

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-009-32
提出年月日	2022年10月20日

VI-2-9-4-5-1-4 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

S2 補 VI-2-9-4-5-1-4 R0

2022年10月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 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	4
2.3	適用規格・基準等	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	固有周期	10
4.1	固有値解析方法	10
4.2	解析モデル及び諸元	10
4.3	固有値解析結果	12
5.	構造強度評価	13
5.1	構造強度評価方法	13
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3	設計用地震力	18
5.4	計算方法	19
5.5	計算条件	30
5.6	応力の評価	30
6.	機能維持評価	32
6.1	動的機能維持評価方法	32
7.	評価結果	33
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	33

## 1. 概要

本計算書は、VI-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、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「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を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

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

BOP閉止装置の全体構造を図2-1に、構造計画を表2-1に示す。

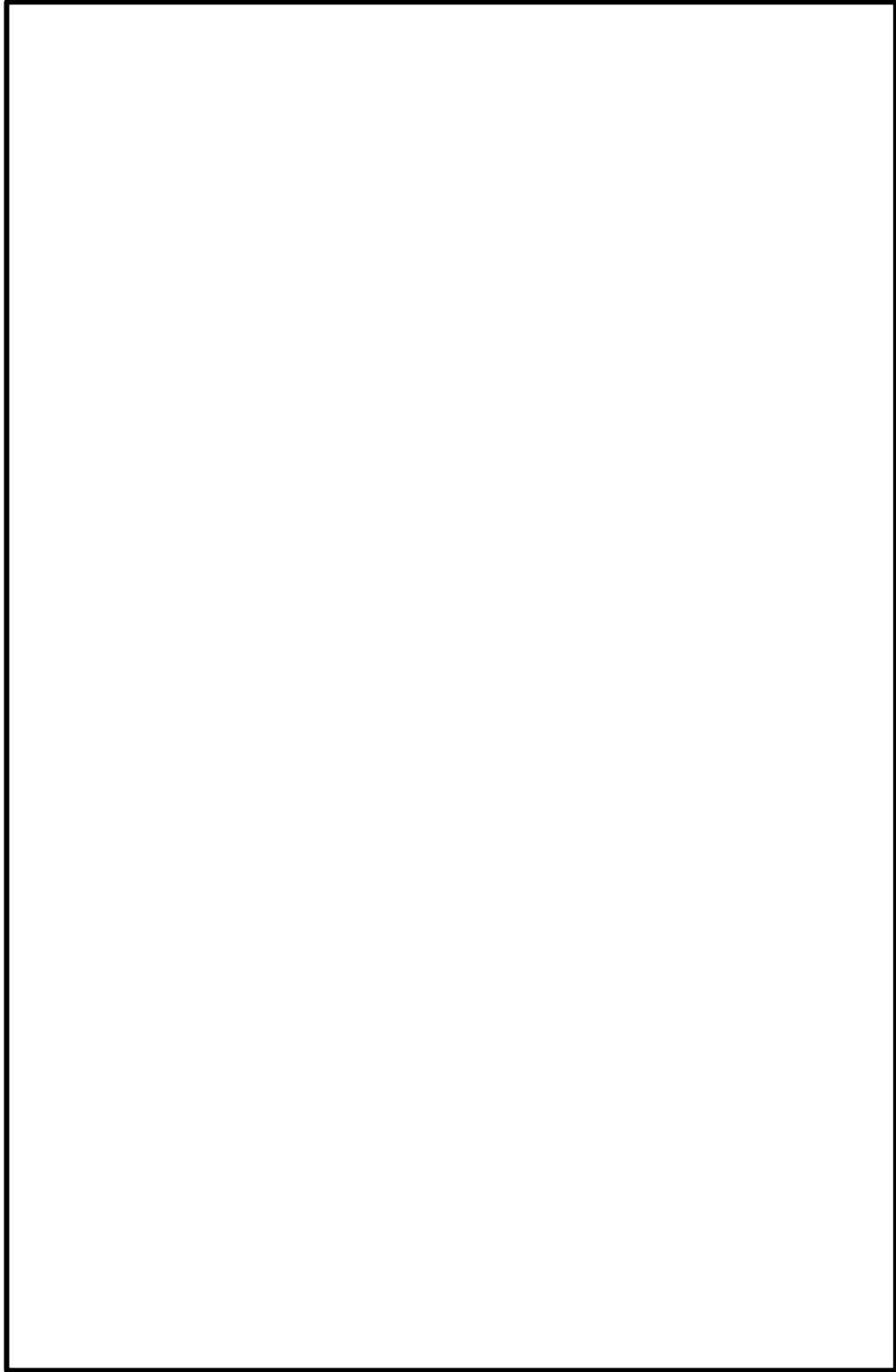
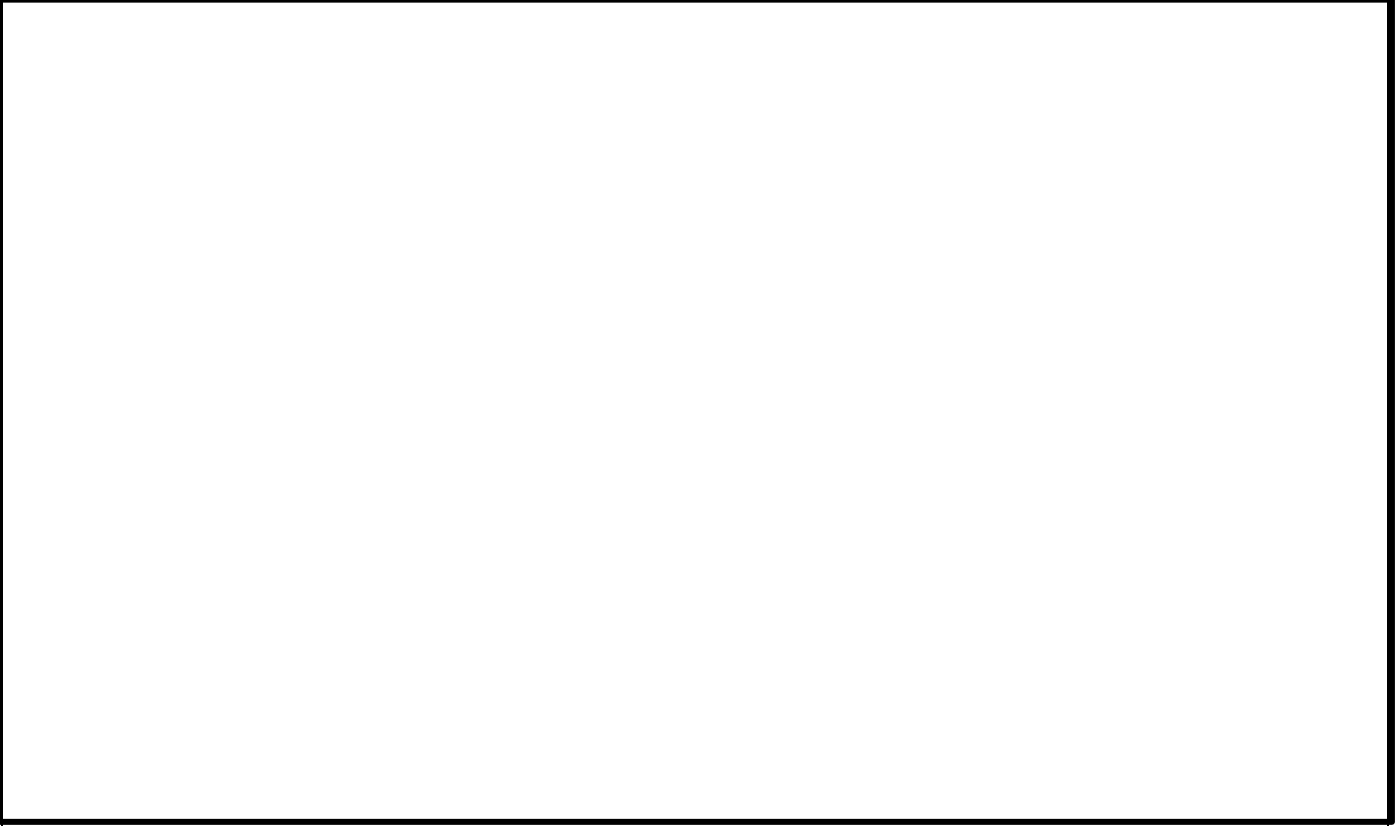


