

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-009-41
提出年月日	2023年2月7日

VI-2-9-4-7-1-4 遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-9-4-7-1-4 R0

2023年2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	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
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	18
4.5	設計用地震力	19
4.6	計算方法	20
4.7	計算条件	24
4.8	応力の評価	24
5.	機能維持評価	25
5.1	動的機能維持評価方法	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

## 1. 概要

本計算書は、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及び機能維持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、動的機能を維持でき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、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、L型ジョイン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物の床又は壁に固定される。L型ジョイントは対象弁に固定される。中間ギアは貫通シャフトに固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>フレキシブルシャフトガイド</p> <p>貫通シャフト</p> <p>中間ギア</p> <p>カップリングユニット</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>L型ジョイント</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p style="text-align: center;">遠隔手動弁操作設備（その1）</p>

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物の床又は壁に固定される。L型ジョイントは対象弁に固定される。中間ギアは貫通シャフトに固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>フレキシブルシャフトガイド</p> <p>貫通シャフト</p> <p>中間ギア</p> <p>カップリングユニット</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>L型ジョイント</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p>遠隔手動弁操作設備（その2）</p>

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物の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>貫通シャフト</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>カップリングユニット</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p>遠隔手動弁操作設備 (その3)</p> <p>(単位: mm)</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物の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔操作装置（電動駆動）</p> <p>貫通シャフト</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>カップリングユニット</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p> <p style="text-align: center;">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、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、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。

