

「耐震設計審査指針の改訂に伴う東京電力株式会社 福島第一原子力発電所5号機 福島第二原子力発電所4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

（ 2 1 安 委 決 第 3 4 号
平成 2 1 年 1 1 月 1 9 日
原子力安全委員会決定 ）

当委員会は、平成 2 1 年 1 1 月 1 7 日に、耐震安全性評価特別委員会で取りまとめられた標記の件について、同特別委員会から報告を受けたところ、審議の結果、これを妥当なものと認め、決定する。

「耐震設計審査指針の改訂に伴う東京電力株式会社 福島第一原子力発電所5号機 福島第二原子力発電所4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21年11月17日
耐震安全性評価特別委員会

はじめに

原子力安全委員会は、平成18年9月19日に「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を改訂し、「耐震設計審査指針」の改訂を機に実施を要望する既設の発電用原子炉施設等に関する耐震安全性の確認について」を原子力安全委員会決定した。それを受け、経済産業省原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）は、改訂された耐震設計審査指針（以下「新耐震指針」という。）に照らした既設の原子力施設の耐震安全性評価（以下「バックチェック」という。）の実施と報告を各原子力事業者に対し指示した。

保安院においては、新耐震指針に照らして、東京電力株式会社が行った「福島第一原子力発電所「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」及び「福島第二原子力発電所「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（以下「中間報告書」という。）の確認が進められ、平成21年7月21日に「耐震設計審査指針の改訂に伴う東京電力株式会社福島第一原子力発電所5号機耐震安全性に係る中間報告の評価について」及び「耐震設計審査指針の改訂に伴う東京電力株式会社福島第二原子力発電所4号機耐震安全性に係る中間報告の評価について」（以下「評価報告」という。）がとりまとめられた。

耐震安全性評価特別委員会（以下「特別委員会」という。）は、保安院が行う審議の結果を特別委員会で検討するに当たって、必要な調査、整理を実施するためワーキング・グループを設置し、保安院から検討状況の聴取を実施するとともに、東京電力株式会社から保安院に対して行った説明内容の聴取を実施し、保安院と並行して検討を進めてきた（ワーキング・グループ1にて検討）。

特別委員会は、東京電力株式会社の中間報告書及び保安院からの評価報告について、新耐震指針、特別委員会が策定した「活断層等に関する安全審査の手引き」（平成20年6月20日 原子力安全委員会了承）（以下「手引き」という。）、ワーキング・グループでの検討の範囲や内容等の検討のポイントについて記した「新耐震指針に基づく既設原子力施設の耐震安全性の評価結果に対するワーキング・グループとしての検討のポイントについて」（平成20年9月5日、一部改正平成21年4月24日、平成21年6月12日 耐震安全性評価特別委員会）（以下「検討のポイント」という。）、先に原子力安全委員会が保安院に示した今後の耐震安全性に関する検討を行う上で重要と考える事項等への対応の確認を含め、ワーキング・グループ等の検討を基に調査審議を行い、その結果を見解としてとりまとめた。

なお、東京電力株式会社の中間報告書及び保安院の評価報告は、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所それぞれについてまとめられているが、事業者が同一であること、当該敷地が近い位置に立地していること、活断層調査、基準地震動の策定等が共通して実施されていること、原子炉の炉型が同種（BWR）であるこ

と等から両者の差異について留意しつつ同時並行的に調査審議を実施していることから、それらをまとめて見解とした。

1. 検討の視点等

1. 1 検討の経過

(1) 原子力安全委員会は、新耐震指針の下部規定として、最新の知見を反映した手引きをとりまとめ、特別委員会に対し、バックチェック結果の検討を行う際に参考とすることを指示した。

(2) 特別委員会は、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所のバックチェック等の検討過程において必要な意見を保安院に述べている。

また、原子力安全委員会は、「保安院が自ら定めた「新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価及び確認に当たっての基本的な考え方並びに評価手法及び確認基準について」に沿って地質調査・活断層評価、基準地震動の策定、安全上重要な建物・構築物及び機器・配管系の機能保持等の確認を科学的合理性に基づき行うことは基本的に適切と考える。」との意見を示している。

(3) 特別委員会は、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の敷地近傍は、堆積層が比較的厚いこと等から、新潟県中越沖地震で得られた知見等を科学的に最大限に活用することが重要と考え、以下の項目等について重点的に検討を実施した。

また、柏崎刈羽原子力発電所、北陸電力株式会社志賀原子力発電所及び他のワーキング・グループの検討を踏まえた他、今後のバックチェックの検討に共通的な事項である震源を特定せず策定する地震動レベルの検証の方法について、原子力安全委員会地震動解析技術等作業会合（以下「作業会合」という。）により検討を行い、その検討結果を踏まえて検討を実施した。

- 新潟県中越沖地震で得られた知見の反映（特に地下構造特性）
- 双葉断層と相馬断層の連動性
- 強震動評価手法の検討
- 地震発生層の考え方
- 震源を特定せず策定する地震動の妥当性の検証
- 基準地震動評価における地震観測記録の反映
- 弾性設計用地震動 Sd 設定の考え方及び旧耐震指針との設計の連続性

(4) 検討の経過を別紙 1 に示す。

1. 2 検討に当たっての主な視点

原子力発電所の耐震安全性は、①適切な基準地震動の策定、②それに基づく建物・構築物基礎下の入力地震動の適切な設定、③その入力地震動等に対する構造物・機器等の適切な設計・施工等の3要件によって総合的かつ確実に確保されるものと考えられる。こうした認識を踏まえ、以下のような視点に沿って検討することとした。

