

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	O2-他-F-19-0044_改0
提出年月日	2021年 8月20日

女川原子力発電所第2号機 機器・配管系の耐震評価に係る既工認からの相違点について

2021年8月20日
東北電力株式会社

【5-4】シュラウドヘッドの応力評価への公式等による評価の適用

1. 概要

シュラウドヘッドの応力評価について、今回工認では設計の簡便性を考慮して公式等による評価を適用することから、その妥当性を確認する。

2. 確認結果

(1) 既工認及び今回工認での評価手法の違い

【既工認】有限要素法(FEM)解析による評価

【今回工認】公式等による評価

(2) 今回工認で適用する評価手法の妥当性(表5-4-1参照)

- 既工認の強度評価においては、差圧及び死荷重による構造不連続部の影響を含む一次＋二次応力評価のためにFEM解析で評価を実施している。
- 今回工認では、差圧及び死荷重による一次応力評価条件が既工認と同様であり、既工認におけるFEM解析による評価結果を引用できることから、今回工認の耐震評価における水平及び鉛直方向地震による一次応力評価に対しては、材料力学の理論式に基づく公式等による評価を適用し、簡便に実施した。
- 本評価手法は、他社の建設工認において同設備の耐震評価で適用実績のある手法である。
- 以上より、公式等による評価の適用は妥当であることを確認した。
- シュラウドヘッドについて、公式等による評価を適用し耐震評価を実施した結果、発生応力は許容応力を下回っていることを確認した。

表5-4-1 既工認、今回工認での耐震評価項目及び評価手法の整理

評価項目	荷重の種類	既工認		今回工認
		強度評価	耐震評価	耐震評価
		許容応力状態 I_A, II_A	許容応力状態 $III_A S, IV_A S$	許容応力状態 $III_A S, IV_A S$
一次一般膜応力 及び 一次一般膜＋一次曲げ応力	差圧／死荷重	FEM	FEM	既工認を引用
	鉛直方向地震	該当せず	FEM	公式による評価
	水平方向地震	該当せず	公式による評価	公式による評価
一次＋二次応力	差圧／死荷重	FEM	該当せず	該当せず

3. 説明図書

添付書類「VI-2-3-4-3-4 シュラウドヘッドの耐震性についての計算書」及び補足説明資料「補足-600-2 耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相違点の整理について」

【5-5】炉内計装設備の応力評価へのスペクトルモーダル解析の適用

1. 概要

炉内計装設備(中性子束計測案内管, 起動領域モニタ, 出力領域モニタ)の耐震評価について, 今回工認では設計の保守性及び簡便性を考慮してスペクトルモーダル解析による評価を適用することから, その妥当性を確認する。

2. 確認結果(図5-5-1及び図5-5-2に起動領域モニタの構造図と解析モデル図を例として示す)

(1) 既工認及び今回工認での評価手法の違い

【既工認】時刻歴応答解析による評価

【今回工認】スペクトルモーダル解析による評価

(2) 今回工認で適用する評価手法の妥当性

- 炉内計装設備の構造及び解析モデルについては既工認と差異はない。
- 時刻歴応答解析の場合, スペクトルモーダル解析で考慮するスペクトルの±10%拡幅分の保守性について検討が必要であることから, 耐震評価の保守性, 簡便性を考慮して変更したものである。
- 本評価手法は, 他社の建設工認において同設備の耐震評価で適用実績のある手法である。
- 以上より, スペクトルモーダル解析の適用は妥当であることを確認した。
- 炉内計装設備について, スペクトルモーダル解析を適用し, 耐震評価を実施した結果, 発生応力は許容応力を下回っていることを確認した。

