

「耐震設計審査指針の改訂に伴う中国電力株式会社 島根原子力発電所 1、2号機耐震安全性に係る中間報 告の評価について」に対する見解



平成 22 年 3 月 19 日
原子力安全委員会事務局

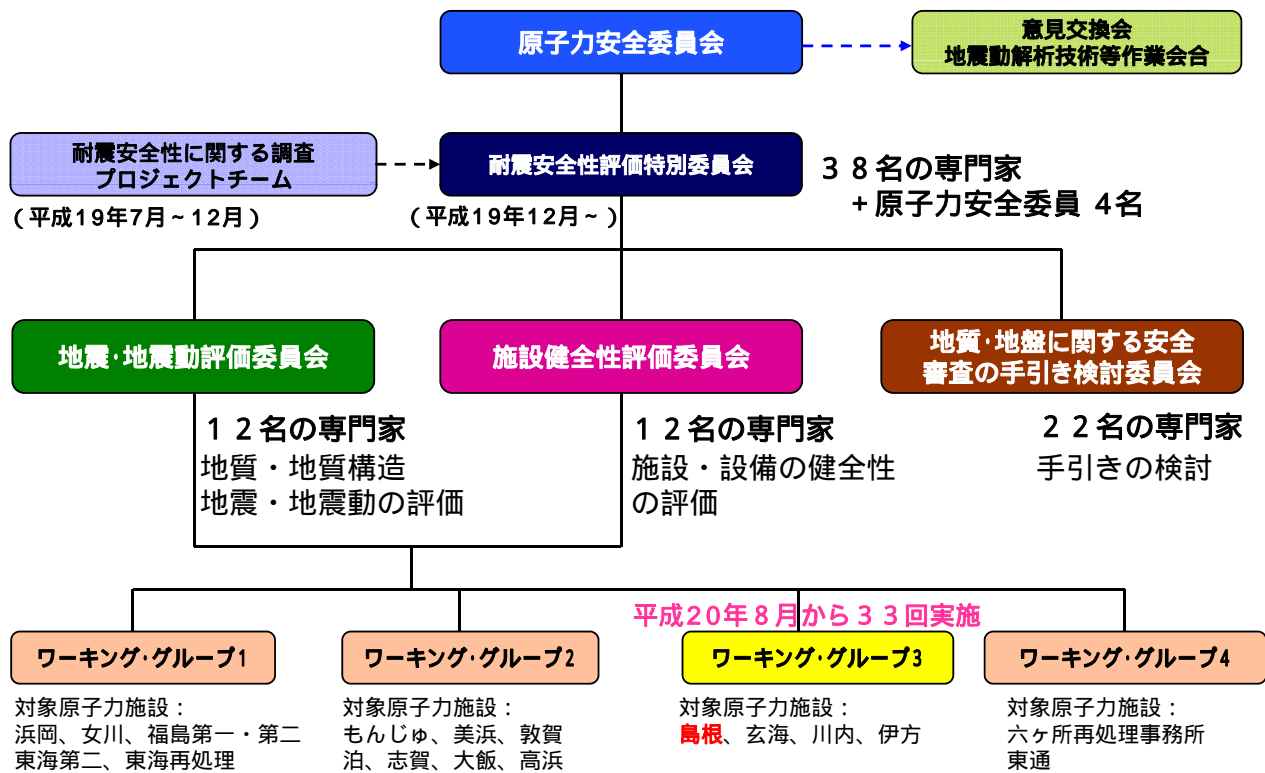
1



原子力安全委員会の役割

- 安全に係る科学的判断をより確実に行うため、保安院などの規制行政庁とは別に原子力安全委員会が設置。関連分野の専門家が専門的・中立的な立場から議論を尽くし、自ら判断する。
- 規制行政庁に対し、あらかじめ検討に当たって考慮すべき点を提示。また、検討・報告内容をチェックし、意見を表明し、必要あれば勧告や報告聴取を行う。
- 検討の過程は公開し、判断の透明性を確保する。
- 原子力施設の耐震安全性に関する調査審議体制を強化するため、耐震安全性に関連する分野の多数の専門家からなる「耐震安全性評価特別委員会」を平成 19 年 12 月に設置し、これまで検討を重ねてきた。