<基本的考え方>

新耐震指針への適合性の確認に関して、以下の点に着目して検討を実施することとした。

○敷地・敷地周辺の地質・地質構造の調査及び活断層等の評価については、主に手引き及び検討のポイントに沿って評価されていること。

○基準地震動の評価については、主に検討のポイント、先に原子力安全委員会が保安院に示した意見等に沿って評価されていること。

○震源を特定せず策定する地震動レベルの検証の方法については、作業会合の検討結果に沿って評価されていること。

○施設の耐震安全性については、主に検討のポイントに沿って評価されていること。

○新潟県中越沖地震の知見の反映等

基準地震動の科学的妥当性を評価する際には、新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、実際の観測データ等に基づく詳細かつ具体的検討をすることが重要と考える。

特に、得られた観測データの分析結果や地震後の詳細な地盤調査結果等を最大限に活用し評価することが重要であることから、基準地震動の評価において、震源特性、地下構造特性が適切に考慮されていること等について検討を実施することとした。

2. 特別委員会の見解

2. 1 敷地・敷地周辺の地質・地質構造の調査及び活断層等の評価について

特別委員会は、敷地・敷地周辺の地質・地質構造の調査及び個々の活断層等の評価について、地形発達過程を重視した調査や既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等の各手法による調査結果の総合的な検討等、手引きのポイントを重視しつつ検討を行った。また、保安院の実施した海上音波探査記録も確認しつつ検討を行った。

特に、①双葉断層及び相馬断層の活動性、②敷地周辺海域の断層の活動性、③畑川断層・大坂―芦沢リニアメントの活動性について重点を置き検討を行った。その結果、以下のこと等から、保安院の評価は適切であることを確認した。

(1) 双葉断層及び相馬断層について

○双葉断層の南端について、馬場地点において、リニアメントの延長位置を横断するようにボーリング調査した結果 M2 段丘堆積物（約 10 万年前）の基底面に変位・変形は認められないこと、航空レーザ測量に基づく数値標高モデ

ル (DEM) による周辺の地形面を分析した結果 M2 段丘面に変動地形が確認されないこと等の各種調査の結果から、総合的に評価した結果、馬場地点とする判断に問題はないと考えられること。

- 双葉断層の北端について、中間報告の段階では、双葉断層北部（相馬断層）の調査結果のとりまとめ中であったことから、暫定的に地震調査研究推進本部が示す北端（亘理町長瀬地点）とし、馬場地点から長瀬地点までの47.5kmと評価していたが、その後、調査結果がとりまとめられ、相馬断層の後期更新世以降の活動性が否定されたことから、双葉断層の北端を島田地点（角田市）とし、馬場地点から島田地点までの全長37kmと評価を変更した。

これに関して、保安院の評価も踏まえて検討した結果、島田地点の断層露頭において、M1' 段丘堆積物（約12～10万年前）に変位・変形を与えていないこと、航空レーザ測量の結果及びリニアメント延長位置付近を横断する M1' 面に変位地形がないことから、評価の変更の考え方に問題はないと考えられること。

- 相馬断層と双葉断層とは全体としてポジティブ・フラワーストラクチャーを呈し、構造的には連続していることがほぼ明らかである。このうち相馬断層（亘理町長瀬～初野）は、中新統及び鮮新統の撓曲構造により特徴付けられ、活断層デジタルマップ（2002）による推定活断層及び空中写真判読によるリニアメントは、上記撓曲部に位置している。また、リニアメントについて、中位から高位の地形面に変位・変形が及んでいないことから、相馬断層については、後期更新世以降の活動はないとする判断に問題はないと考える。

新耐震指針においては、「耐震設計上考慮する活断層としては、後期更新世以降の活動が否定できないものとする。なお、その認定に際しては最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができる。」とされている。この観点から相馬断層は、耐震設計上考慮する活断層として取り扱う必要はないことから、耐震設計上考慮する活断層として、双葉断層と相馬断層の連動を考慮する必要性はないとする判断に問題はないと考えられること。

（2）畑川断層・大坂－芦沢リニアメントについて

- 空中写真判読により断続的に認められた畑川断層沿いのリニアメントについて、断層露頭の調査結果等から、後期更新世以降の活動はないと評価している。このリニアメントの成因については、地質境界にほぼ対応して判読され、岩質の差を反映した侵食地形と判断されることを確認し、その考え方に問題はないと考えられること。

- 大坂－芦沢リニアメントについては、地表地質調査結果から地質構造は同斜構造であり、断層構造は確認されず、リニアメントの成因は岩質の差を反映した侵食地形と判断されることを確認し、その考え方に問題はないと考えられること。

