

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-工-B-19-0434_改0
提出年月日	2021年8月17日

### VI-2-9-4-6-1-3 遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書

2021年8月

東北電力株式会社

## 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	6
2.3 適用規格・基準等	7
2.4 記号の説明	8
2.5 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 地震応答解析及び構造強度評価	12
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
4.2.2 許容応力	12
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	12
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	19
4.6.1 取付ボルト	19
4.6.2 基礎ボルト	21
4.7 計算条件	23
4.8 応力の評価	23
4.8.1 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	23
5. 機能維持評価	24
5.1 動的機能維持評価方法	24
5.1.1 機能確認済加速度	24
6. 評価結果	25
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	25

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、遠隔手動弁操作設備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。

遠隔手動弁操作設備は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、遠隔手動弁操作設備は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない設備であるため、加振試験で得られた機能確認済加速度と評価用加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

遠隔手動弁操作設備の構造計画を表 2-1 から表 2-4 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>貫通シャフト フレキシブルシャフト フレキシブルシャフト連結部 支持構造物 中間ギア</p>	<p>概略構造図</p> <p>中間ギア</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>支持構造物</p> <p>ハンドル</p> <p>平面図</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p> <p>貫通シャフト</p> <p>支持構造物</p> <p>支持構造物</p> <p>T48-F019</p> <p>A-A 矢視図</p> <p>(単位：mm)</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その1)</p>

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-2 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを經由して対象弁に接続される。</p> <p>L型ジョイントは床又は壁に固定される。フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を經由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>貫通シャフト L型ジョイント フレキシブルシャフト フレキシブルシャフト連結部 支持構造物 中間ギア</p>	<p>平面図</p> <p>A-A 矢視図</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その 2)</p> <p>(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-3 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを經由して対象弁に接続される。</p> <p>L型ジョイントは床又は壁に固定される。フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>貫通シャフト L型ジョイント フレキシブルシャフト 支持構造物 中間ギア</p>	<p>平面図</p> <p>A-A 矢視図</p> <p>(単位：mm)</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その 3)</p>

表 2-4 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>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを經由して対象弁に接続される。</p> <p>L型ジョイントは床又は壁に固定される。フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を經由して基礎ボルトにより原子炉建屋の床又は壁に固定される。中間ギアは対象弁に固定される。</p>	<p>貫通シャフト L型ジョイント フレキシブルシャフト 支持構造物 中間ギア</p>	<p>概略構造図</p> <p>平面図</p> <p>A-A 矢視図</p> <p>(単位：mm)</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その 4)</p>

## 2.2 評価方針

遠隔手動弁操作設備の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「2.1 構造計画」にて示す遠隔手動弁操作設備の部位を踏まえ「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、遠隔手動弁操作設備の機能維持評価は、添付書類「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、「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。

