

本資料のうち、枠囲みの内容は  
商業機密の観点や防護上の観点  
から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0152_改0
提出年月日	2021年 5月 24日

## VI-2-9-3-2 原子炉建屋大物搬入口の耐震性についての計算書

2021年 5月  
東北電力株式会社

## 目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	固有周期	8
3.1	固有周期の計算方法	8
3.1.1	水平方向	8
3.1.2	鉛直方向	9
3.2	固有周期の計算条件	10
3.3	固有周期の計算結果	11
4.	構造強度評価	12
4.1	評価対象部位	12
4.2	荷重及び荷重の組合せ	15
4.2.1	耐震評価上考慮する荷重	15
4.2.2	荷重の設定	16
4.3	許容限界	18
4.3.1	使用材料	18
4.3.2	許容限界	19
4.4	計算方法	20
4.4.1	荷重計算方法	20
4.4.2	応力評価	32
4.5	計算条件	34
5.	評価結果	35

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建屋大物搬入口（以下「大物搬入口」という。）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説明するものである。

大物搬入口は原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の一部施設として扱うため、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

大物搬入口の設置位置を図 2-1 に示す。

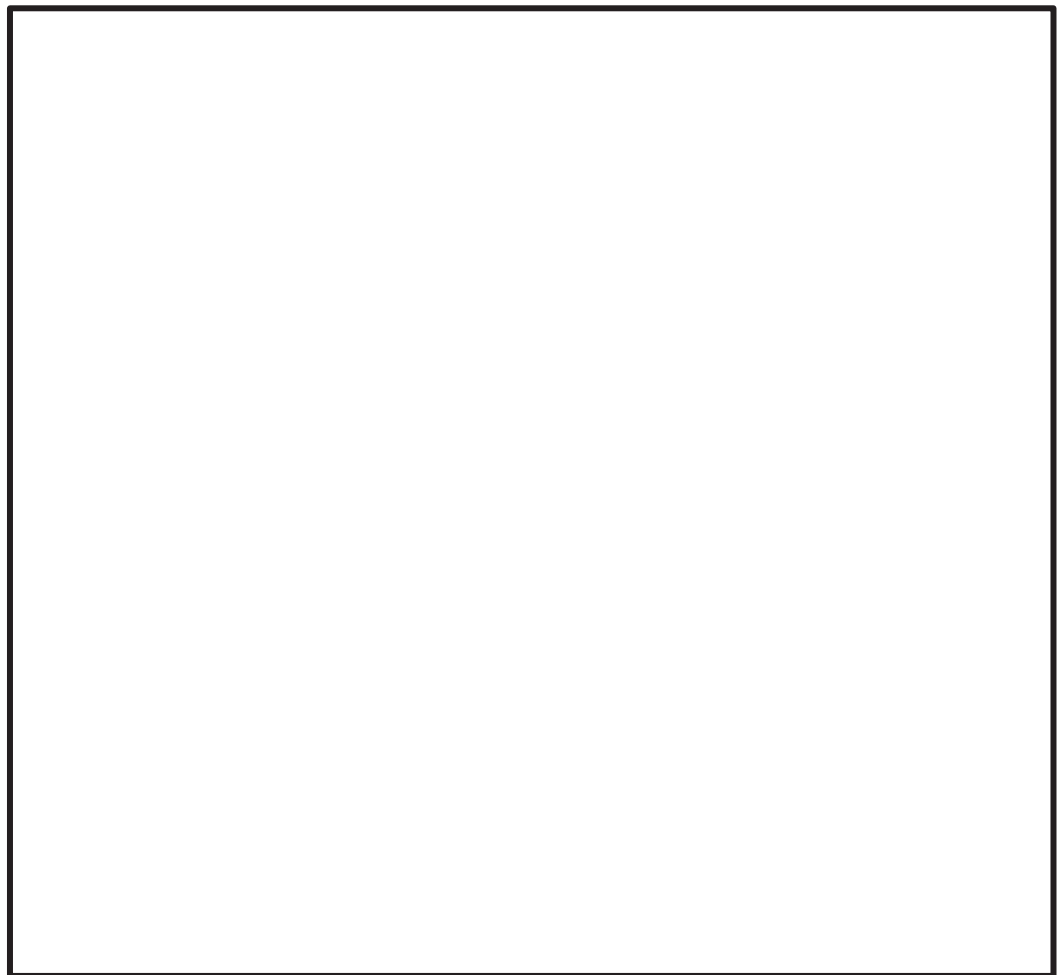


図 2-1 設置位置図 (O.P. \*15.0m)

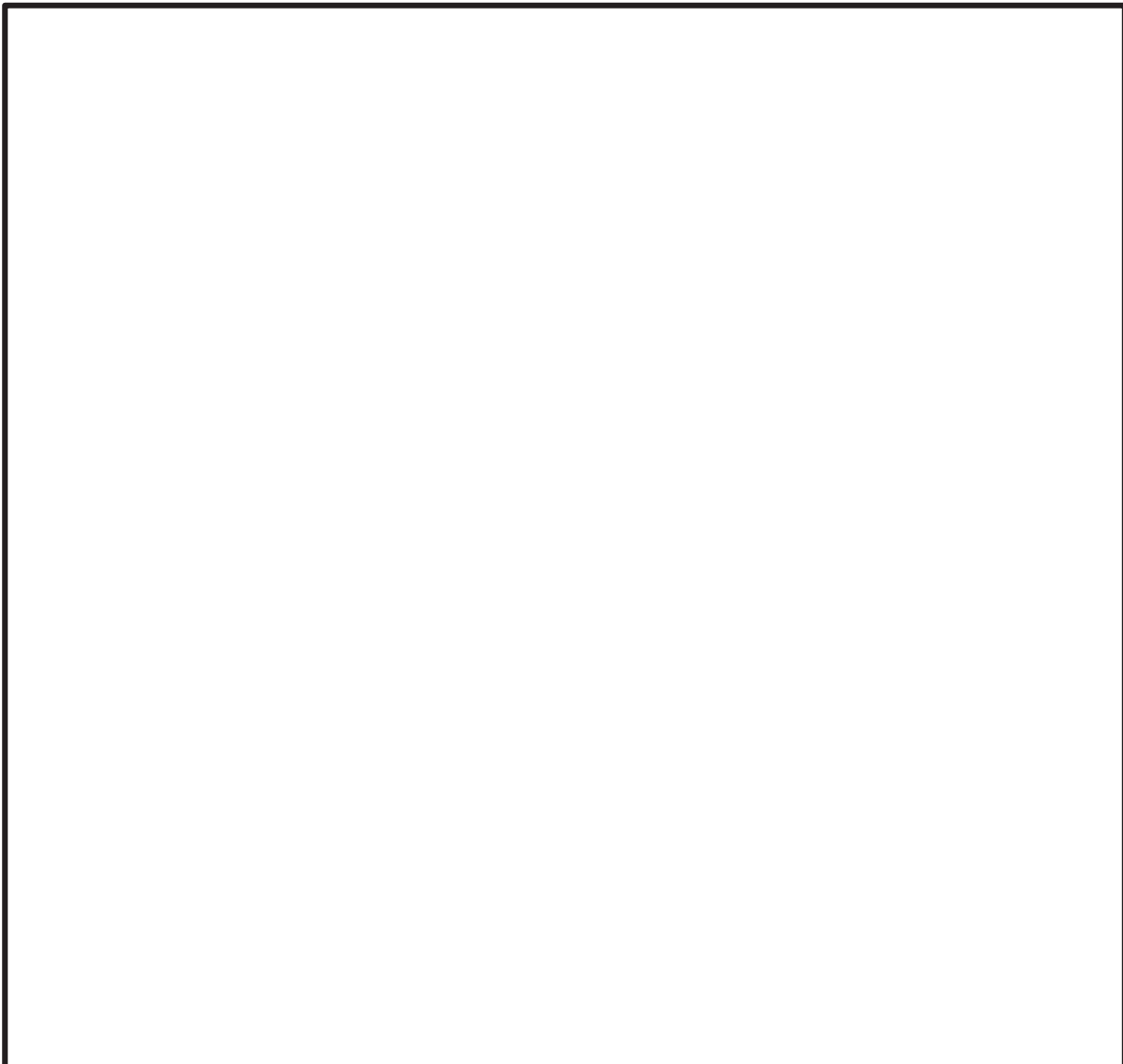
注記\* : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 2.2 構造概要