（3）敷地周辺海域の断層について

- 海域の地質層序に関しては、旧石油公団の行った基礎試錘、ドレッジ等により採取した試料との対比により検討されており、その評価に問題はないと考

えられること。

- 敷地周辺海域には、多数の正断層が認められるが、これらの大部分は断層上方延長部のB層（下部更新統）、C層（下部更新統～下部鮮新統）内で消滅し、このうち少数は海底面もしくは海底面付近に変位を与えているが、深部へ連続していない。また、深部への連続が不明瞭であっても、断層の形態が深部から表層まで正断層であり、更新統にインバージョンは認められないとする考えに問題はなく、耐震設計上考慮する活断層として取り扱う必要はないとする判断に問題はないと考えられること。
- 上記断層について、三次元的な形状、応力場等から以下の成因が推定されるとする評価に矛盾はないと考えられること。
 - ・B層、C層のみに変位が認められる多数の正断層については、C層が厚く堆積する場所に確認されていることから、その成因の一つとして、C層の圧密沈下が考えられること。
 - ・他の正断層（B、C層に変位があり、深部へも連続する少数の正断層）については、文献調査の結果、阿武隈リッジと阿武隈山塊の隆起に伴い形成された断層が、阿武隈リッジ西方に堆積盆地が形成される過程で、その上位に厚い堆積物が堆積することによってグロス断層を形成し、深部から浅部に連続した正断層を形成した可能性が考えられること。

2. 2 基準地震動の評価について

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

1) 検討用地震の選定

検討用地震の選定において、活断層の活動区間の設定は、調査結果の信頼度や精度等を考慮し、地形発達過程、地質構造、活断層の活動履歴や単位変位量分布・平均変位速度分布、過去及び現在の地震活動の特徴等を総合して行う必要がある。また、不連続部の形態、断層の三次元形状や三次元的な断層相互の位置関係及び重力異常・地震波速度構造・地殻変動等の地球物理学的データを考慮して行う必要がある。

特別委員会は、2. 1で示したこと及び以下のこと等から、保安院の評価は適切であることを確認した。

なお、保安院は、双葉断層の耐震設計上考慮する長さについて、最終的に約37kmを妥当なものとしたが、双葉断層による地震動評価について、中間報告書が提出された当初の長さ約47.5kmの暫定評価に対し評価報告をとりまとめている。特別委員会は、中間報告書の提出以降、保安院において検討され、東京電力株式会社からも説明を受けていることを含めて検討を実施した。

(プレート間地震)

- 1938年塩屋崎沖地震群の各イベント発震日時は異なっており、実際には各地震が個別のイベントとして活動しているものの、基準地震動Ssの策定に当たっては、安全評価上、プレート間地震である塩屋崎沖の地震①～③が同時活動した場合（仮想塩屋崎沖の地震）が考慮されており、その評価は妥当と考えられること。

- プレート間地震と正断層型の海洋プレート内地震が同時に活動するという知見は得られていないことから、正断層型と考えられる塩屋崎沖の地震④は同時活動の対象としていない判断に問題はないと考えられること。
- 仮に塩屋崎沖の地震①～④が同時活動した場合の影響を、応答スペクトルに基づく評価を行った結果、策定した基準地震動 S_s には影響を及ぼさないことを確認した。

(海洋プレート内地震)

- 地震調査研究推進本部（2006）の「震源断層を予め特定しにくい地震」において、敷地が位置する領域における海洋プレート内地震の最大規模を2003年宮城県沖の地震のM7.1としていること及び海洋プレート内地震の観測記録が少ないことから、検討用地震は震源位置の不確かさを考慮して、2003年宮城県沖の地震と同様の地震が敷地下方に発生することを想定（想定敷地下方の地震）しており、その評価は妥当である。
- 震源は、浅野ほか（2004）による2003年宮城県沖の地震の震源モデルを地震調査研究推進本部（2002）によるプレート境界面の推定等深度線に基づき、敷地下方の海洋プレート内に想定しており、その評価は妥当である。

(内陸地殻内地震)

- 双葉断層による地震について、中間報告の段階では、断層長さ47.5kmとした暫定評価に基づき基本震源モデルを設定していることを確認した。
- 双葉断層による地震について、断層長47.5kmの基本震源モデルに対して断層傾斜角、アスペリティ位置、破壊開始点及び応力降下量の不確かさを考慮して地震動が評価されており、その評価は妥当である。
- 双葉断層の断層長さを47.5kmから37kmに見直したことによる基準地震動に及ぼす影響については、断層長さ37kmの基本震源モデルを対象とした地震動評価を行い、その結果と47.5kmの評価結果とを比較して、その影響が小さいことを確認した。
- 地震発生層については、微小地震分布や速度構造データ等に基づき上限深さを6km、下限深さを18kmと設定している。ただし、双葉断層の位置する敷地の北側で微小地震の分布が相対的に浅くなる傾向がみられることを踏まえ、双葉断層による地震動評価に当たっては、不確かさを考慮して、上限深さを3kmとして評価されており、その評価は妥当である。

2) 応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルによる基準地震動の評価においては、検討用地震の地震発生様式や断層破壊過程等を考慮するとともに、敷地における地震観測記録、2003年宮城県沖の地震及び新潟県中越沖地震による知見を最大限に活用する必要がある。特別委員会は、以下のこと等から、保安院の評価は適切であることを確認した。

- 内陸地殻内地震の応答スペクトルに基づく地震動評価においては、敷地周辺で発生した内陸地殻内地震の観測記録が得られていないことから、耐専スペクトルの内陸地殻内地震の補正による低減は考慮しないとする考え方は妥当

である。

- プレート間地震の応答スペクトルに基づく地震動評価においては、敷地の地下構造による影響を考慮するため、プレート間で発生した地震の敷地における観測データに基づく補正係数を考慮している考え方は妥当である。
- 海洋プレート内地震の応答スペクトルに基づく地震動評価においては、震源直上のKiK-net観測点における2003年宮城県沖の地震の観測記録に基づく補正係数を考慮している考え方は妥当である。

3) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

新耐震指針では、その解説において、「震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法を重視すべきである。」とされている。また、震源の破壊過程や地震波伝播特性（敷地における増幅特性を含む）が強震動生成に大きな影響を与えたとする新潟県中越沖地震の知見が報告されている。従って、これらの知見を反映し、敷地固有の地震動特性（周波数特性、継続時間、位相特性）を評価できる断層モデルにより地震動評価が行われていることが重要である。

特別委員会は、以下のこと等から、保安院の評価は適切であることを確認した。

- 塩屋崎沖の地震及び想定敷地下方の地震の評価に用いた要素地震は、想定した震源断層との位置関係、震源メカニズム、地震規模を考慮した上で適切な地震を選定していること。
- 要素地震の震源パラメータ（地震モーメント、コーナー振動数等）は、観測記録に基づき適切に評価していること。

(2) 震源を特定せず策定する地震動について

新耐震指針では、「「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮して基準地震動 S_s を策定することとする。」とされている。

検討のポイントでは、上記のように設定された震源を特定せず策定する地震動の検証方法として、①敷地近傍の耐震設計上考慮する活断層を基に、地域の特徴を踏まえた合理的な震源断層を設定し、震源近傍域の破壊伝播効果（NFRD効果）を考慮した地震動レベルから妥当性を検証する方法、②詳細な地形・地質調査結果から、敷地・敷地近傍に耐震設計上考慮する活断層が認定されていない場合でも、敷地直下に地域性を考慮した適切な規模の震源断層を想定し、NFRD効果を考慮した地震動レベルから妥当性を検証する方法を示している。

柏崎刈羽原子力発電所及び志賀原子力発電所の妥当性の検証の際には、上記①に沿って検証を実施した。

特別委員会は、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所に関して、敷地近傍に耐震設計上考慮する活断層が認定されていないため、②で検証を行うこととし、その具体的検証方法について作業会合で検討を行い、その結果を踏まえて検討した。

当特別委員会は、以下のこと等から、保安院の評価は結果として適切であることを確認した。

- 震源断層モデルの設定として、以下の事項等が適切に評価されていること。
 - ・断層タイプが、当該地域における応力場等を考慮して想定されていること。
 - ・断層の傾斜角が地質調査結果等及び地域性を踏まえて設定されていること。
 - ・地震規模が、地震調査研究推進本部による震源断層を予め特定しにくい地震の領域ごとの最大規模を参考に適切に設定されていること。
 - ・アスペリティ位置、震源断層モデルのパラメータ等が適切に設定されていること。
- 地震動レベルの検証として、作業会合での検討を踏まえ、統計処理が可能な震源近傍の複数点における面的な地震動評価を行い、震源での破壊過程の影響を受ける震源近傍域での平均的な地震動レベルを把握していること。
- 震源近傍における平均的な地震動レベルは、震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動 S_s-3 を下回っていること。

なお、上記検討は、現時点の検討を踏まえたものであり、今後の検討や最新の知見、新たな観測記録等が得られた場合には、必要に応じて見直すことも必要と考える。

(3) その他

①地震発生層について

海洋研究開発機構による速度構造モデルの詳細について確認していること、また、地殻熱構造に関する検討を行った結果、微小地震分布及び速度構造データに基づき設定した地震発生層の上限深さ(6km)や下限深さ(18km)の値は、地殻熱流量、キュリー点深度に関する知見あるいはコンラッド面に関する知見と概ね対応しており、これらの情報を総合的に勘案し設定されていることは、検討のポイントにも沿っており、考え方に問題はないと考える。

ただし、双葉断層の位置する敷地の北側で微小地震の分布が相対的に浅くなる傾向がみられることを踏まえ、双葉断層による地震動評価に当たっては、不確かさを考慮して、上限深さを3kmとして評価されており、これらの評価は妥当と考える。

②地下構造特性

地下構造が地震動の増幅特性に及ぼす影響は、新潟県中越沖地震の知見を踏まえると重要な検討要素である。これに関して、同一の地震に対する敷地地盤及び周辺の富岡地点における地震観測記録を用いて応答スペクトル比を算定し、震央の方位毎に平均値を評価し比較検討を行った結果、地震波の到来方向(震央の方位)による地震動特性の差はみられず、地下構造が地震動特性に及ぼす影響は小さいとしていることは妥当と考える。

また、福島第一地点の一部周期帯で西側から到来する地震動のレベルが若干大きめとなる理由について分析を行い、福島第一地点と富岡地点の地下構造モデルの差異、あるいは方位のばらつきに起因している可能性があるとの説明を

受けた。これについては、西側から到来する地震動に関しては、西側に検討用地震が存在しないため、基準地震動 S_s の策定に影響を与えないとする評価に問題は無いと考える。

2. 3 施設の耐震安全性について

施設の耐震安全性については、検討のポイントに沿って、それぞれ妥当性を判断するに足りる情報が示されていることに留意しつつ、また、2003年の宮城県沖の地震や2008年の岩手・宮城内陸地震等の当該サイトで得られた地震観測記録が、入力地震動や建物・構築物の解析手法、解析モデル、評価手法等の検証に適切に反映されていることが重要と考えた。

これらを踏まえ、建物・構築物に関して、工事計画認可時及び地震観測記録を用いたシミュレーション解析時における解析手法、解析モデル、評価手法等が、今回のバックチェックに適切に反映されていること等に重点を置き検討を行った。

