表9.2-2に示す。

表9.2-1 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9.2-2 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・引張り	せん断
	235	135
	215	124
	205	118
	345	199

*1: tは板厚 (mm) を示す

*2: 許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は、「J I S G 4 3 0 3 : 2012 ステンレス鋼棒」, 「J I S G 4 3 0 4 : 2102 熱間圧延ステンレス鋼版及び鋼帯」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

9.3 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 9.3-1 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 : 水平震度

k_V : 鉛直震度

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)

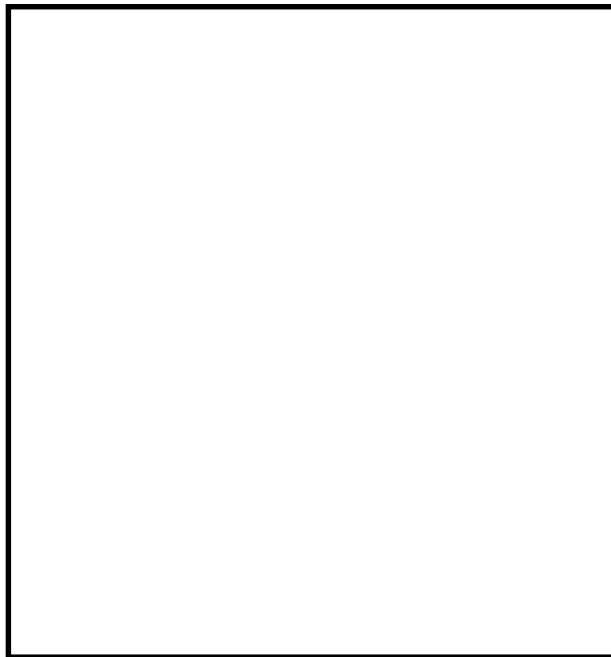


図 9.3-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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 9.3-2 に示す。

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

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

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)
- L₁ : 作用点間距離 (mm)

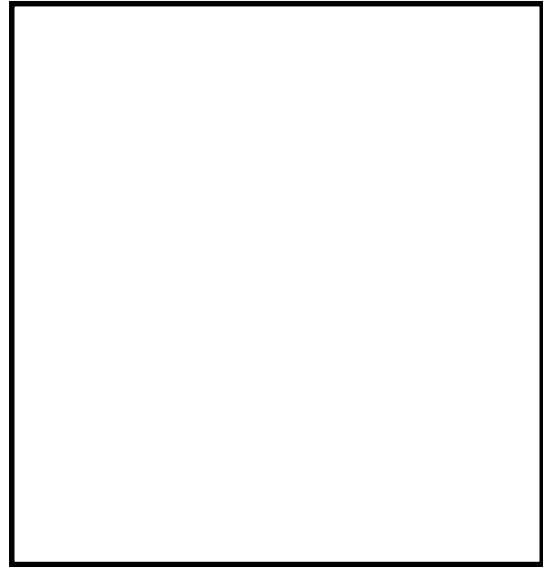


図 9.3-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

(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 9.3-3 に示す。

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

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

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 9.3-3 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 9.3-4 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 9.3-4 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 9.3-5 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

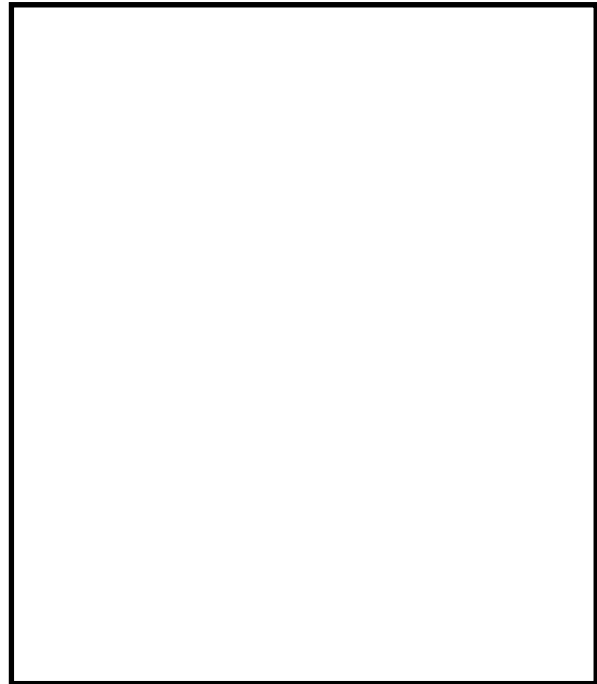


図 9.3-5 ロックバー部に生じる荷重の例

(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 9.3-6 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 9.3-6 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 9.3-7 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 9.3-7 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。

e. 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)

f. 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)

