

平成 28 年度 エネルギー関連施設に  
関する活断層の工学的研究会

報告書 概要版

平成 29 年 8 月

一般財団法人エンジニアリング協会



## < 目 次 >

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1. はじめに .....                       | 1 |
| 1.1 活動方針 .....                      | 1 |
| 1.2 実施体制 .....                      | 1 |
| 1.3 平成 28 年度の活動状況 .....             | 1 |
| 2. 成果概要 .....                       | 2 |
| 2.1 A グループ .....                    | 2 |
| 2.1.1 主断層，分岐断層，副断層等の関係 .....        | 2 |
| 2.1.2 副断層の性状調査 .....                | 3 |
| 2.1.3 副断層の変位量 .....                 | 3 |
| 2.1.4 今後活動する可能性ある断層の評価基準 .....      | 4 |
| 2.1.5 文献に基づく断層の長さの変位量 .....         | 4 |
| 2.1.6 今後の課題 .....                   | 5 |
| 2.2 B グループ .....                    | 5 |
| 2.2.1 各種構造物における活断層の取り扱い .....       | 5 |
| 2.2.2 断層変位による被害事例および評価事例の追加調査 ..... | 6 |
| 2.2.3 今後の課題 .....                   | 6 |

平成 28 年度「エネルギー関連施設に関する活断層の工学的研究会」

委員名簿

| No. |        | 氏 名    | 会社名            | 所属・役職                                            |
|-----|--------|--------|----------------|--------------------------------------------------|
| 1   | 委員長    | 平松 晋一  | 応用地質(株)        | 執行役員 技術本部 副本部長                                   |
| 2   | 副委員長   | 塩崎 功   | (株)安藤・間        | 技術本部 技術研究所 首席研究員                                 |
| 3   | アドバイザー | 小島 圭二  | 地圏空間研究所        | 代表（東京大学名誉教授）                                     |
| 4   | アドバイザー | 徳永 朋祥  | 国立大学法人東京大学     | 大学院新領域創成科学研究科 教授                                 |
| 5   | 委員     | 杉本 敏哉  | (株)安藤・間        | 土木事業本部 副本部長                                      |
| 6   | 委員     | 村上 雅紀  | 応用地質(株)        | エネルギー事業部 地震地質部 主担                                |
| 7   | 委員     | 奥澤 康一  | (株)大林組         | 技術本部 技術研究所 地盤技術研究部<br>副主任研究員                     |
| 8   | 委員     | 浜田 友康  | 鹿島建設(株)        | 土木設計本部 技師長                                       |
| 9   | 委員     | 森口 安宏  | 川崎地質(株)        | 首都圏事業本部 地盤部 部長                                   |
| 10  | 委員     | 結城 則行  | 川崎地質(株)        | 戦略企画本部 技術企画部 部長                                  |
| 11  | 委員     | 吉田 淳   | サンコーコンサルタント(株) | 解析技術部 技師長                                        |
| 12  | 委員     | 江戸川 修一 | 清水建設(株)        | 土木技術本部 地下空間統括部長                                  |
| 13  | 委員     | 淡路 勲太  | 清水建設(株)        | 土木技術本部 地下空間統括部 主査                                |
| 14  | 委員     | 今村 聡   | 大成建設(株)        | 技術センター 副センター長                                    |
| 15  | 委員     | 松浦 一樹  | (株)ダイヤコンサルタント  | 顧問                                               |
| 16  | 委員     | 向山 和成  | (株)ダイヤコンサルタント  | ジオエンジニアリング事業本部 調査役                               |
| 17  | 委員     | 緒方 信一  | 中央開発(株)        | ソリューションセンター 川口オフィス 所長                            |
| 18  | 委員     | 細矢 卓志  | 中央開発(株)        | ソリューションセンター 地質部 次長                               |
| 19  | 委員     | 池田 孝夫  | 日揮(株)          | 国内インフラプロジェクト本部 原子力・環境プロジェクト部 チーフエンジニア            |
| 20  | 委員     | 門 万寿男  | 日揮(株)          | 国内インフラプロジェクト本部 原子力・環境プロジェクト部 OSMOS グループ グループリーダー |
| 21  | 事務局    | 上田 正人  | (一財)エンジニアリング協会 | 地下開発利用研究センター 技術開発部<br>研究主幹                       |