2



耐震安全性評価特別委員会の構成員

耐震安全性評価特別委員会

以下38名 + 原子力安全委員 4名

- 委員長**： 入倉孝次郎 (愛知工業大学)
- 副委員長**： 秋山 宏 (東京大学) 佃 栄吉 (産業技術総合研究所)
- 委員**：
- | | |
|--------------------|---------------------|
| 池田 安隆 (東京大学) | 石田 瑞穂 (海洋研究開発機構) |
| 伊藤 智博 (大阪府立大学) | 大谷 圭一 (防災科学技術研究所) |
| 岡本 孝司 (東京大学) | 奥村 晃史 (広島大学) |
| 鹿島 光一 (電力中央研究所) | 加瀬 祐子 (産業技術総合研究所) |
| 釜江 克宏 (京都大学) | 川瀬 博 (京都大学) |
| 京谷 孝史 (東北大学) | 隈元 崇 (岡山大学) |
| 桑原 文夫 (日本工業大学) | 越村 俊一 (東北大学) |
| 古関 潤一 (東京大学) | 小長井一男 (東京大学) |
| 笹谷 努 (北海道大学) | 白鳥 正樹 (横浜国立大学) |
| 住田 裕子 (ふじ合同法律事務所) | 高倉 吉久 (東北放射線科学センター) |
| 高橋 滋 (一橋大学) | 谷 和夫 (横浜国立大学) |
| 塚田 隆 (日本原子力研究開発機構) | 徳山 英一 (東京大学) |
| 中西 友子 (東京大学) | 中埜 良昭 (東京大学) |
| 中村友紀子 (新潟大学) | 西村 昭 (産業技術総合研究所) |
| 東原 紘道 (防災科学技術研究所) | 松岡 裕美 (高知大学) |
| 宮下由香里 (産業技術総合研究所) | 持尾 隆士 (近畿大学) |
| 山岡 耕春 (名古屋大学) | 山崎 晴雄 (首都大学東京) |
| 米山 望 (京都大学) | |

新耐震指針によるバックチェックについて

5

新耐震指針のポイント

1. 最新の調査手法を総合した徹底的な活断層調査
(調査対象範囲拡大、変動地形学等の重視、連動性の考慮等)
2. 基準地震動の評価方法の高度化
 - 「震源を特定して策定する基準地震動」の評価方法の最新化
(敷地近くは断層モデル重視、3次元的地域特性・地盤特性等の考慮、不確かさの考慮、等々)
 - 「震源を特定せず策定する地震動」の敷地ごとの評価
(詳細な調査により活断層が発見できない場合を想定した地震動も評価)
 - 「残余のリスク」の最小化(基準地震動を超える地震動が発生した場合であっても、事故につながるリスクを小さくするよう、詳細設計・施工等において考慮)基準地震動(Ss)による安全設計の余裕・信頼度について、弾性設計用地震動(Sd)による確認要求

6

新手引きのポイント

1. リニアメント重視から地形発達過程（地形の成因を含む）重視への移行（成因を重視した変動地形学的調査、地表地質調査及び地球物理学的調査を総合、活断層に加え、活撓曲や活褶曲等についても十分に調査）
2. 各手法による調査結果の総合的な検討の重要性（各手法で調査結果が異なる場合はそれらの結果を相互比較して妥当性を検証し、総合的に判断）
3. 断層の三次元的形状の把握の重要性（三次元弾性波探査等を使用し、活断層の三次元構造を可能な限り把握）
4. 一貫した考え方にもとづく活断層の認定（活断層の認定については、一貫した認定の考え方により判断）
5. 必要に応じ調査原資料に立ち返った審査（安全審査に当たっては、できる限り原資料を確認）

7

どのようにして耐震安全性を再確認するか？

1. 現時点の最新の科学的知見を反映して安全性を確認する。
2. 科学的不確かさが評価に与える影響を考慮し、それでも安全が確保されるようにする。
3. 専門家が徹底的に議論を尽くし、論点を可能な限り俎上に載せて検討する。

8

1. 評価に当たっての不確かさの考慮
(地質調査結果、地震記録、地震学的知見を踏まえ、影響が大きなパラメータを考慮した評価)
 - 活断層等評価に当たっての不確かさの考慮
各種調査手法を駆使して総合的に評価、短くて孤立した断層を考慮、連動性を考慮、等々
 - 地震動評価に当たっての不確かさの考慮
断層モデル重視(とくに、震源が近い場合)、地震動を過小評価しないように条件を設定、等々
2. 建屋基礎下の入力地震動と設備健全性の安全余裕の確保
土木・建築、機械設計における安全余裕の確保、等々

