

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。	柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
	資料番号	KK6 添-2-052 改1
	提出年月日	2024年2月6日

VI-2-11-2-2-6 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震性についての
計算書

2024年2月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	7
2.5	記号の説明	8
3.	固有振動数及び設計用地震力	10
3.1	固有振動数の計算方法	10
3.1.1	解析モデルの設定	10
3.1.2	記号の説明	12
3.1.3	固有振動数の算出方法	12
3.2	固有振動数の計算条件	13
3.3	固有振動数の計算結果	13
3.4	設計用地震力	14
4.	耐震評価方法	15
4.1	評価対象部位	15
4.1.1	扉部の評価対象部位	15
4.1.2	鋼板部の評価対象部位	15
4.2	荷重及び荷重の組合せ	16
4.2.1	荷重の組合せ	16
4.2.2	荷重	16
4.3	許容限界	17
4.3.1	扉部	17
4.3.2	鋼板部	18
4.4	評価方法	19
4.4.1	扉部の応力算定	19
4.4.2	扉部の断面検定	25
4.4.3	鋼板部の応力算定	29
4.4.4	鋼板部の断面検定	34
4.5	評価条件	36
5.	評価結果	38

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である見学者ギャラリー室竜巻防護扉が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、上位クラス施設である原子炉建屋エアロックに対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

見学者ギャラリー室竜巻防護扉は、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉建屋エアロックの南側に設置されており、転倒時に原子炉建屋エアロックに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

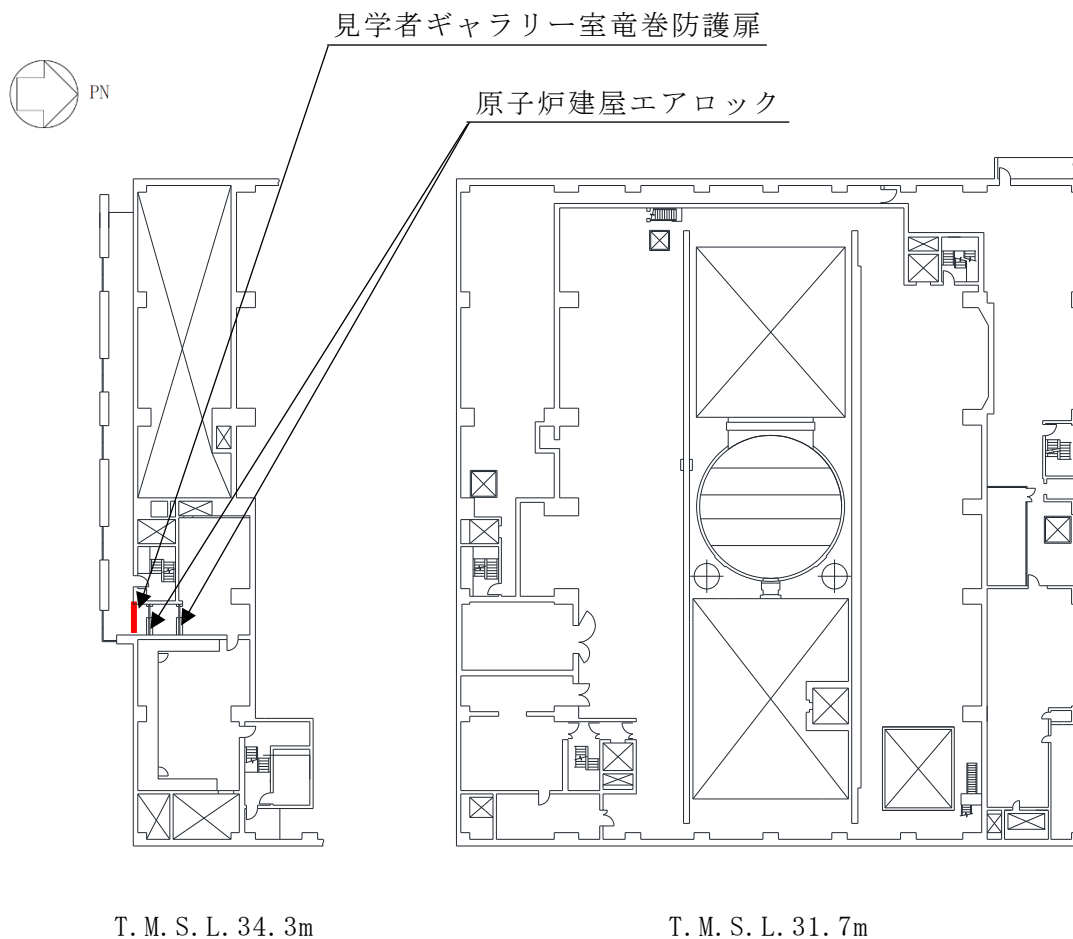


図 2-1 見学者ギャラリー室竜巻防護扉と原子炉建屋エアロックの位置関係図

2.2 構造計画

表 2-1 に見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造計画を示す。見学者ギャラリー室竜巻防護扉は、原子炉建屋エアロック (T.M.S.L. 34.3m) の南側に設置され、扉部と鋼板部から構成される。

それぞれの部位について構造計画を表 2-1 に、使用材料を表 2-2 に示す。

扉部は、片開き型の鋼製扉とし表側鋼板の背面に芯材を配した構造である。また、アンカーボルトによって躯体に固定された扉枠に対し、ヒンジ及び締付装置によって扉本体を扉枠に固定することで支持する構造とする。

鋼板部は、鋼製板、芯材 (水平材、鉛直材)、枠材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより躯体と枠材を固定する構造とする。

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の概略構造図を図 2-2 に示す。

表 2-1 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉部は、扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、ヒンジ及び締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p> <p>鋼板部は、鋼製板を芯材 (水平材、鉛直材) が支持し、枠材で固定するものとし、枠材をアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>扉部は、片開き型の鋼製扉とし、鋼製の表側鋼板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p> <p>鋼板部は、鋼製板、芯材 (水平材、鉛直材)、枠材及びアンカーボルトにて構成する。</p>	<p>図 2-2</p>

