

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-26 改 01
提出年月日	2023年 2月 2日

VI-2-11-2-7-11 タービン補機冷却系熱交換器の
耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-7-11 R0

2023年 2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	14
5. 構造強度評価	15
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
5.3 設計用地震力	19
5.4 計算方法	20
5.5 計算条件	27
5.6 応力の評価	27
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	29

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるタービン補機冷却系熱交換器（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による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することで、隣接している上位クラス施設である原子炉補機海水系配管（放水配管）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

タービン補機冷却系熱交換器は、タービン建物地下1階に設置されている。タービン補機冷却系熱交換器は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉補機海水系配管（放水配管）に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は原子炉補機海水系配管（放水配管）に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

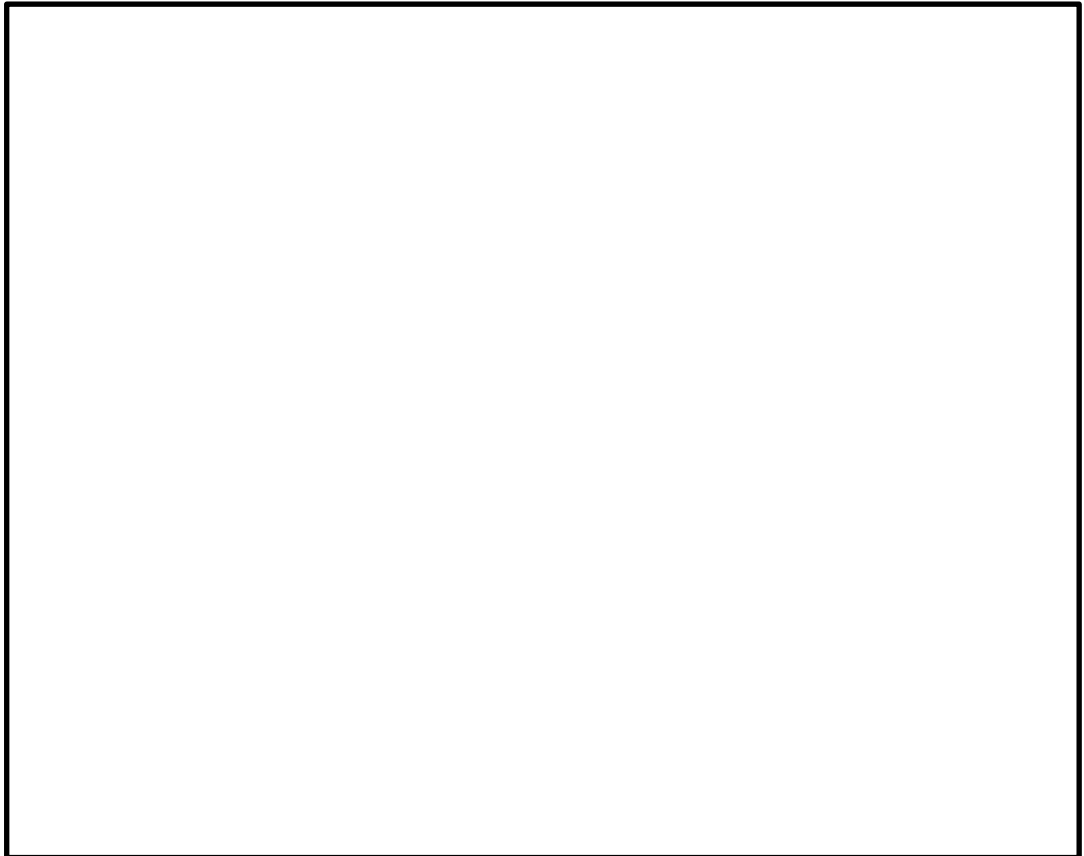


図2-1 タービン補機冷却系熱交換器と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

タービン補機冷却系熱交換器の構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図 (全体図)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を当板を介して 2 個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> <p>第 1 脚 (固定脚) は脚底板と溶接した耐震補強サポートを介して追設基礎ボルトで床面に固定する。</p>	<p>横置直管式 (横置一胴円筒形容器)</p>	

表 2-2 構造計画 (その 2)

概略構造図 (耐震補強サポート)



2.3 評価方針

タービン補機冷却系熱交換器の応力評価は、IV-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示すタービン補機冷却系熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で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. 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。

タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価フローを図2-2に示す。

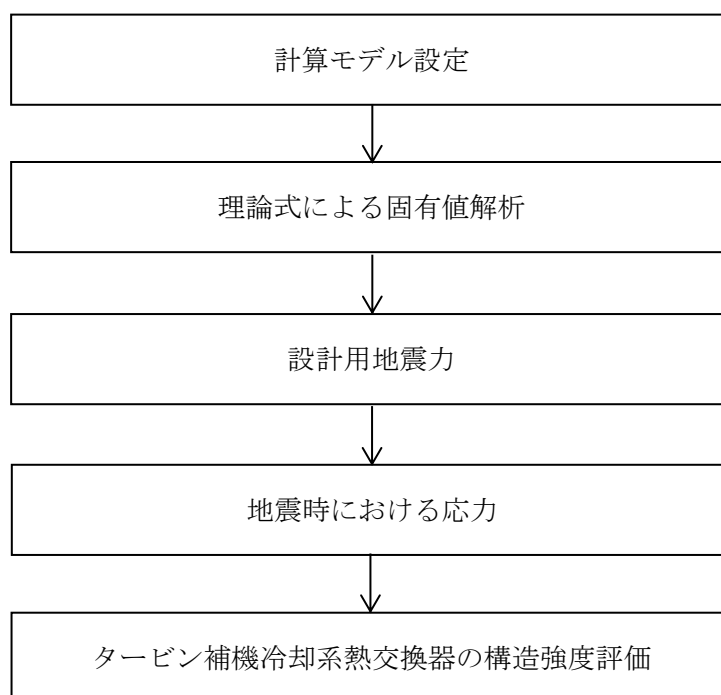


図2-2 タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_a	追設基礎ボルトの断面積	mm^2
A_b	第1脚の基礎ボルトの断面積	mm^2
A_c	第2脚の基礎ボルトの断面積	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_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
d_a	追設基礎ボルトの呼び径	mm
d_b	第1脚の基礎ボルトの呼び径	mm
d_c	第2脚の基礎ボルトの呼び径	mm
d_1	第2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2脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121. 1(1)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_{cb}	横方向地震により第1脚の基礎ボルトに発生する引張力	N
F_{ca}	横方向地震により第1脚の追設基礎ボルトに発生する引張力	N
F_{cc}	横方向地震により第2脚の基礎ボルトに発生する引張力	N
F_{ci}	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 ($i = 1, 2, 3 \dots N_c$)	N
F_{la}	長手方向地震により追設基礎ボルトに発生する引張力	N
F_{lb}	長手方向地震により第1脚の基礎ボルトに発生する引張力	N
F_{li}	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 ($i = 1, 2, 3 \dots N_l$)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける第1脚の基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sba}	せん断力のみを受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sbc}	せん断力のみを受ける第2脚の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第1脚の基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{toa}	引張力のみを受ける追設基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{toc}	引張力のみを受ける第2脚のボルトの許容引張応力	MPa
f_{tm}	脚の許容引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける第1脚の基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
f_{tsa}	引張力とせん断力を同時に受ける追設基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
f_{tsc}	引張力とせん断力を同時に受ける第2脚の基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
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_{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
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
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
l_0	脚中心間距離	mm
l_{ca}	横方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する追設基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{cb}	横方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{ci}	横方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離（ $i=1, 2, 3\cdots N_c$ ）	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_{la}	長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する追設基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{lb}	長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{li}	長手方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離（ $i=1, 2, 3\cdots N_\ell$ ）	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	N・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_c	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_{cc}	横方向地震により第2脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	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

記号	記号の説明	単位
N_c	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の数	—
N_ℓ	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の数	—
n_a	脚1個当たりの追設基礎ボルトの本数	—
n_b	脚1個当たりの第1脚の基礎ボルトの本数	—
n_c	脚1個当たりの第2脚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を受ける第2脚の基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける第2脚の基礎ボルトの本数	—
n_{ci}	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列でのボルト本数 ($i=1, 2, 3\cdots N_c$)	—
$n_{\ell i}$	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列でのボルト本数 ($i=1, 2, 3\cdots N_\ell$)	—
P_{sc}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合に第2脚底面に作用する鉛直荷重	N
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_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	第2脚の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
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
π	円周率	—
σ_a	追設基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{a1}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{a2}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_b	第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_c	第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{c2}	横方向及び鉛直方向地震により第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{sl}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
τ_a	追設基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{a1}	長手方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{a2}	横方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_b	第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	第2脚の基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{c2}	横方向地震により第2脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-3に示すとおりである。

表2-3 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
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
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。

3. 評価部位

タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、タービン補機冷却系熱交換器の転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、支持機能に関連するもののうち、脚、第1脚の基礎ボルト、追設基礎ボルト及び第2脚の基礎ボルトについて評価を実施する。タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価部位については、表2-1及び表2-2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

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- 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。
- 容器の胴は2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- 胴は剛体とし、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。
- 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトは、固定支持とする。
- 第2脚は長手方向にスライドすることから、その方向の力はすべて第1脚で受けるものとする。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図4-1～図4-4に示す。