Z_2 : 断面係数 (mm³)

A_2 : 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 ($N \cdot mm^2$)

Q : せん断力 (kN)

n_2 : 本数 (本)

A_{b2} : 1 本当たりの断面積 (mm^2)

9.4 評価条件

「9.3 評価方法」用いる評価条件を表 9.4-1 に示す。

表 9.4-1 耐震評価に用いる条件 (1/2)

対象部位		記号	単位	定義	数値
共通		W_x	kN	扉体自重	
		k_H	—	水平震度	1.67
		k_V	—	鉛直震度	1.46
ヒンジ	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ中心間距離	0.865 (865mm)
		L_j	m	ヒンジ中心間距離	
	板	L_1	mm	作用点間距離	111
		Z_1	mm ³	断面係数	16666
		A_1	mm ²	断面積	2000
	ピン	L_2	mm	軸支持間距離	
		B_2	mm	ブッシュ長さ	90
		Z_2	mm ³	断面係数	6283
		A_2	mm ²	断面積	1257
	ヒンジボルト	n_1	本	本数	4
		A_{b1}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	157

表 9.4-1 耐震評価に用いる条件 (2/2)

対象部位		記号	単位	定義	数値
ロックバー		L_3	mm	作用点間距離	19
		Z_3	mm ³	断面係数	12271
		A_3	mm ²	断面積	1963
ロックボルト		n_2	本	本数	4
		A_{b2}	mm ²	1本当たりの断面積 (M16)	157

9.5 耐震評価結果

原子炉建屋付属棟南側水密扉の耐震評価結果を表 9.5-1 に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界値以下である。

表 9.5-1 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
原子炉建屋付属棟 南側水密扉	ヒンジ部	板	159	205	0.78
		ピン*1	69	345	0.20
		ヒンジボルト	46	118	0.39
	ロックバー部	ロックバー	4	345	0.02
		ロックボルト	4	118	0.04

*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：枠体を固定するアンカーについては、より荷重の大きな水圧荷重により強度計算の方で評価する。

(水圧荷重：Po=477.5(kN) 耐震荷重：F_H=14.78(kN), F_V=12.92(kN))

(Po：水圧荷重は強度計算 による。)

10.1 原子炉建屋付属棟西側水密扉

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を表10.1-1に示す。

表10.1-1 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	

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

水密扉の荷重の組合せを表10.1-2に示す。

表10.1-2 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

10.2 許容限界

許容限界は、資料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10.2-1及び表10.2-2に示す。

表10.2-1 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		

(2) 許容限界

表10.2-2 許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
	235	135
	215	124
	205 ^{*3}	118
	686 ^{*5}	396
	651 ^{*5}	375
	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」, 「JIS 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も*2同様

*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も*4同様

*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も*6同様

10.3 評価方法

(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10.3-1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 : 水平震度

K_V : 鉛直震度

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)

