

V-2-10 その他発電用原子炉の附属施設の耐震性についての計算書

V-2-10-1 非常用電源設備の耐震性についての計算書

V-2-10-1-2 非常用ディーゼル発電装置の耐震性についての計算書

V-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電装置の
耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 計算条件	1
1.3 記号の説明	2
1.4 計算精度と数値の丸め方	4
2. 構造説明	4
2.1 構造計画	4
3. 計算方法	6
3.1 固有周期の計算方法	6
3.2 応力の計算方法	7
3.3 荷重の組合せ及び許容応力	11
4. 評価方法	15
4.1 固有周期の評価	15
4.2 応力の評価	15
5. 機能維持評価	16
5.1 機能維持評価方法	16
6. 評価結果	17
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	17

1. 一般事項

本計算書は、添付書類 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、非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関は、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、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、分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、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, J E A G 4 6 0 1 - 1987 及び J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

1.2 計算条件

- (1) ディーゼル機関質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はディーゼル機関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) ディーゼル機関は据付台床上にあり、据付台床は基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。また、ディーゼル機関は据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。
- (4) 転倒方向は図 1-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

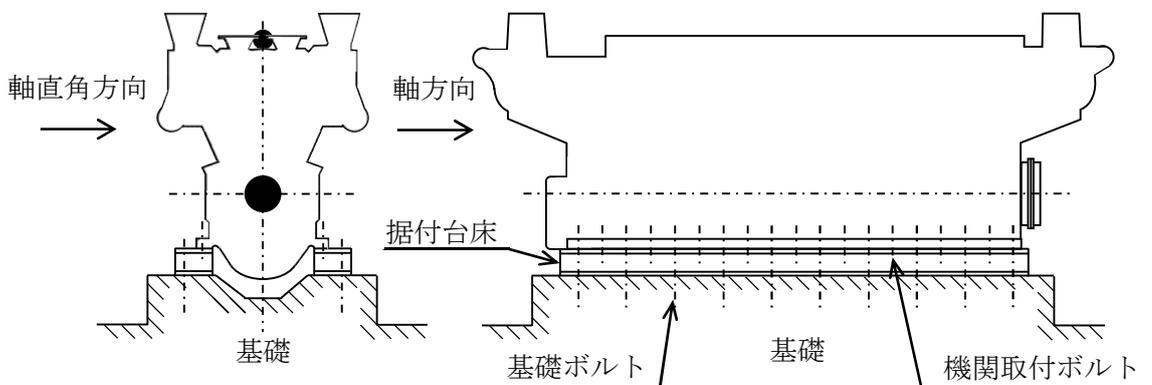


図 1-1 概要図

1.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	最小断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積	mm ²
A _s	最小有効せん断断面積	mm ²
C _{EH}	ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	—
C _{EV}	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	—
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
E	縦弾性係数	MPa
F _i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F _i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
f _{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t oi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _{t si}	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	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	据付台床上面から重心までの距離	mm
h _i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	据付面から据付台床上面までの距離	mm
l _{1 i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l _{2 i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M _E	ディーゼル機関回転により作用するモーメント	N・mm
m _i	運転時質量	kg
N	回転速度 (ディーゼル機関の定格回転速度)	min ⁻¹
n _i	ボルトの本数	—
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	—
P	ディーゼル機関出力	kW
Q _{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
S _{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
T _H	水平方向固有周期	s
T _V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ _{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ _{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1: 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年）をいう。

注2: A_{bi} , d_i , F_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

$i = 2$: 機関取付ボルト

注3: 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

$i = 2$: 機関取付面

注記*: $l_{1i} \leq l_{2i}$

1.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりである。

表1-1 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* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	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
力	N	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

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。

2. 構造説明

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
非常用ディーゼル 発電機 ディーゼル機関	ディーゼル機関を 機関取付ボルトで 据付台床に取り付 け、据付台床を基 礎ボルトで基礎に 据え付ける。	4サイクル縦形 18気筒ディーゼ ル機関	<p>The diagram illustrates the structural connection between the diesel engine and its foundation. On the left, a simplified outline of the engine is shown above a base plate. On the right, a more detailed cross-section shows the engine's lower part resting on the base plate. The base plate is anchored into a concrete foundation with multiple foundation bolts. The engine itself is held to the base plate by a series of mounting bolts. Labels include: 機関取付ボルト (Engine mounting bolt), 据付台床 (Base plate), 基礎ボルト (Foundation bolt), and 基礎 (Foundation).</p>

3. 計算方法

3.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

ディーゼル機関は、1.2 節より図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

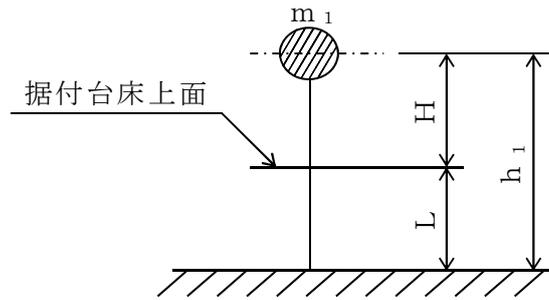


図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left(\frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{L^2 \cdot H}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{L}{A_s \cdot G} \right)} \dots \dots \dots (3.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \frac{h_1}{A \cdot E}} \dots \dots \dots (3.1.2)$$

3.2 応力の計算方法

3.2.1 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転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。

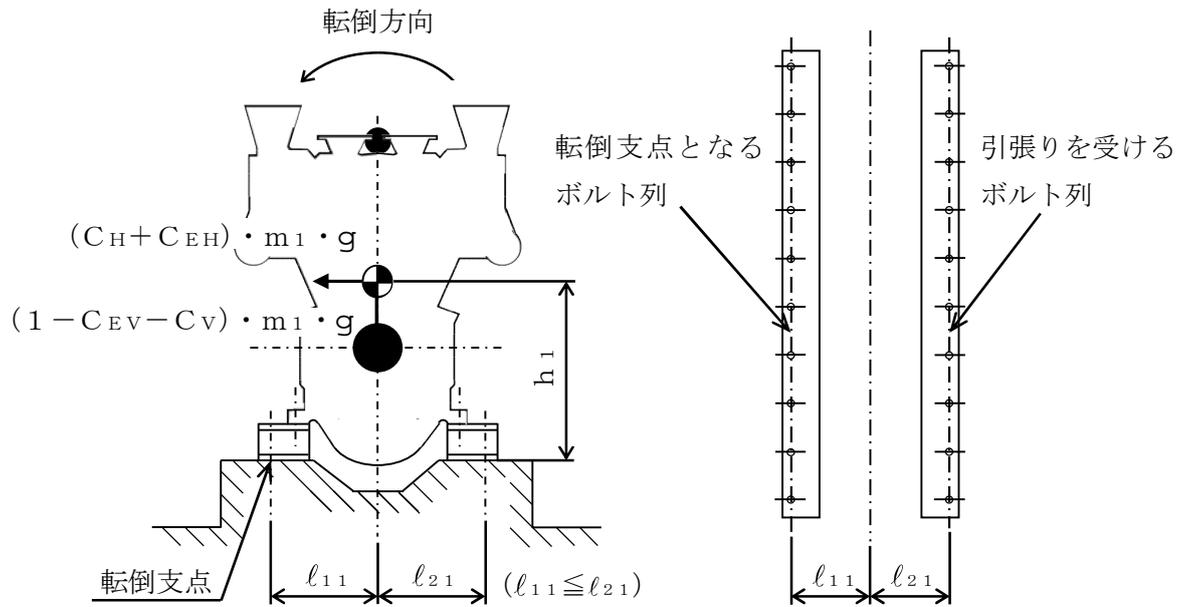


図 3-2 計算モデル（軸直角方向転倒）

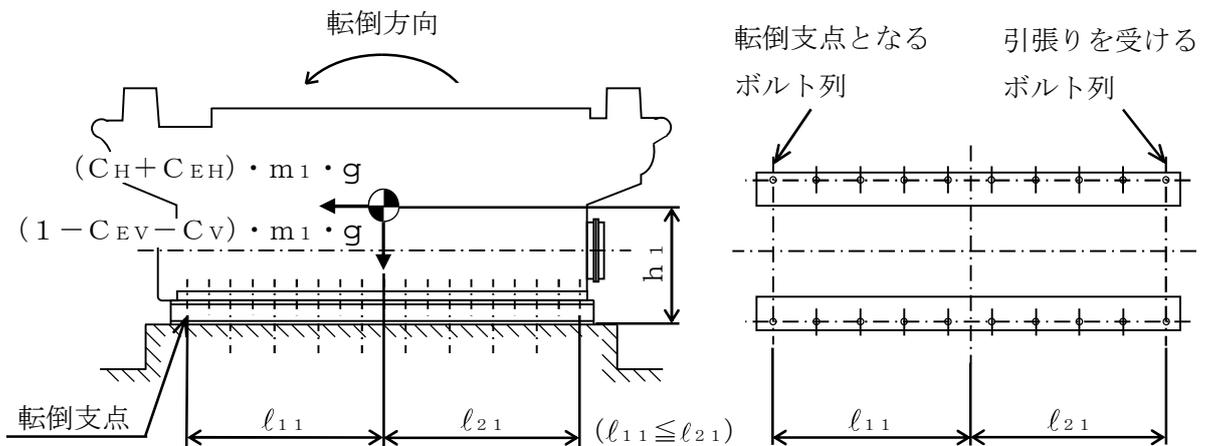


図 3-3 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-2 及び図 3-3 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 3-3 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 + M_E - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_1 \cdot g \cdot l_{11}}{n_{f1} \cdot (l_{11} + l_{21})} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

注記* : $M_E = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$
 (1 kW = 10⁶ N·mm/s)

ここで、C_{EH}及びC_{EV}はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (3.2.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積A_{b1}は

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots \dots \dots (3.2.3)$$

ただし、F_{b1}が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \dots \dots \dots (3.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots \dots \dots (3.2.5)$$

3.2.2 機関取付ボルトの応力

機関取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転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。

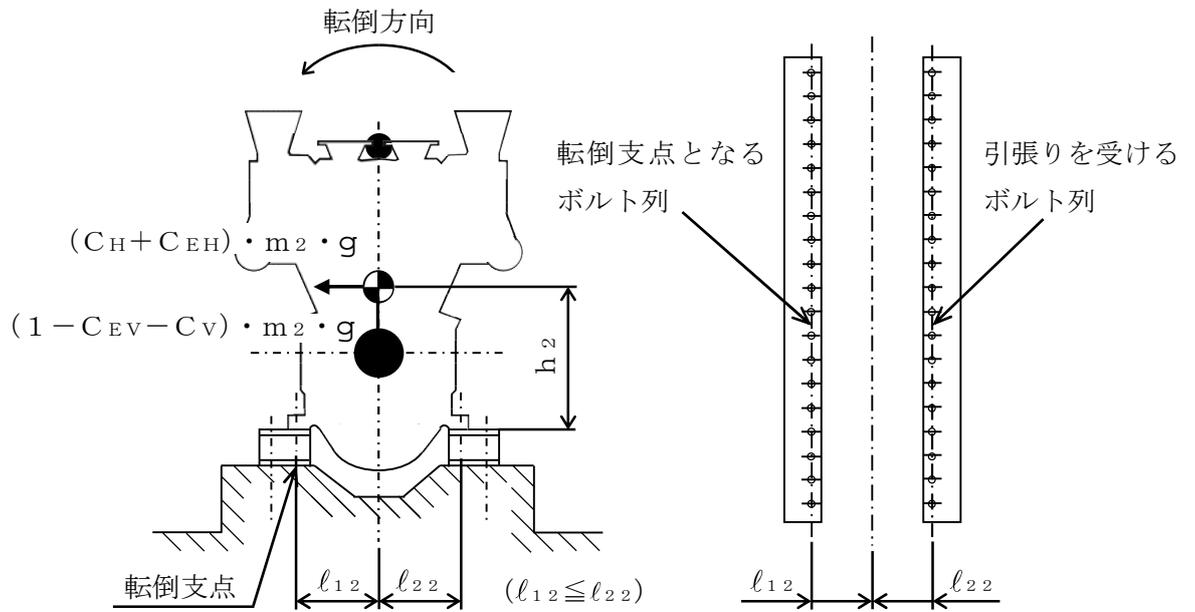


図 3-4 計算モデル（軸直角方向転倒）

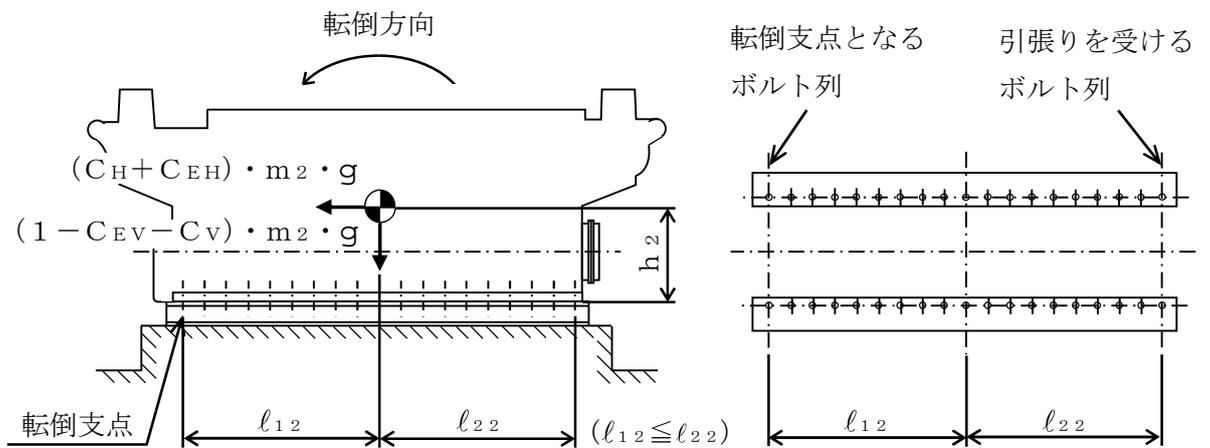


図 3-5 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

機関取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-4 及び図 3-5 で機関取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の機関取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 3-5 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_E - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_2 \cdot g \cdot \ell_{12}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots \dots \dots (3.2.6)$$

注記* : $M_E = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$
 (1 kW = 10^6 N·mm/s)

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots \dots \dots (3.2.7)$$

ここで、機関取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots \dots \dots (3.2.8)$$

ただし、 F_{b2} が負のとき機関取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

機関取付ボルトに対するせん断力は機関取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \dots \dots \dots (3.2.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots \dots \dots (3.2.10)$$

3.3 荷重の組合せ及び許容応力

3.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.3.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の許容応力を表 3-3 に示す。

3.3.3 使用材料の許容応力

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	非常用ディーゼル発電機 ディーゼル機関	S	-*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の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。

表 3-2 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	非常用ディーゼル発電機 ディーゼル機関	常設耐震／防止 常設／緩和	-	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ³

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：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

*3：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1} (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S ^{*3}	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

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：その他の支持構造物においてF値の算出時， S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

*3：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	□	211	394	—
機関取付ボルト	SS41	周囲環境温度	□	211	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力（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)
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	□	211	394	—
機関取付ボルト	SS41	周囲環境温度	□	211	394	—

4. 評価方法

4.1 固有周期の評価

3.1 節で求めた固有周期から添付書類V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

4.2 応力の評価

4.2.1 ボルトの応力評価

3.2 節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。

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。

$$f_{t s i} = 1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i} \quad \dots \dots \dots (4.2.1)$$

かつ、

$$f_{t s i} \leq f_{t o i} \quad \dots \dots \dots (4.2.2)$$

ただし、 $f_{t o i}$ 及び $f_{s b i}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	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 $f_{t o i}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b i}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の地震時又は地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価方法

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の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

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
機 関	中速形 ディーゼル 機関	水平	1.1
		鉛直	1.0
ガバナ		水平	1.8
		鉛直	1.0

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の設計基準対象施設として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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(3) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	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				
非常用ディーゼル発電機 ディーゼル機関	S	原子炉建屋 EL. -4.0*			$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$			-	

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)	l_{1i} (mm)		l_{2i} (mm)		n_i	n_{fi}	
			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		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)			3645	3645	3645	3645	20	2	2
機関取付ボルト (i=2)			3645	3645	3645	3645	38	2	2

部材	A_{bi} (mm ²)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_E (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	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
基礎ボルト (i=1)	3.217×10^3 (φ64)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	-	-
機関取付ボルト (i=2)	1.810×10^3 (M48)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	-	-

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A_s (mm ²)
5500	429	201000* ¹	77300* ¹	7.926×10^5	1.883×10^{10}	3.733×10^4

注記*1：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 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
基礎ボルト ($i=1$)	8.845×10^4	8.845×10^4		
機関取付ボルト ($i=2$)	6.147×10^4	6.147×10^4		

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
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_{b1} = 28$	$f_{ts1} = 158^*$	$\sigma_{b1} = 28$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 14$	$f_{sb1} = 122$	$\tau_{b1} = 14$	$f_{sb1} = 146$
機関取付ボルト	SS41	引張り	$\sigma_{b2} = 34$	$f_{ts2} = 158^*$	$\sigma_{b2} = 34$	$f_{ts2} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 12$	$f_{sb2} = 122$	$\tau_{b2} = 12$	$f_{sb2} = 146$

注記*：(4.2.2)式により算出

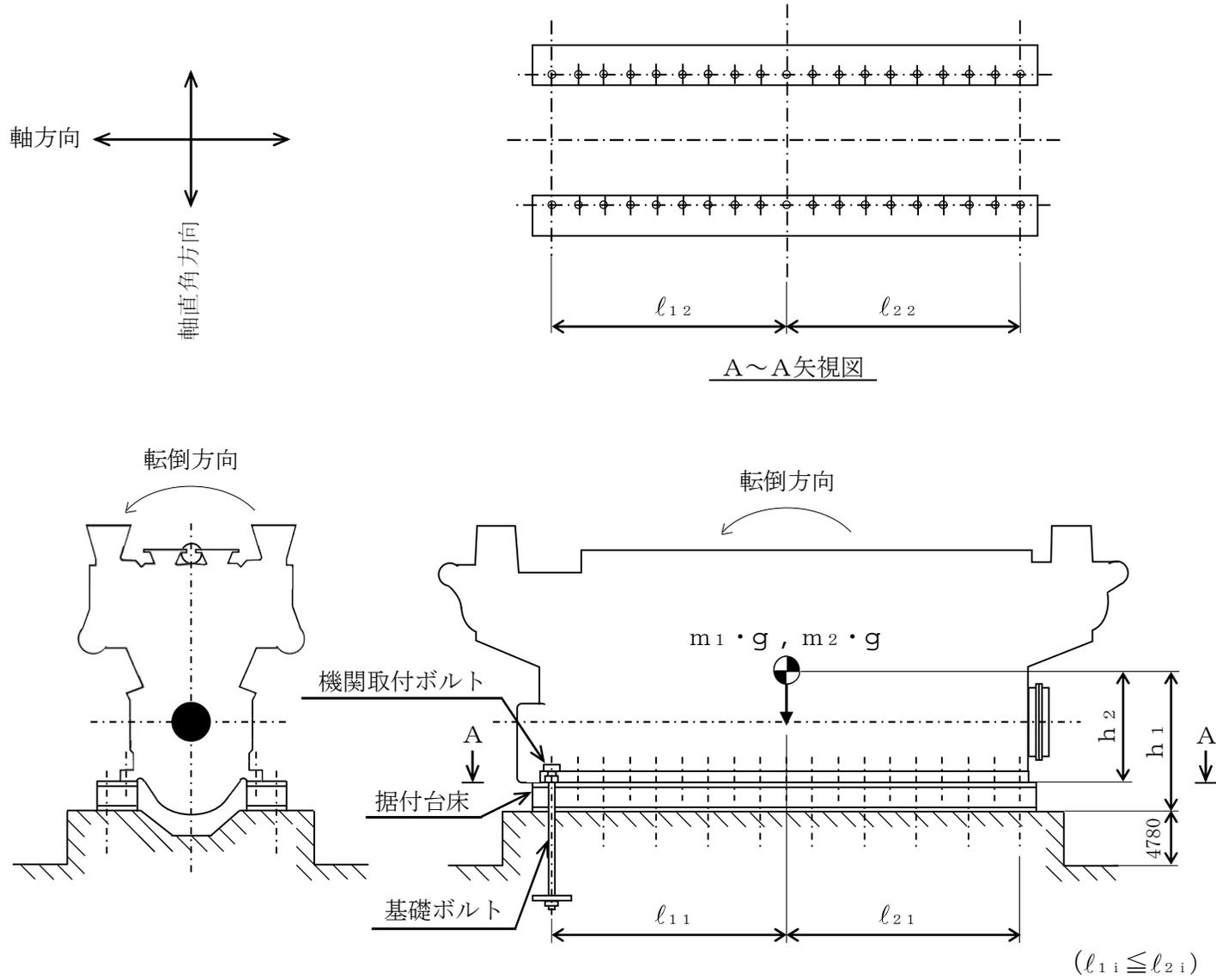
すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機 関	水平方向	0.72	1.1
	鉛直方向	0.75	1.0
ガ バ ナ	水平方向	0.72	1.8
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	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				
非常用ディーゼル発電機 ディーゼル機関	— (S_s 機能維持)	原子炉建屋 EL. -4.0*			—	—	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$			—	

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} (mm)		l_{2i} (mm)		n_i	n_{fi}	
			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		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)			—	3645	—	3645	20	—	2
機関取付ボルト (i=2)			—	3645	—	3645	38	—	2

部材	A_{bi} (mm ²)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_E (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	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
基礎ボルト (i=1)	3.217×10^3 (φ64)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—	—
機関取付ボルト (i=2)	1.810×10^3 (M48)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—	—

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A_s (mm ²)
5500	429	201000* ¹	77300* ¹	7.926×10^5	1.883×10^{10}	3.733×10^4

注記*1：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 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
基礎ボルト ($i=1$)	—	8.845×10^4	—	
機関取付ボルト ($i=2$)	—	6.147×10^4	—	

2.4 結論

2.4.1 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
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 28$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 14$	$f_{sb1} = 146$
機関取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 34$	$f_{ts2} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 12$	$f_{sb2} = 146$

注記*：(4.2.2)式により算出

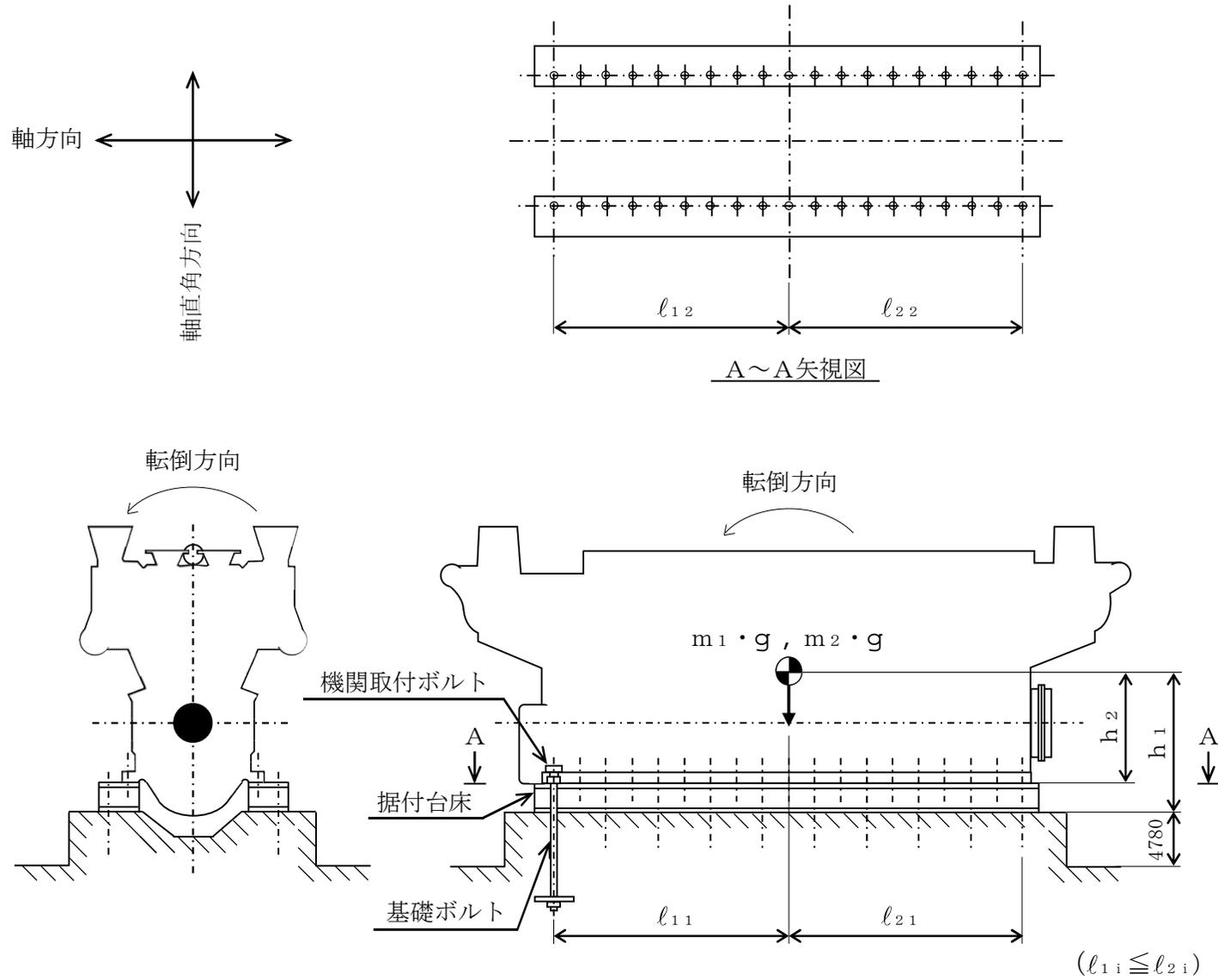
すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機 関	水平方向	0.72	1.1
	鉛直方向	0.75	1.0
ガ バ ナ	水平方向	0.72	1.8
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



