

本資料のうち、枠囲みの
内容は商業機密の観点か
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-補-E-19-0600-20_改2
提出年月日	2021年6月8日

補足-600-20 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の
耐震性について

目次

1.	概要	1
2.	BOP 閉止装置の全体構造	1
3.	BOP 閉止装置の構造	2
4.	評価部位	3
4.1	考慮する荷重	3
4.2	荷重伝達経路	4
4.2.1	地震荷重	4
4.2.2	圧力荷重及び機械的荷重	6
4.3	評価部位	6
4.3.1	扉及び支持部材の考慮する荷重方向	6
4.3.2	応力評価部位	6
5.	評価条件	9
5.1	荷重の組合せ，許容応力状態及び許容応力	9
5.2	設計条件	11
5.2.1	温度条件	11
5.2.2	死荷重	11
5.2.3	圧力荷重	11
5.2.4	機械的荷重	11
5.2.5	地震荷重	11
5.3	各評価部位の許容応力	13
6.	評価	15
6.1	BOP 閉止装置の固有周期の計算方法	15
6.1.1	解析モデル	15
6.1.2	固有周期の算出結果	16
6.2	応力計算方法	17
6.2.1	扉の応力計算	17
6.2.2	閘部の応力計算	23
6.2.3	丁番部の応力計算	34
6.3	評価結果	47

1. 概要

本資料は、ブローアウトパネル関連設備のうち、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の耐震評価手法について説明するものである。

2. BOP 閉止装置の全体構造

BOP 閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟に装置取付架台を介して 1 式（24 台）設置しており、BOP 閉止装置の枠板は据付ボルトにより装置取付架台に固定される。BOP 閉止装置の全体構造を図 2-1 に示す。BOP 閉止装置 24 台と装置取付架台から構成される全体構造の固有周期は 0.05s 以下であり、全体構造が剛構造であることを確認している。そのため、全体構造における BOP 閉止装置の振動特性と BOP 閉止装置 1 台の振動特性に差異はないため、以下では BOP 閉止装置 1 台に対する評価結果を代表として記載する。添付 2 に装置取付架台が剛構造である根拠を示す。

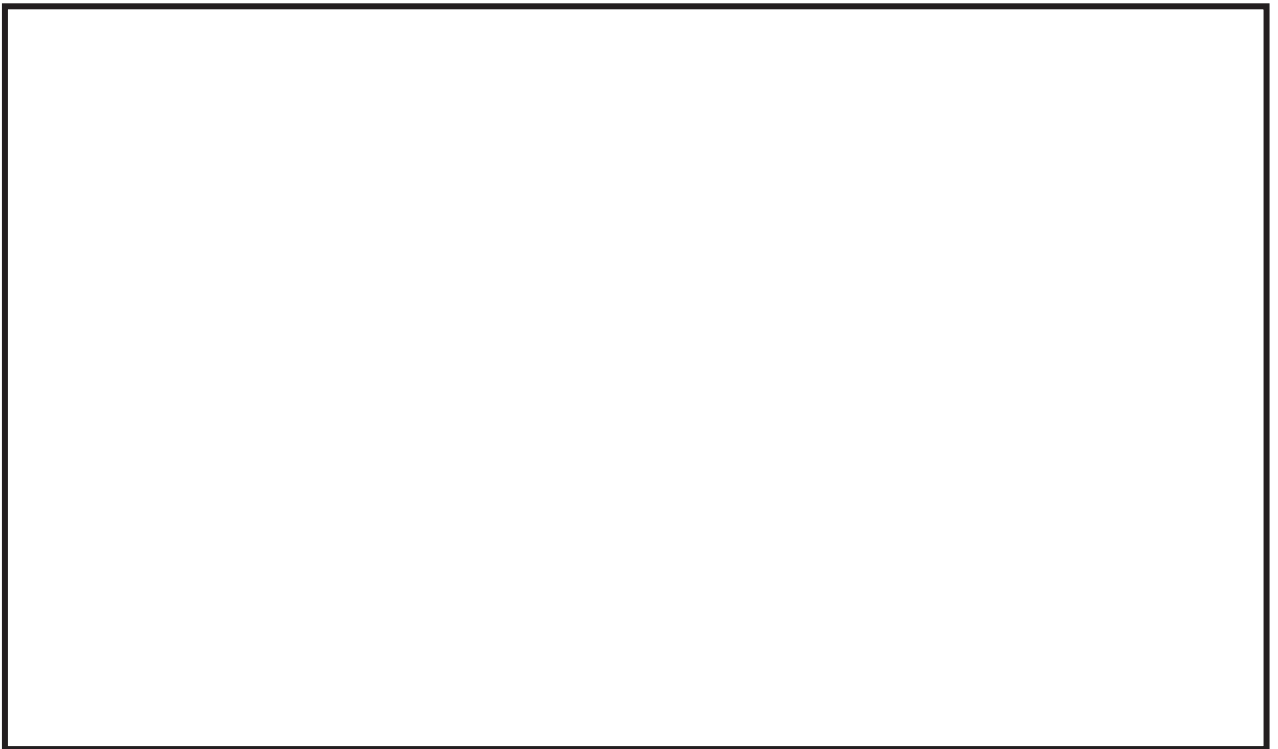
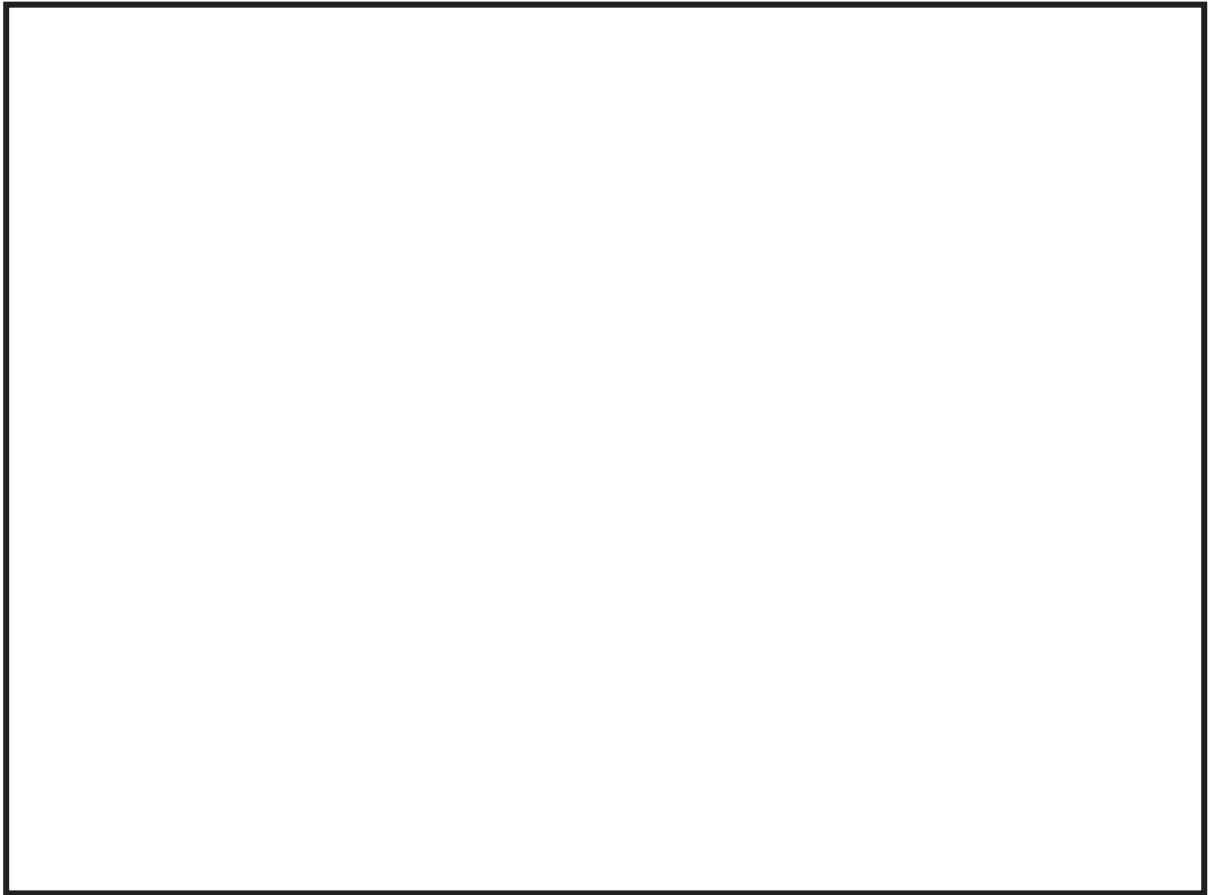


図 2-1 BOP 閉止装置の全体構造

3. BOP 閉止装置の構造

BOP 閉止装置は、原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「BOP」という。）が開放された状態で炉心損傷した場合において、扉を電動機又は手動により動作させ、BOP 開口部を閉止する装置である。図 3-1 に BOP 閉止装置の構造を示す。BOP 閉止装置は、丁番を軸として、扉本体に取付けられたチェーンを介して電動機により開閉動作を可能とする。また、扉開状態及び扉閉状態では門により扉の動きを拘束する。



- | | | |
|----------|-------|---------|
| ① 扉 | ② 枠板 | ③ 門部 |
| ・内梁 | ・枠板 | ・門ピン |
| ・外梁 | | ・門ピン受 |
| ・面板 | | ・門ブラケット |
| ④ 丁番部 | ⑤ 駆動部 | |
| ・丁番ブラケット | ・電動機 | |
| ・丁番軸 | | |
| ・丁番ブロック | | |

図 3-1 BOP 閉止装置の構造

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 評価部位

BOP 閉止装置は、扉をその支持部材である門及び丁番で支持する構造となっている。そのため評価部位は扉及び上記 2 種類の支持部材から選定する。以下に考慮する荷重、荷重伝達経路及び評価部位を示す。

4.1 考慮する荷重

BOP 閉止装置は、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」及び添付書類「VI-1-1-6-別添 4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、表 4-1 に示す荷重を考慮する。

表 4-1 BOP 閉止装置に考慮する荷重

状態	死荷重	差圧	S s 地震	風 (台風)	竜巻		津波	火山の 影響	積雪
					風 (100 m/s)	飛来物			
扉開	○	—	○	—	—	—	—	—	—
扉閉	○	○	○	○	—	—	—	—	—

4.2 荷重伝達経路

4.2.1 地震荷重

BOP 閉止装置が扉開及び扉閉それぞれの状態で、地震荷重が作用した場合の各部位の荷重伝達経路を以下に示す。

(1) 門部

地震動が作用した場合、門ピンを介して門ピン受及び門ブラケットに伝達される。門部の荷重伝達経路を図 4-1 に示す。門部は面外方向地震荷重を支持し、扉開及び扉閉状態ともに荷重伝達経路は以下に示すとおりである。

- 1) 地震動により扉に慣性力が作用する。
- 2) 扉を支持する門ピンに扉慣性力が作用する。
- 3) 扉、門ピンを支持する門ピン受及び門ブラケットに扉慣性力が作用する。

以上から地震動に対しては、扉慣性力を支持する門部の部位のうち、門ピン、門ピン受及び門ブラケットが主要な荷重伝達経路になる。



図 4-1 門部の荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 丁番部

地震動が作用した場合、丁番ブラケットから丁番軸を介して丁番ブロックに伝達される。丁番部の荷重伝達経路を図 4-2 に示す。丁番部は面外方向・面内方向・鉛直方向（死荷重を含む）地震荷重を支持し、扉開及び扉閉状態ともに荷重伝達経路は以下に示すとおりである。

- 1) 地震動により扉に慣性力が作用する。
- 2) 扉を支持する丁番ブラケットに扉慣性力が作用する。
- 3) 扉、丁番ブラケットを支持する丁番軸及び丁番ブロックに扉慣性力が作用する。

