

東通原子力発電所
敷地内断層の活動性等の評価に係る
追加地質調査報告書

平成26年1月

東北電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 敷地内の断層に関する当社の評価と有識者会合における論点	2
2.1 敷地内の断層に関するこれまでの当社の評価	2
2.2 有識者会合における論点	5
3. 調査結果ならびに評価	7
3.1 敷地内の断層の活動性について	7
3.1.1 活動性の検討	7
3.1.1.1 F－3断層の活動性（横ずれについて）	7
3.1.1.2 F－9断層の活動性（変動地形，累積性について）	12
3.1.1.3 変動地形の可能性がある指摘された地形	17
3.1.1.4 断層破砕部の固結状況	22
3.1.1.5 断層の地下深部への連続性	24
3.1.2 第四系に認められる変状と断層との関連の検討	27
3.1.3 敷地内の断層の活動性の評価	35
3.2 原子炉建屋設置位置付近の断層について	37
3.3 第四系に認められる変状の成因について	42
4. 総合評価	54
5. 専門家からのご意見について	56

参考．敷地内の断層の評価に関する経緯

参考文献

表及び図

添付資料

添付資料－1	調査の概要
添付資料－2	F－3断層の活動性
添付資料－3	F－9断層の活動性
添付資料－4	変動地形の可能性のある地形
添付資料－5	断層の破砕部固結状況，地下深部への連続性
添付資料－6	第四系に認められる変状と断層との関連
添付資料－7	第四系に認められる変状の成因
添付資料－8	原子炉建屋設置位置付近の断層
添付資料－9	主要な断層以外の断層の性状

1. はじめに

東通原子力発電所の敷地内の断層については、原子力規制委員会「東北電力東通原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合」（以下、「有識者会合」という。）において、『主要な断層の多くが後期更新世以降に活動した可能性が否定できないことから、耐震設計上考慮する活断層である』との見方が「東北電力株式会社東通原子力発電所の敷地内破碎帯の評価について（案）」（平成 25 年 5 月 17 日有識者会合資料 東通・現調 7-1）（以下、「評価書案」という。）に示されている。

当社は、平成 8 年の原子炉設置許可申請時より、膨大な地質調査データから、断層破碎部の性状や地下深部の構造等を含めた多面的、総合的な検討を実施した結果、『敷地内の断層は耐震設計上考慮すべき活断層ではなく、敷地内に見られる第四系の変状は、断層活動に起因するものではない』と評価し、その後も新知見等を踏まえながら、データの拡充・蓄積等を行い、この評価が変わるものではないことを確認してきている。

平成 23 年 11 月に、当時の原子力安全・保安院（以下、「保安院」という。）から当社に対し、『東通原子力発電所敷地内断層の活動性等に関する評価を行うこと』との指示がなされた。当社は、その後の国の審議の状況も踏まえ、平成 24 年 7 月より「東通原子力発電所敷地内断層の活動性等の評価に係る追加地質調査」を実施してきたが、有識者会合における審議等を踏まえ、平成 25 年 2 月、4 月、7 月に、調査計画を順次変更して調査の追加等を行い、地質調査を進めてきた。

本報告書は、この追加地質調査の結果を中心に、これまでの知見も取り入れながら、敷地及び敷地の周辺も含む地質・地質構造の広範かつ詳細な総合解析・検討を行い、有識者会合での議論等も踏まえ、「敷地内断層の活動性等」の評価を取りまとめたものである。

2. 敷地内の断層に関する当社の評価と有識者会合における論点

2.1 敷地内の断層に関するこれまでの当社の評価

有識者会合が開催される以前における、敷地内の断層の活動性等に関する当社の評価の概要は以下のとおりである。当社は、原子炉設置許可申請時の安全審査（平成8年～10年）において妥当なものであるとされた評価が変わるものではないことを確認してきている。

評価の概要を示すにあたり、基本的な情報として、敷地の地質図等を第2.1-1図～第2.1-6図に、地質層序表を第2.1-1表、第2.1-2表に示す。

敷地の地形及び地質

東通原子力発電所の敷地は、下北半島の太平洋側のほぼ中央部に位置し、主として標高約10m～約40mの台地からなり、西側は丘陵、東側には海岸線に沿って砂丘が発達している。敷地には、中位段丘面の M_1 面、 M_1' 面、 M_2 面、低位段丘面の L_1 面及び扇状地面が識別される。敷地には地すべり地形は認められない。

敷地の地質は、下位より新第三系中新統の猿ヶ森層、泊層、蒲野沢層及びこれらを覆う第四系より構成される。また、泊層に貫入する安山岩岩脈が認められる。泊層は安山岩溶岩、火山碎屑岩等より構成され、下部層と上部層に区分される。蒲野沢層は砂岩、泥岩、礫岩等より構成される。第四系は、上部更新統の段丘堆積物及び扇状地堆積物並びに完新統の崖錐堆積物、低地堆積物、新砂丘堆積物及び海浜堆積物に区分される。段丘堆積物は、 M_1 面段丘堆積物、 M_1' 面段丘堆積物、 M_2 面段丘堆積物、 L_1 面段丘堆積物等に細区分され、粘土層あるいはローム層中に、洞爺火山灰層（約11.5万年前～約11.2万年前^{*1}）、阿蘇4火山灰層（約9万年前～約8.5万年前^{*1}）、十和田レッド軽石層（約8万年前^{*1}）及び十和田ビスケット1火山灰層（約3.2万年前^{*1}）が確認されている。各段丘堆積物と火山灰の層位関係から、 M_1 面は南関東の下末吉面（MIS5e^{*2}）に、 M_2 面は小原台^{おぼらだい}面（MIS5c^{*2}）に、 L_1 面は三崎面^{みさき}（MIS5a^{*2}）に対比される。

- ※1 火山灰層の降灰年代は、原子炉設置許可時点では以下のとおりとなっている。
洞爺火山灰層（約 10 万年前～9 万年前）、阿蘇 4 火山灰層（約 7 万年前）
十和田レッド軽石層（約 6 万年前）、十和田ビスケット 1 火山灰層（約 3.3 万年前）
- ※2 MIS は、海洋酸素同位体ステージ（Marine Isotope Stage）の略。5e は概ね 12 万年前～13 万年前、5c は概ね 10 万年前、5a は概ね 8 万年前に相当する。

敷地の地質構造及び断層

敷地の新第三系の分布の特徴としては、泊層上部層分布域に地塁状をなして泊層下部層が分布し、半地溝状～地溝状をなして蒲野沢層が分布する。新第三系中には、泊層と蒲野沢層の境界をなす主要な断層として F-1 断層～F-10 断層が認められる。主要な断層は、主に NNE-SW～NE-SW 方向で比較的連続性が認められる変位量の大きな高角度の正断層で、これに直交する WNW-ESE～NW-SE 方向の水平引張応力状態下で形成された断層であり、新第三紀鮮新世末期以降の東北日本はほぼ WNW-ESE 方向の水平圧縮応力状態下にあったとされていることから、その形成時期は少なくとも新第三紀鮮新世以前であるとした。なお、基盤の泊層及び蒲野沢層の地質構造に、主要な断層が、新第三紀鮮新世以降の水平圧縮応力状態下で反転して再活動した構造は認められない。

また、敷地内には、その他の断層として、概ね同一地層中に発達し、比較的連続性に乏しく、変位量及び破碎幅の小さい f-a 断層～f-p 断層が確認される。さらに、変位量、破碎幅が極めて小さく、走向方向及び傾斜方向ともに連続性に乏しい小断層が認められる。

敷地内の第四系に認められる変状

敷地内の断層の一部には、断層を被覆する第四系に、第四系基底面の小規模な段差、破碎部粘土の第四系への注入、第四系中の小断裂及び撓み（以下、これらを「変状」という。）が認められる箇所がある。この変状については、

- ・変状が断層の走向方向の連続性に乏しいこと
- ・段差及び小断裂のずれの量が小規模で累積性が認められないこと
- ・段差及び小断裂のずれの方向が新第三系中の断層の変位方向と逆のも

の多いこと

- ・ 基盤中で深部に連続しない断層にも変状が認められること

等の特徴があり，新第三系中の断層との系統的な関連性が認められないことから，構造的な原因によって形成されたものではなく，岩盤劣化部の形成，海水準の変動及びこれに伴う地下水位の変化等により岩盤表層部付近の一部に形成されたものと評価している。

敷地内の断層の活動性

敷地内の断層の形成時期は新第三紀鮮新世以前であり，第四系基底面に連続性のある段差が認められないこと，中位段丘面にリニアメント等が認められないこと，断層を被覆する第四系の変状には，断層との系統的な関連性が認められないこと等から，少なくとも中位段丘面形成期以降の活動性はなく，耐震設計上考慮すべき活断層ではないと評価している。

2.2 有識者会合における論点

有識者会合における主な論点として、平成25年5月17日時点の評価書案では、以下のことが示されている。

(1) 論点1：敷地内の断層の活動性について

[評価書案の主旨]

『F－3断層，F－9断層及びその他複数の敷地内断層は，後期更新世に活動した断層である可能性が否定できない』

敷地内の断層の活動性について，

- ・敷地内には後期更新世の地層を切る断裂群が分布し，全体として長さ5 km以上の断裂帯を形成していること（第2.2-1図）
- ・F－3断層は，横ずれを伴う可能性があること（第2.2-2図，第2.2-3図）
- ・F－9断層は，断層運動によって断層の東側が隆起した可能性があること（第2.2-4図）及び累積性を有する可能性があること（第2.2-5図）
- ・敷地内には断層変位地形^{※1}が認められること（第2.2-6図，第2.2-7図）
- ・断層破碎部の固結状況について，根拠，データ等が不明確で，断層の活動性の否定が困難であること
- ・反射法地震探査のデータ処理の説明，地質構造解釈が不十分で，断層の地下深部への連続性の否定が困難であること

等から，F－3断層，F－9断層及びその他複数の敷地内断層は後期更新世に活動した断層である可能性が否定できないとしている。

※1 評価書案では「断層変位地形」とされている。引用箇所のみこの用語を用いることとし，これ以外については「変動地形」を用いることとする。

(2) 論点 2 : 原子炉建屋付近を通る f - 1 断層及び f - 2 断層について

[評価書案の主旨]

『原子炉建屋付近の断層（f - 1 断層，f - 2 断層）の評価については，今後実施される調査結果に基づき安全性を判断する』

原子炉建屋付近を通る f - 1 断層及び f - 2 断層は，F - 10 断層，東京電力株式会社（以下，「東京電力」という。）東通原子力発電所敷地内の L 系断層を考慮すると慎重な検討が必要であり，これらの評価については，今後，東北電力により実施される調査結果に基づき安全性を判断するとしている。

(3) 論点 3 : 第四系の変状の成因について

[評価書案の主旨]

『第四系の変位・変形の主な成因を膨潤とする説明は合理的ではない』

第四系の変状の主な成因が，粘土鉱物を含む基盤岩や断層内物質が，地下水位の上昇に伴い水分を含み膨張した「膨潤」であるとする説明は，変状形成，類似事例等に関する検討，調査結果が示されていないこと等から合理的ではないとしている。

3. 調査結果ならびに評価

3.1 敷地内の断層の活動性について

本報告書では追加地質調査の結果から、何らの予断を持たず敷地内の断層の活動性のそれぞれの根拠について現地で確認した事項を順次検証し、後期更新世の地層の変位・変形が断層活動によるものかどうかを総合的に評価することとした。

具体的には、横ずれ主体の断層活動の有無、変動地形の有無、断層破碎部の状況、地下深部への連続性等を確認した上で、第四系に認められる変状と断層との関連についても検討を行った。これにより、敷地内断層の活動性の評価を行った。

3.1.1 活動性の検討

3.1.1.1 F－3断層の活動性（横ずれについて）

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、『敷地内の断層については、F－3断層も含めて、トレンチ調査、ボーリング調査等による断層面、断層破碎部の状況等から、条線の方法は傾斜方向（縦方向）が卓越していること（第3.1-1図）、明瞭なせん断構造は認められないこと等から、横ずれ断層としての活動はない。また、敷地内の主要な断層は、少なくとも新第三紀鮮新世以前に形成された比較的連続性が認められる変位量の大きな正断層であり、第四紀後期に繰り返し活動したような地質構造も認められず、横ずれによる断層活動も含め、敷地内の断層の活動性はない』と評価していた。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、Tr-28トレンチ壁面において、『F－3断層は、断

