

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-50 改 04
提出年月日	2023年4月21日

横置円筒形容器の耐震評価方法について

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価方法の適用方針	2
3. 耐震評価方法の変更内容	2
4. 結論	2

1. 概要

本資料では、今回工認における横置円筒形容器の耐震評価方法を示し、応答解析手法の使い分けの判断基準や、応力評価手法について説明するとともに、既工認及び設置変更許可審査からの変更内容について示す。

本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-3-1-1 アキュムレータの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-1-1 原子炉補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-5-7-2-1 高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-1-4 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-1-7 非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-1-8 非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-2-6 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-10-1-2-3-5 ガスタービン発電機用サービスタンクの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-11-2-7-7 原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-11-2-7-8 グランド蒸気排ガスフィルタの耐震性についての計算書」
- ・「VI-2-11-2-7-11 タービン補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算書」

2. 耐震評価方法の適用方針

横置円筒形容器の耐震評価においては、J E A G 4 6 0 1-1987（以下「J E A G」という。）に基づいて理論式又は理論式と同等のはりモデルによる応答解析で荷重及びモーメントを算出し、それらを用いて理論式により胴、脚及び基礎ボルトの応力評価を行う。横置円筒形容器の耐震評価フローを図1に示す。

横置円筒形容器の応答解析手法は、J E A Gの理論式の適用可否により使い分ける。脚数が2脚以下の容器であれば、J E A Gの理論式を適用可能であるため理論式による応答解析で荷重及びモーメントを算出するが、脚数が3脚以上である場合や脚（底面以外）にサポートを追設している場合にはJ E A Gの理論式を適用できないため、はりモデルによる応答解析で荷重及びモーメントを算出する。

応力評価手法は、すべての評価部位に対して理論式を適用し、胴の脚付け根部の応力評価においては図2に示す有効板厚 t_e の判定基準を用いる。この有効板厚 t_e の判定基準はJ E A G（図3参照）には規定がないが、J I S等の文献（詳細は図2参照）に基づいて設定したものである。なお、当該判定基準はJ E A C 4 6 0 1-2008（図4参照）以降に反映されている内容である。

当板の範囲が狭く、判定基準を満たさない場合には有効板厚 t_e に当板の板厚を考慮できないため、胴の応力の発生値が大きくなる（図3参照）。応力評価における発生値が大きくなり、許容値を上回る場合には、当板拡張を含めた耐震補強工事を実施する。当板拡張の概要について、長手方向の例を図5に示す。

新設当板と既設当板を一体化させ、一体化した当板と胴板を溶接する。一体化した当板の寸法は図2の判定基準を満足させる。当板拡張の実施にあたっては、事前にモックアップ試験を行い、溶接による入熱に伴って胴板に有意な変形が生じないこと等も含めて工事の成立性を確認した。

図1の耐震評価フローに基づく評価対象設備の耐震評価方法を表1に示す。耐震補強工事を実施している横置円筒形容器について、当板拡張の内容を表2に、サポート追設の内容を表3に示す。

3. 耐震評価方法の変更内容

今回工認における横置円筒形容器（当板拡張対象）の耐震評価方法について、既工認及び設置変更許可審査からの変更内容を表4に示す。

4. 結論

今回工認では、本資料で示した耐震評価フローに基づき、横置円筒形容器の耐震評価を行う。必要に応じて当板拡張を含めた耐震補強工事を実施のうえ、J E A Gに基づく耐震評価を行うこととし、応答解析手法は構造に応じて理論式又ははりモデルを使い分け、応力評価手法は理論式を適用する。

