

DEN-CHU-KEN

TOPICS

2014 11 November

VOL.18

Central Research Institute of Electric Power Industry

発電所の安全性向上を支援する 断層の活動性評価・地質年代測定技術

1. 活断層の調査・評価に関するこれまでの研究経緯
2. 断層の活動年代評価技術
3. 活断層の連動性評価技術

発電所の安全性向上を支援する断層の活動性評価・地質年代測定技術

1. 活断層の調査・評価に関するこれまで

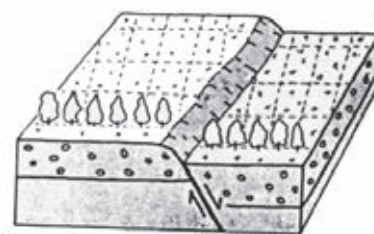
水力・原子力発電所等の立地・建設に関連して、電力中央研究所では古くから活断層の調査研究を進めてきました。2006年の原子力発電所の耐震設計審査指針の改訂や、東日本大震災を踏まえた2013年新規制基準の制定以降も、発電所の安全性に影響を与える可能性のある活断層を特定して、その最新活動時期や活動度^(注1)、活動周期等を評価することが必要とされています。

発電所の設計で考慮される地震・地震動^(注2)の大きさの推定には、それを決定する活断層の規模や形状を適正に評価することが重要です。当研究所では、国内有数の活断層である中央構造線、跡津川断層等を対象に、断層活動性の評価手法の構築に取り組んできました。また、断層の活動性評価に向け、断層のトレンチ調査^(注3)や変位計測を行うとともに、情報量に富む活断層調査を目指して、断層内物質に含まれる鉱物などを利用する活動年代評価手法を独自に開発しました。

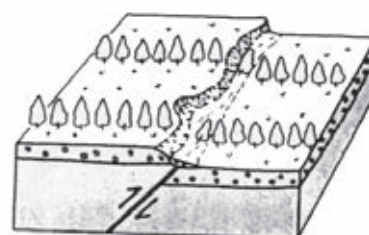
本章では、発電所の耐震設計で考慮される活断層評価の課題や当研究所の取り組みについて紹介します。

(注1) 活動度:1000年当たりの平均的な活断層のずれの量。
 (注2) 地震動:地震の震源から伝わる地震波によって生じる地表や地中の動き。
 (注3) トレンチ調査:断層を横切るようにトレンチ(調査溝)を掘り、地層を観察して、断層の過去の活動歴などを調査する方法。
 p.5の写真参照。

地球工学研究所
副研究参事
上田 圭一



(a) 正断層



(b) 逆断層

正断層と逆断層の例図

(出典:松田時彦著、動く大地を読む, p.3, 岩波書店, 1992.)



湯ノ岳断層沿い地表地震断層

2011年東北地方太平洋沖地震の誘発地震で出現した正断層型の地表地震断層

の研究経緯

1.1 活断層の調査・評価の歴史

国内で活断層に関する学術的な考察が行われたのは、1891年に発生した濃尾地震が最初である。その後発生した地震に対して、地殻の変形に対する関心が高まるとともに、活断層の長さや地震の規模との関係などについて論じられるようになった。その後研究が進み、個々の活動性を示す平均変位速度の概念や、断層の活動履歴を解明するためのトレンチ調査の有効性が示された^[1]。また、1980年に断層変位地形に着目して日本国内を網羅した「日本の活断層」^[2]が活断層研究会によって発行された。

水力ダムや原子力発電所のような大規模な構造物の立地や建設において、地質調査や活断層調査は建設予定箇所とその周辺の地質構造を把握するための重要な調査である^[1]。その際、事前調査として国内を網羅した上記文献^[2]が参考にされるが、建設地点の現地調査の結果が最も有効な評価となることは言うまでもない。特に、原子力発電所の地質調査と他の構造物の地質調査との大きな違いは、耐震設計用の入力地震動を策定するための活断層調査を広範囲かつ精密に行うことである。

活断層の評価技術の発展とともに、個々の原子力発電所において断層調査が詳細に実施され、工学的に設計に反映された^[1]。1978年、それまでの各地点の地質調査や安全審査の経験を踏まえて、当時の国の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」^[3]が策定された。一方、1985年に土木学会・原子力土木委員会から「原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法」報告書^[4]が出版され、それ以降、原子力発電所の周辺地盤や基礎岩盤の地質調査は、この報告書に示された考え方に基づいて行われた。

1995年に発生した兵庫県南部地震を契機として、活断層、地震、地震動に関する新しい知見が得られたことから、2006年に上記指針^[3]が大幅に改訂された。改訂前は、耐震設計上考慮する活断層は5万年前以降に活動したものとされていたが、改訂により評価期間は後期更新世(約12万～13万年前)以降に拡張された。2009年には日本電気協会・原子力規格委員会により「原子力発電所耐震設計技術指針 基準地震動策定・地質調査編」^[5]が策定された。その後、2011年東北地方太平洋沖地震での福島第一原子力発電所事故を踏まえた原子力規制委員会の設置に伴い、原子炉施設の「新規制基準」が2013年に制定され、現在、原子炉の適合性審査が実施されている。

このような歴史的背景のもと、当研究所は原子力発電所の耐震安全性評価等に資するため、全国各地の活断層、震源断層を対象とした現地調査を実施してきた(図1-1、参考文献^[6]の100万分の1活断層データをもとに作成)。

1.2 近年の活断層評価の課題と当研究所における取り組み

一般に、地震を引き起こす可能性のある地下深部の震源断層を精度よく評価するためには、震源断層のずれ量の累積により形成される変動地形や地質構造を、各種調査技術を適用して総合的に解析することが重要である。大規模活断層の活動性の解明のため、これまでは空中写真の判読、地表踏査、ボーリング調査、トレンチ調査、浅層物理探査が調査手法として一般的に用いられた。しかし、発電所の安全性を一層高めるため、これまでよりも古い約40万年前以降の断層活動性や、変動地形学的調査による評価が求められるようになってきた。また、これまで日本列島で地震を引き起こす活断層は、九州中部から