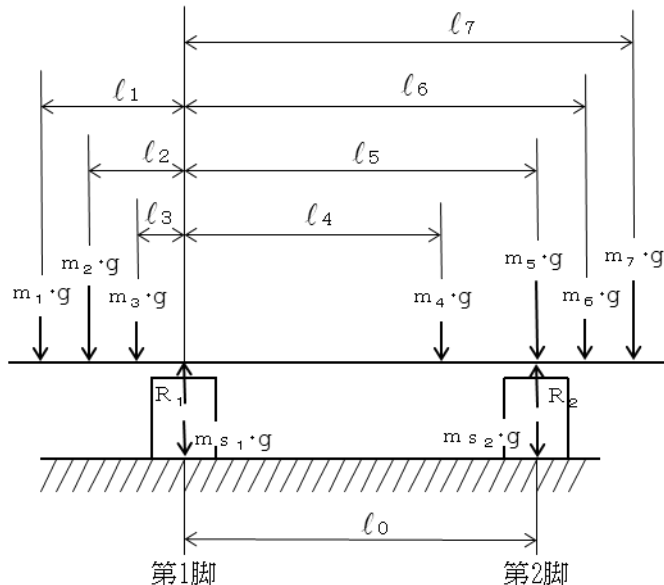


図4-1 荷重状態

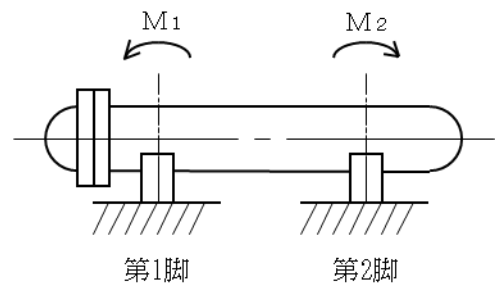


図4-2 脚の位置での曲げモーメント

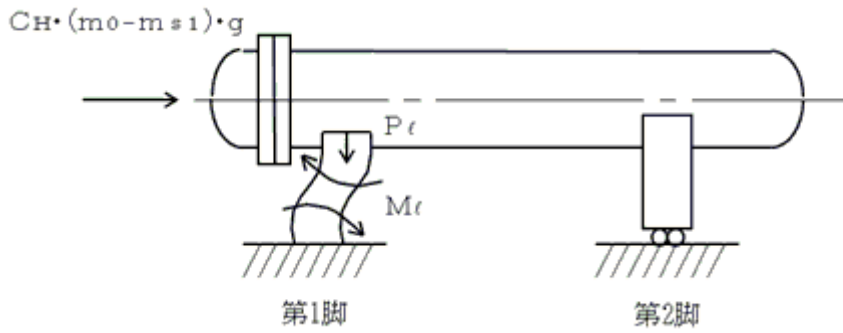


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

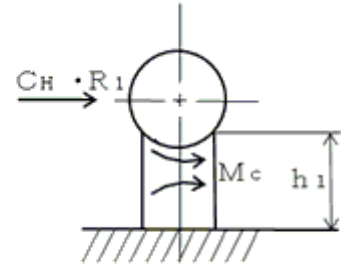


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

本容器は、前記の条件より図4-5、図4-6及び図4-7のような1質点系振動モデルとして考える。

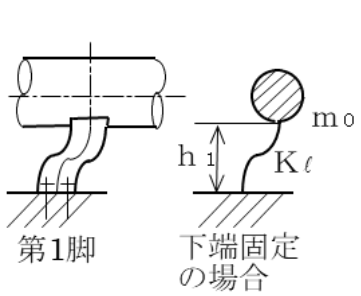


図4-5 長手方向の固有周期計算モデル

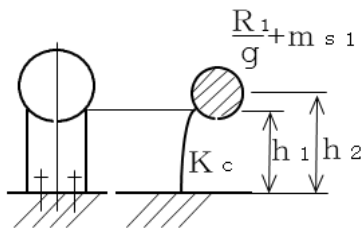


図4-6 横方向の固有周期計算モデル

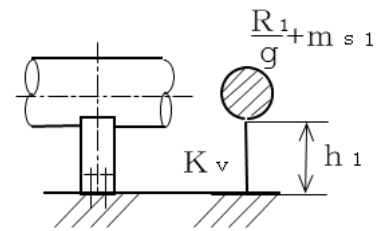


図4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図4-1において第1脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i - R_2 \cdot l_0 = 0 \quad \dots \quad (4.1.1)$$

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i / l_0 \quad \dots \quad (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots \quad (4.1.3)$$

(3) 長手方向の固有周期

図4-5におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\ell} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_{\ell}}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-6におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{s x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 2}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_1 + m_{s 1}}{g \cdot K_c}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-7におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{A_s \cdot E_s} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_1 + m_{s 1}}{g \cdot K_v}} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

