

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-2-040-46 改2
提出年月日	2020年7月1日

V-2-9-5-5 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-9-5-5 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の
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 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.1.1 扉の構造強度評価方法	8
4.1.2 支持部材の構造強度評価方法	8
4.1.3 駆動部の構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	17
4.6.1 応力の計算方法	17
4.6.2 荷重の計算方法	23
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
4.8.1 扉及び支持部材の応力評価	24
4.8.2 取付ボルトの応力評価	24
4.9 荷重の評価	24
4.9.1 チェーンの荷重評価	24
5. 機能維持評価	25
5.1 機能維持評価用加速度	25
5.2 機能確認済加速度	25
6. 評価結果	26
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	26
7. 引用文献	27

1. 概要

本計算書は、V-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」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、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「オペフロBOP閉止装置」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

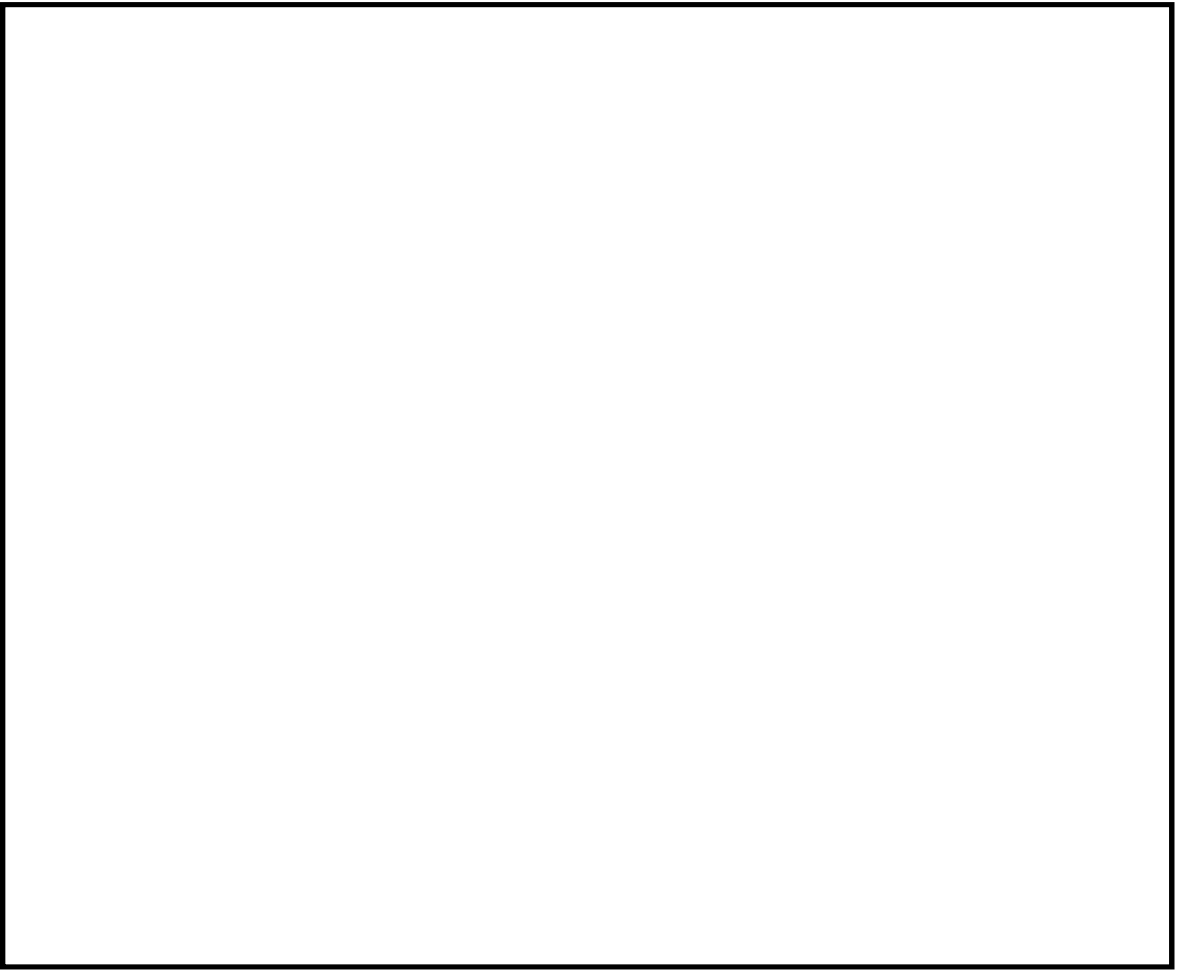
オペフロBOP閉止装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

オペフロBOP閉止装置の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>オペフロ BOP 閉止装置は、原子炉建屋外壁面に設置しており、扉枠は、据付ボルトにより原子炉建屋の壁に固定される。扉は吊具を介して扉枠に支持される。</p>	<p>オペフロ BOP 閉止装置は、扉、扉枠（扉を移動させるためのレールを含む）、ローラ、扉を駆動する電動機（チェーンを含む）及び門から構成される。</p>	