大物搬入口の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画構造	
支持構造	主体構造
扉開放時は、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、扉と扉枠を一体化する構造とする。また、扉枠は周辺躯体に埋設した金物にボルトで固定する構造とする。	片開型の鋼製扉とし、扉板に芯材を取り付け、扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。
概略構造図	
	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

大物搬入口の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.2 構造概要」にて示す大物搬入口の部位を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する部位において、設計用地震力により生じる応力度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。

大物搬入口の耐震評価は、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。

大物搬入口の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

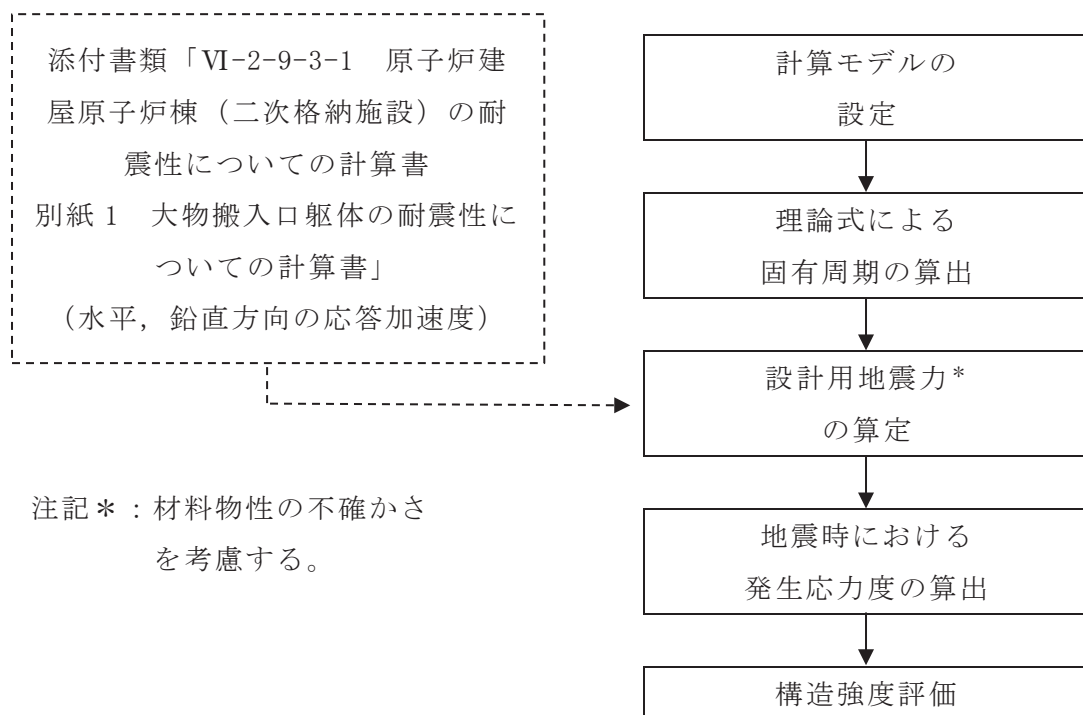


図 2-2 耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）  
建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（以下「S規準」という。）
- ・ J I S G 3 1 0 1 -2015 一般構造用圧延鋼材
- ・ J I S G 4 0 5 1 -2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- ・ J I S G 4 0 5 3 -2016 機械構造用合金鋼鋼材
- ・ J I S G 4 3 0 3 -2012 ステンレス鋼棒
- ・ J I S B 1 0 5 1 -2014 炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質-強度区分を規定したボルト，小ねじ及び植込みボルト-並目ねじ及び細目ねじ

## 2.5 記号の説明

大物搬入口の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング率	N/m <sup>2</sup>	
	F <sub>H</sub>	水平地震力	N	
	F <sub>V</sub>	鉛直地震力	N	
	f	大物搬入口の 1 次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	
	ℓ	モデル化に用いる芯材の長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C <sub>H</sub>	水平震度	—	
	C <sub>V</sub>	鉛直震度	—	
	W <sub>X</sub>	扉体自重	kN	
	W <sub>1</sub>	扉体幅	mm	
	H <sub>1</sub>	扉体高	mm	
	P <sub>1</sub>	圧力荷重 (内圧)	kN/m <sup>2</sup>	
	P <sub>2</sub>	圧力荷重 (外圧)	kN/m <sup>2</sup>	
ヒンジ部	共通	L <sub>j</sub>	ヒンジ間距離	mm
		L <sub>r</sub>	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	mm
		L <sub>t</sub>	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	mm
		R <sub>r</sub>	扉体幅方向自重反力	N
		R <sub>t</sub>	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジ板	A <sub>1</sub>	ヒンジ板の断面積	mm <sup>2</sup>
		T <sub>1</sub>	ヒンジ板の引張力	N
		L <sub>1</sub>	ヒンジ板の作用点間距離	mm
		M <sub>1</sub>	ヒンジ板の曲げモーメント	N・mm
		Q <sub>1</sub>	ヒンジ板のせん断力	N
		Z <sub>1</sub>	ヒンジ板の断面係数	mm <sup>3</sup>
		σ <sub>t1</sub>	ヒンジ板の引張応力度	N/mm <sup>2</sup>
		σ <sub>b1</sub>	ヒンジ板の曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		σ <sub>x1</sub>	ヒンジ板の組合せ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		τ <sub>1</sub>	ヒンジ板のせん断応力度	N/mm <sup>2</sup>