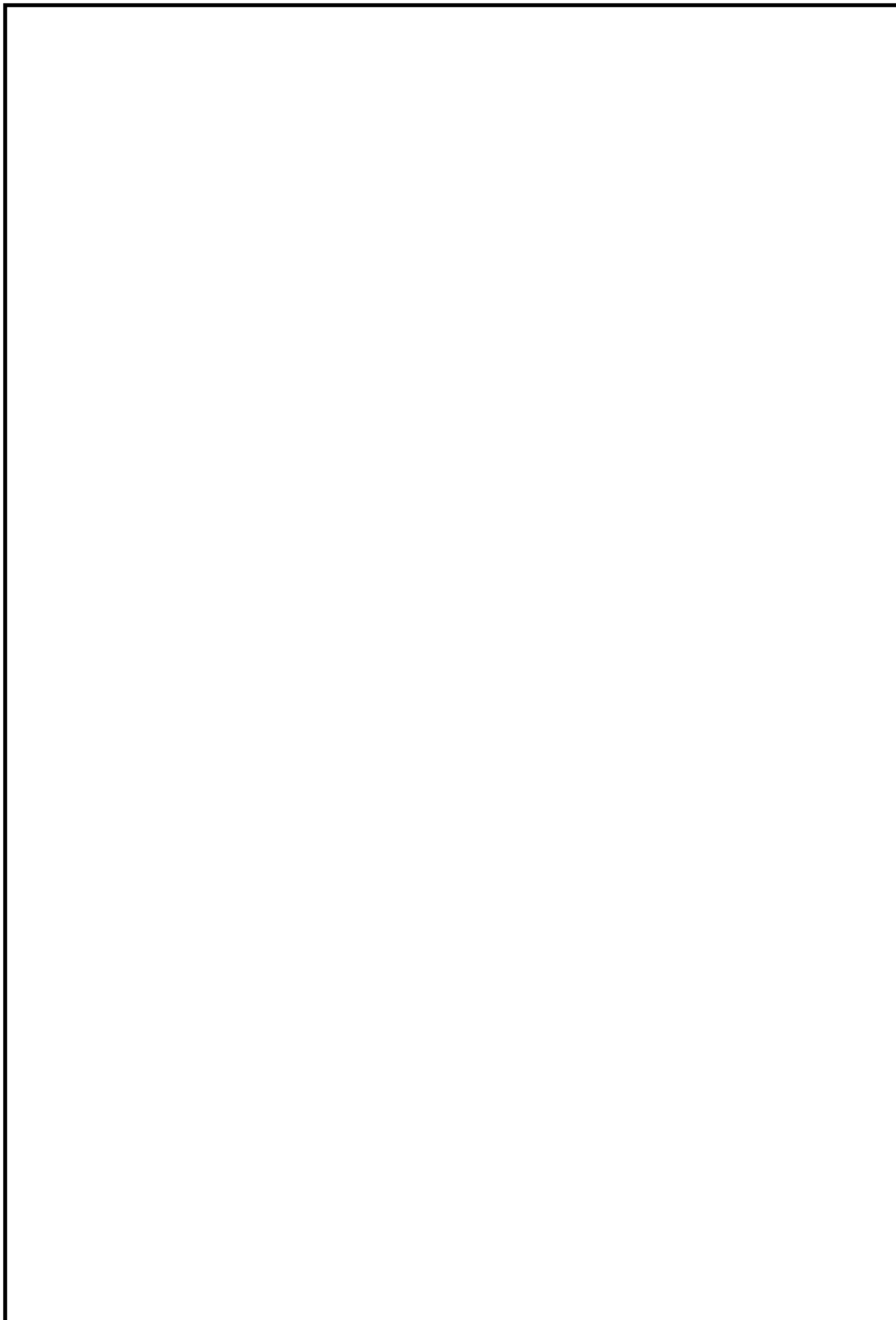


図 2-2 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の概略構造図

表 2-2 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の使用材料

評価対象部位		材質	仕様	
扉部	表側鋼板			
	芯材			
	ヒンジ			ヒンジ板
				ヒンジピン
				ヒンジボルト
	アンカーボルト			
鋼板部	鋼製板			
	芯材			
	アンカーボルト			

K6 ① VI-2-11-2-2-6 R0

2.3 評価方針

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」に示す見学者ギャラリー室竜巻防護扉の部位を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する部位において、「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り算出した応力等が評価基準値内に収まることを、「4. 耐震評価方法」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。地震荷重の設定については、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S_s による結果を用いる。

