

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7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 添-2-040-19 改2
提出年月日	2020年6月10日

### V-2-9-3-3 原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書

K7 ① V-2-9-3-3 R0

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-9-3-3 原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	4
2.3	評価方針	7
2.4	適用規格・基準等	8
2.5	記号の説明	9
3.	固有周期	12
3.1	固有周期の計算方法	12
3.1.1	水平方向	12
3.1.2	鉛直方向	13
3.2	固有周期の計算条件	14
3.3	固有周期の計算結果	15
4.	構造強度評価	16
4.1	評価部位	16
4.2	荷重及び荷重の組合せ	19
4.2.1	耐震評価上考慮する荷重	19
4.2.2	荷重の設定	20
4.3	許容限界	22
4.3.1	使用材料	22
4.3.2	許容限界	23
4.4	計算方法	24
4.4.1	開き戸形式	24
4.4.2	引き戸形式	33
4.5	計算条件	37
5.	評価結果	40

## 1. 概要

本資料は、V-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、原子炉建屋エアロック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。

原子炉建屋エアロックは、原子炉建屋原子炉区域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。

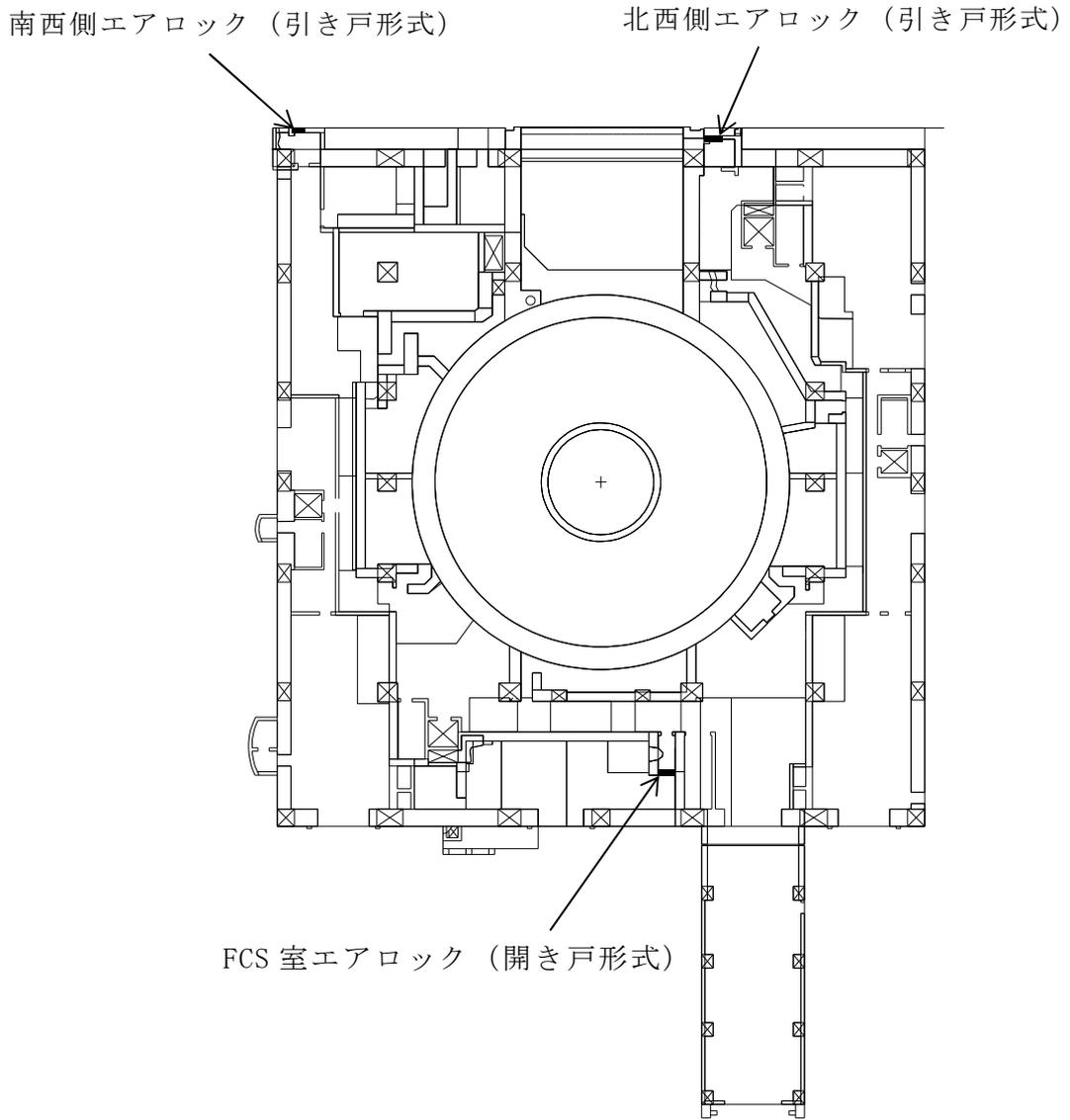
以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

