

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-2-041-16 改3
提出年月日	2020年8月13日

V-2-10-1-2-2-7 第一ガスタービン発電機用発電機の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-10-1-2-2-7 R0

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-10-1-2-2-7 第一ガスタービン発電機用発電機の
耐震性についての計算書

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	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.3 設計用加速度	11
4.4 計算方法	13
4.4.1 応力の計算方法	13
4.5 計算条件	16
4.5.1 取付ボルトの応力計算条件	16
4.6 応力の評価	16
4.6.1 ボルトの応力評価	16
5. 機能維持評価	17
5.1 動的機能維持評価方法	17
6. 評価結果	18
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18
6.1.1 構造強度評価結果	18
6.1.2 機能維持評価結果	18

1. 概要

本計算書は、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、第一ガスタービン発電機が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説明するものである。

また、間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることは、V-2-10-1-2-2-1「第一ガスタービン発電機の耐震性についての計算書」で説明している。

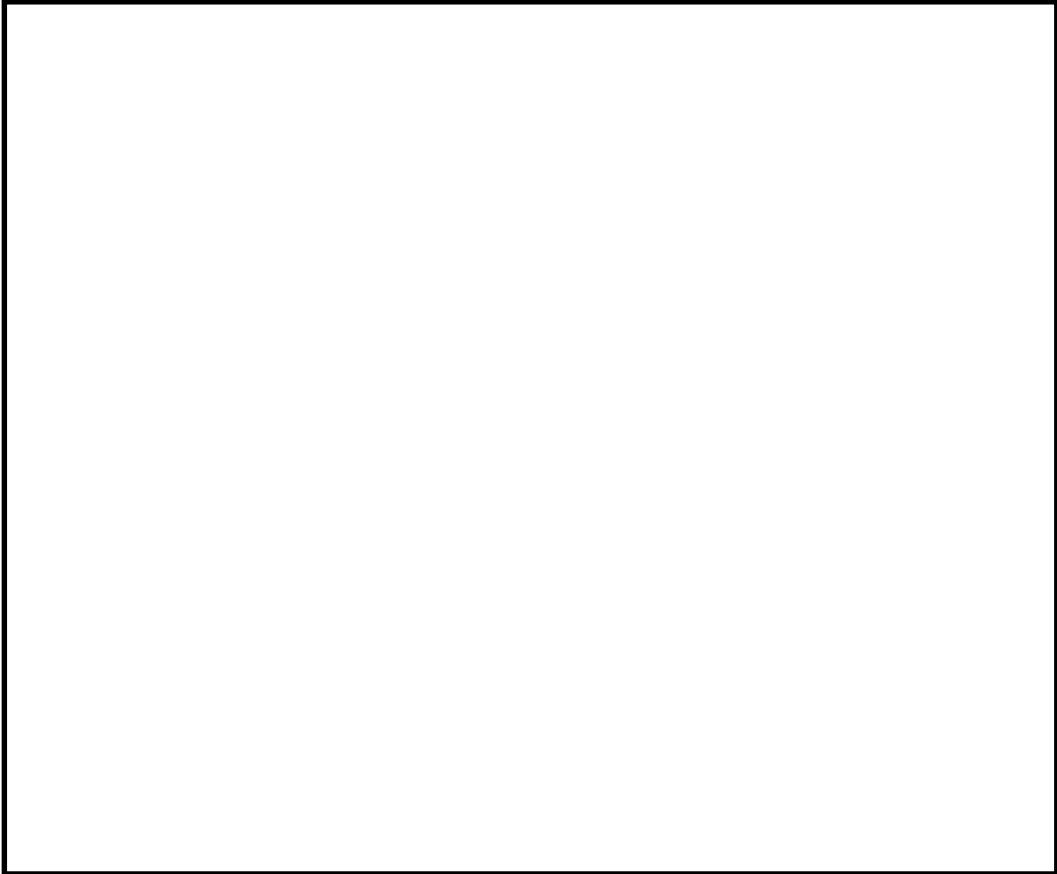
第一ガスタービン発電機は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第一ガスタービン発電機の構造計画を表 2-1 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	
発電機は、共通架台に取付ボルトにより固定する。	三相交流同期発電機	<p>【第一ガスタービン発電機】</p>  <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

第一ガスタービン発電機の応力評価は、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 構造計画」にて示す第一ガスタービン発電機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、V-2-10-1-2-2-1「第一ガスタービン発電機の耐震性についての計算書」の「4. 加振試験」で得られた設計用加速度を用い、「4. 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、第一ガスタービン発電機の機能維持評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的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。

