

**前回の審議におけるコメント回答について
(伊方3号機耐震裕度2倍確保に係る取組みについて)**

**平成25年10月16日
四国電力株式会社**



コメントQ1および回答

Q1：・実力評価をするときの前提条件の基本的方針を示すことはできないか。（森委員）
・2倍いっていないものを無理やり2倍にしたような印象を受ける（宇根崎委員）

A1：耐震バックチェック等では評価対象数も多いことから、多くの機器に効率的に適用可能な手法等で評価を行い、耐震余裕が残っているかを確認したのに対し、今回の評価においては、耐震バックチェック等での一般的な評価では2倍程度の耐震余裕を確認できなかったものに対し、個別に適用可能な手法を選び出し、より詳細に耐震余裕を評価しています。なお、今回当社が実施した評価手法は、全て、当社プラントの既設工認、3号機ストレステストにて他設備に対して実施した手法、他プラントの耐震バックチェック、および現在制定されている日本電気協会規格による手法など、これまで実績のある適切な手法を採用しています。次頁以降に、今回実施した評価手法を整理してお示しいたします。

コメントQ1回答 今回の取組みの基本的な考え方

○耐震裕度確認の方法として、まず、耐震バックチェック、ストレステストで既に国に確認を受けている評価結果を用いて耐震裕度を確認しました。

○確認の結果、2倍の耐震裕度を確認できなかった設備(12設備)については、再評価(以下「実力評価」という)を実施し、耐震裕度(実力)を確認しています。この実力評価にあたっては、以下の①～③に示すとおり、適切な手法を採用しています。

① 当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法

② 他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法

③ 現在制定されている日本電気協会規格による手法

○さらに、設備の設置状態等を踏まえ、補強工事を実施することが耐震性の向上に有効であると判断したもの(2設備)については、耐震性向上工事を実施しました。

【参考】

- JEAC 4601には、「本規程は、既設プラントの耐震性安全評価にも用いることができ、その場合、運転実績、計測データ、実証試験結果等により得られた知見を反映して差し支えない」と記載されており、今回の耐震評価においてはこれを適用しております。

コメントQ1回答 今回の取組みで採用した手法(その1)

表 実力評価で採用した評価手法

対象設備		既往評価結果		今回の取組みで採用した手法
		耐震裕度	確認した既往評価	
再生熱交換器		1.63	ストレステスト	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法 ③現在制定されている日本電気協会規格による手法
原子炉格納容器本体		1.13	耐震バックチェック	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法 ②他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレスにて適用実績のある手法
アニュラスシール		1.69	耐震バックチェック	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
動的機器	充てんポンプ・原動機	1.81	ストレステスト	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法
	ほう酸ポンプ・原動機	1.81	ストレステスト	
	燃料取替用水タンクポンプ・原動機	1.85	ストレステスト	
	非常用予備発電装置機関本体	1.88	ストレステスト	
	アニュラス排気ファン・原動機	1.12	耐震バックチェック	
	安全補機室排気ファン・原動機	1.12	耐震バックチェック	
	中央制御室空調ファン・原動機	1.56	耐震バックチェック	
	中央制御室再循環ファン・原動機	1.28	耐震バックチェック	
	中央制御室非常用給気ファン・原動機	1.56	耐震バックチェック	

○耐震バックチェック等の既往評価結果で耐震裕度2倍が確認できなかった12設備の実力評価にあたっては、伊方3号機ストレステストで適用実績のある手法等、適切な評価手法を採用しています。

コメントQ1回答 今回の取組みで採用した手法(その2)

表 実力評価の具体的内容と当該評価手法の適用事例

対象設備	精緻化項目	具体的内容	適用事例	今回の評価に適用することの考え方
再生熱交換器(支持脚)	評価に用いる鉛直方向地震加速度として、最大地震加速度をそのまま適用	既往評価では、評価に用いる鉛直方向地震加速度として、自主的に最大応答加速度を1.2倍して設定(5.88m/s ²)していたが、今回評価では最大応答加速度をそのまま(4.91m/s ²)適用	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法 (メタクラ:遮断器等の配電設備を金属の箱に収めた物)	再生熱交換器のような剛な設備は、地震時には設置床面にほぼ追従して動くことから地震動により揺れが増幅しにくいと、設計時に、規格には指定はないものの設備にかかる加速度を自主的に1.2倍して強度評価することで、結果的に地震に強い設備となるよう配慮している。伊方3号のストレステストでは、設備の実質的(実力的)な耐力を算出するとの観点から、メタクラについて、鉛直方向地震加速度を1.2倍せずに評価した実績があり、当該支持脚も同様な手法を用いて評価できると判断した。
	支持脚評価における摩擦力の考慮	支持脚評価に用いる水平地震荷重について、既往評価では摩擦力を考慮していないが、支持脚底面には実際には容器自重および取付ボルト締付力により摩擦力が作用するため、摩擦力の分を低減させた荷重にて評価	③現在制定されている日本電気協会規格による手法 (電気設備アンカーボルト)	再生熱交換器は、熱による本体の伸びを吸収させるために長手方向に可動できる構造としており、地震時には、支持脚と底板との間に摩擦力が生じることから、支持脚の評価にあたっては、この摩擦力も考慮することとした。電気設備の耐震設計指針JEA G5003-2010では、電気設備(制御盤等)の架台を据え付けるボルトに対して、摩擦力を考慮した耐震評価を実施することとしており、当該支持脚も同様な手法を用いて評価できると判断した。
原子炉格納容器(座屈評価)	FEMによる静的弾塑性座屈解析の適用	JEAC4601の座屈評価式(クラスMC容器の座屈の防止基準に基づく簡易な座屈評価)よりも精緻な評価が可能なFEMモデルによる静的弾塑性座屈解析を適用	②他社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法 (もんじゅ格納容器)	FEM(有限要素法)は精緻な評価が実施できる有用な数値解析法として、設備・構築物の力学解析をはじめ、理工学分野で広く用いられている手法である。もんじゅのバックチェックにおける格納容器の座屈評価や、伊方3号のストレステストにおける蒸気発生器の耐震評価で実績があり、当該格納容器も同様な手法を用いて評価できると判断した。
	材料物性値(降伏点)としてミルシート平均値を採用	格納容器円筒部の材料物性値(降伏点)について、JSME規格値(260MPa)から、実際に使用している材料のミルシートの平均値(367MPa)に変更 (格納容器のような大型構造体は、多くの鋼板を使用しており、鋼板の製作ロット毎のミルシートも多数である。(材料物性にばらつきがある)現実的な挙動に近づけるためにミルシートのデータを使用し、円筒部鋼板全体の特性を考慮する為、ミルシートの加重平均値を採用した。)	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法 (再生熱交換器支持脚)	設備の実質的(実力的)な耐力を算出するにあたり、材料の実強度が機械試験にて確認されている場合には、材料に対するJSME規格値の代わりに実強度を示すミルシート値を用いることが適切である。伊方3号のストレステストにおける再生熱交換器の耐震評価で実績があり、当該格納容器も同様な手法を用いて評価できると判断した。
アニュラスシール(梁端ボルト)	材料物性値から求める許容せん断応力の採用	高力ボルトの許容せん断応力について、建築基準法施行令に基づく摩擦接合による許容せん断応力から、せん断力によるボルト本体の破損という観点から、日本工業規格(JIS規格)の材料物性値を用いて、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME規格)に基づく圧接接合による許容せん断応力を算出し適用	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法 (伊方3号格納容器再循環サンプスクリーン 基礎ボルトの現行工認)	地震力がボルトで繋いだ部材間の摩擦力を上回るとボルトにせん断力が作用することになるため、せん断力によるボルトの破損という観点から求めた評価基準値を用いることとした。伊方3号の工認における格納容器再循環サンプスクリーンの耐震評価で実績があり、当該ボルトも同様な手法を用いて評価できると判断した。
動的機器	動的機能維持評価において、より現実的な耐力を考慮	JEAC4601における機能確認加速度および機能確認加速度における余裕度評価結果(JEAC4601-2008 参考資料 4.11動的機器の地震時機能維持評価法)を用いて評価基準値を設定	①当社プラントの既設工認、耐震バックチェック、ストレステストにて適用実績のある手法 (タービン動補助給水ポンプ駆動用タービン)	動的機器に対する機能維持の詳細評価については、最新の規格で規定されており、この手法を適用した。伊方3号のストレステストにおけるタービン動補助給水ポンプ駆動用タービンの耐震評価で実績があり、当該動的機器も同様な手法を用いて評価できると判断した。

○評価の具体的な内容および適用事例は表のとおりであり、今回の評価内容は適用事例と同様の実施内容であることから、今回実施した当社の評価方法は全てこれまでに実績がある手法です。

コメントQ1回答（参考：設備の持つ様々な余裕について）

○原子力設備は、設計・製作の各段階で、評価方法や発生応力、材料強度、設計寸法等に保守性を持たせており、出来上がった設備には様々な余裕があります。

○これまで、設計時の評価や耐震バックチェックにおいては、当社が設定した基準地震動(570ガル)に対して余裕があることを確認してまいりました。また、ストレステストにおいては、最も余裕の少ない機器を抽出するため余裕の大きいと思われるいくつかの項目に対して実力評価を行っております。今回の取り組みは、各機器の持つ様々な余裕が2倍程度あることを実力評価を行い、お示しすることを目的にしているものであります。

