

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-595 改0
提出年月日	平成30年6月20日

V-2-10-1-7-17 常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要 .....	1
2. 基本方針 .....	1
2.1 構造の説明 .....	1
2.2 評価方針 .....	2
3. 耐震評価箇所.....	3
4. 地震応答解析及び応力評価.....	4
4.1 基本方針 .....	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力.....	4
4.3 設計用地震力.....	7
4.4 解析モデル及び諸元.....	8
4.5 固有値解析 .....	9
4.6 応力評価方法.....	11
4.7 応力評価条件.....	17
5. 機能維持評価.....	18
5.1 機能維持評価方法.....	18
6. 評価結果 .....	19
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果.....	19

1. 概要

本資料は、「V-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、常設代替高圧電源装置遠隔操作盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は地震応答解析及び応力評価並びに機能維持評価により行う。

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤は、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、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」の「3. 電気計測制御装置」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置 遠隔操作盤	直立形	器具は器具取付板及びフレームに固定する。器具取付板はボルト及び溶接にてフレームに固定する。フレームは盤取付ボルトにて据付架台に固定する。据付架台は据付ボルトにて床面に据え付ける。	

## 2.2 評価方針

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の応力評価は、「V-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 構造の説明」にて示す常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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。

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

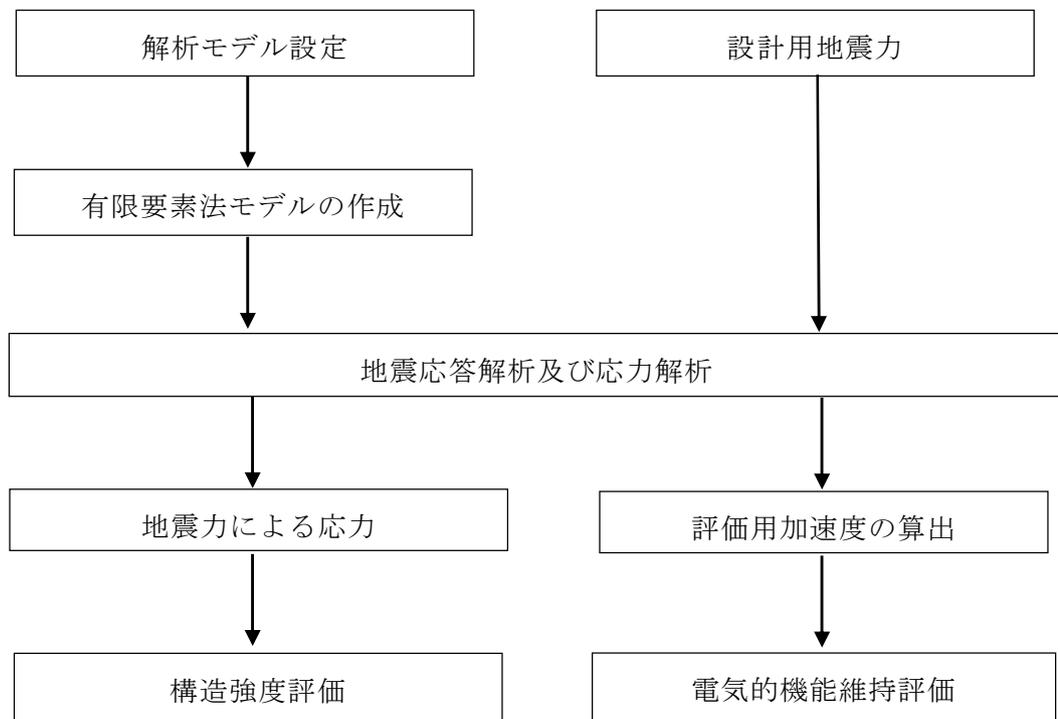


図 2-1 常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の耐震評価フロー

### 3. 耐震評価箇所

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の耐震評価は，耐震評価上厳しくなるフレーム，器具取付板，据付架台，盤取付ボルト及び据付ボルトを選定して実施する。