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

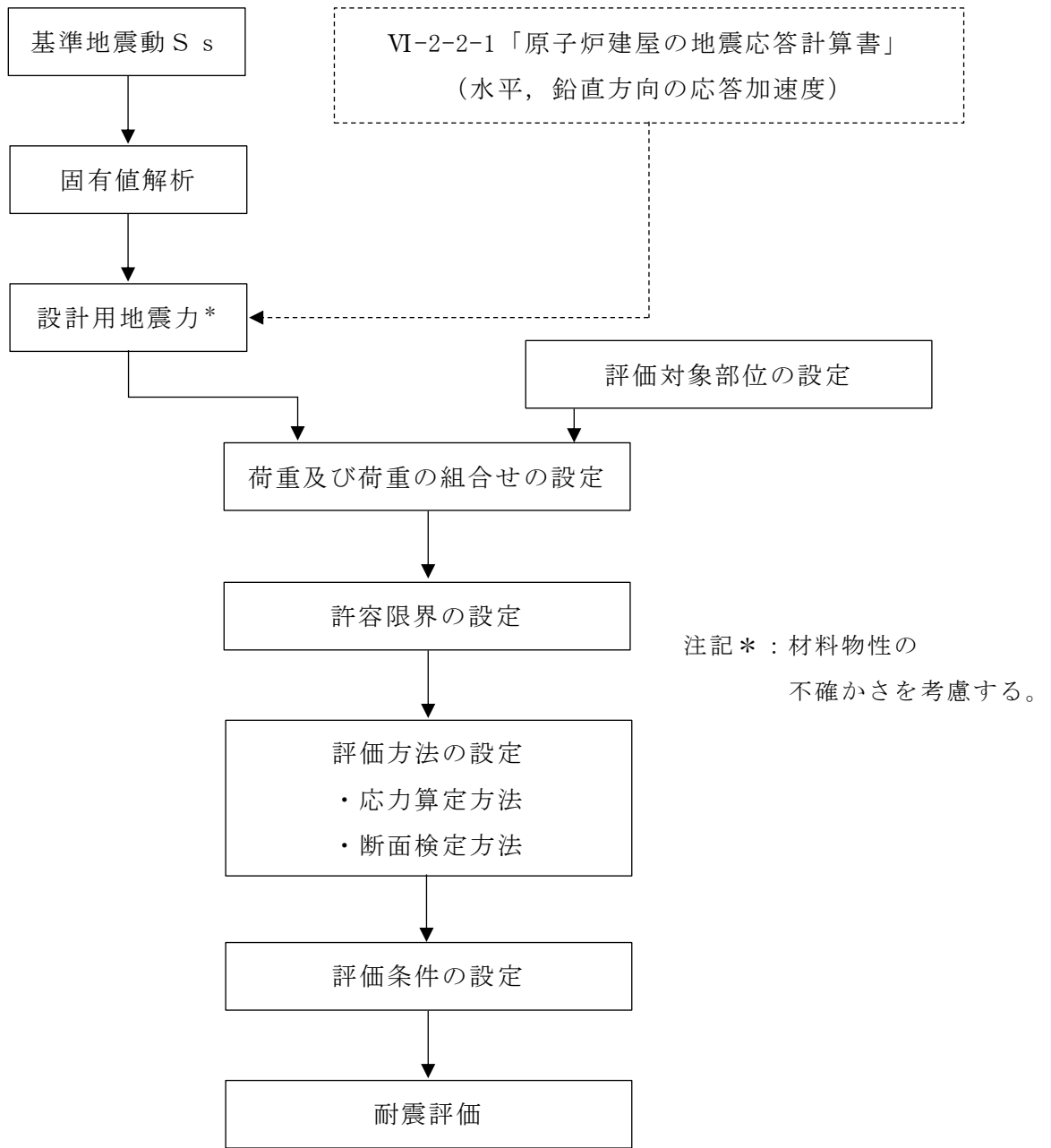


図 2-3 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
(以下「S規準」という。)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 日本産業規格 (J I S)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 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 ((社) 日本電気協会)

2.5 記号の説明

扉部の耐震評価に用いる記号を表 2-3 に、鋼板部の耐震評価に用いる記号を表 2-4 に示す。

表 2-3 扉部の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
w_{ss}	kN/m	表側鋼板又は芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重
W_1	kN	スラスト荷重
G_1	kN	扉の重量
w_a	kN	扉枠の重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
F_1	kN	転倒力
F_{1a}	kN	扉と扉枠の重量を含んだ転倒力
L_1	mm	表側鋼板の長辺長さ
L_2	mm	表側鋼板の短辺長さ
L_3	mm	芯材の全長
L_4	mm	扉重心とヒンジ芯間距離
L_5	mm	ヒンジ芯間距離
L_6	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離
L_7	mm	ヒンジ板と受板間距離
L_D	mm	扉の幅
H_D	mm	扉の高さ
B	mm	芯材の負担幅
M	kN・m	曲げモーメント
T	kN	引張力
Q	kN	せん断力
n_1	—	ヒンジボルトの本数
n_2	—	ヒンジ側アンカーボルトの本数
σ	N/mm ²	曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
x	N/mm ²	組合せ応力度
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積
T_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力
Q_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力

表 2-4 鋼板部の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_H	kN	設計用水平地震力
k_H	—	水平震度
$w_{s s}$	kN/m	鋼製板又は芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
G_2	kN	鋼板部の重量
$w h'$	kN/m	鋼板部にかかる水平荷重
L_8	mm	鋼製板の短辺長さ
L_9	mm	評価の対象とする鋼製板の短辺長さ
L_{10}	mm	芯材の負担幅
L_{11}	mm	芯材全長
H	mm	鋼製板の高さ
M	kN・m	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
n_3	—	アンカーボルトの本数
σ	N/mm ²	曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
x	N/mm ²	組合せ応力度
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積
T_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力
Q_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有振動数の計算方法

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を求める。扉部と鋼板部の芯材の固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

扉部は，表側鋼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部により扉と扉枠を固定する構造であることから，扉閉止時については両端固定はりに，扉開放時についてはヒンジ，自由端はりに単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材の長さは扉幅とする。

鋼板部は，鋼製板及び芯材の組合せにより剛な断面を有している構造であることから，両端固定はりに単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材（鉛直材）の長さは鋼製板の高さとする。図 3-1 に解析モデルを示す。

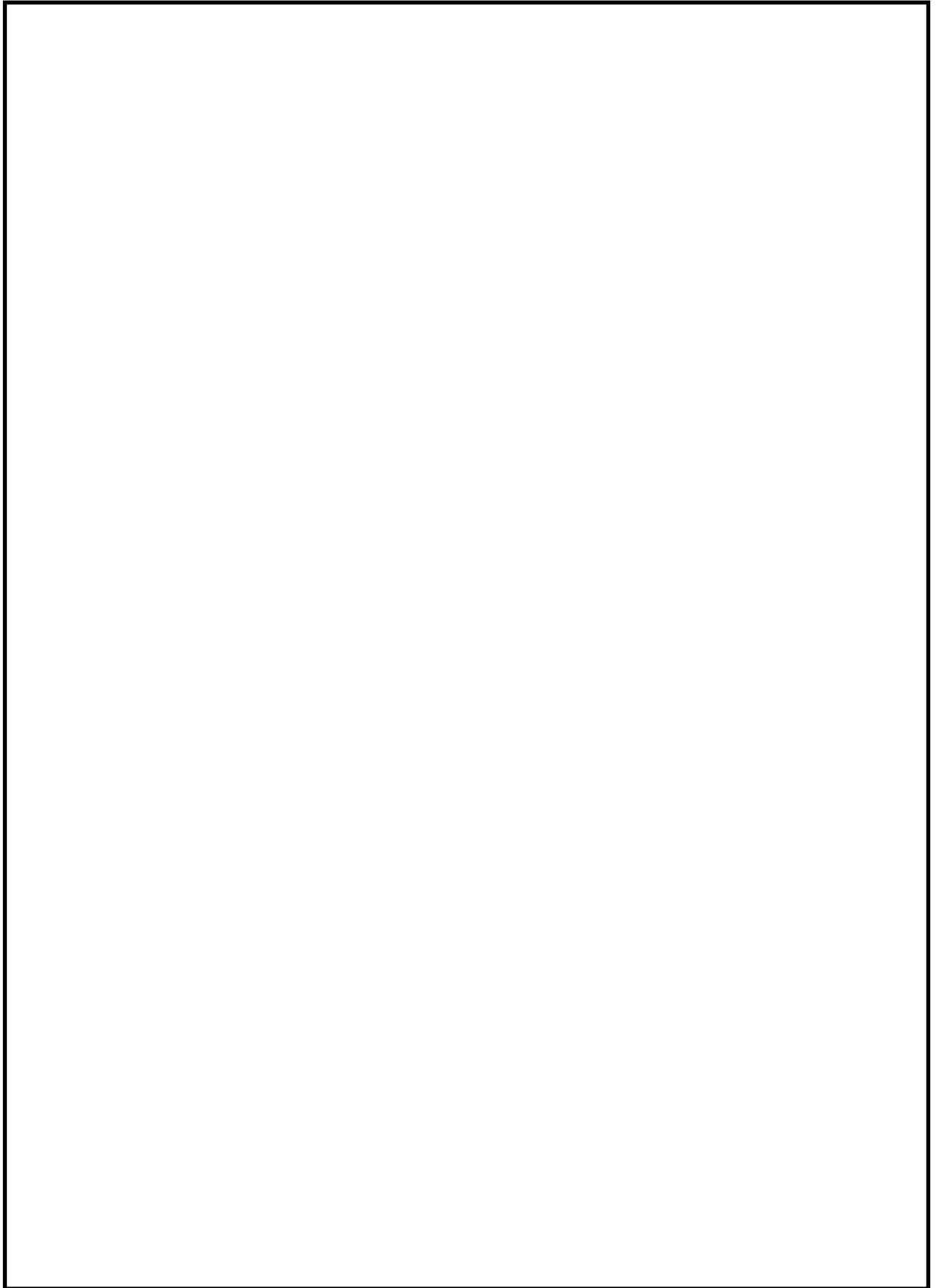


図 3-1 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有値解析モデル

3.1.2 記号の説明

固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	mm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	断面 2 次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会 構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。ここで、固有振動数は水平方向（扉部及び鋼板部の面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（扉部及び鋼板部の面内方向）については、鉛直方向の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。モデル化の対象は、扉部の芯材及び、鋼板部の芯材（鉛直材）とする。