以上から地震動に対しては、扉慣性力を支持する丁番部の部位のうち、丁番ブラケット、丁番軸及び丁番ブロックが主要な荷重伝達経路になる。

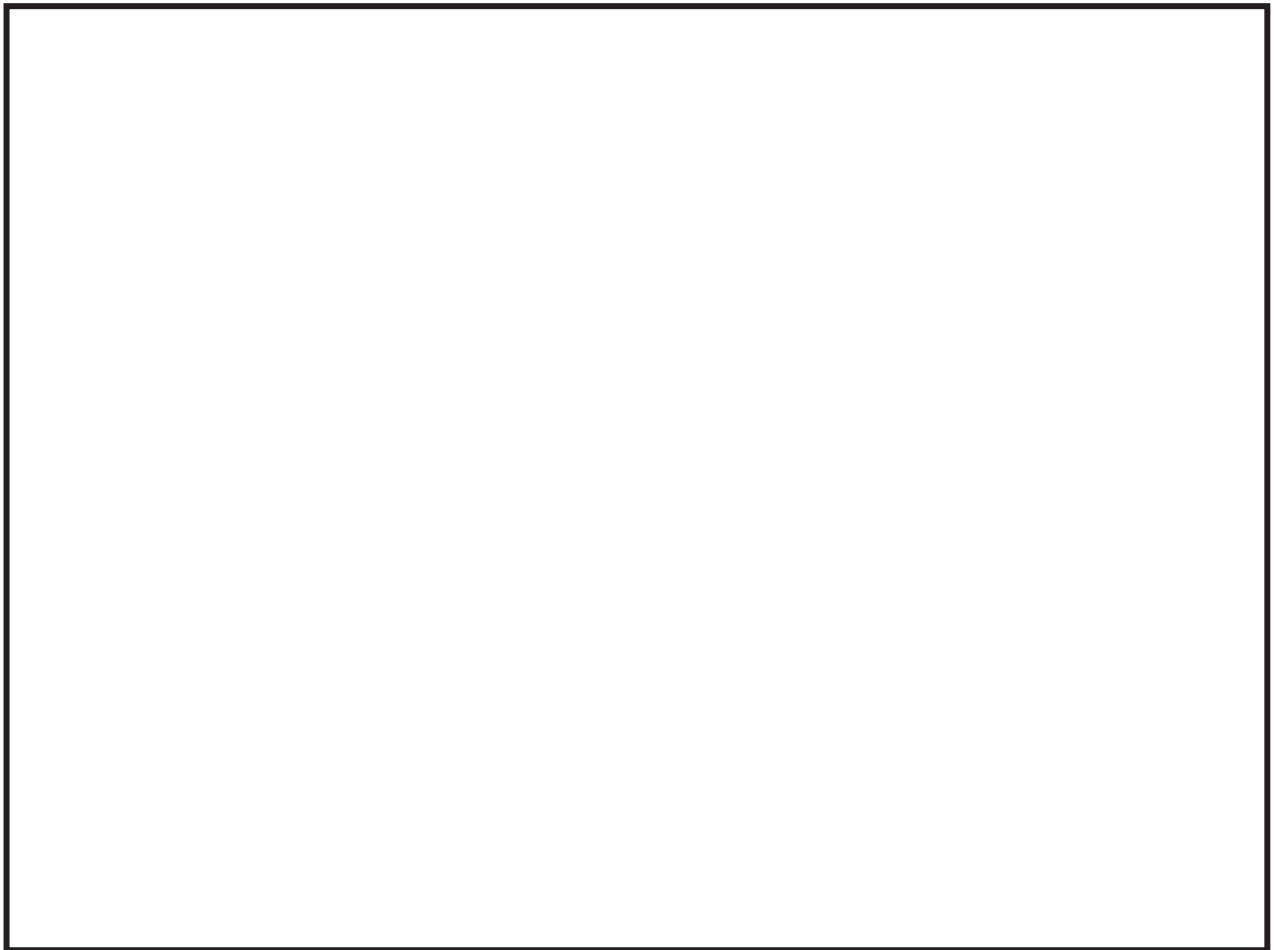


図 4-2 丁番部の荷重伝達経路

4.2.2 圧力荷重及び機械的荷重

圧力荷重及び機械的荷重は扉面外方向に分布荷重として作用するため、各部位の荷重伝達経路は地震荷重が面外方向に作用した場合と同様である。

4.3 評価部位

4.3.1 扉及び支持部材の考慮する荷重方向

扉及び支持部材の主要部材に対して、強度評価で考慮する荷重方向を表 4-2 に示す。

表 4-2 扉及び支持部材の強度評価上考慮する荷重方向

主要部材		考慮する荷重方向			
		面外	面内	鉛直	
扉	梁	○	○	○	
	板	○	○	○	
支持部材	門部	門ピン	○	—	—
		門ピン受	○	—	—
		門ブラケット	○	—	—
	丁番部	丁番ブラケット	○	○	○
		丁番軸	○	○	○
		丁番ブロック	○	○	○

4.3.2 応力評価部位

応力評価部位は、表 4-2 に示す主要部材のうち、構造強度評価上厳しい箇所とする。評価部位をまとめたものを表 4-3 に示す。また、評価部位を示した BOP 閉止装置構造の全体図（扉閉状態）を図 4-3 に示す。

表 4-3 強度評価を実施する部位

評価部位		応力評価箇所	備考*	
扉	梁	外梁	①	
		内梁	②	
	板	面板	③	
支持部材	門部	門ピン	④	
		門ピン受	本体	⑤
			取付ボルト	⑥
		門ブラケット	本体	⑦
			取付ボルト	⑧
		丁番部	丁番ブラケット	本体
	取付ボルト			⑩
	丁番軸		本体	⑪
	丁番ブロック		本体	⑫
		取付ボルト	⑬	

注記*：備考欄に記載の番号は，図 4-3 中の番号を示す。

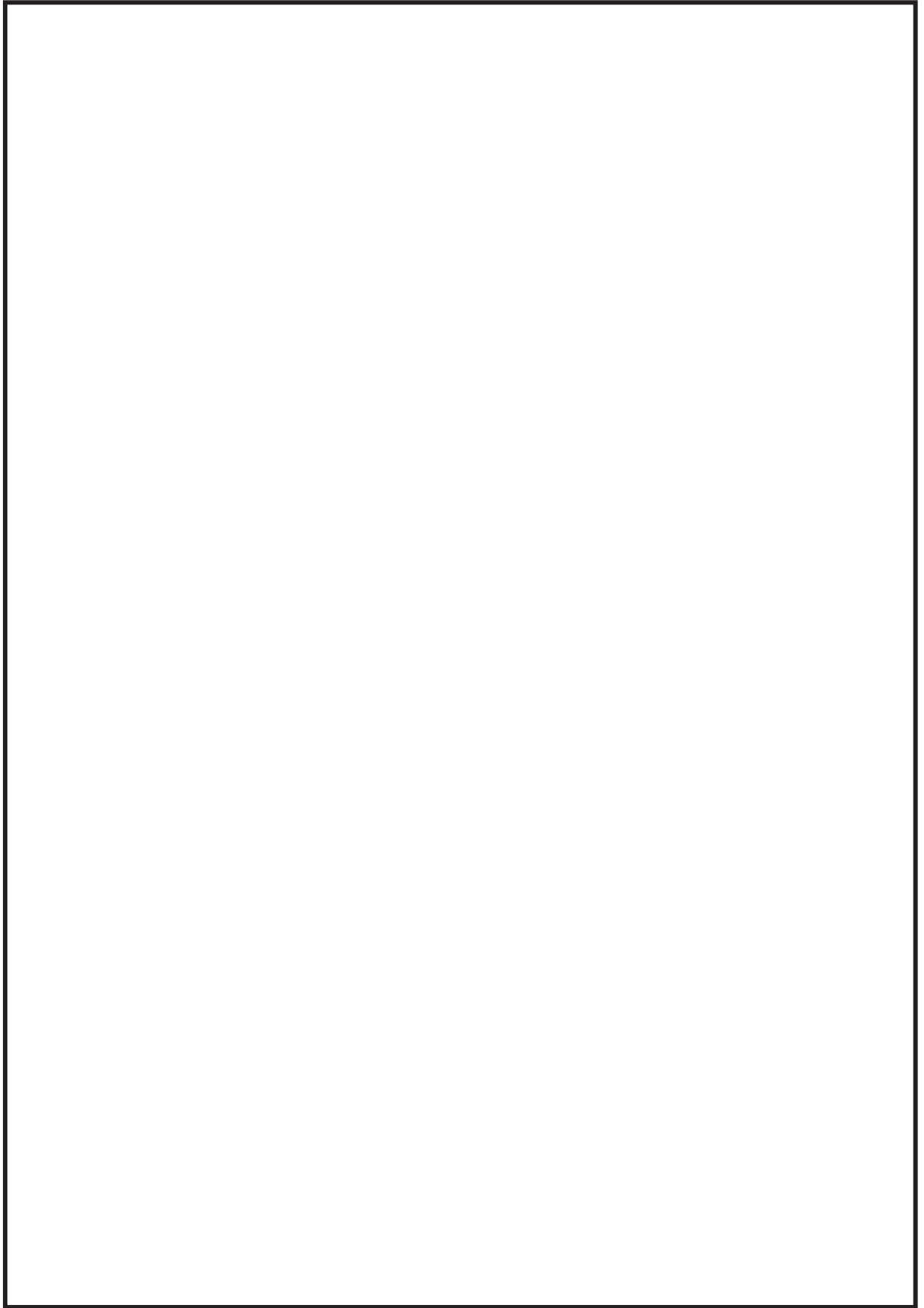


図 4-3 BOP 閉止装置構造の全体図（扉閉状態）

5. 評価条件

5.1 荷重の組合せ，許容応力状態及び許容応力

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，強度評価に用いる BOP 閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力を表 5-1 に示す。

なお，BOP 閉止装置に作用する荷重は，死荷重，地震荷重，圧力荷重及び風荷重による機械的荷重が主であることから，一次応力について評価を実施する。

表 5-1 BOP 閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力

状態	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界 (ボルト等以外)			許容限界 (ボルト等)	
			引張	せん断	組合せ	引張* ³	せん断
扉開	D + P _D + M _D + S _s	Ⅲ _{AS} * ¹	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _t	1.5・f _t	1.5・f _s
		Ⅳ _{AS}	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]	1.5・f _t * [*]	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]
扉閉	D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	Ⅲ _{AS} * ¹	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _t	1.5・f _t	1.5・f _s
		V _{AS} * ²	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]	1.5・f _t * [*]	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]

注：

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重（BOP 閉止装置では扉開状態において圧力荷重は作用しないため考慮しない。）

M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重（BOP 閉止装置では扉開状態において風荷重は作用しないため考慮しない。）

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重（BOP 閉止装置では建屋内外差圧による圧力荷重を考慮する。）

M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重（BOP 閉止装置では風荷重を考慮する。）

Ⅲ_{AS} : J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）の供用状態 C 相当の許容応力を基準として，それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応

力状態

- IV_{AS} : 設計・建設規格の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- V_{AS} : 運転状態V相当の応力評価を行う許容応力状態を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- f_t : 許容応力状態 III_{AS} での許容引張応力
- f_s : 許容応力状態 III_{AS} での許容せん断応力
- f_t^* : 許容応力状態 IV_{AS} 及び V_{AS} での許容引張応力
- f_s^* : 許容応力状態 IV_{AS} 及び V_{AS} での許容せん断応力

注記*1: 門ピン等については、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を III_{AS} とする。

*2: V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

*3: せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 f_{ts} は、以下から算出する。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

ここで、

τ : せん断応力

5.2 設計条件

5.2.1 温度条件

評価する際の温度条件（許容応力算出条件）は以下とする。

扉開状態：55 °C

扉閉状態：66 °C

5.2.2 死荷重

死荷重（D）として考慮する扉の質量（m）は kg である。

5.2.3 圧力荷重

非常用ガス処理系による原子炉建屋内外最大差圧である Pa（負圧）を圧力荷重（P_{SAD}）として考慮する。

5.2.4 機械的荷重

機械的荷重（M_{SAD}）として、風荷重を考慮する。風荷重は、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 30m/s とする。

5.2.5 地震荷重

地震荷重（基準地震動 S_s）は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく設計用地震力により、BOP 閉止装置に作用する震度を用いて算定する。地震荷重の算出の際に考慮する質量は「5.2.2 死荷重」で示す数値と同一のものを使用する。

(1) 固有周期

固有周期の計算結果を表 5-2 に示す。固有周期の計算方法は「6.1 BOP 閉止装置の固有周期の計算方法」に示す。

表 5-2 固有周期

（単位：s）

固有 周期	面外方向		面内方向	鉛直方向
	扉開状態	扉閉状態		
	0.027	0.027	0.05 以下	0.05 以下

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 設計用地震力

扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-3 に、扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-3 扉閉状態の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	面外 方向	面内 方向	鉛直 方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	C _{H1} =3.15	C _{H2} =3.15	C _V =1.85

注記*：基準床レベルを示す。

表 5-4 扉閉状態の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	面外 方向	面内 方向	鉛直 方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	C _{H1} =3.15	C _{H2} =3.15	C _V =1.85

注記*：基準床レベルを示す。

5.3 各評価部位の許容応力

各評価部位の許容応力は、各部位の材質及び設計・建設規格 付録材料図表 Part5 に規定される各温度の設計降伏点 (S_y) 及び設計引張強さ (S_u) から設定する。材質及び許容応力を表 5-5 に示す。