原子炉建屋エアロックの設置位置を図2-1に示す。

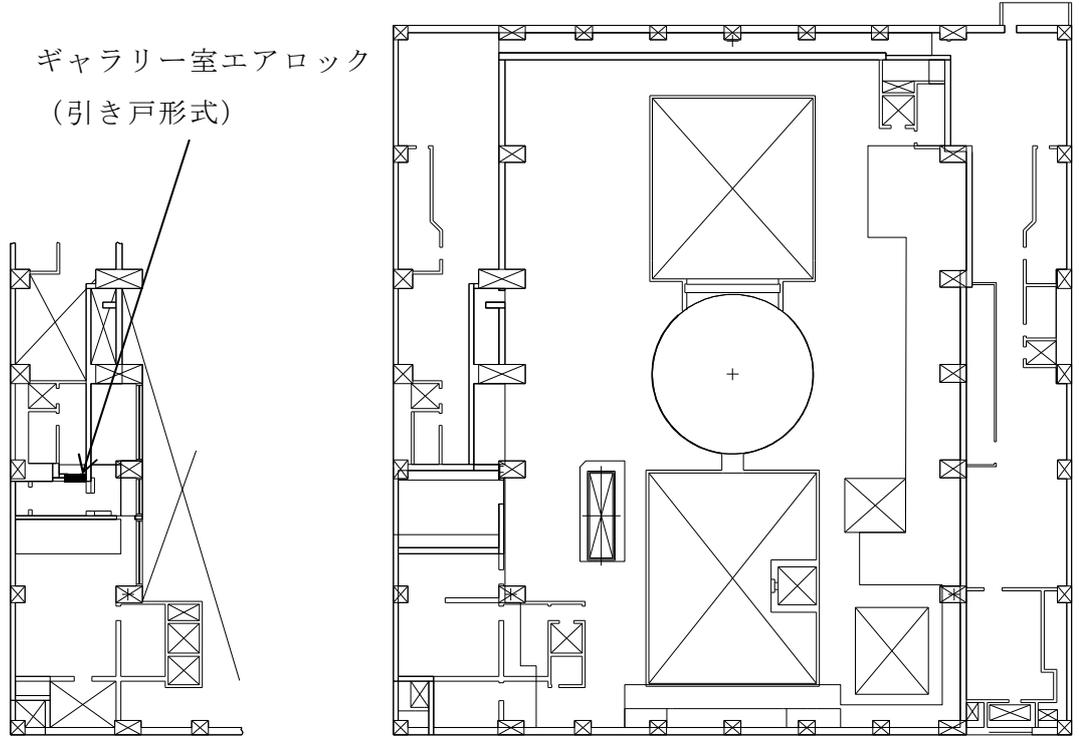
K7 ① V-2-9-3-3 R0



T. M. S. L. 12. 3m

図 2-1 設置位置図 (1/2)

ギャラリー室エアロック  
(引き戸形式)



T. M. S. L. 34. 5m

T. M. S. L. 31. 7m

図 2-1 設置位置図 (2/2)

## 2.2 構造計画

原子炉建屋エアロックの構造計画を表 2-1 及び表 2-2, 概略構造図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

表 2-1 構造計画 (開き戸形式)

計画の概要	
基礎・支持構造	主体構造
エアロックを閉止する際に, カンヌキにより扉が扉枠に固定される構造とする。また, 扉枠を躯体の開口部周辺に, スタッドにより固定する構造とする。	開き戸形式の鋼製扉とし, 鋼製の芯材に表側鋼板を取付け, 扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差し込み, 扉を扉枠と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。

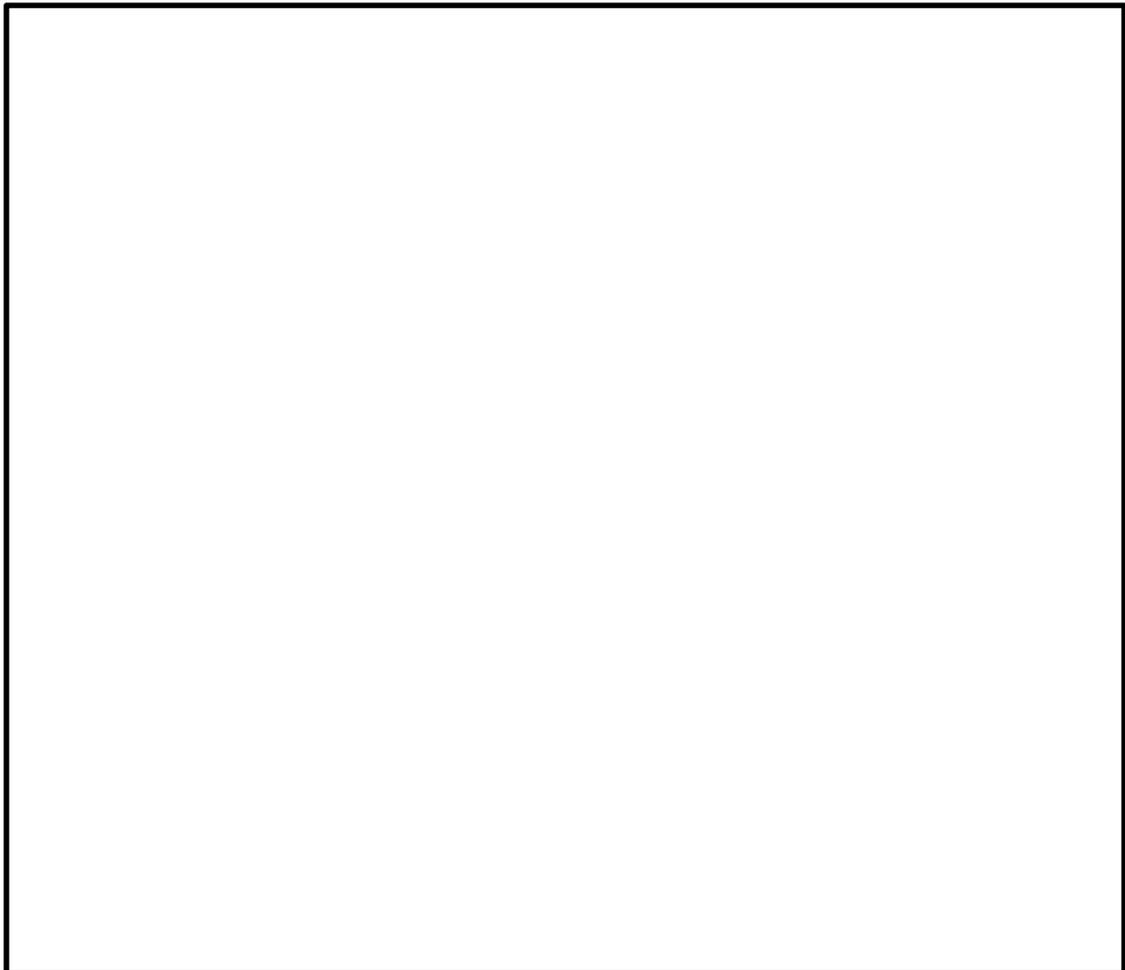


図 2-2 概略構造図 (開き戸形式)

表 2-2 構造計画（引き戸形式）

計画の概要	
基礎・支持構造	主体構造
<p>エアロックを閉止する際に締付ローラーにより扉が扉枠に固定される構造とする。</p> <p>エアロックの閉止の際は、枠溝に対し回転する締め付けローラーが、枠溝から受ける反力で扉を押し込むようにして扉が扉枠に固定される。</p> <p>また、扉枠を躯体の開口部周辺にスタッドにより固定する構造とする。</p>	<p>引き戸形式の鋼製扉とし、鋼製の表側鋼板をスライドさせ、締付ローラーによって固定部に密着することで扉を扉枠と一体化させる構造とする。</p>