また、耐震安全性評価については、旧耐震指針に従い設計された既設発電用原子炉施設等の耐震安全性が、新耐震指針の下でも確保されているか否かを確認することが重要と考えている。このことから、基準地震動 S_s に対する耐震安全性評価を着実に審議するとともに、弾性設計用地震動 S_d の設定の考え方や、弾性設計用地震動 S_d による評価、旧耐震指針による基準地震動 S_1 、 S_2 による地震力及び静的地震力と新耐震指針に基づく地震力の比較等を含め検討を行った。

(1) 入力地震動について

入力地震動に関して、原子力安全委員会は、平成20年5月16日の原子力安全委員会決定において、「新潟県中越沖地震の柏崎刈羽原子力発電所への影響の検討や大間原子力発電所に対する安全審査において、基準地震動とともに入力地震動の策定の重要性が認識されていることを考慮し、地震観測データ等を用いて、入力地震動算出の妥当性を十分に検討することが重要と考える。」との見解を示した。

特別委員会は、以上のこと等に重点を置き検討を行った結果、以下のことから、保安院の評価は適切であることを確認した。

①解放基盤表面の設定

○福島第一原子力発電所5号機では、敷地の地質調査結果等から新第三紀の泥岩等からなる富岡層が敷地の全域にわたりほぼ同じ層厚で分布し、その下位には古第三紀から新第三紀の先富岡層が分布するとしており、既往のボーリング調査及び弾性波探査の結果からS波速度が0.7km/s以上となる標高-196mに解放基盤表面を設定している。また、福島第二原子力発電所4号機では、敷地の地質調査結果等から新第三紀の泥岩等からなる富岡層が敷地の全域にわたりほぼ同じ層厚で分布し、その下位には新第三紀の多賀層群が分布するとしており、既往のボーリング調査及び弾性波探査の結果からS波速度が0.7km/s以上となる標高-168mに解放基盤表面を設定していることから、新耐震指針等に沿って適切に設定されていることを確認した。

②地盤モデル及び物性値の設定

- 原子炉建屋付近の地盤の調査結果に基づいて、地盤モデル及び地盤物性（地質・地層区分、層厚、ポアソン比、弾性係数、減衰定数等地盤定数）が適切に設定されていることを確認した。
- G/G_0 - γ 曲線、 h - γ 曲線を用いた水平方向の減衰定数（3%）の算出方法について算定のフロー、根拠を確認した。
- 地震応答解析に用いる地盤ばね定数と減衰定数の値及びその対応関係について確認した。
- 地盤の減衰特性について、当該地盤はボーリング・コアの試験結果から、せん断ひずみの増加に伴いせん断剛性が低下するが減衰は増加すること、また、基準地震動 S_s と基礎底面における入力地震動との加速度応答スペクトルの比較から地盤は増幅特性を示さないことを確認した。

③入力地震動の算定

- 水平方向の入力地震動について、解放基盤表面から地表面までの速度構造を成層と仮定した地盤モデルを用いた一次元波動論による地震応答解析を行い、原子炉建屋基礎底面位置及び側面ばね位置での地震動を求め、これを入力地震動としているが、成層化の影響は少ないことを確認した。
また、建屋基礎底面位置におけるせん断力（切欠き力）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮していることを確認した。
- 水平方向の地盤モデルについては、せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した等価線形解析により、基準地震動 S_s-1 、 S_s-2 及び S_s-3 のそれぞれについて個別に設定していることを確認した。
- 鉛直方向の地盤モデルについては、基準地震動 S_s-1 、 S_s-2 及び S_s-3 に対する水平方向の地盤モデルの等価S波速度とポアソン比からP波速度を求め、これを基本に設定していることを確認した。
- 鉛直方向のシミュレーション解析結果は、観測記録に比べ大きめの評価となっている。これについて、2003年の宮城県沖の地震を含む水平方向の最大加速度振幅の大きい11波の地震観測記録を用いたシミュレーション解析を実施した結果、観測記録が鉛直下方入射でなく散乱の影響を受けていることや表面波の影響等が考えられるとしている。しかし、明確な理由については、今後の中長期的な課題としたいとの説明があった。
- 入力地震動評価の妥当性について、敷地内で観測した2003年の宮城県沖の地震による観測記録（福島第一原子力発電所では、5号機原子炉建屋の炉心位置から約170m離れた地点の地中観測記録、福島第二原子力発電所では、4号機原子炉建屋の炉心位置から約550m離れた地点の地中観測記録）を用いた一次元波動論によるシミュレーション解析を実施し、入力地震動評価法の検証を行った結果、最大加速度値について、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所ともに、水平方向の解析結果は観測記録と比較して、概ね良い対応をしていることを確認した。

(2) 建物・構築物について

福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機の原子炉建屋について、地震応答解析モデルの妥当性を検討するため、2008年の岩手・宮城内陸地震により得られた観測記録でのシミュレーション解析結果と観測記録を比較すること等により確認を実施している。

特別委員会は、以上のこと等に重点を置き検討を行った結果、以下のこと等から、保安院の評価は適切であることを確認した。

- 福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機の原子炉建屋について、地震応答解析モデルの妥当性を検討するため、工事計画認可時に用いたモデル及び今回のバックチェックに用いたモデルに関し、解析条件の違い及び床柔性の影響を踏まえて、2008年の岩手・宮城内陸地震により得られた観測記録でのシミュレーション解析結果と観測記録を比較すること等により確認を実施している。

