

# 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

## 第842回

令和2年3月3日（火）

原子力規制委員会

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第842回 議事録

1. 日時

令和2年3月3日（火） 15：30～16：42

2. 場所

原子力規制委員会 13階 会議室A

3. 出席者

担当委員

山中 伸介 原子力規制委員会 委員

原子力規制庁

山形 浩史 緊急事態対策監  
田口 達也 安全規制管理官（実用炉審査担当）  
川崎 憲二 安全管理調査官  
名倉 繁樹 安全管理調査官  
江寄 順一 企画調査官  
植木 孝 主任安全審査官  
宇田川 誠 主任安全審査官  
千明 一生 主任安全審査官  
津金 秀樹 主任安全審査官  
服部 正博 主任安全審査官  
羽場崎 淳 主任安全審査官  
照井 裕之 安全審査官  
山崎 宏晃 統括技術研究調査官  
寺垣 俊男 技術研究調査官  
日南川 裕一 技術参与

中国電力株式会社

北野 立夫 常務執行役員 電源事業本部 副本部長

山田 恭平	執行役員	電源事業本部	部長（電源土木）
岩崎 晃		電源事業本部	担当部長（原子力管理）
黒岡 浩平		電源事業本部	担当部長（電源土木）
吉次 真一		電源事業本部	マネージャー（耐震設計土木）
中野 正之		電源事業本部	担当課長（耐震設計土木）
水野 浩尚		電源事業本部	担当（耐震設計土木）
永田 義昭		電源事業本部	副長（原子力耐震）

#### 4. 議題

- (1) 中国電力株式会社島根原子力発電所2号炉の設計基準への適合性について
- (2) その他

#### 5. 配付資料

資料1-1	島根原子力発電所2号炉	地震による損傷の防止（コメント回答）	[屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定]
資料1-2	島根原子力発電所2号炉	地震による損傷の防止（コメント回答）	[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]
資料1-3	島根原子力発電所2号炉	地震による損傷の防止（コメント回答）	[後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）の適用]
資料1-4	島根原子力発電所2号炉	審査会合における指摘事項に対する回答一覧表（第4条、第39条（地震による損傷の防止））	
資料1-5	島根原子力発電所2号炉	地震による損傷の防止	

#### 6. 議事録

○山中委員 定刻になりましたので、ただいまから原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合、第842回会合を開催します。

本日の議題は、中国電力株式会社島根原子力発電所2号炉の設計基準への適合性についてです。

本日はプラント関係の審査ですので、私が出席いたします。

議事に入ります。

それでは、資料について説明を始めてください。

○中国電力（北野） 中国電力の北野でございます。

本日は地震による損傷防止のうち、〔屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定〕、〔土木構造物の解析手法及び解析モデル〕及び〔後施工せん断補強工法の適用〕に関する御指摘事項への回答につきまして、二つのパートに分けて御説明して、都度、御質問等をお受けしたいと考えております。

それでは電源事業本部、水野のほうから、御説明をさせていただきます。

○中国電力（水野） 中国電力の水野と申します。

それでは〔屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定〕に関しまして、資料1-1を用いて御説明します。

それでは1ページをお願いいたします。

前回、令和元年10月24日に、こちらに示す8個のコメントをいただき、これらについて今回回答いたします。

2ページ～9ページにかけて各コメントに対する回答まとめをお示ししており、詳細は後ほど御説明しますが、まず7ページを御覧ください。ここでは審査会合でのコメントといたしまして、取水槽等について浸水防護重点化範囲の境界の部位として要求される止水機能について説明することと、コメントをいただいておりますが、取水槽以外の屋外重要土木構造物等における浸水防護重点化範囲につきましては、第5条における論点を、「浸水防護重点化範囲の設定」で、Sクラスである浸水防止設備の位置づけについてコメントをいただいております。これらについても取水槽と同様に要求される止水機能等を整理することをお示ししています。

それでは説明に入ります。説明は前回会合からの変更点について行います。ページ飛びまして、14ページをお願いいたします。

14ページ～16ページにかけて、評価対象構造物に設置される主要な設備の一覧表について、耐震、耐津波の分類を含めて詳細にお示しするとともに、評価対象構造物の分類についても今回詳細にお示ししています。

ページ飛びまして18ページをお願いいたします。

18ページ～21ページにかけて、評価対象構造物の断面選定の方針について、構造形式ごとに追記しています。

18ページでは、箱型構造物の断面選定の方針について追記しています。上から三つ目の

四角では、弱軸方向断面に加えて、強軸方向断面も耐震評価候補断面に追加することを追記しています。その下の四角では、弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面としますが、加振方向と平行に配置される壁が多数ある構造物については、この壁の影響を考慮するため、必要により壁間の幅を耐震評価候補断面とすること。及び強軸方向断面では、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、構造物の奥行幅を、耐震評価候補断面とすることを追記しています。

また、一番下の四角では、箱型構造物の評価対象断面は、弱軸方向及び強軸方向から、後述する「1.6章 評価対象断面の選定方法」に基づいて、選定することを追記しています。

19ページをお願いします。ここでは、線状構造物の断面選定の方針についてお示ししており、弱軸、強軸の考え方や弱軸方向断面では構造的特徴が概ね同様である範囲から、代表となる範囲を耐震評価候補断面とすることなどを追記しています。

20ページをお願いします。ここでは円筒状構造物及び直接基礎の断面選定の方針についてお示ししており、円筒状構造物及び直接基礎は、質点系モデルでモデル化すること。並びに構造物中央を通る断面及びその直交方向断面から評価対象断面を選定することを追記しています。