表 設備の持つ様々な余裕（例）

耐震余裕の種類		設備の持つ余裕の例	実力評価で考慮（例）
設計条件	地震力	○設置場所の上部階の床応答を採用 ○剛な設備には最大応答加速度を1.2倍して適用	○実際に機器が設置されている階の床応答を採用 ○最大応答加速度をそのまま適用
	材料強度	○材料物性値(降伏点)について規格値を採用	○実際の破壊様式を考慮した規格値を採用 ○実際に使用している材料のミルシートの値を採用
	環境条件	○事故時他の設計条件(温度、圧力等)を使用して地震力を算出	○温度、圧力等について実際の運転時の上限値などを採用して地震力を算出
	応力値解析方法	○規格等に則った簡易な評価式で評価	○実際の材料の物性値や設置状況を勘案 ○精緻な評価が可能なFEMモデルによる解析で評価
	構造上の評価	○支持脚にかかる摩擦力を考慮しない	○支持脚にかかる摩擦力を考慮して、荷重を評価
機能試験値による評価		○規格・基準で定められた機能維持評価を採用	○機能確認済加速度における余裕度評価結果を採用して評価基準値を設定

コメントQ2および回答

**Q2:・元々の判断基準である、JEAC4601を用意してほしい。
（森委員）**
**・JEAC4601の該当部分について、明らかにしてほしい。
（濱本前部会長）**

**A2:再生熱交換器、アニュラスシール、および動的機器の評価について、今回の評価内容と適用したJEAC4601の該当部分を明らかにした資料として、添付資料をご確認ください。
（格納容器は既往のJEACの手法からFEM解析に変更）**

コメントQ3および回答

Q3:「裕度」、「許容値」、「許容応力」、「評価基準値」について、用語の概念と定義を明らかにしてほしい。

(森委員)

・定義を整理して、明確にしてほしい。

(濱本前部会長)

A3:これまでご説明した資料では、用語が統一されていなかったため、以下のとおり用語を定義し、説明資料中の用語を統一しました。

- ・発生値 : 既往の評価において、基準地震動を入力した際に、設備にかかる応力等
- ・発生値(実力) : 今回実施した評価において、評価の精緻化や実際の設備の設置状況等を考慮したことにより、既往の発生値から修正した値

- ・評価基準値 : 既往の評価において、その設備が耐えることができると規格・基準にて定められている値
(「許容値」「許容応力」は、同じ意味で使用しているため、「評価基準値」に統一する)
- ・評価基準値(実力): 今回実施した評価において、使用する材料の実力値や実際の設備の設置状況等を考慮したことにより、既往の評価基準値から修正した値

- ・耐震裕度 : 評価基準値を発生値で割ったもの
(「裕度」は「耐震裕度」と同じ意味で使用しているため、「耐震裕度」に統一する)
- ・耐震裕度(実力) : 評価基準値(実力)を発生値(実力)で割ったもの

コメントQ4および回答

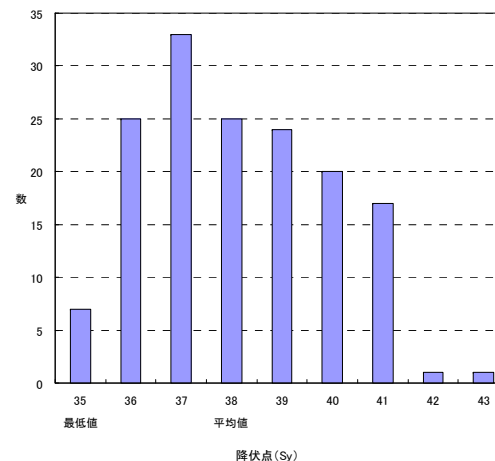
Q4:再生熱交換器の耐震裕度評価において摩擦力を考慮するのであれば、応答として生じる回転などの影響を全て考慮しないと、是非が検討できないのではないか。
(森委員)

A4:今回実施した評価では、水平方向地震加速度および鉛直方向地震加速度により、脚部に作用する曲げ応力、圧縮応力、せん断応力について算出し、組み合わせ応力に対する評価及び座屈評価を実施しています。このため、地震による応答として生じる回転などの影響を全て考慮したものとなっています。
評価の詳細は添付資料をご確認ください。

コメントQ5および回答

**Q5: 格納容器の実力評価で、円筒部に対してミルシートの平均値にて評価していることの妥当性は、
仮に最小値にて評価した場合はどうなるのか。
(渡邊委員)**

- A5:** ○半球部と比較して、円筒部は座屈が起こりやすいことから、評価を精緻化する観点から、FEM解析を実施するにあたり、素材の実強度であるミルシート値を採用しました。
- 原子炉格納容器(円筒部)に使用されている鋼板は計153枚ですが、下図にあるとおり、各鋼板のミルシート値は35～43kg/mm²に分布し、そのうち36～41kg/mm²の範囲が最も多くなっています。
- 各ミルシート値の分布は、平均値(38kg/mm²≒367MPa)を中心として、最小値から最大値まで小さい範囲(平均値と最小値の差異が約3kg/mm²)でほぼ均等に分布していることから、現実的な評価として、ミルシートの平均値を用いて評価することは妥当であると考えます。
- また、全ての鋼板に対してミルシートの最小値を用いた評価も実施しており、この場合は耐震裕度が1.99(平均値の場合2.01)となることを確認しています。



コメントQ6および回答

Q6:・格納容器の評価で、有限要素を用いる場合には、座屈モードを低次から高次まで出して、それらがきちんと出ているか情報提供してもらいたい。
・最大初期不整の不整分も、座屈モードで最も反映される場所に、最も都合が悪いように入れなければならないと思う。
(森委員)

A6:○FEM解析に入力する初期不整のモードを求めるため、弾性座屈固有値解析を実施しており、座屈モードを低次から高次まで確認しています。
○本解析の結果、最低次のせん断座屈モードは1次、3次モードであり、加振直角方向に片側ずつ発生するため、その両側に初期不整を与えています。
○また、最低次の曲げ座屈モードは125次モードであり、これらを重畳させ、初期不整を解析モデルに予め与えています。
○なお、初期不整量は、据付寸法計測記録における最大初期不整量である38.4mmとしています。
○次頁以降に、評価概要についてお示しいたします。

コメントQ6回答 座屈モードの確認と初期不整の与え方

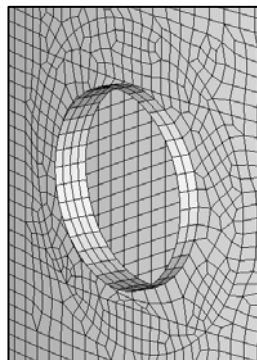
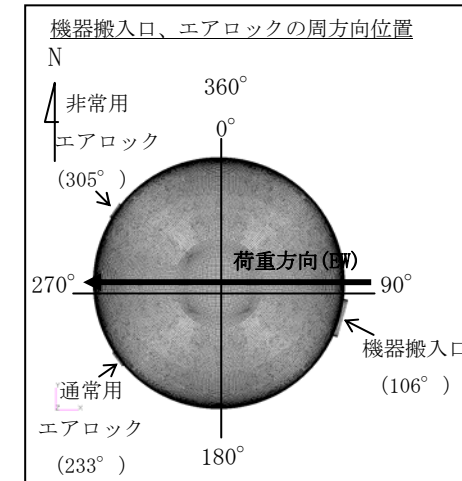
○格納容器のFEM弾塑性座屈解析に入力する初期不整のモードを求めるため、以下に示す弾性座屈固有値解析を実施しています。