図2-1 BOP閉止装置の全体構造

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図 (2連ユニットを示す)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>BOP閉止装置は、同一形状のものを、原子炉建物原子炉棟4階内壁面に2連ユニット（ダンパ12個）、3連ユニット（ダンパ12個）、計24個設置しており、ケーシングは、取付ボルトにより取付架台に取り付けられ、取付架台は基礎ボルトにより壁面（原子炉建物）に設置する。</p>	<p>BOP閉止装置は、羽根、ケーシング、羽根を駆動する駆動部、シャフト等から構成される。</p>	

## 2.2 評価方針

BOP閉止装置の応力評価は、VI-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. 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、「5. 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、BOP閉止装置の動的機能維持評価は、VI-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、「6. 動的機能維持評価」にて示す方法により確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

BOP閉止装置の耐震評価フローを図2-2に示す。

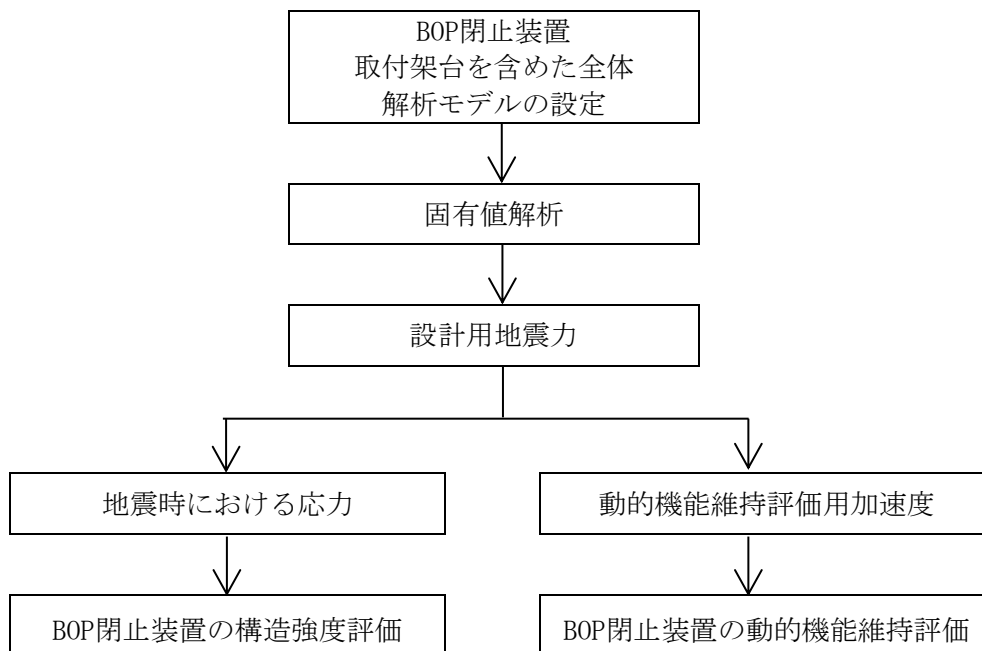


図2-2 BOP閉止装置の耐震評価フロー

### 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
$A_{bi}$	ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A_{co}$	コネクタの断面積	$\text{mm}^2$
$A_s$	シャフトの断面積	$\text{mm}^2$
$B_b$	羽根の幅	mm
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_{co}$	コネクタの内径	mm
$D_{co}$	コネクタの外径	mm
$d_i$	ボルトの呼び径	mm
$D_s$	シャフトの径	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$F^*, F_{i}^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又はSSB-3133 に定める値	MPa
$F_b$	差圧による荷重	N
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$f_{sm}$	許容せん断応力（ $f_s$ を1.5倍した値又は $f_{s}^*$ を1.5倍した値）	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{tm}$	許容引張応力（ $f_t$ を1.5倍した値又は $f_t^*$ を1.5倍した値）	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$H_b$	羽根の高さ	mm
$L_s$	シャフトの長さ	mm
$\ell_{H1i}, \ell_{H2i}, \ell_{H3i}$	重心とボルトの水平方向距離	mm
$\ell_{V1i}, \ell_{V2i}$	重心とボルトの鉛直方向距離	mm
$M_s$	シャフトに作用する曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$m_{BOS}$	BOP閉止装置の質量	kg
$m_{BOS2}$	BOP閉止装置（2連ユニット）の質量	kg
$m_{BOS3}$	BOP閉止装置（3連ユニット）の質量	kg
$m_{SP}$	取付架台の質量	kg
$m_{act}$	駆動部の質量	kg
$m_i$	ボルトに加わる質量	kg
$m_s$	シャフト及び羽根の質量	kg
$m_{SP}$	取付架台の質量	kg
$n_{Hi}$	水平方向の引張力を受けるボルトの本数	—
$n_i$	ボルトの本数	—
$n_{ti}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
$n_{vi}$	鉛直方向の引張力を受けるボルトの本数	—
$P$	差圧による圧力	Pa
$P_w$	風圧力	Pa
$P_{CD}$	軸受取付ボルトのピッチ直径	mm
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力	N
$Q_{CO}$	コネクタに作用するせん断力	N



記号	記号の説明	単位
$Q_s$	シャフトに作用するせん断力	N
$S_u, S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9定める値	MPa
$S_y, S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT), S_{yi} (RT)$	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
$W_s$	シャフト及び羽根の単位質量	kg/m
$W_b$	差圧による単位荷重	N/m
$W_w$	風による単位荷重	N/m
$\pi$	円周率	—
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_s$	シャフトに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{sc}$	シャフトに生じる組合せ応力	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_s$	シャフトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{co}$	コネクタに生じるせん断応力	MPa
$T$	温度条件	°C
$Z_s$	シャフトの断面係数	mm <sup>3</sup>