21ページをお願いします。ここでは管路構造物の断面選定の方針についてお示ししており、弱軸方向断面では、延長方向の構造的特徴が一様であることから、代表となる範囲を耐震評価候補断面とすること。及び「水道施設耐震工法指針・解説（日本水道協会、1997年）」に基づき、管軸方向断面についても検討することを追記しています。

22ページをお願いします。22ページ～24ページにかけて、評価対象断面の選定方法について追記しています。

22ページでは、初めに評価対象断面は、先行サイトを参考に、主に岩盤で支持される島根2号炉の屋外重要土木構造物等の特徴を踏まえ、以下の①～⑤の観点で耐震評価候補断面を設置許可段階で整理し、箱型構造物については強軸方向断面を含めて弱軸方向と同一の観点で耐震評価候補断面を整理することを追記しています。

なお、詳細設計段階では、詳細な整理結果をお示しした上で、23ページの⑥～⑧の観点で、耐震評価上厳しいと考えられる断面を選定することを追記しています。

耐震評価候補断面の整理方法については、22ページの(1)以降に追記しています。

まず観点①、要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況につきまして、要求機能に各断面で差異がある場合、要求機能に応じた許容限界が異なり、評価対象構造物の耐震評価に影響しますので、要求機能の際の有無により候補断面を整理します。また、間接支持する機器・配管系の種類及び設置状況に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する荷重及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響しますので、間接支持する機器・配管系の種類や設置状況に係る差異の有無により候補断面を整理します。

次に観点②、構造的特徴に関しまして、構造的特徴に各断面で差異がある場合は、構造物に作用する土圧等の荷重及び床応答特性が各断面で異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響しますので、構造的特徴の差異の有無により候補断面を整理します。

また観点③、周辺状況につきましては、まず周辺地質や周辺地質変化部に各断面で差異がある場合は、構造物に作用する土圧等の荷重、地震波の伝搬特性及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響しますので、周辺地質の差異の有無により候補断面を整理します。

MMRにつきましては、構造物を支持する又は構造物の周囲を埋め戻す等の目的・役割があり、その分布により、構造物に作用する土圧等の荷重、地震波の伝搬特性及び床応答特性に影響を与えますので、周辺地質の中で整理することといたします。

また、隣接構造物による影響につきましては、2次元FEMにてモデル化する隣接構造物の有無や種類に各断面で差異がある場合、構造物に作用する土圧等の荷重及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響しますので、モデル化する隣接構造物の差異の有無により候補断面を整理します。

なお、地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえまして、詳細設計段階で設定します。

次に観点④、地震波の伝搬特性につきましては、周辺状況のうち評価対象構造物下部の岩盤やMMR等の周辺地質の状況により異なることから、観点③の整理結果を踏まえ、地震波の伝搬特性に係る差異の有無により候補断面を整理します。

最後に観点⑤、床応答特性に関しましては、観点①～③の整理を踏まえ、床応答特性の差異の有無及び間接支持する機器・配管系の設置状況により候補断面を整理します。

23ページをお願いします。ここでは評価対象断面の選定についてお示ししており、ただ

いま御説明した整理結果を踏まえ、要求機能や構造的特徴等の観点で耐震評価上厳しいと考えられる断面を選定すること。複数の観点から異なる耐震評価候補断面が複数抽出される場合は、詳細設計段階で実施する浸透流解析結果を踏まえ、必要に応じて地震応答解析を実施して耐震評価候補断面の絞り込みを行うこと。及び耐震評価上の観点以外に床応答の観点から評価対象断面を選定することを追記しています。

また、評価対象断面の2次元FEMによる地震応答解析モデルの範囲の考え方を追記しております。

24ページをお願いします。ここでは耐震評価候補断面の整理及び評価対象断面の選定フローを追加してお示ししております。

25ページをお願いします。25ページ～64ページにかけて、それぞれの構造形式ごとに代表構造物について耐震評価候補断面の整理についてお示ししています。

26ページをお願いします。ここでは箱型構造物である取水槽についてお示ししており、取水槽に設置される浸水防止設備や津波監視設備の配置を適正化するとともに、浸水防護重点化範囲を保持するために取水機能が求められる部位を追加してお示ししています。

27ページをお願いします。ここでは取水槽の配筋を含む構造的特徴が概ね同様である範囲として、ストレーナ室、ポンプ室、スクリーン室及び漸拡ダクト部に大別しています。

28ページをお願いします。28ページと29ページでは、取水槽の弱軸方向断面では配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲を踏まえ、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、壁間の幅を耐震評価候補断面とすることを追記しています。

ページ飛びまして、31ページをお願いします。ここでは岩級断面図を追加してお示ししております。ほかの評価対象構造物についても同様に、岩級図を追加してお示ししています。

32ページをお願いします。32ページ～34ページにかけて、取水槽の耐震評価候補断面の整理結果をお示ししており、箱型構造物については、強軸方向断面も含めて整理しています。

35ページをお願いします。ここでは線状構造物である屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)についてお示ししており、強軸となるダクトの底版の一部が、屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)の弱軸方向断面の頂版の一部と一体化していることから、この影響を考慮し、次の36ページに示す①-①断面を候補断面に追加して、整理することを追記しています。

ページ飛びまして、38ページをお願いします。ここでは屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)は、基本的には2連のボックスカルバート形状であること。及び縦断方向の隣接構造物の影響については、④-④断面は強軸方向にタービン建物が隣接していますが、構造目地が存在することから、タービン建物による耐震評価への影響は小さいと判断することを追記しています。

ページ飛びまして、40ページをお願いします。40ページと41ページでは、地質縦断図及び岩級縦断図を追加してお示ししており、ほかの線状構造物についても同様に追加してお示ししています。

