

「耐震設計審査指針の改訂に伴う関西電力株式会社 美浜発電所1号機、高浜発電所3、4号機、大飯発電所3、4号機 耐震安全性に係る報告の評価について」ワーキング・グループ2のまとめ（案）

平成22年10月8日
耐震安全性評価特別委員会
ワーキング・グループ2

はじめに

ワーキング・グループ（以下「WG」という。）2は、関西電力㈱が原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）に対して平成20年3月31日に報告（平成21年3月31日追補）を行った「美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所「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。）について、保安院が行っている評価に関して、原子力安全委員会耐震安全性評価特別委員会（以下「特別委員会」という。）で検討するに当たって必要な調査、整理作業を実施している。また、中間報告書（平成20年3月31日）の提出以降、保安院において検討（新潟県中越沖地震で得られた新知見等を踏まえた検討、断層長さ及び不確かさの考慮の追加検討等）され、基準地震動を見直した事項に関しても、保安院及び関西電力㈱等から説明を受け検討を実施している。

調査、整理作業は、平成18年9月19日に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「新耐震指針」という。）、平成20年6月20日に策定された「活断層等に関する安全審査の手引き」（以下「手引き」という。）、WGでの検討の範囲や内容等について記した「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、同年6月12日、同年11月17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。）及びこれまで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実施している。

また、調査・検討に当たっては、既に特別委員会が見解を示している、東京電力㈱柏崎刈羽原子力発電所等の検討内容及び他のWGの検討状況を踏まえた他、震源が敷地に近い場合の応答スペクトル手法の適用性、震源を特定せず策定する地震動の評価について、専門家との意見交換会や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。）の検討の成果等を踏まえた。

活断層の評価・認定及び基準地震動の策定に関する検討に関して、当該施設の近傍には、日本原子力発電㈱敦賀発電所及び独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）高速増殖原型炉もんじゅが立地されていることから、関西電力㈱は活断層調査、評価及び基準地震動評価に関して、日本原子力発電㈱及び原子力機構と協調して実施している。このことから、共通事項については、

日本原子力発電(株)及び原子力機構の調査、整理作業と併せて、現地調査も実施しつつ合同で検討した。

施設の耐震安全性に関する検討に関して、関西電力(株)は保安院へ美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所について各発電所の全ての号機（全11機）について中間報告書の提出をしている。保安院はそれらの代表機として美浜発電所1号機、高浜発電所3、4号機、大飯発電所3、4号機について評価している。

WG2は、加圧水型軽水炉（PWR）の検討として四国電力(株)伊方発電所及び九州電力(株)玄海原子力発電所、川内原子力発電所について、原子力安全委員会が見解を示していることからこれを参考に検討することとし、建物・構築物及び機器・配管系ともに代表機（美浜発電所1号機、高浜発電所3、4号機）を選定して検討を行っている。なお、大飯発電所3、4号機を含む代表機以外の号機についても関西電力(株)から評価結果の説明を受けた。

本報告は、これまでWG2等で実施した調査、整理作業についてとりまとめたものである。

1. 特別委員会等及びWG2の検討の経過及び視点等

(1) WG2は、中間報告書に関して関西電力(株)が保安院に対して行った説明内容を聴取し、調査、整理作業を進めており、原子力安全委員会及び特別委員会において示されている以下の事項に留意して検討を行った。

○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」（以下「バックチェックルール」という。）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。

○特別委員会は、東京電力(株)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。

(2) 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。こうした認識から、以下の考え方に沿って検討することとした。

○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」及び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。

○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、観測データ等に基づく詳細かつ具体的検討をすること。特に、得られた観測データの分析結果や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り、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。

- (3) WG 2 は、美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所敷地の近傍には、活断層が近接して多数分布しており、これらを適切に評価し、基準地震動を策定することが重要と考えた。

施設の耐震安全性については、既に原子力安全委員会が見解を示している加圧水型軽水炉（PWR）の検討を基にした。

以上のこと等から、検討にあたり、以下の項目について重点的に検討を行った。

- 活断層評価（活動性、三次元的構造等）
- 海上音波探査記録等の原資料の確認
- 活断層の同時活動性
- 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
- 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
- 機器・配管系の構造強度評価及び制御棒挿入性評価

2. WG 2 の検討状況

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

WG 2 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、既存文献の調査、地形発達過程を重視した変動地形学的調査、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、また、関西電力㈱、日本原子力発電㈱、原子力機構及び保安院の実施した海上音波探査結果を確認しつつ、調査、整理作業を行った。

特に、美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所敷地の近傍には、活断層が近接して多く分布していることから、それらの個々の活断層の活動性、三次元構造等及び同時活動性について慎重に検討を行い、調査、整理作業を行った。

調査、整理作業の結果は以下のとおりである。

(1) 敷地周辺の地質・地質構造等について

- 敷地周辺の地質・地質構造については、既存文献の調査、地形発達過程を重視した変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等について、「手引き」や「検討のポイント」に沿って詳細に検討・評価されていることを確認した。

(2) 敷地の地質・地質構造について

- 美浜発電所については、敷地内の破砕帯の変形組織の観察、はざとり調査、ピット調査及び敷地近傍には変動地形・リニアメントは判読されないこと等から敷地に活断層がないとする判断に問題はない。

なお、敷地南方における海上音波探査結果について、原資料を確認することとした。

- 高浜発電所については、敷地内の破砕帯の変形組織の観察、地質境界のコア観察及び分布形状等の検討結果及び敷地近傍にはT2リニアメント以外に変動地形・リニアメントは判読されないこと等から敷地に活断層がないとする判断に問題はない。
- 大飯発電所については、敷地内の破砕帯の変形組織の観察、破砕帯の上載層の年代に関する検討及び敷地近傍には変動地形・リニアメントは判読されないこと等から敷地に活断層がないとする判断に問題はない。

(3) 和布めら—干飯崎かれいざき沖断層、甲楽城かぶらぎ断層、山中断層やまなか及び柳ヶ瀬断層やながせについて

- 和布—干飯崎沖断層、甲楽城断層、山中断層及び柳ヶ瀬断層の調査・認定については、適切に実施されていることを確認した。

- 柳ヶ瀬断層北端から甲楽城断層の間の不連続部（山中断層、日野川断層）の考え方に関して、空中写真判読結果及び鞍部における剥ぎ取り調査、露頭観察等の地質学的観点から検討した結果、日野川断層には後期更新世以降の活動はないこと及び文献が指摘する山中断層は存在しないとする判断に問題はない。また、山中断層の地形の成因については、左横ずれのように見えるが、詳細な調査によると右屈曲した尾根・河谷もあり、当該リニアメントは、小規模な破砕に起因する岩質の差による差別浸食によって生じた組織地形とする判断に問題はない。