(1) 扉部（扉閉止時）、鋼板部

両端固定はりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \cdot 10^6}{m}}$$

(2) 扉部（扉開放時）

扉開放時において扉部は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないことから、本評価においては芯材が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ、自由端はりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \cdot 10^6}{m}}$$

3.2 固有振動数の計算条件

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

評価部位	長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
扉部				
鋼板部				

3.3 固有振動数の計算結果

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有振動数の計算結果を表 3-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数の計算結果

評価部位	固有振動数 f (Hz)
扉部 (閉止時)	
扉部 (開放時)	
鋼板部	

3.4 設計用地震力

「3. 固有振動数及び設計用地震力」に示したとおり，見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震評価で用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとしてVI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」によることとし，耐震評価で用いる設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 設計震度

名称	基準地震動 S_s の設計震度	
	水平震度*	鉛直震度
見学者ギャラリー室 竜巻防護扉	1.35	0.994

注記*：NS 方向と EW 方向の大きい方を採用する。

4. 耐震評価方法

4.1 評価対象部位

評価対象部位は、「2.2 構造計画」に示す見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造上の特徴を踏まえ扉部と鋼板部に分けて選定する。

4.1.1 扉部の評価対象部位

基準地震動 S_s による地震荷重により扉部に生じる慣性力は、表側鋼板、芯材、ヒンジ（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及び締付装置部から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達される。ここで、締付装置部は損傷しても見学者ギャラリー室竜巻防護扉が転倒しないこと、扉枠はアンカーボルトの大半が損傷しない限り転倒・脱落しないことから、評価対象部位を表側鋼板、芯材、ヒンジ及びアンカーボルトとする。また、アンカーボルトに発生する応力が最大となる状態で評価を行うことを考慮し、扉が 0° 、 90° 又は 180° の開閉状態における評価を行うとともに、地震荷重の作用により応力が集中する扉の状態を踏まえ、ヒンジ側アンカーボルトを評価対象とする。

4.1.2 鋼板部の評価対象部位

鋼板部の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、鋼製板及び芯材（水平材、鉛直材）から枠材及びアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、鋼製板、芯材（鉛直材）及びアンカーボルトとする。

なお、芯材（水平材、鉛直材）及び枠材については、材質と断面形状が同一であるため、地震荷重の負担面積が最も大きい芯材（鉛直材）を評価対象とする。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

見学者ギャラリー一室竜巻防護扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動による地震荷重 (kN)

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として見学者ギャラリー一室竜巻防護扉の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設計した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

4.3 許容限界

4.3.1 扉部

(1) 表側鋼板, 芯材, ヒンジ

鋼材の許容応力度は, VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき, 表 4-1 のとおり設定する。

表 4-1 鋼材の短期許容応力度

材質*1	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
	235	135
	215	124
	345	199
	651	375

注記*1 : 許容応力度を決定する場合の基準値 F は, 日本産業規格 (J I S) に基づく。

*2 : t は板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は, 「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて, 「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容応力を表 4-2 に示す。

評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては, アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して, 小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては, アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力, 定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して, いずれか小さい値を採用する。

表 4-2 アンカーボルト 1 本当りの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
	40.6	40.3

4.3.2 鋼板部

(1) 鋼製板，芯材（鉛直材）

鋼材の許容応力度は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき，表 4-3 のとおり設定する。

表 4-3 鋼材の短期許容応力度

材質*1	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
	235	135

注記*1：許容応力度を決定する場合の基準値 F は，日本産業規格（J I S）に基づく。

*2：t は板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は，「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（(社)日本建築学会，2010 改定）」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容応力を表 4-4 に示す。

評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 アンカーボルト 1 本当りの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
	39.3	26.5

4.4 評価方法

4.4.1 扉部の応力算定

自重，地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける表側鋼板，芯材に生じる曲げ応力，せん断応力，ヒンジに生じる曲げ応力，せん断応力並びにアンカーボルトに生じる引張力，せん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力，引張力を次式により算定する。

(1) 表側鋼板

表側鋼板に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端固定の一方向版として算定する。表側鋼板に作用する荷重の例を図 4-1 に示す。

$$M = w_{ss} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

M : 表側鋼板の最大曲げモーメント (kN・m)

w_{ss} : 表側鋼板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 表側鋼板の短辺長さ (mm)

ここで， $w_{ss} = S_s / (L_1 \cdot 10^{-3})$

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN) ($= G_1 \cdot k_H$)

L_1 : 表側鋼板の長辺長さ (mm)

G_1 : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度



図 4-1 表側鋼板に作用する荷重の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。
 芯材に作用する荷重の例を図 4-2 に示す。

$$M = w_{s s} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

$$Q = w_{s s} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

ここで，

$$w_{s s} = S_s \cdot B / (L_D \cdot H_D \cdot 10^{-3})$$

$w_{s s}$: 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN) ($= G_1 \cdot k_H$)

G_1 : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

B : 芯材の負担幅 (mm)

L_D : 扉の幅 (mm)

H_D : 扉の高さ (mm)

L_3 : 芯材全長 (mm)

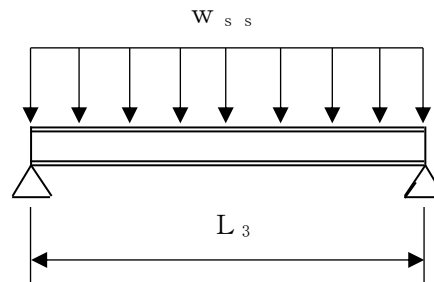


図 4-2 芯材に作用する荷重の例

(3) ヒンジ

ヒンジは、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スラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ここで、扉の重量は2箇所のヒンジで支持することから、ヒンジに生じる転倒力には、扉上半分の重量を慣性力として作用させるものとする。ヒンジに生じる荷重の例を図4-3に示す。

$$W_1 = G_1 + k_{UD} \cdot G_1$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_4 / L_5 + k_H \cdot G_1 / 2$$

