

平成23年東北地方太平洋沖地震から得られた地震動に関する
知見を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき
事項（中間とりまとめ）に基づく報告について

1. はじめに

当社は、平成18年9月19日付けで原子力安全委員会により「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「耐震指針」という。）が改訂されたことに伴い、原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）による「「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設の耐震安全性の評価等の実施について」（平成18・09・19 原院第6号 平成18年9月20日）に基づき、改訂された耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設の耐震安全性評価（以下「耐震バックチェック」という。）を実施している。

これまでに、活断層評価、基準地震動 S_s の策定及び主要な施設の耐震安全性評価については、平成20年3月31日に保安院に耐震安全性評価結果中間報告書を、平成21年3月31日に中間報告書（追補版）を提出し、国による審議を経て、平成22年11月25日に保安院に「耐震安全性評価結果（原子力安全・保安院での審議状況の反映）」を提出し、平成22年11月29日に「耐震安全性に係る評価について（基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価）」を受領した。

その後、平成24年1月27日付け「平成23年東北地方太平洋沖地震から得られた地震動に関する知見を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項（中間とりまとめ）について（指示）」（平成24・01・26 原院第1号）（以下、「指示文書」という。）により、内陸地殻内の活断層の連動性の検討において、活断層間の連動性を否定していたものに関し、その連動性の可能性について検討するように指示を受けた。

本報告書は、「指示文書」に基づき、活断層間の連動性に関する検討結果をとりまとめたものである。

2. 検討の方法

美浜発電所、大飯発電所、高浜発電所周辺の内陸地殻内の活断層の連動性の検討において、活断層間の離隔距離が約5キロメートルを超える活断層等その連動を否定していたものに関し、地形及び地質構造の形成過程（テクトニクス）、応力の状況等を考慮した連動の可能性について検討を行った。

具体的には、地形及び地質構造の形成過程（テクトニクス）の観点からは、既往の調査結果について再検討した。また、応力の状況等の観点からは、活断層の連動が活断層同士に働く力学的な相互作用によって生じる現象であることに着目し、数値解析に基づき検討を行った。すなわち、発電所周辺の活断層をモデル化し、任意の断層が破壊した時に周辺の断層に与える力学的相互作用を応力変化量 ΔCFF （クーロン破壊関数の変化）として求めた。

3. 検討結果

(1) 地形及び地質構造の形成過程（テクトニクス）からの検討（添付資料1）

美浜発電所、大飯発電所及び高浜発電所の敷地周辺における主な断層の分布を「若狭湾周辺の主な断層の分布」に示す。

1) 連動（耐震バックチェックでは同時活動）を考慮している活断層

和布一干飯崎沖～甲楽城断層，大陸棚外縁～B～野坂断層及び FO-A～FO-B 断層については，連動を考慮している。

2) 連動の可能性を検討した活断層

①柳ヶ瀬断層とウツロギ峠北方～池河内断層

- ・柳ヶ瀬断層は，明瞭な変動地形を呈し，褶曲軸の屈曲部に位置する直線性の高い断層であるが，ウツロギ峠北方～池河内断層の陸域は，変動地形は雁行配列する3条のリニアメントからなり，断層トレースの直線性は低く，断層周辺の地質分布も大きな変位は受けておらず，両断層周辺の地形・地質状況が大きく異なる。
- ・地表地質調査で両断層を連続させる活断層は認められない。
- ・柳ヶ瀬断層を地質分布を規制する主断層と考えると，ウツロギ峠北方～池河内断層がこれから分岐したものとした場合に，両断層の関係は，断層帯の区分の考え方に照らして，断層線の midpoint の位置が主断層から 5km 以上はなれている走向を異にする断層に相当する。

