

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第1002回

令和3年9月10日（金）

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1002回 議事録

1. 日時

令和3年9月10日（金） 13:30～14:30

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

石渡 明 原子力規制委員会 委員

原子力規制庁

市村 知也 原子力規制部長

大浅田 薫 安全規制管理官（地震・津波審査担当）

岩田 順一 安全管理調査官

三井 勝仁 上席安全審査官

中村 英樹 主任安全審査官

呉 長江 統括技術研究調査官

四国電力株式会社

大野 裕記 常務執行役員土木建築部担任

松崎 伸一 土木建築部長

高橋 利昌 土木建築部 副部長

岡田 将敏 土木建築部 地盤耐震グループ 副リーダー

塩田 哲生 土木建築部 地盤耐震グループ 担当

【質疑応答者】

西坂 直樹 土木建築部 地盤耐震グループリーダー

（質疑応答者席に主として着席）

下口 裕一郎 土木建築部 地盤耐震グループ 副リーダー

大野 正登 土木建築部 地盤耐震グループ 担当

細谷 照繁	原子力本部	原子力部	耐震設計グループ	リーダー
村上 裕樹	原子力本部	原子力部	耐震設計グループ	副リーダー
森田 泰光	原子力本部	原子力部	耐震設計グループ	担当

4. 議題

- (1) 四国電力(株)伊方発電所の標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴う地震動評価について
- (2) その他

5. 配付資料

- 資料1-1 伊方発電所 標準応答スペクトルを考慮した評価の概要について
- 資料1-2 伊方発電所 震源を特定せず策定する地震動一標準応答スペクトルを考慮した地震動評価一

6. 議事録

○石渡委員 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1002回会合を開催します。

本日は、事業者から標準応答スペクトルの取り入れに伴う地震動評価について説明をさせていただく予定ですので、担当である私、石渡が出席をしております。

それでは、本会合の進め方等について、事務局から説明をお願いします。

○大浅田管理官 事務局の大浅田です。

本日の審査会合につきましても、新型コロナウイルス感染症拡大防止対策のため、テレビ会議システムを用いて会合を行います。また、引き続き一般傍聴の受付は行っておりませんので、動画配信のほうを御利用ください。

それでは、本日の審査会合ですが、案件は1件でございます。四国電力株式会社伊方原子力発電所3号炉を対象に審査を行います。内容は標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴う地震動評価で、初回の会合です。資料は合計2点ございます。

事務局からは以上でございます。

○石渡委員 よろしければ、このように進めたいと思います。

それでは、議事に入ります。

四国電力から、伊方発電所の標準応答スペクトルの取り入れに伴う地震動評価について説明をお願いします。

御発言、御説明の際は挙手をしていただいて、お名前をおっしゃってから御発言、御説明ください。

どうぞ。はい、どうぞ。

○四国電力（大野） 四国電力の大野でございます。よろしくお願ひいたします。

本日は、いわゆる標準応答スペクトルを考慮した地震動評価につきまして、御説明させていただきます。

早速ですけれども、担当の塩田のほうから御説明させていただきます。

○石渡委員 はい、どうぞ。

○四国電力（塩田） 四国電力の塩田でございます。

それでは、資料に沿って御説明を差し上げます。画面を共有いたしますので、少々お待ちください。

画面共有できていますでしょうか。

○石渡委員 はい、オーケーです。

○四国電力（塩田） それでは、説明させていただきます。

本日、資料は2部御準備しております。資料1-1が、今回の申請のうち添付六、地震動評価、あとは基礎地盤・周辺斜面の評価の申請の概要を記したものでございます。また、資料1-2が、そのうち地震動評価の詳細について説明するものになります。本日の会合のメインは資料1-2になろうかと思っておりますので、資料1-1、1-2と続けて御説明を差し上げます。

それでは、早速、資料1-1から御説明いたします。

1ページをお開きください。こちらが資料1-1の目次になります。まず、1.が地震動評価の概要、2.が基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価の概要になります。

3ページをお願いします。こちら、標準応答スペクトルについて記載しているところでございます。2021年4月21日に改正された実用発電用原子炉及び附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等を踏まえ、伊方発電所において標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施いたします。

標準応答スペクトルは、「震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面（地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層）」というふうに定義され

ておりまして、こちらにおける「標準的な応答スペクトル」というふうに定義されておりまして、下の図のような擬似速度応答スペクトルとコントロールポイントが示されてございます。

4ページをお願いします。こちら、伊方発電所で震源を特定せず策定する地震動スペクトルとしてどう設定するのかについてですが、標準応答スペクトルは、先ほど申しましたように地震基盤相当面 ($V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層) で定義をされております。伊方発電所においては、敷地の解放基盤表面のせん断波速度が $V_s=2600\text{m/s}$ であり地震基盤面に相当することを踏まえまして、標準応答スペクトルをそのまま震源を特定せず策定する地震動の設計用応答スペクトルとして考慮いたします。下の図が、左側が水平方向、右側が鉛直方向の標準応答スペクトルで、先ほど3ページで御説明しました標準応答スペクトルそのものになります。

5ページをお願いします。こちらは基準地震動の設定というところですが、標準応答スペクトルについて、伊方発電所における既存の基準地震動と比較をしております、その図が下にございます。左側が水平方向、右側が鉛直方向、黒の実線で描いておりますのが応答スペクトルに基づく評価で設定した S_s-1 、赤と青が同じく特定せず地震動で留萌地震を考慮した地震動として設定している S_s-3-1 、青が鳥取県西部地震の賀詳ダムの観測記録を考慮した基準地震動 S_s-3-2 、それに対して緑色で標準応答スペクトルを重ね描いております。