42ページをお願いします。42ページと43ページでは、耐震評価候補断面の整理結果をお示ししています。

ページ飛びまして48ページをお願いします。48ページと49ページでは、円筒状構造物である取水口について、取水口が2基あることを踏まえまして、今回③-③断面を追加してお示ししており、次の50ページでは耐震評価候補断面の整理結果をお示ししています。

続きまして51ページをお願いします。ここでは直接基礎であるガスタービン発電機用軽油タンク基礎について、①-①断面と直交する②-②断面を追加してお示するとともに、南側には岩盤斜面が存在していることを追記しています。

52ページをお願いします。52ページでは地質変化部としてガスタービン発電機を軽油タンク基礎の南側に岩盤斜面が存在することを追記しています。

ページ飛びまして54ページでは、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎についての耐震評価候補断面の整理結果をお示ししています。

続きまして55ページをお願いします。ここでは管路構造物である取水管について、今回58ページ、60ページ、61ページにそれぞれ②-②、④-④及び⑤-⑤断面図を追加してお示ししており、取水管周辺の地盤の3次元的な分布状況をお示ししています。

56ページをお願いします。56ページでは、取水管は取水管の周囲を砕石で埋め戻す「砕石埋戻部」と、コンクリートで埋め戻す「コンクリート巻立部」に分けられること。及び輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されていますが、島根2号炉の取水口・取水管が設置される周辺は、岩が分布していることをお示ししています。

ページ飛びまして、62ページをお願いします。62ページと63ページでは、地質縦断図及び岩級縦断図を追加し、取水管周辺に地質変化部はなく、断面位置により岩相の分布が変化していますが、取水管周辺にはCM級以上の岩盤が分布しており、耐震評価に与える影響



は小さいと判断することをお示ししています。

64ページをお願いします。ここでは取水管の管軸直角方向について、耐震評価候補断面の整理結果をお示ししています。

以上が、各構造形式の代表構造物についての御説明です。

続きまして65ページをお願いします。65ページ～109ページでは、取水槽以外の箱型構造物、及び屋外配管ダクト、タービン建物～排気筒以外の線状構造物についてお示ししています。

66ページをお願いします。ここではディーゼル燃料貯蔵タンク基礎について構造的特徴を踏まえ、南側の地中部と北側の半地下部に大別して再整理するとともに、66ページと67ページに地中部と半地下部の強軸、弱軸の考え方を追記しています。

また67ページでは、ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から、代表となる範囲を耐震評価候補断面とし、加振方向と平行に配置される壁は考慮しないことを追記しており、これ以降の箱型構造物についても同様の考え方をお示ししています。

ページ飛びまして70ページと71ページに、耐震評価候補断面の整理結果をお示ししており、これ以降の評価対象構造物についても、同様に整理結果をお示ししています。

さらにページ飛びまして72ページをお願いいたします。72ページ～77ページにかけて、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽についてお示ししており、ほかの箱型構造物と同様に、今回整理をしております。

78ページをお願いします。78ページ～83ページでは、第1ベントフィルタ格納槽についてお示ししており、ほかの箱型構造物と同様に、こちらも今回整理しています。なお、78ページと79ページには、遮蔽機能が求められる部位を追加してお示ししています。

84ページをお願いします。84ページ～89ページでは、緊急時対策所用燃料地下タンクについてお示ししており、こちらもほかの箱型構造物と同様に今回整理しています。なお、84ページでは、緊急時対策所用燃料地下タンクは常設重大事故緩和設備であり、鉄筋コンクリート矩体及びライナ（鋼製タンク）で構成され、非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される構造物であること、及び要求性能を期待する部位は鉄筋コンクリート矩体及びライナであることを追記しています。

90ページをお願いします。90ページ～95ページでは、燃料移送系配管ダクトについてお示ししており、ほかの線状構造物と同様に整理をしております。

96ページをお願いします。96ページ～103ページでは、屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）についてお示ししており、こちらもほかの線状構造物と同様に整理をしております。

104ページをお願いします。104ページ～109ページでは、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）についてお示ししており、ほかの線状構造物と同様に整理をしております。

なお、105ページでは、今回新たに①-①断面と③-③断面を追加してお示ししており、断面位置による地盤条件について変化がないことをお示ししています。

以上で、[屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定について]の御説明を終わります。

続きまして資料1-2を御覧ください。

それでは[土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化]につきまして、資料1-2を用いて御説明します。

1ページをお願いします。前回令和元年11月14日に、こちらに示す6個のコメントをいただき、これらについて今回回答いたします。

2ページ～7ページにかけて、各コメントに対する回答まとめをお示ししており、8ページ以降で御説明してまいります。

それでは8ページをお願いします。8ページでは目次をお示ししており、これから前回会合からの変更点について、精緻化についての概要を御説明した後、各論点ごとに順に御説明いたします。

9ページをお願いします。ここでは屋外重要土木構造物等についての記載を適正化して追記しております。

10ページをお願いします。10ページでは各論点に対する評価対象設備の一覧を見直しております。

11ページをお願いします。今回ここでは評価対象設備について、要求性能、解析手法、解析モデル、及び許容限界を見直してまいりました。具体的には2.の2文目ですが、基準適合上の要求性能（支持性能、通水性能、貯水性能、止水性能及び遮蔽性能）並びに要求性能に対する目標性能を再整理し、目標性能ごとに許容限界を設定するように見直しました。

上から3ぱつ目ですが、目標性能を満足する許容限界につきましては、構造部材の曲げ

照査においては「限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ」、「圧縮ひずみ及び主筋ひずみ」、「曲げ耐力」、「許容応力度」又は「全塑性モーメント」から、せん断照査においては「せん断耐力」又は「許容応力度」から適切に選定します。