遠隔手動弁操作設備の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

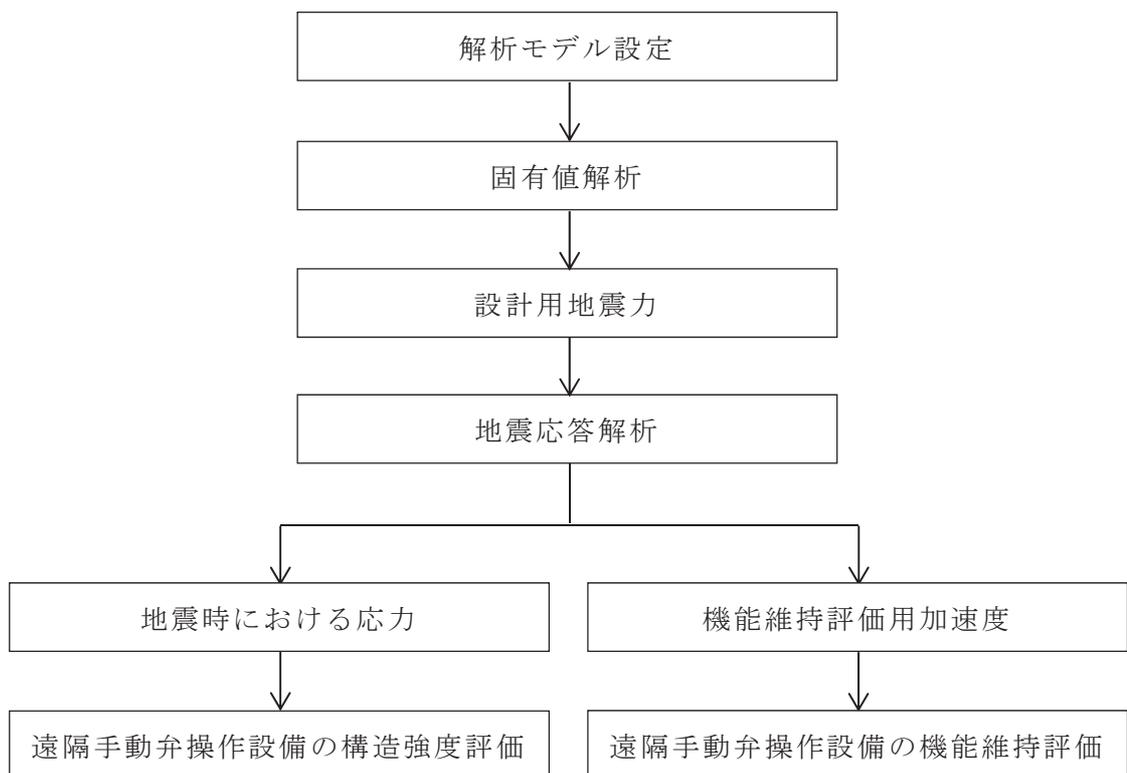


図 2-1 遠隔手動弁操作設備の耐震評価フロー

### 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (2) 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）
- (3) 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）
- (4) 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。）

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$B_P$	アンカープレートのボルト間距離	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$F$	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
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{t si}$	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* <sup>1</sup>	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$F_x$	サポート材の軸力(x方向)	N
$F_y$	サポート材のせん断力(y方向)	N
$F_z$	サポート材のせん断力(z方向)	N
$M_x$	サポート材に作用するモーメント(x軸廻り)	N・m
$M_y$	サポート材に作用するモーメント(y軸廻り)	N・m
$M_z$	サポート材に作用するモーメント(z軸廻り)	N・m
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力* <sup>1</sup>	N
$P_{1max}$	$M_y$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$P_{2max}$	$M_z$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$Q_{max}$	$M_x$ による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大せん断力	N
$r_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの長さ	mm
$n_i$	せん断力を受けるボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	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℃における値	MPa
$y_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのy方向長さ	mm
$z_j$	各基礎ボルトからアンカープレート中心までのz方向長さ	mm

記号	記号の説明	単位
$\nu$	ポアソン比	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_{bi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{t oi}$ ,  $f_{t si}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $\sigma_{bi}$ ,  $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 取付ボルト

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 2-5 に示すとおりである。

表 2-5 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	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*3</sup>	四捨五入	小数点以下第 1 位 <sup>*2</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント		N・m	有効数字 5 桁目 <sup>*5</sup>	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4, *5</sup>
力		N	有効数字 5 桁目 <sup>*5</sup>	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4, *5</sup>
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*6</sup>		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：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5：べき数表示でない場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*6：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中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

遠隔手動弁操作設備の耐震評価は、「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、耐震評価上厳しくなる取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。

今回の評価では、遠隔手動操作設備の支持構造物のうち最も高所に設置され、また、1つの支持構造物に対して複数のフレキシブルシャフトの支持点を持つため反力が大きくなり、評価上最も厳しくなる支持構造物を代表とした。なお、支持構造物自体は、構造物として十分な剛性を有しており、取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば支持機能を維持できるため、取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。