1. 弾性座屈固有値解析

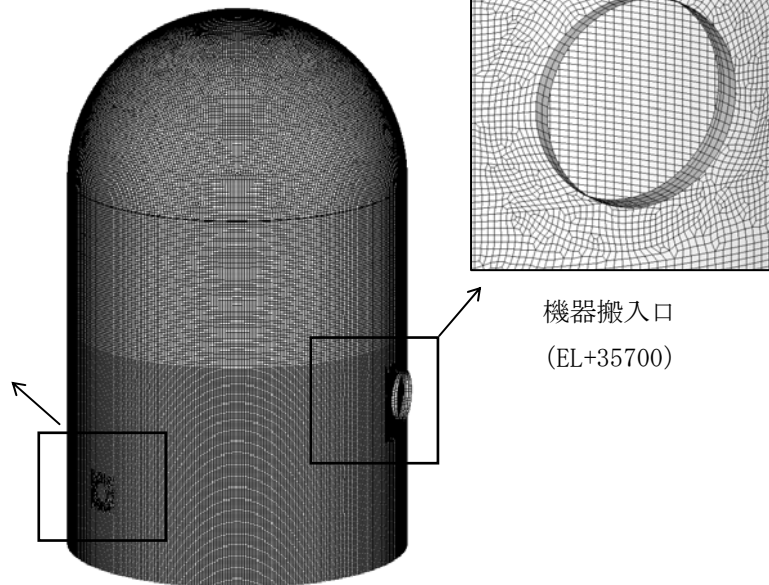
1.1 解析条件

(1) 解析モデル

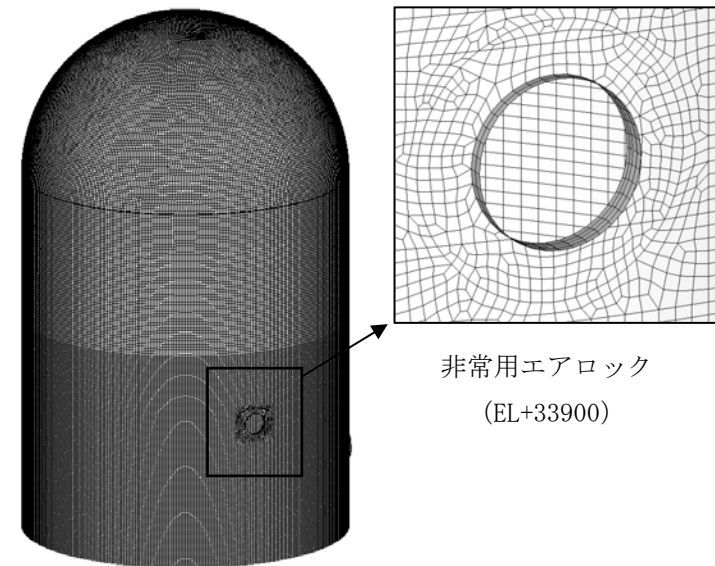
実機は、上部半球、胴部円筒、下部皿型の構造であるが、弾性材下端部より下側は完全に固定されているため、弾性材下端部より上側のみをモデル化した、上部半球、胴部円筒の形状とする。なお、解析モデルには、シェル要素を用いた。



通常用エアロック
(EL+25600)



機器搬入口
(EL+35700)



非常用エアロック
(EL+33900)

コメントQ6回答 座屈モードの確認と初期不整の与え方

(2)解析コード

ABAQUS6.8

(3)材料特性

格納容器内初期温度49℃の縦弾性係数 $E=201,000\text{MPa}$ を適用

(4)荷重条件

リングガーダ位置は、容器断面と比較して剛性が高く、また(重量が大きい)大きな水平荷重が発生するため、座屈モードの上端位置となると考えられる。そこで、本解析では、リングガーダ位置の高さで水平方向集中荷重を与える。

FEM弾塑性座屈解析に必要な初期不整モードを取得するため、EW方向荷重1ケースの解析を実施する。

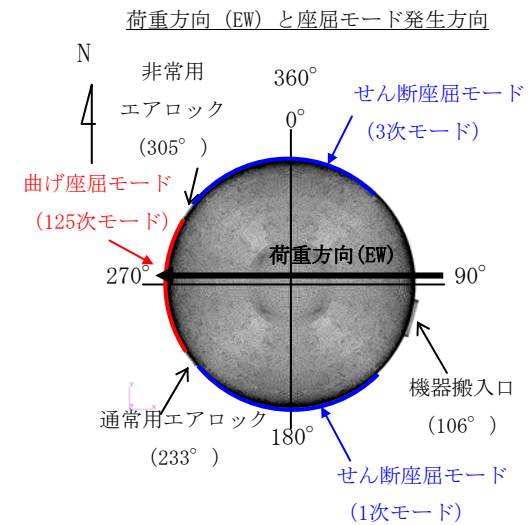
本解析によって得られた弾性座屈モードのうち、せん断座屈、曲げ座屈それぞれに対応した最低次の座屈モードを、FEM弾塑性座屈解析の初期不整モードに用いる。

コメントQ6回答 座屈モードの確認と初期不整の与え方

1. 2 解析結果

せん断座屈に対応した最低次の座屈モードは、荷重直角方向に発生するが、機器搬入口及びエアロックの存在により形状・剛性が周方向にわずかに不均一であるため、片側ずつ発生する(1次モードと3次モード)。

曲げ座屈に対応した最低次の座屈モード(125次)は、荷重方向に発生する。



1次モード

st1_md1.LF 1.851946e+002
Displacements



3次モード

st1_md3.LF 1.855733e+002
Displacements



125次モード

st1_md125.LF 5.020429e+002
Displacements



図 初期不整形状(EW方向、せん断座屈)

図 初期不整形状(EW方向、曲げ座屈)

コメントQ6回答 座屈モードの確認と初期不整の与え方

2. 初期不整

(1) 初期不整を与える位置

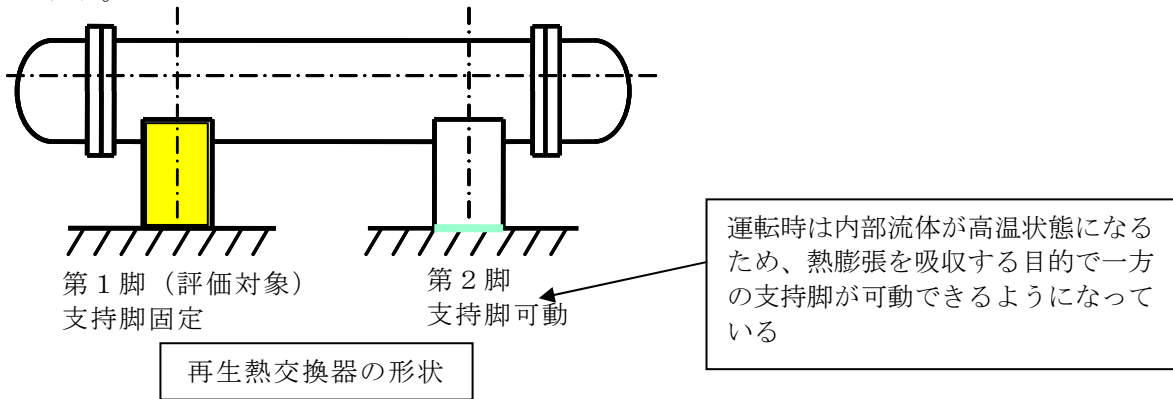
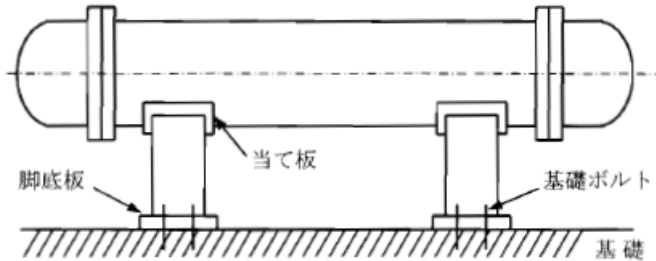
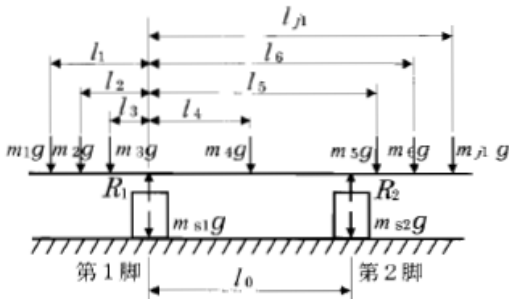
1. に示した弾性座屈固有値解析で得られた結果から、せん断座屈モード(1次および3次)と曲げ座屈モード(125次)を重畳させ、変位(初期形状)として弾塑性座屈解析モデルに予め与える。