表 5-5(1) 扉の許容応力

評価部位	材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	許容限界	
							$1.5 f_t^*$ (MPa)	$1.5 f_s^*$ (MPa)
扉		55	IV _A S					
		66	V _A S					

表 5-5(2) 門部の許容応力

評価部位	材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	許容限界	
							$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
門ピン		55	III _A S*					
		66						
門ピン受		55	III _A S*					
		66						
門ピン受 取付ボルト		55	III _A S*					
		66						
門ブラケット		55	III _A S*					
		66						
門ブラケット 取付ボルト		55	III _A S*					
		66						

注記*：門ピン等については、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を III_AS とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-5(3) 丁番部の許容応力

評価部位	材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	許容限界	
							$1.5 f_t^*$ (MPa)	$1.5 f_s^*$ (MPa)
丁番ブラケット		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番ブラケット 取付ボルト		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番軸		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番ブロック		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番ブロック 取付ボルト		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 評価

6.1 BOP 閉止装置の固有周期の計算方法

6.1.1 解析モデル

BOP 閉止装置の解析モデルを図 6-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 6-1 に示す。

- (1) BOP 閉止装置の外梁及び内梁を三次元のはり要素及び面板を三次元のシェル要素でモデル化した FEM モデルによって固有周期を求める。なお、丁番は扉開状態及び扉閉状態で扉を固定する部材の位置が同じであり、門については扉開状態と扉閉状態で扉を固定する部材の位置が異なるが、扉から見た門の位置は同じであるために、解析モデルは扉開状態及び扉閉状態で共通とする。
- (2) 解析モデルの質量は、扉を構成する内梁、外梁及び面板等の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件として、門は面外方向の並進拘束及び丁番は面外、面内及び鉛直方向の並進拘束とする。
- (4) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

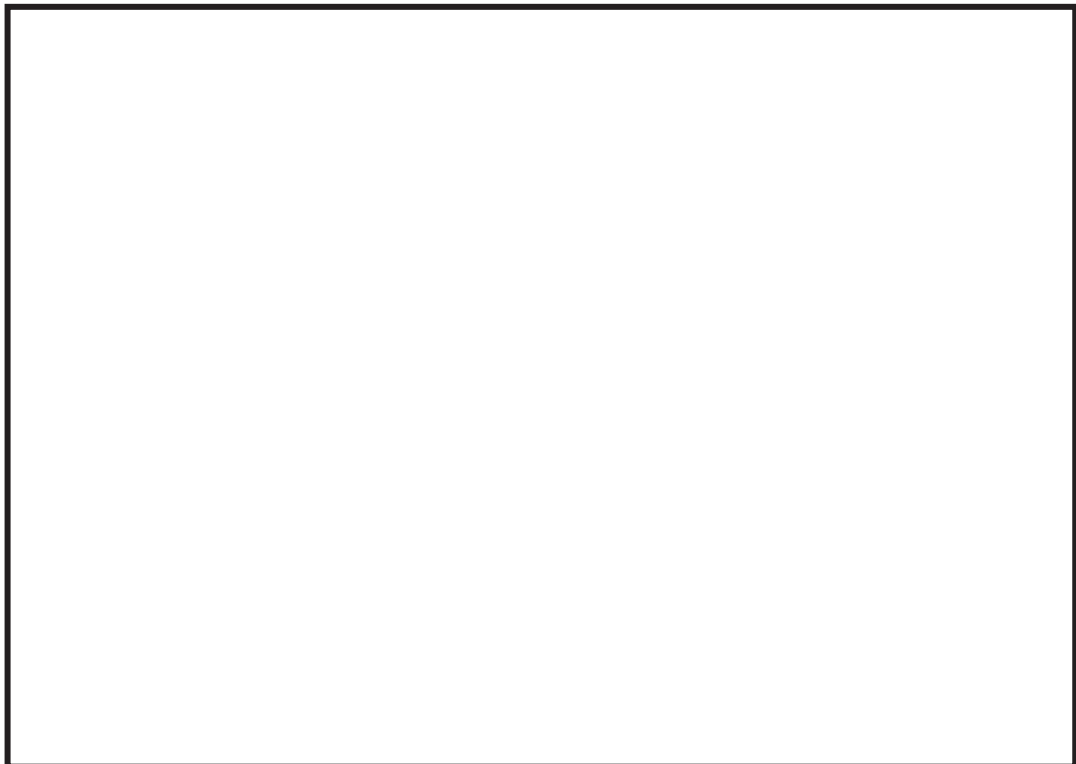


図 6-1 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-1 解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値	
材料	—	—	<input type="text"/>	
質量	m	kg	<input type="text"/>	
温度条件	扉開状態	T	°C	55
	扉閉状態			66
縦弾性係数	扉開状態	E	MPa	<input type="text"/>
	扉閉状態			<input type="text"/>
ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>	
要素数	—	個	<input type="text"/>	
節点数	—	個	<input type="text"/>	

6.1.2 固有周期の算出結果

扉開状態の固有値解析結果を表 6-2 に示す。また扉閉状態の固有値解析結果を表 6-3 に示す。振動モード図を図 6-2 に示す。

表 6-2 扉開状態の固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			面外方向	面内方向	鉛直方向
1次	0.027	面外	—	—	—

表 6-3 扉閉状態の固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			面外方向	面内方向	鉛直方向
1次	0.027	面外	—	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

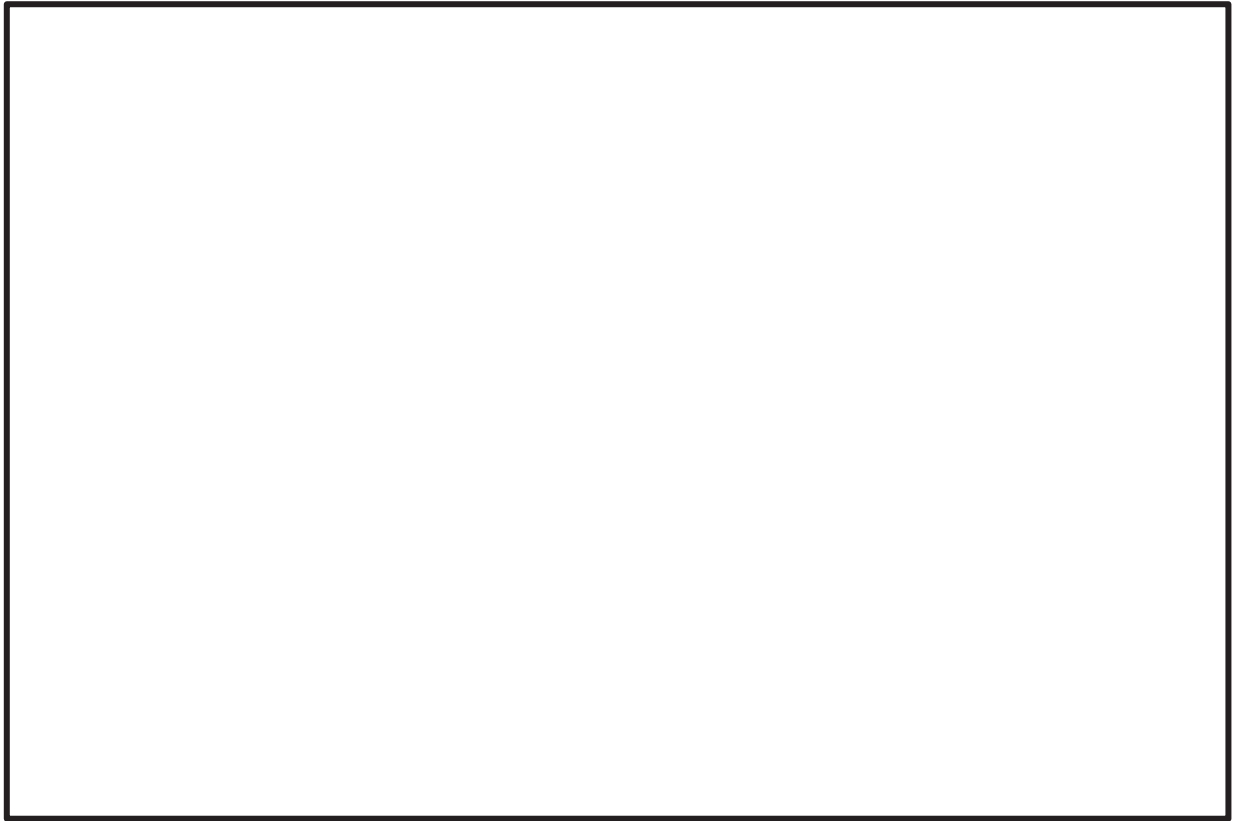


図 6-2 振動モード図

6.2 応力計算方法

4.3 項で述べた評価部位に対し，それぞれ有限要素法等により，扉開状態と扉閉状態それぞれの荷重条件における応力を算出する。ここで，後述する応力計算の詳細においては，扉開状態と扉閉状態で条件が同じものについては統一することとし，扉開状態もしくは扉閉状態のみで用いる条件については，その旨を述べることとする。

6.2.1 扉の応力計算

(1) 梁に作用する荷重

6.1.1 項に示した解析モデルに対し，以下の荷重を考慮し，要素に発生する荷重を算出し，強度評価において組み合わせる。

- a. 地震荷重により生じる荷重は，扉に対して面外方向，面内方向及び鉛直方向それぞれについて算出する。扉開状態での各方向の地震荷重に対する変形図を図 6-3 に，扉閉状態での各方向の地震荷重に対する変形図を図 6-4 に示す。
- b. 圧力荷重及び機械的荷重は，扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし，評価は外梁 4 辺を面外方向に拘束し，単位圧力による荷重に対して実施する。扉閉状態での圧力荷重及び機械的荷重に対する変形図を図 6-4 に示す。
- c. 死荷重は，扉に対して鉛直方向に作用するものとし算出する。死荷重による変形図は，鉛直方向の地震荷重と同等である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

上記 a. ~c. より算出した荷重を、以下の SRSS 法を用いて水平 2 方向及び鉛直方向地震荷重を組み合わせる。

$$(\text{合成荷重}) = \sqrt{((\text{面外方向地震荷重})^2 + (\text{面内方向地震荷重})^2 + (\text{鉛直方向地震荷重})^2) + (\text{圧力荷重}) + (\text{機械的荷重}) + (\text{死荷重})}$$

(2) 梁の応力計算

梁の応力は、FEM 解析により算出した荷重から以下に示す式で算出する。荷重は、並進力 F_x , F_y , F_z , モーメント力 M_x , M_y , M_z とする。ただし、添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (6.2.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A} \dots\dots\dots (6.2.1.2)$$

ここで、

- A : 断面積
- Z_x : ねじり断面係数
- Z_y : y 軸周り断面係数
- Z_z : z 軸周り断面係数

b. 引張応力

引張応力 σ_t は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \dots\dots\dots (6.2.1.3)$$

c. せん断応力

せん断応力 τ は次式となる。

$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \dots\dots\dots (6.2.1.4)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力 σ_c は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (6.2.1.5)$$

(3) 面板の応力

面板の応力は、各荷重（地震荷重，圧力荷重及び機械的荷重）から FEM 解析により算出した引張応力及びせん断応力を各々合計し，以下に示す式で組合せ応力を算出する。

a. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots \dots \dots (6.2.1.6)$$