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、本計算書の【タービン補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】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。計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-1 固有周期 (単位 : s)

水平 (長手方向)	0.042
水平 (横方向)	0.020
鉛直	0.007

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項a.～f.のほか、次の条件で計算する。概要図を図5-1に示す。

- (1) 地震力は容器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。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を適用する。
- (2) 第1脚と第2脚は同形状であり、受ける荷重の大きい第1脚についての評価を計算書に記載する。

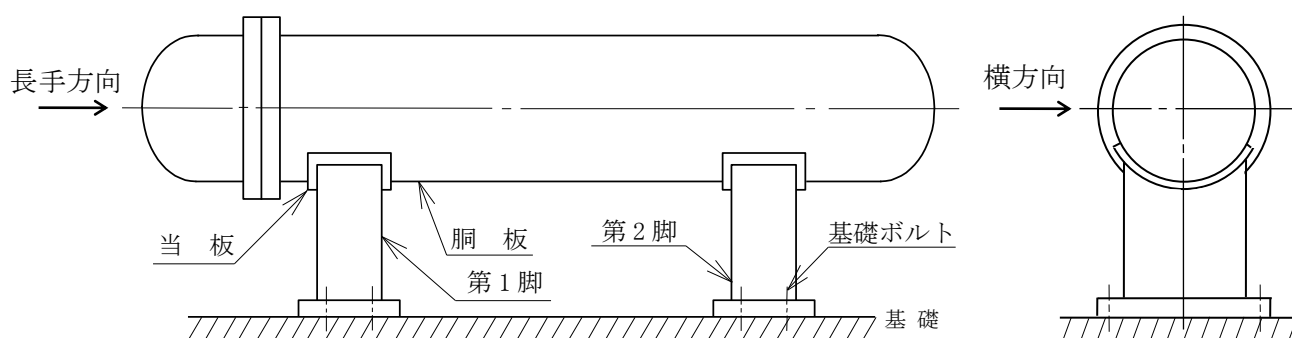


図5-1 概要図

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

タービン補機冷却系熱交換器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

タービン補機冷却系熱交換器の許容応力は、IV-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表5-3に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-4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	タービン補機冷却系熱交換器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	タービン補機冷却系熱交換器	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として、 IV_{AS} の許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
VAS (VASとして、IVAS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 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設及び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)
		周囲環境温度					
脚	SM41A ^{*1} (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第1脚の 基礎ボルト	SS41 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
追設基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第2脚の 基礎ボルト	SS41 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記*1：SM400A 相当

*2：SS400 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-5 設計用地震力（設計基準対象施設及び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
タービン建物 EL 2.0 ^{*1}	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =1.30 ^{*2}	C _V =0.75 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 脚の計算方法

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_\ell}{Z_{sy}} + \frac{P_\ell}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、

$$M_\ell = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

また、第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4-3のように変形し、脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$P_\ell = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