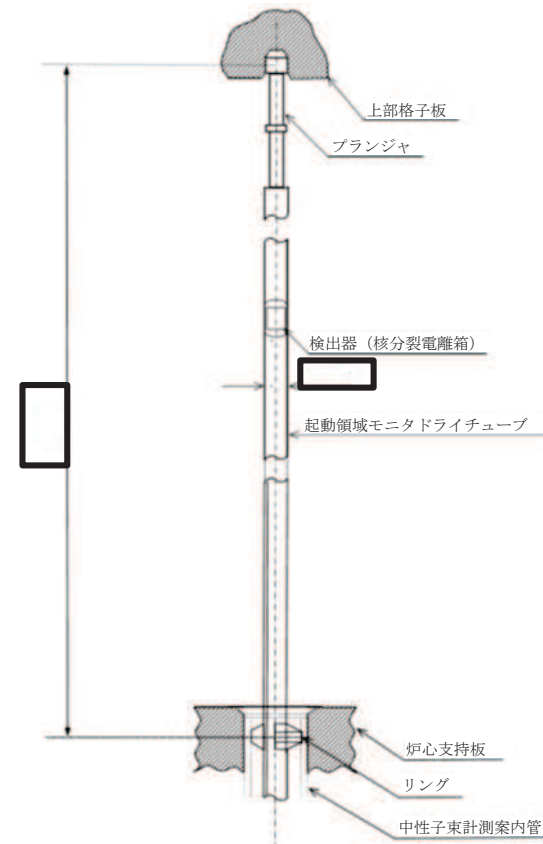


図5-5-1 起動領域モニタ構造図

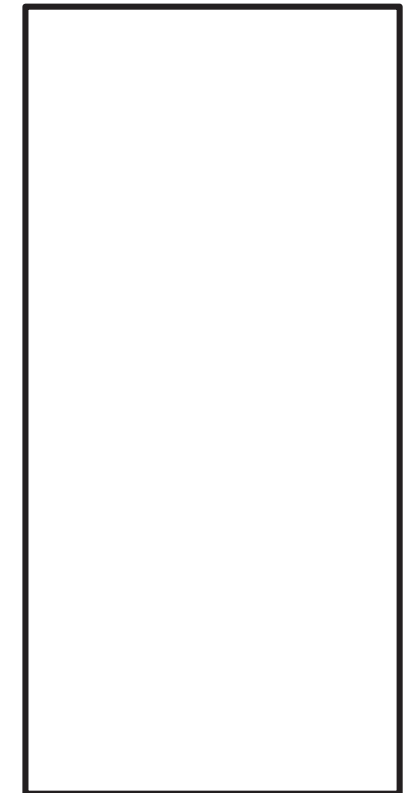


図5-5-2 起動領域モニタ解析モデル図

3. 説明図書

添付書類「VI-2-3-4-3-11 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書」, 「VI-2-6-5-1-1 起動領域モニタの耐震性についての計算書」, 「VI-2-6-5-1-2 出力領域モニタの耐震性についての計算書」及び補足説明資料「補足-600-2 耐震評価対象の網羅性, 既工認との手法の相違点の整理について」

【5-6】水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根(SRSS)法による組合せ

1. 概要

水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組合せ法として、今回工認では鉛直方向に動的地震力が追加されたことに伴い、二乗和平方根(Square Root of the Sum of the Squares)法(以下「SRSS法」という。)を適用することから、その妥当性を確認する。

2. 確認結果

(1) 既工認及び今回工認での評価手法の違い

【既工認】基準地震動による水平方向荷重と静的地震力等による鉛直方向荷重を絶対値和による組合せ

【今回工認】基準地震動による水平方向及び鉛直方向の最大荷重をSRSS法による組合せ

(2) 今回工認で適用する評価手法の妥当性

- 女川2号機の地震応答について、水平方向及び鉛直方向それぞれの最大応答値の生起時刻に差があることを確認した(表5-6-1, 図5-6-1参照)。
- 既往知見*2では、SRSS法と同時入力による時刻歴応答解析法による応力を比較し、SRSS法が保守的な結果となることが確認されている。
- SRSS法は、他社の建設工認における機器・配管系の耐震評価で適用実績のある手法である。
- 以上より、水平方向及び鉛直方向の動的地震力の荷重の組合せ法としてSRSS法を用いることが妥当であることを確認した。
- 本手法を適用して各設備の耐震評価を行い、耐震性が確保されていることを確認した。