島根原子力発電所 1、2号機耐震安全性に係る 中間報告の原子力安全委員会の見解

宍道断層、敷地前面海域の活断層評価

追加調査（佐陀本郷廻谷、森山）

強震動評価手法の検討

確認用地震動 1（宍道断層 3 4 kmモデル）

確認用地震動 2（宍道断層：地震規模Mj7.1モデル）

確認用地震動 3（原子力安全委員会が実施）

震源が敷地に近い場合の応答スペクトル法の適用性

震源を特定せず策定する地震動の妥当性の検証

確認用地震動 3（原子力安全委員会が実施）

弾性設計用地震動Sd設定の考え方及び旧耐震指針との対応 機器・配管系の構造強度評価及び制御棒挿入性評価

統計的グリーン関数法に係る解析プログラムの手法の違い 解析業務における不適合事象への対策

11

主要な論点：追加調査（佐陀本郷廻谷、森山）

- 原子力安全委員会の提案と結果 -

宍道断層の西端（佐陀本郷廻谷）

（提案内容）

佐陀本郷廻谷の以下の地点（DMPの堆積や断層を挟んだ南北のボーリングの間）でボーリング調査を実施し、浅い部分の地質層序・年代等を検討する。

（調査結果）

佐陀本郷廻谷地点では、後期更新世以降の断層活動が認められるが、東側よりも谷の屈曲量及び鉛直変位量（累積変位量）が小さいことから、断層の活動性は低く、耐震設計上考慮する活断層の末端に近いと考えられる。

12

宍道断層の東端（森山）

（提案内容）

- 1) ボーリングを実施し、地層層序・年代等を検討する。
- 2) 反射法探査を実施する。

（調査結果）

- ・ 完新世に堆積した地層に変位・変形がみられないこと。
- ・ S波探査150m付近から南側の上部更新世に堆積した地層に変位・変形がみられないこと。
- ・ 基盤岩上面に変位・変形がみられないこと。なお、S波探査150m付近の基盤岩の高まりについては、浸食によって削り残された部分と考えられるとする事業者の考え方に大きな矛盾はないと考える。

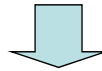
13

宍道断層の評価結果

宍道断層の評価・認定に関して、追加調査結果（佐陀本郷廻谷及び森山）及びこれまでの宍道断層に係る検討から総合的に考えると、耐震設計上考慮する宍道断層の長さ約22kmを妥当とした保安院の判断に問題はない。

14

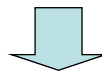
宍道断層は、活動度が比較的 low、端部を地形学的に認識することも容易ではない。特に、東端については、複数のとなりあう谷地形が屈曲しているような様相を示す地形が見られるという指摘等の公的な場での科学的論点についても傾聴することが必要と考え慎重に検討をしてきた。このように、活断層研究者の間でも必ずしも考えが一致していないのが現状と考える。



こうした経緯を踏まえ、地震動評価において、さらに慎重な検討が必要と考え、確認用地震動として断層長さを22kmよりも延ばしたケースを念のため検討し、断層長さを22kmとした基本モデルと地震動レベルを比較検討することとした。

なお、これは、今回の宍道断層における、断層の長さの地震動への影響を知る上で重要な試算であり、地域住民の安心へもつながるものと考えられる。

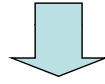
中国電力(株)は、これを受け、これまでの調査結果を踏まえて、断層長さ34kmと設定する確認用地震動（34kmモデル）の検討を実施した。



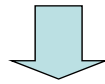
その結果、確認用地震動（34kmモデル）の評価結果は、断層長さを22kmとした基本モデルより大きめの地震動レベルであるが、基準地震動Ss-1にほぼ包絡されていることを確認した。