V-2-10-1-2-2 非常用ディーゼル発電機
空気だめの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 記号の説明	2
1.3 計算精度と数値の丸め方	5
2. 構造説明	5
2.1 構造計画	5
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 計算条件	13
4.5 固有周期の評価	13
4.6 応力の評価	13
5. 評価結果	15
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15
6. 引用文献	26

1. 一般事項

本計算書は、添付書類 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の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電機空気だめ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。その耐震評価は、応力評価により行う。

非常用ディーゼル発電機空気だめは、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、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、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、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, J E A G 4 6 0 1 - 1987 及び J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

1.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C_{c_j}	周方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{ℓ_j}	軸方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト(外側)中心までの長手方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 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_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎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基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm

記号	記号の説明	単位
H	水頭	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
$K_{cj}, K_{\theta j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離 (ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。)($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	mm
ℓ_w	当て板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴及び脚の許容応力	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
$S_y (RT)$	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
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s

記 号	記 号 の 説 明	単 位
t	第 1 脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第 1 脚付け根部における胴の有効板厚	mm
Z_{s_x}	第 1 脚の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{s_y}	第 1 脚の横方向軸に対する断面係数	mm^3
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の 2 分の 1	rad
θ_0	胴の第 1 脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第 1 脚端部より当板端部までの角度	rad
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年）をいう。

1.3 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりである。

表1-1 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
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	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}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
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

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。

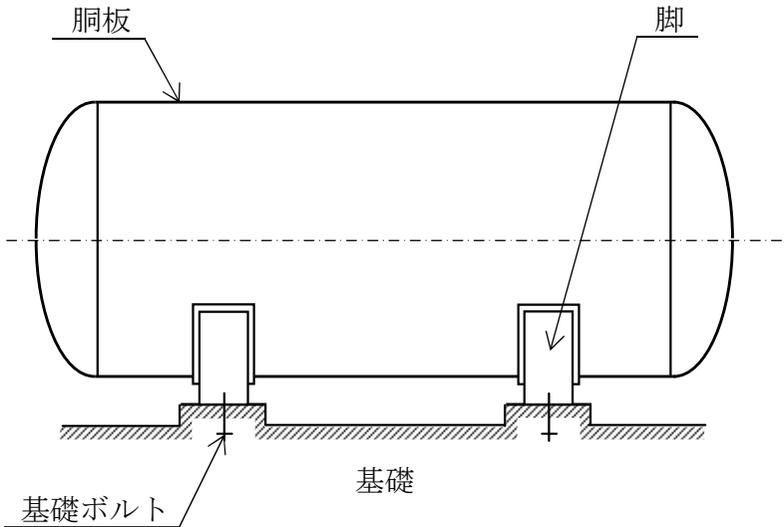
*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

2. 構造説明

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機空気だめの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
横置一胴 円筒形容器	胴板を4個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。	鏡板を有する横置一胴円筒形	

3. 評価部位

非常用ディーゼル発電機空気だめの評価部位については、付録 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、胴板、脚及び基礎ボルトについて実施する。

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) 非常用ディーゼル発電機空気だめの胴板、脚及び基礎ボルトの応力評価については、付録 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」に記載の横置一胴円筒形容器モデルと脚の形状が異なることから、詳細評価として他社プラントの工事計画にて実績のある有限要素解析手法を適用する。

(2) 解析コードは A B A Q U S を使用する。

なお、評価に用いる解析コード A B A Q U S の検証及び妥当性確認等の概要については、付録 19「計算機プログラム（解析コード）の概要・A B A Q U S」に示す。

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

非常用ディーゼル発電機空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機空気だめの許容応力を表 4-3～表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

非常用ディーゼル発電機空気だめの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	非常用ディーゼル発電機 空気だめ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 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	非常用ディーゼル発電機 空気だめ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ⁴

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容器の支持構造物を含む。

*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。

*4：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 4-3 許容応力（クラス 2， 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器（クラス 2， 3 容器））

許容応力状態	許 容 限 界 *1			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
III _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケ ル合金については上記値と 1.2・Sとの大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 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、疲労解析は行わない。	
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V _A S *2			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、疲労解析は行わない。	

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：V_ASとして、IV_ASの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

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：クラス 2 支持構造物において F 値の算出時， S_y 及び S_y (R T) をそれぞれ $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y$ (R T) と読み替える。
 クラス 3 支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

*3：V_AS として，Ⅳ_AS の許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

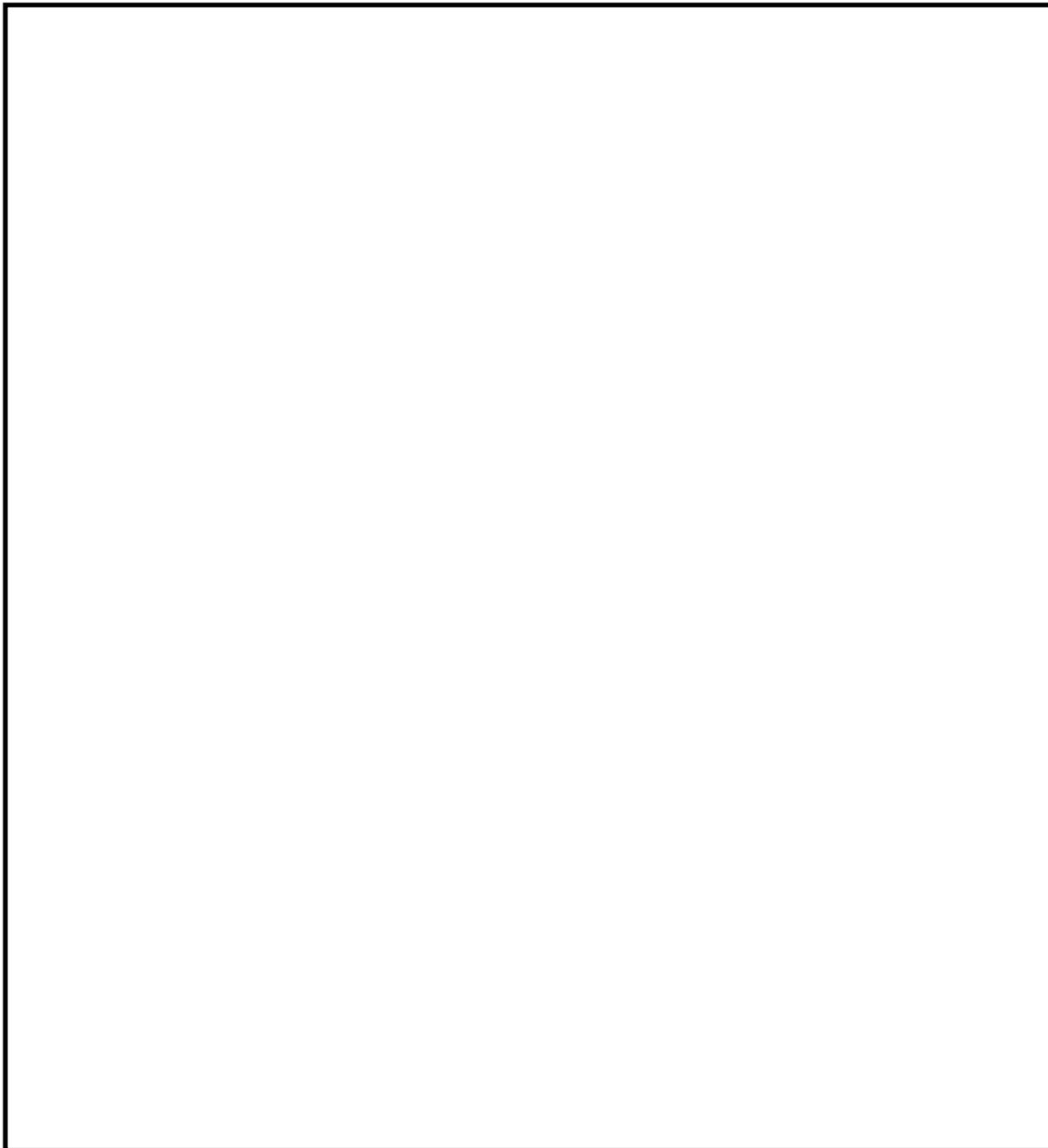
評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
胴板	SM50B	最高使用温度	60	304	471	—
脚	SM50B	周囲環境温度		309	480	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

表 4-6 使用材料の許容応力（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 (R T) (MPa)
		最高使用温度				
胴板	SM50B	最高使用温度	60	304	471	—
脚	SM50B	周囲環境温度		309	480	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

4.3 解析モデル及び諸元

解析モデルは、横置一胴円筒形容器の3次元シェルモデルを用いる。解析モデル図を図4-1に、機器の諸元を表4-7に示す。



4.4 計算条件

胴板の応力解析に用いる自重（胴板及び脚）及び荷重（地震荷重等）は、本計算書の【非常用ディーゼル発電機空気だめ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。

4.5 固有周期の評価

4.1 節で求めた固有周期から添付書類V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

4.6 応力の評価

4.6.1 胴板及び脚の応力評価

4.1 節で求めた各部の応力最大値が胴板の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

4.6.2 基礎ボルトの応力評価

4.1 節で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

$\begin{matrix} \text{弾性設計用地震動 } S_d \\ \text{又は静的震度による} \\ \text{荷重との組合せの場合} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{基準地震動 } S_s \text{ による} \\ \text{荷重との組合せの場合} \end{matrix}$
$\begin{matrix} \text{許容引張応力} \\ f_{to} \end{matrix}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
$\begin{matrix} \text{許容せん断応力} \\ f_{sb} \end{matrix}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電機空気だめの設計基準対象施設として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，耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機空気だめ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，耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

【非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
非常用ディーゼル発電機 空気だめ	S	原子炉建屋 EL. -4.0*			C _H =0.87	C _V =0.90	C _H =0.87	C _V =0.90	3.24	60		-

注記 * : 基準レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)
-	-	-	-	-	-	-

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

m ₀ (kg)	m _{S1} (kg)	m _{S2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
	-	-	1200	22.0	22.0	-	-	-	-	-

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)
-	-	-	-	-	-	-	-

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	4	—	—	—	—	452.4 (M24)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
^{*1} 304 (16mm<厚さ≤40mm)	^{*1} 471 (16mm<厚さ≤40mm)	—	^{*2} 309 (16mm<厚さ≤40mm)	^{*2} 480 (16mm<厚さ≤40mm)	—	—	^{*2} 231 (16mm<径≤40mm)	^{*2} 394 (16mm<径≤40mm)	231	276

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

1.3.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次一般膜	$\sigma_0 = 90$	$\sigma_0 = 90$
一次	$\sigma_1 = 107$	$\sigma_1 = 107$
一次+二次	$\sigma_2 = 31$	$\sigma_2 = 31$

1.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次	$\sigma_{s1} = 80$	$\sigma_{s1} = 80$
一次+二次	$\sigma_{s2} = 29$	$\sigma_{s2} = 29$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
引張り	$\sigma_b = 9$	$\sigma_b = 9$
せん断	$\tau_b = 61$	$\tau_b = 61$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

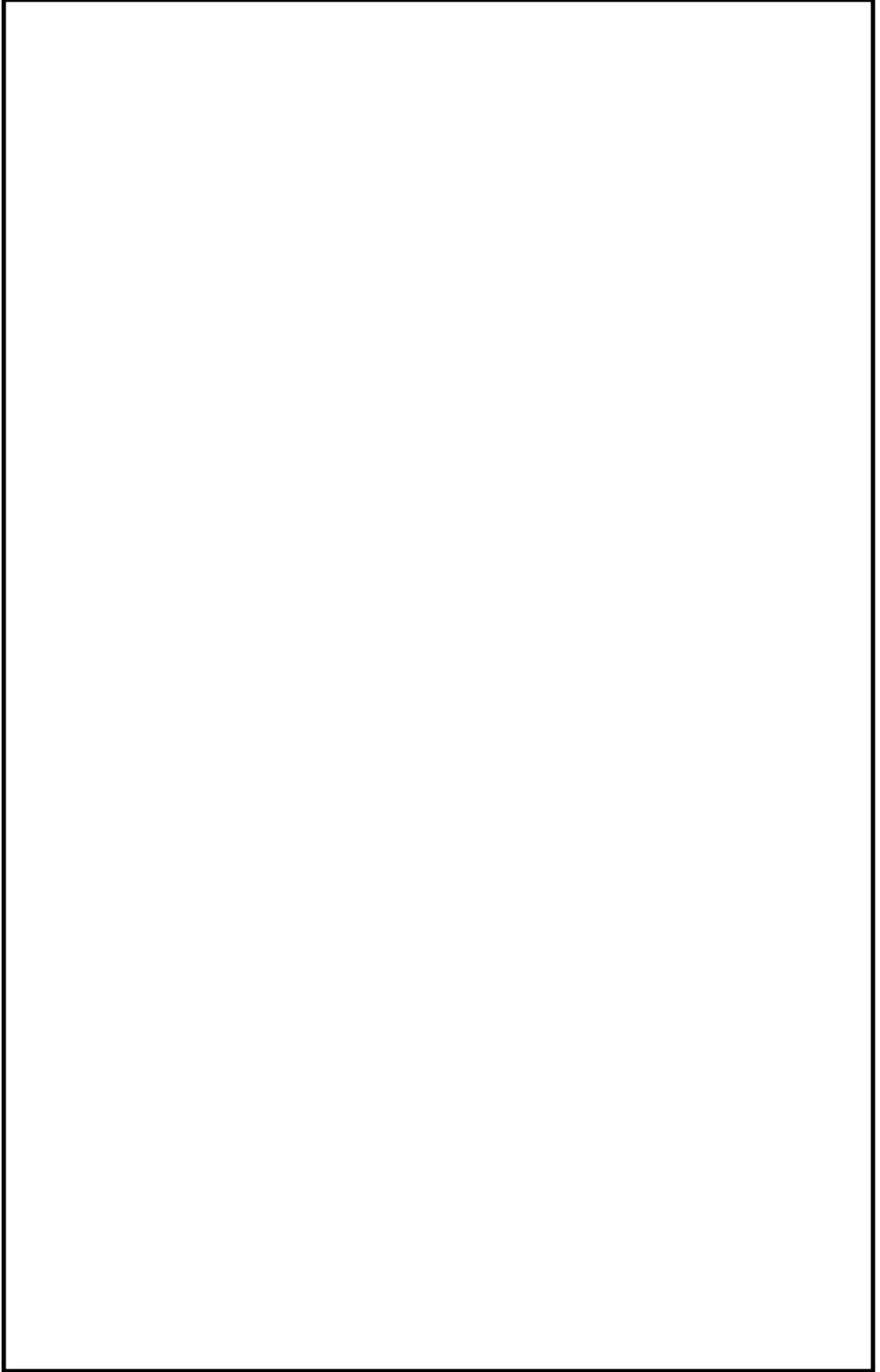
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	
横 方 向	
鉛 直 方 向	

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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
胴 板	SM50B	一 次 一 般 膜	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一 次 + 二 次	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚	SM50B	一 次	$\sigma_{S1} = 80$	$S_a = 432$	$\sigma_{S1} = 80$	$S_a = 432$
		一 次 + 二 次	$\sigma_{S2} = 29$	$S_a = 619$	$\sigma_{S2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト	SS41	引 張 り	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 145$	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192$
		せ ん 断	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



空気だめの解析モデル

【非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
非常用ディーゼル発電機 空気だめ	— (S s 機能維持)	原子炉建屋 EL. -4.0*			—	—	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	3.24	60		—

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)
—	—	—	—	—	—	—

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

m_0 (kg)	m_{S1} (kg)	m_{S2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
	—	—	1200	22.0	22.0	—	—	—	—	—

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)
—	—	—	—	—	—	—	—

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	4	—	—	—	—	452.4 (M24)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
304 ^{*1} (16mm<厚さ≤40mm)	471 ^{*1} (16mm<厚さ≤40mm)	—	309 ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	480 ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	—	—	231 ^{*2} (16mm<径≤40mm)	394 ^{*2} (16mm<径≤40mm)	231	276

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

2.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 90$
一次	—	$\sigma_1 = 107$
一次+二次	—	$\sigma_2 = 31$

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次	—	$\sigma_{s1} = 80$
一次+二次	—	$\sigma_{s2} = 29$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
引張り	—	$\sigma_b = 9$
せん断	—	$\tau_b = 61$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

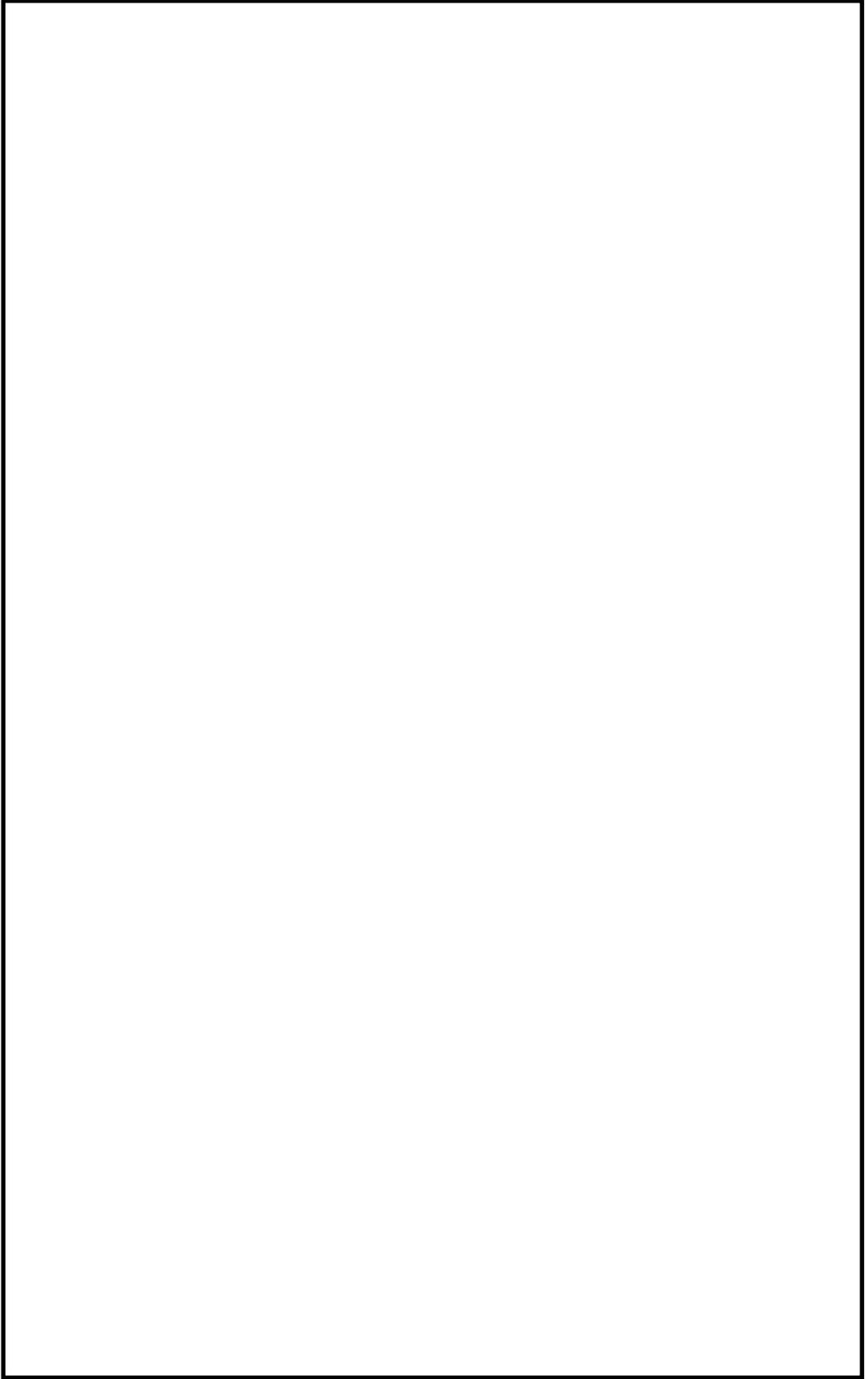
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	
横 方 向	
鉛 直 方 向	

2.4.2 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
胴 板	SM50B	一 次 一 般 膜	—	—	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚	SM50B	一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト	SS41	引 張 り	—	—	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



空気だめの解析モデル

6. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979
revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003)「サドル支持の横置圧力容器」

V-2-10-1-2-3 非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 記号の説明	2
1.3 計算精度と数値の丸め方	5
2. 構造説明	5
2.1 構造計画	5
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 計算条件	13
4.5 固有周期の評価	13
4.6 応力の評価	13
4.7 疲労解析評価	15
5. 評価結果	18
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	18
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	18
6. 引用文献	29

1. 一般事項

本計算書は、添付書類 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の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電装置燃料油デイト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。その耐震評価は、応力評価により行う。

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクは、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、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、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、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, J E A G 4 6 0 1 - 1987 及び J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

1.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_0	設計・建設規格 PVB-3315 に定める値	—
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
B_0	設計・建設規格 PVB-3315 に定める値	—
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C_{c_j}	周方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{l_j}	軸方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト(外側)中心までの長手方向の距離	mm
E	材料の使用温度における縦弾性係数	MPa
E'	設計・建設規格 添付4-2に定める値($=2.07 \times 10^5$)	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 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_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎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基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa

記号	記号の説明	単位
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
H	水頭	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
K	疲労強度減少係数または応力集中係数	—
K_e	繰返しピーク応力強さの割増し係数	—
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
K_{cj}, K_{lj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
l_0	脚中心間距離	mm
l_i	第1脚より各荷重までの距離(ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。)($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	mm
l_w	当て板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
N	実際の繰返し回数	—
N_a	許容繰返し回数	—
N_1	S_1 に対応する許容繰返し回数	—
N_2	S_2 に対応する許容繰返し回数	—
q	設計・建設規格 PVB-3315 に定める値	—
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴及び脚の許容応力	MPa
S_a'	設計・建設規格 付録材料図表 添付 4-2.2 に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S_{ℓ}	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_{ℓ}'	補正した繰返しピーク応力強さ	MPa
S_n	一次＋二次応力強さ（＝算出応力）	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S_p	応力集中係数を考慮した一次＋二次応力強さ	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
$S_y (RT)$	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
S_1	設計・建設規格 付録材料図表 添付 4-2.2 に定める値	MPa
S_2	設計・建設規格 付録材料図表 添付 4-2.2 に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第 1 脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第 1 脚付け根部における胴の有効板厚	mm
U_f	疲労累積係数	—
Z_{s_x}	第 1 脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{s_y}	第 1 脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の 2 分の 1	rad
θ_0	胴の第 1 脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第 1 脚端部より当板端部までの角度	rad
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年）をいう。

1.3 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりである。

表1-1 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
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	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}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
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

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. 構造説明

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
横置一胴 円筒形容器	胴板を 6 個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。	鏡板を有する横置一胴円筒形	

3. 評価部位

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの評価部位については、付録 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、胴板、脚及び基礎ボルトについて実施する。

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) 非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの胴板、脚及び基礎ボルトの応力評価については、付録 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」に記載の横置一胴円筒形容器モデルと脚の形状が異なることから、詳細評価として他社プラントの工事計画にて実績のある有限要素解析手法を適用する。

(2) 解析コードは A B A Q U S を使用する。

なお、評価に用いる解析コード A B A Q U S の検証及び妥当性確認等の概要については、付録 19「計算機プログラム（解析コード）の概要・A B A Q U S」に示す。

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

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの許容応力を表 4-3～表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	非常用ディーゼル発電装置 燃料油デイタンク	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 2，3 容器及びクラス 2，3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 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	非常用ディーゼル発電装置 燃料油デイタンク	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ⁴

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 容器の支持構造物を含む。

*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。

*4：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 4-3 許容応力（クラス 2， 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器（クラス 2， 3 容器））

許容応力状態	許 容 限 界 *1			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル 合金については上記値と 1.2・Sとの大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 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、疲労解析は行わない。	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V _A S *2			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、疲労解析は行わない。	

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：V_ASとして、Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

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：クラス 2 支持構造物において F 値の算出時， S_y 及び $S_y (RT)$ をそれぞれ $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y (RT)$ と読み替える。