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_1 : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 転倒力 (kN)

L_4 : 扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_5 : ヒンジ芯間距離 (mm)

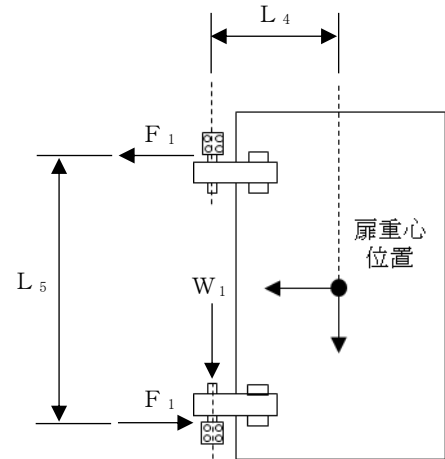


図4-3 ヒンジに生じる荷重の例

a. ヒンジ板

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

$$M = W_1 \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

M : ヒンジ板の最大曲げモーメント (kN・m)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_6 : ヒンジ板の2軸間距離 (mm)

$$Q = W_1$$

Q : ヒンジ板の最大せん断力 (kN)

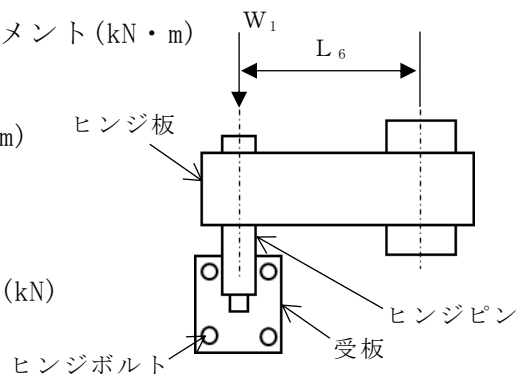


図4-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、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に示す。

$$M = F_1 \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$$

M : ヒンジピンの最大曲げモーメント (kN・m)

F_1 : 転倒力 (kN)

L_7 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

$$Q = F_1$$

Q : ヒンジピンの最大せん断力 (kN)

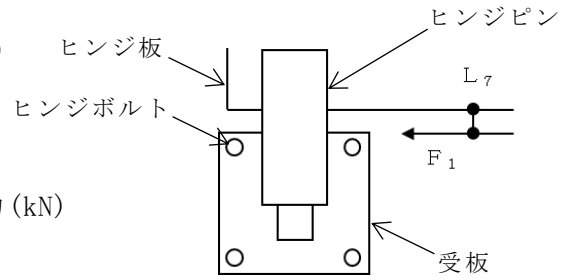


図4-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、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4-6に示す。

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 / n_1)^2}$$

Q : ヒンジボルトの最大せん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数

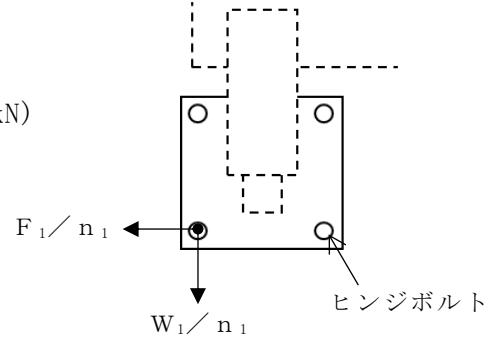


図4-6 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、「4.1.1 扉部の評価対象部位」に基づき、地震荷重を考慮する場合はヒンジ側のアンカーボルトで荷重を負担するものとして算出する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲は図 4-7 に示すとおり、転倒力が作用するヒンジ付近に限定し、扉枠の慣性力は扉枠全体の重量の 1/2 を評価において考慮する。また、扉の開放角度ごとの荷重の作用状況を図 4-8 に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a / 2$$

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力 (kN)

F_1 : 転倒力 (kN)

k_H : 水平震度

w_a : 扉枠の重量 (kN)