ここで，

σ_x, σ_y : 面板面内に生じる互いに直交する引張応力

τ_{xy} : 面板面内に生じるせん断応力

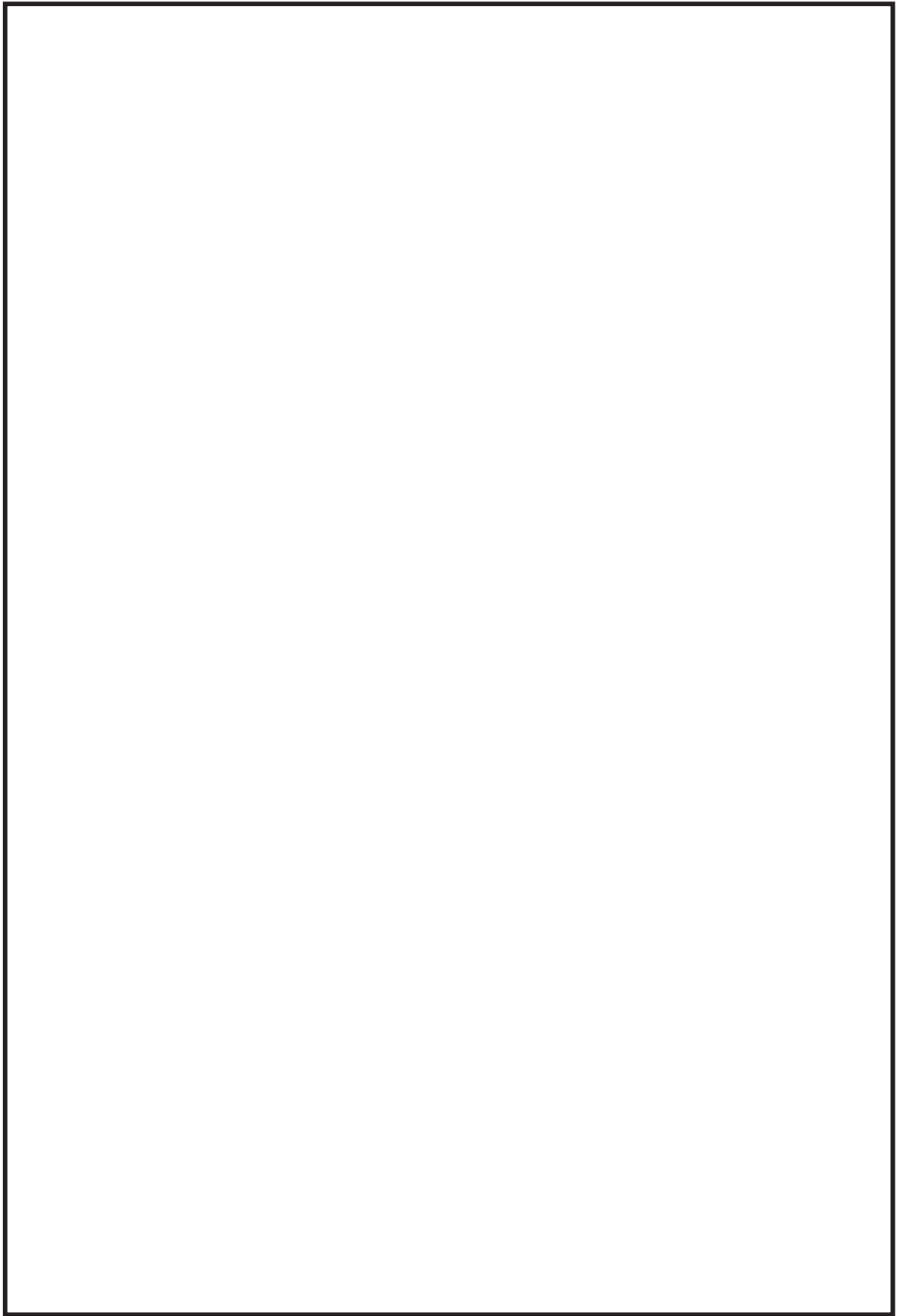


図 6-3 各荷重による変形〈扉開〉

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

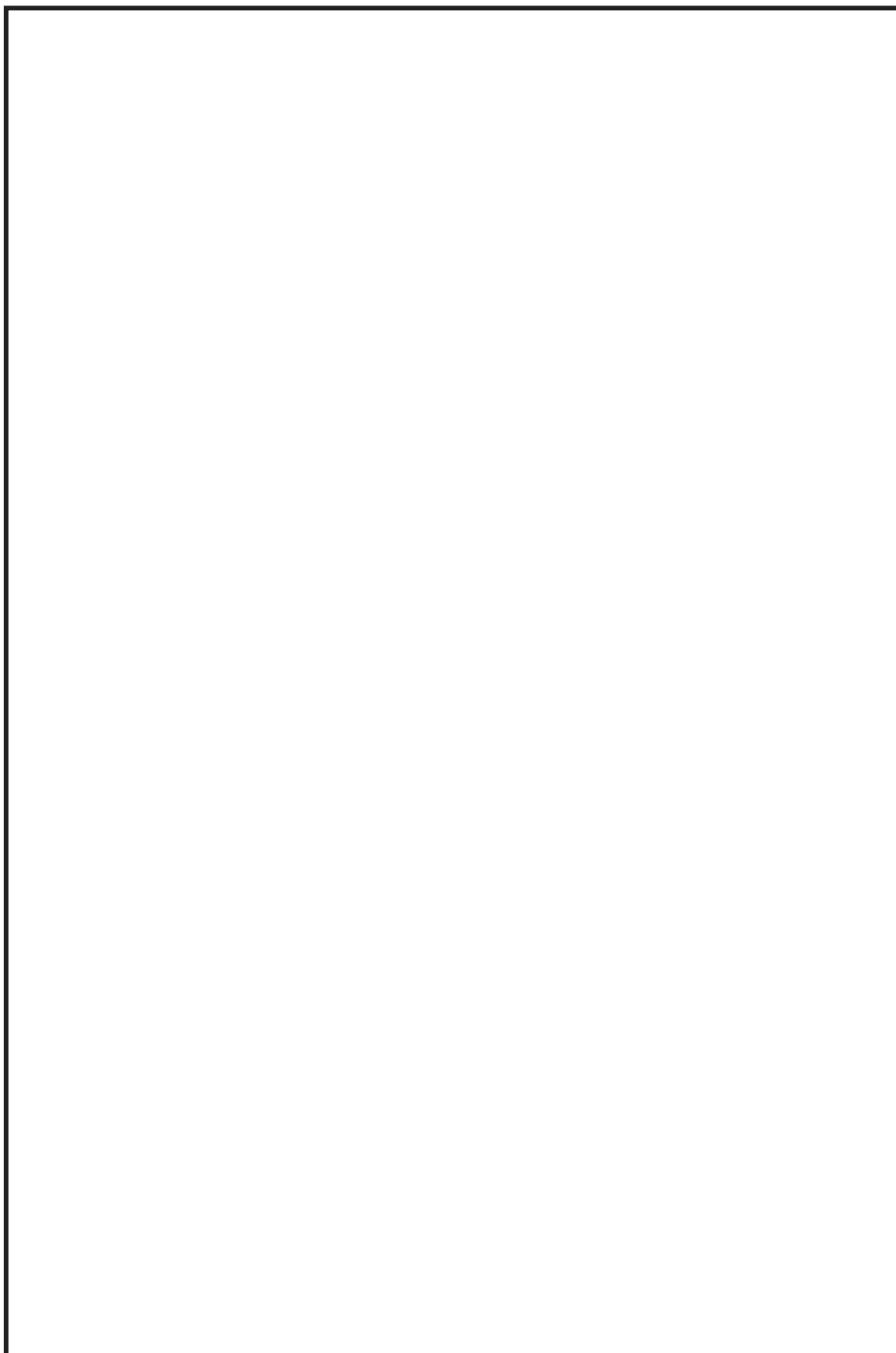


図 6-4 各荷重による変形〈扉閉〉(1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

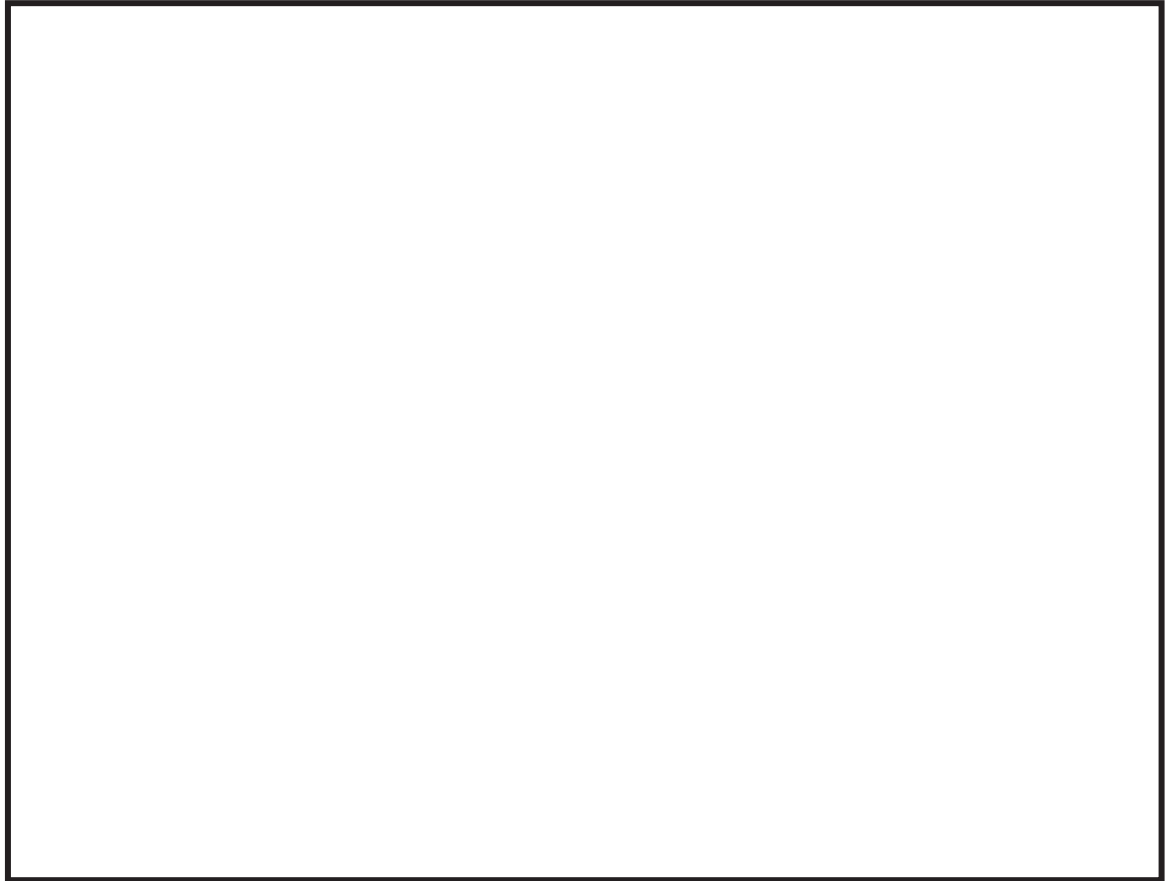


図 6-4 各荷重による変形〈扉閉〉(2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6.2.2 門部の応力計算

門部を構成する部材のうち，門ピン，門ピン受（本体及び取付ボルト）及び門ブラケット（本体及び取付ボルト）について応力評価を実施する。

(1) 門ピン

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ピンに作用する。応力計算は，図 6-5 に示す先端に集中荷重が作用する片持ち梁として，生じる応力を計算する。

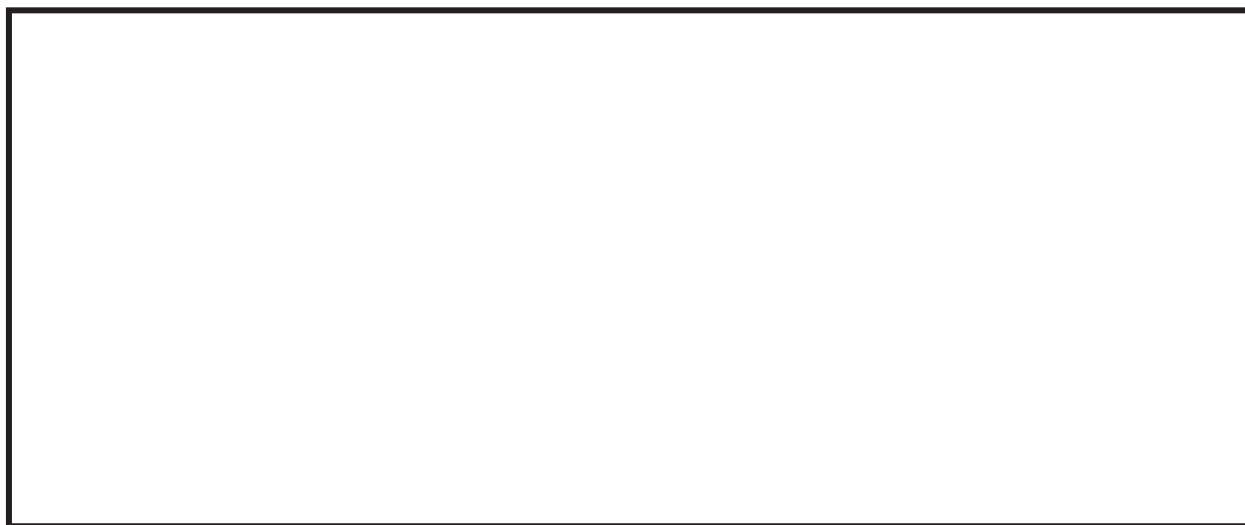


図 6-5 門ピン計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{4ho} = F_{4ho} \cdot L_4 \cdots \cdots (6.2.2.1)$$

ここで，

$$F_{4ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{4o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{4o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{4ho} = M_{4ho} / Z_4 \cdots \cdots (6.2.2.2)$$

ここで，

Z_4 : 門ピンの断面係数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{4p} = (F_{4p} + F_{4w}) \cdot L_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.3)$$