なお、日野川断層の露頭、山中断層の剥ぎ取り調査については、現地調査で確認をした。

- 和布—干飯崎沖断層から甲楽城断層付近の完新世段丘に関する情報については、当該活断層による隆起速度、変形様式が将来的な予測として大局的には変わらないとするデータが得られている。
- 断層傾斜角について、地質調査結果等から和布—干飯崎沖断層を東傾斜45度の逆断層、甲楽城断層を鉛直の左横ずれと設定する判断に問題はない。

(4) ウツロギ峠いけのこうち北方—池河内断層及び浦底うらぞこ—内池見断層うちいけみについて

- ウツロギ峠北方—池河内断層及び浦底—内池見断層の調査・認定については、適切に実施されていることを確認した。

- ウツロギ峠北方—池河内断層の断層傾斜角について、調査結果から陸域の断層については、断層傾斜角はほぼ鉛直と評価している。また、海域の断層については、陸域に近い範囲では断層傾斜は高角度と考えられるが、断層の走向や断層西側の地層を隆起させている状況も踏まえ西側傾斜（70度以上）の断層と評価している。さらに、地震動評価においては、断層全体を鉛直の横

ずれ断層と設定する判断に問題はない。

- 浦底一内池見断層の断層傾斜角について、調査結果から、特に北部では左横ずれ卓越の断層であり、断層傾斜角は高角度と考えられるが、断層東側の地層を隆起させている状況も踏まえ東側傾斜（70度以上）の断層と評価している。また、地震動評価においては、断層全体を鉛直の横ずれ断層と設定する判断に問題はない。

(5) 敦賀断層について

- 敦賀断層の調査の結果、北端の止めの位置が地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という。）と異なっているが、地質調査等に基づいて判断しており、^{つるが}
^{かしまがり} 撓曲地点とする判断に問題はない。

(6) 白木一丹生断層について

- 白木一丹生断層の調査・認定については、適切に実施されていることを確認した。
- トレンチ調査、ボーリング調査、海上音波探査及びブロックサンプルの観察等から当該断層は、東傾斜で東側隆起の逆断層の変位センスを持っていることを確認した。
- 敷地に近い断層は形状が非常に重要である。白木一丹生断層は、もんじゅ敷地に近いため、当該断層の下盤側（西側）の堆積層に見られる若干の傾斜が、敷地地盤の安定性を検討する上で有用なデータになりうることから、傾斜について検討を求めた。その結果、ボーリング調査結果から、白木一丹生断層の下盤側（西側）の地層には、海成層は認められず、緩やかな西傾斜は、花崗岩が作る谷地形と調和的で、初生的（堆積時の構造を反映）に傾斜を持って堆積したとする判断に問題はない。上記のことから、西側にキロメートル規模の変形が及んでいないことを確認した。
- 断層傾斜角に関して、活断層調査による傾斜角は60度と推定される。地表のトレースからは60度より高角度である可能性もあるが、地下構造の情報が少ないところで、考え方としては安全側の判断と考える。なお、断層モデルの評価においては、傾斜角の不確かさを念頭に置いて検討する必要があると考えた。

(7) C断層について

- C断層の調査・認定については、適切に実施されていることを確認した。
- 断層傾斜角に関しては、上記（5）白木一丹生断層と同様であるが、幾何学的検討からは白木一丹生断層よりも低角度になる可能性もあり、断層モデルの評価においては、傾斜角の不確かさを念頭において検討する必要があると考えた。

(8) 野坂断層、B断層及び大陸棚外縁断層について

- 野坂断層、B断層及び大陸棚外縁断層の調査・認定については、適切に実施されていることを確認した。
- B層の細区分については、細区分できる可能性もあるが、海上音波探査記録では散乱の影響が大きく明瞭ではないため難しいと考える。なお、B層を細区分してもしなくても評価に影響はないと考える。
- B断層と大陸棚外縁断層の関連について、両断層の近接部であるB断層の北部では、B層（後期更新世の地層）内に最終氷期頃の海退時の堆積形態が現れたものと考えられるプログラデーション・パターンが認められる。このプログラデーション・パターンに断層による変形は認められないものの、B層下部の状況が不明瞭であることから後期更新世以降の活動を考慮すると、B断層から大陸棚外縁断層にかけて後期更新世以降の活動が連続的とする関西電力㈱の判断は妥当である。また、和布一干飯崎沖断層～甲楽城断層の分布形態とも類似していることから、B断層～大陸棚外縁断層の同時活動を考慮しており適切な判断がされている。
- 断層傾斜角の考え方に関して、野坂断層～B断層（南部）については、走向と広域応力場との関係や調査結果から断層の傾斜は鉛直（90度）の断層と評価し、地震動評価においては、鉛直の横ずれ断層と設定する判断に問題はない。

B断層（北部）については、北東側隆起でB断層南部よりも変形幅が広いことから、高角度で北東側に傾斜していると考え、隆起部をB断層の活動によるものと仮定して傾斜角は約65度と考えているが、地震動評価においては、傾斜60度の横ずれ断層と設定する判断に問題はない。

大陸棚外縁断層については、走向と広域応力場との関係から右横ずれが卓越する断層と考え、その付近で1963年3月27日に発生した越前岬沖地震波形との関係において、インバージョン結果等からも右横ずれであることが確認されていることから矛盾はしないと考える。その結果から断層傾斜角を63度南東傾斜であるとしているが、地震動評価においては、断層傾斜角60度の横ずれ断層と設定する判断に問題はない。

- 海水準変動幅と地層境界深度の関係については、若狭湾は全体として沈降傾向であり、沈降速度が大きいものの、関西電力㈱の海域の層序、編年の考え方は妥当である。

(9) 三方断層について

- 三方断層の調査・認定については、適切に実施されていることを確認した。
- 断層傾斜角の考え方については、地震本部における三方断層帯の傾斜角は高角度とされている。また、独立行政法人産業技術総合研究所の活断層データベースにおいては、60度東傾斜とされている。低角度の東傾斜（例えば45度等）を考慮すると、沈降場である敦賀平野や琵琶湖北西部の下に断層面があることになり、地形の状況と合わない。また、野坂断層や敦賀断層等の多く

の断層を横切ることとなること等から、これらに矛盾がないように走向と広域応力場の関係や周辺の地形、断層の分布状況から、三方断層は高角度の東側傾斜（60度以上）の逆断層と評価し、地震動評価においては、断層傾斜角60度の逆断層として設定していることは妥当である。

(10) 上林川断層^{かんばやしがわ}について

○北東端については、リニアメントは分岐しながら故屋岡町^{こやおか}の上林川西岸において消滅し、活動的な断層も認められないが、活動性を否定できる露頭を確認した福井県との県境付近と設定している。また、地震本部では、福井県との県境付近までを評価していることから、活動性を否定できる露頭を確認した福井県との県境付近を北東端とする判断に問題はない。

