

No.	2F4-耐震 8_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（共通）
タイトル	安定停止の維持状態で動的機能維持が必要となる機器とその理由，並びに個別機器ごとの動的機能維持評価の記載方針について	
説明	<p>原子炉の安定停止を維持するため，原子炉冷却材バウンダリの維持や炉心からの崩壊熱の除去等に関する機能は必要であることから，地震時または地震後に動作可能なことを確認するため動的機能維持評価を行う。</p> <p>安定停止維持設備のうち，動的機能維持評価の必要な対象設備は「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）」を参考に抽出している。主な評価対象機器を添付資料 2F4-耐震 8-①_Rev. 1 に示す。</p> <p>個別機器ごとの動的機能維持の評価では，動的機能維持が必要な機器に対して，発生の可能性が否定できないと評価される経年劣化事象について，以下のいずれかの評価結果により機器の地震時の動的機能が維持されることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 技術評価での検討の結果，現在発生しているか，または将来にわたって起こることが否定できない事象であるが，機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できること。</li> <li>② 運転開始後 40 年時点の経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施し，地震時または地震後の動的機能に影響を与えないこと。</li> </ul> <p>添付資料  (1) 2F4-耐震 8-①_Rev. 1  「安定停止維持状態における動的機能維持評価の対象機器 Rev. 1」</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

安定停止維持状態における動的機能維持評価の対象機器 Rev.1

No.	評価理由	動的機能維持評価の主な評価対象機器	主な評価部位と経年劣化事象	事象区分	
1	RPVバウンダリを構成する弁のうち、その健全性を維持するため	主蒸気系弁	①弁箱の疲労割れ ②弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ③電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下 ④炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）※2	①◎※1 ②■ ③耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象 ④◎※3	
2		給水系弁			
3		原子炉冷却材浄化系弁			
4	炉心から崩壊熱を除去するため	高圧炉心スプレイ系弁	①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
6		低圧炉心スプレイ系弁			
8		残留熱除去系弁			
5		高圧炉心スプレイ系ポンプ			①主軸等の摩耗 ②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）
7		低圧炉心スプレイ系ポンプ			
9		残留熱除去系ポンプ			
10		非常用補機冷却水ポンプ			
11		非常用ディーゼル機関（A、B号機）	①シリンダヘッド等の腐食（全面腐食） ②燃料移送ポンプモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
12		HPCSディーゼル機関			
13		非常用ディーゼル機関（A、B号機）付属設備			
14		HPCSディーゼル機関付属設備			
15		放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部拡散を抑制するため	残留熱除去系弁	①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象
16			残留熱除去系ポンプ	①主軸等の摩耗 ②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）	①■ ②■
19			非常用補機冷却水ポンプ	①弁（電動弁駆動部）のステムナット及びギアの摩耗 ②プロ用モータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象
17	可燃性ガス濃度制御系設備				
18	非常用ガス処理系換気ファン		①ファンモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
20	非常用ディーゼル機関（A、B号機）		①シリンダヘッド等の腐食（全面腐食） ②燃料移送ポンプモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象	
21	HPCSディーゼル機関				
22	非常用ディーゼル機関（A、B号機）付属設備				
23	HPCSディーゼル機関付属設備				
24	使用済み燃料プール水を補給するため		残留熱除去系弁	①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） ②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下	①■ ②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象
25			残留熱除去系ポンプ	①主軸等の摩耗 ②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）	①■ ②■

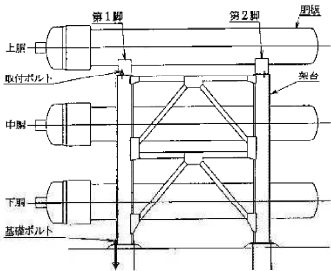
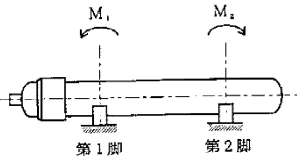
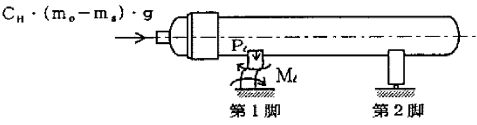
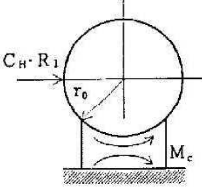
◎：機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できない事象

■：機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できる事象

※1：弁箱の疲労割れは、耐震安全性上考慮する必要がある経年劣化事象であるが、疲れ累積係数が許容値を満足しており疲労割れは発生しないため、振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している。

※2：炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）は、静的機器の経年劣化事象であるが、動的機能維持評価の対象機器に影響を与える可能性があることから抽出する。

※3：炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）は、耐震安全性上考慮する必要がある経年劣化事象であるが、配管に接続される動的機能維持評価の対象弁の応答加速度が機能確認済み応答加速度以下であることを確認しており、動的機能に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している。

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
タイトル	原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の胴の腐食（全面腐食）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	
説明	<p>JEAG4601-1987に基づき、原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の各部位（第1脚つけ根部、第2脚つけ根部）に対して胴の腐食（全面腐食）時に、地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。以下に、その具体的内容を示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>原子炉冷却材浄化系再生熱交換器は、横置円筒形容器であり、3個の胴が架台に三段重ねられた構造となっている。各胴は2個の脚で支持され、脚はそれぞれ取付ボルトで架台に固定されている。ただし、2個の脚のうち第2脚は胴の長手方向について架台に対してスライドできる構造となっている。添付資料2F4-耐震 10-①に原子炉冷却材浄化系再生熱交換器構造図を示す。</p> <p>(2) 解析モデルと計算条件</p> <p>本評価では、評価対象機器の胴部の腐食を想定しており、脚の胴へのつけ根部に作用する荷重により生じる局部応力について評価している。</p> <p>本評価対象の概略図、胴に生じるモーメント、脚が胴に及ぼす力の関係及び荷重状態を図1-1～6に示す。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>図 1-1 概略図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図 1-2 脚の位置での曲げモーメント</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>図 1-3 長手方向荷重により胴が受ける局部モーメント</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図 1-4 横方向荷重により胴が受ける局部モーメント</p> </div> </div>	

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
-----	------------------	------------------

説明  
(続き)

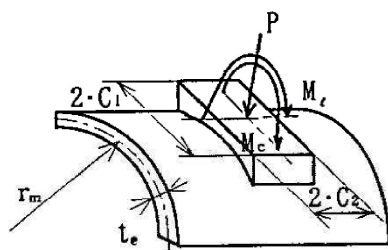


図 1-5 脚が胴に及ぼす力の関係

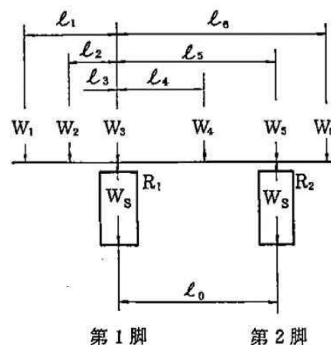


図 1-6 荷重状態

(3) 耐震条件

項目	記号	入力値	単位
耐震重要度	—	B	—
クラス区分	—	クラス 3	—
据付設置建屋	—	原子炉建屋	—
据付設置位置	—	O. P. 31, 800*1	mm
水平方向固有周期	T	<span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 50px; height: 15px;"></span>	s
水平方向設計震度*4	C <sub>H</sub>	0.40*3	—

\*1：基準床レベルを示す

\*2：建設時工認に記載の固有周期。「(5) 水平方向固有周期の設定方法」参照

\*3：固有周期が柔であるため、固有周期に対する床応答スペクトルにおける水平震度の 1/2 を設計震度とする

\*4：水平方向設計震度は、動的地震力 (1/2S<sub>D</sub>) と静的地震力 (1.8C<sub>H</sub>) を比較し、最大値を評価用震度とする

(4) 評価概要

本評価では、JEAG4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」に示される応力の計算方法に基づき、評価部位（胴の脚つけ根部）への腐食を想定した場合の発生応力を評価している。

(5) 水平方向固有周期の設定方法

固有周期は、建設時工認において算出された値を採用している。

JEAG4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」では胴単体を 1 質点系モデルとして固有周期を算出するが、工認は胴、脚及び架台からなる系全体を多質点系モデルとして算出している。評価対象機器は図 1-1 に示す構造であることから、工認記載値の採用が妥当であると判断した。

JEAG4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」における固有周期計算モデル及び工認における固有周期計算モデルを、図 1-7、図 1-8 に示す。

内は商業機密に属しますので公開できません

説明  
(続き)

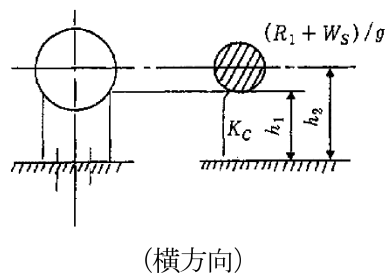
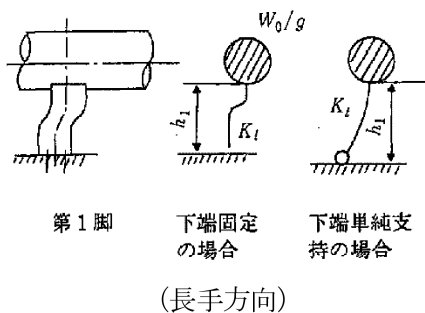


図 1-7 JEAG の固有周期計算モデル

図 1-8 工認の固有周期計算モデル

(6) 評価条件

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	備考
最高使用圧力	$P_r$	10.0	MPa	
最高使用温度	$T_h$	302	℃	
胴の内径（腐食前）	$D_{i0}$		mm	
胴の板厚（腐食前）	$t_0$		mm	
内面腐食量	$\delta$	0.8	mm	
胴の内径（腐食後）	$D_i$		mm	$D_{i0} + \delta \times 2$
胴の板厚（腐食後）	$t$		mm	$t_0 - \delta$
胴の外径	$D_o$		mm	$D_{i0} + t_0 \times 2$
第1脚つけ根部における胴の外半径	$r_o$		mm	$D_i / 2 + t_e$
第1脚つけ根部における胴の有効板厚	$t_e$		mm	胴の板厚 $t$
第1脚つけ根部における胴の平均半径	$r_m$		mm	$(D_i + t_e) / 2$
第1脚の質量	$m_{s1}$		kg	
容器の運転時質量	$m_0$		kg	
容器各部の質量 1	$m_1$		kg	
容器各部の質量 2	$m_2$		kg	

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1		分類：耐震安全性評価（熱交換器）				
説明 (続き)	項目	記号	入力値	単位	備考		
	容器各部の質量 3	$m_3$		kg			
	容器各部の質量 4	$m_4$		kg			
	容器各部の質量 5	$m_5$		kg			
	容器各部の質量 6	$m_6$		kg			
	第 1 脚から各荷重までの距離	$l_1$		mm			
	第 1 脚から各荷重までの距離	$l_2$		mm			
	第 1 脚から各荷重までの距離	$l_3$		mm			
	第 1 脚から各荷重までの距離	$l_4$		mm			
	第 1 脚から各荷重までの距離	$l_5$		mm			
	第 1 脚から各荷重までの距離	$l_6$		mm			
	脚中心間距離	$l_0$		mm			
	重力加速度	$g$		9.80665	$m/s^2$		
	第 1 脚つけ根部における胴の回転時質量によるモーメント	$M_1$		$N \cdot mm$			
	第 1 脚の受ける荷重	$R_1$		N			
	架台の取付部から脚の胴つけ根部までの高さ	$h_1$		mm			
	架台の取付部から胴の中心までの高さ	$h_2$		mm			
	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2(胴の横方向)	$C_1$		mm			
	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2(胴の長手方向)	$C_2$		mm			
	第 1 脚下端の支持条件*1	—		—			
	*1：脚を架台に固定する取付ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚 1 個につき 1 列の場合は下端を単純支持とする。その他の場合は固定とする						
	参考文献 (1) によるアタッチメントパラメータの計算値を以下に示す。						
	項目	記号		入力値	単位	備考*1	
シェルパラメータ	$\gamma$		—	$r_m/t_e$			
アタッチメントパラメータ	$\beta_1$		—	$C_1/r_m$			
	$\beta_2$		—	$C_2/r_m$			
	$\beta_\theta$		—	$(\beta_1 \cdot \beta_2^2)^{(1/3)}$			
	$\beta_c$		—	$(\beta_1^2 \cdot \beta_2)^{(1/3)}$			
	$\beta_{N\phi}$		—	$\{1-1/3 \cdot (\beta_1/\beta_2-1) (1-K_1^{N\phi})\} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2)^{(1/2)}$			
	$\beta_{Nx}$		—	$\{1-1/3 \cdot (\beta_1/\beta_2-1) (1-K_1^{Nx})\} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2)^{(1/2)}$			
*1：各応力計算で用いるアタッチメントパラメータの計算式を記載							

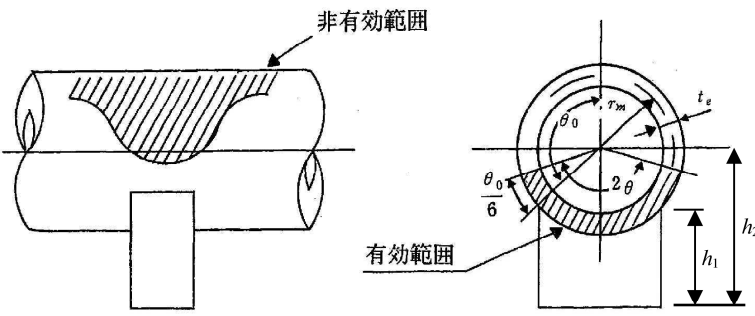
内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）			
説明 (続 き)	シェルパラメータ及びアタッチメントパラメータから参考資料(1)より得た値を以下に示す。				
	項目	記号	入力値	単位	備考*1
	WRC によるアタッチメントパラメータ $\beta_{N\phi}$ の周方向の補正係数	$K_I^{N\phi}$		—	Table 6
	WRC によるアタッチメントパラメータ $\beta_{Nx}$ の軸方向の補正係数	$K_I^{Nx}$		—	Table 6
	WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ に対する周方向一次応力補正係数	$C_c^{N\phi}$		—	Table 7
	WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ に対する軸方向一次応力補正係数	$C_c^{Nx}$		—	Table 7
	WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ に対する周方向一次応力補正係数	$C_\theta^{N\phi}$		—	Table 8
	WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ に対する軸方向一次応力補正係数	$C_\theta^{Nx}$		—	Table 8
	WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (M_c / r_m^2 \beta_c)]$		—	Fig. 3A
	WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ による軸方向一次応力係数	$[N_x / (M_c / r_m^2 \beta_c)]$		—	Fig. 4A
	WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (M_\theta / r_m^2 \beta_\theta)]$		—	Fig. 3B
	WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ による軸方向一次応力係数	$[N_x / (M_\theta / r_m^2 \beta_\theta)]$		—	Fig. 4B
	WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (P / r_m)]$		—	Fig. 3C*2
	WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による軸方向一次応力係数	$[N_x / (P / r_m)]$		—	Fig. 3C*2
	WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による周方向一次応力係数	$[N_\phi / (P / r_m)]$		—	Fig. 4C*2
WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 P による軸方向一次応力係数	$[N_x / (P / r_m)]$	—		Fig. 4C*2	
*1：参考文献(1)より得られる値の読み取り元である図表番号を記載					
*2：Fig. 3C と Fig. 4C を比較して、それぞれ大きな係数を採用					