注記\*1:  $A_{bi}, d_i, F_i^*, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, \ell_{H1i}, \ell_{H2i}, \ell_{Vi}, n_i, n_{fi}, Q_{bi}, S_{ui}, S_{yi}, S_{yi} (RT), \sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 軸受取付ボルト

$i = 2$ : 駆動部取付ボルト

$i = 3$ : 取付ボルト

## 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に示すとおりである。

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 <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
断面係数	mm <sup>3</sup>	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
力	N	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位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

BOP閉止装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる部位について実施する。評価部位は、BOP閉止装置の構造が空調ダンパと同様であることからJ E A C 4 6 0 1の空調ダンパの評価部位のうちBOP閉止装置において相当する部位を評価部位とする。加えて耐震評価上厳しくなるボルト類についても評価部位とする。

以上より評価部位はシャフト、コネクタ、軸受取付ボルト、駆動部取付ボルト及び取付ボルトとし表2-1の概略構造図に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有値解析方法

取付架台を含めたBOP閉止装置全体の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) BOP閉止装置は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

##### 4.2 解析モデル及び諸元

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【BOP閉止装置の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 2連及び3連ユニットの質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 2連及び3連ユニットの重心位置は、公称位置とする。
- (3) 拘束条件は、BOP閉止装置取付ボルト部をピン拘束とする。なお、基礎ボルト部は完全拘束として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX Nastran」を使用し、固有値を求める。

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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

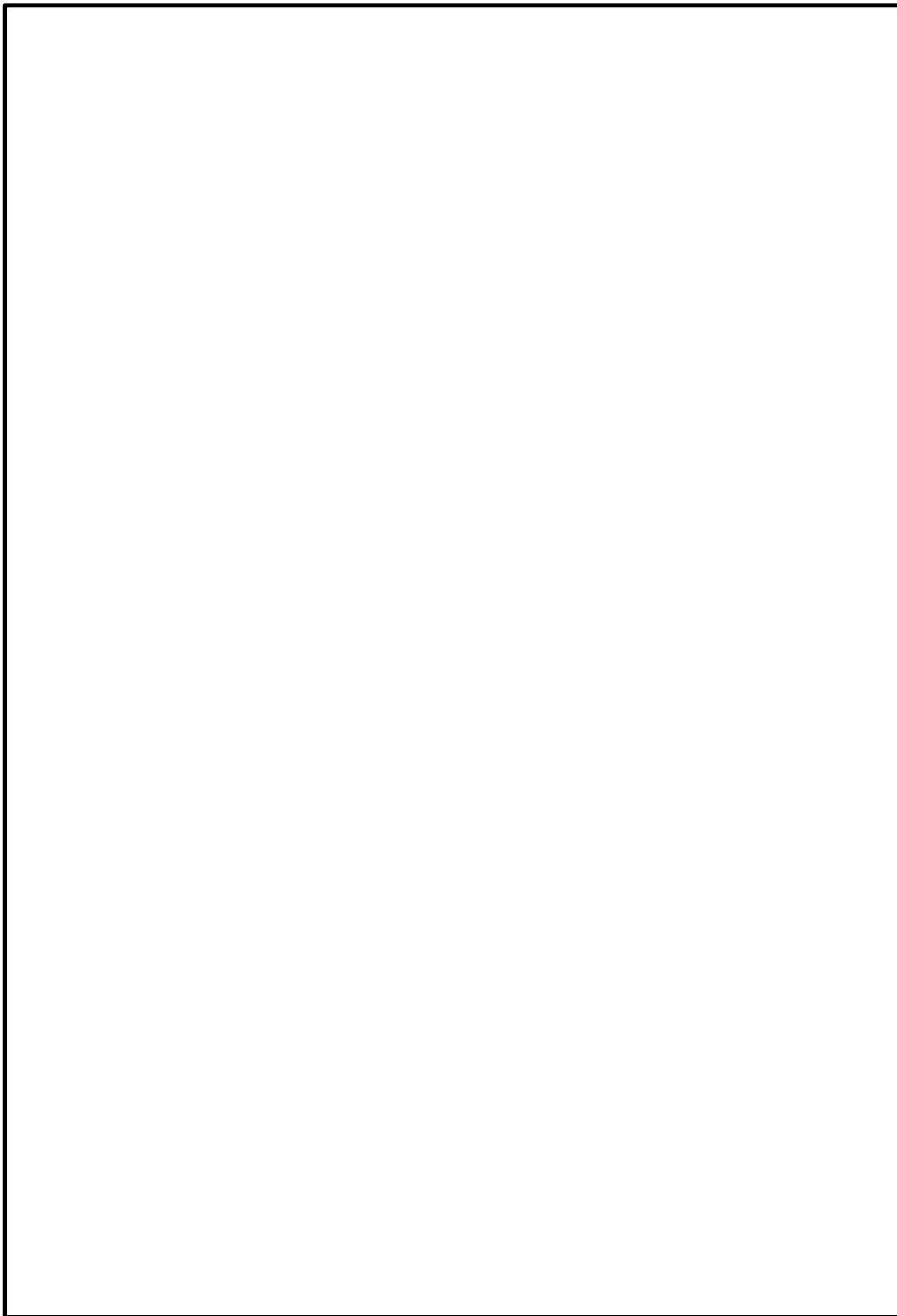


図4-1 解析モデル

#### 4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表4-1, 振動モード図を図4-2に示す。固有周期は, 0.05秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表4-1 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
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.019	—	—	—