第一ガスタービン発電機の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

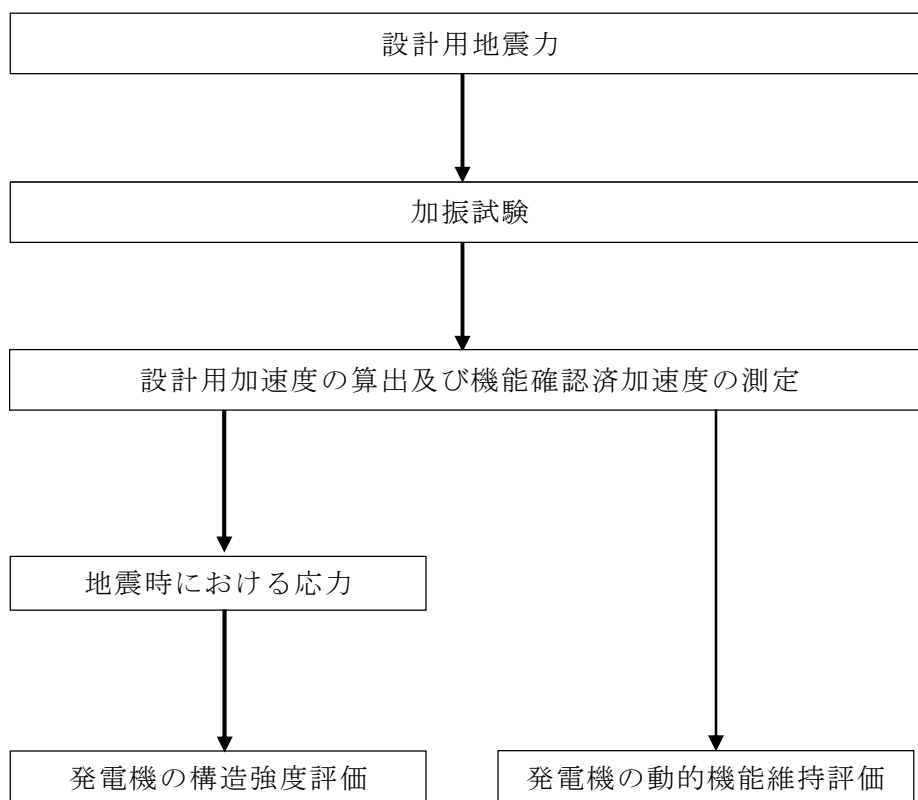


図 2-1 第一ガスタービン発電機の耐震評価フロー

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}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
a_H	水平方向設計用加速度	m/s ²
a_P	回転体振動による加速度	m/s ²
a_V	鉛直方向設計用加速度	m/s ²
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	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* ¹	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
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* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
π	円周率(=3.14159)	—
M_p	回転体回転によるモーメント	N・mm
p	回転体の許容振幅	μ m
P	原動機出力	kW
R	発電機定格回転数	min ⁻¹
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{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: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面, $i = 2$: 取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

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
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	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}
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}
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
加速度	m/s ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}

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

第一ガスタービン発電機の耐震評価は、「4.1 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。第一ガスタービン発電機の耐震評価箇所については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 第一ガスタービン発電機は、1質点系モデルとし、発電機の重心位置に地震荷重、発電機の運転による加速度及び発電機の運転により働くモーメントが作用する。
- (2) 第一ガスタービン発電機は J E A G 4 6 0 1 に従い一つの剛体として取り扱うこととする。
- (3) 加振試験により測定された第一ガスタービン発電機頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いて発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 転倒方向は、計算モデルにおける水平方向及び鉛直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。

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

第一ガスタービン発電機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

第一ガスタービン発電機の許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第一ガスタービン発電機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
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	第一ガスタービン 発電機	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（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 _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _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：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 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度			
取付ボルト		周囲環境温度	40		

4.3 設計用加速度

構造強度評価に用いる入力加速度には、V-2-10-1-2-2-1「第一ガスタービン発電機の耐震性についての計算書」の「4. 加振試験」で得られた第一ガスタービン発電機の設計用加速度を用いる。

設計用加速度を表 4-4 に示す。

表 4-4 設計用加速度（重大事故等対処設備）

据付場所 及び床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s (m/s ²)		
	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計用加速度 (短辺方向)	水平方向 設計用加速度 (長辺方向)	鉛直方向 設計用加速度
7号機タービン建屋南側の 屋外 T.M.S.L. 12.2 *	—	—			

注記*：基準床レベルを示す。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

4.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、設計用加速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。