2.2 評価方針

オペフロBOP閉止装置の応力評価は、V-1-1-7-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、「2.1 構造計画」にて示すオペフロBOP閉止装置の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく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. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、オペフロBOP閉止装置の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。オペフロBOP閉止装置の構造強度評価フローを図2-1に、機能維持評価フローを図2-2に示す。

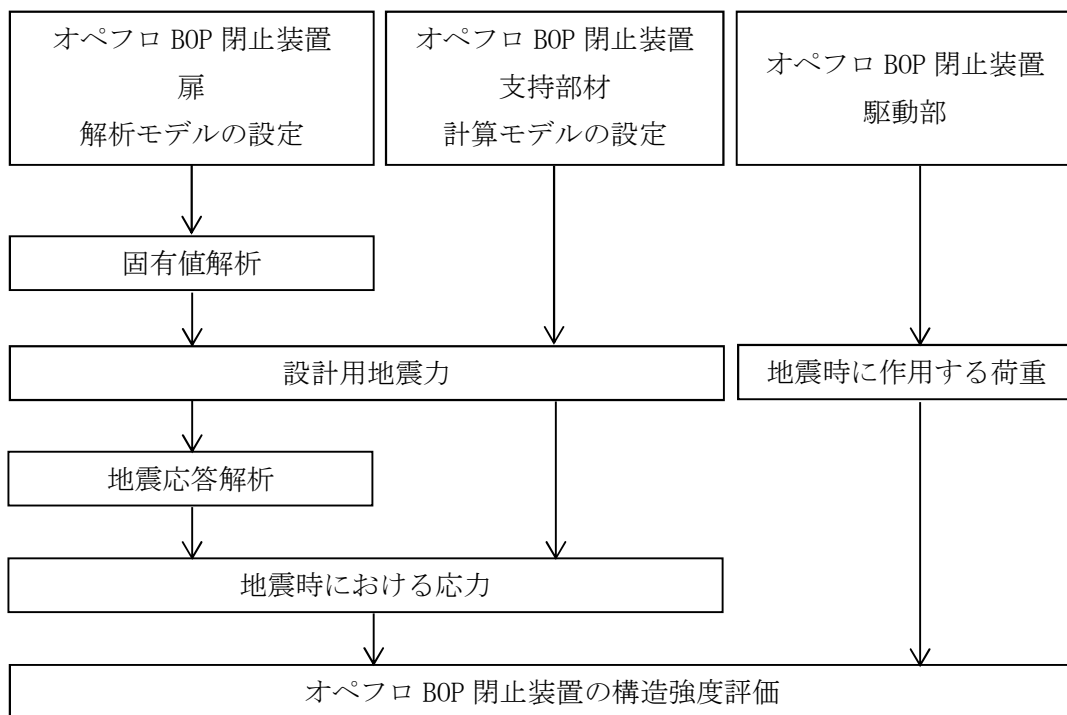


図2-1 オペフロBOP閉止装置の構造強度評価フロー

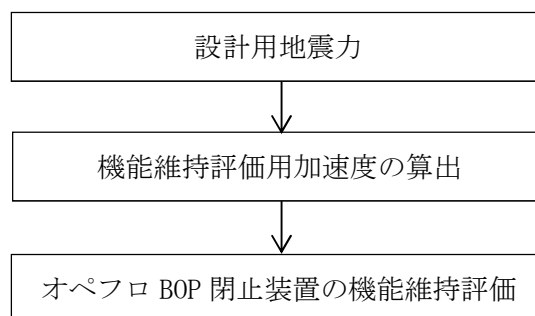


図2-2 オペフロBOP閉止装置の機能維持評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社)日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_G	ガイドレールの断面積	mm^2
A_L	チェーンの許容荷重	N
A	外梁の断面積	mm^2
E	扉の縦弾性係数	MPa
C_{H1}	オペフロBOP閉止装置の面外方向設計震度	—
C_{H2}	オペフロBOP閉止装置の面内方向設計震度	—
C_V	オペフロBOP閉止装置の鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_G	ガイドレールに作用する引張力	N
F_C	チェーンに作用する力	N
F_x	外梁に作用する力 (x 方向)	N
F_y	外梁に作用する力 (y 方向)	N
F_z	外梁に作用する力 (z 方向)	N
f_s	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
L_G	ガイドレールの長さ	mm
m	扉の質量	kg
M_G	ガイドレールに作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_x	外梁に作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y	外梁に作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_z	外梁に作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
P	圧力条件	Pa
Q_G	ガイドレールに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	温度条件	°C
Z_G	ガイドレールの断面係数	mm^3
Z_x	外梁のねじり断面係数	mm^3
Z_y	外梁の y 軸周り断面係数	mm^3
Z_z	外梁の z 軸周り断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
σ_{cG}	ガイドレールに生じる組合せ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tG}	ガイドレールに生じる引張応力	MPa
σ_c	外梁に生じる組合せ応力	MPa
σ_t	外梁に生じる引張応力	MPa
σ_x	外梁に生じる引張応力 (x 方向)	MPa
σ_y	外梁に生じる引張応力 (y 方向)	MPa
σ_z	外梁に生じる引張応力 (z 方向)	MPa
τ_G	ガイドレールに生じるせん断応力	MPa
τ	外梁に生じるせん断応力	MPa
τ_x	外梁に生じるせん断応力 (x 方向)	MPa
τ_y	外梁に生じるせん断応力 (y 方向)	MPa
τ_z	外梁に生じるせん断応力 (z 方向)	MPa