#### 4. 地震応答解析及び応力評価

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の固有振動数、応力及び荷重を算定するための地震応答解析について以下に示す。

##### 4.1 基本方針

- (1) 盤を構成する鋼材を他プラントにて実績のあるはり要素、鋼板及び架台をシェル要素としてモデル化した3次元FEMモデルによる固有値解析を行い、固有振動数が30Hz以上である場合は最大床応答加速度の1.2倍を用いた静解析を、30Hz未満である場合はスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) 取付器具は、取付位置に質量要素として付加する。
- (3) 解析コードはMSC NASTRAN Ver. 2008.0.4を使用する。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-1 計算機プログラム(解析コード)の概要・MSC NASTRAN」に示す。
- (4) 拘束条件は据付ボルトで並進3方向を固定とする。なお、据付ボルト部は剛体として評価する。
- (5) 許容応力についてJ S M E S N C 1-2005/2007の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (6) 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

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤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

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の許容応力を表4-2に示す。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の使用材料の許容応力のうち、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
非常用電源設備	その他	常設代替高圧電源装置 遠隔操作盤	常設耐震／防止 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（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト以外)				許容限界*2, *3 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> * (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)	1.5・f <sub>s</sub> * (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)	1.5・f <sub>c</sub> * (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)	1.5・f <sub>b</sub> * (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)	1.5・f <sub>t</sub> * (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)	1.5・f <sub>s</sub> * (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)
V <sub>A</sub> S						

注記 \*1:「鋼構造設計基準 S I 単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

\*2: 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。

\*3: 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（重大事故等対処設備）

部位	材質	雰囲気 温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	摘要
フレーム 器具取付板			245	400	280	—
据付架台			245	400	280	
			235	400	280	
盤取付ボルト			245	400	280	呼径 M12
据付ボルト					呼径 M16	

### 4.3 設計用地震力

耐震計算における入力地震力には、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表 4-4 にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」表 3-1 に記載の減衰定数を用いる。

表 4-4 設計用地震力

設置場所 及び 床面高さ	設計用床応答曲線			備 考
	建屋及び高さ	方向	減衰定数*1 (%)	
		水平	4.0	水平方向は基準地震動 $S_s^{*2}$ の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は基準地震動 $S_s^{*2}$ の包絡曲線を用いる。
		鉛直	1.0	

注記 \*1 : 「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づく。

\*2 :  $S_s$ -D1,  $S_s$ -11,  $S_s$ -12,  $S_s$ -13,  $S_s$ -14,  $S_s$ -21,  $S_s$ -22,  $S_s$ -31

#### 4.4 解析モデル及び諸元

解析モデルは、盤を構成する鋼材をはり要素，鋼板及び架台をシェル要素としてモデル化した 3次元 FEM モデルである。解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの諸元を表 4-5 に示す。

