

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密また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-596 改0
提出年月日	平成30年6月22日

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. 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. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.3 設計用地震力	14
4.4 解析モデル及び諸元	15
4.5 固有周期	17
4.6 計算方法	18
4.7 計算条件	18
4.8 応力の評価	19
5. 評価結果	20
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	20
6. 引用文献	20

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度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。

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空気だめの構造計画を表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。</p>	<p>横置円筒形容器</p>	

2.2 評価方針

非常用ディーゼル発電機空気だめの応力評価は、「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空気だめの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 解析モデル及び諸元」及び「4.5 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

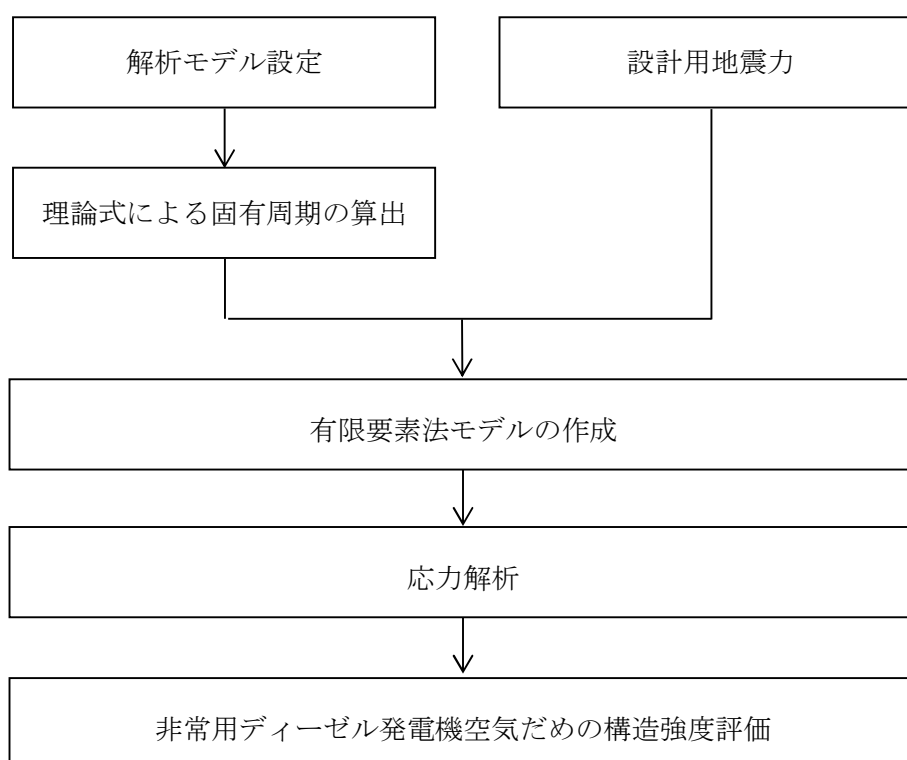


図 2-1 非常用ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フロー

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（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9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 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9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _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 _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
C _{cj}	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 _{lj}	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)	—
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) 中心までの横方向の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	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 _{s b}	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 _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	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
I _{s x}	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 _{s y}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
K _c	第1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 _l	第1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	第1脚のばね定数 (胴に鉛直力が作用する場合)	N/m

記号	記号の説明	単位
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)	—
$K_{c j}, K^{\ell j}$	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。)($i=1, 2, 3 \dots j_1$)	mm
ℓ_w	当て板における脚の取り付けられ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($i=1, 2, 3 \dots j_1$)	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	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	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

記号	記号の説明	単位
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{sy}	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

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空気だめの耐震評価は、「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空気だめ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. 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) 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- (2) 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。
- (3) 容器の胴は4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。
- (4) 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。胴の鉛直方向は剛とみなす。
- (5) 胴と脚との取付部において胴の局部変形を考慮する。
- (6) 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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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評価条件