クラス 3 支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

*3：V_AS として，Ⅳ_AS の許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

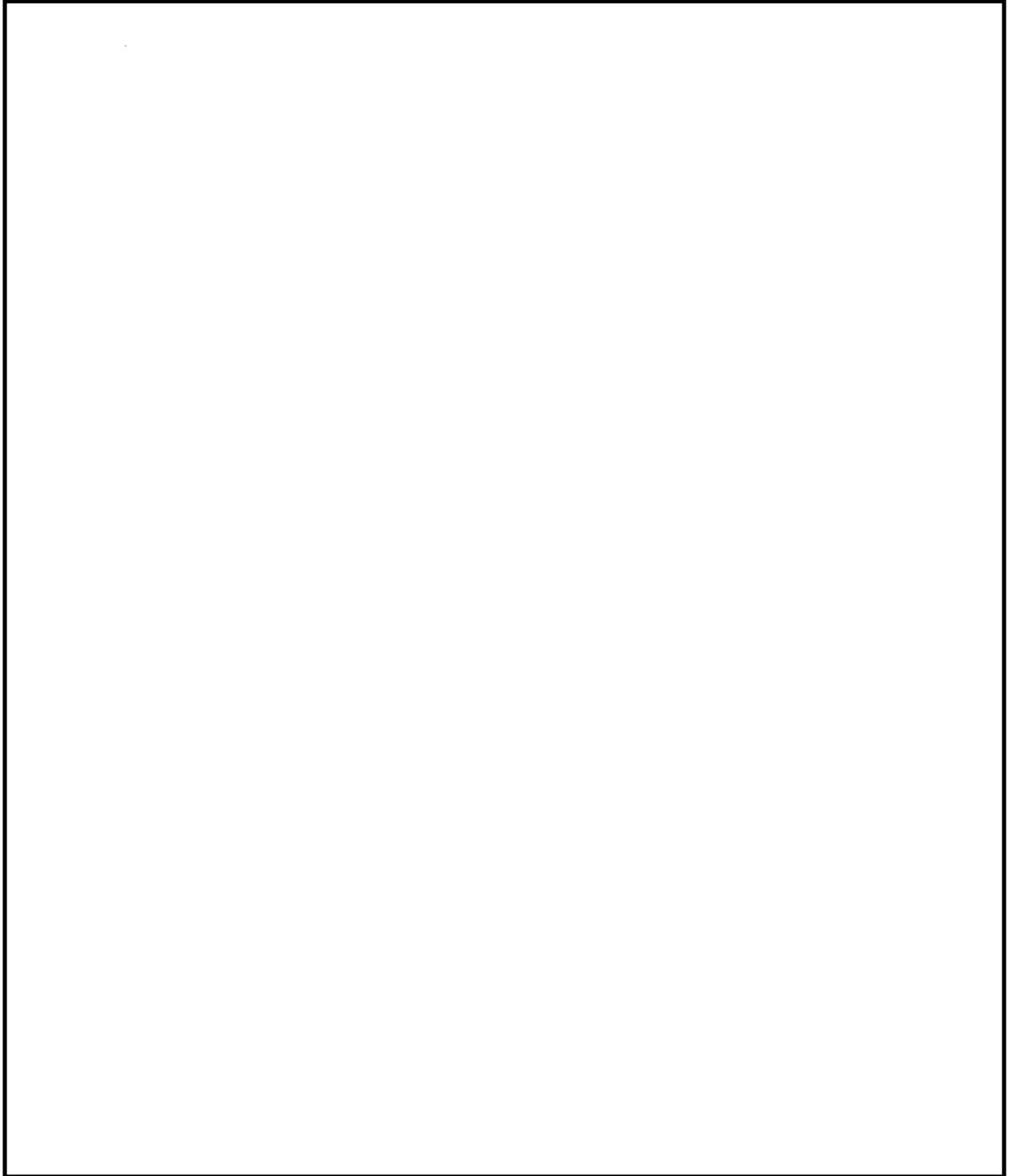
評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
胴板	SS41	最高使用温度	55	239	391	—
脚	SS41	周囲環境温度		231	394	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

表 4-6 使用材料の許容応力（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 (R T) (MPa)
		最高使用温度				
胴板	SS41	最高使用温度	55	239	391	—
脚	SS41	周囲環境温度		231	394	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

4.3 解析モデル及び諸元

解析モデルは、横置一胴円筒形容器の3次元シェルモデルを用いる。解析モデル図を図4-1に、機器の諸元を表4-7に示す。



4.4 計算条件

胴板の応力解析に用いる自重（胴板及び脚）及び荷重（地震荷重等）は、本計算書の【非常用ディーゼル発電装置燃料油デイト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。

4.5 固有周期の評価

4.1 節で求めた固有周期から添付書類V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

4.6 応力の評価

4.6.1 胴板及び脚の応力評価

4.1 節で求めた各部の応力最大値が胴板の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

4.6.2 基礎ボルトの応力評価

4.1 節で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	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_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5^*$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.7 疲労解析評価

胴板及び脚の応力評価において、一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍を上回る場合には、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007 年）PVB-3315 に規定された簡易弾塑性評価方法に基づき、疲労解析評価を実施する。

なお、疲労解析評価に用いる実際の繰返し回数 N は 回とする。

(1) 応力集中係数を考慮した一次＋二次応力強さ

応力集中係数を考慮した一次＋二次応力強さ S_p を次式により求める。

$$S_p = S_n \cdot K \quad \dots \dots \dots (4.7.1)$$

ここで、応力集中係数 K は、理論的に求めた値または表 4-8 に示す値を使用し、解析を実施する。

表 4-8 疲労強度減少係数または応力集中係数

容器の部分	疲労強度減少係数 または応力集中係数
局所的な構造上の不連続部	5
ボルトのねじ部	4
容器のラグ、ブラケット等の取付物（強め材，支持構造物及び炉心支持構造物を除く）を取り付けるすみ肉溶接部	4

(2) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_ℓ を次式により求める。

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \dots \dots \dots (4.7.2)$$

ここで、繰返しピーク応力強さの割増し係数 K_e は、次の手順で求める。

a. $K < B_0$ の場合

$$(a) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K} \right) \dots \dots \dots (4.7.3)$$

$$(b) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right) \dots \dots \dots (4.7.4)$$

b. $K \geq B_0$ の場合

$$(a) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q - 1)}}{a}$$

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + 1 - a \dots \dots (4.7.5)$$

$$(b) \quad \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q - 1)}}{a}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right) \dots \dots \dots (4.7.6)$$

ここで,

$$K = \frac{S_p}{S_n} \dots \dots \dots (4.7.7)$$

$$a = A_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{K} \right] + (q-1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{K} \right] \cdot (q-1)} \dots \dots \dots (4.7.8)$$

また, q , A_0 及び B_0 を表 4-9 に示す。

表 4-9 q , A_0 及び B_0 の値

材料の種類	q	A_0	B_0
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

(3) 繰返しピーク応力強さの補正

縦弾性係数比を考慮し, 繰返しピーク応力強さ S_0 を次式で補正する。

$$S_0' = \frac{S_0 \cdot E'}{E} \dots \dots \dots (4.7.9)$$

(4) 許容繰返し回数

許容繰返し回数 N_a は次式により求める。

$$N_a = N_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{\log S_2 / S_{a'}}{\log S_2 / S_1}} \dots \dots \dots (4.7.10)$$

(5) 疲労累積係数

疲労累積係数 U_f が次式を満足することを確認する。

$$U_f = \sum_{i=1}^k \frac{N_c(i)}{N_a(i)} \leq 1.0 \dots \dots \dots (4.7.11)$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの設計基準対象施設として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，耐震性を有することを確認した。(一次＋二次応力については許容応力を超える結果となるが，一次＋二次＋ピーク応力が疲労解析評価により許容値以下となることを確認した。)

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンク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，耐震性を有することを確認した。(一次＋二次応力については許容応力を超える結果となるが，一次＋二次＋ピーク応力が疲労解析評価により許容値以下となることを確認した。)

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

【非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
非常用ディーゼル発電装置 燃料油デイトンク	S	原子炉建屋 EL. 8.2*			$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	静水頭	55		-

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)
-	-	-	-	-	-	-

l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	l_4 (mm)	l_5 (mm)	l_6 (mm)	l_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	l_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	l_w (mm)
	-	-	1800	9.0	12.0	-	-	-	-	-

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)
-	-	-	-	-	-	-	-

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	6	—	—	—	—	706.9 (M30)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
239 ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	391 ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	—	231 ^{*2} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	394 ^{*2} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	—	—	231 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	394 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	231	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

1.3.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一 次 一 般 膜	$\sigma_0 = 27$	$\sigma_0 = 27$
一 次	$\sigma_1 = 87$	$\sigma_1 = 87$
一 次 + 二 次	$\sigma_2 = 569$	$\sigma_2 = 569$

1.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一 次	$\sigma_{s1} = 129$	$\sigma_{s1} = 129$
一 次 + 二 次	$\sigma_{s2} = 540$	$\sigma_{s2} = 540$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
引 張 り	$\sigma_b = 24$	$\sigma_b = 24$
せ ん 断	$\tau_b = 72$	$\tau_b = 72$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

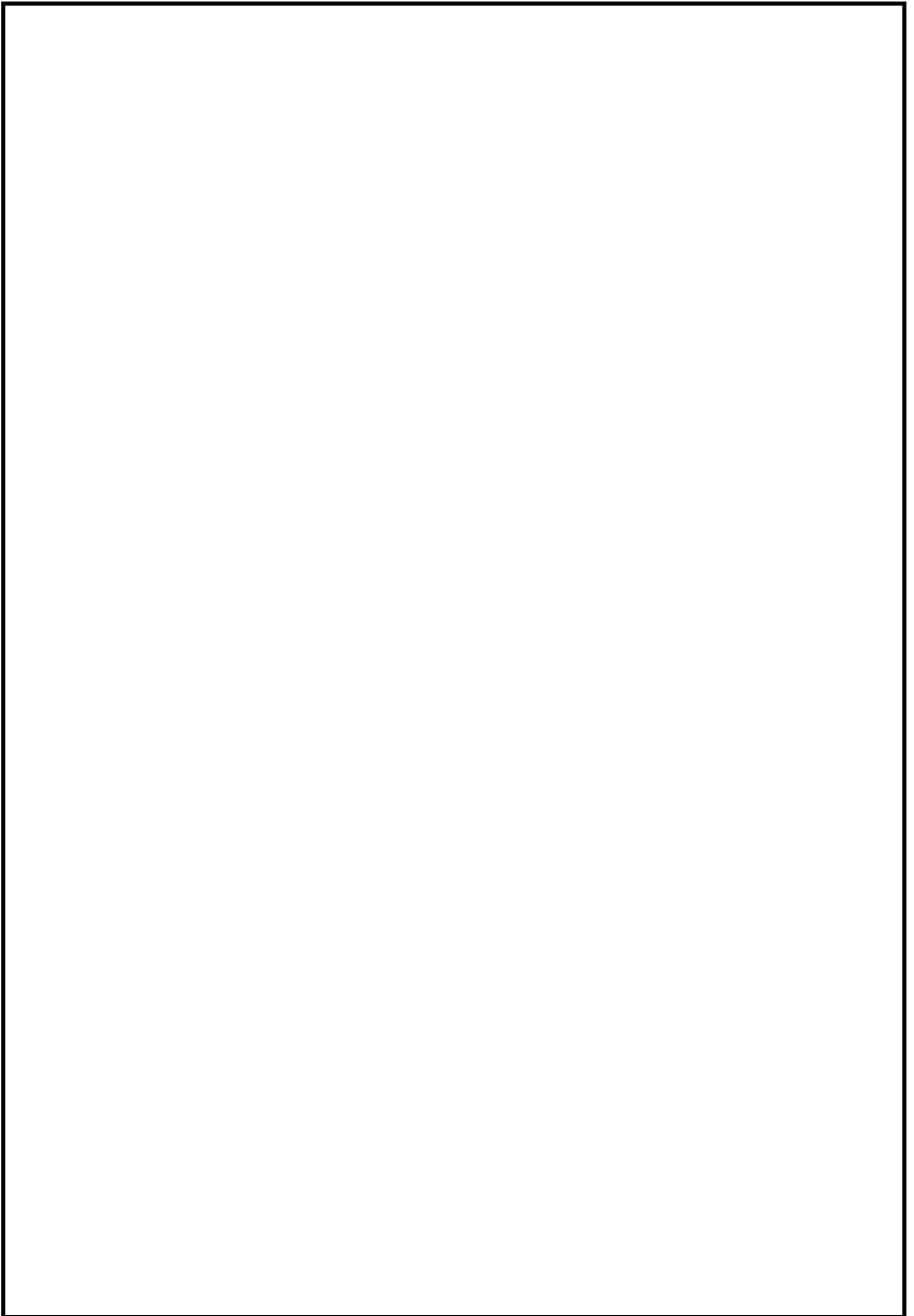
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	
横 方 向	
鉛 直 方 向	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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
胴 板	SS41	一 次 一 般 膜	$\sigma_0 = 27$	$S_a = 235$	$\sigma_0 = 27$	$S_a = 235$
		一 次	$\sigma_1 = 87$	$S_a = 352$	$\sigma_1 = 87$	$S_a = 352$
		一 次 + 二 次	$\sigma_2 = 569$	$S_a = 478$	$\sigma_2 = 569$	$S_a = 478$
		一 次 + 二 次 + ピーク	[疲労累積係数] 0.48	[疲労累積係数] ≤ 1.0	[疲労累積係数] 0.48	[疲労累積係数] ≤ 1.0
脚	SS41	一 次	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 346$	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 355$
		一 次 + 二 次	$\sigma_{s2} = 540$	$S_a = 462$	$\sigma_{s2} = 540$	$S_a = 462$
		一 次 + 二 次 + ピーク	[疲労累積係数] 0.18	[疲労累積係数] ≤ 1.0	[疲労累積係数] 0.18	[疲労累積係数] ≤ 1.0
基礎ボルト	SS41	引 張 り	$\sigma_b = 24$	$f_{ts} = 127$	$\sigma_b = 24$	$f_{ts} = 174$
		せ ん 断	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



燃料油デイトンクの解析モデル

【非常用ディーゼル発電装置燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
非常用ディーゼル発電装置 燃料油デイトンク	— (S _s 機能維持)	原子炉建屋 EL. 8.2*			—	—	C _H =1.10	C _V =0.96	静水頭	55		—

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)
—	—	—	—	—	—	—

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
	—	—	1800	9.0	12.0	—	—	—	—	—

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)
—	—	—	—	—	—	—	—

NT2 補① V-2-10-1-2-3 R0

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	6	—	—	—	—	706.9 (M30)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
239 ^{*1} (厚さ ≤ 16 mm)	391 ^{*1} (厚さ ≤ 16 mm)	—	231 ^{*2} (16mm<厚さ ≤ 40 mm)	394 ^{*2} (16mm<厚さ ≤ 40 mm)	—	—	231 ^{*2} (16mm<径 ≤ 40 mm)	394 ^{*2} (16mm<径 ≤ 40 mm)	—	276

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

2.3.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 27$
一 次	—	$\sigma_1 = 87$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 569$

2.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 129$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 540$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
引 張 り	—	$\sigma_b = 24$
せん断	—	$\tau_b = 72$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

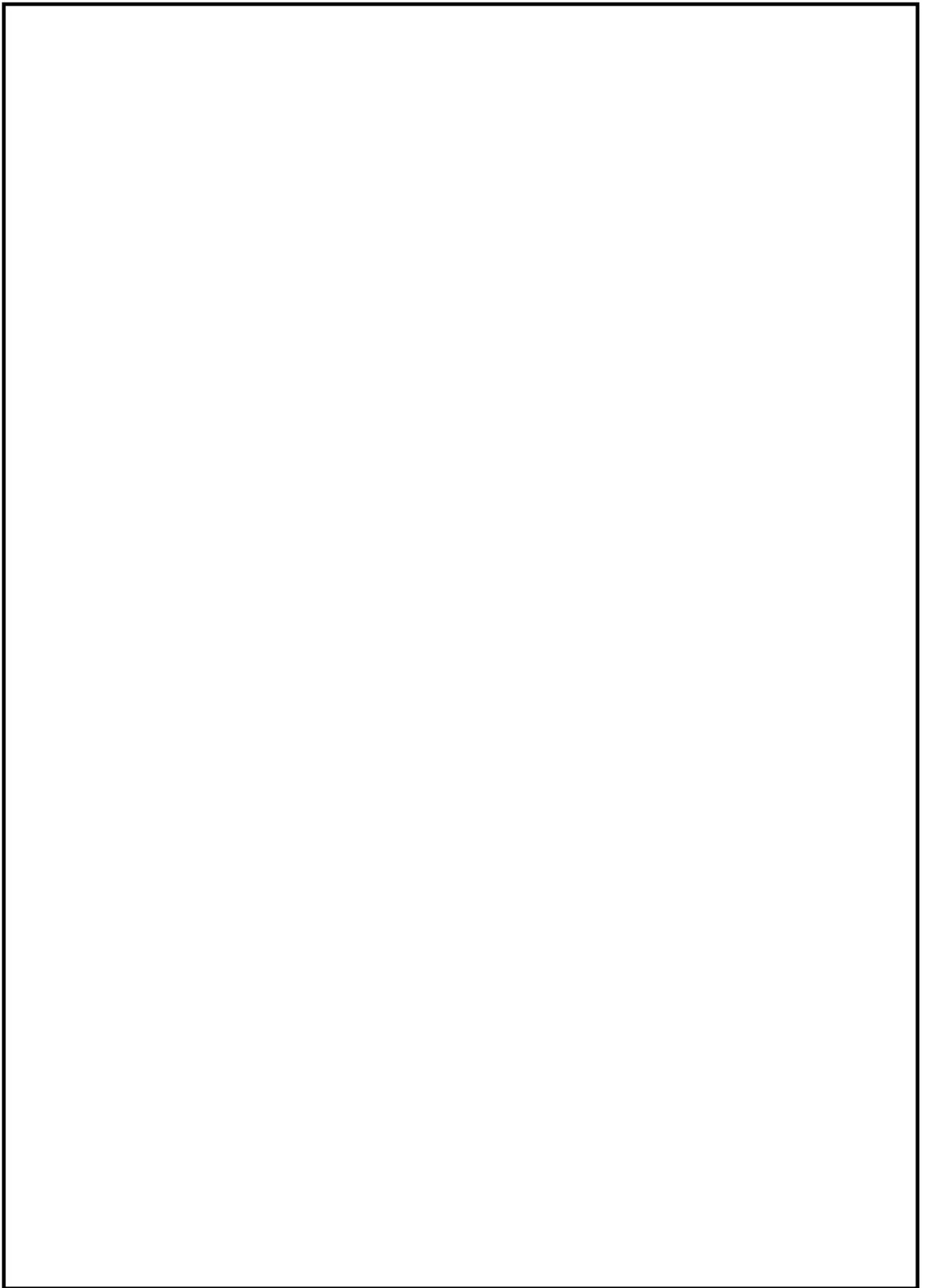
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	
横 方 向	
鉛 直 方 向	

2.4.2 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
胴 板	SS41	一 次 一 般 膜	—	—	$\sigma_0 = 27$	$S_a = 235$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 87$	$S_a = 352$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_2 = 569$	$S_a = 478$
		一 次 + 二 次 + ピ ー ク	—	—	[疲労累積係数] 0.48	[疲労累積係数] ≤ 1.0
脚	SS41	一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 355$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_{s2} = 540$	$S_a = 462$
		一 次 + 二 次 + ピ ー ク	—	—	[疲労累積係数] 0.18	[疲労累積係数] ≤ 1.0
基礎ボルト	SS41	引 張 り	—	—	$\sigma_b = 24$	$f_{ts} = 174$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



燃料油デイタンクの解析モデル

6. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep.1951.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979
revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003)「サドル支持の横置圧力容器」

V-2-10-1-2-7 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	1
2.1 構造計画	1
3. 応力評価	3
3.1 基本方針	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 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、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプは、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、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以外の常設重大事故防止設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
(1) たて軸ポンプ	ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形	

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は、付録5「たて軸ポンプ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評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの許容応力を表3-3に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの使用材料の許容応力を表3-4～表3-5に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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 附属設備	非常用電源 設備	非常用ディーゼル 発電機用海水ポンプ	S	クラス 3 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 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 附属設備	非常用電源 設備	非常用ディーゼル 発電機用海水ポンプ	常設／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^*3$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ⁴

注記 *1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*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。

*4：V_A Sとして、Ⅳ_A Sの許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

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：クラス 2 支持構造物において F 値の算出時， S_y 及び S_y (RT) をそれぞれ $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y$ (RT) と読み替える。

クラス 3 支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読替えを行わない。

*3：V_AS として，Ⅳ_AS の許容限界を用いる。

表 3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	[Redacted]	周囲環境温度	[Redacted]	241	391	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機台取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度	[Redacted]	198	504	205

表 3-5 使用材料の許容応力（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト	[Redacted]	周囲環境温度	[Redacted]	241	391	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機台取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度	[Redacted]	198	504	205

4. 機能維持評価

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ	立形斜流 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり 軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの設計基準対象施設として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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(3) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
				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				
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	S	海水ポンプ室 EL. 0.3*1	0.074	C _H =0.69*2*3	C _V =2.66*3	C _H =0.69*2*4	C _V =2.66*4	C _p =0.09	50		0.70

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 動解析用の水平方向震度は、基準地震動 S_s に基づく動的解析より得られる応答値 (HWL 1次固有周期 0.074 s : C_H=2.68)

(津波時引き波水位 1次固有周期 0.069 s : C_H=2.54)

*3: 弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度

*4: 基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (L _i) (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i}	M _p (N・mm)	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	S _y (RT) _i (MPa)	F _i (MPa)	
										弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				4	2	—	241*2 (径≤100mm)	391*2 (径≤100mm)	—	241	274
ポンプ取付ボルト (i=2)				12	12	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	205	205
原動機台取付ボルト (i=3)				10	10	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	205	205
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	3.501×10 ⁵	198*2	504*2	205*3	205	205

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 室温で算出

(2) コラムパイプ

部材	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	298.5	10.0

G

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p = 65	N = 1500

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	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	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	1.332×10 ⁷	1.332×10 ⁷	2.834×10 ⁴	2.834×10 ⁴	2.656×10 ⁴	2.656×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	6.186×10 ⁶	6.186×10 ⁶	7.244×10 ³	7.244×10 ³	1.219×10 ⁴	1.219×10 ⁴
原動機台取付ボルト (i=3)	1.253×10 ⁷	1.253×10 ⁷	6.527×10 ³	6.527×10 ³	1.437×10 ⁴	1.437×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=4)	1.703×10 ⁶	1.703×10 ⁶	2.946×10 ³	2.946×10 ³	8.909×10 ³	8.909×10 ³

(2) コラムパイプに作用する力

部 材	M (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
コラムパイプ	5.666×10 ⁶	5.666×10 ⁶

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平1次	T _{H1} =0.074
水平2次	T _{H2} =0.036
鉛直1次	T _{V1} =0.035

1.4.2 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
基礎ボルト	[]	引張り	[]	[]	[]	[]
		せん断				
ポンプ取付ボルト	[]	引張り				
		せん断				
原動機台取付ボルト	[]	引張り				
		せん断				
原動機取付ボルト	[]	引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

注記 * : (3.3.2式より算出)

1.4.3 コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
コラムパイプ	[]	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	[]
		基準地震動 S _s	[]

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

(単位: ×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.57	10.0
	鉛直方向	2.22	1.0
原動機	水平方向	0.57	2.5
	鉛直方向	2.22	1.0

評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えていることから、次ページに詳細評価結果を示す。

1.4.5 動的機能維持の詳細評価結果

(1) ポンプ

機器名称	形式		要求機能	評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)				機能確認済 加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		ストッパの応力評価 (MPa)				軸受荷重評価 (N)						
				弾性設計用 地震動 S_d		基準地震動 S_s				ストッパ 位置*		算出応力		許容応力		軸受位置*	軸受荷重		許容荷重	
				水平	鉛直	水平	鉛直					水平	鉛直	弾性設計用 地震動 S_d	基準地震動 S_s		弾性設計用 地震動 S_d	基準地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d	基準地震動 S_s
非常用 ディーゼル 発電機用 海水ポンプ	立形	立形 斜流式	$\beta (S_s)$	0.57	2.22	0.57	2.22	10.0	1.0	取付ボルト①					軸受①					
									取付ボルト②	軸受②										
										軸受③					下側					
										軸受④					上側					
										軸受⑤					下側					

注：要求機能の分類は以下による。

$\alpha (S_s)$ ：基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d 時に動的機能が要求されるもの

$\beta (S_s)$ ：基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d 後に動的機能が要求されるもの

注記 *：耐震性についての計算結果モデル図参照

以上から次のことを確認した。

算出応力 \leq 許容応力

軸受荷重 \leq 許容荷重

(2) 電動機

機器名称	形 式		要求機能	評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)				機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		軸の応力評価 (MPa)				軸受荷重評価* (N)			
				弾性設計用地震動 S_d		基準地震動 S_s		水平	鉛直	算出応力		許容応力		軸受荷重		許容荷重	
				水平	鉛直	水平	鉛直			弾性設計用 地震動 S_d	基準地震動 S_s						
非常用 ディーゼル 発電機用 海水ポンプ	立形	ころがり 軸受機	$\beta (S_s)$	0.57	2.22	0.57	2.22	2.5	1.0								

注記 * : 軸受荷重評価については、上段が電動機上部軸受、下段が電動機下部軸受の結果を示す。

以上から次のことを確認した。

算出応力 \leq 許容応力

軸受荷重 \leq 許容荷重

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

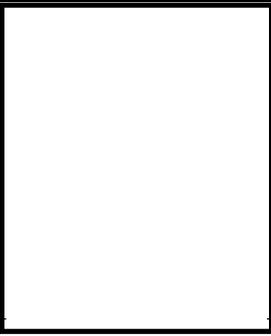
節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

NT2 補① V-2-10-1-2-7 R0

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		6.362×10^5	1.272×10^6
2	2-3	1		6.362×10^5	1.272×10^6
3	3-4	1		6.362×10^5	1.272×10^6
4	4-45	1		6.362×10^5	1.272×10^6
5	45-5	1		5.555×10^5	1.111×10^6
6	5-6	1		4.715×10^6	9.431×10^6
7	6-7	1		4.715×10^6	9.431×10^6
8	7-8	1		4.909×10^6	9.817×10^6
9	8-9	1		2.330×10^6	4.659×10^6
10	9-10	1		4.909×10^6	9.817×10^6
11	10-46	1		4.715×10^6	9.431×10^6
12	46-11	1		4.715×10^6	9.431×10^6
13	11-12	1		4.909×10^6	9.817×10^6
14	12-13	1		4.909×10^6	9.817×10^6
15	13-14	1		1.771×10^6	3.542×10^6
16	14-15	1		1.771×10^6	3.542×10^6
17	15-16	1		2.011×10^6	4.021×10^6
18	16-17	2		2.485×10^7	4.970×10^7
19	17-18	3		2.562×10^6	5.125×10^6
20	18-49	3		6.678×10^6	1.336×10^7
21	19-20	3		8.762×10^5	1.752×10^6
22	21-22	1		3.010×10^7	6.020×10^7
23	22-23	1		3.532×10^8	7.063×10^8
24	23-24	1		3.532×10^8	7.063×10^8
25	24-25	1		3.532×10^8	7.063×10^8
26	25-47	1		3.532×10^8	7.063×10^8
27	47-26	1		3.532×10^8	7.063×10^8
28	26-27	1		1.154×10^8	2.308×10^8
29	27-28	1		1.154×10^8	2.308×10^8
30	28-29	1		1.154×10^8	2.308×10^8
31	29-30	1		1.154×10^8	2.308×10^8
32	30-31	1		1.154×10^8	2.308×10^8
33	31-48	1		1.154×10^8	2.308×10^8
34	48-32	1		1.154×10^8	2.308×10^8
35	32-33	1		1.154×10^8	2.308×10^8
36	33-34	1		1.705×10^8	3.411×10^8
37	34-35	1		1.705×10^8	3.411×10^8
38	35-36	1		1.705×10^8	3.411×10^8
39	43-37	2		7.981×10^{10}	1.596×10^{11}
40	43-38	2		3.841×10^{10}	7.682×10^{10}
41	38-39	2		6.070×10^9	1.214×10^{10}
42	39-40	4		4.530×10^8	9.060×10^8
43	40-50	4		4.530×10^8	9.060×10^8
44	41-42	4		3.802×10^8	7.604×10^8
45	49-19	3		4.909×10^6	9.817×10^6
46	50-41	4		4.530×10^8	9.060×10^8