□内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
説明 (続 き)	<p>2. 応力評価</p> <p>(1) 胴の応力</p> <p>① 脚の受ける重量</p> <p>脚にかかる質量は、モーメントの釣合より求める。図 1-3 において第 1 脚まわりのモーメントの釣合より次式が成り立つ。</p> $\sum_{i=1}^6 m_i g l_i - R_2 l_0 = 0$ <p>したがって、脚の受ける質量は、次式によって与えられる。</p> $R_2 = \sum_{i=1}^6 m_i g l_i / l_0$ $R_1 = \sum_{i=1}^6 m_i g - R_2$ <p>② 曲げモーメント</p> <p>図 1-6 に示すように胴は集中荷重を受けるはりとして考える。</p> <p>図 1-2 において脚つけ根部における曲げモーメント <math>M_1</math>, <math>M_2</math> は、次式によって与えられる。</p> $M_1 = \sum_{i=1}^2 m_i g  l_i $ $M_2 = m_6 g  l_6 - l_0 $ <p>(2) 内圧による応力</p> <p>内圧による応力 <math>\sigma_{\phi 1}</math>, <math>\sigma_{x1}</math> は以下の式によって求まる。</p> $\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r (D_i + 1.2t)}{2t}$ $\sigma_{x1} = \frac{P_r (D_i + 1.2t)}{4t}$	



No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
説明 (続 き)	<p>(3) 運転時重量により生じる長手方向曲げモーメントによる応力</p> <p>脚つけ根の部分における曲げモーメントにより生じる応力は、次のように求める。参考文献(2)によると、曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置換され、胴の局部変形を生じさせようとする。</p> <p>今、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 <math>\theta_0/6</math> の点とすると、長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は、図 1-9 に <math>2\theta</math> で示される円殻となる。したがって、応力は次式で表される。</p> $\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z}$ <p>ここで、</p> $r_m = \frac{D_i + t_e}{2}$ $Z = r_m^2 t_e \left( \frac{\theta + \sin \theta \cos \theta - 2 \sin^2 \theta / \theta}{\sin \theta / \theta - \cos \theta} \right)$ <div style="text-align: center;">  </div> <p>図 1-9 脚つけ根部の有効範囲</p> <p>(4) 運転時重量による脚つけ根部の応力解析モデルと計算条件</p> <p>胴の脚つけ根部には、脚反力による局部応力が生じる。胴の第1脚つけ根部に作用する反力は、次式で表される。</p> $P = R_1$ <p>この反力 P により生じる胴の局部応力は、次式で表される。</p> $\sigma_{\phi 3} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P/r_m} \right] \left( \frac{P}{r_m t_e} \right)$ $\sigma_{x3} = \left[ \frac{N_x}{P/r_m} \right] \left( \frac{P}{r_m t_e} \right)$	

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
<p>説明 (続 き)</p>	<p>(5) 長手方向地震による脚つけ根部の応力</p> <p>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 1-3 のように変形し、また、脚下端が <span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> であることから、脚つけ根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重（偶力）は次式により与えられる。</p> $M_\ell = C_H (m_0 - m_{s1}) g h_1$ $P_\ell = C_H (m_0 - m_{s1}) g \frac{h_2}{\ell_0}$ <p>曲げモーメント <math>M_\ell</math> と鉛直荷重 <math>P_\ell</math> により生じる胴の局部応力は参考文献(1)より求められる。曲げモーメント <math>M_\ell</math> により生じる応力は</p> $\sigma_{\phi 41} = \left[ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m^2 \beta_\ell)} \right] \left( \frac{M_\ell}{r_m^2 \beta_\ell t_e} \right) C_\ell^{N\phi}$ $\sigma_{x 41} = \left[ \frac{N_x}{M_\ell / (r_m^2 \beta_\ell)} \right] \left( \frac{M_\ell}{r_m^2 \beta_\ell t_e} \right) C_\ell^{Nx}$ <p>鉛直荷重 <math>P_\ell</math> により生じる応力は</p> $\sigma_{\phi 42} = \left[ \frac{N_\phi}{P_\ell / r_m} \right] \left( \frac{P_\ell}{r_m t_e} \right)$ $\sigma_{x 42} = \left[ \frac{N_x}{P_\ell / r_m} \right] \left( \frac{P_\ell}{r_m t_e} \right)$ <p>ここで、鉛直荷重 <math>P_\ell</math> による一次応力係数は、(4)の反力 P による一次応力係数と同様の値を用いる。</p> <p>また、水平方向荷重により胴には下記式で表される引張力が生じる。</p> $\sigma_{x 43} = \frac{C_H (m_0 - m_{s1}) g}{\pi (D_i + t)}$ <p>したがって、曲げモーメント <math>M_\ell</math>、鉛直力 <math>P_\ell</math> 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式の通り。</p> $\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42}$ $\sigma_{x 4} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 43}$ <p>また、長手方向の地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式の通り。</p> $\tau_\ell = \frac{C_H (m_0 - m_{s1}) g}{4 C_2 t}$	

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）
<p>説明 (続 き)</p>	<p>(6) 横方向地震による脚つけ根部の応力 横方向の地震が作用した場合、第1脚のつけ根部に生じる曲げモーメント <math>M_c</math> は次式の通り。  <math display="block">M_c = C_H R_1 r_o</math> この曲げモーメント <math>M_c</math> により生じる胴の局部応力は、参考文献(1)により求められる。  <math display="block">\sigma_{\phi 5} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \beta_c)} \right] \left( \frac{M_c}{r_m^2 \beta_c t_e} \right) C_c^{N_{\phi}}</math> <math display="block">\sigma_{x5} = \left[ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta_c)} \right] \left( \frac{M_c}{r_m^2 \beta_c t_e} \right) C_c^{N_x}</math> また、横方向に地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式の通り。  <math display="block">\tau_c = \frac{C_H R_1}{4C_1 t}</math> (7) 組合せ応力 (2)～(6)によって算出された第1脚つけ根部に生じる胴の応力は、以下により組合せられる。  ① 一次一般膜応力  (a) 長手方向地震が作用した場合  <math display="block">\sigma_{0\ell} = \text{Max}(\sigma_{0\ell\phi}, \sigma_{0\ell x})</math> ここで、  <math display="block">\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1}</math> <math display="block">\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x43}</math> (b) 横方向地震が作用した場合  <math display="block">\sigma_{0c} = \text{Max}(\sigma_{0c\phi}, \sigma_{0cx})</math> ここで、  <math display="block">\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1}</math> <math display="block">\sigma_{0cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2}</math> </p>	

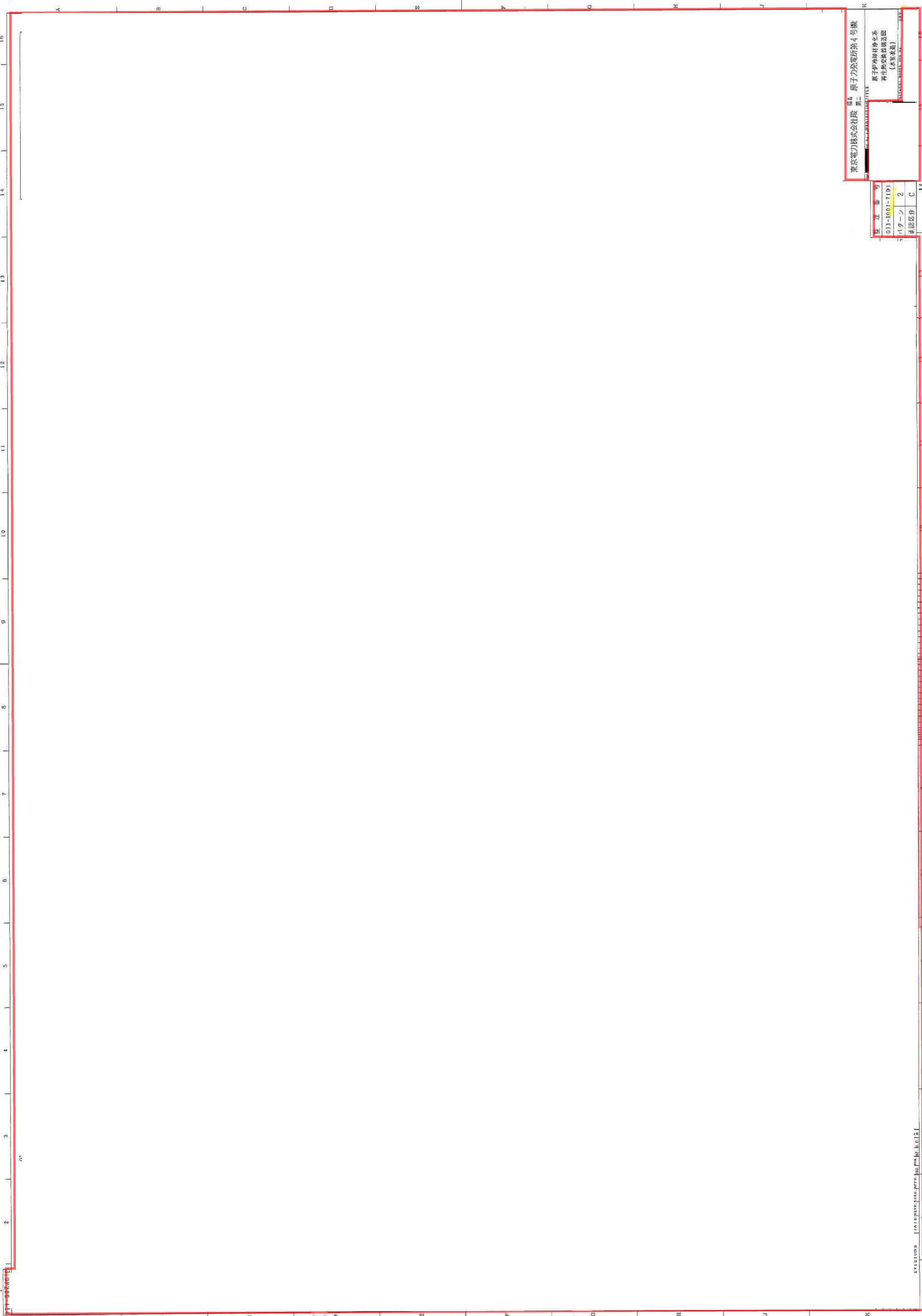
No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）								
<p>説明 (続き)</p>	<p>したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は次式の通り。  <math display="block">\sigma_0 = \text{Max}(\sigma_{0\ell}, \sigma_{0c})</math></p> <p>② 一次応力</p> <p>(a) 長手方向地震が作用した場合</p> $\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4\tau_{\ell}^2} \right\}$ <p>ここで、</p> $\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4}$ $\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4}$ <p>(b) 横方向地震が作用した場合</p> $\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4\tau_c^2} \right\}$ <p>ここで、</p> $\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5}$ $\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5}$ <p>したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は次式の通り。  <math display="block">\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{1\ell}, \sigma_{1c})</math></p> <p>3. 評価結果</p> <p>(1) 応力計算について</p> <p>「2. 応力評価」における計算によって求められた算出応力を以下に示す。</p> <p>① 胴に生じる応力の最大値</p> <p style="text-align: right;">単位：MPa</p> <table border="1" data-bbox="480 1429 1369 1554"> <thead> <tr> <th>許容応力状態</th> <th>応力</th> <th>算出応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">B<sub>1</sub>S</td> <td>一次一般膜 <math>\sigma_0</math></td> <td>101</td> </tr> <tr> <td>一次 <math>\sigma_1</math></td> <td>115</td> </tr> </tbody> </table>		許容応力状態	応力	算出応力	B <sub>1</sub> S	一次一般膜 $\sigma_0$	101	一次 $\sigma_1$	115
許容応力状態	応力	算出応力								
B <sub>1</sub> S	一次一般膜 $\sigma_0$	101								
	一次 $\sigma_1$	115								

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）																																																	
説明 (続き)	② 設計震度による応力の組合せ (a) 一次一般膜応力																																																		
	単位：MPa																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>地震の方向</th> <th colspan="2">長手方向</th> <th colspan="2">横方向</th> </tr> <tr> <th>応力の方向</th> <th>周方向</th> <th>軸方向</th> <th>周方向</th> <th>軸方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>内圧による応力</td> <td><math>\sigma_{\phi 1} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x1} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\phi 1 =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x1} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>運転時質量による 長手方向曲げモーメントによる応力</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td><math>\sigma_{x2} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td style="text-align: center;">-</td> <td><math>\sigma_{x2} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>地震による 応力</td> <td>引張</td> <td><math>\sigma_{x43} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>和</td> <td><math>\sigma_{0l\phi} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{0lx} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{0c\phi} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{0cx} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>組合せ応力</td> <td colspan="2" style="text-align: center;"><math>\sigma_{0l} = 101</math></td> <td colspan="2" style="text-align: center;"><math>\sigma_{0c} = 101</math></td> </tr> </tbody> </table>			地震の方向	長手方向		横方向		応力の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\phi 1 =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	運転時質量による 長手方向曲げモーメントによる応力	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	地震による 応力	引張	$\sigma_{x43} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	-	-	和	$\sigma_{0l\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{0lx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{0c\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{0cx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	組合せ応力	$\sigma_{0l} = 101$		$\sigma_{0c} = 101$															
地震の方向	長手方向		横方向																																																
応力の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向																																															
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\phi 1 =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
運転時質量による 長手方向曲げモーメントによる応力	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
地震による 応力	引張	$\sigma_{x43} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	-	-																																															
和	$\sigma_{0l\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{0lx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{0c\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{0cx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
組合せ応力	$\sigma_{0l} = 101$		$\sigma_{0c} = 101$																																																
(b) 一次応力																																																			
単位：MPa																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>地震の方向</th> <th colspan="2">長手方向</th> <th colspan="2">横方向</th> </tr> <tr> <th>応力の方向</th> <th>周方向</th> <th>軸方向</th> <th>周方向</th> <th>軸方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>内圧による応力</td> <td><math>\sigma_{\phi 1} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x1} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{\phi 1} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x1} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>運転時質量による 長手方向曲げモーメントによる応力</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td><math>\sigma_{x2} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td style="text-align: center;">-</td> <td><math>\sigma_{x2} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>運転時質量による 脚反力による応力</td> <td><math>\sigma_{\phi 3} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x3} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{\phi 3} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x3} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">地震による 応力</td> <td rowspan="3">引張</td> <td><math>\sigma_{\phi 41} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td rowspan="3"><math>\sigma_{\phi 5} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x41} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_{\phi 42} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x42} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_{\phi 43} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{x43} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>せん断</td> <td><math>\tau_l =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td></td> <td><math>\tau_c =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>和</td> <td><math>\sigma_{1l\phi} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{1lx} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{1c\phi} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> <td><math>\sigma_{1cx} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>組合せ応力</td> <td colspan="2" style="text-align: center;"><math>\sigma_{1l} = 115</math></td> <td colspan="2" style="text-align: center;"><math>\sigma_{1c} =</math> <input style="border: 1px solid red;" type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>			地震の方向	長手方向		横方向		応力の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	運転時質量による 長手方向曲げモーメントによる応力	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	運転時質量による 脚反力による応力	$\sigma_{\phi 3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	地震による 応力	引張	$\sigma_{\phi 41} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 5} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x41} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 42} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x42} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 43} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x43} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>		せん断	$\tau_l =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>		$\tau_c =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	和	$\sigma_{1l\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{1lx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{1c\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{1cx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	組合せ応力	$\sigma_{1l} = 115$		$\sigma_{1c} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	
地震の方向	長手方向		横方向																																																
応力の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向																																															
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x1} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
運転時質量による 長手方向曲げモーメントによる応力	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	-	$\sigma_{x2} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
運転時質量による 脚反力による応力	$\sigma_{\phi 3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x3} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
地震による 応力	引張	$\sigma_{\phi 41} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{\phi 5} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{x41} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
		$\sigma_{\phi 42} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>		$\sigma_{x42} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
		$\sigma_{\phi 43} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>		$\sigma_{x43} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
	せん断	$\tau_l =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>		$\tau_c =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
和	$\sigma_{1l\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{1lx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{1c\phi} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>	$\sigma_{1cx} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																															
組合せ応力	$\sigma_{1l} = 115$		$\sigma_{1c} =$ <input style="border: 1px solid red;" type="text"/>																																																

