

平成 31 年 4 月 16 日  
東北電力株式会社

女川原子力発電所 2 号炉 指摘事項に対する回答一覧表  
(土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について)

No.	分類	項目	審査 会合日	回答
1	指摘事項	設計体系全体にわたって既工認実績の設計体系と今回の設計体系とを詳細に比較し、適用性に係る課題を網羅的に整理して説明すること。	H30. 8. 7	(H30. 11. 20 回答済み) 既工認の照査体系と比較し、照査体系には変更がないことを追記した。 三次元材料非線形解析を適用するにあたって、抽出した課題を整理して記載した。 ・資料 1-1-2 2. (1) 照査体系の既工認からの変更点 3. (1) 評価方法に係る課題
2	指摘事項	既工認と今回工認との評価手法の相違が、地震力の伝達機構及び許容限界耐力に及ぼす影響を整理して提示すること。	H30. 8. 7	(H30. 11. 20 回答済み) 今回工認手法は、鉄筋コンクリートの非線形性を考慮してひずみを精緻に算定可能であること、非線形性の小さい部位では、既工認手法と発生する断面力は大きな差異は生じず、非線形性が大きい部位では、発生する断面力が部材の剛性低下等を反映した力の配分の変化を表現できることを整理して追記した。 ・資料 1-1-2 2. (8) 精緻化による効果
3	指摘事項	既工認からの変更点及び先行プラントの実績を踏まえ、個別要素の妥当性及び個別要素を組み込んだ設計体系全体の適用性について、網羅的に整理した上で説明を提示すること。	H30. 8. 7	(H30. 11. 20 回答済み) 既工認及び先行プラント実績のない項目を課題として整理し、各課題（許容限界、安全係数、荷重の抽出時刻、解析コードの評価精度等）に対する検討を踏まえ妥当性や適用性を説明した。 ・資料 1-1-2 4. (6) 地震時荷重の抽出時刻 5. (2) 解析コードの適用性 6. 許容限界 7. 安全係数
4	指摘事項	各部位の地震荷重が最大となる時刻の選定について、地震荷重が変化すること及び各部位の要求性能を踏まえ、網羅的な検討となっていることを提示すること。	H30. 8. 7	(H30. 11. 20 回答済み) 地震時荷重の抽出は、要求機能を有する部位ごとに想定される損傷モード（曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊）に応じた時刻の荷重を抽出することを整理して追記した。 ・資料 1-1-2 4. (6) 地震時荷重の抽出時刻

No.	分類	項目	審査 会合日	回答
5	指摘事項	海水ポンプ室の地震時荷重の慣性力について、フローなどを用いて詳細を提示するとともに、耐震性評価を適切に行うため、海水ポンプ室に設置する竜巻防護ネットの荷重も配慮した内容を提示すること。また、裕度の考え方を提示すること。	H30.8.7	(H30. 11.20 回答済み) 既存の機器・配管荷重の考慮方法及び新規に設計する竜巻防護ネットの荷重の考慮方法を整理して追記した。 ・資料 1-1-2 4. (7) 地震時解析 (1 方向載荷)
6	指摘事項	三次元静的材料非線形解析に用いる解析コードの適用性について、解析手法及び対象構造物の特徴を踏まえて、整理して提示すること。	H30.8.7	(H30. 11.20 回答済み) 実験の再現解析結果より、解析コード COM3 は終局状態まで再現可能であること、女川 2 号炉で用いる範囲において変形について精度よく評価可能であることを整理して追記した。 ・資料 1-1-2 5. (2) 解析コードの適用性
7	指摘事項	局部ひずみに基づく許容限界と耐震性評価による限界状態設計法について、設計方法を体系立てて示すとともに、安全係数、許容限界及び耐震性評価方法等の妥当性及び適用性について提示すること。	H30.8.7	(H30. 11.20 回答済み) 通水機能の許容限界を終局ひずみから、より保守的で、先行プラントで工認実績のある許容値へ変更し、設計方法の評価体系を整理して追記した。あわせて、安全係数の考え方及び許容限界の妥当性について整理して追記した。 ・資料 1-1-2 1. (3) 三次元静的材料非線形解析の照査体系 6. 許容限界 7. 安全係数
8	指摘事項	貯水機能及び止水機能に対する面外変形の許容限界の妥当性について、設定する許容限界におけるコンクリートの状況を踏まえ、提示すること。	H30.8.7	(H30. 11.20 回答済み) 貯水機能及び止水機能に対する許容限界は適用実績のある規格・基準類に準拠し、先行実績のある許容限界を設定していることを整理して追記した。 また、貯水機能についてコンクリートの状態を盛土相当としても貯水に影響ないことを整理して追記した。 ・資料 1-1-2 6. (4) 貯水機能に対する許容限界 6. (5) 止水機能に対する許容限界