主要な論点：確認用地震動 2（宍道断層：地震規模Mj7.1モデル）
- 原子力安全委員会の提案と結果 -

中国電力(株)：強震動予測レシピ（H18.9.25版）により、地震規模をMj6.9と算定



原子力安全委員会は、強震動予測レシピ（H20.4.11版）の趣旨を踏まえて、地震規模を算定する手法についても考察を加えることとした。中国電力(株)に対して、宍道断層による地震動評価に関して、確認用地震動として断層長さ（22km）から松田式により算定した地震規模（Mj7.1）を基にした評価を求めた。



その結果、基準地震動Ss-1に包絡されていることを確認した。

主要な論点：確認用地震動 3（原子力安全委員会が実施）
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について -

原子力安全委員会は、中国電力(株)の策定した基準地震動Ssが、地震調査研究推進本部の震源断層を特定した強震動予測手法(レシピ)に基づいた地震動評価結果に比べてどの程度の安全性を有しているかについて把握することとした。

- Case1：断層モデルのパラメータ設定等の妥当性を確認するためのモデルとして、宍道断層22km、90度、アスペリティ位置を中央としたモデル
- Case2：宍道断層22km、90度、アスペリティ位置を上端（中国電力(株)の基本震源モデル）としたモデル
- Case3：中国電力(株)の基本震源モデルから東端を15km、西端を1km延長した38kmモデル
- Case4：中国電力(株)の基本震源モデルから東端を7km、西端を1km延長した30kmモデル
- Case5：中国電力(株)が実施した宍道断層を延長した34kmモデル

検討結果

Case1より、中国電力株が実施した検討ケースは、適切なパラメータ設定がされていることを確認した。

Case2より、原子力安全委員会が実施したハイブリッド合成法による評価結果と中国電力株が実施した評価結果が、同程度であることを確認した。

Case1・2より、中国電力株の計算結果が適切であることを確認した。

原子力安全委員会が実施したCase3・4・5については、一部の周期帯で基準地震動 S_s-1 を上回っていることを確認した。

原子力安全委員会が実施したCase5の速度応答スペクトルは、中国電力株の計算結果に対して一部周期帯で上回っていることを確認した。その原因は、破壊伝播速度のばらつきの与え方や代表波の選択方法の違いによると推測される。

原子力安全委員会は、宍道断層による地震動評価に関し、断層長さ（22km）から求めた地震規模（ $M_j7.1$ ）を基にした震源断層モデルによる評価結果を参考にすることも必要と考え、地震動評価を実施した。また、今後の震源を特定せず策定する地震動の評価の参考とするため、一部の震源断層パラメータがレシピから外れた震源断層モデルによる地震動レベルとレシピに基づいた震源断層モデルによる地震動レベルの確認を実施した。

Case : 断層長さ(L)=断層幅(W)=15km、傾斜角90度、アスペリティ位置を中央と下端としたモデル

Case : 断層長さ(L)=断層幅(W)=17km、傾斜角60度、アスペリティ位置を中央と下端としたモデル

Case : 宍道断層(22km)を基に断層長さ(L)=28km、断層幅(W)=15km、傾斜角90度、アスペリティ位置を中央としたモデル

Case : 宍道断層(22km)を基に断層長さ(L)=25km、断層幅(W)=17km、傾斜角60度、アスペリティ位置を中央と下端としたモデル

検討結果

震源を特定しにくい地震をMj7.1として、断層幅(W)を地震発生層の厚さに基づき設定し、断層長さ(L)=断層幅(W)とした場合、応力降下量がレシピの2倍程度となる。このモデルによる地震動レベルは、アスペリティ位置を下端に設定しても、司・翠川（1999）の距離減衰式に比べて過大な評価となる。

上記のことから、震源を特定せず策定する地震動の検証に用いる震源断層モデルは、レシピに基づいた標準的なパラメータを考慮して設定する必要がある。

レシピに基づいた標準的な震源断層モデルにより原子力安全委員会が実施したCase ①の結果から、中国電力株の震源を特定せず策定する地震動のレベルは、概ね標準的な地震動レベルを評価している。

施設の耐震安全性

建物・構築物

原子炉建屋及び原子炉補助建屋の耐震安全性評価結果について、水平方向の地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を下回っていることを確認した。

地震応答解析から得られる最大転倒モーメントを用いて算定した原子炉建屋及び原子炉補助建屋の接地率は、基準地震動Ssに対して、地震応答解析の信頼性が確保されるめやす値（接地率65%以上）を満足していることを確認した。 等