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 10_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（熱交換器）																																									
説明 (続き)	<p>(2) 許容応力について            JEAG4601-1987「表 6.3.3-8 容器, 管, 及びポンプの許容応力 第4種容器」に基づき, 許容応力を算出する。            以下に, 算出に用いる算出条件及び算出結果を示す。</p> <p>① 許容応力の算出条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>胴材料</td> <td>—</td> <td>SB49</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>—</td> <td>302</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>胴材料の設計降伏点*1</td> <td><math>S_y</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>胴材料の設計引張強さ*1</td> <td><math>S_u</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*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</p> <p>② 許容応力の算出結果</p> <p style="text-align: right;">単位：MPa</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>許容応力状態</th> <th>一次一般膜</th> <th>一次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>B_{AS}</math></td> <td>Min (<math>S_y, 0.6S_u</math>)</td> <td><math>S_y</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td>198</td> <td>198</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 結論            上記の結果から, 原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の胴に発生する応力が許容応力を満足することを確認した。</p> <p style="text-align: right;">単位：MPa</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>許容応力状態</th> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><math>B_{AS}</math></td> <td>一次一般膜</td> <td>101</td> <td>198</td> </tr> <tr> <td>一次</td> <td>115</td> <td>198</td> </tr> </tbody> </table> <p>4. 添付資料            (1) 2F4-耐震 10-①「原子炉冷却材浄化系再生熱交換器 構造図」            (2) 2F4-耐震 10-②「水平方向設計震度の設定方法」</p> <p>5. 参考文献            (1) Wichman, K.R. et al. : Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.            (2) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.</p> <p style="text-align: right;">以上</p>			項目	記号	入力値	単位	胴材料	—	SB49	—	最高使用温度	—	302	°C	胴材料の設計降伏点*1	$S_y$		MPa	胴材料の設計引張強さ*1	$S_u$		MPa	許容応力状態	一次一般膜	一次	$B_{AS}$	Min ( $S_y, 0.6S_u$ )	$S_y$		198	198	許容応力状態	応力	算出応力	許容応力	$B_{AS}$	一次一般膜	101	198	一次	115	198
項目	記号	入力値	単位																																								
胴材料	—	SB49	—																																								
最高使用温度	—	302	°C																																								
胴材料の設計降伏点*1	$S_y$		MPa																																								
胴材料の設計引張強さ*1	$S_u$		MPa																																								
許容応力状態	一次一般膜	一次																																									
$B_{AS}$	Min ( $S_y, 0.6S_u$ )	$S_y$																																									
	198	198																																									
許容応力状態	応力	算出応力	許容応力																																								
$B_{AS}$	一次一般膜	101	198																																								
	一次	115	198																																								

内は商業機密に属しますので公開できません

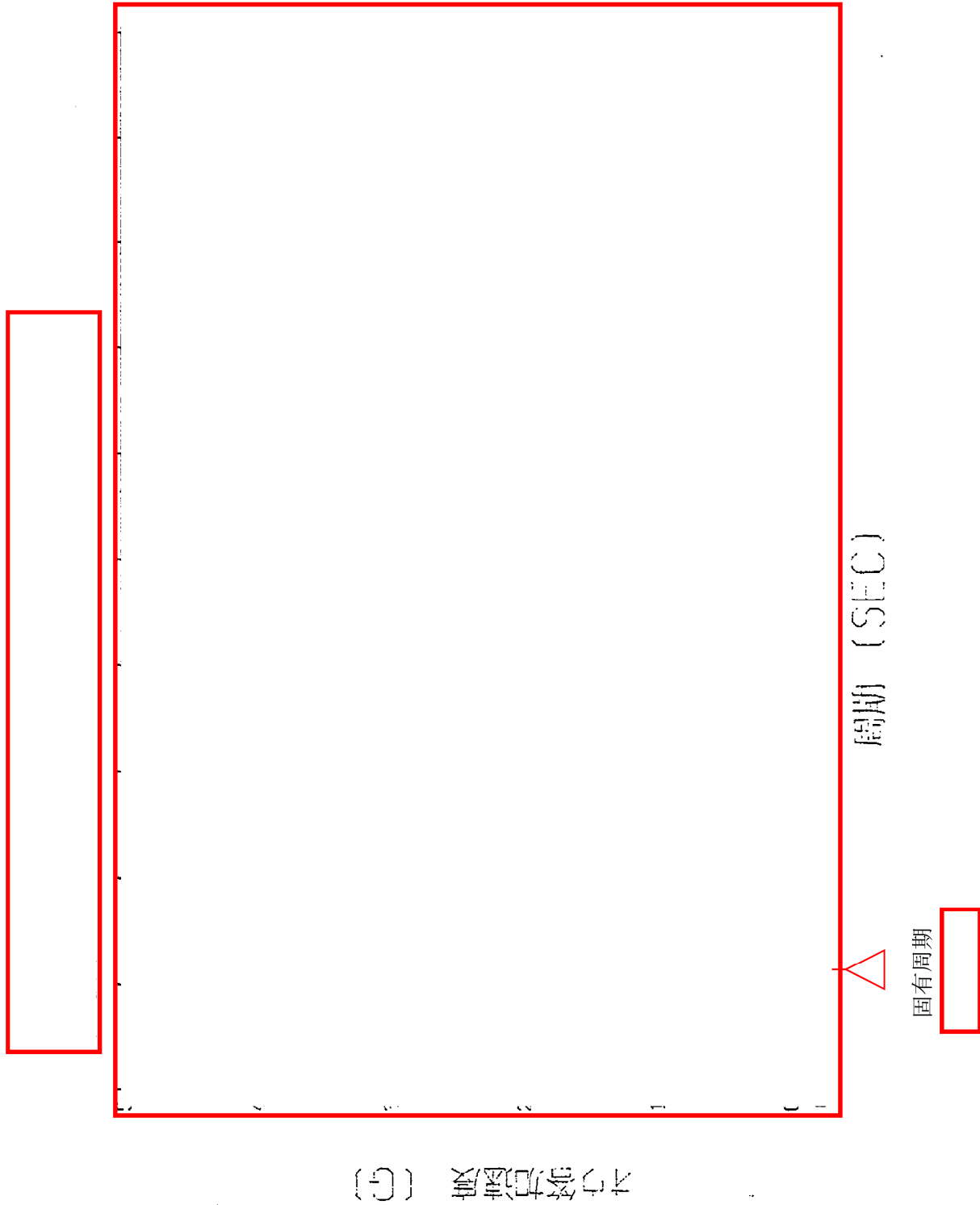


東京電力株式会社 原子力発電所第4号機  
 原子炉内材料検査  
 原子炉交換機図  
 (水圧検査)

検査番号	03-001-7101
ページ	2
図面区分	C

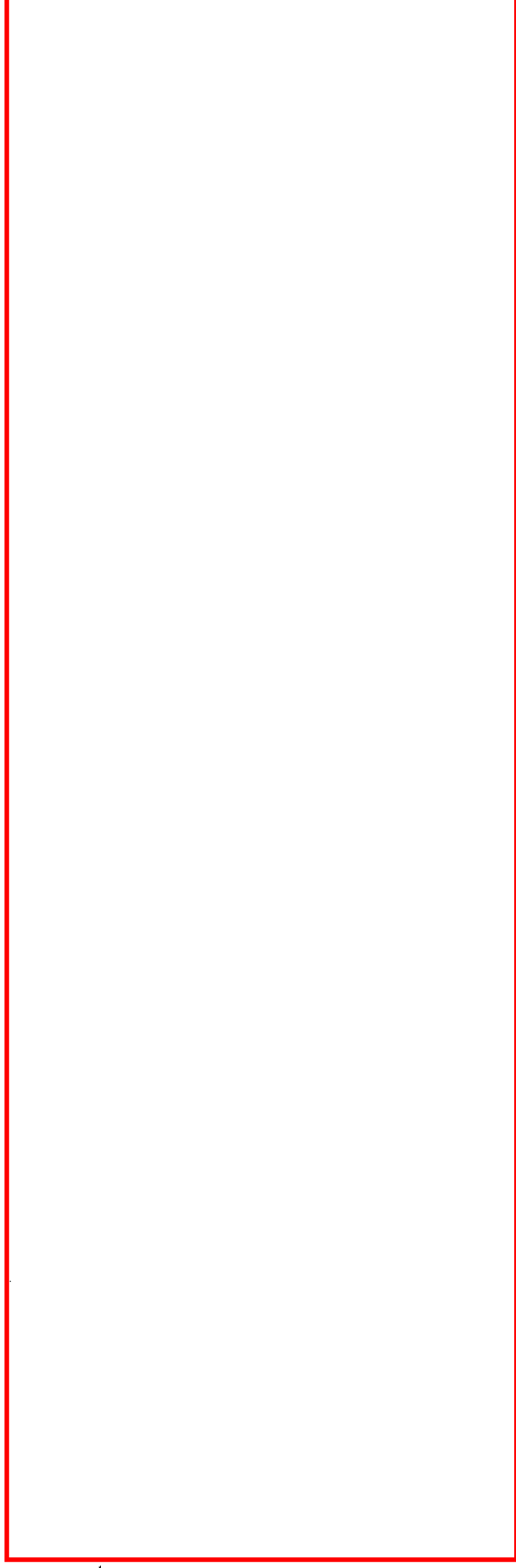
水平方向設計震度の設定方法（基準地震動 S1）（1 / 2）

図-16.(a) RESPONSE ACCELERATION SPECTRUM





## 水平方向設計震度の設定方法（基準地震動 S1）（2 / 2）

表-22.(a)

床応答スペクトルのデジタル値（原子炉建屋，OP 31.800mm）

<原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の水平方向設計震度の設定>

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 [ ] となる。

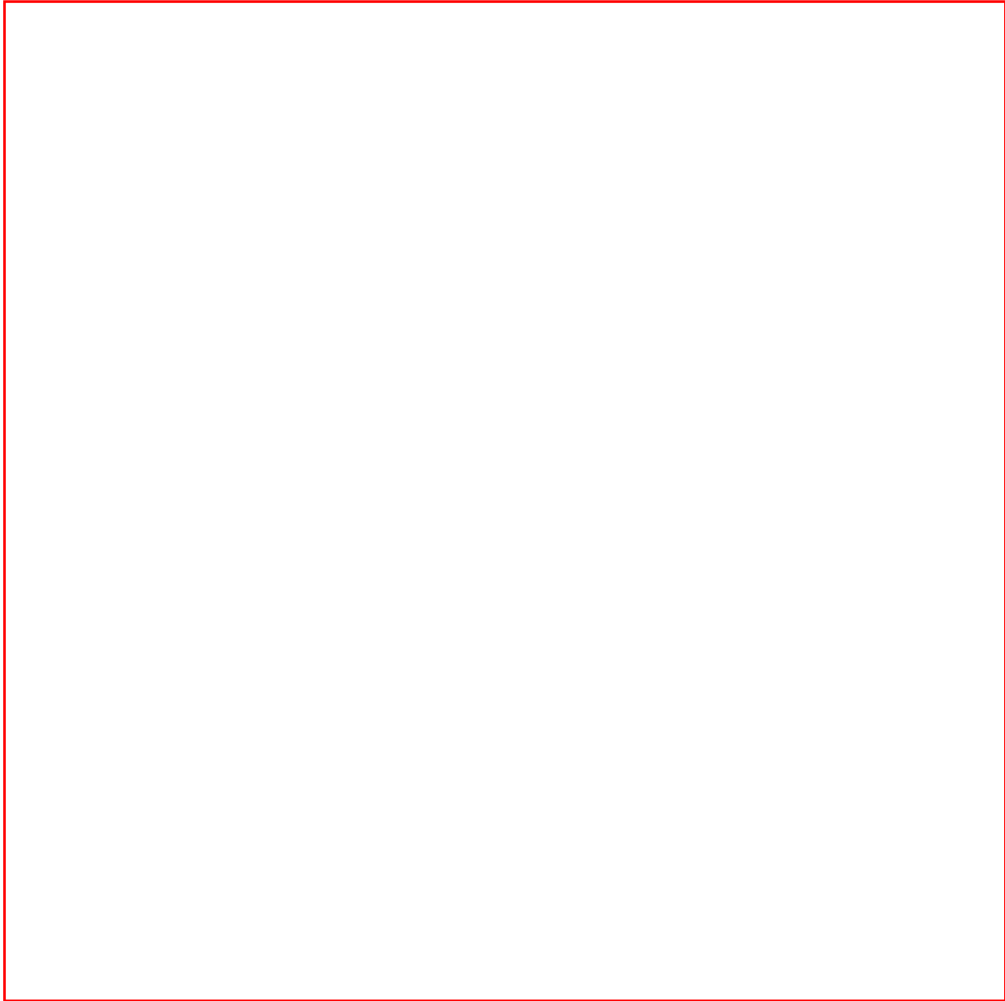
また，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器は耐震クラス B であるため，JEA64601-1987に基づき，機器の固有周期における震度を 1/2 倍した値を評価に用いることから，