## 1. はじめに

### 1.1 活動方針

原子力発電所の断層破砕帯に関する原子力規制委員会の見解や断層の活動性の議論などが、我が国のエネルギー安定供給に大きな問題をなげかけている。自然現象を相手に“もの”とくに重要構造物をつくる上で重要なのは、ハザードになる現象を明らかにして、遭遇する可能性を把握すること、そして被害を許容できる限度に留めることである。断層の活動性に関しても、単に活断層の「ある、なし」を議論しても、ハザード／安全性の大小は判断できない。それ故、この問題に関しては、エンジニアの集団である当協会の賛助会員の関心も高く、工学的な観点から何か貢献したいと言う要望が強い。このため、当協会の強みであるエネルギー関連施設の設計で、活断層がどのように検討されてきたかについて、まずは広く情報を収集する。また工学的な観点からこれらをまとめることは、社会的にも意義が大きいと考える。このような現状を踏まえて、研究成果を社会に情報発信することとする。

### 1.2 実施体制

○参加企業：応用地質(株)（委員長）、(株)安藤・間（副委員長）、(株)大林組、鹿島建設(株)、川崎地質(株)、サンコーコンサルタント(株)、清水建設(株)、大成建設(株)、(株)ダイヤコンサルタント、中央開発(株)、日揮(株)、11社

○Aグループ（地質コンサルタント）とBグループ（建設・プラント）の2グループで分担

○アドバイザー：地圏空間研究所、東京大学

### 1.3 平成28年度の活動状況

平成28年度の活動状況を表1.3-1に示す。

表 1.3-1 平成28年度の活動状況

| 年月日         | 会 議 名     | 活 動 内 容                              |
|-------------|-----------|--------------------------------------|
| 2016年5月9日   | 第1回研究会    | 平成27年度報告書内容確認<br>平成28年度活動方針確認        |
| 2016年6月13日  | 第1回幹事会    | 研究会日程調整と審議内容の検討                      |
| 2016年7月6日   | 第2回研究会    | 作業グループ分けと作業内容の確認                     |
| 2016年9月12日  | 第2回幹事会    | グループ毎の作業進捗確認                         |
| 2016年9月20日  | 第3回研究会    | 土木学会、原子力学会の活断層に関する最近の話題確認            |
| 2016年10月6日  | 第3回幹事会    | 活断層の評価手法、影響評価の整理                     |
| 2016年10月25日 | 第1回グループ会議 | 活断層評価グループの作業進捗確認                     |
| 2016年12月20日 | 第4回研究会    | 活断層評価、影響評価作業の進捗確認<br>活断層認定方法、総合的評価検討 |
| 2017年1月31日  | 第4回幹事会    | 活断層評価の取りまとめ                          |
| 2017年3月13日  | 第2回グループ会議 | 活断層評価グループの整理結果確認                     |
| 2017年3月31日  | 第5回研究会    | 平成28年度報告書（案）確認<br>平成29年度活動方針確認       |

## 2. 成果概要

平成 28 年度では、平成 27 年度に収集・整理した情報の更新と追加を行い、それらの成果を取りまとめた。以下に、A, B それぞれのグループで実施した主な作業内容とその成果、今後の課題を示す。

### 2.1 A グループ

重要構造物であれば、事前調査で分かる断層は避けることが基本であることから、事前調査でわからない断層の取り扱い方を議論することが重要である。そこで、「事前に把握できなかった地震断層」として、副断層の性状（基盤岩か被覆層か）、変位の向き（正・逆・横ズレ）、主断層からの距離、変位量等のデータを各社で分担して収集・整理した。以下にその結果を示す。

#### 2.1.1 主断層、分岐断層、副断層等の関係

まず、主断層、分岐断層、副断層等の関係を整理した。

原子力安全推進協会（2013）、Treiman（2009）、山崎晴雄（2016）および原子力規制委員会（2013）などによる主断層、分岐断層、副断層等に関する記載内容をもとに、これらの関係を整理すると図 2.1-1 のようになる。

これによると、震源断層と直接的に関連する主断層および分岐断層のグループと、震源断層とは直接的な関連を持たない副断層、Sympathetic Fault Rupture、地すべり等のグループの 2 つのグループに明確に区分できる。しかしながら、原子力規制委員会（2013）の新規制基準では、これらすべてを「将来活動する可能性のある断層等」とみなし、耐震重要施設は「将来活動する可能性のある断層等」による変位が生ずる恐れがない地盤に設けなければならないとしている。