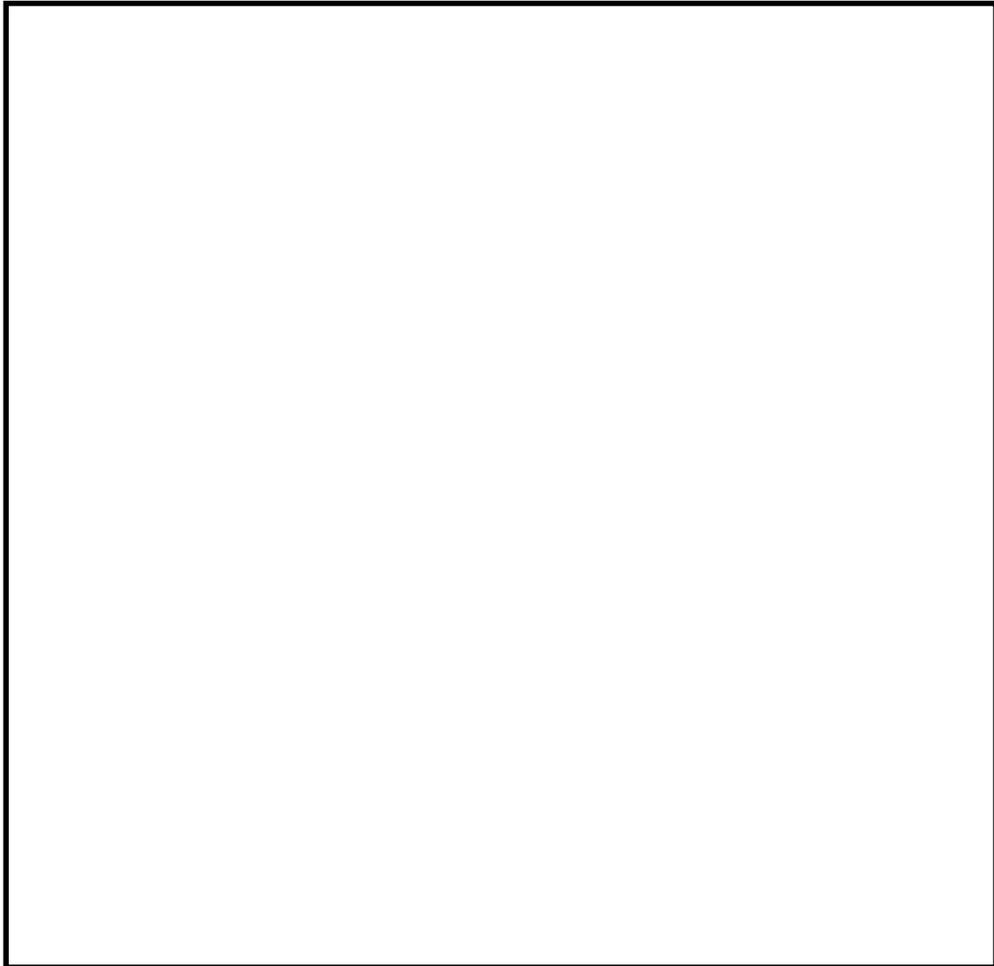


図 4-1 解析モデル

表 4-5 解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
温度条件(雰囲気温度)	T	℃	<input type="text"/>
縦弾性係数	E	MPa	$2.02 \times 10^5$
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>
寸法	—	—	図 4-2

