

<p>タイトル</p>	<p>炉心シュラウドの疲労割れに対する評価の具体的内容（評価仕様，解析モデル，入力（荷重）条件，評価結果を含む）について</p>
<p>説明</p>	<p>シュラウドの疲労割れに対する評価は，各部位に対して Ss 地震動による疲労評価を実施しており，耐震評価書にはもっとも厳しい評価結果である評価点 P10 の値を記載している。</p> <p>以下に具体的な評価内容を示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 評価対象位置</p> <p>炉心シュラウドの評価位置は，福島第二原子力発電所 4 号機工事計画届出申請書本文及び添付書類（届出 24）のうち，添付資料「IV-2-1-1」における以下の評価点とする。</p> <p>(i) H3 溶接補修部（工認での評価点 P09, P10）</p> <p>(ii) H4 溶接補修部（工認での評価点 P11, P12 及び P13, P14）</p> <p>炉心シュラウドの形状・寸法・材料・評価点を図 1 に示す。</p> <p>(2) 解析モデル</p> <p>解析モデルは，亀裂除去加工部を考慮して以下の 2 モデルとし，ひびの除去加工箇所である研削部を工認記載の研削寸法とした 3 次元ソリッドモデルを採用した。</p> <p>(a) 中間胴内側加工部評価モデル（以下，「内側モデル」）</p> <p>(b) 中間胴外側加工部評価モデル（以下，「外側モデル」）</p> <p>解析モデルの詳細を図 2 に示す。</p>

説明
(続き)

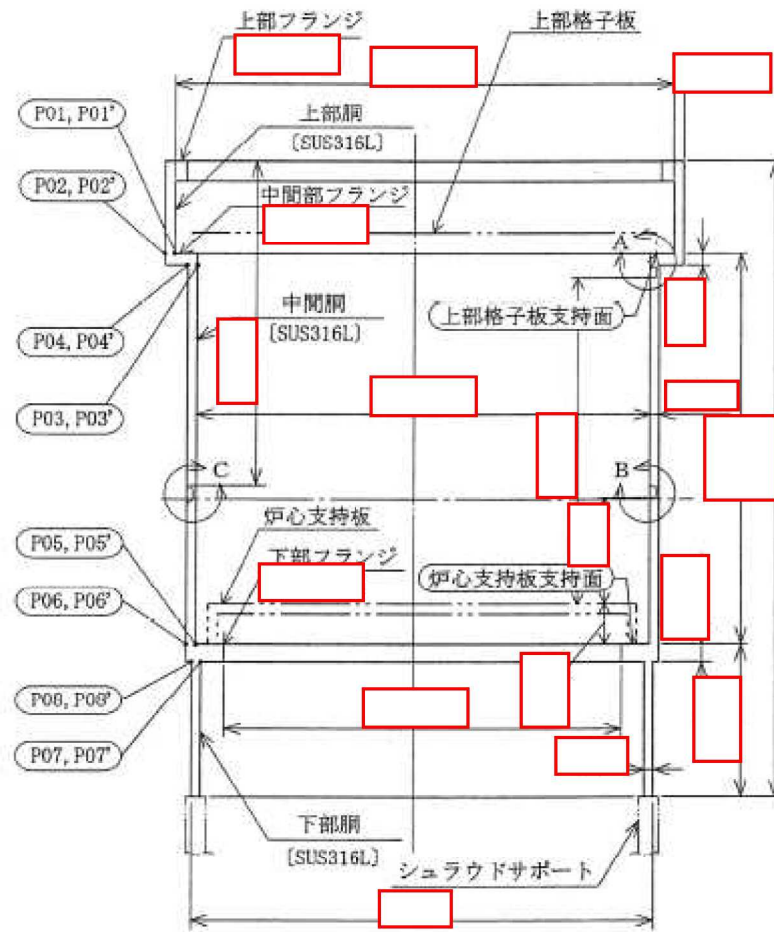


図 1-1 炉心シュラウドの形状・寸法・材料・評価点 (単位: mm)

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

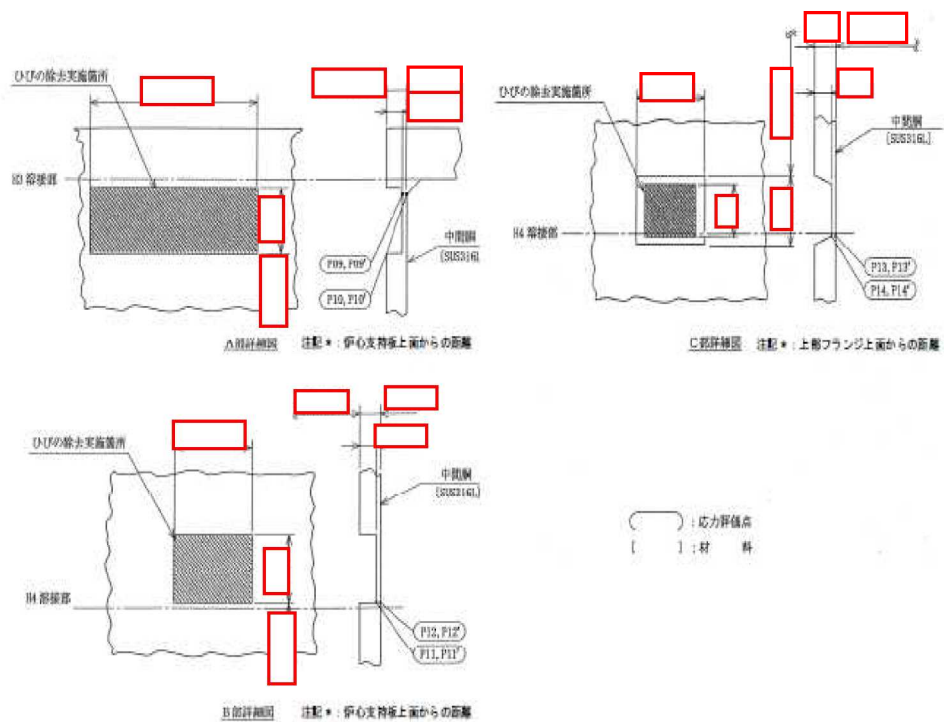


図 1-2 炉心シュラウドの形状・寸法・材料・評価点 (単位: mm)

□内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

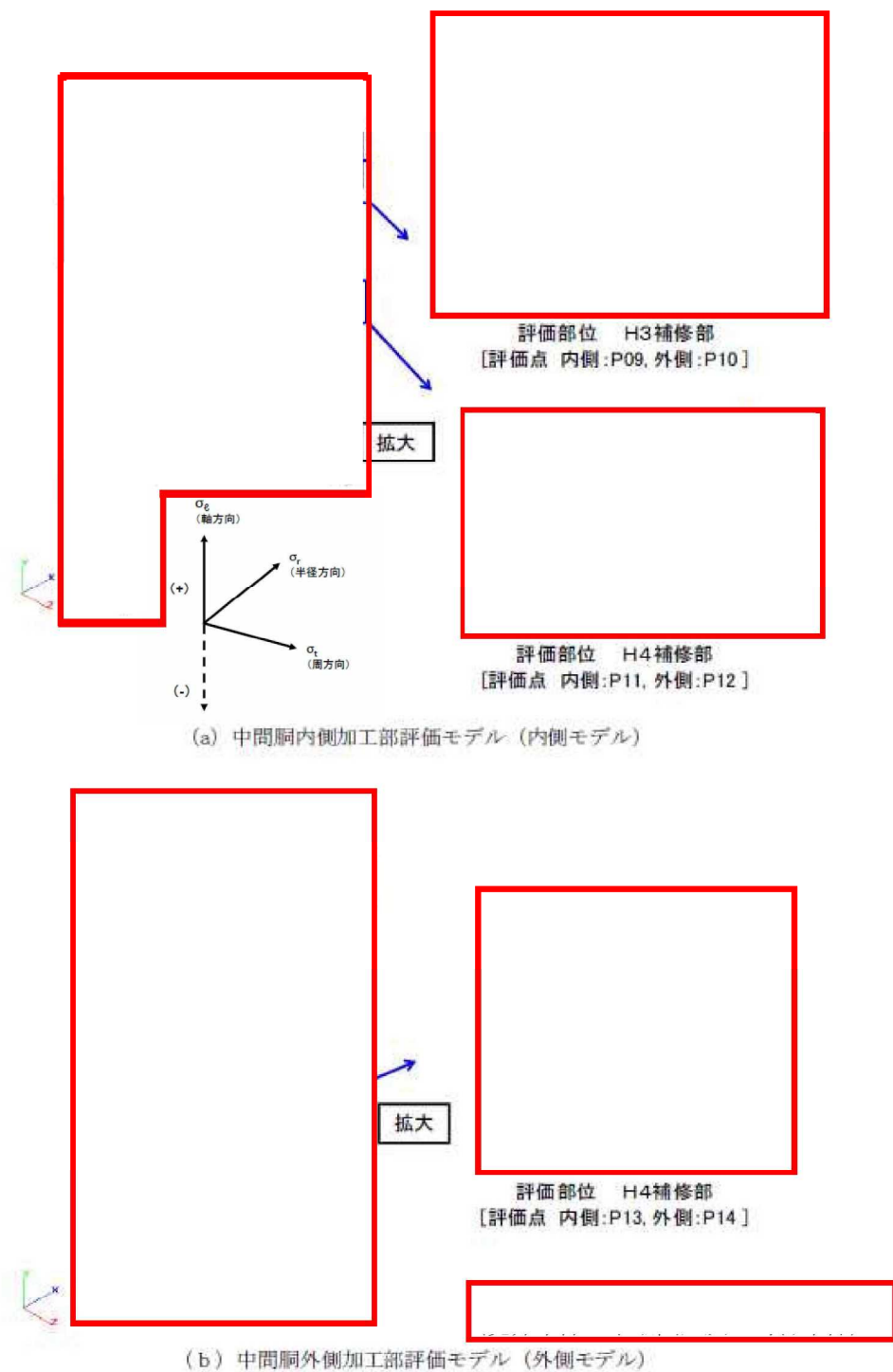


図2 3次元ソリッド解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

(3) 物性値の条件
評価に用いる物性値は、運転温度 °C に対する値を用いる。

(4) 入力条件 (耐震条件)
地震時等価繰返し回数 N_e [回] :

地震荷重 : S_s 地震荷重

評価に用いる S_s 地震荷重の値を表 1 に示す。

表 1 荷重条件

地震荷重	単位	H3 補修部	H4 補修部	備考
鉛直力(V)	kN	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
水平力(H)	kN			
モーメント(M)	kN・m			

図 3 地震荷重入力条件図

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

2. 応力計算

2.1 応力集中係数

応力集中係数を表 2 に示す。

表 2 応力集中係数

	H3 補修部	H4 補修部
応力集中係数		

保守的に応力集中係数は、最大の□とする。

出典：福島第二原子力発電所 4 号機工事計画届出申請書本文
及び添付書類（届出 24）のうち、添付資料「IV-2-1-1」

2.2 外荷重による応力

応力の計算には、計算機コード「ABAQUS」を用いた。応力計算モデル及び仮定した境界条件は図 2 の通りである。

これにより求められた一次+二次応力及び一次+二次+ピーク応力について、各応力評価点での応力及び応力振幅を表 3 に示す。

また、最も疲労累積係数の高い評価点位置とその位置での応力成分の方向を下図に示す。

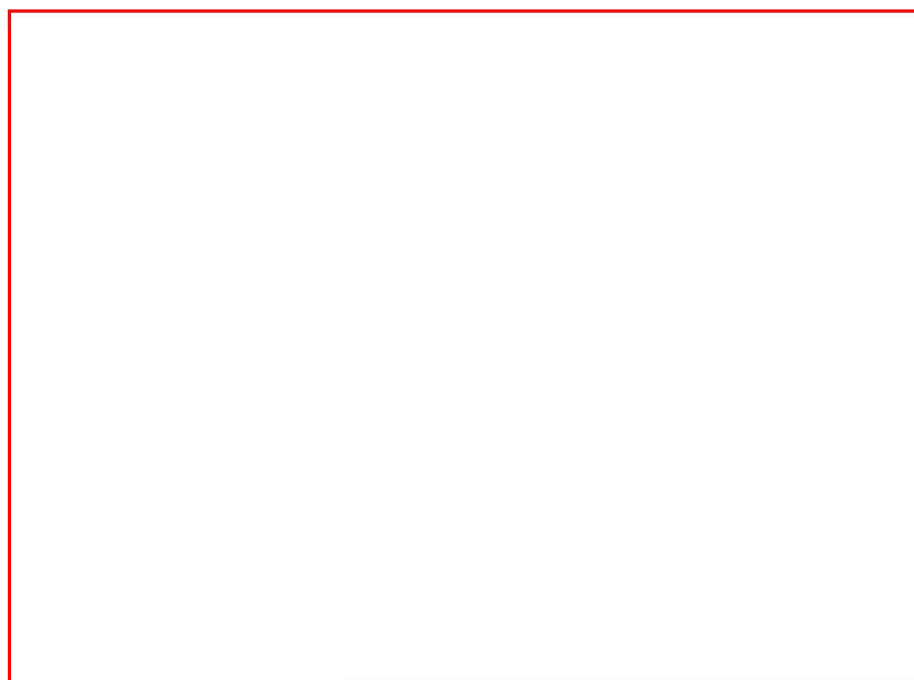


図 4 応力評価点と応力成分方向

□内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

表 3-1 一次+二次応力強さの評価

(単位：MPa)

地震動		Ss 地震動		
解析モデル		内側モデル		外側モデル
評価部位		H3 補修部	H4 補修部	H4 補修部
評価点		P10		
応力成分	σ_t			
	σ_θ			
	σ_r			
	$\tau_{\theta r}$			
主応力	σ_1			
	σ_2			
	σ_3			
主応力差	S_{12}			
	S_{23}			
	S_{31}			
全振幅	$ 2 \times S_{12} $			
	$ 2 \times S_{23} $			
	$ 2 \times S_{31} $			
全振幅の 最大値	S_n			
許容値	$3 \cdot S_m$			

主応力の計算

主応力は、次式を満足する3根 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ として計算する。

$$\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\theta + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\theta + \sigma_\theta \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\theta}^2 - \tau_{\theta r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\theta r}^2 + \sigma_\theta \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\theta}^2 - 2 \cdot \tau_{t\theta} \cdot \tau_{\theta r} \cdot \tau_{rt} = 0$$

ただし、 $\tau_{t\theta}$ 及び τ_{rt} は微小であるため無視する。

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

表 3-2 一次+二次+ピーク応力強さの評価

(単位：MPa)

地震動		Ss 地震動		
解析モデル		内側モデル		外側モデル
評価部位		H3 補修部	H4 補修部	H4 補修部
評価点		P10		
応力成分	σ_t			
	$\sigma_{\theta*1}$			
	σ_{r*1}			
	$\tau_{\theta r}$			
主応力	σ_1			
	σ_2			
	σ_3			
主応力差	S_{12}			
	S_{23}			
	S_{31}			
全振幅	$ 2 \times S_{12} $			
	$ 2 \times S_{23} $			
	$ 2 \times S_{31} $			
全振幅の 最大値	S_p			

*1：応力集中係数 を考慮

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説明 (続き)</p>	<p>3. 疲労評価</p> <p>3.1 繰返しピーク応力強さ S_ℓ の算出 疲労解析に用いる繰返しピーク応力強さを，一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲 (S_p) から，次式により求める。</p> $S_\ell = \frac{S_p}{2}$ <p>ただし，一次＋二次応力の応力差最大範囲 (S_m) が，$3S_m$ を超える応力評価点については，繰返しピーク応力強さの割増しを行う。</p> <p>3.2 補正繰返しピーク応力強さ S_ℓ' の算出 3.1 項より求めた S_ℓ に対して，設計・建設規格 添付 4-2 3.2(1) に示される次式の補正を行う。</p> $S_\ell' = S_\ell \times \frac{E_0}{E}$ <p>$E_0 = 1.95 \times 10^5$ MPa (設計・建設規格 添付 4-2 に示された縦弾性係数) $E = \square$ MPa (運転温度 \square C) に対する縦弾性係数)</p> <p>3.3 疲労累積係数の算出 疲労累積係数の算出に当たっては，S_ℓ' に対応する許容繰返し回数 N_a を用い，前 1 項(4)①に示した通り地震時等価繰返し回数 N_c を \square 回とする。設計・建設規格 CSS-3113 または CSS-3320 に従い，Ss 地震による疲労累積係数 U_{ss} を下式により算出し，許容値である 1.0 以下であることを確認する。</p> $U_{ss} = \frac{\square}{N_a}$ <p>なお，繰返しピーク応力強さが 194 MPa 以下の評価点については，設計疲労線図として，設計・建設規格 表 添付 4-2-2 曲線 C を用いる。</p> <p>4. 評価結果 炉心シュラウドの疲労評価結果を表 4 に示す。 Ss 地震動による疲労累積係数は許容値である 1.0 以下であり，耐震安全性に問題がないことを確認した。</p>
--------------------	--