せん断座屈モードは1次、3次モードで加振直角方向に片側ずつ発生するため、両方の座屈モードを用いて両方に初期不整を与える。

(2) 初期不整量

初期不整として与える量は、伊方3号機建設時の据付寸法計測記録(平成3年12月実施)における最大不整量である38.4mmとした。

【耐震裕度 2 倍】再生熱交換器支持脚の耐震裕度評価内容

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）		J E A C 4 6 0 1 該当箇所																																		
① 適用する評価方法 ○ 「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）」は、原子力発電所の耐震設計に関する事項のうち、基本事項、耐震重要度分類、建物・構築物の耐震設計、機器・配管系の耐震設計及び屋外重要土木構造物の耐震設計に関する事項をまとめたものであり、今回の実力評価においては、JEAC4601 に従うことを原則としている。 ○ 再生熱交換器は横置円筒形容器であることから、耐震強度評価にあたり、JEAC4601 の横置円筒形容器の項（5.2.4）に規定されている評価方法を適用する。構造図は、JEAC4601 p519 の附図 5.2.4-1 のとおり。  ② 計算条件 ○ 耐震計算モデルにおける荷重状態は、JEAC4601 p525 の附図 5.2.4-2 のとおり。 ○ ストレステスト結果および耐震バックチェック結果から、再生熱交換器の支持脚については耐震裕度 2 倍が確認できなかったため、この支持脚を実力評価対象とする。 ○ 耐震バックチェックでは容器の最高使用温度（343℃）を評価条件としていたが、ストレステストでは現実的な値として第 1 種機器設計過渡条件内の最高温度（286.1℃）に変更。（これにより、固有周期が短周期側になり、適用する水平方向地震加速度が低減される。）（注 1） ⇒ 今回の評価においても適用。 ○ 主な計算諸元は表－1 のとおり。 表－1 主な計算諸元（耐震バックチェック時点） <table><tr><td>m_0</td><td>容器の運転質量</td><td>5,360 kg</td></tr><tr><td>m_{s1}</td><td>第 1 脚の質量</td><td>40 kg</td></tr><tr><td>h_1</td><td>基礎から第 1 脚の胴付け根部までの高さ</td><td>264 mm</td></tr><tr><td>h_2</td><td>基礎から胴中心までの高さ</td><td>450 mm</td></tr><tr><td>l_0</td><td>脚中心間距離</td><td>2,600 mm</td></tr><tr><td>A</td><td>第 1 脚の断面積</td><td>9,170 mm²</td></tr><tr><td>A_s</td><td>第 1 脚のせん断断面積</td><td>3,880 mm²</td></tr><tr><td>Z</td><td>第 1 脚の断面係数</td><td>2.01×10⁵ mm³</td></tr><tr><td>a_H</td><td>Ss 地震動による水平方向地震加速度</td><td>17.30 m/s²</td></tr><tr><td>a_V</td><td>Ss 地震動による鉛直方向地震加速度</td><td>5.88 m/s²</td></tr><tr><td>g</td><td>重力加速度</td><td>9.80665 m/s²</td></tr></table> 水平方向地震加速度：16.07m/s²に変更（注1） 鉛直方向地震加速度：4.91m/s²に変更（注2） ※ 今回実施した実力評価（その 1）（注 2） ・ 耐震バックチェックでは、評価に用いる鉛直方向地震加速度として、最大応答加速度（ZPA）を 1.2 倍して設定していたが、今回の評価では、最大応答加速度をそのまま適用。（なお、この 1.2 倍は JEAC で要求されているものではなく、従来からの事業者の保守的な評価である。）（耐震バックチェックにおける評価） $a_V=1.2\times ZPA=1.2\times 0.5\times 9.80665=5.88\text{ m/s}^2$ （今回の評価） $a_V=ZPA=0.5\times 9.80665=4.91\text{ m/s}^2$		m_0	容器の運転質量	5,360 kg	m_{s1}	第 1 脚の質量	40 kg	h_1	基礎から第 1 脚の胴付け根部までの高さ	264 mm	h_2	基礎から胴中心までの高さ	450 mm	l_0	脚中心間距離	2,600 mm	A	第 1 脚の断面積	9,170 mm ²	A_s	第 1 脚のせん断断面積	3,880 mm ²	Z	第 1 脚の断面係数	2.01×10 ⁵ mm ³	a_H	Ss 地震動による水平方向地震加速度	17.30 m/s ²	a_V	Ss 地震動による鉛直方向地震加速度	5.88 m/s ²	g	重力加速度	9.80665 m/s ²	5.2.4 横置円筒形容器 (1) 適用構造 本評価法は、附図 5.2.4-1 に示す構造をもつ横置円筒形容器に適用する。  附図 5.2.4-1 構造図  附図 5.2.4-2 荷重状態 JEAC4601 p519 より JEAC4601 p525 より	
m_0	容器の運転質量	5,360 kg																																		
m_{s1}	第 1 脚の質量	40 kg																																		
h_1	基礎から第 1 脚の胴付け根部までの高さ	264 mm																																		
h_2	基礎から胴中心までの高さ	450 mm																																		
l_0	脚中心間距離	2,600 mm																																		
A	第 1 脚の断面積	9,170 mm ²																																		
A_s	第 1 脚のせん断断面積	3,880 mm ²																																		
Z	第 1 脚の断面係数	2.01×10 ⁵ mm ³																																		
a_H	Ss 地震動による水平方向地震加速度	17.30 m/s ²																																		
a_V	Ss 地震動による鉛直方向地震加速度	5.88 m/s ²																																		
g	重力加速度	9.80665 m/s ²																																		

③ 荷重およびモーメント計算

【自重により脚が受ける質量】

- 脚にかかる質量（ R_1 、 R_2 ）を、JEAC4601 p527 の式（附 5.2.4-5）から求める。

$$\sum_{i=1}^j m_i g l_i - R_2 l_0 = 0 \quad (\text{式-1})$$

- 上記式から、脚にかかる質量（ R_1 、 R_2 ）は、以下のとおりとなる。

第 1 脚 : $R_1 = 29,345.5 \text{ (N)}$

第 2 脚 : $R_2 = 22,433.6 \text{ (N)}$

【水平方向地震力により脚つけ根部が受ける鉛直方向荷重】

- 水平方向地震力（長手方向）により生じる胴の第 1 脚つけ根部の鉛直方向荷重（ P_1 ）を、JEAC4601 p531 の式（附 5.2.4-36）から求める。

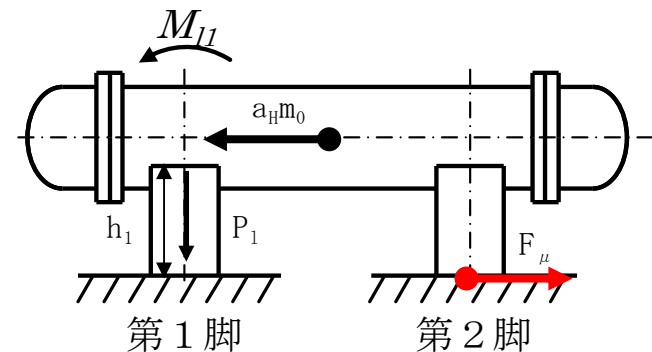
$$P_1 = a_H (m_0 - m_{s1}) \frac{h_2}{l_0} \quad \text{ここで、} a_H = C_H g \quad (\text{式-2})$$

- 上記式から、水平方向地震力により生じる胴の第 1 脚つけ根部の鉛直方向荷重（ P_1 ）は、以下のとおりとなる。

$$P_1 = 16.07 \times (5360 - 40) \times 450 / 2600 = 14,796.8 \text{ (N)}$$

【水平方向地震力により第 1 脚底面に作用する曲げモーメント】

- 水平方向地震力により第 1 脚底面に作用する曲げモーメント（ M_{11} ）を、JEAC4601 p535 の式（附 5.2.4-102）から求める。



※今回実施した実力評価（その 2）

- 従来の耐震評価では、第 2 脚底面と支持架台表面の摩擦力を考慮せず、JEAC4601 p535 の式（附 5.2.4-102）に従って曲げモーメント M_{11} を求めているが、今回の評価では現実的に働く摩擦力を考慮して曲げモーメント M_{11} を算出。

（摩擦力を考慮しない場合）

$$M_{11} = a_H m_0 h_1 = 24,480,192 \text{ (N} \cdot \text{mm)} \quad (\text{式-3})$$

（摩擦力を考慮した場合）

$$M_{11} = (a_H m_0 - F_\mu) h_1 = 18,802,397 \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

$$\text{ここで、} F_\mu = \mu \{ F_b + m_0 (g - a_V) \}$$

$$= 0.3 \{ 23,467.7 + 5,360 (9.80665 - 4.91) \} = 14,914 \text{ (N)}$$

$$\mu = 0.3 \text{ (支持脚底面 (鉄) と支持架台 (鉄) の摩擦係数)}$$

$$F_b = 23,467.7 \text{ (N) (ボルトの締付力)}$$

a) 脚の受ける質量

JEAC4601 p527 より

脚にかかる質量は、モーメントの釣合より求める。附図 5.2.4-2 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。

$$\sum_{i=1}^j m_i g l_i - R_2 l_0 = 0 \quad \text{..... (附 5.2.4-5)} \quad (\text{式-1})$$

したがって、脚の受ける質量は、次による。

$$R_2 = \sum_{i=1}^j m_i g l_i / l_0 \quad \text{..... (附 5.2.4-6)}$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^j m_i g - R_2 \quad \text{..... (附 5.2.4-7)}$$

㊦ 水平方向地震力（長手方向）により生じる胴の脚つけ根部の応力

JEAC4601 p531 より

第 2 脚は長手方向にスライドでき、第 1 脚は変形する。（附図 5.2.4-4 参照）胴の脚つけ根部に作用する曲げモーメント及び鉛直方向荷重（偶力）は、次による。

$$M_l = \frac{1}{2} C_H (m_0 - m_{s1}) g h_1 \quad \text{..... (附 5.2.4-35)}$$

$$P_l = C_H (m_0 - m_{s1}) g \frac{h_2 - \frac{1}{2} h_1}{l_0} \quad \text{..... (附 5.2.4-36)}$$

変形して
（式-2）へ

ただし、脚下端が単純支持の場合は、式(附 5.2.4-35)の係数 1/2 を 1 に、式(附 5.2.4-36)の係数 1/2 を 0 に置き換える。

b. 脚の応力

JEAC4601 p535 より

脚の受ける質量の大きい方について計算する。

a) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} g}{A_s} \quad \text{..... (附 5.2.4-99)}$$

b) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} g}{A_s} C_V \quad \text{..... (附 5.2.4-100)}$$

足し合わせて
（式-4）へ

c) 水平方向地震力（長手方向）による応力

曲げ、圧縮応力は、次による。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{l1}}{Z_{sy}} + \frac{P_l}{A_s} \quad \text{..... (附 5.2.4-101)}$$