表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

項目		記号	定義	単位
ヒンジ部	ヒンジピン	$A_2$	ヒンジピンの断面積	$\text{mm}^2$
		$A_2'$	ヒンジピンの受圧面積	$\text{mm}^2$
		$L_2$	ヒンジピンの軸支持間距離	mm
		$M_2$	ヒンジピンの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		$N_2$	ヒンジピンの圧縮力	N
		$Q_2$	ヒンジピンのせん断力	N
		$Z_2$	ヒンジピンの断面係数	$\text{mm}^3$
		$\sigma_{c2}$	ヒンジピンの圧縮応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\sigma_{b2}$	ヒンジピンの曲げ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\sigma_{x2}$	ヒンジピンの組合せ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
	$\tau_2$	ヒンジピンのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$	
	ヒンジボルト	$A_{b3}$	ヒンジボルトの断面積	$\text{mm}^2$
		$n_{b3}$	ヒンジボルトの本数	本
		$Q_3$	ヒンジボルトのせん断力	N
		$T_3$	ヒンジボルトの引張力	N
		$\sigma_{t3}$	ヒンジボルトの引張応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\tau_3$	ヒンジボルトのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
カンヌキ部	共通	$F_H'$	水平面外方向の慣性力	N
	カンヌキ	$A_4$	カンヌキの断面積	$\text{mm}^2$
		$L_4$	カンヌキの作用点間距離	mm
		$M_4$	カンヌキの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		$n$	カンヌキの本数	本
		$Q_4$	カンヌキのせん断力	N
		$Z_4$	カンヌキの断面係数	$\text{mm}^3$
		$\sigma_{b4}$	カンヌキの曲げ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\sigma_{x4}$	カンヌキの組合せ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\tau_4$	カンヌキのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
	カンヌキ受けピン	$A_5$	カンヌキ受けピンの断面積	$\text{mm}^2$
		$L_5$	カンヌキ受けピンの作用点間距離	mm
		$M_5$	カンヌキ受けピンの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		$Q_5$	カンヌキ受けピンのせん断力	N
		$Z_5$	カンヌキ受けピンの断面係数	$\text{mm}^3$
		$\sigma_{b5}$	カンヌキ受けピンの曲げ応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$
		$\tau_5$	カンヌキ受けピンのせん断応力度	$\text{N}/\text{mm}^2$

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の計算方法

固有周期は、扉閉止時及び扉開放時について、図 3-1 及び図 3-2 に示すはりモデルとして、「土木学会 構造力学公式集」に基づき計算する。

大物搬入口は、カンヌキにより扉枠に固定される構造であることから、端部の境界条件を扉閉止時は両端固定ばりとして、扉開放時は片側ヒンジ、片側自由端のばりとしてモデル化する。

また、モデル化に用いる芯材の長さは扉幅とする。

##### 3.1.1 水平方向

###### (1) 扉閉止時

扉閉止時の水平方向の固有周期は、図 3-1 に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。

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

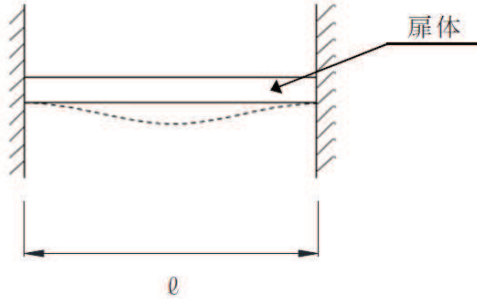
$$f = \frac{4.7300^2}{2 \cdot \pi \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$


図 3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

###### (2) 扉開放時

扉開放時の水平方向の固有周期は、図 3-2 に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。

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

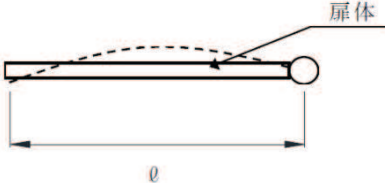
$$f = \frac{3.9266^2}{2 \cdot \pi \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$


図 3-2 固有値計算モデル（扉開放時）

### 3.1.2 鉛直方向

鉛直方向については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が「3.1.1 水平方向」で検討した面外方向の剛性に比べて十分に大きいことから、固有周期の計算を省略する。

### 3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	$\varnothing$	mm	6920
ヤング率	E	N/m <sup>2</sup>	2.05×10 <sup>11</sup>
断面二次モーメント	I	mm <sup>4</sup>	2.027×10 <sup>9</sup>
質量分布	m	kg/m	963

### 3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 3-2 固有周期

扉名称	扉の開閉状況	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
大物搬入口	閉止時	48.84	0.02
	開放時	33.65	0.03

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 評価対象部位

大物搬入口の評価対象部位は、「2.2 構造概要」に示す大物搬入口の構造を踏まえ、大物搬入口に作用する荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、設定する。

大物搬入口に生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン）から扉枠に伝達しているため、評価部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

