

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-776 改3
提出年月日	平成30年9月6日

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.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用基準	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	固有周期	9
4.1	固有周期の計算方法	9
4.2	固有周期の計算条件	10
4.3	固有周期の計算結果	10
5.	地震応答解析及び構造強度評価	11
5.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	11
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3	設計用地震力	16
5.4	解析モデル及び諸元	17
5.5	計算方法	19
5.6	計算条件	21
5.7	応力の評価	22
5.8	疲労解析評価	23
6.	評価結果	26
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	26

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の設計方針に基づき、非常用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。

非常用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、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用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

計 画 の 概 要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を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。</p>	<p>横置円筒形容器</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

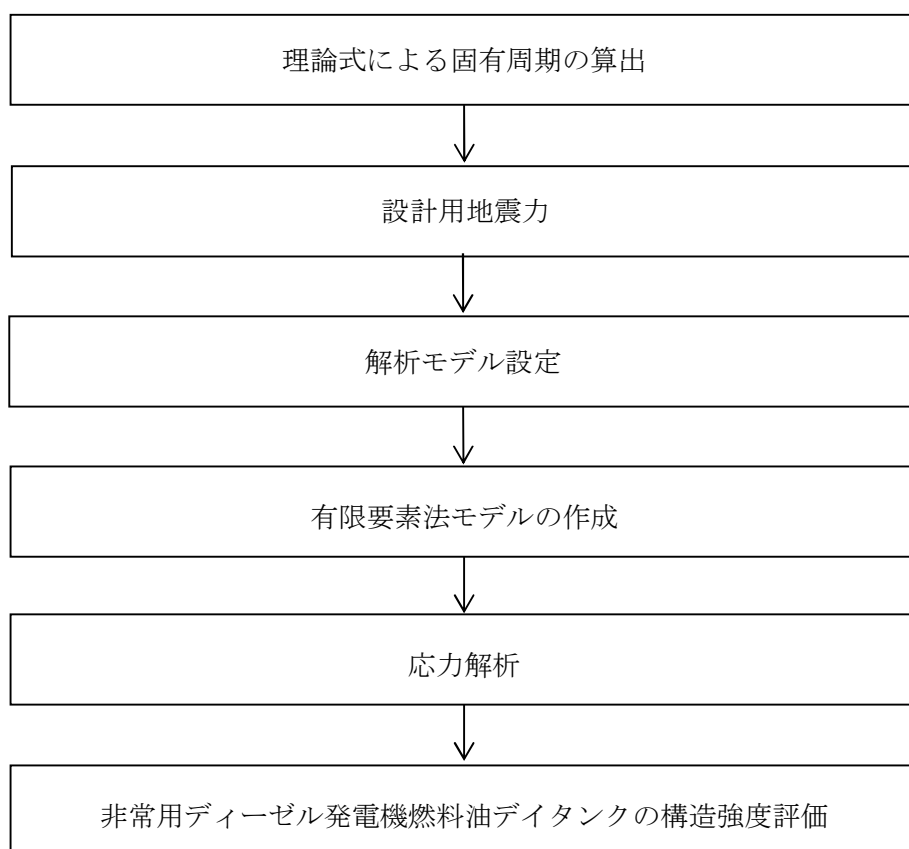


図 2-1 非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 (日本電気協会)
- (4) 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)

2.4 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	固定脚の断面積	mm^2
A_{s1}	固定脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	固定脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
B_0	設計・建設規格 PVB-3315に定める値	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	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}	ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
F_{tb}	ボルト1本あたりに作用する引張力	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 (f_s を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力 (f_t を1.5倍した値)	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	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
H	水頭	mm
h_1	基礎から固定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
I_{sx}	固定脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	固定脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K	疲労強度減少係数又は応力集中係数	—
K_c	固定脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_e	繰返しピーク応力強さの割増し係数	—
K_ℓ	固定脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_v	固定脚のばね定数 (胴に鉛直力が作用する場合)	N/m
m_0	容器の運転時質量	kg
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	—
N_a	許容繰返し回数	—