非常用ディーゼル発電機空気だめ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*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3容器の支持構造物を含む。

*2：S_sと組み合わせ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

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 (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)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	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 ^{*3} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
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 ^{*3} のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	

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: 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。

*3: 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）

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 4-5 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	SM50B*1 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

表 4-6 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	SM50B*1 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

4.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-7及び表4-8に示す。

「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、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

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	
		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
S	原子炉建屋 EL. -4.0 ^{*1}	0.017	0.002	— ^{*2}	— ^{*2}	$C_H=$ 0.87	$C_V=$ 0.90

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2： S_s 組み合わせ、Ⅲ_ASについて評価を実施する。

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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	
		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
常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 EL. -4.0 [*]	0.017	0.002	—	—	$C_H=$ 0.87	$C_V=$ 0.90

注記 *：基準床レベルを示す。

4.4 解析モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電機空気だめの解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-9に示す。

- (1) 空気だめ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(Z)方向フリーとする。
- (3) 計算機コードは、「ABAQUS」を使用し、胴, 脚及び基礎ボルトの応力を求める。
なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-5 計算機プログラム (解析コード) の概要・ABAQUS」に示す。

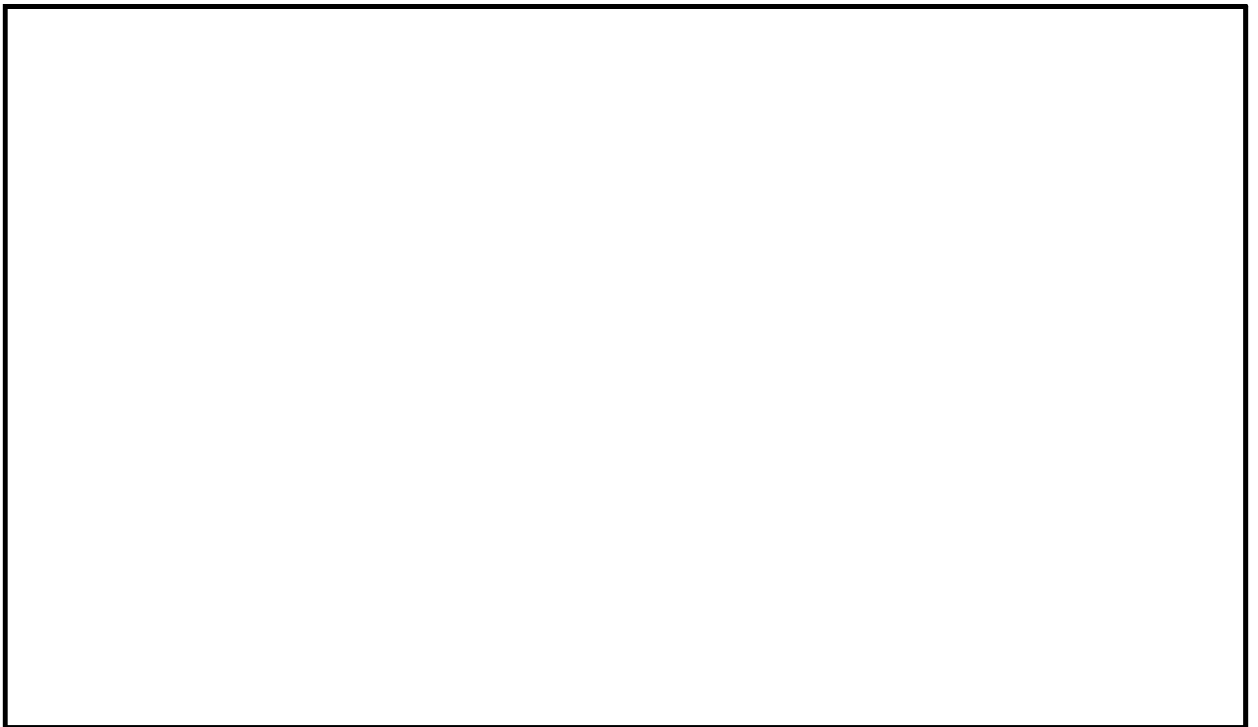


図4-1 解析モデル

表4-9 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	<input type="text"/>
質量		m_0	kg	2000
温度条件 (雰囲気温度)	胴	T	°C	60
	脚	T_s	°C	<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	13544
節点数		—	個	13522
<input type="text"/>				