上の文章に戻りますが、比較した結果、水平方向は全周期帯で基準地震動 S_s-1 に包絡され、鉛直方向は0.1秒程度以上の周期帯で基準地震動 S_s-1 に包絡されるものの、鉛直方向の0.1秒程度以下の短周期側において既存の基準地震動を超過するというところでございますので、標準応答スペクトルを基準地震動 S_s-3-3 として設定しております。

6ページをお願いします。こちらが基準地震動 S_s-3-3 の模擬地震波の作成になります。模擬地震波は、基準地震動 S_s-3-3 の応答スペクトルに適合する周波数-振幅特性に対し、異なる位相特性を用いた複数の方法により検討を行ったうえで、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成した模擬地震波を採用しております。振幅包絡線の経時変化については、Noda et al. (2002)に基づき設定しており、下の図に示しますような模擬地震波を作成してございます。

7ページをお願いします。こちらが基準地震動 S_s の最大加速度振幅ということで、既に策定した基準地震動に加えて、一番下、赤字で記載してございますが、今回追加で策定し

た標準応答スペクトル S_s-3-3 というのを追加しております。

9ページをお願いします。こちらが基準地震動 S_s-3-3 による基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価の概要になりますが、基準地震動 S_s-3-3 について、評価対象施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価を実施した結果、基礎地盤のすべり・基礎の支持力・基礎底面の傾斜及び周辺斜面のすべりについて、いずれも評価基準値を上回ることを確認しております。

最後に、11ページをお願いします。こちらは参考資料としておつけしておりますが、基準地震動 S_s-3 の超過確率を参照したものになります。上の文章ですが、基準地震動 S_s-3-1 ～ S_s-3-3 の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと比較をしました。内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルとの比較の結果、震源を特定せず策定する地震動 S_s-3-1 ～ S_s-3-3 の年超過確率は 10^{-4} ～ 10^{-7} 程度であるということを記しております。

以上が資料1-1の説明になりまして、引き続き、資料1-2をお願いします。

1ページをお願いします。こちらが資料1-2の目次になります。このうち、1.と2.は先ほど御説明しました資料1-1とほぼ同じですので、かいつまんで御説明を差し上げた上、3章の模擬地震波の作成のところについて詳細に御説明をいたします。

3ページをお開きください。こちらが今回の評価の概要ということで、繰り返しになりますが、設置許可基準規則の解釈、審査ガイドが改正されましたので、震源を特定せず策定する地震動に関して、改正後の設置許可基準規則第4条に適合していることを基準規則の解釈に準拠して確認をいたしました。

具体的な確認というか、解釈の記載内容ですが、第4条5項の3ということで、下の枠囲みの中に記載をしております。今回の申請と関係するのが黒のボールドで書いているところ、赤でハッチングしているところがございます。

まず、上の赤のハッチングのところですが、震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面における標準的な応答スペクトルを考慮したということ、また④番で、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を必要に応じて応答スペクトルの設定に反映するとともに、設定された応答スペクトルに対して、地震動の継続時間及び経時的変化等の特性を適切に考慮することということで、いずれも本資料において確認をいたします。

7ページをお願いします。こちらも資料1-1と同じですが、結論だけ再度御説明いたしますが、標準応答スペクトルを基準地震動 S_s-3-3 として、水平方向、鉛直方向ともに設定をしております。

8ページをお願いします。こちらも7ページと同じものですが、縦軸を加速度にして、超過している箇所はやや視認性を上げたという図になります。結論としては、Ss-3-3を設定しておることになります。

10ページをお願いします。具体的なSs-3-3の模擬地震波の作成について、これから御説明いたしますが、模擬地震波の作成に当たっての考え方というのを10ページにまとめております。

一番上の文章です。模擬地震波作成にあたっては、設置許可基準規則の解釈への適合性を確認するため、審査ガイドの記載を踏まえた検討を行うとともに、検討チーム会合、こちらは標準応答スペクトルの検討チームの会合になりますが、その中において模擬地震波の作成方法に係る議論もありましたので、そちらも参考にして検討を行っております。

具体的には、まず審査ガイドの記載が、真ん中の表に文章を記載してございます。震源を特定せず策定する地震動による基準地震動は、設定された応答スペクトル（地震動レベル）に対して、地震動の継続時間及び経時的変化等の特性が適切に考慮されていることを確認する。また、設定された応答スペクトルに基づいて模擬地震動を作成する場合には、複数の方法（例えば、正弦波の重ね合わせによる位相を用いる方法、実観測記録の位相を用いる方法等）により検討が行われていることを確認するという記載がございます。なので、弊社としては、右側の観点（考え方）というところですが、乱數位相を用いた模擬地震波に加えまして、観測位相を用いた模擬地震波についても検討をしております。また、作成した模擬地震波の継続時間、経時的変化等も比較しております。一番右の列に、それぞれ説明頁を書いておりますが、これは後ほど順次御説明いたします。

また、その下、＜参考＞といたしまして、検討チームの報告書、具体的には「2.7 時刻歴波形の作成方法」というところに、【検討チーム会合における議論】というのが、観点が幾つか記載されておりますので、その観点を全て記載したものが下の表のNo. 1～6という記載になります。

まず1番目ですが、加速度時刻歴波形を作成する際には、最大加速度よりも、応答スペクトルにフィッティングさせることが大切であるという記載がございます。ここに関しては、JEAGに示される応答スペクトルへの適合度を満たす模擬地震波を作成いたします。

2番目、震源を特定せず策定する地震動は、新規制基準において観測記録を基に策定されている旨の記載がなされていることから、加速度時刻歴波形の位相はできるだけ観測記録に近いものを使うことが重要と考えられる。また3番、サイトで観測された記録を重視

するという考えは良い。ただし、実観測記録を用いて加速度時刻歴波形を作成する際には、小さなマグニチュードの地震から得られた位相特性がそのまま使えるか等の整理が必要。これに関しましては、まず、震源を特定せず策定する地震動（Mw6.5程度未満の内陸地殻内地震）として適切な伊方発電所での地震観測記録の有無を整理しております。