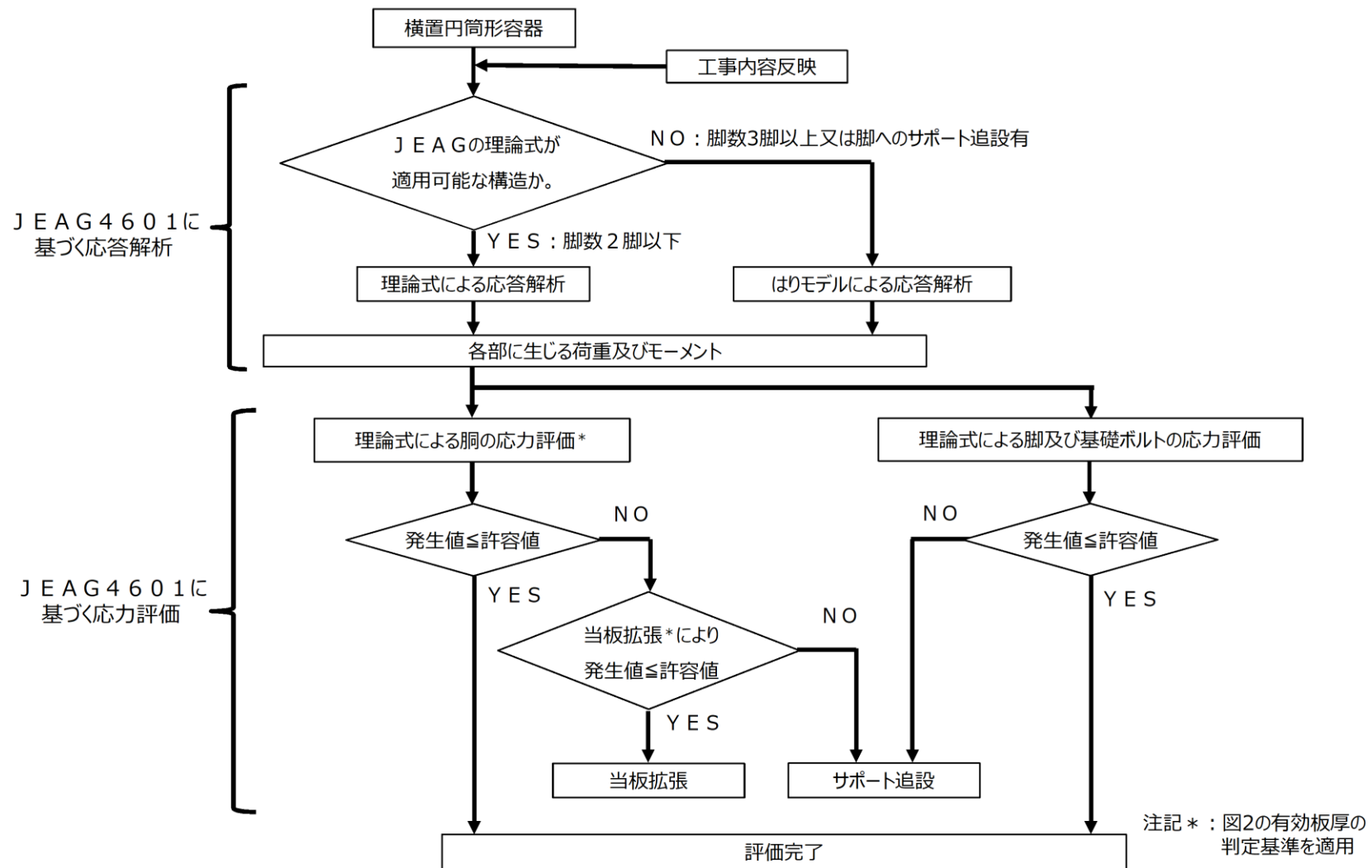


図1 横置円筒形容器の耐震評価フロー

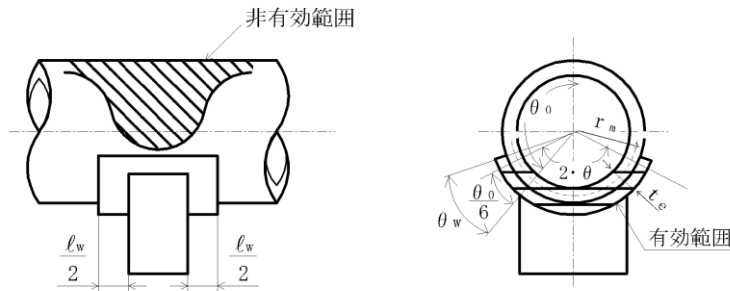


図 5-2 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0^{*1}}{6} \quad \dots \dots \dots (5.3.1.1.13)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t}^{*2} \quad \dots \dots \dots (5.3.1.1.14)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (3) 日本産業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