4.5 固有周期

(1) 計算モデル

本容器は、4.1項より図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。

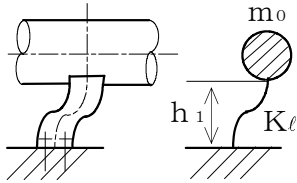


図4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

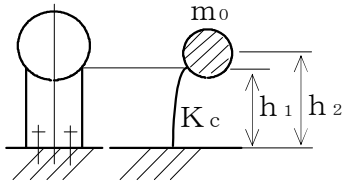


図4-2 横方向の固有周期
計算モデル

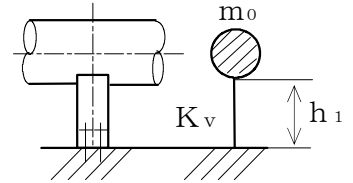


図4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(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。

$$K_l = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots\dots\dots (4.5.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l}} \dots\dots\dots (4.5.2)$$

(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。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (4.5.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_c}} \dots\dots\dots (4.5.4)$$

(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。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.5.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (4.5.6)$$

(6) 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表4-10に示す。

表 4-10 固有周期 (s)

方向		固有周期
水平	長手方向	0.005
	横方向	0.017
鉛直		0.002

4.6 計算方法

計算機コード「ABAQUS」により、胴、脚及び基礎ボルトの応力を求める。

4.7 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
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。

4.8 応力の評価

4.8.1 胴及び脚の応力評価

4.6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 は下表による。

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つては許容引張応力 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。	

4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。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。

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

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, October 2002 Update of the March 1979 revision (original, August 1965)

【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)
			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*1	0.017	0.002	—*2	—*2	C _H =0.87	C _V =0.90	3.24	60	

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 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)
2000	—	—	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)
—	—	2.128×10 ⁸	5.230×10 ⁸	—	—	—	—

A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
5.333×10^4	201000 ^{*1}	201000 ^{*2}	77300	2.153×10^4	3.133×10^4	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	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}	471 ^{*1}	—	309 ^{*2}	480 ^{*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

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	—	$\sigma_0 = 90$
一 次	—	$\sigma_1 = 107$
一次＋二次	—	$\sigma_2 = 31$

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

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

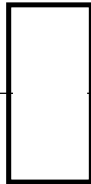

応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	発生応力	発生応力
引 張 り	—	$\sigma_b = 9$
せ ん 断	—	$\tau_b = 61$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	$T_1 = 0.005$
横 方 向	$T_2 = 0.017$
鉛 直 方 向	$T_3 = 0.002$

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*1	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		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		引 張 り	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 145^{*2}$	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 192^{*2}$
		せ ん 断	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

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 空気だめ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 EL. -4.0*	0.017	0.002	-	-	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)
2000	-	-	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)
-	-	2.128×10 ⁸	5.230×10 ⁸	-	-	-	-

A_s (mm ²)	E (MPa)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
5.333×10^4	201000 ^{*1}	201000 ^{*2}	77300	2.153×10^4	3.133×10^4	—	—

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	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}	471 ^{*1}	—	309 ^{*2}	480 ^{*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

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)