[ ]  $\div 2 =$  [ ]  $\approx 0.40$ （小数点第 3 位を切上げ）

したがって，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の水平方向設計震度を 0.40 とする。

No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）
タイトル	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）	
説明	<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 <input type="text"/> 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 <input type="text"/>）</p> <p>(ii) H4 溶接補修部（工認での評価点 <input type="text"/> 及び <input type="text"/>）</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> <div data-bbox="424 1310 1139 1391" style="border: 1px solid red; height: 36px; width: 448px; margin: 10px 0;"></div> <p>解析モデルの詳細を図 2 に示す。</p>	

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）
説明 (続 き)	 <p data-bbox="491 1335 1284 1368">図 1-1 炉心シュラウドの形状・寸法・材料・評価点（単位：mm）</p>	

内は商業機密に属しますので公開できません



No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）
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



No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）
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

No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）
-----	------------------	-------------------

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）

① 地震時等価繰返し回数  $N_c$  [回] :

② 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
<input type="text"/>	kN	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	kN			
	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

No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）						
説明 (続 き)	<p>2. 応力計算</p> <p>2.1 応力集中係数</p> <p>応力集中係数を表 2 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 2 応力集中係数</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 35%; text-align: center;">H3 補修部</td> <td style="width: 35%; text-align: center;">H4 補修部</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">応力集中係数</td> <td style="text-align: center;">□</td> <td style="text-align: center;">□</td> </tr> </table> <p>保守的に応力集中係数は、最大の□とする。</p> <p>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」</p> <p>2.2 外荷重による応力</p> <p>応力の計算には、計算機コード □ 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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;">  </div> <p style="text-align: center;">図 4 応力評価点と応力成分方向</p>			H3 補修部	H4 補修部	応力集中係数	□	□
	H3 補修部	H4 補修部						
応力集中係数	□	□						

□ 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				
応力成分	$\sigma_t$			
	$\sigma_e$			
	$\sigma_r$			
	$\tau_{\theta r}$			
主応力	$\sigma_1$			
	$\sigma_2$			
	$\sigma_3$			
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

内は商業機密に属しますので公開できません



No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）			
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				
	応力成分	$\sigma_t$			
		$\sigma_{\theta*1}$			
		$\sigma_{r*1}$			
		$\tau_{\theta r}$			
	主応力	$\sigma_1$			
		$\sigma_2$			
		$\sigma_3$			
	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 <span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> を考慮					

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）
説明 (続 き)	<p>3. 疲労評価</p> <p>3.1 繰返しピーク応力強さ <math>S_\ell</math> の算出</p> <p>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 (<math>S_p</math>) 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 (<math>S_n</math>) が、<math>3S_m</math> 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 <math>S_\ell'</math> の算出</p> <p>3.1 項より求めた <math>S_\ell</math> 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><math>E_0 = 1.95 \times 10^5</math> MPa (設計・建設規格 添付 4-2 に示された縦弾性係数)  <math>E = 1.76 \times 10^5</math> MPa (運転温度 ( <input type="text"/> °C ) に対する縦弾性係数)</p> <p>3.3 疲労累積係数の算出</p> <p>疲労累積係数の算出に当たっては、<math>S_\ell'</math> に対応する許容繰返し回数 <math>N_a</math> を用い、前1項(4)①に示した通り地震時等価繰返し回数 <math>N_c</math> を <input type="text"/> 回とする。設計・建設規格 CSS-3113 または CSS-3320 に従い、<math>S_s</math> 地震による疲労累積係数 <math>U_{ss}</math> 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> $U_{ss} = \frac{\text{}}{N_a}$ <p>なお、繰返しピーク応力強さが <input type="text"/> 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 <input type="text"/> を用いる。</p> <p>4. 評価結果</p> <p>炉心シュラウドの疲労評価結果を表 4 に示す。</p> <p><math>S_s</math> 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

No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）																																																		
説明 (続き)	<p style="text-align: center;">表 4 炉心シミュレーションの疲労評価結果</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>解析モデル</th> <th>評価部位</th> <th>評価点</th> <th>応力差</th> <th><math>S_n</math> (MPa)</th> <th><math>3 \cdot S_m</math> (MPa)</th> <th><math>S_p</math> (MPa)</th> <th><math>K_e^{*1}</math></th> <th><math>S_f^{*2}</math> (MPa)</th> <th><math>S_f^{*3}</math> (MPa)</th> <th><math>N_a^{*4}</math></th> <th><math>N_c</math></th> <th><math>U^{*5}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>H-3補修部</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">0.5429</td> </tr> <tr> <td></td> <td>H-4補修部</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>H-4補修部</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 *1 : <math>S_n &lt; 3 \cdot S_m</math> の場合、<math>K_e = 1.0</math>  *2 : <math>S_n \geq 3 \cdot S_m</math> の場合、<math>K_e = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left( 1 - \frac{1}{K} \right) + 1 - a</math>  *3 : <math>S_f = K_e \times (S_p / 2)</math>  *4 : <math>N_a = N_2 \times \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{\log S_n / S_f}{\log S_p / S_f}}</math>  *5 : <math>U = N_c / N_a</math></p>		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)	$K_e^{*1}$	$S_f^{*2}$ (MPa)	$S_f^{*3}$ (MPa)	$N_a^{*4}$	$N_c$	$U^{*5}$		H-3補修部											0.5429		H-4補修部												H-4補修部										
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)	$K_e^{*1}$	$S_f^{*2}$ (MPa)	$S_f^{*3}$ (MPa)	$N_a^{*4}$	$N_c$	$U^{*5}$																																								
	H-3補修部											0.5429																																								
	H-4補修部																																																			
	H-4補修部																																																			

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 14_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（炉内構造物）																								
説明 (続 き)	<p>5. 東北地方太平洋沖地震（TPO）による疲労評価結果</p> <p>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 <math>S_s</math> 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。</p> <p>具体的な評価条件、評価結果を以下に示す。</p> <p>(1) 入力条件（耐震条件）</p> <p>基準地震動 <math>S_s</math> による疲労評価方法と異なる条件を以下に示す。</p> <p>① 地震時等価繰返し回数 <math>N_c</math> [回]：<input type="text"/></p> <p>② 地震荷重：TPO 地震荷重</p> <p>評価に用いる TPO 地震荷重の値を表 5 に示す。</p> <div style="border: 1px solid red; height: 20px; width: 500px; margin: 5px 0;"></div> <p style="text-align: center;">表 5 荷重条件</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">地震荷重</th> <th style="width: 10%;">単位</th> <th style="width: 20%;">H3 補修部</th> <th style="width: 20%;">H4 補修部</th> <th style="width: 25%;">備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="border: 1px solid red;"></td> <td style="text-align: center;">kN</td> <td rowspan="3" style="border: 1px solid red;"></td> <td rowspan="3" style="border: 1px solid red;"></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">kN・m</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 評価結果</p> <p>上記条件による評価結果を以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">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）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">評価対象</th> <th style="width: 20%;">運転実績回数に基づく疲労累積係数（環境疲労）</th> <th style="width: 20%;"><math>S_s</math> 地震動による疲労累積係数</th> <th style="width: 20%;">TPO 地震動による疲労累積係数</th> <th style="width: 25%;">合計（許容値 1 以下）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">炉心シュラウド</td> <td style="text-align: center;">0.077</td> <td style="text-align: center;">0.543</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">以 上</p>		地震荷重	単位	H3 補修部	H4 補修部	備考		kN				kN		kN・m		評価対象	運転実績回数に基づく疲労累積係数（環境疲労）	$S_s$ 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	<input type="text"/>	<input type="text"/>
地震荷重	単位	H3 補修部	H4 補修部	備考																						
	kN																									
	kN																									
	kN・m																									
評価対象	運転実績回数に基づく疲労累積係数（環境疲労）	$S_s$ 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	<input type="text"/>	<input type="text"/>																						

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 17_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
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JEAG4601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<sub>A</sub>S，Ⅳ<sub>A</sub>Sを適用して設定している。</p> <div data-bbox="354 981 1409 1749" style="border: 2px solid red; height: 343px; width: 661px;"></div> <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>	

□内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 17_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
-----	------------------	-------------------

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	引張	0.28	0.27	0.17
	種別	せん断	0.79	0.82	0.73

\*1 :

\*2 :

\*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	引張	0.42	0.57	0.53	0.59	0.67
	種別	せん断	0.59	0.67	0.62	0.68	0.79

\*1 :

\*2 :

\*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

No.	2F4-耐震 17_Rev. 1		分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																																																											
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）																																																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">評価項目</th> <th colspan="2">ボルト径</th> <th>M10</th> <th>M12</th> <th>M16</th> </tr> <tr> <th>引張</th> <th>せん断</th> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">設計許容荷重 (kN)</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">発生応力*1 (MPa)</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">許容応力*2 (MPa)</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">応力比*3</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td>0.19</td> <td>0.19</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>せん断</td> <td>0.54</td> <td>0.55</td> <td>0.49</td> </tr> </tbody> </table>			評価項目		ボルト径		M10	M12	M16	引張	せん断				設計許容荷重 (kN)	荷重種別	引張	せん断				荷重種別	引張	せん断				発生応力*1 (MPa)	荷重種別	引張	せん断				荷重種別	引張	せん断				許容応力*2 (MPa)	荷重種別	引張	せん断				荷重種別	引張	せん断				応力比*3	荷重種別	引張	せん断	0.19	0.19	0.11	荷重種別	引張	せん断	0.54	0.55	0.49											
評価項目		ボルト径				M10	M12	M16																																																																						
		引張	せん断																																																																											
設計許容荷重 (kN)	荷重種別	引張	せん断																																																																											
	荷重種別	引張	せん断																																																																											
発生応力*1 (MPa)	荷重種別	引張	せん断																																																																											
	荷重種別	引張	せん断																																																																											
許容応力*2 (MPa)	荷重種別	引張	せん断																																																																											
	荷重種別	引張	せん断																																																																											
応力比*3	荷重種別	引張	せん断	0.19	0.19	0.11																																																																								
	荷重種別	引張	せん断	0.54	0.55	0.49																																																																								
*1 :																																																																														
*2 :																																																																														
*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）																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3" rowspan="2">評価項目</th> <th colspan="5">ボルト径</th> </tr> <tr> <th>M12</th> <th>M16</th> <th>M20</th> <th>M22</th> <th>M24</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">設計許容荷重 (kN)</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">発生応力*1 (MPa)</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">許容応力*2 (MPa)</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>せん断</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">応力比*3</td> <td>荷重種別</td> <td>引張</td> <td>0.29</td> <td>0.38</td> <td>0.35</td> <td>0.40</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>荷重種別</td> <td>せん断</td> <td>0.40</td> <td>0.45</td> <td>0.42</td> <td>0.45</td> <td>0.53</td> </tr> </tbody> </table>						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						荷重種別	せん断						発生応力*1 (MPa)	荷重種別	引張						荷重種別	せん断						許容応力*2 (MPa)	荷重種別	引張						荷重種別	せん断						応力比*3	荷重種別	引張	0.29	0.38	0.35	0.40	0.45	荷重種別	せん断	0.40	0.45	0.42	0.45	0.53
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																																																																												
	荷重種別	せん断																																																																												
発生応力*1 (MPa)	荷重種別	引張																																																																												
	荷重種別	せん断																																																																												
許容応力*2 (MPa)	荷重種別	引張																																																																												
	荷重種別	せん断																																																																												
応力比*3	荷重種別	引張	0.29	0.38	0.35	0.40	0.45																																																																							
	荷重種別	せん断	0.40	0.45	0.42	0.45	0.53																																																																							
*1 :																																																																														
*2 :																																																																														
*3 : 発生応力/許容応力																																																																														
<p>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。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>																																																																														

□内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 18_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
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 <math>S_s</math> 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>	



No.	2F4-耐震 19_Rev. 2	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
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"> <li>・原子炉冷却材浄化系再生熱交換器</li> <li>・復水貯蔵タンク</li> </ul> <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（<math>\alpha</math>）よりも、建設時の静的地震力 <math>C_H</math> に対する PLM 評価に用いた静的地震力 <math>C_i</math> の増減率（<math>\beta</math>）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>	

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
タイトル	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	
説明	<p>① 低圧炉心スプレイ系ポンプ</p> <p>上認「たて軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類 A<sub>S</sub> 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、添付資料 2F4-耐震 20-①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>	

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）			
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	$C_H$		—	
	鉛直方向設計震度*2	$C_V$		—	
	ポンプ振動による震度	$C_p$		—	
	水平方向設計震度（工認）	$C_H$ （工認）		—	
	ポンプ振動による震度（工認）	$C_p$ （工認）		—	
	ボルトに働くせん断力	$Q_b$ （工認）		kg	
	地震及びポンプ振動による転倒モーメント	M（工認）		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（ $S_s, S_i$ ）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		—	
	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		mm	
	ボルトの本数	n		—	
	引張力の作用するボルトの評価本数	$n_f$		—	
	*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

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>2. 評価方法</p> <p>(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。</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 <math>M_p</math> 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 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> $\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$	

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																	
説明 (続き)	<p>3. 評価結果</p> <p>(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。</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 13</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 10</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 許容応力について JEAG4601-1987 6.6.3 (3)その他機器 a. ポンプ・ブローア類 (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<sub>A</sub>S を適用する。</p> <p>許容応力算定用基準値 <math>F = \min(S_y, 0.7S_u)</math></p> <p>許容引張応力 <math>f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]</math> <math>f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5</math></p> <p>許容せん断応力 <math>f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5</math></p> <p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(条件)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルト材質</td> <td>—</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>100</td> <td>℃</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td><math>S_y</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td><math>S_u</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*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</p>		応力	算出応力	単位	引張	$\sigma_b = 13$	MPa	せん断	$\tau_b = 10$	MPa	項目	記号	入力値	単位	ボルト材質	—		—	ボルト径	d		—	評価用温度	—	100	℃	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
応力	算出応力	単位																																	
引張	$\sigma_b = 13$	MPa																																	
せん断	$\tau_b = 10$	MPa																																	
項目	記号	入力値	単位																																
ボルト材質	—		—																																
ボルト径	d		—																																
評価用温度	—	100	℃																																
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																																

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																						
<p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 360 1345 488"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>f_{ts} = 444</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>f_{sb} = 341</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(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。</p> <table border="1" data-bbox="403 647 1358 775"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 13</math></td> <td><math>f_{ts} = 444</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 10</math></td> <td><math>f_{sb} = 341</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>				応力	許容応力	単位	引張	$f_{ts} = 444$	MPa	せん断	$f_{sb} = 341$	MPa	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
応力	許容応力	単位																						
引張	$f_{ts} = 444$	MPa																						
せん断	$f_{sb} = 341$	MPa																						
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																					