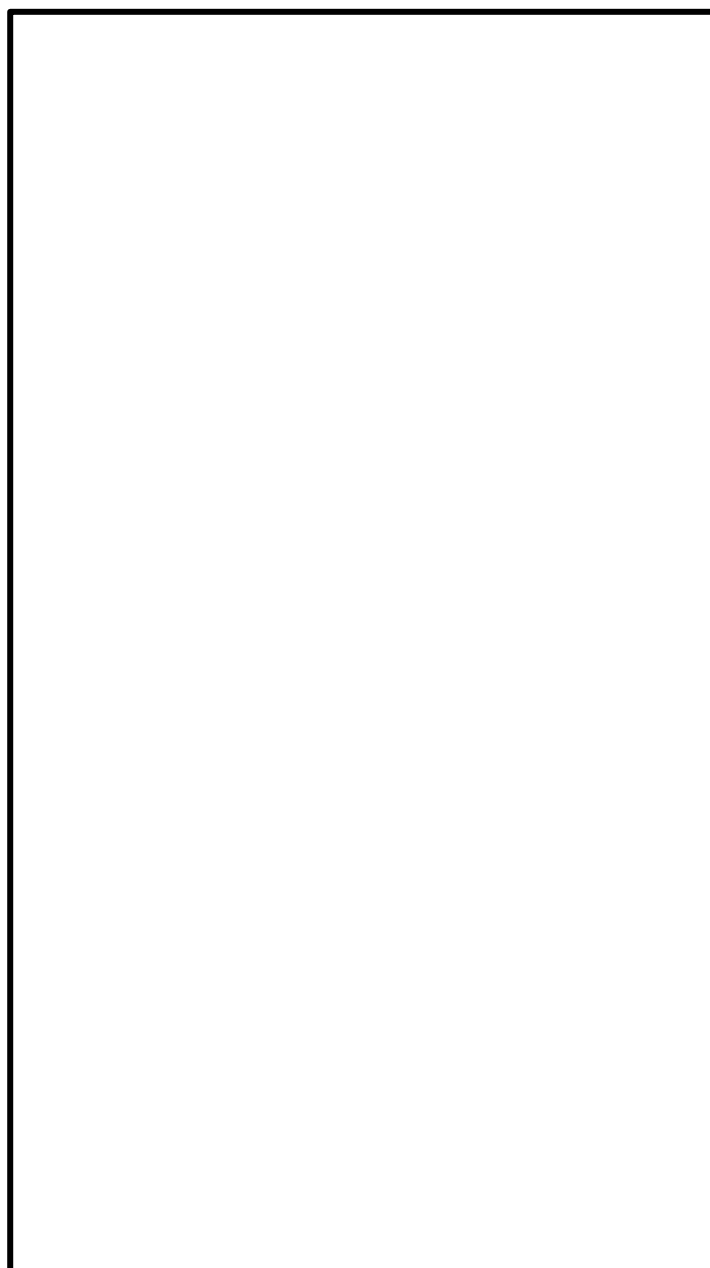


図4-2 振動モード図 (1次)

## 5. 構造強度評価

### 5.1 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。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

#### 5.1.1 シャフトの構造強度評価方法

- (1) シャフトは羽根と一体となって軸受により支持される構造である。
- (2) 地震力はシャフトに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、強度評価において地震力を組み合わせるものとする。
- (3) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、羽根に対して等分布に作用するものとする。また、強度評価において地震力と組み合わせる。

#### 5.1.2 コネクタの構造強度評価方法

- (1) コネクタは隣接するシャフト同士を結合する構造である。
- (2) 地震力はコネクタに対して水平及び鉛直方向から作用するものとするが、シャフト軸方向の荷重はキー結合で軸方向を拘束しないため作用しないものとする。
- (3) コネクタには地震力によりせん断力のみが作用する。

#### 5.1.3 軸受取付ボルト

- (1) シャフトからの地震荷重は、両端の軸受を介して軸受取付ボルトに対して水平及び鉛直方向に作用する。
- (2) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、軸受取付ボルト全数に対して作用するものとする。

#### 5.1.4 駆動部取付ボルト

- (1) 駆動部からの地震荷重は、駆動部取付ボルトに対して水平及び鉛直方向に作用するものとする。

#### 5.1.5 取付ボルト

- (1) BOP閉止装置からの地震荷重は、取付ボルトに対して水平及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 地震荷重による転倒方向は水平及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう）を記載する。
- (3) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、取付ボルト全数に対して作用するものとする。

る。

## 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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5-1に示す。

### 5.2.2 許容応力

BOP閉止装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

BOP閉止装置の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5-3に示す。



表5-1 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	—	BOP閉止装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S$ *3	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として、 $IV_{AS}$ 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：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表5-2 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 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張	せん断	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして、IV <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)				

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。

表5-3 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
シャフト	<input type="text"/> *1	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
コネクタ	<input type="text"/> *1	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
軸受取付ボルト	<input type="text"/> *2	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
駆動部取付ボルト	<input type="text"/> *3	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
取付ボルト	<input type="text"/> *3	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

注記\*1 : 相当

\*2 : 相当

\*3 : 相当

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-4に示す。

「基準地震動 $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表5-4 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 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL42.800 (EL63.500* <sup>1</sup> )	0.019	0.05以下	—	—	$C_H=4.97^{*2}$	$C_V=2.66^{*2}$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 $S_s$ ）

## 5.4 計算方法

## 5.4.1 応力の計算方法

## 5.4.1.1 シャフトの計算方法

シャフト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、シャフトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-1 に示すとおり、等分布荷重がシャフト全体に作用する両端支持梁モデルとする。差圧及び風による荷重も考慮する。

## (1) せん断応力

せん断力

$$Q_s = \frac{m_s \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g + F_b + F_w}{2} \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、差圧による荷重 $F_b$ は次式により求める。

$$F_b = B_b \cdot H_b \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、風による荷重 $F_w$ は次式により求める。

$$F_w = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

せん断応力

$$\tau_s = \frac{Q_s}{A_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、シャフトの断面積 $A_s$ は次式により求める。

$$A_s = D_s^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

## (2) 曲げ応力

曲げモーメント

$$M_s = \frac{W_s \cdot L_s^2 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g + W_b \cdot L_s^2 + W_w \cdot L_s^2}{8} \dots \dots \dots (5.4.1.1.6)$$

ここで、単位質量 $W_s$ は次式により求める。

$$W_s = \frac{m_s}{L_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.7)$$

ここで、差圧による単位荷重 $W_b$ は次式により求める。

$$W_b = \frac{B_b \cdot H_b \cdot P}{L_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.8)$$

ここで、風による単位荷重 $W_w$ は次式により求める。

$$W_w = \frac{B_b \cdot H_b \cdot P_w}{L_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.9)$$

曲げ応力

$$\sigma_s = \frac{M_s}{Z_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.10)$$

ここで、シャフトの断面係数 $Z_s$ は次式により求める。

$$Z_s = D_s^3 \cdot \frac{\pi}{32} \dots \dots \dots (5.4.1.1.11)$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_s^2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.12)$$

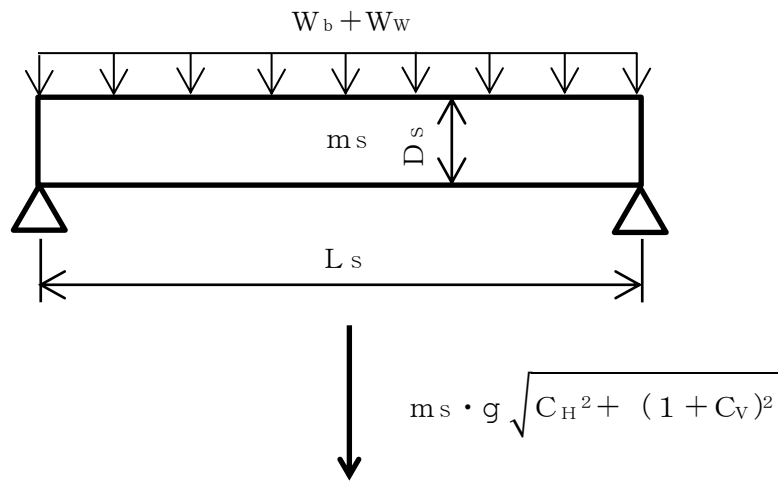


図5-1 シャフトの計算モデル

5.4.1.2 コネクタの計算方法

コネクタに作用する荷重によるせん断力を算出し、コネクタに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-2に示すとおりとする。