注記*2: 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究(ステップ2)」(平成7年~平成10年)

3. 説明図書

補足説明資料「補足-600-2 耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相違点の整理について」

表5-6-1 最大応答値の生起時刻の差(女川2号機原子炉建屋)*1

位置(m)	最大応答値の生起時刻(秒)		生起時刻の差(秒)
	水平方向	鉛直方向	
50.500	24.0	17.9	6.1
41.200	13.5	21.6	8.1
33.200	13.6	23.6	10.0
22.500	20.4	23.6	3.2
15.000	20.4	23.6	3.2
6.000	20.4	23.6	3.2
-0.800	20.4	23.5	3.1
-8.100	20.4	11.4	9.0

注記*1: 設備評価に支配的な基準地震動Ss-D2に対する確認を実施

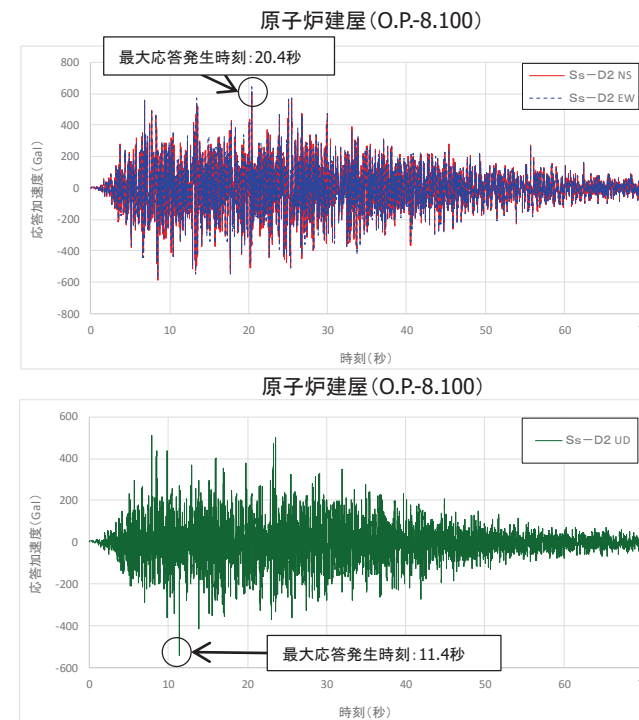


図5-6-1 女川2号機原子炉建屋の地震応答(O.P.-8.1の例)

【5-7】たて軸ポンプの解析モデルの精緻化

1. 概要

たて軸ポンプ(高圧炉心スプレイ系ポンプ, 低圧炉心スプレイ系ポンプ, 残留熱除去系ポンプ, 原子炉補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ)の地震応答解析モデルについて, 今回工認では地震応答を精緻に算定することを目的に解析モデルを精緻化することから, その妥当性を確認する。