図 2 有効板厚 t_e の判定基準

(VI-2-1-14 「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」 から抜粋)

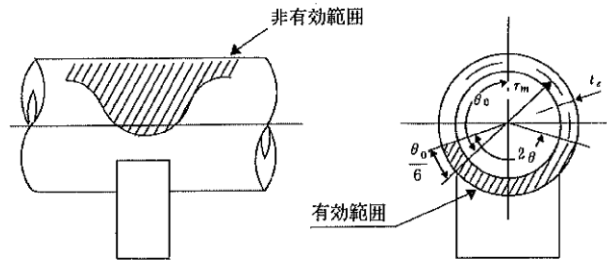


図 6.6.3-27 脚つけ根部の有効範囲

脚付け根部における胴の有効板厚 t_e の判定基準について規定なし。

⑤ 運転時重量による脚つけ根部の応力

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わされる。

$$P = R_1 \quad \dots\dots\dots (6.6.3-313)$$

この反力 P により生じる胴の局部応力は、参考文献^(6.6.3-2)によると次のようにして求めることができる。

$$\gamma = r_m / t_e \quad \dots\dots\dots (6.6.3-314)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (6.6.3-315)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (6.6.3-316)$$

$\beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left[1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1^*) \right] \sqrt{\beta_1 \beta_2} \dots\dots (6.6.3-317)$$

$\beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left[1 - \frac{4}{3} (1 - \beta_1 / \beta_2) (1 - K_2^*) \right] \sqrt{\beta_1 \beta_2} \dots\dots (6.6.3-318)$$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、参考文献(6.6.3-2)の表より値を求める(以下*を付記する。)ことにより応力は次式で表わされる。

・ t_e : 小 (当板未考慮) \Rightarrow 算出応力: 大
 ・ t_e : 大 (当板考慮) \Rightarrow 算出応力: 小

胴の脚付け根部の
 応力計算式の一例

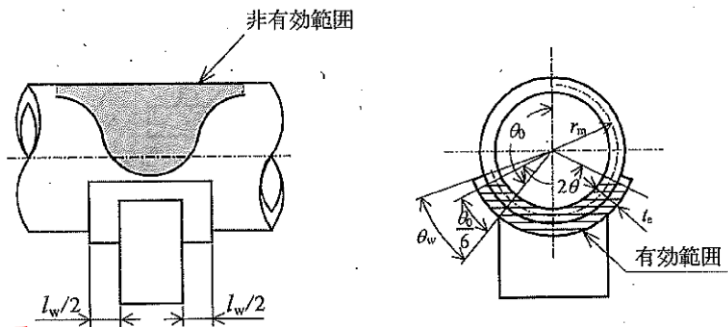
$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m t_e} \right) \dots\dots\dots (6.6.3-319)$$

$$\sigma_{x3} = \left(\frac{N_x}{P/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m t_e} \right) \dots\dots\dots (6.6.3-320)$$

⑥ 長手方向地震による脚つけ根部の応力

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6.6.3-23のように変形し、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。

図3 J E A G 4 6 0 1 - 1987における記載内容



脚付け根部における
 胴の有効板厚 t_e
 の判定基準反映箇所

附図 5.2.4-8 脚つけ根部の有効範囲

胴の脚つけ根部に取り付く当て板の大きさが、

$$\text{円周方向範囲 } \theta_w \geq \frac{\theta_0}{6} \quad \dots\dots\dots (\text{附 5.2.4-20})$$

$$\text{長手方向範囲 } l_w \geq 1.56 \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right)t} \quad \dots\dots\dots (\text{附 5.2.4-21})$$

である場合、脚つけ根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当て板の厚さの合計とする。また、当て板が上記範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