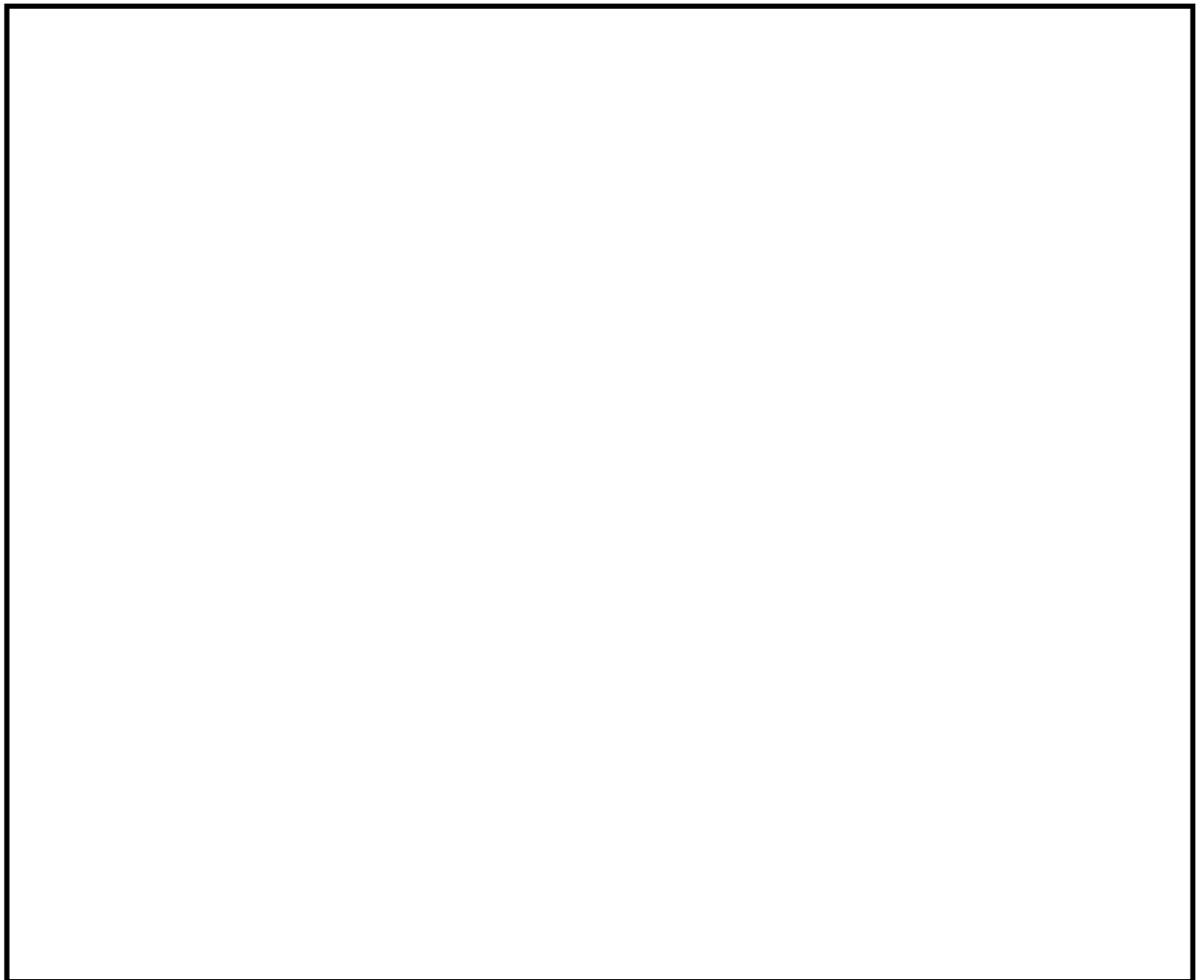


図 4-7 地震荷重を考慮する場合のヒンジ側アンカーボルトに生じる荷重の例

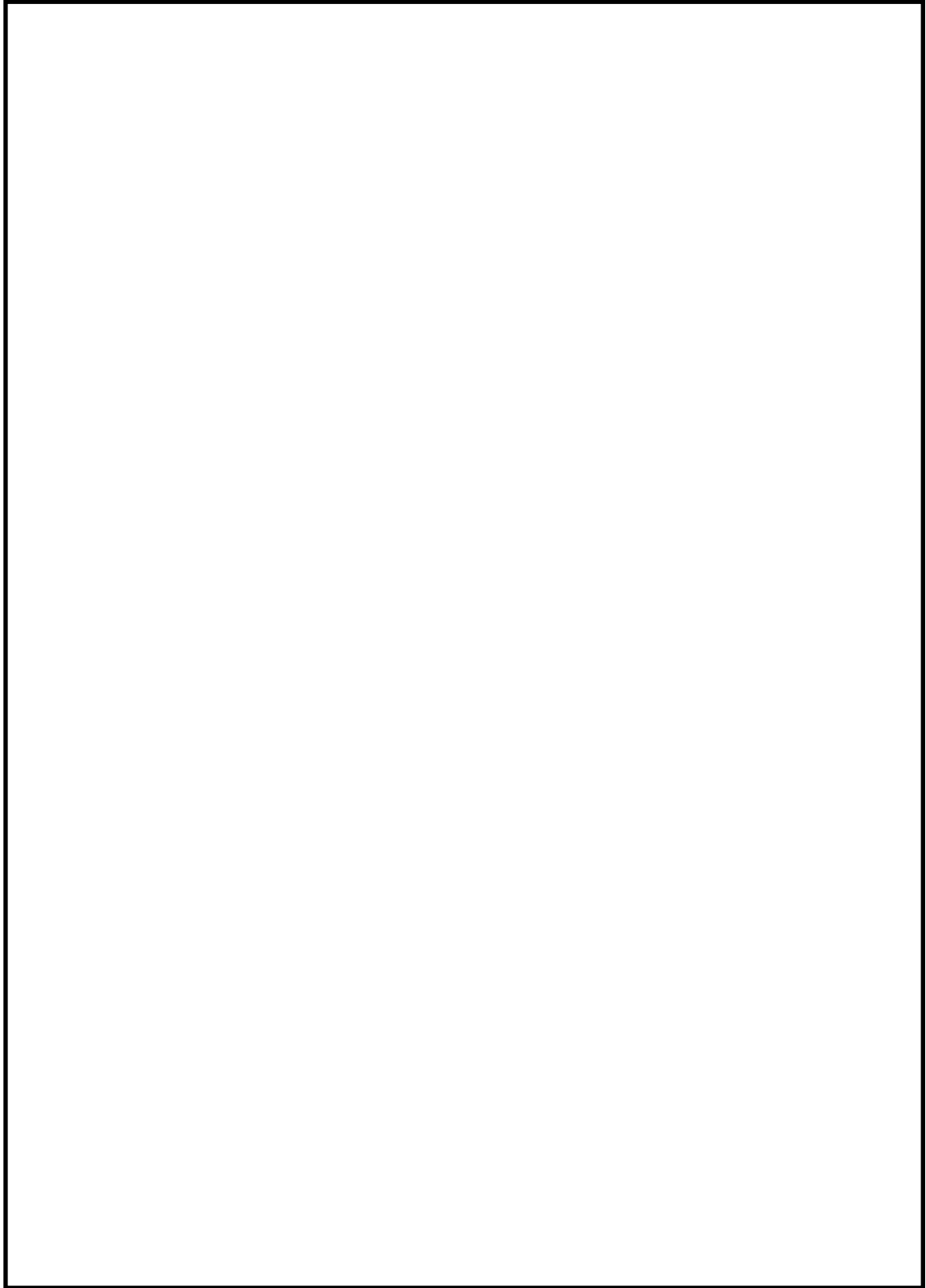


図 4-8 扉の開放角度別の荷重の作用状況

4.4.2 扉部の断面検定

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。

(1) 表側鋼板

表側鋼板に作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 表側鋼板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 表側鋼板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 表側鋼板の断面係数 (mm³)

(2) 芯材

a. 芯材に作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に作用する最大せん断応力度 τ

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

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

A_s : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) ヒンジ

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「S規
準」に基づく次式により算定し，ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを
確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで，

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

σ : ヒンジ板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジ板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

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

τ : ヒンジ板の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジ板の最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジ板のせん断断面積 (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「S 規準」に基づく次式により算定し，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。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで，

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

σ : ヒンジピンの最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジピンの最大曲げモーメント (kN・m)

Z : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

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

τ : ヒンジピンの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジピンの最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジピンのせん断断面積 (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。

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

τ : ヒンジボルトの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジボルトの最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(4) アンカーボルト

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

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで， $T_d = F_{1a} / n_2$

T_d : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力 (kN)

n_2 : ヒンジ側アンカーボルトの本数

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで， $Q_d = F_{1a} / n_2$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力 (kN)

n_2 : ヒンジ側アンカーボルトの本数

4.4.3 鋼板部の応力算定

自重，地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける鋼製板，芯材に生じる曲げ応力，せん断応力，並びにアンカーボルトに生じるせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力を次式により算定する。