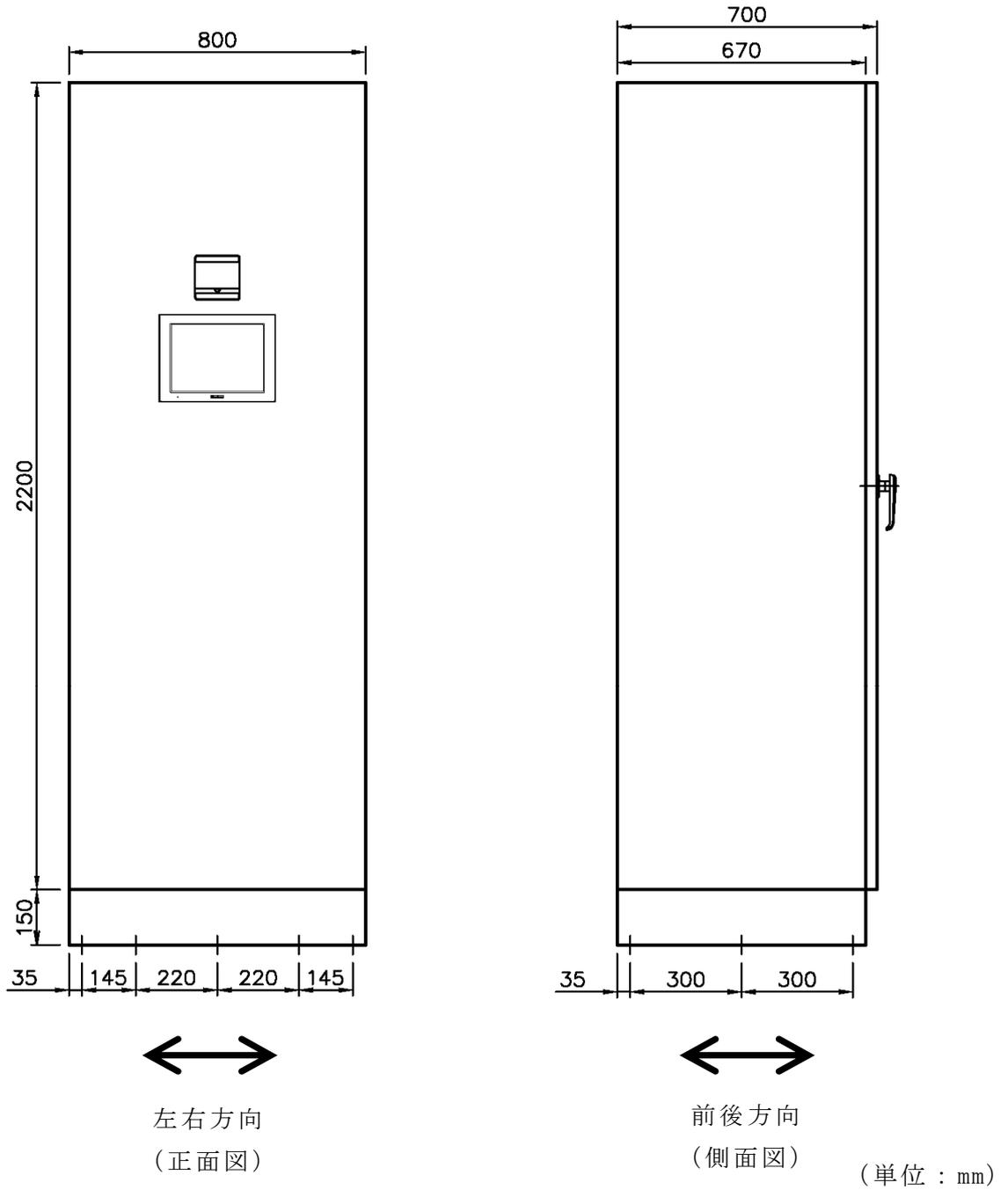


图 4-2 常設代替高压電源装置遠隔操作盤 外形图

#### 4.5 固有値解析

固有振動数の計算結果を表 4-6 に、振動モード図を図 4-3 に示す。

表 4-6 固有振動数

振動次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越相当 部材
		X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	32.3	$-4.40 \times 10^{-1}$	$-1.44 \times 10^{-3}$	$-3.20 \times 10^{-5}$	盤全体



図 4-3 振動モード図 (1 次 32.3 Hz)

#### 4.6 応力評価方法

##### 4.6.1 器具取付板及び据付架台の応力計算式

FEM解析の結果から得られる器具取付板及び据付架台部分のシェル要素の応力成分を用いて、以下の式により最大の組合せ応力を算出する。また、最大応力発生部位を図4-4に示す。

応力の種類	単位	応力計算式
組合せ	MPa	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$

ここで、

$\sigma_x, \sigma_y$  : 膜+曲げ応力 (MPa)

$\tau_{xy}$  : せん断応力 (MPa)

##### 4.6.2 フレームの応力計算式

FEM解析の結果から得られるフレーム部分のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を算出する。また、最大応力発生部位を図4-4に示す。

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 $\sigma_t$	MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 $\sigma_c$	MPa	$\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 $\sigma_b$	MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 $\tau$	MPa	$\frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{M_x}{Z_p}$
組合せ	引張+曲げ	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 \cdot f_t^*}$
	圧縮+曲げ	$\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_b}{1.5 \cdot f_b^*}$

ここで,

(左右+上下)