遠隔手動弁操作設備の耐震評価部位については、図 3-1 に示す。

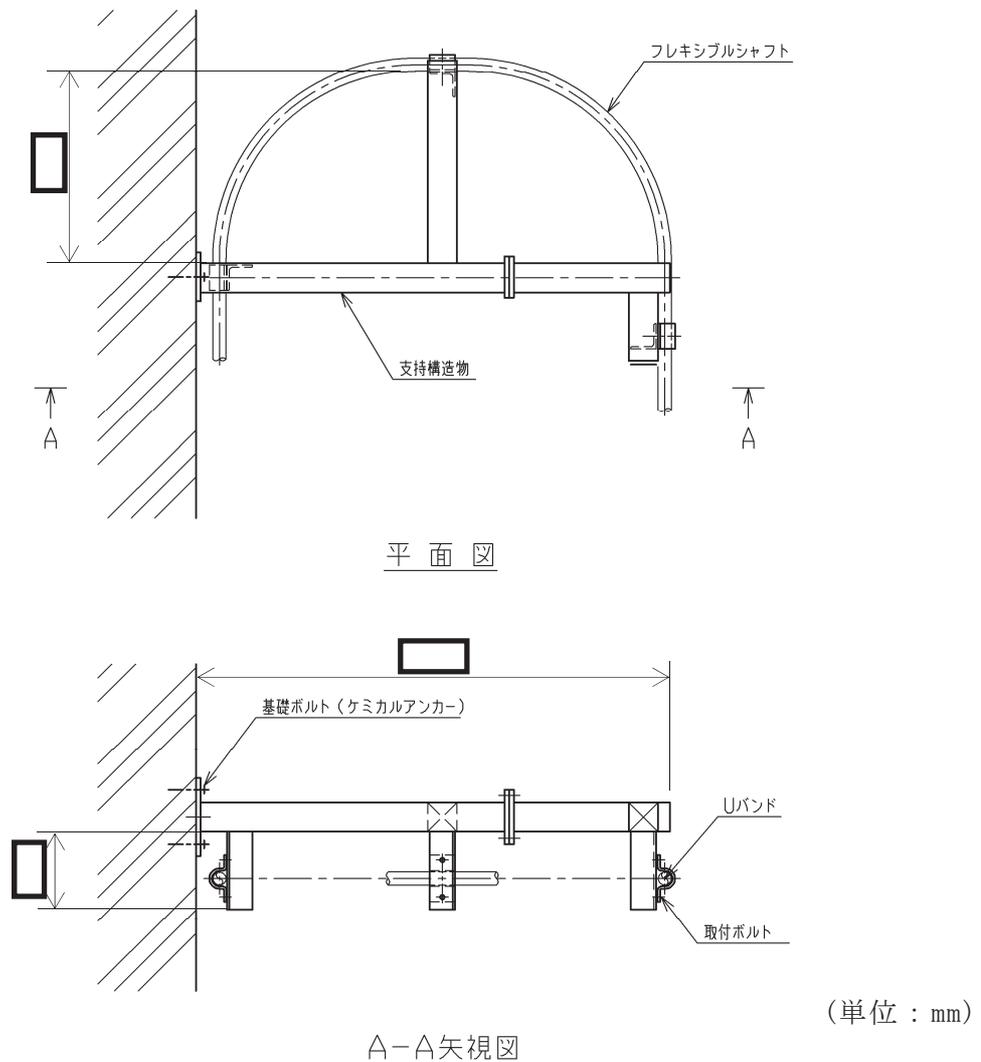


図 3-1 評価部位（取付ボルト，基礎ボルト）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 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

- (1) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、フレキシブルシャフトは十分剛なL型ジョイント，支持構造物及び中間ギアに接続されるものとする。
- (2) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち，支持構造物は十分剛な壁及び床に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (3) 地震力は，遠隔手動弁操作設備に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

##### 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

遠隔手動弁操作設備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

遠隔手動弁操作設備の許容応力は，添付書類「VI-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

遠隔手動弁操作設備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 4-3 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
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	遠隔手動弁操作 設備	常設耐震／防止	—*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。)
原子炉格納 施設	放射性物質濃度制御 設備及び可燃性ガス 濃度制御設備並びに 格納容器再循環設備	遠隔手動弁操作 設備	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。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他 の安全設備	遠隔手動弁操作 設備	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：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>AS</sub>	1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> 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 4-3 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 (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)*	周囲環境温度	66	—	225	385	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)*	周囲環境温度	66	—	225	385	—