注：記号右端添字に G が付くものは、ガイドレール評価用を代表で示したものであり、テーパブロッック評価用については $G \rightarrow U_T$ 、門ピン評価用については $G \rightarrow P$ 、ハンガーレール評価用については $G \rightarrow H$ に置き換えるものとする。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
断面係数	mm ³	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1 : 設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2 : 絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

オペフロBOP閉止装置の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、扉開状態及び扉閉状態それぞれの場合において、扉のうち耐震評価上厳しくなる外梁、面外方向支持部材のうちガイドレール及びテーパブロック、面内方向支持部材のうち門ピン、鉛直方向支持部材のうちハンガーレール、及び駆動部のうちチェーンについて実施する。

評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

「3. 評価部位」にて設定した各評価部材の構造強度評価方法を以下に示す。なお、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.1 扉の構造強度評価方法

- (1) 扉は吊具、門及びローラ等により支持される構造であるため、その構造に応じた方向の変位を拘束するものとする。
- (2) 地震力は扉に対して面外方向、面内方向及び鉛直方向の3方向から作用するものとし、強度評価において組み合わせるものとする。
- (3) 扉閉状態において圧力は、扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし、評価において4辺を面外方向に拘束するものとする。また、強度評価において地震力と組み合わせるものとする。

4.1.2 支持部材の構造強度評価方法

(1) ガイドレール

- a. 扉からの地震荷重は、面外方向に作用するものとする。
- b. ガイドレールの構造強度評価は、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルを適用する。

(2) テーパブロック

- a. 扉からの地震荷重及び圧力は、面外方向に作用するものとする。
- b. テーパブロックの構造強度評価は、取付ボルトのせん断応力を評価する。

(3) 門ピン

- a. 扉からの地震荷重は、面内方向に作用するものとする。
- b. 門ピンの構造強度評価は、集中荷重が中央に作用する両端支持梁モデルを適用する。

(4) ハンガーレール

- a. 扉からの地震荷重は、鉛直方向に作用するものとする。
- b. ハンガーレールの構造強度評価は、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルを適用する。

4.1.3 駆動部の構造強度評価方法

チェーンに作用する荷重は、門により制限される変位の最大値である□の変位（チェーンの伸び□）を想定して設定した値とする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

オペフロ BOP 閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

オペフロ BOP 閉止装置の許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3（扉開状態）及び表 4-4（扉閉状態）に示す。また、許容荷重評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	放射性物質濃度 制御設備	オペフロ BOP 閉止装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S*3
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして、 Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：閃ピンについては、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。

表4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)			許容限界*1, *2 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	引張り	せん断	組合せ	せん断
Ⅲ _A S*3	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	—
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	—
V _A S (V _A Sとして, Ⅳ _A Sの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3 : 門ピンについては, 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。

表4-3 扉開状態における使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
外梁	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ガイドレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ハンガーレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表 4-4 扉閉状態における使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
外梁	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
テーパブロック 取付ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ハンガーレール	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表4-5 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		許容荷重 (N)
		周囲環境温度	50	
チェーン		周囲環境温度	50	

注記*：設計・建設規格 SSB-3200 に基づき、荷重試験により求めた支持構造物の許容荷重

4.3 解析モデル及び諸元

オペフロ BOP 閉止装置の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【オペフロ BOP 閉止装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) オペフロ BOP 閉止装置の耐震計算に用いる解析モデルは、はり要素及びシェル要素を用いた有限要素モデルとする。はり要素及びシェル要素は板厚中心位置でモデル化する。
- (2) 質量は、扉を構成する部材の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件は、吊具、門及びローラ部の並進方向拘束とする。
- (4) 計算機コードは、「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、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