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
-----	------------------	-------------------

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、添付資料 2F4-耐震 20-②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。

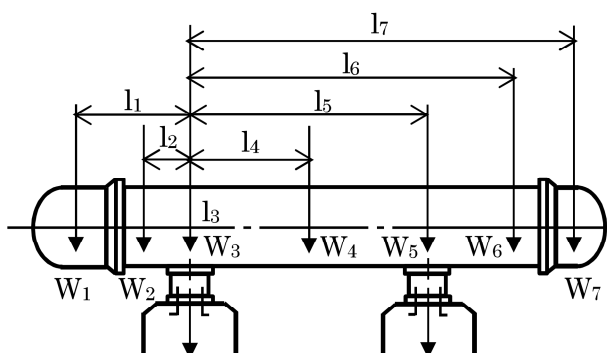


図 2-1 解析モデル

(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	$C_H$		—
鉛直方向設計震度*2	$C_V$		—

\*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

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）			
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		—	
	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)	$l_1$		mm	
	第1脚より各荷重までの距離(i=2)	$l_2$		mm	
	第1脚より各荷重までの距離(i=3)	$l_3$		mm	
	第1脚より各荷重までの距離(i=4)	$l_4$		mm	
	第1脚より各荷重までの距離(i=5)	$l_5$		mm	
	第1脚より各荷重までの距離(i=6)	$l_6$		mm	
	第1脚より各荷重までの距離(i=7)	$l_7$		mm	
	基礎から脚つけ根部までの高さ	$h_1$		mm	
	基礎から胴の中心までの高さ	$h_2$		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	$l_0$		mm	
	脚底板と基礎台との縦弾性係数比	s		—	
	脚1個あたりのボルトの本数	n		—	
	引張りを受けるボルトの本数	$n_1$		—	
	脚底板の長手方向に対する長さ	a		mm	
	脚底板の横方向に対する長さ	b		mm	
	脚底板端面からボルト中心までの距離	$d_1$		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



No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<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</p> <p>(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> $M = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot W_0 \cdot h_1$ <p>鉛直荷重は</p> $P_S = (R_1 + W_s)(1 - C_V) - P_l$ <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> $P_l = C_H \cdot (W_0 - W_s) \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} h_1}{l_0}$ <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。

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

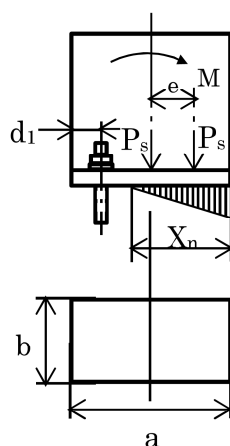


図 2-2 基礎部に作用する外荷重により生じる荷重の関係

### 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

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																															
説明 (続 き)	<p>(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<sub>A</sub>S を適用する。</p> <p>許容応力算定用基準値  <math display="block">F = \min(S_y, 0.7S_u)</math></p> <p>許容引張応力 <math>f_{ts}</math>  <math display="block">f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]</math>  <math display="block">f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5</math></p> <p>許容せん断応力 <math>f_{sb}</math>  <math display="block">f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5</math></p> <p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(条件)</p> <table border="1" data-bbox="416 1167 1345 1417"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルト材質</td> <td>—</td> <td rowspan="2">[Redacted]</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>70</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td><math>S_y</math></td> <td rowspan="2">[Redacted]</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td><math>S_u</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*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</p> <p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 1581 1345 1709"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>f_{ts} = 439</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>f_{sb} = 346</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>		項目	記号	入力値	単位	ボルト材質	—	[Redacted]	—	ボルト径	d	—	評価用温度	—	70	°C	ボルト材の設計降伏点*1	$S_y$	[Redacted]	MPa	ボルト材の設計引張強さ*1	$S_u$	MPa	応力	許容応力	単位	引張	$f_{ts} = 439$	MPa	せん断	$f_{sb} = 346$	MPa
項目	記号	入力値	単位																														
ボルト材質	—	[Redacted]	—																														
ボルト径	d		—																														
評価用温度	—	70	°C																														
ボルト材の設計降伏点*1	$S_y$	[Redacted]	MPa																														
ボルト材の設計引張強さ*1	$S_u$		MPa																														
応力	許容応力	単位																															
引張	$f_{ts} = 439$	MPa																															
せん断	$f_{sb} = 346$	MPa																															

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 20_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）													
説明 (続 き)	<p data-bbox="405 324 517 356">(3) 結論</p> <p data-bbox="485 365 1391 434">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。</p> <table border="1" data-bbox="405 443 1358 568"> <thead> <tr> <th data-bbox="405 443 735 483">応 力</th> <th data-bbox="735 443 986 483">算出応力</th> <th data-bbox="986 443 1236 483">許容応力</th> <th data-bbox="1236 443 1358 483">単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="405 483 735 524">引 張</td> <td data-bbox="735 483 986 524"><math>\sigma_b = 163</math></td> <td data-bbox="986 483 1236 524"><math>f_{ts} = 439</math></td> <td data-bbox="1236 483 1358 524">MPa</td> </tr> <tr> <td data-bbox="405 524 735 568">せん断</td> <td data-bbox="735 524 986 568"><math>\tau_b = 119</math></td> <td data-bbox="986 524 1236 568"><math>f_{sb} = 346</math></td> <td data-bbox="1236 524 1358 568">MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="373 613 526 645">③ 添付資料</p> <p data-bbox="432 654 1391 685">(1) 2F4-耐震 20-①「低圧炉心スプレイ系スプレイポンプ 外形寸法図 (LPCS)」</p> <p data-bbox="432 694 1190 725">(2) 2F4-耐震 20-②「残留熱除去機器冷却系熱交換器 構造図」</p> <p data-bbox="1305 734 1391 766">以 上</p>			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
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												

内は商業機密に属しますので公開できません

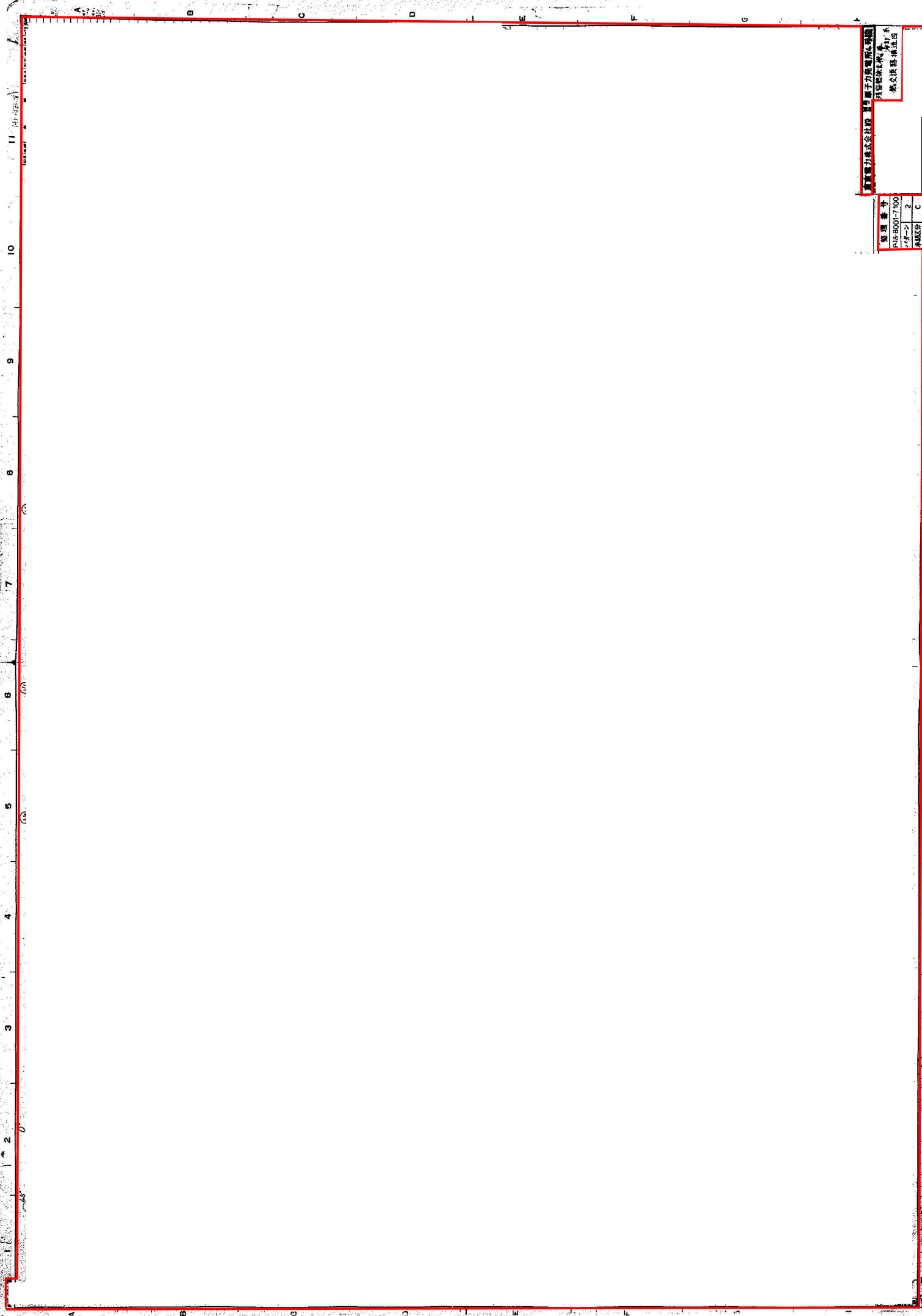
東京電力株式会社 第二原子力発電所4号機

低圧炉心スプレッドシステム  
外形寸法図 (LPC)

整理番号	E21-C00157100
バリエーション	2
承認区分	C

添付資料：2F4耐震20-②

内は商業機密に属しますので公開できません



管理番号	418-8001-7100	東京電力株式会社	電力事業部
ページ	2	東京電力株式会社	電力事業部
表紙	C	東京電力株式会社	電力事業部

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
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>JEAC4601-2008「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，添付資料 2F4-耐震 21-①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>	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>The diagram illustrates the deformation modes of a structure under seismic loading. It is divided into two main parts: a side view and a top view.</p> <p><b>Side View (Top):</b> Shows three supports labeled "第1脚" (Foot 1), "第2脚" (Foot 2), and "第1脚 (第3脚)" (Foot 1 (Foot 3)). Foot 1 and Foot 3 are simple supports, while Foot 2 is a fixed support. A horizontal force <math>F_0</math> is applied at the top. Moments <math>M_0</math> and <math>M_1</math> are shown at the base of Foot 2 and Foot 1, respectively. Reaction forces <math>P_1</math> and <math>R_1</math> are indicated at the supports. Displacements <math>\Delta_{y1}</math> and <math>\Delta_{x1}</math> are shown at the top of Foot 1 and Foot 3. A horizontal displacement <math>u</math> is shown at the top of Foot 1. Angles <math>\theta_1</math>, <math>\theta_2</math>, and <math>\theta_3</math> are indicated. A distance <math>r_m</math> is shown from Foot 2 to the center of the structure.</p> <p><b>Top View (Bottom):</b> Shows a circular structure with forces <math>P_1</math> and <math>F_0</math> applied horizontally. Moments <math>M_c</math> and <math>Q</math> are shown at the top and bottom. Displacements <math>\Delta_{r1}</math> and <math>\theta_3</math> are indicated.</p>	
<p>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</p>		



No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）			
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	$C_H$		—	
	鉛直方向設計震度*2	$C_V$		—	
	<p>*1：鉛直方向については、剛構造とみなした</p> <p>*2：設計震度については、動的地震力 (<math>S_s</math>, <math>S_l</math>) 及び静的地震力の最大値とする</p> <p>*3：動的地震力 (<math>S_s</math>) の床応答スペクトルについては、添付資料 2F4-耐震 21-③、④参照</p>				
	(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	$A_s$		$\text{mm}^2$	
	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	$A_{sr}$		$\text{mm}^2$	
	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	$A_{st}$		$\text{mm}^2$	
	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	$I_{sr}$		$\text{mm}^4$	
	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	$I_{st}$		$\text{mm}^4$	
	脚のねじりモーメント係数	$J_s$		$\text{mm}^4$	
	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

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）		
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

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>第1脚の水平方向変位量<math>\Delta_{x1}</math>、傾き角<math>\theta_1</math>、鉛直方向変位量<math>\Delta_{y1}</math>は次による。</p> $\Delta_{x1} = \frac{P_1 l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + l\theta_1 \quad \dots \textcircled{3}$ $P_1 l + M_1 = R_1 u \quad \dots \textcircled{4}$ $\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \quad \dots \textcircled{5}$ <p>ここで、</p> $u = \frac{l_c}{2} - r_m$ <p>胴の半径方向局部変位量<math>\Delta_{r1}</math>と局部傾き角<math>\theta_2</math>は、次による。</p> $\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \quad \dots \textcircled{6}$ $\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \quad \dots \textcircled{7}$ <p>ここで、</p> $\beta_1 = k_l \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$ <p>第2脚の傾き角<math>\theta_0</math>と水平方向変位量<math>\Delta_{x3}</math>は、次による。</p> $\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Q l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{8}$ $\Delta_{x3} = \frac{Q l^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Q l}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{9}$ <p>第1脚と胴の傾き角の釣合より</p> $\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{10}$ <p>第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから</p> $\theta_3 = \frac{(Qu - M_c) l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \quad \dots \textcircled{11}$ <p>ここで、</p> $\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>脚と胴の水平方向変位の釣合より</p> $\triangle_{x1} + \triangle_{y1} = \triangle_{x3} + u\theta_3 \quad \dots \textcircled{12}$ <p>さらに、鉛直方向変位の釣合より</p> $\triangle_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{13}$ <p>式①～式⑬から <math>P_1</math>, <math>Q</math>, <math>R_1</math>, <math>M_3</math> を求める。</p> <p>(2) せん断応力 水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合</p> $\tau_b = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{2A_b} + \frac{Qu - M_c}{A_b(b - 2d_2)}$ <p>ボルトの断面積は、</p> $A_b = \frac{\pi}{4}(d - 2c)^2$ <p>ここで、</p> $M_l = \frac{\left( \frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) m_0 g u l}{\left( \frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left( \frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left( \frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$ $P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{2E_s I_{st}} l^2$ $R_2 = \frac{m_0 g C_V}{4}$ $M_{l2} = \frac{\left( \frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) R_2 u l}{\left( \frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left( \frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left( \frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	$P_2 = \frac{(R_2 u - M_{l2}) l^2}{2 E_s I_{st}}$ $\frac{l^3}{3 E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_n E}$ <p>(3) 引張応力</p> <p>引張応力については、a を b, b を a, d<sub>1</sub> を d<sub>2</sub>, n<sub>1</sub> を n<sub>2</sub> 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。</p> <p>水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合</p> $M_{x1} = \left[ \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right\} + \left\{ (P - P_2) l + (M_l - M_{l2}) - (R - R_2) u \right\} \right]^2 + \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (Q_l - M_3) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ $R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}}$ <p>ここで,</p> $R = \frac{m_0 g}{4}$ <p>R<sub>x1</sub> 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<sub>n</sub> を次式により求め、</p> $X_n^3 + 3 \left( e - \frac{a}{2} \right) X_n^2 - \frac{6 s A_b n_1}{b} \left( e + \frac{a}{2} - d_1 \right) (a - d_1 - X_n) = 0$ <p>ボルトに生じる引張力</p> $F_b = \frac{R_{x1} \left( e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$ <p>から、ボルトに生じる引張応力を次式により求める。</p> $\sigma_b = \frac{F_b}{n_1 A_b}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）									
説明 (続き)	<p>3. 評価結果</p> <p>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。</p> <p>(1) 応力計算について</p> <p>上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。</p> <p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 602 1343 728"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 154</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 18</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 許容応力について</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>許容応力算定用基準値</p> $F = \min(S_y, 0.7S_u)$ <p>許容引張応力</p> $f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$ $f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5$ <p>許容せん断応力</p> $f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5$		応力	算出応力	単位	引張	$\sigma_b = 154$	MPa	せん断	$\tau_b = 18$	MPa
応力	算出応力	単位									
引張	$\sigma_b = 154$	MPa									
せん断	$\tau_b = 18$	MPa									