(3) ばね結合部の指定

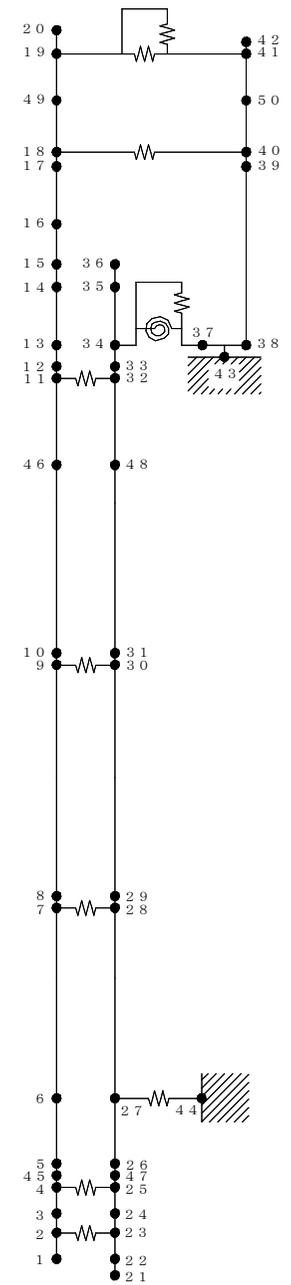
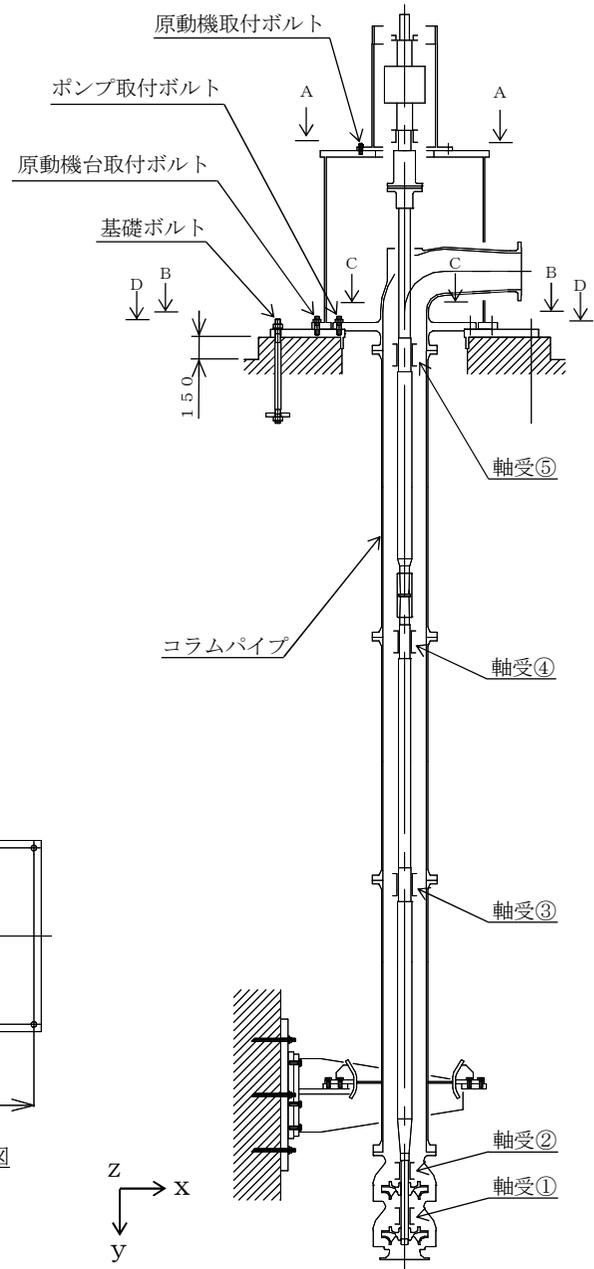
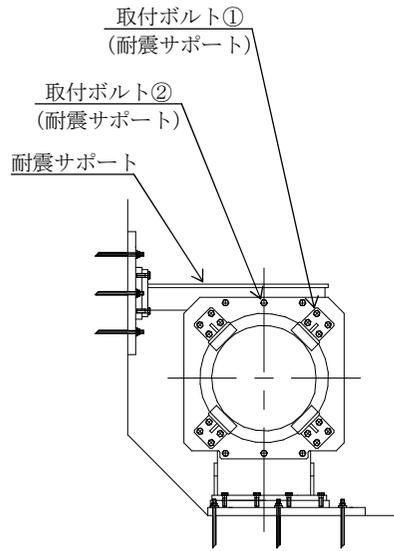
ばねの両端の節点番号		ばねの方向	ばね定数
2	23	1	
4	25	1	
7	28	1	
9	30	1	
11	32	1	
18	40	1	
19	41	1	
27	44	1	
19	41	2	
34	37	2	
34	37	6	

(4) 節点の付加質量

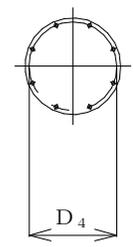
節点番号	付加質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)	材 質
1		1.93×10^5	0.3	
2		2.01×10^5	0.3	
3		2.06×10^5	0.3	
4		2.06×10^5	0.3	

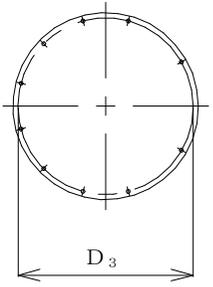


原動機取付ボルト



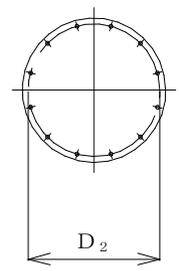
A~A矢視図

原動機台取付ボルト



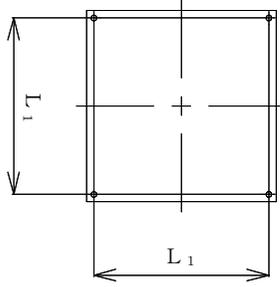
B~B矢視図

ポンプ取付ボルト



C~C矢視図

基礎ボルト



D~D矢視図

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
				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				
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	— (S _s 機能維持)	海水ポンプ室 EL. 0.3*1	0.074	—	—	C _H =0.69*2*4	C _V =2.66*4	C _P =0.09	50	<input type="text"/>	0.70

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 動解析用の水平方向震度は、基準地震動 S_s に基づく動的解析より得られる応答値 (HWL 1次固有周期 0.074 s : C_H=2.68)

(津波時引き波水位 1次固有周期 0.069 s : C_H=2.54)

*3: 弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度

*4: 基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (L _i) (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _y (R T) _i (MPa)	F _i (MPa)	
										弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	4	2	—	241*2 (径≤100mm)	391*2 (径≤100mm)	—	—	274
ポンプ取付ボルト (i=2)				12	12	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	—	205
原動機台取付ボルト (i=3)				10	10	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	—	205
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	3.501×10 ⁵	198*2	504*2	205*3	—	205

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 室温で算出

(2) コラムパイプ

部材	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	298.5	10.0

19

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p <input type="text"/>	N <input type="text"/>

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	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	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	1.332×10 ⁷	—	2.834×10 ⁴	—	2.656×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	6.186×10 ⁶	—	7.244×10 ³	—	1.219×10 ⁴
原動機台取付ボルト (i=3)	—	1.253×10 ⁷	—	6.527×10 ³	—	1.437×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=4)	—	1.703×10 ⁶	—	2.946×10 ³	—	8.909×10 ³

(2) コラムパイプに作用する力

部 材	M (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
コラムパイプ	—	5.666×10 ⁶

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平1次	T _{H1} =0.074
水平2次	T _{H2} =0.036
鉛直1次	T _{V1} =0.035

2.4.2 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
			基礎ボルト	引張り	—	—
	せん断	—	—			
ポンプ取付ボルト	引張り	—	—			
	せん断	—	—			
原動機台取付ボルト	引張り	—	—			
	せん断	—	—			
原動機取付ボルト	引張り	—	—			
	せん断	—	—			

すべて許容応力以下である。

注記 * : (3.3.2式より算出)

2.4.3 コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
コラムパイプ	[Redacted]	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	[Redacted]
		基準地震動 S _s	[Redacted]

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果

(単位: ×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.57	10.0
	鉛直方向	2.22	1.0
原動機	水平方向	0.57	2.5
	鉛直方向	2.22	1.0

評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えていることから、次ページに詳細評価結果を示す。

2.4.5 動的機能維持の詳細評価結果

(1) ポンプ

機器名称	形式		要求機能	評価用加速度 (×9.8 m/s ²)				機能確認済 加速度 (×9.8 m/s ²)		ストップの応力評価 (MPa)				軸受荷重評価 (N)										
				弾性設計用 地震動 S _d		基準地震動 S _s				ストップ 位置*		算出応力		許容応力		軸受位置*	軸受荷重		許容荷重					
				水平	鉛直	水平	鉛直					水平	鉛直	弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s		弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s		
非常用 ディーゼル 発電機用 海水ポンプ	立形	立形 斜流式	β (S _s)	-	-	0.57	2.22	10.0	1.0	取付ボルト①					軸受①									
										取付ボルト②					軸受②									
															軸受③					下側				
															軸受③					上側				
															軸受④					下側				
											軸受④	上側												
											軸受⑤	下側												
											軸受⑤	上側												

注：要求機能の分類は以下による。

α (S_s)：基準地震動 S_s，弾性設計用地震動 S_d時に動的機能が要求されるもの

β (S_s)：基準地震動 S_s，弾性設計用地震動 S_d後に動的機能が要求されるもの

注記 *：耐震性についての計算結果モデル図参照

以上から次のことを確認した。

算出応力 ≤ 許容応力

軸受荷重 ≤ 許容荷重

(2) 電動機

機器名称	形式		要求機能	評価用加速度 (×9.8 m/s ²)				機能確認済 加速度 (×9.8 m/s ²)		軸の応力評価 (MPa)				軸受荷重評価* (N)			
				弾性設計用 地震動 S _d		基準地震動 S _s				算出応力		許容応力		軸受荷重		許容荷重	
				水平	鉛直	水平	鉛直							弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s
非常用 ディーゼル 発電機用 海水ポンプ	立形	ころがり 軸受機	β (S _s)	-	-	0.57	2.22	2.5	1.0								

注記 *：軸受荷重評価については、上段が電動機上部軸受，下段が電動機下部軸受の結果を示す。

以上から次のことを確認した。

算出応力 ≤ 許容応力

軸受荷重 ≤ 許容荷重

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

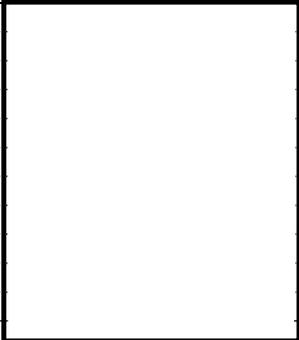
節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

NT2 補① V-2-10-1-2-7 R0

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		6.362×10^5	1.272×10^6
2	2-3	1		6.362×10^5	1.272×10^6
3	3-4	1		6.362×10^5	1.272×10^6
4	4-45	1		6.362×10^5	1.272×10^6
5	45-5	1		5.555×10^5	1.111×10^6
6	5-6	1		4.715×10^6	9.431×10^6
7	6-7	1		4.715×10^6	9.431×10^6
8	7-8	1		4.909×10^6	9.817×10^6
9	8-9	1		2.330×10^6	4.659×10^6
10	9-10	1		4.909×10^6	9.817×10^6
11	10-46	1		4.715×10^6	9.431×10^6
12	46-11	1		4.715×10^6	9.431×10^6
13	11-12	1		4.909×10^6	9.817×10^6
14	12-13	1		4.909×10^6	9.817×10^6
15	13-14	1		1.771×10^6	3.542×10^6
16	14-15	1		1.771×10^6	3.542×10^6
17	15-16	1		2.011×10^6	4.021×10^6
18	16-17	2		2.485×10^7	4.970×10^7
19	17-18	3		2.562×10^6	5.125×10^6
20	18-49	3		6.678×10^6	1.336×10^7
21	19-20	3		8.762×10^5	1.752×10^6
22	21-22	1		3.010×10^7	6.020×10^7
23	22-23	1		3.532×10^8	7.063×10^8
24	23-24	1		3.532×10^8	7.063×10^8
25	24-25	1		3.532×10^8	7.063×10^8
26	25-47	1		3.532×10^8	7.063×10^8
27	47-26	1		3.532×10^8	7.063×10^8
28	26-27	1		1.154×10^8	2.308×10^8
29	27-28	1		1.154×10^8	2.308×10^8
30	28-29	1		1.154×10^8	2.308×10^8
31	29-30	1		1.154×10^8	2.308×10^8
32	30-31	1		1.154×10^8	2.308×10^8
33	31-48	1		1.154×10^8	2.308×10^8
34	48-32	1		1.154×10^8	2.308×10^8
35	32-33	1		1.154×10^8	2.308×10^8
36	33-34	1		1.705×10^8	3.411×10^8
37	34-35	1		1.705×10^8	3.411×10^8
38	35-36	1		1.705×10^8	3.411×10^8
39	43-37	2		7.981×10^{10}	1.596×10^{11}
40	43-38	2		3.841×10^{10}	7.682×10^{10}
41	38-39	2		6.070×10^9	1.214×10^{10}
42	39-40	4		4.530×10^8	9.060×10^8
43	40-50	4		4.530×10^8	9.060×10^8
44	41-42	4		3.802×10^8	7.604×10^8
45	49-19	3		4.909×10^6	9.817×10^6
46	50-41	4		4.530×10^8	9.060×10^8

(3) ばね結合部の指定

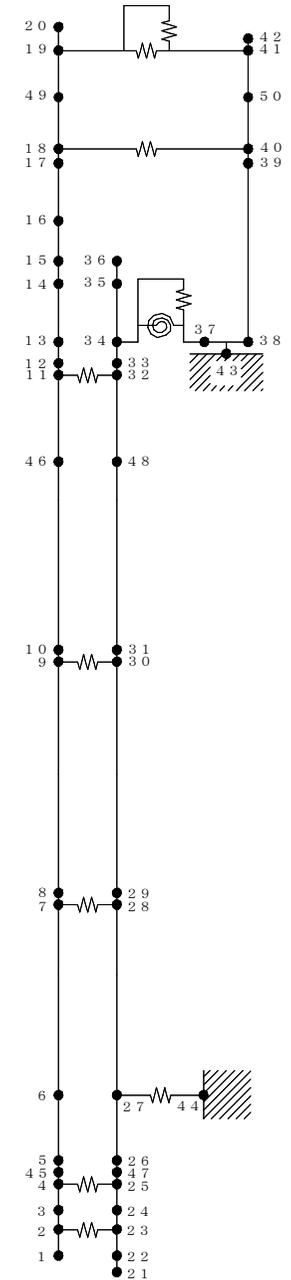
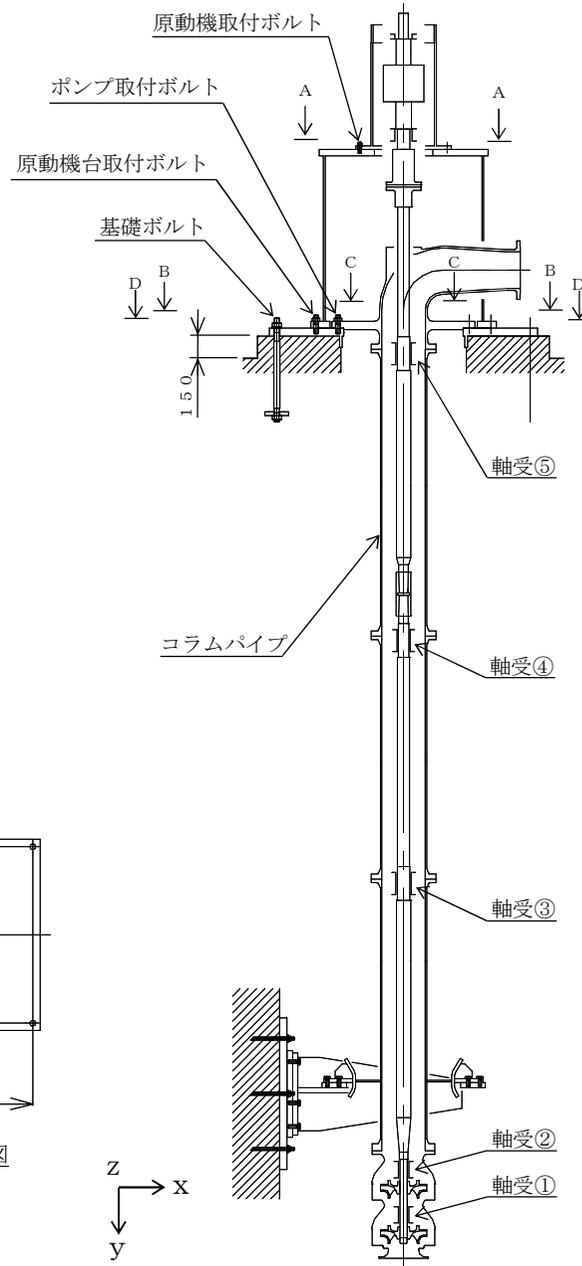
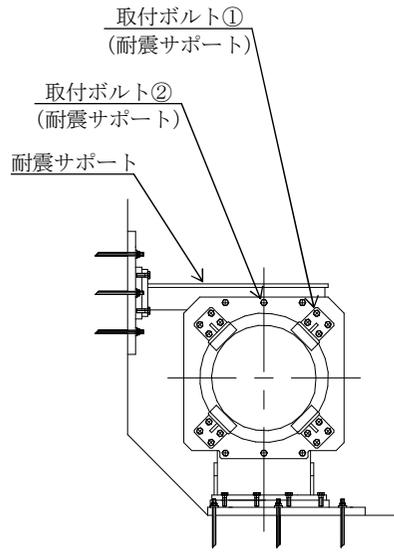
ばねの両端の節点番号		ばねの方向	ばね定数
2	23	1	
4	25	1	
7	28	1	
9	30	1	
11	32	1	
18	40	1	
19	41	1	
27	44	1	
19	41	2	
34	37	2	
34	37	6	

(4) 節点の付加質量

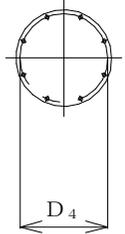
節点番号	付加質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	

(5) 材料物性値

材料番号	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)	材 質
1		1.93×10^5	0.3	
2		2.01×10^5	0.3	
3		2.06×10^5	0.3	
4		2.06×10^5	0.3	

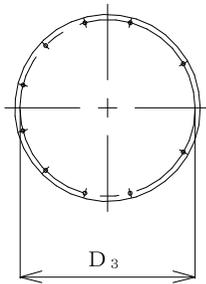


原動機取付ボルト



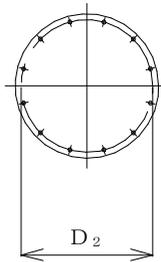
A~A矢視図

原動機台取付ボルト



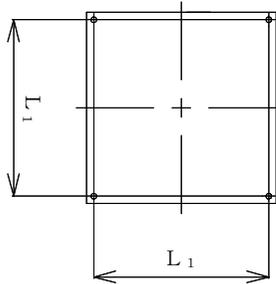
B~B矢視図

ポンプ取付ボルト



C~C矢視図

基礎ボルト



D~D矢視図

V-2-10-1-2-8 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの耐震性についての計算書

目 次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 計算条件	1
1.3 設計条件	1
1.4 記号の説明	2
1.5 計算精度と数値の丸め方	3
2. 構造説明	3
2.1 構造計画	3
3. 計算方法	5
3.1 固有周期の計算方法	5
3.2 応力の計算方法	5
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
3.2.2 許容応力	5
3.2.3 使用材の許容応力	5
3.2.4 基礎ボルトの応力	9
4. 評価方法	10
4.1 応力の評価	10
4.1.1 基礎ボルトの応力評価	10
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象設備としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 一般事項

本計算書は、非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの耐震性についての計算方法と計算結果を示す。

1.1 適用基準

本書における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月) に準拠する。

1.2 計算条件

- (1) ストレーナ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はストレーナ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) ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎については剛となるよう設計する。
- (4) 転倒方向は図 1-1 により検討し、計算条件の厳しい方で耐震性についての計算を行う。

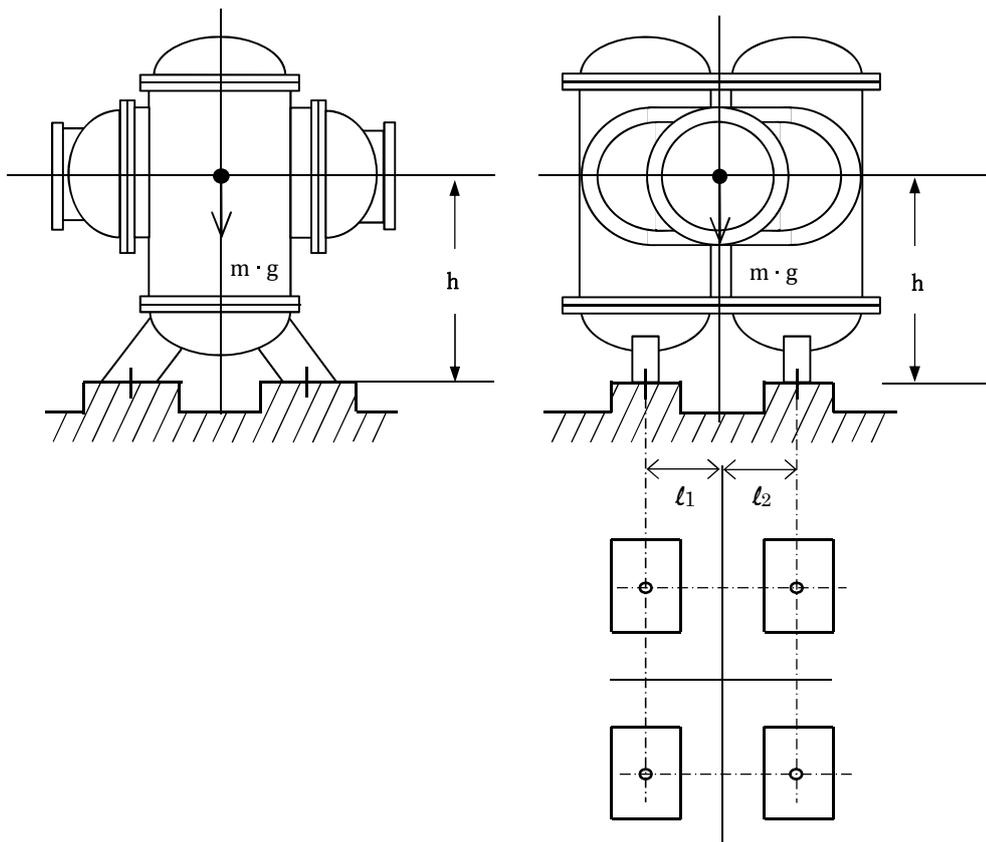


図 1-1 概要図

1.3 設計条件

(1) 使用材料

部 材	使用材料
基礎ボルト	SS400

1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎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基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	基礎から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
ℓ_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
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	基礎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
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1-2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会 2007年9月）をいう。

注2： $\ell_1 \leq \ell_2$

1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保すること。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりとする。

表1-1 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
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*1	mm	—	—	整数位
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
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

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. 構造説明

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
(1) ストレーナ	ストレーナは胴と一体の脚で支持し、脚を基礎ボルトで支持する。	容器	

3. 計算方法

3.1 固有周期の計算方法

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナは1個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。したがって全体を一つの剛体とみなせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。

3.2 応力の計算方法

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容応力を表3-3に示す。

3.2.3 使用材の許容応力

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	非常用ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d$ *	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表3-2 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	非常用ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S * ⁴

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容器の支持構造物を含む。

*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。

*4：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表3-3 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物（クラス2，3支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t^{**2}, 2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t^{**2}, 2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b\}$

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：クラス2支持構造物においてF値の算出時， S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。
 *3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる

表3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度	<input type="text"/>		
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	<input type="text"/>	231	394

表3-5 使用材料の許容応力（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)
		周囲環境温度	<input type="text"/>		
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	<input type="text"/>	231	394

3.2.4 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

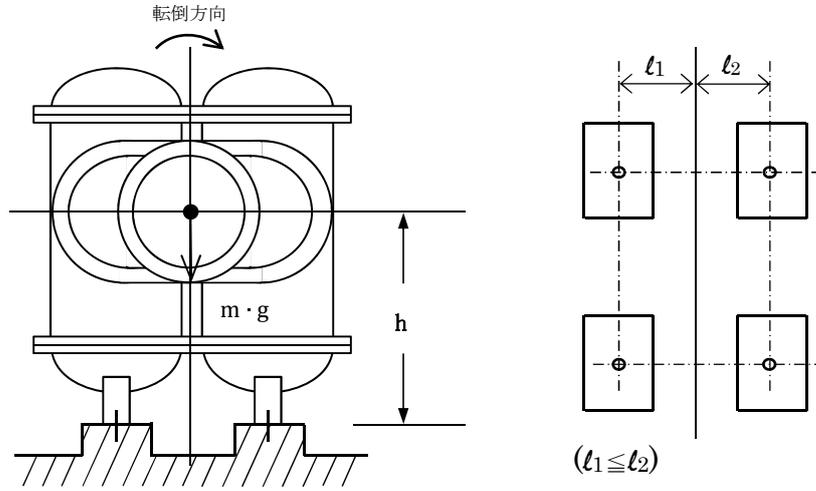


図 3-1 計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-1 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (3.2.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (3.2.3)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行なわない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots \dots \dots (3.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (3.2.5)$$