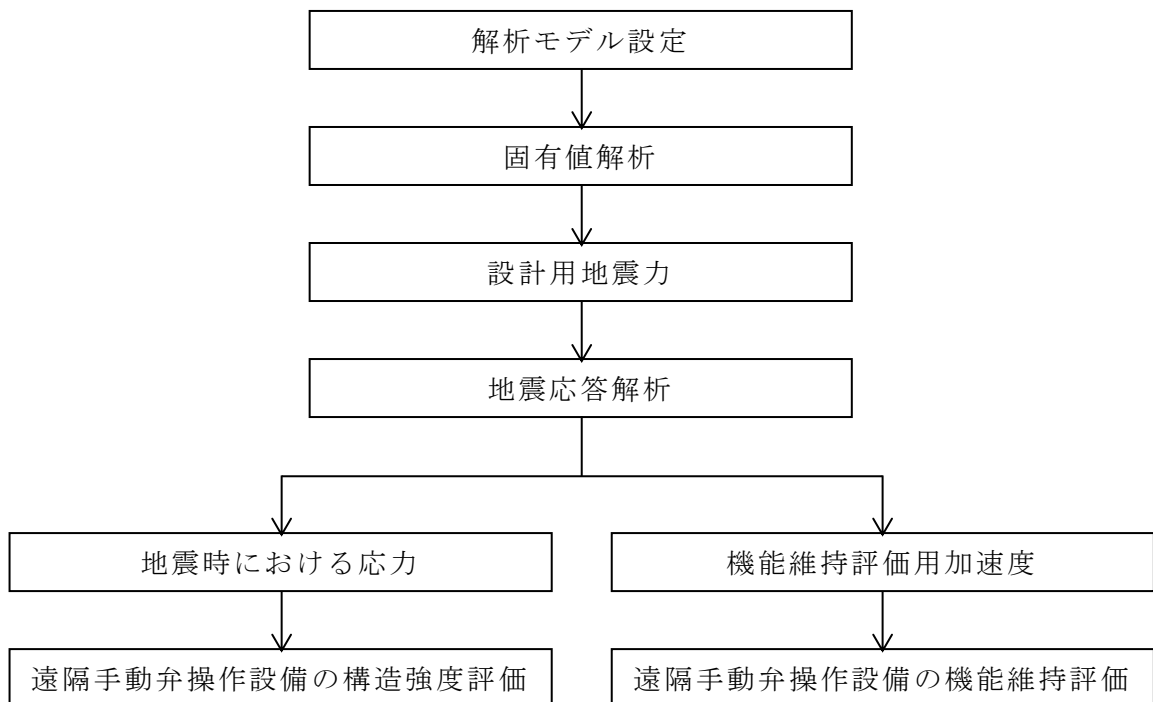


図2-1 遠隔手動弁操作設備の耐震評価フロー



### 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。

- ・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
$A_{b i}$	ボルトの軸断面積*	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*	mm
$B_P$	アンカープレート内のボルト間距離	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
$f_{s b i}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
$f_{t o i}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
$f_{t s i}$	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）	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
$F_{b i}$	ボルトに作用する引張力*	N
$P_{1 m a x}$	$M_y$ 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
$P_{2 m a x}$	$M_z$ 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
$Q_{m a x}$	$M_x$ 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*	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
$Q_{b i}$	ボルトに作用するせん断力*	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
$S_y(R T)$	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

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

注記\* :  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_{bi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $n_i$ ,  $\sigma_{bi}$ ,  $\tau_{bi}$   
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

精度は、有効桁数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 <sup>*1</sup>
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>*2</sup>	四捨五入 小数点以下第1位 <sup>*3</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	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*5</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3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

\*3：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。

\*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

\*5：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

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、遠隔手動弁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MV217-18, 23の支持構造物を代表とする。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。

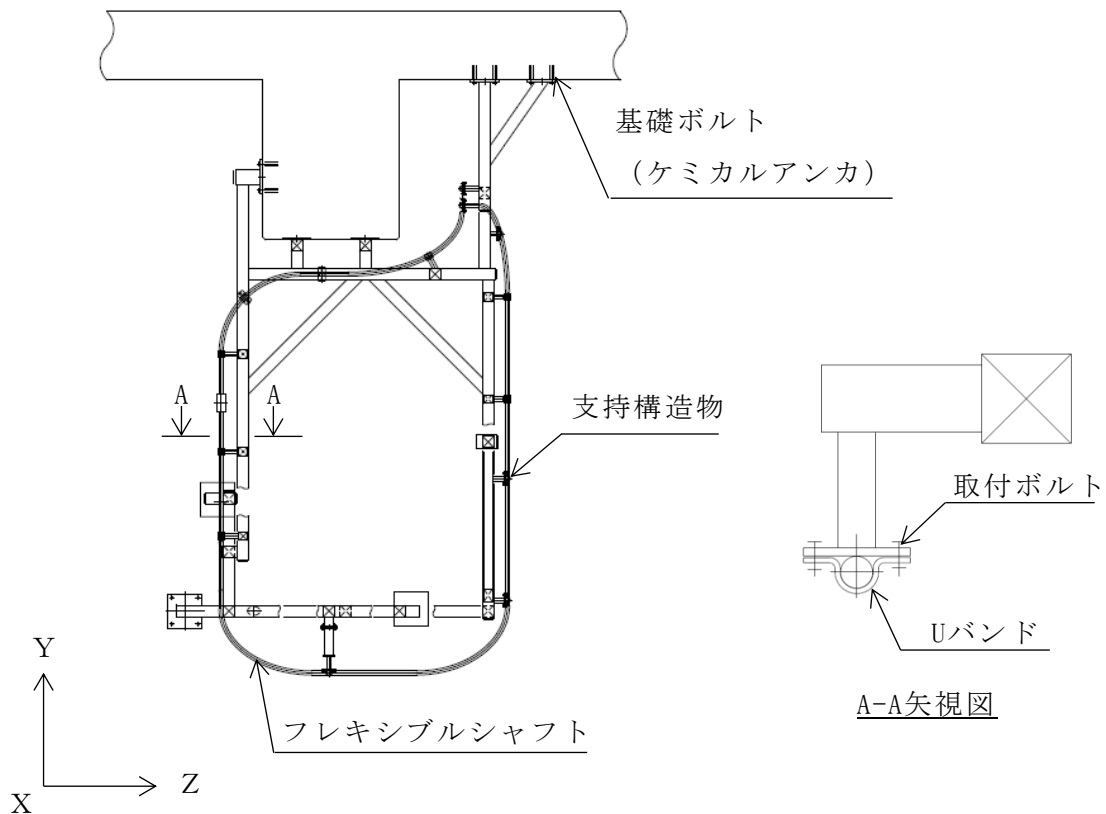


図3-1 評価部位 (取付ボルト, 基礎ボルト)

