

「耐震設計審査指針の改訂に伴う北陸電力株式会社 志賀原子力発電所  
2号機耐震安全性に係る中間報告の評価について」に対する見解について

（ 2 1 安 委 決 第 8 号  
平成 2 1 年 2 月 1 8 日  
原子力安全委員会決定 ）

当委員会は、平成 2 1 年 2 月 1 8 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北陸電力株式会社 志賀原子力発電所 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 21 年 2 月 17 日  
耐震安全性評価特別委員会

## はじめに

経済産業省原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）は、『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」（平成 18 年 9 月、原子力安全委員会決定）を受けて、各原子力事業者に対し、改訂された耐震設計審査指針に照らした耐震安全性評価（以下「バックチェック」という。）の実施と報告を指示した。

保安院においては、平成 18 年 9 月に改訂された「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。）に照らして、北陸電力株式会社が行った「志賀原子力発電所「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」の確認が進められてきている。

耐震安全性評価特別委員会（以下「特別委員会」という。）は、保安院が行っている審議の結果を、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、北陸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つつ、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 2 にて検討）

また、地震随件事象等については、ワーキング・グループで検討するのではなく、別途、地震動解析技術等作業会合（以下「作業会合」という。）を開催することにより検討を進めてきた。

今般、当特別委員会は、保安院より、「耐震設計審査指針の改訂に伴う北陸電力株式会社 志賀原子力発電所 2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。）について報告を受けた。同評価報告は、志賀原子力発電所に係る敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動、施設の 2号機の耐震安全性及び地震随件事象等に関し、これまでの保安院における検討状況を踏まえ評価報告として取りまとめたものである。

当特別委員会は、北陸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、当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炉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、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取りまとめた。

## 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取りまとめ、特別委員会に対し、耐震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（以下「柏崎刈羽原子力発電所」という。）の耐震バックチェック等の検討過程において必要な意見<sup>1 2 3 4 5</sup>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<sup>2</sup>を示している。

(3) 特別委員会は、平成19年能登半島地震(Mj 6.9)（以下「能登半島地震」という。）における敷地での地震観測記録等、得られた強震動記録は基準地震動の策定や地盤・建屋の解析モデルの信頼性向上に最大限に活用することが重要であると考えた。また、能登半島地震で得られた貴重なデータに加え、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してい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、検討に当たって、活断層の連動性、地震随件事象等の個別課題については、作業会合により重点的に行うとともに専門委員から関連する事項の考え方などについて説明を受け、検討を実施した。

- 志賀原子力発電所で観測された地震動の知見の反映
- 新潟県中越沖地震で得られた知見の反映
- 断層の連動の可能性
- 強震動評価手法の検討
- 海上音波探査記録等の原資料の確認
- 地質年代特定に係る試料採取位置と年代測定データの確認
- 航空レーザ計測データに基づいた詳細な変動地形等の確認
- 地震発生層の考え方
- 地震応答解析モデル等への能登半島地震の知見の反映
- 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。

### (1) 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。
- 地盤安定性、地震随件事象については、主に検討のポイントに沿って評価されていること。
- 施設の耐震安全性については、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。
- 能登半島地震、新潟県中越沖地震の知見の反映等

基準地震動、施設の地震応答解析モデル等の科学的妥当性を評価する際には、能登半島地震、新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、観測データ等に基づき詳細かつ具体的に検討することが重要と考える。

特に、基準地震動の評価において、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、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。また、施設の耐震安全性における各種解析モデルの妥当性の評価において、得られた観測データの分析結果、シミュレーション解析結果等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。

また、上記に加え、柏崎刈羽原子力発電所の特別委員会での調査審議結果<sup>6,7</sup>を踏まえ検討を実施することとした。

## 2. 当特別委員会の見解

### 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

当特別委員会は、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。

特に、①笹波沖断層帯について、能登半島地震をもたらしたと考えられている笹波沖断層帯（東部）と笹波沖断層帯（西部）の連動の可能性、笹波沖

断層帯の全長長さ、②邑知潟南縁断層帯と南部の坪山―八野断層の連動の可能性及び③羽咋沖東撓曲と海士岬沖断層帯の連動の可能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。