4. 評価方法

4.1 応力の評価

4.1.1 基礎ボルトの応力評価

3.2.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.1.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.1.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	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_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの設計基準対象施設として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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S s に対する評価

基準地震動 S s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S d 及び静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ重大事故等対処設備としての耐震評価結果は、環境条件が設計基準対象設備と同じであり、耐震評価結果も同じであることから、記載を省略する。

【非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナの計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ	S	海水ポンプ室 EL. 0.30 ^{*1}	— ^{*2}	C _H =0.81 ^{*3}	C _V =1.23 ^{*3}	C _H =1.38 ^{*4}	C _V =2.70 ^{*4}	—	□

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度

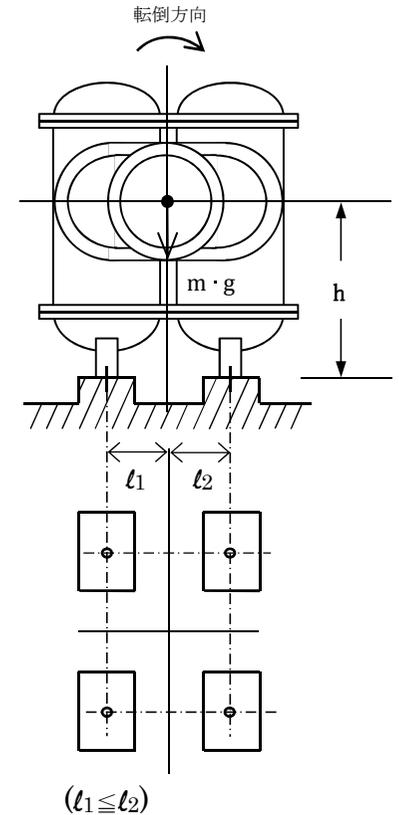
*4: 基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	A b (mm ²)	n	n _f
基礎ボルト						4	2

部材	S _y (MPa)	S _u (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	
基礎ボルト	231* (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*	231	276	軸直角

注記*: 周囲環境温度で評価



1.3 計算数値

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
基礎ボルト	1.020×10 ⁴	2.396×10 ⁴	1.628×10 ⁴	2.774×10 ⁴

1.4 結 論

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
基礎ボルト	SS400	引 張 り	$\sigma_b = 33$	$f_{ts} = 173^*$	$\sigma_b = 77$	$f_{ts} = 207^*$
		せ ん 断	$\tau_b = 13$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 22$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記*：(4.1.2)式より算出

V-2-10-1-3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置の
耐震性についての計算書

V-2-10-1-3-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置の
耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 計算条件	1
1.3 記号の説明	2
1.4 計算精度と数値の丸め方	4
2. 構造説明	4
2.1 構造計画	4
3. 計算方法	6
3.1 固有周期の計算方法	6
3.2 応力の計算方法	7
3.3 荷重の組合せ及び許容応力	11
4. 評価方法	15
4.1 固有周期の評価	15
4.2 応力の評価	15
5. 機能維持評価	16
5.1 機能維持評価方法	16
6. 評価結果	17
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	17

1. 一般事項

本計算書は、添付書類 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、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関は、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、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、分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、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, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

1.2 計算条件

- (1) ディーゼル機関質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はディーゼル機関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) ディーゼル機関は据付台床上にあり、据付台床は基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。また、ディーゼル機関は据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。
- (4) 転倒方向は図 1-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

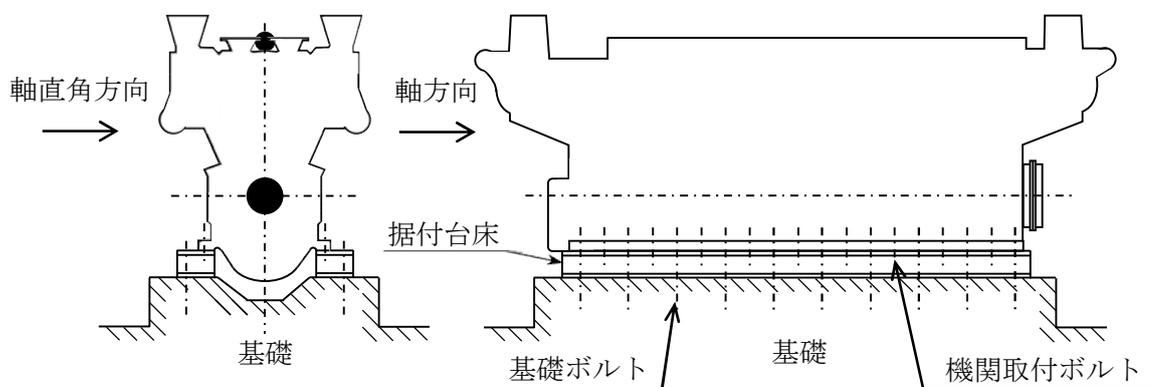


図 1-1 概要図

1.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	最小断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積	mm ²
A _S	最小有効せん断断面積	mm ²
C _{EH}	ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	—
C _{EV}	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	—
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
E	縦弾性係数	MPa
F _i [*]	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F _i	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f _{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f _{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _{t si}	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	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	据付台床上面から重心までの距離	mm
h _i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	据付面から据付台床上面までの距離	mm
l _{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l _{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M _E	ディーゼル機関回転により作用するモーメント	N・mm
m _i	運転時質量	kg
N	回転速度 (ディーゼル機関の定格回転速度)	min ⁻¹
n _i	ボルトの本数	—
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	—
P	ディーゼル機関出力	kW
Q _{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
S _{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
T _H	水平方向固有周期	s

T_v	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1: 「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会2007年）をいう。

注2: A_{bi} , d_i , F_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

$i = 2$: 機関取付ボルト

注3: 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

$i = 2$: 機関取付面

注記*: $l_{1i} \leq l_{2i}$

1.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりである。

表1-1 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*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	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
力	N	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

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。

2. 構造説明

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 ディーゼル機関	ディーゼル機関を 機関取付ボルトで 据付台床に取り付 け、据付台床を基 礎ボルトで基礎に 据え付ける。	4 サイクル豎形 1 8 気筒ディーゼ ル機関	<p>The diagram illustrates the structural connection between the diesel engine and the foundation. On the left, a vertical cross-section shows the engine's base resting on a concrete foundation. On the right, a horizontal cross-section shows the engine's mounting base (据付台床) secured to the foundation (基礎) using foundation bolts (基礎ボルト). The engine itself is attached to the mounting base using engine mounting bolts (機関取付ボルト).</p>

3. 計算方法

3.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

ディーゼル機関は、1.2 節より図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

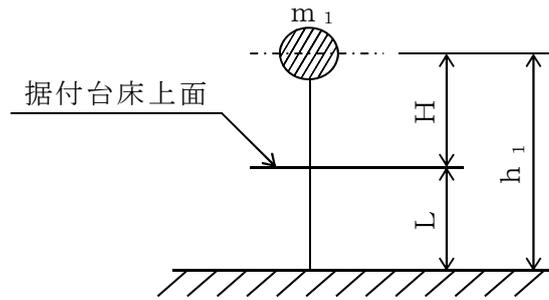


図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left(\frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{L^2 \cdot H}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{L}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots \dots \dots (3.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \frac{h_1}{A \cdot E}} \quad \dots \dots \dots (3.1.2)$$

3.2 応力の計算方法

3.2.1 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転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。

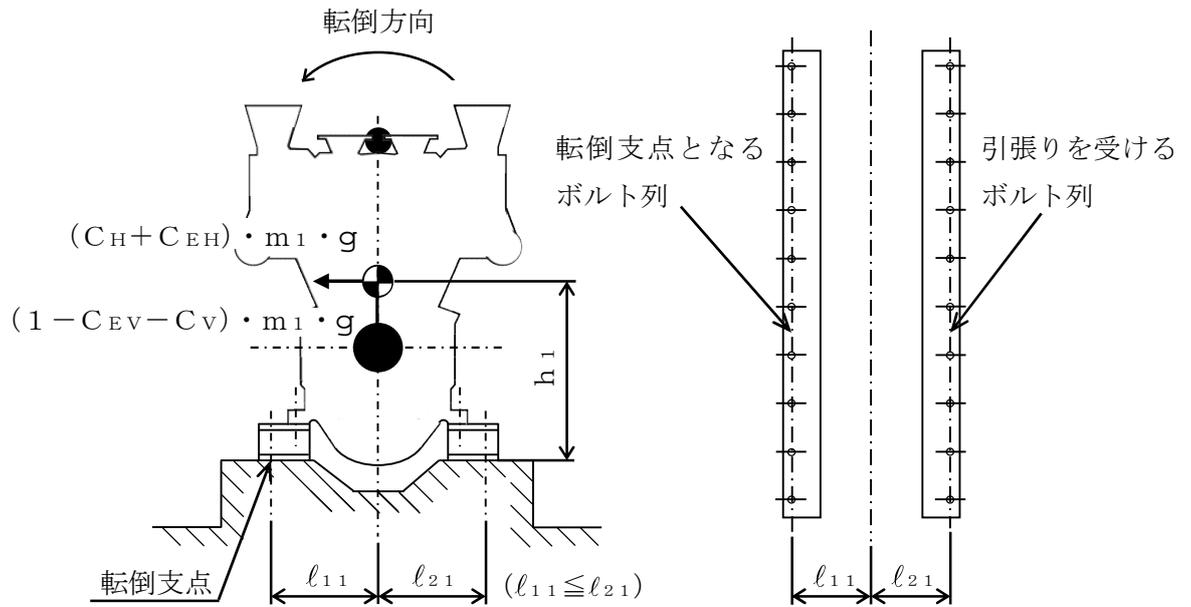


図 3-2 計算モデル（軸直角方向転倒）

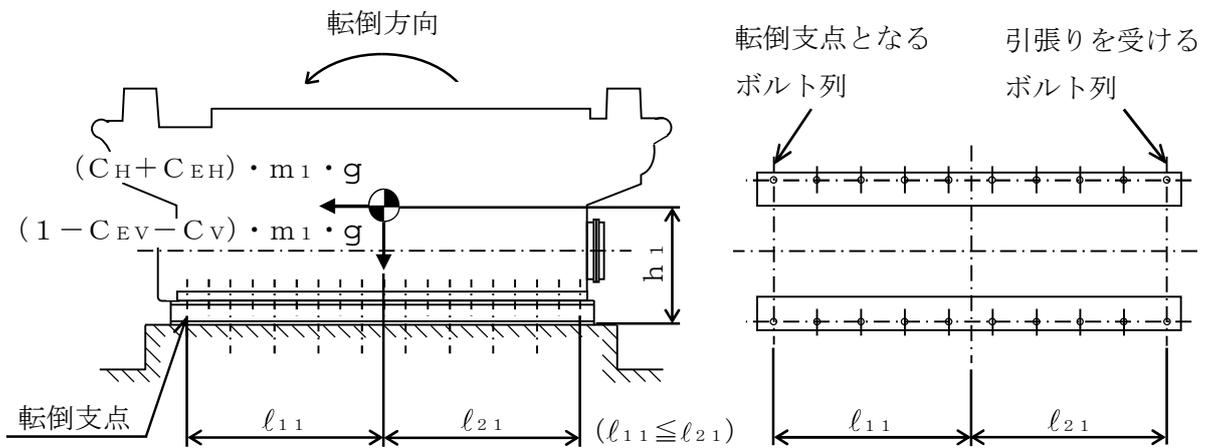


図 3-3 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-2 及び図 3-3 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 3-3 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 + M_E - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_1 \cdot g \cdot l_{11}}{n_{f1} \cdot (l_{11} + l_{21})} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

$$\text{注記* : } M_E = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$$

(1 kW = 10⁶ N·mm/s)

ここで、C_{EH}及びC_{EV}はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (3.2.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積A_{b1}は

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots \dots \dots (3.2.3)$$

ただし、F_{b1}が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \dots \dots \dots (3.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots \dots \dots (3.2.5)$$

3.2.2 機関取付ボルトの応力

機関取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転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。

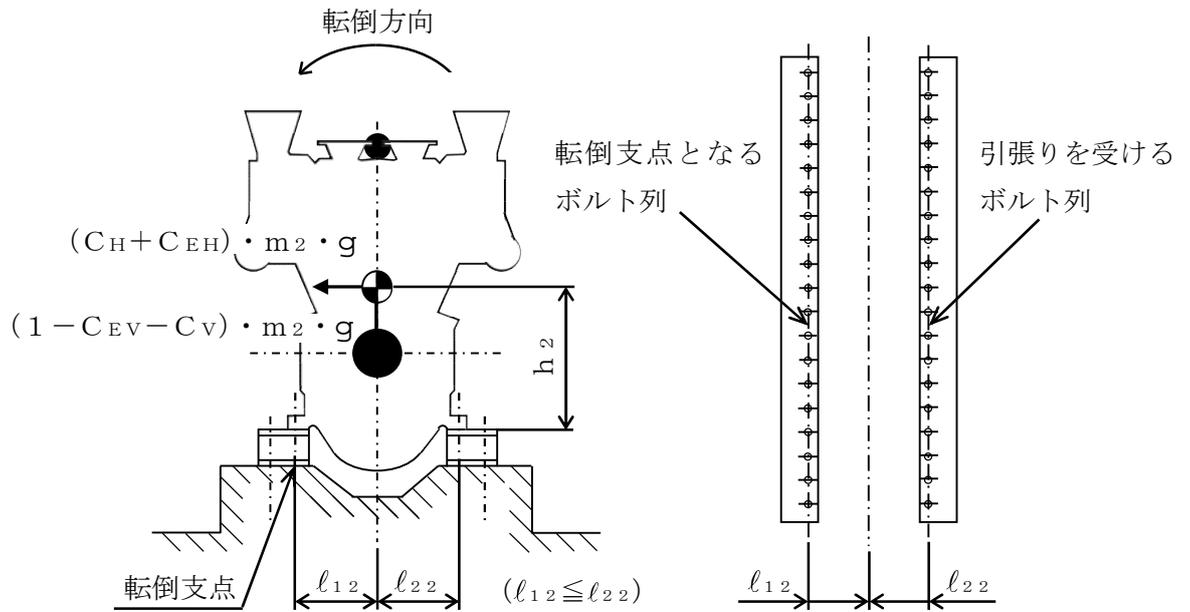


図 3-4 計算モデル（軸直角方向転倒）

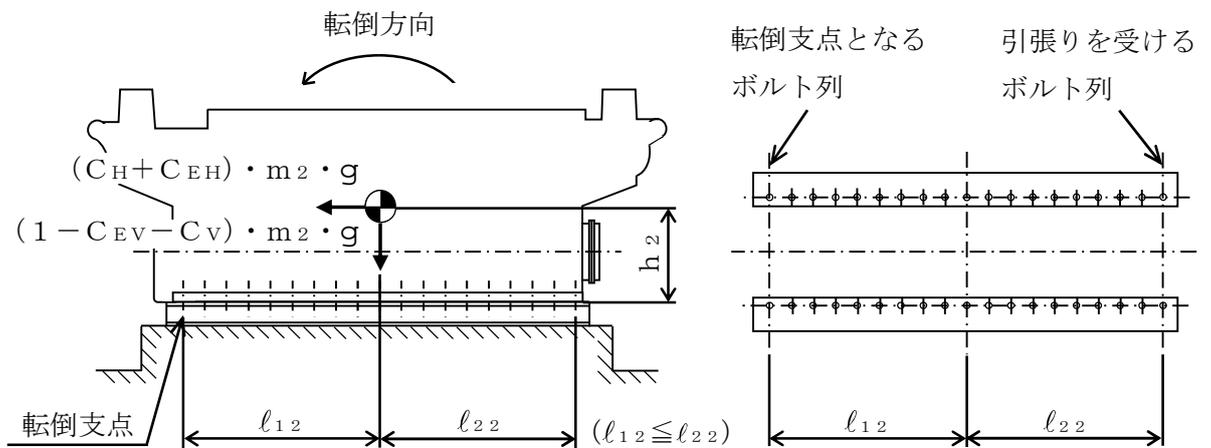


図 3-5 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

機関取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-4 及び図 3-5 で機関取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の機関取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 3-5 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_E - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_2 \cdot g \cdot \ell_{12}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots \dots \dots (3.2.6)$$

注記* : $M_E = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$
 (1 kW = 10^6 N·mm/s)

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots \dots \dots (3.2.7)$$

ここで、機関取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots \dots \dots (3.2.8)$$

ただし、 F_{b2} が負のとき機関取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

機関取付ボルトに対するせん断力は機関取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \dots \dots \dots (3.2.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots \dots \dots (3.2.10)$$

3.3 荷重の組合せ及び許容応力

3.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.3.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の許容応力を表 3-3 に示す。

3.3.3 使用材料の許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 ディーゼル機関	S	-*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の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。

表 3-2 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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 ディーゼル機関	常設耐震／防止 常設／緩和	-	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S ^{*3}

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：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

*3：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

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：その他の支持構造物においてF値の算出時， S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

*3：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	<input type="text"/>	211	394	—
機関取付ボルト	SS41	周囲環境温度	<input type="text"/>	211	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力（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)
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	<input type="text"/>	211	394	—
機関取付ボルト	SS41	周囲環境温度	<input type="text"/>	211	394	—

4. 評価方法

4.1 固有周期の評価

3.1 節で求めた固有周期から添付書類V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

4.2 応力の評価

4.2.1 ボルトの応力評価

3.2 節で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。

$$f_{tsi} = 1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi} \quad \dots \dots \dots (4.2.1)$$

かつ、

$$f_{tsi} \leq f_{toi} \quad \dots \dots \dots (4.2.2)$$

ただし、 f_{toi} 及び f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	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}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の地震時又は地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の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

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
機 関	中速形 ディーゼル 機関	水平	1.1
		鉛直	1.0
ガバナ		水平	1.8
		鉛直	1.0

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の設計基準対象施設として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，耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(3) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関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，耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	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				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関	S	原子炉建屋 EL. -4.0*			$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$			-	

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)	l_{1i} (mm)		l_{2i} (mm)		n_i	n_{fi}	
			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		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)			3645	3645	3645	3645	20	2	2
機関取付ボルト (i=2)			3645	3645	3645	3645	38	2	2

部材	A_{bi} (mm ²)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_E (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	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
基礎ボルト (i=1)	3.217×10^3 ($\phi 64$)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	-	-
機関取付ボルト (i=2)	1.810×10^3 (M48)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	-	-

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A_s (mm ²)
3050	429	201000* ¹	77300* ¹	7.926×10^5	1.883×10^{10}	3.733×10^4

注記*：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 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
基礎ボルト (i=1)	8.845×10 ⁴	8.845×10 ⁴		
機関取付ボルト (i=2)	6.147×10 ⁴	6.147×10 ⁴		

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
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_{b1} = 28$	$f_{ts1} = 158^*$	$\sigma_{b1} = 28$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 14$	$f_{sb1} = 122$	$\tau_{b1} = 14$	$f_{sb1} = 146$
機関取付ボルト	SS41	引張り	$\sigma_{b2} = 34$	$f_{ts2} = 158^*$	$\sigma_{b2} = 34$	$f_{ts2} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 12$	$f_{sb2} = 122$	$\tau_{b2} = 12$	$f_{sb2} = 146$

すべて許容応力以下である。

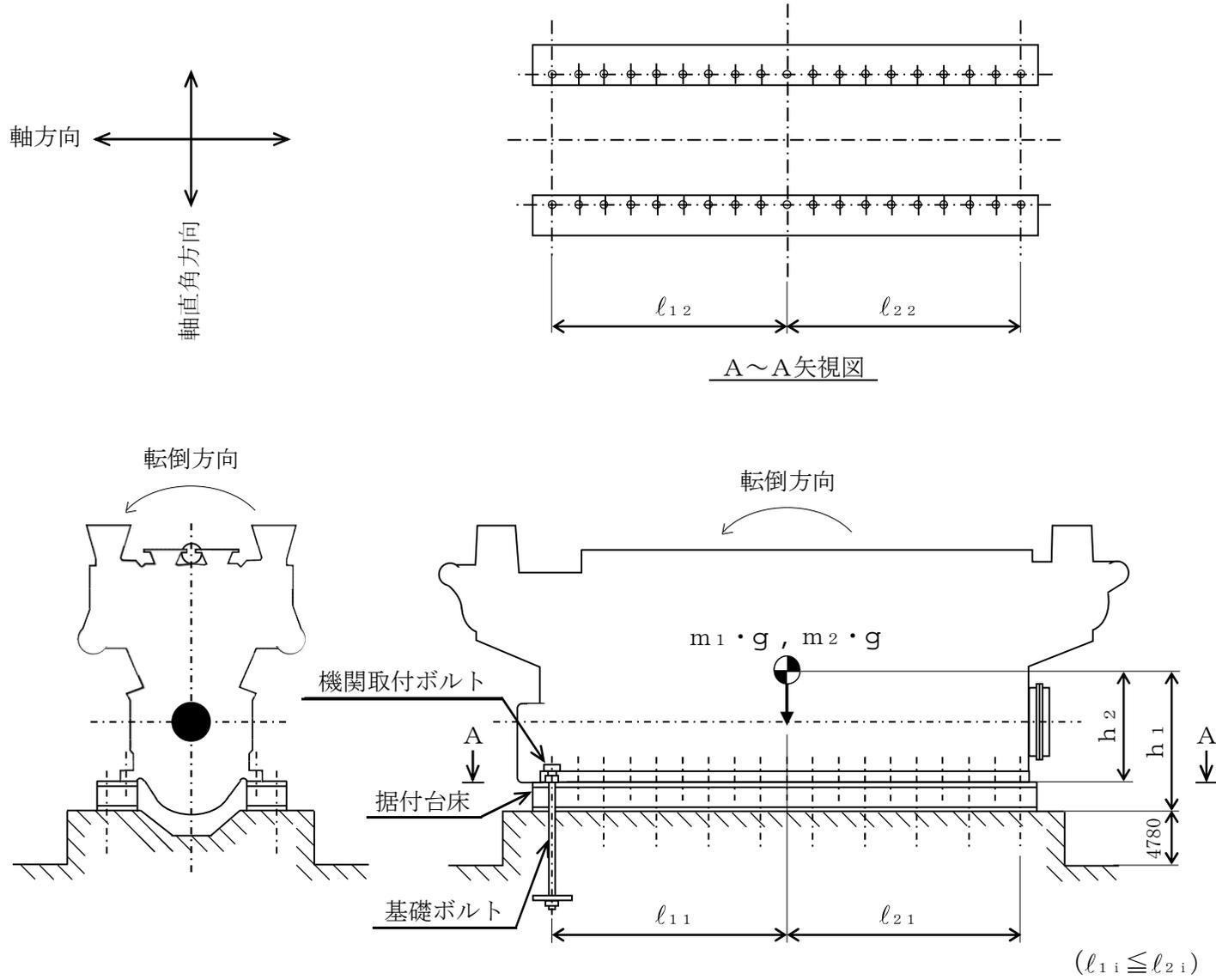
注記*：(4.2.2)式により算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機 関	水平方向	0.72	1.1
	鉛直方向	0.75	1.0
ガ バ ナ	水平方向	0.72	1.8
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	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				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機ディーゼル機関	— (S_s 機能維持)	原子炉建屋 EL. -4.0*			—	—	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$			—	

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	l_{1i} (mm)		l_{2i} (mm)		n_i	n_{fi}	
			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		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)			—	3645	—	3645	20	—	2
機関取付ボルト (i=2)			—	3645	—	3645	38	—	2

部材	A_{bi} (mm ²)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_E (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	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
基礎ボルト (i=1)	3.217×10^3 (φ64)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—	—
機関取付ボルト (i=2)	1.810×10^3 (M48)	211* ¹ (40mm<径≤100mm)	394* ¹ (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—	—

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	最小断面積 A (mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A_s (mm ²)
3050	429	201000* ¹	77300* ¹	7.926×10^5	1.883×10^{10}	3.733×10^4

注記*：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 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
基礎ボルト ($i=1$)	—	8.845×10^4	—	
機関取付ボルト ($i=2$)	—	6.147×10^4	—	

2.4 結論

2.4.1 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
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 28$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 14$	$f_{sb1} = 146$
機関取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 34$	$f_{ts2} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 12$	$f_{sb2} = 146$