図1-1 当研究所が調査した活断層・震源断層

南部地域を除き、逆断層型もしくは横ずれ断層型が主体であるとされていたが、2011年東北地方太平洋沖地震における本震の後に発生した誘発地震では、正断層型の地表地震断層が出現した(1ページの例図と写真参照)。さらに、発電所の敷地内に影響を及ぼすような津波の痕跡を評価することなども課題とされるようになった(図1-2)。

現在、当研究所では、電力会社が実施している原子力発電所敷地内の断層・破碎帯等の調査に随時協力している。具体的には、現場のボーリング試料などを対象に、ヘリカルX線CTスキャナやX線回折装置などの分析機器を用いて、断層・破碎帯

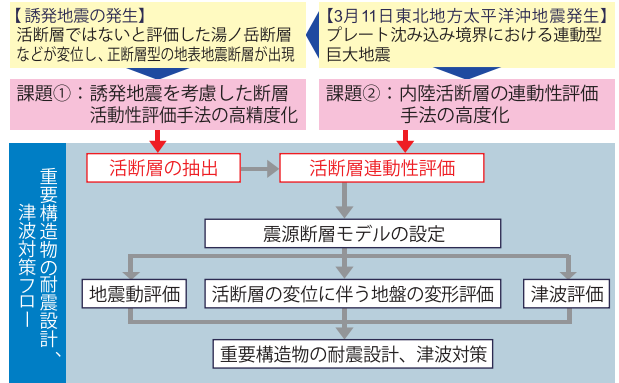


図1-2 東北地方太平洋沖地震を契機とした活断層評価の課題

等の内部構造、構成鉱物、変位様式、活動性などを調べている。第2章ではこれらの実験装置とともに調査法の特徴を紹介する。また、破碎帯の形成原因やメカニズムを調べる断層模型実験なども実施している。

当研究所では、2011年東北地方太平洋沖地震が起こる以前に、独自の断層評価手法として、航空レーザー測量・微小地震観測・地上レーザー測量・深部地下構造調査による実測結果と、震源域の地殻変動・変動地形との関係を検証するための模型実験・数値解析の結果とを組み合わせ、断層の3次元形態・変位量分布や、断層周辺の変形状況を把握できる評価法を開発した。この評価法のうち、航空レーザー測量データの解析手法と、模型実験・数値解析手法は、当研究所独自のものである。図1-3に当研究所が提案した航空レーザー測量などの最新の探査技術を導入した体系的な震源断層評価フロー⁷⁾を示す。

航空レーザー測量の導入により、従来、樹木に覆われて空中写真では判読できなかった地表面の小規模な段差を把握でき、詳細かつ定量的に変動地形を評価できるようになった。また、震源断層モデルに関する各種パラメータを変化させた模型

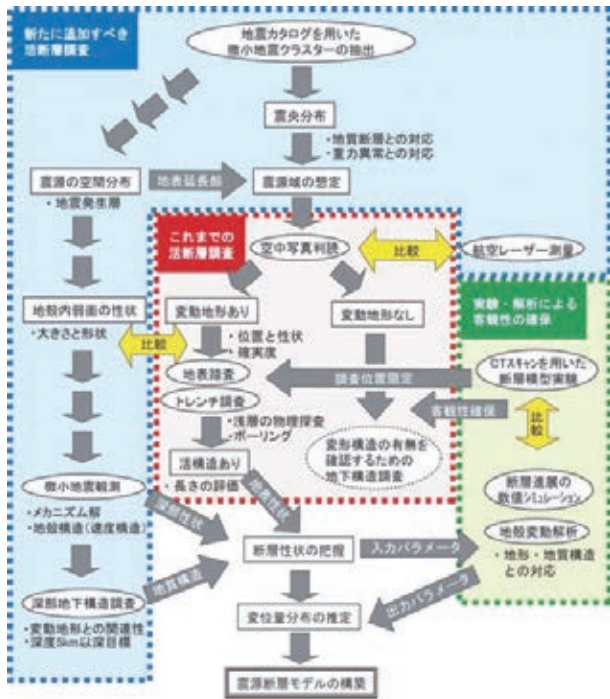


図1-3 活断層調査に基づく震源断層評価フロー^[7]

実験や数値解析の結果を考慮することにより、最適な震源断層モデルを構築することができる。第3章では、このような評価フローを応用して、活断層の連動性評価を行った事例を紹介する。

上記の他に、活断層調査から多くの情報を得るため、断層内物質に含まれる鉱物などを利用する複数の活動年代評価手法を開発した。さらに、これらの評価手法を高精度化し、地下の断層位置の詳細調査法や断層の活動性評価法を確立した。これらの手法は、震源域に明瞭な活断層が見いだされていない地域で発生した地震^[8]や、短い断層が対象地点近傍にある場合の地震の評価に適用されている。