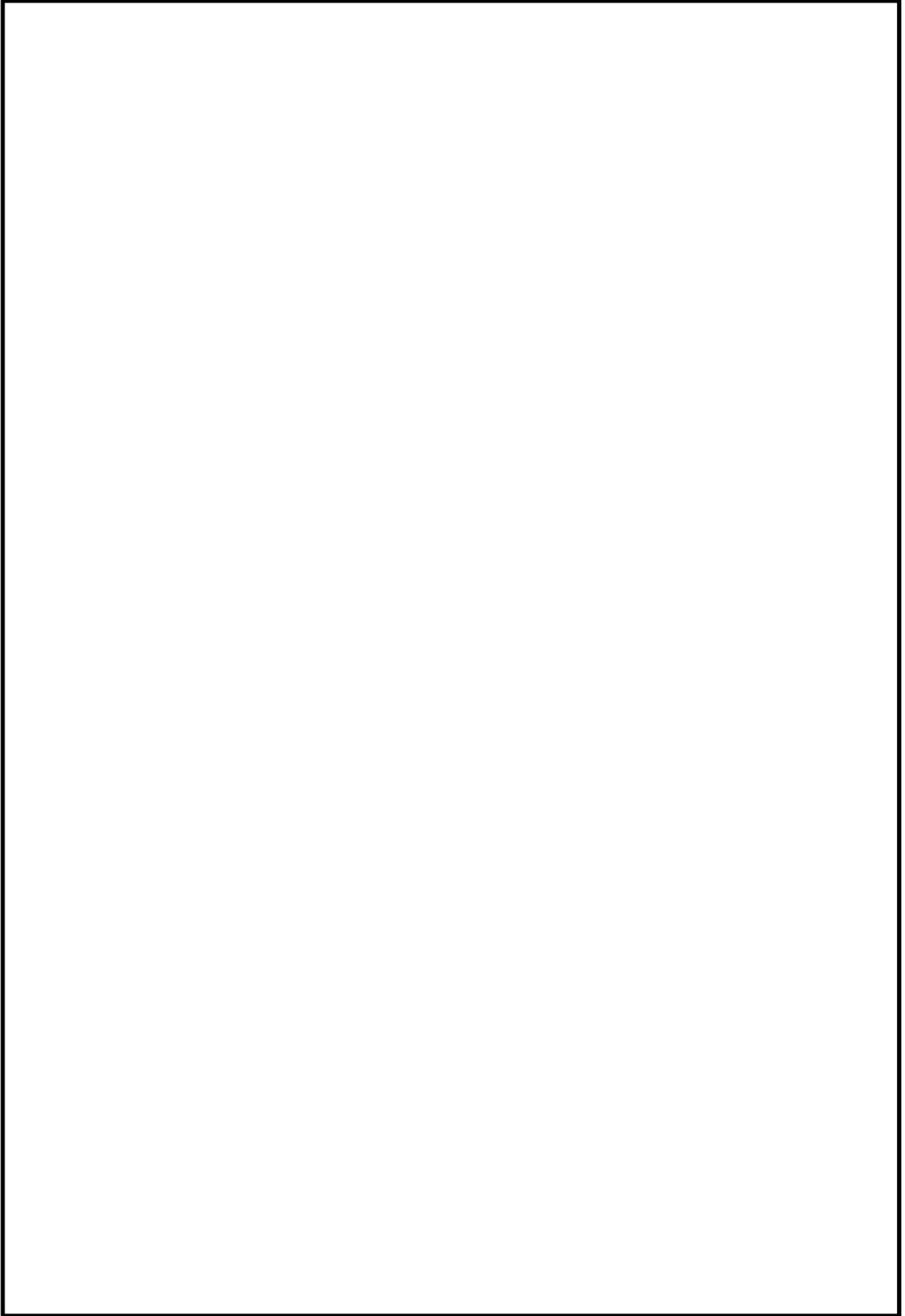


図 2-3 概略構造図（引き戸形式）

## 2.3 評価方針

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、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 構造計画」にて示す原子炉建屋エアロックの部位を踏まえ、「4.1 評価部位」にて設定する部位において、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。

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」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。

なお、図 2-1 で示すように、原子炉建屋内には開き戸形式のエアロック扉が 1 箇所、引き戸形式のエアロック扉が 3 箇所あるが、引き戸形式のエアロック扉はいずれも同一構造の扉であることから、開き戸形式と引き戸形式のエアロック扉 1 箇所ずつについて評価を実施する。

原子炉建屋エアロックの耐震評価フローを図 2-4 に示す。

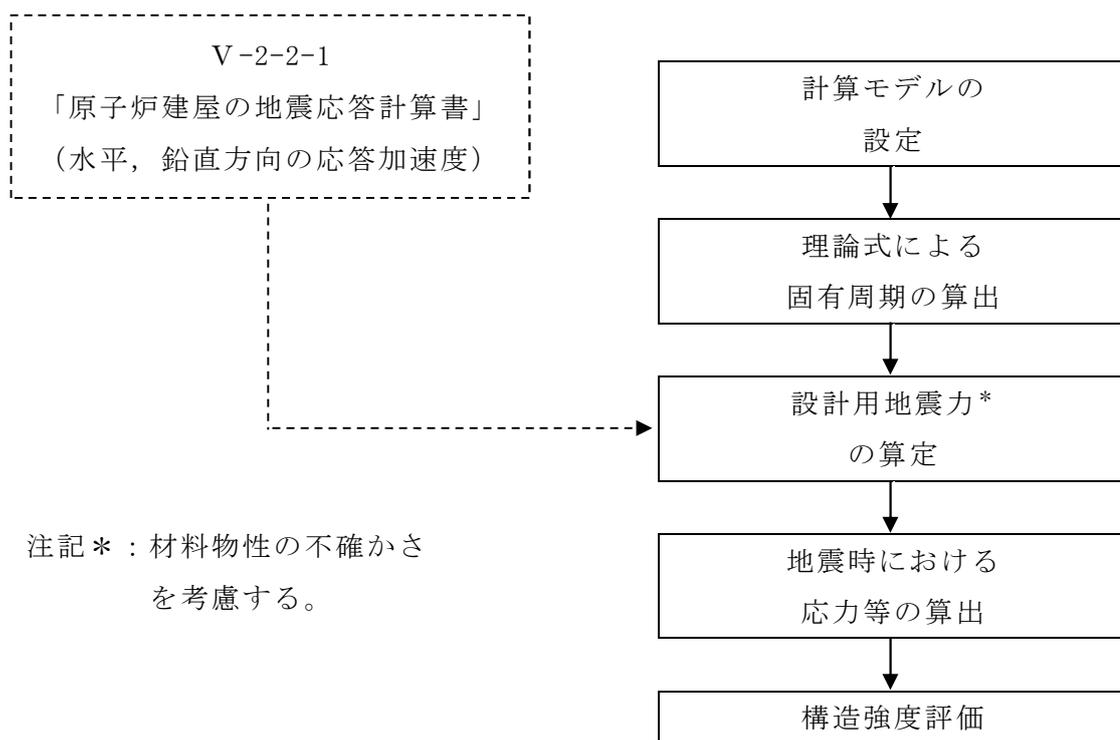


図 2-4 耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- (3) 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）
- (4) J I S G 3 1 0 1 -2015 一般構造用圧延鋼材
- (5) J I S G 4 0 5 3 -2012 機械構造用合金鋼鋼材