○笹波沖断層帯を東部と西部に区分する根拠とされた海底の断層トレースの屈曲について、この程度の屈曲は断層トレースの不連続やステップと見なすことはできないとの意見があったが、能登半島地震の震源断層が笹波沖断層帯（東部）に一致すること、余震分布から推定された海底下の断層面にも海底の屈曲と一致する折れ曲がりがあることから、笹波沖断層帯（東部）及び笹波沖断層帯（西部）のセグメント区分に問題は無いこと。また、笹波沖断層帯（西部）の南西端の止めについて、地形・地質構造の確認、撓曲部分の延長についての海上音波探査記録の確認、笹波沖断層帯（全長）の断層モデルの端点の考え方及び断層モデルによる地震動の考え方等も踏まえて検討し、断層モデルを作成するための端点については、地震動を評価する上で特段の問題はないと考えられること。

なお、断層端点の正確な決定ならびに断層の三次元形状や断層相互の三次元的な位置関係の把握においては、断層と直角に近い角度で交わる測線を密な間隔で配置した海上音波探査データに基づく評価が重要であり、今後、このような認識をもって調査検討することが必要である。また、評価に用いたデータを広く公開することが重要と考える。

○邑知潟南縁断層帯は南東側傾斜の逆断層、坪山―八野断層は北西側傾斜の逆断層であり、断層面の傾斜の方向が異なっているものの、両断層の連動の可能性について、地質調査結果（地形・地質・地質構造から推定される地下構造と断層の活動性と過去の地震発生履歴）及び断層の地表トレースと傾斜角から推定した断層面の三次元形状から慎重に検討した。

検討に当たっては、専門委員から、地表での断層トレースは近接しているが傾斜方向が逆である2つの断層の連動性に関する動力学的破壊シミュレーションについて説明を受けた。この試算では、断層周辺の応力場の時空間変化とその成因から、地表トレースが近くても地下深部で断層面が離れていく（鉛直断面が「ハ」の字型の）2つの逆断層は連動しにくいと推測される。

当特別委員会は、断層の連動の可能性を検討する上で、専門委員の説明は、非常に参考となると考え、上記の検討を踏まえ、断層の傾斜角等については、その値を正確に決めるに足るデータは十分ではないものの、地表トレースは近接しているが断層面の傾斜方向が逆で断層面が地下深部で離れていくことから、邑知潟南縁断層帯と坪山―八野断層は、連動しにくいものと考えること。

なお、上記と同様の試算による定性的な評価としては、一般に、地表トレースが近くても地下深部で断層面が離れていく（鉛直断面が「ハ」の字型の）2つの逆断層は連動しにくく、地下深部で断層面が近づく（セ

グメント境界での鉛直断面が「X」字型、あるいは、「Y」や「V」字型の2つの逆断層が連動する可能性のほうが高いと考えられる。実際に、1993年北海道南西沖地震のように、「V」字型の断層面を示唆する余震分布を持つ地震も発生している。このことから、連動の可能性を評価する上では、地表の断層トレースのみにとらわれるのではなく、地下（特に、地震発生層に対応する深さ）での三次元形状を考慮して断層間距離を考え、相互作用による連動の可能性を検討する必要がある。

- 羽咋沖東撓曲と海士岬沖断層帯の間の海域については、北陸電力株式会社から説明を受け、海上音波探査記録の確認、羽咋沖東撓曲の北端付近の地質構造等を踏まえて、それらの端部の止めの考え方について検討した。その結果、両者の地表トレースの位置関係について、海上音波探査結果及び境界部の地質構造等からの再検討と端部の不確かさの範囲を明示的に示すことを求めた。また、羽咋沖東撓曲と海士岬沖断層帯の連動の可能性及び地震動評価に用いる断層長さを考える上での端部の止めとしては、端部を厳密に決めるに足るデータは十分でなく不確かさが残るものの、羽咋沖東撓曲及び海士岬沖断層帯は、それぞれ海上音波探査測線（K18測線）を超えることはないと考えられる。また、羽咋沖東撓曲と海士岬沖断層帯の連動の可能性については、上記の邑知潟南縁断層帯と坪山―八野断層と同様な検討を実施した結果、地表トレースは近接しているが両者の傾斜方向が逆で地下深部にて断層面が離れていくことから、羽咋沖東撓曲と海士岬沖断層帯は、連動しにくいものとする。
- 地質年代特定に係る海底試料について、海上音波探査記録、微化石等のデータ、層序区分の考え方について検討した結果、海底試料採取地点周辺のB<sub>1</sub>層については北陸電力株式会社や東京大学地震研究所のデータの<sup>14</sup>C年代測定によりおよそ3万2千年～3万8千年前のデータが得られており、放射性炭素同位体年代測定の限界近い値であることを考えても、B<sub>1</sub>層の上部が海洋酸素同位体ステージ3、4程度と考えられ、その下位のB<sub>1</sub>層とB<sub>2</sub>層の不整合面を海洋酸素同位体ステージ6に対比する点に関しては、大局的に矛盾するようなデータは無く、基本的には妥当と考える。