また、貯水性能及び止水性能が要求される構造部材については、漏水が生じるような顕著なひび割れが発生しないよう、目標性能としては鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力以下になることが求められるため、構造部材の曲げ照査においては「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会、2002年制定）」において、応力-ひずみ関係として示された「圧縮ひずみ及び主筋ひずみ」に対して十分な安全余裕を持つことを確認します。

また、せん断照査においては「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会、2005年）」に規定された「せん断耐力」に対して妥当な安全余裕を持つことを確認します。

支持性能、通水性能及び遮蔽性能が要求される構造部材については、目標性能としては部材が終局状態に至らないことが求められるため、構造部材の曲げ照査においては「限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ」、「曲げ耐力」、「許容応力度」又は「全塑性モーメント」、せん断照査においては「せん断耐力」又は「許容応力度」に対して妥当な安全余裕を持つことを確認します。

なお、今回の許容限界の設定見直しにより、保守的な配慮を加えることで設定していた許容限界の適正化を図りました。

12ページをお願いします。ここでは今回工認における、ただいま申し上げた要求性能や許容限界等の整理結果を見直した一覧表をお示ししています。

ページ飛びまして14ページをお願いします。14ページ～19ページでは、論点Ⅱ-22の「時刻歴応答解析の適用」、及びⅡ-23の「Rayleigh減衰」の設定についてお示ししています。

ページ飛びまして16ページをお願いします。今回工認におけるRayleigh減衰の設定について、卓越するモードは全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図で決定することを今回追記しております。

ページ飛びまして18ページをお願いします。ここでは取水槽を例に、固有値解析結果と設定したRayleigh減衰について、追加してお示ししています。

上から二つ目の四角ですが、取水槽の固有値解析結果によると、各モード次数の減衰定

数は0～2%程度となっており、これは取水槽周辺の表層地盤に埋戻土（減衰定数0%）が分布していることが影響していると判断したことを追記しています。

また、一番下の四角ですが、Rayleigh減衰の設定として、取水槽の場合刺激係数の値及びモード図から、1次モード及び10次モードを選定したことを追記しています。

19ページをお願いします。ここではその取水槽における固有値解析のモード図の例を追加してお示ししており、1次及び10次モードは全体系で大きく振動しており、その他のモードは表層地盤（埋戻土）が局所的に振動していることから、モード図からも主要なモードは1次及び10次モードであると判断したことをお示ししています。

20ページをお願いします。20ページ～30ページでは、論点Ⅱ-24の限界状態設計法の適用についてお示ししています。

ページ飛びまして22ページをお願いします。ここでは構造物の曲げ照査に係る土木マニュアルの適用性について、土木学会マニュアルでは、構造物の曲げ系の破壊については、限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみに対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としており、今回工認におきまして、曲げに対する照査では、圧縮縁コンクリート限界ひずみによる方法を採用することを追記しています。

ページ飛びまして31ページをお願いします。31ページ～35ページでは、論点Ⅱ-25の隣接構造物のモデル化の適用についてお示ししています。

32ページをお願いします。ここでは隣接構造物のモデル化方針について、追記しています。一つ目のぽつでは、評価対象構造物と隣接する構造物が接している場合又は評価対象構造物と隣接する構造物が近接している場合においては、隣接する構造物の挙動を含めた応答を正しく評価する必要があります。

したがいまして、隣接構造物の種類、規模及び設置箇所における地盤状況を考慮し、隣接構造物が評価対象構造物の地震時応答に与える影響及び間接支持する設備がある場合はその設備（以下、「収納設備」と申します。）の地震時応答に与える影響を踏まえ、モデル化可否を検討することを追記しています。

次に二つ目のぽつでは、隣接構造物をモデル化する場合には、隣接構造物を等価剛性でモデル化します。モデル化対象は、岩盤上に設置されており、評価対象構造物と同等以上の大きさで耐震性を有する建物・構築物とし、評価対象構造物が隣接構造物へ及ぼす影響につきましては、評価対象構造物の規模、構造及び応答特性等を踏まえ、詳細設計段階において影響検討を実施することを追記しています。

また、32ページと33ページに隣接構造物のモデル化方針をお示ししており、32ページの方針①、②及び33ページの方針③では、隣接構造物をモデル化する根拠として、評価対象構造物及び収納設備の地震時応答に与える影響が大きいことを追記しています。

また、33ページの隣接構造物をモデル化しない方針④につきましては、今回方針④-2を追加してお示ししています。④-1では、隣接構造物をモデル化しない根拠及び隣接構造物が評価対象構造物と十分な離隔を有する場合として、解析モデル範囲外にある場合を追記しています。

方針④-2では、評価対象構造物の周辺にモデル化対象である原子炉建物等の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合。隣接構造物をモデル化しないことをお示ししています。

ページ飛びまして、35ページをお願いします。今回ここでは隣接構造物のモデル化方針を踏まえ、各評価対象設備における隣接構造物のモデル化例を見直すとともに、モデル化方針選定の理由を追記いたしました。

36ページをお願いします。36ページ～40ページでは、論点Ⅱ-27の質点系モデル（SRモデル）の適用についてお示ししており、36ページでは、免震重要棟遮蔽壁は、「JEAC4616-2009」に準拠した質点系モデル（SRモデル）にて地震応答解析を実施する方針としていました。

SRモデルでは、地盤ばねを設定する必要があり、JEAC4616-2009に準拠した薄層要素法における地盤ばねの算出方法は、群杭と地盤の相互作用が評価可能であることから、本構造物基礎の杭配置に関しても適用可能と判断していました。しかし基礎幅に比べて壁の高さが高く、岩盤に杭を設置する本構造物の特徴を踏まえ、先行炉審査実績を有する2次元FEMモデルによる地震応答解析を実施する方針に見直すことといたします。