## 2.5 記号の説明

原子炉建屋エアロックの耐震評価に用いる記号を表 2-3 及び表 2-4 に示す。

表 2-3 耐震評価に用いる記号（開き戸形式）（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	
	T	固有周期	s	
	f	原子炉建屋エアロックの 1 次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	m <sup>4</sup>	
	ℓ	はり長さ	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>E1</sub>	圧力荷重（内圧）	kN/m <sup>2</sup>	
P <sub>E2</sub>	圧力荷重（外圧）	kN/m <sup>2</sup>		
ヒンジ部	共通	L <sub>j</sub>	ヒンジ中心間距離	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
	ヒンジアーム	A <sub>1</sub>	ヒンジアームの断面積	mm <sup>2</sup>
		L <sub>1</sub>	ヒンジアームの作用点間距離	mm
		M <sub>1</sub>	ヒンジアームの曲げモーメント	N・mm
		Q <sub>1</sub>	ヒンジアームのせん断力	N
		Z <sub>1</sub>	ヒンジアームの断面係数	mm <sup>3</sup>
		σ <sub>b1</sub>	ヒンジアームの曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		σ <sub>x1</sub>	ヒンジアームの組合せ応力度	N/mm <sup>2</sup>
	τ <sub>1</sub>	ヒンジアームのせん断応力度	N/mm <sup>2</sup>	
	ヒンジピン	A <sub>2</sub>	ヒンジピンの断面積	mm <sup>2</sup>
L <sub>2</sub>		ヒンジピンの軸支持間距離	mm	

表 2-3 耐震評価に用いる記号（開き戸形式）（2/2）

項目		記号	定義	単位	
ヒンジ部	ヒンジピン	$M_2$	ヒンジピンの曲げモーメント	$N \cdot mm$	
		$Q_2$	ヒンジピンのせん断力	N	
		$Z_2$	ヒンジピンの断面係数	$mm^3$	
		$\sigma_{b2}$	ヒンジピンの曲げ応力度	$N/mm^2$	
		$\sigma_{x2}$	ヒンジピンの組合せ応力度	$N/mm^2$	
		$\tau_2$	ヒンジピンのせん断応力度	$N/mm^2$	
	ヒンジボルト	$A_{b3}$	ヒンジボルトの断面積	$mm^2$	
		$n_{b3}$	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	$N/mm^2$	
		$\tau_3$	ヒンジボルトのせん断応力度	$N/mm^2$	
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	$mm^2$	
		$L_4$	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	$N \cdot mm$	
		$n$	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	$mm^3$	
		$\sigma_{b4}$	カンヌキの曲げ応力度	$N/mm^2$	
		$\sigma_{x4}$	カンヌキの組合せ応力度	$N/mm^2$	
	カンヌキ受けピン	$\tau_4$	カンヌキのせん断応力度	$N/mm^2$	
		$A_5$	カンヌキ受けピンの断面積	$mm^2$	
		$L_5$	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	$N \cdot mm$	
		$Q_5$	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	$mm^3$	
		$\sigma_{b5}$	カンヌキ受けピンの曲げ応力度	$N/mm^2$	
	カンヌキ受けボルト	$\tau_5$	カンヌキ受けピンのせん断応力度	$N/mm^2$	
		$A_{b6}$	カンヌキ受けボルトの断面積	$mm^2$	
		$n_{b6}$	カンヌキ受けボルトの本数	本	
		$T_6$	カンヌキ受けボルトの引張力	N	
			$\sigma_{t6}$	カンヌキ受けボルトの引張応力度	$N/mm^2$

K7 ① V-2-9-3-3 R0

表 2-4 耐震評価に用いる記号（引き戸形式）

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	
	T	固有周期	s	
	f	原子炉建屋エアロックの1次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	m <sup>4</sup>	
	ℓ	はり長さ	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>2</sub>	扉幅	mm	
	H <sub>2</sub>	扉高	mm	
	P <sub>E1</sub>	圧力荷重（内圧）	kN/m <sup>2</sup>	
P <sub>E2</sub>	圧力荷重（外圧）	kN/m <sup>2</sup>		
共通	F <sub>7</sub>	接触箇所1箇所あたりが負担する水平面外方向の慣性力	N	
	N <sub>7</sub>	水平面外方向の扉体とレール周辺部材の接触箇所	箇所	
締付部	ローラー軸	A <sub>7</sub>	締付ローラー軸の断面積	mm <sup>2</sup>
		L <sub>7</sub>	締付ローラー作用点距離	mm
		M <sub>7</sub>	締付ローラー軸評価位置の曲げモーメント	N・mm <sup>2</sup>
		Z <sub>7</sub>	締付ローラー軸の断面係数	mm <sup>3</sup>
		σ <sub>b7</sub>	締付ローラー軸の曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		σ <sub>x7</sub>	締付ローラー軸の組合せ応力度	N/mm <sup>2</sup>
		τ <sub>7</sub>	締付ローラー軸のせん断応力度	N/mm <sup>2</sup>

### 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。

ここで、扉閉止時は、開き戸形式のエアロック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固定として、引き戸形式のエアロックは締付けローラーにより扉を扉面外方向に拘束する構造であることから端部の境界条件を単純支持とする。

扉開放時は、開き戸形式のエアロックは片側ヒンジ、片側自由端のはりとしてモデル化し、引き戸形式のエアロックは扉閉止時と端部の境界条件が変わらないことから、端部の境界条件を単純支持とする。