記号	記号の説明	単位
N_c	実際の繰返し回数	—
n	基礎ボルトの本数	—
q	設計・建設規格 PVB-3315に定める値	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	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_a	胴の許容応力	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
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_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_n	一次+二次応力強さ (=算出応力)	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°Cにおける値	MPa
T	胴の温度条件	°C
T_s	脚の温度条件	°C
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	固定脚側胴板の厚さ	mm
t_e	固定脚付け根部における胴の有効板厚	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0x}	胴の長手方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0y}	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{1x}	胴の長手方向一次応力	MPa
σ_{1y}	胴の周方向一次応力	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_{2x}	胴の長手方向一次+二次応力	MPa
σ_{2y}	胴の周方向一次+二次応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
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_{s1x}	脚のシェル要素における x 方向一次応力	MPa
σ_{s1y}	脚のシェル要素における y 方向一次応力	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
σ_{s2x}	脚のシェル要素における x 方向一次+二次応力	MPa
σ_{s2y}	脚のシェル要素における y 方向一次+二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{0xy}	胴の一次一般膜せん断応力	MPa
τ_{1xy}	胴の一次せん断応力	MPa
τ_{2xy}	胴の一次+二次せん断応力	MPa
τ_{s1xy}	脚のシェル要素における一次せん断応力	MPa
τ_{s2xy}	脚のシェル要素における一次+二次せん断応力	MPa

2.5 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2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
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}
	胴の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積 ^{*2}		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の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3. 評価部位

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

容器及び内容物の質量は動の中心軸に集中するものとする。また、水平方向は、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の水平方向及び水平方向及び鉛直方向は剛とみなす。

(1) 計算モデル

本容器は、図4-1、図4-2及び図4-3のような1質点系振動モデルとして考える。

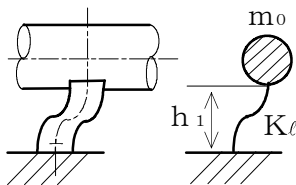


図 4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

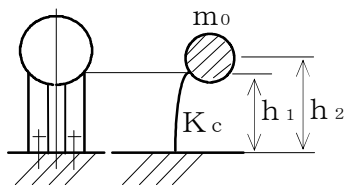


図 4-2 横方向の固有周期
計算モデル

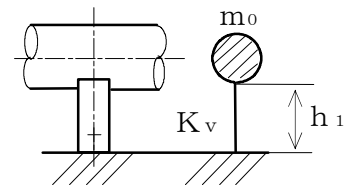


図 4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重は全ての脚が下端固定構造であるため、機器の運転時質量 m_0 を全ての脚で受けるものとする。

(3) 長手方向の固有周期

図4-1におけるばね定数は次式で求める。

$$K_l = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-2におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s_x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{s_x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s_2}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_C}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-3におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、「6.1 設計基準対象施設としての評価結果」及び「6.2 重大事故等対処設備としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を、表 4-1 に示す。計算結果より、0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期(s)

水平方向		鉛直方向
長手方向	横方向	
0.014	0.039	0.004

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、強度評価において組合せるものとする。なお、基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組合せるものとする。
- (2) 容器の胴は6個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。
- (3) 胴と脚との取付部において胴の局部変形を考慮する。
- (4) 脚は全脚固定とし、水平方向荷重は全ての脚で受けるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 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5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表5-3及び表5-4のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-6に示す。

表 5-1 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 燃料油デイトンク	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1: 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。

*2: S_s と組み合わせ、Ⅲ_AS の評価を実施する。

表 5-2 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 燃料油デイトンク	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 (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 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。

表5-3 許容応力（クラス2，3容器及び重大事故等クラス2容器）

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のうち大きい方とする。	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。*2 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。*2 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	

注記 *1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表5-4 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）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	55	—	239	391	—
脚		周囲環境温度		—	231	394	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	55	—	239	391	—
脚		周囲環境温度		—	231	394	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、
添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表5-7及び表5-8に示す。

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 8.2* ¹	0.039	0.004	—* ²	—* ²	$C_H =$ 1.10	$C_V =$ 0.96

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 8.2*	0.039	0.004	—	—	$C_H =$ 1.10	$C_V =$ 0.96

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 解析モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンクの解析モデルを図5-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表5-9に示す。

- (1) 燃料油デイトンクをシェル要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、脚を脚底面ボルト位置で変位3(X, Y, Z)方向拘束、脚底面を鉛直(X, Y, Z)方向フリーとする。
- (3) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、胴、脚及び基礎ボルトの応力を求める。
 なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。

表5-9 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	<input type="text"/>
質量		m_0	kg	15000
温度条件 (雰囲気温度)	胴	T	℃	55
	脚	T_s	℃	<input type="text"/>
縦弾性係数	胴	E	MPa	201000
	脚	E_s	MPa	201000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	個	23972
節点数		—	個	23956