②浦底～内池見断層と敦賀断層

- ・両断層の走向は大きく異なり，両断層とも高角度傾斜の断層であり，浦底～内池見断層は北東側傾斜，敦賀断層北部は南東側傾斜と推定されることから，地下深部では離隔距離が大きくなる関係にある。
- ・力学的には，一方の断層の活動に伴い，他方の断層活動が抑制される関係にある。
- ・敦賀断層を，地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下「地震本部」という。）（2003a）¹⁾ では「湖北山地断層帯北西部」として，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（以下「産総研」という。）の活断層データベース²⁾ では「敦賀起震断層」として区分している。
- ・敦賀断層の北部と南部では地形・地質の状況が異なり，南部で確認された断層は後期更新世以降に活動しているが，北部では断層は確認されていない。
- ・浦底～内池見断層の南端部付近（岡田他（2000）³⁾ が示す田結・内池見に相当）と敦賀断層を一連の活断層とする文献はない。
- ・岡田（2000）⁴⁾ のボーリング調査結果等から田結・内池見と敦賀断層北部の最新活動時期は異なり，後期更新世における累積変位量には差異があると考えられる。

③浦底－内池見断層と白木－丹生断層

- ・浦底－内池見断層が全体としてはNW-SE 走向で左横ずれの活断層であるのに対し、白木－丹生断層がN-S 走向の東側隆起で縦ずれの活断層であり、両者の走向は大きく異なる。
- ・両断層の接近している区間には、海上音波探査で両断層がつながる構造は認められない。

④C 断層と白木－丹生断層

- ・C 断層は、断層群（北部に2条のN-S 走向の断層と南部の1条のNNE-SSW 走向の断層）の分布状況から、一連の断層として評価しており、海上音波探査では、傾斜は高角である。
- ・白木－丹生断層は、N-S 走向で、海上音波探査やボーリング調査の結果では、傾斜角は概ね60°である。
- ・C 断層と白木－丹生断層は走向・傾斜の類似した逆断層であり、C 断層もしくは白木－丹生断層の一方の断層の活動に伴い、その周辺に蓄積された応力（ひずみ）が解放されると考えられる。

⑤C 断層と三方断層

- ・両断層の間に、地震本部（2003b）⁵⁾ 及び産総研の活断層データベース²⁾ においても起震断層と評価している「野坂断層帯」（産総研では野坂起震断層とし、当社の野坂断層～B 断層にほぼ相当する）が分布する。
- ・C 断層の南端は、海上音波探査で、後期更新世以降の活動が認められない測線を南端として評価しており、B 断層につながる構造は認められない。
- ・三方断層の北端は、海上音波探査で、累積変位量が終息し、後期更新世以降の活動が認められない測線を北端として評価しており、B 断層につながる構造は認められない。
- ・地震本部（2003c）⁶⁾ では「三方断層帯」、産総研の活断層データベース²⁾ では「三方起震断層」と評価している。

⑥三方断層と花折断層

- ・三方断層と花折断層の間には、走向の異なる熊川断層が分布する。
- ・花折断層の傾斜が鉛直であるのに対して、三方断層の傾斜は東傾斜であることから、深部で断層が離れる関係にある。
- ・西山他（2005）⁷⁾ では、寛文二年（1662）若狭・近江地震では、巳刻頃（午前9時～午前11時頃）に日向断層などが逆断層で活動し、しばらく時間をおき午刻頃（午前11時～午後1時頃）に花折断層北部が右横ずれ活動したと解釈する方が合理的としている。
- ・両断層の間に分布する熊川断層のトレンチ調査では、寛文地震時の活動は認められなかった。
- ・地震本部（2003c）⁶⁾ では「三方断層帯」と「花折断層帯」として、また産

総研の活断層データベース²⁾では「三方起震断層」と「花折起震断層」として、異なるものとして評価している。

⑦大陸棚外縁～B～野坂断層と敦賀断層

- ・地震本部（2003a）¹⁾で湖北山地断層帯北西部と評価される敦賀断層と、野坂断層とは、走向が大きく異なり、T字状に分布する。
- ・野坂断層と敦賀断層は、地震本部（2003a）¹⁾、(2003b)⁵⁾ではそれぞれ「野坂断層帯」と「湖北山地断層帯北西部」として、また産総研の活断層データベース²⁾では、「野坂起震断層」と「敦賀起震断層」として、異なるものとして評価している。