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

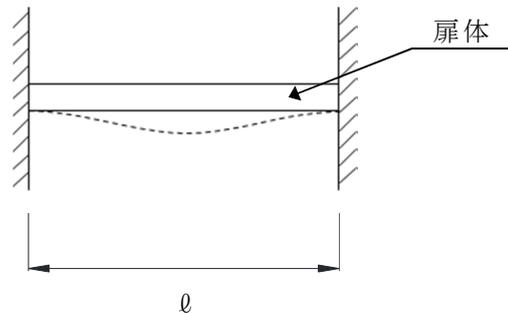
##### (1) 扉閉止時

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、扉面外方向について算出する。

##### a. 開き戸形式

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

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$



##### b. 引き戸形式

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

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

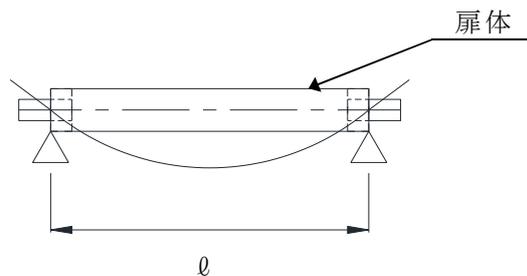


図 3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

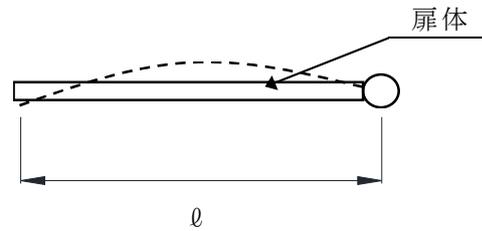
(2) 扉開放時

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。

a. 開き戸形式

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

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$



b. 引き戸形式

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

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

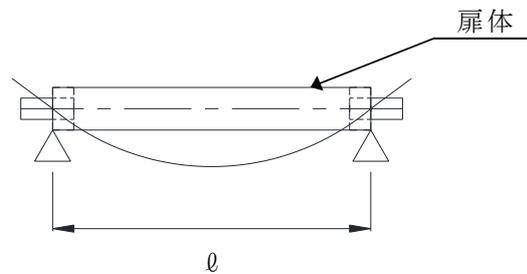


図 3-2 固有値計算モデル (扉開放時)

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  
(a) FCS 室エアロック（開き戸形式）

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

(b) 南西側エアロック及び北西側エアロック（引き戸形式）

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

(c) ギャラリー室エアロック（引き戸形式）

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

### 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 (s)

エアロック名称	扉の開閉状況	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
FCS 室エアロック	閉止時		
	開放時		
南西側エアロック 北西側エアロック	閉止時		
	開放時		
ギャラリー室エアロック	閉止時		
	開放時		

## 4. 構造強度評価

### 4.1 評価部位

原子炉建屋エアロックの評価対象部位は、「2.2 構造計画」に示すエアロックの構造を踏まえ、エアロック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。

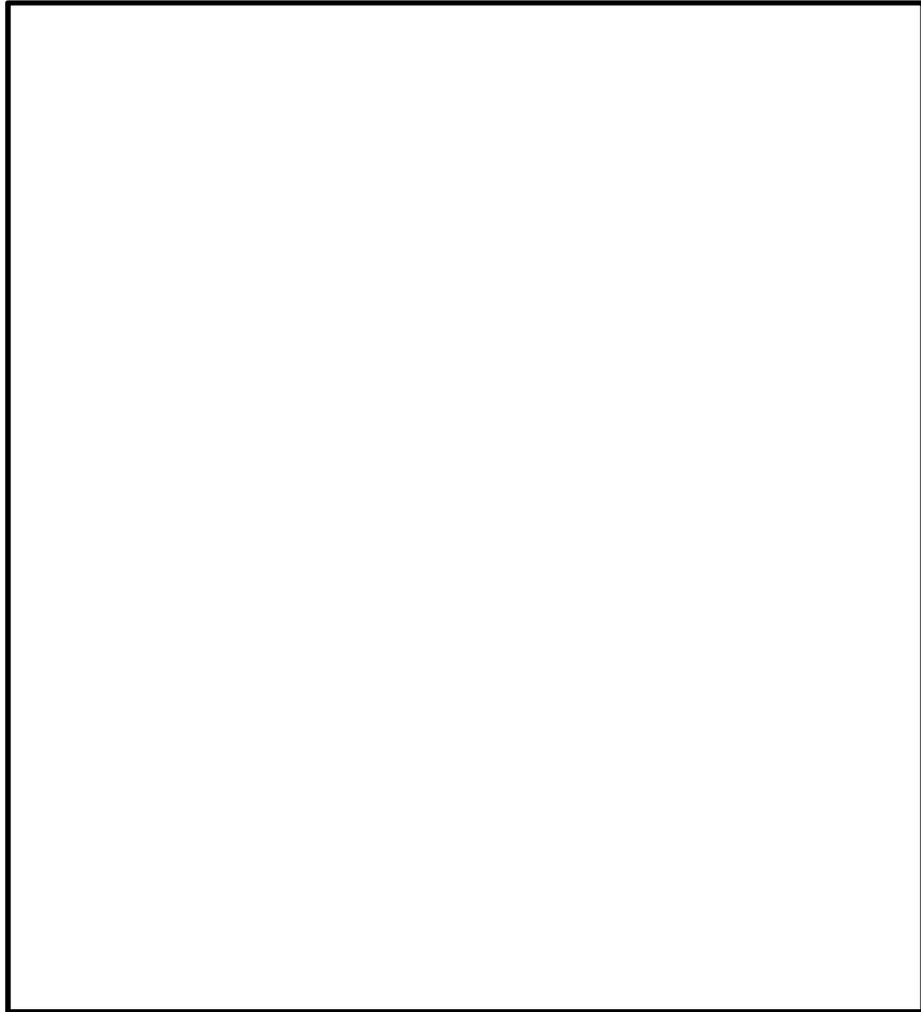
開き戸形式のエアロックに生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部及びカンヌキ部から扉枠に伝達しているため、評価部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