層を被覆するM₁面段丘堆積物（約12万年前～約13万年前）に変位・変形が認められ、横ずれ断層運動に特徴的な花卉構造に類似した多数の小断裂※¹が認められること、断層を被覆する砂礫層が断層沿いの基盤中に深く落ち込み、断層に取り込まれた扁平礫の長軸が断層に平行に並ぶように配列している構造が確認されること』（第2.2-2図）から、F－3断層は『単純な正断層あるいは逆断層ではなく、縦ずれより大きな横ずれがあったと考えられ、逆断層センスを伴う横ずれ断層の活動が認められることから、後期更新世以降に活動した断層である可能性が否定できない』旨の指摘が評価書案に示された。

※1 評価書案では「小亀裂」「小断裂」の両記載があるため、「小断裂」を用いる。

c. 追加地質調査

花卉構造については、一般的に横ずれ運動に伴う局地的な圧縮応力あるいは引張応力によって形成される岩盤中から連続して見られる構造であり、圧縮応力の場合は逆断層変位、引張応力の場合は正断層変位の構造になるものであり、両者は排他的であって混在することはない。当社としては、Tr-28トレンチ壁面で見られる構造は、逆断層変位と正断層変位の両方が認められることから、厳密には花卉構造ではなく、砂礫層の落ち込みも、断層箇所以外においても不規則な堆積状況が認められることから侵食・堆積作用によるものと判断していた。

また、当社は、有識者会合において、F－8断層の延長部にあたる東京電力敷地のH－2断層において東京電力が実施した第四系の変状の水平掘削面調査結果を引用し、すべてのフェーズ（水平掘削面）において横ずれ変位が見られないこと（第3.1-2図）、第四系中に認められる低角の逆断層と高角の正断層が混在する構造は、基本的には縦ずれ成分卓越の変形構造で説明できることを示した一般財団法人電力中央研究所の模型実験結果（第3.1-3図）等により、横ずれ断層ではないことを説明してきたところである。

しかし、F－3断層が、横ずれ断層として活動したものであるかどうかを確認することは、敷地内の断層の活動性の評価にあたり重要と判断し、有

識者会合の指摘を踏まえ、横ずれの断層活動の有無等を詳細に検討するため、F－3断層が通る当社敷地内のTr-28トレンチにおいて、水平掘削面調査、採取試料の詳細分析等を実施した。

水平掘削面調査は、F－3断層直上において、Tr-28 トレンチから北側及び南側の2ヶ所で実施した。第3.1-4図にTr-28 トレンチの既往の調査結果、第3.1-5図(1)(2)に水平掘削面調査の調査位置図及び断面図を示す。F－3断層の破碎部を含む十分な幅（北側、南側とも約15m）と走向方向の延長（北側約20m、南側約25m）を確保し、上層の第四系から基盤まで、また、断層破碎部とその周辺を、約20cm～約30cmの深さごと（総掘削深さは、北側、南側とも約5m）に順次水平に掘削しながら掘削面の観察を行うとともに、第四系中の小断裂の変位の方角等を立体的に確認するための3次元画像解析、礫の配列に関する分析等の詳細調査を行った。

(2) 調査結果

a. 花卉構造状の小断裂の状況

水平掘削面各面の写真及びスケッチ図を第3.1-5図(4)～(22)に、北側と南側を合わせたスケッチ図を第3.1-5図(23)～(32)に、第四系基底面の等高線図を第3.1-5図(33)(34)に示す。

有識者会合が、『横ずれ断層運動に特徴的な花卉構造に類似する』とした砂礫層中の小断裂を水平掘削面全体で見ると、F－3断層に概ね平行で直線的であり、系統的な雁行配列や斜交するせん断面等の大きな横ずれを示唆する断裂は認められない（第3.1-5図(5)～(10)（P2N面～P4下N面）、第3.1-5図(15)～(19)（P2S面～P4下S面）、第3.1-5図(24)～(29)（P2面～P4下面））。なお、これらの断裂群の走向については、北側の一部の水平掘削面（第3.1-5図(7)（P3N面）等）で、右ステップのような一定のパターン配列が生じているとの見方が現地調査において示されたが、さらに下方に掘り込んでみると、これらの断裂群は、基盤の凹凸（高低差）や基盤直上に分布する巨礫に規制されて発達しており、F－3断層による系統的なずれの動きとは無関係である（第3.1-5図(9)

～(13)(33))。

第四系中の小断裂により切断された風化礫には、水平掘削面では横ずれに見える箇所もあったが、ブロックサンプリングした3次元X線CT画像解析によれば、この礫は主に鉛直変位したもので、その結果、同一平面上では横ずれとして見えたものであることを確認した(第3.1-6図(1)(2))。

砂層葉理には近接して左ずれ及び右ずれが混在して見える箇所があり(第3.1-7図)、このことは鉛直変位が主体であることを示唆している。また、砂層葉理が水平にずれているように見える箇所もあるが、当該箇所のブロックサンプリングの3次元X線CT画像解析によれば、ごく緩く傾斜する葉理が縦にずれることで説明する方がより自然であり、大きな横ずれを想定する必然性はない(第3.1-6図(3))。

低角度の逆断層型の小断裂に見られる条線方向は、概ね傾斜方向(縦方向)で、横ずれの特徴は認められない(第3.1-8図)。

以上のことから、有識者会合が指摘する『花卉構造に類似した多数の小断裂群』については、小断裂の平面的な配列、変位方向等を詳細に調査した結果、花卉構造ではないことを確認した。

Tr-28 トレンチ壁面で見られる花卉構造に類似した多数の小断裂群は、逆断層変位と正断層変位の両方が見られることから、厳密には花卉構造ではないとの専門家の見解をいただいております、これは当社の従来からの見解と同様のもので、今回の水平掘削面調査でも確認した(見解書(1))。

b. 礫の配列、断層破碎部とその周辺の状況

各水平掘削面においてF-3断層直上とその周囲の礫は、断層の走向とは無関係に堆積したような堆積構造を示しており、横ずれ断層運動を受けたような長軸の一定方向の配列、水平回転を受けた痕跡等も認められない。また、断層破碎部の礫を取り巻く砂、粘土中にも、水平方向の運動を示す痕跡は認められない(第3.1-5図(5)～(12)(15)～(21))。なお、断層活動により、断層周辺の礫が断層の運動方向に引きずりを受け

て、礫の長軸が断層方向に揃う現象として、逆断層でみられる事例を第 3.1-9 図に示す。

上層の砂層から下層の断層破碎部までの各水平掘削面において、扁平礫の長軸の方向性を分析した。その結果、長軸のオリエンテーションは、どの掘削面においても特定の方向の集中は認められず多様であり、定向性は認められない（第 3.1-10 図）。

水平掘削面で確認された F-3 断層破碎部の線形は直線性に乏しく、走向方向に数 m 程度の波長で緩やかに湾曲・屈曲している（第 3.1-5 図 (11)～(13) (P5N 面～P6N 面), 第 3.1-5 図 (20)～(22) (P5S 面～P6S 面)）。横ずれ断層では、このような範囲で湾曲・屈曲することは不自然であり、F-3 断層は縦ずれ変位が優勢であることを示唆している。

断層破碎部周辺の蒲野沢層上面にはテーブル状～島状の凸部とその周辺に溝状の凹地が見られる（第 3.1-5 図 (33) (34)）。また、断層破碎部周辺の掘削面を観察した結果、蒲野沢層の溝状の凹地には、オーバーハングを伴う掘り込まれた形態が認められ、周辺にはポットホール状の凹地も見られ、この掘り込みは波蝕によるものと考えられる（第 3.1-11 図）。

有識者会合が、『砂礫層が断層沿いの基盤中に深く落ち込み、断層に取り込まれた扁平礫の長軸が断層に平行に並ぶように配列している構造』と指摘する箇所は、Tr-28 トレンチ壁面で確認されたものであるが、水平掘削面調査では、断層破碎部及びその周辺の凹地に沿って、巨礫を含む礫が定向性をもたず多様な方向で分布していることが確認された。この構造は横ずれ断層運動に伴うものではなく、波蝕等の侵食を受けた断層破碎部及びその周辺の凹地に沿って、礫が流水により堆積したものと考えられる。同様の礫の堆積を伴う状況は、敷地に近い六ヶ所村泊中山崎海岸の現世の波蝕台でも確認されている（第 3.1-11 図）。

さらに、この F-3 断層破碎部の走向に沿った溝状の凹地には、板状の蒲野沢層由来の軟岩巨礫がその長軸を溝と直交してはまり込んだ形状を保ったままの状態となっているものも確認され（第 3.1-12 図 (2) の②）,

横ずれに伴う回転等の痕跡が認められない（第 3.1-12 図）。

また、蒲野沢層上面の凸部には、左右交互に鋭角的に折れ曲がりながら続く東西方向の開口する亀裂群が分布し、この開口亀裂にはM₁面段丘堆積物を構成する砂が流入している状況が確認された。このことは、F－3断層の動きとは無関係に蒲野沢層の表層部が体積膨張した可能性を示唆している（第 3.1-13 図）。

以上のとおり、水平掘削面各層の礫等の状況、断層破碎部とその周辺の状況等を広範囲に調査した結果、砂礫層の断層に沿う落ち込み、礫の一定方向の配列等の横ずれ断層運動を示唆する構造は認められなかった。

(3) 評 価

F－3断層については、水平掘削面調査等の追加地質調査を実施した結果、有識者会合が指摘する横ずれ断層に特徴的な構造は認められなかったことから、F－3断層は横ずれ主体の活断層ではない。

上記の状況については、横ずれ主体の活断層ではないことが、専門家によっても確認されている（見解書(1)(3)～(7)）。

なお、有識者会合では、『花卉構造に類似した小断裂は、Tr-27 トレンチのF－3断層を被覆する第四系にも認められる』（第 2.2-3 図）との指摘があるが、この小断裂は、Tr-28 トレンチと同様に逆断層変位と正断層変位とが混在していることから、花卉構造ではない。

3.1.1.2 F－9断層の活動性（変動地形、累積性について）

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、『F－9断層については、断層を被覆する第四系基底面に連続性のある段差が認められないこと、中位段丘面にリニアメント等も認められないこと等から、他の敷地内の主要な断層と同様に、後期更新世

以降の活動性はなく、断層を被覆する第四系に認められる変状は断層活動に起因するものではない』と評価していた。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、『F－9断層は、断層を被覆する後期更新世の地層に変位・変形が認められ、断層直上の地表面に撓曲地形、断層を境として西側（山側）よりも東側（海側）が高くなっている一般的な海岸付近の地形状況とは非調和的な地形が認められること（第2.2-4図）、断層を境に東側が広範囲に高まっており、基盤上面の高度差が約3mであるのに対し、地表面の高度差が約1.5m～約2mであり、累積性を有する可能性があること（第2.2-5図）から、後期更新世以降に活動した断層である可能性が否定できない』としている。また、正断層の下盤側である東側が上昇することは考えにくいとの当社の主張に対して、『F－9断層の構造が、現在の広域的な圧縮応力場のもとで横ずれによってもみ上げられたと考えても矛盾はない』旨の指摘が評価書案に示された。

c. 追加地質調査

有識者会合の指摘を踏まえ、F－9断層の活動性およびF－9断層東側の地形の高まりの状況を詳細に検討するため、F－9断層を含む広範囲なトレンチ調査（Tr-20' -2～4トレンチ等）、ボーリング調査等により断層とこれを覆う地層、地形の関連性を調査した。

また、F－9断層の横ずれ成分の有無を確認するため、F－9断層破砕部の定方位水平ボーリングを実施した。

(2) 調査結果

a. F－9断層東側の地形及び地質

F－9断層東側には、地形の高まりが認められる。この高まりが何に起因するものかを調査、検討するため詳細な地形判読を行い、また、F－9断層東側において、東西方向に延長約190mにわたりTr-20' -4トレンチを掘削、調査するとともに、このトレンチの北側に沿う東西方向の測線でボーリング調査を実施した。