□ 内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

表4 炉心シミュラードの疲労評価結果

解析モデル	評価部位	評価点	応力差	S_n (MPa)	$3 \cdot S_m$ (MPa)	S_p (MPa)	K_e^{*1}	S_l^{*2} (MPa)	S_l^{*3} (MPa)	N_a^{*4}	N_c	U^{*5}
内側モデル	H3補修部	P10										0.5429
	H4補修部											
	H4補修部											
外側モデル												

注記 *1 : $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合、 $K_e = 1.0$

$$S_n \geq 3 \cdot S_m \text{ の場合、 } K_e = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + 1 - a$$

*2 : $S_l = K_e \times (S_p / 2)$

*3 : $S_l = S_l \times (E_n / E)$

$$*4 : N_a = N_2 \times \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{\log S_2 / S_l'}{\log S_2' / S_1'}}$$

*5 : $U = N_c / N_a$

 内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

5. 東北地方太平洋沖地震 (TPO) による疲労評価結果

東北地方太平洋沖地震 (以下, TPO) による疲労強度への影響評価として, 保守的に

基準地震動 Ss による疲労累積係数と TPO 地震動による疲労解析から求めた疲労累積係数と足し合わせた結果, 許容値 1 を下回ることを確認した。

具体的な評価条件, 評価結果を以下に示す。

(1) 入力条件 (耐震条件)

基準地震動 Ss による疲労評価方法と異なる条件を以下に示す。

① 地震時等価繰返し回数 N_e [回] :

② 地震荷重 : TPO 地震荷重

評価に用いる TPO 地震荷重の値を表 5 に示す。

表 5 荷重条件

地震荷重	単位	H3 補修部	H4 補修部	備考
鉛直力 (V)	kN	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
水平力 (H)	kN			
モーメント (M)	kN・m			

(2) 評価結果

上記条件による評価結果を以下に示す。

表 6 炉心シュラウドの疲労評価結果 (TPO 地震動を考慮した疲労評価結果)

評価対象	運転実績回数に基づく疲労累積係数 (環境疲労)	Ss 地震動による疲労累積係数	TPO 地震動による疲労累積係数	合計 (許容値 1 以下)
炉心シュラウド	0.077	0.543	0.016	0.636

以上

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>タイトル</p>	<p>上部格子板の靱性低下に対する評価の具体的内容（評価仕様，解析モデル，入力（荷重）条件，評価結果を含む）について</p>
<p>説明</p>	<p>上部格子板のうち中性子照射量が大きいグリッドプレートに対して，照射誘起型応力腐食割れが発生するものと仮定し，日本機械学会論文集(A編)50巻460号(昭59-12)「切欠き底に発生した亀裂の応力拡大係数の簡便評価式」に基づいて破壊評価を実施している。</p> <p>以下，想定欠陥サイズ（評価部位/初期亀裂の幾何条件），欠陥進展解析（亀裂進展評価），破壊評価の諸条件ならびに評価方法を示す。</p> <p>1. 評価部位/初期亀裂の幾何条件</p> <p>グリッドプレート（下格子）に設定する亀裂の想定位置について，下格子の切欠き下面に対して上向きに設定する（図1参照）。評価モデルは図2の範囲とし，亀裂長さ（鉛直方向：l）<input type="text"/> mm の <input type="text"/> 亀裂とする。</p> <div data-bbox="683 1061 1091 1370" data-label="Image"> </div> <p>図1 上部格子板 亀裂想定位置（単位：mm）</p> <div data-bbox="668 1536 1086 1890" data-label="Image"> </div> <p>図2 評価モデル（単位：mm）</p>

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

また、グリッドプレートの寸法条件は工事計画認可申請書（第 5 回申請 IV-3-1-3-1-4：以下、「建設工認」）の記載値と同じとする。長さについては荷重条件が厳しい最長の寸法（ mm）とする。

なお、本評価の想定亀裂寸法（長さ mm）については、「炉心シュラウド（JANSI-VIP-06-第 5 版）」等の炉内構造物の SCC 評価において記載のある「欠陥が検出されていない範囲における欠陥の想定寸法」を用いる。

想定亀裂深さ（板厚方向:a）は保守的に横方向に 亀裂とする。

2. 亀裂進展評価

2.1 初期亀裂の発生条件

日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格(2008 年版)JSME S NA1-2008（以下「維持規格」）解説 整理番号 IJG-B-3「IASCC 発生のしきい照射量」を拠り所として、グリッドプレート材質が SUS316L であることから高速中性子照射量（以下、「照射量」）が 1.0×10^{25} n/m² に達した時点で初期亀裂を設定する。

なお、照射量が IASCC 発生のしきい値を超えて亀裂が発生し始めると想定した年数は、下記 2.2.1 に示す中性子束 n/m²/s より EFPY となる。

2.2 亀裂進展速度式

初期亀裂発生後の亀裂進展速度については、2.1 項における中性子照射量を考慮して、「維持規格 E-2 4.2 SCC き裂進展速度線図(4)」に示される炉内構造物用オーステナイト系ステンレス鋼の SCC き裂進展速度線図（表添付 E-2-SA-1）を用いて算出する。

2.2.1 中性子束

照射量を得るための高速中性子束条件について、保守的に固定値を適用している。

中性子束は、図 2 に示す下格子切欠き部の初期亀裂想定位置 より低い位置、かつ、最近接の値として、 n/m²/s を適用している。

2.2.2 亀裂先端電流密度変化に対する定数 n

亀裂想定位置近傍の環境要因を考慮する n 値を算出するパラメータを表 1 に示す。

表 1 表添付 E-2-SA-1 における n 値算定パラメータ

パラメータ	設定値(単位)	留意事項
初期鋭敏化度 EPR_0	<input type="text"/> (C/m ²)	<input type="text"/>
導電率 κ	<input type="text"/> (μ S/m)	
腐食電位 ϕ	<input type="text"/> (mV)	

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説明 (続き)</p>	<p>2.2.3 亀裂先端ひずみ速度補正係数 C 維持規格 表添付 E-2-SA-1 より照射量を代入して C 値を算出する。</p> <p>2.3 評価期間 亀裂進展評価の評価期間は運転開始後 40 年までの期間とする。また、2.1 項及び 2.2 項に示すとおり、亀裂進展開始の時期及び亀裂進展速度は照射量に依存する。2.2.1 項の中性子束に乗じる期間は、以下の 3 期間の内訳を考慮して設定した。</p> <p>期間Ⅰ：運転開始(1987.8.25)～震災時(2011.3.11)＝17.45 EFPY 期間Ⅱ：震災時(2011.3.11)～PLM 評価時点(2015.8.25)＝安定停止期間 4.46 暦年 期間Ⅲ：PLM 評価時点(2015.8.25)～運転開始後 40 年(2027.8.25) ＝安定停止期間 12 暦年</p> <p>よって、評価期間は期間Ⅰの停止時期を除いた 17.45+4.46+12.00＝33.91 年となる。ただし、安定停止期間中は高速中性子束を 0n/(m²-s)とし、震災以降の停止期間は長期になることから、保守的に亀裂が進展するとして評価する。</p> <p>2.4 荷重条件及び応力 亀裂進展速度を得るための応力拡大係数の計算式に代入する応力値について、建設工認の方法に基づきグリッドプレートを両端固定はりを見なして算定する。なお、亀裂進展評価では地震荷重を除いた「自重」の作用荷重を考慮するのでモーメント成分は図 2 の M₁ 方向とする。</p> <p>自重によりグリッドプレートに作用する荷重 W_v を次式により求める。</p> $W_v = \gamma \cdot L \cdot t \cdot h$ <p>このとき、最大の曲げモーメント M₁ は次式から得られる。</p> $M_1 = \frac{W_v}{2} \left(\frac{L}{6} + \frac{L^2}{L} - L_2 \right)$ <p>以上の M₁ により発生する曲げ応力 σ₁ を用いて応力拡大係数を計算する。σ₁ は小数点以下第 3 位を切上げて MPa となる。</p> $\sigma_1 = \frac{6 \cdot M_1}{t \cdot h_b^2}$
--------------------	--

 内は商業機密に属しますので公開できません

説明

ここで各計算式の記号及び設定値は以下の通りとする。

(続き)

t : グリッドプレート板厚 : mm
h : グリッドプレート高さ : mm
L : 最長グリッドプレート長さ : mm
L2 : ビーム端部からの長さ : mm
 γ : 材料の比重量 : kg/mm³
hb : 切欠き部の高さ : mm

2.5 応力拡大係数

2.5.1 応力拡大係数 (K_I) 算出式の出典

日本機械学会論文集 (A編) 50 巻 460 号 (昭 59-12) 「切欠き底に発生した亀裂の応力拡大係数の簡便評価式」に記載の Lukas らの式を用いて求める。

$$K_I = \frac{1.1215 K_t \sigma_n \sqrt{\pi c}}{\sqrt{1 + 4.5c / \rho}}$$

ここで各計算式の記号及び設定値は以下の通りとする。

K_t : 切欠き部の応力集中係数 :
 σ_n : 曲げ応力値 : MPa
 ρ : 切欠き先端の曲率半径 : mm
 c : 発生したき裂長さ (初期亀裂長さ : mm)

2.5.2 亀裂の応力拡大係数の簡便評価式の適用限界

日本機械学会論文集 (A編) 50 巻 460 号 (昭 59-12) 「切欠き底に発生した亀裂の応力拡大係数の簡便評価式」の適用限界は、 C^* : 適用限界値より亀裂長さが小さければ適用可能である。

$$C^* = q \sqrt{\rho t}$$

ここで各計算式の記号及び設定値は以下の通りとする。

q :
 ρ : 切欠き先端曲率半径 : mm
 t : 切欠き深さ : mm

以上の C^* を算出した結果、亀裂長さが十分小さいことから日本機械学会論文集 (A編) 50 巻 460 号 (昭 59-12) 「切欠き底に発生した亀裂の応力拡大係数の簡便評価式」は適用可能である。

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説明 (続き)</p>	<p>2.6 亀裂進展計算のプロセス 初期亀裂から各ステップの時間間隔（以下、TimeStepΔT）積算が評価期間に達するまで、亀裂進展計算を繰り返すことにより、亀裂進展後の亀裂寸法を求める。</p> <p>3. 破壊評価 前述の亀裂進展評価によって得られた亀裂寸法（2.4 項）を想定し、Ss 地震動による地震荷重（以下、Ss 荷重条件）が作用した場合の応力拡大係数 K_I を求めて、日本機械学会論文集（A編）50 巻 460 号（昭 59-12）「切欠き底に発生した亀裂の応力拡大係数の簡便評価式」による破壊靱性評価を実施する。 なお、応力拡大係数算出に用いる応力値は、保守的な評価となるよう予め応力集中係数の影響を考慮した応力値を用いて算出する。</p> <p>3.1 荷重条件及び応力 応力拡大係数の計算式に代入する応力値について、2.4 項と同様に建設工認の方法に基づきグリッドプレートを両端固定はりを見なして算定する。</p> <p>3.1.1 水平力による応力拡大係数算出に用いる応力値 本来、この応力は、亀裂に寄与するものではなく無視できるが、評価に保守性を持たせるため、水平力による応力値を用いる。その応力値は <input type="text"/> に設定する。水平力により発生する膜応力 σ_m 用いて応力拡大係数を計算した。ここで、σ_m は <input type="text"/> MPa に設定した。</p> <p>また、上記の水平力による応力計算は 1 ピッチ単位で計算を行い、水平力は燃料集合体 764 体による値なので、1 ピッチ当たり最大 4 体分に相当する水平力がグリッドプレートに作用すると想定する。</p> $H_s = \frac{4 \cdot H}{764}$ <p>ここで、計算式の記号及び設定値は以下の通りとする。 H：地震の水平力：<input type="text"/> N</p> <p>3.1.2 鉛直方向曲げモーメントによる応力拡大係数算出に用いる応力 鉛直方向曲げモーメントによる応力拡大係数は、以下で算出した応力を使用して求める。 (1) 自重によりグリッドプレートに作用する荷重 W_v を次式により求める。</p> $W_v = \gamma \cdot L \cdot t \cdot h$ <p>このとき、最大の曲げモーメント M_1 は次式から得られる。</p> $M_1 = \frac{W_v}{2} \left(\frac{L}{6} + \frac{L_2^2}{L} - L_2 \right)$
--------------------	---

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

以上の M_1 により発生する曲げ応力 σ_1 を用いて応力拡大係数を計算します。 σ_1 は小数点以下第3位を切上げて MPa となる。

$$\sigma_1 = \frac{6 \cdot M_1}{t \cdot h_b^2}$$

ここで各計算式の記号及び設定値は以下の通りとする。

t : グリッドプレート板厚 : mm
h : グリッドプレート高さ : mm
L : 最長グリッドプレート長さ : mm
L2 : ビーム端部からの長さ : mm
 γ : 材料の比重量 : kg/mm³
hb : 切欠き部の高さ : mm

(2) Ss 地震荷重によりグリッドプレートに作用する荷重 W_v を次式により求める。

$$W_v = \gamma \cdot L \cdot t \cdot h \cdot C_v$$

このとき、最大の曲げモーメント M_{1s} は次式から得られる。

$$M_{1s} = \frac{W_v}{2} \left(\frac{L}{6} + \frac{L_2^2}{L} - L_2 \right)$$

以上の M_{1s} により発生する曲げ応力 σ_{1s} を用いて応力拡大係数を計算し、 σ_{1s} は小数点以下第3位を切上げて MPa となる。

$$\sigma_{1s} = \frac{6 \cdot M_{1s}}{t \cdot h_b^2}$$

ここで各計算式の記号及び設定値は以下の通りとする。

t : グリッドプレート板厚 : mm
h : グリッドプレート高さ : mm
L : 最長グリッドプレート長さ : mm
L2 : ビーム端部からの長さ : mm
 γ : 材料の比重量 : kg/mm³
hb : 切欠き部の高さ : mm
 C_v : 鉛直震度 (Ss) :

3.2 応力拡大係数

3.1 項の応力に基づく応力拡大係数 K_1 の算出方法は 2.5 項と同じとする。

内は商業機密に属しますので公開できません

説 明
(続 き)

3.3 破壊靱性評価

中性子照射を受けたステンレス鋼の破壊靱性値 K_{IC} は、発電設備技術検査協会「プラントの長寿命化技術開発に関する調査報告書」における照射ステンレス鋼の破壊靱性値の下限値 (BWR) より $43.2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ を適用する。

3.4 破壊評価結果

破壊評価の結果を表 3 に示す。Ss 地震時における応力拡大係数 K_I は破壊靱性値 K_{IC} を下回ることから、上部格子板の (40 年時における最大の亀裂を想定する) 照射誘起型応力腐食割れに対する耐震健全性に問題はないと判断している。

表 3 破壊評価結果 (40 年時点, Ss 地震荷重)

項 目	単 位	評 価 値
水平力による発生応力 σ_m	MPa	
M_1 による発生応力 σ_1	MPa	
M_1 による発生応力 σ_{1s}	MPa	
切欠き部の高さ h_b	mm	
想定亀裂長さ (図 2) l	mm	
応力拡大係数 K_I^*	$\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$	5.8
照射ステンレス破壊靱性値 K_{IC}	$\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$	43.2

*: (小数点以下第 2 位を端数処理)