とする。

5.4.1.2 第1脚の基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

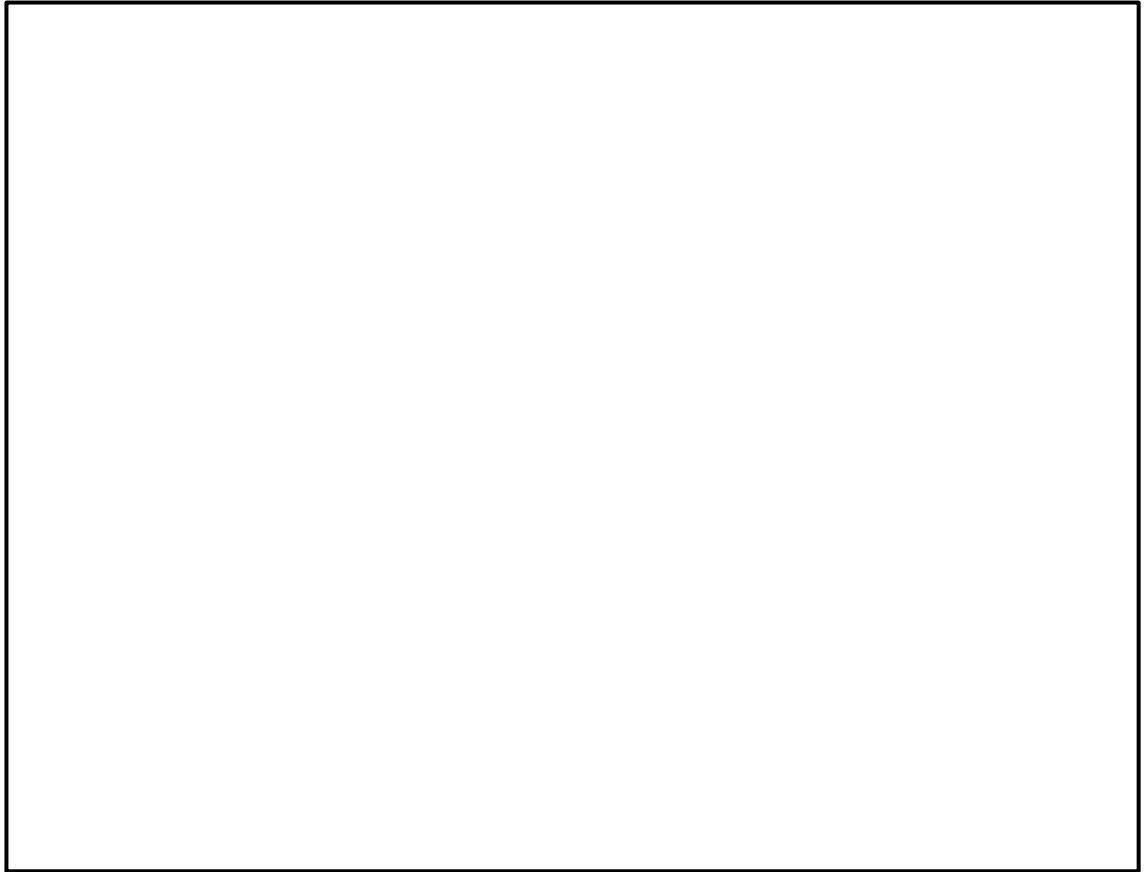


図5-2 計算モデル（長手方向転倒の場合）

図5-2でボルト端列を支点とし，長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 $F_{\ell i}$ ，第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列での本数 $n_{\ell i}$ とボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離 $\ell_{\ell i}$ により，脚底面に作用するモーメント M は次式で求める。

$$M = \sum_{i=1}^{N_{\ell}} F_{\ell i} \cdot n_{\ell i} \cdot \ell_{\ell i} \cdots \cdots \cdots \quad (5.4.1.2.1)$$

各ボルトに作用する力は支点からの距離に比例するものとし，第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力 $F_{\ell b}$ と長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離 $\ell_{\ell b}$ により，モーメントの釣合い式は次式となる。

$$M = \frac{F_{\ell b}}{\ell_{\ell b}} \sum_{i=1}^{N_{\ell}} n_{\ell i} \cdot \ell_{\ell i}^2 \cdots \cdots \cdots \quad (5.4.1.2.2)$$

脚底面に作用するモーメント M は，長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメント M_{ℓ} に等しいため，

$$M = M_{\ell} \cdots \cdots \cdots \quad (5.4.1.2.3)$$

となる。したがって、第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力 $F_{\ell b}$ は次式となる。

$$F_{\ell b} = \frac{M_{\ell} \cdot \ell_{\ell b}}{\sum_{i=1}^{N_{\ell}} n_{\ell i} \cdot \ell_{\ell i}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力 σ_{b1} は第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力 $F_{\ell b}$ から次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{\ell b}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ここで、第1脚の基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n_b \cdot A_b + n_a \cdot A_a} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

ここで、第1脚の追設基礎ボルトの軸断面積 A_a は次式により求める。

$$A_a = \frac{\pi}{4} \cdot d_a^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