ここで，

$$F_{4p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{4o}$$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{4p} = 0$ ）

$$F_{4w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{4o}$$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{4w} = 0$ ）

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{4p} = M_{4p} / Z_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.4)$$

- ハ. 門ピンに生じる引張応力

$$\sigma_4 = \sigma_{4ho} + \sigma_{4p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.5)$$

- (b) せん断応力

- イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{4ho} = F_{4ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.6)$$

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{4ho} = Q_{4ho} / A_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.7)$$

ここで，

A_4 : 門ピンの断面積

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{4p} = F_{4p} + F_{4w} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.8)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{4p} = Q_{4p} / A_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.9)$$

ハ. 門ピンに生じるせん断応力

$$\tau_4 = \tau_{4ho} + \tau_{4p} \dots\dots\dots (6.2.2.10)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{4c} = \sqrt{(\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2)} \dots\dots\dots (6.2.2.11)$$

(2) 門ピン受

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ピン受到に作用する。応力計算は、図 6-6 に示す A～A 断面に生じる引張応力と B～B 断面に生じるせん断応力を計算する。

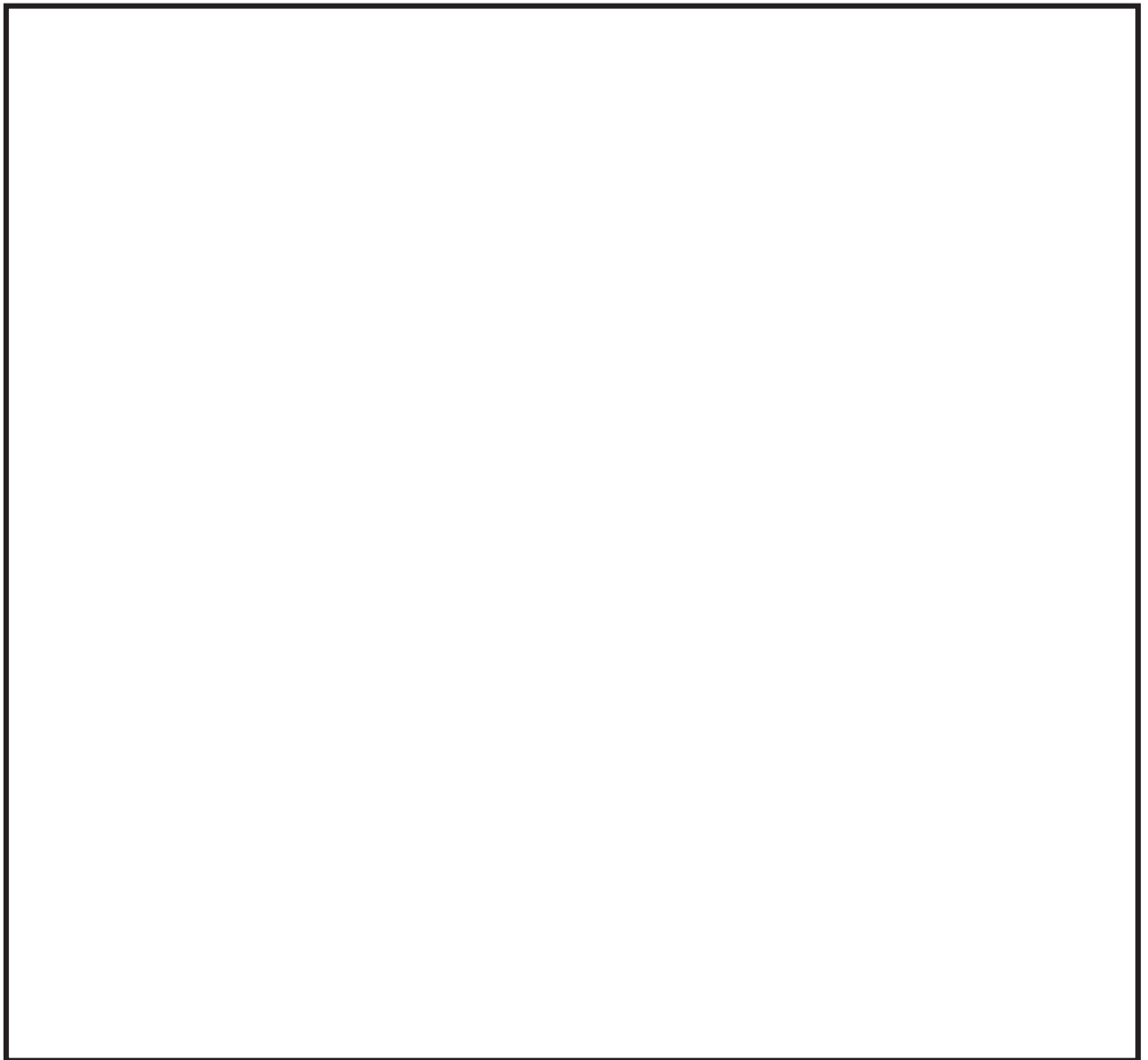


図 6-6 門ピン受計算モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により A～A 断面に作用する引張力は次式により求める。

$$N_{5ho} = F_{5ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.12)$$

ここで,

$$F_{5ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{5o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{5o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度の引張力により A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5hot} = N_{5ho} / A_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.13)$$

ここで,

A_{5A} : 門ピン受 A～A 断面の断面積

面外方向設計震度により A～A 断面に作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{5hob} = F_{5ho} \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.14)$$

面外方向設計震度の曲げモーメントにより A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5hob} = M_{5hob} / Z_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.15)$$

ここで,

Z_{5A} : 門ピン受 A～A 断面の断面係数

ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により A～A 断面に作用する引張力は次式により求める。

$$N_{5p} = F_{5p} + F_{5w} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.16)$$

ここで,

$$F_{5p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{5o}$$

(ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{5p} = 0$)

$$F_{5w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{5o}$$

(ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{5w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5pt} = N_{5p} / A_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.17)$$

面圧により A～A 断面に作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{5pb} = (F_{5p} + F_{5w}) \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.18)$$

面圧の曲げモーメントにより A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5pb} = M_{5pb} / Z_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.19)$$

ハ. 門ピン受 A～A 断面に生じる引張応力

$$\sigma_5 = \sigma_{5hot} + \sigma_{5hob} + \sigma_{5pt} + \sigma_{5pb} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.20)$$

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により B～B 断面に作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{5ho} = F_{5ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.21)$$

面外方向設計震度のせん断力により B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5hos} = Q_{5ho} / A_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.22)$$

ここで,

A_{5B} : 門ピン受 B～B 断面の断面積 (せん断)

面外方向設計震度により B～B 断面に作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{5hot} = F_{5ho} \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.23)$$

面外方向設計震度のねじりモーメントにより B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5hot} = M_{5hot} / Z_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.24)$$

ここで,

Z_{5B} : 門ピン受 B～B 断面のねじり断面係数

ロ. 面圧 (扉開状態 : 考慮なし, 扉閉状態 : 圧力荷重及び機械的荷重) によるせん断応力

面圧により B～B 断面に作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{5p} = F_{5p} + F_{5w} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.25)$$

面圧のせん断力により B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5ps} = Q_{5p} / A_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.26)$$

面圧により B～B 断面に作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{5pt} = (F_{5p} + F_{5w}) \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.27)$$

面圧のねじりモーメントによる B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5pt} = M_{5pt} / Z_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.28)$$

ハ. 門ピン受 B～B 断面に生じるせん断応力

$$\tau_5 = \tau_{5hos} + \tau_{5hot} + \tau_{5ps} + \tau_{5pt} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.29)$$

(3) 門ピン受取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ピン受取付ボルトに作用する。応力計算は、図 6-7 に示すようにボルトが引抜きを受けると考えて、生じる引張応力を計算する。



図 6-7 門ピン受取付ボルト計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{6ho} = F_{6ho} / n_{6B} \cdot (L_{6A} + L_{6B}) / L_{6B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.30)$$

ここで、

$$F_{6ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{6o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{6o} : 面外方向支持点の数

n_{6B} : 門ピン受取付ボルトの数

面外方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{6ho} = N_{6ho} / A_6 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.31)$$

ここで,

A_6 : 門ピン受取付ボルトの断面積

ロ. 面圧 (扉開状態: 考慮なし, 扉閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{6p} = (F_{6p} + F_{6w}) / n_{6B} \cdot (L_{6A} + L_{6B}) / L_{6B} \cdots \cdots (6.2.2.32)$$

ここで,

F_{6p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{6o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{6p} = 0$)

F_{6w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{6o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{6w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{6p} = N_{6p} / A_6 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.33)$$

ハ. 門ピン受取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_6 = \sigma_{6ho} + \sigma_{6p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.34)$$

(4) 門ブラケット

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ブラケットに作用する。応力計算は、図 6-8 に示す中央に集中荷重が作用する両端固定梁として、生じる応力を計算する。



図 6-8 門ブラケット計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{7h0} = F_{7h0} \cdot L_7 / 8 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.35)$$

ここで、

F_{7h0} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{70}$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{70} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7ho} = M_{7ho} / Z_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.36)$$

ここで、

Z_7 : 門ブラケットの断面係数

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{7p} = (F_{7p} + F_{7w}) \cdot L_7 / 8 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.37)$$

ここで、

F_{7p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_7$ 。

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{7p} = 0$ ）

F_{7w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_7$ 。

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{7w} = 0$ ）

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7p} = M_{7p} / Z_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.38)$$

- ハ. 門ブラケットに生じる引張応力

$$\sigma_7 = \sigma_{7ho} + \sigma_{7p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.39)$$

- (b) せん断応力

- イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{7ho} = F_{7ho} / 2 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.40)$$

面外方向設計震度により生じるせん断力は次式により求める。

$$\tau_{7ho} = Q_{7ho} / A_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.41)$$

ここで、

A_7 : 門ブラケットの断面積

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{7p} = (F_{7p} + F_{7w}) / 2 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.42)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{7p} = Q_{7p} / A_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.43)$$

ハ. 門ブラケットに生じるせん断応力

$$\tau_7 = \tau_{7ho} + \tau_{7p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.44)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{7c} = \sqrt{(\sigma_7^2 + 3 \cdot \tau_7^2)} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.45)$$

(5) 門ブラケット取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ブラケット取付ボルトに作用する。応力計算は、図 6-9 に示すように、ボルトに引張荷重が作用すると考えて、生じる引張応力を計算する。



図 6-9 門ブラケット取付ボルト計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{8ho} = F_{8ho} / n_{8B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.46)$$

ここで、

$$F_{8ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{8o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{s0} : 面外方向支持点の数

n_{sB} : 門ブラケット取付ボルトの数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{sho} = N_{sho} / A_s \cdots \cdots \cdots (6.2.2.47)$$

ここで,

A_s : 門ブラケット取付ボルトの断面積

ロ. 面圧 (扉開状態: 考慮なし, 扉閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{sp} = (F_{sp} + F_{sw}) / n_{sB} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.48)$$

ここで,

F_{sp} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{s0}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{sp} = 0$)

F_{sw} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{s0}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{sw} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{sp} = N_{sp} / A_s \cdots \cdots \cdots (6.2.2.49)$$

ハ. 門ブラケット取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_s = \sigma_{sho} + \sigma_{sp} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.50)$$

6.2.3 丁番部の応力計算

丁番部を構成する部材のうち、丁番ブラケット（本体及び取付ボルト）、丁番軸及び丁番ブロック（本体及び取付ボルト）について応力評価を実施する。

(1) 丁番ブラケット

a. 計算モデル

扉の面外方向、面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブラケットに作用する。応力計算は、図 6-10 に示す断面に荷重及びモーメントが作用すると考え、生じる応力を計算する。



図 6-10 丁番ブラケット計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{9hoZ} = F_{9ho} \cdot L_9 \cdots \cdots (6.2.3.1)$$

ここで、

$$F_{9ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{9o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{9o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{9ho} = M_{9hoZ} / Z_{9Z} \cdots \cdots (6.2.3.2)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ここで、

Z_{9z} : 丁番ブラケットの Z 軸周りの断面係数

ロ. 面内方向設計震度による引張応力

面内方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{9hi} = F_{9hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.3)$$

ここで、

F_{9hi} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{9i}$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{9i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{9hit} = N_{9hi} / A_9 \cdots \cdots \cdots (6.2.3.4)$$

ここで、

A_9 : 丁番ブラケットの断面積

ハ. 鉛直方向設計震度による引張応力

鉛直方向設計震度により作用する X 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{9vX} = F_{9v} \cdot L_9 \cdots \cdots \cdots (6.2.3.5)$$

ここで、

F_{9v} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{9v}$

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{9v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{9v} = M_{9vX} / Z_{9X} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.6)$$