#### 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L型ジョイント及び中間ギアに接続する。
- (2) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、支持構造物は壁及び床に基礎ボルトにより固定する。
- (3) 地震力は、遠隔手動弁操作設備に対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による組合せには絶対値和を適用する。
- (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、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	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ( $V_A S$ 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：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」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（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	せん断
IV <sub>A</sub> S	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)
		取付ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	100°C	—	194
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	100°C	—	194	373	—

### 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及び図4-2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) 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。
- (2) 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スペクトルを包絡する加速度を加味した反力として与える。
- (3) 拘束条件として、建物躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (4) 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。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN」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、VI-5「計算プログラム(解析コード)の概要」に示す。

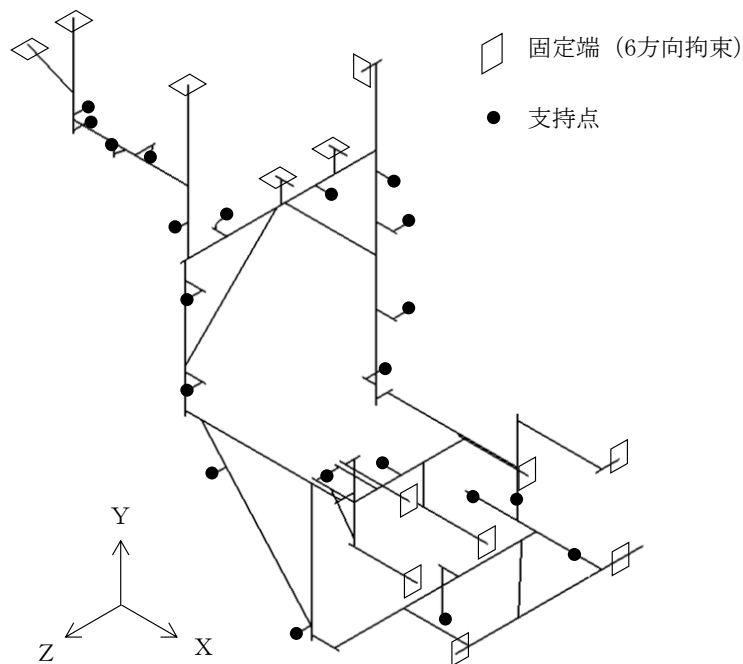


図4-1 解析モデル(全体構造)