なお、扉枠についてはボルト、アンカーボルトの大半が損傷しない限り転倒・脱落は生じないことから評価対象としないこととする。

大物搬入口の地震荷重の作用イメージと評価部位を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

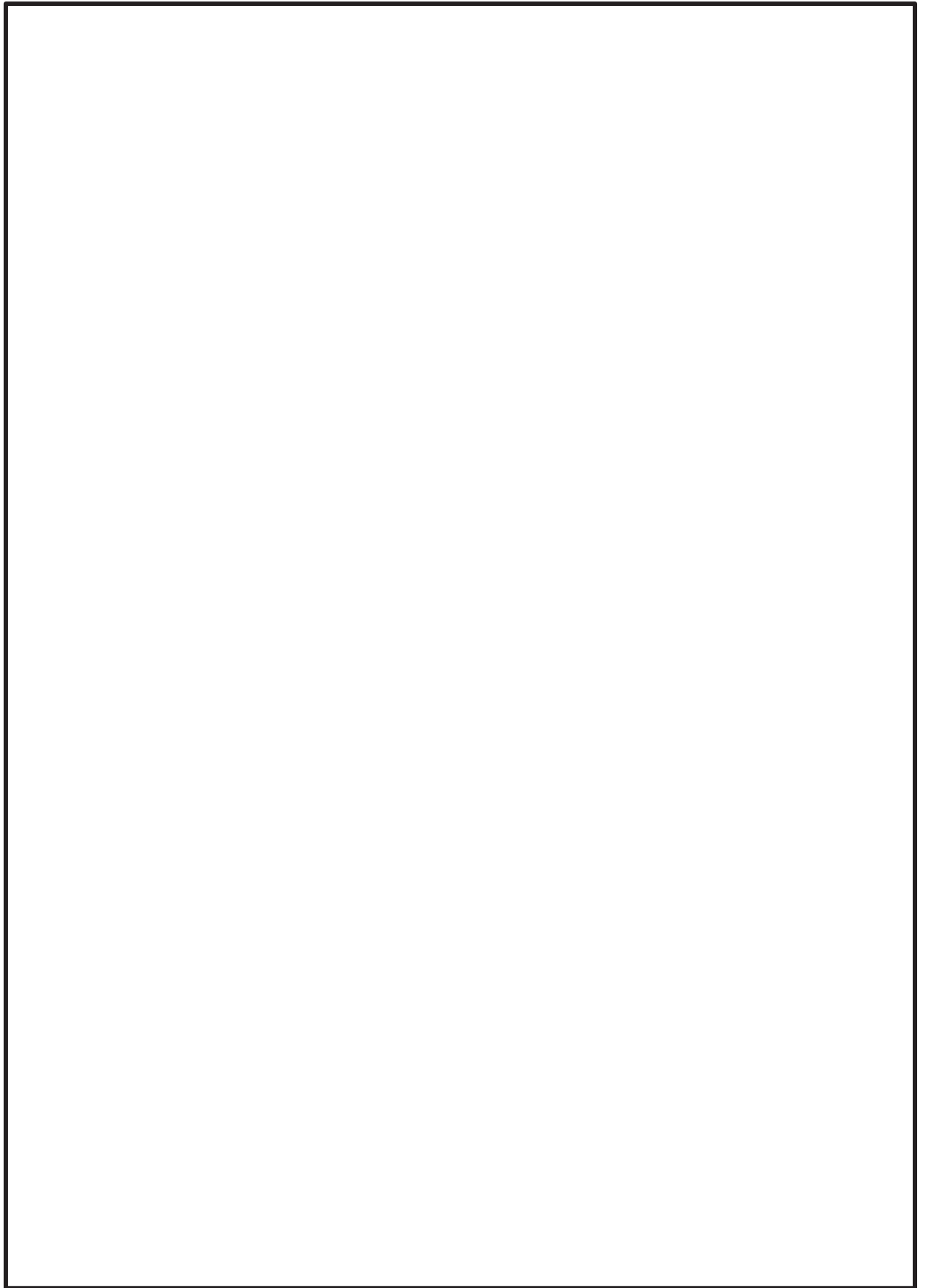


図 4-1 扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

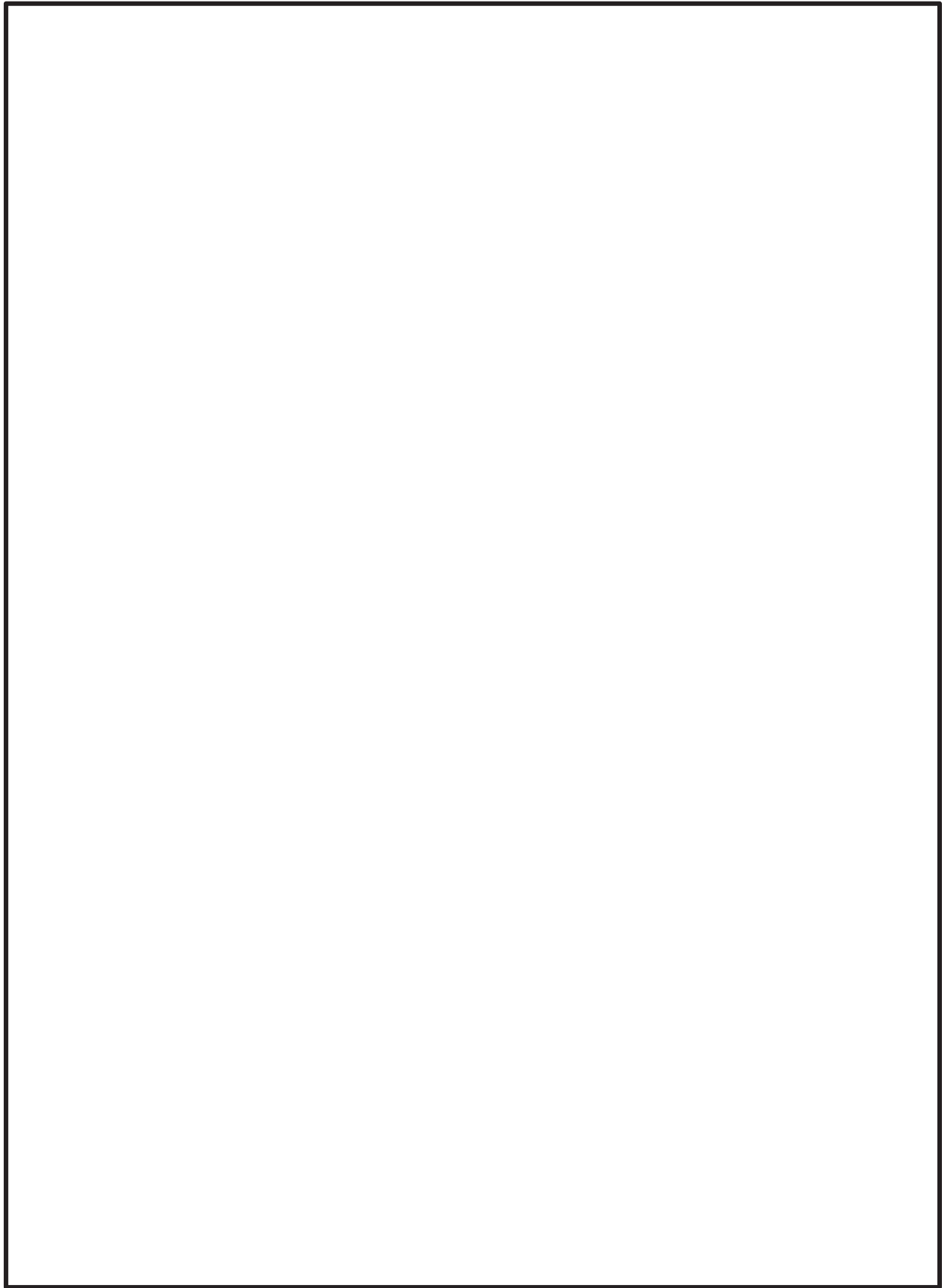


図 4-2 扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



#### 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「VI-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基づき設定する。

添付書類「VI-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。なお、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処設備の評価に用いる荷重の組合せは同一とする。

なお、本資料において基準地震動  $S_s$  による評価として短期許容応力度を超えないことを確認するため、弾性設計用地震動  $S_d$  による評価は行わないこととする。

$$G + P + S_s$$

##### 4.2.1 耐震評価上考慮する荷重

大物搬入口の耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

- G : 扉の固定荷重
- P : 通常時の圧力荷重
- $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震力

#### 4.2.2 荷重の設定

##### (1) 固定荷重 (G)

大物搬入口の固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

扉名称	固定荷重 (kN)
大物搬入口	588.4

##### (2) 圧力荷重 (P)

大物搬入口に作用する圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は大物搬入口の建設時に設定した設計条件を基に設定するものであり、外圧（負圧）は大物搬入口に対し外側から内側へ作用するものとする。

表 4-2 圧力荷重

種類	圧力荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
内圧 (正圧)	0.000
外圧 (負圧)	0.295

##### (3) 地震荷重 (S<sub>s</sub>)

基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重は、表 4-3 で示した設計震度を用いて、次式により算定する。ただし、耐震評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 大物搬入口躯体の耐震性についての計算書」によることとし、大物搬入口の屋根スラブ位置の値とする。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、 S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震力 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

表 4-3 設計震度

扉 名 称	設置場所 (抽出位置)	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
大物搬入口	O. P. 15. 0m (O. P. 22. 6m)	2. 72	1. 18

#### 4.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-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。

##### 4.3.1 使用材料

大物搬入口を構成するヒンジ部，カンヌキ部の使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-4 使用材料

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	250×560
	ヒンジピン	SCM440	φ 240
	ヒンジボルト	強度区分 10.9 (SCM435)	M42
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304N2	φ 120
	カンヌキ受けピン	S45C	φ 70