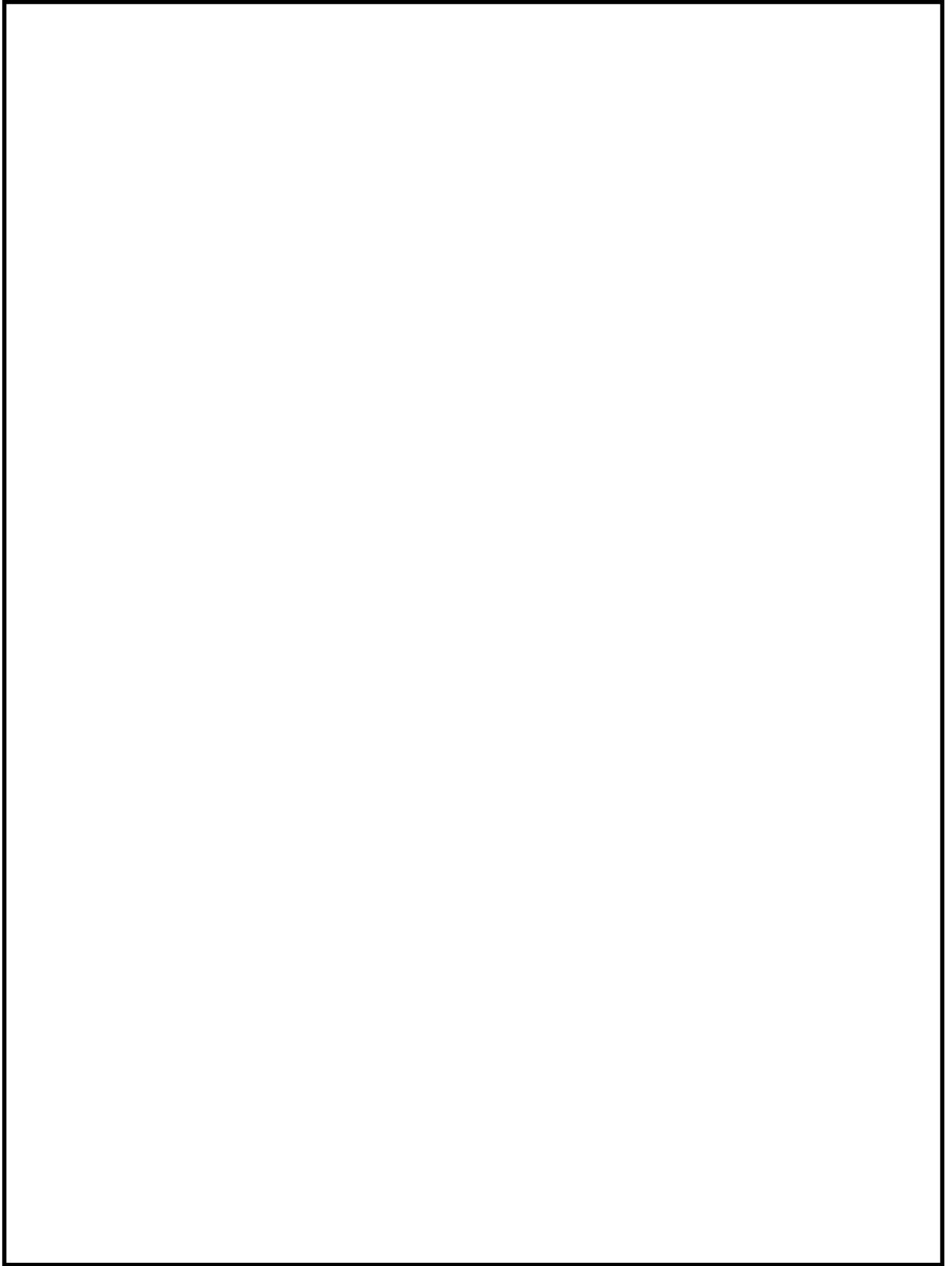


図5-1 解析モデル

5.5 計算方法

(1) 胴の応力

FEM解析結果から得られる各部材の応力成分より各種応力を算出する。
 胴については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次一般膜

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{0x} + \sigma_{0y}) + \sqrt{(\sigma_{0x} - \sigma_{0y})^2 + 4 \cdot \tau_{0xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.1)$$