39ページをお願いします。39ページと40ページに、今申し上げた免震重要棟遮蔽壁に「JEAC4616-2009」を適用していた経緯及びその適用性についてまとめていますが、39ページの一番下の四角で、薄層要素法は杭と地盤の相互作用や群杭の影響を考慮するために用いられる一般的な手法であります。準拠した「JEAC4616-2009」を用いて、免震重要棟遮蔽壁のように基礎幅に比べて壁の高さが高く、岩盤に杭を設置する構造物の既工認実績はないことを追記しており、40ページで先行炉審査実績を有する2次元FEMモデルによる地震応答解析に見直すことをお示ししています。

以上で、[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]の御説明を終わります。

○山中委員 それでは質疑に移ります。質問、コメントございますか。

○千明審査官 規制庁の千明です。

まず取水槽の断面選定及び解析手法に関して、確認と質問をしたいと思います。パワーポイント資料の28ページをお願いします。

このページのぼつの五つ目に、「加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、壁間の幅を耐震評価候補断面とする。」という記載がありますが、こちらについて、この内容についてもう少し説明のほうをお願いいたします。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

28ページの5ぼつ目の内容でございますけれども、代表して①-①断面で御説明させていただきたいと思います。ここで記載させていただいております壁間の幅といいますのは、①-①断面でいきますと、ストレナ室の右側に取水槽は平面図を記載しておりますけれども、そのストレナ室の通水方向に対して赤色で壁を示しております、南北方向の赤い壁が二つございます。この壁間を含めて候補断面としてモデル化を考えるとということでございます。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今の御説明ですと、いわゆるモデルを集約して断面のほうを評価するということで理解をしました。

それで、今赤で塗色されている壁なんですけど、ここのいわゆる妻壁を含む各部位の耐震評価の考え方です。この妻壁であったり、ほかの床版であったり、各部位があるんですけど、その辺りというのを今回のこのモデルでどのように評価するのかという辺りを、説明をお願いします。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

同じく28ページの②-②断面がわかりやすいかと思っておりますので、そこで御説明させていただきます。

②-②断面でいきますと、それぞれ要求機能というものが違っております。壁下側のほうの三連のダクトの部分については、水を通す通水機能というところがございますので、ここの柱の部分に対して、それに対する要求機能に対する照査をしていくと。壁の部分、E.L.+1.1m、1,100mmのところよりも上のところの壁の部分につきましては、その要求に合う壁として必要な照査をしていくということ、今考えております。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今の説明に関連して、パワーポイントの26ページのほうをお願いしたいんですけど、ここで取水槽の⑤-⑤断面というのが示されておりまして、こここのところで先ほどの説明にもありましたように、機能が違ってくる部位があるということで、ここでは止水機能を要求している部位が床版であったり壁というのが出てくるんですけど、先ほどの集約したモデルを用いて、止水機能が求められる部位について具体的にどのような耐震評価を行うのか、その辺りの考え方について、説明のほうをお願いします。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

⑤-⑤断面で言う、止水機能が求められている部位というのが、薄い水色で塗ってある範囲のところのことだと思いますけれども、これにつきましてはまず②-②断面で集約をするときに、この壁も含めてモデル化をして評価をするのか、それともその部分、水色に塗っていない白色の部分のみのモデル化をするのかというところで、考え方はあろうかと思えます。

②断面のところの部分についても、それぞれ止水機能が求められる部位の壁だけをモデル化したもので評価をする場合、あとはこの縦断方向の⑤-⑤断面で言うところの壁、この水色とその下の床の部分の照査を見ると。その両方を見る必要があるかなというふうに考えております。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今のお話ですと、②-②断面といいながらも、求められる機能、性能によっては解析のほうを幾つか行っていくというふうに考えたんですけど、そういった理解でよろしいですか。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

はい。要求機能がそれぞれ違う壁であれば、それぞれごとに評価をしないといけないと考えておりますので、それぞれの壁の範囲内の中で適切なモデルをしていくというふうに考えております。あわせて縦断方向での断面の照査というのも確認していくことになるかと考えております。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

もう1点確認なんですけど、集約モデルを用いた評価を適用する場合なんですけど、その場合に、その評価というのが妥当かどうかという辺りを検証する必要があるかと思うんですが、その検証する方法として、今何らかの検討を行うのか、その辺り考えているのか、どういった方法で検証を行うか、その辺りお考えありましたら説明ください。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

まだ現時点で明確なものは記載をしていないんですけれども、例えば対象となる集約モデルの壁の部分だけを取り出したような照査をして、現在やっているこの②-②断面の照査結果との比較をするとか、後は部分的にその部分だけ3次元的なもので照査をすること、今後詳細設計段階のところではお示しをしていくというふうに考えております。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今検討中ということでわかりました。

部分的な3次元というお話もありましたが、その辺りもちょっと検討いただいて、さまざまな審査等確認いただいて、検討いただいて、また説明いただければなというふうに思います。

私から以上です。

○江寄調査官 規制庁の江寄です。

今、千明審査官とやりとりした指摘に関して、もう少し確認したいんですけれども、まず1点が28ページの左下の赤いピンクの壁です。ハッチングしている部分。これ妻壁と便宜上呼ばさせていただきますけれども、この妻壁は建設工認当時はどういう設計をされたんですか。それとあと取水槽そのものは、単に妻壁を考慮した設計になっていたのか、単に妻壁を除いた部分で2次元断面で設計されていたのか、その辺を説明いただけますでしょうか。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

