

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-010-19 改 03
提出年月日	2023年3月3日

VI-2-10-1-2-3-2 ガスタービン発電機励磁装置及び保護継電装置
の耐震性についての計算書

2023年3月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 発電機制御盤	
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 構造計画	2
2.2.2 評価方針	4
2.2.3 適用規格・基準等	5
2.2.4 記号の説明	6
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	7
2.3 評価部位	8
2.4 固有値解析	9
2.4.1 固有値解析方法	9
2.4.2 解析モデル及び諸元	9
2.4.3 固有値解析結果	10
2.5 構造強度評価	11
2.5.1 構造強度評価方法	11
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
2.5.3 設計用地震力	14
2.5.4 計算方法	15
2.5.5 計算条件	18
2.5.6 応力の評価	18
2.6 機能維持評価	19
2.6.1 電氣的機能維持評価方法	19
2.7 評価結果	20
2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	20

3. 予備発電機制御盤	
3.1 概要	26
3.2 一般事項	26
3.2.1 構造計画	26
3.2.2 評価方針	28
3.2.3 適用規格・基準等	29
3.2.4 記号の説明	30
3.2.5 計算精度と数値の丸め方	31
3.3 評価部位	32
3.4 固有値解析	33
3.4.1 固有値解析方法	33
3.4.2 解析モデル及び諸元	33
3.4.3 固有値解析結果	34
3.5 構造強度評価	35
3.5.1 構造強度評価方法	35
3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	35
3.5.3 設計用地震力	38
3.5.4 計算方法	39
3.5.5 計算条件	42
3.5.6 応力の評価	42
3.6 機能維持評価	43
3.6.1 電氣的機能維持評価方法	43
3.7 評価結果	44
3.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	44

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、ガスタービン発電機励磁装置及び保護継電装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

ガスタービン発電機励磁装置及び保護継電装置は、発電機制御盤内に設置される。予備ガスタービン発電機励磁装置及び保護継電装置は、予備発電機制御盤に設置される。

「2. 発電機制御盤」においては、発電機制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明する。

「3. 予備発電機制御盤」においては、予備発電機制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明する。

発電機制御盤及び予備発電機制御盤は、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、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 発電機制御盤

2.1 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、発電機制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

発電機制御盤の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 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>発電機制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2.2 評価方針

発電機制御盤の応力評価は、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、「2.2.1 構造計画」にて示す発電機制御盤の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有値解析」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、「2.5 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、発電機制御盤の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.6 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「2.7 評価結果」に示す。

発電機制御盤の耐震評価フローを図 2-2-1 に示す。

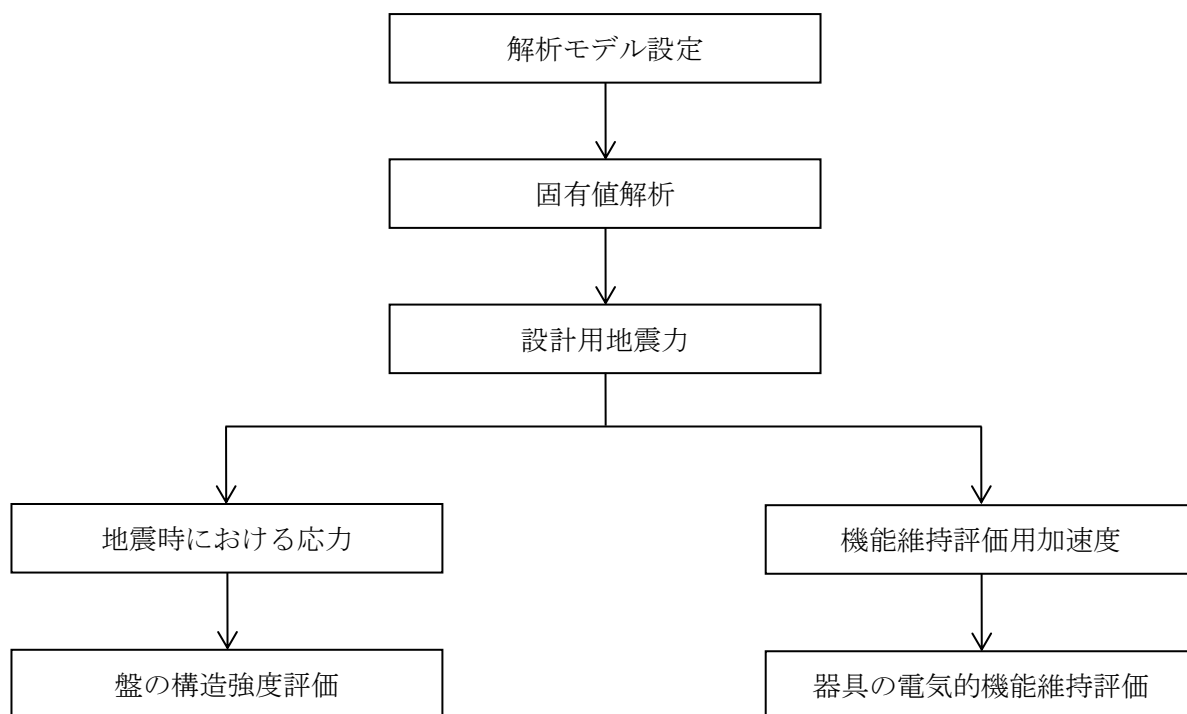


図2-2-1 発電機制御盤の耐震評価フロー

2.2.3 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 ・補一
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。)

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	取付ボルトの呼び径	mm
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-3133に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
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_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
$l_{1\alpha}$	転倒支点から取付ボルトまでの距離*1	mm
$l_{1\beta}$	転倒支点から取付ボルトまでの距離*2	mm
L_1	重心とボルト間の水平方向距離	mm
L_1'	重心とボルト間の水平方向距離	mm
m_1	盤の質量	kg
n	取付ボルトの本数	—
$n_{1\alpha}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*1	—
$n_{1\beta}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*2	—
Q_b	取付ボルト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℃における値	MPa
π	円周率	MPa
$\sigma_{1\alpha}$	取付ボルトに生じる引張応力*1	MPa
$\sigma_{1\beta}$	取付ボルトに生じる引張応力*2	MPa
τ_1	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*1: $\alpha = a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u,$
 v, w 長辺方向のボルト列を示す。