【解 説】

(1) 長手方向曲げモーメントに対する胴の有効範囲

胴の脚つけ根部に作用する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る。

長手方向の曲げモーメントに対する胴の応力の影響範囲は、参考文献(附 4.3-3)によると脚上 $\theta_0/6$ の点までである。

(2) 当て板の長手方向範囲

当て板が式(附 5.2.4-21)の範囲に取り付いている場合には、JISB8278(2003) サドル支持の横置圧力容器に、長手方向の曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる応力の計算に当て板を考慮してよいことが示されている。

e) 運転時質量及び鉛直方向地震力により生じる胴の脚つけ根部の応力

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、次による。

運転時質量による反力

$$P = R_1 \quad \dots\dots\dots (\text{附 5.2.4-22})$$

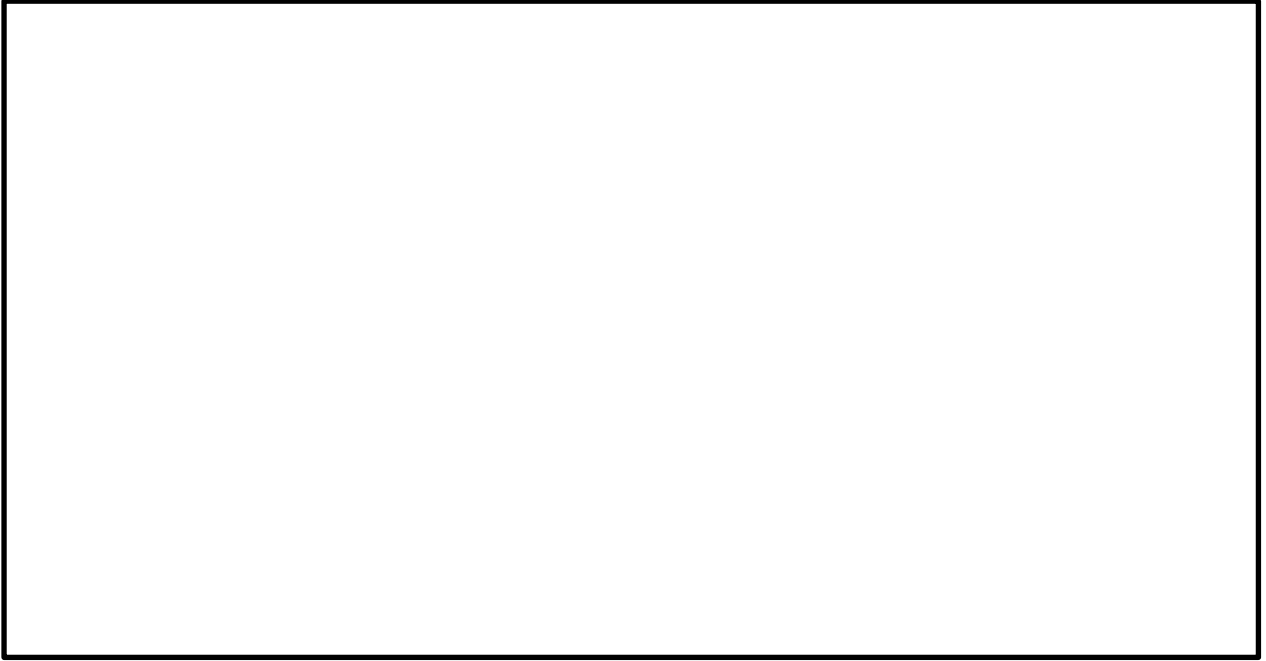


図5 当板拡張の概要（長手方向の例）

表 1 横置円筒形容器の J E A G に基づく耐震評価方法

No.	設備名称	新設/既設	構造上の特徴				耐震評価方法		備考	
			脚数	耐震補強工事の内容		当板考慮	応答解析	応力評価		
				当板拡張	サポート追設					
1	逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	既設	1脚	—*1	—	—*1	理論式	分類①		
2	逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ		2脚	—*1	—	—*1				
3	燃料プール冷却系熱交換器		2脚	○*2	—	○*2		理論式	分類②	
4	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク				—					
5	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク				—					
6	原子炉補機冷却系熱交換器				脚底面にサポート追設					
7	高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器		—							
8	グラント蒸気排ガスフィルタ		2脚	—*3	—	—*3			理論式	分類③
9	タービン補機冷却系熱交換器				—*3					
10	ガスタービン発電機用サービスタンク		新設	2脚	—*4	—				○*4
11	原子炉浄化系補助熱交換器	既設	2脚	○*2	脚にサポート追設	○*2	分類⑤			
12	非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料貯蔵タンク		3脚	○*2	—	—				○*2
13	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク									
14	非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク	新設	5脚	—*4	—	○*4	分類⑥			