記号	説明	単位	値
$F_x$	はりに作用する引張力	N	$2.33 \times 10^3$
	はりに作用する圧縮力	N	$3.41 \times 10^3$
$F_y$	はりに作用する Y 軸方向のせん断力	N	$3.11 \times 10^2$
$F_z$	はりに作用する Z 軸方向のせん断力	N	$4.35 \times 10^3$
$M_y$	はりに作用する Y 軸周りの曲げモーメント	N・mm	$1.98 \times 10^5$
$M_z$	はりに作用する Z 軸周りの曲げモーメント	N・mm	$2.75 \times 10^4$
$M_x$	はりに作用するねじりモーメント	N・mm	$7.95 \times 10^3$
A	引張力が作用するはりの断面積	mm <sup>2</sup>	$5.64 \times 10^2$
	圧縮力が作用するはりの断面積	mm <sup>2</sup>	$8.73 \times 10^2$
$A_y$	はりの有効せん断断面積 (Y 軸方向)	mm <sup>2</sup>	$4.50 \times 10^2$
$A_z$	はりの有効せん断断面積 (Z 軸方向)	mm <sup>2</sup>	$4.50 \times 10^2$
$Z_y$	はりの Y 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>	$8.47 \times 10^3$
$Z_z$	はりの Z 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>	$8.47 \times 10^3$
$Z_p$	はりのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>	$1.72 \times 10^3$

(前後+上下)

記号	説明	単位	値
$F_x$	はりに作用する引張力	N	$4.26 \times 10^3$
	はりに作用する圧縮力	N	$4.43 \times 10^3$
$F_y$	はりに作用する Y 軸方向のせん断力	N	$4.65 \times 10^2$
$F_z$	はりに作用する Z 軸方向のせん断力	N	$3.76 \times 10^3$
$M_y$	はりに作用する Y 軸周りの曲げモーメント	N・mm	$1.59 \times 10^5$
$M_z$	はりに作用する Z 軸周りの曲げモーメント	N・mm	$4.27 \times 10^4$
$M_x$	はりに作用するねじりモーメント	N・mm	$1.84 \times 10^4$
A	引張力が作用するはりの断面積	mm <sup>2</sup>	$8.73 \times 10^2$
	圧縮力が作用するはりの断面積	mm <sup>2</sup>	$8.73 \times 10^2$
$A_y$	はりの有効せん断断面積 (Y 軸方向)	mm <sup>2</sup>	$4.50 \times 10^2$
$A_z$	はりの有効せん断断面積 (Z 軸方向)	mm <sup>2</sup>	$4.50 \times 10^2$
$Z_y$	はりの Y 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>	$8.47 \times 10^3$
$Z_z$	はりの Z 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>	$8.47 \times 10^3$
$Z_p$	はりのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>	$1.72 \times 10^3$

#### 4.6.3 盤取付ボルト及び据付ボルト

FEM解析の結果から得られる盤取付ボルト及び据付ボルト部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を算出する。また、最大応力発生部位を図4-4に示す。

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 $\sigma_b$	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 $\tau_b$	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

盤取付ボルト（左右+上下）

記号	説明	単位	値
$F_x$	盤取付ボルトに作用する引張力	N	$4.15 \times 10^3$
$F_y$	盤取付ボルトに作用する Y 軸方向のせん断力	N	$1.40 \times 10^3$
$F_z$	盤取付ボルトに作用する Z 軸方向のせん断力	N	$2.58 \times 10^3$
$A_b$	盤取付ボルトの断面積	mm <sup>2</sup>	$1.13 \times 10^2$

盤取付ボルト（前後+上下）

記号	説明	単位	値
$F_x$	盤取付ボルトに作用する引張力	N	$3.21 \times 10^3$
$F_y$	盤取付ボルトに作用する Y 軸方向のせん断力	N	$2.08 \times 10^3$
$F_z$	盤取付ボルトに作用する Z 軸方向のせん断力	N	$4.71 \times 10^2$
$A_b$	盤取付ボルトの断面積	mm <sup>2</sup>	$1.13 \times 10^2$

据付ボルト（左右+上下）

記号	説明	単位	値
$F_x$	据付ボルトに作用する引張力	N	$5.51 \times 10^3$
$F_y$	据付ボルトに作用する Y 軸方向のせん断力	N	$2.21 \times 10^3$
$F_z$	据付ボルトに作用する Z 軸方向のせん断力	N	$2.32 \times 10^2$
$A_b$	据付ボルトの断面積	mm <sup>2</sup>	$2.01 \times 10^2$