コネクタには、水平及び鉛直方向地震力による応力が生じる。

なお、軸方向荷重はコネクタの軸方向拘束がないため作用しない。

BOP閉止装置に作用する地震力により発生する荷重がコネクタに作用するものとして評価を行う。

(1) せん断応力

せん断力

$$Q_{CO} = m_{BOS} \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

せん断応力

$$\tau_{CO} = \frac{Q_{CO}}{A_{CO}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

ここでコネクタの断面積  $A_{CO}$  は次式により求める。

$$A_{CO} = (D_{CO}^2 - d_{CO}^2) \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

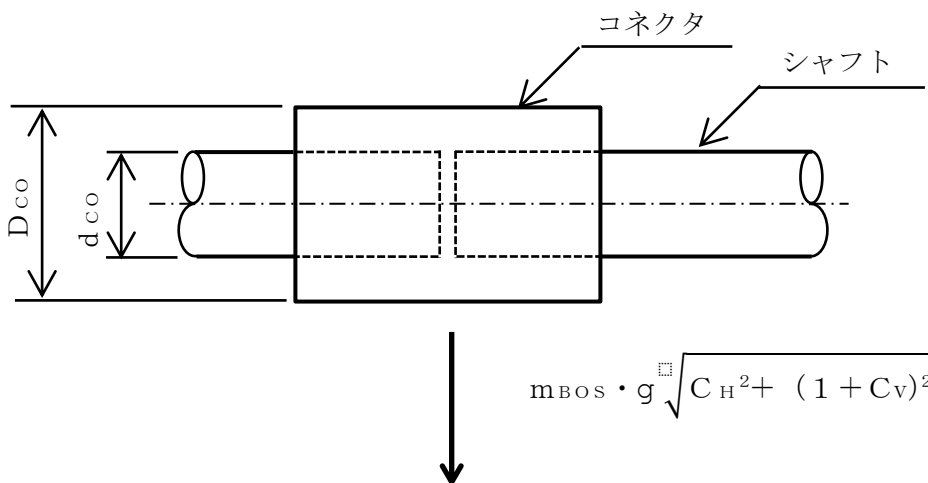


図5-2 コネクタの計算モデル

## 5.4.1.3 軸受取付ボルトの計算方法

軸受取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、軸受取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-3 に示すとおりとする。

## (1) 引張応力

軸受取付ボルト（1本当たり）に対する引張力は、シャフト片端の軸受取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n_1} \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、軸受取付ボルトの断面積 $A_{b1}$ は次式により求める。

$$A_{b1} = d_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

## (2) せん断応力

軸受取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は、シャフト両端の軸受取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = \frac{m_1 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g + F_b + F_w}{2 \cdot n_1} \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

ここで、差圧による荷重 $F_b$ は次式により求める。

$$F_b = B_b \cdot H_b \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

ここで、風による荷重 $F_w$ は次式により求める。

$$F_w = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.3.6)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.6.3.7)$$

ここで、軸受取付ボルトの断面積 $A_{b1}$ は次式により求める。

$$A_{b1} = d_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.6.3.8)$$



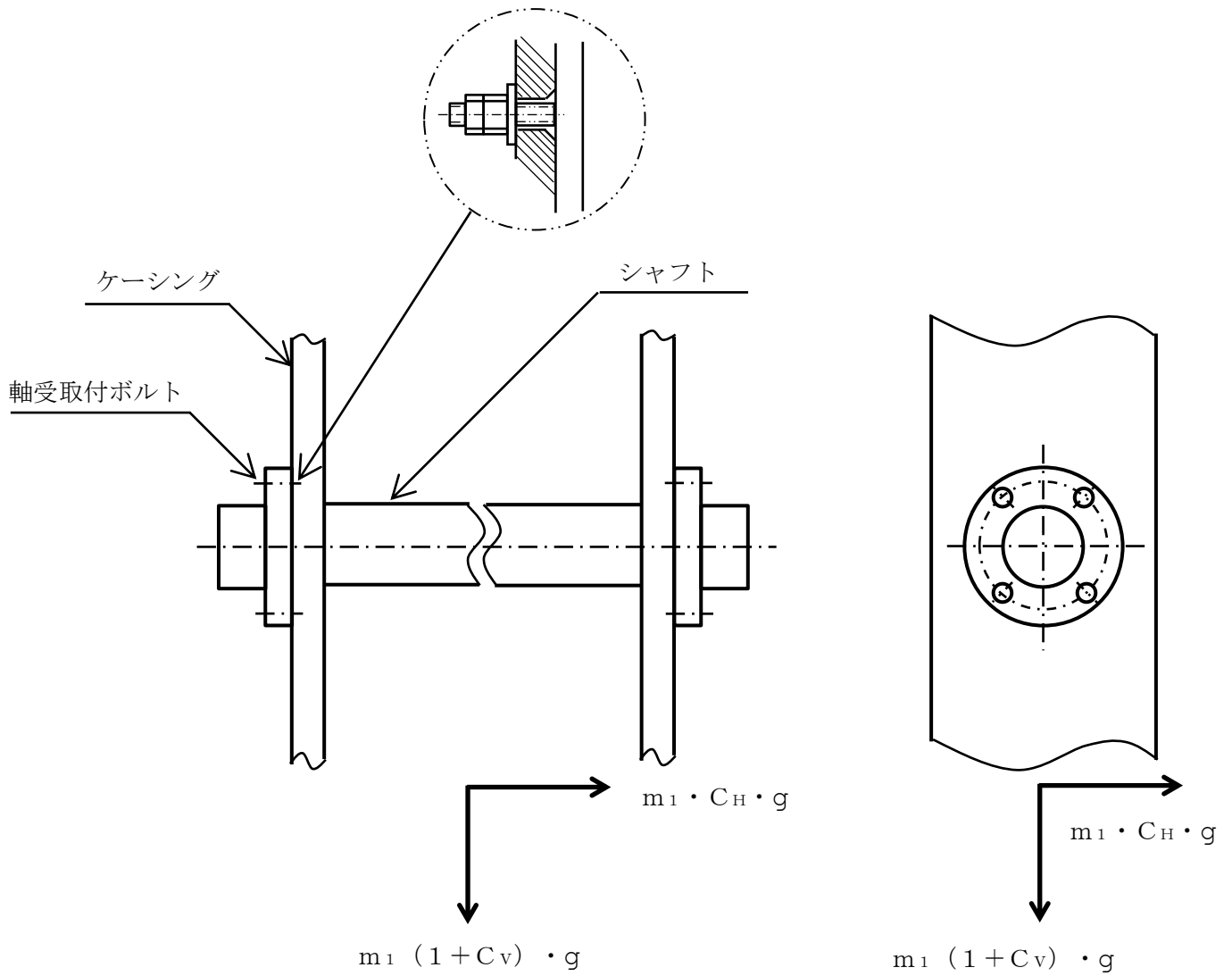


図5-3 軸受取付ボルトの計算モデル

5.4.1.4 駆動部取付ボルトの計算方法

駆動部取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、駆動部取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-4 に示すとおりとする。

(1) 引張応力

駆動部取付ボルト（1本あたり）に対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて下式により計算する。