その結果、地震応答解析モデルは、建屋の耐震性評価を実施する上で問題はないと考えられる。また、柏崎刈羽原子力発電所4号機中間階位置で見られた特異な応答特性（クレーンガーダ直交方向にシェル壁とボックス壁（内壁、外壁）が異なる応答性状を示し、シェル壁の応答値が相対的に大きくなる傾向が顕著なこと）が、床柔モデルによる解析において現れていないことを確認した。

しかし、周波数領域によっては、シミュレーション解析結果と比較して観測記録が上回っている領域もあることから、設備機器を評価する上での床応答スペクトルを考える上では慎重に扱う必要がある。

なお、建屋解析モデルについて、バックチェックに用いたモデルの設計時からの変更点は、建屋と側面地盤との相互作用を考慮した側面ばね（福島第一5号機：水平成分及び回転成分、福島第二4号機：回転成分）を付加していること、耐震壁及び底面回転ばねに非線形性を考慮したこと及び建屋解析に係る物性の設定においてRC造部の剛性評価をコンクリートの設計基準強度から実強度として設定した値に変更したことを確認した。

- 福島第二原子力発電所4号機において、工事計画認可時は、格子型モデル、バックチェックでは、最新の知見を積極的に取り込む目的で埋込SRモデルに変更して評価している。

これに関して、モデルの変更による振動特性の相違を確認するため、固有値解析結果を比較して確認をしていること及びバックチェックのモデルに基準地震動 S_2 を入力する地震応答解析を実施し、今回の耐震安全性評価結果との比較を行うとともに、工事計画認可時の応答結果との比較を行い、モデルの違いによる影響を確認し、応答の差違が小さいことを確認した。

- モデル諸元が建屋応答に与える影響について、建屋コンクリート強度、側面回転バネ、及び建屋減衰に着目して影響検討を行った結果、オペレーションフロア階上階で若干ばらつきはあるが、建屋モデルの違いによる影響は小さいことを確認した。

- 福島第一原子力発電所5号機では原子炉建屋の周辺にタービン建屋及

び廃棄物処理建屋が隣接しているが、原子炉建屋の基礎版側面は地盤と全面で密着していることから、基礎版側面のみ地盤ばねの評価にNOVAKの方法を適用していること、また、福島第二原子力発電所4号機の原子炉建屋はタービン建屋及びコントロール建屋（一部）が隣接しており、原子炉建屋の地下部側面は地盤とほぼ3面（接地している側面の面積比率は70.4%）で密着しているが、既往の研究において、埋め込み深さが浅く、ほぼ3面が側面地盤に接地していれば、伝達特性及び減衰特性の観点から全4面が埋め込まれている場合とほぼ同等とみなせるとの知見が得られていることを踏まえ、埋込み部分全体にNOVAKの方法による側面ばねを考慮していることを確認した。

- 原子炉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、福島第一原子力発電所5号機では 0.19×10^{-3} 、福島第二原子力発電所4号機では 0.14×10^{-3} であり、評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を満足していることを確認した。また、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の接地率は、基準地震動 S_s に対して、判定値（接地率65%以上）を満足していることを確認した。
- 原子炉建屋に関して、基準地震動 S_s による評価結果と設計時の評価結果を比較すると、福島第一原子力発電所5号機においては基準地震動 S_s による最大応答せん断力は設計時の静的地震力又は動的地震力による値の1.2~1.3倍、また、福島第二原子力発電所4号機においては、設計用地震力の約0.9倍であり、原子炉建屋の荷重-変形曲線（せん断ひずみ-せん断応力度）の関係では、いずれも弾性範囲内であることを確認した。

（3）機器・配管系について

機器・配管系の評価結果の妥当性を確認するため、評価部位の選定方法、評価に用いる解析手法及び解析モデルの考え方、評価基準値の考え方等について確認を実施している。

特別委員会は、以上のこと等に重点を置き検討を行った結果、以下のこと等から、保安院の評価は適切であることを確認した。

- 機器・配管系については、「止める」「冷やす」「閉じ込める」に係る安全上重要な設備（①炉心支持構造物、②制御棒（挿入性）、③残留熱除去系ポンプ、④残留熱除去系配管、⑤原子炉压力容器、⑥主蒸気系配管、⑦原子炉格納容器）を評価対象とし、既往評価結果を参考に耐震裕度が小さい部位について評価を実施していることを確認した。
なお、代表機種以外の耐震安全上重要な機種についての評価は、最終報告で実施するとしている。
- 選定した機器・配管系について、基準地震動 S_s に対する安全機能の保持を確認するため、基準地震動 S_s による地震力と地震以外の荷重を組み合わせ、構造強度評価を実施していること。
- 機器・配管系の解析において使用した減衰定数等に関して、水平方向の

減衰定数については、JEAG4601-1991追補版に規定された値としており、既往評価において実績のある値であること、また、鉛直方向の減衰定数については、基本的に水平方向と同一の値とするが、鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は1%としていることから、適切な減衰定数等を用いていることを確認した。

○構造強度評価の評価基準値については、JEAG4601及び日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設規格（JSME S NC1-2005）」に準拠した値としていること。また、制御棒挿入性の評価基準値については、試験により地震時の制御棒挿入性が確認されている燃料集合体の相対変位を用いたとしていることから、採用している評価基準値は適切であることを確認した。