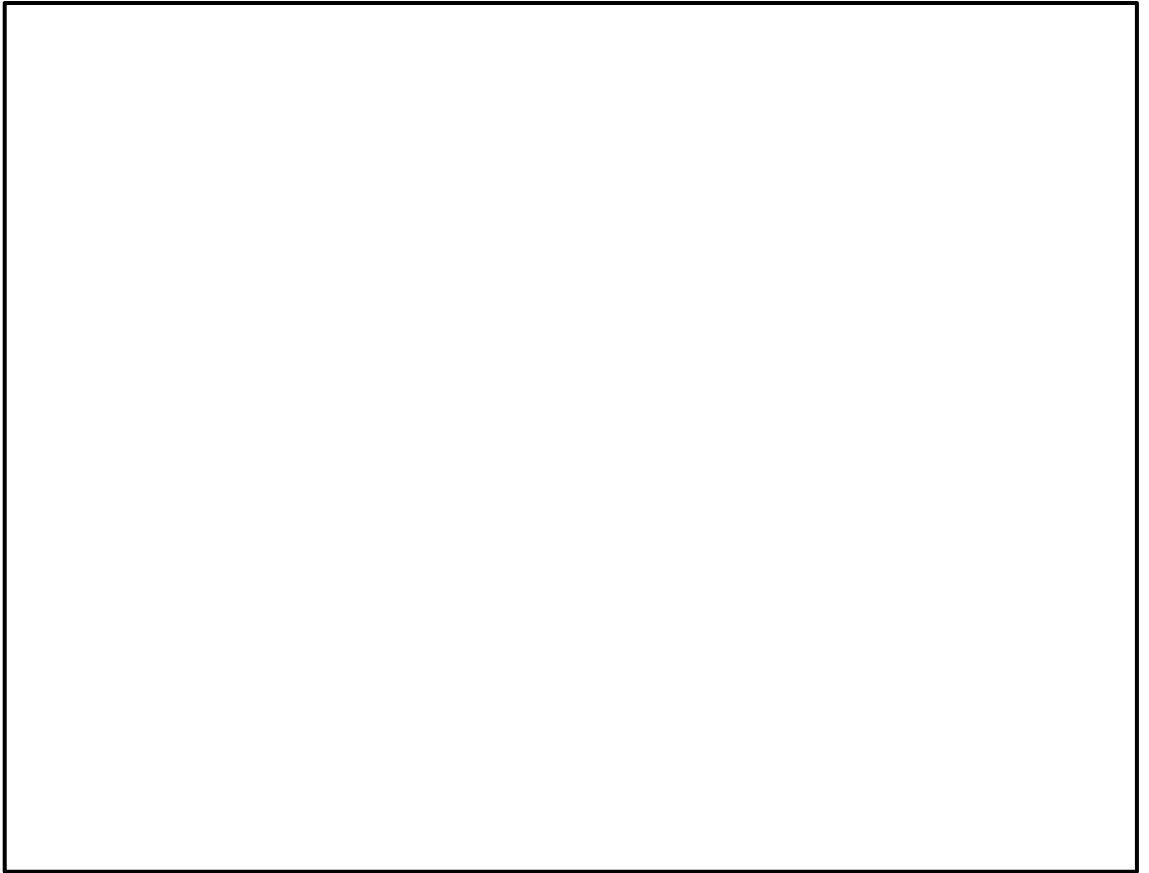


図5-3 計算モデル (横方向転倒の場合)

(1)と同様にして引張応力 σ_{b2} は求められるが、 M を M_c 、 F_{lb} を F_{cb} 、 l_{lb} を l_{cb} 、 N_l を N_c 、 n_{li} を n_{ci} 、 l_{li} を l_{ci} とする。横方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離 l_{ci} は図5-3に示すボルト端列を支点とした距離である。

ただし、鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式により求める。

$$M_c = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n_b \cdot A_b + n_a \cdot A_a} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

(3) 第1脚の基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた第1脚の基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 第1脚の基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.2.11)$$

b. 第1脚の基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.2.12)$$

5.4.1.3 追設基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

5.4.1.2(1)a.と同様にして引張応力は求められるが、 F_{lb} を F_{la} 、 ll_b を lla 、 A_b を A_a 、 d_b を d_a として追設基礎ボルトに生じる引張応力 σ_{a1} を求める。

b. せん断応力

5.4.1.2(1)b.と同様にしてせん断応力 τ_{a1} を求める。

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

5.4.1.2(2)a.と同様にして引張応力 σ_{a2} は求められるが、 M を M_c 、 F_{la} を F_{ca} 、 lla を lca 、 N_l を N_c 、 n_{li} を n_{ci} 、 ll_i を lci として追設基礎ボルトに生じる引張応力 σ_{a2} を求める。

b. せん断応力

5.4.1.2(2)b.と同様にしてせん断応力 τ_{a2} を求める。

(3) 追設基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた追設基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_a 及び τ_a とする。

a. 追設基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_a = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{a1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{a2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

b. 追設基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_a = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{a1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{a2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

5.4.1.4 第2脚の基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

第2脚は摺動脚のため、第2脚の基礎ボルトに引張応力及びせん断応力は生じない。

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M_{cc} = C_H \cdot (R_2 + m_{s2} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

鉛直荷重は

$$P_{sc} = (1 - C_v) \cdot (R_2 + m_{s2} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{cc} / P_{sc} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

とする。

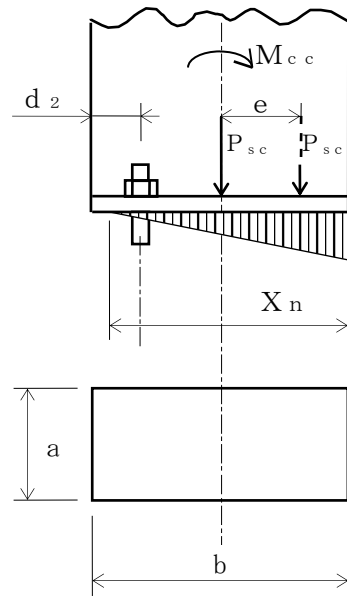


図 5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 1)