○南西端について関西電力^{けんせいでんりき}は、当初、リニアメントは分岐しながら由良川^{ゆらがわ}東方で消滅し、高位段丘面で右ずれや北側隆起の変位地形が認められないこと、南側分岐部も延長部の由良川川岸における頁岩の連続露頭で断層が認められないことから、味方町^{みかた}付近と設定していたが、保安院の検討を踏まえて、上林川断層南西端付近において補足調査を実施した。補足調査は、味方町付近で、反射法地震探査（S波、P波）、剥ぎ取り調査、ピット調査等が実施された。その結果、上林川断層が認められたが、上延町^{うわのぶ}以西へは大きく延伸するものではないと考えられるものの、調査により南西端を特定することは困難であることから、断層長さを26km以上と評価を改めた。

関西電力（株）は、由良川に沿って分布している沖積低地の方向に断層が延伸する可能性を否定できないことを勧告し、原子力施設の安全評価の観点から、念のため断層南西端を福知山市付近（福知山市内の高位段丘面には、文献に活断層の記載がなく、変動地形も判読されない）まで延伸させた場合について地震動評価を行うとしており、この考え方に問題はない。

(11) 熊川断層^{くまがわ}について

○東端については、リニアメントが石田川から東側には判読されないこと、東側延長部には健岩が密に分布し断層が認められないこと及び北北西に延びるチャートに左ずれの変位が認められないことから、角川^{つのがわ}付近と設定しており、この考え方に問題はない。

○西端については、基盤岩上面や堆積層に断層による変位・変形が認められない和久里^{わくり}地点とすることに問題はないと考える。また、熊川断層の小浜湾内への連続性に関して、音波散乱層付近に見られる変形については、断層によるものではなくガス等の別の要因が考えられるが確証がないために地震動評価においては、確実に否定できる測線A-5Gまで延伸させてモデル化する考え方に問題はない。

(12) 大飯発電所敷地近傍リニアメント (O1、O2、O3) について

○O1リニアメントに関して、陸域の評価については、破碎帯の露頭のはぎ取り調査、変位地形の可能性があると判断した場所での縦断測量、ブロックサンプリングによる変形組織の検討及びレーザー測量等からリニアメントは超丹波帯堆積岩中の古い断層等を反映した組織地形と評価する考え方に問題はない。

○O2リニアメントに関して、陸域の評価については、ピット調査、露頭調査、電気探査及びボーリング調査（ボアホールテレビ観察含む）等からリニアメント直下には、少なくとも後期更新世以降の活動を示唆する断層は認められないとし、リニアメントは、周辺に比べて脆い変斑れい岩が差別浸食を受けて形成された組織地形と評価していることに問題はない。

○O3リニアメントに関して、露頭調査結果等から断層破碎帯とそれを切る小断層は共に固結しており、後期更新世以降の活動なく、超丹波帯堆積岩と舞鶴帯夜久野オフィオライトの超苦鉄質岩ちょうくてつしがんを分ける付加体形成に関わる衝上断層を反映した組織地形と評価していることに問題はない。

○O1、O2リニアメントの海域延長部や青戸の入江については、海上音波探査記録及び海域の地質層序（B層が後期更新世であることの根拠等）のデータを確認した結果、海域には連続していないと判断する。

(13) 高浜発電所敷地近傍リニアメント (T1、T2、T3) について

○T1リニアメントに関しては、リニアメント延長線上の東側海岸の水面下での連続露頭の調査の結果、リニアメント直下の内浦層群泥岩に断層は認められないこと、また、海域延長部の海上音波探査記録より後期更新世以降に堆積した地層に変位・変形は認められないことから、T1リニアメント直下には少なくとも後期更新世以降の活動を示唆する断層は認められないとし、リニアメントは、安山岩や凝灰角礫岩に比べて軟質な泥岩が選択的に浸食されることによって生じた組織地形と評価していることに問題はない。

○T2リニアメントに関しては、東側海岸部の露頭調査、海域延長部の海上音波探査及び保安院の検討を踏まえて実施した補足調査（ボーリング調査）の結果、T2リニアメント直下には少なくとも後期更新世以降の活動を示唆する断層は認められないとし、リニアメントは、大浦層中の断層や大浦層と内浦層群との境界の断層が選択的に浸食されることによって生じた組織地形と評価していることに問題はない。

○T3リニアメントに関しては、ピット調査、はぎ取り調査及び保安院の検討を踏まえて実施した補足調査（はぎ取り調査、変形組織の観察）の結果、T3リニアメント直下には少なくとも後期更新世以降の活動を示唆する断層は認められないとし、リニアメントは、固結した破碎帯や地質境界の不整合面を反映した組織地形と評価していることに問題はない。

(14) F O - A、F O - B、F O - C断層について

- 当該海域の地質層序については、B層下位の火山灰(ガラス質細粒火山灰(軽石型火山ガラス))について検討がされ、美浜火山灰に対比されるところとしている。一方、陸域で美浜火山灰は、中位I段丘堆積物(最終間氷期の段丘である気山層の下位)の基底部の砂層中に風化軽石層として確認されていること、敷地前面海域の音響層序区分と若狭湾東部海域の音響層序区分が連続していること及び海上ボーリング調査結果と海上音波探査記録とを対比した検討結果等から総合的に考えるとB層下位をMIS5/MIS6境界とすることに問題はない。
- F O - A断層の南端の止めに關しては、敷地に近く評価上重要なポイントであることから、当該止めの根拠となる測線について原資料の確認やマイグレーション処理を求め慎重に検討を行った。検討の結果、評価する上で必要な堆積層が確認できるところで、断層を示唆する変位、変形は認められず、断層があるという根拠はないと考える。
- F O - B断層の北端の止めに問題はないと考えられる。
- F O - A断層とF O - B断層の境界部分については、地震動評価において、これを一連の断層として評価していることは妥当である。
- 小浜湾内のF O - C断層については、両端の止めに問題はないと考えられる。また、地震動評価上これを「孤立した短い活断層」として断層長さ20km、地震規模M6.8で評価していることに問題はない。

(15) 活断層の同時活動性について

美浜発電所敷地の近傍には多数の活断層が存在することから、近接して分布する活断層群の同時活動性について、評価の基本的考え方及びそれに基づく評価について、重点を置き検討を行った。

○同時活動性の検討においては、以下の基本的考え方について整理を行った。

- ①松田(1990)による活断層が同時活動するか否かの判断基準の適用に際して、基となった起震断層の考え方、活動性(累積変位)、変位速度、力学的観点、三次元構造のイメージング、応力場及びブロックの設定等を考慮して考えることが重要である。
 - ②他の地域の過去の地震の実例を参考に考えることも必要である。
 - ③C断層と白木-丹生断層のように、並走する断層の取り扱いについては、地震動評価の考え方と併せて検討する必要がある。
関西電力㈱の同時活動性の基本的考え方は、上記の観点を踏まえて検討されていることから、基本的考え方として問題はない。
- 地質調査結果等及び上記の考え方に沿って関西電力㈱美浜発電所は、大陸棚外縁断層～B断層～野坂断層、和布-干飯崎沖断層～関ヶ原断層(念のため)の同時活動性を考慮している。