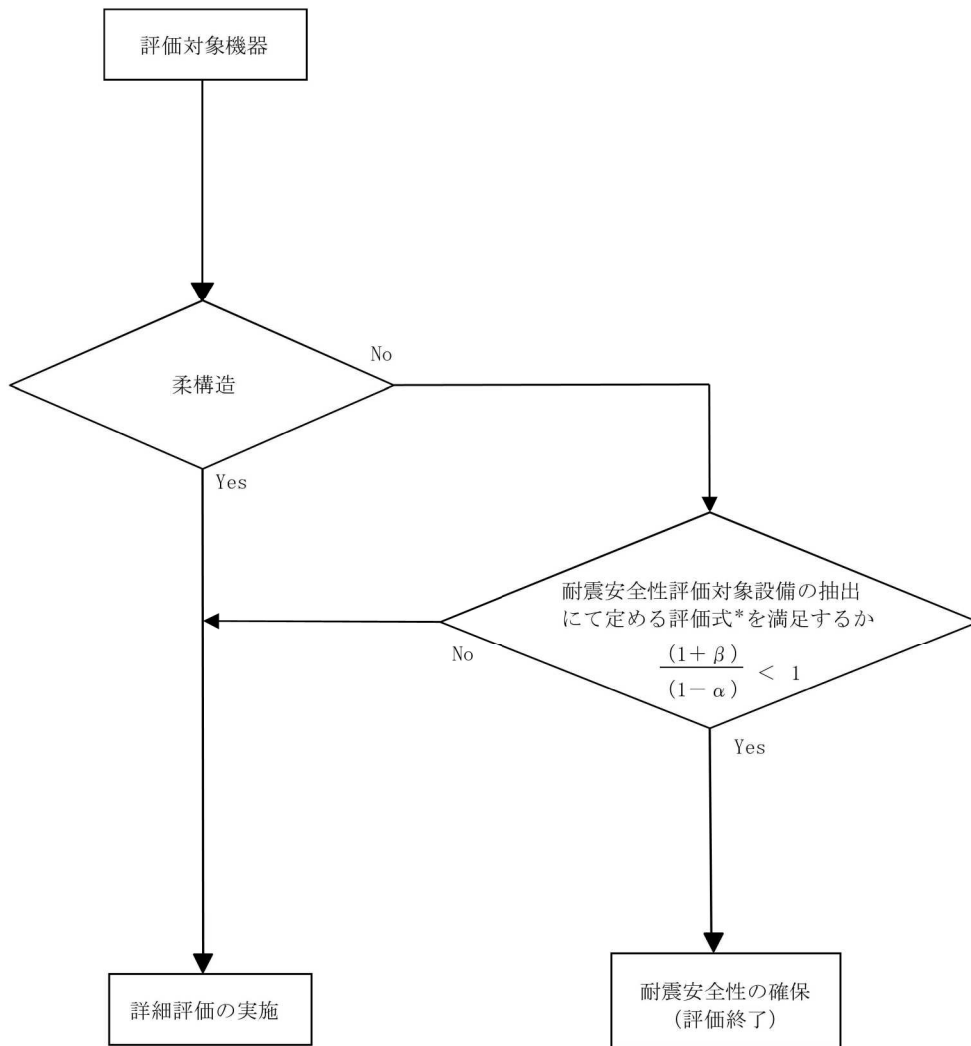
以 上

内は商業機密に属しますので公開できません

タイトル	現行耐震設計技術指針地震力に対する基準地震動 S_s により定まる地震力等の増減率 (β) の具体的評価内容について (地震動の周期特性との関係を含む)																																												
説明	<p>基礎ボルトの評価機器の選定にあたり、柔構造の機器については、図 3.14.1「基礎ボルト評価対象の絞込み」を実施せずに詳細な耐震安全性評価を実施している。添付-1に基礎ボルト評価対象の選定フローを示す。</p> <p>地震力等の増減率 (β) の算出は、各評価機器の評価階高 (各評価機器の設置階高さ) の「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1987)」 (以下「現行耐震設計技術指針」) で定めた設計当時の地震力と基準地震動 S_s により定まる地震力等の最大応答加速度の比較結果から求める。なお、具体的評価内容については、非常用補機冷却系熱交換器 (B) を例として、下記に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 現行耐震設計技術指針地震力と基準地震動 S_s により定まる地震力の震度比 <p>対象機器：非常用補機冷却系熱交換器 (B) 耐震重要度：S 評価階高：Hx/B OP. 11, 200 固有周期 (水平方向) : <input type="text"/> 固有周期 (鉛直方向) : <input type="text"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 現行耐震設計技術指針地震力 【単位：G】 <table border="1" data-bbox="363 1128 1401 1294"> <thead> <tr> <th colspan="3">水平方向</th> <th colspan="3">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th colspan="2">動的地震力</th> <th rowspan="2">静的地震力</th> <th colspan="2">動的地震力</th> <th rowspan="2">静的地震力</th> </tr> <tr> <th>S_1</th> <th>S_2</th> <th>S_1</th> <th>S_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.38</td> <td>0.53</td> <td>0.64</td> <td>0.11</td> <td>0.23</td> <td>0.29</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S_s に定まる地震力 【単位：G】 <table border="1" data-bbox="363 1375 1401 1541"> <thead> <tr> <th colspan="3">水平方向</th> <th colspan="3">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th colspan="2">動的地震力</th> <th rowspan="2">静的地震力</th> <th colspan="2">動的地震力</th> <th rowspan="2">静的地震力</th> </tr> <tr> <th>S_1</th> <th>S_s</th> <th>S_1</th> <th>S_s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.38</td> <td>0.79</td> <td>0.58</td> <td>0.11</td> <td>0.63</td> <td>0.29</td> </tr> </tbody> </table> <p>上表から、水平方向と鉛直方向それぞれにて (基準地震動 S_s に定まる地震力 / 現行耐震設計技術指針地震力) から震度比を算出し、大きい値を β とする。</p> <p>水平方向最大震度比 : $0.79 / 0.64 = 1.23$ 鉛直方向最大震度比 : $0.63 / 0.29 = 2.17$</p>	水平方向			鉛直方向			動的地震力		静的地震力	動的地震力		静的地震力	S_1	S_2	S_1	S_2	0.38	0.53	0.64	0.11	0.23	0.29	水平方向			鉛直方向			動的地震力		静的地震力	動的地震力		静的地震力	S_1	S_s	S_1	S_s	0.38	0.79	0.58	0.11	0.63	0.29
水平方向			鉛直方向																																										
動的地震力		静的地震力	動的地震力		静的地震力																																								
S_1	S_2		S_1	S_2																																									
0.38	0.53	0.64	0.11	0.23	0.29																																								
水平方向			鉛直方向																																										
動的地震力		静的地震力	動的地震力		静的地震力																																								
S_1	S_s		S_1	S_s																																									
0.38	0.79	0.58	0.11	0.63	0.29																																								

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説 明 (続 き)</p>	<p>よって、非常用補機冷却系熱交換器 (B) の選定に使用する地震力の増減率 (β) は 2.17 となる。</p> <p>・添付資料 (1)添付-1:「基礎ボルト詳細評価対象の絞込み」</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>
----------------------	---



* : 耐震安全性評価書にて定める抽出方法の評価式
 α : ボルト腐食による断面積の減少率
 β : 地震力の増減率

基礎ボルト詳細評価対象の絞込み

タイトル	後打ちアンカの評価について、許容荷重とボルトの発生応力及び許容応力の関係（引張荷重，せん断荷重）について
説明	<p>後打ちメカニカルアンカ及び後打ちケミカルアンカは、発生荷重が設計許容荷重以下となるよう施工されている。</p> <p>耐震安全性評価においては、各後打ちアンカボルト径に応じて設定された設計許容荷重がアンカボルトに作用するものと仮定して、設計許容荷重を発生応力に置き換えて評価している。</p> <p>具体的には引張荷重，せん断荷重ともに、発生荷重（設計許容荷重）を経年劣化事象であるアンカボルトの腐食を考慮したアンカボルト断面積で除した値を発生応力として評価している。</p> <p>許容応力は上記の後打ちアンカボルトに対する考慮すべき荷重の考え方に則り、ボルト材の健全性を確認するためJEAG 4601 の「2.8 支持構造物の許容応力」のうち、地震により生じる応力に対する許容応力状態Ⅲ_AS、Ⅳ_ASを適用して設定している。</p> <p>許容応力の設定は、JEAG 4601 にて保守的にコンクリートに埋め込まれる後打ちアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理等を行わないものについては、据付状態のゆらぎ等を考慮して許容応力状態Ⅳ_AS→Ⅲ_AS として応力評価を行うこととされているため、許容応力状態Ⅲ_AS を適用している。</p> <p>許容応力状態Ⅲ_AS での許容引張応力：1.5ft</p> <p>ここで、許容引張応力ft については設計・建設規格の「SSB-3130 ボルト材の許容応力」に基づき算出するが、本評価ではボルト呼び径ではなく谷径断面積を用いているため、設計・建設規格の「解説SSB-3131 」を参考に設定している。</p> <p>ボルト谷径での評価の場合：ft=F/1.5</p> <p>また、許容応力状態Ⅲ_AS での許容引張応力ft の導出に必要な許容応力算定用基準値F については、設計・建設規格の「SSB-3130 ボルト材の許容応力」に基づき「Sy と0.7Suのうち小さい方」を適用していることから、許容応力状態Ⅲ_AS での許容引張応力は以下の式により算出している。</p> <p>許容応力状態Ⅲ_AS での許容引張応力：1.5ft=min (Sy, 0.7Su)</p> <p>ここまでで、許容引張応力の設定方法を例として記載したが、許容せん断応力についても、許容応力状態及び、許容応力算定用基準値F に対して同様の考え方を適用して許容応力を設定している。</p>

説明
(続き)

具体的な設計許容荷重と後打ちアンカの発生応力及び、許容応力の関係について、耐震バックチェック時の耐震評価用の設計許容荷重による評価結果を表1, 2に、建設時の設計許容荷重による評価結果を表3, 4に示す。

なお、表1の値を用いる基準地震動Ssに対する電気計装品の耐震バックチェックは評価時点(平成27年8月25日)において未実施である。

表1 後打ちメカニカルアンカの腐食に対する耐震安全性評価(耐震評価用)

評価項目			ボルト径					
			M10	M12	M16			
設計許容荷重(kN)	荷重種別	引張						
		せん断						
発生応力*1(MPa)	荷重種別	引張						
		せん断						
許容応力*2(MPa)	荷重種別	引張						
		せん断						
応力比*3	荷重種別	引張				0.28	0.27	0.17
		せん断				0.79	0.82	0.73

*1: 後打ちアンカボルトの腐食を考慮した断面積にて算出

*2: 耐震設計技術指針(JEAG 4601) 2.8 支持構造物の許容応力及び設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007) SSB-3132に基づき算出

引張: $1.5ft = 1.5 * F / 1.5$ (F = min (Sy, 0.7Su))

せん断: $1.5ft = 1.5 * F / (1.5\sqrt{3})$ (F = min (Sy, 0.7Su))

*3: 発生応力/許容応力

表2 後打ちケミカルアンカの腐食に対する耐震安全性評価(耐震評価用)

評価項目			ボルト径									
			M12	M16	M20	M22	M24					
設計許容荷重(kN)	荷重種別	引張										
		せん断										
発生応力*1(MPa)	荷重種別	引張										
		せん断										
許容応力*2(MPa)	荷重種別	引張										
		せん断										
応力比*3	荷重種別	引張						0.42	0.57	0.53	0.59	0.67
		せん断						0.59	0.67	0.62	0.68	0.79

*1: 後打ちアンカボルトの腐食を考慮した断面積にて算出

*2: 耐震設計技術指針(JEAG 4601) 2.8 支持構造物の許容応力及び設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007) SSB-3132に基づき算出

引張: $1.5ft = 1.5 * F / 1.5$ (F = min (Sy, 0.7Su))

せん断: $1.5ft = 1.5 * F / (1.5\sqrt{3})$ (F = min (Sy, 0.7Su))

*3: 発生応力/許容応力

 内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

表3 後打ちメカニカルアンカの腐食に対する耐震安全性評価 (建設時)

評価項目			ボルト径		
			M10	M12	M16
設計許容荷重 (kN)	荷重種別	引張			
		せん断			
発生応力*1 (MPa)	荷重種別	引張			
		せん断			
許容応力*2 (MPa)	荷重種別	引張			
		せん断			
応力比*3	荷重種別	引張	0.19	0.19	0.11
	せん断	せん断	0.54	0.55	0.49

*1: 後打ちアンカボルトの腐食を考慮した断面積にて算出

*2: 耐震設計技術指針 (JEAG 4601) 2.8 支持構造物の許容応力及び設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007) SSB-3132 に基づき算出

引張: $1.5ft=1.5 \cdot F/1.5$ ($F=\min(Sy, 0.7Su)$)

せん断: $1.5ft=1.5 \cdot F/(1.5\sqrt{3})$ ($F=\min(Sy, 0.7Su)$)

*3: 発生応力/許容応力

表4 後打ちケミカルアンカの腐食に対する耐震安全性評価 (建設時)

評価項目			ボルト径				
			M12	M16	M20	M22	M24
設計許容荷重 (kN)	荷重種別	引張					
		せん断					
発生応力*1 (MPa)	荷重種別	引張					
		せん断					
許容応力*2 (MPa)	荷重種別	引張					
		せん断					
応力比*3	荷重種別	引張	0.29	0.38	0.35	0.40	0.45
	せん断	せん断	0.40	0.45	0.42	0.45	0.53

*1: 後打ちアンカボルトの腐食を考慮した断面積にて算出

*2: 耐震設計技術指針 (JEAG 4601) 2.8 支持構造物の許容応力及び設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007) SSB-3132 に基づき算出

引張: $1.5ft=1.5 \cdot F/1.5$ ($F=\min(Sy, 0.7Su)$)

せん断: $1.5ft=1.5 \cdot F/(1.5\sqrt{3})$ ($F=\min(Sy, 0.7Su)$)

*3: 発生応力/許容応力

表1~4に示す通り、後打ちメカニカルアンカ、後打ちケミカルアンカともに全てのボルト径において、表1, 2の応力比が表3, 4の応力比を上回る結果となっている。

以上

□内は商業機密に属しますので公開できません

タイトル	後打ちメカニカルアンカの評価における設計許容荷重の設定根拠及び減肉後の応力評価の算定根拠（プラント設計時の耐震条件含む）について
説明	<p>後打ちアンカについては、プラント設計時の後打ちアンカ使用基準等により設計許容荷重を定めており、この値以上の荷重が後打ちアンカに作用しないよう施工されている。</p> <p>後打ちアンカの評価にあたっては、保守的に設定したプラント運転開始後 40 年間の腐食量（半径方向に 0.3mm）を考慮した上で、設計許容荷重を発生応力と仮定して、設計・建設規格に基づく許容応力以下になることを確認している。</p> <p>プラント設計時に考慮されていない基準地震動 S_s に対する耐震安全性についても、上記と同等の評価方法を用いて評価している。</p> <p>ただし、評価の際に適用する設計許容荷重については、プラント設計時に定めた設計許容荷重ではなく、耐震評価用に設定した設計許容荷重を用いて耐震安全性を確認している。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

タイトル	<p>詳細耐震安全性評価の対象機器の選定結果（表 3.14-5, 7, 9, 13）の耐震重要度 B 及び C の機器における詳細安全性評価対象の絞り込み手順について</p>
説明	<p>詳細耐震安全性評価の対象機器の選定にあたり、評価対象機器の基礎ボルトで柔構造の機器については、図 3.14.1「基礎ボルト評価対象の絞込み」を実施せずに詳細耐震安全性評価を実施している。</p> <p>柔構造であり、耐震重要度 B 及び C の機器で詳細安全性評価を実施した機器</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉冷却材浄化系再生熱交換器 ・復水貯蔵タンク <p>上記以外の耐震重要度 B 及び C の機器における詳細安全性評価対象の選定にあたっては、図 3.14-1 基礎ボルト評価対象の絞込み手順に従い、対象設備の抽出を行っており、その結果、詳細評価が必要となる機器は抽出されなかった。</p> <p>その要因は、基礎ボルトの腐食を想定した断面積の減少率（α）よりも、建設時の静的地震力 C_H に対する PLM 評価に用いた静的地震力 C_i の増減率（β）の減少の割合が大きく、評価対象の絞り込みの段階で耐震安全性が確保されていることが確認されたためである。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

タイトル	<p>詳細耐震安全性評価の結果（表 3.14-6）の低圧炉心スプレイ系ポンプ、（表 3.14-8）の残留熱除去冷却系熱交換器における機器付基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について</p>
説明	<p>① 低圧炉心スプレイ系ポンプ</p> <p>工認「たて軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類 A_S 及び A クラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、低圧炉心スプレイ系ポンプにおける機器付基礎ボルトに対して、腐食時に地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。</p> <p>ただし、せん断力及び転倒モーメントは、工認時の結果に震度比を乗じることで求める。</p> <p>低圧炉心スプレイ系ポンプ（基礎ボルト）の評価内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>低圧炉心スプレイ系ポンプは、立形ポンプであり、ボルトで十分剛な基礎に固定されているものとする。具体的な構造として、添付-1 に外形図を示す。</p> <p>(2) 計算条件</p> <p>せん断力及び転倒モーメントは、工認時の解析コードによる地震応答計算結果に震度比を乗じることで求める。</p>

説明
(続き)

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	S	—
据付設置建屋	—	R/B	—
据付設置位置	—	0. P 0	mm
固有周期 (水平方向)	—		s
固有周期 (鉛直方向)	—		—
水平方向設計震度*2	C_H	0.58	—
鉛直方向設計震度*2	C_v	0.62	—
ポンプ振動による震度	C_p	0.06	—
水平方向設計震度 (工認)	C_H (工認)	0.576	—
ポンプ振動による震度 (工認)	C_p (工認)	0.051	—
ボルトに働くせん断力	Q_b (工認)	1.523×10^4	kg
地震及びポンプ振動による転倒モーメント	M (工認)	3.697×10^7	kg・mm

*1: 鉛直方向については, 剛構造とみなした

*2: 設計震度については, 動的地震力 (S_s, S_l) 及び静的地震力の最大値とする

(4) 評価条件

荷重, 応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

項目	記号	入力値	単位
ボルト径*1	d	M48	—
ボルト半径当たり腐食量	c	0.3	mm
機器の運転時質量	m		kg
ボルトのピッチ円直径	D	2600	mm
ボルトの本数	n	12	—
引張力の作用するボルトの評価本数	n_f	12	—

*1: ボルト径については, 谷径を入力値とする

 内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説明 (続き)</p>	<p>2. 評価方法</p> <p>(1) せん断応力</p> <p>ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。</p> <p>せん断力</p> $Q_b = Q_b(\text{工認}) \cdot \left[\frac{C_H + C_p}{C_H(\text{工認}) + C_p(\text{工認})} \right]$ <p>せん断応力</p> $\tau_b = \frac{Q_b + 2M_p / D}{A_b \cdot n}$ <p>ここでボルトの断面積は、</p> $A_b = \frac{\pi}{4} (d - 2c)^2$ <p>また、ポンプ回転により働くモーメント M_p は、ポンプと原動機のベースが共通のため、ボルトについては作用しない。</p> <p>(2) 引張応力</p> <p>同一ピッチ円上の各ボルトの引張力は支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として支点から最も離れたボルトについて計算する。</p> <p>引張力</p> $F_b = \frac{M - W \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D}$ <p>ここで、転倒モーメントは</p> $M = M(\text{工認}) \cdot \left(\frac{C_H + C_p}{C_H(\text{工認}) + C_p(\text{工認})} \right)$ <p>引張応力</p> $\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$
--------------------	---