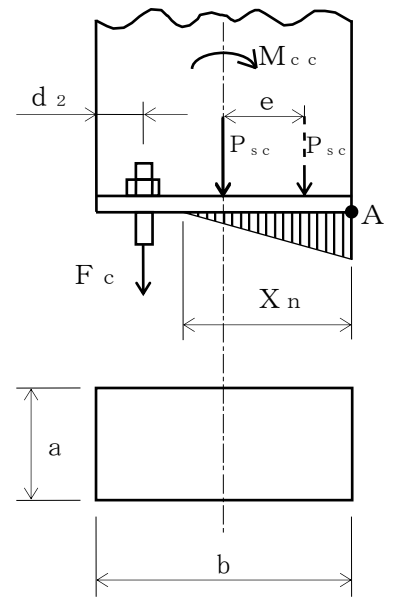


図 5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 2)

図5-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では第2脚の基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-5のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

の場合及びeが負の場合に、第2脚の基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-5において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、第2脚の基礎ボルトの伸びと第2脚の基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_c \cdot n_2}{a} \cdot \left(e + \frac{b}{2} - d_2\right) \cdot (b - d_2 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.5)$$

より求めることができ、第2脚の基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_{cc} = \frac{P_{sc} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{b - d_2 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.6)$$

となる。

したがって、第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{cc}}{n_2 \cdot A_c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.7)$$

ここで、第2脚の基礎ボルトの軸断面積 A_c は次式により求める。

$$A_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{c2} = \frac{C_H \cdot (R_2 + m_{s2} \cdot g)}{n_c \cdot A_c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.9)$$

(3) 第2脚の基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より第2脚の基礎ボルトに生じる最大応力は次のようになる。

a. 第2脚の基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_c = \text{横方向地震時応力}(\sigma_{c2}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.10)$$

b. 第2脚の基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_c = \text{横方向地震時応力}(\tau_{c2}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.11)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機冷却系熱交換器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。

5.6 応力の評価

5.6.1 脚の応力評価

5.4.1.1項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.2 第1脚の基礎ボルトの応力評価

5.4.1.2項で求めた第1脚の基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける第1脚の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。

	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}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.3 追設基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めた追設基礎ボルトの引張応力 σ_a は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsa} 以下であること。ただし、 f_{toa} は下表による。

$$f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_a はせん断力のみ受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sba} 以下であること。ただし、 f_{sba} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toa}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sba}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.4 第2脚の基礎ボルトの応力評価

5.4.1.4項で求めた第2脚の基礎ボルトの引張応力 σ_c は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsc} 以下であること。ただし、 f_{toc} は下表による。

$$f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}] \quad \dots\dots\dots (5.6.4.1)$$

せん断応力 τ_c はせん断力のみ受ける第2脚の基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sbc} 以下であること。ただし、 f_{sbc} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toc}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbc}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機冷却系熱交換器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することを確認した。

(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。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

タービン補機冷却系熱交換器の重大事故等対処設備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することを確認した。

(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。

【タービン補機冷却系熱交換器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		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	
タービン補機冷却系 熱交換器	C	タービン建物 EL 2.0*1	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =1.30*2	C _V =0.75*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I を上回る設計震度

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)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	m ₀ (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
										-1710	-740	0	1150	2300	2920	3650

ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	I _{s,x} (mm ⁴)	I _{s,y} (mm ⁴)	Z _{s,x} (mm ³)	Z _{s,y} (mm ³)	A _s (mm ²)	A _{s,1} (mm ²)	A _{s,2} (mm ²)	A _{s,3} (mm ²)	A _{s,4} (mm ²)
2300	999	1350	3.237×10 ¹⁰	6.584×10 ⁸	3.481×10 ⁷	2.863×10 ⁶	1.080×10 ⁵	3.730×10 ⁴	6.018×10 ⁴	2.508×10 ⁴	4.818×10 ⁴

ℓ _{ℓ1} (mm)	ℓ _{ℓ2} (mm)	ℓ _{ℓ3} (mm)	ℓ _{c1} (mm)	ℓ _{c2} (mm)	ℓ _{c3} (mm)	ℓ _{c4} (mm)	ℓ _{c5} (mm)

n _{ℓ1}	n _{ℓ2}	n _{ℓ3}	n _{c1}	n _{c2}	n _{c3}	n _{c4}	n _{c5}

ℓ _{ℓb} (mm)	ℓ _{ℓa} (mm)	ℓ _{ca} (mm)	ℓ _{cb} (mm)	n _b	n _a	n _c	n ₁	n ₂	d _b (mm)	d _a (mm)	d _c (mm)
				4		4	2	2	42 (M42)		42 (M42)