図1-4、1-5にヘリカルX線CTスキャナを用いた正断層模型実験の検討事例を示す。正断層を対象に、模擬地盤を用いて断層をずらす実験を行い、

東北地方太平洋沿岸部周辺の鉛直断面模式図

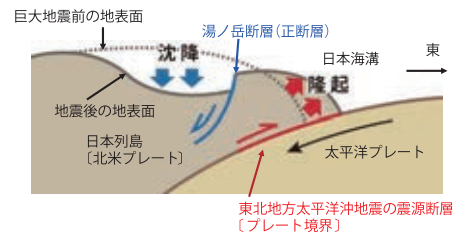


図1-4 誘発地震のメカニズム

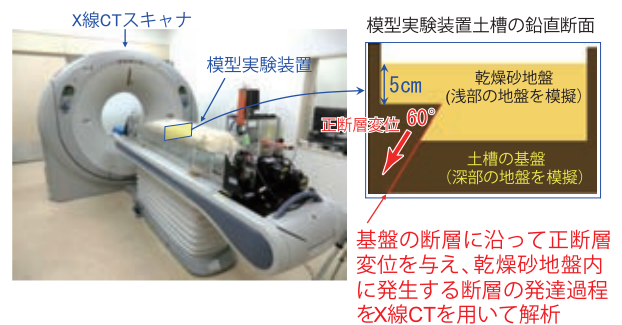


図1-5 ヘリカルX線CTスキャナを用いた正断層模型実験

断層の発達過程を解明した。その結果から、断層の進展に与える地盤の影響を把握することができた。

今後もこれまでに蓄積した知見や技術を活用して、断層活動性評価のニーズに応えるべく最大限に取り組んでいく。

<参考文献>

- [1] 桜井影雄ほか:エネルギー技術者のための地盤・耐震学, 丸善, 1999.
- [2] 活断層研究会編:日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 1980.
- [3] 原子力安全委員会:発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針, 1978.
- [4] 土木学会原子力土木委員会:原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法, 1985.
- [5] 日本電気協会:原子力発電所耐震設計技術指針 基準地震動策定・地質調査編, JEAG4601-2008, 2009.
- [6] 活断層研究会編:新編日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 1991.
- [7] 電中研ニュース465:地震の大きさを推定する—高精度な活断層調査に基づく評価手法の提案—, 2010.
- [8] 青柳恭平・阿部信太郎:明瞭な活断層が見いだされない地域での震源断層評価, 電力中央研究所研究報告N08038, 2009.

発電所の安全性向上を支援する断層の活動性評価・地質年代測定技術

2.断層の活動年代評価技術

原子力発電所の新規制基準の制定以後、発電所敷地内の断層の活動性を評価するため、断層破碎帯などの調査が要請されています。当研究所は、これまでの活断層研究で培った豊富な知見を活かして、発電所の敷地内や周辺の現地調査に協力しています。

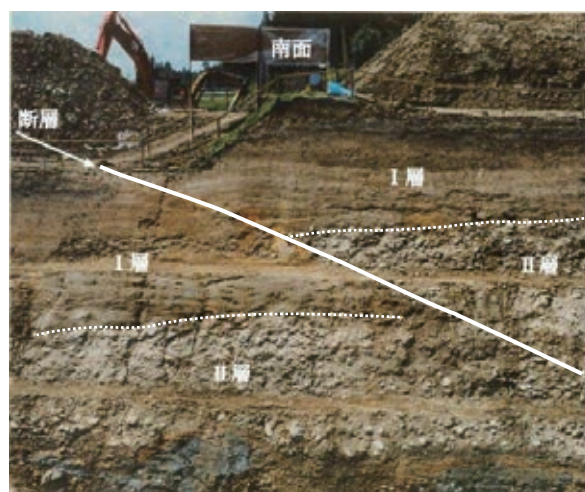
断層の活動性を評価する手法には、上載地層法と断層内物質を用いる手法があります。前者は、断層の上に堆積した地層のうち、断層運動によって切られていない地層の年代を特定して、断層の最終活動時期を推定する手法です。後者は、断層破碎帯のボーリング試料などを用いて、ヘリカルX線CTスキャナやX線回折装置などの機器分析により、断層破碎帯の内部構造、構成鉱物、変位様式などを調べて、最新の活動により生じた断層破碎帯の認定や最新活動時期の推定を行う手法です。

本章では、当研究所が保有する上載地層の年代測定技術や、断層破碎帯の各種分析・評価技術について紹介します。

地球工学研究所
上席研究員
伊藤 久敏



地球工学研究所
上席研究員
中田 英二



1896年の奥羽地震の際に活動した川舟断層(岩手県)のトレンチ調査の様子

上写真:トレンチ全景 下写真:南面における逆断層の様子

2.1 断層の活動性評価の流れ

図2-1に一般的な断層の活動性評価の流れと、当研究所が保有する技術や装置を示す。原子力発電所において耐震設計上考慮する活断層は、後期更新世（約12万～13万年前）以降の活動性が否定できない断層とされていることから（前章）、敷地内の断層が後期更新世の地層を切っているかどうか、最新の活動時期はいつかを評価することが求められる。

発電所を新規立地するケースなど、発電所適地の調査からスタートする場合、最初のステップとして

は、断層活動により形成される地表の起伏（変動地形）の有無などの地形の特徴を地形図や空中写真、前章で紹介した航空レーザー測量などにより調査し、発電所設置候補地周辺に活断層が存在する可能性を把握する。つぎにボーリング調査、トレンチ調査などの現地調査を行い、断層の分布状態、連続性、性状などの情報から、活動性を評価する断層を選定して、詳細な現地調査を実施する。詳細調査の手法には、上載地層法と断層内物質を用いる手法がある。