B<sub>2</sub>層の年代については、大陸棚外縁部で認められたB<sub>1</sub>層とB<sub>2</sub>層の境界が海洋酸素同位体ステージ6の浸食面である可能性が高いことから概ね妥当と考えられるが、B<sub>2</sub>層のプログラーションパターン等に基づく年代層序区分については、正確に決めるに足るデータが十分とはいえないものの、海底試料採取地点周辺との地質境界の連続性を含めて大局的に矛盾するようなデータは無く、基本的には妥当と考える。

なお、今後、こうした考え方により海域の地層を区分する場合は、より精度の高いデータの提示、根拠の明確化が重要であり、このような認識をもって調査検討することが必要である。

- 福浦断層については、後期更新世以降活動が無いと解釈された断層露頭についてスケッチとはぎ取り標本を詳しく検討した結果、少なくとも下末吉期（海洋酸素同位体ステージ5e）を経て形成された赤色土に断層変

位が起きていないとする解釈は妥当と考える。さらに、この断層露頭に現れた断層が地形的に認められる断層通過位置に対応する断層かどうかについて、変動地形との位置関係を航空レーザ計測による詳細な図面でレーザスキャナデータの信頼性も含めて確認した結果、この断層露頭は地形的に認められる断層通過位置に対応するものであり、福浦断層が考慮の対象となる活断層ではないとする判断に問題はないこと。

- 陸・海境界における地質調査結果について、海底トンネル施工時における地質調査結果、ボーリングの柱状図及び沿岸部の海上音波探査結果等を確認し、敷地前面の調査場所においては、陸域と海域の境界付近に断層などは見られないと考えられること。

## 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、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行う必要がある。

当特別委員会は、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。

- 起震断層（一つの地震と見なせる連鎖的な活動を起こす可能性のある活断層群）が、活断層調査結果に基づき設定されていること。
- 陸域及び海域の活断層について、耐震設計上考慮すべき活断層として、笹波沖断層帯の東部と西部が連動した笹波沖断層帯（全長）が考慮されていること。

#### 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、能登半島地震、新潟県中越沖地震の知見を最大限に活用する必要がある。

当特別委員会は、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。

- 検討用地震に不均質震源モデルを考慮した応答スペクトルが設定されていること。また、基準地震動は継続時間、振幅包絡線の経時変化に留意して評価が行われていること。
- 笹波沖断層帯（全長）について、敷地・敷地周辺の地盤物性等を考慮するため、敷地の観測データ等に基づく適切なサイト補正係数（内陸補正

係数を考慮しないこと)が設定され、応答スペクトルが評価されていること。

### 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。さらに、能登半島地震による貴重な観測記録が敷地内で得られている。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ることが重要である。

当特別委員会は、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。

#### ①震源断層のモデル化

- 笹波沖断層帯(全長)について、東部と西部の連動を考慮する等の不確かさを考慮して震源断層が設定され、断層長さに従属するパラメータとして地震モーメント等が設定されていること。
- 笹波沖断層帯(全長)について、断層傾斜角、アスペリティの位置、数及び応力降下量等の震源断層のパラメータが能登半島地震の分析結果や地震調査研究推進本部(以下「地震本部」という。)の「震源断層を特定した地震動の強震動予測手法」(以下「レシピ」という。)等を参照して設定されていること。また、破壊開始点などの震源断層パラメータについて、不確かさが考慮されていること。
- アスペリティの応力降下量は能登半島地震及び新潟県中越沖地震の知見が反映されていること。

上記の震源断層のモデル化は、能登半島地震で得られた知見を最大限に活用したものであり、設定された震源断層パラメータは妥当であるが、地震本部のレシピによるモデル化も基準地震動の妥当性を確認する上で重要であるとの観点から、基準地震動 $S_s$ とは別に下記に基づく断層モデルによる確認用地震動を策定し、基準地震動 $S_s$ の妥当性を確認することとし、北陸電力株式会社とその検討を求めた。