○構造強度評価結果について、各機器の基準地震動 S_s による発生値が評価基準値以下であること及び制御棒挿入性について、基準地震動 S_s 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。

（４）評価手法及び結果の信頼性

建物・構築物、機器・配管系の解析は、解析モデルのモデル化、使用する物性値及び得られた解析結果について、評価手法及び結果の信頼性が確保されることが重要である。特にこれらの具体的作業は、外注されている場合が多いため、その信頼度を確認することが重要と考える。

東京電力株式会社の説明によると、評価手法及び結果の信頼性に関しては、事業者が定める品質マネジメントシステム（Quality Management System、以下「QMS」という。）体系の下、解析実施者に対して解析業務の品質管理の観点から、作業手順の整備、入力根拠書の作成、適正な計算機プログラムの使用、入出力データの確認等の実施を求めるとともに、その実施状況について、解析実施者へ出向き入力根拠書、計算機プログラム検証記録等の品質管理記録を確認することにより、解析の信頼性を確認している。また、解析実施者への監査等により、QMSが適正に構築され機能していることを確認している。さらに柏崎刈羽原子力発電所7号機不適合の水平展開においても適切な対応がなされていること等から、適切なQMS体系の下、評価手法、結果の信頼性確保がなされていると考える。

（５）弾性設計用地震動 S_d の設定の考え方等について

○基準地震動 S_s による安全機能保持をより確実なものとする観点から弾性設計用地震動 S_d を設定し、その地震力に対して建物・構築物が弾性範囲に留まることを確認する。基準地震動 S_s との比率（ S_d/S_s ）を0.5とし、旧耐震指針との連続性を考慮して、旧耐震指針における基準地震動 S_1 （最大加速度振幅 180cm/s^2 ）の応答スペクトルを下回らないよう配慮し設定したとしており、その考え方等は妥当であると考えられる。

○原子炉建屋について、上記の考え方に基づいた弾性設計用地震動 S_d による応答レベル、原子炉設置許可時の既往波、設計時の基準地震動等の下における応答レベルと基準地震動 S_s の下における応答レベルを比較し、その許

容限界状態との対応関係を把握した。

なお、機器・配管系については、弾性設計用地震動 S_d と設計時の基準地震動等に対する主要かつ代表的な設備の応答値について、今後報告するとしている。

(6) その他

- 福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機の経年劣化事象については、定期検査時に計画的に検査を実施していることその他、原子炉等規制法で定められている原子炉施設の定期的な評価等で状況を確認すること、必要な補修を行っていることを確認した。その結果、経年劣化の影響を考慮しなければならないような応力腐食割れ(SCC)による欠陥、顕著な配管減肉が発生していないことを確認した。
- 福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機の耐震安全性評価における中間報告対象設備に関しては、耐震強化工事を実施していないことを確認した。
- 観測記録を踏まえた建屋及び機器の解析モデル化の精度向上を今後長期的に検討することが望ましい。

3. まとめ

特別委員会は、東京電力株式会社福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機に係る敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動及び耐震安全性の評価に関して、①東京電力株式会社から保安院に対して行った説明内容の聴取、②保安院における検討状況の聴取を適宜実施するとともに、作業会合での検討結果を踏まえて検討を進めてきた。

その上で、保安院から東京電力株式会社福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機の耐震安全性に係る中間報告の評価に係る評価報告を受けた。

その結果、特別委員会は、保安院の評価報告は新耐震指針に基づき、東京電力株式会社福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機に係る敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動及び耐震安全性に関して適切に評価していると判断する。

なお、震源を特定せず策定する地震動の地震動レベルの検証は、現時点の検討を踏まえたものであり、今後の検討や最新の知見、新たな観測記録等が得られた場合には、必要に応じて見直すことも必要と考える。

保安院は、評価報告において、今後の検討課題（本報告に反映すべき事項）として、「(1) 主要8施設以外の安全上重要な施設に係る耐震安全性評価の妥当性(2) 主要8施設の中間報告における評価対象部位以外の部位の評価結果の確認(中間報告においては、既往評価結果を参考に耐震裕度が小さい部位として選定された評価対象部位について評価結果を確認したが、安全性への説明性をより一層向上させるとの観点から、中間報告における評価対象部位以外の評価部位についても、本報告において、必要に応じて評価結果を確認することとする。)」としている。

特別委員会は、上記検討を実施するに当たり、施設の安全を確保するためには、裕度が小さい部位だけでなく、大きな応力や変位が生じる部位も注意する必要があることから、建物・構築物及び機器・配管系の評価の際には、代表部位の選定の考え方（適切性）についても考慮して検討することを求める。

また、経年劣化事象の検討に関して、事業者は維持基準に従い経年劣化事象の管理をしているが、現時点の維持基準は、新耐震指針を反映したものでないことから、経年劣化事象を検討する際には、新耐震指針を踏まえて考察を加えることを求める。

さらに、観測記録を踏まえた建屋及び機器の解析モデル化の精度向上を今後長期的に検討することを望む。

今回、東京電力株式会社が実施した福島第一原子力発電所5号機及び福島第二原子力発電所4号機の敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動及び耐震安全性の評価は、新耐震指針に基づき、現時点における最新の知見に照らして十分検討が行われていると考えるが、原子力施設の安全確保の第一義的責任を有する設置許可を受けた事業者は、常に新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映する必要があり、こうした取組を継続していくことが肝要である。