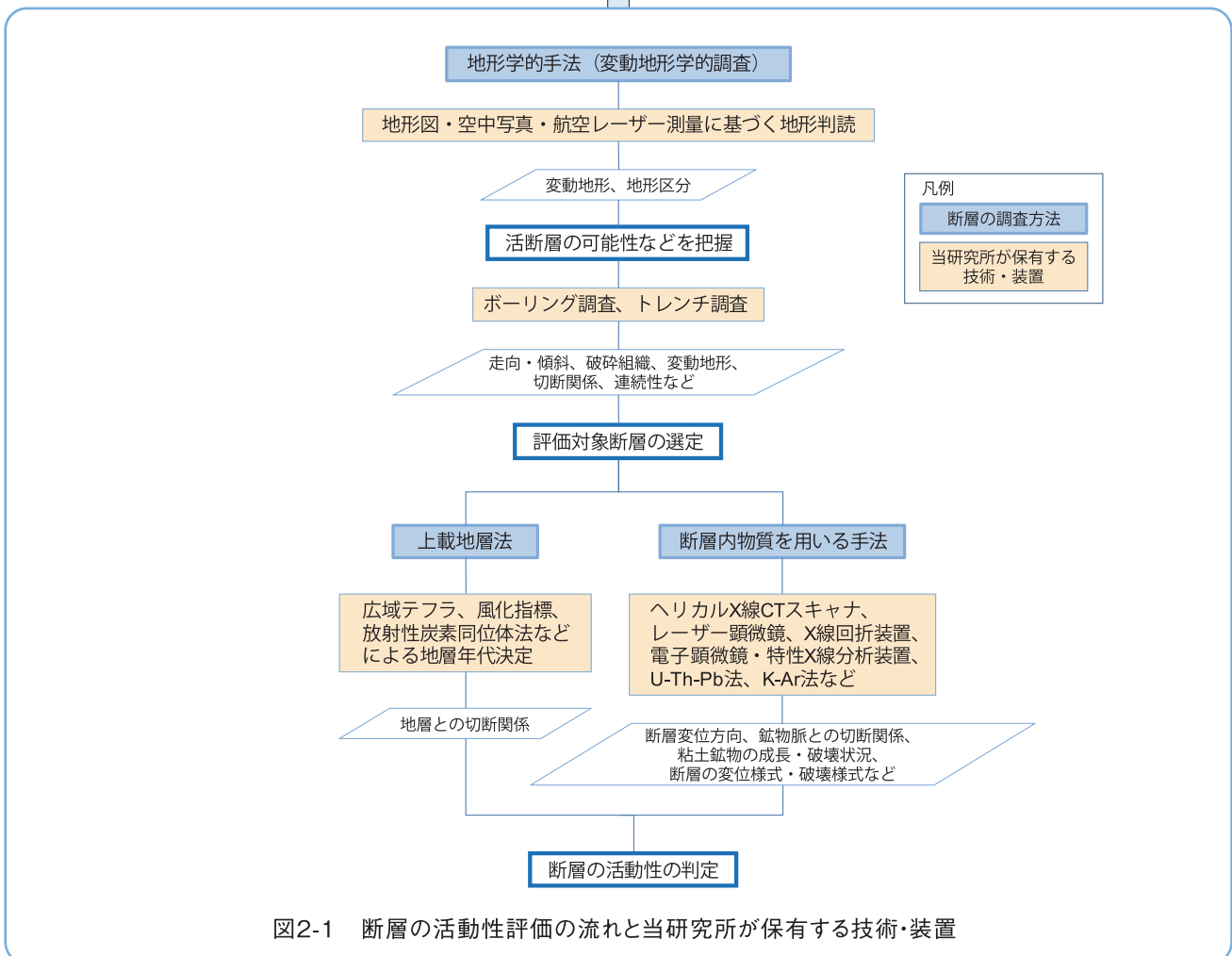


図2-1 断層の活動性評価の流れと当研究所が保有する技術・装置

2.2 上載地層法

上載地層法は、最新の断層活動後に堆積した地層（上載地層）の年代を特定することにより、断層の最新活動時期を推定する手法である。図2-2に上載地層法の概念を示す。

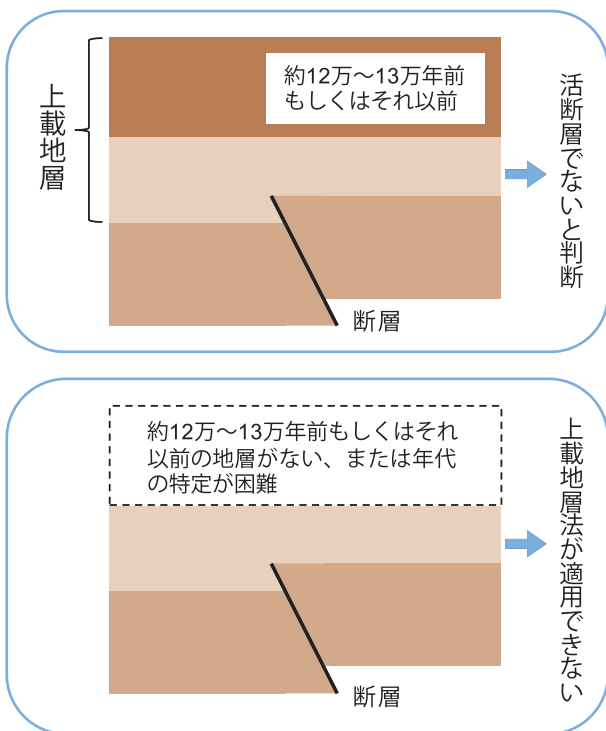


図2-2 上載地層法の概念

同上図のように、年代が後期更新世もしくはそれ以前と特定された地層に変位・変形が及んでいない場合は、その年代に断層の活動はなく、その断層は活断層ではないと判断する。しかし同下図のように、断層の上位に後期更新世もしくはそれ以前に形成された地層がない場合、あるいはあっても年代の特定が困難な場合は、この手法を適用することができない。その場合は、次節で述べる断層内物質を用いる手法が用いられる。

以下に、当研究所が保有する地層の年代測定技術を紹介する。

①火山灰を利用する方法

日本周辺で1,000年～1万年に1回程度の頻度で発生する巨大噴火により広範囲に同時かつ均一に堆積した火山灰（広域テフラ）は、地層の年代測定に特に有用である。火山の噴火には個性があり、広域テフラに含まれる鉱物の屈折率や化学組成は火山灰ごとに異なる。この性質を利用することで、広域テフラを同定（どの火山のどの時期に噴火した火山灰であるかを定めること）できれば、地層の年代を決定できる。