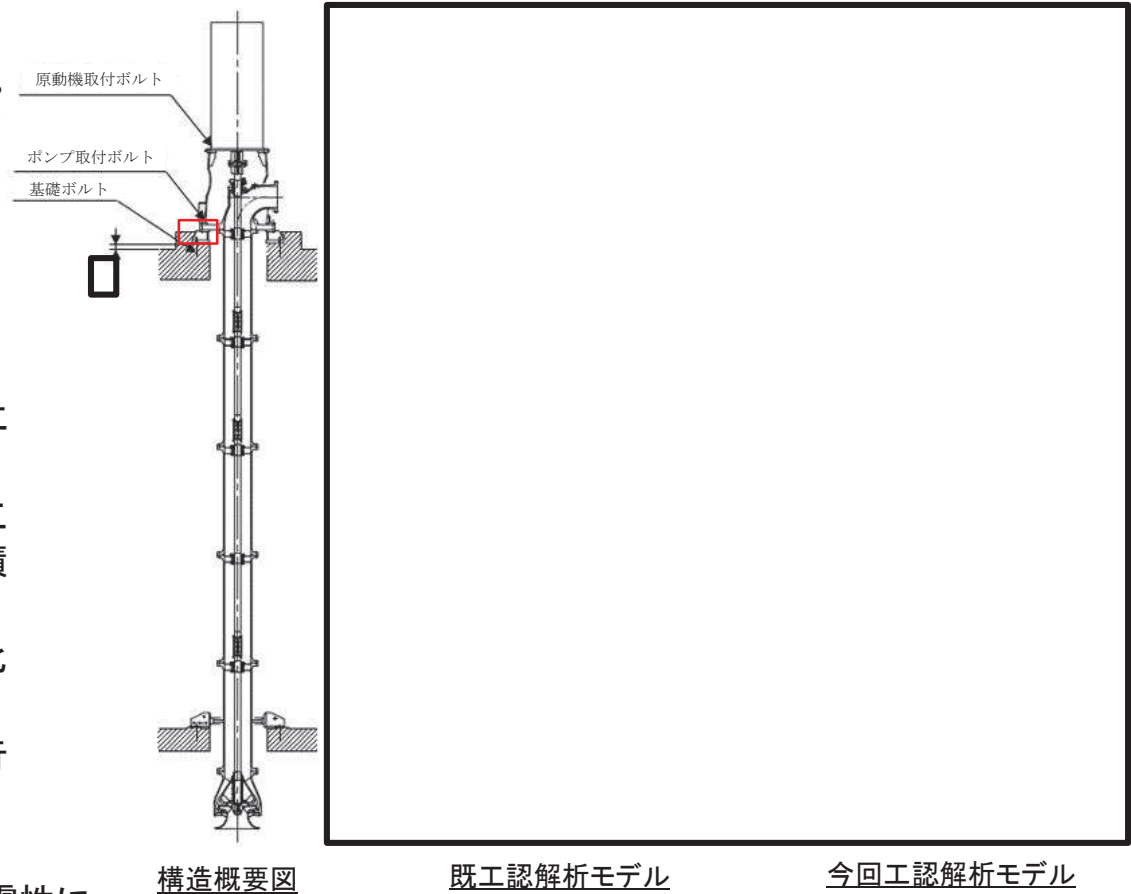
2. 確認結果(図5-7-1に原子炉補機冷却海水ポンプの概略図と解析モデル図を例として示す)

(1) 既工認及び今回工認での評価手法の違い

【既工認】立形ポンプの構造を模擬したバレル部及びポンプケーシングによる3軸の質点系モデルで評価。海水ポンプについては1軸でモデル化。
【今回工認】既工認モデルに対して, 基礎部の取付フランジの剛性を回転ばねとして設定。海水ポンプは, 1軸から3軸へ変更。

(2) 今回工認で適用する評価手法の妥当性

- 今回工認モデルはJEAG4601-1991追補版に基づきモデルを精緻化したものである。
- 解析モデルの精緻化については, 他社の建設工認におけるたて軸ポンプの耐震評価で適用実績のある手法である。
- 以上より, 今回工認における解析モデルの精緻化は妥当であることを確認した。
- 本解析モデルを適用して各設備の耐震評価を行い, 耐震性が確保されていることを確認した。



3. 説明図書

添付書類「VI-2-5-4-1-2 残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書」他及び補足説明資料「補足-600-2 耐震評価対象の網羅性, 既工認との手法の相違点の整理について」

図5-7-1 原子炉補機冷却海水ポンプの解析モデル図

【5-12】付加質量の考慮及び排除水体积質量による応答低減効果の考慮

1. 概要

流体中の構造物の耐震評価における、流体の付加質量及び排除水体积質量*による応答低減効果の考慮について、一部設備は今回工認で考慮方法を変更していることから、その妥当性を確認する。