次に4番、ある地点の一つの波の位相を用いると、その記録のサイト特性が際立つため、標準応答スペクトル策定の考え方との整合性がなくならないように留意する必要があるという記載がございましたので、Mw6.5程度未満の内陸地殻内地震の特徴を踏まえた位相を用いて模擬地震を作成しております。

5番、断層の近傍では指向性パルスが生じる可能性があり、今後、Mw6.5程度の地震でパルス波が発生する可能性も考慮しておくことが望ましいという記載に対して、指向性パルスが生じる可能性を考慮し、破壊の伝播方向で生じる地震動の位相特性を考慮いたします。

6番目、弾塑性の時刻歴応答解析においては位相の与え方にも留意する必要があるという記載に対しては、1質点系弾塑性モデルを用い、作成した模擬地震波の位相特性による応答値の違いを比較いたします。

以下、これについて御説明をいたします。

11ページをお願いします。こちらが今回の震源を特定せず策定する地震動の模擬地震波の作成とその選定フローを示したものになります。

下の図にフローを書いておりますが、模擬地震波の作成ということで、左側、正弦波の重ね合わせによる方法、具体的には乱数位相を用いた模擬地震波をまず作成いたします。次に右側、観測記録の位相を用いる方法として、まず、伊方発電所における観測記録の整理を行います。また、後ほど御説明しますが、結果的に適切な観測記録がございませんので、佐藤・岡崎（2013）、こちらもまた後ほど説明しますが、それによる模擬地震波の作成というのを行っております。このように作成した二つの模擬地震波について、周波数特性、継続時間、位相特性等について分析を行った上で、最後、基準地震動として策定する模擬地震波を選定するという流れで資料を作成しております。

13ページをお願いします。まず、正弦波の重ね合わせ、乱数位相を用いた模擬地震波の作成について、作成諸元をお示ししております。

乱数位相の模擬地震波は、基準地震動Ss-3-3に適合する周波数－振動特性と一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成しており、振幅包絡線の経時変化については、Noda et al. (2002)に基づき設定しております、具体的な諸元を下の表に記載しており

ます。

地震規模Mについては6.9、等価震源距離については10km、それによって継続時間、あとは振幅包絡線の経時的变化が導き出されます。

※書きのところで、表の下にやや地震規模と等価震源距離の補足をしておりますが、地震規模は、武村(1990)の M_0 -M関係、あとKanamori(1977)の M_0 - M_w 関係から $M_w=0.78M+1.08$ という式になります。審査ガイドにおける「全国共通に考慮すべき地震動」の地震規模(M_w 6.5程度未満)より、 M_w 6.5の場合のMは約6.9というふうになります。等価震源距離については、震源近傍を想定することとし、Noda et al.(2002)における極近距離の関係、具体的にはM6で $X_{eq}6$ km、M7で $X_{eq}12$ km、こちらから内挿するとM6.9に対しては、 X_{eq} は11kmというふうになります。このように見た6.9と $X_{eq}10$ km、この二つの値というのは、「全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討報告書」、これの中で距離減衰式を用いた検討というのが行われておりまして、その中でNoda et al.(2002)の評価で用いられている値が(M6.9、 $X_{eq}10$ km)というふうになっておりまして、この値とも整合的ということで、標準応答スペクトルの検討との連続性を踏まえまして、地震規模Mは6.9、等価震源距離 X_{eq} は10kmというのを採用してございます。

14ページをお願いします。こちらが乱数位相の模擬地震波の作成結果です。資料1-1でお示したものと同じです。

下に、適合度確認ということで、JEAGの適合度を確認した結果、いずれも適合度を満足しているということを確認しております。

15ページをお願いします。こちらが実際に作成した乱数位相の模擬地震波の応答スペクトルとその応答スペクトル比、適合度確認ですね、応答スペクトルを各周期帯ごとに確認したもので、同じですが、いずれも適合度を満足しているということを確認しています。

17ページをお願いします。ここから観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成ということで、まず、伊方発電所における適切な観測記録の有無について確認をしました。17ページは、地震計の配置図ということで、伊方発電所では建設当初から、A地点、B地点、C地点と、それぞれ設備を更新しながら観測を継続しておりまして、右上の表にありますが、A地点は1975年から、それぞれ設備を更新しながら、現在はC地点におきまして観測を継続しているという状況です。

18ページをお願いします。こちらが伊方発電所の地震計で観測された地震の一覧になります。伊方発電所の地震計で観測された地震のうち、内陸地殻内地震、こちらを下の表で

青ハッチで記してありますが、愛媛県南予で発生した地震（Mw3.8、No.55）と2016年熊本地震（Mw7.1、No.56）が挙げられますが、愛媛県南予の地震は地震規模が小さく、熊本地震は敷地までの距離が遠い地震でございます。その他の地震は全て海洋プレート内地震でありまして、震源を特定せず策定する地震動の位相特性としては適切ではないというふうを考えております。

19ページをお願いします。こちらが先ほどお示ししました表を震央分布で示したもので、内陸地殻内地震を吹出しで位置を示してございます。

20ページをお願いします。伊方発電所の地震計で観測された内陸地殻内地震、先ほど御説明しました2地震につきまして、赤が南予の地震、青が熊本地震で、それぞれ時刻歴波形と応答スペクトルを示しております。

2016年南予の地震(Mw3.8)は、標準応答スペクトル策定に用いられた地震の最小規模、Mw5.0になりますが、これよりも有意に小さく、主要動も数秒程度と短い記録になります。2016年熊本地震本震につきましては、震源が遠く表面波等による影響が考えられ、応答スペクトルの長周期成分が大きいような記録となっております。また、どちらの地震につきましても、最大振幅が10ガル未満と非常に小さい記録です。