②風化指標を利用する方法^{[1],[2]}

この方法は地層に含まれる直径数cmの岩石粒子（礫）の風化の程度（風化指標）を利用する方法である。風化指標は、地層が堆積後、礫が風化作用を受け、経過時間が長いほど風化程度が大きくなる現象を利用する。風化作用は水と空気との接触によって進行するため、地層に空隙が多く、かつ堆積後に地下水面より上にあり、ほぼ一定の条件が維持された段丘礫は、その風化程度が年代のよい指標となる。風化指標として、段丘礫の風化皮膜の厚さと有効間隙率（礫全体の体積に対するすきま体積の割合）を測定することにより、風化程度を

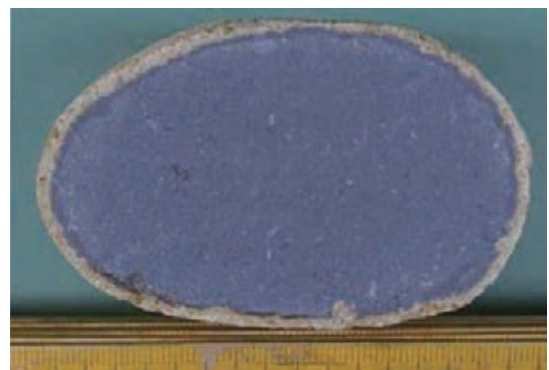


図2-3 安山岩礫の風化皮膜の一例^[2]

礫の断面写真。周囲の茶色層が風化皮膜。
礫の写真下の折尺の一目盛は1mm。

定量的に評価することが可能であり、20～30万年程度に遡る年代推定が可能である(図2-3)。

③放射性炭素同位体を利用する方法

この方法は炭素の放射性同位体 ^{14}C を利用する。 ^{14}C は大気中にほぼ一定濃度で存在し、生物体にもほぼ同濃度で取り込まれている。生物が死ぬと ^{14}C の取り込みが途絶え、その半減期(5730年)に従って減り続けるので、地層に含まれる木片などの生物試料の ^{14}C 量を調べると、その生物の生存年代を推定できる。近年進歩の著しい加速器質量分析法を用いれば、約6万年前までの年代推定が可能である。

2.3 断層内物質を用いる手法

原子力発電所敷地周辺の断層破碎帯調査では、破碎帯内部の形態観察、破碎帯を構成する鉱物種の決定、鉱物の形態観察などを行い、断層の活動性を判断する。

断層破碎帯調査により、断層の変位様式(正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層の4つを基本タイプとする断層のずれの方向)を決定することは重要である。例えば、原子力発電所の近傍に活断層がある場合、その活断層と敷地内断層の変位様式を比較することにより、敷地内断層を活断層の一部と捉えるべきか、連動する可能性はあるか、あるいは活断層とは無関係な(活動時期の古い)断層であるかの判断材料になる。

また、断層破碎帯中の粘土鉱物の種類を特定することも重要である。粘土鉱物は、岩石を構成する長石や雲母などの一次鉱物から、化学反応によって生成した二次鉱物であるが、どのような粘土鉱物が生成するかは生成環境(温度、圧力、地下水成

分など)に依存するため、粘土鉱物の種類を特定することにより、断層が生成した環境(現在に近い環境、地下深部の地質的に古い時代の環境など)が推定可能であり、活断層かどうかの判断材料になる。

当研究所では、各種のX線分析装置や顕微鏡などを用いて断層破碎帯の解析を行っている。断層面をマクロからミクロのスケールまで観察し、変位様式や断層面の特徴を把握することにより、最新活動の断層面と活断層との関係などを評価している。

以下に主な分析手順とその内容を示す。

①破碎帯・断層面の観察

現場において定方位で採取したブロック試料、ボーリング試料を実験室内で目視観察する。

②ヘリカルX線CTスキャナによる観察

図2-4に示すように、ボーリング試料を撮影台に設置し、断層破碎帯内部の構造を詳細に観察したり、最新の断層面を認定する。



図2-4 ヘリカルX線CTスキャナ

③実体顕微鏡による観察

上記のヘリカルX線CTスキャナで確認した最新の断層面に見られる条線(断層が動いた方向を

示す直線状の擦り傷)や表面の形状を実体顕微鏡で観察しながら精査する。断層面の形状の大きな把握には実体顕微鏡での観察が適する。

④ レーザー顕微鏡による観察

断層運動で断層面に形成された凸凹をレーザー顕微鏡で観察する。図2-5は測定例であるが、A-B測線の中央付近に約80 μ mの凹みがあり、この形状から断層のずれた方向を推定できる。

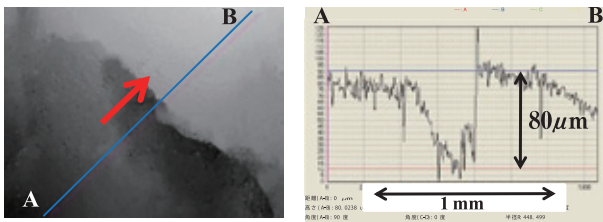


図2-5 レーザー顕微鏡による断層面の形状測定

図の断層面は、この面に接していた断層面に対して、赤矢印で示した方向にずれたと推定

⑤ X線回折装置による分析

図2-6に示す装置を用いて、各鉱物の結晶構造に固有のX線回折パターンを取得し、最新の断層面やその周辺に存在する鉱物の種類を特定する。



図2-6 X線回折装置

⑥ 電子顕微鏡・特性X線分析装置による観察

図2-7に示す装置を用いて、断層面などに存在



図2-7 電子顕微鏡・特性X線分析装置

する鉱物の形態や元素の分布状況、断層形状をミクروسケールで観察し、最終的に断層破碎帯の変位様式や活動性を明らかにする。

図2-8に観察結果の一例を示す。ボーリング試料(中央写真)の観察から断層破碎帯のスケッチ(左図)を作成するとともに、ヘリカルX線CTスキャナにより、非破壊でボーリング試料内部の断層破碎帯の詳細な性状を観察する(右側写真)。