*2: $\beta = x, y, z$ 短辺方向のボルト列を示す。

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2-2 に示すとおりである。

表 2-2-2 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	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*2	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・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。

2.3 評価部位

発電機制御盤の耐震評価は、「2.5.1 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取付ボルトについて実施する。発電機制御盤の耐震評価部位については、表2-2-1の概略構造図に示す。

2.4 固有値解析

2.4.1 固有値解析方法

発電機制御盤の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 発電機制御盤は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元シェル及びはりモデルとして考える。

2.4.2 解析モデル及び諸元

発電機制御盤の解析モデルを図 2-4-1 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【発電機制御盤 (H21-P2900) 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) 盤を構成する鋼板をシェル要素、鋼材をはり要素でモデル化する。
- (2) 取付器具の質量は筐体との取付ボルト位置に付加し、扉の質量は筐体のヒンジ位置に付加する。金具、ケーブル類の質量は等分布としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、基礎部を完全拘束とする。
- (4) 列盤間の連結部を剛結合とする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「MSC 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。

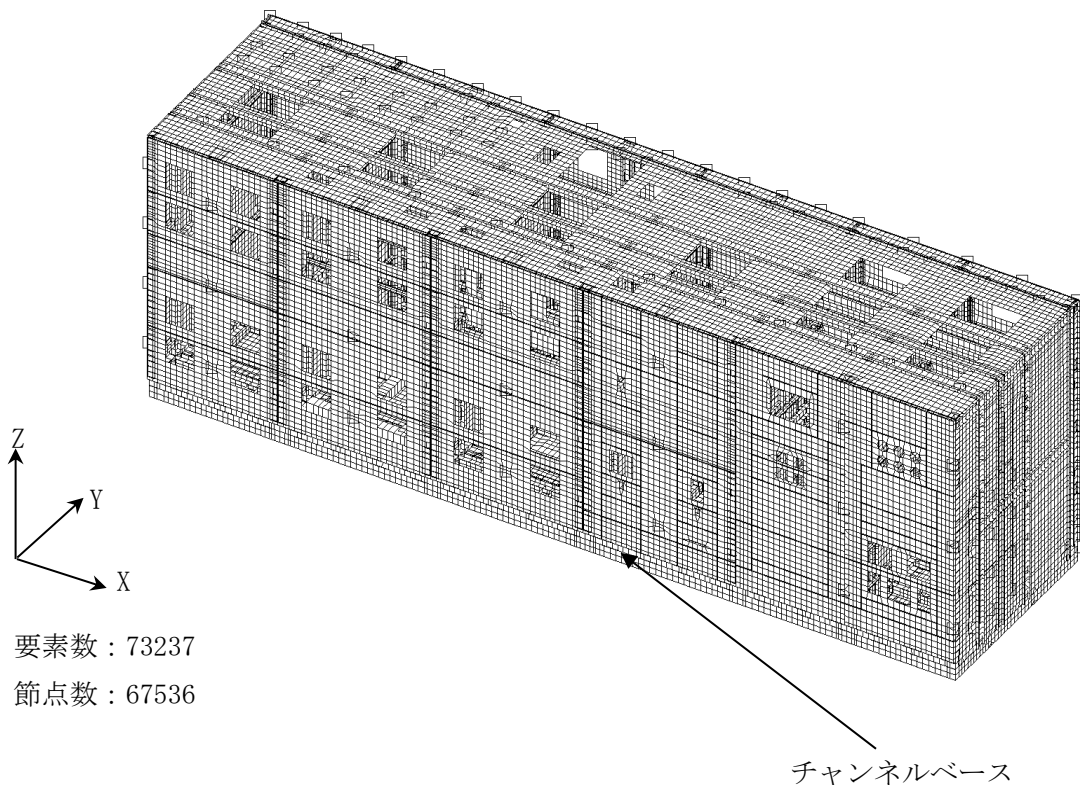


図 2-4-1 解析モデル

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-4-1 に、振動モードを図 2-4-2 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 2-4-1 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	Y方向	
1次	水平	0.039	—	—	—