⑧大陸棚外縁～B～野坂断層と白木－丹生断層

- ・大陸棚外縁～B～野坂断層と白木－丹生断層の走向が大きく異なる。
- ・野坂断層及びB断層南部の傾斜が鉛直であるのに対して、白木－丹生断層の傾斜は東傾斜であることから、深部で断層が離れる関係にある。
- ・野坂断層とB断層を、地震本部（2003b）⁵⁾では「野坂断層帯」として、産総研の活断層データベース²⁾では「野坂起震断層」として、評価している。

⑨大陸棚外縁～B～野坂断層とC断層

- ・大陸棚外縁～B～野坂断層とC断層の走向が大きく異なる。
- ・野坂断層及びB断層南部の傾斜が鉛直であるのに対して、C断層の傾斜は東傾斜であることから、深部で断層が離れる関係にある。
- ・野坂断層とB断層を、地震本部（2003a）¹⁾では「野坂断層帯」として、産総研の活断層データベース²⁾では「野坂起震断層」として、評価している。

⑩大陸棚外縁～B～野坂断層と三方断層

- ・大陸棚外縁～B～野坂断層と三方断層の走向が大きく異なる。
- ・三方断層の北端は海上音波探査で、累積変位量が終息し、後期更新世以降の活動が認められない測線を北端として評価しており、B断層につながる構造は認められない。
- ・地震本部（2003b）⁵⁾、(2003c)⁶⁾では「野坂断層帯」と「三方断層帯」として、産総研の活断層データベース²⁾では「野坂起震断層」と「三方起震断層」として、異なるものとして評価している。

⑪FO-A～FO-B断層と熊川断層

- ・FO-A断層の南端は、海上音波探査で、後期更新世以降の活動が認められない測線を南端と評価している。
- ・熊川断層の西端は、反射法地震探査、ボーリング調査等の調査の結果、後期更新世以降の地層に変位・変形が見られないとして、小浜市和久里付近と評価している。

- ・ FO-A 断層と熊川断層の間の小浜湾で実施した海上音波探査の結果，後期更新世以降の地層に両断層が連続するような構造は認められない。

⑫和布一干飯崎沖～甲楽城～柳ヶ瀬～鍛冶屋～関ヶ原断層

- ・ 甲楽城断層と柳ヶ瀬断層の間には，文献^{3), 8), 9), 10), 11)}に示されている山中断層が位置しているが，ボーリング調査，大規模剥ぎ取り調査の結果では活断層が認められない。
- ・ 柳ヶ瀬断層と鍛冶屋断層間で実施した反射法地震探査，ボーリング調査の結果では活断層が連続しない。
- ・ 鍛冶屋断層と関ヶ原断層の間では，変動地形の可能性のある地形は連続的でない。

⑬ウツロギ峠北方～池河内断層と浦底～内池見断層

- ・ ウツロギ峠北方～池河内断層は，敦賀湾内の海底地層（C層：後期鮮新世～中期更新世）の台地状隆起部の東縁に位置している。
- ・ 浦底～内池見断層は，敦賀湾内の海底地層（C層）の台地状隆起部の西縁に位置している。
- ・ 両者の間に認められる台地状隆起部には，連続した活断層は認められない。