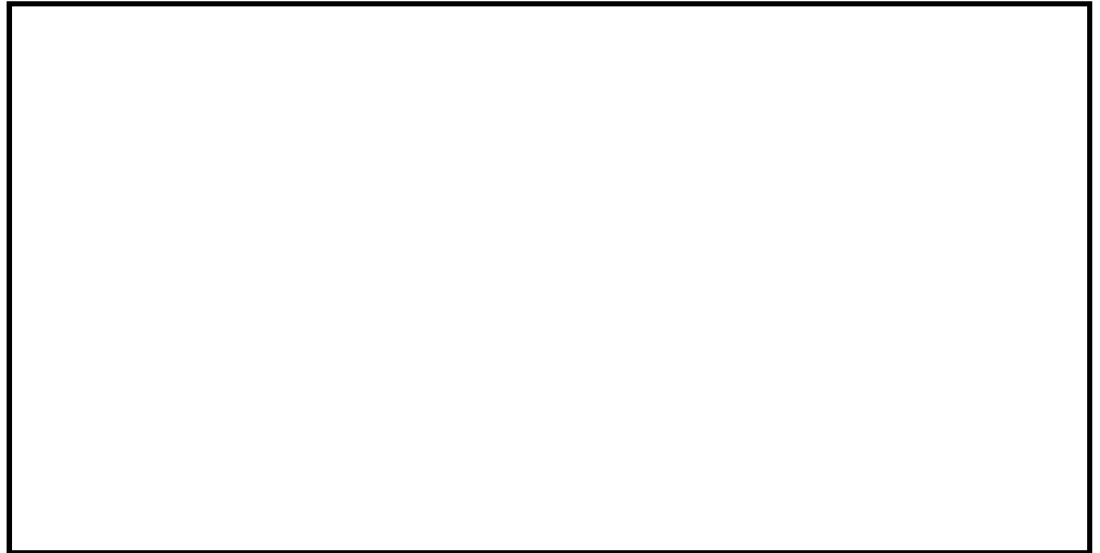


図 4-1 計算モデル図(短辺方向転倒)



図 4-2 計算モデル図(長辺方向転倒)

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図 4-1 及び図 4-2 でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

短辺方向転倒の引張力計算式

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot (a_H + a_P) \cdot h_2 + M_P - m_2 \cdot (g - a_V - a_P) \cdot \ell_{22}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots (4.4.1.1.1)$$

長辺方向転倒の引張力計算式

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot (a_H + a_P) \cdot h_2 - m_2 \cdot (g - a_V - a_P) \cdot \ell_{22}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots (4.4.1.1.2)$$

短辺方向転倒の引張応力計算式

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots (4.4.1.1.3)$$

長辺方向転倒の引張応力計算式

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots (4.4.1.1.4)$$

σ_{b2} は、上式で得られる大きい方の値とする。

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots (4.4.1.1.5)$$

ここで、回転体回転によるモーメント M_p は、発電機の出力及び定格回転数を考慮して定める値である。回転体振動による加速度 a_p は、回転体の許容振幅及び発電機の定格回転数を考慮して定める値である。

回転体回転によるモーメントの計算式

$$M_p = \frac{60 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot 10^6 \cdot \dots \quad (4.4.1.1.6)$$

回転体振動による加速度の計算式

$$a_p = \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{R}{60}\right)^2 \cdot \frac{p \cdot 10^{-6}}{2} \cdot \dots \quad (4.4.1.1.7)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot (a_H + a_p) \cdot \dots \quad (4.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \cdot \dots \quad (4.4.1.1.9)$$

4.5 計算条件

4.5.1 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【第一ガスタービン発電機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。

4.6 応力の評価

4.6.1 ボルトの応力評価

4.4.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{b i}$ は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。

$$f_{t s i} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i}] \quad \dots (4.6.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{b i}$ は、せん断力のみを受ける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 $f_{t o i}$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b i}$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

第一ガスタービン発電機の動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V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

第一ガスタービン発電機の確認は、V-2-10-1-2-2-1「第一ガスタービン発電機の耐震性についての計算書」の「4. 加振試験」で得られた加振台の最大加速度である機能確認済加速度と第一ガスタービン発電機基礎の最大加速度である設計用最大応答加速度 I を機能維持評価用加速度として比較することで実施する。

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 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
第一ガスタービン発電機	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

第一ガスタービン発電機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及び動的機能を有している事を確認した。

6.1.1 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。

6.1.2 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。

【第一ガスタービン発電機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)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s (m/s ²)			回転体振動による加速度 (m/s ²)		周囲環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計用加速度 (短辺方向)	水平方向 設計用加速度 (長辺方向)	鉛直方向 設計用加速度	水平方向 加速度	鉛直方向 加速度	
第一ガスタービン発電機	常設耐震/防止 常設/緩和	7号機タービン建屋 南側の屋外 T.M.S.L. 12.2 *	—	—						40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	R (min ⁻¹)	P (kW)	p (μm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)						1500	3600			

部材	ℓ _{1 i} *1 (mm)	ℓ _{2 i} *1 (mm)	n _{f i} *1	F _i * (MPa)	転倒方向*2		回転によるモーメント MP (N・mm)
					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 (i=2)					—	短辺方向	
					—	長辺方向	

注記*1 : 各ボルト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。

*2 : 上段は引張り力に対する転倒方向を示し、下段はせん断力に対する転倒方向を示す。

1.3 計算数値

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
取付ボルト (i=2)	—	1.321×10 ⁵	—	3.233×10 ⁵

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 (i=2)	□	引張り	—	—	σ _{b2} = 96	□
		せん断	—	—	τ _{b2} = 59	

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 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
第一ガスタービン発電機	水平	0.69	□
	鉛直	0.71	

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 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