#### (北陸電力株式会社への指示事項)

笹波沖断層帯(全長)の断層モデルによる地震動の評価について、巨視的断層パラメータや微視的断層パラメータは、地震本部のレシピに基づき設定する。ただし、アスペリティの個数や位置、応力降下量の設定については、能登半島地震や新潟県中越沖地震で得られた知見を最大限に活用する。また、破壊開始点はその不確かさから、敷地への影響を考慮して設定する。

その結果、当特別委員会は、以下のこと等を確認した。

- 地震本部のレシピに基づき、また、能登半島地震や新潟県中越沖地震で得られた知見を最大限に活用して確認用地震動が適切に設定されていること。
- 確認用地震動と基準地震動  $S_s-3$  とを比較した結果、確認用地震動のほうが、地震モーメントが小さくなることから、確認用地震動の応答スペクトルの長周期成分は若干小さくなるが、原子炉施設の主たる施設・設備に影響する短周期成分については、ほぼ同等であること。

## ②地震動評価

- 経験的グリーン関数法に用いる要素地震について、地震の規模、震源位置、震源深さ、メカニズム等を考慮した選択が行われている。また、要素地震の各種震源パラメータについては、その妥当性が確認されていること。
- ハイブリッド法による地震動評価について、
  - ①震源から評価地点までの地震波の伝播特性、地震基盤からの増幅特性が地盤調査結果等に基づき適切に評価されていること。
  - ②理論的地震動評価では、深部及び浅部の地下構造モデルが用いられていること。
  - ③地下構造モデルの妥当性が、地震観測記録によって確認されていること。
  - ④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、接続周期が設定されていること。

## (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。

この「震源を特定せず策定する地震動」は、地震本部による「震源を特定しにくい地震」の領域ごとの最大規模、地震発生様式や地域ごとの地震発生層の上限及び下限の深さにより評価した地震規模等に基づき想定した地震動によってその妥当性が検証されていることが必要である。

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。

- 地震発生層の上限及び下限の深さについては、敷地周辺で発生した地震の震源分布、速度構造及びキュリ一点深度等に関する調査や文献を基に設定しており、その考え方は妥当と考えられること。

○特別委員会は、「震源を特定せず策定する地震動」の評価において、この地域で発生する地震の発生様式を基に、地震の最大規模及びそれにより発生する地震動レベルを検証することとした。

北陸電力株式会社は、地震調査委員会(2006)<sup>8</sup>による「震源断層を予め特定しにくい地震」に関する知見等に加え、地震本部のレシピを参考に地震発生層の上端(3 km)から下端(15 km)まで広がる傾斜角60度及び45度の断層幅及びそれに等しい断層長さを持つ震源断層を仮定し、地震規模(マグニチュード)を検討した上で地震の最大規模をM6.8としている。

このことから、「震源を特定せず策定する地震動」として、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て設定した加藤ほか(2004)<sup>9</sup>に基づく応答スペクトルを採用している。

しかし、この北陸電力株式会社の「震源を特定せず策定する地震動」の設定方法に関する説明には合理性が欠けていると判断し、以下の検討を行うこととした。

特別委員会では、「震源を特定せず策定する地震動」のレベルについて検討するため、北陸電力株式会社に対して、震源断層面を敷地直下に想定した断層モデルを用いて検討することを求めた。

これに関して北陸電力株式会社は、M6.8相当の震源断層を敷地直下に想定した場合の地震動レベルを推定するため、断層モデルに基づく検討を行った。具体的には、「震源を特定して策定する地震動」で考慮している地震のうち、M6.8を上回る規模で、かつ敷地近傍に位置する活断層による地震である「眉丈山第2断層による地震」(M7.0)を用い、敷地近傍(直下)に断層が無いことを重力異常図等の分析と併せて確認した上で、眉丈山第2断層の傾斜角を45度とし、震源断層面を敷地直下に想定した断層モデルを用いた。

その結果、推定した地震動レベルは、加藤ほか(2004)に基づく応答スペクトルとほぼ同程度であり、また、基準地震動Ss-1に対して十分小さいことを確認した。

以上のこと等から、「震源を特定せず策定する地震動」が全周期範囲で基準地震動Ss-1を下回ることから、「震源を特定して策定する地震動」による基準地震動で「震源を特定せず策定する地震動」を代表させることは妥当であることを確認した。