浦底-内池見断層～敦賀断層、浦底-内池見断層～白木-丹生断層、C断

層～白木～丹生断層等の同時活動性は考慮していない。これについて、参考ではあるが、浦底～内池見断層～敦賀断層、〔断層～白木～丹生断層について断層面におけるクーロン破壊応力変化（ ΔCFF ）の検討を含めた力学的観点からも検討を行った。その結果、レシーバ断層上の ΔCFF については、正（レシーバ断層の活動を促進）になる領域も若干あるが、負（レシーバ断層の活動を抑制）となる面積の方が大きい。断層の同時活動性については、単に破壊が励起されるだけではなく、励起された破壊が広がるかという視点から検討する必要がある、レシーバ断層上で、ある程度の広がりを持った破壊が励起され得るかが判断材料となる。本検討結果では、レシーバ断層上の正の領域が、地震を引き起こすと考えられるほどの広がりを持たないことから、上記2組の断層は同時活動しにくいものとする判断に問題はない。

ウツロギ峠北方～池河内断層と柳ヶ瀬断層の同時活動性以外の断層の同時活動性の考え方は、地形・地質学的調査結果等の観点からみても矛盾はないことから妥当である。

- WG2では、ウツロギ峠北方～池河内断層と柳ヶ瀬断層については、活断層のトレースは不連続であるが、非常に近接して分布していることもあり、表層における不連続と地質構造の違いや活動時期の違いだけで同時活動の可能性を完全には否定出来ないとの意見があった。

また、松田（1990）に記載の活断層の同時活動性の有無を判断する基準のひとつである「その断層帯の midpoint が主断層から5km以上離れている走向を異にする付随断層あるいは分岐断層」との考えを当該ケースに適用することは、ウツロギ峠北方～池河内断層の南端と柳ヶ瀬断層が非常に近接しており、動力学的観点を踏まえると、適切ではないと考える。

さらに、椿坂峠以北の柳ヶ瀬断層北部は、南部に比べて活動性が低い（最近の活動はない）ことが調査結果から考えられる。また、ウツロギ峠北方～池河内断層は、地形・地質的には不明瞭であるが、活動時期としては、柳ヶ瀬断層北部より新しく、柳ヶ瀬断層南部の活動時期に近いと考えられる。

加えて、保安院の検討では浦底～内池見断層北部とウツロギ峠北方～池河内断層南部を念のため同時活動（25km）として、耐震設計上考慮していること及び日本原子力発電（株）は当初の検討において参考ではあるが、浦底～池河内～柳ヶ瀬南部の同時活動について、評価を実施していること等から、WG2は以下の2ケースについて、断層モデルによる地震動評価の検討を提案した。

- ①検討ケース1：ウツロギ峠北方～池河内断層と柳ヶ瀬断層南部の同時活動
- ②検討ケース2：浦底～内池見断層北部とウツロギ峠北方～池河内断層南部と柳ヶ瀬断層南部の同時活動

なお、検討結果については、2. 2（3）3）に記載する。

2. 2 基準地震動の評価について

(1) 解放基盤表面の設定及び地下構造特性

○敷地周辺の地質調査結果等から美浜発電所は、敷地及び敷地近傍の地質が後期白亜紀から古第三紀に貫入した江若花崗岩から構成され、本岩盤が $V_s=1.65\text{km/s}$ で十分な拵がりと深さを持つことから、原子炉建屋基礎設置付近のEL. 0mに解放基盤表面を設定していることを確認した。

高浜発電所については、敷地及び敷地近傍の地質が古生代の大浦層(頁岩)及び中生代の音海流紋岩等から構成され、本岩盤が $V_s=2.2\text{km/s}$ で敷地内に広く分布し、相当な拵がりを持つことから、原子炉建屋基礎設置付近のEL. +2mに解放基盤表面を設定していることを確認した。

大飯発電所については、敷地及び敷地近傍の地質が古生代の輝緑岩、斑れい岩、細粒石英閃緑岩、大島層(頁岩)等から構成され、本岩盤が $V_s=2.2\text{km/s}$ で敷地内に広く分布し、相当な拵がりを持つことから、原子炉建屋基礎設置付近のEL. 0mに解放基盤表面を設定していることを確認した。

これらは、新耐震指針に沿って適切に設定されたものであり、その評価は妥当である。

○地下構造特性が地震動の増幅特性に及ぼす影響を正しく評価することは、新潟県中越沖地震の知見を踏まえるまでもなく重要な検討要素である。

地下構造特性に関して、浅部の速度構造については、試掘坑内弾性波試験結果及びPS検層結果に基づき設定している。また、深部の速度構造については、周辺地域で実施された屈折法探査、微動アレイ探査、地震計水平アレイ観測及び地震波速度トモグラフィ解析結果等の検討結果に基づき設定している。

地盤モデルに用いた減衰定数に関しては、原子力機構もんじゅ等この地域で差がないことから、これを参考に設定している。具体的には、保安院での指摘を踏まえて、原子力機構もんじゅが敷地の地震観測記録により求めた経験的サイト増幅特性に基づき設定した地盤モデルの減衰定数を参考にして設定している。さらに、速度構造の不均質性と浅部の減衰定数との関係についても慎重な検討がされている。

(2) 地震発生層について

○地震発生層に関しては、地震発生状況や地球物理学データ等を踏まえて適切に検討されている。なお、美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所、高速増殖原型炉もんじゅ及び敦賀発電所については、この地域では差はなく同様としている。

○上限に関して地震波トモグラフィの結果については、浅い部分の精度は余り高くないと考えられるので、地震発生層の上限を与えるデータとしては参考程度に留めるべきである。

上限を4kmとする積極的な根拠は微動アレイ探査の結果であるため、その結果の信頼性の検証が必要となる。検証としては、表面波探査において深さ4kmで速度構造のジャンプを想定しているが、例えば、このようなジャンプを反射法地震探査記録に認めることができるか等を確認する必要があるとの意見が

あった。

これに関して関西電力(株)は、反射法地震探査は実施していないが、微動アレイ探査結果のデータの信頼性等の確認をしており、その結果に基づき4kmとする判断に問題はない。

- 下限を18kmとすることについては、地震発生層の下限を検討するために用いたトモグラフィデータには古いデータも含まれており、また、その精度も良くないと考える。しかしながら、「大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる若狭地域の速度構造」等の最新のデータを参照して地震発生層下限の妥当性の確認が行われていることから、下限を18kmとする判断に問題はない。