(2) 応力の状況等からの検討（添付資料 2）

本検討では，活断層を図-1に示すようにモデル化し検討を行った。
活断層同士の間働く力学的な相互作用については， ΔCFF によって評価した。

$$\Delta CFF = \Delta \tau - \mu \Delta \sigma_n$$

$\Delta \tau$: すべり方向のせん断応力の変化
 $\Delta \sigma_n$: 法線応力の変化
 μ : 静摩擦係数

計算手順については，次の通りである（図-2参照）。

Step1: 地盤内初期応力の設定

計算開始時点において，各活動セグメントに初期応力を与える。この値は不明であることから，ゼロから破壊のしきい値の間で一様乱数に従って設定した。

Step2: 活動セグメントの応力蓄積

各活動セグメントにバックスリップを与え，応力の変化を評価する。
本検討では，活断層調査結果等から得られた平均変位速度を与えるものとした。

Step3: 破壊判定

応力蓄積による自発的な破壊を判定する。
バックスリップにより活動セグメントに蓄積した応力が，しきい値を超えた場

合、破壊したものと判定する。

Step4: 破壊セグメントの応力解放と周辺セグメントの応力変化の算定

破壊した活動セグメントでは、蓄積応力をゼロとするとともに、他の活動セグメントの応力蓄積量を変化させる。

Step5: 連動の判定

活動セグメント間の相互作用の結果、蓄積応力がしきい値を超えた活動セグメントがあった場合、連動したものと判定する。

破壊する活動セグメントがなくなるまで、Step4～5を繰り返す。

全ての活動セグメントの蓄積応力がしきい値以下であれば、次の時間ステップに進む。

計算パラメータについては、不確かさを考慮した（表－1及び表－2）。なお、全ての計算パラメータを組み合わせた場合、総ケース数が膨大になることから、本検討では、組み合わせの大部分を占める傾斜角について、モンテカルロ法によってランダムに組み合わせケースを抽出した（傾斜角の組み合わせ 300 ケース×その他パラメータの組み合わせ 48 通り＝14,400 ケース）。

また、計算期間については、地盤の初期応力が計算結果に与える影響が十分小さいと判断された 200 万年間に相当する期間の繰り返し計算を行った。

検討結果については、計算期間内における連動の発生回数を求め、平均的な活動間隔として表現した。

検討の結果、着目した活断層同士が連動する可能性は極めて低いと判断した（表－3）。

(3) 総合評価

連動の可能性を検討した活断層について、地形及び地質構造の形成過程（テクトニクス）、応力の状況等を考慮しても新たに連動を考慮する必要はないと評価した。

4. 今後の対応

今後も、活断層の連動に関する情報収集に努め、新たな知見については今後の評価に適切に反映してまいりたい。この観点から、添付資料 3 に示すように熊川断層周辺、柳ヶ瀬断層南方等において調査（半年程度）を実施し、データの拡充を図ることとする。

以上

【参考文献】

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003a)：湖北山地断層帯の長期評価について
- 2) 産業技術総合研究所 活断層データベース
<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/>
- 3) 岡田篤正・東郷正美編(2000)：近畿の活断層，東京大学出版会
- 4) 岡田篤正(2000)：敦賀市東方，中池見凹地の地形・地質調査(概要版)，大阪ガス(株)敦賀 LNG 基地建設予定地地質調査結果説明会資料
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003b)：野坂・集福寺断層帯の長期評価について
- 6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003c)：三方・花折断層帯の長期評価について
- 7) 西山昭仁・小松原琢・東幸代・水野章二・北原糸子・武村雅之・寒川旭(2005)：活断層調査と文献史料から推定した寛文二年(1662)若狭・近江地震の起震断層と震源過程，歴史地震，20，p.257-266
- 8) 活断層研究会編(1991)：新編 日本の活断層 分布図と資料，東京大学出版会
- 9) 中田高・今泉俊文編(2002)：活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版会
- 10) 杉山雄一・栗田泰夫・吉岡敏和(1994)：「柳ヶ瀬－養老断層系ストリップマップ」(10万分の1)，工業技術院地質調査所
- 11) 福井県(1997)：平成8年度地震調査研究交付金 柳ヶ瀬断層帯(柳ヶ瀬断層，山中断層，甲楽城断層)に関する調査 成果報告書

【添付資料】

- 添付資料1 地形及び地質構造の形成過程(テクトニクス)からの検討
- 添付資料2 応力の状況等からの検討
- 添付資料3 データ拡充のための調査の実施