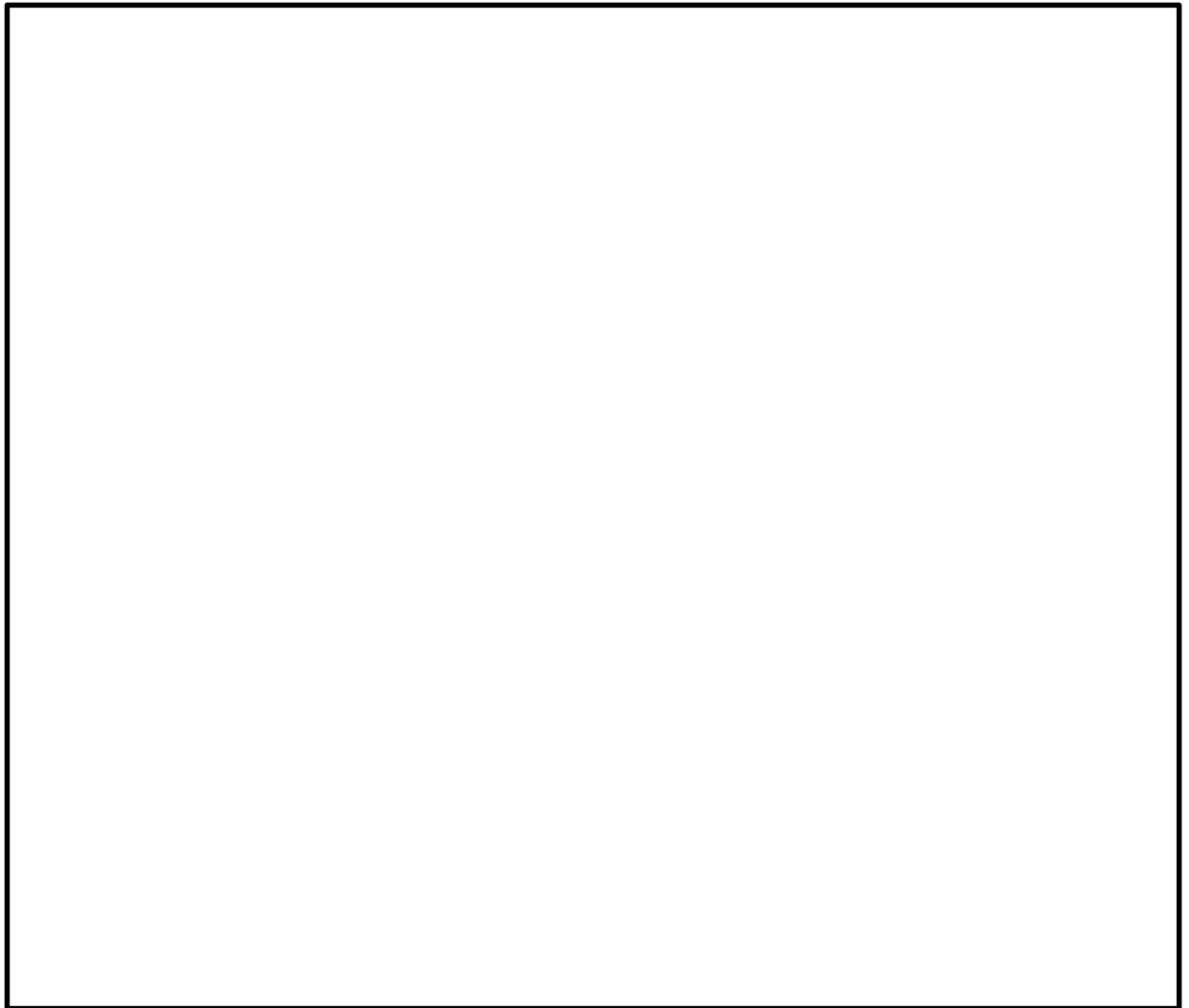


図 4-1 解析モデル

4.4 固有周期

扉開状態における固有値解析結果を表 4-6 に、扉閉状態における固有値解析結果を表 4-7 に、振動モード図を図 4-2 に示す。扉開状態及び扉閉状態において、面内方向及び鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-6 扉開状態の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			面外方向	面内方向	
1次	面外	0.072	-1.144	0.000	0.000
2次	面外	0.047	—	—	—

表4-7 扉閉状態の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			面外方向	面内方向	
1次	面外	0.072	1.161	0.000	0.000
2次	面外	0.046	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリクス積から算出した値を示す。