### (3) その他

#### ■地震発生層の考え方について

地震発生層の評価は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価において、断層モデルの設定等に重要である。また、震源を特定せず策定する地震動の妥当性を検証するため、その地域で発生する地震の発生様式を考慮した地震の最大規模を推定する上でも重要である。

これは、既に検討がされている柏崎刈羽原子力発電所や志賀原子力発

電所のみならず、他のバックチェックにおいても同様である。

柏崎刈羽原子力発電所や志賀原子力発電所では、地震発生層の上限及び下限の深さは、敷地周辺で発生した地震の震源分布、速度構造及びキュリ一点深度等に関する調査や文献を基に推定している。

地震発生層の下限を決める際には、震源分布やキュリ一点深度等を用いることで概ね問題はないと考える。一方、上限を決める際には、浅部の震源情報は比較的大きな誤差を伴うため、震源分布に加えて地下構造を詳細に把握することが必要であり、特に、敷地周辺の震源分布のデータが少ない場合には高精度な速度構造のデータが必要になると考えられる。

このような観点から、地震発生層の考え方については、今後、統一した考えの下、原子力発電所等のバックチェックの検討を実施することが必要である。

## 2. 3 地盤の安定性及び地震随件事象について

当特別委員会は、地盤の安定性及び地震随件事象について、それぞれ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つつ検討を行った結果、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。

### (1) 地盤の安定性評価

#### 1) 原子炉建屋基礎地盤の支持性能の評価

○原子炉建屋基礎地盤の安定性評価における解析モデルは、地質調査及び地盤調査の結果に基づいて評価された基礎地盤の特性を踏まえて、安全に配慮して合理的に設定されたものであること。また、能登半島地震の観測記録から同定された地盤モデルとの比較等から、地盤調査により地盤物性値が評価されていること。

○基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、想定すべり面におけるすべり安全率及び建屋基礎底面両端の鉛直方向の相対変位・傾斜による支持性能が評価されていること。

#### 2) 敷地近傍の耐震設計上考慮する活断層の変位に伴う基礎地盤の変形の影響評価

活断層の変位に伴う基礎地盤の変形の影響評価は、新耐震指針における要求事項ではない。

しかし、柏崎刈羽原子力発電所においては、新潟県中越沖地震により得られた観測データ等を踏まえ、敷地周辺の活断層による地盤変動量について、くいちがい弾性論に基づく定性的な評価が可能であることが示された。

当特別委員会は、柏崎刈羽原子力発電所の評価結果から、志賀原子力発電所において評価を実施した場合、基礎地盤の大きな変形はないものと推測するが、事業者の自主的な取り組みとして、念のため、原子力施設の耐震安全性に係る不安・懸念への対応に資する観点から、活断層の

変位に伴う基礎地盤の変形の影響評価を行い、その結果を公表することを期待する。

## (2) 地震随件事象等

### 1) 施設の周辺斜面の安定性評価

○斜面法尻から施設までの離隔距離が、斜面の高さの1.4倍以内または50m以内にある斜面を対象とし、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、想定すべり面におけるすべり安全率により耐震安全性を評価しており、その解析結果、周辺斜面は地震時にも安定しており、各施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれはないこと。

### 2) 津波に対する安全性

○既往津波の再現性の確認に用いている北海道南西沖地震津波について、再現性の検討に用いた痕跡値の再整理を求め、痕跡値の吟味（取捨選択）の考え方を確認して数値計算結果の妥当性を確認し、安全性が確保されていることを確認したこと。

なお、今後、既往津波の再現性の数値計算を行う場合には、全ての痕跡値を整理し、客観性のある取捨選択を行う必要があり、痕跡値と計算値の差が大きい場合は、格子間隔を小さくするなど妥当性の向上に努めることが望まれる。

○敷地周辺の津波では、すべりの不均質性が津波高に及ぼす影響が大きいとの観点から、笹波沖断層帯（全長）から想定される地震に伴う津波について、アスペリティを考慮したモデルと津波評価で用いている一様すべりモデル（土木学会(2002)<sup>10</sup>）に基づく結果を比較し、一様すべりモデルによる評価が安全性に配慮した結果となっていること。

なお、敷地近傍の津波の場合は、局所的なすべり（地盤変位）が津波高に及ぼす影響が大きいことから、今後とも、常に最新の知見に留意し、数値計算結果の精度向上に努めることが望まれる。