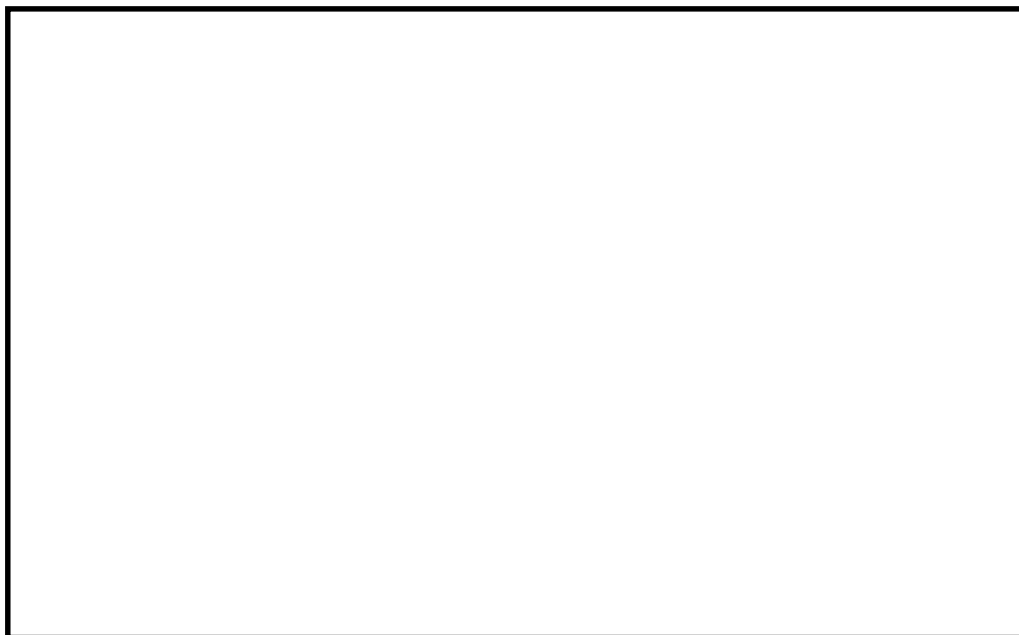


図10.3-1 ヒンジ部に生じる荷重の例

(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10.3-2に示す。

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

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)

$$Q = W_x + F_v$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

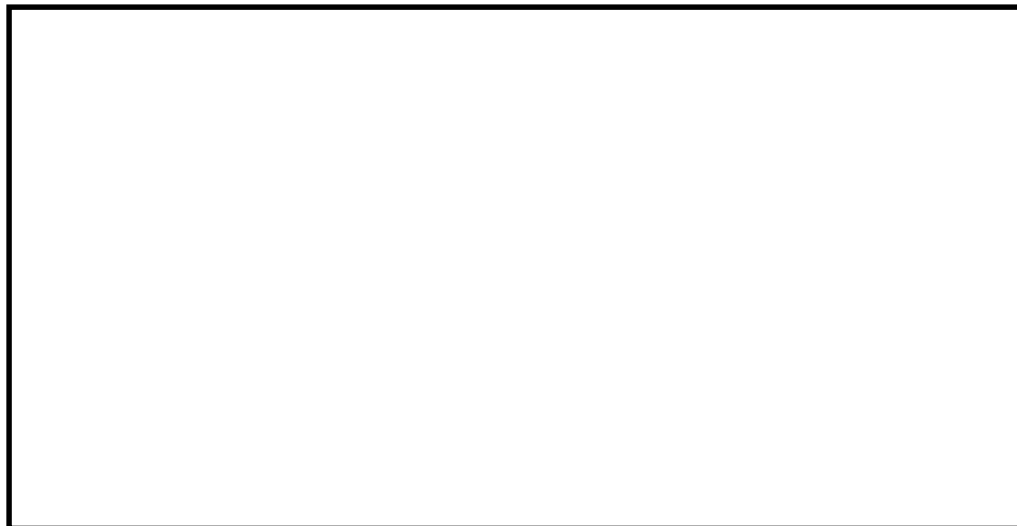


図10.3-2 ヒンジアームに生じる荷重の例

(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10.3-3に示す。

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

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)

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

ここで、

Q : せん断力 (kN)