ここで、

Z_{9X} : 丁番ブラケットの X 軸周りの断面係数

ニ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{9pZ} = (F_{9p} + F_{9w}) \cdot L_9 \cdots \cdots \cdots (6.2.3.7)$$

ここで、

F_{9p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{9o}$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{9p} = 0$)

F_{9w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{9o}$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{9w} = 0$)

- ΔP : 差圧
- P_w : 風圧力
- A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{gp} = M_{gpz} / Z_{gz} \dots \dots \dots (6.2.3.8)$$

ホ. 丁番ブラケットに生じる引張応力

$$\sigma_g = \sigma_{gho} + \sigma_{ghit} + \sigma_{gv} + \sigma_{gp} \dots \dots \dots (6.2.3.9)$$

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{gho} = F_{gho} \dots \dots \dots (6.2.3.10)$$

面外方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{ghos} = Q_{gho} / A_g \dots \dots \dots (6.2.3.11)$$

ロ. 鉛直方向設計震度によるせん断応力

鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{gv} = F_{gv} \dots \dots \dots (6.2.3.12)$$

鉛直方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{gv} = Q_{gv} / A_g \dots \dots \dots (6.2.3.13)$$

ハ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{gp} = F_{gp} + F_{gw} \dots \dots \dots (6.2.3.14)$$

面圧のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{gps} = Q_{gp} / A_g \dots \dots \dots (6.2.3.15)$$

ニ. 丁番ブラケットに生じるせん断応力

$$\tau_g = \sqrt{(\tau_{ghos} + \tau_{gps})^2 + \tau_{gv}^2} \dots \dots \dots (6.2.3.16)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{gc} = \sqrt{(\sigma_g^2 + 3 \cdot \tau_g^2)} \dots \dots \dots (6.2.3.17)$$

(2) 丁番ブラケット取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向，面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブラケット取付ボルトに作用する。応力計算は，図 6-11 に示すボルト列に荷重及びモーメントが作用すると考え，生じる応力を計算する。



図 6-11 丁番ブラケット取付ボルト計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{10ho} = F_{10ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.18)$$

ここで，

$$F_{10ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{10o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{10o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10hot} = N_{10ho} / A_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.19)$$

ここで，

A_{10} : 丁番ブラケット取付ボルトの断面積

面外方向設計震度により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{10hoz} = F_{10ho} \cdot L_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.20)$$

面外方向設計震度の Z 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10hob} = M_{10hoz} / Z_{10z} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.21)$$

ここで、

Z_{10z} : 丁番ブラケット取付ボルトの Z 軸周りの断面係数

ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{10p} = F_{10p} + F_{10w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.22)$$

ここで、

F_{10p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{10o}$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{10p} = 0$ ）

F_{10w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{10o}$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{10w} = 0$ ）

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10pt} = N_{10p} / A_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.23)$$

面圧により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{10pz} = (F_{10p} + F_{10w}) \cdot L_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.24)$$

面圧の Z 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10pb} = M_{10pz} / Z_{10z} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.25)$$

ハ. 丁番ブラケット取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_{10} = \sigma_{10hot} + \sigma_{10pt} + \sigma_{10hob} + \sigma_{10pb} \cdots \cdots (6.2.3.26)$$

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{10hi} = F_{10hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.27)$$

ここで、

F_{10hi} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{10i}$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{10i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{10his} = Q_{10hi} / A_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.28)$$

ロ. 鉛直方向設計震度によるせん断応力

鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{10v} = F_{10v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.29)$$

ここで,

$$F_{10v} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{10v}$$

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{10v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{10vs} = Q_{10v} / A_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.30)$$

鉛直方向設計震度により作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{10vx} = F_{10v} \cdot L_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.31)$$

鉛直方向設計震度のねじりモーメントにより生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{10vt} = M_{10vx} / Z_{10x} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.32)$$

ここで,

Z_{10x} : 丁番ブラケット取付ボルトのねじり断面係数

ハ. 丁番ブラケット取付ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_{10} = \sqrt{((\tau_{10his} + \tau_{10vt} \cdot \sin \phi_{10})^2 + (\tau_{10vs} + \tau_{10vt} \cdot \cos \phi_{10})^2) \cdots \cdots \cdots (6.2.3.33)}$$

ここで,

ϕ_{10} : 丁番ブラケット取付ボルトの角度

(3) 丁番軸

a. 計算モデル

扉の面外方向、面内方向及び鉛直方向荷重が丁番軸に作用する。応力計算は、図 6-12 に示す断面に並進荷重が作用するとして、生じる応力を計算する。



図 6-12 丁番軸計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 鉛直方向設計震度による引張応力

鉛直方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{11v} = F_{11v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.34)$$

ここで、

$$F_{11v} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{11v}$$

m_d : 扉の質量

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{11v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{11v} = N_{11v} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.35)$$

ここで、

A_{11} : 丁番軸の断面積

ロ. 丁番軸に生じる引張応力

$$\sigma_{11} = \sigma_{11v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.36)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{11ho} = F_{11ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.37)$$

ここで,

$$F_{11ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{11o}$$

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{11o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じるせん断力は次式により求める。

$$\tau_{11ho} = Q_{11ho} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.38)$$

ロ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{11hi} = F_{11hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.39)$$

ここで,

$$F_{11hi} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{11i}$$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{11i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度により生じるせん断力は次式により求める。

$$\tau_{11hi} = Q_{11hi} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.40)$$

ハ. 面圧 (扉開状態: 考慮なし, 扉閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{11p} = F_{11p} + F_{11w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.41)$$

ここで,

$$F_{11p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{11o}$$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{11p} = 0$)

$$F_{11w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{11o}$$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{11w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じるせん断力は次式により求める。

$$\tau_{11p} = Q_{11p} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.42)$$

ニ. 丁番軸に生じるせん断応力

$$\tau_{11} = \sqrt{((\tau_{11ho} + \tau_{11p})^2 + \tau_{11hi}^2)} \dots\dots\dots (6.2.3.43)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{11c} = \sqrt{(\sigma_{11}^2 + 3 \cdot \tau_{11}^2)} \dots\dots\dots (6.2.3.44)$$

(4) 丁番ブロック

a. 計算モデル

扉の面外方向，面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブロックに作用する。応力計算は，図 6-13 に示す断面に荷重が作用すると考え，生じる応力を計算する。

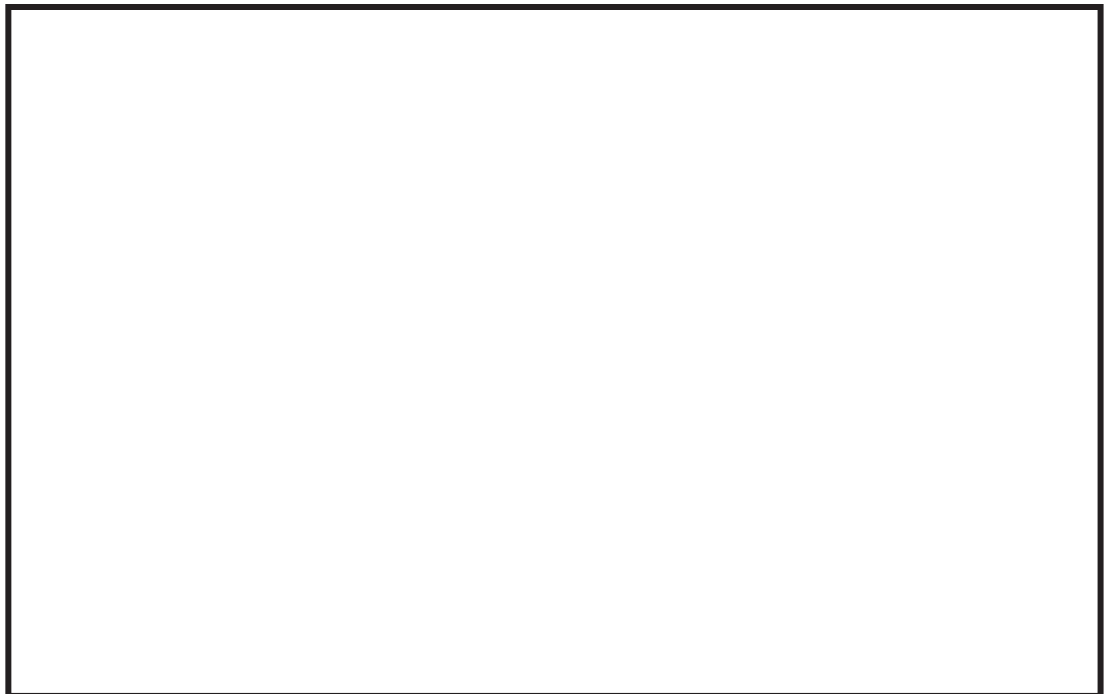


図 6-13 丁番ブロック計算モデル

b. 応力計算

丁番ブロックは，扉開状態と扉閉状態では座標系が異なるが，以下では扉閉状態の座標系を代表にして，応力計算手法を示す。

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{12ho} = F_{12ho} \dots\dots\dots (6.2.3.45)$$

ここで，

$$F_{12ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{12o}$$

m_d : 扉の質量

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{12o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{12ho} = N_{12ho} / A_{12} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.46)$$

ここで,

A_{12} : 丁番ブロックの断面積

ロ. 面圧 (扉開状態: 考慮なし, 扉閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{12p} = F_{12p} + F_{12w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.47)$$

ここで,

F_{12p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{12o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{12p} = 0$)

F_{12w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{12o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{12w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{12p} = N_{12p} / A_{12} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.48)$$

ハ. 丁番ブロックに生じる引張応力

$$\sigma_{12} = \sigma_{12ho} + \sigma_{12p} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.49)$$

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{12hi} = F_{12hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.50)$$

ここで,

F_{12hi} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{12i}$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{12i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{12hi} = Q_{12hi} / A_{12s} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.51)$$

ここで、

A_{12s} : 丁番ブロックの断面積 (せん断) 

ロ. 丁番ブロックに生じるせん断応力

$$\tau_{12} = \tau_{12hi} \dots \dots \dots (6.2.3.52)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{12c} = \sqrt{(\sigma_{12}^2 + 3 \cdot \tau_{12}^2)} \dots \dots \dots (6.2.3.53)$$

(5) 丁番ブロック取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向、面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブロック取付ボルトに作用する。応力計算は、図 6-14 に示すボルト列に荷重及びモーメントが作用すると考え、生じる応力を計算する。



図 6-14 丁番ブロック取付ボルト計算モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 応力計算

丁番ブロック取付ボルトは、扉開状態と扉閉状態では座標系が異なるが、以下では扉閉状態の座標系を代表にして、応力計算手法を示す。

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{13ho} = F_{13ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.54)$$

ここで、

$$F_{13ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{13o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{13o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13hot} = N_{13ho} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.55)$$

ここで、

A_{13} : 丁番ブロック取付ボルトの断面積

面外方向設計震度により作用する Y 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{13hoY} = F_{13ho} \cdot L_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.56)$$

面外方向設計震度の Y 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13hob} = M_{13hoY} / Z_{13Y} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.57)$$

ここで、

Z_{13Y} : 丁番ブロック取付ボルトの Y 軸周りの断面係数

ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{13p} = F_{13p} + F_{13w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.58)$$

ここで、

$$F_{13p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{13o}$$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{13p} = 0$)

$$F_{13w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{13o}$$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{13w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13pt} = N_{13p} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.59)$$

面圧により作用する Y 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{13pY} = F_{13p} \cdot L_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.60)$$

面圧の Y 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13pb} = M_{13pY} / Z_{13Y} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.61)$$

ハ. 丁番ブロック取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_{13} = \sigma_{13hot} + \sigma_{13pt} + \sigma_{13hob} + \sigma_{13pb} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.62)$$

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{13hi} = F_{13hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.63)$$

ここで,

$$F_{13hi} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{13i}$$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{13i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{13his} = Q_{13hi} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.64)$$

面内方向設計震度により作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{13hiX} = F_{13hi} \cdot L_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.65)$$

面内方向設計震度のねじりモーメントにより生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{13hit} = M_{13hiX} / Z_{13X} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.66)$$

ここで,

Z_{13X} : 丁番ブロック取付ボルトのねじり断面係数

ロ. 鉛直方向設計震度によるせん断応力

鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{13v} = F_{13v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.67)$$

ここで,

$$F_{13v} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{13v}$$

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{13v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{13v} = Q_{13v} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.68)$$

ハ. 丁番ブロック取付ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_{13} = \sqrt{((\tau_{13his} + \tau_{13hit} \cdot \sin \phi_{13})^2 + (\tau_{13v} + \tau_{13hit} \cdot \cos \phi_{13})^2) \cdots \cdots \cdots (6.2.3.69)}$$