山崎（2016）は、「活断層のような地学現象は不確実性に富み白黒の判断は難しいので、断層のずれに対する工学的な対応が必要である」と述べている。実際に主断層や分岐断層は変位量が大きく断層変位地形と対応しているため、事前の地質調査により把握することが可能である。現実的にも原子力発電所などの重要構造物はこれを避けて建設されている。

しかし、変位量が小さく必ずしも断層変位地形を伴わない副断層等については、事前に想定できない場合も多い。そのため、重要構造物の安全性を議論する上でこれらの副断層等の変位に対する工学的な対応方法を検討することは意義があるものと考えられる。

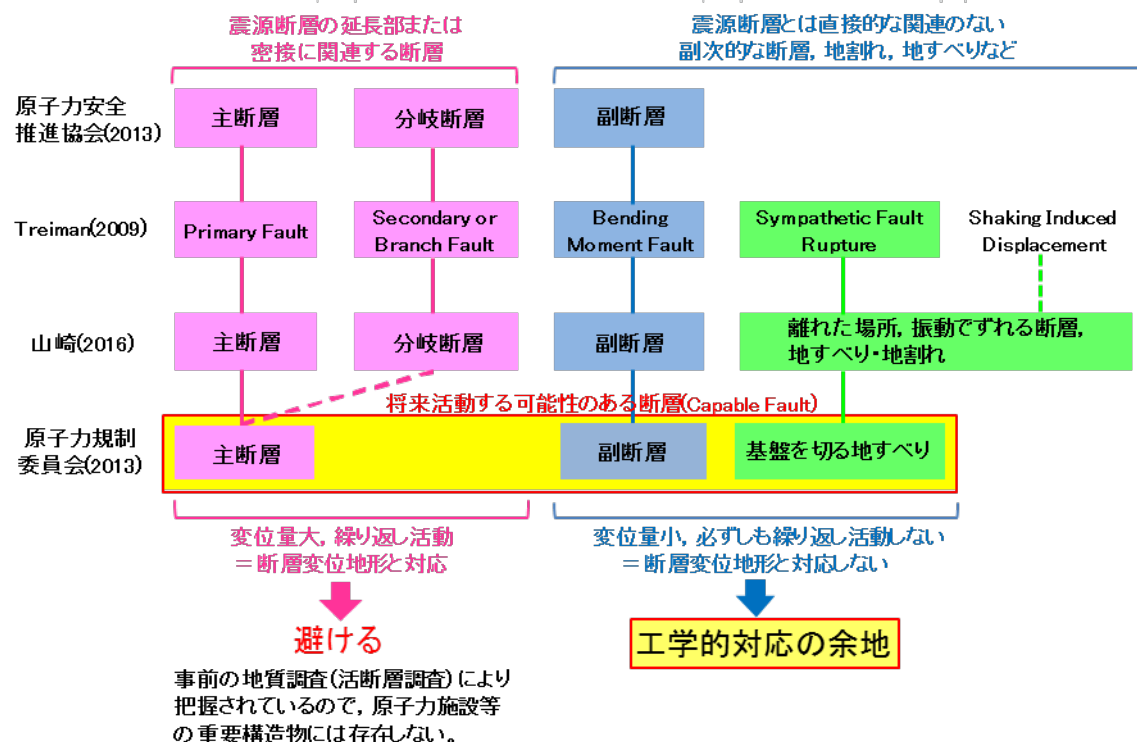


図 2.1-1 主断層・分岐断層・副断層等の区分に関する考え方の整理

## 2.1.2 副断層の性状調査

地表地震断層を伴った過去の主な地震を対象にして、主断層や分岐断層から離れた位置に出現した副断層の性状を把握するために文献調査を行った。対象とした地表地震断層は、2016 年熊本地震（布田川一日奈久断層帯）、2014 年長野県北部地震（神城断層）、2011 年福島県浜通り地震（井戸沢断層・湯ノ岳断層）、2008 年岩手・宮城内陸地震、2004 年新潟県中越地震（小平尾断層・六日市盆地西縁断層）、2000 年鳥取県西部地震、1995 年兵庫県南部地震（野島断層・楠本断層）、1984 年長野県西部地震、1978 年伊豆大島近海地震（稲取断層帯）、1948 年福井地震（福井断層・福井東断層）、1945 年三河地震（深溝断層・横須賀断層）、1943 年鳥取地震（鹿野断層・吉岡断層）、1940 年北伊豆地震（丹那断層）および 1927 年北丹後地震（郷村断層・山田断層）の計 14 である。