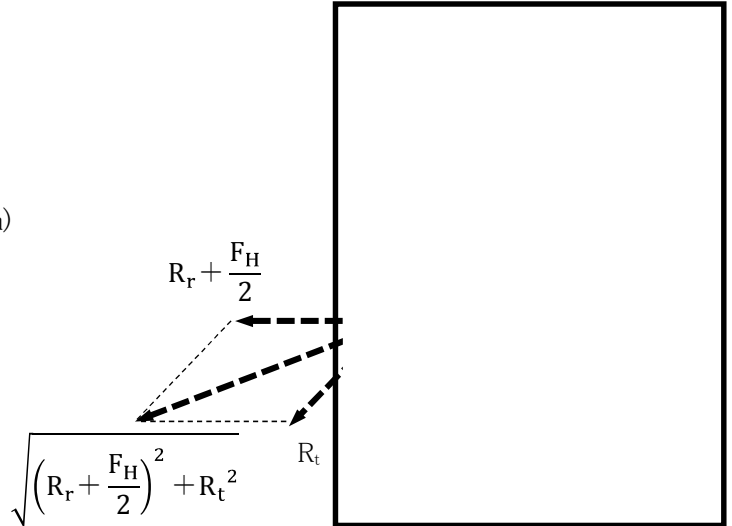


図10.3-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

(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10.3-4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)

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

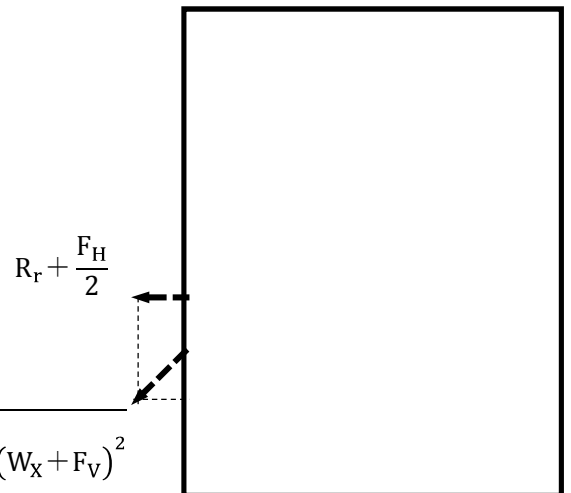


図10.3-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

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10.3-5に示す。

$$F_H = W_X \cdot K_H$$

ここで、

W_X : 扉体自重 (kN)

K_H : 水平震度

F_H : 水平地震力 (kN)



図10.3-5 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10.3-7に示す。

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

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)



図10.3-7 カンヌキに生じる荷重の例

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

ここで、

Q : せん断力 (kN)

(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10.3-8に示す。

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

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)



図10.3-8 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

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

ここで、

Q : せん断力 (kN)

(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10.3-9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10.3-9 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、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。

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

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)

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

ここで、

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)

10.4 評価条件

「10.3 評価方法」に用いる評価条件を表10.4-1に示す。

表10.4-1 耐震評価に用いる条件 (1/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値	
共通	W_X	kN	扉体自重		
	$K_H \cdot K_V$	-	水平震度	1.67	
			鉛直震度	1.46	
ヒンジ部	共通	L_r	m	扉体重心～ヒンジ芯間 距離 (幅方向)	0.5775
		L_t	m	扉体重心～ヒンジ芯間 距離 (厚方向)	0.182
		L_j	m	ヒンジ間距離	
	ヒンジアーム	L	mm	作用点間距離	0.190
		Z	mm ³	断面係数	57170
		A	mm ²	断面積	4900

表10.4-1 耐震評価に用いる条件 (2/3)

対象部位		記号	単位	定義	数値
ヒンジ部	ヒンジピン	L	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	4209
		A	mm ²	断面積	962.1
	ヒンジボルト	n	本	本数	4
		A	mm ²	断面積	157
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	12270
		A	mm ²	断面積	1963
	カンヌキ受けピン	L _p	mm	軸支持間距離	
		Z	mm ³	断面係数	785
		A	mm ²	断面積	314.2

表10.4-1 耐震評価に用いる条件 (3/3)

対象部位		記号	単位	定義	数値
カンヌキ部	カンヌキ受けボルト	n	本	本数	2
		A_b	mm ²	断面積	157

10.5 耐震評価結果

原子炉建屋付属棟西側水密扉の耐震評価結果を表10.5-1に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った

結果，発生応力度又は荷重は許容限界値以下である。

表10.5-1 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
原子炉建屋 付属棟西側 水密扉	ヒンジ部	ヒンジアーム	85	215	0.40
		ヒンジピン	176	651	0.28
		ヒンジボルト	50	375	0.14
	カンヌキ部	カンヌキ	34	205	0.17
		カンヌキ受けピン*1	124	345	0.36
		カンヌキ受けボルト	14	651	0.03

*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