地形状況

空中写真判読によれば、敷地南側の F-9 断層周辺には、 M_1 面が広く分布する。この M_1 面は標高 30m~25m でほぼ平坦ないし海側に向かって緩く低くなっている。この M_1 面の中には、F-9 断層付近から東側に向かって 100m~200m 程の幅をもって、周囲より若干標高の高い部分が認められる（第 3.1-14 図）。

なお、Tr-20'-4 トレンチの調査結果によれば、この地形の高まりの東縁付近では、表土の上に盛土が存在しており、指摘された地形の高まりは、人工改変によって本来の地形の高まりの範囲（F-9 断層付近から東の Tr-20'-4 トレンチの屈曲部付近まで）よりも広く認定された可能性がある（第 3.1-15 図、第 3.1-16 図）。

トレンチ調査等による第四系の地質状況

地形の高まりを横断する方向に掘削された Tr-20'-2 トレンチ及び Tr-20'-4 トレンチの調査結果によれば、基盤の泊層及び蒲野沢層を覆う第四系は、 M_1 面段丘堆積物、粘土~シルト層、洞爺火山灰層、十和田レッド軽石層及びローム層から構成される（第 3.1-15 図、第 3.1-17 図）。

M_1 面段丘堆積物は、F-9 断層西側（蒲野沢層分布範囲）では、下位より、礫層（ M_{1a} 層）、下部砂層（ M_{1b} 層）及び平行葉理が発達する上部砂層（ M_{1c} 層、 M_{1d} 層）に細分される。このうち、礫層、下部砂層は、F-9 断層西側に分布が限られ、断層東側（泊層分布範囲）では欠如しており、段丘堆積物堆積時には、蒲野沢層側の岩盤上面の標高が低かったことを示している。

F-9 断層の東側に分布する M_1 面段丘堆積物の基底面（泊層上部層の岩盤上面）標高は、Tr-20'-4 トレンチの屈曲部付近まではやや高いが、これより東側で徐々に海側に向かって低くなっていく。堆積物には、海側に傾斜するラミナが見られ、全体として水平ないし海側に緩く傾斜して堆積しており、著しい変位・変形は見られない。

トレンチ調査等による基盤の地質状況

Tr-20' -4 トレンチ及びボーリング調査結果によれば、F－9断層東側に分布する泊層上部層の構造は、水平ないし海側に緩く傾斜し、断層及び褶曲構造は認められない（第3.1-18図）。また、地形の高まりの東縁部においてその高まりを形成したと考えられる断層は認められない。

F－9断層東側において特筆すべき泊層の地質状況として、表層部に岩盤劣化部が厚く分布していることがあげられる。この厚い岩盤劣化部は、泊層の岩盤上面標高が高い部分及び地形の高まりに概ね対応していること、さらに同劣化部では、第四系に撓みを主体とする複数の変状が見られることが確認された（第3.1-19図）。

以上の地形、地質状況から、段丘堆積物の堆積前には、地形の高まりの西側及び東側に既に基盤上面に高低差が存在していたことに加えて、岩盤劣化部の厚い範囲及び複数の第四系の変状の存在する範囲が複合したことにより、F－9断層東側の地形の高まりとなって現れたものと判断する。

なお、変状が見られる岩盤劣化部では、鏡肌を有する連続性に乏しい多方向の亀裂が多数発達しており、体積膨張を生じたことが想定される。

F－9断層の横ずれの有無

F－9断層の走向と直交するように定方位水平ボーリングを実施し、破砕部中の条線を測定した結果、F－9断層の条線は縦ずれ主体であることが確認された（第3.1-20図）。したがって、F－9断層は横ずれ主体の断層ではないことが確認されたことから、正断層であるF－9断層の下盤側が横ずれによってもみ上げられた構造ではない。

また、仮に、F－9断層東側の地形の高まりが、有識者会合で指摘する断層運動で形成されたものとする、正断層の下盤側（断層東側）が上昇する構造となり、圧縮応力場における活断層の運動像としては著しく不合理である。

b. F－9断層の変位の累積性

Tr-20' -2 トレンチにおいては、基盤岩を覆う第四系基底面は、F－9断層を挟んで西側（蒲野沢層分布範囲）が東側より低くなっている。この断層西側にM₁面段丘堆積物の礫層（M₁a層）、下部砂層（M₁b層）の分布が限られること、さらに以下の事実関係等から、F－9断層西側では、泊層と蒲野沢層の侵食に対する抵抗性の違いにより形成された幅の広い凹状地形（チャンネル）を粗粒堆積物（礫層、下部砂層）が充填したものと判断する。

- ・堆積岩である蒲野沢層と火山碎屑岩である泊層とでは、蒲野沢層の方が選択的に侵食されやすいことが敷地近傍で知られていること
- ・断層西側の下部砂層（M₁b層）の斜交葉理から想定される古流向が南から北への流れを示すこと（第3.1-21図）
- ・F－9断層とその西側のF－3断層の間の第四系基底面は、北に向かって僅かに傾斜する溝状の凹地を形成し、NE－SW方向に延びていることがボーリング調査によって確認されたこと（第3.1-22図）

チャンネル充填堆積物の堆積後の同時代面として、F－9断層を挟んで東西両側に分布する上部砂層の基底面に着目すると、その高度差は約2mであり、地表面の高度差と同程度となっており、変位・変形の累積性を考慮する必然性は認められない（第3.1-17図）。

チャンネルの形成に関して、評価書案は、『F－9断層の東側は泊層の劣化した岩盤であり、東側の岩盤の方が更に侵食されることから、F－9断層西側にチャンネルが形成されたとする説明は不自然』、『チャンネル形成後に泊層が膨潤によって上昇したとすると、湿潤状態にあったチャンネル形成時点で膨潤が生じなかった点是不自然である』と指摘している。

チャンネル形成時期には、泊層および蒲野沢層とも侵食・削剥を受けているので、岩盤劣化は軽微な状態であり、断層西側の蒲野沢層が泊層に比べて選択的に侵食されてチャンネルが形成されたと考えられる。また、第四系の変状はM₁面段丘堆積物の堆積後に発生していることから、変

状発生の原因となる泊層の劣化は、MIS5e 以降に顕著となったものと考えられ、チャンネル形成時点からM₁面段丘堆積物堆積中にすぐに岩盤が劣化し体積膨張が発生したとは考えられない。

また、評価書案は、『敷地内の他地点においても蒲野沢層が選択的に侵食された地形が確認されるはず』と指摘しているが、敷地南方の老部川^{おいっぱ}は、両岸が泊層で、河道に沿って蒲野沢層が分布しており、蒲野沢層が流水によって侵食されやすい谷地形となっている。また、岩石の侵食抵抗性に関する試験結果でも、泊層に比較して蒲野沢層が侵食を受けやすいことが確認されている（第 3.1-23 図）。

以上のことから、段丘堆積物の層序及び堆積構造に着目して、特に砂層の高度差を検討した結果、F－9断層に変位・変形の累積性は認められない。

(3) 評 価

追加地質調査により、F－9断層については、断層東側の地形の高まりは、基盤上面の高低差、厚い岩盤劣化部及び複数の第四系の変状の存在が複合したことにより形成されたものであり、第四系の変位・変形に累積性も認められないこと、また、横ずれ主体の活断層でないことが確認されたことから、F－9断層が活断層でないとするこれまでの当社の評価が変わるものではない。

F－9断層及びその周辺の地形に関する解釈については、専門家によっても当社主張の内容と概ね同じ見解であるとされている（見解書(1)～(7)）。

3.1.1.3 変動地形の可能性があると指摘された地形

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、『空中写真判読、航空レーザー測量による2mDEMデー

タ※¹による詳細地形分析等から、敷地には、断層の活動を示唆するリニアメント、変動地形の可能性のある地形は認められない』と評価していた。

※1 DEMは数値標高モデル (Digital Elevation Model) の略。航空機からレーザーによって地表の高さをランダムに計測し、格子点データとしてまとめたもの。2 mDEMは格子点間隔が2 mであり、地形の抽出を精度よく行なうことが可能である。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、『敷地内の地形を精査すると一部に断層変位地形を認めることもできる』、また、『当地域の断層の活動度は低くC級と考えられ、断層変位地形が認められないことをもって活断層の存在を否定することは困難と考える』旨の指摘が評価書案に示された。

c. 追加地質調査

有識者会合の指摘を踏まえ、地形の詳細、指摘個所における断層の有無等を確認するため、トレンチ調査、ボーリング調査、地表地質踏査等を実施した。また、断層の活動度が低く、変動地形が判読されない可能性も踏まえ、特に、敷地南方において、詳細な地形判読、地表地質踏査等を実施した。

(2) 調査結果

a. 地形判読結果

空中写真判読、航空レーザー測量による2 mDEMデータによる詳細地形判読等の再調査を行った結果、敷地には、繰り返し変位が累積されていることが示唆される連続性の良い崖、鞍部、撓み等は認められないこと、新しい時代に活動したことが推定される新鮮な崖、撓み等は認められないこと、水系等に横ずれを示唆する系統的な屈曲は認められないこと等、断層の活動を示唆するリニアメント、変動地形の可能性のある地形は認められなかった (第3.1-24図)。

b. トレンチ調査結果

有識者会合において変動地形の可能性があると指摘された主な箇所は、敷地南西端部の東側が高い地形、F-9断層沿いの東側が高い地形であり（第2.2-6図）、それぞれTr-30 トレンチ、Tr-31 トレンチ及びTr-20'-4 トレンチを掘削し、調査を行った。なお、Tr-20'-3 トレンチは、有識者会合とは別に、F-9断層西側の地形的な低まりに対して変動地形の指摘があったことから調査を行ったものである。

また、F-3断層西側の斜面地形（第2.2-7図）についても、保安院の意見聴取会において変動地形の可能性があると指摘されたことから、Tr-28 トレンチを掘削し、調査を行った。

(a) 敷地南西端部の変動地形調査結果（Tr-30 トレンチ）

敷地南西端部において、東側が高い地形が敷地外の南西方からNNE-SW方向に連続しており、変動地形の可能性があると指摘があったことから、Tr-30 トレンチを掘削し、調査を行った。その結果、基盤上面は海側に向かって緩やかに高度を下げており、変動地形の可能性があるとされた地形と対応する断層、地層の変形等は認められなかった。

変動地形と指摘された箇所には土塁が分布し、さらにその東側には高い植生が確認され、一方、西側には平坦な切土跡も確認された。これらのことから、当該地形は人工改変による地形あるいは植生の違いによる地形と判断する（第3.1-25図）。

なお、変動地形が指摘されていた箇所より東側には、劣化した泊層及びこれを覆うM₁面段丘堆積物の砂層に規模の小さい段差、撓み、小断裂等の第四系の変状を伴う小断層が数箇所で見られるが、いずれも連続性が乏しく、小断層のセンスやずれの量には指摘された地形の高まりとの関連性はない。

(b) F-9断層沿いの変動地形調査結果

（Tr-31 トレンチ、Tr-20'-4 トレンチ、Tr-20'-3 トレンチ）

F-9断層沿いに東側（海側）が高い地形が認められ、変動地形の可能性のある地形との指摘があり、このうち北側の地形に対応してTr-31

トレンチを掘削，南側の地形に対応して Tr-20' -4 トレンチを掘削し，調査を行った。

Tr-31 トレンチは，F－9 断層の東側がやや高く西側の凹地との斜面地形から構成される地形に対応して東西方向に掘削し，トレンチの東側が地形のやや高い部分に，トレンチ中央付近が凹地に対応している。当該トレンチには，基盤として蒲野沢層 e 部層及び泊層上部層，これらを覆って第四系が分布する。第四系は，下位より M_1' 面段丘堆積物， M_1' 面段丘堆積物を削り込むように堆積する洞爺火山灰層，トレンチ中央付近の谷地形を埋めるようにオンラップしている M_2 面段丘堆積物，十和田レッド火山灰層，阿蘇 4 火山灰層，陸成層及びローム層よりなる。蒲野沢層と泊層の境界は不整合であるが，北面では小断層となっている。F－9 断層は泊層内を横断しているが，東上がりの斜面地形の西側に位置し，断層箇所では第四系に影響を与えておらず，斜面地形の形成との関連性は認められない。また，斜面地形の直下には，当該地形を形成する断層は認められない。東上がりの斜面地形は，岩盤劣化部が厚く，岩盤上面が高まっている領域に対応していることが確認された。これらのことから，当該地形は F－9 断層との関連性はなく，岩盤劣化部の体積膨張により形成されたものと判断する（第 3.1-26 図）。