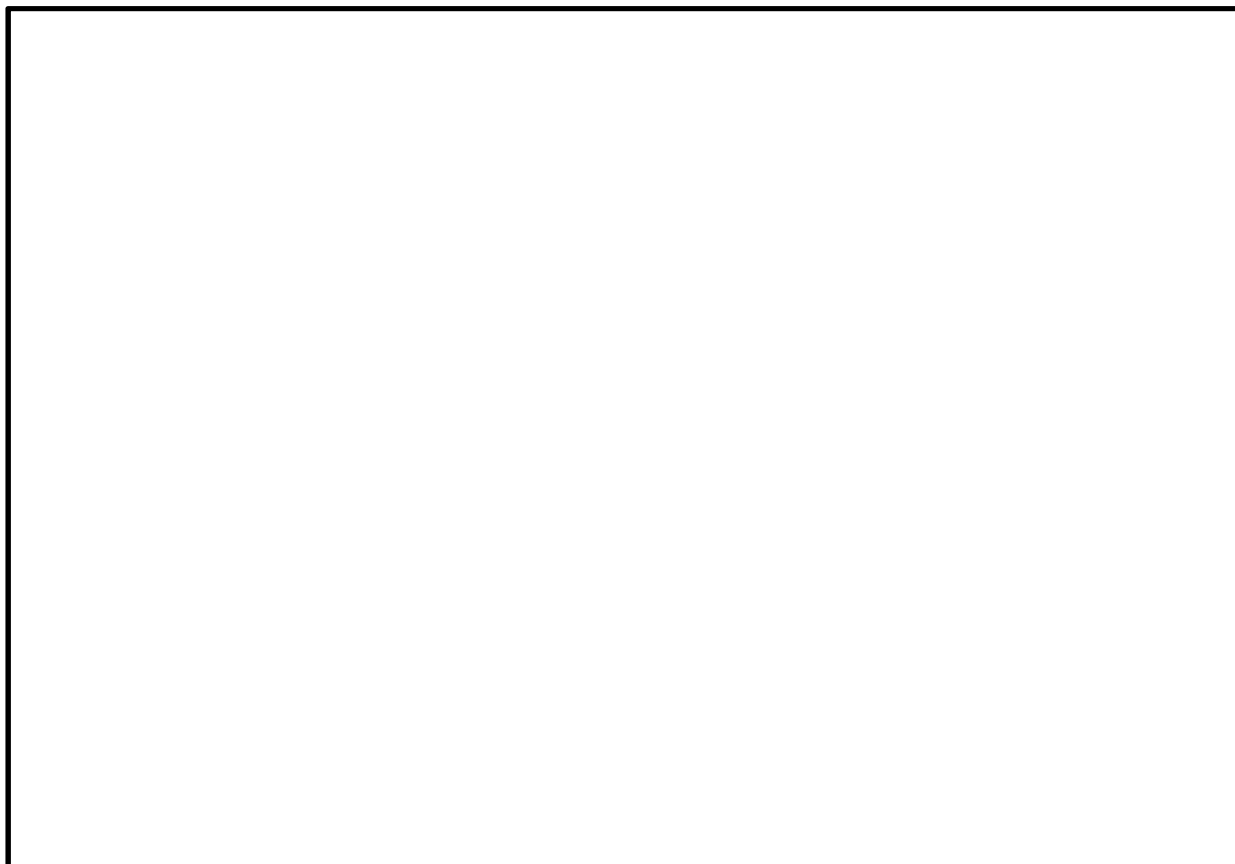


図 4-2 振動モード図

4.5 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 4-8 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 4-9 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、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-8 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)		原子炉建屋 T.M.S.L. <input type="text"/>					
固有周期(s)		面外：0.072* ¹ 面内：0.05 以下 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		<input type="text"/>					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ²		応答鉛直震度* ²
		面外方向	面内方向		面外方向	面内方向	
1次	0.072	—	—	—	<input type="text"/>	—	—
2次	0.047	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ³		—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：1次固有周期について記載

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

*3：S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-9 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)		原子炉建屋 T.M.S.L. <input type="text"/>					
固有周期(s)		面外：0.072* ¹ 面内：0.05 以下 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		<input type="text"/>					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ²		応答鉛直震度* ²
		面外方向	面内方向		面外方向	面内方向	
1次	0.072	—	—	—	<input type="text"/>	—	—
2次	0.046	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ³		—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：1次固有周期について記載

*2：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

*3：S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) 扉の計算方法

a. 外梁

外梁に加わる荷重は、解析による計算で得られる値を使用し、応力を図 4-3 を用いて計算する。負担力は、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。応力は、「7. 引用文献」より、下記の計算式にて求める。

(a) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

(b) 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(c) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

外梁の最大応力発生部位を図4-1の (a) 及び (b) 示す。

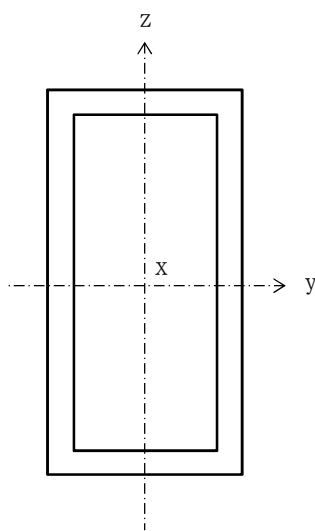


図4-3 扉外梁の部材断面

(2) 支持部材の計算方法

a. ガイドレール

ガイドレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ガイドレールに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-4に示すとおり、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルとする。



図4-4 ガイドレール計算モデル

(a) 引張応力

ガイドレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_G = F_G \cdot L_G \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 6)$$

ガイドレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tG} = \frac{M_G}{Z_G} \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 7)$$

(b) せん断応力

ガイドレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_G = F_G \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 8)$$

ガイドレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_G = \frac{Q_G}{A_G} \quad \dots\dots\dots (4. 6. 1. 9)$$

(c) 組合せ応力

ガイドレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cG} = \sqrt{\sigma_{tG}^2 + 3 \cdot \tau_{G}^2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 10)$$

b. テーパブロック取付ボルト

テーパブロック取付ボルトに作用する荷重によるせん断力を算出し、ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-5に示すとおりとする。