機器・配管系

構造強度評価結果について、各機器の基準地震動Ssによる発生応力が評価基準値以下であることを確認した。

動的機能維持評価に関し、制御棒挿入性については、基準地震動Ssによる地震応答解析から得られた燃料集合体中央部の相対変位は振動試験により挿入性が確認された相対変位以下であることを確認した。 等

弾性設計用地震動Sdの設定の考え方等について

弾性設計用地震動Sdは、 $0.5 \times Ss-1$ 及び $0.5 \times Ss-2$ を包絡するように、弾性設計用地震動Sdを $0.6 \times Ss-1$ として設定しており、その考え方等は妥当である。

弾性設計用地震動 Sdによる地震力に対して建物・構築物が弾性範囲に収まっていることを確認した。

基準地震動Ssによる地震力に対して建物・構築物が概ね弾性範囲に収まっていることを確認した。

統計的グリーン関数法に係る解析プログラムの手法 の違いについて

ワーキンググループの検討の過程において、統計的グリーン関数作成に係る解析プログラムの手法に違いがあることが判った。

プログラムA: 統計的グリーン関数の目標震源スペクトルへのフィッティングに関して、Brune(1970)の考え方に基づくもの(目標スペクトルに包絡される場合)

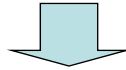
プログラムB: 統計的グリーン関数の目標震源スペクトルへのフィッティングに関して、目標スペクトルに一致する場合

プログラムの違いについての検討の結果、両者のプログラムでは、統計的グリーン関数の作成時点での目標震源スペクトルとのフィッティングによる差によって合成結果に差が生じる可能性は否定できないことが判明した。

これは手法の違いであって、方法論そのものに誤りがあるわけではないが、プログラムBを使った方がより保守的な評価を与えるものである。

中国電力(株)の対応：

目標震源スペクトルにできるだけ適合させるプログラムBの方がより保守的に評価されることから、確認のため宍道断層（不確かさを考慮したケースを含む）の地震動評価等について、プログラムBにより実施した。



その結果、プログラムBで評価した地震動は、一部周期帯で基準地震動を上回る結果となったが、中間報告対象の主要施設について、耐震安全性評価を実施した結果、十分安全性が確保されることを確認した。

この様なことから、プログラムAを用いることで、直ちに安全上支障がでることはないが、プログラムBを使った方がより保守的な評価を与えることが確認された。

原子力安全委員会は、当該検討結果の位置づけを明確にした上で、最終報告までにプログラムBにより耐震安全性評価が実施されることが適当であると考え

まとめ

原子力安全委員会は、保安院から評価報告を受領した以降に検討・判明した、敷地前面海域の活断層評価やアスペリティの応力降下量（短周期レベル1.5倍）の評価等に伴う基準地震動の一部見直し等が行われた事項及び特別委員会の検討の過程で判明した統計的グリーン関数作成に係る解析プログラムの手法の違いの評価及びその検討を踏まえた施設の耐震安全性評価については、保安院の評価報告に記載はないが、中国電力(株)から説明を受け検討を行い、その結果を反映した。

その結果、特別委員会は、保安院の評価報告は基本的には問題ないものと判断する。

最終報告までに中国電力㈱に検討を求めた事項

断層モデルによる地震動評価に用いたプログラムに関して、プログラムAを用いることで安全上支障がでることはないが、プログラムBを使った方が、より保守的な地震動を与えることから、プログラムBにより耐震安全性評価を実施すること。

QMSに基づき実施した不適合管理、再発防止策等に関して、

- ・ 本件を重く受け止め、真剣な取り組みを行うこと。
- ・ 不適合管理、再発防止策等の見直しを行うこと。

敷地前面海域の活断層評価に関して、旧地質調査所のデータ等も含めてF-断層～F-断層間や敷地側海域の構造の評価等について更なる検討を実施すること。

保安院に求めた事項

平成21年1月8日、原子力安全委員会に報告した評価報告に記載のない敷地前面海域の活断層評価やアスペリティの応力降下量（短周期レベル1.5倍）の評価等に伴う基準地震動の一部見直し等について、中国電力㈱から提出される最終報告書のとりまとめを行う段階で適切に反映すること。

中国電力㈱に対して、最終報告までに中国電力㈱に検討を求めた事項について適切な対応を行うよう指導すること。