また，Tr-20' -4 トレンチにおいても，前述（3.1.1.2）のように，F－9 断層東側の地形の高まりと同断層の活動との対応は認められず，地形の高まりは，基盤上面の高低差，厚い岩盤劣化部，第四系の変状の存在が複合して形成されたものであることを確認した。これらのことから，当該地形は，F－9 断層の活動との関連性はない。

F－9 断層西側において Tr-20' -3 トレンチを掘削し，調査を行った結果，断層西側が東側に比べて相対的に低い地形については，変動地形に対応した断層等は認められず，断層活動との関連性は認められなかった（第 3.1-27 図）。

(c) F－3 断層沿いの変動地形調査結果（Tr-28 トレンチ）

F－3 断層の西側数十 m の位置に東側下がりの斜面地形が認められ，耐震バックチェックの審議において，同地形が変動地形の可能性がある

地形と指摘されたことから Tr-28 トレンチを掘削し、調査を行った。

その結果、F-3 断層は、この斜面地形の基部から東側に約 50m 離れており、また、斜面地形の近傍には地質構造に影響を与えるような断層は認められない。斜面地形付近を境として、東西両側の岩盤上面には大きな高度差はなく、 M_1 面段丘堆積物を被覆する陸成堆積物が斜面地形末端より山側（西側）で厚く堆積している状況が確認された。これらのことから、当該地形は堆積地形であり、断層活動との関連性はない（第 3.1-4 図）。

c. 敷地南方における地表地質踏査結果

F-9 断層は敷地から南方に延長していることから、南方延長部において、詳細な地形判読、地表地質踏査を行った。

その結果、F-9 断層の南方延長沿いに分布する L_1 面等に水系の屈曲等の横ずれを示唆する地形は認められない。また、最近活動したような新鮮な崖や撓み、変位の累積が示唆される連続性の良い崖、鞍部、撓み等も認められない。地表地質踏査の結果、F-9 断層は、敷地の南方で消滅していると判断される（第 3.1-28 図）。

(3) 評 価

空中写真判読、2 m DEM データによる詳細地形判読等の再調査によっても変動地形は認められなかった。一方、有識者会合等が、変動地形の可能性を指摘した地形に対応して、トレンチ調査等を行ったところ、いずれについても該当する断層は存在していなかったことから、当該地形は断層活動との関係のある地形ではないことを確認した。

これらの地形と断層との関連がないことについては、専門家によっても確認されている（見解書(1)(2)(4)(5)(7)）。

また、地表地質踏査により、F-9 断層は敷地南方への延長部において消滅することを確認した。

3.1.1.4 断層破碎部の固結状況

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、『当社及び東京電力の敷地において、主要な断層とその延長部に、断層破碎部が、新第三紀鮮新世以前の熱水変質作用により固結・岩石化している箇所が確認されており、この事実は断層の活動性を否定する重要な根拠となるものであり、敷地内断層の活動性はない』と評価していた。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、『断層が活動した後にその破碎部が固結していく過程などの客観的な根拠、当敷地の断層がその周囲を含め確実に固結しているのかのデータ等が明確でなく、現時点で断層破碎部の固結・岩石化を根拠に活動性を否定することは困難と考える』旨の指摘が評価書案に示された。

c. 追加地質調査

有識者会合の指摘を踏まえ、当社敷地内のF－3断層、F－4断層、F－5断層、F－8断層、F－9断層、F－10断層の6本の断層を対象に、ボーリング調査、採取試料による詳細分析等を実施した。

(2) 調査結果

a. 断層破碎部の状況

主要な断層については、東京電力敷地も含め、断層破碎部が固結・岩石化している箇所が複数認められていたが(第3.1-29図, 第3.1-30図), ボーリング調査(主として深さ200m～300m)、断層破碎部の観察、理化学分析、X線回折分析等を追加実施した結果、さらに敷地内の複数の断層で、固結した断層破碎部を確認した(第3.1-31図)。

顕微鏡観察の結果によると、固結した断層破碎部は全体に熱水起源の

変質鉱物（セピオライト）に置換されており、一部で石英脈がこれを切っている状況が観察される。一方、化学組成を分析したところ、固結破砕部は珪酸分が多くなっていることが確認され、セピオライトの他に石英により構成される。すなわち、固結破砕部は、断層沿いに上昇した熱水によって破砕部がセピオライト等に置換され、その後石英晶出による珪化作用を受けて固結・岩石化した変質岩である（第3.1-32図, 第3.1-33図）。

破砕部の固結の程度は、同一断層でも一様ではなく、破砕部全体が再固結し硬質となっている箇所（固結）、破砕部が粘土状～鱗片状等を呈し軟質な状態である箇所（非固結）、軟質な破砕部と硬質な破砕部が共存する箇所（非固結）があり多様である。

一般に、断層破砕部は、破砕幅が膨縮しながら、断層ガウジの存否や幅、強破砕部や弱破砕部の状況等、破砕の程度も異なっており、透水性も一様ではないことから、断層破砕部への熱水の浸入状況も一様ではない。また、浸入する熱水自体も、断層破砕部に到達するまでの熱水の浸透経路の地質状況、浸透距離に応じて、特徴的に含まれる溶存成分の濃度や温度条件等が変化する可能性がある。破砕部の固結状況が多様である理由としては、こうした熱水の浸透経路となった破砕部の透水性の大小、熱水溶液の組成の不均質性等に起因するものと考えられる。

また、これとは別の事例として、敷地南端部の Tr-21 トレンチで確認される F-3 断層の断層破砕部は、熱水変質作用は認められないものの、軟質部を伴わず面なし断層状を呈し、周辺の蒲野沢層と同程度に固結・岩石化している（第3.1-34図）。このことは、F-3 断層破砕部が新第三紀中新世の蒲野沢層堆積時に形成され、その後母岩と同様に続成作用により固結・岩石化したものであり、蒲野沢層堆積時から固結して以降、断層活動がなかったことを示している。

b. 熱水変質作用の時期

熱水変質作用の時期は、下北半島脊陵部から敷地近傍で新第三紀鮮新世以降の火山活動は確認されていないこと、青函トンネルの地質調査で、

新第三紀中新世の地層に同時期の玄武岩の熱水活動によるセピオライトの産出報告事例があること等から、新第三紀中新世（約 500 万年前より以前）と考えられる。

(3) 評 価

熱水変質作用による固結・岩石化した箇所が複数認められる断層については、固結の程度が同一断層に沿って一様でないとしても、固結・岩石化が断層活動後で新第三紀中新世の熱水変質作用の時期以降のものであり、固結・岩石化した部分が存在する以上、当該断層のその後の活動はないことを明示している。また、敷地南端部では、蒲野沢層堆積時に形成され、その後の続成作用により固結・岩石化した箇所も確認された。

これらの断層破碎部の固結状況から、敷地内の断層は、少なくとも第四紀後期更新世以降は活動していないと判断する。

ボーリングコアで確認された固結した破碎部が新第三紀中新世の熱水変質作用によるものであること、固結の状態が現在まで保持されていることが熱水変質作用の時期以降に断層活動がないことを明示するものであることについては、専門家によっても確認されている（見解書(1)(5)）。

3.1.1.5 断層の地下深部への連続性

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、『敷地近傍において東京電力が実施した反射法地震探査の結果、敷地内の主要な断層に相当する複数の正断層が確認されるが、これらの断層は地下500m～1000m付近において緩傾斜となり、地下深部には達していないことから、地震を引き起すような断層ではない』と評価していた。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、敷地内の主要な断層が地下深部に連続しないとする反射法地震探査結果は、『反射記録のデータ取得・処理過程の説明がなされておらず、記録の判読及び地質構造解釈も不十分と考えるので、現時点で当反射記録及びその解釈図をもって断層の地下深部への連続性を否定することはできない』旨の指摘が評価書案に示された。

c. 追加地質調査

反射法地震探査のデータ取得・処理過程、記録の判読及び地質構造解釈等について確認を行った。

(2) 調査結果

東京電力は、当社との敷地境界付近で、陸域から海域に至る東西方向の2測線で反射法地震探査を実施している。このうちA測線は延長約3km、陸域が油圧インパクト、海域がエアガン振源とし、可探深度は1km程度である。B測線は約11km、陸域がバイブレーター、海域がエアガン振源とし、可探深度は5km程度である。これら反射法地震探査の記録については、通常処理過程に加えて、屈折波トモグラフィーによる静補正值の推定を行い、断面の処理過程を追加し、処理精度を向上させている（第3.1-35図(1)～(3)）。

また、敷地及びその周辺の地質・地質構造については、地表地質調査、ボーリング調査、トレンチ調査等の詳細な調査がなされており、これらの調査結果ならびに当該地域の地質・地質構造に関する各種知見等を踏まえながら、反射断面の解釈を行っている。

その結果、反射断面において、敷地内の主要な断層に相当する複数の正断層が整合的に確認され、これらの断層は地下500m～1000m付近において緩傾斜になっている。探査結果として、複数の正断層が低角化することが見えていることは事実であり、敷地内の断層は地下深部には達していない（第3.1-35図(4)）。

(3) 評 価

敷地近傍で実施された反射法地震探査の結果は、データ取得・処理過程、記録の判読及び地質構造解釈等について、地下の全体的な構造を把握する上では十分な結果が得られていると考えられ、敷地内の断層は、地下深部には達していない。地震は一般に地下 3 km 以深の地震発生層における断層活動で発生するものであり、敷地内の断層は、これより浅部にのみ存在するものであることから、地震を引き起こすような断層ではないと判断する。

なお、反射法地震探査の解釈については、専門家によっても確認されている（見解書(6)）。

3.1.2 第四系に認められる変状と断層との関連の検討

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、『敷地内の断層とこれを被覆する第四系に認められる変状との関係については、変状が断層の走向方向の連続性に乏しいこと、段差及び小断裂のずれの量が小規模で累積性が認められないこと、段差及び小断裂のずれの方向が新第三系中の断層の変位方向と逆のことが多いこと、基盤中で深部に連続しない断層にも変状が認められること等の特徴があり、新第三系中の断層との系統的な関連性が認められないことから、構造的な原因によって形成されたものではなく、敷地内の断層は、第四紀後期更新世以降の活動性はない』と評価していた。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、『敷地内の主要な断層等には、断層を覆う後期更新世の地層の変位・変形が系統的に認められ、この変位・変形が系統的に認められる断層は、活断層または活断層の可能性のある断層である』旨の指摘が評価書案に示された。

具体的には、断層の変位・変形の認定、その連続性の確認にあたり、『小さなずれと上方に発散する花卉構造を伴う断層が形成された場合、上部の砂層中で明瞭な小断層群が下部の塊状の砂礫層中では不明瞭となる場合があること、ずれ量の小さな断層では、変位・変形を受けた地層の上限を定めることが困難な場合があること、地震断層では、断層が広がったり、ステップしたり、消えたり、乗り移ったりしながら地表に存在していると考えられること等を踏まえ、

- ・明瞭な断層変位が見られるもの
- ・明瞭なずれは無くとも、活断層が動いた時と同じような系統的な断層が入っているもの
- ・近接した露頭で性状が異なる場合でも、近隣の断層構造や地層の状況から判断
- ・8万年前以降に堆積した地層は認定に採用しない