すべて許容応力以下である。

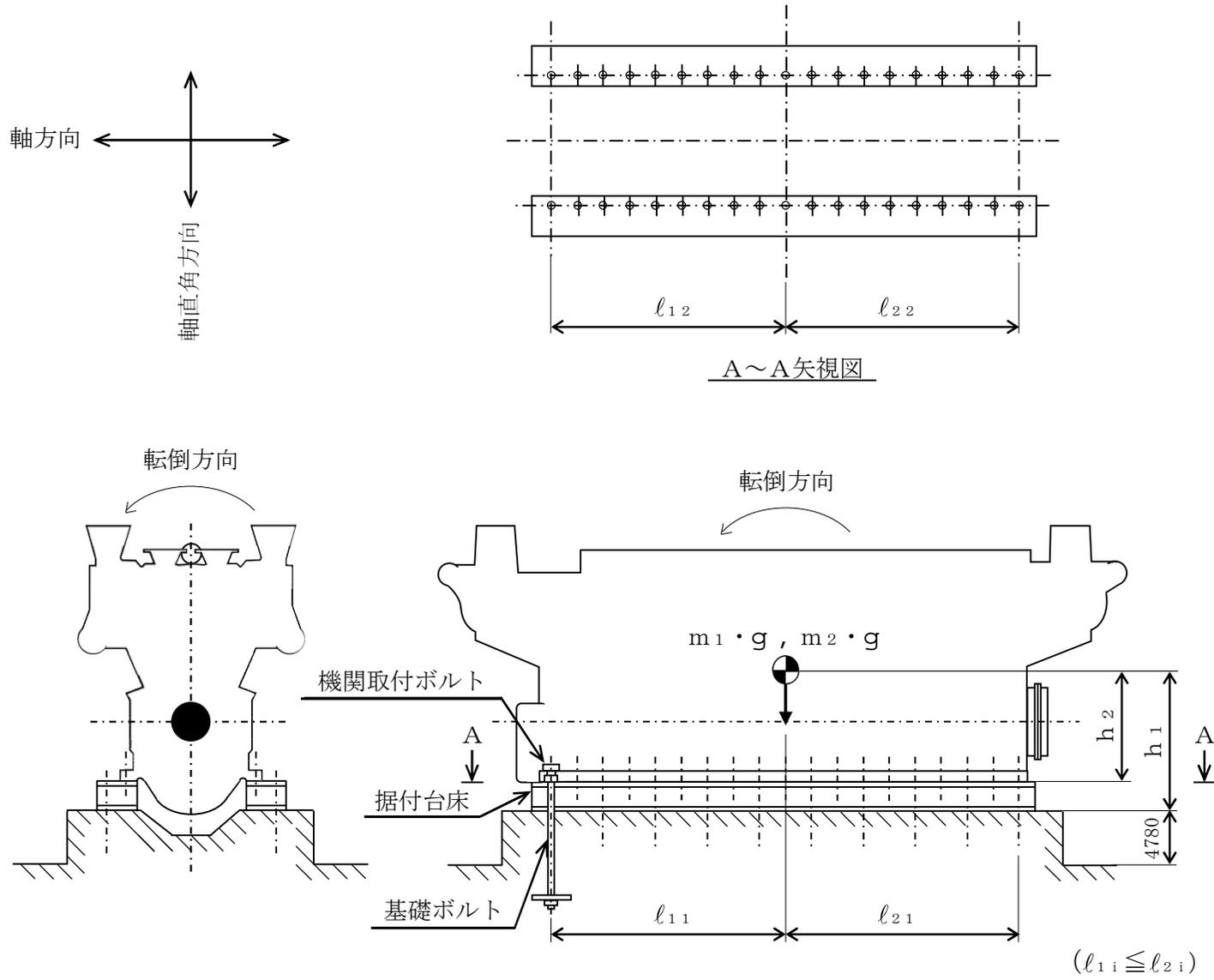
注記*：(4.2.2)式により算出

2.4.2 動的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機 関	水平方向	0.72	1.1
	鉛直方向	0.75	1.0
ガ バ ナ	水平方向	0.72	1.8
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



V-2-10-1-3-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機
空気だめの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 記号の説明	2
1.3 計算精度と数値の丸め方	5
2. 構造説明	5
2.1 構造計画	5
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 計算条件	13
4.5 固有周期の評価	13
4.6 応力の評価	13
5. 評価結果	15
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15
6. 引用文献	26

1. 一般事項

本計算書は、添付書類 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の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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。その耐震評価は、応力評価により行う。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめは、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、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、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、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, J E A G 4 6 0 1 - 1987 及び J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

1.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C_{c_j}	周方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{ℓ_j}	軸方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト(外側)中心までの長手方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 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_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎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基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm

記号	記号の説明	単位
H	水頭	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
$K_{cj}, K_{\theta j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離 (ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。)($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	mm
ℓ_w	当て板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴及び脚の許容応力	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
$S_y(RT)$	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
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s

記号	記号の説明	単位
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
Z_{s_x}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{s_y}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年）をいう。

1.3 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりである。

表1-1 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
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	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}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
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

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. 構造説明

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
横置一胴 円筒形容器	胴板を4個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。	鏡板を有する横置一胴円筒形	

3. 評価部位

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの評価部位については、付録 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、胴板、脚及び基礎ボルトについて実施する。

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) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの胴板、脚及び基礎ボルトの応力評価については、付録 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」に記載の横置一胴円筒形容器モデルと脚の形状が異なることから、詳細評価として他社プラントの工事計画にて実績のある有限要素解析手法を適用する。

(2) 解析コードは A B A Q U S を使用する。

なお、評価に用いる解析コード A B A Q U S の検証及び妥当性確認等の概要については、付録 19「計算機プログラム（解析コード）の概要・A B A Q U S」に示す。

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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの許容応力を表 4-3～表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 空気だめ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 空気だめ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^*3$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ⁴

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容器の支持構造物を含む。

*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。

*4：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 4-3 許容応力（クラス 2， 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器（クラス 2， 3 容器））

許容応力状態	許 容 限 界 *1			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
Ⅲ A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケ ル合金については上記値と 1.2・Sとの大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 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、疲労解析は行わない。	
Ⅳ A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V A S *2			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、疲労解析は行わない。	

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：V A Sとして、Ⅳ A Sの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

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：クラス 2 支持構造物において F 値の算出時， S_y 及び $S_y (RT)$ をそれぞれ $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y (RT)$ と読み替える。

クラス 3 支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

*3：V_AS として，Ⅳ_AS の許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

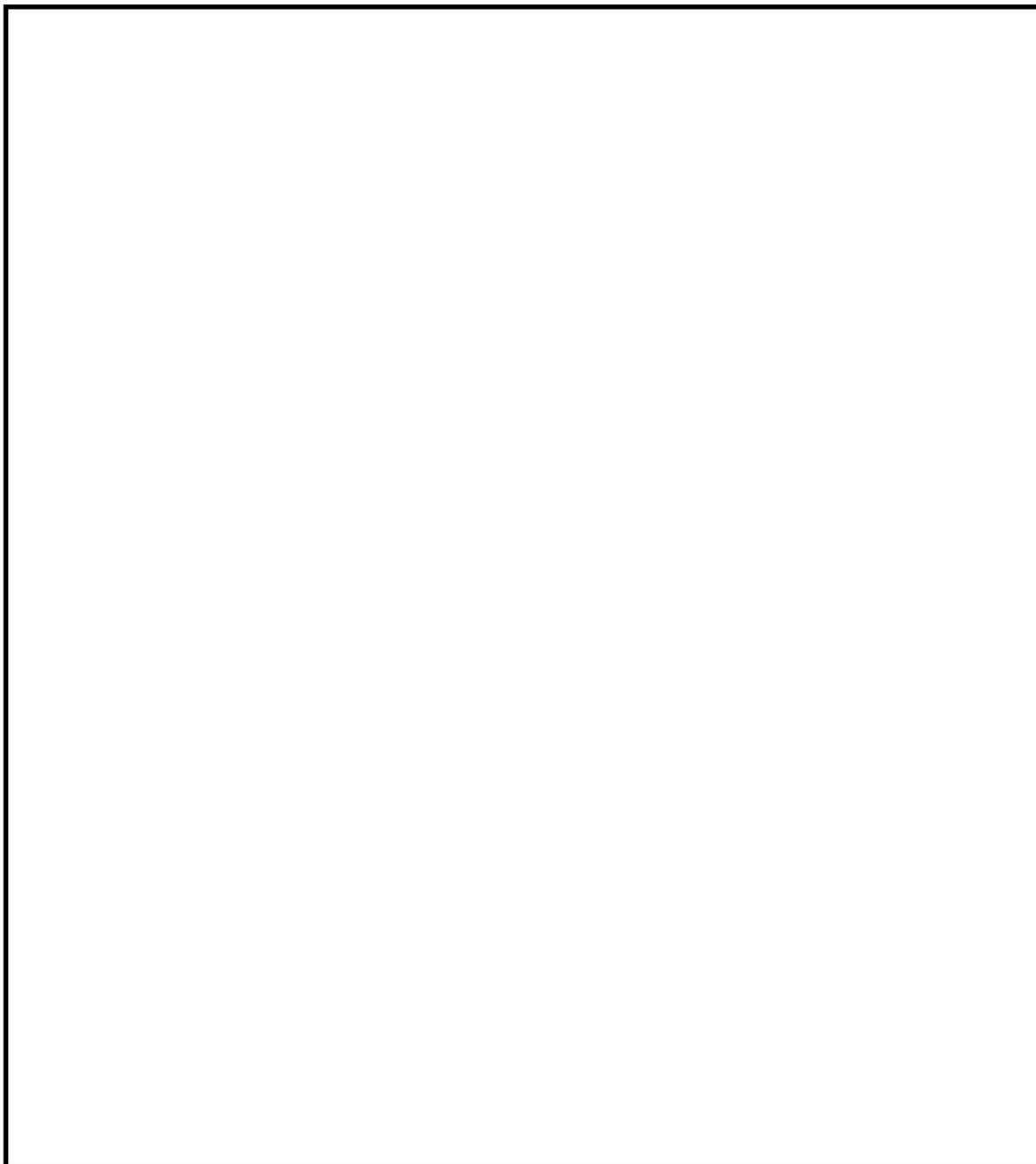
評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	60			
胴板	SM50B	最高使用温度	60	304	471	—
脚	SM50B	周囲環境温度		309	480	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

表 4-6 使用材料の許容応力（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 (R T) (MPa)
		最高使用温度	60			
胴板	SM50B	最高使用温度	60	304	471	—
脚	SM50B	周囲環境温度		309	480	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

4.3 解析モデル及び諸元

解析モデルは、横置一胴円筒形容器の3次元シェルモデルを用いる。解析モデル図を図4-1に、機器の諸元を表4-7に示す。



4.4 計算条件

胴板の応力解析に用いる自重（胴板及び脚）及び荷重（地震荷重等）は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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。

4.5 固有周期の評価

4.1 節で求めた固有周期から添付書類V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

4.6 応力の評価

4.6.1 胴板及び脚の応力評価

4.1 節で求めた各部の応力最大値が胴板の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

4.6.2 基礎ボルトの応力評価

4.1 節で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	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_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの設計基準対象施設として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，耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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，耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ	S	原子炉建屋 EL. -4.0*			$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	3.24	60		—

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)
—	—	—	—	—	—	—

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
	—	—	1200	22.0	22.0	—	—	—	—	—

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)
—	—	—	—	—	—	—	—

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	4	—	—	—	—	452.4 (M24)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
304 ^{*1} (16mm<厚さ≤40mm)	471 ^{*1} (16mm<厚さ≤40mm)	—	309 ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	480 ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	—	—	231 ^{*2} (16mm<径≤40mm)	394 ^{*2} (16mm<径≤40mm)	231	276

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

1.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次一般膜	$\sigma_0 = 90$	$\sigma_0 = 90$
一次	$\sigma_1 = 107$	$\sigma_1 = 107$
一次+二次	$\sigma_2 = 31$	$\sigma_2 = 31$

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次	$\sigma_{s1} = 80$	$\sigma_{s1} = 80$
一次+二次	$\sigma_{s2} = 29$	$\sigma_{s2} = 29$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
引張り	$\sigma_b = 9$	$\sigma_b = 9$
せん断	$\tau_b = 61$	$\tau_b = 61$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

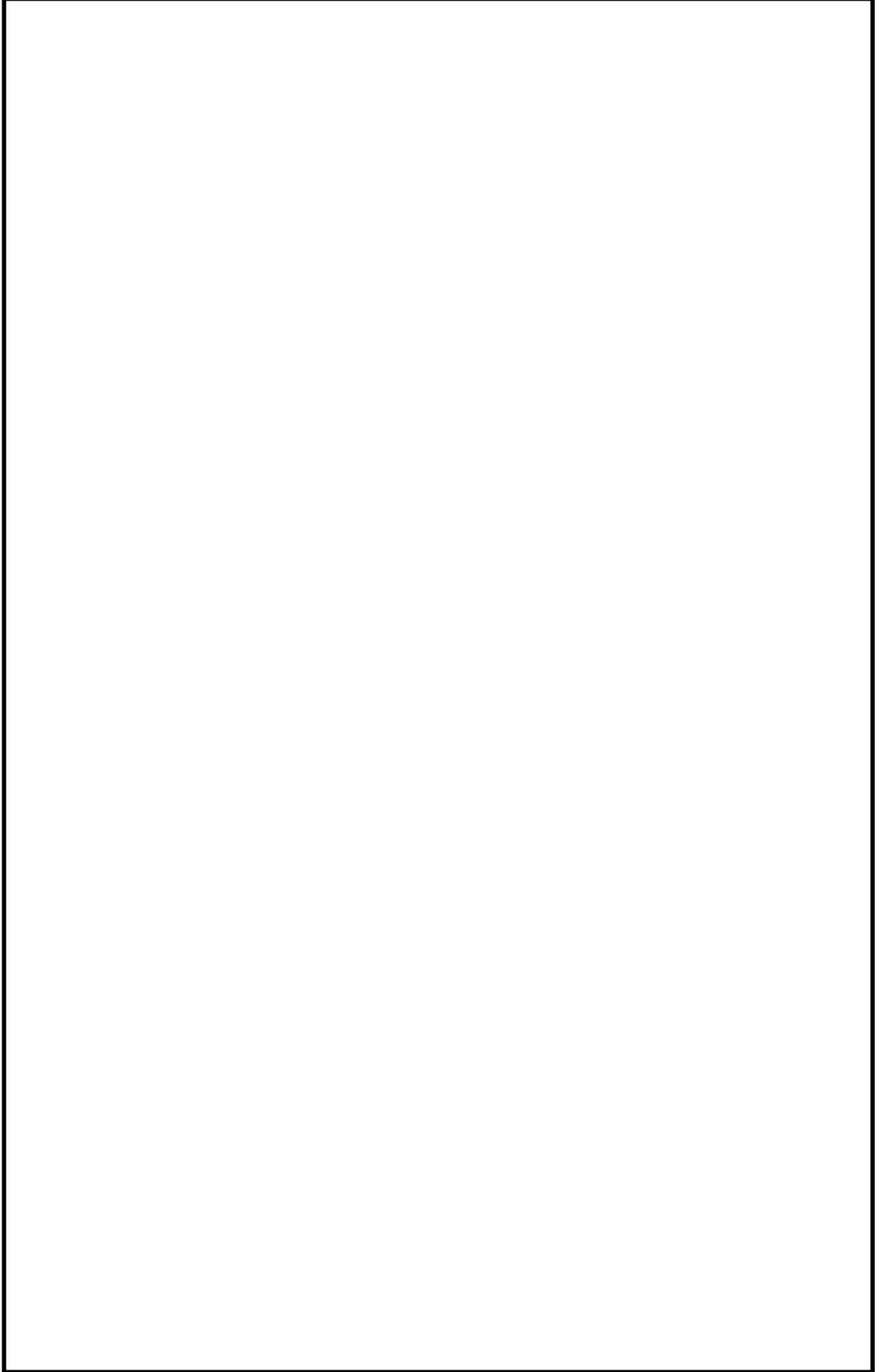
方 向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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
胴 板	SM50B	一次一般膜	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一次＋二次	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚	SM50B	一 次	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$
		一次＋二次	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト	SS41	引 張 り	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 145$	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192$
		せ ん 断	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



空気だめの解析モデル

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ	— (S_s 機能維持)	原子炉建屋 EL. -4.0*	□	□	—	—	$C_H=0.87$	$C_V=0.90$	3.24	60	□	—

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)
—	—	—	—	—	—	—

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N·mm)	M_2 (N·mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
□	—	—	1200	22.0	22.0	—	—	—	—	—

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)
—	—	—	—	—	—	—	—

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	4	—	—	—	—	452.4 (M24)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
304 ^{*1} (16mm<厚さ≤40mm)	471 ^{*1} (16mm<厚さ≤40mm)	—	309 ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	480 ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	—	—	231 ^{*2} (16mm<径≤40mm)	394 ^{*2} (16mm<径≤40mm)	231	276

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

2.3.1 胴に生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 90$
一次	—	$\sigma_1 = 107$
一次+二次	—	$\sigma_2 = 31$

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
一次	—	$\sigma_{s1} = 80$
一次+二次	—	$\sigma_{s2} = 29$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	発生応力	発生応力
引張り	—	$\sigma_b = 9$
せん断	—	$\tau_b = 61$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

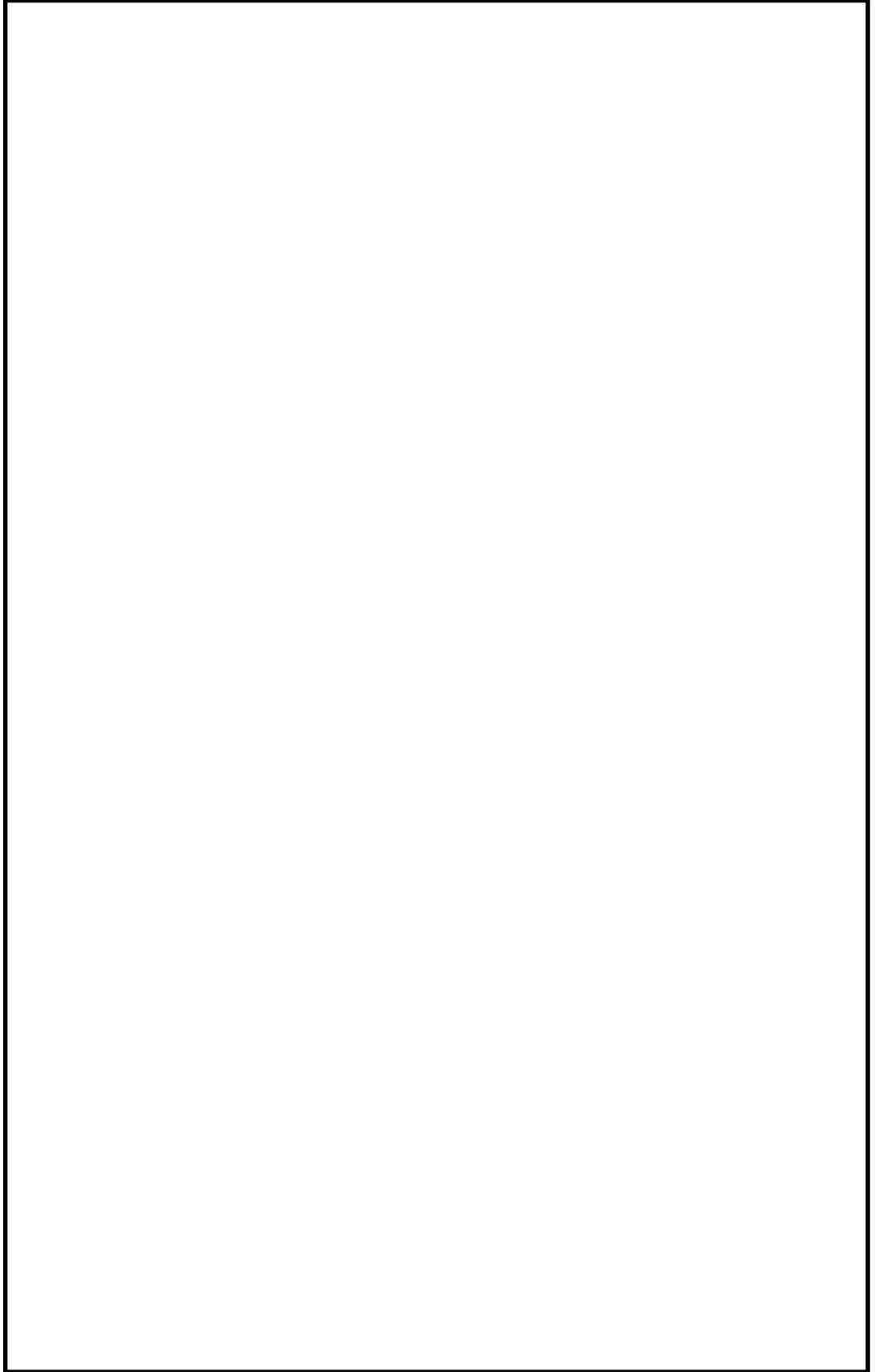
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	
横 方 向	
鉛 直 方 向	

2.4.2 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
胴 板	SM50B	一 次 一 般 膜	—	—	$\sigma_0 = 90$	$S_a = 282$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 107$	$S_a = 423$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_2 = 31$	$S_a = 608$
脚	SM50B	一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 80$	$S_a = 432$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_{s2} = 29$	$S_a = 619$
基礎ボルト	SS41	引 張 り	—	—	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



空気だめの解析モデル

6. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979
revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

V-2-10-1-3-3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機
燃料油デイタンクの耐震性についての計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 適用基準	1
1.2 記号説明	2
1.3 計算精度と数値の丸め方	5
2. 構造説明	5
2.1 構造計画	5
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 計算条件	13
4.5 固有周期の評価	13
4.6 応力の評価	13
5. 評価結果	15
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15
6. 引用文献	26

1. 一般事項

本計算書は、添付書類 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の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイト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。その耐震評価は、応力評価により行う。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクは、設計基準対象施設においては既設の S クラス施設に、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、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

1.1 適用基準

本計算書においては、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, J E A G 4 6 0 1 - 1987 及び J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年, 昭和 62 年及び平成 3 年）に準拠して評価する。

1.2 記号説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C_{c_j}	周方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{l_j}	軸方向モーメントによる応力の補正係数(引用文献(2)より得られる値) ($j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力)	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト(外側)中心までの長手方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 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_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎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基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm

記号	記号の説明	単位
H	水頭	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
$K_{cj}, K_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離 (ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。)($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	mm
ℓ_w	当て板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴及び脚の許容応力	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
$S_y (RT)$	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
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s

記号	記号の説明	単位
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
Z_{s_x}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{s_y}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年）をいう。

1.3 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりである。

表1-1 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
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	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}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
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

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。

2. 構造説明

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
横置一胴 円筒形容器	胴板を 4 個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。	鏡板を有する横置一胴円筒形	

3. 評価部位

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの評価部位については、付録 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、胴板、脚及び基礎ボルトについて実施する。

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) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの胴板、脚及び基礎ボルトの応力評価については、付録 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」に記載の横置一胴円筒形容器モデルと脚の形状が異なることから、詳細評価として他社プラントの工事計画にて実績のある有限要素解析手法を適用する。

(2) 解析コードは A B A Q U S を使用する。

なお、評価に用いる解析コード A B A Q U S の検証及び妥当性確認等の概要については、付録 19「計算機プログラム（解析コード）の概要・A B A Q U S」に示す。

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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの許容応力を表 4-3～表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料油デイタンク	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 2，3 容器及びクラス 2，3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料油デイタンク	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ⁴

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 容器の支持構造物を含む。

*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。

*4：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表 4-3 許容応力（クラス 2， 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器（クラス 2， 3 容器））

許容応力状態	許 容 限 界 *1			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
III _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル 合金については上記値と 1.2・Sとの大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 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、疲労解析は行わない。	
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V _A S *2			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、疲労解析は行わない。	

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：V_ASとして、IV_ASの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

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：クラス 2 支持構造物において F 値の算出時， S_y 及び S_y (R T) をそれぞれ $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y$ (R T) と読み替える。

クラス 3 支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読み替えを行わない。

*3：V_AS として，Ⅳ_AS の許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

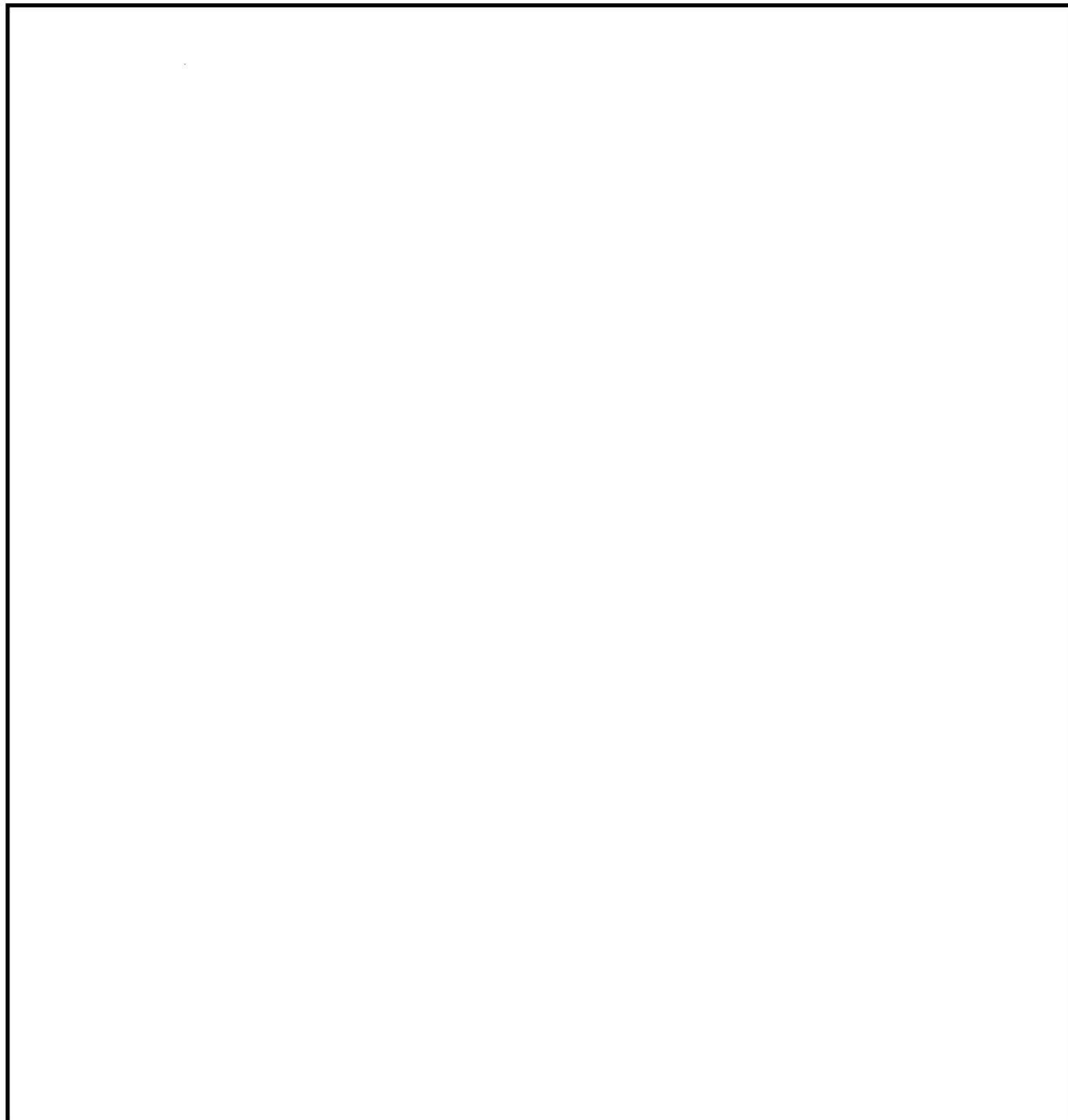
評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
胴板	SS41	最高使用温度	55	239	391	—
脚	SS41	周囲環境温度		231	394	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