分割して
（式-5、-6）へ

ここで、

$$M_{l1} = \frac{1}{2} C_H m_0 g h_1 \quad \text{..... (附 5.2.4-102)}$$

変形して
（式-3）へ

ただし、脚下端が単純支持の場合は、係数 1/2 を 1 に置き換える。

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）		J E A C 4 6 0 1 該当箇所	
④ 脚の応力の算出	・ ③で求めた各荷重を用いて、脚の応力を算出する。	せん断応力は、次による。	
	a. 運転時質量および鉛直方向地震力による応力（圧縮）を、JEAC4601 p535 の式（附 5. 2. 4-99, 100）から求める。	$\tau_{s2} = \frac{C_H m_0 g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (\text{附 5.2.4-103})$	
	$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1}g}{A} (1 + \frac{a_v}{g}) = \frac{29345.5 + 40 \times 9.80665}{9,170} (1 + \frac{4.91}{9.80665}) = 4.9(\text{MPa}) \quad (\text{式-4})$	e) 組合せ応力	
	b. 水平方向地震力による応力（曲げ、圧縮）を、JEAC4601 p535 の式（附 5. 2. 4-101）から求める。	【絶対値和】	
	$\sigma_{s2} = \frac{M_{II}}{Z} = \frac{18,802,397}{201,000} \doteq 93.6(\text{MPa}) \quad (\text{曲げ}) \quad (\text{式-5})$$\sigma_{s3} = \frac{P_1}{A} = \frac{14,796.8}{9,170} = 1.7(\text{MPa}) \quad (\text{圧縮}) \quad (\text{式-6})$	(a) 水平方向地震力（長手方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合	
c. 水平方向地震力による応力（せん断）を、JEAC4601 p536 の式（附 5. 2. 4-103）から求める。	$\sigma_{sj} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3\tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (\text{附 5.2.4-106})$		変形して（式-8）へ
d. 上記 a～c の応力の組合せ応力を、JEAC4601 p536 の式（附 5. 2. 4-106）から求める。			
$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3\tau_s^2} = \sqrt{(4.9 + 93.6 + 1.7)^2 + 3 \times 18.4^2} \doteq 106(\text{MPa}) \quad (\text{式-8})$			
⑤ 強度評価			
・ ④で求めた脚の組合せ応力が JEAC4601 p539 の附表 5. 2. 4-2 に示す許容応力 f_t 以下であること。			
a. 脚の許容応力 f_t を、JEAC4601 p324 の解表 4. 2. 3. 1-6 から求める。			
【脚の許容応力】 ミルシート値を基にした降伏点 $\sigma_y = 222\text{MPa}$ ミルシート値を基にした引張強さ $\sigma_u = 404\text{MPa}$ $F^* = \min(\sigma_y, 0.7 \sigma_u) = \min(222, 282) = 222 \quad (\text{式-9})$ $f_t^* = F^*/1.5 = 148 \quad 1.5f_t^* = 222\text{MPa}$			
b. 上記から得られた第 1 脚の組合せ応力に対する耐震裕度は以下のとおり。			
耐震裕度（組合せ応力） $= 1.5f_t^* / \sigma_s = 222/106 \doteq 2.09$			
		JEAC4601 p539 より	
		JEAC4601 p324 より	
		JEAC4601 p324 より	

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）	J E A C 4 6 0 1 該当箇所
c. JEAC4601 p539 の【解説】より、脚の座屈（曲げと圧縮の組合せ）に対する評価を実施する。座屈の評価は JEAC4601 p514 の式（附 5.2.3-314）に従う。（表－2 および式-10） $\frac{\sigma_{s1} + \sigma_{s3}}{f_c} + \frac{\sigma_{s2}}{f_b} = \frac{4.9 + 1.7}{205} + \frac{93.6}{207} \doteq 0.49 \leq 1 \quad \text{(式-10)}$ d. 上記から得られた第 1 脚の座屈に対する耐震裕度は以下のとおり。 耐震裕度（座屈）＝1/0.49≒2.04 ⑥ 耐震裕度の評価結果 組合せ応力に対する耐震裕度と座屈に対する裕度のうち、小さい方を第 1 脚の耐震裕度（再生熱交換器の耐震裕度）とする。 再生熱交換器の耐震裕度：2.04（座屈に対する裕度）	JEAC4601 p539 より 【解 説】 脚の長さ（基礎から脚の胴付け根部までの高さ）が長く、脚の座屈の影響を考慮する必要がある場合には、その検討を行うこと。 JEAC4601 p514 より b) 圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは下記を満足すること。 $\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1 \quad \text{..... (附 5.2.3-314)}$ 変形して (式-10) へ i) f_c は次による。 $\lambda \leq \lambda$ のとき $f_c = 1.5 \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu} \quad \text{..... (附 5.2.3-315)}$ $\lambda > \lambda$ のとき $f_c = 1.5 (0.277 F) \left(\frac{\lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \text{..... (附 5.2.3-316)}$ ここで、 $\lambda = l_k / i \quad \text{..... (附 5.2.3-317)}$ $\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E_s}{0.6 F_s}} \quad \text{..... (附 5.2.3-318)}$ $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \text{..... (附 5.2.3-319)}$ $i = \sqrt{\frac{\min [I_{st}, I_{sr}]}{A_s}} \quad \text{..... (附 5.2.3-320)}$ l_k は、有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は 1.2<i>l</i>，単純支持とする場合は 2.1<i>l</i> とする。

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）	J E A C 4 6 0 1 該当箇所
	JEAC4601 p515, 516 より ii) $f_{b\ r}, f_{b\ t}$ は次による。 (ii) 脚が型鋼の場合で弱軸が半径方向軸の場合 $f_{b\ r} = f_t (附 5.2.3-322)$ $f_{b\ t}$ は次の 2 つの計算式により計算した値のうちいずれか大きい値又は f_t のいずれか小さい方の値とする。 $f_{b\ t} = \left(1 - 0.4 \frac{l^2}{CA^2 i_f^2}\right) f_t (附 5.2.3-323)$ $f_{b\ t} = \left(\frac{0.433 E_s A_f}{l h}\right) 1.5 (附 5.2.3-324)$ ここで、i_f は脚の圧縮フランジと梁のせいの 1/6 とからなる T 形断面のウェブ軸まわりの断面 2 次半径で次式による。 $i_f = \sqrt{\frac{I_{sf}}{A_{sf}}} (附 5.2.3-325)$ C は次の計算式により計算した値又は 2.3 のいずれか小さい方。M_{s2} 及び M_{s1} はそれぞれ脚の両端における強軸まわりの曲げモーメント。ここで、M_{s2} と M_{s1} の比は 1 より小さいものとし、単曲率の場合を正に、複曲率の場合を負とする。 $C = 1.75 - 1.05 \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right) + 0.3 \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right)^2 (附 5.2.3-326)$

【耐震裕度 2 倍】アニュラスシールの耐震裕度評価内容

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）

① 適用する評価方法

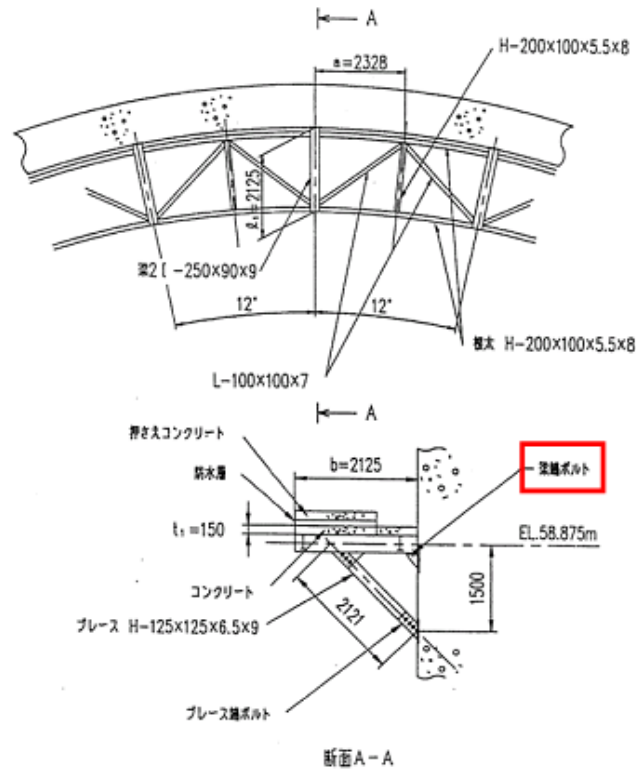
- 「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）」は、原子力発電所の耐震設計に関する事項のうち、基本事項、耐震重要度分類、建物・構築物の耐震設計、機器・配管系の耐震設計及び屋外重要土木構造物の耐震設計に関する事項をまとめたものであり、今回の実力評価においては、JEAC4601 に従うことを原則としている。
- アニュラスシールの耐震評価にあたり、支持構造物を構造強度評価対象とし、許容応力については、JEAC4601 p324 の解表 4.2.3.1-6 のクラス 1、MC、2 の支持構造物の許容応力算出規定を適用する。

② 計算条件

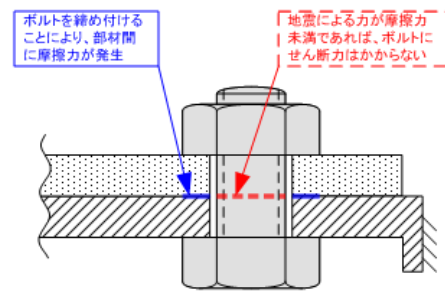
- アニュラスシール支持構造物構成品材（サポートビームやボルト）を評価対象とし、各部に発生する応力とそれに対する許容応力を算出する。
- 耐震バックチェック結果から、アニュラスシール梁端ボルトのせん断については耐震裕度 2 倍が確認できなかったため、この梁端ボルトを実力評価対象とする。