説明
(続き)

3. 評価結果

(1) 応力計算について

上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。

(結果)

応力	算出応力	単位
引張	$\sigma_b = 13$	MPa
せん断	$\tau_b = 10$	MPa

(2) 許容応力について

JEAG 4601-1987 6.6.3 (3)その他機器 a. ポンプ・ブロワー類 (a)立形ポンプ (iii)評価方法 ②基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき、許容応力を算出する。

なお、許容応力は使用状態によらず、保守的に許容応力状態Ⅲ_ASを適用する。

許容応力算定用基準値

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

許容引張応力

$$F = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$$

$$f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right)1.5$$

許容せん断応力

$$f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)1.5$$

以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。

(条件)

項目	記号	入力値	単位
ボルト材質	—	SCM435	—
ボルト径	d	M48	—
評価用温度	—	100	℃
ボルト材の設計降伏点*1	S _y	685	MPa
ボルト材の設計引張強さ*1	S _u	847	MPa

*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版) (2007年追補版) 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 引用

説明
(続き)

(結果)

応力	許容応力	単位
引張	$f_{ts} = 444$	MPa
せん断	$f_{sb} = 341$	MPa

(3) 結論

上記の結果から、ボルトに発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

応力	算出応力	許容応力	単位
引張	$\sigma_b = 13$	$f_{ts} = 444$	MPa
せん断	$\tau_b = 10$	$f_{sb} = 341$	MPa

説明
(続き)

② 残留熱除去冷却系熱交換器

工認「2脚支持横置1胴熱交換器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、残留熱除去冷却系熱交換器における機器付基礎ボルトに対して腐食時に、地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。

残留熱除去冷却系熱交換器（基礎ボルト）の評価内容を以下に示す。

1. 評価仕様

(1) 機器構造

残留熱除去冷却系熱交換器は、横置円筒形容器であり、2個の脚のうち1個は胴の長手方向にスライドできる構造となる。具体的な構造として、添付-2に構造図を示す。

(2) 解析モデル

本評価の解析モデルを以下に示す。

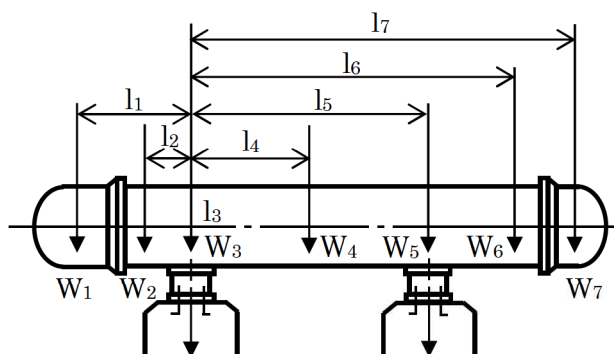


図 2-1 解析モデル

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	S	—
据付設置建屋	—	Hx/B	—
据付設置位置	—	0. P 11, 200	mm
固有周期（水平方向）	—		s
固有周期（鉛直方向）	—		—
水平方向設計震度*2	C_H	0.79	—
鉛直方向設計震度*2	C_V	0.63	—

*1：鉛直方向については、剛構造とみなした

*2：設計震度については、動的地震力 (S_s , S_l) 及び静的地震力の最大値とする

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

(4) 評価条件
荷重, 応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

項目	記号	入力値	単位
ボルト径*1	d	M36	—
ボルト半径当たり腐食量	c	0.3	mm
静荷重 (i=1)	W_1		N
静荷重 (i=2)	W_2		N
静荷重 (i=3)	W_3		N
静荷重 (i=4)	W_4		N
静荷重 (i=5)	W_5		N
静荷重 (i=6)	W_6		N
静荷重 (i=7)	W_7		N
第1脚より各荷重までの距離 (i=1)	l_1	-1170	mm
第1脚より各荷重までの距離 (i=2)	l_2	-795	mm
第1脚より各荷重までの距離 (i=3)	l_3	0	mm
第1脚より各荷重までの距離 (i=4)	l_4	1758	mm
第1脚より各荷重までの距離 (i=5)	l_5	3500	mm
第1脚より各荷重までの距離 (i=6)	l_6	4579	mm
第1脚より各荷重までの距離 (i=7)	l_7	5298	mm
基礎から脚つけ根部までの高さ	h_1	822.8	mm
基礎から胴の中心までの高さ	h_2	1350	mm
熱交換器の運転時質量	m_0		kg
脚の質量	m_s		kg
脚中心間距離	l_0	3500	mm
脚底板と基礎台との縦弾性係数比	s	10	—
脚1個あたりのボルトの本数	n	6	—
引張りを受けるボルトの本数	n_1	3	—
脚底板の長手方向に対する長さ	a	750	mm
脚底板の横方向に対する長さ	b	1900	mm
脚底板端面からボルト中心までの距離	d_1	100	mm

*1:ボルト径については, 谷径を入力値とする

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説明 (続き)</p>	<p>2. 評価方法 長手方向地震及び鉛直方向地震が作用する場合 (1) せん断応力</p> $\tau_b = \frac{C_H \cdot W_0}{n \cdot A_b}$ <p>ここで、ボルトの軸断面積は</p> $A_b = \frac{\pi}{4} (d - 2c)^2$ <p>(2) 引張応力 長手方向地震及び鉛直方向地震により脚底部に作用する曲げモーメントは</p> $M = \frac{1}{2} C_H \cdot W_0 \cdot h_1$ <p>鉛直荷重は</p> $P_s = (R_1 + W_s)(1 - C_v) - P_i$ <p>である。 ここで、第2脚の反力は</p> $R_2 = \sum_{i=1}^{j_1} W_i \cdot l_i / l_0$ <p>第1脚の反力は</p> $R_1 = \sum_{i=1}^{j_1} W_i - R_2$ <p>第1脚付け根部に作用する鉛直荷重（偶力）は</p> $P_i = C_H \cdot (W_0 - W_s) \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} h_1}{l_0}$ <p>今、曲げモーメントと圧縮荷重の比を</p> $e = M / P_s$ <p>とすると、eが負の場合、ボルトに引張力が作用し、この引張力は次のようにして求められる。</p>
--------------------	---

説明
(続き)

今、中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3\left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0$$

より求めると、ボルトに作用する引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$$

となる。

したがって、ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b \cdot n_1}$$

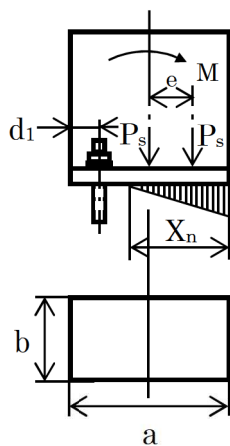


図 2-2 基礎部に作用する外荷重により生じる荷重の関係

3. 評価結果

(1) 応力計算について

上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。

(結果)

応力	算出応力	単位
引張	$\sigma_b = 163$	MPa
せん断	$\tau_b = 119$	MPa

説明
(続き)

(2) 許容応力について

JEAG4601-1987 6.6.3 (1)容器 e.横置円筒形容器 (c)評価方法 ③基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき、許容応力を算出する。

なお、許容応力は使用状態によらず、保守的に許容応力状態Ⅲ_ASを適用する。

許容応力算定用基準値

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

許容引張応力

$$F = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$$

$$f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right)1.5$$

許容せん断応力

$$f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)1.5$$

以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。

(条件)

項目	記号	入力値	単位
ボルト材質	—	SCM435	—
ボルト径	d	M36	—
評価用温度	—	70	°C
ボルト材の設計降伏点*1	S _y	722	MPa
ボルト材の設計引張強さ*1	S _u	858	MPa

*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版) (2007年追補版)
付録材料図表 Part5 表8及び表9引用

(結果)

応力	許容応力	単位
引張	f _{ts} = 439	MPa
せん断	f _{sb} = 346	MPa

説 明
(続 き)

(3) 結論

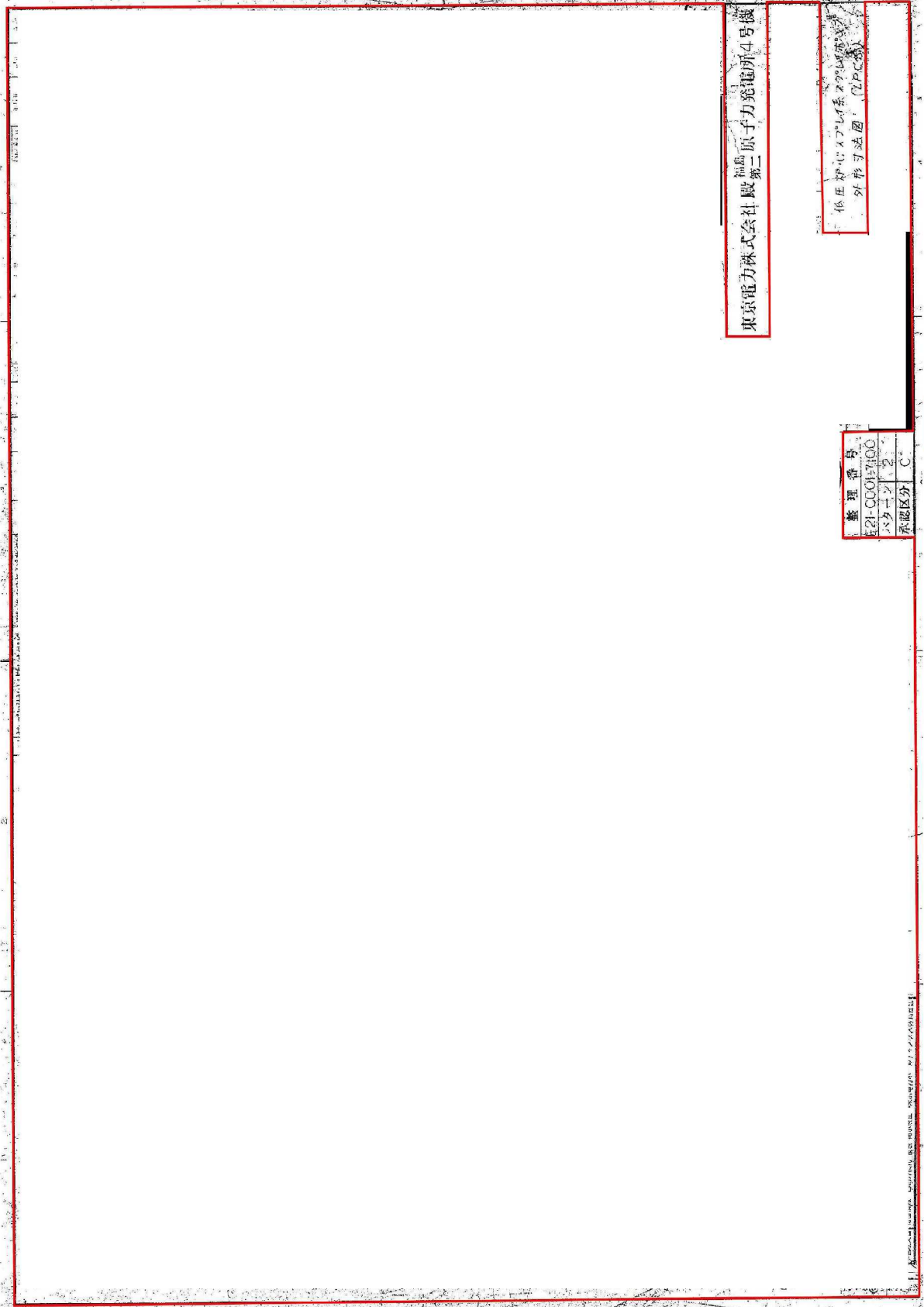
上記の結果から、ボルトに発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

応 力	算出応力	許容応力	単位
引 張	$\sigma_b = 163$	$f_{ts} = 439$	MPa
せん断	$\tau_b = 119$	$f_{sb} = 346$	MPa

③ 添付資料

- (1) 添付-1：「低圧炉心スプレイ系スプレイポンプ 外形寸法図 (LPCS)」
- (2) 添付-2：「残留熱除去機器冷却系熱交換器 構造図」

以 上

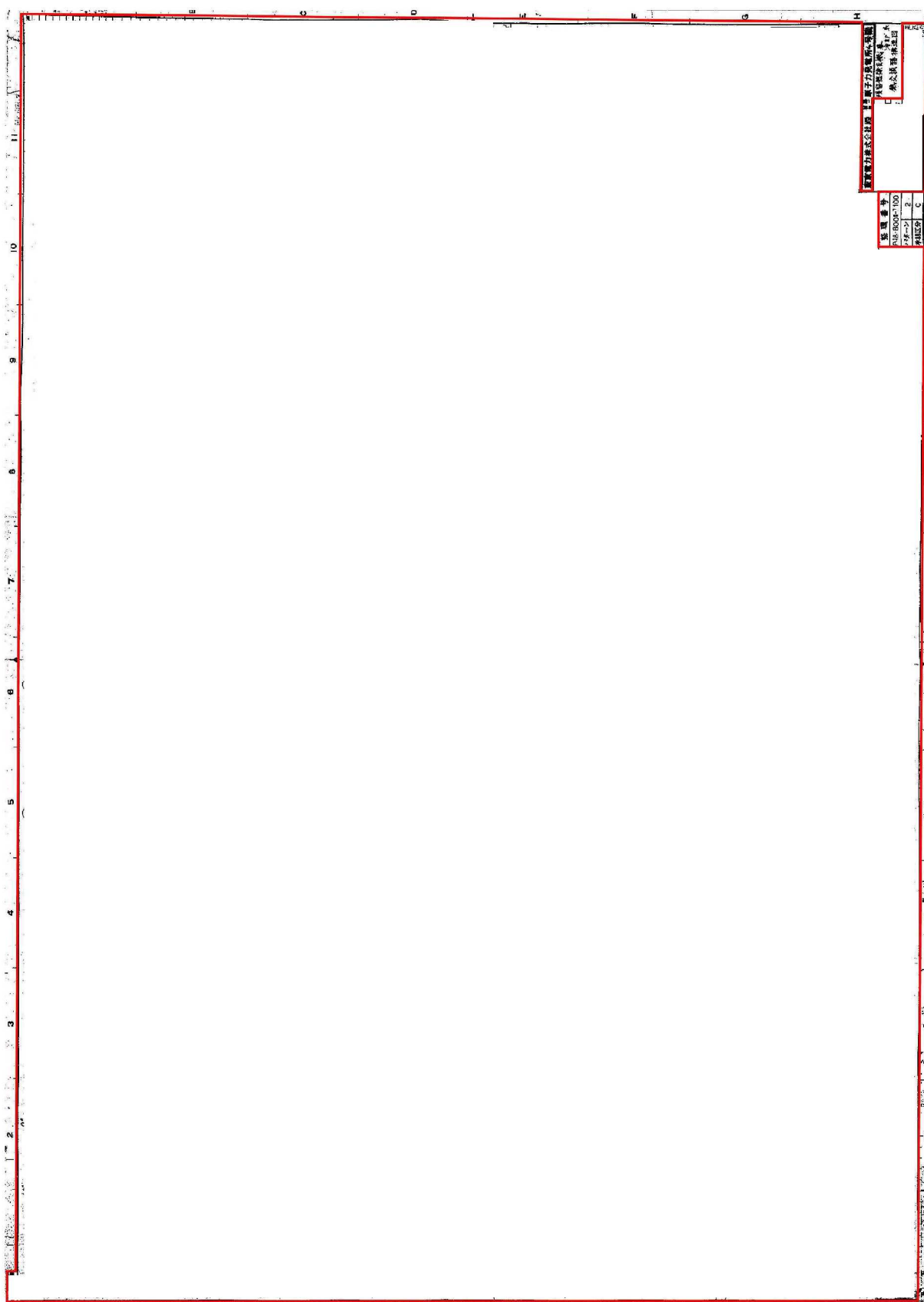


東京電力株式会社 第二福島原子力発電所4号機

低圧配電システム
外存方法図 (2P.00)

整理番号	承認区分
E21-0001700	C
バリエーション	

内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません

タイトル	<p>詳細耐震安全性評価の結果（表 3.14-10）の中央制御室サージタンク及びコントロール建屋電気品室サージタンクにおける機器付基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容（評価仕様，解析モデル，入力（荷重）条件，評価結果を含む）について</p>
説明	<p>① 中央制御室サージタンク</p> <p>JEAC 4601-2008「5.2.3 四脚たて置円筒形容器」に基づき，中央制御室サージタンクにおける機器付基礎ボルトに対して，腐食時に地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。</p> <p>中央制御室サージタンク（基礎ボルト）の評価内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>中央制御室サージタンクは，4脚たて置円筒形容器であり，ボルトで十分剛な基礎に固定されているものとする。具体的な構造として，添付-1 に外形図を示す。</p> <p>(2) 解析モデル</p> <p>本評価の解析モデルを以下に示す。</p>