引張力

$$F_{b12} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( C_H \cdot \left( \frac{\ell_{V22}}{2} - \ell_{H22} \right) + C_H \cdot \ell_{H12} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

$$F_{b22} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( C_H \cdot \left( \frac{\ell_{V22}}{2} + \ell_{H22} \right) + C_H \cdot \ell_{H12} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

$$F_{b32} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( (1 + C_V) \cdot \ell_{H12} + C_H \cdot \left( \ell_{V12} - \frac{\ell_{V22}}{2} \right) \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

$$F_{b42} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( (C_V - 1) \cdot \ell_{H12} + C_H \cdot \left( \ell_{V12} + \frac{\ell_{V22}}{2} \right) \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

$$F_{b2} = \text{Max} ( F_{b12}, F_{b22}, F_{b32}, F_{b42} ) \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

ここで、ボルトピッチ  $l_{v22}$  は次式により求める。

$$l_{v22} = PCD \cdot \cos \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.6)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.7)$$

ここで、駆動部取付ボルトの断面積  $A_{b2}$  は次式により求める。

$$A_{b2} = d_2^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.8)$$

但し、 $F_{b2}$  が負の時、取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

駆動部取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は駆動部取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = \frac{m_2 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g}{n_2} \dots \dots \dots (5.4.1.4.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.10)$$

ここで、駆動部取付ボルトの断面積  $A_{b2}$  は次式により求める。

$$A_{b2} = d_2^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.11)$$

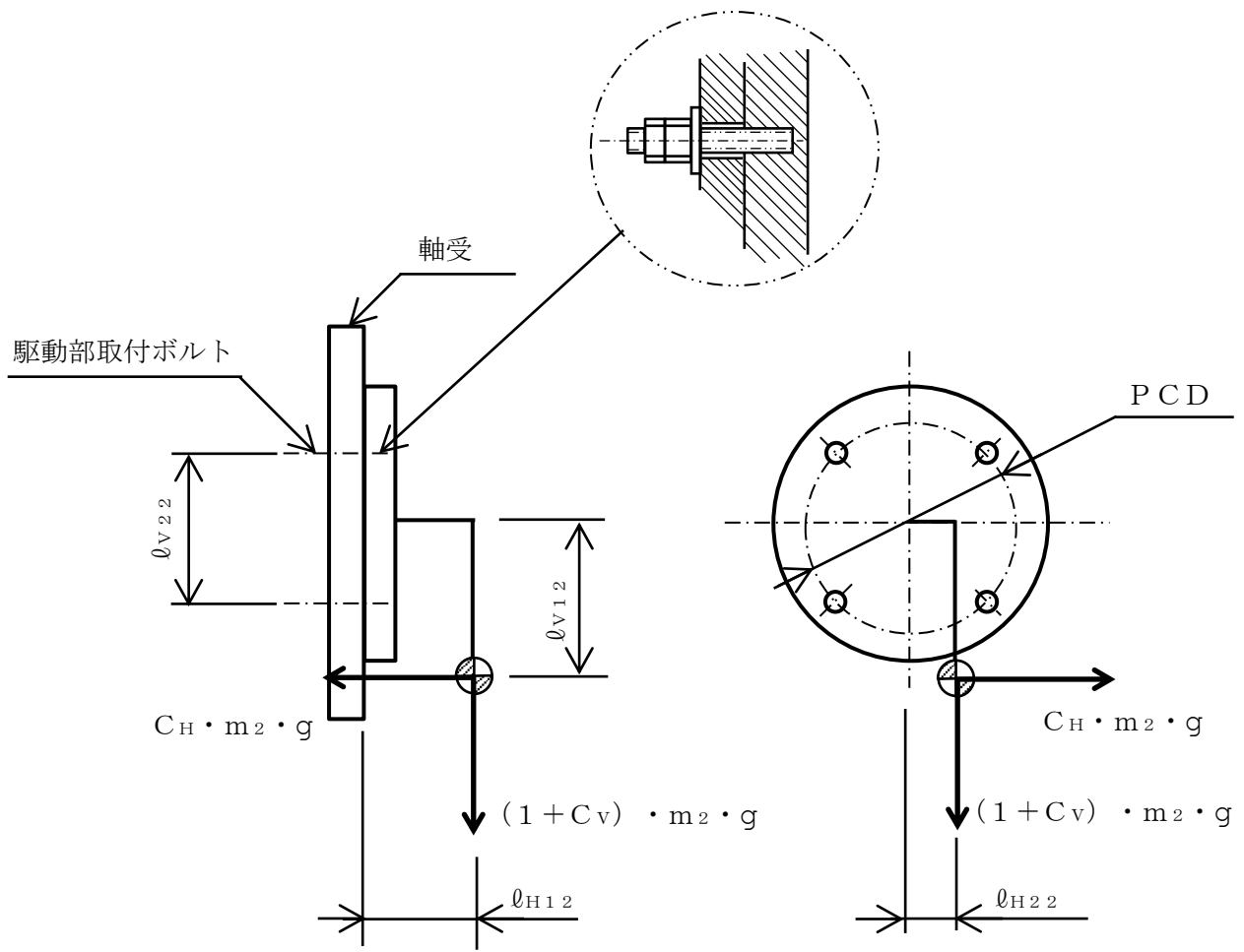


図5-4 駆動部取付ボルトの計算モデル

5.4.1.5 取付ボルトの計算方法

取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-5及び図5-6に示すとおりとする。

(1) 引張応力

取付ボルト（1本当たり）に対する引張力は片側のボルト列を支点とする転倒を考え、これを逆側の最外列の取付ボルトで受けるものとして下式により計算する。差圧及び風による荷重も引張力として考慮する。

計算結果は最も厳しいものを記載する。

引張力

$$F_{b13} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H33} \cdot g}{n_{V3} \cdot (\ell_{V13} + \ell_{V23})} + \frac{m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{H13} \cdot g}{n_{H3} \cdot (\ell_{H13} + \ell_{H23})} + \frac{F_b + F_w}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.1)$$

$$F_{b23} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H33} \cdot g}{n_{V3} \cdot (\ell_{V13} + \ell_{V23})} + \frac{m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{H23} \cdot g}{n_{H3} \cdot (\ell_{H13} + \ell_{H23})} + \frac{F_b + F_w}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.2)$$

$$F_{b33} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H33} \cdot g + m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{V23} \cdot g}{n_{V3} \cdot (\ell_{V13} + \ell_{V23})} + \frac{F_b + F_w}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.3)$$

$$F_{b3} = \text{Max} (F_{b13}, F_{b23}, F_{b33}) \dots \dots \dots (5.4.1.5.4)$$

ここで、差圧による荷重 $F_b$ は次式により求める。

$$F_b = B_b \cdot H_b \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.5.5)$$

ここで、風による荷重 $F_w$ は次式により求める。

$$F_w = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.5.6)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.7)$$

