

**伊方3号機
耐震裕度2倍確保に係る取組みについて
(実施した評価方法について)**

**平成25年10月16日
四国電力株式会社**

目次

1. はじめに
2. 用語の定義
3. 原子力発電所の耐震設計
4. 今回の取組みの基本的な考え方
5. 検討の流れ
6. 耐震裕度評価方法(既往評価結果の確認)
7. 耐震裕度評価方法(今回採用した手法)
8. 耐震裕度評価方法(今回採用した手法の具体的内容と実績)
9. まとめ

【添付】

1. 設備の持つ様々な余裕について
2. 外部有識者による確認について

1. はじめに

- 当社は、地域の皆さまにご安心していただけるよう、更なる安全の向上を目指した自主的な取組みとして、安全上重要な設備に対して耐震評価を行うとともに、必要に応じ耐震性向上工事を実施し、耐震裕度が2倍程度確保されるよう取り組んでおります。
- このうち、伊方3号機(対象設備は134設備)については、直流電源装置(充電器盤、ドロツパ盤)について平成24年4月末に耐震性向上工事を実施しましたが、すべての設備について耐震裕度の確認を実施し、平成24年6月18日に、2倍以上の耐震裕度があることが確認できたことを公表しました。
- その後、外部有識者2名を委員とした検討会を開催し、当社が今回の耐震裕度2倍確保に係る取組みで採用した評価方法について、第三者的な立場からの確認を頂きました。
- 今回は、当社が実施した評価方法について説明します。

2. 用語の定義

本資料中の用語については以下のとおり定義しています。

- ・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
- ・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
- ・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

3. 原子力発電所の耐震設計

- 伊方発電所では、安全上重要な設備に対して、基準地震動を入力条件として、それぞれの設備にかかる力を算出し、耐震評価を実施しております。
- 耐震バックチェックにおいては、基準地震動(570ガル)を入力した時に設備にかかる力(発生値)がそれに耐える力(評価基準値)を超えないこと(耐震裕度でいえば1倍以上あること)を確認しております。