こういったことから、いずれの記録も、震源を特定せず策定する地震動の位相特性として適切ではないというふうと考えられますので、その他の方法について検討をしております。

22ページをお願いします。こちらは群遅延時間を考慮した模擬地震波の作成と題しておりますが、具体的には、佐藤・岡崎（2013）の手法を用いた模擬地震波の作成に関して説明しているものでございます。

22ページは、佐藤・岡崎(2013)の手法の概要になります。佐藤・岡崎(2013)は、Mw4.9～6.9、震源距離5～200kmの内陸地殻内地震の地震観測データを基に、群遅延時間を用いた経時特性モデルを作成するとともに、周期依存の破壊伝播補正モデルを提案しております。内陸地殻内地震の観測記録を用いて模擬地震波を作成する手法でございます。

この手法は、想定する地震の地震モーメント・震源距離・地盤種別（1種地盤、2種地盤、3種地盤、 $V_s=700\text{m/s}$ 程度の解放基盤）をパラメータとして設定した経時特性モデル、具体的には群遅延時間になりますが、これを断層面・破壊開始点と評価地点との位置関係というのをパラメータとして設定した破壊伝播補正モデル（補正係数）によって補正を行う手法でございます。

その下に具体的な佐藤・岡崎(2013)の群遅延時間モデルの式、破壊伝播補正モデルの式、あと破壊伝播補正モデル作成に必要なパラメータとして、断層の長さであったり、評価地点との位置関係であったり、また左下、経時特性モデル作成に用いられた内陸地殻内地震、その右、破壊伝播補正モデルに用いた地震というのを示しております。

23ページをお願いします。群遅延時間を考慮した模擬地震波といたしまして、震源を特定せず策定する地震動が観測記録に基づく地震動であるということを踏まえまして、観測記録の回帰分析に基づく手法である佐藤・岡崎(2013)の手法を用いた模擬地震波を以下で作成しております。

模擬地震波の作成に当たって必要なパラメータについては、下記のとおり設定しております。

一つ目のポツですが、断層モデル及び地震モーメントは、震源を特定せず策定する地震動に相当するものとして、「短い活断層から想定される地震による強震動予測」について検討した壇ほか(2010)による諸元を用いることとし、伊方発電所周辺で発生する内陸地殻内地震の断層タイプを踏まえまして、横ずれ断層を想定しております。

評価地点は、壇ほか(2010)で用いられた評価点のうち、指向性パルスが生じる可能性を考慮いたしまして、下の図に、壇ほか(2010)に加筆する形で記載をしておりますが、赤い三角で示しておりますような破壊伝播方向の評価地点を対象としておりまして、地盤種別は解放基盤としております。

24ページをお願いします。こちらが作成した模擬地震波になります。佐藤・岡崎(2013)の手法では、水平方向がFN方向：断層直交方向とFP方向：断層平行方向と2種類評価されますので、アップダウンと合わせまして3方向の模擬地震波を作成しております。

その下、適合度確認ですが、同じようにJEAGの適合度をいずれも満足することを確認しております。

25ページをお願いします。こちらが作成した模擬地震波の応答スペクトルと各周期ごとの応答スペクトル比になります。

27ページをお願いします。このように作成しました模擬地震波につきまして、設置許可基準規則の記載、具体的には（設定された応答スペクトルに対して、地震動の継続時間及び経時的变化等の特性を適切に考慮すること）という記載を踏まえまして、作成した模擬地震波の諸特性について分析をしております。

まず、27ページは、周波数特性についての比較です。下の図は、左側が水平方向、右側

が鉛直方向の応答スペクトルで、基準地震動 S_s-3-3H （黒い実線）に対しまして、作成した乱数位相の模擬地震波を赤、群遅延時間、佐藤・岡崎(2013)の手法の模擬地震波ですが、この模擬地震波を青で重ね描いているものです。こちらについては、同じ応答スペクトルをターゲットとして作成しているため差異はございません。

28ページをお願いします。こちらが時刻歴波形を並べて比較したものになります。乱数位相の模擬地震波のほうが比較的振幅の大きい波の継続時間が長いということが見てとれて、乱数位相がおおよそ12秒程度、群遅延時間は8秒程度というふうに見てとれます。

また、佐藤・岡崎(2013)による群遅延時間を考慮した模擬地震波は、20秒以降にやや長周期成分に富む波形というのが見られますが、主要動と比較してその振幅は小さいということが分かります。

29ページをお願いします。こちらがフーリエ振幅スペクトルの比較です。フーリエ振幅スペクトルで比較すると、乱数位相の模擬地震波のほうが、赤色ですが、フーリエ振幅スペクトルのばらつきがやや大きいものの、両者に顕著な差はないというふうに見てとれます。

30ページをお願いします。こちらがフーリエ位相スペクトルで比較したものになります。同じく赤が乱数位相、青が佐藤・岡崎(2013)ですが、比較すると、両者とも模擬地震波に、例えば位相特性のまとまりなどがあるといった、そういう特徴はなく、両者に顕著な差はございません。

31ページをお願いします。こちらは乱数位相の模擬地震波、佐藤・岡崎(2013)の模擬地震波に対して、それぞれの群遅延時間を計算して比較したものです。

下の図は、赤が同じく乱数位相、青が佐藤・岡崎(2013)ですが、時刻歴波形と群遅延時間というのをその下に記載してございます。こちらは水平方向の模擬地震波ですが、佐藤・岡崎(2013)の手法による模擬地震波というのは、FN方向・FP方向ともに、群遅延時間の図の縦軸周期で言うと0.7秒以上、すなわち周期が長い波の群遅延時間が大きい傾向にありまして、これは後続波に周期0.7秒程度以上の長い周期成分が富むということを示しておりますが、原子力発電所の設計に影響が大きい短周期側につきましては、乱数位相、群遅延時間ともに、主要動の中心付近に群遅延時間が集中しておりまして、こちらは両者に大きな差異はございません。