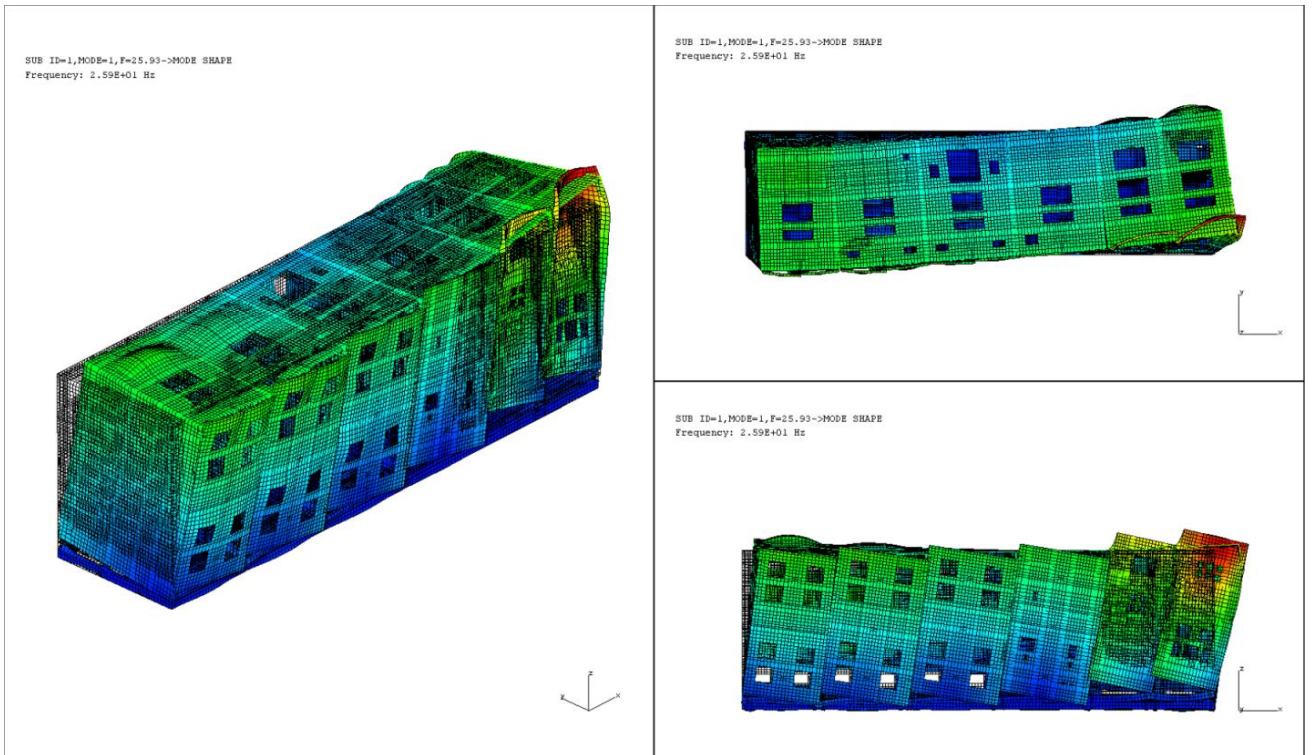


図 2-4-2 振動モード (水平 25.92 Hz)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 盤は基礎部で完全拘束とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値/発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

発電機制御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 2-5-1 に示す。

2.5.2.2 許容応力

発電機制御盤の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5-2 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

発電機制御盤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 2-5-3 に示す。

表 2-5-1 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
非常用 電源設備	非常用 発電装置	発電機制御盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVAS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 2-5-2 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*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	1.5・f _s *
VAS		

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 2-5-3 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-5-4 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 2-5-4 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
ガスタービン 発電機建物 EL 47.5* ¹	0.039	0.05 以下	—	—	C _H =1.71* ²	C _V =1.10* 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）

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

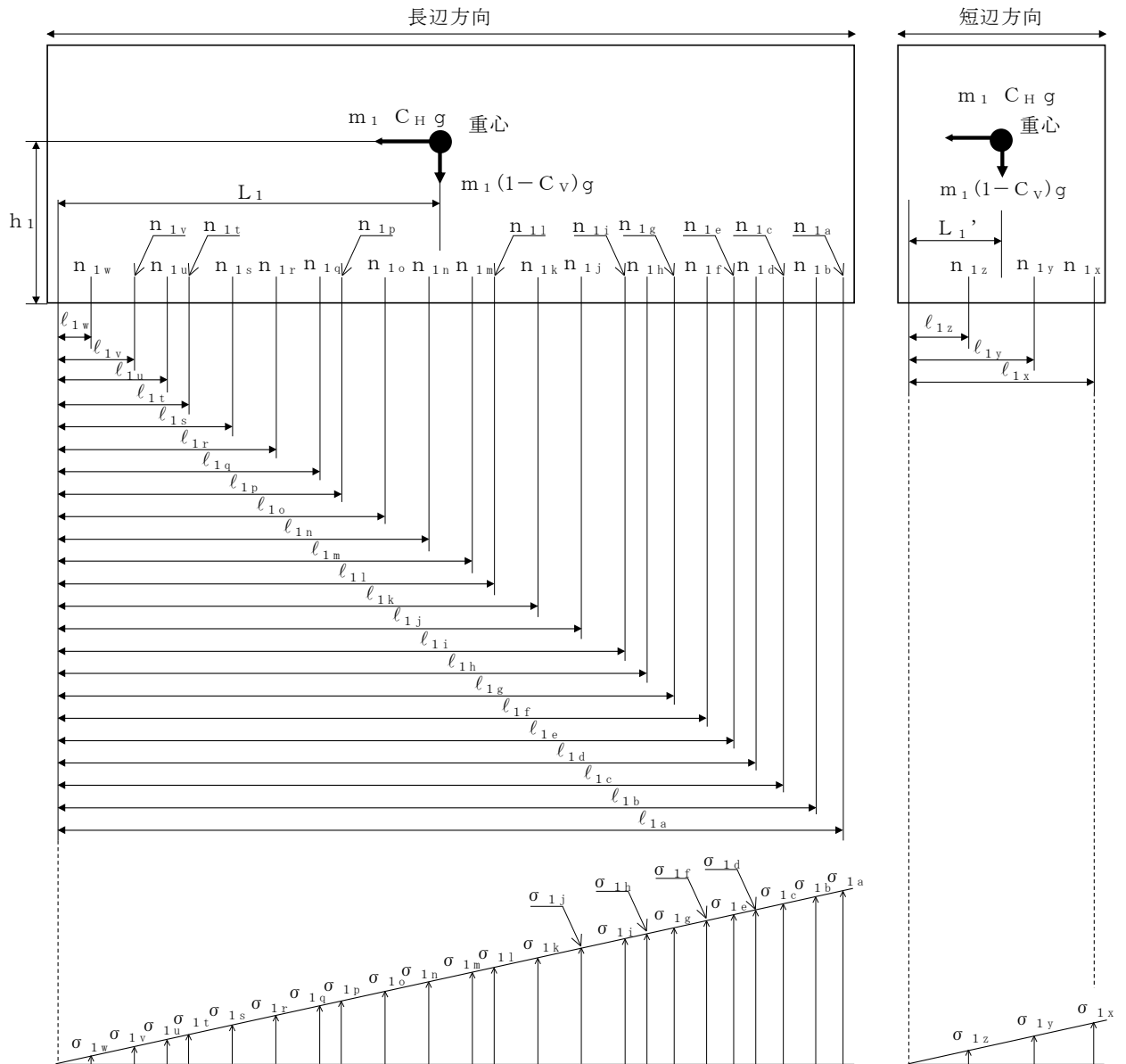


図2-5-1 取付ボルト配置概念図

(1) 長辺方向

地震時の引張応力は、ボルト端列を支点とし、各ボルト列応力が支点からの距離に比例するとして、モーメントのつり合い式より算出する。

$$\frac{\sigma_{1a}}{\ell_{1a}} = \frac{\sigma_{1b}}{\ell_{1b}} = \frac{\sigma_{1c}}{\ell_{1c}} = \dots = \frac{\sigma_{1w}}{\ell_{1w}} \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.1)$$