注記\*：評価対象のボルト径は 16 mm 以下だが，安全側に 16 mm < 径 ≤ 40 mm とした。

### 4.3 解析モデル及び諸元

遠隔手動弁操作設備の解析モデルを図 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【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、アンカとなる貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアは、原子炉建屋と共振しないよう十分な剛性をもたせた設計であるため、剛体とする。
- (2) 解析モデルでは、支持構造物をはり要素でモデル化した地震応答解析を実施する。
- (3) フレキシブルシャフトから支持構造物への反力は、フレキシブルシャフトの重量と設計用床応答曲線を包絡する加速度を加味した反力として与える。
- (4) 拘束条件として、建屋躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (5) 支持構造物の取付ボルト及び基礎ボルトの応力は、解析結果で得られた荷重（反力，モーメント）を用いて理論式により算出する。
- (6) 解析コードは、「SAP-V」を使用し、固有値，遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち支持構造物に生じる荷重（反力，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。

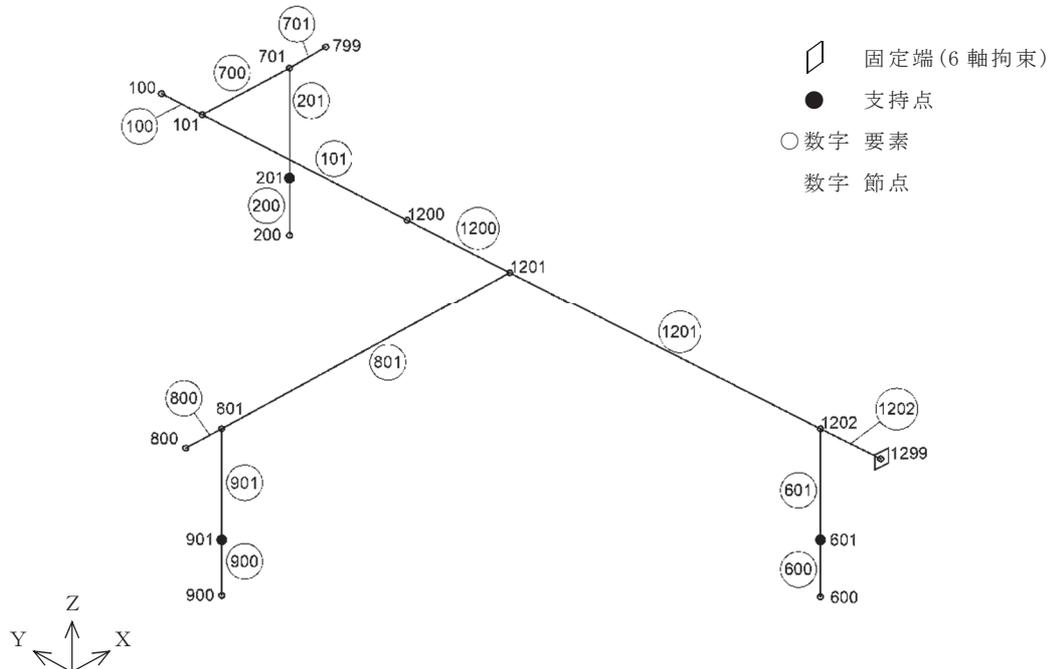


図 4-1 解析モデル

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に, モード図を図 4-2 及び図 4-3 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。

表 4-4 固有周期

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	Y 方向	
1 次	水平	0.044	—	—	—
2 次	鉛直	0.050 以下	—	—	—