これらの中には、もともと既知の活断層が知られていなかった地震もあり、確実に副断層と考えられる地表変位を認定し難い場合もあった。また、それぞれの文献の著者によって、副断層の定義や認定の方法が異なっていることもあり、事前に検討した「主断層、分岐断層、副断層等の区分に関する考え方の整理」に従って、地下の震源断層と直接的な関連を持たないと考えられる地表変位に限って副断層として抽出・整理した。

## 2.1.3 副断層の変位量

上記の調査の結果、明瞭・不明瞭を問わず、副断層と思われる地表変位の位置と変位量の記載があるのは、2016 年熊本地震（数 10cm 以下）、2014 年長野県北部地震（2～82cm）、2011 年福島県浜通り地震（64cm、23cm）、2008 年岩手・宮城内陸地震（10

～30cm), 1995 年兵庫県南部地震 (5～70cm), 1978 年伊豆大島近海地震 (8～10cm), 1945 年三河地震 (0～100cm), 1943 年鳥取地震 (20～70cm), 1930 年北伊豆地震 (5～120cm) および 1927 年北丹後地震 (30～65cm) の 9 つの地震である (文献で副断層としてあっても明らかに震源断層から派生した分岐断層など, 断層変位地形が認められるものは除いた).

このうち, 副断層と分岐断層の判別が難しかった 1930 年北伊豆地震の丹那断層の場合を除けば, 地表地震断層が出現した主な地震においては, 副断層の変位量で 1m を超えるようなものはないと判断してもよさそうである. さらに, これらの地表変位には, 被覆層の重力変形 (表層部のすべりや側方流動など) の要素が含まれている可能性もある. このため, 原子力施設等の重要構造物の基礎となる岩盤上に限ってみれば, 副断層の変位量はさらに小さくなる可能性がある.

なお, ここで注目されるのは, 2016 年熊本地震と 1995 年兵庫県南部地震の 2 つの事例である.

2016 年熊本地震では, 人工衛星からのレーダー観測によって広域的に地表変位がとらえられている. これらの中には, 震源断層 (布田川―日奈久断層帯) からある程度離れた位置に現れ, これとの直接の関連性がない地表変位が数多く存在する. その変位量は大きくとも数 10cm 程度であり, 二次的な応力や強震動によって発生したもの, すなわち地表面近くの応力開放のため既存の弱面としての断層やその周囲が地表変位として現れたものと考えられており, 副断層の成因の一つを示している可能性がある.

また, 1995 年兵庫県南部地震では, 震源断層 (野島断層) の位置から約 4km 離れた淡路島東岸において, 上下変位量 10～20cm (右横ずれを伴う) の地表地震断層が現れた. この位置には, 既知の活断層 (灘川断層系の楠本断層) が知られているが, 現れた地表地震断層の変位の向きが地形的に推定される楠本断層の変位の向きと逆であることから, 広域圧縮応力場のもとで誘発された断層面に沿った 2 次的な地殻の隆起と考えられている. これは, Treiman (2009) による Sympathetic Fault Rupture, すなわち地下の震源断層の活動とは直接的な関連性がない副断層の一つに相当するものと考えられる.

#### 2.1.4 今後活動する可能性ある断層の評価基準

地震調査研究推進本部による主要活断層の諸元を基に, 活断層の平均活動間隔データを整理した. その結果, 平均活動間隔は 6～8ka 以下のものが多く, データの信頼度が低いセグメントを除けば最長でも 30ka 以下であり, 最新活動時期は 30ka を遡ることはないことが示された. したがって, 日本の主要な活断層は 3 万年を超えた間隔で活動することは考えにくいことから, 今後活動する可能性のある断層の評価基準は, MIS5e (12～13 万年前) に限定するのではなく, MIS5a～5e (7～13 万年前) とするのが妥当であるといえよう.

#### 2.1.5 文献に基づく断層の長さに変位量

文献に示された断層の長さに変位量との相関関係を適用した場合, 長さ 1km の断層の 1 回の変位量は 2～10cm となる. 一方, 同規模の地震断層 (例えば 1998 年の岩手県内陸北部地震で約 800m にわたって出現した地表地震断層) で観測された最大変位

量は 40cm と大きい。相関関係を求めた文献では、いずれも長さ 10km 程度以上の地震断層を対象として断層長と変位量の関係を求めていることから、長さ 1km 程度の小規模な断層に対しては、別途関係式の検討が必要と思われる。