ここで、取付ボルトの断面積 $A_{b3}$ は次式により求める。

$$A_{b3} = d_3^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.5.8)$$

但し、 $F_{b3}$ が負の時、取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

差圧及び風による荷重は、せん断力に加えない。

せん断力

$$Q_{b3} = \frac{m_3 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g}{n_3} \quad \dots \dots (5.4.1.5.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.10)$$

ここで、取付ボルトの断面積 $A_{b3}$ は次式により求める。

$$A_{b3} = d_3^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.11)$$

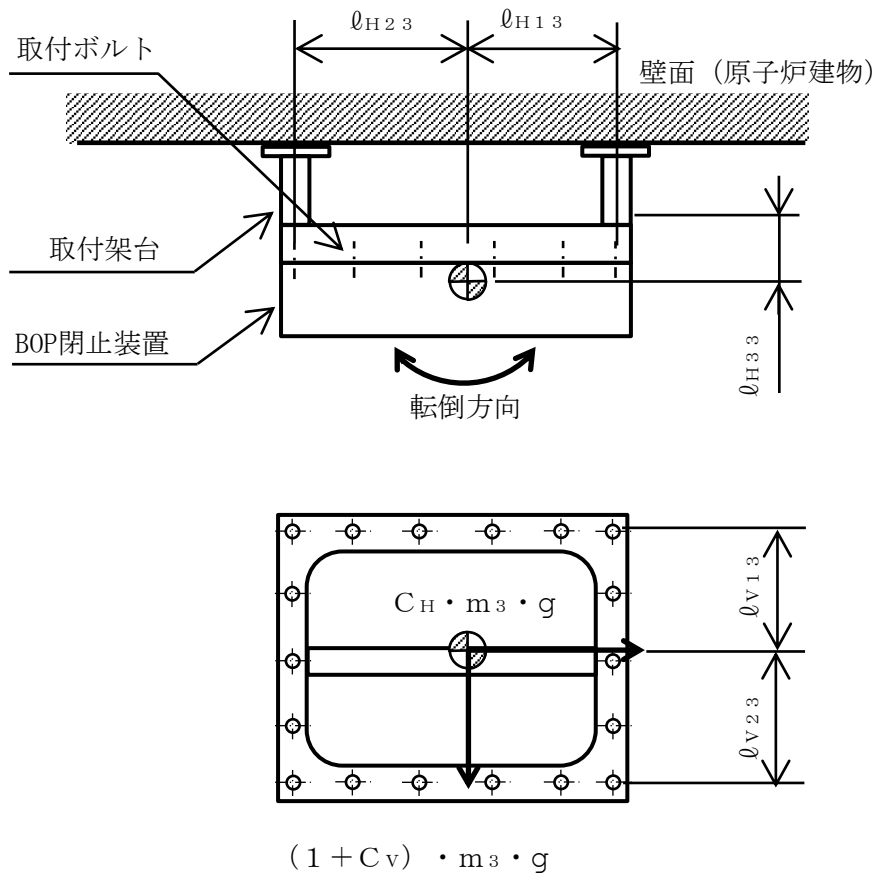


図5-5 取付ボルトの計算モデル（水平方向）

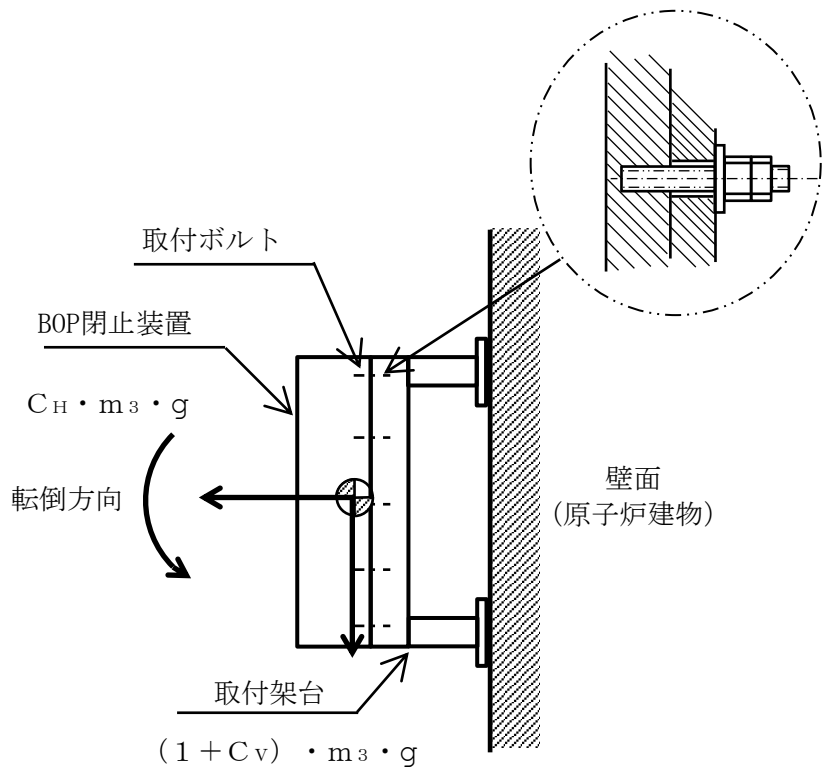


図5-6 取付ボルトの計算モデル（鉛直方向）

## 5.5 計算条件

### 5.5.1 応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【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。

## 5.6 応力の評価

### 5.6.1 シャフトの応力評価

5.4項で求めたシャフトの組合せ応力 $\sigma_{sc}$ は許容引張応力 $f_{tm}$ 以下であること。ただし、 $f_{tm}$ は表5-5による。

表5-5 シャフトの許容応力

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{tm}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

### 5.6.2 コネクタの応力評価

5.4項で求めたコネクタのせん断応力 $\tau_{co}$ が許容せん断応力 $f_{sm}$ 以下であること。ただし、 $f_{sm}$ は表5-6による。

表5-6 コネクタの許容応力

	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 $f_{sm}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



### 5.6.3 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{bi}$ は次式より求めた許容組合せ応力 $f_{tsi}$ 以下であること。ただし、許容引張応力 $f_{toi}$ は表5-7による。

$$f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots \dots \dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 $\tau_{bi}$ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{sbi}$ 以下であること。ただし、 $f_{sbi}$ は表5-7による。

表5-7 ボルトの許容応力

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{toi}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sbi}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 機能維持評価

### 6.1 動的機能維持評価方法

BOP閉止装置の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、動的機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 $S_s$ により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

BOP閉止装置の動的機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、模擬地震波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

動的機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

機器名称	方向	機能確認済加速度
BOP閉止装置	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

## 7. 評価結果

### 7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

#### (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。

## 【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

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
BOP閉止装置	常設／緩和	原子炉建物 EL42.800 (EL63.500* <sup>1</sup> )	0.019	0.05以下	—	—	C <sub>H</sub> =4.97* <sup>2</sup>	C <sub>V</sub> =2.66* <sup>2</sup>	100