No.	分類	項目	審査 会合日	回答
9	指摘事項	三次元材料非線形解析について、キャリブレーション解析を踏まえた要素分割の考え方及び応答ひずみの評価範囲等を含む解析・評価方法の詳細を提示すること。	H30. 8. 7	(H30. 11. 20 回答済み) 要素分割の考え方、要素分割が応答値に与える感度解析結果を整理して追記した。 ・資料 1-1-2 補足説明 3. モデル化方針
10	指摘事項	既工認手法と今回工認手法との地震応答解析結果の差異について、差異が生じている理由を示した上で地震応答解析結果の差異が構造物に与える影響を考察し、その内容を提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 女川 2 号炉既工認における地震応答解析は等価線形解析であるのに対し、今回工認は非線形解析（時刻歴応答解析）であり、地盤の非線形性や、地盤と構造物間の剥離等を考慮していることにより土圧や加速度に差異が出ていることを考察として追記した。 構造物に与える影響として、今回工認手法の土圧は既工認手法より大きいことから、断面力等の応答が大きくなり、一部の要素が非線形領域となる可能性があること、また、回転変形を伴う荷重により、断面力や床応答が精緻に再現されることを考察として追記した。 ・資料 1-1-2 2. (7) 二次元地震応答解析手法の変更による影響
11	指摘事項	三次元静的材料非線形解析の適用範囲を明確にするため、海水ポンプ室以外の土木構造物について、応力ひずみがほぼ弾性範囲内に留まることの見通しを提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 取水口等について、非線形化のレベル感を示すため、層間変位が最大となる基準地震動に対する応答（ひずみ）を見通しの代表例として追記した。 ・資料 1-1-2 6. (2) 海水ポンプ室以外の構造物における非線形レベルの見通し
12	指摘事項	「評価方法に係る課題」のうちの「検討概要」について、示されている内容の根拠等を明確にした上で整理して提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 「評価方法に係る課題」の検討概要について、引用箇所の明記や具体性の欠ける部分には注釈をつけて説明を追記する等記載を充実させて記載した。 ・資料 1-1-2 4. (2) 評価方法に係る課題

No.	分類	項目	審査 会合日	回答
13	指摘事項	「既工認手法と今回工認手法で照査体系に変更はない」としていることについて、解析モデル等の変更による設計体系全体に与える影響を整理して提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 個々の変更点を明確にしたうえで、設計体系へ及ぼす影響の有無を網羅的に抽出し、配慮すべき課題を整理した。 ・資料 1-1-2 4. (1) 評価手順の変更点に係る設計体系への影響及び課題の抽出
14	指摘事項	海水ポンプ室の要求機能を満たす部材状態及び周辺環境を想定した上で、保守性を考慮した許容限界の設定の考え方を提示すること。また、この許容限界を他の土木構造物に適用する場合の考え方を提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 各要求機能を満たす部材状態及び周辺環境を整理し、通水機能、支持機能、止水機能については、部材状態に応じた許容限界としていること、貯水機能については想定する部材状態に保守性を持たせた許容限界としていることを追記した。 他の土木構造物についても、同様の部材状態を想定し適用すること、特に貯水機能を有する取水口については、周辺環境を考慮しても海水ポンプ室と同様の考え方で適用可能であることを追記した。 ・資料 1-1-2 7. 許容限界に係る課題
15	指摘事項	「支持機能に関する実験結果」について、実験の目的、条件及び結果に対する女川 2 号炉への適用性を提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 実験の目的を明記するとともに、女川 2 号炉のアンカーはアンカー降伏が先行するように設計されており、審査資料で示した実験と同様の破壊モードを想定している等、女川 2 号炉への適用性を整理して追記した。 ・資料 1-1-2 補足説明 2. 支持機能に関する実験結果
16	指摘事項	安全係数のうちの材料係数の設定について、設計基準強度の信頼性を整理した上で、限界状態設計法の安全係数の設定経緯及び根拠を踏まえて、妥当性及び適用性を提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 材料係数の設定上考慮されている事項を整理したうえで、海水ポンプ室を例に建設時の圧縮強度試験結果(28 日強度)及び経年後の実構造物よりコア採取し実施した圧縮強度試験結果を以って、材料係数を低減することを追記した。 ・資料 1-1-2 8. (3) コンクリートの材料係数

No.	分類	項目	審査 会合日	回答
17	指摘事項	許容限界，安全係数等の設定について，既工認の定義を明確にした上で，既工認実績の有無を整理し，既工認実績のないものについては，既工認における設定の考え方等を踏まえて妥当性及び適用性を提示すること。	H30. 11. 20	(H31. 2. 7 回答済み) 先行プラントの工認実績を含めて「既工認」と定義した上で，評価手順毎の既工認実績の有無や，許容限界及び安全係数の既工認実績の有無を整理して追記した。 既工認実績が無い許容限界であるコンクリートの圧縮ひずみ 2000 $\mu$ 及び主筋のひずみ 1725 $\mu$ が，既工認実績のある概ね弾性範囲と同等であることについて追記した。 ・資料 1-1-2 4. (1) 評価手順の変更点に係る設計体系への影響及び課題の抽出 7. 許容限界に係る課題 8. 安全係数に係る課題
18	指摘事項	耐震安全性評価について，二次元地震応答解析における原子炉建屋のモデル化方法及び三次元静的材料非線形モデルにおける底面バネのモデル化等の仮定条件を提示すること。	H31. 2. 7	(本日回答) 二次元地震応答解析において，奥行き異なる原子炉建屋や防潮堤をモデル化する方法や，二次元地震応答解析で構造物と地盤の接触－剥離を考慮した荷重を三次元モデルに載荷する際の底面バネの設計方法について，今後の詳細検討において，地震応答解析における剥離の挙動を見たうえでバネを使い分ける場合もあることなどを追記した。 ・資料 1-1-8 別紙 16－土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について p57, 59
19	指摘事項	「三次元静的材料非線形解析を適用する構造物の非線形レベルは，概ね弾性範囲に収まる状態で適用する。」としていることについて，詳細設計段階での検討の結果，適用範囲を超える可能性が生じた場合の対応方針を提示すること。	H31. 2. 7	(本日回答) 耐震補強を施すことを基本とし，耐震補強が難しい場合は，工事計画認可段階で許容限界，設計手法の妥当性を改めて説明する方針であることを追記した。 ・資料 1-1-8 別紙 16－土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について p88