$$\begin{aligned} & (n_{1a} \cdot A_b) \sigma_{1a} \cdot \ell_{1a} + (n_{1b} \cdot A_b) \sigma_{1b} \cdot \ell_{1b} + (n_{1c} \cdot A_b) \sigma_{1c} \cdot \ell_{1c} + \dots \\ & + (n_{1v} \cdot A_b) \sigma_{1v} \cdot \ell_{1v} + (n_{1w} \cdot A_b) \sigma_{1w} \cdot \ell_{1w} \\ & = m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot L_1 \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.2) \end{aligned}$$

$$F_b = \frac{\ell_{1a} \cdot m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1\}}{(n_{1a} \cdot \ell_{1a}^2 + n_{1b} \cdot \ell_{1b}^2 + n_{1c} \cdot \ell_{1c}^2 + \dots + n_{1w} \cdot \ell_{1w}^2)} \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.3)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.4)$$

ここで、ボルトの断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.5)$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_b = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.6)$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.7)$$

(2) 短辺方向

長辺方向と同様にモーメントのつり合い式より算出する。

$$\begin{aligned} & (n_{1x} \cdot A_b) \sigma_{1x} \cdot \ell_{1x} + (n_{1y} \cdot A_b) \sigma_{1y} \cdot \ell_{1y} + (n_{1z} \cdot A_b) \sigma_{1z} \cdot \ell_{1z} \\ & = m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot L_1' \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.8) \end{aligned}$$

$$F_b = \frac{\ell_{1x} \cdot m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1'\}}{n_{1x} \cdot \ell_{1x}^2 + n_{1y} \cdot \ell_{1y}^2 + n_{1z} \cdot \ell_{1z}^2} \dots\dots (2.5.4.1.1.9)$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.10)$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_b = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.11)$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.12)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【発電機制御盤 (H21-P2900) 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。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_1 は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

発電機制御盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、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。

発電機制御盤に設置される器具の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、同形式の器具単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表2-6-1に示す。

表 2-6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
発電機制御盤 (H21-P2900)	水平	5.1
	鉛直	3.0

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

発電機制御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，電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-10-1-2-3-2 R0

【発電機制御盤（H21-P2900）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	
発電機制御盤 (H21-P2900)	常設耐震／防止 常設／緩和	ガスタービン発電機 建物 EL 47.5*1	0.039	0.05 以下	—	—	C _H =1.71*2	C _V =1.10*2	40

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）

1.2 機器要目

部材	m ₁ (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
取付ボルト	13100	1100	20 (M20)	314	72	235 (16mm<径≤40mm)	400

S2 補 VI-2-10-1-2-3-2 R0

部材	l_1 (mm)	L_1 又は L_1' (mm)	n_1	F (MPa)	F* (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
取付ボルト	下表に示す	918	下表に示す	—	280	—	短辺方向
	下表に示す	3675	下表に示す				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

取付ボルト (短辺方向)	l_{1x}	l_{1y}	l_{1z}
	1800	1125	475
	n_{1x}	n_{1y}	n_{1z}
	24	12	12

取付ボルト (長辺方向)	l_{1a}	l_{1b}	l_{1c}	l_{1d}	l_{1e}	l_{1f}	l_{1g}	l_{1h}	l_{1i}	l_{1j}	l_{1k}	l_{1l}	l_{1m}	l_{1n}	l_{1o}	l_{1p}
	7250	6900	6550	6200	6050	5635	5215	4800	4650	4235	3815	3400	3250	2835	2415	2000
	n_{1a}	n_{1b}	n_{1c}	n_{1d}	n_{1e}	n_{1f}	n_{1g}	n_{1h}	n_{1i}	n_{1j}	n_{1k}	n_{1l}	n_{1m}	n_{1n}	n_{1o}	n_{1p}
	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	2	4

取付ボルト (長辺方向)	l_{1q}	l_{1r}	l_{1s}	l_{1t}	l_{1u}	l_{1v}	l_{1w}
	1850	1570	1280	1000	850	570	280
	n_{1q}	n_{1r}	n_{1s}	n_{1t}	n_{1u}	n_{1v}	n_{1w}
	4	2	2	4	4	2	2

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	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
取付ボルト	—	4770	—	219679

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(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
取付ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_t = 16$	$f_{ts} = 210^*$
		せん断	—	—	$\tau_t = 10$	$f_{sb} = 161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