据付ボルト（前後+上下）

記号	説明	単位	値
$F_x$	据付ボルトに作用する引張力	N	$4.28 \times 10^3$
$F_y$	据付ボルトに作用する Y 軸方向のせん断力	N	$7.77 \times 10^2$
$F_z$	据付ボルトに作用する Z 軸方向のせん断力	N	$1.95 \times 10^3$
$A_b$	据付ボルトの断面積	mm <sup>2</sup>	$2.01 \times 10^2$

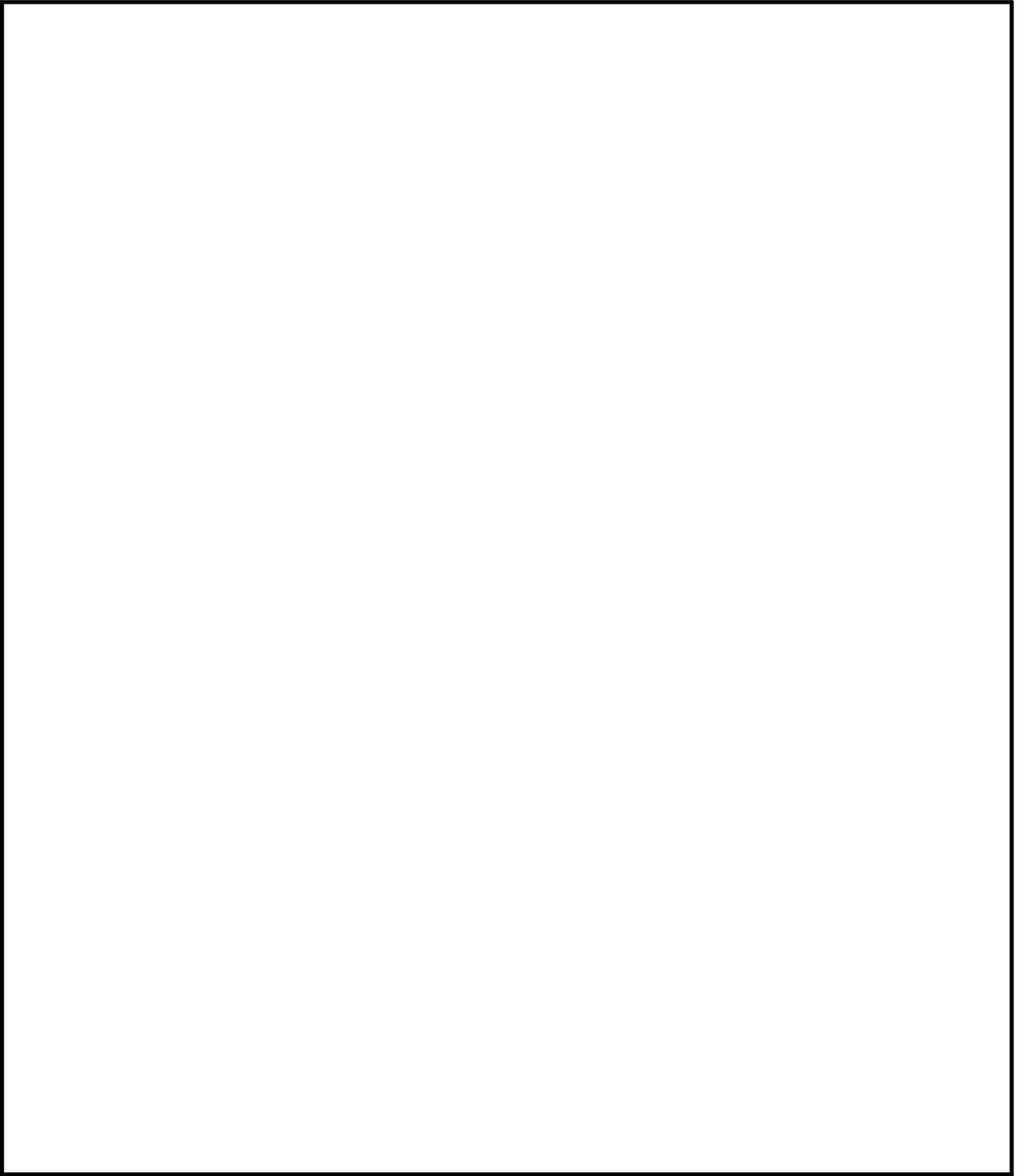


图 4-4 最大応力発生部位

#### 4.7 応力評価条件

##### (1) フレーム，器具取付板及び据付架台

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
寸法	—	—	図4-2

##### (2) 盤取付ボルト

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS400
ボルト呼び径	$d$	mm	12

##### (3) 据付ボルト

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400相当
ボルト呼び径	$d$	mm	16

##### (4) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度* <sup>1</sup> ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )
水平	$\alpha_H$	1.34
鉛直	$\alpha_V$	1.01

注記 \*1：常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の固有振動数が 30 Hz 以上であることを確認したため，設計用加速度には最大床応答加速度の 1.2 倍を使用する。

## 5. 機能維持評価

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

### 5.1 機能維持評価方法

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の加振試験（掃引試験及び）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表5-1に示す。

なお、固有値解析結果より、常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の固有振動数が30 Hz以上であることを確認したため、評価用加速度には最大床応答加速度を使用する。

表5-1 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )
水平	10.0
鉛直	5.0

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

常設代替高圧電源装置遠隔操作盤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。発生値は評価基準値を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

基準地震動  $S_s$  に対する応力評価結果を表 6-1 に示す。また、電氣的機能維持確認結果を表 6-2 に示す。