※今回実施した実力評価

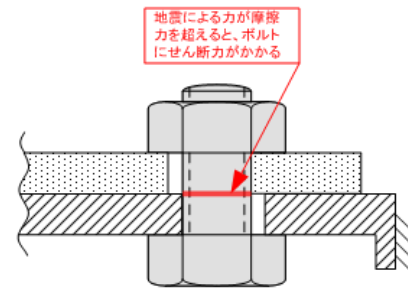
- 従来の耐震評価（建設時の工事計画認可申請および耐震バックチェック）では、梁端ボルトのせん断に対する評価を、建築基準法施行令に基づいて実施しており、この評価では、梁端ボルトを摩擦接合用の高力ボルトとして扱い、ボルトを締め付けた際の部材間の摩擦力（ボルトにせん断力が作用しない限界値）を許容せん断応力として評価していたが、今回の評価では、JEAC4601に基づき、ボルトにせん断力がかった場合に、ボルトが破損しない限界値を許容せん断応力とする。



アニュラスシール部構造図



建築基準法施行令に基づく評価



JEAC4601 に基づく評価

許容せん断応力の考え方

J E A C 4 6 0 1 該当箇所

【解 說】

- (1) 許容応力を算出する際の F 値の規定を整理したものを解表 4.2.3.1-6 に示す。

JEAC4601 p324 より

解表 4.2.3.1-6 支持構造物の許容応力算出の際の F 値の規定

設備区分	供用 状態	溶接部以外の部分	溶接部	左記以外の部分
			溶接検査②を行い合格する部分	
・クラス1, M C, 2の支持 構造物	C s	$\min[S_y, 0.7S_u]$ ただし、使用温度が40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $\min[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)]$		左欄の0.45倍の値
	D s	$\min[1.2S_y, 0.7S_u]$ ただし、使用温度が40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $\min[1.35S_y, 0.7S_u, 1.2S_y(RT)]$		
・クラス3支持 構造物② ・その他の支持 構造物	C s	$\min[S_y, 0.7S_u]$ ただし、使用温度が40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $\min[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)]$		
	D s	$\min[1.2S_y, 0.7S_u]$ ただし、ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $\min[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)]$		

注(1): 溶接検査とは、溶接規格 N-1100 の規定に準じてそれぞれ実施する放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験又は浸透探傷試験

注(2): クラス 3 支持構造物及びその他の支持構造物は、製作時に適切な溶接管理が実施されているものとする。

表2 ボルト試験片の機械的性質

ボルトの機械的性質による等級	耐力 N/mm ² {kgf/mm ² }	引張強さ N/mm ² {kgf/mm ² }	伸び %	絞り %
F 8T	640以上 {65.3以上}	800～1 000 {81.6～102.0}	16以上	45以上
F10T	900以上 {91.8以上}	1 000～1 200 {102.0～122.4}	14以上	40以上
F11T	950以上 {96.9以上}	1 100～1 300 {112.2～132.6}	14以上	40以上

JIS B 1186 より

数値を (式-1) へ

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）

③ ボルトの許容せん断応力の算出

【F 值】

- ・梁端ボルトの許容応力を算出する際に必要なF 値は、JEAC4601 p324 の解表 4.2.3.1-6 から求める。
ここで、F*とは、供用状態D s におけるF 値である。

$$F^* = \min[1.2 S_y, 0.7 S_u] \quad (\text{式-1})$$

(S_y : 耐力 S_u : 引張強さ)

- ・当該ボルトの等級は、JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」に規定されているF10Tであり、JISに規定されている S_y 、 S_u から F^* を求める。

$$F^* = \min[1.2 \times 900, 0.7 \times 1000] = 700 \text{ N/mm}^2 = 700 \text{ MPa}$$

【許容せん断応力】

- ・梁端ボルトの許容せん断応力は、JEAC4601 p322 の表 4.2.3.1-12 より $1.5f_s^*$ である。
- ・ f_s^* は、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版（2007 年追補版含む）（JSME2005/2007）」（（社）日本機械学会）の SSB-3131 および SSB-3133 より求める。

$$f_s^* = \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} = \frac{700}{1.5\sqrt{3}} \div 269 \quad (\text{式}-2)$$

$$1.5f_s^* = 1.5 \times 269 \div 403 \text{MPa} \quad (\text{式-3})$$

④ 強度評価

- a. ボルトに発生するせん断応力 : 130MPa (耐震バックチェックより)
- b. ボルトの許容せん断応力 : 403MPa
- c. 上記から得られたせん断応力に対する耐震裕度は以下のとおり。

耐震裕度（せん断応力）＝403/130≒3.10

J E A C 4 6 0 1 該当箇所

4.2.3 地震力が加わる場合の許容応力

4.2.3.1 Sクラス施設の許容応力

c) ボルト材

ボルト材の許容応力は表 4.2.3.1-12 のとおりとする。

表 4.2.3.1-12 クラス 1 支持構造物 (ボルト材) の許容応力

応力分類 供用状態	一次応力	
	引張	せん断
C s	$1.5f_t$	$1.5f_s$
D s	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

JEAC4601 p322 より

(式-3)

SSB-3130 ボルト材の許容応力

JSME2005/2007
p. I-8-13 より

SSB-3131 供用状態AおよびBでの許容応力

供用状態Aおよび供用状態Bにおいて呼び径断面に生じる応力は、次の値を超えないこと。

(1) 引張応力

引張応力については、次の計算式により計算した値。

$$f_t = \frac{F}{2} \quad (\text{SSB-1.25})$$

 f_t : 許容引張応力 (MPa)

F : SSB-3121.1(1)に定めるところによる。

(2) せん断応力

せん断応力については、次の計算式により計算した値。

$$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \quad (\text{SSB} \cdot 1.26) \quad (\text{式-2})$$

 f_s : 許容せん断応力 (MPa)

F : SSB-3121.1(1)に定めるところによる。

SSB-3133 供用状態Dでの許容応力

供用状態Dにおいて呼び径断面に生じる応力は、SSB-3131に定めるそれぞれの許容応力 f_t 、 f_s および f_{ts} の 1.5 倍の値を超えないこと。この場合において、SSB-3121.1(1)a. 本文中 S_y および $S_y(RT)$ は、 $1.2 S_y$ および $1.2 S_y(RT)$ と読み替えるものとする。

【耐震裕度 2 倍】動的機器の耐震裕度評価内容

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）

① 適用する評価方法

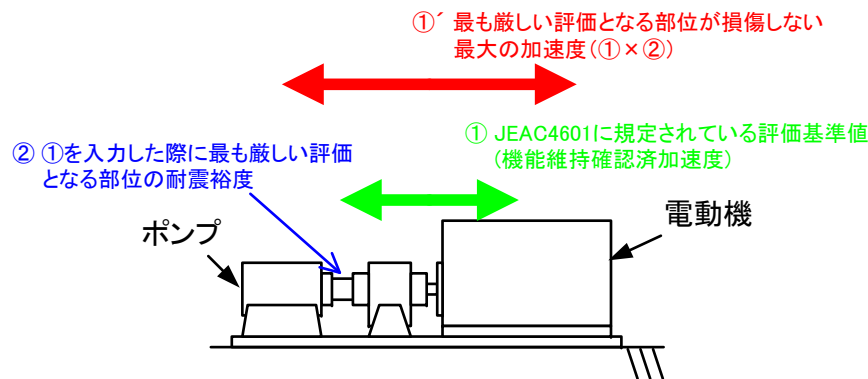
- 「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）」は、原子力発電所の耐震設計に関する事項のうち、基本事項、耐震重要度分類、建物・構築物の耐震設計、機器・配管系の耐震設計及び屋外重要土木構造物の耐震設計に関する事項をまとめたものであり、今回の実力評価においては、JEAC4601 に従うことを原則としている。
- 動的機器（ポンプ・ファンおよび原動機）の耐震評価にあたり、JEAC4601 p381 の「4.6.3 機能維持評価法」の規定を適用する。

② 評価条件

- JEAC4601 に規定されているポンプ、ファン等の型式毎の機能維持確認済加速度と、伊方の基準地震動により各機器発生する加速度を用いて耐震評価を実施する。
- 耐震バックチェックおよびストレステストの結果から、充てんポンプ等の 9 設備（表－1）については耐震裕度 2 倍が確認できなかったため、これらを実力評価対象とする。

※今回実施した実力評価

- ・ 従来の耐震評価では（耐震バックチェックやストレステスト）では、JEAC4601 p387,388 に規定されている機能維持確認済加速度をそのまま評価基準値として使用していたが、今回の評価では、その加速度を入力した際に、“最も厳しい評価となる部位の耐震裕度”を考慮して、最も厳しい評価となる部位が損傷しない最大の加速度を評価基準値（実力）として使用することで、より現実的な耐力を評価している。
- ・ “最も厳しい評価となる部位の耐震裕度”については、JEAC4601 p907 の「参考資料 4.11 動的機器の地震時機能維持評価法」に記載されている数値を適用する。