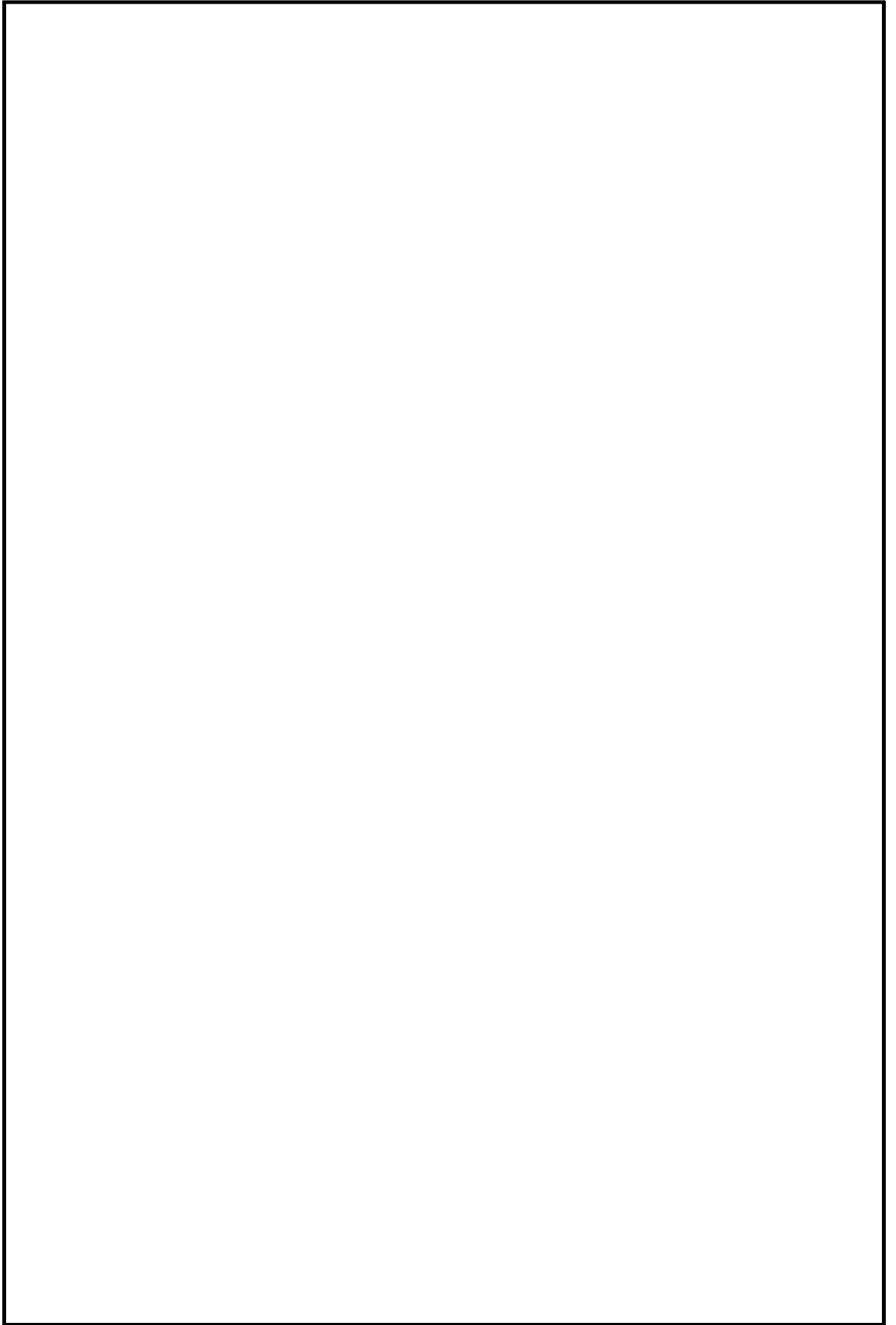
方 向	固 有 周 期
長 手 方 向	$T_1 = 0.005$
横 方 向	$T_2 = 0.017$
鉛 直 方 向	$T_3 = 0.002$

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	—	—	$\tau_b = 61$	$f_{sb} = 159$

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



空気だめの解析モデル