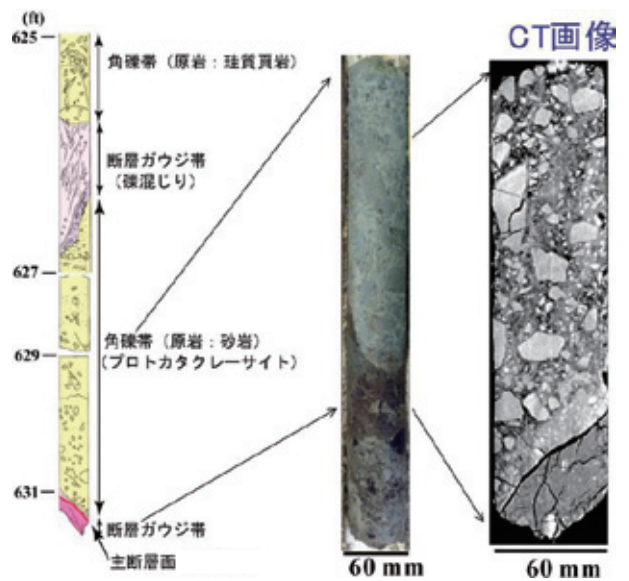


図2-8 破碎帯内部構造の観察結果

2.4 地質年代測定技術の開発

活断層認定の際に重要とされる10万～40万年前の年代を、精度よく測定できる手法の開発が長年の研究課題になっている。当研究所では、最新の分析機器を用いることにより、前節で述べた放射性炭素同位体法のほかに、以下に示す放射年代測定法の応用に取り組んでいる。

①ウラン–トリウム–鉛(U-Th-Pb)法

この方法は岩石中の鉱物(ジルコンなど)に含まれる ^{238}U が ^{206}Pb に放射壊変する現象を利用して、岩石の年代測定を行う。従来は、地球の誕生(約45億年前)などの非常に古い年代を対象としていたが、分析機器の性能向上により、10万年前程度まで測定可能になってきた。当研究所では、金沢大学と共同で北アルプスの花崗岩の年代測定を行い、同地域に世界で最も新しい約80万年前の花崗岩が分布することを明らかにした^[3]。現在、この手法による広域テフラの年代測定に取り組んでいる。

②カリウム–アルゴン(K-Ar)法

この方法は岩石中の鉱物(イライトなど)に含まれる ^{40}K が ^{40}Ar に放射壊変する現象を利用して、岩石の年代測定を行う。当研究所では、この方法を火山岩に適用し、数万～数10万年に一度起こる低頻度・大規模噴火の評価技術を開発している。当研究所では未実施であるが、この方法を断層破碎物質に適用することにより、断層の生成年代を推定することが可能である。

<参考文献>

- [1] 濱田崇臣・幡谷竜太:段丘の対比・編年の信頼性向上のための風化指標の検討—新潟県中越地域等に分布する段丘の観察・分析結果に基づいて—, 電力中央研究所研究報告N08063, 2009.
- [2] 濱田崇臣:段丘の対比・編年の信頼性向上のための風化指標の検討(その2)—一段丘礫の風化状態の把握と対比指標の適用条件の提示—, 電力中央研究所研究報告N12007, 2012.
- [3] Ito, H., Yamada, R., Tamura, A., Arai, S., Horie, K., and Hokada, T.: Earth's youngest exposed granite and its tectonic implications: the 10–0.8 Ma Kurobegawa Granite. *Sci. Rep.* 3, 1306, 2013.

発電所の安全性向上を支援する断層の活動性評価・地質年代測定技術

3.活断層の連動性評価技術

活断層の連動性評価は、隣接する活断層セグメント(単位区間)のうち、一回の地震でどの範囲が一括して破壊されるか、つまり起震断層となるかを予測するものです。その評価は、予測される地震規模や地震動の大きさに直結するため、原子力発電施設を対象とした安全審査においても、数多くの審議が重ねられてきました。

活断層の連動性評価における基本的な判断基準は、「セグメント間の離間距離が5km以内の場合にはひとつの起震断層になりえる」という経験則(いわゆる5kmルール)です。さらに、原子力発電所の周辺では、質・量ともに豊富な調査が実施されるため、それらの結果から総合的に評価されます。それでも、十分な評価指標がないために、隣接する断層系の全長に対して、念のため連動を考慮するケースが多いのが現状です。

当研究所では、活断層の連動性評価の信頼性を向上させるため、多角的な評価指標の導入を目指して研究を推進しています。本章では、新たに活用できる可能性の高い評価指標の提案に向けた取り組みについて紹介します。

地球工学研究所
主任研究員
青柳 恭平



地球工学研究所
主任研究員
佐々木 俊法



地球工学研究所
主任研究員
澤田 昌孝



2008年岩手宮城内陸地震による
荒砥沢ダム上流部の崩壊

3.1 活断層の連動性評価の現状

原子力発電施設の耐震安全性を確保する上では、活断層の連動性評価が重要課題のひとつである。2006年の耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震安全性再評価では、各サイト周辺の活断層の連動性評価が主要な課題として審議された。また、2011年東北地方太平洋沖地震の直後にも、敷地周辺の活断層に対する連動性の再評価が事業者に求められた。さらに、2013年7月に施行された新規制基準への適合性審査でも、いくつかのサイトで活断層の連動性が議論になっている。

活断層の連動性評価において一般的に基準となるのは、断層の分布状況(いわゆる5kmルール)である。文部科学省の地震調査委員会が全国の主要な活断層に対して行っている地震規模や発生確率の長期評価でも、この基準が用いられている。

一方、原子力発電施設の耐震安全性評価においては、このほかにも豊富な調査データが得られるため、地形・地質構造の発達過程、地下構造の連続性、断層末端部を示唆する現象なども加味した総合評価が行われる。ただし、連続的に分布する複数の活断層を異なる起震断層として区分した場合でも、念のため、全区間が連動する可能性を考慮する場合が多い。これは連動性を評価できる明確な基準・指標が、5kmルール以外には確立されていないためである。