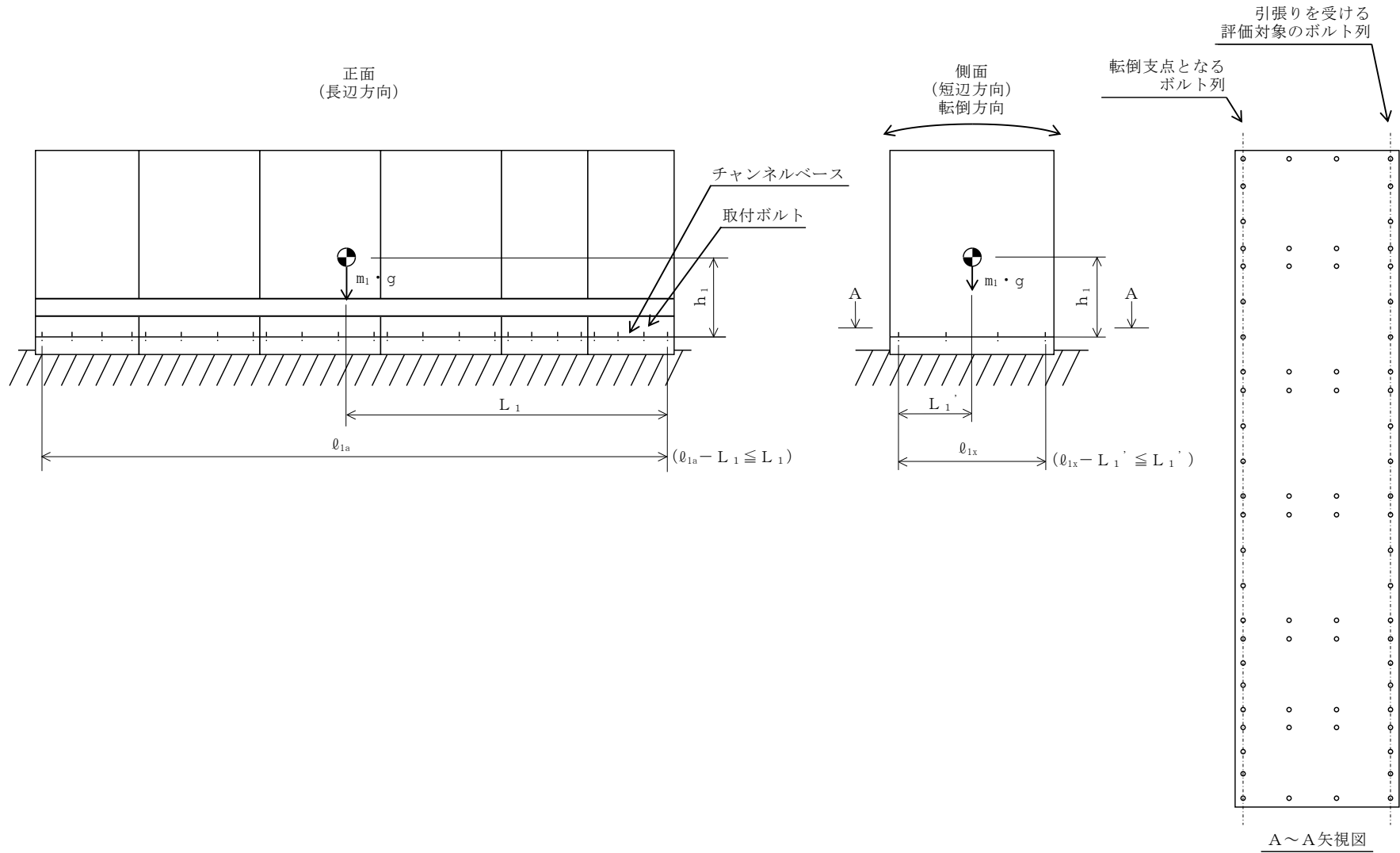
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
発電機制御盤 (H21-P2900)	水平方向	1.43	5.1
	鉛直方向	0.92	3.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて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
材質	—	—	SS400
質量	m	kg	13100
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	201667
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	73237*
節点数	—	個	67536*

注記* : 盤鋼材, チャンネルベースを含めた合計を示す。



3. 予備発電機制御盤

3.1 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、予備発電機制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

予備発電機制御盤の構造計画を表 3-2-1 に示す。

表 3-2-1 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>予備発電機制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p>

(単位：mm)

3.2.2 評価方針

予備発電機制御盤の応力評価は、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、「3.2.1 構造計画」にて示す予備発電機制御盤の部位を踏まえ「3.3 評価部位」にて設定する箇所において、「3.4 固有値解析」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、「3.5 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、予備発電機制御盤の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「3.6 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「3.7 評価結果」に示す。

予備発電機制御盤の耐震評価フローを図3-2-1に示す。

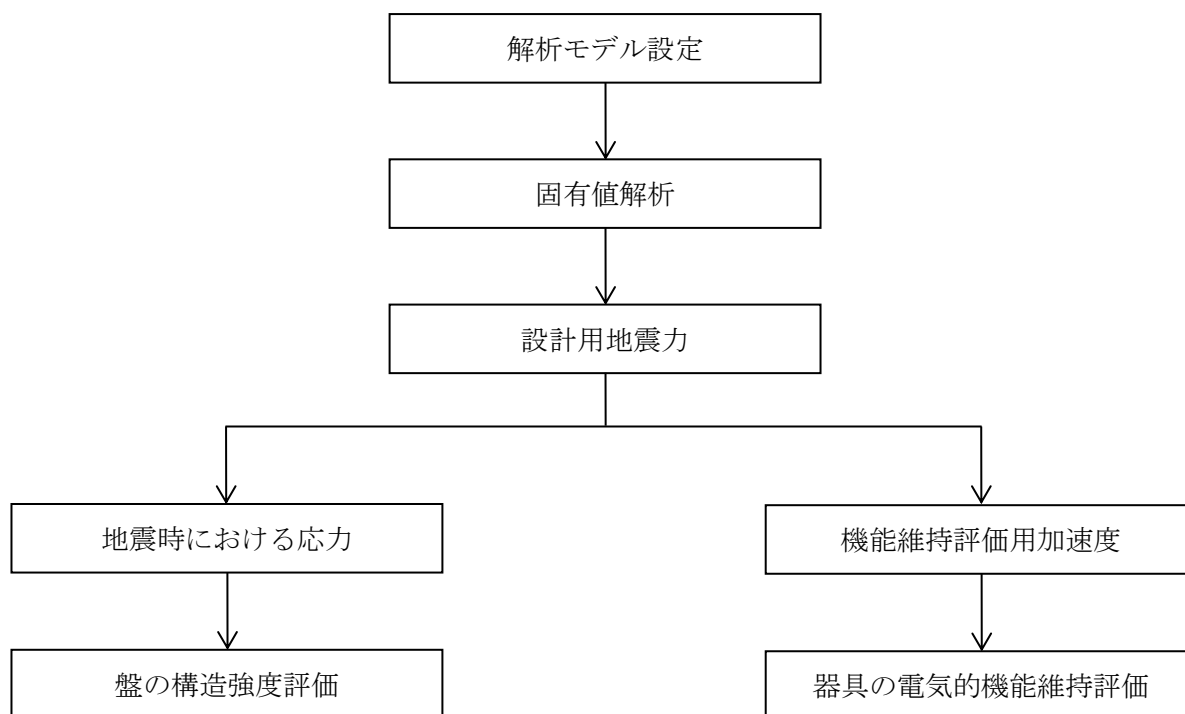


図3-2-1 予備発電機制御盤の耐震評価フロー

3.2.3 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 ・補一
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。)