鋼板部に生じる力の概念図を図 4-9 に示す。

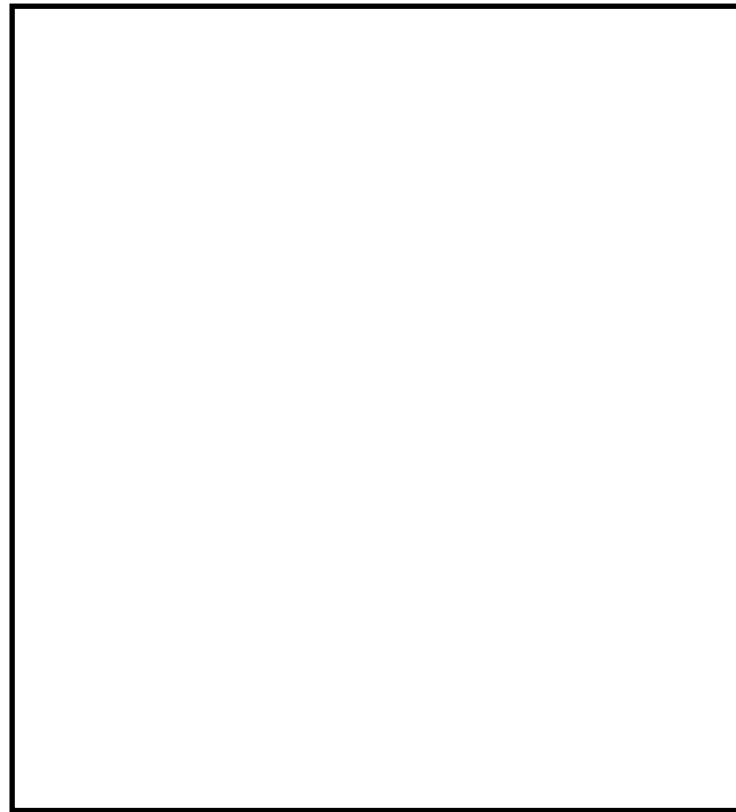


図 4-9 地震時の鋼板部に生じる力の概念図

(1) 鋼製板

図 4-10 に示すとおり，鋼製板が荷重を負担する範囲が最も大きくなり，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

a. 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G_2 \cdot k_H$$

ここで，

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G_2 : 鋼板部の重量 (kN)

k_H : 水平震度

b. 鋼製板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{s_s}

$$w_{s_s} = S_s / (L_8 \cdot 10^{-3})$$

ここで，

w_{s_s} : 鋼製板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_8 : 鋼製板の短辺長さ (mm)

c. 鋼製板に作用する曲げモーメント M

$$M = w_{s_s} \cdot (L_9 \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで，

M : 鋼製板に作用する曲げモーメント (kN・m)

w_{s_s} : 鋼製板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_9 : 評価の対象とする鋼製板の短辺長さ (mm)



図 4-10 評価の対象とする鋼製板

(2) 芯材

芯材の支持条件は両端単純支持とする。図 4-11 に評価の対象とする芯材を示す。

a. 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G_2 \cdot k_H$$

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G_2 : 鋼板部の重量 (kN)

k_H : 水平震度

b. 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{s_s}

$$w_{s_s} = S_s \cdot L_{10} / (L_8 \cdot L_{11} \cdot 10^{-3})$$

w_{s_s} : 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_8 : 鋼製板の短辺長さ (mm)

L_{10} : 芯材の負担幅 (mm)

L_{11} : 芯材全長 (mm)

c. 芯材に作用する曲げモーメント M

$$M = w_{s_s} \cdot (L_{11} \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

w_{s_s} : 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_{11} : 芯材全長 (mm)

d. 芯材に作用するせん断力 Q

$$Q = w_{s_s} \cdot (L_{11} \cdot 10^{-3}) / 2$$

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

w_{s_s} : 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_{11} : 芯材全長 (mm)

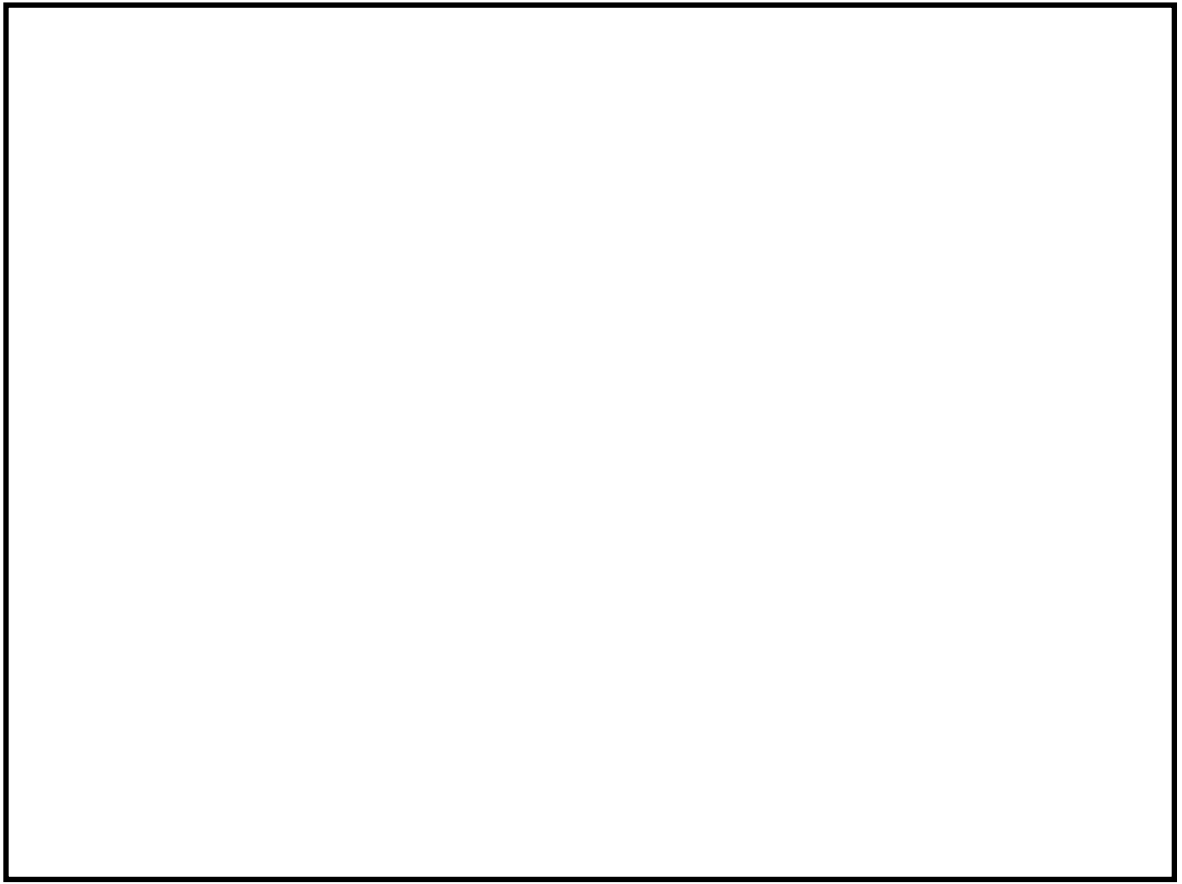


図 4-11 評価の対象とする芯材

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、次式により算定する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲及びアンカーボルトに生じる荷重を図 4-12 に示す。

$$F_H = k_H \cdot G_2$$

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

k_H : 水平震度

G_2 : 鋼板部の重量 (kN)