3.2 新たな連動性評価指標の提案

当研究所では、活断層の連動性評価の信頼性を向上させるため、多様なアプローチから、新たな評価指標の抽出に取り組んでいる。最近の研究で調査対象としたのは、日本最大級の内陸地震である1891年

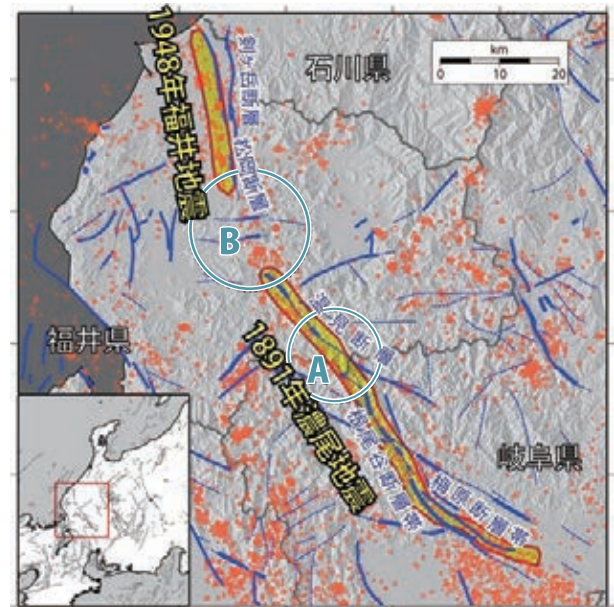


図3-1 濃尾地震周辺の活断層と微小地震の分布

濃尾地震(M8.0)の震源域北部である(図3-1)。この地震は、温見断層、根尾谷断層、梅原断層など、北西—南東方向に分布する活断層が、約80kmにもわたって連動して発生したため、破壊が連動した条件を検討するのに適している。特に注目したのは、温見断層と根尾谷断層のステップ部(断層並走区間の間隙、図3-1のA)である。地震時の破壊は温見断層の北部から、約5km離れた根尾谷断層に遷移した^[1]。これは5kmルールの上限を示す一例になっている。また、震源域の北方延長部では1948年福井地震(M7.1)が発生しているため、地震の破壊がその境界部(図3-1のB)で停止した条件を検討する上でもこの地域は適している。

(1) 連動のしやすさに関わる指標

温見断層と根尾谷断層のステップ部(図3-1のA)における地形・地質調査に基づいて、二つの活断層の並走距離、および両者を連結させる断層の存在を活断層の連動しやすさの指標として提案した(図3-2)^[2]。

従来、温見断層の南部は1891年に活動しなかったと評価されていたが、当研究所の調査の結果、温見断層の活動区間は従来よりも南に約10km長く、その部分が根尾谷断層と並走していることが分かった。さらに、両者を連結させるような短いニアメント(活断層の可能性のある線状地形)も認められた。これらの特徴から、活断層の離間距離だけでなく、その並走距離や、両者を連結させる断層の存在が連動性に影響を与えていると考えられる。

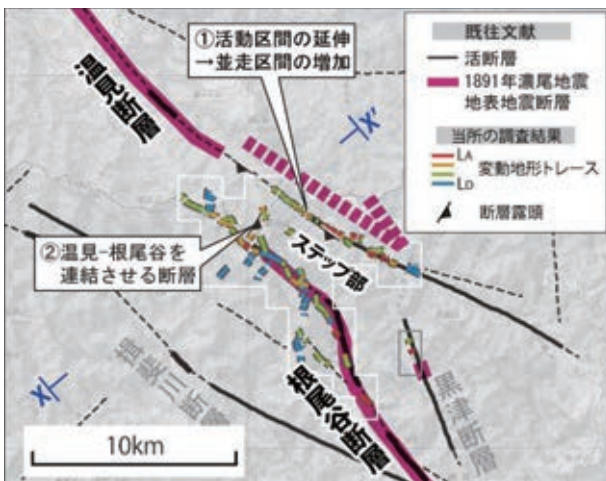


図3-2 破壊連動部の地形・地質学的特徴^[2]

また、並走する二つの断層セグメントの位置関係による連動のしやすさを亀裂進展解析^(注1)により検証した^[3]。二次元平面内に断層を模擬した二つの平行な初期亀裂を配置し、水平方向からの応力は一定に維持したまま、上下方向からの応力を徐々に増加させていき、亀裂が連結したときの差応力の大きさを連動のしやすさを評価した。その結果、両亀裂間の離間距離が小さいほど、連結しやすいことが分かった(図3-3)。さらに、離間距離が比較的小さい場合には、両亀裂の並走距離が大きいほど、連結しやすいことが確認された。

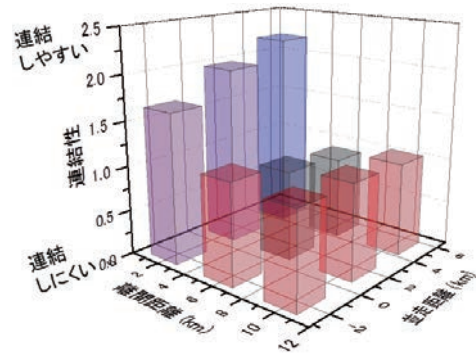


図3-3 セグメントの位置関係と連結しやすさ^[3]

さらに、稠密微小地震観測に基づくトモグラフィ解析^(注2)によって、断層ステップ部における地震波の低速度領域の存在を、連動しやすさの指標として提案した^[4]。温見断層と根尾谷断層のステップ部では、地表付近にプリズム状の低速度領域が認められる(図3-4)。この領域は、断層が繰り返し活動したことにより、岩盤の破碎が進んでいる箇所である。微小地震はその下部に多発しており、連動した両断層をつなぐように直線的に分布していることから、両断層は地下で連結している可能性が高い。