- ・安全審査時には活動性を評価していなかった明瞭な背斜状の変形
- ・断層の連続性は、断層が屈曲、途切れて並走する点も考慮

を考慮して断層の変位・変形を認定した』とし、その結果、『変位・変形の分布範囲は少なくとも南北約5kmに及び、敷地内の主要な断層等で変位・変形が系統的に認められた断層は「活断層または活断層の可能性のある断層」であると考える』としている。また、『基盤に断層が存在しなくとも、後期更新世の地層に断裂が存在するなど疑わしい場合には、「活断層の可能性のある断層」と考える』としている（第2.2-1図）。

c. 追加地質調査

有識者会合の指摘を踏まえ、既往のボーリング調査、トレンチ調査ならびに追加地質調査等のデータから、第四系の変状にみられる様々な性状、主要な断層等に沿う変状の分布状況、基盤や断層との関係にみられる特徴等を詳細に検討し、第四系の変状の成因が、断層活動による構造的なものであるか否かを判断するため、第四系の変状と断層との関連について、総合的に検討、評価を行った。

(2) 調査結果

a. 第四系の変状の形態による分類と性状

敷地内の断層を被覆する砂層、砂礫層等の第四系には、一部に変状が認められる。この第四系の変状については、その形態から以下の4つに分類している。第3.1-36図に、この分類図を示す。また、敷地内で実施した既往のトレンチ調査の結果を第3.1-37図に示す。

- ・第四系基底面の段差：第四系の基底面に断層を挟んで小規模な段差がみられるもの
- ・第四系中の小断裂：第四系中に変位を有する小規模な断裂がみられるもの
- ・破碎部粘土の注入：断層破碎部の粘土が第四系中に注入しているもの
- ・第四系中の撓み：第四系中の地層に凸状の撓みがみられるもの

第四系基底面の段差は、主要な断層では、断層を境に上盤側の蒲野沢層上がりで比高差は最大でも 40cm 程度と小規模である。主要な断層以外でも、上盤側上がりが多いが、一部、上盤側下がり of 段差も認められる。

第四系中の小断裂には、葉理等のずれが認められ、ずれは、主要な断層では、逆断層センスだけのもの、逆断層センスと正断層センスが混在するものが認められ、ずれの量は最大で約 14cm と小規模である。主要な断層以外には、正断層センスだけのずれの小断裂も稀に存在している。

破碎部粘土の注入は、断層破碎部の軟質な粘土が上方の第四系基底部の砂礫層中に不規則～板状の形状で注入している。第四系基底面の段差あるいは第四系中の小断裂を伴うことが多い。

第四系中の撓みは、断層破碎部上の第四系が凸状に撓んでいる。第四系基底面の段差や第四系中の小断裂を伴うことがある。

第四系基底面の段差及び第四系中の小断裂のずれの量は小規模であり、いずれも断層活動に特徴的な繰り返し活動による累積性は認められない。変状のセンスは、正断層センス、逆断層センス、これらの混在等、さまざまな形態が認められる。基盤岩中の断層は第四系中の変状に連続しておらず、いずれもシャープな断層面を有していないものが多い。

トレンチ調査等から検討した第四系の変状分布図を第 3.1-38 図に示す。

b. 断層との関連に着目した第四系の変状の特徴

(a) 主要な断層等に沿った第四系の変状の分布状況

第四系の変状は、主要な断層については、F－3 断層、F－4 断層、F－5 断層、F－8 断層、F－9 断層及び F－10 断層に認められる。変状は、蒲野沢層と泊層とを境する区間の一部に限られ、断層が同一地層中を通る区間では認められていない。主要な断層以外では、f－c 断層、f－j 断層、f－k 断層、f－l 断層、f－o 断層及び小断層の一部に、第四系基底面の段差、第四系中の小断裂及び第四系中の撓みが認められる。

主要な断層に認められる変状を、第 3.1-39 図、第 3.1-40 図、第 3.1-1 表に示す。

第四系の変状が認められる主要な断層は、同一断層でも変状が認められない区間が必ず存在し、変状が全線にわたって連続する断層はない。また、変状が連続する区間においても、走向方向の変状の形態や変形量の変化も大きい。これらの特徴は、第四系の変状が断層活動によって生じたものではないことを示す特徴と考える。

Tr-27 トレンチにおいて、F-3 断層の変状の走向方向の追跡調査を実施した結果、約 2 m の短い区間で変状の形態が大きく変化していることが確認された（第 3.1-41 図）。

また、主要な断層以外でも、例えば f-k 断層は、Tr-26 トレンチで小断裂がみられるが、北側の Tr-32 トレンチ、南側の敷地南端露頭では変状がみられない（第 3.1-42 図）。

敷地内の主要な断層は、泊層と蒲野沢層を境する変位量の大きな縦ずれ主体の断層であり、連続性が確認され、ステップや消滅等がない断層であるが、仮に、第四系に認められる変状が、断層活動に伴って形成されたとすると、このような連続性の良い断層の断層活動に伴う変状は、断層の走向方向に一定規模で連続し、短い区間で変状の形態、有無、変形量等が大きく変化するものではないと考える。

(b) 第四系の変状の直下の断層等にみられる特徴的な事例

第四系の変状が認められる箇所の直下の断層あるいは基盤中には、第四系の変状が断層活動で形成されたものではないと考えられる特徴的な事例が確認されている。

地下への連続性がない小断層の事例

第四系に変状が認められる小断層には、地表付近ではずれの量が 1 m にも及ぶものも存在するが、断層そのものが走向方向にも傾斜方向にも連続性に乏しく、基盤中の比較的浅所で消滅することが確認されている。

第四系に変状が認められる小断層（s-14, s-19）の地下深部への連続性を確認するため、ボーリング調査、トレンチ調査を行った。その結果、s-14 は約 20m 以深には連続しないこと、s-19 についても約 2 m 以深には連続しないという結果が得られ、これらの小断層は地下深部へ連続しないことが確認された（第 3.1-43 図，第 3.1-44 図）。

変状の下方の基盤に断層が存在しない事例

敷地内の第四系に認められる変状には、変状箇所下方の基盤に断層が存在せず、断層とは無関係に形成されたと考えられる箇所がある。

Tr-20'-4 トレンチでは、前述（3.1.1.2）のとおり、F-9 断層東側の地形の高まりの部分に対応して、泊層の岩盤劣化部が厚く分布し、撓みを主体とする複数の第四系の変状が認められるが、泊層中にこの撓みを生じさせる特定の断層は認められない。

Tr-32 トレンチでは、劣化した泊層溶岩等の岩盤上面が凸状に盛り上がり、これを被覆する第四系に撓み、小断裂が認められるものの、これを生じさせるような断層は認められない（第 3.1-42 図(2)(3)）。

変状箇所の地下に固結した断層破碎部が認められる事例

地下で固結している断層破碎部が確認された箇所で、この断層の直上に第四系の変状が認められる箇所がある（Tr-27 トレンチ等の付近の F-3 断層等）。3.1.1.4 で述べたように、固結した破碎部は新第三紀鮮新世以前に形成されたと考えられることから、少なくとも当該断層の第四紀後期更新世以降の活動はなく、変状が断層活動によらずに形成されたことを示している。

広域応力場と整合しない東西走向の小断層の事例

敷地内の主要な断層等は、主に NNE-SW～NE-SW 方向の高角度の正断層で、これに直交する WNW-ESE～NW-SE 方向の水平引張応力状態で形成された断層である。

一方、Tr-30 トレンチ、Tr-32 トレンチでは、第四系に変状が認められる東西走向の小断層が確認されている（第 3.1-25 図(3)，第 3.1-45

図)。これらの小断層は走向方向の連続性に乏しい（第 3.1-46 図，第 3.1-47 図）。なお，条線方向はほぼ傾斜方向を示している。

地下深部への連続性がない小断層や基盤に断層を特定できない箇所に第四系の変状が認められる事例，変状箇所の地下に固結した断層破碎部が認められる事例は，第四系の変状が，断層活動によって形成されたものではなく，岩盤劣化部の影響等，他の成因によるものであることを証拠づけている。

また，第四系の変状が東西走向の小断層にも認められることは，これらの変状が南北方向の圧縮応力により形成されたことを意味するが，これは現在の広域応力場が東西方向の圧縮応力場であることと整合しない。

(c) 第四系の変状の形成時期

第四系に認められる変状の形成時期は，変状の出現する層準から，大別して2つの時期があると考えられる。1つは，洞爺火山灰層堆積後～M₂面段丘堆積物堆積前で，敷地山側の広い範囲で見られる変状がこの時期に形成されたと考えられる。もう1つは，十和田レッド軽石層堆積前後で，敷地沿岸部で見られる変状がこの時期に形成されたと考えられる。変状の形成時期により敷地内での分布は概ね2分され（第 3.1-48 図），変状の形成時期はどちらか1つの時期に限られている。

仮に，変状が断層活動によって形成されたとすると，上記の2つの時期にそれぞれ敷地内で大きな断層活動があったことになり，敷地全域で変状が2度形成されることとなるが，変状が認められる場所で2度の形成時期を示す場所はみられないことから，変状は断層活動によって形成されたものではないと考える。

c. 断層の変位・変形の連続性

有識者会合は、『断層を覆う後期更新世の地層の変位・変形の連続性を検討した結果，敷地内の主要な断層等に変位・変形が系統的に認められた』とし，敷地内の断層のほぼ全線にわたって活断層の可能性を指摘している（第 2.2-1 図）。これは，第四系の変状の成因が断層活動による

構造的のものであるという仮定に基づいているため、断層の活動性を評価する区間について、第四紀後期更新世の地層に変位・変形が存在する可能性を、限られたデータから最大限見積もったことによるものと考えられる。

一方、当社は、これまで述べてきたように、第四系の変状に認められる特徴を詳細に調査し、総合的に検討した結果、変状の成因は、少なくとも断層活動による構造的のものではないと評価していることから、断層に沿う変状の連続性の検討が、敷地内の断層の活動性の評価に直接関係するものではないと判断している。

しかし、断層の活動性について予断をもたず評価するため、断層に沿う変状の特徴に関する調査結果（第 3.1-39 図）をもとに、第四系の変状が断層活動により形成されたと仮定して、変状の連続性について検討を試みた。検討にあたっては、原子炉設置許可申請時に用いた「変状あり・なし」の二者択一の区分を、変状の性状を詳細に再検討し、「変位・変形があるもの」、「断裂はあるが変位がないもの」、「変位・変形はないが（粗粒堆積物あるいは新規堆積物のみで）その時代については言及できないもの」及び「変位・変形がないもの」の 4 区分に見直し（第 3.1-49 図）、断層に沿う変状の連続性を検討した。その結果は第 3.1-50 図に示すとおりであり、仮に、第四系の変状が断層活動により形成されたと仮定しても、断層に沿う変状の連続性は乏しいと判断する。

(3) 評 価

第四系に認められる変状と断層との関連については、次の特徴が認められた。

- ・ ずれの量が小規模であり、活断層に特徴的な累積性が認められないこと
- ・ 変状には、逆断層変位、正断層変位及び両者の混在とさまざまな形態が認められること
- ・ 変状が認められる基盤岩中の断層は、熱水変質を受けシャープな断層面を有しておらず、構造的な断層活動で形成されたとはいえ難いものが多いこと

- ・変状が認められる小断層には、基盤浅部で消滅し深部に連続しないものがあること
- ・変状箇所、基盤に、変状に対応する断層が存在しないものがあること
- ・広域圧縮応力場と整合しない東西方向の走向を有する逆断層センスの小断層にも第四系の変状が認められること
- ・固結した断層破碎部が確認された断層の直上に、変状がみられる箇所があること
- ・変状の形成時期は2時期あるが、敷地の山側と海側に2分されて時期が異なり、同一の場所で2度の形成時期を示す場所はみられないこと
- ・断層の走向方向での変状の有無、形態、変形量が変化し、変状は走向方向の連続性に乏しいこと

これらの特徴は、仮に、第四系の変状が断層活動により形成されたとすれば、観察された事実と多くの矛盾があり、いずれも変状が、直下の新第三系中の断層の活動に関連して形成されたものではないことを示すものであり、敷地内の断層を被覆する第四系に認められる変状は、断層活動により形成されたものではないと判断する。