(3) 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には、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ことが必要である。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、並びに重力異常・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、検討用地震の選定を行うことが必要である。

以上のこと及び2. 1で示したことに重点を置き調査、整理作業を行った結果は以下のとおりである。

- 敷地周辺の地震発生様式を考慮し、敷地周辺の活断層の分布状況、地震の発生状況から、マグニチュードー震央距離の関係図やJEAG4601-2008の手法に基づく応答スペクトルにより敷地への影響を考慮して検討用地震の選定を行っている。また、検討用地震は、当該地域は断層が近接していることから断層面等の形態も考慮した上で選定されている。その結果、敷地への影響が大きいものとして、

美浜発電所：C断層、白木ー丹生断層、三方断層、大陸棚外縁断層～B断層～野坂断層

高浜発電所：F OーA～F OーB断層、上林川断層

大飯発電所：F OーA～F OーB断層、熊川断層、上林川断層

による地震を検討用地震として選定しており、適切に選定がされている。

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手法は経験的手法であり、用いられたデータの質・量によって、その適用範囲を慎重に吟味することが重要である。特に震源が敷地に近い場合には、より慎重な対応が必要となる。こうしたことを踏まえ、震源が敷地に近い場合の地震動評価に際しては、適用可能な各種の応答スペクトルによる手法を用いた評価結果や断層モデルに基づく地震動評価結果等を踏まえ、総合的な判断を行う必要があることから、各種の応答スペクトルによる手法の適用について慎重に検討されていることが必要である。こうしたことから、専門家との意見

交換会において検討し、WGにおける「検討のポイント」に定めた。

以上のこと等に重点を置き調査、整理作業を行った結果は以下のとおりである。

- 美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所敷地の近傍には、活断層が近接して多く分布していることから慎重に検討を行った。その結果、美浜発電所、大飯発電所の評価において、大陸棚外縁断層～B断層～野坂断層及びF O - A ～ F O - B断層はJEAG4601-2008に示された式の適用範囲外とし、断層モデルを用いた手法を重視して検討を行っている。また、その妥当性を検証するため、他の適切な距離減衰式を用いて応答スペクトルに基づく地震動評価を行っていること等から適切な検討がされている。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を包絡するように策定した基準地震動Ssの模擬地震波の作成については、JEAG4601-2008に従って適切に評価がされている。

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。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ることが重要である。

以上のこと等に重点を置き調査、整理作業を行った結果は以下のとおりである。

- 不確かさの考え方については、断層モデルにおけるアスペリティの位置及び破壊開始点は地質調査等からは決定しにくいため、アスペリティは敷地に近くなるように配置し、破壊開始点を複数設定している。また、断層傾斜角、応力降下量、断層長さ等の不確かさについても「検討のポイント」に沿って適切に設定されている。
- 断層傾斜角の考え方については、2. 1に示したとおり、地質調査結果、地震本部における傾斜角の設定の考え方等を踏まえて不確かさを考慮して設定しているが、断層が隣接した地域での考え方としては、地質学的観点からは今後とも検討すべき課題と考える。ただし、基準地震動の策定という観点から考えると、地質学的には矛盾もあるが原子力施設への影響を重要視するという考え方は妥当である。
- 美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所敷地では、想定震源域やその近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないことから、短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側に理論的方法を適用したハイブリット合成法により地震動評価を行っている。

統計的グリーン関数法を用いる場合は要素地震の震源スペクトルの設定特

性への適合性が確認されていること、及び、ハイブリッド法を用いる場合は長周期側及び短周期側のそれぞれの手法の精度を考慮して、接続周期が適切に設定されていること等が重要である。

関西電力㈱は、統計的グリーン関数法に用いた要素地震のスペクトル設定及びその適合性、放射特性の設定、ハイブリッド合成における接続周期の適合性等について適切に検討している。

- 統計的グリーン関数法を用いる場合は、乱数による影響が評価されていることが重要である。関西電力㈱は美浜発電所の敷地で複数の基準地震動を設定しており、その卓越周期が0.1～0.3秒付近である。この周期帯は建物や格納容器の固有周期に近いため、地震動の策定過程でピークが大きく変動するかを確認することが重要と考えた。その結果、乱数の影響によりピークに大きな変動がないことを確認した。
- 大飯発電所に関して、検討用地震には含めていないがF O - C断層については、敷地にも近いことから「孤立した短い活断層」として地震規模M6.8として検討を実施している。その結果、策定した基準地震動を下回っていることを確認した。
- 和布一干飯崎沖断層・甲楽城断層、柳ヶ瀬断層及び鍛冶屋断層（～関ヶ原断層）の評価について、スケーリング則に沿って検討されているが、アスペリティの平均すべり量から考えると過大評価の可能性もあり、カスケードモデルで検討しても良いのではという意見があった。これについては、活断層調査からは、平均変位速度等の具体的データが得られていないことから、スケーリング則で実施することで問題はないと考える。
- WG 2は、2. 1（1 4）に記載のとおり、①ウツロギ峠北方一池河内断層と柳ヶ瀬断層南部の同時活動及び②浦底一内池見断層北部とウツロギ峠北方一池河内断層南部と柳ヶ瀬断層南部の同時活動について、確認用地震動としての検討を関西電力㈱美浜発電所に求めた。

①ウツロギ峠北方一池河内断層と柳ヶ瀬断層南部の同時活動の検討については、全長37.3km、セグメント区分をウツロギ峠北方一池河内断層と柳ヶ瀬断層南部の2つとし、アスペリティについては、各セグメントに1つずつ敷地への影響が大きいと考えられる位置に配置して、スケーリング則に沿って検討がされている。また、破壊開始点については、破壊の進行による敷地への影響を考慮して設定がされている。

②浦底一内池見断層北部とウツロギ峠北方一池河内断層南部と柳ヶ瀬断層南部の同時活動の検討については、全長38.9km、セグメント区分を浦底一内池見断層北部、ウツロギ峠北方一池河内断層南部及び柳ヶ瀬断層南部の3つとし、アスペリティについては、各セグメントに1つずつ敷地への影響が大きいと考えられる位置に配置して、スケーリング則に沿って検討がされている。また、破壊開始点については、破壊の進行による敷地への影響を考慮して設定がされている。

その結果、いずれの周期帯においても策定した基準地震動Ss-1を下回っていることを確認した。

- 美浜発電所の敷地では断層モデルに基づく地震動を複数の不確かさを考慮して検討し、基準地震動として7波（Ss-2～Ss-8）を設定している。この様に複数の基準地震動を設定することは、新耐震指針の趣旨にも沿っていると考える。

（４）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Ss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の2つを示している。