3.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	取付ボルトの呼び径	mm
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-3133に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
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_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
$l_{1\alpha}$	転倒支点から取付ボルトまでの距離*1	mm
$l_{1\beta}$	転倒支点から取付ボルトまでの距離*2	mm
L_1	重心とボルト間の水平方向距離	mm
L_1'	重心とボルト間の水平方向距離	mm
m_1	盤の質量	kg
n	取付ボルトの本数	—
$n_{1\alpha}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*1	—
$n_{1\beta}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*2	—
Q_b	取付ボルト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
π	円周率	MPa
$\sigma_{1\alpha}$	取付ボルトに生じる引張応力*1	MPa
$\sigma_{1\beta}$	取付ボルトに生じる引張応力*2	MPa
τ_1	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*1: $\alpha = a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w$ 長辺方向のボルト列を示す。

*2: $\beta = x, y, z$ 短辺方向のボルト列を示す。

3.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 3-2-2 に示すとおりである。

表 3-2-2 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	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*2	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・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。

3.3 評価部位

予備発電機制御盤の耐震評価は、「3.5.1 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取付ボルトについて実施する。予備発電機制御盤の耐震評価部位については、表3-2-1の概略構造図に示す。

3.4 固有値解析

3.4.1 固有値解析方法

予備発電機制御盤の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 予備発電機制御盤は、「3.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元シェル及びはりモデルとして考える。

3.4.2 解析モデル及び諸元

予備発電機制御盤の解析モデルを図 3-4-1 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【予備発電機制御盤 (H21-P0900) 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) 盤を構成する鋼板をシェル要素、鋼材をはり要素でモデル化する。
- (2) 取付器具の質量は筐体との取付ボルト位置に付加し、扉の質量は筐体のヒンジ位置に付加する。金具、ケーブル類の質量は等分布としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、基礎部を完全拘束とする。
- (4) 列盤間の連結部を剛結合とする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「MSC 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。

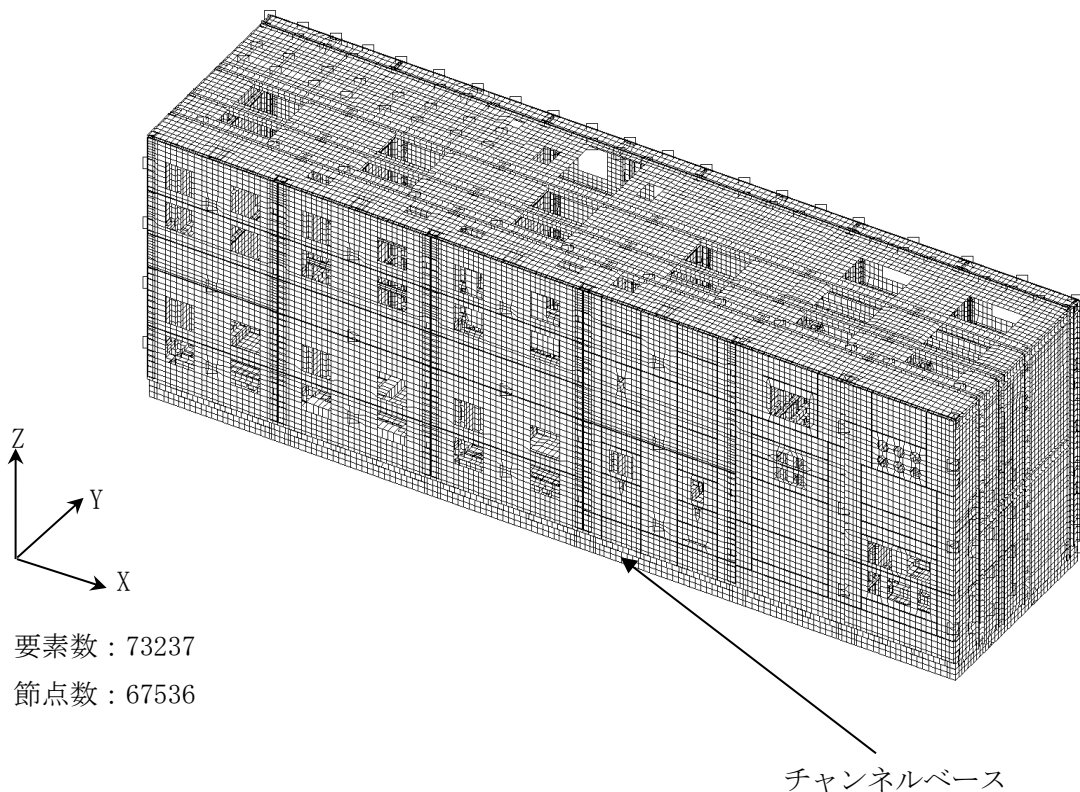


図 3-4-1 解析モデル

3.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 3-4-1 に、振動モードを図 3-4-2 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 3-4-1 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	Y方向	
1次	水平	0.039	—	—	—