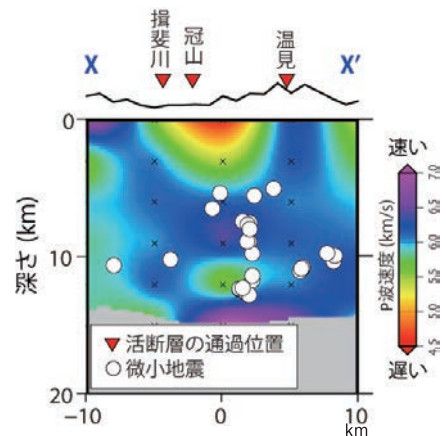


図3-4 破壊連動部の地震波速度構造と震源分布^[4]
(図3-2のX-X'断面)

(注1) 亀裂進展解析: 岩盤中の初期亀裂が外力によって進展する様子を再現する有限要素法がベースの解析手法。

(注2) トモグラフィ解析: 地震の震源から伝わる地震波の到着時刻を多数の観測点で捉えることにより、その間の地震波伝播速度の空間的な分布を求める解析手法。

(2) 連動のしにくさに関わる指標

一方、震源域境界部(図3-1のB)における同様の観測結果から、断層間を横断する主要な地質構造の存在を連動のしにくさの指標として提案した。この地域では、地震を発生させる深度において、二つの震源域を横断するような縞状の速度構造が特徴的に確認された^[4](図3-5)。この構造は飛騨外縁帯とよばれる日本の主要な地質構造に相当し、地震発生深度がこの付近で急変する。このことは、北傾斜の飛騨外縁帯が図面左側の飛騨帯を右側の美濃帯に衝上(乗り上げ)させているという地質学的な知見と一致している。こうした不連続が、破壊を停止させた可能性が高い。

同様の例は国内外の主要な構造線で知られている。こうした構造線は古くから存在するものであり、長期間にわたって両側の地震発生層を食い違わせているために、断層の破壊を停止しやすくするのだと解釈される。

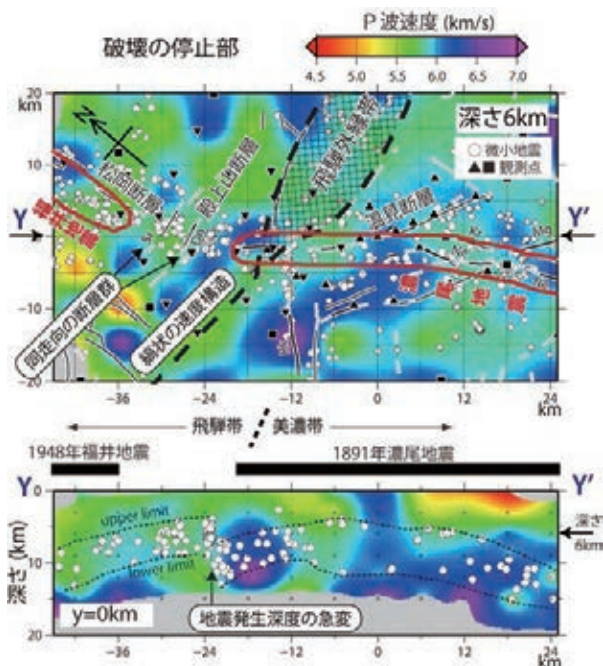


図3-5 破壊停止部の地震波速度構造と震源分布^[4]

3.3 定量的な評価手法の確立に向けて

提案した各指標は、活断層の連動性評価の信頼性向上に役立つと考えている。ただし、実用的には、各指標と連動性との関係をより定量的に示すことが不可欠である。概念的な例として、横断構造の長さに着目した連動確率(試案)を示す(図3-6)。データ数が不十分で実用段階ではないが、各指標をこうした形式で提示できれば、地震ハザード解析などにも活用しやすい。今後は、国内外の既往地震について、活断層の連動性と各指標との関係を明確化できるデータを拡充し、より定量的な評価手法の確立に取り組んでいく。

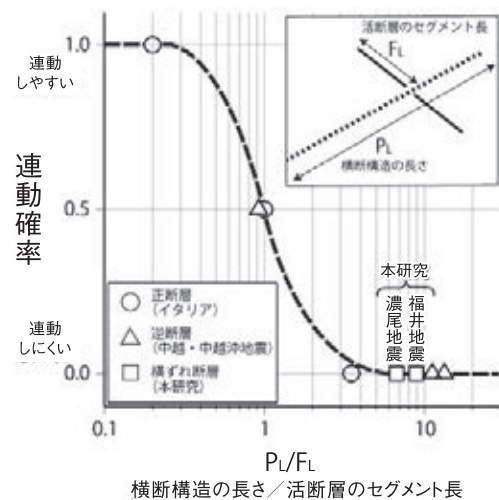


図3-6 横断構造の長さに着目した連動確率

<参考文献>

- [1] 松田時彦:1891年濃尾地震の地震断層, 地震研究所研究速報, 第13号, 1974.
- [2] 佐々木俊法・上田圭一:活断層の連動性指標の提案(1)―変動地形的および地表地質調査に基づく断層分布形状と変位分布の検討―, 電力中央研究所研究報告N11046, 2012.
- [3] 澤田昌孝:活断層の連動性指標の提案(2)―破壊進展解析および実験に基づく断層分布形状と応力場の検討―, 電力中央研究所研究報告N11049, 2012.
- [4] 青柳恭平:活断層の連動性指標の提案(3)―地球物理学的調査に基づく地下構造の検討―, 電力中央研究所研究報告N11047, 2012.

DEN-CHU-KEN
TOPICS

発行：一般財団法人 電力中央研究所 広報グループ

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 (大手町ビル7階)

TEL:03-3201-6601 FAX:03-3287-2863

<http://criepi.denken.or.jp/>