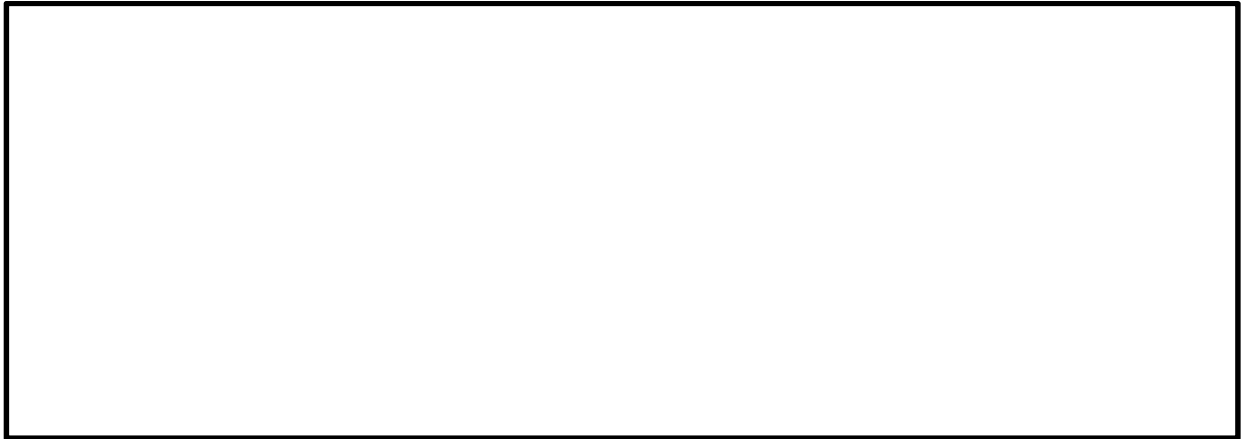


図4-5 テーパブロック取付ボルト計算モデル

(a) せん断応力

テーパブロック取付ボルトに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{UT} = F_{UT} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 11)$$

テーパブロック取付ボルトに生じるせん断応力は次式により求める

$$\tau_{UT} = \frac{Q_{UT}}{A_{UT}} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 12)$$

c. 門ピン

門ピンに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、門ピンに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-6に示すとおり、集中荷重が中央に作用する両端支持梁モデルとする。

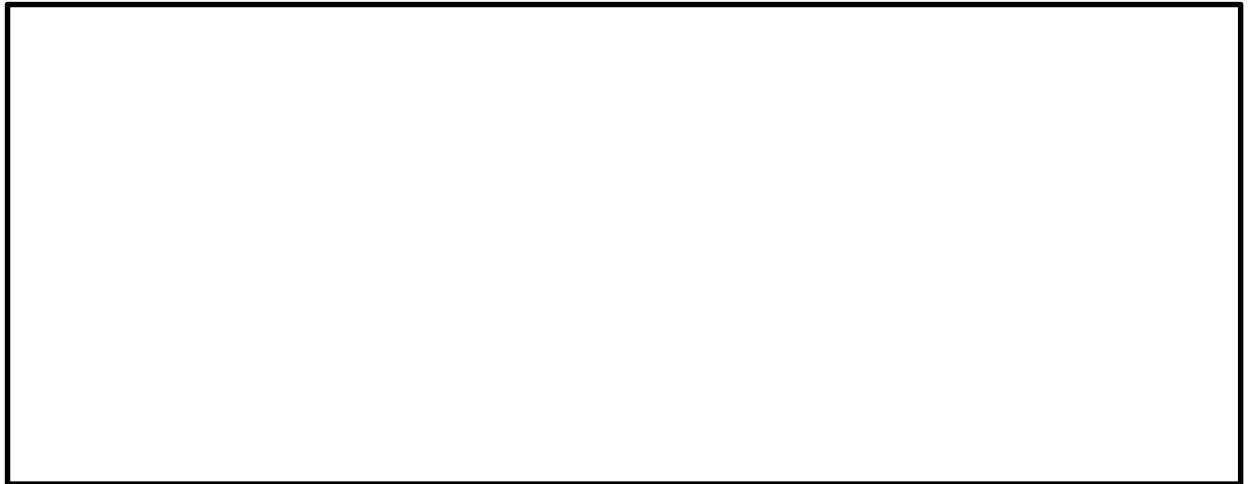


図4-6 門ピン計算モデル

(a) 引張応力

門ピンに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_P = \frac{F_P \cdot L_P}{4} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 13)$$

門ピンに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tP} = \frac{M_P}{Z_P} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 14)$$

(b) せん断応力

門ピンに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_P = \frac{F_P}{2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 15)$$

門ピンに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_P = \frac{Q_P}{A_P} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 16)$$

(c) 組合せ応力

門ピンに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cP} = \sqrt{\sigma_{tP}^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \dots\dots\dots (4. 6. 1. 17)$$

d. ハンガーレール

ハンガーレールに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、ハンガーレールに生じる応力を計算する。計算モデルは図4-7に示すとおり、集中荷重が先端に作用する片持ち梁モデルとする。