## 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つつ、また、能登半島地震で得られた知見が、建物・構築物、機器・配管系の解析手法、解析モデル、評価手法等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、機器・配管系に関して、工事認可時、能登半島地震の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。

当特別委員会は、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。

○入力地震動策定の妥当性については、能登半島地震により得られた敷地地盤における観測記録を入力とし、原子炉建屋の応答解析結果を観測記録と比較することにより検討した結果、建屋各階の最大応答加速度、床応答時刻歴及び床応答スペクトル共に、概ね観測記録と整合する評価となっていること。

○入力地震動策定用地盤モデルに関して、解析に使用した地盤物性値等について、工事認可等の際に設定した地盤モデル（工認設計用地盤モデル）と能登半島地震の観測記録から同定した地盤モデル（最適化地盤モデル）を比較した結果について検討した。

工認設計用地盤モデルと最適化地盤モデルのせん断波速度（ $V_s$ ）に大きな違いはないことを確認した。また、これらの伝達関数を比較すると、工認設計用地盤モデルは最適化地盤モデルに比べ地盤の増幅特性が大きめの評価となるモデルとなっている。最適化地盤モデルは、地震観測データの再現としては意味があるが、表面波の影響や入射波と反射波との関係から一般的に減衰特性（減衰定数）が大きくなることが知られており、実際の物性値を反映しているものではないと考えられ、最適化地盤モデルをそのまま設計モデルに反映すべきものではないと考えている北陸電力株式会社の判断は妥当と考える。

○敷地の地盤状況を考慮した入力地震動作成用地盤モデル（地盤FEMモデル）について、表層地盤の影響及び地盤の速度構造の影響を確認するために、成層構造としたモデルとEL-10m以浅の表層地盤を取り去ったモデルについて比較検討した結果、表層地盤の影響を大きく受けていることを伝達関数等により確認した。

また、解放基盤表面の設定に関連して、第3'速度層（建屋直下の一部に存在する高速度層）の存在の影響について、第3'速度層の存否、斜め入射波に対する影響等を検討した結果、第3'速度層

の影響はほとんど見られず、第3'速度層を含む地盤を水平成層構造と見なして支障のないことを確認した。

なお、断層モデルで評価した基準地震動に見られる周期0.6秒付近のピークの発生要因について検討した結果、このピークの発生要因は十分に解明できているとはいえないが、経験的グリーン関数として用いた要素地震の特性を反映したものであり、敷地近傍の広域の深部地下構造に起因する可能性が示唆され、少なくともはざとりに解析作業に起因するものではないことを確認した。

## (2) 建物・構築物について

2号機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、工事認可時に用いたモデル（設計モデル）、能登半島地震の観測記録のシミュレーションに用いたモデル（シミュレーションモデル）及び今回のバックチェックに用いたモデル（バックチェックモデル）に関し、解析条件の違いを踏まえて、能登半島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。

当特別委員会は、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。

○設計モデルを基に能登半島地震時の荷重条件等を反映したシミュレーションモデルは、概ね観測記録と整合すること及びバックチェックモデルは、設計モデルを基にシミュレーションモデルで得られた知見を反映したモデルであること等から、今回のバックチェックに用いる解析モデルとして妥当と考える。

なお、シミュレーション解析結果と観測記録の比較で一部、観測結果が解析値を上回っている場所、周期帯がある。こうした結果が認められる部分については、機器・配管系の評価の際に十分注意する必要があると考える。

○床の柔性の考慮が水平方向の応答に与える影響については、能登半島地震において原子炉建屋の同一階で得られた複数の観測記録に特異な特性が現れていないことを確認した。また、観測記録を用いたシミュレーション解析結果は、屋根部を除き、床を剛と仮定した方が、床の柔性を考慮した解析結果よりも観測記録と整合することを確認した。

○屋根トラスの評価において、水平地震動と鉛直地震動の組合せに組合せ係数法を用いることの適用性について検討した結果、組合せ係数法（組合せ係数0.4）の適用は妥当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。

当特別委員会は、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残留熱除去ポンプ、④残留熱除去系配管、⑤原子炉圧力容器、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。
- 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するとともに、ポンプ、弁等の地震時に動的機能が要求される動的機器について、基準地震動 $S_s$ に対しての動的機能維持評価を実施している。また、制御棒について、基準地震動 $S_s$ に対する挿入性を確認していること。
- 機器・配管系の評価に用いた解析手法及び解析モデルの考え方、SRS法の適用性等について、その根拠や考え方の妥当性を確認した。また、その評価プロセスについて確認した。
- 構造強度評価の評価基準値については、J E A G 4 6 0 1等に準拠した値を用いていること及び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。
- 動的機能維持評価の評価基準値については、J E A G 4 6 0 1に準拠した値及び個別に試験等で妥当性が確認されている値を用いていること及び各機器の基準地震動 $S_s$ による応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認した。