説明
(続き)

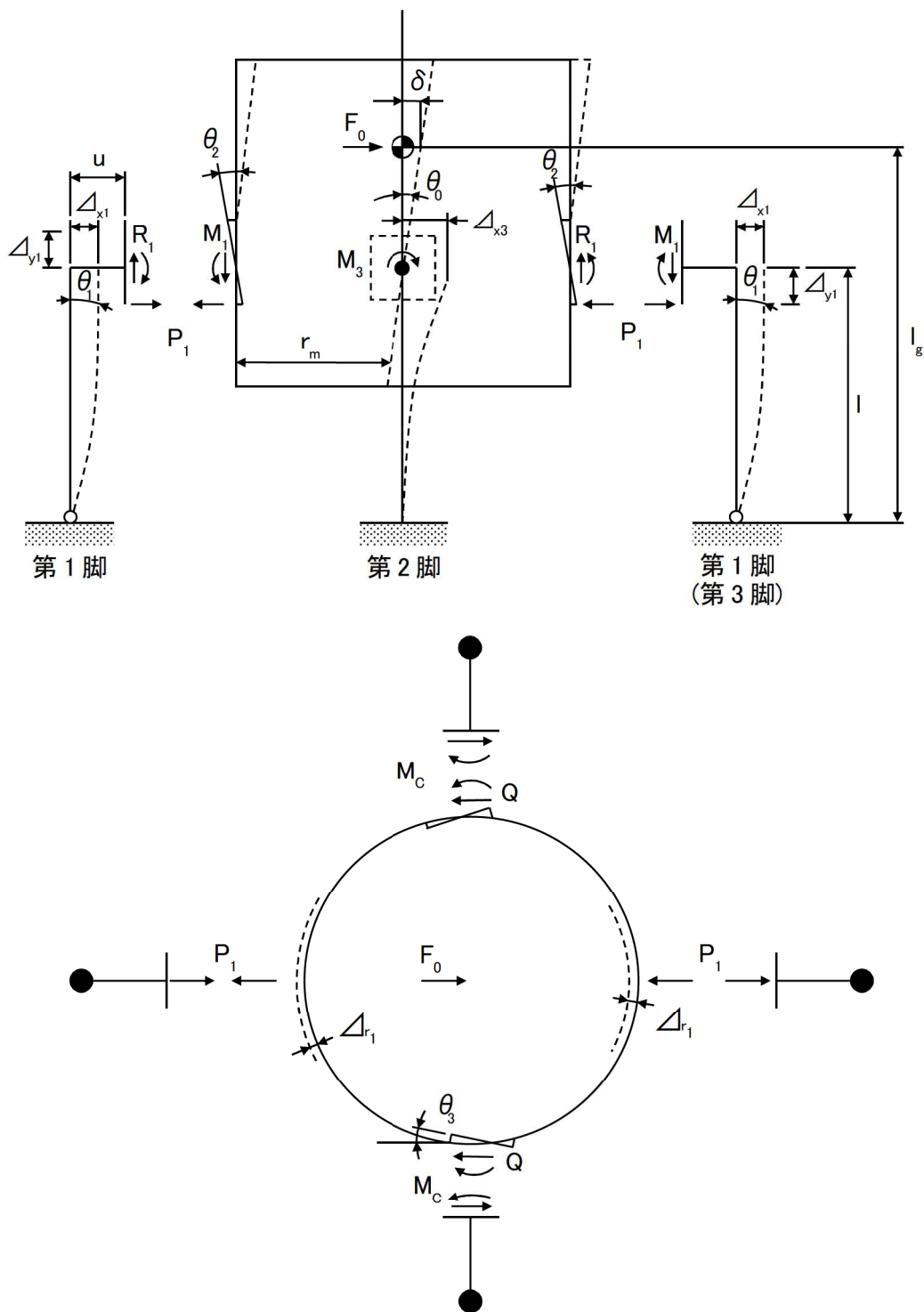


図 1-1 脚下端が第 1 脚は単純支持，第 2 脚は固定されている場合の変形モード

説明
(続き)

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	S	—
据付設置建屋	—	C/B	—
据付設置位置	—	0. P 18, 000	mm
固有周期 (水平方向)	—		s
固有周期 (鉛直方向)	—		—
水平方向設計震度*2*3	C_H	0. 90	—
鉛直方向設計震度*2	C_V	0. 66	—

*1: 鉛直方向については, 剛構造とみなした

*2: 設計震度については, 動的地震力 (S_s, S_l) 及び静的地震力の最大値とする

*3: 動的地震力 (S_s) の床応答スペクトルについては, 添付-3, 4 参照

(4) 評価条件

荷重, 応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

項目	記号	入力値	単位
ボルト径*1	d		—
ボルト半径当たり腐食量	c	0. 3	mm
運転時質量	m_0		kg
引張りを受けるボルトの本数 (半径方向)	n_1		—
引張りを受けるボルトの本数 (周方向)	n_2		—
ボルトとコンクリートとの弾性係数比	s		—
胴の内径	D_i		mm
胴の板厚	t		mm
胴の縦弾性係数	E		MPa
脚の縦弾性係数	E_s		MPa
脚のせん断弾性係数	G_s		MPa
脚の断面積	A_s		mm ²
脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	A_{sr}		mm ²
脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	A_{st}		mm ²
脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{sr}		mm ⁴
脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{st}		mm ⁴
脚のねじりモーメント係数	J_s		mm ⁴
アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の周方向)	C_1		mm
アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の軸方向)	C_2		mm

*1: ボルト径については, 谷径を入力値とする

□内は商業機密に属しますので公開できません

説明 (続き)	項目	記号	入力値	単位	
	基礎から容器上部重心までの距離	l_g		mm	
	脚の長さ	l		mm	
	脚の中立軸間の距離	l_c		mm	
	脚底板の半径方向幅	a		mm	
	脚底板の周方向幅	b		mm	
	脚底板端面からボルト中心までの半径方向の距離	d_1		mm	
	脚底板端面からボルト中心までの周方向の距離	d_2		mm	
	参考文献 (1) (2) による算出値を以下に示す。				
	項目	記号	入力値	単位	
アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	k_1		—		
アタッチメントパラメータ周方向の補正係数	k_c		—		
胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_1		N/mm		
胴の脚つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_c		N/mm		
胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数	K_r		N/mm		
2. 評価方法					
評価方法については、水平方向地震力 (X 方向, Z 方向) で厳しい結果となるもののみ記載している。					
(1) 釣合方程式					
脚下端が第 1 脚は単純支持, 第 2 脚は固定の場合について, 釣合方程式を示す。					
水平力の釣合より					
$2P_1 + 2Q = F_0 \quad \dots \textcircled{1}$					
転倒モーメントの釣合より					
$2M_1 - 2M_3 + 2R_1 r_m = F_0 (l_g - l) \quad \dots \textcircled{2}$					
ここで,					
$r_m = (D_i + t) / 2$					

 内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1} , 傾き角 θ_1 , 鉛直方向変位量 Δ_{y1} は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{Pl^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Pl}{G_s A_{sr}} + l\theta_1 \quad \dots \textcircled{3}$$

$$Pl + M_1 = R_1 u \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \quad \dots \textcircled{5}$$

ここで,

$$u = \frac{l_c}{2} - r_m$$

胴の半径方向局部変位量 Δ_{r1} と局部傾き角 θ_2 は, 次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \quad \dots \textcircled{6}$$

$$\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \quad \dots \textcircled{7}$$

ここで,

$$\beta_1 = k_1 \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2}, \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m}, \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{x3} は, 次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Ql^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{8}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Ql^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Ql}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{9}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{10}$$

第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Qu - M_c)l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \quad \dots \textcircled{11}$$

ここで,

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2}, \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m}, \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

説明
(続き)

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\triangle_{x1} + \triangle_{r1} = \triangle_{x3} + u\theta_3 \quad \dots \textcircled{12}$$

さらに、鉛直方向変位の釣合より

$$\triangle_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{13}$$

式①～式⑬から P_1 , Q , R_1 , M_3 を求める。

(2) せん断応力

水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合

$$\tau_b = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{2A_b} + \frac{Qu - M_c}{A_b(b - 2d_2)}$$

ボルトの断面積は、

$$A_b = \frac{\pi}{4}(d - 2c)^2$$

ここで、

$$M_l = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) m_0 g u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{2E_s I_{st}} l^2 \cdot \frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}$$

$$R_2 = \frac{m_0 g C_V}{4}$$

$$M_{l2} = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) R_2 u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$$

説明

(続き)

$$P_2 = \frac{(R_2 u - M_{I2})^2}{\frac{2E_s I_{st}}{l^3} + \frac{l}{3E_s I_{st}} + \frac{K_r}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}}$$

(3) 引張応力

引張応力については、保守的に脚下端が固定の場合とする。また、a を b, b を a, d₁ を d₂, n₁ を n₂ に置き換えた場合も計算し、最大値の得られた式を記載している。

水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合

$$M_{x1} = \left[\left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right\} + \left\{ (P - P_2) l + (M_1 - M_{I2}) - (R - R_2) l \right\} \right]^2 + \left[\frac{1}{\sqrt{2}} (Q_1 - M_3) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}}$$

ここで,

$$R = \frac{m_0 g}{4}$$

R_{x1} は負のため、ボルトに生じる引張力は次により求める。

中立軸の位置 X_n を次式により求め,

$$X_n^3 + 3 \left(e - \frac{a}{2} \right) X_n^2 - \frac{6sA_b n_1}{b} \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) (a - d_1 - X_n) = 0$$

ボルトに生じる引張力

$$F_b = \frac{R_{x1} \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$$

から、ボルトに生じる引張応力を次式により求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_1 A_b}$$

説明
(続き)

3. 評価結果

評価結果については、水平方向地震力（X 方向，Z 方向）で厳しい結果のみ記載している。

(1) 応力計算について

上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。

(結果)

応力	算出応力	単位
引張	$\sigma_b = 154$	MPa
せん断	$\tau_b = 18$	MPa

(2) 許容応力について

JEAG4601-1987 6.6.3 (1)容器 d.4 脚たて置円筒形容器 (c)評価方法 (ii)応力の評価 ③基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき，許容応力を算出する。

なお，許容応力は使用状態によらず，保守的に許容応力状態Ⅲ_ASを適用する。

許容応力算定用基準値

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

許容引張応力

$$F = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$$

$$f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right)1.5$$

許容せん断応力

$$f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)1.5$$

説 明

(続 き)

以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。

(条件)

項目	記号	入力値	単位
ボルト材質	—		—
ボルト径	d		—
評価用温度	—	70	℃
ボルト材の設計降伏点*1	S_y		MPa
ボルト材の設計引張強さ*1	S_u		MPa

*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版) (2007年追補版)
付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 引用

(結果)

応 力	許容応力	単位
引 張	$f_{ts} = 450$	MPa
せん断	$f_{sb} = 346$	MPa

(1) 結論

上記の結果から、ボルトに発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

応 力	算出応力	許容応力	単位
引 張	$\sigma_b = 154$	$f_{ts} = 450$	MPa
せん断	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 346$	MPa

□内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説明 (続き)</p>	<p>② コントロール建屋電気品室サージタンク JEAC 4601-2008「5.2.3 四脚たて置円筒形容器」に基づき、コントロール建屋電気品室サージタンクにおける機器付基礎ボルトに対して腐食時に、地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。 コントロール建屋電気品室サージタンク（基礎ボルト）の評価内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造 コントロール建屋電気品室サージタンクは、4脚たて置円筒形容器であり、ボルトで十分剛な基礎に固定されているものとする。具体的な構造として、添付-2に外形図を示す。</p> <p>(2) 解析モデル 本評価の解析モデルを以下に示す。</p>
--------------------	---

説明
(続き)

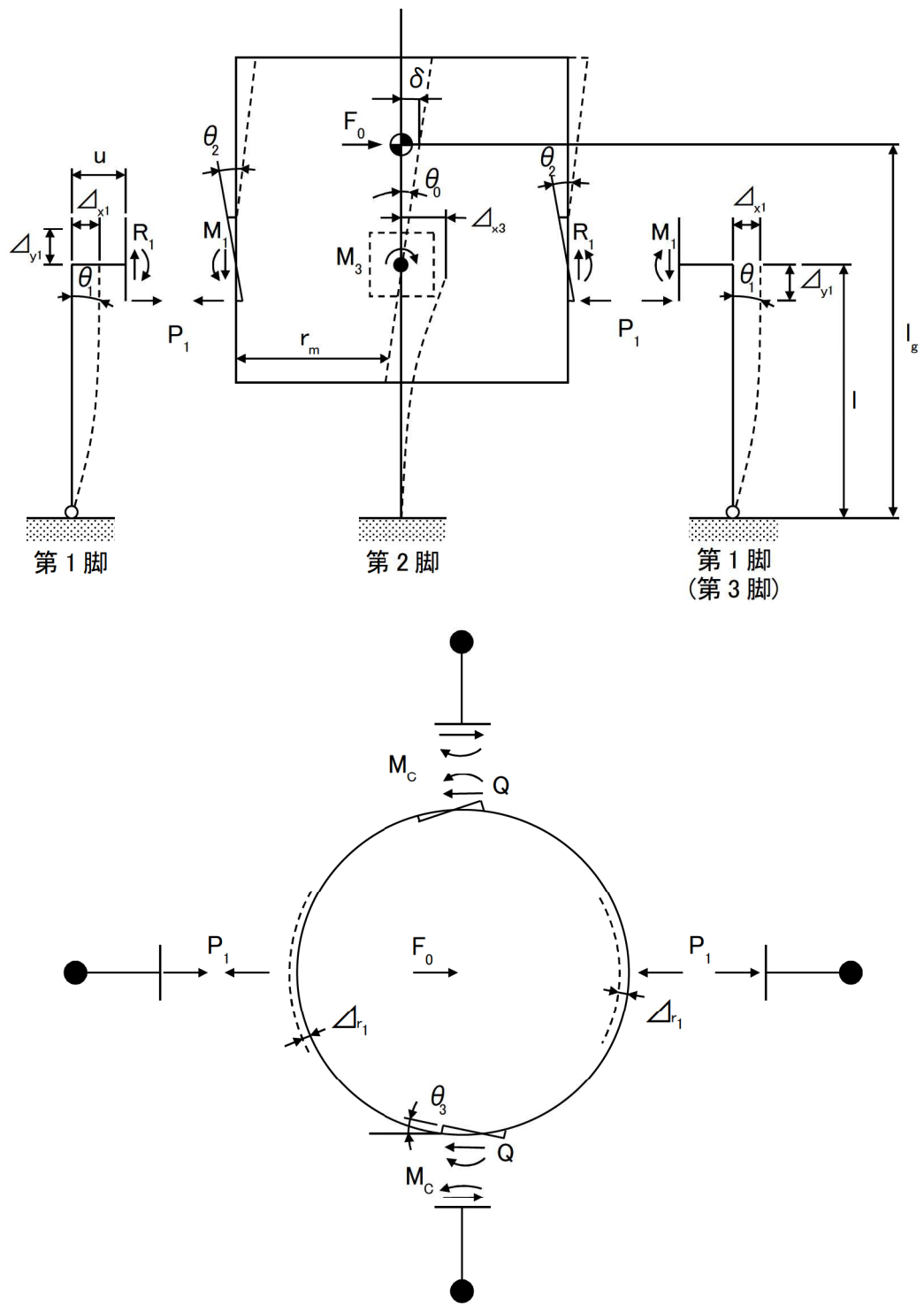


図 2-1 脚下端が第 1 脚は単純支持，第 2 脚は固定されている場合の変形モード

説明
(続き)

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	S	—
据付設置建屋	—	C/B	—
据付設置位置	—	0. P 12, 200	mm
固有周期 (水平方向)	—		s
固有周期 (鉛直方向)	—		—
水平方向設計震度*2*3	C_H	0.87	—
鉛直方向設計震度*2	C_V	0.66	—

*1: 鉛直方向については, 剛構造とみなした

*2: 設計震度については, 動的地震力 (S_s, S_l) 及び静的地震力の最大値とする

*3: 動的地震力 (S_s) の床応答スペクトルについては, 添付-5, 6 参照

(4) 評価条件

荷重, 応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

項目	記号	入力値	単位
ボルト径*1	d		—
ボルト半径当たり腐食量	c	0.3	mm
運転時質量	m_0		kg
引張りを受けるボルトの本数 (半径方向)	n_1		—
引張りを受けるボルトの本数 (周方向)	n_2		—
ボルトとコンクリートとの弾性係数比	s		—
胴の内径	D_i		mm
胴の板厚	t		mm
胴の縦弾性係数	E		MPa
脚の縦弾性係数	E_s		MPa
脚のせん断弾性係数	G_s		MPa
脚の断面積	A_s		mm ²
脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	A_{sr}		mm ²
脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	A_{st}		mm ²
脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{sr}		mm ⁴
脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	I_{st}		mm ⁴
脚のねじりモーメント係数	J_s		mm ⁴
アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の周方向)	C_1		mm
アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の軸方向)	C_2		mm