#### 2.1.6 今後の課題

断層変位に対する工学的な対策の妥当性を評価するには、解析や実験における最も重要なパラメータとなる断層の変位量の範囲を何らかの根拠を持って想定する必要がある。今年度の調査結果から、「副断層の変位量で 1m を超えるようなものはない」という結果が得られたが、具体的な解析や実験を行う際にどの程度の変位量を前提にすべきかを議論する必要がある。

一方、これまでに得られた知見を基に、活断層の科学的な認定方法を具体的に提示することも必要であろう。単一のデータを基に「活断層であることは否定できない」という評価を下すのではなく、これまで実施されてきた構造地質学的アプローチ（地質構造の形成をもたらした地質現象や地殻応力場に基づく成因論）と古地震学的アプローチ（変位地形法と上載地層法）を併用して総合的に評価するための手順を具体的に示すことを目指したい。

### 2.2 B グループ

平成 27 年度では、原子力発電所およびダム、石油・ガス貯蔵施設、鉄道、道路などの重要構造物における活断層の定義、認定基準、工学的な対応方針を調査・整理するとともに、断層変位による被害事例と対策事例、断層変位による影響評価事例を収集・整理した。平成 28 年度では、国内のエネルギー関連施設以外（道路、鉄道など）について追加調査を行い、考慮すべき断層、工学的評価の方法について指針・規定類にどのように記述されているかを調査し、再整理した。その結果を以下に示す。

#### 2.2.1 各種構造物における活断層の取り扱い

原子力関連施設とダムを除けば、活断層の取り扱いに関して明確に記述されている指針・規定類は少ない。地下構造物、新幹線トンネル、鉄道構造物、パイプライン、水道、下水道の指針・規定類だけである。

この中で、断層変位に対する対策を明示しているのは、地下構造物、新幹線トンネル、鉄道構造物、パイプライン、水道である。

新幹線トンネルでは、活断層との交差箇所から前後 100m 区間に対して対策工を実施するとしている。断層と交差するトンネルに適用する対策工としては、「裏込注入工、ロックボルト工等」を挙げている。これは、断層変位による覆工コンクリート崩落等の被害を防止することを主眼としたものである。

中央新幹線の断層対策は、活断層はなるべく回避する、通過する場合は活断層をできる限り短い距離で通過するようにし、さらに活断層の形状等を十分に調査したうえで、通過の態様に見合った適切な補強を行っていくという方針である。

水道用の大容量送水管では、断層との交差部に断層用鋼管を設置し、断層変位による被害の軽減化を図っている。

下水道は、断層を避けることが基本であるが、避けられない場合には、震後におい

て構造物の機能を代替するシステムや復旧方策などを検討しておくとしている。

### 2.2.2 断層変位による被害事例および評価事例の追加調査

2016 年熊本地震による構造物の被害事例を追記した。断層変位によると考えられる被害が、大切畑ダム、俵山トンネル、桑鶴大橋、扇の坂橋、俵山大橋において発生している。今後、既知の活断層の断層変位量ならびに事前に把握できなかった地震断層の変位量の整理、構造物被害との関連性の検討が進められることが期待できる。

断層変位による評価事例としては、菊地ほか（2016）および樋口ほか（2016）が実施した遠心模型実験を追記した。本実験は、岩盤の断層直上に設置した地中構造物を対象とし、逆断層の変位による構造物への作用荷重について遠心模型実験（模型縮尺 1/50 とした遠心重力 50G での実験）により検討したものである。

### 2.2.3 今後の課題

一般の土木構造物、特に線状構造物は活断層を避けて構築することは不可能である。したがって、断層を通過する箇所におけるハード対策としては、トンネル覆工やトンネル背面の強度増加、断層変位を吸収する断層用鋼管の適用を実施している。一方、ソフト的な対策としては、断層変位により構造物が破損することを前提にした上で、代替システム（迂回路等）の確保、復旧期間短縮方策を適用するとしている。

これらの対策は、それぞれの構造物の特性や構造物が破損した場合の影響等を考慮したものであり、同じ方法が他の構造物に対しても適用できるとは限らない。次年度は、Aグループが整理した「事前に把握できなかった地震断層」によって生じる断層変位量を考慮したうえで、各種構造物における断層変位対策の妥当性を評価する。その上で、一般の土木構造物に適用されている断層変位対策が、原子力関連施設等の重要構造物に対しても適用可能か否かを検討する。

これらの検討過程において、既往の解析的な検討事例あるいは実験的な検討事例だけからは評価が困難な事例が発生した場合は、必要に応じて新たな解析あるいは実験を実施するための具体策を立案する。