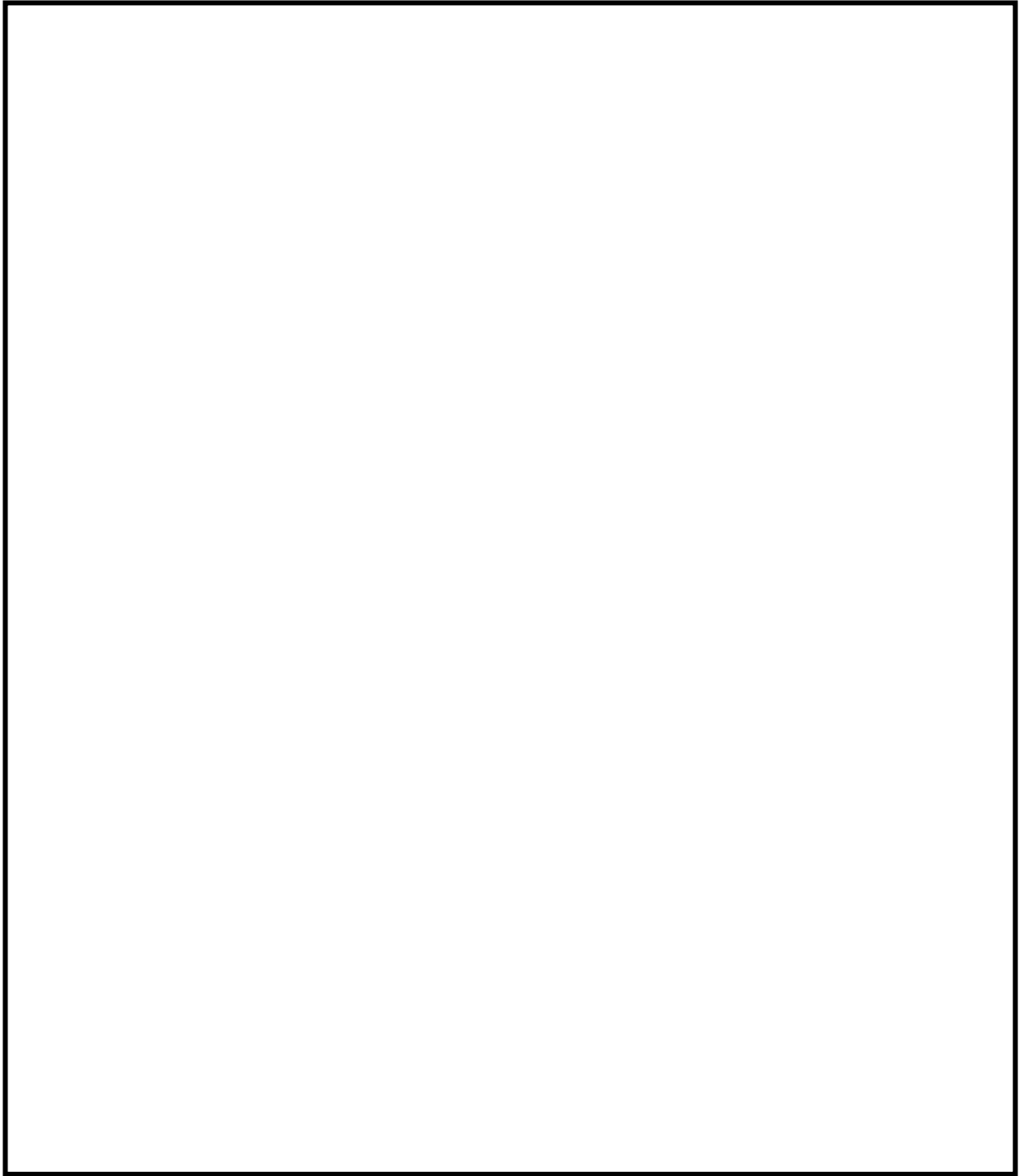


図4-2 解析モデル（主要寸法）

注：図中の寸法の単位はmmである。

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-4に、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	Z方向	
1次			—	—	—



図4-3 振動モード (1次モード )

#### 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、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
	X方向	Z方向		X方向	Z方向		X方向	Z方向	
原子炉建物 □									

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### 4.6.1.1 取付ボルトの応力

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ピッチ長さに相当する質量に対し、基準床レベルにおける床応答スペクトル（減衰 5%）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、基準床レベルにおける最大応答加速度を表4-7に示す。また、Uバンドの概要を図4-4に示す。

#### (1) 引張応力

取付ボルトに対する引張応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

$$F_{b2} = \frac{F_x}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

##### b. 引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_{bi}$  は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

#### (2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は、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

$$Q_{b2} = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_{b2}$  は、(4.6.1.1.3) 式による。

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	500	700	500

表4-7 基準床レベルにおける最大応答加速度 ( $\times 9.8m/s^2$ )