*1: ボルト径については, 谷径を入力値とする

□内は商業機密に属しますので公開できません

説明 (続き)	項目	記号	入力値	単位	
	基礎から容器上部重心までの距離	l_g		mm	
	脚の長さ	l		mm	
	脚の中立軸間の距離	l_c		mm	
	脚底板の半径方向幅	a		mm	
	脚底板の周方向幅	b		mm	
	脚底板端面からボルト中心までの半径方向の距離	d_1		mm	
	脚底板端面からボルト中心までの周方向の距離	d_2		mm	
	参考文献 (1) (2) による算出値を以下に示す。				
	項目	記号	入力値	単位	
アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	k_1		—		
アタッチメントパラメータ周方向の補正係数	k_c		—		
胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_1		N/mm		
胴の脚つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数	K_c		N/mm		
胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数	K_r		N/mm		
2. 評価方法					
評価方法については、水平方向地震力 (X 方向, Z 方向) で厳しい結果となるもののみ記載している。					
(1) 釣合方程式					
脚下端が第 1 脚は単純支持, 第 2 脚は固定の場合について, 釣合方程式を示す。					
水平力の釣合より					
$2P_1 + 2Q = F_0 \quad \dots \textcircled{1}$					
転倒モーメントの釣合より					
$2M_1 - 2M_3 + 2R_1 r_m = F_0 (l_g - l) \quad \dots \textcircled{2}$					
ここで,					
$r_m = (D_i + t) / 2$					

 内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1} 、傾き角 θ_1 、鉛直方向変位量 Δ_{y1} は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{Pl^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Pl}{G_s A_{sr}} + l\theta_1 \quad \dots \textcircled{3}$$

$$Pl + M_1 = R_1 u \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \quad \dots \textcircled{5}$$

ここで、

$$u = \frac{l_c}{2} - r_m$$

胴の半径方向局部変位量 Δ_{r1} と局部傾き角 θ_2 は、次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \quad \dots \textcircled{6}$$

$$\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \quad \dots \textcircled{7}$$

ここで、

$$\beta_l = k_l \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2}, \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m}, \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{x3} は、次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Ql^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{8}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Ql^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Ql}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{9}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{10}$$

第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Qu - M_c)l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \quad \dots \textcircled{11}$$

ここで、

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2}, \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m}, \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

説明
(続き)

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\triangle_{x1} + \triangle_{r1} = \triangle_{x3} + u\theta_3 \quad \dots \textcircled{12}$$

さらに、鉛直方向変位の釣合より

$$\triangle_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{13}$$

式①～式⑬から P_1 , Q , R_1 , M_3 を求める。

(2) せん断応力

水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合

$$\tau_b = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{2A_b} + \frac{Qu - M_c}{A_b(b - 2d_2)}$$

ボルトの断面積は、

$$A_b = \frac{\pi}{4}(d - 2c)^2$$

ここで、

$$M_l = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) m_0 g u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{2E_s I_{st}} l^2 \cdot \frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}$$

$$R_2 = \frac{m_0 g C_V}{4}$$

$$M_{l2} = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) R_2 u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$$

説明

(続き)

$$P_2 = \frac{(R_2 u - M_{I2})^2}{\frac{2E_s I_{st}}{l^3} + \frac{l}{3E_s I_{st}} + \frac{K_r}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}}$$

(3) 引張応力

引張応力については、保守的に脚下端が固定の場合とする。また、a を b, b を a, d₁ を d₂, n₁ を n₂ に置き換えた場合も計算し、最大値の得られた式を記載している。

水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合

$$M_{x1} = \left[\left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right\} + \left\{ (P - P_2) l + (M_1 - M_{I2}) - (R - R_2) l \right\} \right]^2 + \left[\frac{1}{\sqrt{2}} (Q_1 - M_3) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}}$$

ここで,

$$R = \frac{m_0 g}{4}$$

R_{x1} は負のため、ボルトに生じる引張力は次により求める。

中立軸の位置 X_n を次式により求め,

$$X_n^3 + 3 \left(e - \frac{a}{2} \right) X_n^2 - \frac{6sA_b n_1}{b} \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) (a - d_1 - X_n) = 0$$

ボルトに生じる引張力

$$F_b = \frac{R_{x1} \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$$

から、ボルトに生じる引張応力を次式により求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_1 A_b}$$

説明
(続き)

3. 評価結果

評価結果については、水平方向地震力（X 方向，Z 方向）で厳しい結果のみ記載している。

(1) 応力計算について

上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。

(結果)

応力	算出応力	単位
引張	$\sigma_b = 149$	MPa
せん断	$\tau_b = 18$	MPa

(2) 許容応力について

JEAG 4601-1987 6.6.3 (1)容器 d.4 脚たて置円筒形容器 (c)評価方法 (ii) 応力の評価 ③基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき、許容応力を算出する。
なお、許容応力は使用状態によらず、保守的に許容応力状態Ⅲ_ASを適用する。

許容応力算定用基準値

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

許容引張応力

$$F = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$$

$$f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right)1.5$$

許容せん断応力

$$f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)1.5$$

説 明

(続 き)

以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。

(条件)

項目	記号	入力値	単位
ボルト材質	—		—
ボルト径	d		—
評価用温度	—	70	°C
ボルト材の設計降伏点*1	S_y		MPa
ボルト材の設計引張強さ*1	S_u		MPa

*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版) (2007年追補版)
付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 引用

(結果)

応 力	許容応力	単位
引 張	$f_{ts} = 174$	MPa
せん断	$f_{sb} = 134$	MPa

(3) 結論

上記の結果から、ボルトに発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

応 力	算出応力	許容応力	単位
引 張	$\sigma_b = 149$	$f_{ts} = 174$	MPa
せん断	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 134$	MPa

内は商業機密に属しますので公開できません

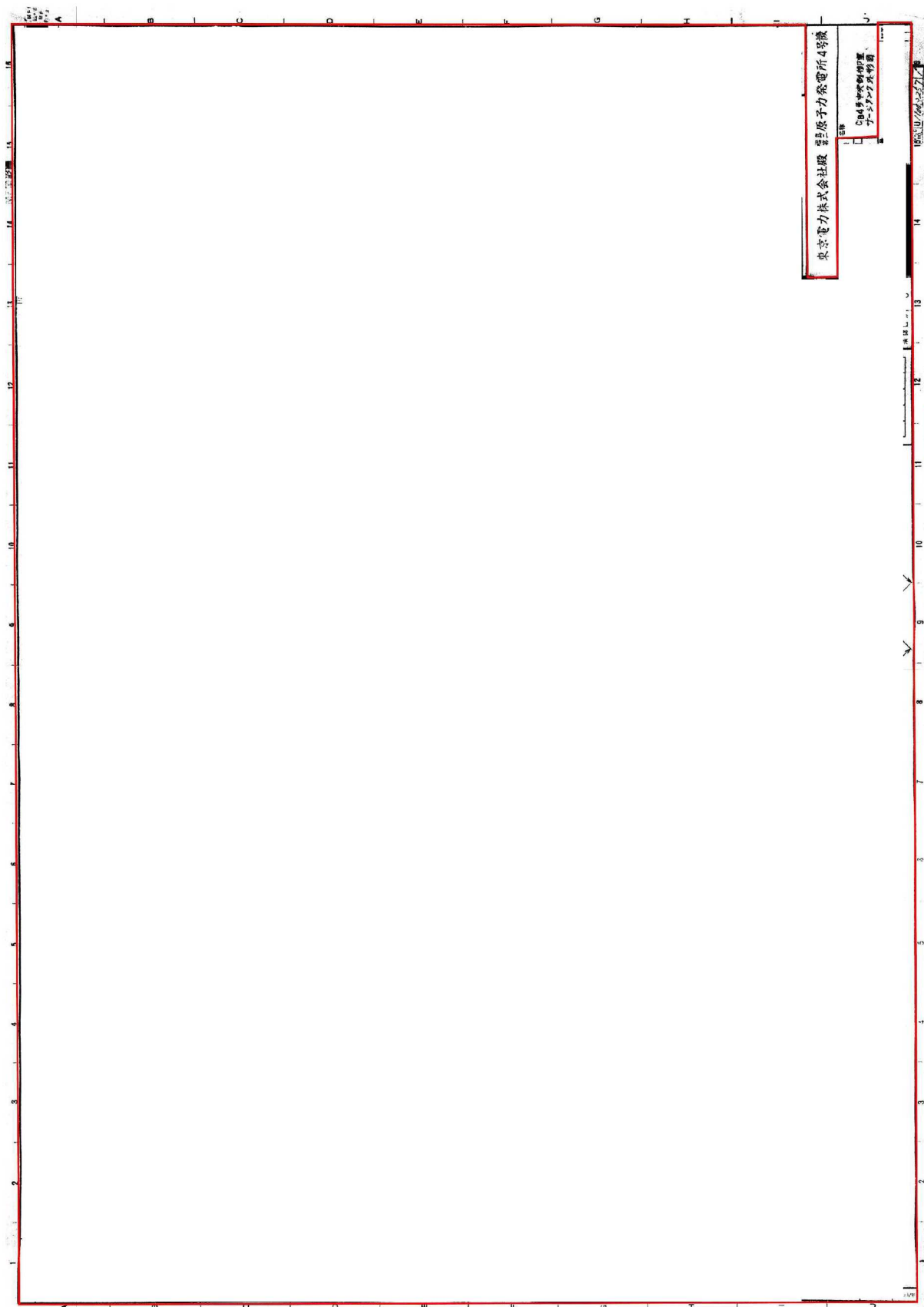
③ 添付資料

- (1) 添付-1 「C/B4 号中央制御室サージタンク外形図」
- (2) 添付-2 「C/B4 号非常用電気品室サージタンク外形図」
- (3) 添付-3 「C/B4 号 OP+18.0M 床応答スペクトル図」
- (4) 添付-4 「中央制御室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法」
- (5) 添付-5 「C/B4 号 OP+12.2M 床応答スペクトル図」
- (6) 添付-6 「C/B 電気品室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法」

④ 参考文献

- (1) Bijlaard, P.P : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al. : Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.

以 上



内は商業機密に属しますので公開できません

東京電力株式会社 葛原原子力発電所4号機
6号
1995年11月10日現在
1995年11月10日現在
1995年11月10日現在
1995年11月10日現在

内は商業機密に属しますので公開できません



図
表

固有周期 [秒]

図 B1.3 床応答スペクトル

内は商業機密に属しますので公開できません



固有周期





床応答スペクトルのデジタル値（コントロール建屋，OP18,000 mm）

<中央制御室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法>

機器の固有周期は s であるが，床応答スペクトルのデジタル値には s に対する震度の記載がないため，補間計算により震度を算出する。

s の前後の固有周期における震度は，

固有周期 s のとき，震度

固有周期 s のとき，震度

したがって，固有周期 s に対する震度は ≈ 0.90 （小数点第 3 位を切り上げ）となる。

上記より，中央制御室サージタンクの水平方向設計震度は 0.90 となる。

内は商業機密に属しますので公開できません

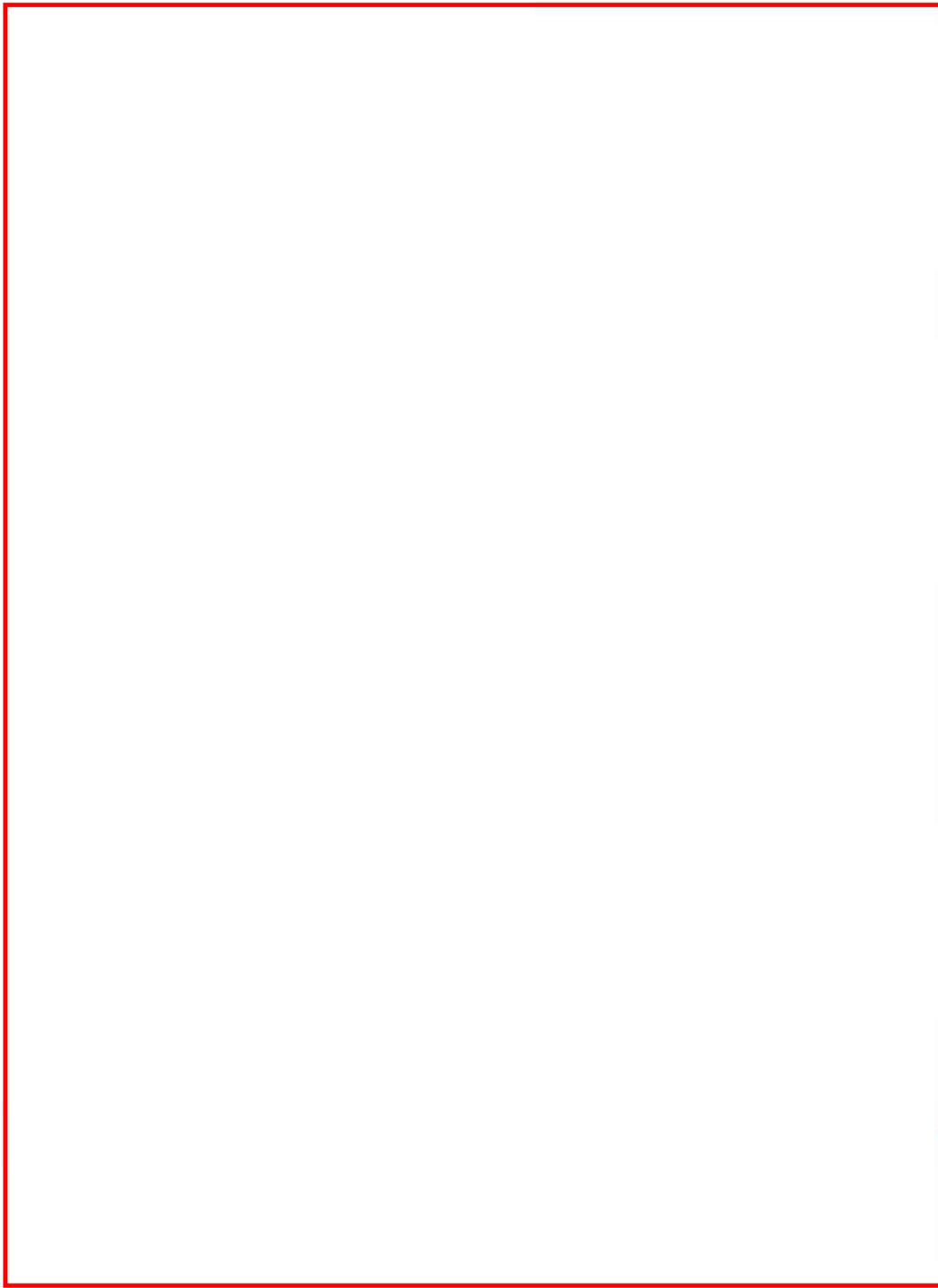


図
表

固有周期 [秒]

固有周期

図 B1.4 床応答スペクトル

内は商業機密に属しますので公開できません



床応答スペクトルのデジタル値（コントロール建屋，OP12,200 mm）

<コントロール建屋電気品室サージタンクの水平方向設計震度の設定方法>

機器の固有周期は s であるが，床応答スペクトルのデジタル値には s に対する震度の記載がないため，補間計算により震度を算出する。

s の前後の固有周期における震度は，

固有周期 s のとき，震度

固有周期 s のとき，震度

したがって，固有周期 s に対する震度は

$\div 0.87$ （小数点第3位を切り上げ）となる。

上記より，コントロール建屋電気品室サージタンクの水平方向設計震度は 0.87 となる。

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>タイトル</p>	<p>詳細耐震安全性評価の結果（表 3.14-12 (3/3)）の非常用ディーゼル発電機（A）室給気フィルタユニット及び同（B）室給気フィルタユニットにおける機器付基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について</p>
<p>説明</p>	<p>① 非常用ディーゼル発電機（A）室給気フィルタユニット</p> <p>工認 認可 5「IV-2-8-2-3 コントロール建屋中央制御室換気空調系 4 号中央制御室再循環フィルタ装置の耐震性についての計算書」に基づき、中央制御室サージタンクにおける機器付基礎ボルトに対して、腐食時に地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。</p> <p>非常用ディーゼル発電機（A）室給気フィルタユニット（基礎ボルト）の評価内容を以下に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>非常用ディーゼル発電機（A）室給気フィルタユニットは、箱型のフィルタ装置であり、ボルトで十分剛な基礎に固定されているものとする。具体的な構造として、添付-1 に外形図，添付-2 に基礎図を示す。</p> <p>(2) 解析モデル</p> <p>本評価の解析モデルを以下に示す。</p> <div data-bbox="683 1263 1075 1662" data-label="Diagram"> </div> <p>図 1-1 解析モデル</p>

説明
(続き)

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	S	—
据付設置建屋	—	R/B	—
据付設置位置	—	0. P 12, 200	mm
固有周期 (水平方向)	—		s
固有周期 (鉛直方向)	—		—
水平方向設計震度*2	C_H	0.61	—
鉛直方向設計震度*2	C_v	0.64	—