ここで,

ϕ_{13} : 丁番ブロック取付ボルトの角度

6.3 評価結果

BOP 閉止装置の扉開状態での応力評価結果を表 6-4, 扉閉状態での応力評価結果を表 6-5 に示す。全ての評価部位の算出応力は許容応力を満足しており, 耐震性を有することを確認した。

耐震計算書においては, 扉, 閘部及び丁番部の代表部位 (評価上最も厳しい部位) についての評価結果を記載する。

表 6-4 応力評価結果（扉開状態 基準地震動 S s）

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	代表	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	12.70			—	
			せん断	0.09				
			組合せ	12.70				
		内梁	引張り	28.18				○
			せん断	0.05				
			組合せ	28.18				
		面板	引張り	15.24				—
			せん断	0.37				
			組合せ	19.19				
	支持部材	門部	門ピン	引張り			37.63	○
				せん断			1.88	
				組合せ			37.77	
			門ピン受	引張り			3.21	—
				せん断			6.12	
			門ピン受 取付ボルト	引張り			39.82	—
		門ブラケット	引張り	2.41			—	
			せん断	0.79				
			組合せ	2.77				
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	7.37			—	
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			21.22	○
				せん断			1.38	
				組合せ			21.36	
			丁番ブラケット 取付ボルト	引張り			10.66	—
				せん断			30.63	
	丁番軸		引張り	8.54			—	
			せん断	5.28				
			組合せ	12.51				
	丁番ブロック		引張り	4.02			—	
			せん断	8.04				
		組合せ	14.50					
	丁番ブロック 取付ボルト	引張り	20.49	—				
		せん断	14.95					

注記*：裕度 = (許容応力) / (算出応力)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-5 応力評価結果（扉閉状態 基準地震動 S s）

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	代表	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	12.83			—	
			せん断	0.18				
			組合せ	12.84				
		内梁	引張り	37.29			○	
			せん断	0.06				
			組合せ	37.29				
		面板	引張り	18.78			—	
			せん断	0.40				
			組合せ	23.75				
	支持部材	門部	門ピン	引張り			50.20	○
				せん断			2.51	
				組合せ			50.39	
			門ピン受	引張り			4.28	—
				せん断			8.16	
			門ピン受 取付ボルト	引張り			53.13	—
			門ブラケット	引張り			3.22	—
				せん断			1.05	
				組合せ			3.70	
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	9.84			—	
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			24.07	○
				せん断			1.42	
				組合せ			24.19	
			丁番ブラケット 取付ボルト	引張り			14.22	—
				せん断			30.63	
	丁番軸		引張り	8.54			—	
			せん断	5.67				
			組合せ	13.02				
	丁番ブロック		引張り	5.37			—	
			せん断	8.04				
			組合せ	14.93				
	丁番ブロック 取付ボルト		引張り	13.67			—	
		せん断	22.33					

注記*：裕度 = (許容応力) / (算出応力)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

加振試験により得られた荷重による応力評価結果

1. 概要

本資料は、BOP 閉止装置の加振試験の結果から得られた荷重に対する強度評価結果について纏めたものである。

加振試験による荷重の算出に関しては、BOP 閉止装置の扉に取り付けた加速度計の計測値から算出した荷重を BOP 閉止装置の慣性力として設定する方法を採用した。

2. 加速度計設置位置

扉の慣性力を算出するための加速度計は、面外、面内及び鉛直方向について扉の各部に配置した。各加速度計の設置位置について以下に示す。

(1) 面外方向

加速度計は扉の中央、上丁番部、上門部及び下丁番部 1 箇所ずつに設置した。

扉慣性力	加速度計設置位置

(2) 面内方向

加速度計は扉の中央，上丁番部及び下丁番部 1箇所ずつに設置した。

扉慣性力	加速度計設置位置

(3) 鉛直方向

加速度計は扉の中央 1箇所ずつに設置した。

扉慣性力	加速度計設置位置

3. 扉の慣性力の算出

加振試験において，扉に取付けた加速度計による計測結果（最大加速度）から，扉に作用した慣性力を算出する。

3.1 計測データによる最大加速度

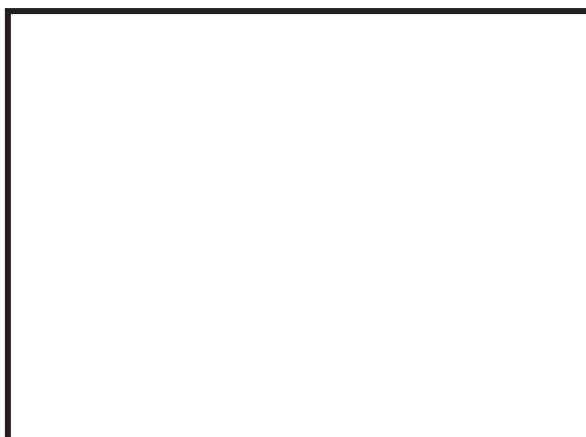
加振試験で計測された扉各部の最大加速度を表 3-1 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 扉の最大加速度一覧

(単位：m/s²)

試験体	方向	計測位置	記号	1.0×S s 加振	
				扉開	扉閉
扉 1	面外方向	扉 下丁番	A10X		
		扉 上丁番	A8X		
		扉 中央	A7X		
		扉 上門	A9X		
	面内方向	扉 下丁番	A10Y		
		扉 上丁番	A8Y		
		扉 中央	A7Y		
鉛直方向	扉 中央	A7Z			
扉 2	面外方向	扉 下丁番	A14X		
		扉 上丁番	A12X		
		扉 中央	A11X		
		扉 上門	A13X		
	面内方向	扉 下丁番	A14Y		
		扉 上丁番	A12Y		
		扉 中央	A11Y		
	鉛直方向	扉 中央	A11Z		



3.2 振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除いた補正加速度

加振試験では、振動台への入力時の加速度の増加分及び試験体を設置している支持架台での増幅の影響により、耐震条件から求まる目標 ZPA 以上に、支持架台での計測加速度が増加している。試験体には、この増加した加速度が入力されており、扉の計測加速度もそれに応じて大きくなっている。強度評価に、扉の計測加速度を直接適用

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

することは実機の想定と異なることが想定される。そのため、振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除いた補正加速度を求め、強度評価に適用する。補正加速度は以下の式に示すように、扉の最大加速度に対する補正值から算出する。別紙1にて、振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅を除くための補正值を算出する。なお、支持架台の加速度としては支持架台下部加速度と上部加速度を、扉重心位置標高（O.P. 38.25m）で線形補間した値を用いた。算出結果を表3-2に示す。

$$\alpha' = a_0 / a_2 \times \alpha$$

ここで、

α' : 補正加速度 (m/s²)

α : 扉の最大加速度 (m/s²)

a_0 : 耐震条件から求まる目標 ZPA (m/s²)

a_2 : 支持架台での計測加速度 (m/s²)

(補正值 a_0 / a_2 の比率は別紙1による)

表 3-2 補正加速度

(単位 : m/s²)

試験体	方向	計測位置	記号	1.0×S _s 加振	
				扉開	扉閉
扉 1	面外方向	扉 下丁番	A10X		
		扉 上丁番	A8X		
		扉 中央	A7X		
		扉 上門	A9X		
	面内方向	扉 下丁番	A10Y		
		扉 上丁番	A8Y		
		扉 中央	A7Y		
鉛直方向	扉 中央	A7Z			
扉 2	面外方向	扉 下丁番	A14X		
		扉 上丁番	A12X		
		扉 中央	A11X		
		扉 上門	A13X		
	面内方向	扉 下丁番	A14Y		
		扉 上丁番	A12Y		
		扉 中央	A11Y		
鉛直方向	扉 中央	A11Z			

3.3 扉の相当震度

扉の慣性力は以下のように、扉全体応答として平均的な応答加速度を求め、震度に換算する。

面外方向：以下の式により、扉 1, 2 の扉、門部及び丁番部それぞれに設置した加速度計（下補足図の X 付き箇所）の補正加速度から平均的な加速度（震度）を求め、扉 1, 2 のうち大きい方を選定する。丁番部については加速度計が 2 箇所（A8 及び A10）あるため、2 箇所の平均値を丁番部の加速度として、加速度の算出に使用している。

$$a = \text{Max}[\{A7 + A9 + (A10 + A8)/2\}/3, \{A11 + A13 + (A14 + A12)/2\}/3]/g$$

面内方向：以下の式により、扉 1, 2 の扉及び丁番部それぞれに設置した加速度計（下補足図の Y 付き箇所）の補正加速度から平均加速度（震度）を求め、扉 1, 2 のうち大きい方を選定する。

$$a = \text{Max}[(A7 + A8 + A10)/3, (A11 + A12 + A14)/3]/g$$

鉛直方向：以下の式により、扉 1, 2 の扉に設置した加速度計（下補足図の Z 付き箇所）の補正加速度（震度）を適用し、扉 1, 2 のうち大きい方を選定する。

$$a = \text{Max}[A7, A11]/g$$

ここで、

a : 扉の相当震度 (—)

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

なお、式中の記号には、表 3-2 の補正加速度を用いる。



算出結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 扉の相当震度

(単位：—)

方向	1.0×S _s 加振	
	扉開	扉閉
面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注：小数点以下第 3 位を切上げ

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 結果

3項で算出した扉の相当震度を用いて強度評価を実施した。結果は表 4-1 に示す通りで、算出応力は許容応力を満足しており、加振試験による扉の相当震度に対して構造強度を有していることを確認した。

表 4-1 (1/2) 扉及び支持部材応力評価結果 (扉開状態)

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	44.88			
			せん断	0.32			
			組合せ	44.88			
		内梁	引張り	102.58			
			せん断	0.18			
			組合せ	102.58			
		面板	引張り	55.73			
			せん断	0.62			
			組合せ	70.12			
	支持部材	門部	門ピン	引張り			137.60
				せん断			6.88
				組合せ			138.12
			門ピン受	引張り			11.73
				せん断			22.37
			門ピン受 取付ボルト	引張り			145.64
		門ブラケット	引張り	8.82			
			せん断	2.88			
			組合せ	10.14			
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	26.97			
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			51.86
				せん断			2.58
	組合せ			52.05			
	丁番ブラケット 取付ボルト		引張り	38.98			
			せん断	49.94			
	丁番軸		引張り	14.11			
			せん断	10.53			
			組合せ	23.07			
	丁番ブロック		引張り	10.29			
			せん断	14.71			
		組合せ	27.48				
丁番ブロック 取付ボルト	引張り	26.21					
	せん断	39.63					

注記* : 裕度 = (許容応力) / (算出応力)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-1 (2/2) 扉及び支持部材応力評価結果 (扉閉状態)

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	42.20			
			せん断	0.39			
			組合せ	42.21			
		内梁	引張り	105.13			
			せん断	0.18			
			組合せ	105.13			
		面板	引張り	55.57			
			せん断	0.66			
			組合せ	70.12			
	支持部材	門部	門ピン	引張り			141.34
				せん断			7.07
				組合せ			141.87
			門ピン受	引張り			12.04
				せん断			22.98
			門ピン受 取付ボルト	引張り			149.59
		門ブラケット	引張り	9.06			
			せん断	2.96			
			組合せ	10.41			
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	27.70			
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			53.02
				せん断			2.63
				組合せ			53.22
			丁番ブラケット 取付ボルト	引張り			40.04
				せん断			50.71
	丁番軸		引張り	14.32			
			せん断	10.81			
			組合せ	23.58			
	丁番ブロック		引張り	10.55			
		せん断	15.11				
		組合せ	28.22				
丁番ブロック 取付ボルト	引張り	38.48					
	せん断	31.89					

注記* : 裕度 = (許容応力) / (算出応力)

5. 別紙

別紙 1 振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除くための補正值の算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を
除くための補正値の算出

本資料は、加振試験より得られた扉の加速度から、振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除くために、地震応答解析結果（）と加振試験結果の最大加速度の比率（最終補正値）を算定したものである。

1. 比率算定の考え方

今回得られた BOP 閉止装置の加振試験結果では、以下の 2 点で実機条件と乖離している。そのため、これらの乖離を補正するための比率を算出し、得られた試験結果を補正する。ここでは、試験結果のうち扉の応答加速度を補正する比率を算出する。