当初の取水槽の設計の考え方でございますけれども、②-②断面、これにつきましては既工認でもお示ししておりますけれども、この壁、先ほど江寄さんおっしゃった妻壁をモデル化したもので評価をしております。それ以外の部材の部分につきましては、実施設計ベースでいいますと壁をモデル化せずに設計をしているというのが、当初の設計の考え方でございます。



以上です。

○江寄調査官 規制庁の江寄です。

今回妻壁を期待しているということで、一応建設工認当時も耐震要素としてもつかどうかという確認をしていたという話なんですけど、そうした場合、基本的に建築と同様に耐震壁としての設計方法を、例えば構造細目含めて一応そういうことも網羅されていると考えてよろしいのでしょうか。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

今の御質問は建設当時の工認において記載があるかということであれば、工認資料上に明確にその耐震壁というところの記載はございませんでした。ただ照査をしているということでございます。

以上です。

○江寄調査官 規制庁の江寄です。

特に聞きたかったのは、水平鉄筋と鉛直鉄筋は基本的には土木で言う主鉄筋、2次元断面で言う、配力鉄筋、配力筋です。それとの関係ではなくて、両方とも主筋であるという、耐震壁としての構造細目は一応考えて設計されていると考えていいのかということ聞いています。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

先ほど説明したとおり、②-②断面の部分につきましては、先ほど江寄さんがおっしゃったとおりの考え方で設計をしている資料が残っております。

以上です。

○江寄調査官 規制庁の江寄です。

大体建設工認当時、今と鑑みて、今の実力は大体どの程度なのかというのがわかったわけですけども、そうした上で考えた上で、先行審査実績を踏まえていくと、こういった妻壁の拘束効果を期待した設計という場合には、今から言う4点の留意事項があると考えています。それを述べさせていただきます。

1点が、妻壁から、対象とする断面が、離れた断面ですけども、その離隔に依存して拘束効果が減少していくという現象があります。これは3次元的な効果だと思いますけども。

2点目が、妻壁の非線形性の程度、つまり剛性低下の程度によって、妻壁の拘束効果が変化すると考えられます。

いわゆるコンクリートの耐震壁でひび割れた場合の第1折れ点から第2折れ点に向けて剛

性が変わります。そこで剛性が低下するわけですが、そうしますとその妻壁の拘束効果が薄れますので、妻壁とそのほかの中間の断面と一体挙動、同一変形挙動をするモデルですと、その効果はどのように見ているのかという問題が出てきます。それが今の2点目です。

三つ目が、先ほど床とかいろいろ機能を持っている杭があるという話もありましたが、そうした部材が妻壁と接合するといったことで、いわゆるかたい部位にある可撓性がある部位が接続すると、そこで応力集中するというのが構造力学的、ごく当たり前のことです。そうしたことも方針として設計としていかなきゃいけない。まだ計算は詳細設計段階だとは思いますが、方針として、それは見なきゃいけない。

四つ目として、妻壁にも支持されるものもありますし、そうしたものへの影響、設備の影響、それと妻壁自体が要求する機能がありますから、そういう要求機能に見合った評価を行うような設計モデルではないといけないとは考えています。この4点を留意事項だということで、今まで先行サイトでは審査してまいりましたけども、こうしたことに関してどのような設計方針であるかということ、今後取水槽のモデル化の方針ということで説明をいただきたいと考えています。

この集約モデルと呼ばせていただきますけど、妻壁とそれ以外の断面を一体挙動して考えるというモデル化で構造解析、地震応答解析を行うのであれば、千明審査官が指摘されたようにモデル化の検証なり、その妥当性というのはある程度説明する、どのように説明していくのかということ、説明していただきたい。

一方で他サイトで審査実績のあるものとして、もう既に3次元解析を展開しているサイトもありますが、そういった方針に切りかえるのであれば、またそれはそれでどのようにやっていくのかという方針を説明していただきたいと思っています。

私からは以上です。

○中国電力（山田） 中国電力の山田でございます。

今の四つの妻壁に関する観点も含めて、3次元詳細段階における設計のやり方について、御説明は詳細に資料を整えてまいりたいと思っております。

以上です。

○山中委員 そのほかいかがでしょう。

○名倉調査官 規制庁の名倉です。

今、四つの指摘をしましたが、簡単に言うと、集約モデルを使った場合は、その

部材の平均的な状態というか、ある程度ならした部材の状態としては確認できるんですけども、今回のような集約断面の中にある部位に特定の機能、止水とかそういった機能を求められるような部位が存在する場合に、その接合部も含めて詳細な状況を把握できないので、それについてはこの方法、集約した方法でやった場合の保守性とか留意点に対して、やはり検証が必要ではないかというのがこちらの問題意識です。

この2次元で集約した方法をやってはいけないとか、そういうことは全く言うつもりはなくて、これは例えば通水性だけ求められるような管路構造とか、そういったものに対して、均一な構造に対して適用するのは、それは恐らく可能ではあると思います。

今回のような、少し荷重の伝達を荷重方向に流れているような壁に対して、荷重伝達を期待する場合、かつそういった壁に対して機能を求めている場合、その場合は接合部等も含めてしっかり状態を確認した上で、適用すべきかなと思ひまして、そういったところの考え方、これはやはり詳細設計の段階で詳細に示していただくものとして、そういった検証を留意点も含めてどういうふうにやっていくのかというところの方針を、考え方として説明していただきたいというふうに考えております。

何か回答がありましたらお願いします。

○中国電力（山田） 中国電力の山田でございます。

今おっしゃられたこと、複雑な構造についてしっかり説明できるようなもので、状態も含めて御説明できるように準備して、また御説明したいというふうに考えております。

○山中委員 そのほかございますか。

○千明審査官 規制庁の千明です。

次に屋外配管ダクトの断面選定及び解析手法に関して、確認と質問のほうをしたいと思ひます。

パワーポイント資料の35ページをお願いします。このページのぼつの二つ目に、中段辺りから、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版の一部が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の頂版の一部と一体化しているということから記載があります。これに関して4点ほど確認します。