制御棒挿入性については、基準地震動 $S_s$ -1及び $S_s$ -3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。また、基準地震動 $S_s$ -2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を超える結果となったことから、制御棒挿入解析を基準地震動 $S_s$ -2に対して行い、その結果、地震時の制御棒挿入時間がスクラム時挿入時間の設計値を満足することを確認した。

### (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、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。

北陸電力株式会社によると、評価手法及び結果の信頼性に関しては、品質マネジメントシステム（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保証活動として、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。さらに、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としており、適切なQMS体系の下、実施されていると考える。

#### （５）弾性設計用地震動Sdの設定の考え方等

○弾性設計用地震動Sdの設定の考え方等については、弾性設計用地震動Sdを基準地震動Ss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Sdと基準地震動Ssの応答スペクトルの比率（ $S_d/S_s$ ）を0.5とすることを原則としているが、簡易的評価においては、基準地震動Ss-1～Ss-3に対応する弾性設計用地震動の応答スペクトルを包絡するように基準地震動Ss-1に0.77を乗じたもので確認しており、その考え方等は妥当であると考ええる。

○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Sdによる応答レベル、旧耐震指針における基準地震動 $S_1$ 、 $S_2$ 及び静的地震力の下における応答レベルと基準地震動Ss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。

また、機器・配管系については、主要設備について、基準地震動Ssに対する構造強度評価結果とⅢ<sub>A</sub>Sの評価基準値との比較により、弾性設計用地震動Sdに対して概ね弾性状態にあることを確認した。

なお、主要設備以外の機器・配管系については、弾性設計用地震動Sdと基準地震動 $S_1$ 、 $S_2$ 及び静的地震力のもとにおける地震応答荷重や床応答スペクトル等の比較により、許容限界状態との対応関係を今後、報告するとしている。

#### （６）その他

○北陸電力株式会社では、安全上重要な設備の地震時における安全機能の維持をより確かにするため、耐震安全性評価とは別に平成18年11月から平成20年3月にかけて耐震補強工事を実施している。

耐震補強工事を施した機器・配管系については、補強前と補強後における安全裕度等について、旧耐震指針と新耐震指針との連続性との関連等において把握しておくことが重要であり、今後、この点に関して整理・把握することを求める。

なお、耐震補強工事を施した機器・配管系のバックチェックは、補強工事後の機器・配管系について為されたものであること及びその考え方について確認した。

○経年劣化事象の考慮については、当該2号機は、建設時におけるS  
CC対策及び配管減肉対策を実施していること及び運転期間が短い  
ことから、現時点での耐震安全性評価では実施していない。

なお、経年劣化事象については、定期検査時に計画的に実施して  
いる他、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  
価等で状況を確認し、設備健全性の評価に反映していくとしている  
ことを確認した。

### 3. まとめ

当特別委員会は、北陸電力株式会社志賀原子力発電所に係る敷地・敷地周  
辺の地質・地質構造、基準地震動、2号機の耐震安全性及び地震随件事象等の評  
価に関して、①北陸電力株式会社からの保安院に対して行った説明内容の聴取、  
②保安院からの検討状況の聴取を適宜実施するとともに、原資料の確認等を実  
施しつつ検討を進めてきた。また、原子力安全委員会は、断層の連動の可能性  
に関して、専門委員から関連する事項の考え方などについて説明を受け、検討  
を進めてきた。

その上で、今般、保安院から北陸電力株式会社 志賀原子力発電所2号機耐  
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、当特別委員会は、保安院の評価報告は新耐震指針に基づき、北陸  
電力株式会社志賀原子力発電所2号機に係る敷地・敷地周辺の地質・地質構造、  
基準地震動、2号機の耐震安全性及び地震随件事象等に関して適切に評価して  
いると判断する。

保安院は、今後、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  
結果の確認を行うとしている。確認に際しシミュレーション解析結果と観測記  
録の比較で一部、観測結果が解析値を上回っている場所、周期帯があることか  
ら、こうした結果が認められる部分については、機器・配管系の評価の際に十  
分注意して評価・検討をすることを求める。