注記*1：当板を考慮せずに評価成立 [分類①]

*2：当板拡張により評価成立 [分類②及び分類⑤]

*3：波及的影響防止（転倒防止）の観点で胴は評価対象外 [分類③]

*4：当板有効となるように新設 [分類④及び分類⑥]

*5：脚数が3脚以上又は脚（底面以外）へサポートを追設している場合であり、応答解析に理論式同等のはりモデルの解析を適用 [分類⑤及び分類⑥]

表 2 当板拡張の内容

No.	設備名称	当板の 拡張方向	長手方向		判定値*2 (mm)	周方向		判定値*2 (rad)
			当板寸法*1 lw (mm)			当板寸法*1 θw (rad)		
			拡張前	拡張後		拡張前	拡張後	
1	燃料プール冷却系熱交換器	長手方向	50	90	85	0.379	—	0.369
2	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	長手方向及び 周方向	30	170	156	0.045	0.428	0.327
3	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	長手方向及び 周方向	30	170	156	0.045	0.428	0.327
4	原子炉補機冷却系熱交換器	長手方向	70	180	171	0.354	—	0.350
5	高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	長手方向	40	120	116	0.351	—	0.350
6	原子炉浄化系補助熱交換器	長手方向	50	110	106	0.366	—	0.365
7	非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	長手方向	200	300	249	0.357	—	0.350
8	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク	長手方向	200	300	249	0.357	—	0.350

注記*1：当板寸法の記号は図 2 に対応

*2：有効板厚に当板の板厚を考慮する場合の lw 及び θw の下限値

表 3 サポート追設の内容 (1/3)

No.	設備名称	サポート追設の内容	概略構造図
1	原子炉補機冷却系熱交換器		

表 3 サポート追設の内容 (2/3)

No.	設備名称	サポート追設の内容	概略構造図
2	タービン補機冷却系熱交換器		

表 3 サポート追設の内容 (3/3)

No.	設備名称	サポート追設の内容	概略構造図
3	原子炉浄化系補助熱交換器		

表4 横置円筒形容器（当板拡張対象）の耐震評価方法の変更内容

	評価部位	既工認	設置変更許可審査	今回工認
応答解析 手法	胴	理論式 又ははりモデル*1	FEMモデル (胴の応力評価と対応)	理論式 又ははりモデル*2
	脚		理論式又ははりモデル	
	基礎ボルト			
応力評価 方法	胴	理論式 (胴の有効板厚 t_e に判定基準はなく、有効板厚 t_e に当板の板厚を考慮)	FEMモデル (胴の応力評価を精緻化)	理論式 (胴の有効板厚 t_e の判定基準に基づいて当板拡張を実施し、有効板厚 t_e に当板の板厚を考慮)
	脚		理論式	
	基礎ボルト			
考え方		JEAG4601-1987 発行前であったが、JEAG4601-1987 と同等の評価方法を適用していた。JEAG-1987 には胴の脚付け根部の応力評価における有効板厚 t_e の判定基準は規定されておらず、当時は有効板厚 t_e に当板の板厚を考慮していた。	JIS等の文献に基づき、胴の脚付け根部の応力評価における有効板厚 t_e に判定基準を設け、当該判定基準に基づいて評価を行うこととした。有効板厚 t_e に当板を考慮できないことにより発生値が許容値を上回るものについては、精緻な応力評価を実施することを目的としてFEMモデルを用いた評価を行う方針としていた。	有効板厚 t_e の判定基準を満たすように当板を拡張する工事の成立性を検討した。成立性の見通しが得られたことから、当板拡張を実施のうえ従来同様の理論式による応力評価を行う方針とした。

注記*1:JEAGの理論式を適用できない容器として、多段式の熱交換器に適用

*2:JEAGの理論式を適用できない容器として、脚数が3脚以上又は脚にサポートを追設した容器に適用