32ページをお願いします。こちらは同じ比較を鉛直方向についてしたもので、傾向は同じでございます。

33ページをお願いします。諸特性の分析の最後になりますが、位相特性の違いによる塑性応答への影響に関する分析を行ったものです。

上の文章ですが、施設に作用する地震力が大きく塑性応答の影響が支配的となるのは水平方向であるところ、下の図に伊方発電所の既存のSsと今回追加したSs-3-3の応答スペクトルを比較した図をお示ししておりますが、Ss-3-3H、水平方向については全周期帯でSs-1Hの水平方向の地震動レベルよりも小さく、また、長周期側ではSs-3-1H、これは留萌の地震動ですが、こういった地震動レベルよりも小さいということから、Ss-3-3Hの位相特性の違いによる塑性応答への影響というのは、それらの基準地震動の応答でカバーされるというふうに考えられます。

しかしながら、検討チームの議論、（弾塑性の時刻歴応答解析においては位相の与え方にも留意する必要がある）という記載がございますので、そちらを踏まえまして、1質点系弾塑性モデルを用い、乱数位相と佐藤・岡崎（2013）の手法による模擬地震波の塑性応答の違いというのを検討いたしました。

34ページをお願いします。こちらが1質点系弾塑性モデルによる応答の結果ですが、その1質点系弾塑性モデルを用いて最大塑性率、こちらは最大変形量を降伏時の変形量で割ったものですが、こちらを評価した結果をお示ししております。

下の図の左側が応答比較に用いるモデルということで、下記に示しているような諸元の1質点系弾塑性モデルで検討しておりまして、各周期での影響を網羅的に確認する観点から、固有周期を変動パラメータとして、0.02秒～5秒の間で複数設定したモデルを作成しておりまして、その結果を右側に示しております。

赤が乱数位相、青が佐藤・岡崎（2013）の手法による最大塑性率ですが、結果的に、位相特性の違いによってばらつく傾向というのはございますが、乱数位相の模擬地震波の最大塑性率、赤ですが、こちらが佐藤・岡崎（2013）の手法による模擬地震波と比較いたしまして、周期0.3秒程度より短い周期帯では大きく、周期0.3秒程度より長い周期帯では同等であるということが確認できました。

36ページをお願いします。以上、ここまで作成しました模擬地震波をまとめたページが、こちらになります。

まず、審査ガイドの記載を踏まえて実施した検討というのが、真ん中ほどの表になります。繰り返しになりますが、ちょっと読み上げさせていただきますが、右側の検討結果ですが、審査実績の多い乱数位相を用いた模擬地震波に加え、観測位相を用いた模擬地震波

についても検討いたしました。また、模擬地震波の諸特性について分析を行い、特徴に大きな差はないものの、乱數位相の模擬地震波の方が佐藤・岡崎(2013)の手法による模擬地震波より主要動の継続時間が長いということを確認いたしました。

また、〈参考〉として、検討チーム会合における議論を参考に実施した検討ですが、上から、右側の検討結果、作成した模擬地震波はいずれも応答スペクトルへの適合度を満足することを確認しました。

また、その下、伊方発電所では適切な観測記録が得られておりませんので、その他の方法といたしまして、佐藤・岡崎(2013)の群遅延時間モデルを用いた検討を実施しました。

またNo.4、こちらは、ある地点の一つの波の位相を用いると、その記録のサイト特性が際立つというような議論ですが、これにつきましては、内陸地殻内地震の多数の記録を用いた佐藤・岡崎(2013)の群遅延時間モデルを用いた模擬地震波を作成しました。

またNo.5、断層の近傍では指向性パルスが生じる可能性があるというような指摘に関しましては、佐藤・岡崎(2013)の群遅延時間モデルにおいて、指向性パルスが生じる可能性を考慮し、破壊伝播方向の模擬地震波を作成いたしました。

また最後、No.6ですが、右側、1質点系弾塑性モデルによる最大塑性率の違いを検討した結果、乱數位相の模擬地震波の最大塑性率が佐藤・岡崎(2013)の手法による模擬地震波と比較して、周期0.3秒程度より短い周期帯では大きく、周期0.3秒程度より長い周期帯では同等であるということを確認しました。

37ページをお願いします。以上のように、作成しました模擬地震波の特徴を踏まえまして模擬地震波の選定を行ったのが、こちらのページになります。

一番上、作成した模擬地震波の特徴といたしまして、すみません、繰り返しですが、作成した模擬地震波の地震動レベル、フーリエ振幅・フーリエ位相及び群遅延時間は同等であり、大きな差はないものの、乱數位相による模擬地震波が佐藤・岡崎(2013)の群遅延時間モデルによる模擬地震波より主要動の継続時間が長いという特徴があります。

また真ん中、位相特性の違いによる塑性応答への影響に関する分析では、施設に作用する地震力が大きく塑性応答の影響が支配的となるのは水平方向であるところ、Ss-3-3H、水平方向は全周期帯でSs-1Hの地震動レベルより小さく、また、長周期側ではSs-3-1Hなどの地震動レベルより小さいことから、Ss-3-3Hの位相特性の違いによる塑性応答への影響はそれらの基準地震動の応答でカバーされると考えられます。しかしながら、検討チームの議論を踏まえまして、1質点系弾塑性モデルを用いて塑性応答の違いを検討したところ、

乱数位相の模擬地震波の最大塑性率が佐藤・岡崎（2013）の手法による模擬地震波と比較して、周期0.3秒程度より短い周期帯では大きく、周期0.3秒程度より長い周期帯では同等であるということを確認しました。