関西電力㈱は、美浜発電所及び大飯発電所に関して、それぞれC断層及びF OーA～F OーB断層が敷地近傍や直下に想定されていることから、上記①の検証の方法を用いて、地震動レベルの妥当性の検証を実施している。また、高浜発電所は、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、上記②の検証の方法を用いて、地震動レベルの妥当性の検証を実施している。

以上のこと等に重点を置き調査、整理作業を行った結果、以下のとおり、「検討のポイント」に沿って適切に評価がされている。

- 地震規模評価に関して、関西電力㈱は、領域震源区分から想定される最大規模及び地震発生層の厚さから想定される最大規模を、M6.8～6.9と推定し、震源を特定せず策定する地震動を検討していることを確認した。

- 地震動レベルの妥当性の検証に関して、美浜発電所、大飯発電所では、それぞれC断層及びF OーA～F OーB断層が敷地近傍や直下に想定されていることから、上記①の検証の方法に沿って地震動レベルの妥当性の検証を実施しており、適切に検討されている。また、その結果、JEAG4601-2008に基づく地震動レベルを上回っていることを確認した。

高浜発電所では、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、「検討のポイント」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を確認した。また、その結果、震源近傍における平均的な地震動レベルは、JEAG4601-2008に基づく地震動レベルを下回っていることを確認した。

- 「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は、基準地震動

Ss-1（美浜発電所、大飯発電所）又は基準地震動Ss（高浜発電所）の応答スペクトルに全ての周期帯で包絡されるため、「震源を特定して策定する地震動」の設計用応答スペクトルで代表させるとしていることに問題はない。

（５）基準地震動Ssについて

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果から基準地震動Ssとして以下を設定していることを確認した。

- 美浜発電所については、応答スペクトルに基づく地震動（Ss-1）及び断層モデルを用いた手法による地震動 7波（Ss-2～Ss-8）を設定している。
- 大飯発電所については、応答スペクトルに基づく地震動（Ss-1）及び断層モデルを用いた手法による地震動 2波（Ss-2、Ss-3）を設定している。
- 高浜発電所については、断層モデルを用いた地震動評価結果は、全ての周期で応答スペクトルに基づく手法により策定した基準地震動Ssに包絡されているため、応答スペクトルに基づく地震動 1 波を設定している。

2. 3 地盤の安定性

地盤の安定性については、バックチェックルールに示された基礎地盤の支持性能に加え、敷地近傍の活断層による地盤の変形に着目し、原子力施設の耐震安全性が総合的かつ確実に確保されていることが重要と考える。

保安院は現段階において、このうち敷地近傍の活断層の活動に伴う基礎地盤の変形の影響評価を行っており、想定される地震力による建物・構築物の地盤の支持性能の評価等については、最終報告で報告するとしている。

（１）白木－丹生断層の活動に伴う地盤の変位・傾斜の影響評価

- 美浜発電所について、敷地に影響があると考えられる白木－丹生断層の活動に伴う地盤の変位・傾斜を食い違い弾性論に基づき評価している。評価にあたって、断層長さ、断層幅、すべり量、地盤モデル等の不確かさ（ばらつき）が考慮されていることを確認した。その結果、施設に影響を与えるような地盤の変位・傾斜量でないことを確認した。

（２）F O－A～F O－B断層の活動に伴う地盤の変位・傾斜の影響評価

- 大飯発電所について、敷地に影響があると考えられるF O－A～F O－B断層の活動に伴う地盤の変位・傾斜について美浜発電所と同様に評価している。その結果、施設に影響を与えるような地盤の変位・傾斜量でないことを確認した。

2. 4 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、それぞれの妥当性を判断するに足る情報が示されていることに留意して検討を行っている。

また、旧耐震指針等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、弾性設計用地震動 S_d に対する評価、旧耐震指針による基準地震動 S_1 、 S_2 による地震力等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実施している。

なお、美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所の炉型は、全て加圧水型軽水炉（PWR）であり、既に原子力安全委員会が見解を示している加圧水型軽水炉（PWR）の検討が参考になること等から、これらの特徴を踏まえて代表機（美浜発電所 1 号機、高浜発電所 3、4 号機）を選定して検討を行っている。また、大飯発電所 3、4 号機を含む代表機以外の号機についても関西電力㈱から評価結果の説明を受けた。

調査、整理作業の検討状況は以下のとおり。

（1）入力地震動の算定

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。

以上のこと等に重点を置き調査、整理作業を行っている。検討状況は以下のとおりである。

○解放基盤表面の設定及び地下構造特性については、2. 2（1）に記載したとおり。

○入力地震動の評価は、解放基盤表面を各建屋基礎底面レベルとし、建屋埋込みを考慮する場合は、解放基盤表面で定義した基準地震動 S_s を一次元波動論により建屋基礎底面及び側面での入力地震動として評価していることを確認した。また、建屋埋込みを考慮しない場合は、基準地震動 S_s を建屋基礎底面に直接入力していることを確認した。（高浜 3、4 号機、大飯発電所 3、4 号機原子炉建屋）

なお、美浜 1 号機原子炉建屋については、設置岩盤が硬岩であり、かつ建屋の一部が周辺地盤に埋め込まれていることを踏まえて、底面ばね及び地下の質点位置の側面ばねを介して一次元波動論により求めた各ばね位置での地盤応答を入力地震動としていることを確認した。

高浜 3、4 号機原子炉補助建屋（中間建屋）及び大飯発電所 3、4 号機原子炉補助建屋（制御建屋）については、地盤は基礎底面と付着力を考慮

した3次元FEMモデルを用いていることから地震動の入力位置は地盤モデル底面とし、建屋基礎レベルに想定する地盤の応答が基準地震動 S_s と一致するように入力していることを確認した。

(2) 建物・構築物について

建物・構築物（原子炉建屋及び原子炉補助建屋）の評価結果の妥当性を確認するため、評価に用いる解析手法及び解析モデルの考え方等について確認を実施した。

なお、代表プラントとしては、建設時期が最も古く、基準地震動が大きな美浜1号機の原子炉建屋、原子炉補助建屋を、また、地盤を3次元FEMモデルで評価した高浜3、4号機の原子炉補助建屋（中間建屋）を選定し検討を実施した。大飯発電所3、4号機を含むその他のプラントについては、評価結果、旧耐震指針との対応関係、弾性設計用地震動 S_d の評価結果等について関西電力㈱より説明を受けた。

以上のこと等に重点を置き調査、整理作業を行っている。検討状況は以下のとおりである。

①美浜1号機について

○原子炉建屋及び原子炉補助建屋の地震応答解析モデルは、基本的に工事計画認可（設計時）のモデルを基本としているが、学協会による最新の規格・基準等を反映した物性値、解析モデルに変更していることを確認した。