まず1点目なんですけど、ここの35ページの⑤-⑤断面に示されている上部、下部、それぞれのダクトについて、こちらのそれぞれのダクトについて、既工認時は施設としてはどのような位置づけとしてなっていたのか、まず御説明ください。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

まず上側に見えます屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）につきましては、非常用ガス系のものが、このタービンの建屋から排気筒に行くものということで、このダクトにつきましては既工認でお示しをしているダクトでございます。

続きまして、その下にございます屋外配管ダクトの（タービン建物～放水槽）につきましては、これはRSWの戻りの配管のダクトが通っておりまして、北側のほうにあります放水槽のほうに行くという構造物でございます、これについては当時はCクラスのダクトということの整理で御説明をしているというところでございます。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今の御説明、わかりました。

2点目なんですけど、今回工認において、今の上のダクト、Sクラスの間接支持構造物となるダクトと、下のRSWの戻り管が入っているダクト、こちらについてはこの35ページの説明にあるとおり、構造としては一体となっているというところがありますので、今回工認としてはこの二つのダクトというのをどのような施設の位置づけとして、現時点において考えているかについて御説明ください。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

今回工認におきましては、先ほどおっしゃられたとおり頂版の一部が一体化している構造でございます。要は上下にダクトがくっついているようなものでございますので、どちらにつきましても屋外重要構造物として、間接支持機能としてのSs機能維持を担保することを考えております。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今の説明ですと、工認においては計算書のほうを添付していただくと、そういうふう理解しました。

3点目なんですけど、上部と下部のダクトがこの形状を見ると立体的に交差しているという形状がありますので、この辺りをその断面を2次元で切って評価をしていくということがあるんですけど、その立体的な交差の形状というのを、2次元の解析でどのようなモデル化をするのかというところを、ちょっとモデル化を含めた話なんですけど、この耐震評価の考え方について、今時点で考えているところがあれば御説明ください。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

このたび36ページの①-①断面と、あと37ページに②-②断面を記載をさせていただきました。それぞれ36ページにつきましては、下部のダクトの弱軸方向の断面を切っております。37ページにつきましては、上部のほうのダクトの弱軸方向のダクトということで示しております。

現状はこの36、37を踏まえまして、それぞれの2次元の断面で弱軸方向のものの影響を踏まえた評価をしようと考えております。

ただし37ページを見ていただきますと、②-②断面の、ちょっとわかりにくくて申し訳ないんですが、屋外配管ダクト、タービン建物～排気筒の少し右側のところに構造目地がございます、ここでそれよりも北側の部分のタービン建物放水槽のダクトと縁が切れているところがございます。

今現在は2次元のダクトとしてここ、それぞれお示しした断面で御説明しようと考えておりますけれども、もし構造的にその説明がなかなか難しい場合は、ここの辺りを3次元的な照査に切りかえて、今後御説明することも考えているところがございます。

以上です。

○千明審査官 規制庁の千明です。

今の説明、わかりました。2次元で断面を切って評価をしていくという中で、強軸と弱軸が混在しているというところもあって、先ほどの荷重の伝達の話もあるんですが、その辺りの現象の方法として今3次元もちょっと視野に入れて考えているということでもわかりました。その辺り、今後方針を説明していただければというふうに思っております。

私からは以上です。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

了解いたしました。

○山中委員 そのほかいかがですか。

○江寄調査官 規制庁の江寄です。

ここに関しては、多分下部の部分も含めて間接支持になるということで、特に千明が今気にして指摘したところは、37ページの②断面なんですけども、これで見ただくと屋外タービン側と排気筒の側のほう、クライテリアは上位クラスが収納されているダクト側ですが、ここに関して水平方向の土圧が過度にかかると、基本的には側壁、外壁が、どちらかというと下方向、下の下位クラスのほうのダクトに荷重が伝わる。

そういうことをすると、基本的には頂版部がある程度損傷が起これるという、そうい

うモードが起り得ますので、そうしたものに対してどう抵抗性があるのかというのは、確認しないといけないということなのですが、多分2次元ではなかなかその辺というのが交差していますので、片方こうでは壁、外壁を平面要素でモデル化した壁長としてモデル化してしまうと、内部空間の効果というものが出てこなくなってしまうので、その辺をどう確認していくのかというのを、これから十分に説明していただければと思います。一つの中では、今吉次さんが言われた3次元への展開というのもあるとは思いますが、その辺の考え方と設計の考え方、それを説明していただければと思います。

○中国電力（吉次） 中国電力の吉次でございます。

おっしゃられるとおり、37ページの下部のダクトにつきましては、強軸方向になって、江寄さんがおっしゃられているように頂版の部分の応力の照査というところが、どういった応力がかかってくるのかというところの御説明が、なかなか難しいんじゃないかというのは、我々も認識しておりますので、今後影響検討を含めて、方針を説明させていただきたいと思います。

以上です。

○山中委員 そのほかよろしいですか。

それでは引き続き資料の説明をお願いします。

○中国電力（水野） 中国電力の水野でございます。

それでは引き続きまして〔後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）の適用〕に関しまして、資料1-3を用いて御説明します。

それでは1ページをお願いします。

前々回、平成31年4月9日にポストヘッドバー工法によるせん断補強効果について、先行炉実績との類似点、相違点を整理し、説明することというコメントをいただき、令和元年11月14日に回答いたしましたところ、建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比11.40の適用性、及び算定根拠についてコメントをいただきましたので、これらについて今回回答いたします。