S2 補 VI-2-11-2-7-11 R0

A_b (mm ²)	A_a (mm ²)	A_c (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	a (mm)	b (mm)	s	E_s (MPa)	G_s (MPa)
1385		1385	75	100	500	1900	15	201000*	77300*

S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	S_u (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	F^* (第1脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

S_y (追設基礎ボルト) (MPa)	S_u (追設基礎ボルト) (MPa)	F^* (追設基礎ボルト) (MPa)	S_y (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	S_u (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	F^* (第2脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

注記* : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 103$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 23$	$\tau_{s3} = 8$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\theta} = 113$	$\sigma_{sc} = 22$

1.3.2 第1脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 25$	$\sigma_{b2} = 43$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 63$	$\tau_{b2} = 40$

1.3.3 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{a1} = 113$	$\sigma_{a2} = 118$
	せん断	—	—	$\tau_{a1} = 63$	$\tau_{a2} = 40$

1.3.4 第2脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{c2} = 56$
	せん断	—	—	—	$\tau_{c2} = 38$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 = 0.042$
横方向	$T_2 = 0.020$
鉛直方向	$T_3 = 0.007$

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
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 113$	$f_{tm} = 276$
第1脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 163^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 63$	$f_{sb} = 146$
追設 基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_a = 118$	$f_{tsa} = 130^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_a = 63$	$f_{sba} = 127$
第2脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_c = 56$	$f_{tsc} = 189^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_c = 38$	$f_{sbc} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ *2: $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}]$ *3: $f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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		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	
タービン補機冷却系 熱交換器	C	タービン建物 EL 2.0*1	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =1.30*2	C _V =0.75*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。
*2：設計用震度 I を上回る設計震度

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)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	m ₀ (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
										-1710	-740	0	1150	2300	2920	3650

ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	I _{s,x} (mm ⁴)	I _{s,y} (mm ⁴)	Z _{s,x} (mm ³)	Z _{s,y} (mm ³)	A _s (mm ²)	A _{s,1} (mm ²)	A _{s,2} (mm ²)	A _{s,3} (mm ²)	A _{s,4} (mm ²)
2300	999	1350	3.237×10 ¹⁰	6.584×10 ⁸	3.481×10 ⁷	2.863×10 ⁶	1.080×10 ⁵	3.730×10 ⁴	6.018×10 ⁴	2.508×10 ⁴	4.818×10 ⁴

ℓ _{ℓ1} (mm)	ℓ _{ℓ2} (mm)	ℓ _{ℓ3} (mm)	ℓ _{c1} (mm)	ℓ _{c2} (mm)	ℓ _{c3} (mm)	ℓ _{c4} (mm)	ℓ _{c5} (mm)

n _{ℓ1}	n _{ℓ2}	n _{ℓ3}	n _{c1}	n _{c2}	n _{c3}	n _{c4}	n _{c5}

ℓ _{ℓb} (mm)	ℓ _{ℓa} (mm)	ℓ _{ca} (mm)	ℓ _{cb} (mm)	n _b	n _a	n _c	n ₁	n ₂	d _b (mm)	d _a (mm)	d _c (mm)
				4		4	2	2	42 (M42)		42 (M42)

S2 補 VI-2-11-2-7-11 R0

A_b (mm ²)	A_a (mm ²)	A_c (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	a (mm)	b (mm)	s	E_s (MPa)	G_s (MPa)
1385		1385	75	100	500	1900	15	201000*	77300*

S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	S_u (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	F^* (第1脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

S_y (追設基礎ボルト) (MPa)	S_u (追設基礎ボルト) (MPa)	F^* (追設基礎ボルト) (MPa)	S_y (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	S_u (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	F^* (第2脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

注記* : 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 103$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 23$	$\tau_{s3} = 8$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s0} = 113$	$\sigma_{sc} = 22$

2.3.2 第1脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 25$	$\sigma_{b2} = 43$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 63$	$\tau_{b2} = 40$

2.3.3 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{a1} = 113$	$\sigma_{a2} = 118$
	せん断	—	—	$\tau_{a1} = 63$	$\tau_{a2} = 40$

2.3.4 第2脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{c2} = 56$
	せん断	—	—	—	$\tau_{c2} = 38$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 = 0.042$
横方向	$T_2 = 0.020$
鉛直方向	$T_3 = 0.007$

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
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 113$	$f_{tm} = 276$
第1脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 163^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 63$	$f_{sb} = 146$
追設 基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_a = 118$	$f_{tsa} = 130^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_a = 63$	$f_{sba} = 127$
第2脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_c = 56$	$f_{tsc} = 189^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_c = 38$	$f_{sbc} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

*2: $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}]$

*3: $f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}]$