当社は、第四系に認められる変状は、断層活動により形成されたものではなく、後述するように、岩盤劣化部に対応して形成されたものと考えている。

3.1.3 敷地内の断層の活動性の評価

既往の調査結果に基づく敷地内の断層の基本的な特徴

敷地内の主要な断層等の断層は、主にNNE－SSW～NE－SW方向で、新第三紀鮮新世以前に形成された比較的連続性が認められる変位量の大きな正断層であり、基盤の泊層及び蒲野沢層の地質構造に、主要な断層が、第四紀に繰り返し活動したような地質構造は認められない。

敷地の第四系基底面には、各断層が存在する位置に断層活動によるものと思われる連続性を有する段差は認められない。

なお、敷地には地すべり地形は認められない。

上記の既往の調査結果に加え、3.1.1 及び 3.1.2 の調査・検討結果も踏まえ、敷地内の断層の活動性に関する評価を取りまとめると以下のとおりである。

敷地内の断層の横ずれ断層活動の可能性

F－3断層の水平掘削面調査、F－9断層の定方位水平ボーリング調査等の追加調査結果から、両断層は横ずれ主体の活断層ではないことが確認された。敷地の主要な断層に認められる条線の方法は、傾斜方向（縦方向）が卓越していることが既往の調査でも認められており、これらの断層が同一の形成機構により形成されたことを併せて考えると、敷地内の主要な断層には、東西圧縮の広域応力場での横ずれ変位を主体とする断層運動は起きていない。

断層の活動の累積性の可能性

F－9断層について、段丘堆積物の堆積構造を考慮して、砂層の高度差を検討した結果、F－9断層に変位・変形の累積性は認められないことが確認された。

変動地形の可能性があると指摘された地形

空中写真判読、2mDEMデータによる詳細地形分析によると、敷地に

はリニアメント、変動地形の可能性のある地形等は認められない。敷地の一部に変動地形の可能性のある地形が指摘されたが、トレンチ調査等により、これらの地形はいずれも断層活動との関連性がないことが確認された。

断層破碎部の固結状況

主要な断層については、東京電力敷地も含め、断層破碎部が新第三紀中新世の熱水変質作用により固結・岩石化している箇所が認められていたが、追加地質調査でも、同様の固結・岩石化した箇所が認められた。また、敷地南端部では、蒲野沢層堆積時に形成され、その後の続成作用により固結・岩石化した箇所も確認された。これらの固結状況から、少なくとも第四紀後期更新世以降の活動はないものと判断する。

断層の地下深部への連続性

東京電力との敷地境界付近で実施された反射法地震探査の結果は、敷地の地下の全体的な構造を把握する上では十分と考えられ、反射断面では敷地内の断層が地下深部には達していないことから地震を引き起こすような断層ではないと判断する。

第四系に認められる変状と断層との関連

既往の調査ならびに追加地質調査のデータから、第四系の変状の性状及び断層との関連性について詳細な検討を実施した。その結果、第四系の変状は、断層との系統的な関連性が認められず、また、第四系の変状が新第三系中の断層の活動によって形成されたものではないことを示す特徴も多く確認された。これらのことから、第四系の変状は、少なくとも断層活動による構造的な原因によって形成されたものではないと判断する。

以上のことから総合的に判断すると、敷地内の断層は、少なくとも第四紀後期更新世以降の活動性はなく、「将来活動する可能性のある断層等」には該当しないものと判断する。

3.2 原子炉建屋設置位置付近の断層について

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、原子炉設置許可申請時の調査結果等から、『原子炉建屋設置位置付近の f-1 断層、f-2 断層の形成時期は、少なくとも新第三紀鮮新世以前と考えられる。f-1 断層については、第四系に小断裂が認められるものの、第四系基底面に段差がないこと、小断裂に累積性がなく、断層との関連性もないこと、f-2 断層についても、これを被覆する第四系に変状が認められず、第四系基底面に段差もないことから、両断層とも後期更新世以降の活動性はない』と評価していた。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、『原子炉建屋付近を通る f-1 断層、f-2 断層は、同様の走向・傾斜を持つ東京電力敷地内の L 系断層が後期更新世に変位・変形を及ぼしていること、F-10断層の近傍に位置することを考慮すると慎重な検討が必要であり、これらの評価については、今後実施される調査結果に基づき安全性を判断する』旨の指摘が評価書案に示された。

c. 追加地質調査

有識者会合の指摘を踏まえ、既往の調査結果を詳細に確認するとともに、f-1 断層に関するトレンチ調査(Tr-34トレンチ)、ボーリング調査等を行った。

(2) 調査結果

a. f-1 断層

(a) 断層の性状

f-1 断層は、N70° W, 45° Nの走向・傾斜を有し、上盤・下盤ともに泊層上部層よりなる。断層の破碎幅は約 0.2 cm～約 20cm であり、破碎部は主としてシルト状及び鱗片状を呈し、熱水変質によるセピオライ

トが認められる。f-1 断層は、基盤の泊層中では相対的に北側が上がる逆断層であり、見かけ鉛直変位量は最大約 0.8m（試掘坑内）である。トレンチ調査結果から、f-1 断層は F-10 断層まで延長するが、それより北西には連続しない。また、深さ方向の連続性については、ボーリング調査結果から T.P. 約-55m 以深に連続するが、F-10 断層より以深には連続しないと考えられる。f-1 断層の 3 次元俯瞰図を第 3.2-1 図に示す。f-1 断層は泊層内の小規模な断層であり、その形成時期は、少なくとも新第三紀鮮新世以前であると考えられる。

また、F-10 断層は、前述（3.1）のとおり、第四紀後期更新世以降の活動性はないものと判断していることから、F-10 断層の活動に伴って f-1 断層が動く可能性については考慮する必要はない。

なお、東京電力敷地内における L-1 断層は、走向が f-1 断層と類似した低角の逆断層で、第四系の変状が認められるものの、L-1 断層の変状は主に逆断層センスの段差、小断裂、一部の撓みが認められるのに対して、f-1 断層は基盤の泊層上面に段差は認められず、上方の砂層に正断層センスの小断裂が認められる。一方、L-1 断層は変状が認められるトレンチの深部において破碎部が固結・岩石化している状況が確認されている（第 3.2-2 図）。

Tr-34 トレンチで観察された断層の性状

Tr-34 トレンチの調査結果を第 3.2-3 図に示す。f-1 断層は、基盤内では上盤・下盤ともに泊層上部層よりなる相対的に北側が上がる逆断層であり、これを被覆する M₂ 面段丘堆積物の基底面に段差は認められない。また、断層の延長上の砂礫層には変位・変形が認められない。

これは、原子炉設置許可申請時における起振実験ヤード北側で確認された f-1 断層についての観察記録（第四系基底面に明瞭な段差がないこと、f-1 断層と中位段丘堆積物中の小断裂の変位方向が逆で両者に関連性がないこと）と整合するものである（第 3.2-4 図）。

M₂ 面段丘堆積物の砂層中には小断裂が認められるが、この小断裂は、高角度正断層で、変位量は上方ほど大きい（最大 5 cm 程度）。また、泊層は、f-1 断層と北側の南傾斜の小断層とに概ね挟まれた部分での劣

化が顕著であり、この部分に対応するように泊層上面及びM₂面段丘堆積物は幅広く緩やかに、周囲に比較して20cm～30cm程度高く撓んでいる状況が認められ、小断裂は、内部に引張応力が想定されるこの撓みの端部にあたっている。第3.2-5図にトレンチ東面付近で実施したボーリング調査の結果を示す。

(b) 第四系中の小断裂

岩盤劣化部の状況と第四系中の小断裂の成因

Tr-34 トレンチにおいて、岩盤の劣化度区分、理化学分析、物理試験を行った。その結果を第3.2-6図、第3.2-7図に示す。泊層の劣化は、岩盤表層部付近で強くなっており、岩盤上部ではハロイサイトが、下部ではモンモリロナイトが多く含まれている（第3.2-8図）。

Tr-34 トレンチのf-1断層と北側にある南傾斜の小断層、基盤の泊層とこれを被覆する第四系を対象とし、2次元静的非線形有限要素法解析により、体積ひずみによる膨張によって変状を生じる現象を解析的に検討した。体積ひずみは、敷地内の泊層上部層の凝灰角礫岩の岩盤劣化部から測定した体積膨張比をもとに、劣化度に応じて設定した。その結果、f-1断層と小断層に概ね挟まれた岩盤劣化部の体積膨張により、第四系が上方に撓んでいる現象が概ね再現できた（第3.2-9図）。

このようなことから、M₂面段丘堆積物に認められる小断裂は、f-1断層と小断層に概ね挟まれた泊層の劣化部の体積膨張に伴い、上方に押し上げられて撓んだ砂層中の引張応力により形成されたものと判断される。このことは、小断裂が高角度正断層で変位量が上方ほど大きいことと整合的である（第3.2-10図）。

構造的成因の検討

M₂面段丘堆積物に認められる小断裂の成因に関しては、東西走向に近いf-1断層と小断層が東西圧縮の広域応力場のもとで活動する可能性は考えにくいこと、また、f-1断層と小断層に挟まれた幅20m、深さ3m程度の、狭いくさび形の岩盤のみが、ごく短期的な応力の変化を受けた際のひずみを解消するために、大きな断層変位と第四系の乱れを

伴わずに最大 30cm 程度持ち上がることは考えにくいこと等から、断層活動による成因は、その形成メカニズム、力学的なバランス等を説明することができない。

したがって、この小断裂は、f-1 断層と小断層の断層活動により、両者に挟まれた岩盤がポップアップ状に盛り上がったことによって、砂層中に生じた引張応力により形成された可能性はないことになる。

以上のことより、小断裂の成因は、構造的なものではないと判断する。

b. f-2 断層

(a) 断層の性状

f-2 断層は、N35° W, 27° NE の走向・傾斜を有し、上盤・下盤ともに泊層上部層よりなる。断層の破碎幅は約 0.1cm～約 6 cm であり、破碎部は主として粘土状を呈する。本断層は、基盤の泊層中では相対的に北側が上がる逆断層であり、見かけ鉛直変位量は最大約 0.2m（試掘坑内）である。本断層の北西側延長部は、試掘坑調査及びボーリング調査結果から原子炉建屋設置位置内で消滅し、南東側延長部は、ボーリング調査結果から原子炉建屋設置位置の外側約 70m の地点で消滅すると考えられる。深さ方向の連続性については、T.P. 約-45m より深部には連続しないと考えられる。f-2 断層の 3 次元俯瞰図を第 3.2-1 図に示す。

f-2 断層は、f-1 断層と走向・傾斜が類似しセンスが同じであることから、この形成時期は少なくとも新第三紀鮮新世以前であると考えられる。

f-2 断層は、第 3.2-11 図に示すように、原子炉設置許可申請時の調査において、泊層上部層内で消滅し第四系基底面まで到達していないこと、泊層上部層を被覆するM₂面段丘堆積物及びその基底面に変位・変形を与えていないことを確認している。

また、発電所建設時において、f-2 断層は、原子炉設置許可申請時に想定していた位置に存在し、断層が泊層上部層内で消滅し第四系基底面まで到達していないこと、泊層上部層を被覆するM₂面段丘堆積物及びその基底面に変位・変形を与えていないこと、掘削工事の範囲内で断

層の両端が消滅している（断層の延長は約 170m）ことを確認している（第 3.2-12 図）。

なお、起振実験ヤード東側法面のM₂面段丘堆積物砂層中にみられる変位のない断裂群（第 3.2-13 図）については、直下の泊層中には断層が認められないこと、f－2断層とは離隔が約 20mと遠く、また試掘坑調査及びボーリング調査の結果から f－2断層の上盤側の泊層には撓曲構造等の変形は認められないこと等から、これらの断裂群は f－2断層とは関連性のないものであると判断する。

(3) 評 価

以上のことから、f－1断層については、断層破碎部が熱水変質を受けており新第三紀に形成されたものであること、中位段丘堆積物基底面に変位を与えていないこと等から、第四紀後期更新世以降の活動性はなく「将来活動する可能性のある断層等」には該当しないと判断する。また、f－1断層を被覆する第四系に認められる小断裂は、泊層劣化部の体積膨張により形成されたもので、f－1断層との構造的な関連性はないことになる。