表 4-6 使用材料の許容応力（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 (R T) (MPa)
		最高使用温度				
胴板	SS41	最高使用温度	55	239	391	—
脚	SS41	周囲環境温度		231	394	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度		231	394	—

4.3 解析モデル及び諸元

解析モデルは、横置一胴円筒形容器の3次元シェルモデルを用いる。解析モデル図を図4-1に、機器の諸元を表4-7に示す。



4.4 計算条件

胴板の応力解析に用いる自重（胴板及び脚）及び荷重（地震荷重等）は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイト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。

4.5 固有周期の評価

4.1 節で求めた固有周期から添付書類V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

4.6 応力の評価

4.6.1 胴板及び脚の応力評価

4.1 節で求めた各部の応力最大値が胴板の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

4.6.2 基礎ボルトの応力評価

4.1 節で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

$\begin{matrix} \text{許容引張応力} \\ f_{to} \end{matrix}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
$\begin{matrix} \text{許容せん断応力} \\ f_{sb} \end{matrix}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの設計基準対象施設として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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンク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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンク	S	原子炉建屋 EL. 8.2*			$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	静水頭	55		—

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)
—	—	—	—	—	—	—

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N·mm)	M_2 (N·mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
	—	—	1800	9.0	12.0	—	—	—	—	—

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)
—	—	—	—	—	—	—	—

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	4	—	—	—	—	706.9 (M30)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
239 ^{*1} (厚さ ≤ 16 mm)	391 ^{*1} (厚さ ≤ 16 mm)	—	231 ^{*2} (16mm<厚さ ≤ 40 mm)	394 ^{*2} (16mm<厚さ ≤ 40 mm)	—	—	231 ^{*2} (16mm<径 ≤ 40 mm)	394 ^{*2} (16mm<径 ≤ 40 mm)	231	276

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

1.3.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一次一般膜	$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 10$
一 次	$\sigma_1 = 52$	$\sigma_1 = 52$
一次＋二次	$\sigma_2 = 359$	$\sigma_2 = 359$

1.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一 次	$\sigma_{s1} = 79$	$\sigma_{s1} = 79$
一次＋二次	$\sigma_{s2} = 332$	$\sigma_{s2} = 332$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
引 張 り	$\sigma_b = 15$	$\sigma_b = 15$
せん断	$\tau_b = 70$	$\tau_b = 70$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

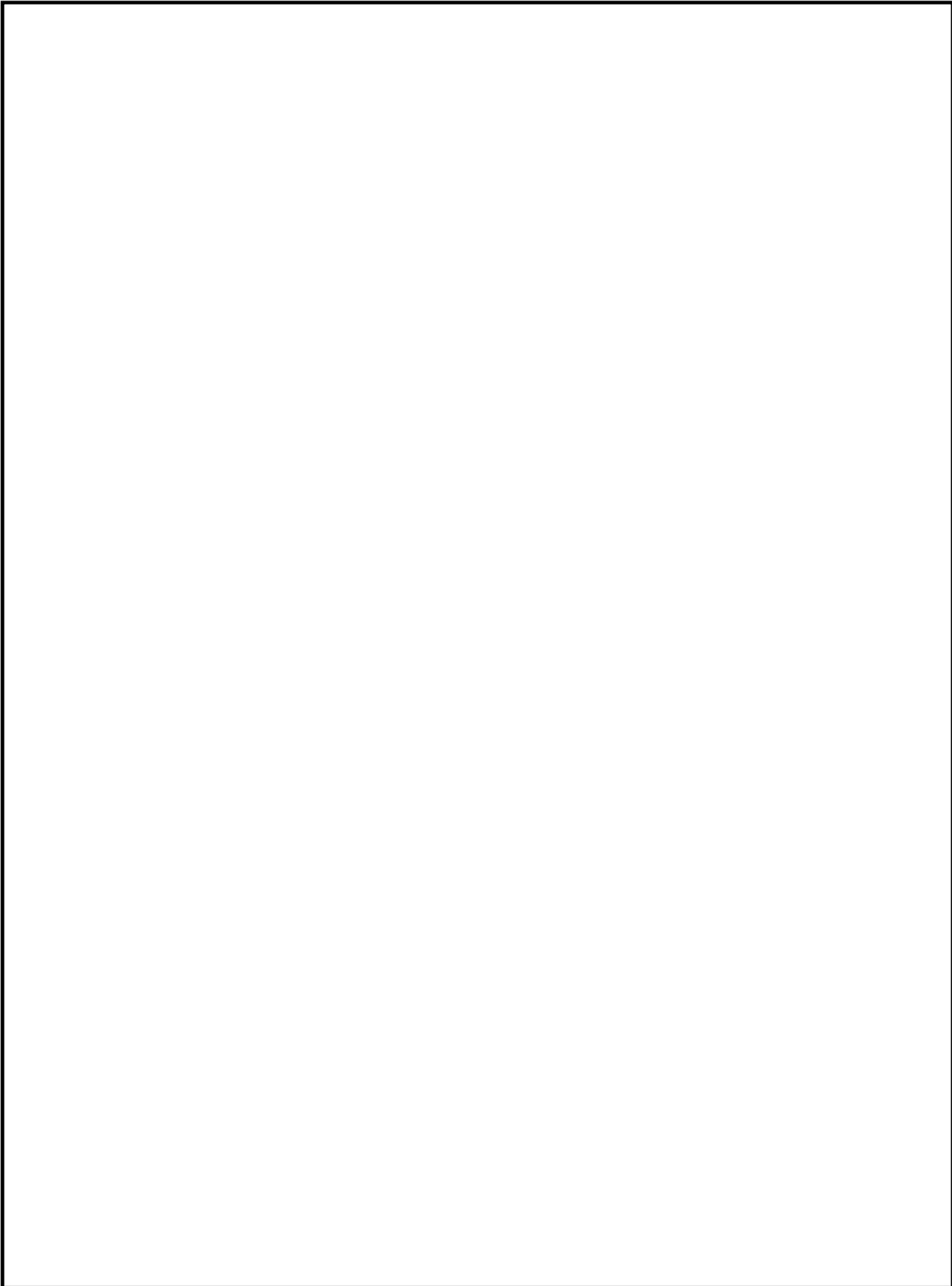
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	
横 方 向	
鉛 直 方 向	

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 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
胴 板	SS41	一 次 一 般 膜	$\sigma_0 = 10$	$S_a = 235$	$\sigma_0 = 10$	$S_a = 235$
		一 次	$\sigma_1 = 52$	$S_a = 352$	$\sigma_1 = 52$	$S_a = 352$
		一 次 + 二 次	$\sigma_2 = 359$	$S_a = 478$	$\sigma_2 = 359$	$S_a = 478$
脚	SS41	一 次	$\sigma_{S1} = 79$	$S_a = 346$	$\sigma_{S1} = 79$	$S_a = 355$
		一 次 + 二 次	$\sigma_{S2} = 332$	$S_a = 462$	$\sigma_{S2} = 332$	$S_a = 462$
基礎ボルト	SS41	引 張 り	$\sigma_b = 15$	$f_{ts} = 130$	$\sigma_b = 15$	$f_{ts} = 177$
		せ ん 断	$\tau_b = 70$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 70$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



燃料油デイトンクの解析モデル

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		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				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料油デイトンク	— (S s)	原子炉建屋 EL. 8.2*			—	—	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	静水頭	55		—

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)
—	—	—	—	—	—	—

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N·mm)	M_2 (N·mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
	—	—	1800	9.0	12.0	—	—	—	—	—

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)
—	—	—	—	—	—	—	—

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)
—	201000	—	—	—	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\theta 1}$	$K_{\theta 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\theta 1}$	$C_{\theta 2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
—	4	—	—	—	—	706.9 (M30)	—	—

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (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)
239 ^{*1} (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	391 ^{*1} (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	—	231 ^{*2} ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	394 ^{*2} ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	—	—	231 ^{*2} ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	394 ^{*2} ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	—	276

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し、解析コードABAQUSを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

2.3.1 胴に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一次一般膜	—	$\sigma_0 = 10$
一 次	—	$\sigma_1 = 52$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 359$

2.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
一 次	—	$\sigma_{s1} = 79$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 332$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

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
	発 生 応 力	発 生 応 力
引 張 り	—	$\sigma_b = 15$
せん断	—	$\tau_b = 70$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

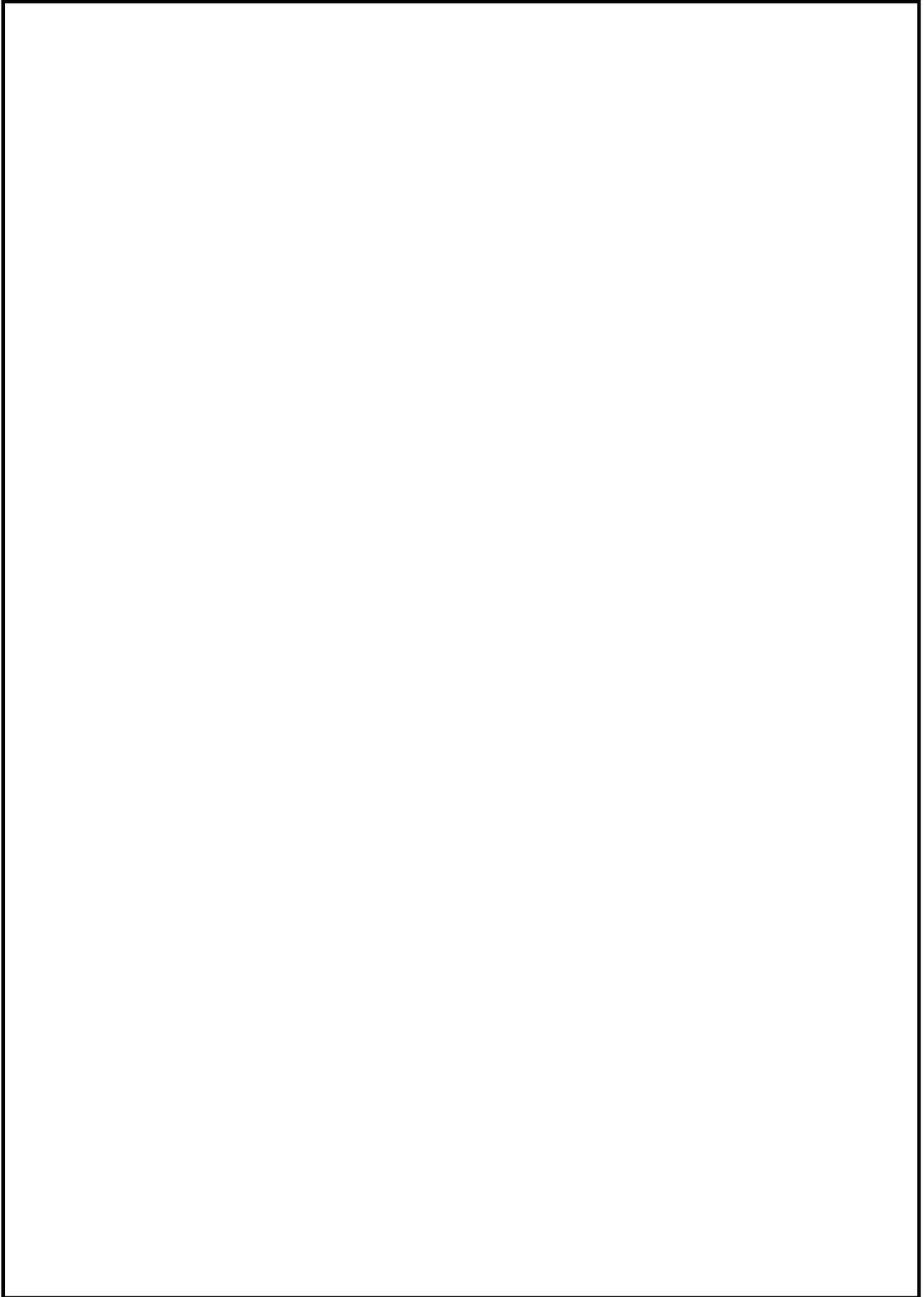
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	
横 方 向	
鉛 直 方 向	

2.4.2 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
胴 板	SS41	一 次 一 般 膜	—	—	$\sigma_0 = 10$	$S_a = 235$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 52$	$S_a = 352$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_2 = 359$	$S_a = 478$
脚	SS41	一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 79$	$S_a = 355$
		一 次 + 二 次	—	—	$\sigma_{s2} = 332$	$S_a = 462$
基礎ボルト	SS41	引 張 り	—	—	$\sigma_b = 15$	$f_{ts} = 177$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 70$	$f_{sb} = 159$

注記 * : (4.6.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



燃料油デイトンクの解析モデル

6. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep.1951.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979
revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003)「サドル支持の横置圧力容器」

V-2-10-1-3-7 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水

ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 構造説明	1
2.1 構造計画	1
3. 応力評価	3
3.1 基本方針	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 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、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプは、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に、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以外の常設重大事故防止設備に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
(1) たて軸ポンプ	ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形	

3. 応力評価

3.1 基本方針

応力評価は、付録 5「たて軸ポンプ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評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの使用材料の許容応力を表 3-4～表 3-5 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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 附属設備	非常用電源 設備	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ポンプ	S	クラス 3 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 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 附属設備	非常用電源 設備	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ポンプ	常設／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ⁴

注記 *1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*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。

*4：V_A Sとして、Ⅳ_A Sの許容限界を用いる。

表 3-3 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 2， 3 支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$
V _A S* ³	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t^{**2}, (2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b)\}$

¹ 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：クラス 2 支持構造物において F 値の算出時， S_y 及び S_y (RT) をそれぞれ $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y$ (RT) と読み替える。

クラス 3 支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，本読替えを行わない。

*3：V_AS として，Ⅳ_AS の許容限界を用いる。

表 3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		241	391	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機台取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度		198	504	205

表 3-5 使用材料の許容応力（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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		241	391	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機台取付ボルト		最高使用温度	50	198	504	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度		198	504	205

4. 機能維持評価

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、添付書類V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ	立形斜流 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり 軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの設計基準対象施設として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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(3) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 機能維持に対する評価

機能維持評価結果を次ページ以降に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
				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				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	S	海水ポンプ室 EL. 0.3*1	0.074	C _H =0.69*2*3	C _V =2.66*3	C _H =0.69*2*4	C _V =2.66*4	C _p =0.09	50	□	0.70

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 動解析用の水平方向震度は、基準地震動 S_s に基づく動的解析より得られる応答値 (HWL 1次固有周期 0.074 s : C_H=2.68)

(津波時引き波水位 1次固有周期 0.069 s : C_H=2.54)

*3: 弾性設計用地震動 S_d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度

*4: 基準地震動 S_s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

(2) コラムパイプ

部 材	m _i (kg)	D _i (L _i) (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _y (R T) _i (MPa)	F _i (MPa)		部 材	D _c (mm)	t (mm)
										弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s			
基礎ボルト (i=1)	□	□	□	4	2	—	241*2 (径≤100mm)	391*2 (径≤100mm)	—	241	274	コラムパイプ	298.5	10.0
ポンプ取付ボルト (i=2)				12	12	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	205	205			
原動機台取付ボルト (i=3)				10	10	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	205	205			
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	3.501×10 ⁵	198*2	504*2	205*3	205	205			

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 室温で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p = □	N = □

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	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	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	1.332×10 ⁷	1.332×10 ⁷	2.834×10 ⁴	2.834×10 ⁴	2.656×10 ⁴	2.656×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	6.186×10 ⁶	6.186×10 ⁶	7.244×10 ³	7.244×10 ³	1.219×10 ⁴	1.219×10 ⁴
原動機台取付ボルト (i=3)	1.253×10 ⁷	1.253×10 ⁷	6.527×10 ³	6.527×10 ³	1.437×10 ⁴	1.437×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=4)	1.703×10 ⁶	1.703×10 ⁶	2.946×10 ³	2.946×10 ³	8.909×10 ³	8.909×10 ³

(2) コラムパイプに作用する力

部 材	M (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
コラムパイプ	5.666×10 ⁶	5.666×10 ⁶

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	固有周期
水平1次	T _{H1} =0.074
水平2次	T _{H2} =0.036
鉛直1次	T _{V1} =0.035

1.4.2 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
			基礎ボルト	せん断		
ポンプ取付ボルト		引張り				
		せん断				
原動機台取付ボルト		引張り				
		せん断				
原動機取付ボルト		引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

注記 *: (3.3.2式より算出)

1.4.3 コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材料	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
コラムパイプ		基準地震動 S _s		

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

(単位: ×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.57	10.0
	鉛直方向	2.22	1.0
原動機	水平方向	0.57	2.5
	鉛直方向	2.22	1.0

評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えていることから、次ページに詳細評価結果を示す。

1.4.5 動的機能維持の詳細評価結果

(1) ポンプ

機器名称	形式		要求機能	評価用加速度 (×9.8 m/s ²)				機能確認済 加速度 (×9.8 m/s ²)		ストッパの応力評価 (MPa)				軸受荷重評価 (N)							
				弾性設計用 地震動 S _d		基準地震動 S _s				ストッパ 位置*		算出応力		許容応力		軸受位置*		軸受荷重		許容荷重	
				水平	鉛直	水平	鉛直					水平	鉛直	弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s			弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d	基準地震動 S _s
高圧炉心 スプレイ系 ディーゼル 発電機用 海水ポンプ	立形	立形 斜流式	β (S _s)	0.57	2.22	0.57	2.22	10.0	1.0	取付ボルト ①					軸受①						
									取付ボルト ②	軸受②											
										軸受③					下側						
										軸受④					上側						
										軸受⑤					下側						

注：要求機能の分類は以下による。

α (S_s)：基準地震動 S_s，弾性設計用地震動 S_d時に動的機能が要求されるもの

β (S_s)：基準地震動 S_s，弾性設計用地震動 S_d後に動的機能が要求されるもの

注記 *：耐震性についての計算結果モデル図参照

以上から次のことを確認した。

算出応力 ≤ 許容応力

軸受荷重 ≤ 許容荷重

(2) 電動機

機器名称	形 式		要求機能	評価用加速度 (×9.8 m/s ²)				機能確認済加速度 (×9.8 m/s ²)		軸の応力評価 (MPa)				軸受荷重評価* (N)			
				弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s				算出応力		許容応力		軸受荷重		許容荷重	
				水平	鉛直	水平	鉛直			水平	鉛直	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s
高圧炉心 スプレイ系 ディーゼル 発電機用 海水ポンプ	立形	ころがり 軸受機	β (S _s)	0.57	2.22	0.57	2.22	2.5	1.0								

注記 * : 軸受荷重評価については、上段が電動機上部軸受、下段が電動機下部軸受の結果を示す。

以上から次のことを確認した。

算出応力 ≤ 許容応力

軸受荷重 ≤ 許容荷重

1.5 その他の機器要目
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

NT2 補① V-2-10-1-3-7 R0

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		6.362×10^5	1.272×10^6
2	2-3	1		6.362×10^5	1.272×10^6
3	3-4	1		6.362×10^5	1.272×10^6
4	4-45	1		6.362×10^5	1.272×10^6
5	45-5	1		5.555×10^5	1.111×10^6
6	5-6	1		4.715×10^6	9.431×10^6
7	6-7	1		4.715×10^6	9.431×10^6
8	7-8	1		4.909×10^6	9.817×10^6
9	8-9	1		2.330×10^6	4.659×10^6
10	9-10	1		4.909×10^6	9.817×10^6
11	10-46	1		4.715×10^6	9.431×10^6
12	46-11	1		4.715×10^6	9.431×10^6
13	11-12	1		4.909×10^6	9.817×10^6
14	12-13	1		4.909×10^6	9.817×10^6
15	13-14	1		1.771×10^6	3.542×10^6
16	14-15	1		1.771×10^6	3.542×10^6
17	15-16	1		2.011×10^6	4.021×10^6
18	16-17	2		2.485×10^7	4.970×10^7
19	17-18	3		2.562×10^6	5.125×10^6
20	18-49	3		6.678×10^6	1.336×10^7
21	19-20	3		8.762×10^5	1.752×10^6
22	21-22	1		3.010×10^7	6.020×10^7
23	22-23	1		3.532×10^8	7.063×10^8
24	23-24	1		3.532×10^8	7.063×10^8
25	24-25	1		3.532×10^8	7.063×10^8
26	25-47	1		3.532×10^8	7.063×10^8
27	47-26	1		3.532×10^8	7.063×10^8
28	26-27	1		1.154×10^8	2.308×10^8
29	27-28	1		1.154×10^8	2.308×10^8
30	28-29	1		1.154×10^8	2.308×10^8
31	29-30	1		1.154×10^8	2.308×10^8
32	30-31	1		1.154×10^8	2.308×10^8
33	31-48	1		1.154×10^8	2.308×10^8
34	48-32	1		1.154×10^8	2.308×10^8
35	32-33	1		1.154×10^8	2.308×10^8
36	33-34	1		1.705×10^8	3.411×10^8
37	34-35	1		1.705×10^8	3.411×10^8
38	35-36	1		1.705×10^8	3.411×10^8
39	43-37	2		7.981×10^{10}	1.596×10^{11}
40	43-38	2		3.841×10^{10}	7.682×10^{10}
41	38-39	2		6.070×10^9	1.214×10^{10}
42	39-40	4		4.530×10^8	9.060×10^8
43	40-50	4		4.530×10^8	9.060×10^8
44	41-42	4		3.802×10^8	7.604×10^8
45	49-19	3		4.909×10^6	9.817×10^6
46	50-41	4		4.530×10^8	9.060×10^8

(3) ばね結合部の指定

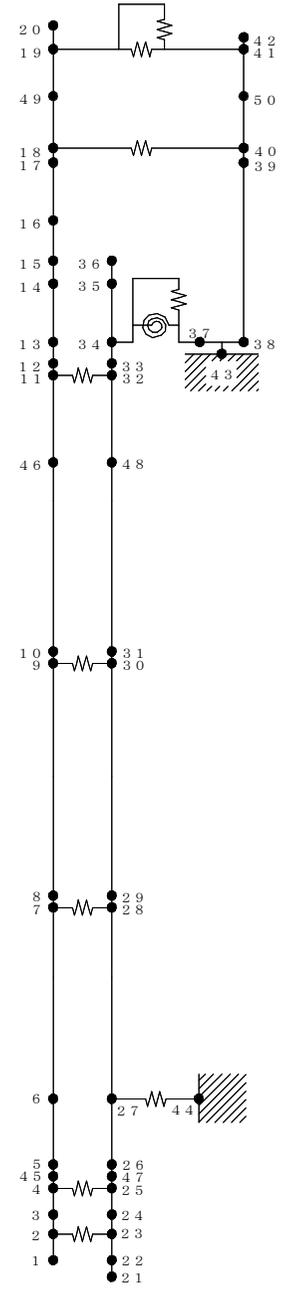
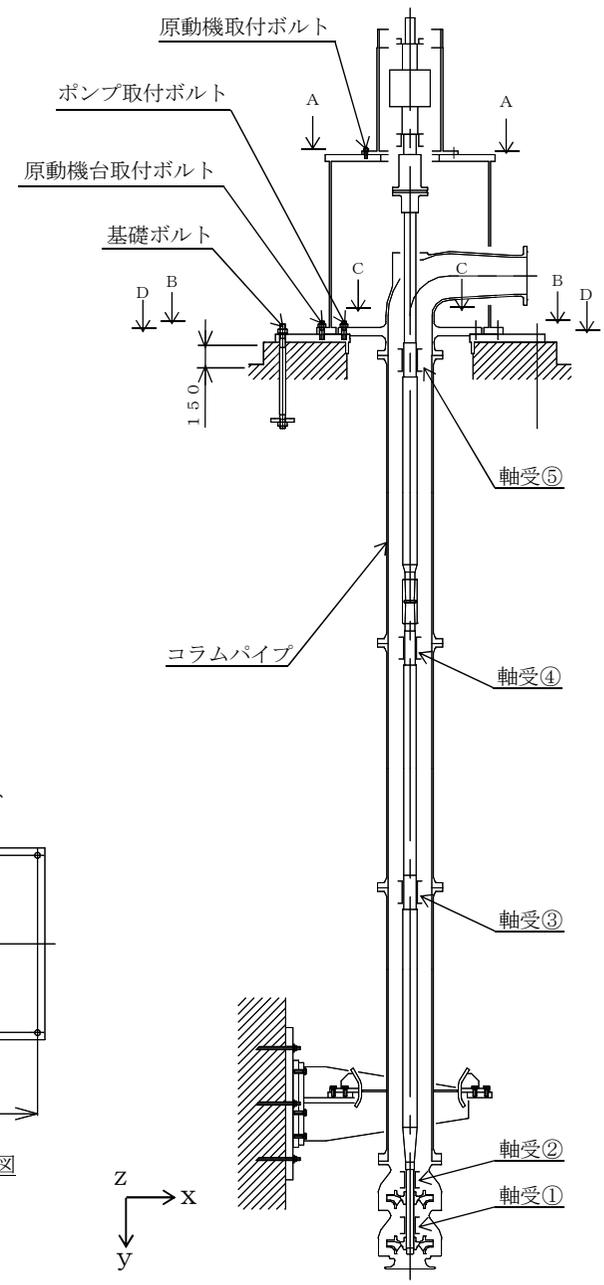
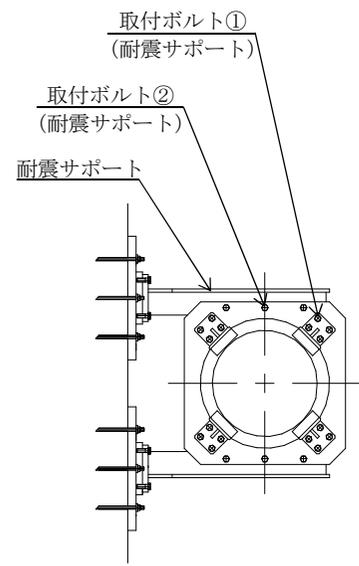
ばねの両端の節点番号		ばねの方向	ばね定数
2	23	1	
4	25	1	
7	28	1	
9	30	1	
11	32	1	
18	40	1	
19	41	1	
27	44	1	
19	41	2	
34	37	2	
34	37	6	