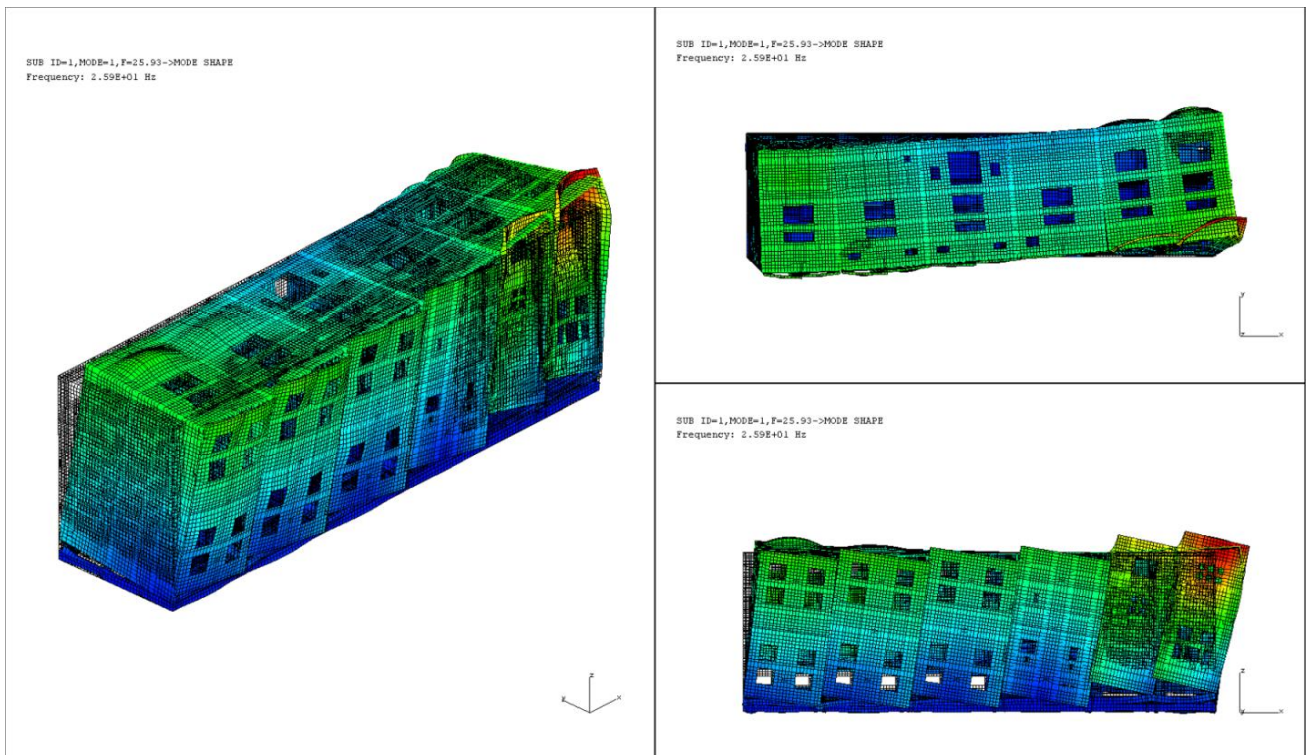


図 3-4-2 振動モード (水平 25.92 Hz)

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 盤は基礎部で完全拘束とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値/発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

予備発電機制御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 3-5-1 に示す。

3.5.2.2 許容応力

予備発電機制御盤の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-5-2 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

予備発電機制御盤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 3-5-3 に示す。

表 3-5-1 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
非常用 電源設備	非常用 発電装置	予備発電機制御盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVAS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 3-5-2 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*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	1.5・f _s *
VAS		

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 3-5-3 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-5-4 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 3-5-4 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
ガスタービン 発電機建物 EL 47.5* ¹	0.039	0.05 以下	—	—	C _H =1.71* ²	C _V =1.10* 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）