表－1 耐震裕度 2 倍が確認できなかった動的機器

設備名	既往評価結果		
	方向	耐震裕度	確認した既往評価
充てんポンプ・原動機	水平	1.81	ストレステスト
ほう酸ポンプ・原動機	水平	1.81	ストレステスト
燃料取替用水ポンプ・原動機	鉛直	1.85	ストレステスト
非常用予備発電装置機関本体	水平	1.88	ストレステスト
アニユラス排気ファン・原動機	水平	1.12	耐震バックチェック
安全補機室排気ファン・原動機	水平	1.12	耐震バックチェック
中央制御室空調ファン・原動機	鉛直	1.56	耐震バックチェック
中央制御室再循環ファン・原動機	鉛直	1.28	耐震バックチェック
中央制御室非常用給気ファン・原動機	鉛直	1.56	耐震バックチェック

J E A C 4 6 0 1 該当箇所

4.6.3 機能維持評価法

4.6.3.1 一般的原則

- 動的機器の機能維持評価は、動的地震力を適用し、試験による評価、解析による評価により行う。
- 試験による評価では、実物モデル等の振動試験により、水平及び鉛直地震動に対して要求される安全機能が維持されることを確認する。
- 解析による評価では、応力、変形等の解析結果を用いて、水平及び鉛直地震動に対して要求される安全機能が維持されることを確認する。このうち、試験等によりある加速度レベルまで安全機能が維持されることが確認されている機器については、水平及び鉛直地震動により生じる加速度レベルがその機能維持確認済加速度より小さいことを確認するとともに、各サイトの地震力に応じ設計する部位について個別評価することにより、機器の健全性が確認できる。

JEAC4601 p381 より

【解説】

機能維持確認済加速度とは、動的機器の地震時機能維持に関する既往の試験、研究の成果で機能維持の確認がなされた応答加速度値のことである。

JEAC4601 p387,388 より

表 4.6.3.3-2 解析による地震時機能維持評価が可能な機器の基本評価項目及び機能維持確認済加速度 (1/2)

(1) 機 種	立形ポンプ ・ビットパレル形ポンプ ・立形斜流ポンプ ・立形単段床置形ポンプ	横形ポンプ ・横形単段遠心式ポンプ ・横形多段遠心式ポンプ	ポンプ駆動用タービン ・R C I Cタービン ・H P C Iタービン ・A F W Pタービン(1)：ポンプ ・体型 ・A F W Pタービン(2)：ポンプ 分離型	電動機 ・横形ころがり軸受電動機 ・横形すべり軸受電動機 ・立形ころがり軸受電動機 ・立形すべり軸受電動機	ファン ・遠心直結型ファン ・遠心直動型ファン ・軸流式ファン	冷凍機 ・ターボ式冷凍機 ・スクロール式冷凍機 ・往復動式冷凍機
(3) 機能維持確認済 加速度 A_r ($\times 9.8m/s^2$)	コラム先端部 ・ビットパレル形ポンプ： 10.0 1.0 ・立形斜流ポンプ： 10.0 1.0 ケーシング下端部 ・立形単段床置形ポンプ： 10.0 1.0	軸位置 ・全機種共通： 3.2 1.4 1.0 軸直角方向 軸方向	重心位置 ・R C I Cタービン： 2.4 1.0 ・H P C Iタービン： 1.0 1.0 ・A F W Pタービン(1)： 1.0 1.0 ・A F W Pタービン(2)： 1.0 1.0	軸受部 ・横形ころがり軸受電動機： 4.7 1.0 ・横形すべり軸受電動機： 2.6 1.0 ・立形ころがり軸受電動機： 2.5 1.0 ・立形すべり軸受電動機： 2.5 1.0	軸受部 ・遠心直結型ファン： 2.3 1.0 ・遠心直動型ファン： 2.6 1.0 ・軸流式ファン： 2.4 1.0 メカニカルシールケーシング ・遠心直結型ファン： 2.3 1.0	圧縮機軸受部 ・ターボ式冷凍機： 2.2 1.0 圧縮機部 ・スクロール式冷凍機： 2.25 1.0 シリンダ部 ・往復動式冷凍機： 1.9 1.0 燃焼油のシグ評価用加速度： 1.45

表 4.6.3.3-2 解析による地震時機能維持評価が可能な機器の基本評価項目及び機能維持確認済加速度 (2/2)

(1) 機 種	非常用ディーゼル発電機 ・高速形ディーゼル機関 ⁽¹⁾ ・中速形ディーゼル機関 ⁽¹⁾⁽²⁾	制御用空気圧縮機 ・V形2気筒圧縮機 ・立形単気筒圧縮機	往復動式ポンプ ・横形3連往復動式ポンプ ・立形3連往復動式ポンプ	弁 ・一般弁（汎用弁） ・特殊弁（特殊用途弁）	ダンパ ・空気作動式ダンパ ・電動式ダンパ	制御棒 ・BWR用 ・PWR用
(3) 機能維持確認済 加速度 A_r ($\times 9.8m/s^2$)	横置重心位置 ・高速形ディーゼル機関： 1.1 1.0 ・中速形ディーゼル機関(1)： 1.1 1.0 ・中速形ディーゼル機関(2)： 1.7 1.0 ガバナ取付位置 ・全機種共通： 1.8 1.0	シリンダ部 ・全機種共通： 2.2 1.0	重心位置 ・全機種共通： 1.6 1.0	駆動部 ・一般弁 ⁽¹⁾⁽²⁾ ： 6.0 6.0 ・一般弁（逆止弁）： 6.0 6.0 ・ロムダイヤフラム弁： 2.7 6.0 ・主蒸気隔離弁（BWR）： 10.0 6.2 ・主蒸気隔離弁操作用電磁弁（PWR）： 2.2 2.0 ・加圧器安全弁（PWR）： 13.0 3.0 ・主蒸気安全弁（PWR）： 13.0 3.0 ・主蒸気安全弁（PWR） ⁽⁶⁾ ： 10.0 3.0 ・主蒸気連がし安全弁（BWR）： 9.6 6.1 ・制御棒駆動系スクラム弁（BWR）： 6.0 6.0	ケーシング重心位置 ・空気作動式ダンパ： 3.6 1.0 ・電動式ダンパ： 3.2 1.0 ベーン取付位置 ・空気作動式ダンパ： 5.0 1.0 ・電動式ダンパ： 3.5 1.0	できる。

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）

③ 横型ポンプの評価結果

設備名	方向	発生値 [G]	① JEAC4601 に規定 されている機能 維持確認済加速 度[G]	② ①を入力した際に 最も厳しい評価と なる部位の耐震裕 度(括弧内は対象 部位)	①' 最も厳しい評価 となる部位が損 傷しない最大の 加速度[G] (①×②)	耐震裕度(実力) (①' / 発生値)
充てん ポンプ	水平	0.77	1.4	1.6(軸継手)	2.2	2.85
	鉛直	0.38	1.0	2.3(基礎ボルト)	2.3	6.05
ほう酸 ポンプ	水平	0.77	1.4	1.6(軸継手)	2.2	2.85
	鉛直	0.38	1.0	2.3(基礎ボルト)	2.3	6.05
燃料取 替用水 タンク ポンプ	水平	0.97 (354[N])	1.4	1.6(軸継手)	2.2 (43500[N])	2.26
	鉛直	0.54	1.0	2.3(基礎ボルト)	2.3	4.25

④ 非常用予備発電装置機関本体の評価結果

設備名	方向	発生値 [G]	① JEAC4601 に規定されている 機能維持確認 済加速度[G]	② ①を入力した際に 最も厳しい評価と なる部位の耐震裕 度(括弧内は対象 部位)	①’ 最も厳しい評価 となる部位が損 傷しない最大の 加速度[G] (①×②)	耐震裕度(実力) (①’ / 発生値)
非常用 予備発電 装置機関 本体	水平	0.90	1.7	1.2 (クランク軸基準軸受)	2.0	2.22
	鉛直※1	0.37	1.0		—	2.70

※1：鉛直方向については、ストレステストの結果から既に2倍以上の耐震裕度を確認できていることから、今回の評価手法は適用しない。

J E A C 4 6 0 1 該当箇所

JEAC4601 p912 より

参考 4.11.2-1 横形ポンプの機能維持評価結果
(水平・鉛直地震動に対する余裕度の評価)

基本評価項目			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	水力性能
			基礎ボルト	支持脚	摺動部 (フタ・リグ部)	軸	メカニカル シール	軸受	電動機	軸継手	ケーシング ノズル部	冷却水配管	
試験	評価方法		全体系が剛であることを確認後、重心加速度による静的なモーメントバランスにより求まる応力と許容応力の比較により評価		多変点曲げせん断梁モデルによる軸、ケーシング連成モデルにて固有値解析を実施し剛であることを確認後、同モデルで静的応答解析を行い、その応答値を評価				別途電動機の項にて評価	軸直角方向はポンプ、電動機ともであり評価不要。軸方向は電動機にスラスト軸受がなく軸継手に荷重が作用する場合には許容伝達荷重と比較	ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施	配管系として耐震設計を実施	ACT研究の成果を基に、左記基本評価項目により水力性能を代替評価
					軸変位と許容変位の比較	曲げ応力と許容応力の比較	⑤と同じ	地震応答荷重と許容荷重との比較					
評価	確認 の 余裕 度	8.0万kW級PWR 余熱除去ポンプ (単段・両吸込)	2.3	39	4.3	16	6.9	22		2.7			左記評価結果より水力性能が維持される。
		充てん／高圧注入 ポンプ (多段・片吸込)	2.6	41	6.9	2500	15	14	↓	駆動軸にスラスト軸受が有り、評価不要	↓	↓	左記評価結果より水力性能が維持される。
		原子炉補機冷却水 ポンプ (単段・両吸込)	4.0	27	3.6	7.7	9.6	49		1.6			左記評価結果より水力性能が維持される。
	(注1) (注2)	評価結果	許容応力を下まわっている。	許容応力を下まわっている。	許容変位を下まわっている。	許容応力を下まわっている。	許容変位を下まわっている。	許容荷重を下まわっている。	↓	許容荷重を下まわっている。	↓	↓	左記評価結果より各ポンプとも水力性能が維持される。
代表評価 項目 (○印)	全体が剛な場合	○ (応力)	—	—	—	—	—	—	○ (別途電動機 にて評価実施)	○ (伝達荷重)	—	—	上下地震動を考慮する場合も、機能確認済速度以下であれば、左記代表項目により水力性能維持を判定する。
	全体が剛でない場合	○ (応力)	—	○ (相対変位)	○ (応力)	—	—	—		○ (伝達荷重)	ノズル許容荷重以下になるよう配管設計	配管系として耐震設計	