(4) 節点の付加質量

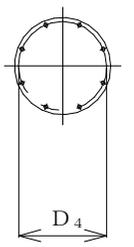
節点番号	付加質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	

(5) 材料物性値

材料番号	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)	材 質
1		1.93×10^5	0.3	
2		2.01×10^5	0.3	
3		2.06×10^5	0.3	
4		2.06×10^5	0.3	

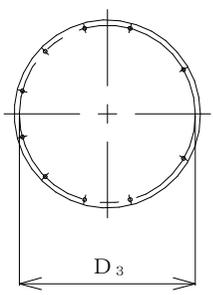


原動機取付ボルト



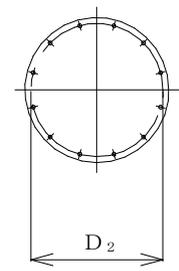
A~A矢视图

原動機台取付ボルト



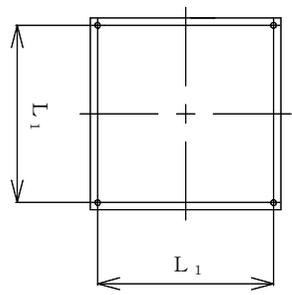
B~B矢视图

ポンプ取付ボルト



C~C矢视图

基礎ボルト



D~D矢视图

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
				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				
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用海水ポンプ	— (S _s 機能維持)	海水ポンプ室 EL.0.3*1	0.074	—	—	C _H =0.69*2*4	C _V =2.66*4	C _p =0.09	50		0.70

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 動解析用の水平方向震度は、基準地震動 S_sに基づく動的解析より得られる応答値 (HWL 1次固有周期 0.074 s : C_H=2.68)
(津波時引き波水位 1次固有周期 0.069 s : C_H=2.54)

*3: 弾性設計用地震動 S_dの震度と同等以上の設計震度又は静的震度

*4: 基準地震動 S_sの震度と同等以上の設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (L _i) (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _y (R T) _i (MPa)	F _i (MPa)	
										弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				4	2	—	241*2 (径≤100mm)	391*2 (径≤100mm)	—	—	274
ポンプ取付ボルト (i=2)				12	12	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	—	205
原動機台取付ボルト (i=3)				10	10	3.501×10 ⁵	198*1	504*1	205*3	—	205
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	3.501×10 ⁵	198*2	504*2	205*3	—	205

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 室温で算出

(2) コラムパイプ

部材	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	298.5	10.0

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p 	N

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	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	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	1.332×10 ⁷	—	2.834×10 ⁴	—	2.656×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	6.186×10 ⁶	—	7.244×10 ³	—	1.219×10 ⁴
原動機台取付ボルト (i=3)	—	1.253×10 ⁷	—	6.527×10 ³	—	1.437×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=4)	—	1.703×10 ⁶	—	2.946×10 ³	—	8.909×10 ³

(2) コラムパイプに作用する力

部 材	M (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
コラムパイプ	—	5.666×10 ⁶

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	固有周期
水平1次	T _{H1} =0.074
水平2次	T _{H2} =0.036
鉛直1次	T _{V1} =0.035

2.4.2 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
			基礎ボルト	引張り	—	—
	せん断	—	—			
ポンプ取付ボルト	引張り	—	—			
	せん断	—	—			
原動機台取付ボルト	引張り	—	—			
	せん断	—	—			
原動機取付ボルト	引張り	—	—			
	せん断	—	—			

すべて許容応力以下である。

注記 * : (3.3.2式より算出)

2.4.3 コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部 材	材料	一次一般膜応力		
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力	許容応力
コラムパイプ	[Redacted]	基準地震動 S _s	22	283

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果 (単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.57	10.0
	鉛直方向	2.22	1.0
原動機	水平方向	0.57	2.5
	鉛直方向	2.22	1.0

評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えていることから、次ページに詳細評価結果を示す。

2.4.5 動的機能維持の詳細評価結果

(1) ポンプ

機器名称	形式		要求機能	評価用加速度 (×9.8 m/s ²)				機能確認済加速度 (×9.8 m/s ²)		ストップの応力評価 (MPa)				軸受荷重評価 (N)										
				弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s				ストップ位置*	算出応力		許容応力		軸受位置*	軸受荷重		許容荷重						
				水平	鉛直	水平	鉛直				水平	鉛直	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	立形	立形斜流式	β (S _s)	-	-	0.57	2.22	10.0	1.0	取付ボルト①	[Redacted]				軸受①	-	434.3	-	1.412×10 ⁴					
										取付ボルト②									軸受②	-	3.472×10 ³	-	1.412×10 ⁴	
																			軸受③	下側	-	3.452×10 ³	-	2.353×10 ⁴
																			軸受③	上側	-	3.452×10 ³	-	2.353×10 ⁵
																			軸受④	下側	-	2.259×10 ³	-	2.353×10 ⁴
																			軸受④	上側	-	2.259×10 ³	-	2.353×10 ⁵
																			軸受⑤	下側	-	4.141×10 ³	-	2.353×10 ⁴
																			軸受⑤	上側	-	4.141×10 ³	-	2.353×10 ⁵

注：要求機能の分類は以下による。

α (S_s)：基準地震動 S_s，弾性設計用地震動 S_d時に動的機能が要求されるもの

β (S_s)：基準地震動 S_s，弾性設計用地震動 S_d後に動的機能が要求されるもの

注記 *：耐震性についての計算結果モデル図参照

以上から次のことを確認した。

算出応力 ≤ 許容応力

軸受荷重 ≤ 許容荷重

(2) 電動機

機器名称	形式		要求機能	評価用加速度 (×9.8 m/s ²)				機能確認済加速度 (×9.8 m/s ²)		軸の応力評価 (MPa)				軸受荷重評価* (N)				
				弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s				算出応力		許容応力		軸受荷重		許容荷重		
				水平	鉛直	水平	鉛直			水平	鉛直	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	立形	ころがり軸受機	β (S _s)	-	-	0.57	2.22	2.5	1.0	[Redacted]				[Redacted]				

注記 *：軸受荷重評価については、上段が電動機上部軸受，下段が電動機下部軸受の結果を示す。

以上から次のことを確認した。

算出応力 ≤ 許容応力

軸受荷重 ≤ 許容荷重

2.5 その他の機器要目
 (1) 節点データ

節点番号	節点座 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

NT2 補① V-2-10-1-3-7 R0

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		6.362×10^5	1.272×10^6
2	2-3	1		6.362×10^5	1.272×10^6
3	3-4	1		6.362×10^5	1.272×10^6
4	4-45	1		6.362×10^5	1.272×10^6
5	45-5	1		5.555×10^5	1.111×10^6
6	5-6	1		4.715×10^6	9.431×10^6
7	6-7	1		4.715×10^6	9.431×10^6
8	7-8	1		4.909×10^6	9.817×10^6
9	8-9	1		2.330×10^6	4.659×10^6
10	9-10	1		4.909×10^6	9.817×10^6
11	10-46	1		4.715×10^6	9.431×10^6
12	46-11	1		4.715×10^6	9.431×10^6
13	11-12	1		4.909×10^6	9.817×10^6
14	12-13	1		4.909×10^6	9.817×10^6
15	13-14	1		1.771×10^6	3.542×10^6
16	14-15	1		1.771×10^6	3.542×10^6
17	15-16	1		2.011×10^6	4.021×10^6
18	16-17	2		2.485×10^7	4.970×10^7
19	17-18	3		2.562×10^6	5.125×10^6
20	18-49	3		6.678×10^6	1.336×10^7
21	19-20	3		8.762×10^5	1.752×10^6
22	21-22	1		3.010×10^7	6.020×10^7
23	22-23	1		3.532×10^8	7.063×10^8
24	23-24	1		3.532×10^8	7.063×10^8
25	24-25	1		3.532×10^8	7.063×10^8
26	25-47	1		3.532×10^8	7.063×10^8
27	47-26	1		3.532×10^8	7.063×10^8
28	26-27	1		1.154×10^8	2.308×10^8
29	27-28	1		1.154×10^8	2.308×10^8
30	28-29	1		1.154×10^8	2.308×10^8
31	29-30	1		1.154×10^8	2.308×10^8
32	30-31	1		1.154×10^8	2.308×10^8
33	31-48	1		1.154×10^8	2.308×10^8
34	48-32	1		1.154×10^8	2.308×10^8
35	32-33	1		1.154×10^8	2.308×10^8
36	33-34	1		1.705×10^8	3.411×10^8
37	34-35	1		1.705×10^8	3.411×10^8
38	35-36	1		1.705×10^8	3.411×10^8
39	43-37	2		7.981×10^{10}	1.596×10^{11}
40	43-38	2		3.841×10^{10}	7.682×10^{10}
41	38-39	2		6.070×10^9	1.214×10^{10}
42	39-40	4		4.530×10^8	9.060×10^8
43	40-50	4		4.530×10^8	9.060×10^8
44	41-42	4		3.802×10^8	7.604×10^8
45	49-19	3		4.909×10^6	9.817×10^6
46	50-41	4		4.530×10^8	9.060×10^8

(3) ばね結合部の指定

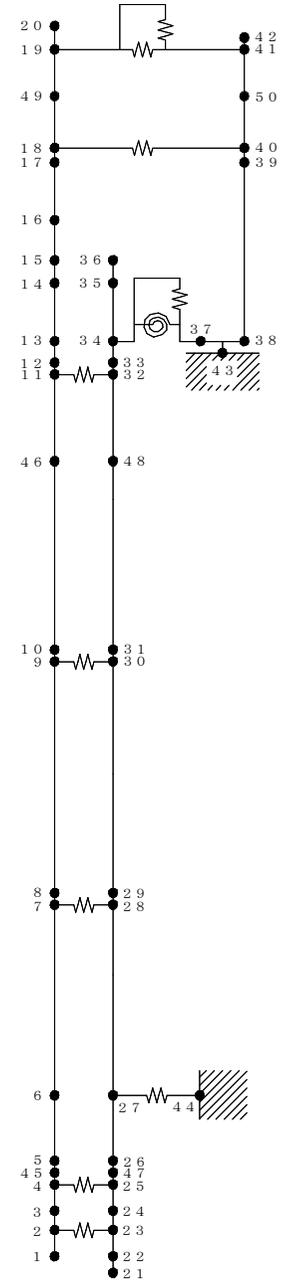
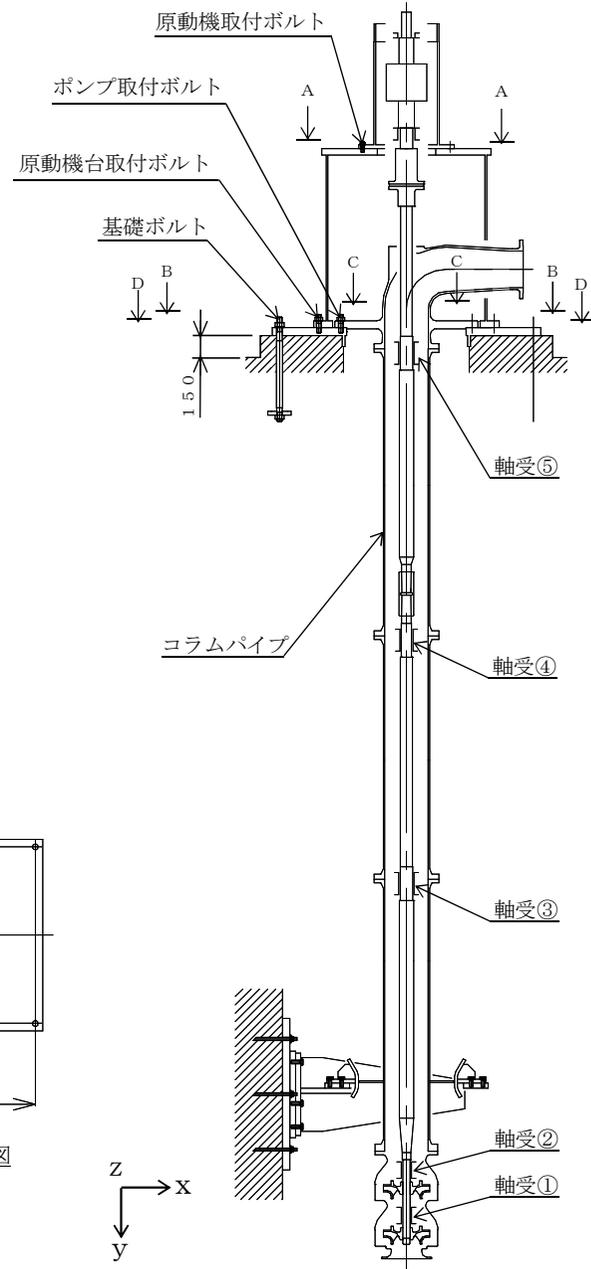
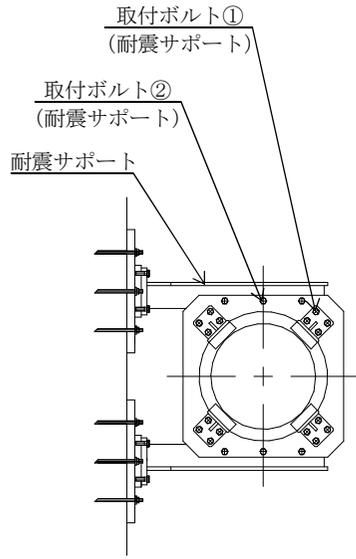
ばねの両端の節点番号		ばねの方向	ばね定数
2	23	1	
4	25	1	
7	28	1	
9	30	1	
11	32	1	
18	40	1	
19	41	1	
27	44	1	
19	41	2	
34	37	2	
34	37	6	

(4) 節点の付加質量

節点番号	付加質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	

(5) 材料物性値

材料番号	温 度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)	材 質
1		1.93×10^5	0.3	
2		2.01×10^5	0.3	
3		2.06×10^5	0.3	
4		2.06×10^5	0.3	

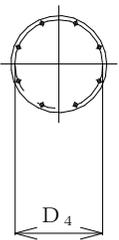


原動機取付ボルト

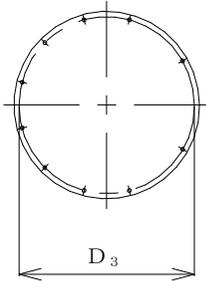
原動機台取付ボルト

ポンプ取付ボルト

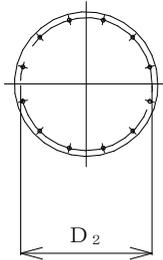
基礎ボルト



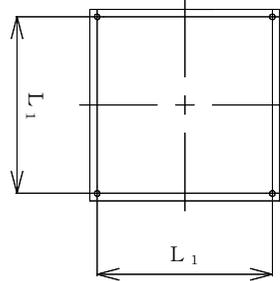
A~A 矢視図



B~B 矢視図



C~C 矢視図



D~D 矢視図

V-2-10-1-3-8 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用
海水ストレーナの耐震性についての計算書

目 次

1.	一般事項	1
1.1	適用基準	1
1.2	計算条件	1
1.3	設計条件	1
1.4	記号の説明	2
1.5	計算精度と数値の丸め方	3
2.	構造説明	3
2.1	構造計画	3
3.	計算方法	5
3.1	固有周期の計算方法	5
3.2	応力の計算方法	5
3.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	5
3.2.2	許容応力	5
3.2.3	使用材の許容応力	5
3.2.4	基礎ボルトの応力	9
4.	評価方法	10
4.1	応力の評価	10
4.1.1	基礎ボルトの応力評価	10
5.	評価結果	10
5.1	設計基準対象設備としての評価結果	10
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 一般事項

本計算書は、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの耐震性についての計算方法と計算結果を示す。

1.1 適用基準

本書における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 (日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月) に準拠する。

1.2 計算条件

- (1) ストレーナ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はストレーナ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) ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎については剛となるよう設計する。
- (4) 転倒方向は図 1-1 により検討し、計算条件の厳しい方で耐震性についての計算を行う。

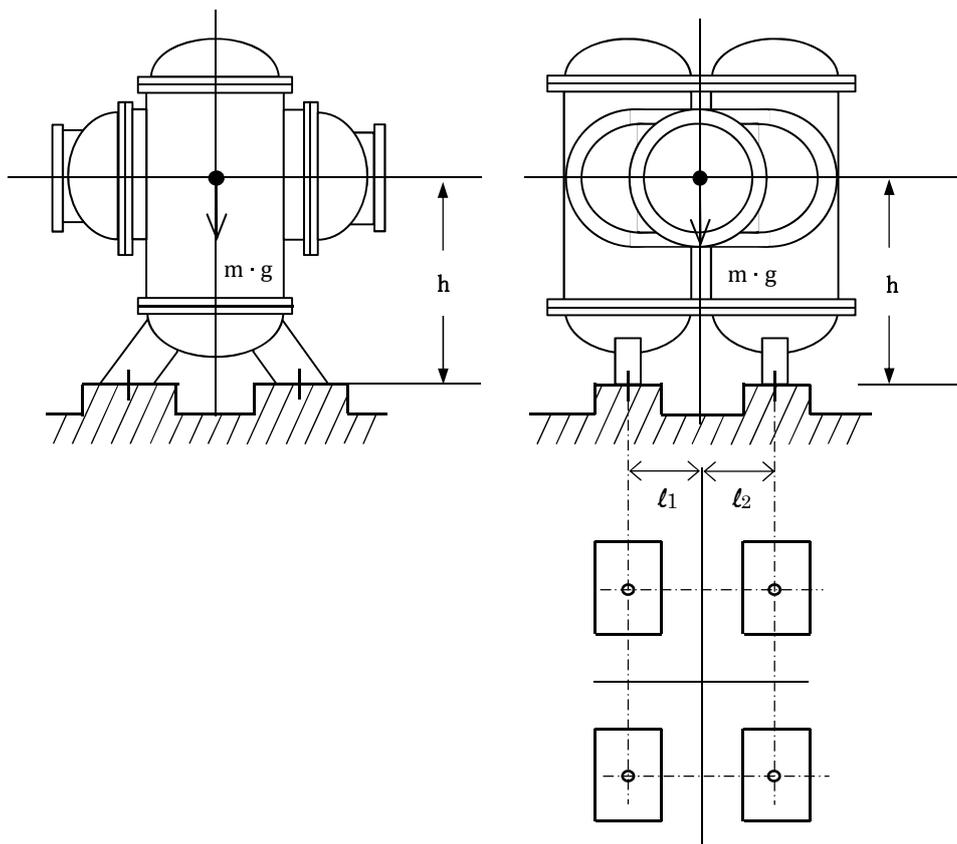


図 1-1 概要図

1.3 設計条件

- (1) 使用材料

部 材	使用材料
基礎ボルト	SS400

1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎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基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	基礎から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
ℓ_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
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	基礎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
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1-2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会 2007年9月）をいう。

注2： $\ell_1 \leq \ell_2$

1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保すること。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりとする。

表1-1 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
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*1	mm	—	—	整数位
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
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

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。

2. 構造説明

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
(1) ストレーナ	ストレーナは胴と一体の脚で支持し、脚を基礎ボルトで支持する。	容器	<p>The diagram illustrates the structural design of a strainer. It consists of two views: a side view (axial direction) and a front view (perpendicular to the axis). The strainer body is supported by a leg, which is anchored to a foundation using foundation bolts. The weight of the assembly is denoted as $m \cdot g$, and the height from the base to the center of gravity is denoted as h.</p>

3. 計算方法

3.1 固有周期の計算方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナは1個の大きなブロック状をしており，重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり，かつ，下面が基礎ボルトにて固定されている。したがって全体を一つの剛体とみなせるため，固有周期は十分に小さく，固有周期の計算は省略する。

3.2 応力の計算方法

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容応力を表3-3に示す。

3.2.3 使用材の許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表3-2 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	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S* ⁴

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容器の支持構造物を含む。

*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。

*4：V_ASとして，Ⅳ_ASの許容限界を用いる。

表3-3 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物（クラス2，3支持構造物））

許容応力状態	許 容 限 界* ¹ (ボ ル ト 等)		
	一 次 応 力		
	引張り	せん断	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b\}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t^{**2}, 2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b\}$
V _A S ^{*3}	$1.5 \cdot f_t^{**2}$	$1.5 \cdot f_s^{**2}$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t^{**2}, 2.1 \cdot f_t^{**2} - 1.6 \cdot \tau_b\}$

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：クラス2支持構造物においてF値の算出時， S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。
 *3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度	<input type="text"/>		
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	<input type="text"/>	231	394

表3-5 使用材料の許容応力（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)
		周囲環境温度	<input type="text"/>		
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	<input type="text"/>	231	394

3.2.4 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

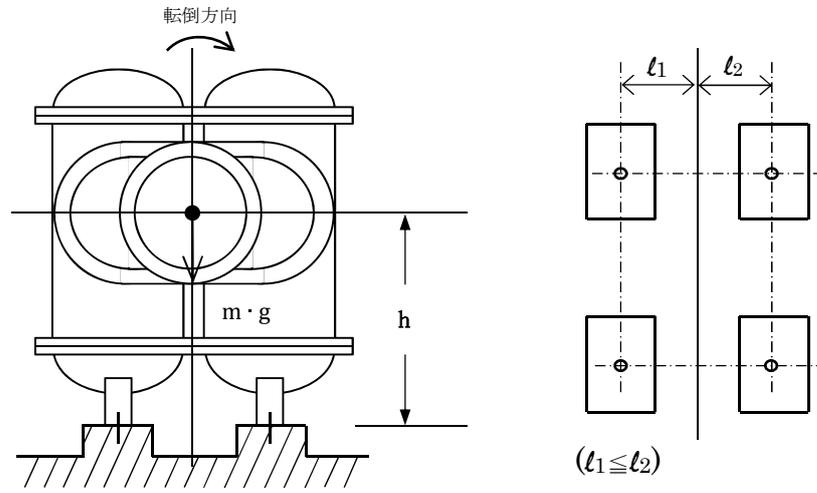


図 3-1 計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-1 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (3.2.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (3.2.3)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行なわない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots \dots \dots (3.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (3.2.5)$$

4. 評価方法

4.1 応力の評価

4.1.1 基礎ボルトの応力評価

3.2.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.1.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.1.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	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_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの設計基準対象施設として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、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S s に対する評価

基準地震動 S s に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

(2) 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度に対する評価

弾性設計用地震動 S d 及び静的震度に対する応力評価結果を次ページ以降に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ重大事故等対処設備としての耐震評価結果は、環境条件が設計基準対象設備と同じであり、耐震評価結果も同じであることから、記載を省略する。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナの計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ	S	海水ポンプ室 EL. 0.30*1	—*2	$C_H=0.81^{*3}$	$C_V=1.23^{*3}$	$C_H=1.38^{*4}$	$C_V=2.70^{*4}$	—	□

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 弾性設計用地震動 S d の震度と同等以上の設計震度又は静的震度

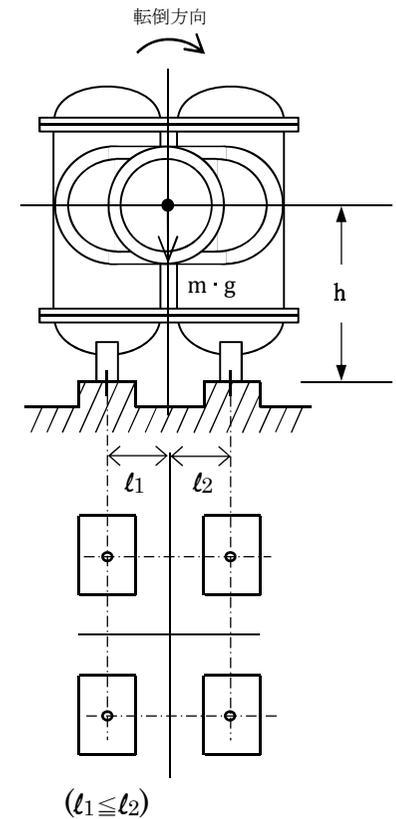
*4: 基準地震動 S s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	l_1 (mm)	l_2 (mm)	A b (mm ²)	n	n f
基礎ボルト						4	2

部材	S y (MPa)	S u (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	
基礎ボルト	231* (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*	231	276	軸直角

注記*: 周囲環境温度で評価



1.3 計算数値

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
基礎ボルト	1.020×10 ⁴	2.396×10 ⁴	1.628×10 ⁴	2.774×10 ⁴

1.4 結 論

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
基礎ボルト	SS400	引 張 り	$\sigma_b = 33$	$f_{ts} = 173^*$	$\sigma_b = 77$	$f_{ts} = 207^*$
		せ ん 断	$\tau_b = 13$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 22$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記*：(4.1.2)式より算出