なお、羽咋沖東撓曲の評価について、海士岬沖小隆起帯から南西に続く背斜  
構造との関連を今後、詳細に検討するとしていることについては、これまでの  
特別委員会の議論や原子力安全委員会の意見等を十分に踏まえた検討を行う  
ことを求める。

今回、北陸電力株式会社が実施した志賀原子力発電所の敷地・敷地周辺の地  
質・地質構造、基準地震動、2号機の耐震安全性及び地震随件事象等の評価は、  
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。

- 
- 1 柏崎刈羽原子力発電所で取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告を踏まえてバックチェック結果の確認において検討すべき事項の追加について（平成20年6月16日原子力安全委員会決定）
  - 2 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結果の中間報告等に係る原子力安全・保安院における検討に際しての意見（平成20年5月16日原子力安全委員会決定）
  - 3 柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告を受けて（平成20年5月22日原子力安全委員会決定）
  - 4 柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動策定に係る原子力安全・保安院における検討に際しての意見（平成20年9月25日耐震安全性評価特別委員会）
  - 5 新耐震指針に基づく既設原子力施設の耐震安全性の確認（バックチェック）に関する検討状況の報告について（平成21年1月8日原子力安全委員会決定）
  - 6 「東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所 敷地・敷地周辺の地質・地質構造及び基準地震動の評価に係る報告書（中間報告）」に対する見解（平成20年12月11日原子力安全委員会決定）
  - 7 東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機の施設健全性評価に関する見解について（平成20年10月31日原子力安全委員会決定）
  - 8 「全国を概観した地震動予測地図」報告書（平成18年9月25日改訂 地震調査研究推進本部 地震調査委員会）
  - 9 加藤研一他：震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル、日本地震工学会論文集 第4巻 第4号、2004、pp.46-86
  - 10 「原子力発電所の津波評価技術」報告書（平成14年2月 土木学会 原子力土木委員会 津波評価部会）

## 検討の経過

委員会名	開催日	主な検討事項
特別委員会	平成 20 年 4 月 2 日	概要説明
WG 2 (第 4 回)	平成 21 年 1 月 6 日	概要説明 能登半島地震の知見について 活断層調査・認定について(陸域)
WG 2 (第 5 回)	平成 21 年 1 月 15 日	活断層調査・認定について(海域) 基準地震動 Ss の策定
WG 2 (第 6 回)	平成 21 年 1 月 19 日	活断層調査・認定について(質疑回答等)
WG 2 (第 7 回)	平成 21 年 1 月 20 日	基準地震動 Ss の策定(質疑回答等)
WG 2 (第 8 回)	平成 21 年 1 月 22 日	活断層調査・認定について(質疑回答等)
作業会合	平成 21 年 1 月 22 日	地震随件事象等
WG 2 (第 9 回)	平成 21 年 1 月 26 日	活断層調査・認定について(質疑回答等)
WG 2 (第 10 回)	平成 21 年 1 月 27 日	施設の耐震安全性(建物、入力地震動)
作業会合	平成 21 年 1 月 28 日	地震随件事象等
作業会合	平成 21 年 1 月 28 日	活断層の連動性
WG 2 (第 11 回)	平成 21 年 1 月 29 日	基準地震動 Ss の策定(地震発生層、震源を特定せず策定する地震動、断層モデル)
特別委員会	平成 21 年 1 月 30 日	WG 2 検討の状況報告
WG 2 (第 12 回)	平成 21 年 2 月 2 日	活断層調査・認定、基準地震動 Ss の策定のまとめ
WG 2 (第 13 回)	平成 21 年 2 月 3 日	施設の耐震安全性(機器、配管系)
作業会合	平成 21 年 2 月 3 日	地震随件事象等
特別委員会	平成 21 年 2 月 6 日	WG 2 検討報告(活断層調査・認定、基準地震動 Ss の策定)
WG 2 (第 14 回)	平成 21 年 2 月 9 日	施設の耐震安全性(質疑回答等)
WG 2 (第 15 回)	平成 21 年 2 月 13 日	施設の耐震安全性(質疑回答等)
特別委員会	平成 21 年 2 月 13 日	原子力安全・保安院の評価結果 見解のとりまとめ
特別委員会	平成 21 年 2 月 17 日	見解のとりまとめ