原子炉建屋の地震応答解析モデルは、外部遮へい、原子炉格納容器、内部コンクリート、及び蒸気発生器からなる多軸多質点系SRモデルとしている。蒸気発生器の減衰定数が水平方向3%、鉛直方向1%と異なる理由について、水平方向と上下方向のサポートの構成を比較し、水平方向サポートに減衰効果が大きいオイルダンパが使用されていることを確認した。

なお、代表機以外のプラントについても基本的に同様であることを確認した。

○基準地震動 S_s に対する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。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、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）に対し1ケースを除き満足していることを確認した。なお、接地率65%を下回った1ケース（原子炉建屋： S_s -3H EW入力）については、誘発上下動を考慮した解析モデルにより評価した結果、問題の無いことを確認した。

②高浜3、4号機について

○原子炉補助建屋（中間建屋）の解析モデルに関して、一般的な多質点系SRモデル（基礎浮き上がりによる幾何学的非線形を考慮したモデル）に

より基礎の接地率の評価を実施した結果、接地率が 50%を下回った。このことから、JEAC4601-2008 の基礎浮上り評価の検討フローに沿った特別な検討として地盤と建屋基礎の相互作用を評価するにあたり、地盤および建屋基礎の拡がりを考慮できる詳細な 3 次元 FEM モデルを用いて評価していることを確認した。また、地盤の極限支持力 (9806kN/m^2 ($1,000\text{tf/m}^2$)) は、地震時接地圧に対して十分な余裕があることを確認した。

○原子炉補助建屋（中間建屋）の地震応答解析では、地盤を均質な弾性体とみなし、3 次元 FEM モデル（1/2 対称モデル）としている。この解析モデルの妥当性について、建屋のねじれモードの影響を考慮した解析モデルと地盤 FEM（フルモデル）での固有値解析結果（振動モード）を比較することにより検討を行った。その結果、3 次元 FEM（1/2 対称モデル）による解析は、建屋の評価結果に顕著な影響を与えないことを確認した。また、建屋のねじれモードによる機器・配管系に対する影響も小さいと考えられる。

○基準地震動 S_s に対する原子炉補助建屋（中間建屋）の耐震安全性評価について、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。

③大飯発電所 3、4 号機について

○基準地震動 S_s は、設計時の地震動と比較して大きくなっているが、設計上の余裕等から基準地震動 S_s に対する原子炉建屋及び原子炉補助建屋の耐震安全性評価について、水平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。

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、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。原子炉補助建屋（制御建屋）については、高浜 3、4 号機と同様に地盤および建屋基礎の拡がりを考慮できる詳細な 3 次元 FEM モデルを用いて評価しており、地震時接地圧に対して十分な余裕が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た。また、制御棒挿入性の検討に関しては、独立行政法人原子力安全基盤機構が 2002 年から 2005 年にかけて実施した制御棒挿入性試験（耐震機能限界試験）及びその評価結果等を踏まえて確認を実施した。

なお、代表プラントとしては、解析手法の違い、基準地震動レベルを勘案して、建物・構造物関係と同様、美浜 1 号機（応答倍率法）及び高浜 3、4 号機（詳細法）を選定し、検討を実施した。大飯発電所 3、4 号機を含むその他のプラントについては、評価結果、耐震補強の有無等について関西電力（株）より説明を受けた。

以上のこと等に重点を置き調査、整理作業を行っている。検討状況は以下のとおりである。

①美浜1号機について

○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炉内構造物、②制御棒（挿入性）、③蒸気発生器、④1次冷却材管、⑤余熱除去ポンプ、⑥余熱除去配管、⑦原子炉容器、⑧原子炉格納容器）を評価対象としていることを確認した。

○機器・配管系の構造強度評価及び制御棒挿入性の評価における応答倍率法適用の妥当性について、保安院は、慎重に審議を実施したとしている。審議の結果（「構造WG Aサブグループにおける応答倍率法の適用性に係る審議状況」（平成21年3月10日原子力安全・保安院））によれば、応答倍率法の適用に際し、大きめの数値を算定するための「条件整理」を行い、その範囲で応答倍率法を適用することを可とすることとしている。また、制御棒挿入性の評価に関しては、評価に与える影響が支配的と考えられる水平方向の地震入力レベル等が既往の知見の適用範囲内であれば、中間報告の制御棒挿入性の評価において応答倍率法を適用することは可能と考えられるとしている。

関西電力(株)は、大きめの数値を算定するための「条件整理」が整っていることの確認として、各種「応答比」算定法による比較検討、平成20年3月31日に保安院に報告した中間報告書における基準地震動 S_s （最終的な S_s とは異なる）に対する詳細評価が一部の施設（各発電所1号機）について実施されていることから、その結果を用いて比較検討等を行い、応答倍率法の適用の妥当性検討を実施していることを確認した。

また、制御棒挿入性の評価においては、水平方向の地震入力レベル等が既往の知見の範囲内であることを確認した。

○鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率に関して、関西電力(株)は、実績のある水平方向の拡幅（ $\pm 10\%$ ）と同様に、鉛直方向についても周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅して設計用床応答スペクトルを算定することについて、地盤及び建屋の剛性の変動幅を考慮しても、拡幅率を $\pm 10\%$ とした場合にカバーできる範囲に入っていることを検討している。

その結果、地盤剛性の変動及び建屋剛性の変動は床応答スペクトルの拡幅率 $\pm 10\%$ でカバーされる変動幅以内であることから、鉛直方向の拡幅率を $\pm 10\%$ として、設計用床応答スペクトルを設定することは妥当であると評価していることを確認した。

○機器・配管系の解析において使用した減衰定数に関して、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ならびに（社）日本電気協会の耐震設計分科会資料「水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数」にて確認された値を用いていることを確認した。また、鉛直方向の減衰定数については、（社）日本電気協会の耐震設計分科会資料「水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数」にて確認された値を用いていることを確認

した。

- 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、地震時の抗力を時刻歴で設定した詳細評価とその結果を元にした応答倍率法評価の結果、原子炉設置許可を受けた時間内に挿入されることを確認した。また、応答倍率法により評価を行っていることから、制御棒挿入時の燃料集合体の最大変位について確認した結果、その変位は既往の知見の範囲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 による発生値と評価基準値に近い機器については、最終報告において詳細評価との比較を示すことを求める。

②高浜 3、4 号機について

- 評価対象機器・配管については、美浜 1 号機と同様であることを確認した。
- 中間報告書では、工事計画認可等既往評価で実績のある詳細評価手法（スペクトルモーダル解析法、時刻歴応答解析による評価等）を用いて評価しており、評価に当たっては、既往評価における耐震評価部位のうち、地震荷重による影響の大きい部位に着目し評価対象を選定することとし、そのうち、評価基準値に対する発生値の裕度の最も低い部位を「評価部位」として選定していることを確認した。
- 機器・配管系の解析において使用した減衰定数に関しては、美浜 1 号機と同様であることを確認した。
- 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率に関しては、美浜 1 号機と同様であることを確認した。
- 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、原子炉設置許可を受けた時間内に挿入されることを確認した。