据付高さ及び 基準床面高さ (m)	応答加速度		
	水平方向		鉛直 方向
	X方向	Z方向	
	6.33	6.46	7.66

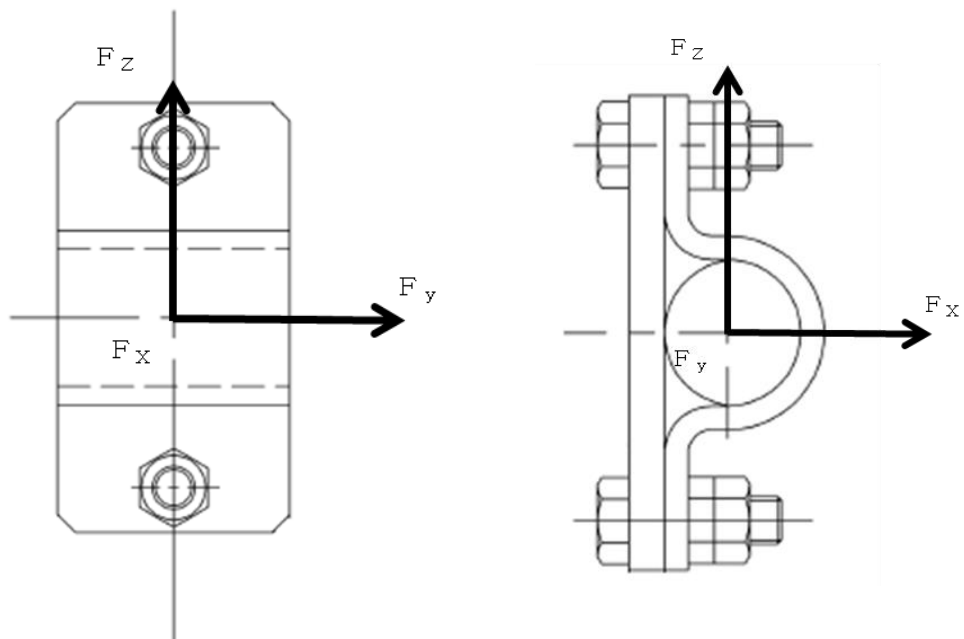


図4-4 Uバンド部の概要

## 4.6.1.2 基礎ボルトの応力

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  $M_y$ 、 $M_z$  から理論式により、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4-4に示すサポート材の軸力  $F_x$  と曲げモーメント  $M_y$ 、 $M_z$  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。

アンカープレートを中心に解析による計算で得られる軸力及び曲げ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

$$F_{b1} = \frac{|F_x|}{n_1} + P_{1max} + P_{2max} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

ここで、

$$P_{1max} = M_y / B_P / n_f$$

$$P_{2max} = M_z / B_P / n_f$$

## b. 引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_{bi}$  は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

## (2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、図4-5に示すサポート材のせん断力  $F_y$ 、 $F_z$  とねじりモーメント  $M_x$  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

$$Q_{b1} = \frac{\sqrt{(F_y^2 + F_z^2)}}{n_1} + Q_{max} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$



ここで、

$$Q_{max} = M_x / (B_p / \sqrt{2}) / n_1$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_{b1}$  は、(4.6.1.2.3) 式による。

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	$1.085 \times 10^4$	$5.544 \times 10^3$	$2.809 \times 10^3$	149.1	$1.210 \times 10^3$	$2.186 \times 10^3$