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1x} + \sigma_{1y}) + \sqrt{(\sigma_{1x} - \sigma_{1y})^2 + 4 \cdot \tau_{1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.2)$$

c. 一次+二次応力

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{2x} + \sigma_{2y}) + \sqrt{(\sigma_{2x} - \sigma_{2y})^2 + 4 \cdot \tau_{2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.3)$$

表5-10 FEM解析による胴の応力成分

項目	記号	単位	応力値
胴の長手方向一次一般膜応力	σ_{0x}	MPa	26.1
胴の周方向一次一般膜応力	σ_{0y}	MPa	0.7
胴の一次一般膜せん断応力	τ_{0xy}	MPa	1.2
胴の長手方向一次応力	σ_{1x}	MPa	45.4
胴の周方向一次応力	σ_{1y}	MPa	57.4
胴の一次せん断応力	τ_{1xy}	MPa	34.0
胴の長手方向一次+二次応力	σ_{2x}	MPa	257.8
胴の周方向一次+二次応力	σ_{2y}	MPa	514.9
胴の一次+二次せん断応力	τ_{2xy}	MPa	126.7

(2) 脚の応力

F E M解析結果から得られる各部材の応力成分より各種応力を算出する。

脚については、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 一次応力

$$\sigma_{s1} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s1x} + \sigma_{s1y}) + \sqrt{(\sigma_{s1x} - \sigma_{s1y})^2 + 4 \cdot \tau_{s1xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.4)$$

b. 一次+二次応力

$$\sigma_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{s2x} + \sigma_{s2y}) + \sqrt{(\sigma_{s2x} - \sigma_{s2y})^2 + 4 \cdot \tau_{s2xy}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.5.5)$$

表5-11 F E M解析による脚の応力成分

項目	記号	単位	応力値
脚の要素座標系における x 方向一次応力	σ_{s1x}	MPa	39.8
脚の要素座標系における y 方向一次応力	σ_{s1y}	MPa	122.4
脚の要素座標系における一次せん断応力	τ_{s1xy}	MPa	23.6
脚の要素座標系における x 方向一次+二次応力	σ_{s2x}	MPa	125.2
脚の要素座標系における y 方向一次+二次応力	σ_{s2y}	MPa	533.2
脚の要素座標系における一次+二次せん断応力	τ_{s2xy}	MPa	43.6

(3) 基礎ボルトの応力

F E M解析結果から得られる基礎ボルト固定位置における最大荷重を用いて、各種応力を算出する。

基礎ボルトについては、以下の式を用いて応力を算出する。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_{tb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.7)$$

表5-12 F E M解析による基礎ボルトの最大荷重

項目	記号	単位	荷重値
ボルト 1 本あたりに作用する引張力	F_{tb}	N	3.875×10^4
ボルト 1 本あたりに作用するせん断力	F_{sb}	N	5.072×10^4

5.6 計算条件

応力解析に用いる自重（胴，脚及び基礎ボルト）は、本計算書の【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結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.7 応力の評価

5.7.1 胴及び脚の応力評価

5.5項で求めた組合せ応力が胴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。ただし、 S_a は5.2.2項 表5-3による。

5.7.2 基礎ボルトの応力評価

5.5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。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.7.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを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。ただし、 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.8 疲労解析評価

胴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、設計・建設規格 PVB-3300 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弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s の等価繰返し回数 N_e は 160 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。

$$S_p = S_n \cdot K \quad \dots\dots\dots (5.8.1)$$

ここで、応力集中係数 K は、理論的に求めた値または表 5-13 に示す値を使用し、解析を実施する。

表 5-13 疲労強度減少係数または応力集中係数（設計・建設規格 表 PVB-3130-1）

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
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。

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \quad \dots\dots\dots (5.8.2)$$

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

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

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K} \right) \quad \dots\dots\dots (5.8.3)$$

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

$$K_e = K_e' = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right) \dots \dots \dots (5.8.4)$$

b. $K \geq B_0$ の場合

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

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + 1 - a \dots \dots \dots (5.8.5)$$

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

$$K_e = K_e' = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right) \dots \dots \dots (5.8.6)$$

ここで,

$$K = \frac{S_p}{S_n} \dots \dots \dots (5.8.7)$$

$$a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + (q-1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q-1)} \dots \dots \dots (5.8.8)$$