#### 4.3.2 許容限界

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「S規準」及びJIS規格に基づき設定する。各部材の許容限界を表4-5に示す。

表4-5 ヒンジ部及びカンヌキ部の許容限界

材質	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )		
	曲げ	引張	せん断
SS400	205	205	118
SCM440	686	686	396
SUS304N2	345	345	199
S45C	345	345	199
強度区分 10.9 (SCM435)	—	728	420

#### 4.4 計算方法

大物搬入口の耐震評価は、地震により生じる応力度が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

##### 4.4.1 荷重計算方法

###### (1) 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、各部材に発生する応力度を算定する。なお、圧力荷重はヒンジ部に作用しない構造である。ヒンジ部に生じる荷重を図4-3に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

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

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

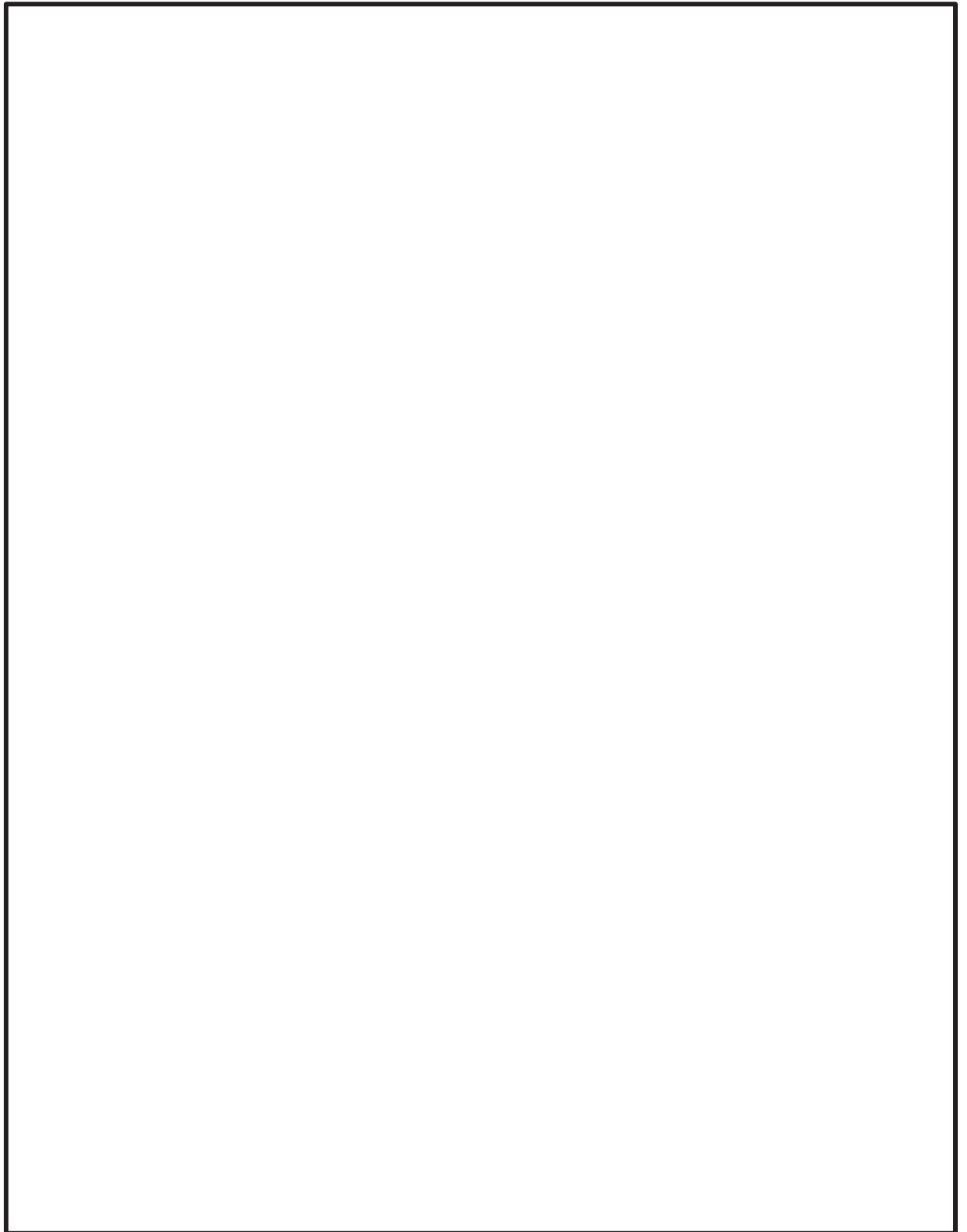


図 4-3 ヒンジ部に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. ヒンジ板

ヒンジ板は、引張応力度及び曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図 4-4 にヒンジ板に生じる荷重を示す。

(a) 引張力

ヒンジ板に生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_1 = R_r$$

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$

(b) 曲げモーメント

ヒンジ板に生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_1 = (W_x + F_v) \cdot L_1$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M_1}{Z_1}$$

(c) せん断力

ヒンジ板に生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_1 = W_x + F_v$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$