引き戸形式のエアロックに生じる地震力及び圧力荷重は、締付ローラーから扉枠に伝達しているため、評価部位を締付部（締付ローラー、ベアリング、ローラー軸）とする。

なお、扉枠からは直接躯体に荷重の伝達をしているため、扉枠と躯体を接合しているスタッドについては、評価対象としないこととする。

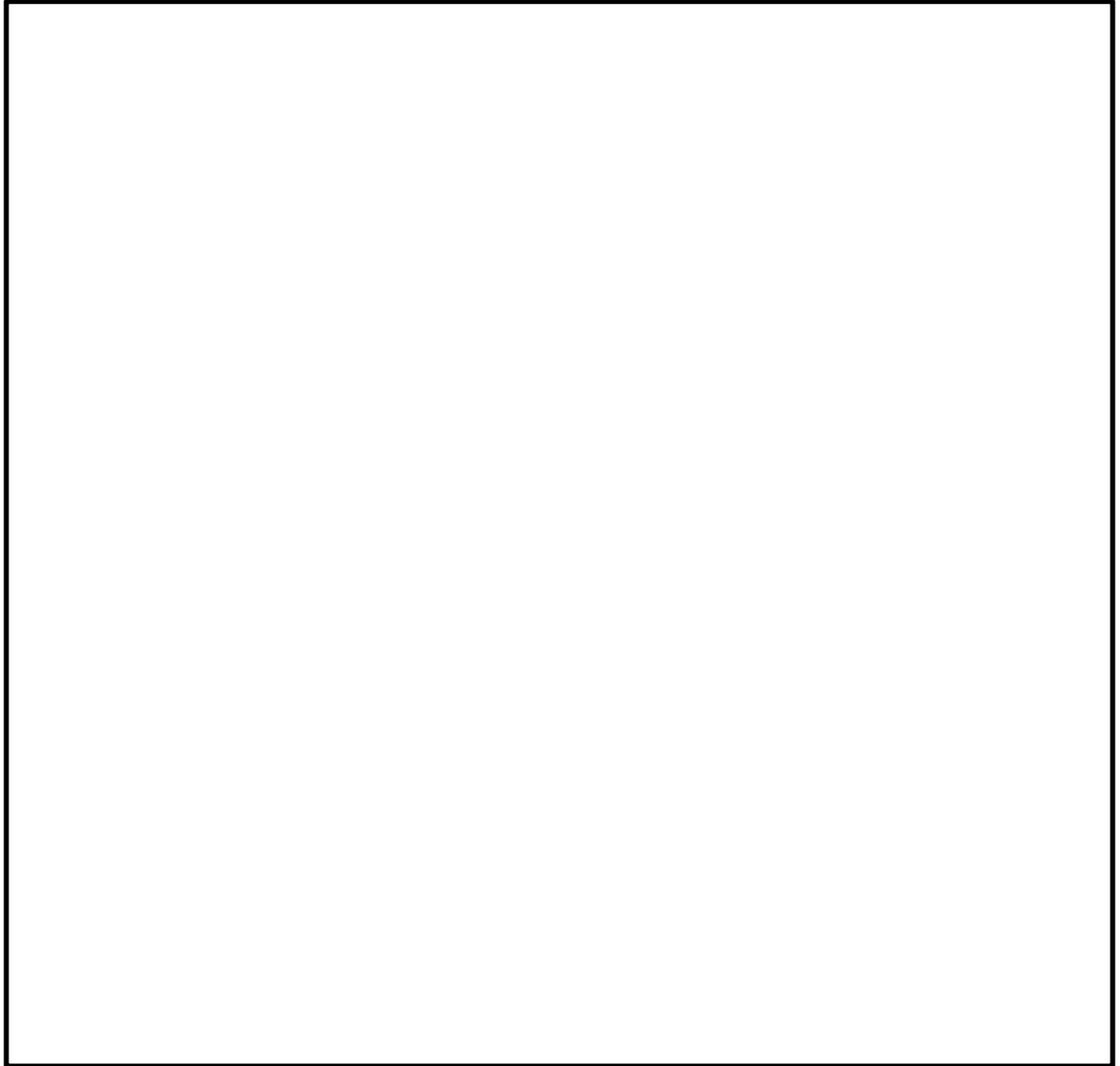
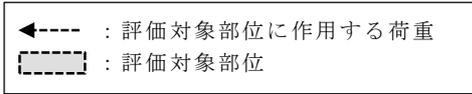
原子炉建屋エアロックの地震荷重の作用イメージと評価部位を図 4-1 に示す。

← : 評価対象部位に作用する荷重  
□ : 評価対象部位



(a) 開き戸形式

図 4-1 地震荷重の作用イメージと評価部位 (1/2)



(b) 引き戸形式

図 4-1 地震荷重の作用イメージと評価部位 (2/2)

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-2-9-1「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。

V-2-9-1「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、V-2-9-1「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施設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

原子炉建屋エアロックの耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

- G : 固定荷重 (kN)
- P : 圧力荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震力 (kN)

#### 4.2.2 荷重の設定

##### (1) 固定荷重 (G)

原子炉建屋エアロックの固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

エアロック名称	固定荷重 (kN)
FCS 室エアロック	
南西側エアロック	
北西側エアロック	
ギャラリー室エアロック	

##### (2) 圧力荷重 (P)

原子炉建屋エアロックにかかる圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は原子炉建屋エアロック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）はエアロック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）	0.736

##### (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 V-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」によることとし、設置階の上階の値とする。

$$S_s = G \cdot K$$

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

エアロック名称	設置場所 (抽出位置)	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
FCS 室エアロック	T. M. S. L. 12. 3m	0. 95	0. 91
南西側エアロック 北西側エアロック	(T. M. S. L. 18. 1m)	0. 95	0. 91
ギャラリー室エアロック	T. M. S. L. 34. 5m (T. M. S. L. 38. 2m)	1. 36	0. 99

### 4.3 許容限界

許容限界は、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。

#### 4.3.1 使用材料

原子炉建屋エアロックを構成するヒンジ部、カンヌキ部及び締付部の使用材料を表4-4に示す。

表4-4 使用材料

(a) 開き戸形式

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム	[Redacted]	
	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		

(b) 引き戸形式

部位		材質	仕様
締付部	締付ローラー	[Redacted]	
	ベアリング		
	ローラー軸		

### 4.3.2 許容限界

#### (1) ヒンジ部及びカンヌキ部

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「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）」（以下「S 規準」という。）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
[Redacted]	215	215	124
	205	205	118
	345	345	199
	651	651	375

#### (2) 締付部

締付部を構成する部材の許容限界及び許容荷重は、「S 規準」及び「基本定格荷重」に基づき設定する。各部材の許容限界及び許容荷重を表 4-6 に示す。

表 4-6 締付部の許容限界及び許容荷重

材質	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )			許容荷重
	曲げ	引張	せん断	定格荷重 (N)
[Redacted]	—	—	—	9790
	—	—	—	11300
	215	215	124	—

#### 4.4 計算方法

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、地震により生じる応力度または荷重が、「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 開き戸形式

###### (1) 荷重計算方法

###### 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、各部材に発生する応力度を算定する。ヒンジ部に生じる荷重を図 4-2 に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