その結果を踏まえまして、最後、模擬地震波の選定ですが、基準地震動として選定する模擬地震波は、「作成した模擬地震波の特徴」及び「位相特性の違いによる塑性応答への影響に関する分析」の検討を踏まえまして、乱数位相の模擬地震波を選定しております。なお、原子力発電所の耐震設計は、各種の不確かさを考慮した保守的な基準地震動を設定するとともに、重要な機器・配管系というのは基準地震動による地震力に対して塑性域に至る場合でもその量が微小なレベルに留まるよう設計を行いますので、位相特性の差異、要するに模擬地震波の差異ですが、こちらが伊方発電所の安全性に与える影響は小さいと考えられますので、乱数位相の模擬地震波を選定しているということに問題はないのではないかと考えております。

39ページをお願いします。最後、まとめですが、以上、御説明しましたように、改正後の設置許可基準規則第4条に適合していることを確認いたしました。

40ページをお願いします。こちらは資料1-1と同じですが、最大加速度振幅の一覧をまとめたものになります。

説明は以上になります。

○石渡委員 それでは、質疑に入ります。御発言の際は、挙手をしていただいて、お名前をおっしゃってから御発言ください。どなたからでも、どうぞ。

中村さん。

○中村審査官 原子力規制庁の中村です。

御説明ありがとうございました。私のほうからは、まず、震源を特定せず策定する地震動の策定と、基準地震動の追加についてコメントしたいと思います。

資料は、まず、1-1の4ページをお願いできますか。資料1-1の4ページですけども、これ、先ほど説明がありましたとおり、伊方発電所においては、敷地の解放基盤表面のせん断波速度が $V_s=2600\text{m/s}$ と、地震基盤面に相当することを踏まえて、標準応答スペクトルをそのまま震源を特定せず策定する地震動の設計用応答スペクトルとして考慮したと。

1ページめくっていただいて、5ページ、その結果ですけども、令和2年9月16日に許可した際の基準地震動に対して、5ページのところ、上に書かれているように、基準地震動 S_s の標準応答スペクトルについて比較したと。その結果、その下の図に書かれているとおり

ですけれども、左側の水平方向については全周期帯で基準地震動 S_s-1 に包絡されると。右側の図ですけれども、鉛直方向については0.1秒程度以上の周期帯では基準地震動 S_s-1 に包絡されるものの、鉛直方向の0.1秒程度以下の短周期側では既存の基準地震動を超過するというので、基準地震動 S_s-3-3 を追加設定したという申請内容ということについては、こちらとして理解いたしました。というコメントです。これは理解したというコメントですので、特に返答のほうは不要だと思います。

引き続きですけれども、資料1-2のほうで、地震動のほう、コメントしたいと思っておりますけれども、まず、設定した基準地震動 S_s-3-3 に適合する模擬地震波の作成についてコメントしたいと思っております。

今回、事業者は模擬地震波について申請書に具体的な検討手法の記載というのはされていないんですけれども、異なる位相特性を用いた複数の方法より検討を行った上で、一様乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成した模擬地震波を採用するというふうに申請書には記載されています。その具体的な検討内容についてですけれども、観測記録の位相を用いる方法については、伊方発電所における地震観測記録を整理して、震源を特定せず策定する地震動の位相特性として適切な観測記録がないというふうな評価を行って、佐藤・岡崎（2013）により模擬地震波を作成したというような説明でした。そして、さらに、作成した模擬地震波を比較分析した結果、乱數位相による模擬地震波を選定するという結果となったということなんですけれども、そこでちょっと2点ほどコメントしたいと思います。

まず、一つ目の乱數位相を用いた模擬地震波の作成についてコメントしたいと思うんですけれども、資料でいきますと、資料1-2の13ページをお願いします。このページ、先ほど説明がありましたように、振幅包絡線の経時変化については、Noda et al.（2002）に基づき設定したと。地震規模と等価震源距離については、地震規模 M が、 $M_w 6.5$ 相当となる M が6.9と。等価震源距離については、震源近傍を想定して X_{eq} で10kmと設定したと。というふうに説明がありました。あと、標準応答スペクトルの検討との連続性を踏まえて設定したというような説明があったんですけれども、まず、ちょっとここで確認したい、コメントするのが、今設定した M の6.9と等価震源距離の10kmということなんですけれども、これが伊方発電所の敷地及び敷地近傍の地域性を踏まえて妥当なものかというところですね。これらの値を用いることについて、保守性の観点も含めて設定されているのかということで、設定の妥当性について説明していただきたいと思っておりますけど、いかがでしょうか。

○石渡委員 いかがですか。

はい、どうぞ。

○四国電力（塩田） 四国電力の塩田です。

2点、御質問といたしますか、コメントがあったと思います。

1点目が、6.9、10kmで結果的に設定された振幅包絡線というのが、伊方発電所での地域性を踏まえて妥当なものかという御指摘に関しましてですが、後の資料でも御説明しましたが、伊方発電所周辺では、内陸地殻内地震が実際発生しておりませんので、伊方発電所で取れた内陸地殻内地震の振幅包絡線と比較してというのは、なかなか申し上げにくいんですが、検討チームの中でも、評価というか、標準応答スペクトルの評価に用いられていました内陸地殻内地震の観測記録というのを、時刻歴波形の形状とかというのを見るところ、おおよそ10秒か10秒弱ぐらいの、 M_w が6.5程度あれば、それぐらいの模擬地震波の長さ、継続時間、主要動ですね、主要動がそれぐらいの長さのものが大いに見られますので、結果的に10秒を、主要動としては10秒、ちょっと、やや10秒を超える程度ですが、継続時間が長いほうが結果的に保守的という考え方もできますので、そういった内陸地殻内地震で取れた記録の形状と比較する限り、妥当な設定なのではないかというふうに考えているというのが1点目でございます。