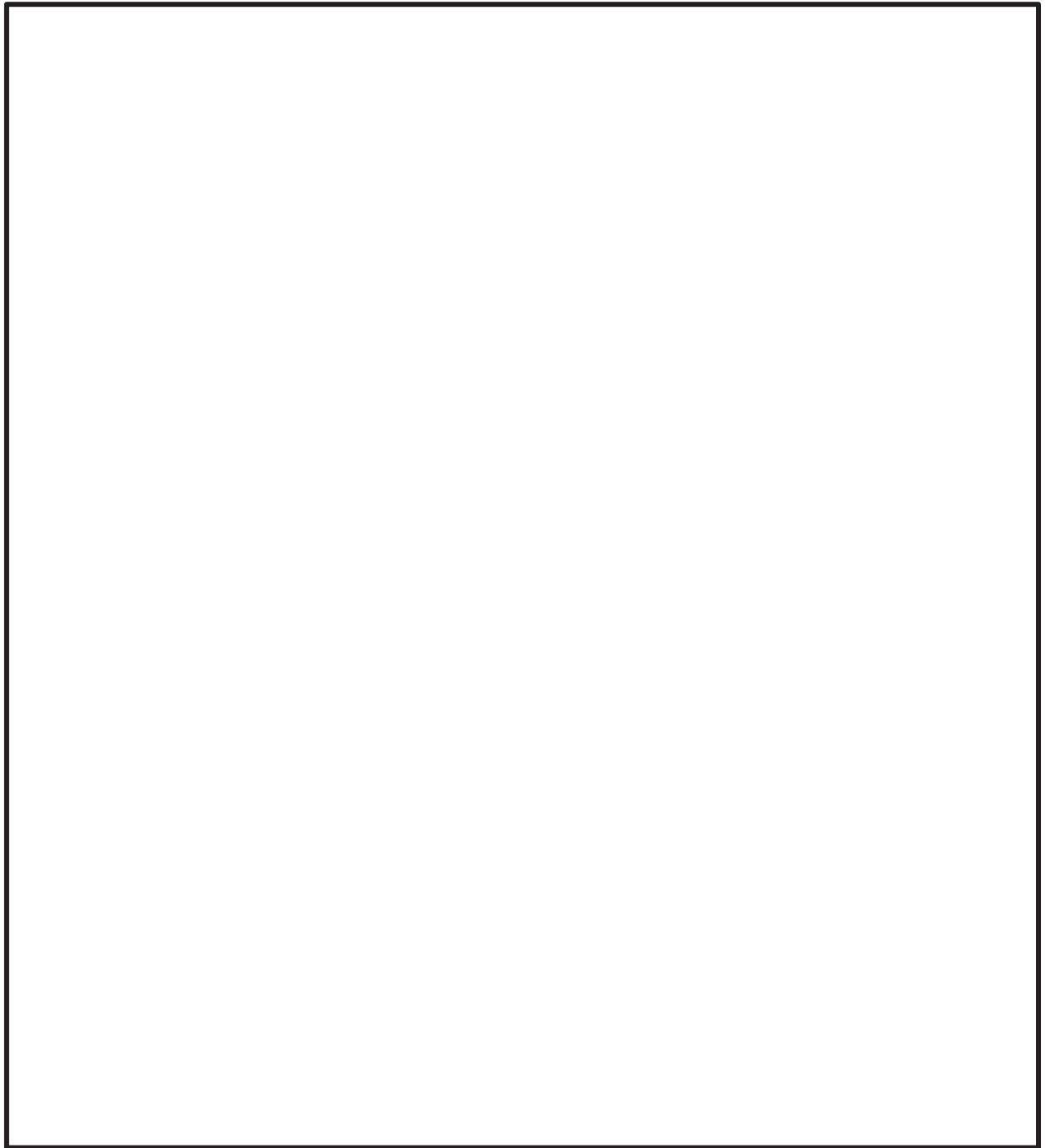


図 4-4 ヒンジ板に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. ヒンジピン

ヒンジピンは、圧縮応力度及び曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図 4-5 にヒンジピンに生じる荷重を示す。

(a) 圧縮力

ヒンジピンに生じる圧縮力及び圧縮応力度を次式により算定する。

$$N_2 = W_x + F_v$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$

(b) 曲げモーメント

ヒンジピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L_2$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

(c) せん断力

ヒンジピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

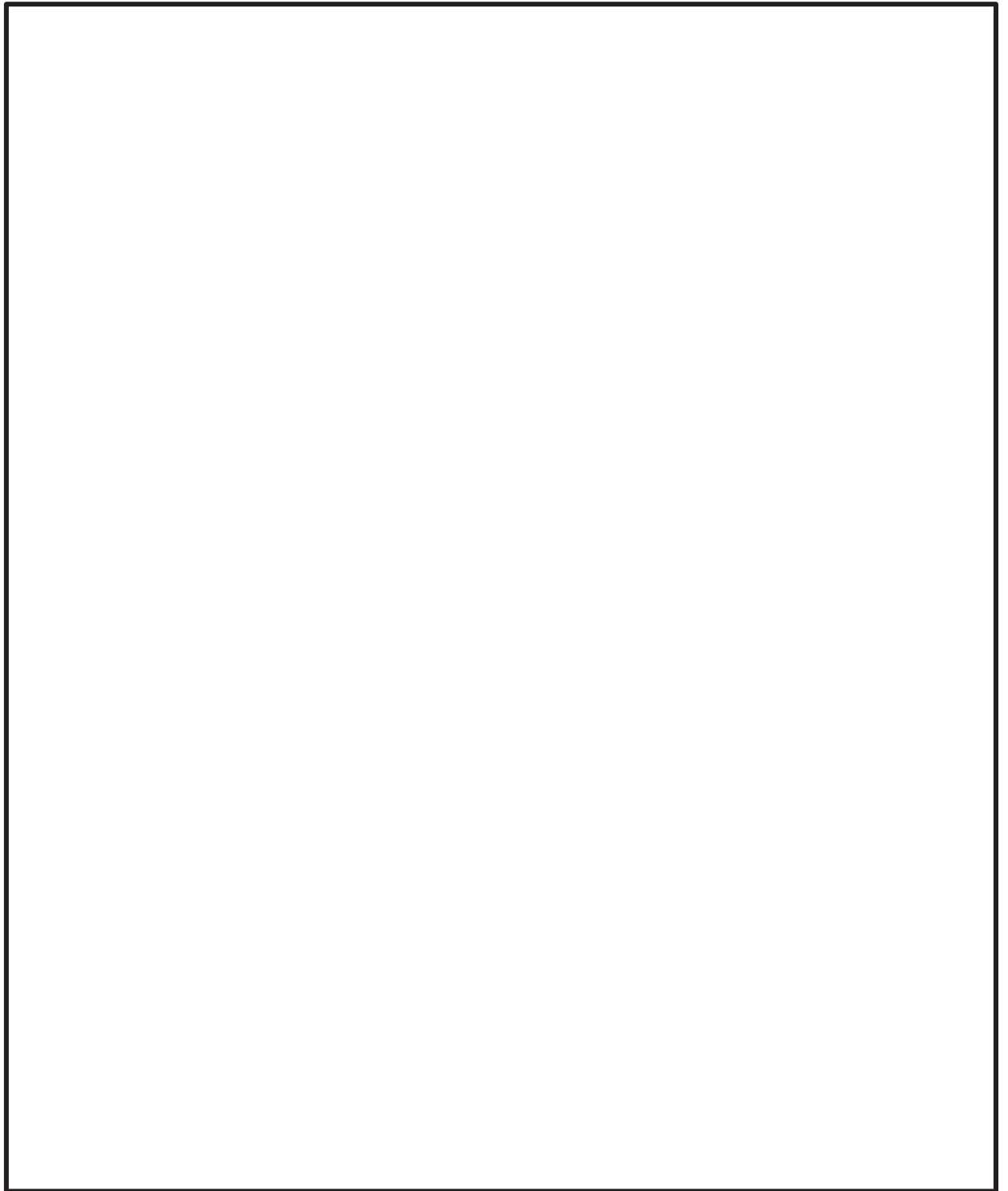


図 4-5 ヒンジピンに生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトは、引張応力度及びせん断応力度について評価する。なお、扉付ヒンジボルトと枠付ヒンジボルトの呼び径は同じであることから、保守的に枠付ヒンジボルトについて評価する。ヒンジボルトに生じる荷重は、扉の開放角度が 90° の時には引張力として作用し、扉の開放角度が 0° の時には、せん断力として作用することから次式により算定する。なお、45° や 135° 等の上記以外の開放状況下においては、ヒンジボルトに生じる引張力とせん断力はそれぞれ 90° 開放時の引張力、0° 開放時のせん断力に包絡されるため開放状況は 90° と 0° を想定するものとする。また、2 か所設置しているヒンジ部のうち、上部のヒンジ部は水平方向の荷重のみ負担するのに対して、下部のヒンジ部は鉛直方向の荷重と水平方向の荷重を負担することから、下部のヒンジボルトを対象に評価する。図 4-6 にヒンジボルトに生じる荷重を示す。