また, q , A_0 及び B_0 を表 5-14 に示す。

表 5-14 q , A_0 及び B_0 の値 (設計・建設規格 表 PVB-3315-1)

材料の種類	q	A_0	B_0
炭素鋼	3.1	0.66	2.59

(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_ℓ を次式で補正する。

$$S_\ell' = \frac{S_\ell \cdot E'}{E} \dots\dots\dots (5.8.9)$$

(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。

$$N_a = N_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{\log S_2 / S_a'}{\log S_2 / S_1}} \dots\dots\dots (5.8.10)$$

なお、許容繰返し回数の算出には、設計・建設規格 図 添付 4-2-1 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図の値を用いる。

(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。

$$U_f = \sum_{i=1}^k \frac{N_c(i)}{N_a(i)} \leq 1.0 \dots\dots\dots (5.8.11)$$

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。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。なお、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) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

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。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。なお、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) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【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)
			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燃料油デイトンク	S	原子炉建屋 EL. 8.2*1	0.039	0.004	—*2	—*2	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	静水頭	55	

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

m_o (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	H (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)
15000	1800	9.0	12.0	1604	7.912×10^8	1.317×10^9

A_s (mm ²)	E (MPa)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	n	A_b (mm ²)
8.333×10^4	201000 *1	201000 *2	77300	2.840×10^4	5.085×10^4	6	706.9 (M30)

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (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	391 *1	231 *2	394 *2	231 *2	394 *2	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

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	—	$\sigma_0 = 27$
一 次	—	$\sigma_1 = 86$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 567$

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	—	$\sigma_{s1} = 129$
一次＋二次	—	$\sigma_{s2} = 538$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

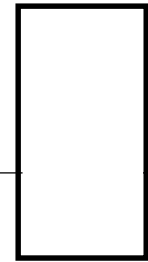

(単位：MPa)

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	—	$\sigma_b = 55$
せ ん 断	—	$\tau_b = 72$

1.4 結論

1.4.1 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*1	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	$\sigma_1 = 86$	$S_a = 352$	$\sigma_1 = 86$	$S_a = 352$
		一次 + 二次	$\sigma_2 = 567$	$S_a = 478$	$\sigma_2 = 567$	$S_a = 478$
		一次 + 二次 + ピーク	[疲労累積係数] 0.62	[疲労累積係数] ≤ 1.0	[疲労累積係数] 0.62	[疲労累積係数] ≤ 1.0
脚		一 次	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 346$	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 355$
		一次 + 二次	$\sigma_{s2} = 538$	$S_a = 462$	$\sigma_{s2} = 538$	$S_a = 462$
		一次 + 二次 + ピーク	[疲労累積係数] 0.23	[疲労累積係数] ≤ 1.0	[疲労累積係数] 0.23	[疲労累積係数] ≤ 1.0
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 127^{*2}$	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 174^{*2}$
		せ ん 断	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値

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

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	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 燃料油デイトンク	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. 8.2*	0.039	0.004	—	—	$C_H=1.10$	$C_V=0.96$	静水頭	55	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m_o (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	H (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)
15000	1800	9.0	12.0	1604	7.912×10^8	1.317×10^9

A_s (mm ²)	E (MPa)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	n	A_b (mm ²)
8.333×10^4	201000 ^{*1}	201000 ^{*2}	77300	2.840×10^4	5.085×10^4	6	706.9 (M30)

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (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)
239 ^{*1}	391 ^{*1}	231 ^{*2}	394 ^{*2}	231 ^{*2}	394 ^{*2}	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

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	—	$\sigma_1 = 86$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 567$

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	—	$\sigma_{s2} = 538$

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	—	$\sigma_b = 55$
せ ん 断	—	$\tau_b = 72$

2.4 結論

2.4.1 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	—	—	$\sigma_1 = 86$	$S_a = 352$
		一次＋二次	—	—	$\sigma_2 = 567$	$S_a = 478$
		一次＋二次 ＋ピーク	—	—	[疲労累積係数] 0.62	[疲労累積係数] ≤ 1.0
脚		一 次	—	—	$\sigma_{s1} = 129$	$S_a = 355$
		一次＋二次	—	—	$\sigma_{s2} = 538$	$S_a = 462$
		一次＋二次 ＋ピーク	—	—	[疲労累積係数] 0.23	[疲労累積係数] ≤ 1.0
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 174^*$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

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