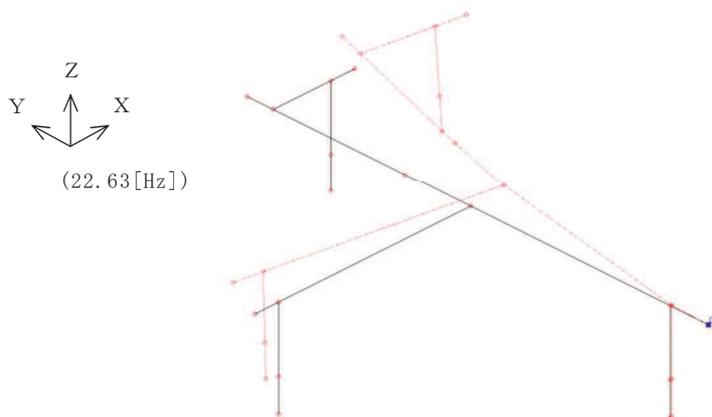


図 4-2 1 次モード図

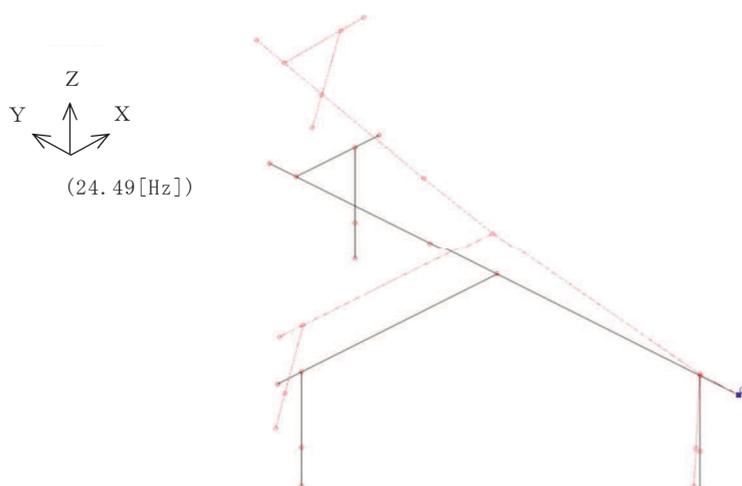


図 4-3 2 次モード図

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「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 4-5 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
原子炉建屋 O.P. 30.054 (O.P. 33.200* <sup>1</sup> )	0.044	0.050 以下	—	—	$C_H = 2.65$	$C_V = 1.77$

注記\*1：基準床レベルを示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 取付ボルト

取付ボルトの応力は、Uバンドから加わる荷重が、引張力及びせん断力として取付ボルトに作用するものとする。Uバンドから加わる荷重は、接続されるフレキシブルシャフトの長さの1/2の質量に対し、基準フロアにおける床応答スペクトル（減衰3%）の最大値を応答加速度として荷重を算出する。なお、取付ボルトについては保守的にx, y, z全方向の荷重を考慮するものとする。評価に用いるUバンドに生じる荷重を表4-6に、基準フロアにおける最大応答加速度を表4-7に示す。また、Uバンド部の概要を図4-4に示す。

#### (1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図4-4に示す3方向荷重を考慮し、これを2本の取付ボルトで受けるものとして計算する。

##### a. 引張力

$$F_{b i} = \frac{F_z}{n_{f i}} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

##### b. 引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

#### (2) せん断応力

取付ボルト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計算する。

##### a. せん断力

$$Q_{b i} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{n_i} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

##### b. せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

表 4-6 Uバンドに生じる荷重

対象機器	荷重 (N)		
	$F_x$	$F_y$	$F_z$
遠隔手動弁操作設備	726.4	$1.324 \times 10^3$	$1.324 \times 10^3$

表 4-7 基準フロアにおける最大応答加速度

据付高さ及び 基準床面高さ	応答加速度		
	水平*1		鉛直 UD
	NS	EW	
OP. 30.054 (OP. 33.200)	13.43	13.43	7.37