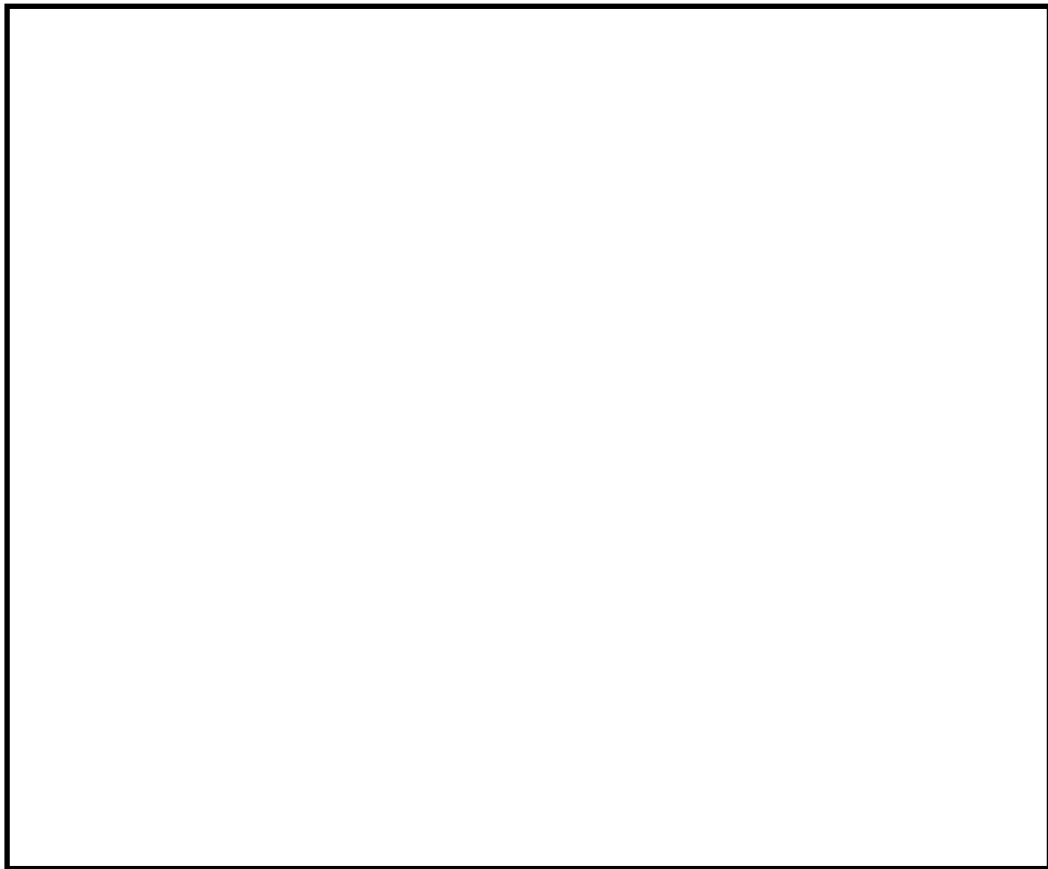


図 4-12 アンカーボルトに生じる荷重

4.4.4 鋼板部の断面検定

(1) 鋼製板

鋼製板に作用する曲げ応力度 σ

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

σ : 鋼製板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 鋼製板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 鋼製板の断面係数 (mm³)

(2) 芯材

a. 芯材に作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に作用する最大せん断応力度 τ

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

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

A_s : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

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

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで，

$$T_d = F_H / n_3$$

T_d : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

n_3 : アンカーボルトの本数

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで，

$$Q_d = F_H / n_3$$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

n_3 : アンカーボルトの本数

4.5 評価条件

見学者ギャラリー室竜巻防護扉のうち、扉部の耐震評価に用いる入力値を表 4-3 に、鋼板部の耐震評価に用いる入力値を表 4-4 に示す。

表 4-3 扉部の耐震評価に用いる入力値

対象部位		記号	単位	定義	入力値
共通		G_1	kN	扉の重量	
		L_4	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	
		L_5	mm	ヒンジ芯間距離	
		W_1	kN	スラスト荷重	
		F_1	kN	転倒力	
表側鋼板		L_1	mm	表側鋼板の長辺長さ	
		L_2	mm	表側鋼板の短辺長さ	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
芯材		L_3	mm	芯材の全長	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
ヒンジ	ヒンジ板	L_6	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
	ヒンジピン	L_7	mm	ヒンジ板と受板間距離	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
	ヒンジボルト	n_1	—	ヒンジボルトの本数	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
	アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	
n_2		—	ヒンジ側アンカーボルトの本数		
T_d		kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力		
Q_d		kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力		
T_a		kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力		
Q_a		kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力		

表 4-4 鋼板部の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Z	mm ³ /m	鋼製板の断面係数	
H	mm	鋼製板の高さ	
n ₃	—	アンカーボルトの本数	
G ₂	kN	鋼板部の重量	
T _d	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	
Q _d	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	
T _a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	
Q _a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	
L ₈	mm	鋼製板の短辺長さ	
L ₉	mm	評価の対象とする鋼製板の短辺長さ	
L ₁₀	mm	芯材の負担幅	
L ₁₁	mm	芯材全長	

5. 評価結果

扉部の耐震評価結果を表 5-1 に、鋼板部の耐震評価結果を表 5-2 に示す。評価対象部位に生じる応力度又は荷重が許容限界を超えず、見学者ギャラリー室竜巻防護扉が上位クラス施設である原子炉建屋エアロックに対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 5-1 扉部の耐震評価結果

評価対象部位		発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
表側鋼板	曲げ	3.37	235	0.02
芯材 ^{*1}	曲げ	8.33	235	0.04
ヒンジ	ヒンジ板	組合せ	22.4	0.11
	ヒンジピン	組合せ	110	0.32
	ヒンジボルト	せん断	35.9	0.10
アンカーボルト ^{*2}		せん断	40.3	0.12

注記*1 : 曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。

*2 : 単位を kN とする。なお、引張及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。

表 5-2 鋼板部の耐震評価結果

評価対象部位		発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
鋼製板	曲げ	3.91	235	0.02
芯材 ^{*1}	曲げ	6.55	235	0.03
アンカーボルト ^{*2}		せん断	26.5	0.05

注記*1 : 曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。

*2 : 単位を kN とする。なお、引張及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。