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																														
説明 (続き)	<p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(条件)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルト材質</td> <td>—</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>70</td> <td>℃</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td><math>S_y</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td><math>S_u</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*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</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>f_{ts} = 450</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>f_{sb} = 346</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(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。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 154</math></td> <td><math>f_{ts} = 450</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 18</math></td> <td><math>f_{sb} = 346</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>			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	応力	許容応力	単位	引張	$f_{ts} = 450$	MPa	せん断	$f_{sb} = 346$	MPa	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
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																																													
応力	許容応力	単位																																														
引張	$f_{ts} = 450$	MPa																																														
せん断	$f_{sb} = 346$	MPa																																														
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

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<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</p> <p>JEAC4601-2008「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。</p> <p>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</p> <p>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、添付資料 2F4-耐震 21-②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>	



No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>第1脚</p> <p>第2脚</p> <p>第1脚 (第3脚)</p> <p>第1脚</p> <p>第2脚</p> <p>第1脚 (第3脚)</p> <p>第1脚</p> <p>第2脚</p> <p>第1脚 (第3脚)</p>	
<p>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</p>		

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）			
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	$C_H$		—	
	鉛直方向設計震度*2	$C_V$		—	
	<p>*1：鉛直方向については、剛構造とみなした</p> <p>*2：設計震度については、動的地震力 (<math>S_s</math>, <math>S_l</math>) 及び静的地震力の最大値とする</p> <p>*3：動的地震力 (<math>S_s</math>) の床応答スペクトルについては、添付資料 2F4-耐震 21-⑤, ⑥参照</p>				
	(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 <sup>2</sup>	
	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	$A_{sr}$		mm <sup>2</sup>	
	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	$A_{st}$		mm <sup>2</sup>	
	脚の半径方向軸に対する断面2次モーメント	$I_{sr}$		mm <sup>4</sup>	
	脚の周方向軸に対する断面2次モーメント	$I_{st}$		mm <sup>4</sup>	
	脚のねじりモーメント係数	$J_s$		mm <sup>4</sup>	
	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

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）		
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

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
説明 (続 き)	<p data-bbox="459 322 1353 356">第1脚の水平方向変位量<math>\Delta_{x1}</math>、傾き角<math>\theta_1</math>、鉛直方向変位量<math>\Delta_{y1}</math>は次による。</p> $\Delta_{x1} = \frac{P_1 l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + l\theta_1 \quad \dots \textcircled{3}$ $P_1 l + M_1 = R_1 u \quad \dots \textcircled{4}$ $\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \quad \dots \textcircled{5}$ <p data-bbox="488 689 576 719">ここで、</p> $u = \frac{l_c}{2} - r_m$ <p data-bbox="488 808 1203 837">胴の半径方向局部変位量<math>\Delta_{r1}</math>と局部傾き角<math>\theta_2</math>は、次による。</p> $\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \quad \dots \textcircled{6}$ $\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \quad \dots \textcircled{7}$ <p data-bbox="488 1093 576 1122">ここで、</p> $\beta_1 = k_l \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$ <p data-bbox="488 1252 1150 1281">第2脚の傾き角<math>\theta_0</math>と水平方向変位量<math>\Delta_{x3}</math>は、次による。</p> $\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Q l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{8}$ $\Delta_{x3} = \frac{Q l^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Q l}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \quad \dots \textcircled{9}$ <p data-bbox="488 1536 858 1565">第1脚と胴の傾き角の釣合より</p> $\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{10}$ <p data-bbox="488 1659 1134 1688">第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから</p> $\theta_3 = \frac{(Qu - M_c) l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \quad \dots \textcircled{11}$ <p data-bbox="488 1821 576 1850">ここで、</p> $\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	<p>脚と胴の水平方向変位の釣合より</p> $\triangle_{x1} + \triangle_{y1} = \triangle_{x3} + u\theta_3 \quad \dots \textcircled{12}$ <p>さらに、鉛直方向変位の釣合より</p> $\triangle_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots \textcircled{13}$ <p>式①～式⑬から <math>P_1</math>, <math>Q</math>, <math>R_1</math>, <math>M_3</math> を求める。</p> <p>(2) せん断応力 水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合</p> $\tau_b = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{2A_b} + \frac{Qu - M_c}{A_b(b - 2d_2)}$ <p>ボルトの断面積は、</p> $A_b = \frac{\pi}{4}(d - 2c)^2$ <p>ここで、</p> $M_l = \frac{\left( \frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) m_0 g u l}{\left( \frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left( \frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left( \frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$ $P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{2E_s I_{st}} l^2$ $R_2 = \frac{m_0 g C_V}{4}$ $M_{l2} = \frac{\left( \frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) R_2 u l}{\left( \frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left( \frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_l^2 E} \right) - \left( \frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2}$	

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
<p>説明 (続き)</p>	$P_2 = \frac{(R_2 u - M_{I2}) l^2}{\frac{2 E_s I_{st}}{l^3} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_n E}}$ <p>(3) 引張応力</p> <p>引張応力については、a を b, b を a, d<sub>1</sub> を d<sub>2</sub>, n<sub>1</sub> を n<sub>2</sub> 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。</p> <p>水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合</p> $M_{x1} = \left[ \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right\} + \left\{ (P - P_2) l + (M_l - M_{I2}) - (R - R_2) u \right\} \right]^2 + \left[ \frac{1}{\sqrt{2}} (Q_l - M_3) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ $R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}}$ <p>ここで,</p> $R = \frac{m_0 g}{4}$ <p>R<sub>x1</sub> 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<sub>n</sub> を次式により求め、</p> $X_n^3 + 3 \left( e - \frac{a}{2} \right) X_n^2 - \frac{6 s A_b n_1}{b} \left( e + \frac{a}{2} - d_1 \right) (a - d_1 - X_n) = 0$ <p>ボルトに生じる引張力</p> $F_b = \frac{R_{x1} \left( e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$ <p>から、ボルトに生じる引張応力を次式により求める。</p> $\sigma_b = \frac{F_b}{n_1 A_b}$	

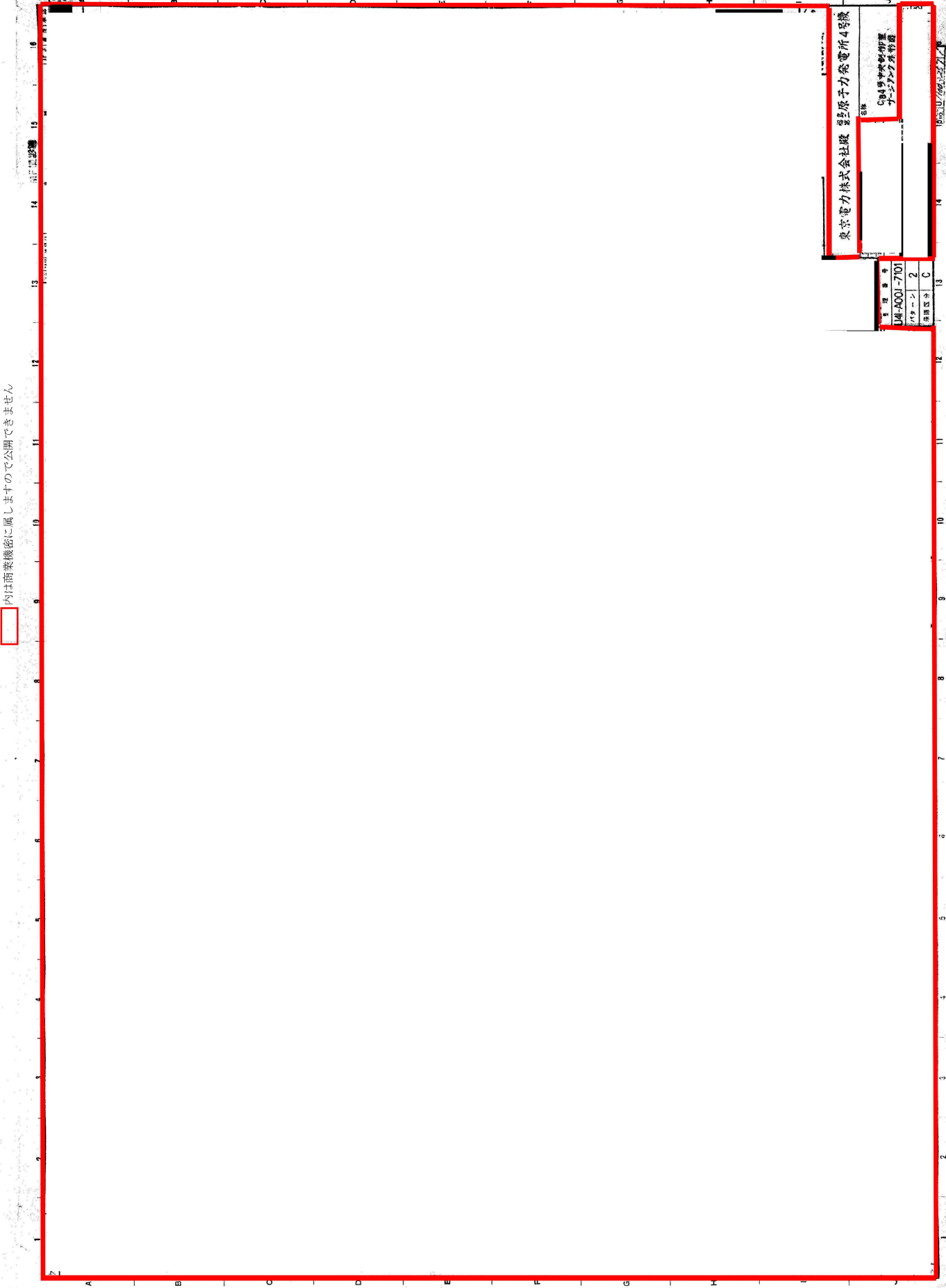
No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）									
説明 (続き)	<p>3. 評価結果</p> <p>評価結果については、水平方向地震力（X 方向，Z 方向）で厳しい結果のみ記載している。</p> <p>(1) 応力計算について</p> <p>上記計算によって求められた算出応力を以下に示す。</p> <p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 602 1345 728"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 149</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 18</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 許容応力について</p> <p>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。</p> <p>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<sub>A</sub>S を適用する。</p> <p>許容応力算定用基準値</p> $F = \min(S_y, 0.7S_u)$ <p>許容引張応力</p> $f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]$ $f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5$ <p>許容せん断応力</p> $f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5$		応力	算出応力	単位	引張	$\sigma_b = 149$	MPa	せん断	$\tau_b = 18$	MPa
応力	算出応力	単位									
引張	$\sigma_b = 149$	MPa									
せん断	$\tau_b = 18$	MPa									

No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																														
説明 (続き)	<p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(条件)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルト材質</td> <td>—</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>70</td> <td>℃</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td><math>S_y</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td><math>S_u</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*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</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>f_{ts} = 174</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>f_{sb} = 134</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(1) 結論</p> <p>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。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 149</math></td> <td><math>f_{ts} = 174</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 18</math></td> <td><math>f_{sb} = 134</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>			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	応力	許容応力	単位	引張	$f_{ts} = 174$	MPa	せん断	$f_{sb} = 134$	MPa	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
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																																													
応力	許容応力	単位																																														
引張	$f_{ts} = 174$	MPa																																														
せん断	$f_{sb} = 134$	MPa																																														
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																																													



No.	2F4-耐震 21_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
	<p>③ 添付資料</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 2F4-耐震 21-① 「C/B4 号中央制御室サージタンク外形図」</li> <li>(2) 2F4-耐震 21-② 「C/B4 号非常用電気品室サージタンク外形図」</li> <li>(3) 2F4-耐震 21-③ 「C/B4 号 OP+18.0M 床応答スペクトル図」</li> <li>(4) 2F4-耐震 21-④ 「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」</li> <li>(5) 2F4-耐震 21-⑤ 「C/B4 号 OP+12.2M 床応答スペクトル図」</li> <li>(6) 2F4-耐震 21-⑥ 「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」</li> </ul> <p>④ 参考文献</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Bijlaard, P.P : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.</li> <li>(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.</li> </ul> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