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

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

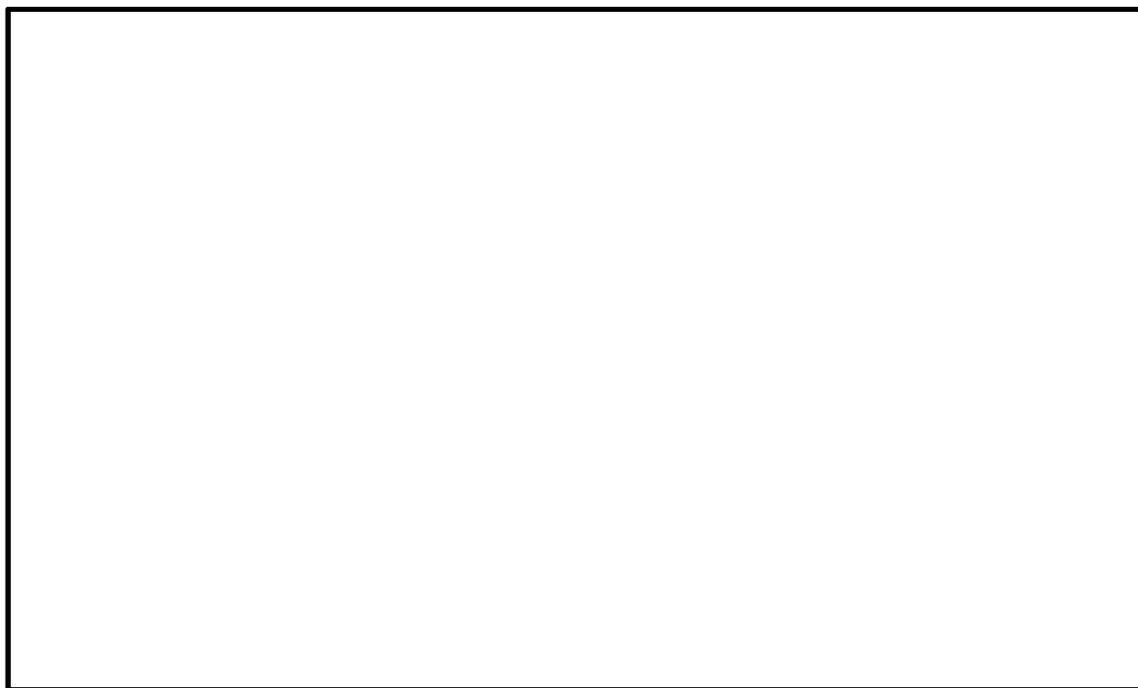


図 4-2 ヒンジ部に生じる荷重

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームは、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 4-3 にヒンジアームに生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ヒンジアーム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。

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

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

ロ. せん断力

ヒンジアーム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 4-3 ヒンジアームに生じる荷重

## (b) ヒンジピン

ヒンジピンは、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にヒンジピンに生じる荷重を示す。

## イ. 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。

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

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

## ロ. 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4-4 ヒンジピンに生じる荷重

(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。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 180° 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、180° 開放時のせん断力に包絡されるため開放状況は 90° と 180° 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 4-5 にヒンジボルトに生じる荷重を示す。

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

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

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

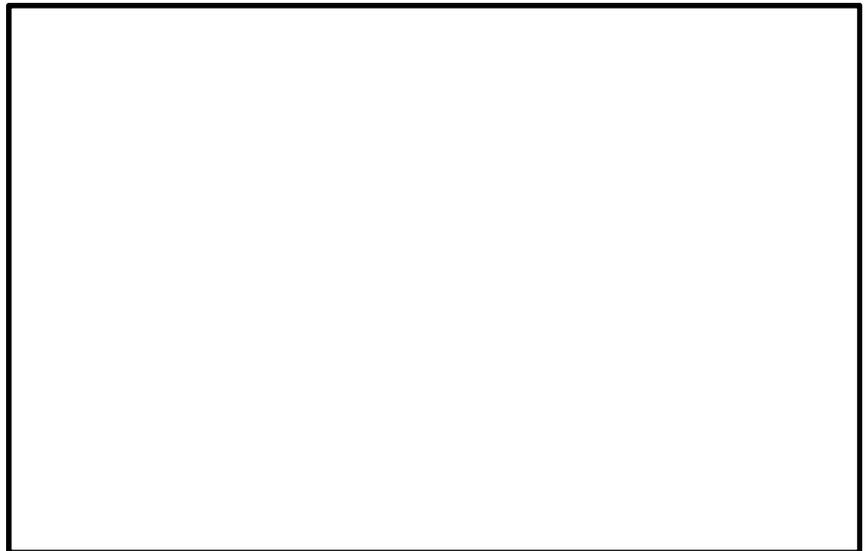


図 4-5 ヒンジボルトに生じる荷重

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圧力荷重（外圧）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 4-6 に、カンヌキ部に生じる荷重を図 4-7 に示す。

$$F_H' = W_X \cdot C_H + P_{E2} \cdot W_1 \cdot H_1$$



図 4-6 扉体に生じる荷重



(a) 平面図

(b) A-A 断面図

図 4-7 カンヌキ部に生じる荷重

(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。

イ. 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。

$$M_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_4$$

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

ロ. 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。

$$Q_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

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

## (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。

## イ. 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。

$$M_5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_5$$

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

## ロ. 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。

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

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

## (c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトは，引張応力度について評価する。カンヌキ受けボルトに生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_6 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

(2) 応力の評価

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。

a. ヒンジ部

(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。

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

(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組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

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

(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，ボルトの許容限界以下であることを確認する。

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

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

## b. 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から，組合せ応力度を次式により算定し，カンヌキ受けピン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。

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

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

## (c) カンヌキ受けボルト

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，ボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