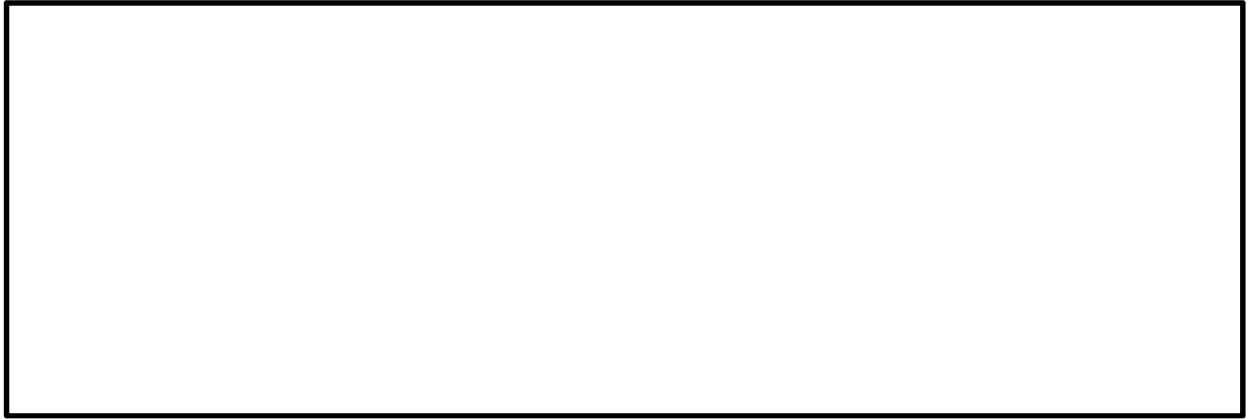


図4-7 ハンガーレール計算モデル

(a) 引張応力

ハンガーレールに作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_H = F_H \cdot L_H \quad \dots \quad (4. 6. 1. 18)$$

ハンガーレールに生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{tH} = \frac{M_H}{Z_H} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 19)$$

(b) せん断応力

ハンガーレールに作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_H = F_H \quad \dots \quad (4. 6. 1. 20)$$

ハンガーレールに生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_H = \frac{Q_H}{A_H} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 21)$$

(c) 組合せ応力

ハンガーレールに生じる組合せ応力は次式により求める。

$$\sigma_{cH} = \sqrt{\sigma_{tH}^2 + 3 \cdot \tau_H^2} \quad \dots \quad (4. 6. 1. 22)$$

4.6.2 荷重の計算方法

(1) 駆動部の計算方法

a. チェーン

駆動部はチェーン張力を用いて荷重を計算する。図4-8に示すとおり，チェーンの引張り試験により得られた荷重－変位曲線に基づき，設計・建設規格 SSB-3200の規定に従って許容荷重を算定するとともに，チェーンの変位 に相当する荷重を強度評価用の荷重に設定する。

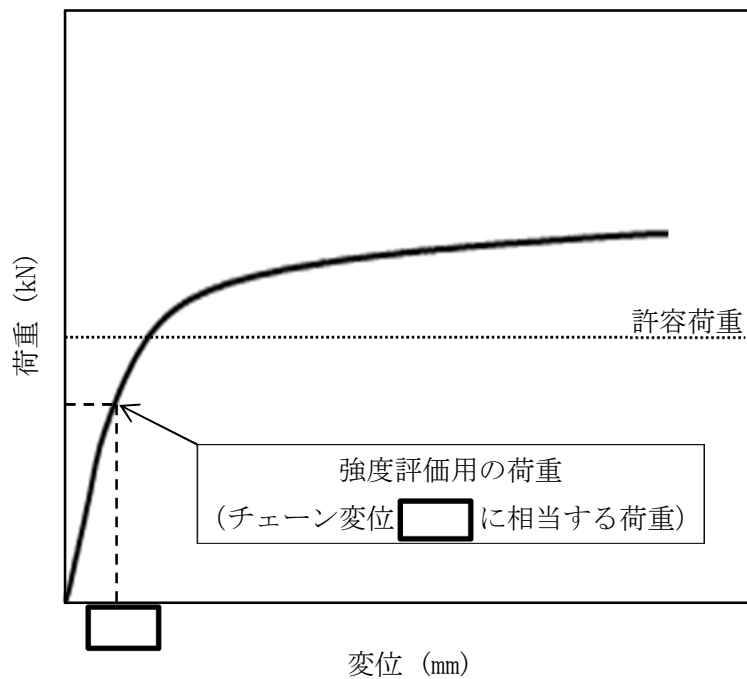


図 4-8 チェーンの引張り試験により得られた荷重－変位曲線

4.7 計算条件

応力計算に用いる自重（扉）及び荷重（地震荷重及び圧力）は、本計算書の【オペフロ BOP 閉止装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 扉及び支持部材の応力評価

4.6.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S _s による 荷重との組合せの場合*1
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

注記*1：門ピンについては、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。

4.8.2 取付ボルトの応力評価

4.6.1 項で求めた取付ボルトのせん断応力が、せん断力のみを受ける許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S _s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.9 荷重の評価

4.9.1 チェーンの荷重評価

4.6.2 項にて設定したチェーンに作用する荷重が許容荷重以下であること。

ただし、許容荷重は設計・建設規格 SSB-3200 の規定による。

5. 機能維持評価

オペフロ BOP 閉止装置の動的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価用加速度

オペフロBOP閉止装置は原子炉建屋に直接取り付けられることから、機能維持評価用加速度は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の地震応答解析で評価した、オペフロBOP閉止装置取付部の頂部位置に生じる加速度とする。機能維持評価用加速度を表5-1に示す。

表5-1 機能維持評価用加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持 評価用加速度
オペフロ BOP 閉止装置	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="checkbox"/>	面外	<input type="checkbox"/>
		面内	<input type="checkbox"/>
		鉛直	<input type="checkbox"/>

注記*：基準床レベルを示す。

5.2 機能確認済加速度

オペフロBOP閉止装置について、実機の据付状態を模擬し、加振台上に架台を設置し、架台にオペフロBOP閉止装置を取り付けた上で、設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行う。オペフロBOP閉止装置の機能確認済加速度には、水平2方向と鉛直方向の3方向同時加振試験において、オペフロBOP閉止装置の作動性及び気密性を保持できることを確認した最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表5-2に示す。