$$T_3 = Q_3 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_X + F_V)^2}$$

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

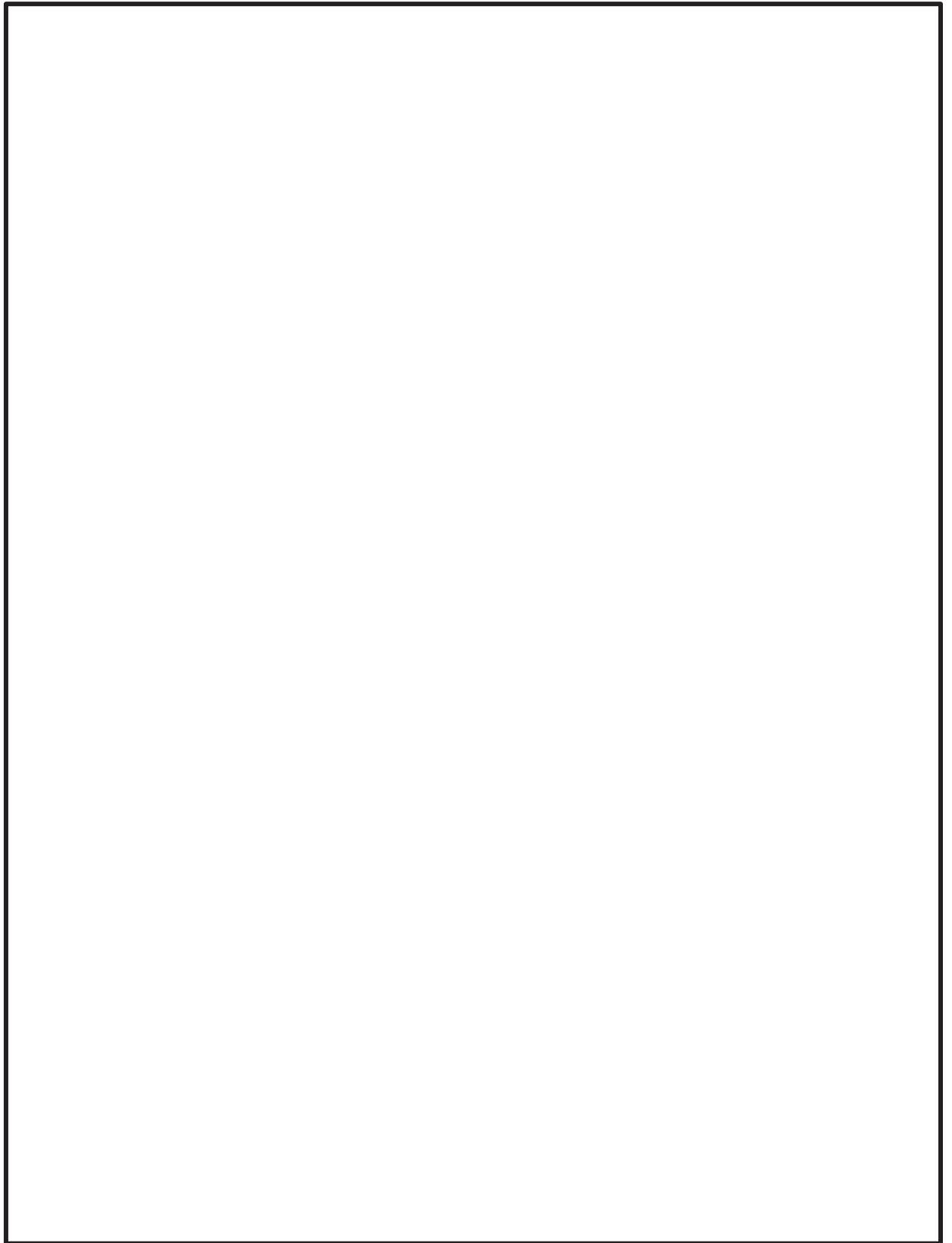


図 4-6 ヒンジボルトに生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピンで構成されており、次式により算定する水平地震力及び圧力荷重（内圧）から、各部材に発生する荷重を算定する。扉体に生じる荷重を図 4-7 に、カンヌキ部に生じる荷重を図 4-8 に示す。なお、圧力荷重（外圧）は扉体から扉枠に直接伝達され、カンヌキ部には作用しない構造である。