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 管理原子力発電所4号機

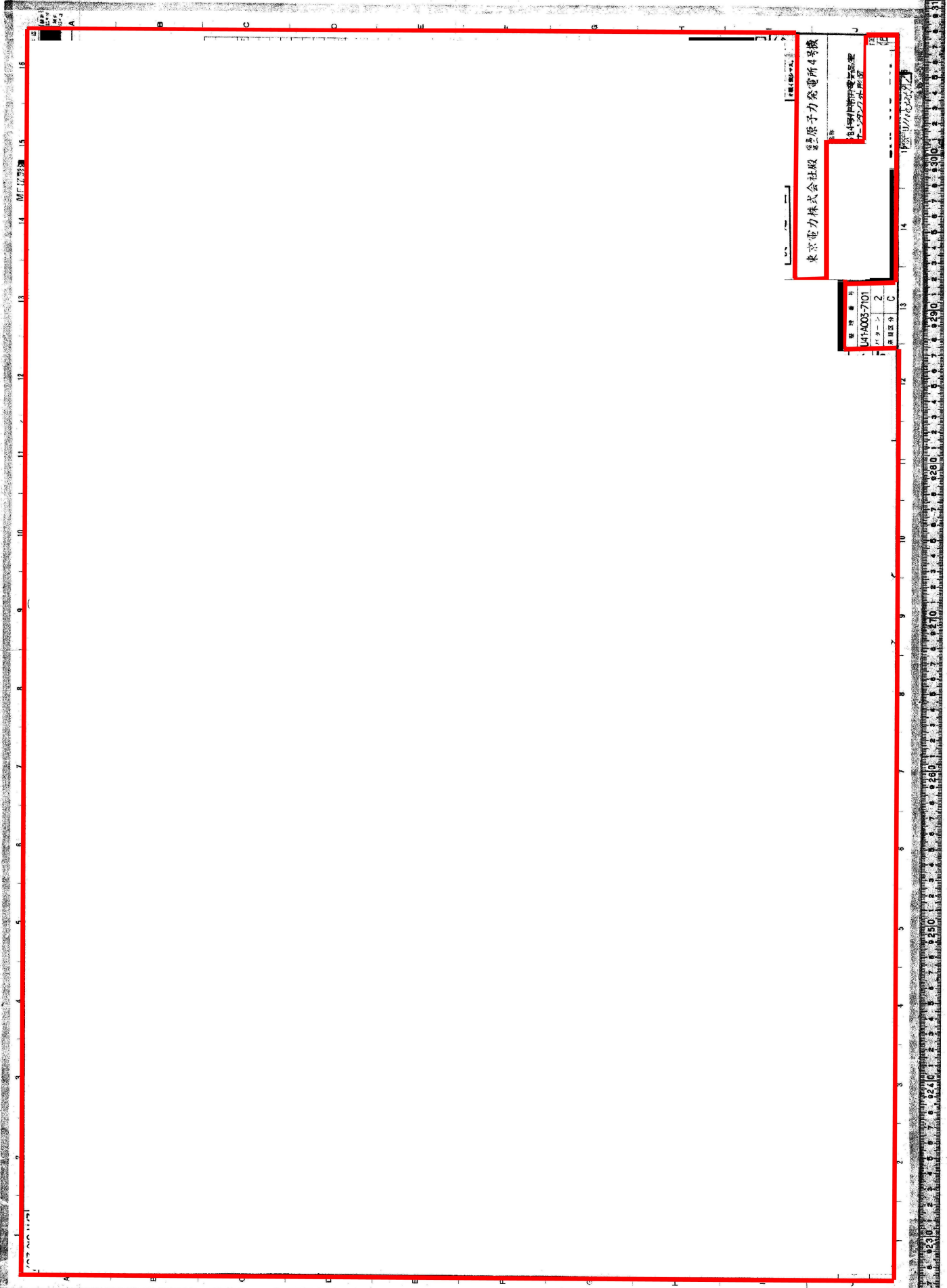
図名  
C84号中核燃料配置  
シフト耐震特図

図番	14-A001-7101
ページ	2
図種	C

05010/02-21/2



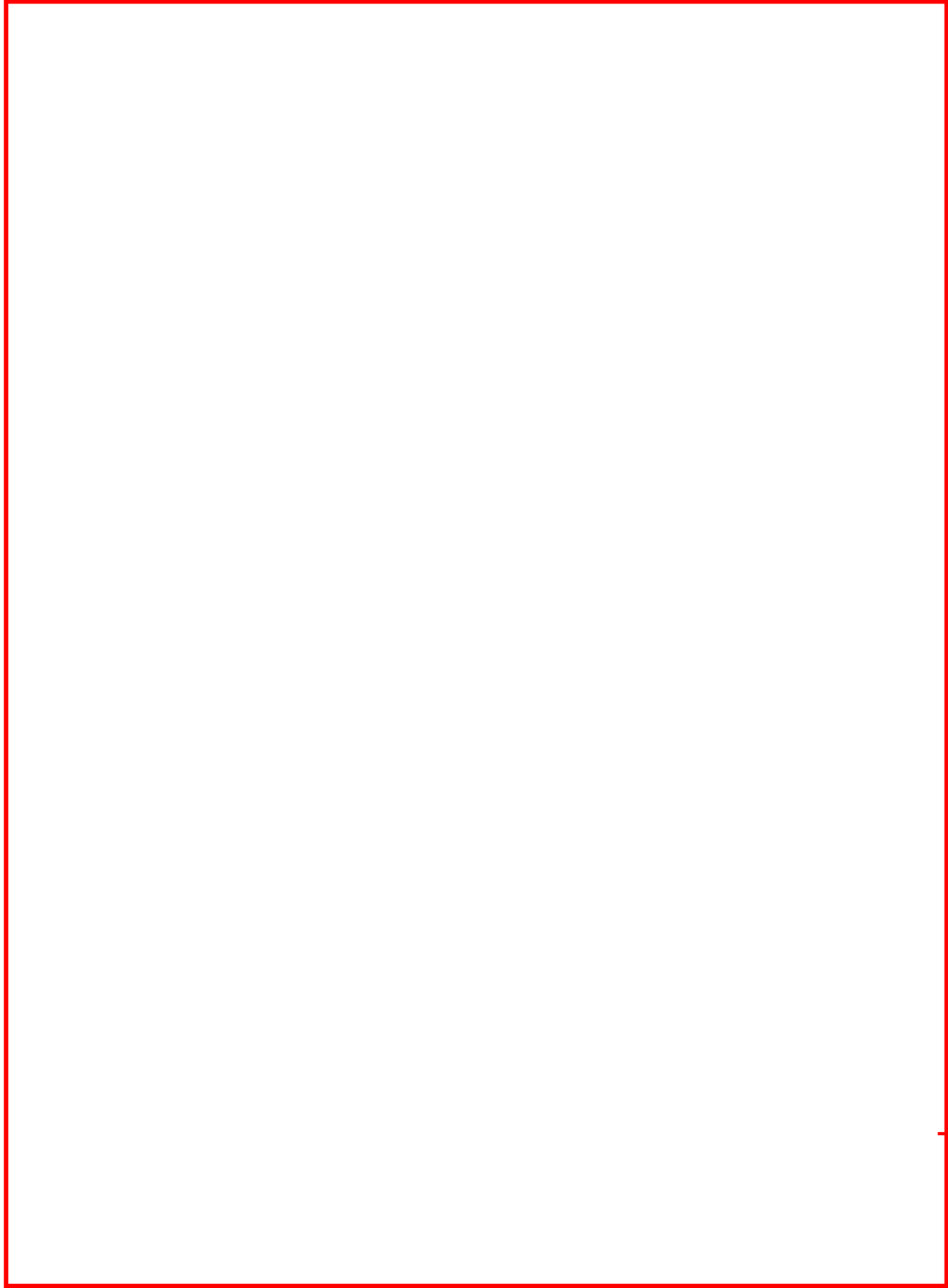
内は商業機密に属しますので公開できません





東京電力株式会社 豊原原子力発電所4号機

資料番号  
141-A003-7101  
ページ  
2  
枚数  
C

資料名  
141-A003-7101  
ページ  
2  
枚数  
C



取  
附

固有周期  

固有周期 [秒] 

内は商業機密に属しますので公開できません

図 B1.3 床応答スペクトル

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（基準地震動  $S_s$ ）



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，

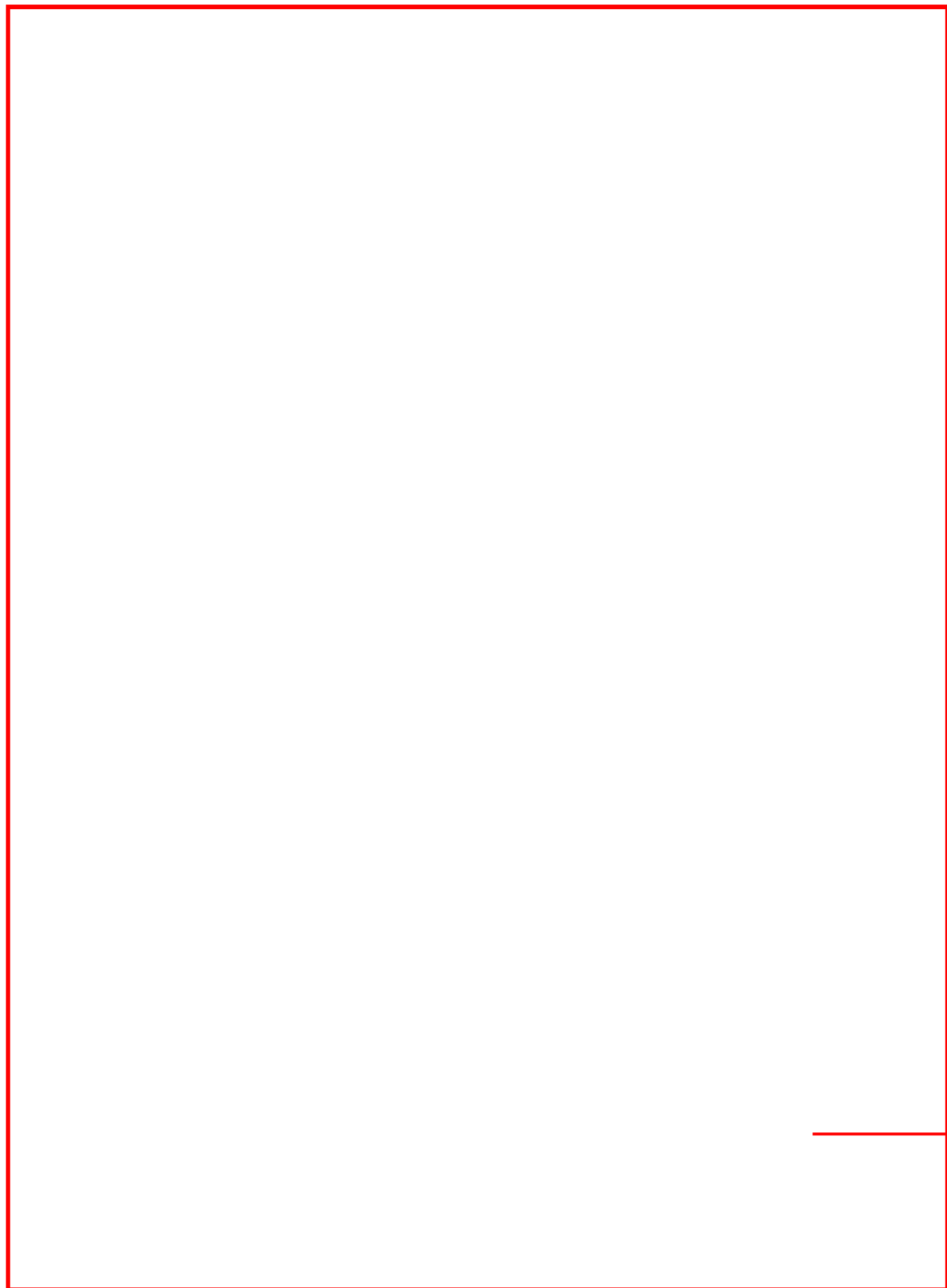
固有周期  s のとき，震度

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 （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  となる。

内は商業機密に属しますので公開できません



取  
得

固有周期 [秒]



内は商業機密に属しますので公開できません

固有周期



図 B1.4 床応答スペクトル

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（基準地震動  $S_s$ ）



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

（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  となる。

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）
タイトル	<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>	
説明	<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、添付資料 2F4-耐震 22-①に外形図、添付資料 2F4-耐震 22-②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="699 1400 1088 1803" style="text-align: center;"> </div> <p>図 1-1 解析モデル</p>	



No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）		
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 <sub>H</sub>		—
	鉛直方向設計震度*2	C <sub>V</sub>		—
	*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 <sub>s</sub> , S <sub>i</sub> ）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 <sub>t</sub>		—
	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 <sub>1</sub>		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

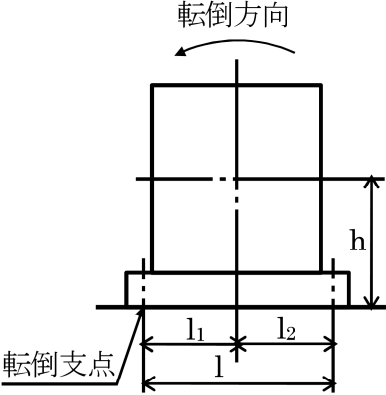
No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）									
説明 (続 き)	<p>(2) 引張応力          ボルトに対する引張力は図 1-1 でボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。</p> <p>引張力  <math display="block">F_t = \frac{W \cdot \{C_H \cdot h - (1 - C_V) \cdot l_1\}}{l}</math></p> <p>引張応力  <math display="block">\sigma_b = \frac{F_t}{A_b \cdot N_t}</math></p> <p>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。</p> <p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 1003 1345 1133"> <thead> <tr> <th>応 力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引 張</td> <td><math>\sigma_b = 294</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 87</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 許容応力について          JEAG4601-1987 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<sub>AS</sub>を適用する。</p> <p>許容応力算定用基準値  <math display="block">F = \min(S_y, 0.7S_u)</math></p> <p>許容引張応力  <math display="block">f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]</math> <math display="block">f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5</math></p> <p>許容せん断応力  <math display="block">f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5</math></p>		応 力	算出応力	単位	引 張	$\sigma_b = 294$	MPa	せん断	$\tau_b = 87$	MPa
応 力	算出応力	単位									
引 張	$\sigma_b = 294$	MPa									
せん断	$\tau_b = 87$	MPa									

No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																														
説明 (続き)	<p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(条件)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルト材質</td> <td>—</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>50</td> <td>℃</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td><math>S_y</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td><math>S_u</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*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</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>f_{ts} = 475</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>f_{sb} = 366</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(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。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 294</math></td> <td><math>f_{ts} = 475</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 87</math></td> <td><math>f_{sb} = 366</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>			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	℃	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	応力	許容応力	単位	引張	$f_{ts} = 475$	MPa	せん断	$f_{sb} = 366$	MPa	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
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	℃																																													
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																																													
応力	許容応力	単位																																														
引張	$f_{ts} = 475$	MPa																																														
せん断	$f_{sb} = 366$	MPa																																														
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