表5-2 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
オペフロ BOP 閉止装置	面外	<input type="checkbox"/>
	面内	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

オペフロBOP閉止装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

引用文献を以下に示す。

- ・ 機械工学便覧（改訂第6版）（日本機械学会編 1987年4月）（(社)日本機械学会）

【オペフロ BOP 閉止装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

1.1.1 扉開状態の設計条件

機器名称	設備分類	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			周囲環境温度 (°C)
			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	
オペフロ BOP 閉止装置	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/>	0.072	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	50

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 基準地震動 S s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.1.2 扉閉状態の設計条件

機器名称	設備分類	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			周囲環境温度 (°C)
			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	
オペフロ BOP 閉止装置	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/>	0.072	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	100

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 基準地震動 S s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.2 機器要目

1.2.1 外梁

(1) 扉閉状態

m (kg)	A (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

m (kg)	A (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)	P (Pa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.2.2 ガイドレール（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

L_G (mm)	A_G (mm ²)	Z_G (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□

1.2.3 テーパーブロック取付ボルト（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

A_{UT} (mm ²)
□

P (Pa)
□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□

1.2.4 門ピン

(1) 扉開状態

L_P (mm)	A_P (mm ²)	Z_P (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	□	—

(2) 扉閉状態

L_P (mm)	A_P (mm ²)	Z_P (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	□	—

1.2.5 ハンガーレール

(1) 扉開状態

L_H (mm)	A_H (mm ²)	Z_H (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□

(2) 扉閉状態

L_H (mm)	A_H (mm ²)	Z_H (mm ³)
□	□	□

材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□	□	—	□

1.2.6 チェーン

A_L (N)
□

1.3 計算数値

1.3.1 外梁の荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

F_x		F_y		F_z	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注：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。

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F_x		F_y		F_z	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注：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。

1.3.2 外梁のモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_x		M_y		M_z	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注：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。

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M_x		M_y		M_z	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注：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。

1.3.3 ガイドレールの荷重（扉開状態のみ）

(1) 扉開状態

(単位：N)

F_G		Q_G	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.4 ガイドレールのモーメント（扉開状態のみ）

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_G	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>

1.3.5 テーパブロック取付ボルトの荷重（扉閉状態のみ）

(1) 扉閉状態

(単位：N)

F _{UT}		Q _{UT}	
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.6 門ピンの荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

F _P		Q _P	
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F _P		Q _P	
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.7 門ピンのモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_p	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M_p	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

1.3.8 ハンガーレールの荷重

(1) 扉開状態

(単位：N)

F_H		Q_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N)

F_H		Q_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.9 ハンガーレールのモーメント

(1) 扉開状態

(単位：N・mm)

M_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

(2) 扉閉状態

(単位：N・mm)

M_H	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
—	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

1.3.10 チェーンの荷重

(単位：N)

F_c
<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(1) 扉開状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.072
2次	面外	0.047

(2) 扉閉状態

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	面外	0.072
2次	面外	0.046

1.4.2 応力
(1) 扉開状態

(単位 : MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
外梁	□	引張り	—	—	$\sigma_t = 55$	□
		せん断	—	—	$\tau = 1$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_c = 55$	□
ガイドレール	□	引張り	—	—	$\sigma_{tG} = 27$	□
		せん断	—	—	$\tau_G = 2$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cG} = 27$	□
門ピン	□	引張り	—	—	$\sigma_{tP} = 79$	□
		せん断	—	—	$\tau_P = 8$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP} = 80$	□
ハンガーレール	□	引張り	—	—	$\sigma_{tH} = 70$	□
		せん断	—	—	$\tau_H = 4$	□
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH} = 71$	□

すべて許容応力以下である。

(2) 扉閉状態

(単位 : MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
外梁	<input type="text"/>	引張り	—	—	$\sigma_t = 54$	<input type="text"/>
		せん断	—	—	$\tau = 1$	<input type="text"/>
		組合せ	—	—	$\sigma_c = 54$	<input type="text"/>
テーパブロック 取付ボルト	<input type="text"/>	せん断	—	—	$\tau_{UT} = 20$	<input type="text"/>
門ピン	<input type="text"/>	引張り	—	—	$\sigma_{tP} = 79$	<input type="text"/>
		せん断	—	—	$\tau_P = 8$	<input type="text"/>
		組合せ	—	—	$\sigma_{cP} = 80$	<input type="text"/>
ハンガーレール	<input type="text"/>	引張り	—	—	$\sigma_{tH} = 70$	<input type="text"/>
		せん断	—	—	$\tau_H = 4$	<input type="text"/>
		組合せ	—	—	$\sigma_{cH} = 71$	<input type="text"/>

すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	チェーンに作用する力	チェーンの許容荷重
チェーン	<input type="text"/>	引張荷重	<input type="text"/>	<input type="text"/>

すべて許容荷重以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
オペフロ BOP 閉止装置	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"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 ($1.0 \cdot ZPA$) はすべて機能確認済加速度以下である。