あと、2点目は、 $M6.9$ と10kmというのが保守的か否かという点に関しましては、※書きでも記載しておりますが、震源を特定せず策定する地震動、全国共通に考慮する地震動というものの規模が $M_w6.5$ 程度未満というふうに書かれておりまして、 $M_w6.5$ というのは、その上限値を採ったような値になりますので、その観点で言えば、包絡形状の設定については妥当、妥当というか、保守的な設定になっているのかなというふうに考えております。

X_{eq10km} に関しましては、同じく13ページの一番下の式、 $T_d - T_c$ というところを見てもらえば分かるんですが、 X_{eq} の設定というのは、減衰部の継続時間に効いてくる式でございます。ですので、 X_{eq} というのは、主要動の長さに対して何か影響を与えるものではないかと、そういう意味で、 X_{eq10km} というのは、Noda et al. (2002)の極近距離との関係や検討チームの報告書の設定とも整合するため、そういう意味で、10kmというのも妥当な設定なのではないかなというふうに考えてございます。

以上になります。

○石渡委員 中村さん。

○中村審査官 規制庁の中村です。

今、事業者の考えるMと X_{eq} の保守性が含まれているということについては、説明を受けましたけども、これはちょっと資料にも何も書かれていないことなので、もう少し、ちょっと、先ほど説明していただいた内容なんかを資料化していただいて、その上で、今後、それで妥当なのかというのを確認していきたい、議論していきたいと思いますので、この点についてはよろしくをお願いします。

続いてですけども、もう1点は、観測記録の位相を用いる方法についてのコメントをしたいと思います。もう一方の観測記録のほうについては、先ほどの繰り返しになりますけども、伊方発電所においては、適切な地震観測記録がないということで、佐藤・岡崎(2013)により模擬地震波を作成したということだったんですけども、基本的に、説明の中でもあったと思うんですけども、時刻歴波形の位相というのは、できるだけ観測記録に近いものを使うことが重要であろうというふうに、そういうふうに考えております。

その観点からですけども、例えば資料でいくと1-2の18ページ、ここに伊方発電所の地震計で観測された地震動一覧ということで、水色でハッチングされている二つだけが内陸地殻内と、それ以外の60についてはプレート内地震のデータになっているんですけども、今、このデータから、特定せずの地震動の位相特性では適切ではないということなんですけども、例えば伊方発電所の敷地及び敷地近傍におけるテクトニクス環境下で発生した内陸地殻内地震であって、地盤特性が同程度とみなせるような類似性がある地点においての、要するに伊方発電所の地震計だけに限らず、その周囲で観測されているような、そういうものも含めて観測記録というのを整理していただいて、実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成の可能性について検討していただきたいと思いますが、これについてはいかがでしょうか。

○石渡委員　いかがですか。はい、どうぞ。

○四国電力（塩田）　四国電力の塩田でございます。

御趣旨、拝承しました。一応、繰り返しにはなりますが、当社といたしましては、伊方発電所の記録がなくて、伊方発電所の周辺におきましても、内陸地殻内地震が全然起きておりませんので、記録がなかなか近くの地域ではないというのは確認をしております、そういう意味で、Mw6.5未満というか、そういったのが入っているような佐藤・岡崎(2013)の手法、こちらはいろんな日本全国で取られている内陸地殻内地震の記録を用いておりますので、適切かと思って策定はしているところでございますが、御趣旨は、拝承というか、理解しましたので、KiK-netの記録で地盤条件とかが使えるようなものがない

かについては、整理して、お示ししたいと思います。

以上です。

○石渡委員 中村さん。

○中村審査官 規制庁の中村です。

趣旨、理解していただいたと思いますので、検討のほうをよろしくお願いします。

あと、最後ですけども、少し、ちょっと話が変わるんですけども、先日、9月1日なんですけども、第29回の原子力規制委員会の臨時会議がございました。そこで原子力規制委員会と四国電力経営層による意見交換というのがありまして、事業者から説明のあった資料、伊方発電所における安全性向上に関する取組についてというのがございました。そこで、佐田岬半島北岸の地質境界として、中央構造線について、その分布と活動性を検討し、活断層でないことを示した査読論文を公表というふうに記載されていまして。その件なんですけども、査読論文、許可後の取組として、新たに解析とか、そういうものをしたのであれば、その評価結果については、今後の審査会合で説明していただきたいと思います。これについてはいかがでしょうか。

○石渡委員 いかがですか。

○四国電力（西坂） 四国電力の西坂です。

先ほど述べられました論文につきましては、基本的には、既許可でお示ししていたのと同じデータを用いて、学術的に佐田岬半島北岸に活断層はないということを示したものです。解析についても、基本的には同じなんですけど、一部、屈折法のデータとかで、説明性向上のために追加の解析を行ったものもございます。そういう状況なんですけど、御説明が必要でしょうか。

○石渡委員 中村さん。

○中村審査官 規制庁の中村です。

そうですね。既許可後に、新たに再解析した結果とかというところがあると思うので、その評価がどう変わったのか、変わっていないのかも含めて、説明していただければと思いますけど、いかがでしょうか。

○石渡委員 どうぞ。

○四国電力（西坂） 四国電力の西坂です。

承知いたしました。基本的に、結果、解釈は変わっていないというのが回答になるんですけど、具体的に説明させていただきます。

○石渡委員 中村さん。

○中村審査官 説明性が向上したというところ、先ほどちょっと言われていたと思いますから、そういうところも含めて、御説明のほうをよろしくお願いします。

私からは以上です。

○石渡委員 ほかにございますか。

大浅田さん。

○大浅田管理官 管理官の大浅田ですけど。

ちょっと2点ございまして、1点目は、7ページの図なんですけど、今回、標準応答スペクトルというのが既存のSsに包絡されていない関係、鉛直動ですね、包絡されていない関係だから、Ss-3-3として1本追加する。これは非常に分かりやすい考え方だと思うんですけど、変更申請のやり方として、1本追加するというやり方と、それと、あと鉛直動の既存のSs-1ですか、これを少し短周期側をかさ上げするという、そういう変更の仕方、両方あるかと思うんですけど、別に今のやり方が適切ではないとは、私は別に言うわけじゃないんですけど、一応、四国電力の考え方として、二つのやり方のうち、今回、既存のSsを変えるんじゃないかと、1本追加するというやり方を採用した理由なり考え方があるのならば、ちょっと説明をいただけますか。