*【付加質量】構造物が流体中で振動する場合において、あたかも質量が増加したような傾向(流体の付加質量効果)を示すことから、流体による付加質量効果を模擬するための機器の形状により定まる仮想質量

【排除水体积質量】機器が流体中にある場合に、機器－流体の相互作用による応答低減効果を模擬した質量

2. 確認結果

(1) 既工認及び今回工認での評価手法の違い

既工認及び今回工認で流体の付加質量及び排除水体积質量による応答低減効果の考慮方法を変更した設備は表5-12-1のとおり。

(2) 今回工認で適用する評価手法の妥当性

- 炉内設備(表5-12-1※1)については、JEAG4601-1987に記載の燃料集合体と同じく無限水中の円柱構造物とみなして流体の付加質量及び排除水体积質量の応答低減を適用した。
- たて軸ポンプ(表5-12-1※2)については、JEAG4601-1991追補版に記載の二重円筒構造の考え方を適用した。
- 新規に評価する設備(表5-12-1※3)については、流体の付加質量のみを考慮し排除水体积質量による応答低減効果は考慮していない。
- 流体の付加質量及び排除水体积質量の応答低減効果の考慮については、他社の新規制基準対応工認における機器・配管系の耐震評価で適用実績のある手法である。
- 以上より、今回工認における解析モデルの精緻化は妥当であることを確認した。
- 本手法を適用して各設備の耐震評価を行い、耐震性が確保されていることを確認した。

表5-12-1 流体の付加質量及び排除水体积質量の応答低減効果の考慮に関する既工認と今回工認の相違点

設備名又は機器名	既工認		今回工認	
	付加質量	応答低減	付加質量	応答低減
炉心シュラウド支持ロッド※1	無	無	有	有
中性子束計測案内管※1	有	無	有	有
使用済燃料プール水位/温度(ガイドパルス式, ヒートサーモ式)※3	—	—	有	無
残留熱除去系ポンプ, 高圧炉心スプレイ系ポンプ, 低圧炉心スプレイ系ポンプ※2	有	無	有	有
原子炉補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ※2	有	無	有	有
起動領域モニタ, 出力領域モニタ※1	有	無	有	有
制御棒貯蔵ラック, 制御棒貯蔵ハンガ※3	評価対象外	評価対象外	有	無

3. 説明図書

添付書類「VI-2-3-3-2-4 炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書」他及び補足説明資料「補足-600-40-40 耐震評価における流体中の構造物に対する付加質量及び応答低減効果の考慮」

(参考)機器・配管系の耐震評価に係る既工認からの相違点一覧

(5)耐震評価に関し、説明が必要な項目(既工認からの相違点等)

No.	説明項目	説明状況
5-1	原子炉建屋屋根トラスの耐震評価	資料●-1 4ページ
5-2	原子炉本体の基礎への非線形復元力特性の適用	資料●-1 5ページ
5-3	最新知見として得られた減衰定数の採用	資料●-1 6ページ
5-4	シュラウドヘッドの応力評価への公式等による評価の適用	資料●-1 7ページ
5-5	炉内計装設備の応力評価へのスペクトルモーダル解析の適用	資料●-1 8ページ
5-6	水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根(SRSS)法による組合せ	資料●-1 9ページ
5-7	たて軸ポンプの解析モデルの精緻化	資料●-1 10ページ
5-8	原子炉建屋クレーン及び海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用	資料●-1 11ページ
5-9	鉛直方向応答解析モデルの追加	資料●-1 12ページ
5-10	応答倍率評価の適用	資料●-1 13ページ
5-11	炉心シュラウド支持ロッドの解析モデルの精緻化	資料●-1 14ページ
5-12	付加質量の考慮及び排除水体積質量による応答低減効果の考慮	資料●-1 15ページ
5-13	原子炉格納容器ベント系設備の解析モデルの精緻化	資料●-1 16ページ
5-14	動的機能維持の詳細評価	資料●-1 17ページ
5-15	等価繰返し回数の設定	資料●-1 18ページ

 :今回提出範囲