注記\*1：水平方向は NS, EW の包絡値を適用する。

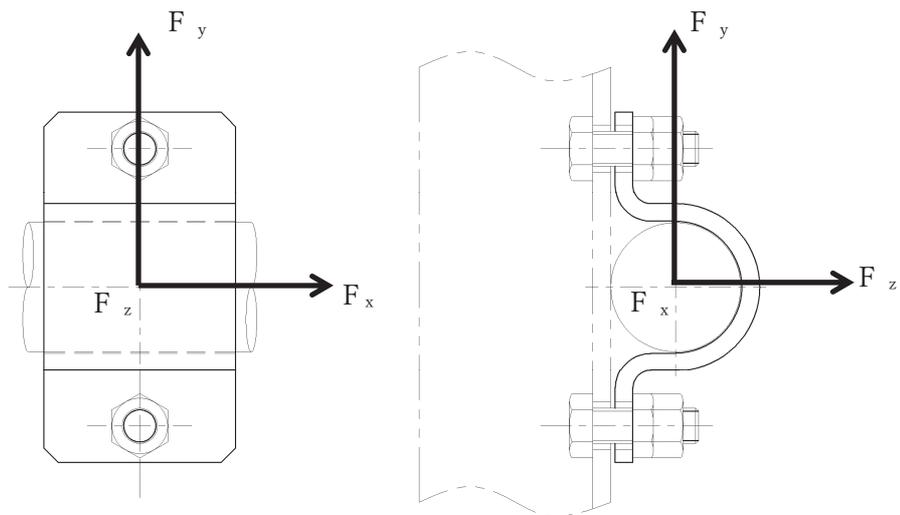


図 4-4 Uバンド部の概要

#### 4.6.2 基礎ボルト

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 $F_x$ 、せん断力 $F_y$ 、 $F_z$ 、ねじりモーメント $M_x$ 及び曲げモーメント $M_y$ 、 $M_z$ から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。遠隔手動弁操作設備の基礎ボルト部の概要を図4-5に示す。また、表4-8に要素端での反力及びモーメントを示す。

##### (1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図4-5に示すサポート材の軸力 $F_x$ とモーメント $M_y$ 、 $M_z$ を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

アンカープレートの中心に解析による計算で得られる軸力及びモーメントがかかるものとし、最も中心から遠い基礎ボルトが最大の引張力を受ける前提として、最大引張力から引張応力を計算する。

##### a. 引張力

$$F_{b i} = \frac{|F_x|}{n_{f i}} + P_{1 \max} + P_{2 \max} \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

ここで、

$$P_{1 \max} = M_y / B_p / n_{f i}$$

$$P_{2 \max} = M_z / B_p / n_{f i}$$

##### b. 引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

##### (2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、図4-5に示すサポート材の軸力 $F_y$ 、 $F_z$ とモーメント $M_x$ を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

##### a. せん断力

$$Q_{b i} = \frac{\sqrt{(F_y^2 + F_z^2)}}{n_i} + Q_{\max} \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$

ここで、

$$Q_{\max} = M_x / (B_p / \sqrt{2}) / n_i$$

##### b. せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{A_{b i}} \dots \dots \dots (4.6.2.4)$$

表 4-8 解析で得られる要素端での反力，モーメント（基礎ボルト）

対象機器	反力 (N)			モーメント (N・m)		
	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
遠隔手動弁操作 設備	0.0	$1.191 \times 10^3$	$2.172 \times 10^3$	263.2	$1.570 \times 10^3$	861.2

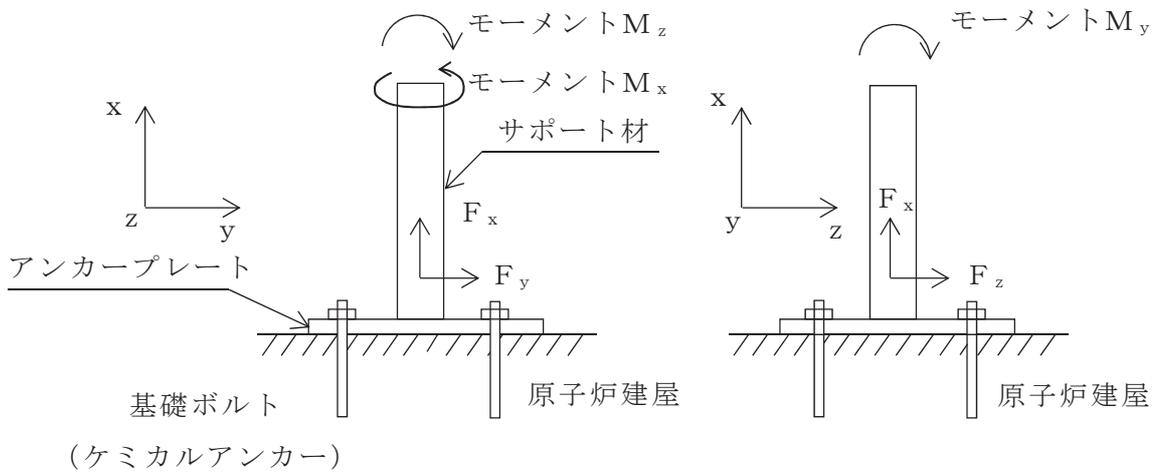


図 4-5 基礎ボルト部の概要

#### 4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件を、本計算書の【遠隔手動弁操作設備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 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1項で求めた取付ボルトの引張応力 $\sigma_b$ 及び4.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 $\sigma_b$ が、次式より求めた許容引張応力 $f_{t\ s\ i}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t\ o\ i}$ は下表による。