*1: 鉛直方向については、剛構造とみなした

*2: 設計震度については、動的地震力 (S_s, S_l) 及び静的地震力の最大値とする

(4) 評価条件

荷重, 固有周期・応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

項目	記号	入力値	単位
ボルト径*1	d		—
ボルト半径当たり腐食量	c	0.3	mm
据付面に作用する荷重	W		N
ボルトの本数	N		—
引張力の働くボルトの評価本数	N_t		—
据付面から重心までの距離	h		mm
ボルト間の距離	l		mm
重心位置とボルト間の距離	l_1		mm

*1: ボルト径については、谷径を入力値とする

2. 評価方法

(1) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_s = W \cdot C_H$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_s}{A_b \cdot N}$$

ここでボルトの断面積は、

$$A_b = \frac{\pi}{4} (d - 2c)^2$$

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

(2) 引張応力

ボルトに対する引張力は図 1-1 でボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_t = \frac{W \cdot \{C_H \cdot h - (1 - C_V) \cdot l_1\}}{l}$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_t}{A_b \cdot N_t}$$

3. 評価結果

(1) 応力計算について

上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。

(結果)

応力	算出応力	単位
引張	$\sigma_b = 294$	MPa
せん断	$\tau_b = 87$	MPa

(2) 許容応力について

JEAG 4601-1987 6.6.3 (3)その他機器 a. ポンプ・ブロー類 (b)横形ポンプ (iii)評価方法 ②基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき、許容応力を算出する。

なお、許容応力は使用状態によらず、保守的に許容応力状態Ⅲ_sを適用する。

許容応力算定用基準値

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

許容引張応力

$$F = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$$

$$f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right)1.5$$

許容せん断応力

$$f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)1.5$$

説 明

(続 き)

以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。

(条件)

項目	記号	入力値	単位
ボルト材質	—		—
ボルト径	d		—
評価用温度	—	50	°C
ボルト材の設計降伏点*1	S_y		MPa
ボルト材の設計引張強さ*1	S_u		MPa

*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版) (2007 年追補版)
付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 引用

(結果)

応 力	許容応力	単位
引 張	$f_{ts} = 475$	MPa
せん断	$f_{sb} = 366$	MPa

(3) 結論

上記の結果から、ボルトに発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

応 力	算出応力	許容応力	単位
引 張	$\sigma_b = 294$	$f_{ts} = 475$	MPa
せん断	$\tau_b = 87$	$f_{sb} = 366$	MPa

□内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

② 参考 (改造工事前)

前述①の評価は非常用ディーゼル発電機 (A) 室給気フィルタユニット (基礎ボルト) の改造工事後の評価である。ここでは参考として改造工事前の評価条件で評価を行った。なお、改造工事前後で変更のある評価条件のみを示している。変更のない評価条件等は前述①と同様である。評価内容を以下に示す。

1. 評価仕様

(1) 機器構造

改造前の具体的な構造として、添付-3 に外形図、添付-4 に基礎図を示す。

(2) 評価条件

以下に改造工事前後で変更のある評価条件を示す。

項目	記号	入力値	単位
ボルトの本数	N		—
引張力の働くボルトの評価本数	N_t		—
固有周期 (水平方向)	—		s
据付面から重心までの距離	h		mm

2. 評価結果

(1) 応力計算について

上記の評価条件で計算した算出応力を以下に示す。

(結果)

応力	算出応力	単位
引張	$\sigma_b = 172$	MPa
せん断	$\tau_b = 27$	MPa

(2) 結論

上記の結果から、ボルトに発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

応力	算出応力	許容応力	単位
引張	$\sigma_b = 172$	$f_{ts} = 475$	MPa
せん断	$\tau_b = 27$	$f_{sb} = 366$	MPa

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

③ 非常用ディーゼル発電機 (B) 室給気フィルタユニット

工認 認可 5「IV-2-8-2-3 コントロール建屋中央制御室換気空調系 4 号中央制御室再循環フィルタ装置の耐震性についての計算書」に基づき、中央制御室サージタンクにおける機器付基礎ボルトに対して、腐食時に地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。

非常用ディーゼル発電機 (B) 室給気フィルタユニット (基礎ボルト) の評価内容を以下に示す。

1. 評価仕様

(1) 機器構造

非常用ディーゼル発電機 (B) 室給気フィルタユニットは、箱型のフィルタ装置であり、ボルトで十分剛な基礎に固定されているものとする。具体的な構造として、添付-5 に外形図、添付-6 に基礎図を示す。

(2) 解析モデル

本評価の解析モデルを以下に示す。

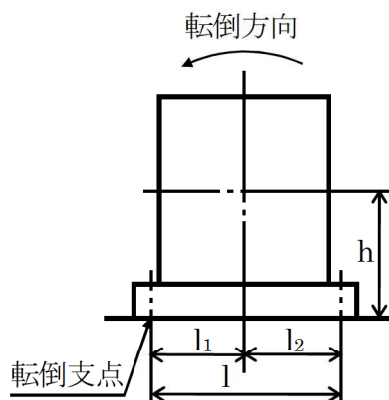


図 2-1 解析モデル

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	S	—
据付設置建屋	—	R/B	—
据付設置位置		0. P 12, 200	mm
固有周期 (水平方向)	—		s
固有周期 (鉛直方向)	—		—
水平方向設計震度*2	C_H	0. 61	—
鉛直方向設計震度*2	C_V	0. 64	—

*1 : 鉛直方向については、剛構造とみなした

*2 : 設計震度については、動的地震力 (S_s , S_i) 及び静的地震力の最大値とする

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

(4) 評価条件
荷重, 固有周期・応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

項目	記号	入力値	単位
ボルト径*1	d		—
ボルト半径当たり腐食量	c	0.3	mm
据付面に作用する荷重	W		N
ボルトの本数	N		—
引張力の働くボルトの評価本数	N_t		—
据付面から重心までの距離	h		mm
ボルト間の距離	l		mm
重心位置とボルト間の距離	l_1		mm

*1:ボルト径については, 谷径を入力値とする

2. 評価方法

(1) せん断応力

ボルトに対するせん断力は, ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_s = W \cdot C_H$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_s}{A_b \cdot N}$$

ここでボルトの断面積は,

$$A_b = \frac{\pi}{4} (d - 2c)^2$$

(2) 引張応力

ボルトに対する引張力は図 2-1 でボルトを支点とする転倒を考え, これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_t = \frac{W \cdot \{C_H \cdot h - (1 - C_v) \cdot l_1\}}{l}$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_t}{A_b \cdot N_t}$$

 内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

3. 評価結果

(1) 応力計算について

上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。

(結果)

応力	算出応力	単位
引張	$\sigma_b = 421$	MPa
せん断	$\tau_b = 90$	MPa

(2) 許容応力について

JEAG 4601-1987 6.6.3 (3)その他機器 a.ポンプ・ブロワー類 (b)横形ポンプ (iii)評価方法 ②基礎ボルトの応力評価の評価式に基づき、許容応力を算出する。

なお、許容応力は使用状態によらず、保守的に許容応力状態Ⅲ_ASを適用する。

許容応力算定用基準値

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

許容引張応力

$$F = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$$

$$f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right)1.5$$

許容せん断応力

$$f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)1.5$$

以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。

(条件)

項目	記号	入力値	単位
ボルト材質	—		—
ボルト径	d		—
評価用温度	—	50	°C
ボルト材の設計降伏点*1	S _y		MPa
ボルト材の設計引張強さ*1	S _u		MPa

*1:発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版) (2007年追補版) 付録材料図表 Part5 表8及び表9引用

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

(結果)

応力	許容応力	単位
引張	$f_{ts} = 475$	MPa
せん断	$f_{sb} = 366$	MPa

(3) 結論

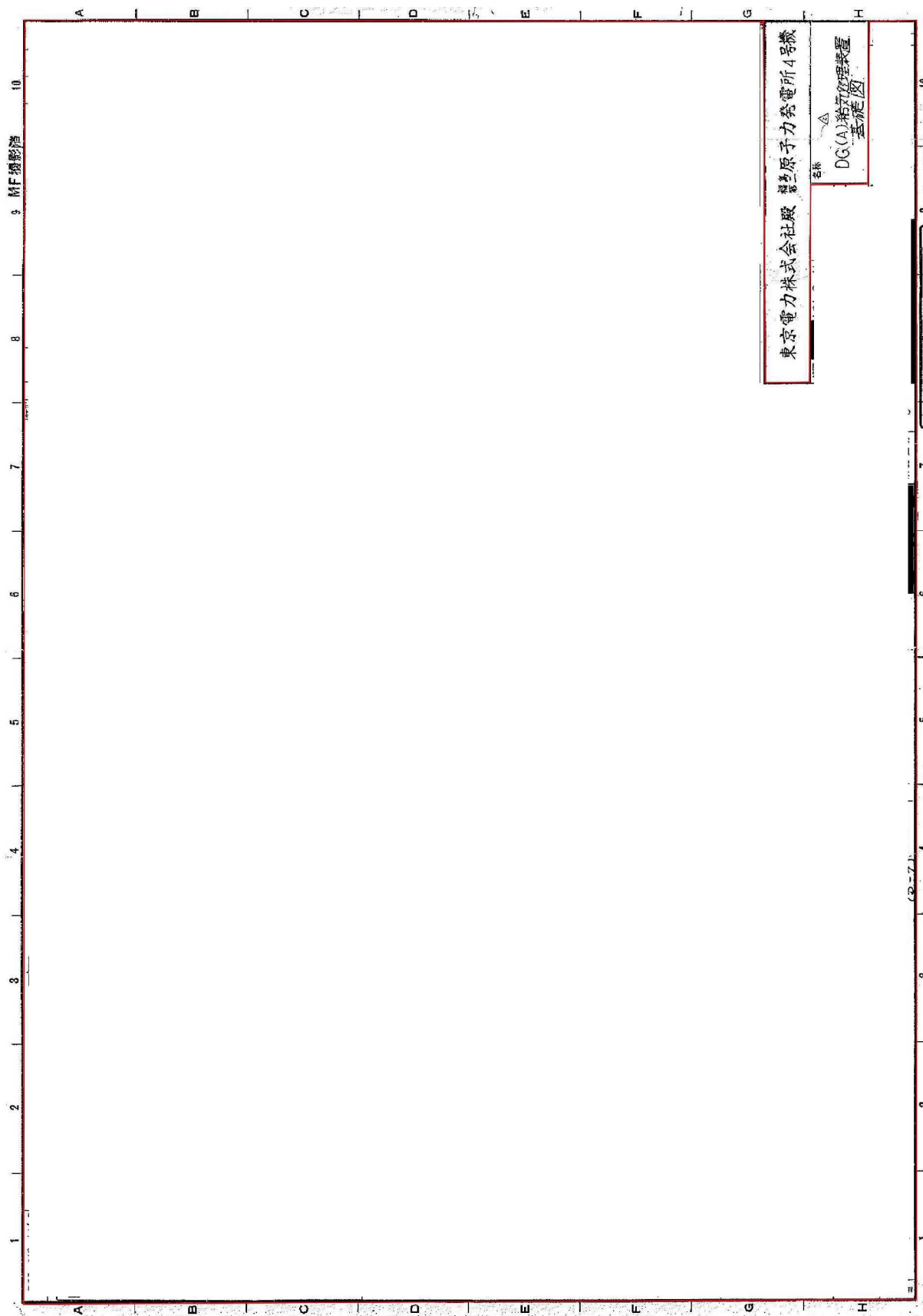
上記の結果から、ボルトに発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

応力	算出応力	許容応力	単位
引張	$\sigma_b = 421$	$f_{ts} = 475$	MPa
せん断	$\tau_b = 90$	$f_{sb} = 366$	MPa

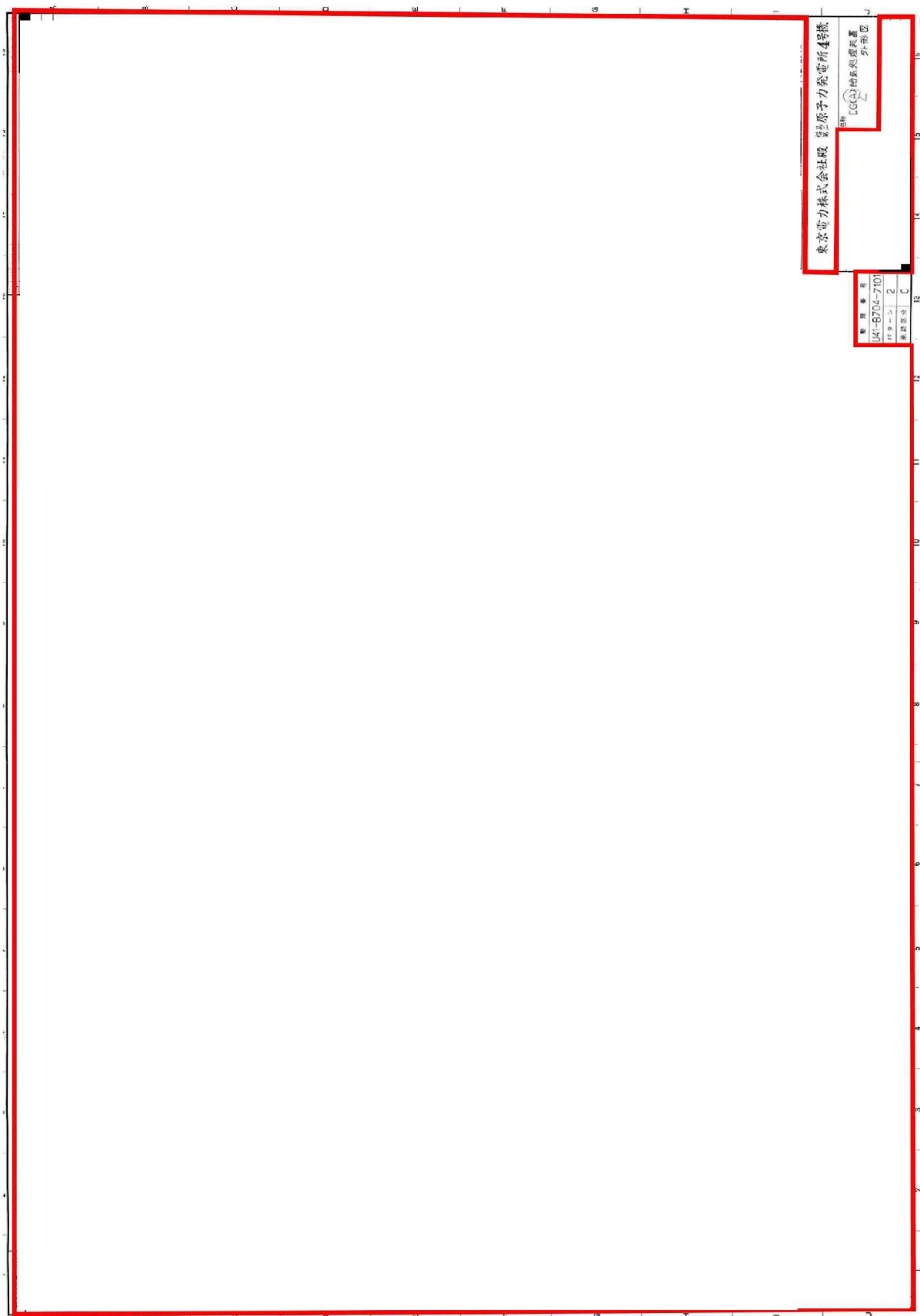
④ 添付資料

- (1) 添付-1 「DG(A)給気処理装置外形図 Rev. B」【改造工事後】
- (2) 添付-2 「DG(A)給気処理装置基礎図 Rev. B」【改造工事後】
- (3) 添付-3 「DG(A)給気処理装置外形図 Rev. A」【改造工事前】
- (4) 添付-4 「DG(A)給気処理装置基礎図 Rev. A」【改造工事前】
- (5) 添付-5 「DG(B)給気処理装置外形図」
- (6) 添付-6 「DG(B)給気処理装置基礎図」