泊層の劣化部の体積膨張により、これらの現象が形成されたことについては専門家によっても確認されている（見解書(2)～(6)）。

f－2断層については、平面的にも深部方向にも連続性がなく、新第三系中で消滅し第四系基底面まで到達していないこと、中位段丘堆積物中及び基底面に変位を与えていないこと等から、第四紀後期更新世以降の活動性はなく「将来活動する可能性のある断層等」には該当しないと判断する。

3.3 第四系に認められる変状の成因について

第四系に認められる変状については、敷地内の断層の活動性に関する検討、評価にあたり、変状の性状、連続性、断層等との関係、形成時期等に関する調査、検討結果を踏まえ、第四系の変状が、少なくとも断層活動により形成されたものではないことを示した（3.1.2 第四系の変状と断層との関連の検討）。また、変状が岩盤劣化部に対応して認められることにも触れている。

前述（3.1.2）の第四系の変状に関する特徴に加え、ここでは、変状と基盤との関係の整理、岩盤劣化部の調査・解析、事例調査等を実施し、第四系の変状の成因について検討を行った。

(1) 追加地質調査の内容

a. 当社のこれまでの評価

当社は、『敷地内の断層を被覆する第四系に認められる変状の成因については、断層活動に起因する構造的な原因によって形成されたものではなく、風化作用による岩盤劣化部の形成、海水準の変動及びこれに伴う地下水位の変化等により、岩盤表層部付近の一部に形成されたものである』と評価していた。

b. 有識者会合の指摘

有識者会合では、『第四系の変状の主な成因が、粘土鉱物を含む基盤岩や断層内物質が、地下水位の上昇に伴い水分を含み膨張した「膨潤」であるとの主張は、変状形成に係わる検討、調査結果が示されていないこと等から合理的ではない』、また、『類似事例としている米国コロラド州の事例は、変形の波長（変形幅）・規模から異なる現象である』旨の指摘が評価書案に示された。

c. 追加地質調査

有識者会合の指摘を踏まえ、トレンチ調査、ボーリング調査等に関する既往の調査ならびに追加調査のデータ、各種試験・分析の結果等から、

変状の性状，変状と岩盤劣化部との関係等について検討を行った。

試験・分析は，劣化度区分，理化学分析（定量X線回折分析，メチレンブルー吸着量試験，陽イオン交換容量（CEC）試験），物理試験（針貫入試験，土壌硬度試験），体積膨張比の算定等を行った。

また，変状の成因の成立性を確認するため，類似事例の調査，変状の再現解析等を実施した。

(2) 調査結果

a. 基盤に着目した第四系の変状の特徴

第四系の変状は，前述（3.1.2）のように，岩盤劣化部に対応して認められる傾向がある。この岩盤劣化部には，第3.3-1図に示す特徴・傾向が認められる。

主要な断層は，主として蒲野沢層と泊層とを境する断層であるが，岩盤劣化部については，

- ・断層破碎部が粘土部を含んで幅広く深部まで劣化していること
- ・表層付近は，断層上盤側の蒲野沢層が比較的幅広く深部まで劣化していること

等の特徴がある。この例として，Tr-20'-2 トレンチにおけるF-9断層の幅広く劣化した断層破碎部（第3.3-2図），また，Tr-28 トレンチにおけるF-3断層及びTr-16 トレンチにおけるF-5断層の断層破碎部と上盤側の蒲野沢層の劣化部があげられる（第3.1-4図，第3.1-37図(5)）。

主要な断層以外の断層（その他の断層及び小断層）は，泊層または蒲野沢層中の断層であるが，岩盤劣化部については，断層破碎部の幅は小さいものの，岩盤の表層付近は断層上盤側が風化して厚く劣化している傾向がある。この例として，小断層s-19のTr-20'-1 トレンチでは，風化して厚く劣化した泊層が認められる（第3.3-3図）。

岩盤劣化部の幅や厚さと第四系の変状との関係を第3.3-4図に示す。主要な断層では，断層破碎部の幅が大きくなるに従い，また，主要な断

層以外では、岩盤劣化部が厚くなるに従い、変状が生じている傾向がある。

また、F－9断層東側の Tr-20' -4 トレンチや Tr-32 トレンチでは、基盤中に断層は存在しないが、泊層が広く風化して岩盤上面が凸状に撓み、これを被覆する第四系にも凸状の撓み及び小断裂が認められる（第 3.1-15 図，第 3.1-42 図(2)(3)）。

このように、第四系の変状は、新第三系表層付近における岩盤劣化部に対応して認められる傾向があり、この岩盤劣化部は、「粘土化した断層破碎部」、「風化・軟質化した泊層」、「風化・軟質化した蒲野沢層」に大別される。

b. 第四系の変状の成因

第四系に認められる変状は、岩盤劣化部に対応していることから、岩盤劣化部が体積膨張（あるいは収縮）を生じたことにより形成された可能性がある。

「粘土化した断層破碎部」、「風化・軟質化した泊層」、「風化・軟質化した蒲野沢層」に着目し、岩盤劣化部及びその周辺について調査・解析を行った。

(a) 粘土化した断層破碎部の体積膨張

敷地南側の Tr-20' -2 トレンチでの F－9断層では、粘土部を含む幅広い断層破碎部の直上の第四系に変状（撓み）が認められるが、これより北側の 2k' トレンチでは、破碎幅が狭く破碎部はセピオライトで置換され劣化が軽微であり、第四系に変状は認められない（第 3.3-2 図，第 3.3-5 図）。これらのことから、粘土化した断層破碎部が、第四系の変状の形成に関係している可能性があると考えられる。

Tr-20' -2 トレンチ，2k' トレンチにおいて、劣化度区分，理化学分析，物理試験を行った。その結果を第 3.3-7 図～第 3.3-10 図に示す。ま

た、F－9断層近傍の岩盤劣化部の特徴を第3.3-11図に示す。Tr-20' -2 トレンチでは、断層破碎部が幅広く劣化しており、強度も小さくなっている。理化学分析の結果、劣化が強いところには粘土鉱物（モンモリロナイト）が多く含まれていることが確認され、断層破碎部では、吸水による体積膨張（膨潤）が生じたものと考えられる。

F－5断層で第四系の変状が認められる箇所（Tr-16 トレンチ）において、劣化度区分、理化学分析等を行った結果でも、岩盤表層付近では断層破碎部から上盤側の蒲野沢層に粘土鉱物（モンモリロナイト）が多く含まれており、特に断層破碎部で含有量が多いことが確認される（第3.3-12図）。第四系の変状は、F－9断層における第四系の変状と同様に、断層破碎部とこれに近接する上盤側の蒲野沢層の吸水による体積膨張により形成されたものと考えられる。

なお、Tr-20' -2 で確認されたF－9断層破碎部中の粘土については、掘削後ある程度の時間を経て、掘削面表面より粘土がはらみ出している状況が確認され、これは、吸水による体積膨張と整合する現象である。

(b) 風化・軟質化した泊層の体積膨張

小断層s－19のTr-20' -1 トレンチ、F－9断層東側のTr-20' -4 トレンチでは、風化に伴う泊層上部層の凝灰角礫岩の劣化部が厚く分布し、これを覆う第四系に変状が認められる。

Tr-20' -1 トレンチにおいて、変状が認められる箇所周辺の岩盤の劣化度区分、理化学分析、物理試験を行った。その結果を第3.3-13図、第3.3-14図に示す。また、敷地内の泊層上部層の凝灰角礫岩の理化学分析結果を第3.3-15図に示す。理化学分析の各分析結果を比較すると、劣化した凝灰角礫岩にはモンモリロナイトの他にも粘土鉱物が含まれることが認められた。

F－9断層東側の劣化した泊層凝灰角礫岩においては、ハロイサイトが多く含まれており（第3.3-11図）、Tr-20' -1 トレンチ、Tr-20' -4 トレンチで採取したボーリングコアから鉱物分析を行った結果、岩盤表

層部の劣化が強いところではハロイサイトが、下部の劣化が弱いところではモンモリロナイトが多く含まれていることが確認された(第 3.3-16 図)。

これらに加えて、第四系に変状が発生している箇所の泊層表層部には、多方向の亀裂が多数発達し、軟質化していることから、泊層では実際に体積膨張が発生していることは明らかである。

第四系の変状の成因として、凝灰角礫岩等に含まれる粘土鉱物(モンモリロナイト)に起因する吸水による体積膨張のほか、岩盤表層付近の風化に伴う劣化部の体積膨張が関与していると判断する。

(c) 風化・軟質化した蒲野沢層の体積膨張

主要な断層沿いでは、上盤側の蒲野沢層に、スレーキング等による割れ目の発達及び褐色化の進行に伴う劣化が認められ、体積膨張したことが示唆される。例えば、F-5 断層の Tr-16 トレンチでは、蒲野沢層の劣化部分に対応して蒲野沢層側が上昇し、第四系に変状が認められる(第 3.3-12 図)。

また、蒲野沢層中に見られる一部の小断層において、2 本の小断層(s-9, s-10)に挟まれた小規模な逆三角形のブロックで、亀裂が多く発達し粘土鉱物(モンモリロナイト)を含んで劣化しており、上方の砂層に僅かな逆断層センスのずれを伴う小断層が見られる(Tr-16 トレンチ)(第 3.3-17 図)。

これらの例は、蒲野沢層の劣化部においても、体積膨張により第四系の変状が生じ得ることを示している。

(d) 体積膨張の割合

泊層上部層の凝灰角礫岩について、ボーリングコアから試料を採取し、不動元素としてチタン(Ti)に着目して、劣化の弱い深部に対する表層部の体積膨張比(率)を求めた^{※1}。この結果、劣化が強くなる表層に向かって膨張比は増加し、1.2 程度以上の膨張比を示すことが認められた(第

3. 3-18 図)。

東京電力敷地で採取した蒲野沢層、泊層の吸水による体積膨張に関する試験結果によれば、岩盤劣化部の膨張率は 1.3～1.5 程度である。また、膨張率は上載圧に依存し、被覆層の厚さが 5 m 程度を下回ると、わずかな上載圧の変化で膨張率が大きく変化することが報告されている（第 3. 3-19 図）。

※ 1 酸化チタン(TiO_2)を風化時不動元素として岩石の体積変化を算定する手法。
ここでは酸化チタンが風化の際に移動しないという一般的に用いられている仮定をもとに、膨張していない新鮮岩と膨張した風化岩に含まれる単位体積中の酸化チタン含有量の比から膨張率を求める。比較する岩石は同一種の基質部分を用い、体積は掘削直後の未乾燥試料から算出した。

c. 第四系の変状の形成時期

前述（3. 1. 2）のとおり、第四系の変状の形成時期については、大別すると、変状の出現する層準から、洞爺火山灰層堆積後～ M_2 面段丘堆積物堆積前、十和田レッド軽石層堆積前後の 2 時期と考えられる。敷地山側の広い範囲で見られる変状が前者の時期に、敷地沿岸部で見られる変状が後者の時期に形成されたと考えられる（第 3. 1-48 図）。

d. 第四系の変状の成因の成立性

(a) 数値解析による再現

岩盤劣化部の体積膨張により、これを被覆する第四系に変状が生じる現象を数値解析的に再現する検討を行なった。風化・軟質化した泊層の体積膨張により、ずれの大きな変状が認められる小断層 s-19 を対象とし、2 次元静的非線形有限要素法解析により、体積ひずみによる膨張によって変状が生じる現象を解析した。体積ひずみは、敷地内の泊層上部層の凝灰角礫岩の岩盤劣化部から測定した体積膨張比をもとに、劣化度に応じて設定した。

その結果、泊層中に変状発生以前より存在していた小断層が、泊層の体積膨張により開口してずれ、上部の岩塊が反り上がる変形モードが示

され、Tr-20'-1 トレンチでのずれの量（70cm 程度）も再現することができた（第 3. 3-20 図）。第四系に認められる変状が、岩盤の体積膨張

により生じたものとして数値解析的にも説明可能であると判断する。

(b) 国内外の事例

第四系の変状の成因を考察するにあたり，地盤の体積変化に伴う変形現象，層理面や断層面等のせん断面を伴った非対称の変形現象等，形態的に類似した国内外の事例について，文献調査を中心に調査を実施した。