検討の経過

委員会名	開催日	主な検討事項
第1回ヒアリング	平成20年4月10日	概要説明
第5回*	平成21年3月26日	概要説明、保安院の審議状況 敷地周辺の地質・地質構造（陸域）
第6回*	平成21年4月6日	敷地周辺の地質・地質構造（海域）
第7回*	平成21年4月17日	基準地震動 Ss の策定
第8回*	平成21年4月24日	活断層調査・認定について（質疑回答等） 施設の耐震安全性概要説明
第9回*	平成21年5月22日	施設の耐震安全性
第10回*	平成21年5月29日	基準地震動 Ss の策定（質疑回答） 施設の耐震安全性（質疑回答等）
第20回 特別委員会	平成21年6月12日	WG1 での検討状況の報告
第11回*	平成21年6月19日	活断層調査・認定について（質疑回答等）
第12回*	平成21年7月10日	施設の耐震安全性（質疑回答等）
第13回*	平成21年7月24日	基準地震動 Ss の策定（質疑回答）
第14回*	平成21年8月7日	保安院の評価結果（地質・地質構造、基準地震動 Ss の策定）
第15回*	平成21年8月21日	保安院の評価結果（施設の耐震安全性）
作業会合	平成21年8月24日	震源を特定せず策定する地震動
作業会合	平成21年9月18日	震源を特定せず策定する地震動
第17回*	平成21年10月2日	検討の整理、質疑回答等 （地質・地質構造、基準地震動 Ss の策定）
第18回*	平成21年10月9日	検討の整理、質疑回答等 （施設の耐震安全性）
作業会合	平成21年10月16日	震源を特定せず策定する地震動
第31回施設健全性 評価委員会	平成21年10月27日	WG1 での検討状況の報告
第22回 特別委員会	平成21年10月28日	WG1 での検討状況の報告
第19回*	平成21年11月5日	震源を特定せず策定する地震動 WG1 のまとめ
作業会合	平成21年11月10日	震源を特定せず策定する地震動
作業会合	平成21年11月13日	震源を特定せず策定する地震動
第23回 特別委員会	平成21年11月17日	とりまとめ

*WG1 の開催

耐震安全性評価特別委員会専門委員

(平成 21 年 11 月 17 日現在)

- 秋山 宏 国立大学法人東京大学名誉教授
- 池田 安隆 国立大学法人東京大学大学院理学系研究科准教授
- * 石田 瑞穂 独立行政法人海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域特任上席研究員
- △ 伊藤 智博 公立大学法人大阪府立大学大学院工学研究科教授
- ◎ 入倉孝次郎 愛知工業大学客員教授
- * 大谷 圭一 独立行政法人防災科学技術研究所客員研究員
- * 岡本 孝司 国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
- 奥村 晃史 国立大学法人広島大学大学院文学研究科教授
- * 鹿島 光一 財団法人電力中央研究所軽水炉高経年化研究総括プロジェクトリーダー
- * 加瀬 祐子 独立行政法人産業技術総合研究所活断層・地震研究センター研究員
- ☆ 釜江 克宏 国立大学法人京都大学原子炉実験所附属安全原子力システム研究センター教授
- 川瀬 博 国立大学法人京都大学防災研究所教授
- * 京谷 孝史 国立大学法人東北大学大学院工学研究科土木工学専攻教授
- * 隈元 崇 国立大学法人岡山大学大学院自然科学研究科准教授
- 桑原 文夫 日本工業大学工学部建築学科教授
- * 越村 俊一 国立大学法人東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター准教授
- * 古関 潤一 国立大学法人東京大学生産技術研究所教授
- 小長井一男 国立大学法人東京大学生産技術研究所教授
- 笹谷 努 国立大学法人北海道大学大学院工学研究科教授
- 白鳥 正樹 国立大学法人横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター教授
- 住田 裕子 ふじ合同法律事務所弁護士
- * 高倉 吉久 東北放射線科学センター理事
- 高橋 滋 国立大学法人一橋大学大学院法学研究科教授
- 谷 和夫 国立大学法人横浜国立大学大学院工学研究院教授
- 塚田 隆 独立行政法人日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門研究主席
- 佃 栄吉 独立行政法人産業技術総合研究所研究コーディネータ
- * 徳山 英一 国立大学法人東京大学海洋研究所教授
- 中西 友子 国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科教授
- 中埜 良昭 国立大学法人東京大学生産技術研究所教授
- * 中村友紀子 国立大学法人新潟大学工学部建設学科講師
- 西村 昭 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門副研究部門長
- 東原 紘道 独立行政法人防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター長
- 松岡 裕美 国立大学法人高知大学理学部准教授
- 宮下由香里 独立行政法人産業技術総合研究所活断層・地震研究センター主任研究員
- * 持尾 隆士 近畿大学生物理工学部教授
- 山岡 耕春 国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科教授
- △ 山崎 晴雄 公立大学法人首都大学東京大学院都市環境科学研究科教授
- 米山 望 国立大学法人京都大学防災研究所准教授

◎…委員長、○…副委員長 ☆…WG1 主査、△…WG1 副主査、*…WG1 構成員

ワーキング・グループ 1 (WG 1) の検討においては、WG 1 構成員以外の耐震安全性評価特別委員会の専門委員も加わって検討がされた。