2ページ～4ページにかけて、各コメントに対する回答まとめをお示ししており、前回審査会合でのコメントに対する回答内容について、後ほど御説明してまいります。

それではページを飛びまして、15ページをお願いいたします。15ページと16ページに前々回の会合コメントに対しまして、島根2号炉取水槽の部材諸元（部材圧、せん断スパン比、主鉄筋比及びコンクリート設計基準強度）について、先行サイトである美浜3号炉

及び東海第二と、島根2号炉を整理した結果をお示ししています。

建設技術審査証明報告書に記載の各種実験と差異がございますので、先行サイトと同様に、22ページ～36ページにお示ししている材料非線形解析を実施しており、島根2号炉の実際の構造物の設計荷重等と同じ条件でもPHb工法によるせん断補強効果が期待できることを確認しています。これを前回会合で御説明いたしました。

その際、取水槽隔壁のせん断スパン比11.40の適用性について、実験及び解析により、せん断スパン比と補強効果との関係性を考察した上で説明することとコメントをいただきましたので、これらに関しまして今回41ページ～44ページに追加してお示ししています。

なお、15ページでは、島根2号炉取水槽スクリーン室隔壁におけるせん断スパン比11.40の算定根拠について追記してございます。

それでは41ページをお願いします。41ページではただいま申し上げた経緯、及びせん断スパン比に着目し、建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比11.40の鉄筋コンクリート部材について、PHb工法によるせん断補強効果が期待できる理由を、一般的な部材のせん断の原理を踏まえて考察したことをお示ししています。

42ページをお願いします。42ページでは、一般的な鉄筋コンクリート部材のせん断の原理についてお示ししています。原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会、2005年）によれば、鉄筋コンクリート部材のせん断破壊の形態は、左下の図（a）に示すとおり、せん断スパン比が3.5以上であれば「棒部材式で想定する破壊形態」となり、せん断スパン比が2以下であれば「ディープビーム式で想定する破壊形態」となるとされます。せん断スパン比が2～3.5の場合は、両者の遷移領域であり、一般的には両者が生じ得ます。

島根2号炉の取水槽（スクリーン室）隔壁では、せん断スパン比が11.40であることから、「棒部材式で想定する破壊形態」となります。「棒部材式で想定する破壊形態」では、下の図（b）に示すとおり、斜めひび割れが急激に載荷点方向及び支点方向に向かって発達し、それとほぼ同時に耐力を失ってせん断破壊に至る形態となります。したがって、部材に発生するせん断力がせん断耐力内であれば、こうした斜めひび割れの急激な発達は見られず、せん断破壊には至りません。

棒部材に発生するせん断力による斜めひび割れの角度は、下の図（c）に示すとおり、コンクリート標準示方書を初めとする基準類に示されるトラス理論により45°として評価され、せん断補強筋を部材有効高さの1/2以下の間隔で配置すれば、斜めひび割れ面とせ

せん断補強筋が必ず交差して補強効果が発揮されることが一般にわかっています。

43ページをお願いします。ここでPHb工法においても建設技術審査証明報告書によれば、先施工の工法と同様、トラス理論により評価されるせん断補強効果が発揮できるとされています。せん断スパン比2.79のはり試験体の実験結果では、先ほどの御説明ですと遷移領域の部材となりますが、概ね45°の斜めひび割れが急激に発達してせん断破壊に至る、いわゆる棒部材的な破壊形態を示すとともに、理論式で算定されるせん断耐力が得られています。

よって、せん断スパン比が11.40である島根2号炉の取水槽隔壁においても、せん断補強筋を部材有効高さの1/2以下の間隔で配置することから、先施工工法の原理と同様にせん断補強効果が発揮されるものと判断いたしました。

44ページをお願いします。ただいま申し上げた考察について、取水槽隔壁の材料非線形解析により確認いたしました。材料非線形解析は、31ページ～36ページで示したステップ③の解析条件のうち、主鉄筋の降伏強度を345N/mm<sup>2</sup>として隔壁の照査値が最も厳しかった基準地震動Ss-N1による荷重を作用させました。

解析結果から、以下に示すとおり下の図の左から2番目の図ですが、せん断補強筋の発生応力度は最大でも16N/mm<sup>2</sup>であり、せん断補強筋の降伏強度からして降伏しておらず、補強効果が発揮されていることを確認いたしました。

さらに、仮に作用荷重を超える荷重を作用させた結果、主鉄筋降伏時及び終局荷重時のひび割れ状況、下の図の右から2番目と、一番右の図ですが、棒部材式で想定する破壊形態である斜めひび割れの発生は認められず、せん断破壊が生じていないことを確認いたしました。

以上のことから、建設技術審査証明報告書の実験条件を超えるせん断スパン比11.40の部材について、せん断の原理に基づく補強効果が発揮されており、PHbの適用性があると判断いたしました。

以上で、〔後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）の適用〕に関しまして、説明を終わります。

○山中委員 それでは質疑に移ります。質問、コメントございますか。よろしいですか。

本日土木構造物の耐震評価、それからポストヘッドバー工法についての説明いただいたんですが、島根2号炉の特有の構造もございますので、幾つか指摘事項ございましたけども、御検討いただきまして、また後日御回答いただければと思います。よろしゅうござい



ますでしょうか。

○中国電力（北野） 中国電力の北野でございます。

御指摘の箇所につきましては、もう少し詳細な説明が必要と考えておりますので、検討しまして御回答いたします。

○山中委員 そのほか、何かございますか。よろしゅうございますか。

それでは以上で議題終了いたします。本日予定していた議題は以上です。今後の審査会合の予定については、3月5日木曜日にプラント関係、公開及び非公開の会合を予定しております。

第842回審査会合を閉会いたします。