○石渡委員 いかがですか。はい、どうぞ。

○四国電力（塩田） 四国電力の塩田です。

今回、基準地震動Ss-3-3をそのように設定したというやり方は、基本的には、これまでのSs-3-1だったり、Ss-3-2と同じやり方というか、基準地震動Ss-1を超えたものに関して追加するという考えで、同じやり方を採っているんですけども、評価の仕方として、Ss-1というのは、震源を特定して策定する地震動から、多数の距離減衰式の結果、包絡するような形で策定して、要するに水平と鉛直とセットで評価をされるものと理解をしております。そういう意味では、今回の標準応答スペクトルのSs-3-3というのは、そういうSs-1-1とはまたちょっと違ったやり方で評価をするものでございますので、標準応答スペクトルの結果を基にSs-1というのを変えるというやり方ではなく、違う評価のやり方ということで、別途追加するというやり方を考えておりまして、ある意味、Ss-3-1、3-2と同じ考え方で設定したということでございます。

以上になります。

○大浅田管理官 要は四国電力としては震源を特定してというのと、震源を特定せず策定

する地震動、ここが思想も違うし、当然ながら、出てくる波形も含めて、当然ながら出てくるものも違うから、そこは別に考えようと、そういうことなんですね。分かりました。

それから、もう1点は、先ほどちょっと中村が言っていた13ページをお願いします。ここで、震源を特定せずチームの報告書を引用されて、そこでM6.9、 $X_{eq}10\text{km}$ ということを書かれているわけなんですけど、御案内のとおり、検討報告書で、このパラメータを使っているのは、模擬地震動の計算に別に使っているわけじゃなくて、スペクトルの形状、大きさ、これを決める上でM6.9、 $X_{eq}10\text{km}$ にしているんですよ。それで、まるっきり関係ないとは言いませんが、今回は模擬地震波でM6.9、 $X_{eq}10$ というのは、説明にもあったように、特にM（マグニチュード）は、主要動の長さを決めるために決めているので、各サイトでも、設計用応答スペクトルを決める際には、大体、保守性を見込んでマグニチュードの大きさを決めて、 X_{eq} のほうは、後続波の減衰部の継続時間なので、それほど我々も重視はしているものじゃないんですけど、そのマグニチュードに見合うような X_{eq} を決めているというふうなやり方を採っているんで、そこはあまり、検討チームの報告書にM6.9、 $X_{eq}10\text{km}$ と書いてあるから、それをそのまま採用しましたという説明ではなくて、四国電力として、継続時間を決める上で、保守側に見ましたというふうなほうが、それは適切だと思います。

特に $M_w=0.78M+1.08$ という式、この式は、武村（1990）とKanamori（1977）から計算しているんで、この式にも、ちょっとすみません、四捨五入とか、係数が少し違うのかもしれないんですけど、例えばこの式に $M_w6.5$ を入れると、マグニチュードは小数点まで入れると幾つになるんですか。

○石渡委員 はい、どうぞ。

○四国電力（塩田） 四国電力の塩田です。

M6.94とかぐらいだったと思います。

以上です。

○大浅田管理官 そうですよ。我々もちょっと計算して、大体6.948とか、そんな感じになるんじゃないかと思っているので、あえて四捨五入する必要があるのかなとか、いろいろと思いますので、そういった観点から、保守的に設定する上で、これは別に形状じゃなくて、継続時間を決めるためのパラメータとして見た場合に、何が適切か、適切というのは、なかなか、継続時間を決めて適切というのは、なかなかあれなのかもしれないですけど、何が保守性の観点からはいいのかということも含めて決めてもらえればと思います

ので、その点、検討のほうをよろしくお願ひしたいと思ひます。

私からは以上です。

○石渡委員 ほかにございますか。大体、よろしいですか。

マグニチュードというのは、エネルギーにすると、これは倍々になるスケールで、マグニチュードが1違うと32倍、エネルギーは違うわけですよ。ですから、6.9というのと、例えば6.95というのは、これはもう大分違うわけですよ。そういう観点から言うと、四捨五入というのが適切かどうかというのは、よく考えていただいたほうがいいと思ひますね。よろしいでしょうか、そこのところは。

はい、どうぞ。

○関西電力（塩田） 四国電力の塩田です。

御趣旨踏まえまして、またお示ししたいと思ひます。

以上です。

○石渡委員 ほかに特になければ、この辺にしたいと思ひますが、よろしいでしょうか。

四国電力のほうからも、特にございませんか。よろしいですね。

それでは、どうもありがとうございました。

伊方発電所の標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴う設置変更許可申請に係る震源を特定せず策定する地震動評価につきましては、本日の指摘事項を踏まえて、引き続き審議をすることといたします。

以上で本日の議事を終了します。

最後に、事務局から事務連絡をお願いします。

○大浅田管理官 事務局の大浅田です。

原子力発電所の地震等に関する次回会合につきましては、来週、9月17日（金曜日）、午前中に特定重大事故等対処施設を対象とした非公開の会合、午後に公開の会合をそれぞれ予定しております。詳細は追って連絡させていただきます。

事務局からは以上でございます。

○石渡委員 それでは、以上をもちまして、第1002回審査会合を閉会いたします。