表 6-1 基準地震動  $S_s$  による評価結果 ( $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ ) (1/2)

評価対象設備		評価部位	応力分類	加速度の方向	発生値	評価基準値	
					MPa	MPa	
非常用電源設備	その他	常設代替高圧電源装置 遠隔操作盤	フレーム	引張応力	左右+上下	5	279
					前後+上下	5	
				せん断応力	左右+上下	15	160
					前後+上下	21	
				圧縮応力	左右+上下	4	46
					前後+上下	6	
			曲げ応力	左右+上下	27	279	
				前後+上下	24		
			組合せ 応力	引張+ 曲げ*1	左右+上下	0.10*3	1*3
					前後+上下	0.09*3	
				圧縮+ 曲げ*2	左右+上下	0.13*3	
					前後+上下	0.13*3	
			器具取付板 据付架台	組合せ	左右+上下	32	279
					前後+上下	34	

注記 \*1:  $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 \cdot f_t^*}$

\*2:  $\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_b}{1.5 \cdot f_b^*}$

\*3: 単位なし。

表 6-1 基準地震動  $S_s$  による評価結果 ( $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ ) (2/2)

評価対象設備			評価部位	応力分類	加速度の方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他	常設代替高圧電源装置 遠隔操作盤	盤取付 ボルト	引張応力	左右+上下	37	210
					前後+上下	29	
				せん断応力	左右+上下	26	160
					前後+上下	19	
				組合せ応力	左右+上下	37	210*
					前後+上下	29	
			据付ボルト	引張応力	左右+上下	28	210
					前後+上下	22	
				せん断応力	左右+上下	12	160
					前後+上下	11	
				組合せ応力	左右+上下	28	210*
					前後+上下	22	

注記 \* : 引張応力 ( $\sigma_b$ ) とせん断応力 ( $\tau_b$ ) との組合せ応力の評価基準値は,  $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b, 1.5 \cdot f_t^*)$  とする。

表 6-2 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処設備）

評価対象設備			機能確認済加速度との比較				
			加速度確認部位	水平加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		鉛直加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	
				評価用 加速度	機能確認済 加速度	評価用 加速度	機能確認済 加速度
非常用電源設備	その他	常設代替高圧電源装置 遠隔操作盤	器具取付位置	1.11	10.0	0.84	5.0

22 評価用加速度（1.0ZPA）は、すべて機能確認済加速度以下である。