(注1) 余裕度の算定は、水平加速度 $1.4 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ と上下加速度 $1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ を使用。なお、水平加速度は現行の確認済加速度のうち小さい軸方向の値とした。
(注2) 余裕度 = (許容値 - 通常発生値) / 地震による発生値

参考 4.11.7-1 非常用ディーゼル発電機の機能維持評価結果

(NUPEC耐震信頼性実証試験に基づき算定した余裕度)

基本評価項目			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	
			クランク軸基準軸受		機関本体	カム軸	動弁装置	オーバースピードトリップ装置	ガバナリンク装置	潤滑油サンプタンク(オイルパンを含む)	発電機		排気管ベローズ	
			軸受隔壁強度	軸受面圧(スラスト)	基礎ボルト	スラスト軸受面圧	バルブレバー軸受面圧	プランジャの駆動作(定格運転時)	地震時の抵抗力	スロッシング	基礎ボルト強度	軸受面圧	取合部相対変位	
試験体の評価	評価方法		軸受隔壁応力を算出し許容値と比較する。	軸受荷重を算出し許容面圧と比較する。	基礎ボルトの応力を算出し許容値と比較する。	カム軸スラスト軸受面圧を算出し許容面圧と比較する。	動弁装置バルブレバー軸受荷重を算出し許容面圧と比較する。	応答加速度と誤動作距離に対する許容加速度と比較する。	地震時の抵抗力を求めガバナ駆動力と比較する。	スロッシング高さと出口管深さを比較する。	基礎ボルト発生応力と許容応力を比較する。	軸受荷重を算出し許容面圧と比較する。	取合部間の地震時相対変位と許容変位と比較する。	
		確認	高速形	2.9	1.6	4.3	—(注4)	—(注4)	7.6	—(注4)	1.3	—(注4)	1.3	—(注4)
		余裕度	中速形(1)	1.3	1.9	3.8	—(注4)	—(注4)	5.0	—(注4)	1.4	—(注4)	1.4	—(注4)
		評価結果	中速形(2)	1.2	1.2	—(注4)	7.5	6.9	—(注4)	1.6	1.4	4.9	1.6	—(注4)
	評価結果		許容応力を下回っている。	許容面圧を下回っている。	許容応力を下回っている。	許容面圧を下回っている。	許容面圧を下回っている。	許容面圧を下回っている。	許容加速度を下回っている。	許容値を下回っている。	許容高さを下回っている。	許容応力を下回っている。	許容面圧を下回っている。	許容変位を下回っている。
代表評価項目(○印)			—	—	○(応力)	—	—	—	○(抵抗力)	○(波高)	○(応力)	○(面圧)	○(変位)	

(注1) 余加速度の算定は、水平加速度、高遮形： $1.1 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 、中遮形（1）： $1.1 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 、中遮形（2）： $1.7 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ と鉛直加速度 $1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ を使用。
なお、ガバナの検討は、水平加速度、 $1.8 \times 0.8 \text{ m/s}^2$ と鉛直加速度 $1.0 \times 0.8 \text{ m/s}^2$ を使用。

(注2) 余加速度 = (許容値－通常の発生値) / 地震による発生値

(注3) 高遮形及び中遮形（1）はBWR用として、中遮形（2）はPWR用として、NUPEC耐震信頼性実証試験で振動試験を実施した代表形式を示す。

実力評価の方法（従来の評価からの変更内容は朱記）

⑤ ファンの評価結果

設備名	方向	発生値 [G]	① JEAC4601 に規定されている 機能維持確認 済加速度[G]	② ①を入力した際に 最も厳しい評価と なる部位の耐震裕 度(括弧内は対象 部位)	評価基準値(実力) [G]※1	耐震裕度(実力) (①' / 発生値)
アニュラス 排気ファン (遠心直結 型)	水平	2.04	2.3	2.1(インペラ)	4.6	2.22
	鉛直	0.64	1.0		2.0	2.70
安全補機室 排気ファン (遠心直結 型)	水平	2.04	2.3	2.1(インペラ)	4.6	2.25
	鉛直	0.64	1.0		2.0	3.12
中央制御室 空調ファン (遠心直結 型)	水平	1.16	2.3	2.1(インペラ)	4.6	3.96
	鉛直	0.64	1.0		2.0	3.12
中央制御室 再循環 ファン (軸流式)	水平	1.37	2.4	8.9(軸)	4.8	3.50
	鉛直	0.78	1.0		2.0	2.56
中央制御室 非常用給気 ファン (遠心直結 型)	水平	1.16	2.3	2.1(インペラ)	4.6	3.96
	鉛直	0.64	1.0		2.0	3.12

※ 1：今回の評価は2倍の裕度を確認することが目的であるため、鉛直方向の評価基準値の設定にあたっては、保守的に①の加速度を2倍した値を「評価基準値（実力）」とした。

J E A C 4 6 0 1 該当箇所

JEAC4601 p915 より

参考 4.11.5.1 ファンの機能維持評価結果
(水平・鉛直地震動に対する余裕度の評価)

基本評価項目		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	送風性能
		ケーシング	ケーシング 取付ボルト	軸	軸受	軸受取付 ボルト	インペラ	ペローズ	軸継手	メカニカル シール	電動機取付 ボルト	電動機	基礎ボルト	フレキシブル ダクト継手	
試験 体の 評価 値	評価方法	解析により 応力を評価	解析により 応力を評価	解析により 応力を評価	解析により 荷重を評価	軸受の耐力 を超えるよう に設計されて おり④の 評価で代表	インペラとケー シングとの 相対変位を評 価	相対変位に 対して十分な 追従性を有 しており⑦ の評価で代表	インペラ一 軸と電動機 間相対変位 を評価	ACT 其研で の漏れ試験 ACT研究基 に、①、③、 ④、⑥の評価 で代表	解析により 応力を評価	別途電動機 側にて評価	解析により 応力を評価	ダクト側に て変位量制限 設計を実施	ACT 其研での 成果を基に、 ACT研究評価 項目により送 風性能を代替 評価
	適心直結型ファン(中央制御室換気空調系)	2.4	5.0	3.3	3.0	↓	2.1	↓	30	↓	50	↓	3.6	↓	↓
	適心直動型ファン(アニュラス空気浄化系)	—	1.6	10	12	/	2.1	/	/	/	22	↓	3.6	↓	
	軸流式ファン(中央制御室循環系)	37	/	8.9	11	/	15	/	/	/	550	↓	560	↓	
評価結果		許容応力を 下まわっている。	許容応力を 下まわっている。	許容応力を 下まわっている。	許容荷重を 下まわっている。	↓	接触は生じない。	↓	許容変位を 下まわっている。	漏れいはい は生じないと 考えられる。	許容応力を 下まわっている。	↓	許容応力を 下まわっている。	↓	左記評価結果 により送風性能 が維持されると 判断
代表評価項目 (COM)	軸系が剛な場合	適心直結型ファン	—	○ (応力)	—	—	—	—	—	—	○ (応力)	○ 別途電動機側 にて評価実施	○ (応力)	—	ダクト側にて 変位量制限設計 を実施
		適心直動型ファン	—	○ (応力)	—	/	/	/	/	/	○ (応力)		○ (応力)		
		軸流式ファン	—	/	—	/	/	/	/	/	○ (応力)		○ (応力)		
	軸系が剛でない場合	適心直結型ファン	—	○ (応力)	○ (応力)	○ (荷重)	—	○ (相対変位)	—	○ (相対変位)	—	○ (応力)	○ (応力)	○ (応力)	
		適心直動型ファン	—	○ (応力)	○ (応力)	○ (荷重)	/	○ (相対変位)	/	/	/	○ (応力)	○ (応力)	○ (応力)	
		軸流式ファン	—	/	○ (応力)	○ (荷重)	/	○ (相対変位)	/	/	/	○ (応力)	○ (応力)	○ (応力)	

(注1) 余裕度の算定は、水平加速度、遠心直結型ファン $2.3 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 、遠心直動型ファン $2.6 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 、軸流式ファン $2.4 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ と衝撃加速度 $1.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ を使用。

(注2) 余裕度 = (許容値 - 通常発生値) / 地震による発生値

[illegible]