

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-19-0447_改1
提出年月日	2021年10月5日

VI-2-10-1-2-3-3 ガスタービン発電設備 軽油タンク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
3.	固有周期	3
3.1	固有周期の計算	3
4.	構造強度評価	3
4.1	構造強度評価方法	3
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2	許容応力	3
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	3
4.3	計算条件	3
5.	評価結果	8
5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	8

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、ガスタービン発電設備軽油タンク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。

ガスタービン発電設備軽油タンクは、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、ガスタービン発電設備軽油タンクは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器と類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ガスタービン発電設備軽油タンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>胴を脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>横置円筒形 (両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【ガスタービン発電設備軽油タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

ガスタービン発電設備軽油タンクの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには SRSS 法を適用する。

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

ガスタービン発電設備軽油タンク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

ガスタービン発電設備軽油タンクの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 及び表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ガスタービン発電設備軽油タンク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 4-4 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ガスタービン発電設備軽油タンク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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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	非常用発電 装置	ガスタービン発電設備 軽油タンク	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	I_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として I_{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：重大事故等クラス2容器及び重大事故等クラス2支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*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 (重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2}		
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次 + ピーク応力
IV _{AS}	0.6 · S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が 2 · S _y 以下であれば、疲労解析は不要。
V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限界を用いる。)			

5

注記 *1 : 座屈による評価は、クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*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 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)
	一次応力	一次応力
IV _{AS} V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)	引張り	引張り
	1.5・f _t *	1.5・f _t * 1.5・f _s *

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場合で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
胴板	SM490C (16 mm < 厚さ ≤ 40 mm)	50		—	309	480	—
脚	SM490C (16 mm < 厚さ ≤ 40 mm)	50	周囲環境温度	—	309	480	—
基礎ボルト	SNB7 (径 ≤ 63 mm)	50	周囲環境温度	—	715	838	—

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ガスタービン発電設備軽油タンクの重大事故等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。

【ガスタービン発電設備軽油タンクの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対策設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	掘付場所及び末端高さ (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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
ガスタービン発電設備軽油タンク	常設耐震/防振 常設緩和	ガスタービン発電設備 軽油タンク室 0.P.56.70*	<input type="text"/>	<input type="text"/>	-	-	C _H =0.94	C _V =0.69	静水頭	50	50	0.86

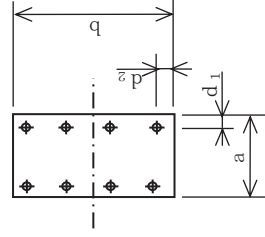
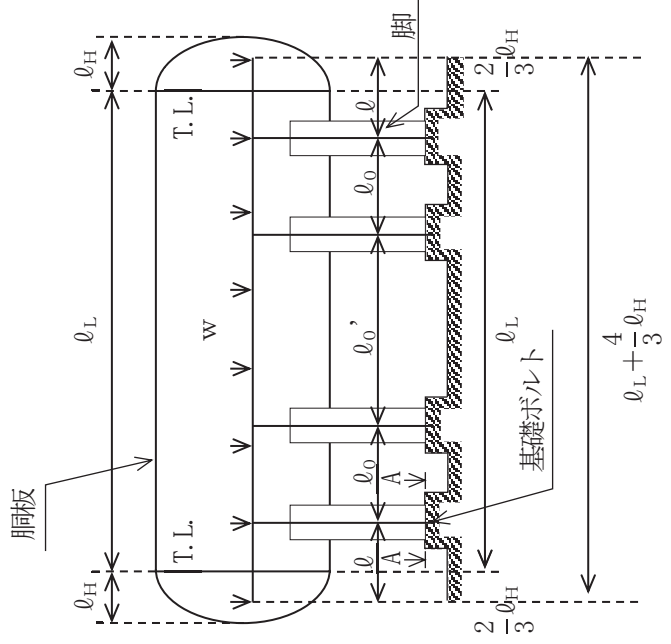
注記*：基軸レベルを示す。

1.2 機器要目

ℓ (mm)	ℓ _H (mm)	w (N/mm)	M ₁ (N·mm)	M ₂ (N·mm)	M ₃ (N·mm)	M ₄ (N·mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	R ₃ (N)	R ₄ (N)	H (mm)
2078	15240	103.8	2.242×10 ⁸	1.426×10 ⁸	1.426×10 ⁸	2.242×10 ⁸	4.345×10 ⁵	4.125×10 ⁵	4.125×10 ⁵	4.345×10 ⁵	3100

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
<input type="text"/>	3100	32.0	64.0	3800	989	2050	0.491	600