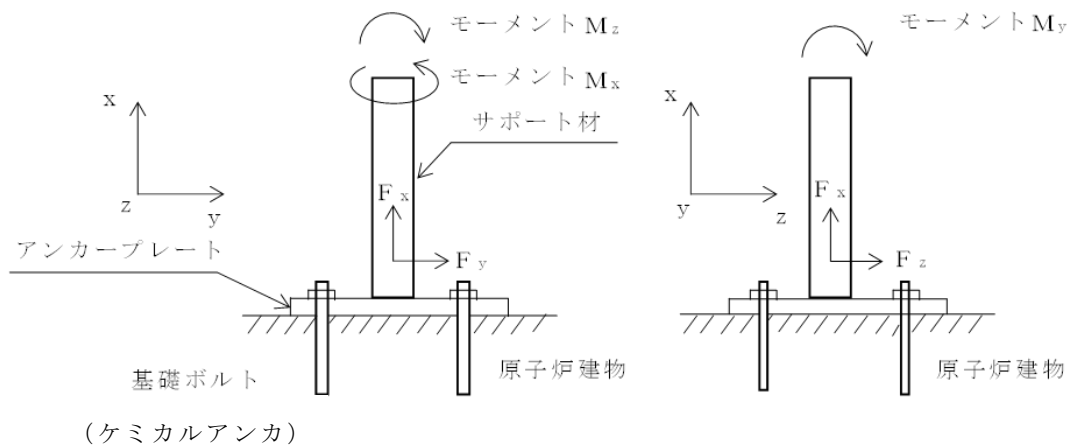


図4-5 基礎ボルト部の概要

#### 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。

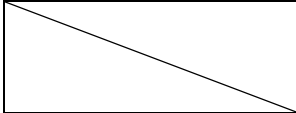
#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.1項で求めた取付ボルトの引張応力 $\sigma_{b1}$ 及び4.6.1.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 $\sigma_{b2}$ が、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、 $f_{toi}$ は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{bi}$ 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 $f_{sbi}$ 以下であること。ただし、 $f_{toi}$ 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 $f_{toi}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sbi}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 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、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、機能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。

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  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。なお、L型ジョイントは弁に直接取り付くことから、当該弁を含む配管モデルの地震応答解析から得られた当該弁の応答加速度を機能維持評価用加速度とする。

遠隔手動弁操作設備が、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による加振試験において、動的機能の健全性を確認した機能確認済加速度を適用する。

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

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	

## 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。

【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 <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	
			X方向	Z方向		X方向	Z方向		X方向	Z方向		
遠隔手動弁操作設備	常設/緩和	原子炉建物										100

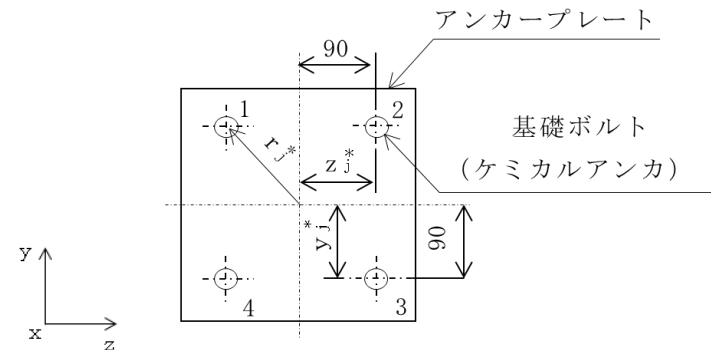
注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）

1.2 機器要目

d <sub>1</sub> (基礎ボルト) (mm)	A <sub>b1</sub> (基礎ボルト) (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub> (基礎ボルト) (本)	n <sub>f</sub> (本)	B <sub>p</sub> (mm)	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 <sub>b2</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	2	180	90	90	127.3	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	194 (40mm<径≦100mm)	373	194	232
取付ボルト	SS400	194 (40mm<径≦100mm)	373	194	232



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)

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>
1	1	—	1.085×10 <sup>4</sup>	—	5.544×10 <sup>3</sup>	—	2.809×10 <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)

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>
1	1	—	149.1	—	1.210×10 <sup>3</sup>	—	2.186×10 <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。

## 1.3.3 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>b i</sub>		Q <sub>b i</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)	—	1.214×10 <sup>4</sup>	—	1.847×10 <sup>3</sup>
取付ボルト (i = 2)	—	250	—	430.1

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		

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	—	—	$\sigma_{b1}=61$	$f_{ts}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb}=133$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=3$	$f_{ts}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb}=133$

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

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度	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	1.46 <sup>*1</sup>		
	鉛直方向	1.51 <sup>*1</sup>		
遠隔手動弁操作設備 (中間ギア)	水平方向	1.46 <sup>*1</sup>		
	鉛直方向	1.51 <sup>*1</sup>		
遠隔手動弁操作設備 (L型ジョイント)	水平方向	5.10 <sup>*2</sup>		
	鉛直方向	5.30 <sup>*2</sup>		
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	1.46 <sup>*1</sup>		
	鉛直方向	1.51 <sup>*1</sup>		

注記\*1：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度

\*2：L型ジョイントは弁に直接取り付くことから、当該弁を含む配管モデルの地震応答解析から得られた当該弁の応答加速度を機能維持評価用加速度とする。  
機能維持評価用加速度はすべて機能維持確認済加速度以下である。