③大飯発電所 3、4 号機について

- 評価対象機器・配管については、「止める」「冷やす」「閉じ込める」に係る安全上重要な設備（①炉内構造物、②制御棒（挿入性）、③蒸気発生器、④1 次冷却材管、⑤余熱除去ポンプ、⑥余熱除去配管、⑦原子炉容器）を評価対象とし、応答倍率法を用いて評価していることを確認した。その結

果、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、原子炉設置許可を受けた時間内に挿入されることを確認した。

○OWG 2 は、建物・構築物及び機器・配管系の解析モデル化の精度向上、高度化等を推進することは重要と考えており、今回のバックチェックで得られた知見を反映していくことが重要であるとする。

○新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所のタンクの損傷事例に鑑み、今後、関西電力㈱が報告するとしている安全上重要なタンク類の評価に当たっては、(社)日本電気協会等で検討している最新の知見を踏まえて評価を実施すること。

(4) 弾性設計用地震動 S_d の設定の考え方等について

○弾性設計用地震動 S_d については、全プラント共、断層モデルに基づく基準地震動に関しては、基準地震動 S_s との比率(S_d/S_s)を0.5として設定している。また、応答スペクトルに基づく弾性設計用地震動に関しては、基準地震動 S_s との比率(S_d/S_s)を0.5とすることを基本とし、さらに旧耐震指針における基準地震動 S_1 および設計用地震動 S_a (耐震指針制定前プラント)を包絡するように、適切に裕度の割り増しを考慮して設定しており、その考え方等は妥当である。

○原子炉建屋及び原子炉補助建屋について、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、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。その結果、弾性設計用地震動 S_d に対する応答は、概ね弾性範囲に収まっていることを確認した。

また、基準地震動 S_s に対する応答は、旧耐震指針における基準地震動 S_2 及び設計用地震動 S_a (耐震指針制定前プラント)より大きくなっているが、設計上の余裕等から評価基準に収まっている。なお、基準地震動 S_s に対する評価結果の一部では、スケルトンカーブの第2折れ点を超え、塑性化が進んでいる部位もあるが、終局状態に対して十分余裕があることを確認した。

○機器・配管系については、弾性設計用地震動 S_d 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。

(5) 耐震補強について

耐震補強について、基準地震動 S_s の地震動レベルは、旧耐震指針における基準地震動 S_2 及び設計用地震動 S_a (耐震指針制定前プラント)より大きくなっているが、中間報告書の対象の建物・構築物、機器・配管系については、旧耐震指針に従って設計された建物・構築物、機器・配管系が新耐震指針によってもその耐震安全性が確保されていることから、耐震補強工事は実施していな

い。

なお、発電所設備の耐震安全性に対する信頼性をより一層向上させるため、中間報告書の対象設備について、裕度が少ない機器・配管系（蒸気発生器、余熱除去配管、支持構造物）について耐震裕度向上工事を実施していることを確認した。また、これらについて工事前後の評価結果について確認した。

関西電力㈱は、設備の耐震安全性に対する信頼性をより一層向上させるため、配管・ダクトの支持構造物、タンク、クレーン等補機類、電気・計装品類を対象に耐震裕度向上工事を適宜実施してきており、今後とも耐震信頼性向上に向け、継続的に取り組む予定としている。

2. 5 評価手法及び結果の信頼性

基準地震動評価や建物・構築物、機器・配管系等の解析は、解析モデルのモデル化、使用する物性値、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られる。

関西電力㈱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、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されていると考えられる。

なお、内部監査については、社長をトップマネジメントとする社内体制が確立されており、内部監査の実施にあたっては社内規定にて力量を有した監査責任者により実施されていること及び解析業務受注者への監査についても、社内規定にて必要な条件を満たした監査責任者により実施されていることを確認した。

3. 検討の経過

WG 2（美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所）等の開催状況

委員会名	開催日	主な検討事項	
第2回ヒアリング	平成20年4月18日	概要説明	
第1回*	平成20年7月24日	概要説明、保安院の審議状況	○
第2回*	平成20年8月27日	活断層調査・認定	○
現地調査	平成20年9月29、30日	活断層調査、(もんじゅ施設)	○
第3回*	平成20年10月23日	活断層調査・認定	○
第16回*	平成21年3月13日	活断層調査・認定、基準地震動Ssの策定	○
意見交換会	平成21年5月22日	応答スペクトルに基づく地震動評価	
第20回特別委員会	平成21年6月12日	検討状況の報告	
第21回*	平成21年6月15日	活断層調査・認定	○
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	
第30回*	平成21年9月11日	活断層調査・認定	○
第31回*	平成21年9月17日	活断層調査・認定、基準地震動Ssの策定	○
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	
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22回特別委員会	平成21年10月28日	検討状況の報告	
第36回*	平成21年10月29日	活断層調査・認定、基準地震動Ssの策定	○
第37回*	平成21年11月5日	基準地震動Ssの策定	○
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38回*	平成21年11月16日	基準地震動Ssの策定	○
第23回特別委員会	平成21年11月17日	震源を特定せず策定する地震動 WGの検討のポイントについて	
第39回*	平成21年11月26日	活断層調査・認定、基準地震動Ssの策定	○
第40回*	平成21年12月9日	活断層調査・認定	○
第42回*	平成21年12月15日	基準地震動Ssの策定	○
第45回*	平成21年12月24日	基準地震動Ssの策定	○
第49回*	平成22年2月8日	活断層調査・認定、基準地震動Ssの策定	○
第53回*	平成22年2月24日	活断層調査・認定	○
第55回*	平成22年3月3日	活断層調査・認定、基準地震動Ssの策定	○
第56回*	平成22年3月8日	活断層調査・認定	○
第25回特別委員会	平成22年3月11日	検討状況の報告	
第57回*	平成22年4月8日	活断層調査・認定	
第59回*	平成22年4月15日	施設の耐震安全性	
第60回*	平成22年4月20日	基準地震動Ssの策定、活断層調査・認定	
第61回*	平成22年4月22日	施設の耐震安全性	
第62回*	平成22年4月27日	施設の耐震安全性	

第63回*	平成22年5月13日	施設の耐震安全性	
第65回*	平成22年5月20日	基準地震動Ssの策定	
第66回*	平成22年9月1日	施設の耐震安全性	
第67回*	平成22年9月3日	基準地震動Ssの策定	
第31回特別委員会	平成22年9月17日	検討状況の報告	
第68回*	平成22年10月1日	活断層調査・認定、地盤の支持性能	
第69回*	平成22年10月4日	施設の耐震安全性 まとめ	

*:ワーキング・グループ2の開催 作業会合:地震動解析技術等作業会合
○:もんじゅ及び敦賀発電所と合同開催