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)
1216	700	1.960×10 ¹¹	2.928×10 ¹⁰	1.612×10 ⁸	4.182×10 ⁷	2.288	1.235



A-A 矢視図

枠囲みの内容は商業秘密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
2.529×10^5	201000	77300	1.557×10^5	7.516×10^4	1.196×10^5	6.121×10^4

K_{i1}^{*2}	K_{i2}^{*2}	K_{c1}^{*2}	K_{c2}^{*2}	K_{c1}	K_{c2}	C_{o1}	C_{o2}	C_{e1}	C_{e2}
0.91	1.68	1.48	1.20	1.16	1.04	0.91	0.78	1.47	1.19
1.76	1.20	0.88	1.25						

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	8	4	2	1600	2650	48 (M48)	1.810×10^3	200	425

S_y (同板) (MPa)	S_u (同板) (MPa)	S (同板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
309^{*3} (16 mm < 厚さ ≤ 40 mm)	480^{*3} (16 mm < 厚さ ≤ 40 mm)	—	309^{*4} (16 mm < 厚さ ≤ 40 mm)	480^{*4} (16 mm < 厚さ ≤ 40 mm)	—	336	715^{*4} (径 ≤ 63 mm)	838^{*4} (径 ≤ 63 mm)	—	586

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般動応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}=1$	-	$\sigma_{\phi 2}=1$
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$
長手方向地震による脚軸面 全面に生じる引張応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 413}=6$	-
組合せ応力	-	-	-	$\sigma_{00}=14$	-	$\sigma_{0c}=11$

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}=1$	-	$\sigma_{\phi 2}=1$
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 3}=10$	$\sigma_{x 3}=10$	$\sigma_{x 3}=10$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 71}=7$	$\sigma_{x 71}=7$	$\sigma_{x 71}=7$
水平方向地震 による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 411}=3$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{x 51}=20$
	-	-	-	$\sigma_{\phi 412}=5$	$\sigma_{x 412}=5$	
	-	-	-	$\sigma_{x 413}=6$	$\sigma_{x 413}=6$	
	-	-	-	$\sigma_{x 411}=8$	$\sigma_{x 411}=12$	
組合せ応力	-	-	-	$\tau_{\theta}=5$	$\tau_c=3$	$\tau_c=3$
	-	-	-	$\sigma_{10}=33$	$\sigma_{1c}=39$	$\sigma_{1c}=39$

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}=1$	-	$\sigma_{\phi 2}=1$	-
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 71}=7$ $\sigma_{\phi 72}=24$	$\sigma_{x6}=5$	$\sigma_{\phi 71}=7$ $\sigma_{\phi 72}=24$	$\sigma_{x6}=5$ $\sigma_{x71}=7$ $\sigma_{x72}=14$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 41}=8$ $\sigma_{\phi 421}=4$ $\sigma_{\phi 422}=17$	$\sigma_{x41}=12$ $\sigma_{x421}=8$ $\sigma_{x422}=10$	$\sigma_{\phi 41}=8$ $\sigma_{\phi 421}=4$ $\sigma_{\phi 422}=17$	$\sigma_{x51}=20$ $\sigma_{x52}=27$
水平方向地震 による応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 42}=21$	$\sigma_{x42}=17$	$\sigma_{\phi 52}=54$	$\sigma_{x52}=27$
せん断	-	-	-	-	$\tau_{\theta}=5$	-	$\tau_{\theta}=5$	$\tau_c=3$
組合せ応力	-	-	-	-	$\sigma_{2\theta}=90$	-	$\sigma_{2c}=137$	-

1.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
連続質量による応力	-	-	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_{s1}=2$
鉛直方向地震による応力	-	-	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$
水平方向地震による応力	-	-	$\sigma_{s2}=6$	$\sigma_{s3}=6$
せん断	-	-	$\tau_{s2}=4$	$\tau_{s3}=7$
組合せ応力	-	-	$\sigma_{s0}=10$	$\sigma_{sc}=15$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	-	-	$\sigma_{b1}=17$	$\sigma_{b2}=96$
水平方向地震による応力	-	-	$\tau_{b1}=30$	$\tau_{b2}=30$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)	
方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動Sd又は静的震度		基準地震動Ss	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM490C	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=14$	$S_a=288$
		一次	—	—	$\sigma_1=39$	$S_a=432$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=137$	$S_a=619$
脚	SM490C	組合せ	—	—	$\sigma_s=15$	$f_t=336$
		引張り	—	—	$\sigma_b=96$	$f_{t,s}=440^*$
基礎ボルト	SNB7	せん断	—	—	$\tau_b=30$	$f_{s,b}=338$

注記*: $f_{t,s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t,0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t,0}]$ より算出

すべて許容応力以下である。