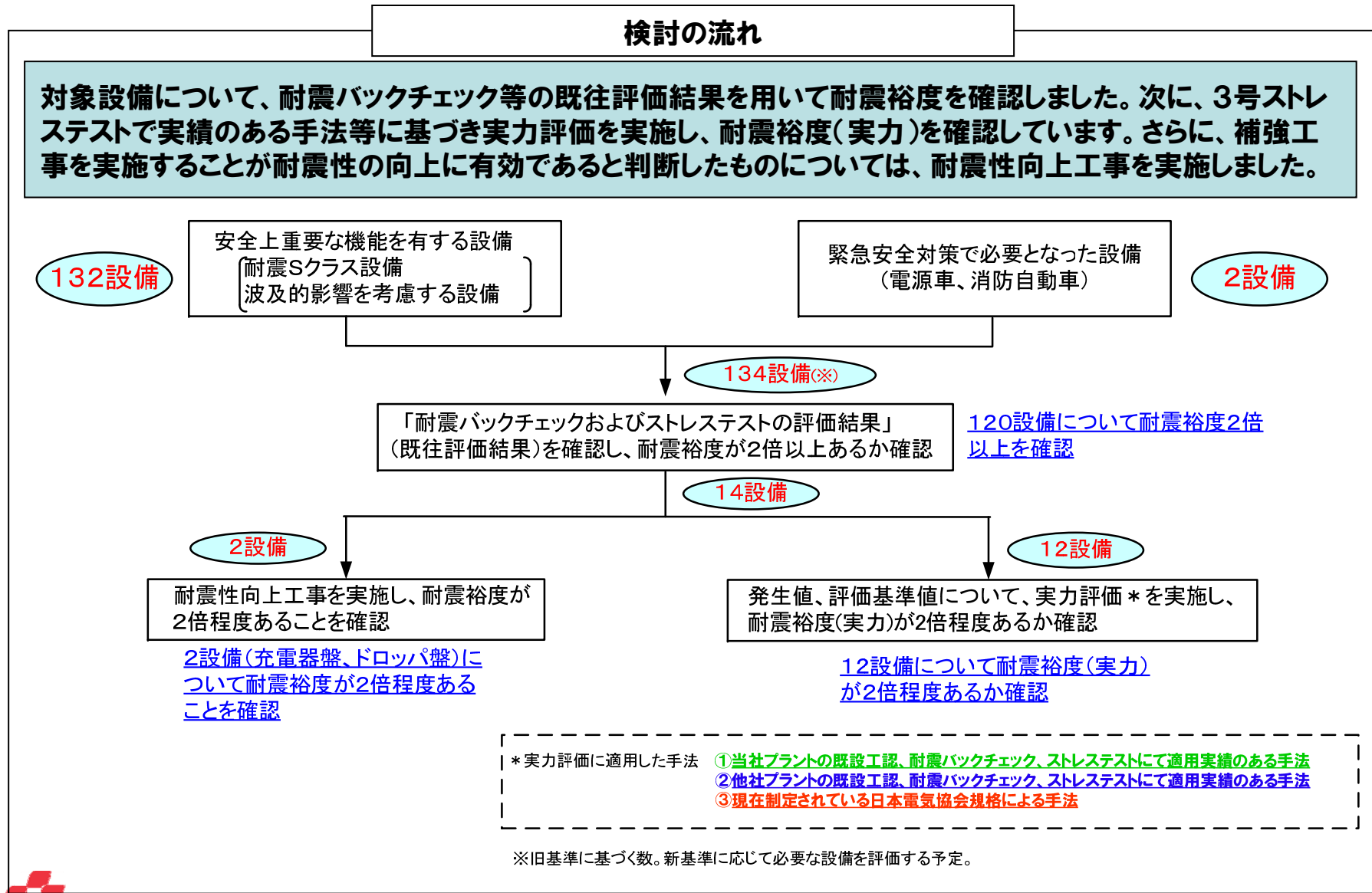
4. 今回の取組みの基本的な考え方

- 今回の取組みでは、基準地震動を入力した時の設備にかかる力(発生値または発生値(実力))に対し、それに耐える力(評価基準値または評価基準値(実力))がその2倍あるかどうかを確認することとしました。なお、評価においては原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601)を準拠しています。
- 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。

5. 検討の流れ



6. 耐震裕度評価方法(既往評価結果の確認)

耐震バックチェックおよびストレステストにて算出した耐震裕度(既往評価結果)を確認した結果、120設備について、耐震裕度が2倍以上あることを確認しました。

(例)

表 裕度2倍が確認できた設備、評価結果

設備名	評価結果引用元※1	評価部位および損傷モード		単位	発生値	評価基準値	耐震裕度	備考
		評価部位	損傷モード(応力分類)					
原子炉容器	ST	出口管台(13C,14C)	膜応力+曲げ応力	MPa	185	422	2.28	—
炉内構造物	ST	熱遮へい体取付ボルト	膜応力+曲げ応力	MPa	28	483	17.25	—
炉内構造物のうち制御棒クラスタ案内管	BC	制御棒クラスタ案内管	膜応力+曲げ応力	MPa	38	391	10.28	—
炉心支持構造物	BC	下部炉心支持柱取付ボルト	膜応力+曲げ応力	MPa	185	483	2.61	—
原子炉容器支持構造物	BC	サポートシュ	支圧応力	MPa	219	465	2.12	—
蒸気発生器	ST	上部胴支持金物取付部	膜応力+曲げ応力	MPa	179	421	2.35	—
蒸気発生器内部構造物	ST	湿分離器支持環	膜応力+曲げ応力	MPa	195	418	2.14	—
蒸気発生器支持構造物埋込金物	BC	支持脚埋込金物コンクリート	引張荷重	kN	3,047	7,720	2.53	—
一次冷却材ポンプ	ST	吐出ノズル付け根	一次応力	MPa	169	372	2.20	—
一次冷却材ポンプ支持構造物	BC	下部支持構造物ブラケット	せん断応力	MPa	42	189	4.50	—
加圧器	BC	サージ用管台	膜応力+曲げ応力	MPa	194	406	2.09	—

※1 評価結果引用元において、

BCとは「伊方発電所3号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書 改訂版(平成23年3月)」、

STとは「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた伊方発電所第3号機の安全性に関する総合評価(一次評価)の結果について(報告)(平成23年11月)」

7. 耐震裕度評価方法(今回採用した手法)

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、3号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。

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、ストレステスト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	

8. 耐震裕度評価方法(今回採用した手法の具体的内容と実績)

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ため、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JEA5003-2010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、円筒部胴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)	材料物性値から求ま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)に基づく支圧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における機能確認済加速度および機能確認済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。

9. まとめ

- 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。
- また、当社の評価方法について、外部有識者2名の委員により第三者的な立場から確認いただいた結果、問題は無いとの見解を得ました。
- 以上から、当社が今回実施した評価方法は問題は無いものと考えます。

【添付－1】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）

耐震裕度の種類		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

【添付-2】外部有識者による確認について

耐震裕度2倍確保に係る評価について、第三者的な立場からの確認を得ることとし、外部有識者2名を委員とした検討会を開催しました。

検討会では、今回の評価の基本的な考え方をはじめとして、検討の流れや、再生熱交換器・原子炉格納容器・アニュラスシール・動的機器(ポンプ等)の評価について確認いただきました。

【有識者】

藤田 聡 (ふじた さとし) 東京電機大学 工学部教授 工学部長 (専門分野:機械工学)
山口 篤憲(やまぐち あつのり) 一般財団法人 発電設備技術検査協会 参与(専門分野:機械工学)

【開催実績および確認概要】

	開催日	確認概要
第1回	平成24年7月20日	・再生熱交換器、原子炉格納容器、アニュラスシール、動的機器(ポンプ等)の評価について、妥当であることを確認いただいた。 なお、有識者意見を踏まえ、再生熱交換器および原子炉格納容器の評価について、説明性の観点から追加の検討を行うこととした。
第2回	平成24年8月2日	・再生熱交換器に関する追加検討について、妥当であることを確認いただいた。 ・建屋非線形応答の影響評価について、妥当であることを確認いただいた。
第3回	平成24年8月20日	・原子炉格納容器に関する追加検討について、妥当であることを確認いただいた。
第4回	平成25年1月21日	・前回までの検討会での議論を踏まえたうえで、耐震裕度2倍確保に係る評価の全体について確認いただき、妥当であることを確認いただいた。
第5回	平成25年10月9日	・平成25年10月16日の愛媛県原子力安全専門部会にて四電が説明する内容及び資料について確認いただいた。