$$F_H' = W_x \cdot C_H + P_N \cdot W_1 \cdot H_1$$

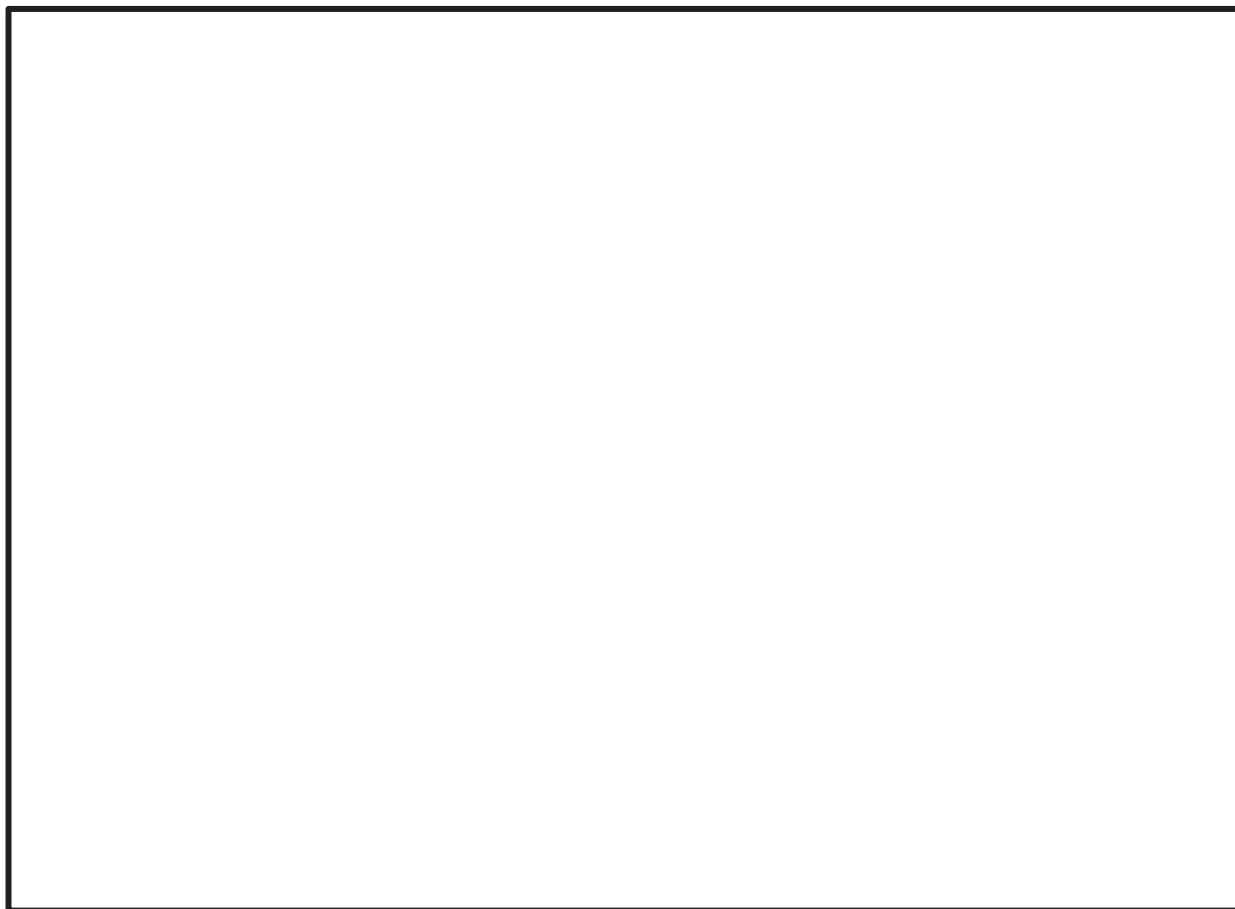


図 4-7 扉体に生じる荷重

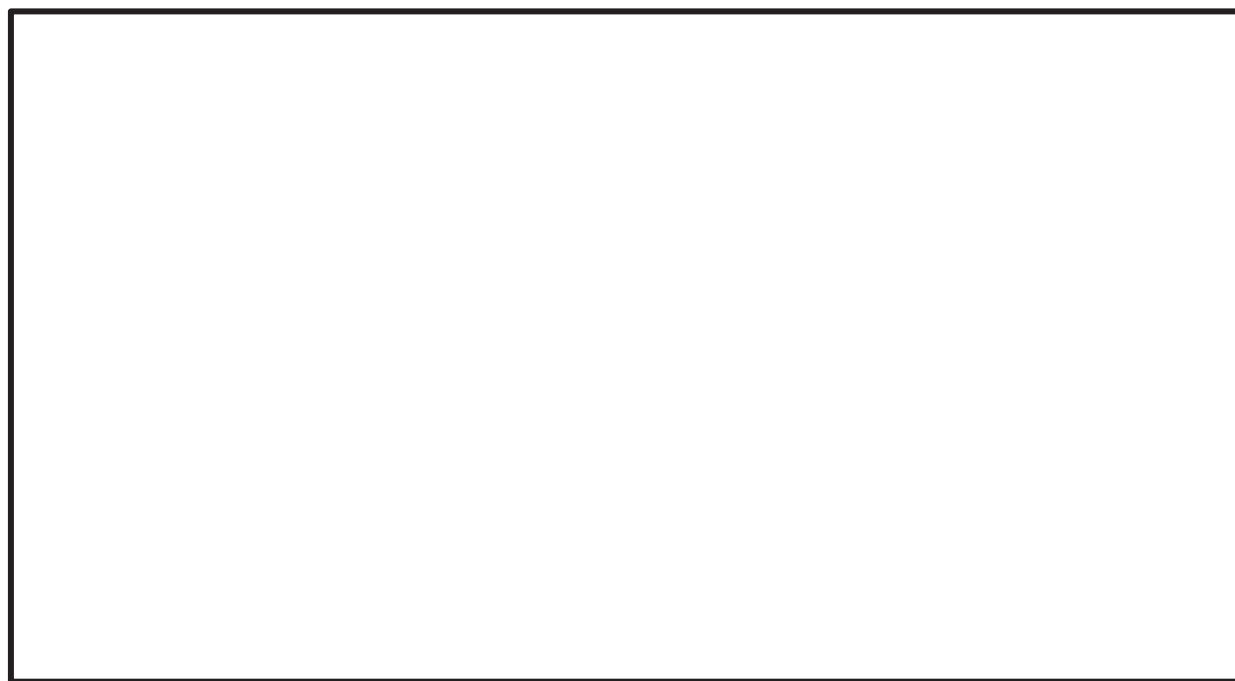


図 4-8 カンヌキ部に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. カンヌキ

カンヌキは、曲げ応力度及びせん断応力度の組合せについて評価する。

(a) 曲げモーメント

カンヌキに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_4 = \frac{F_H'}{n} \cdot L_4$$

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

(b) せん断力

カンヌキに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_4 = \frac{F_H'}{n}$$

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$



b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンは、曲げ応力度及びせん断応力度について評価する。なお、端部を単純支持として評価するため、曲げとせん断の組合せについては評価を行わないものとする。

(a) 曲げモーメント

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H'}{n} \cdot L_5$$

$$\sigma_{b5} = \frac{M_5}{Z_5}$$

(b) せん断力

カンヌキ受けピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_H'}{n}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

#### 4.4.2 応力評価

各部材に生じる応力度等が，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，荷重の組合せを考慮する。

##### (1) ヒンジ部

###### a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる引張応力度，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，ヒンジ板に生じる引張応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$

$$\sigma_{x1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

###### b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる圧縮応力度，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，ヒンジピンに生じる圧縮応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$

$$\sigma_{x2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

###### 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，ヒンジボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

(2) カンヌキ部

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，カンヌキに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{x4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し，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が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{b5} = \frac{M_5}{Z_5}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

#### 4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-6に示す。

表4-6 耐震評価に用いる計算条件

評価部位		記号	単位	定義	数値
共通		$C_H$	—	水平震度	2.72
		$C_V$	—	鉛直震度	1.18
		$W_X$	kN	扉体自重	588.4
		$W_1$	mm	扉体幅	6920
		$H_1$	mm	扉体高	6230
		$P_1$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(内圧)	0.000
		$P_2$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(外圧)	0.295
ヒンジ部	共通	$L_j$	mm	ヒンジ中心間距離	5198
		$L_r$	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	4160
		$L_t$	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚さ方向)	780
	ヒンジ板	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積	140000
		$L_1$	mm	作用点間距離	796
		$Z_1$	mm <sup>3</sup>	断面係数	13070000
	ヒンジピン	$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積	45240
		$A_2'$	mm <sup>2</sup>	受圧面積	33930
		$L_2$	mm	軸支持間距離	129
		$Z_2$	mm <sup>3</sup>	断面係数	1357000
	ヒンジボルト	$A_{b3}$	mm <sup>2</sup>	断面積	1120
		$n_{b3}$	本	本数	10
	カンヌキ部	カンヌキ	$A_4$	mm <sup>2</sup>	断面積
$L_4$			mm	作用点間距離	195
$n$			本	本数	14
$Z_4$			mm <sup>3</sup>	断面係数	169600
カンヌキ受けピン		$A_5$	mm <sup>2</sup>	断面積	3848
		$L_5$	mm	作用点間距離	162
		$Z_5$	mm <sup>3</sup>	断面係数	33670

5. 評価結果

大物搬入口の評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界を下回っており、設計用地震力に対して十分な耐震性を有していることを確認した。

表 5-1 耐震評価結果

評価部位		分類	発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	判定
ヒンジ部	ヒンジ板	引張	8	205	OK
		曲げ	79	205	OK
		せん断	10	118	OK
		組合せ	81	205	OK
	ヒンジピン	圧縮	38	686	OK
		曲げ	175	686	OK
		せん断	41	396	OK
		組合せ	189	686	OK
	ヒンジボルト	引張	200	728	OK
		せん断	200	420	OK
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	132	345	OK
		せん断	11	199	OK
		組合せ	134	345	OK
	カンヌキ受けピン	曲げ	138	345	OK
		せん断	15	199	OK