No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																						
説明 (続き)	<p>② 参考（改造工事前）</p> <p>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。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>改造前の具体的な構造として、添付資料 2F4-耐震 22-③に外形図、添付資料 2F4-耐震 22-④に基礎図を示す。</p> <p>(2) 評価条件</p> <p>以下に改造工事前後で変更のある評価条件を示す。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルトの本数</td> <td>N</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid red;"></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>引張力の働くボルトの評価本数</td> <td><math>N_t</math></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>固有周期（水平方向）</td> <td>—</td> <td>s</td> </tr> <tr> <td>据付面から重心までの距離</td> <td>h</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 評価結果</p> <p>(1) 応力計算について</p> <p>上記の評価条件で計算した算出応力を以下に示す。</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 172</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 27</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 結論</p> <p>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。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 172</math></td> <td><math>f_{ts} = 475</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 27</math></td> <td><math>f_{sb} = 366</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table>		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	応力	算出応力	単位	引張	$\sigma_b = 172$	MPa	せん断	$\tau_b = 27$	MPa	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
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																																					
応力	算出応力	単位																																						
引張	$\sigma_b = 172$	MPa																																						
せん断	$\tau_b = 27$	MPa																																						
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

No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																													
説明 (続 き)	<p>③ 非常用ディーゼル発電機 (B) 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 (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。</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 (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、添付資料 2F4-耐震 22-⑤に外形図、添付資料 2F4-耐震 22-⑥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 style="text-align: center;">  </div> <p>図 2-1 解析モデル</p> <p>(3) 耐震条件</p> <table border="1" data-bbox="375 1570 1385 1906"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>耐震重要度</td> <td>—</td> <td>S</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>据付設置建屋</td> <td>—</td> <td>R/B</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>据付設置位置</td> <td>—</td> <td>0. P 12, 200</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>固有周期 (水平方向)</td> <td>—</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid red;"></td> <td>s</td> </tr> <tr> <td>固有周期 (鉛直方向)</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>水平方向設計震度*2</td> <td><math>C_H</math></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>鉛直方向設計震度*2</td> <td><math>C_V</math></td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：鉛直方向については、剛構造とみなした</p> <p>*2：設計震度については、動的地震力 (<math>S_s</math>, <math>S_l</math>) 及び静的地震力の最大値とする</p>		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	$C_H$	—	鉛直方向設計震度*2	$C_V$	—
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	$C_H$		—																												
鉛直方向設計震度*2	$C_V$		—																												
<div style="border: 2px solid red; display: inline-block; width: 50px; height: 20px; vertical-align: middle;"></div> 内は商業機密に属しますので公開できません																															

No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																
説明 (続 き)	<p>(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。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルト径*1</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト半径当たり腐食量</td> <td>c</td> <td>0.3</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>据付面に作用する荷重</td> <td>W</td> <td rowspan="7"></td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>ボルトの本数</td> <td>N</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>引張力の働くボルトの評価本数</td> <td>N<sub>t</sub></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>据付面から重心までの距離</td> <td>h</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>ボルト間の距離</td> <td>l</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>重心位置とボルト間の距離</td> <td>l<sub>1</sub></td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1:ボルト径については，谷径を入力値とする</p> <p>2. 評価方法</p> <p>(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。</p> <p>せん断力</p> $Q_s = W \cdot C_H$ <p>せん断応力</p> $\tau_b = \frac{Q_s}{A_b \cdot N}$ <p>ここでボルトの断面積は，</p> $A_b = \frac{\pi}{4} (d - 2c)^2$ <p>(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。</p> <p>引張力</p> $F_t = \frac{W \cdot \{C_H \cdot h - (1 - C_V) \cdot l_1\}}{l}$ <p>引張応力</p> $\sigma_b = \frac{F_t}{A_b \cdot N_t}$			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 <sub>t</sub>	—	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 <sub>1</sub>	mm
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 <sub>t</sub>		—																															
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 <sub>1</sub>		mm																															

  内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																																	
説明 (続き)	<p>3. 評価結果</p> <p>(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。</p> <p>(結果)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>応力</th> <th>算出応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引張</td> <td><math>\sigma_b = 421</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td><math>\tau_b = 90</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 許容応力について JEAG4601-1987 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<sub>A</sub>S を適用する。</p> <p>許容応力算定用基準値 <math>F = \min(S_y, 0.7S_u)</math></p> <p>許容引張応力 <math>f_{ts} = \min[(1.4f_{t0} - 1.6\tau_b), f_{t0}]</math> <math>f_{t0} = \left(\frac{F}{2}\right) 1.5</math></p> <p>許容せん断応力 <math>f_{sb} = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) 1.5</math></p> <p>以下に算出に用いる評価条件及び算出結果を示す。</p> <p>(条件)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>記号</th> <th>入力値</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボルト材質</td> <td>—</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ボルト径</td> <td>d</td> <td></td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>評価用温度</td> <td>—</td> <td>50</td> <td>℃</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計降伏点*1</td> <td><math>S_y</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>ボルト材の設計引張強さ*1</td> <td><math>S_u</math></td> <td></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>*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</p>		応力	算出応力	単位	引張	$\sigma_b = 421$	MPa	せん断	$\tau_b = 90$	MPa	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	℃	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
応力	算出応力	単位																																	
引張	$\sigma_b = 421$	MPa																																	
せん断	$\tau_b = 90$	MPa																																	
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	℃																																
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																																

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	2F4-耐震 22_Rev. 1	分類：耐震安全性評価（基礎ボルト）																						
説明 (続 き)	<p>(結果)</p> <table border="1" data-bbox="416 360 1345 488"> <thead> <tr> <th>応 力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引 張</td> <td><math>f_{ts} = 475</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せ ん 断</td> <td><math>f_{sb} = 366</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(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。</p> <table border="1" data-bbox="403 647 1358 775"> <thead> <tr> <th>応 力</th> <th>算出応力</th> <th>許容応力</th> <th>単位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引 張</td> <td><math>\sigma_b = 421</math></td> <td><math>f_{ts} = 475</math></td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>せ ん 断</td> <td><math>\tau_b = 90</math></td> <td><math>f_{sb} = 366</math></td> <td>MPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>④ 添付資料</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 2F4-耐震 22-① 「DG(A)給気処理装置外形図 Rev. B」【改造工事後】</li> <li>(2) 2F4-耐震 22-② 「DG(A)給気処理装置基礎図 Rev. B」【改造工事後】</li> <li>(3) 2F4-耐震 22-③ 「DG(A)給気処理装置外形図 Rev. A」【改造工事前】</li> <li>(4) 2F4-耐震 22-④ 「DG(A)給気処理装置基礎図 Rev. A」【改造工事前】</li> <li>(5) 2F4-耐震 22-⑤ 「DG(B)給気処理装置外形図」</li> <li>(6) 2F4-耐震 22-⑥ 「DG(B)給気処理装置基礎図」</li> </ul> <p style="text-align: right;">以 上</p>			応 力	許容応力	単位	引 張	$f_{ts} = 475$	MPa	せ ん 断	$f_{sb} = 366$	MPa	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
応 力	許容応力	単位																						
引 張	$f_{ts} = 475$	MPa																						
せ ん 断	$f_{sb} = 366$	MPa																						
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																					

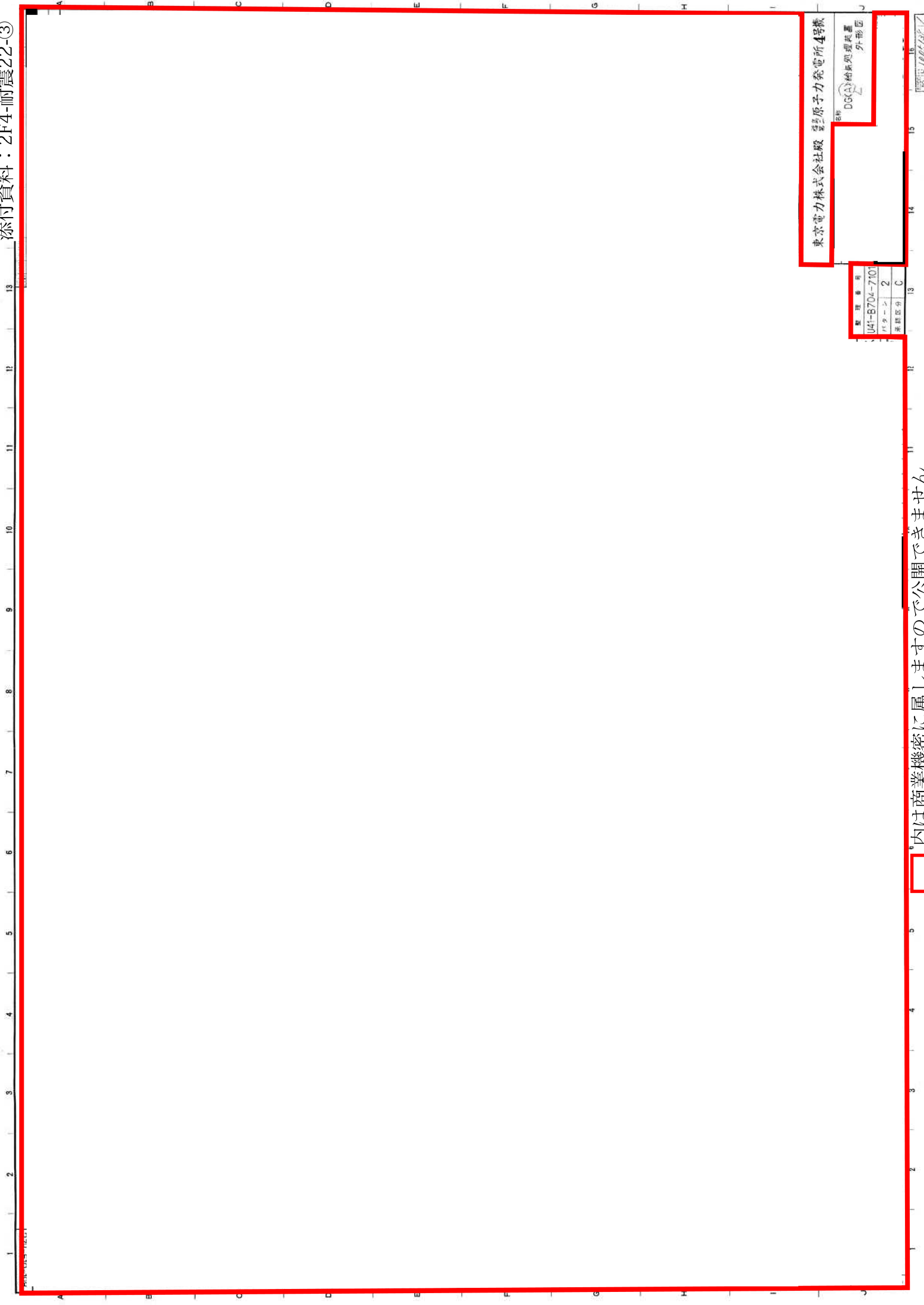


東京電力株式会社 福島原子力発電所 設備

名称 DG(A) 給水処理装置  
外形図

内は商業機密に属しますので公開できません





整理番号	説明
U41-B704-7101	
バターン	2
詳細区分	C

東京電力株式会社 電力研究所 4号棟

資料  
D6(△)給糸処理装置  
外形図

□内は商業機密に属しますので公開できません

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

東京電力株式会社 東京原子力発電所4号機

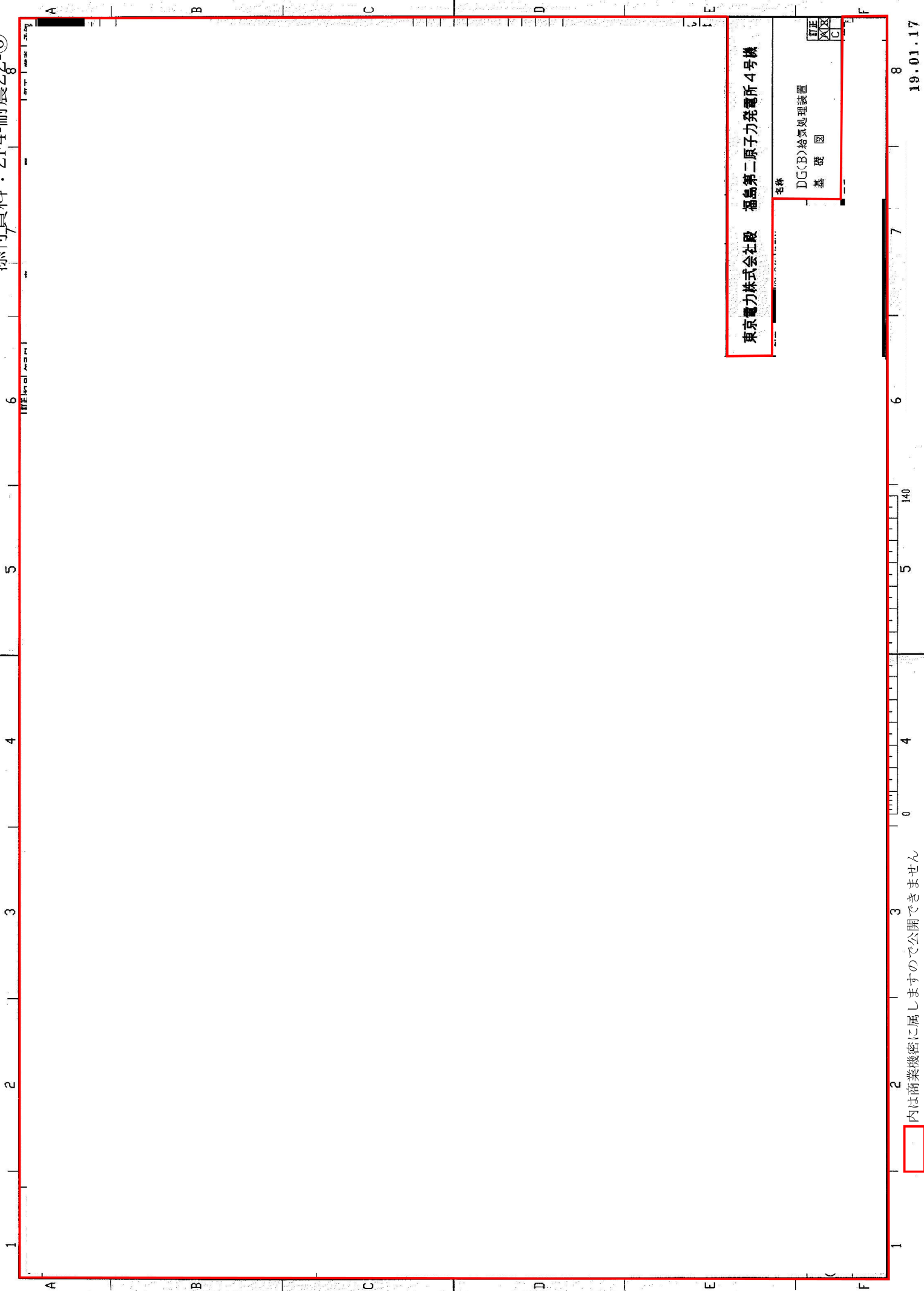
名称

DG(C)給排水装置  
基礎図

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 福島第二原子力発電所4号機

名称

DG(B)給気処理装置  
基礎 図

訂正
XX
C

内は商業機密に属しますので公開できません