#### 4.4.2 引き戸形式

##### (1) 荷重計算方法

###### a. 締付部

###### (a) 締付ローラー

接触箇所 1 箇所あたりが負担する水平面外方向の慣性力は次式で算出する。

図 4-8 に締付ローラーに生じる荷重を示す。

$$F_7 = (C_H \cdot W_X + P_{E2} \cdot W_2 \cdot H_2) / N_7$$



図 4-8 締付ローラーに生じる荷重

(b) ベアリング

接触箇所 1 箇所あたりが負担する水平面外方向の慣性力は次式で算出する。

図 4-9 にベアリングに生じる荷重を示す。

$$F_7 = (C_H \cdot W_X + P_{E2} \cdot W_2 \cdot H_2) / N_7$$

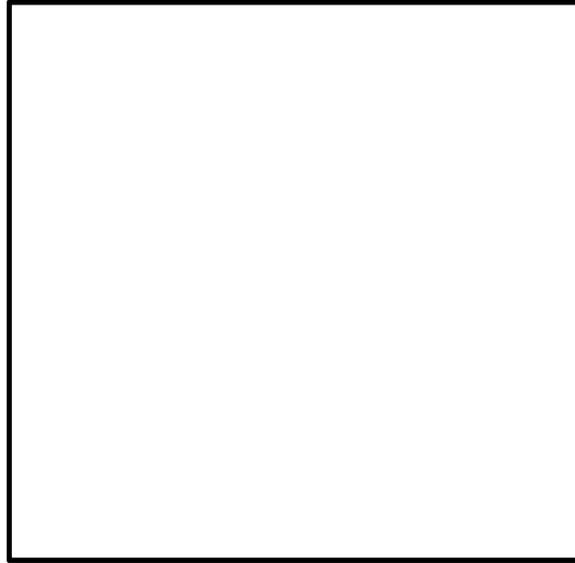


図 4-9 ベアリングに生じる荷重

(c) ローラー軸

ローラー軸は、曲げ応力度及びせん断応力度について評価する。図 4-10 にローラー軸に生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ローラー軸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。

$$M_7 = F_7 \cdot L_7$$

$$\sigma_{b7} = \frac{M_7}{Z_7}$$

ロ. せん断力

ローラー軸に生じるせん断応力度を次式により算定する。

$$\tau_7 = \frac{F_7}{A_7}$$



図 4-10 ローラー軸に生じる荷重

(2) 応力の評価

各部材に生じる荷重又は応力度が，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。

a. 締付部

(a) 締付ローラー

締付ローラーに生じる荷重が許容荷重以下であることを確認する。

(b) ベアリング

ベアリングに生じる荷重が許容荷重以下であることを確認する。

(c) ローラー軸

ローラー軸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，ローラー軸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。

$$\sigma_{X7} = \sqrt{\sigma_{b7}^2 + 3 \cdot \tau_7^2}$$

#### 4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-7に示す。

表4-7 耐震評価に用いる計算条件 (1/3)

(a) FCS室エアロック

対称部位	記号	単位	定義	数値	
共通	$C_H$	—	水平震度	0.95	
	$C_V$	—	鉛直震度	0.91	
	$W_X$	kN	扉体自重	□	
	$W_1$	mm	扉体幅		
	$H_1$	mm	扉体高		
	$P_{E1}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(内圧)	0.000	
	$P_{E2}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(外圧)	0.736	
ヒンジ部	共通	$L_j$	mm	ヒンジ中心間距離	□
		$L_r$	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		$L_t$	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジアーム	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$L_1$	mm	作用点間距離	
		$Z_1$	mm <sup>3</sup>	断面係数	
	ヒンジピン	$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$L_2$	mm	軸支持間距離	
		$Z_2$	mm <sup>3</sup>	断面係数	
	ヒンジボルト	$A_{b3}$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$n_{b3}$	本	本数	

表 4-7 耐震評価に用いる計算条件 (2/3)

(a) FCS 室エアロック

対称部位		記号	単位	定義	数値
カ ン ヌ キ 部	カンヌキ	$A_4$	$\text{mm}^2$	断面積	
		$L_4$	mm	作用点間距離	
		n	本	本数	
		$Z_4$	$\text{mm}^3$	断面係数	
	カンヌキ受け ピン	$A_5$	$\text{mm}^2$	断面積	
		$L_5$	mm	作用点間距離	
		$Z_5$	$\text{mm}^3$	断面係数	
	カンヌキ受け ボルト	$A_{b6}$	$\text{mm}^2$	断面積	
		$n_{b6}$	本	本数	

表 4-7 耐震評価に用いる計算条件 (3/3)

(b) 南西側エアロック及び北西側エアロック

対称部位		記号	単位	定義	数値
共通		$C_H$	—	水平震度	0.95
		$C_V$	—	鉛直震度	0.91
		$W_x$	kN	扉体自重	□
		$W_2$	mm	扉体幅	
		$H_2$	mm	扉体高	
		$P_{E1}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(内圧)	0.000
		$P_{E2}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(外圧)	0.736
縮付部	共通	$N_7$	箇所	縮付部の接触個所	□
	ローラー軸	$A_7$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$L_7$	mm	作用点間距離	
		$Z_7$	mm <sup>3</sup>	断面係数	

(c) ギャラリー室エアロック

対称部位		記号	単位	定義	数値
共通		$C_H$	—	水平震度	1.36
		$C_V$	—	鉛直震度	0.99
		$W_x$	kN	扉体自重	□
		$W_2$	mm	扉体幅	
		$H_2$	mm	扉体高	
		$P_{E1}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(内圧)	0.000
		$P_{E2}$	kN/m <sup>2</sup>	圧力荷重(外圧)	0.736
縮付部	共通	$N_7$	箇所	縮付部の接触個所	□
	ローラー軸	$A_7$	mm <sup>2</sup>	断面積	
		$L_7$	mm	作用点間距離	
		$Z_7$	mm <sup>3</sup>	断面係数	

5. 評価結果

エアロックの評価結果を表 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 (1/2)

(a) FCS 室エアロック

評価部位		分類	発生値	許容限界
ヒンジ部	ヒンジ アーム	曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	22	215
		せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	2	124
		組合せ (N/mm <sup>2</sup> )	23	215
	ヒンジ ピン	曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	127	345
		せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	12	199
		組合せ (N/mm <sup>2</sup> )	129	345
	ヒンジ ボルト	引張 (N/mm <sup>2</sup> )	32	651
		せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	32	375
	カンヌキ部	カンヌキ	曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	5
せん断 (N/mm <sup>2</sup> )			1	118
組合せ (N/mm <sup>2</sup> )			6	205
カンヌキ受け ピン		曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	30	205
		せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	3	118
カンヌキ受け ボルト		引張 (N/mm <sup>2</sup> )	14	651

表 5-1 耐震評価結果 (2/2)

(b) 南西側エアロック及び北西側エアロック

評価部位		分類	発生値	許容限界
締 付 部	締付ローラー	定格荷重 (N)	971	9790
	ベアリング	定格荷重 (N)	971	11300
	ローラー軸	曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	20	215
		せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	2	124
		組合せ (N/mm <sup>2</sup> )	21	215

(c) ギャラリー室エアロック

評価部位		分類	発生値	許容限界
締 付 部	締付ローラー	定格荷重 (N)	1203	9790
	ベアリング	定格荷重 (N)	1203	11300
	ローラー軸	曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	25	215
		せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	2	124
		組合せ (N/mm <sup>2</sup> )	26	215