1.1 振動台への入力時の加速度の増加

加振試験は、目標 ZPA を満足するように模擬地震波（ $1.0 \times S$ s）を作成し、実施した。模擬地震波は確実に目標 ZPA を上回る様に作成していることから、結果として目標 ZPA を超過した加速度が振動台へ入力される事となる。よって、以下の通り補正を行う。

$$\text{補正値 (A) (振動台への入力時の加速度の増加)} = a_0 / a_1$$

ここで、

a_0 : 目標 ZPA

a_1 : 振動台上の加速度計（計測点 A1-1 又は A2-1）の計測結果

1.2 支持架台での増幅

試験体は、支持架台での増幅があるため、扉の上部（計測点 A3 又は A4）、下部（計測点 A1-1 又は A2-1）の計測結果に差異が生じている。これは実機条件と試験条件に差異がある事を示している。よって、以下の通り補正を行う。

$$\text{補正値 (B) (支持架台での増幅)} = a_1 / a_2$$

ここで、

a_1 : 振動台上の加速度計（計測点 A1-1 又は A2-1）の計測結果

a_2 : 扉上下端位置の加速度計（計測点 A1-1 と A3、または A2-1 と A4）の計測結果を扉重心位置標高（O.P. 38.25m）で線形補間した値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a₂設定の考え方（イメージを図 1-1 に示す）

扉は、丁番軸及び丁番ブロックによって、上下 2 点支持されている。よって、上部、下部からの加速度入力の影響が同じと考え、上部と下部（計測点 A1-1 と A3 又は、A2-1 と A4）の計測結果を扉重心位置標高（O.P. 38.25m）で線形補間した値を比率算定に使用する。



図 1-1 比率算定に用いる加速度計測結果のイメージ

1.3 振動台への入力時の加速度の増加及び支持架台での増幅の補正值

以上を踏まえ、下式の通り最終補正值を定める。

$$\begin{aligned} \text{最終補正值} &= \text{補正值(A)} \text{ (振動台への入力時の加速度の増加)} \\ &\quad \times \text{補正值(B)} \text{ (支持架台での増幅)} \\ &= a_0 / a_1 \times a_1 / a_2 \end{aligned}$$

2. 比率算定結果

最終補正值としての比率算定結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 比率算定結果

試験体*1	方向	① a ₀ (目標 ZPA)*2 [×9.8m/s ²]	記号	計器 番号	a ₁ 及び a ₂ (加振試験結果) [×9.8m/s ²]				a ₀ /a ₂ (最終補正值)*4	
					②扉開		③扉閉		扉開 ①/②	扉閉 ①/③
					方向	加振試験結果	方向	加振試験結果		
扉 1	面外方向	□	a ₁	A1-1	Y	□	X	□	□	□
			-	A3	Y	□	X	□		
			a ₂	線形補間*3	Y	□	X	□		
	面内方向	□	a ₁	A1-1	X	□	Y	□	□	□
			-	A3	X	□	Y	□		
			a ₂	線形補間*3	X	□	Y	□		
	鉛直方向	□	a ₁	A1-1	Z	□	Z	□	□	□
			-	A3	Z	□	Z	□		
			a ₂	線形補間*3	Z	□	Z	□		
扉 2	面外方向	□	a ₁	A2-1	Y	□	X	□	□	□
			-	A4	Y	□	X	□		
			a ₂	線形補間*3	Y	□	X	□		
	面内方向	□	a ₁	A2-1	X	□	Y	□	□	□
			-	A4	X	□	Y	□		
			a ₂	線形補間*3	X	□	Y	□		
	鉛直方向	□	a ₁	A2-1	Z	□	Z	□	□	□
			-	A4	Z	□	Z	□		
			a ₂	線形補間*3	Z	□	Z	□		

注記*1: 試験体を正面として見た時に左側のユニットを扉1, 右側のユニットを扉2とする。

*2: 0-2 1.0×S s 相当の模擬地震波の目標 □ を用いる。

*3: 扉1は計測結果 (A1-1 及び A3), 扉2は計測結果 (A2-1 及び A4) をそれぞれ扉重心位置標高 (0. P. 38. 25m) で線形補間した値を用いる。

*4: 小数点4桁目を切上げ。

装置取付架台を剛構造として扱うことの根拠について

1. はじめに

BOP 閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟に固定された装置取付架台に据付ボルトで固定されている。本資料は、BOP 閉止装置を支持する装置取付架台が剛構造であることを説明するものである。

2. 構造図

装置取付架台の構造図を図 2-1 に示す。

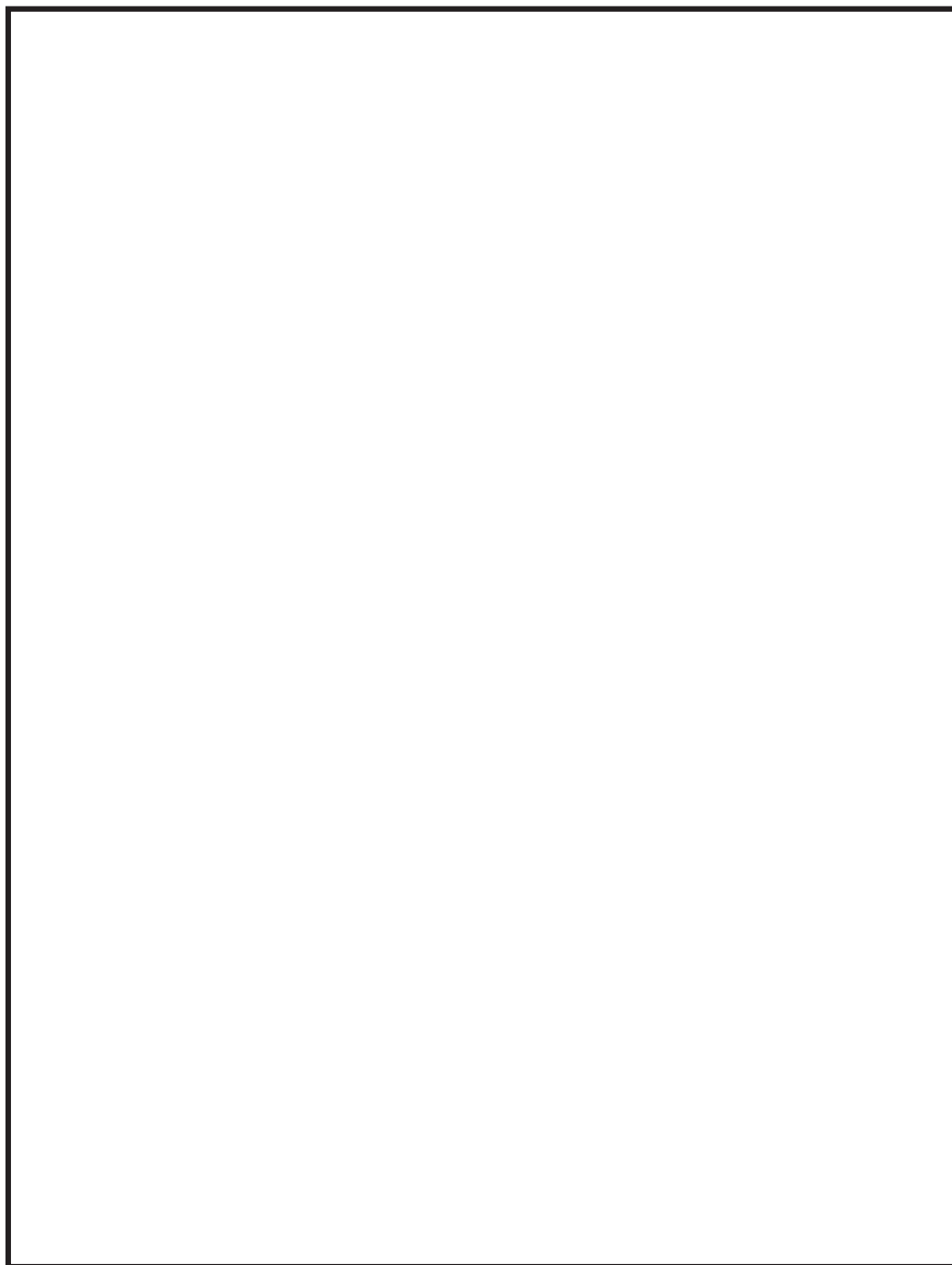


図 2-1 装置取付架台 構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 解析条件

装置取付架台の解析条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 装置取付架台 解析条件

項目		記号	単位	値	
設計条件	BOP 閉止装置	m	kg	[]	
	扉の質量 (1 台)				
物性値	鋼材 縦弾性係数	E	MPa	扉開	[]
				扉閉	[]
	鋼材 ポアソン比	ν	-	[]	
	鋼材 密度	ρ	kg/mm ³	[]	

4. 解析モデル

装置取付架台の解析モデル図を図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。装置取付架台は図 4-1 に示すように、断面が異なる複数の鋼材から構成されている。

- (1) 装置取付架台を三次元のはり要素でモデル化した FEM モデルを用いる。
- (2) 解析モデルの質量は、装置取付架台の鋼材質量及び BOP 閉止装置 1 式 (24 台) の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件として、装置取付架台の原子炉建屋原子炉棟の壁及び床への取付部を固定とする。なお、装置取付架台は、原子炉建屋原子炉棟の壁及び床に後付けアンカーで固定する。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。
- (5) 固有値解析は、BOP 閉止装置が扉開及び扉閉状態に対して実施する。



図 4-1 装置取付架台 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有値解析結果

固有値解析結果を図 5-1 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

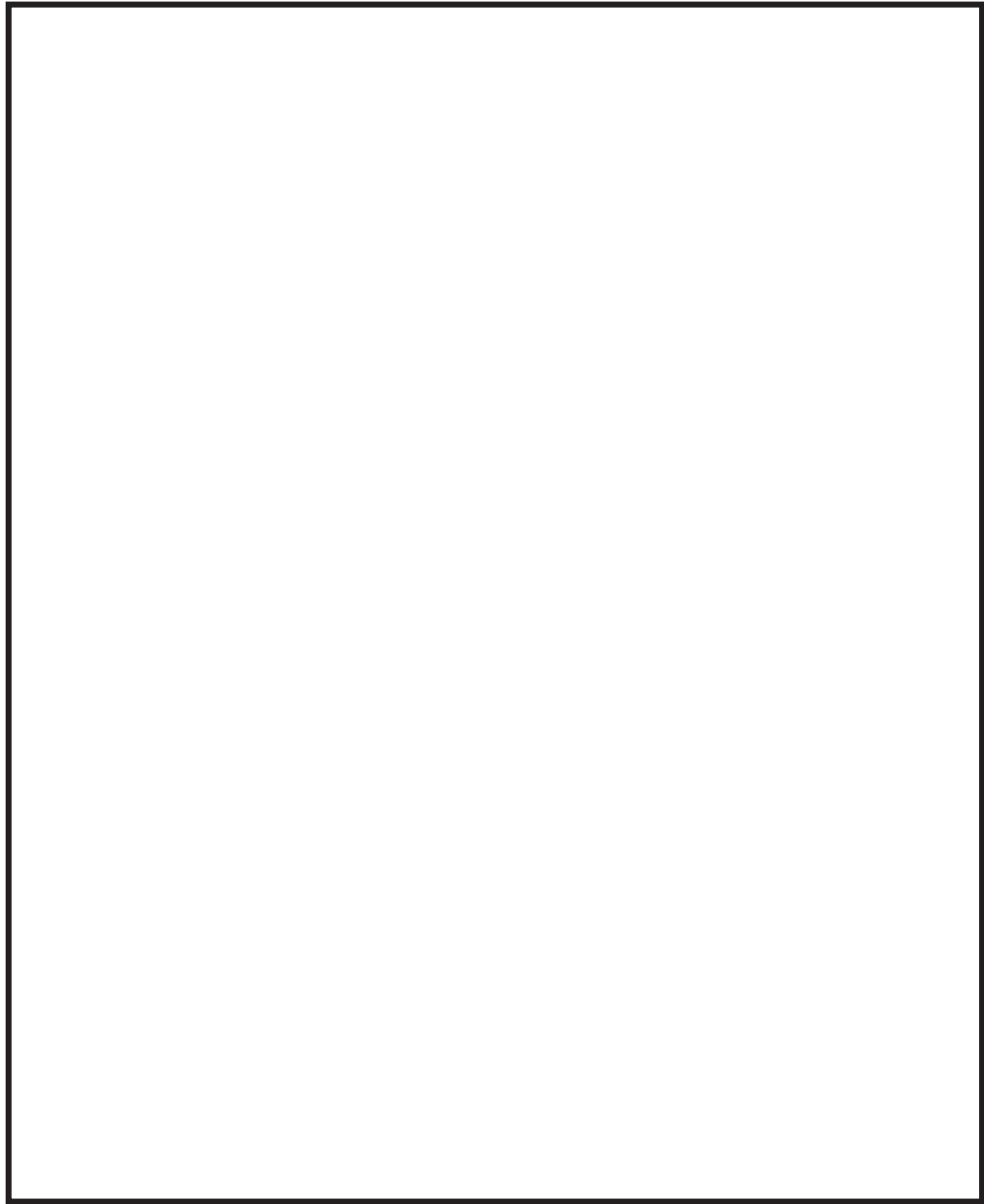


図 5-1 固有値解析結果