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S<sub>s</sub>）

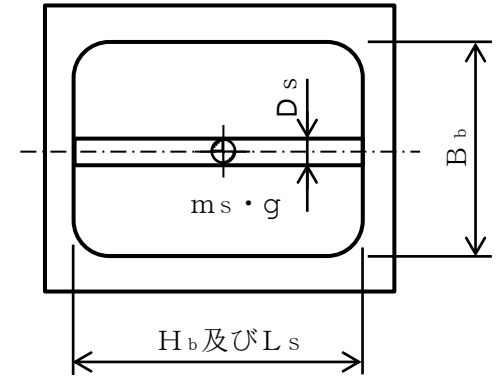
1.2 機器要目

1.2.1 シャフト

(1) 開状態

$m_s$ (kg)	$D_s$ (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$L_s$ (mm)	$B_b$ (mm)	$H_b$ (mm)	$Z_s$ (mm <sup>3</sup> )
□	□	□	□	□	□	□

$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
□	□	□



(2) 閉状態

$m_s$ (kg)	$D_s$ (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$L_s$ (mm)	$B_b$ (mm)	$H_b$ (mm)	$Z_s$ (mm <sup>3</sup> )
□	□	□	□	□	□	□

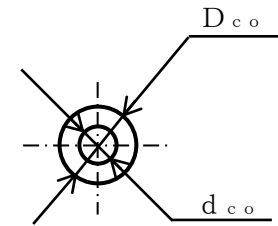
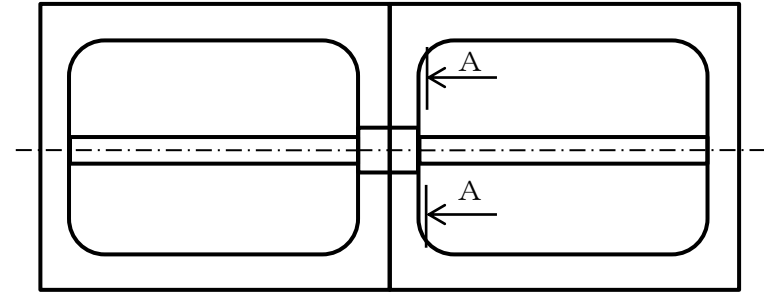
$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
□	□	□

$P_w$ (kPa)	$P$ (Pa)
1.725	63

1.2.2 コネクタ

$D_{c o}$ (mm)	$d_{c o}$ (mm)	$A_{c o}$ (mm <sup>2</sup> )	$m_{BOS}$ (kg)
□	□	□	□

$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
□	□	□



A~A 矢视图
















1.2.3 ボルト

(1)開状態









部材	$m_i$ (kg)	$d_i$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{ti}$	$n_{vi}$	$n_{Hi}$	$\ell_{H1i}$ (mm)	$\ell_{H2i}$ (mm)	$\ell_{H3i}$ (mm)	$\ell_{V1i}$ (mm)	$\ell_{V2i}$ (mm)	PCD (mm)
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—	—	—	—	—	—	—	—
駆動部取付ボルト ( $i = 2$ )						—	—			—		—	
取付ボルト ( $i = 3$ )					—								—

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$S_{yi}$ (RT) (MPa)	$F_{i}^*$ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—
駆動部取付ボルト ( $i = 2$ )					—	—
取付ボルト ( $i = 3$ )					—	水平

(2) 閉状態

部材	$m_i$ (kg)	$d_i$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{vi}$	$n_{Hi}$	$\ell_{H1i}$ (mm)	$\ell_{H2i}$ (mm)	$\ell_{H3i}$ (mm)	$\ell_{V1i}$ (mm)	$\ell_{V2i}$ (mm)
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—	—	—	—	—	—
取付ボルト ( $i = 3$ )											

部材	$P_w$ (kPa)	$P$ (Pa)
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )	1.725	63
取付ボルト ( $i = 3$ )	1.725	63

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$S_{yi}$ (RT) (MPa)	$F_{i}^*$ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 $S_d$ 又は 静的震度	基準地震動 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—
取付ボルト ( $i = 3$ )					—	水平



## 1.3 計算数値

## 1.3.1 シャフトに作用する力及びモーメント

## (1)開状態

部 材	$M_s$ (N・mm)		$Q_s$ (N)	
	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
シャフト	—	$9.174 \times 10^5$	—	$3.783 \times 10^3$

## (2)閉状態

部 材	$M_s$ (N・mm)		$Q_s$ (N)	
	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
シャフト	—	$1.079 \times 10^6$	—	$4.451 \times 10^3$

## 1.3.2 コネクタに作用する力

(単位 : N)

部 材	$Q_{co}$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
コネクタ	—	$2.179 \times 10^4$

## 1.3.3 軸受取付ボルトに作用する力

(1)開状態

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	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 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i=1$ )	—	761.5	—	472.9

(2)閉状態

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	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 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i=1$ )	—	761.5	—	556.4

## 1.3.4 駆動部取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	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 $S_s$
駆動部取付ボルト ( $i=2$ )	—	$9.206 \times 10^3$	—	998.7

## 1.3.5 取付ボルトに作用する力

(1)開状態

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$			$Q_{bi}$	
	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 $S_s$
	—	—	転倒方向	—	—
取付ボルト ( $i=3$ )	—	$2.525 \times 10^3$	水平	—	$1.211 \times 10^3$

(2)閉状態

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$			$Q_{bi}$	
	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 $S_s$
	—	—	転倒方向	—	—
取付ボルト ( $i=3$ )	—	$2.599 \times 10^3$	水平	—	$1.211 \times 10^3$

## 1.4 結論

## 1.4.1 応力

## (1) 主要部材 (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
シャフト	<input type="text"/>	組合せ	—	—	$\sigma_{sc}=75$	$f_{tm}=305$
コネクタ	<input type="text"/>	せん断	—	—	$\tau_{co}=5$	$f_{sm}=176$

すべて許容応力以下である。

## (2) 主要部材 (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
シャフト	<input type="text"/>	組合せ	—	—	$\sigma_{sc}=89$	$f_{tm}=305$
コネクタ	<input type="text"/>	せん断	—	—	$\tau_{co}=5$	$f_{sm}=176$

すべて許容応力以下である。

## (3) ボルト類 (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
軸受取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=118$
駆動部取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=118$
取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=118$

すべて許容応力以下である。

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ 

## (4) ボルト類 (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
軸受取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=118$
駆動部取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=118$
取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=118$

すべて許容応力以下である。

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

## 1.4.2 動的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
BOP閉止装置	水平方向	2.76	<input type="checkbox"/>
	鉛直方向	1.63	<input type="checkbox"/>

注記\*：設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）により定まる加速度

動的機能維持評価用加速度はすべて動的機能確認済加速度以下である。

## 1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材料	—	—	<input type="checkbox"/>
質量（2連ユニット）	$m_{BOS2}$	kg	<input type="checkbox"/>
質量（3連ユニット）	$m_{BOS3}$	kg	<input type="checkbox"/>
質量（取付架台）	$m_{SP}$	kg	<input type="checkbox"/>
温度条件（周囲環境温度）	T	℃	100
縦弾性係数（周囲環境温度）	E	MPa	198000
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	<input type="checkbox"/>
節点数	—	個	<input type="checkbox"/>