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 応力の計算方法

3.5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

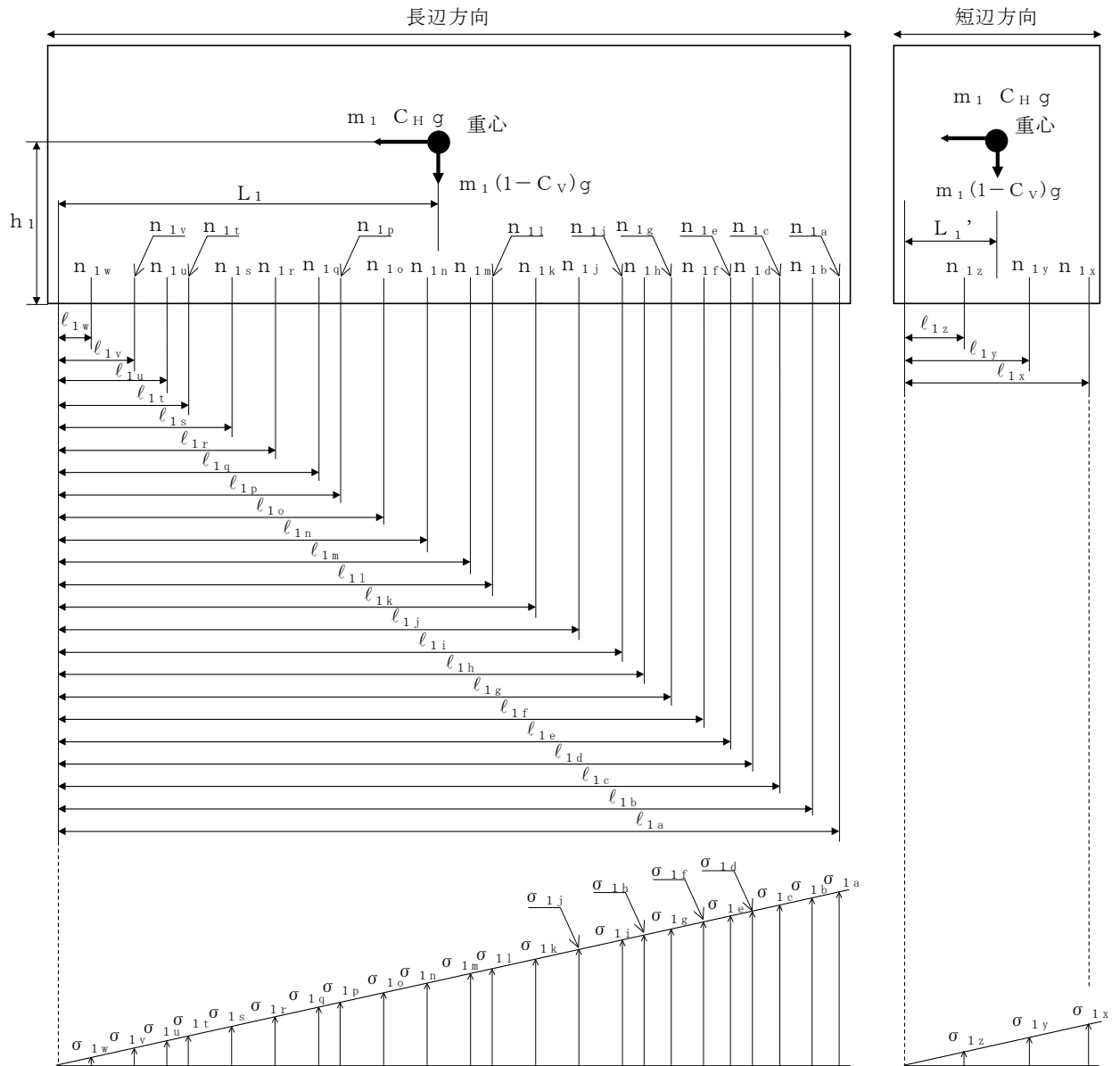


図3-5-1 取付ボルト配置概念図

(1) 長辺方向

地震時の引張応力は、ボルト端列を支点とし、各ボルト列応力が支点からの距離に比例するとして、モーメントのつり合い式より算出する。

$$\frac{\sigma_{1a}}{\ell_{1a}} = \frac{\sigma_{1b}}{\ell_{1b}} = \frac{\sigma_{1c}}{\ell_{1c}} = \dots = \frac{\sigma_{1w}}{\ell_{1w}} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.1)$$

$$\begin{aligned} & (n_{1a} \cdot A_b) \sigma_{1a} \cdot \ell_{1a} + (n_{1b} \cdot A_b) \sigma_{1b} \cdot \ell_{1b} + (n_{1c} \cdot A_b) \sigma_{1c} \cdot \ell_{1c} + \dots \\ & + (n_{1v} \cdot A_b) \sigma_{1v} \cdot \ell_{1v} + (n_{1w} \cdot A_b) \sigma_{1w} \cdot \ell_{1w} \\ & = m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot L_1 \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.2) \end{aligned}$$

$$F_b = \frac{\ell_{1a} \cdot m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1\}}{(n_{1a} \cdot \ell_{1a}^2 + n_{1b} \cdot \ell_{1b}^2 + n_{1c} \cdot \ell_{1c}^2 + \dots + n_{1w} \cdot \ell_{1w}^2)} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.3)$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.4)$$

ここで、ボルトの断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.5)$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_b = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.6)$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.7)$$

(2) 短辺方向

長辺方向と同様にモーメントのつり合い式より算出する。

$$\begin{aligned} & (n_{1x} \cdot A_b) \sigma_{1x} \cdot \ell_{1x} + (n_{1y} \cdot A_b) \sigma_{1y} \cdot \ell_{1y} + (n_{1z} \cdot A_b) \sigma_{1z} \cdot \ell_{1z} \\ & = m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot L_1' \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.8) \end{aligned}$$

$$F_b = \frac{\ell_{1x} \cdot m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1'\}}{n_{1x} \cdot \ell_{1x}^2 + n_{1y} \cdot \ell_{1y}^2 + n_{1z} \cdot \ell_{1z}^2} \dots\dots (3.5.4.1.1.9)$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.10)$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_b = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.11)$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.12)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【予備発電機制御盤（H21-P0900）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。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 ボルトの応力評価

3.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_1 は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (3.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.6 機能維持評価

3.6.1 電氣的機能維持評価方法

予備発電機制御盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、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。

予備発電機制御盤に設置される器具の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、同形式の器具単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表3-6-1に示す。

表 3-6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
予備発電機制御盤 (H21-P0900)	水平	5.1
	鉛直	3.0

3.7 評価結果

3.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

予備発電機制御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、電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【予備発電機制御盤 (H21-P0900) 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	
予備発電機制御盤 (H21-P0900)	常設耐震／防止 常設／緩和	ガスタービン発電機 建物 EL 47.5* ¹	0.039	0.05 以下	—	—	C _H =1.71* ²	C _V =1.10* ²	40

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）

1.2 機器要目

部材	m ₁ (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
取付ボルト	13100	1100	20 (M20)	314	72	235 (16mm<径≤40mm)	400

S2 補 VI-2-10-1-2-3-2 R0

部材	l_1 (mm)	L_1 又は L_1' (mm)	n_1	F (MPa)	F* (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
取付ボルト	下表に示す	918	下表に示す	—	280	—	短辺方向
	下表に示す	3675	下表に示す				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

取付ボルト (短辺方向)	l_{1x}	l_{1y}	l_{1z}
	1800	1125	475
	n_{1x}	n_{1y}	n_{1z}
	24	12	12

取付ボルト (長辺方向)	l_{1a}	l_{1b}	l_{1c}	l_{1d}	l_{1e}	l_{1f}	l_{1g}	l_{1h}	l_{1i}	l_{1j}	l_{1k}	l_{1l}	l_{1m}	l_{1n}	l_{1o}	l_{1p}
	7250	6900	6550	6200	6050	5635	5215	4800	4650	4235	3815	3400	3250	2835	2415	2000
	n_{1a}	n_{1b}	n_{1c}	n_{1d}	n_{1e}	n_{1f}	n_{1g}	n_{1h}	n_{1i}	n_{1j}	n_{1k}	n_{1l}	n_{1m}	n_{1n}	n_{1o}	n_{1p}
	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2	2	4

取付ボルト (長辺方向)	l_{1q}	l_{1r}	l_{1s}	l_{1t}	l_{1u}	l_{1v}	l_{1w}
	1850	1570	1280	1000	850	570	280
	n_{1q}	n_{1r}	n_{1s}	n_{1t}	n_{1u}	n_{1v}	n_{1w}
	4	2	2	4	4	2	2

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	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
取付ボルト	—	4770	—	219679

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(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
取付ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_t = 16$	$f_{ts} = 210^*$
		せん断	—	—	$\tau_t = 10$	$f_{sb} = 161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣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
予備発電機制御盤 (H21-P0900)	水平方向	1.43	5.1
	鉛直方向	0.92	3.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて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
材質	—	—	SS400
質量	m	kg	13100
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	201667
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	73237*
節点数	—	個	67536*

注記*：盤鋼材，チャンネルベースを含めた合計を示す。