国内では，泥質片岩の破碎帯に設置されたコンクリート基礎が，7年間で最大 66mm 隆起した事例が報告されており，その原因は，破碎帯に含まれるスメクタイトの吸水膨潤反応が地下に進行したことによるとされている（田村ほか(2007)，第 3.3-21 図）。

また，新第三系の泥岩等の堆積性軟岩の分布する地域では建築物基礎の盤膨れによる被害が知られている。これは主として，岩盤掘削により泥岩中の黄鉄鉱が急速に酸化し硫酸を生じ，岩石中の炭酸塩などを溶解させ，炭酸カルシウム成分が乾燥，濃集して霜柱状に結晶化し，地盤を数 cm～30cm 隆起させているものである（大山ほか(1998)等）。

一方，チタン（Ti）を不動元素として風化の前後での体積膨張を検討した研究結果によれば，花崗岩類で約 50%，和泉層群の砂岩で 20%～30%，第四系灰爪層の泥岩（溶解帯上部）で 10%～30%等の体積膨張が実際に起こっていると推定している（千木良・中田(2013)）。これら国内の事例では，地盤の体積膨張が現象として確認されているものの，現段階ではせん断面を伴う変形は確認されていない。

海外では，ギルガイ地形，氷河の消滅に伴う除荷によるリバウンド，米国コロラド州の“Expansive Soil”や“Heaving Bedrock”等の事例があり，いずれも地盤が上昇する現象が見られ，ギルガイ地形や“Heaving Bedrock”では吸水膨張との関連性とせん断面を伴う変形が知られている（Noe et al. (2007), Paton (1974)）。

コロラドの“Heaving Bedrock”の検証

海外事例のうち，コロラドの“Heaving Bedrock”は，高角度の地層

が上方に突き上げるように変位・変形を示す現象や低角度のせん断面上盤側の岩盤が逆断層センスのずれを生じる変位・変形を示す現象が、東通原子力発電所敷地内（以下、この項では「東通」という。）の第四系の変状との形態的な類似性が高いことから、成因、メカニズムを含めて詳細な調査を行い、東通の第四系の変状との共通性について検討を実施した。

コロラドの“Heaving Bedrock”は、主として急傾斜したスメクタイトを多く含む地層が、吸水作用により体積膨張する現象として知られており、舗装等で被覆された箇所で地盤表層の「盤膨れ」が顕著に確認されている。この中には、地層が地表付近で体積膨張したため、既存の分離面（節理や層理面）を用いて非対称に逆断層様に変位した形態を有している事例も確認されている。

コロラドの“Heaving Bedrock”は、形態的な特徴から2種類に区分されている（第3.3-22図(1)(2)）。

- ・タイプⅠ：比較的高角度の地層が上方に突き上げるような変位・変形を伴う非対称型あるいは対称型の変形（対称型のものは「練り歯磨き型」の体積膨張とも呼ばれている）を示すもの。膨潤性の小さい地層に挟まれた膨潤性の大きい地層（単層あるいは複数の地層が帯状に分布）が高角度で分布する場合に見られる。
- ・タイプⅡ：層理面あるいは層理面に斜交するせん断面に沿って上盤側の岩盤が逆断層センスのずれを生じる変位・変形を伴う非対称型の変形を示すもの。膨潤圧によって圧縮領域が発生し、上盤側がせん断面の上方にも突き上げるように移動している。

タイプⅠのうち、非対称型で層理面に沿ってせん断面が認められる形態のものは、東通の第四系の変状のうち、Tr-20'-2 トレンチの南面のF-9断層等の破碎部が凸状に上昇して上位の中位段丘堆積層に撓みを生じている現象と形態的に酷似している（第3.3-22図(2)）。コロラドの“Heaving Bedrock”の場合、スメクタイトを多量に含むPierre頁岩あ

るいはスメクタイトを主成分とするベントナイト単層が体積膨張し上昇しているが、東通の断層破碎部の場合も、絶対量に差はあるもののモンモリロナイト（スメクタイト）の含有量が周囲に比べて比較的多いことが共通しており（第 3.3-22 図(3)）、体積膨張による上昇を示している地層と周辺の上昇を示していない地層との相対的なコントラストが重要と考えられる。

タイプⅡのうち、低角で層理面に斜交する逆断層センスの形態のものは、Tr-20' -1 トレンチの小断層 s -19 及び Tr-29 トレンチの小断層 s -14 の逆断層センスの変状と形態的に酷似している。コロラドの“Heaving Bedrock”ではスメクタイトを多量に含む Pierre 頁岩に起因するものであるが、東通の第四系の変状では、前述のとおり、泊層の凝灰角礫岩の表層部における風化に伴う劣化の進行に応じた体積膨張の可能性はある。

なお、コロラドの事例では、豪雨後の露岩部で地表の水環境の急激な変化が生じて体積膨張が発生したことが確認されたものの、被覆層がないために長時間保存されず、風食等により識別されなくなることも確認されている。このことは、国内において類似の事例が見つけにくいこと、現世の第四系の変状が確認されていないことと関係している可能性がある。

評価書案は、『米国コロラド州の事例は、変形の波長（変形幅）・規模が、F - 9 断層で認められる変形と比べて非常に小さいことから、両者は異なる現象である』とし、規模の違いを根拠に『当敷地においては、自然状態でコロラドの事例と同様の現象が生じうる可能性は低い』としている。

コロラドの“Heaving Bedrock”の規模については、膨れ上がりの高さは 15cm 以下が多く、数 10cm～最大約 75cm のものも認められる。幅は 5m～20m 程度が多く、最大約 60m、走向方向の連続性（長さ）は最大約 1000m とされている。また、ジェファーソン郡の West Cross Drive に見られる地表の変形のような複数の波長を含む波状変形を示す地盤の

上昇現象の例も見られる（第 3.3-22 図(4)）。一方、F－9 断層東側の高まりには、前述（3.1.1.2）のとおり、第四系に撓みを主体とする複数の変状がみられ、コロラドの“Heaving Bedrock”の変形規模が、これと大きく異なるものではないと考えられる。

さらに、コロラドの“Heaving Bedrock”と東通の第四系の変状とは、その形態やメカニズムにおいても類似性が認められることは上述のとおりであり、コロラドの事例は、東通の第四系の変状の類似事例として否定されるものではないと判断する。

なお、コロラドの“Heaving Bedrock”の研究者である Dr.Noë 氏及び Dr.Higgins 氏は、東通の第四系の変状とコロラドの“Heaving Bedrock”は、高地と沿岸地域、降水量、粘土鉱物の違い等からメカニズムは種々あるが、形態的に非常によく似ており、同様の現象が起こったと類推されるとコメントしている。

(c) 他の成因の可能性

第四系の変状の成因については、岩盤劣化部の体積膨張の他にも、いくつか考えられるが、これらの成因の可能性については、変状にみられる特徴を考慮すると、いくつか矛盾する点がみられることから、岩盤劣化部の体積膨張を第四系の変状の成因とすることが最も合理性があると判断する。

第四系の変状が、直下の新第三系中の断層の活動に関連して形成されたものではないことは、前述（3.1.2）のとおりである。

① 地震動による受動変位の可能性

敷地内の範囲においては、地震動の影響は大きく異なるものではないと考えられるが、第四系の変状が、敷地外からの地震動の影響によって生じたとすると、以下のような点で矛盾がある。

- ・ 変状が生じている範囲が一部の断層の一部区間である等、部分的であること

- ・変状の形成時期は最終間氷期中に2時期あり、これらが地震動によるものとするれば敷地全域で共通して変状が2度形成されるはずであるが、例えば、敷地の海側で変状が発生した時期には、山側では変状が発生していないこと
- ・変状を発生させるような大地震は繰り返し発生するはずであるが、十和田レッド軽石層堆積前後以降に変状が発生していないことは、このような大地震がその後全く起きなかったことを示していること

② 熱水等の圧入の可能性

地下深部からの熱水等により変状が形成されたとすると、以下のような点で矛盾がある。

- ・第四系中に熱水等の流体が噴出したこととなるが、その痕跡が認められないこと
- ・当地域では新第三紀鮮新世以降の火山活動はないこと

③ 凍結・融解作用の可能性

敷地内には、凍結・融解作用による変形現象も認められるが、この変形現象は最終氷期の周氷河環境下で形成されたものである。一方、第四系の変状が、凍結・融解作用により形成されたとすると、以下のような点で矛盾がある。

- ・変状の形成時期が最終間氷期に限られており、最も寒冷な最終氷期（約1万年前）には生じていないこと
- ・凍結・融解作用による変形現象は、当地域では地表面からごく浅部に限られることが確認されているが、第四系の変状はこれより深いところにも認められること

(3) 評 価

第四系の変状は、新第三系表層付近における岩盤劣化部、具体的には、粘土化した幅・厚みのある断層破碎部、風化・軟質化した泊層あるいは蒲野沢層に対応して認められる。第四系の変状が認められる岩盤劣化部

では、体積膨張が発生していることが、変状箇所での各種測定、分析結果でも確認され、また、調査から得られた諸元に基づく数値解析によっても、実際の変状を再現できることが示された。

岩盤劣化部の体積膨張は、断層破碎部や泊層、蒲野沢層中の粘土鉱物の吸水による膨張のほか、泊層の風化に伴う膨張が関与していると判断する。

また、国内外において、類似事例も確認された。

以上のことから、第四系の変状の成因は、岩盤劣化部の体積膨張によるものであり、他の成因の可能性を考慮しても、最も合理性があるものと判断する。

第四系の変状の成因が体積膨張によるものであることについては、専門家によっても確認されている。（見解書(1)(3)～(6)）

4. 総合評価

当社は、平成8年、東通原子力発電所の原子炉設置許可申請にあたり、地質調査で得られた膨大なデータを多面的かつ総合的に分析した結果、敷地内断層は「耐震設計上考慮すべき活断層」ではないと評価しており、国の安全審査においても、「原子炉施設設置位置を含めた敷地内断層について活動性がないとすることは妥当」と結論付けられている。

その後、敷地に隣接し、同等の地質状況を有する東京電力東通原子力発電所の原子炉設置許可に係る安全審査においても、同様の評価がなされている。さらに、平成18年の耐震設計審査指針改訂に伴う耐震バックチェックや平成23年東北地方太平洋沖地震などを踏まえ、当社は、それまで蓄積してきたデータに加えて、新たなデータの拡充および蓄積を行うことなどにより、最新知見をもってしても「敷地内断層について活動性がない」という評価結果が変わらないことを、都度確認してきている。

今回、当社は、有識者会合における指摘等を踏まえ、断層の横ずれの有無を確認するための水平掘削面調査、第四系の変位・変形の累積性や変動地形と断層との関連性を確認する広範囲なトレンチ調査、断層破碎部の固結状況を確認するためのボーリング調査、および採取した岩石試料の詳細観察など、様々な調査手法を用いて敷地全体にわたり詳細な調査を実施した。

その結果、これまで本報告書で詳述したとおり、敷地内断層に横ずれ主体の活動性を示す痕跡が存在しないこと、断層活動による変位・変形の累積性が認められないこと、変動地形指摘箇所において関連する断層が存在しないこと、および破碎部が固結・岩石化していることなど、少なくとも第四紀後期更新世以降の活動性を示す根拠はなく、第四系に認められる変状については、断層活動に伴う構造的なものではないと評価する。

したがって、当社は、今回の追加地質調査の結果として、敷地内断層が

第四紀後期更新世以降に活動していないこと等から、新規制基準における「将来活動する可能性のある断層等」ではないと評価する。

また、変状の成因は、岩盤劣化部の一部が体積膨張することにより発生したと判断することが最も合理的である。

地質・地盤等の科学的評価にあたっては、様々な証拠を積み重ねて、最も合理的に説明できることが真実であるとの考え方に基づくとしている。

こうした当社の評価結果については、地質学をはじめとする複数の外部専門家からも支持する旨の見解をいただいている。

当社は、今回の追加地質調査において、過去の調査結果も含めて多くのデータを積み重ね、加えて専門家の見解等を踏まえて総合的に評価した。こうした過程を経て導き出された結論、すなわち敷地内断層が「将来活動する可能性のある断層等」ではないという評価結果は、極めて合理的な結論であると考えている。