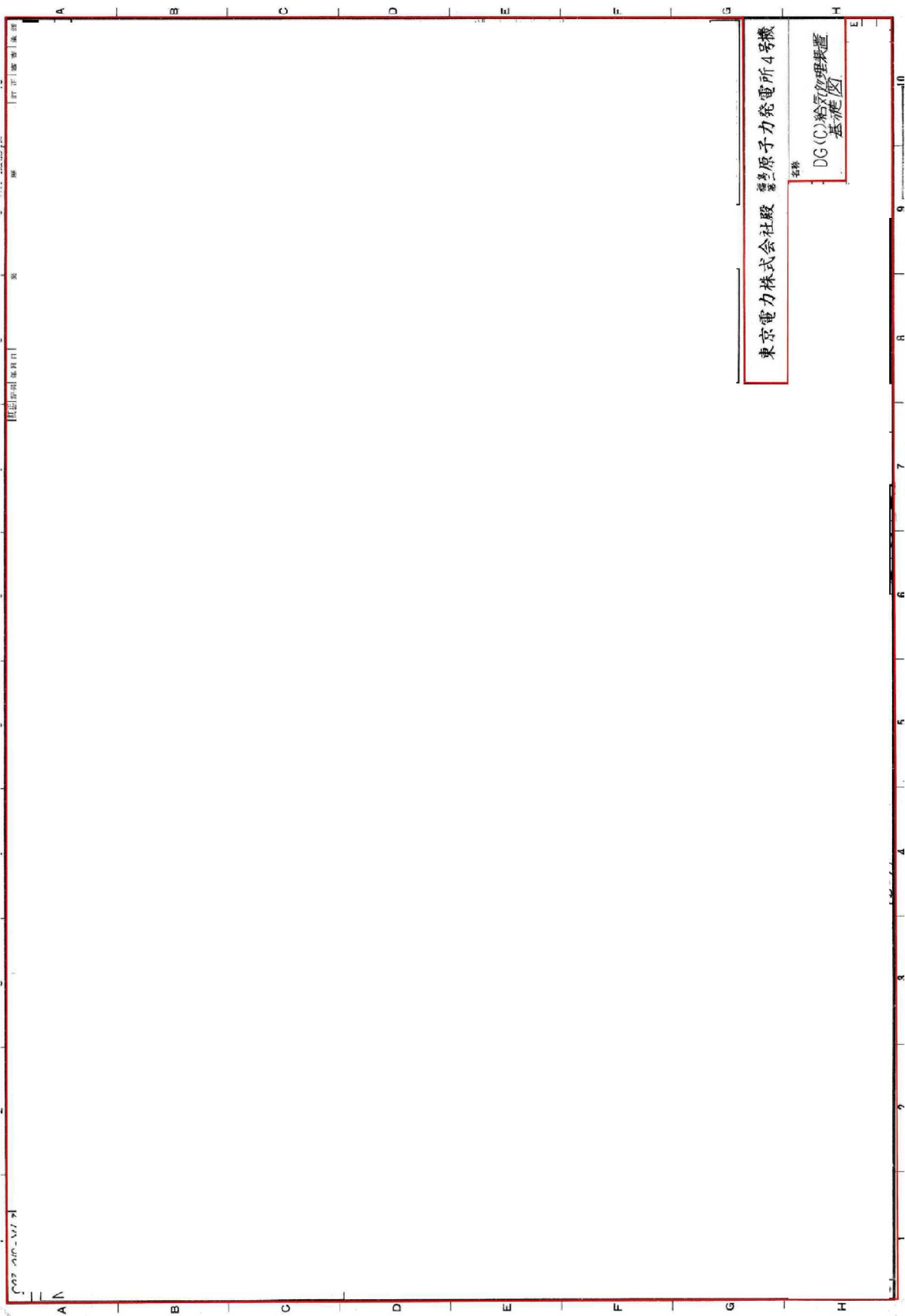
以上



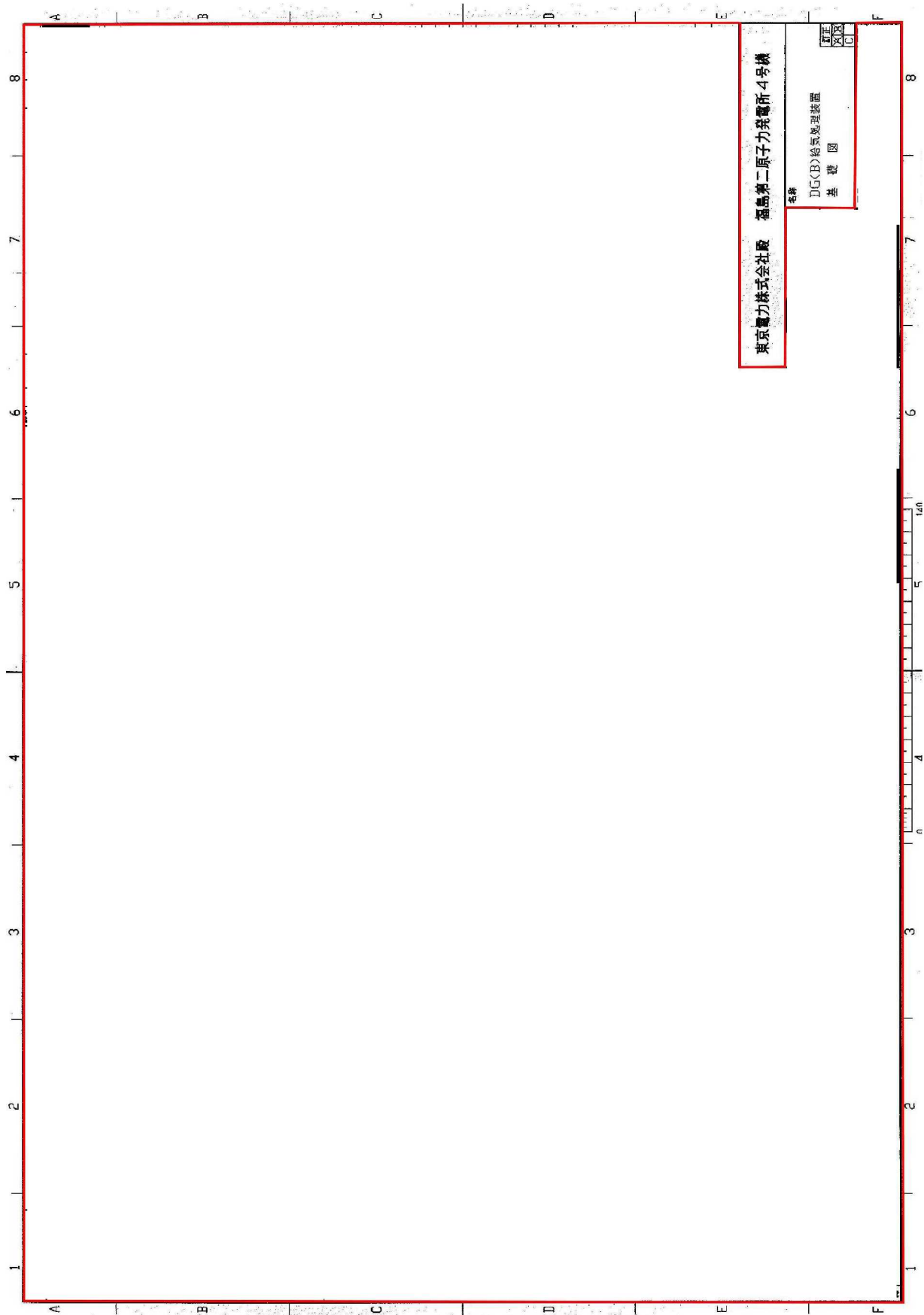
内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません

タイトル	原子炉压力容器胴の中性子照射脆化に対する冷温停止状態評価と運転状態評価の差異（耐圧試験時と炉心臨界時の差異含む）、最低温度要求（55℃、-1℃）の内容、圧力-温度制限曲線と飽和圧力温度曲線に対する線形破壊力学に基づく評価（破壊靱性値、応力拡大係数値等）について
説明	<p>本評価では、円筒胴（炉心領域）に対して、JEAC 4206-2007 FB-4000「原子炉压力容器に対する供用期間中の破壊靱性の要求」に従い、圧力-温度制限曲線を作成している。具体的な評価内容は以下の通り。</p> <p>1. 冷温停止状態と運転状態評価の差異について</p> <p>安定停止維持状態を前提とした評価であるが、耐震安全性評価書では炉心臨界時の評価結果を記載していることから、炉心臨界時及び耐圧試験時の圧力-温度制限曲線作成の際に生じる評価条件の差異を以下に示す。</p> <p>(1) 許容基準</p> <p>JEAC 4206-2007 附属書 A の A-3225 に示される通り、炉心臨界時と耐圧試験時にて許容基準が異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 供用状態 A 及び B（耐圧・漏えい試験を除く） $K_I = 2 \cdot K_{I_p} + K_{I_q} < K_{Ic}$ ・ 耐圧・漏えい試験 $K_I = 1.5 \cdot K_{I_p} + K_{I_q} < K_{Ic}$ <p>ここで、K_{I_p} は一次応力による応力拡大係数、K_{I_q} は二次応力による応力拡大係数を示す。</p> <p>(2) K_{I_t}（温度勾配によって生じる応力拡大係数）</p> <p>応力拡大係数は JEAC 4206-2007 附属書 F の F-3400 の方法を用いて計算する。なお、供用状態 A 及び B では F-3100 (3) 項に示される K_{I_t} を考慮するが、耐圧試験時は温度勾配がないため K_{I_t} は考慮不要となる。</p> <p>(3) 圧力・温度制限の要求におけるマージン</p> <p>要求温度は各内圧に対して計算された $T-RT_{NDT}$ から算出するが、炉心臨界時には JEAC 4206-2007 表-FB-4100-1 に規定されたマージンである 22℃ を加えて求める。</p> <p>以上より、安定停止維持状態とは異なるものの、圧力-温度制限曲線は耐圧試験時と比較して飽和圧力温度曲線までの裕度が小さく保守的であることから、炉心臨界時の評価結果を用いている。</p> <p>炉心臨界時及び耐圧試験時の圧力-温度制限曲線を添付-1, 2 に示す。</p>

<p>説明 (続き)</p>	<p>2. 最低温度要求 (55 °C, -1 °C) の内容について</p> <p>最低使用温度要求については、圧力-温度制限曲線と評価条件の整合を図るため JEAC 4206-2007 表-FB-4100-1 「原子炉压力容器に対する圧力・温度要求」のうち「供用状態 A 及び B」の「炉心が臨界」の項目に従って設定している。最低温度要求の評価内容を以下に示す。</p> <p>なお、ボルト締付け荷重が作用する部分の RT_{NDR} は監視試験報告書の初期値 <input type="text"/> <input type="text"/> °C を用いた。</p> <p>(1) 55 °C の制限線 (供用状態 A 及び B)</p> <p>供用前の水圧試験圧力の 20 % を超える圧力で、炉心が臨界の場合に対する制限である。ここで、本制限は「耐圧・漏えい試験」に対して要求される温度とボルト締付け荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDR}+89$ °C の高いほうを設定している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「耐圧・漏えい試験」に対して要求される温度 <p>⇒ $RT_{NDR}+50$ °C = <input type="text"/> °C + <input type="text"/> °C = <input type="text"/> °C</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ボルト締付け荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDR}+89$ °C <p>⇒ $RT_{NDR}+89$ °C = <input type="text"/> °C + <input type="text"/> °C = <input type="text"/> °C</p> <p>(2) -1 °C の制限線 (供用状態 A 及び B)</p> <p>供用前の水圧試験圧力の 20 % 以下の圧力で、炉心が臨界の場合 (沸騰水型原子炉压力容器において、通常水位内での運転がなされる場合) に対する制限である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ボルト締付け荷重が作用する部分の材料の最も高い $RT_{NDR}+33$ °C <p>⇒ $RT_{NDR}+33$ °C = <input type="text"/> °C + <input type="text"/> °C = <input type="text"/> °C</p> <p>上記により求めた最低使用温度要求値、保安規定の管理値及び圧力-温度制限曲線を複合し、安全側となるように運転上の制限を管理している。</p>
--------------------	---

内は商業機密に属しますので公開できません

説明
(続き)

3. 圧力-温度制限曲線における線形破壊力学に基づく評価について

圧力-温度制限曲線の作成に用いる要求温度は、JEAC 4206-2007 附属書 A の A-3222 に記載の静的破壊靱性 K_{IC} を RT_{NDT} を基準にした温度の関数とした下記の式から求める。

$$K_{IC} = 36.48 + 22.78 \exp[0.036(T - RT_{NDT})]$$

要求温度は上記式を変形した下記の式により求められる。

$$T = RT_{NDT} + \frac{1}{0.036} \ln\left(\frac{K_{IC} - 36.48}{22.78}\right)$$

ここで、任意の運転状態において線形破壊力学に基づき求めた K_I を、 に置き換えることにより、運転上の要求温度（マージンを含む）を決定している。

参考として、耐震安全性評価書 図 3.4-1 に記載の圧力-温度制限曲線のうち制限温度の厳しくなるケース①及び②の評価結果を用いて、平成 29 年 3 月 17 日時点での使用済み燃料プール水温に最も近い要求温度（マージン含む）が求められた応力拡大係数 K_I を一例として示す。

表 1 評価結果

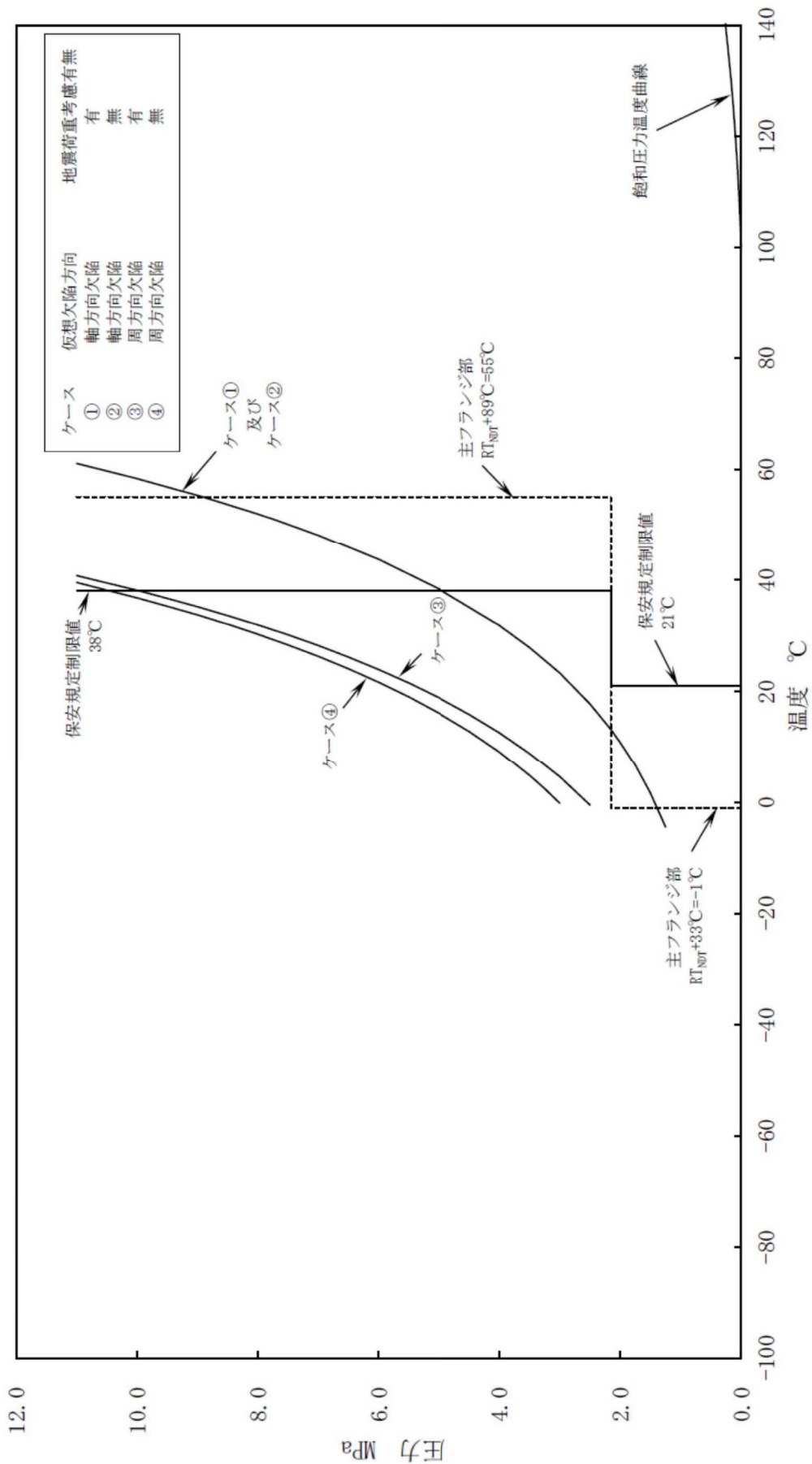
項目	パラメータ
評価ケース	① (炉心臨界時, 軸方向欠陥, 地震荷重あり) ② (炉心臨界時, 軸方向欠陥, 地震荷重なし)
使用済み燃料プール水温	28.4 °C
内圧	<input type="text"/> MPa
要求温度 (マージン含む)	<input type="text"/> °C
応力拡大係数 K_I <input type="text"/>	<input type="text"/> MPa√m ^{*1*2}

*1 : JEAC 4206-2007 附属書 F に基づき算出した値

*2 : 地震荷重による応力拡大係数 (軸方向欠陥: MPa√m) を含んだ値
なお、評価ケース③及び④での周方向欠陥では地震荷重による応力拡大係数は MPa√m となる。

内は商業機密に属しますので公開できません

<p>説 明 (続 き)</p>	<p>4. 評価結果 安定停止維持状態における原子炉冷却材温度は管理されており，ここまでの評価内容により炉心臨界時を想定して求めた保守的な温度・圧力制限曲線を満足していることから，中性子照射脆化に対する耐震性を考慮した制限に対し，十分な安全性が確保されていると判断する。</p> <p>5. 添付資料 (1) 添付-1：「圧力－温度制限曲線（炉心領域円筒胴，炉心臨界時）」 (2) 添付-2：「圧力－温度制限曲線（炉心領域円筒胴，耐圧試験時）」</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>
----------------------	---





圧力－温度制限曲線（炉心領域円筒胴，耐圧試験時）

内は商業機密に属しますので公開できません