$$f_{t\ s\ i} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t\ o\ i} - 1.6 \cdot \tau_{b\ i}, f_{t\ o\ i}] \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{b\ i}$ は、せん断力のみを受ける取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力 $f_{s\ b\ i}$ 以下であること。ただし、 $f_{s\ b\ i}$ 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
許容引張応力 $f_{t\ o\ i}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s\ b\ i}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 機能維持評価

### 5.1 動的機能維持評価方法

遠隔手動弁操作設備の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震時の応答加速度が、動的機能維持確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

なお、機能維持評価用加速度は、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、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

遠隔手動弁操作設備が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない設備であることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を動的機能確認済加速度とする。

#### 5.1.1 機能確認済加速度

遠隔手動弁操作設備の機能確認済加速度として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該機器が設置される床における加速度以上での連続正弦波または、当該機器が設置される床における設計用床応答曲線を包絡する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加速度を用いる。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
貫通シャフト	水平	
	鉛直	
中間ギア	水平	
	鉛直	
L型ジョイント	水平	
	鉛直	
フレキシブルシャフト連結部	水平	
	鉛直	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

遠隔手動弁操作設備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下回り，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。

【遠隔手動弁操作設備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

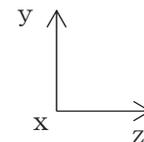
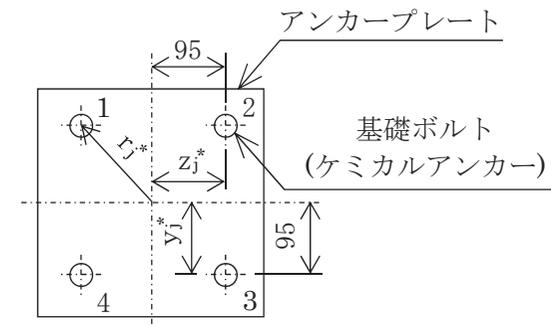
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
遠隔手動弁操作設備	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 OP. 30.054 (OP. 33.200*1)	0.044	0.050 以下	—	—	C <sub>H</sub> =2.65	C <sub>V</sub> =1.77	66

注記\*1：基準床レベルを示す

1.2 機器要目

d <sub>1</sub> (基礎ボルト) (mm)	A b <sub>1</sub> (基礎ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub> (基礎ボルト) (本)	y <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	z <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	r <sub>1,2,3,4</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (取付ボルト) (mm)	A b <sub>2</sub> (取付ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n <sub>2</sub> (取付ボルト) (本)
16 (M16)	201.1	4	95	95	134.4	12 (M12)	113.1	2

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	225	385	225	269
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	225	385	225	269



注記\*：jは基礎ボルト番号を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
			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>	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>	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>
基礎ボルト	1202	1299	—	0.000	—	1.191×10 <sup>3</sup>	—	2.172×10 <sup>3</sup>

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 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

部材	要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
			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>	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>	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>
基礎ボルト	1202	1299	—	263.2	—	1.570×10 <sup>3</sup>	—	861.2

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 取付ボルト及び基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	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>	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>
基礎ボルト ( i = 1 )	—	6.398×10 <sup>3</sup>	—	1.109×10 <sup>3</sup>
取付ボルト ( i = 2 )	—	662.1	—	755.1

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.044

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	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>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ( i = 1 )	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=32$	$f_{ts}=201^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb}=155$
取付ボルト ( i = 2 )	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts}=201^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb}=155$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.3 動的機能の評価結果

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

		評価用加速度*	機能確認済加速度
遠隔手動弁操作設備 (貫通シャフト)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	
遠隔手動弁操作設備 (中間ギア)	水平方向	7.1	
	鉛直方向	5.8	
遠隔手動弁操作設備 (L型ジョイント)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト連結部)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

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は全て機能維持確認済み加速度以下である。