

企画セッション 総合講演・報告：総合講演・報告3「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会

■ 2016年3月26日(土) 13:00 ~ 14:30 | Ⅲ F会場 講義棟B棟 B201

[OV03]「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会活動報告

座長：岡本 孝司（東大）

[OV0301] (1)調査専門委員会について

＊奈良林 直¹ (1.北大)

[OV0302] (2)岩盤の力学挙動の数値解析モデルについて

＊京谷 孝史¹ (1.東北大)

[OV0303] (3)理学と工学の間で協調的な対話を進め、断層変位ハザードに対応しよう

＊谷 和夫¹ (1.東京海洋大)

[OV0304] (4)調査専門委員会の検討状況（中間報告）

＊百々 隆¹ (1.原安進)

総合講演・報告3『断層の活動性と工学的なリスク評価』調査専門委員会活動報告

(1) 調査専門委員会について

(1) Introduction of the Investigation Committee

奈良林 直¹¹北海道大学, 調査専門委員会主査

1. はじめに

1-1. 調査専門委員会の活動目的

「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会では、活断層の活動等に伴って生じる断層変位も外部ハザードの一つと捉え、施設に与える影響に関する工学的な評価手法について、既往の研究成果を活用しながら、関連する多分野の専門家の協働により調査検討を行う（図1）。

それに基づき、不確実性を踏まえたトータルなリスク評価、リスクを低減するためのアクシデントマネジメントの方策等にまとめ、原子力施設の安全性向上に資していく。

成果は報告書にまとめて国内外に発信するとともに、標準化の活動等に供していく。

1-2. 活動状況

本調査専門委員会の設置期間は、2014年

10月～2016年9月の2年間であり、これまでの1年半の間に、調査専門委員会を7回、傘下の原子力分科会を5回開催し、調査検討を行ってきた。

この2016年春の年会において中間報告を行い（講演(1)、(4)）、本年9月までに最終報告書をまとめる予定である。（検討状況はホームページ参照 http://www.aesj.net/sp_committee/com_dansou）。

2. 検討の背景、問題認識

2-1. 断層変位への取組みの必要性

我が国は地震国であることから、原子力施設の立地・設計においては、最新の知見を踏まえて地震や津波を考慮した取組みが行われてきた。

しかし、2011年3月11日に発生した東日本大震災において、東京電力福島第一原子力発電所は安全上重要な施設は地震動に対して機能を維持したが、想定を上回る高さの津波の来襲を受け、全電源喪失とそれに伴う過酷事故が誘起された（以下「福島第一事故」という。）。事故の要因として、各事故調査報告書では、津波の想定において最新知見の反映ができていなかったことや、想定を超える事象に対する備えができていなかったことなどが指摘されている。

この事故により、社会は、“原子力が持つリスクがどのように顕在化するのか”を経験し、また、不確実さの大きい自然現象に対する原子力施設のリスク管理への取組みをあらためて考える重大な契機となった。

導き出される重要な教訓の一つは、関連する分野の専門家は、お互いに協力して、どのように原子力安全の確保に取り組むべきかをもっと注意深く考え、施設の安全性向上・リスク低減に向けた弛まぬ取組み

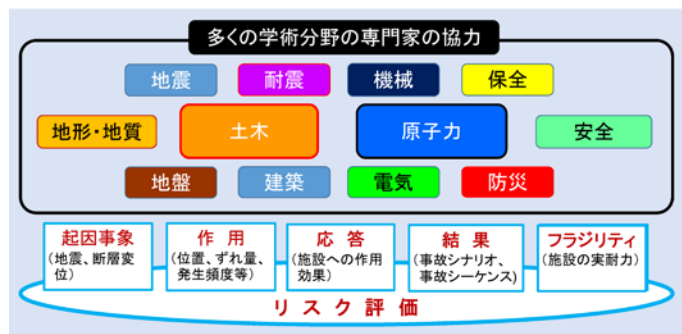


図1 学術分野横断の検討スキームの構築

*Tadashi Narabayashi¹¹Hokkaido University, Chairman of the Committee

を進めていかねばならないということである。

福島第一事故後の規制体制や基準が見直される中で、既設の原子力施設において、敷地内の断層変位の可能性の有無についての議論が生じており、断層変位の施設への影響の解明が喫緊の課題となっている(図2)。

地表に断層変位が生じる頻度は非常に低く、不確実さが大きい現象である。また、実験による模擬も難しい。このような不確実さが大きい事象の理解においてはその分野の専門家の意見が重要となるが、特に自然科学の分野においては、専門家でも様々な見解が存在し得る。

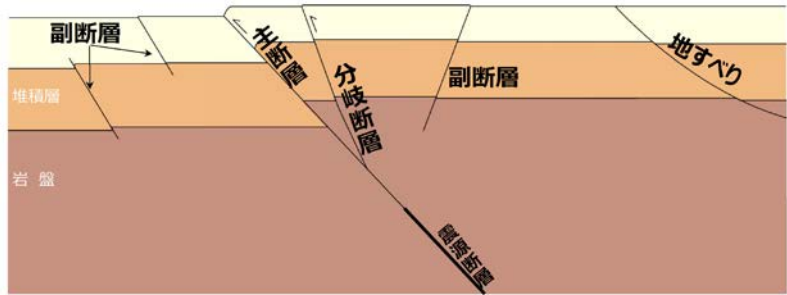


図2 地表付近の主な断層変位

2-2. 工学的対応の重要性

原子力施設の利用を進めていくに際して、福島第一事故の反省の上に立てば、対象とする自然現象がどれだけ分かっている、不確実さがどの程度あるのかについて専門的な知見を動員し、施設の安全性評価の観点から幅広い意見を集約し、科学的に多面的に検討を行うことが必要となる。

そして、最新の知見を反映した想定を行ったとしても、特に自然現象は不確実さが大きく、想定を超えることが起こり得るものとして備えをしておかねばならない。このことは、我が国において福島第一事故以前には欠けていた点である。科学的想像力を持ち、あらゆる力を使ってそれに備えるという発想が求められている。想定外をなくすには、多面的な多くの想定を行う以外にはない。

想定を超えた領域への対処は、リスク評価に基づく手法によって検討を行い、その評価結果から得られる情報を活用して、施設の安全性向上等のための意思決定を行うことが重要となる。リスク評価は、想定を超える外力に無防備になるのを防ぐために意義がある。また、リスク評価は、原子力安全の基本概念である深層防護の有効性を確認することにもなる。

このような科学的、技術的に合理的な取組みによりリスクを低減していく努力によって、「人と環境を守る」という原子力安全の目的を達成していかねばならない。

原子力施設という総合システムの安全確保は、幅広い分野の知の統合により成り立つものである。自然科学分野の知見も最大限活用し、原子力施設の安全確保を確実なものとするために、工学の果たす責任は極めて大きい。工学の責任は将来予測ではなく、想定を超える事象まで含めてシステムパフォーマンスを明確化し、原子力安全のため、更にどのような対処をすべきかを提示していくことである。

本調査専門委員会を対象とする断層変位も、地震や津波などと同様に外部ハザードとなり得る自然現象の一つと捉え、上述の認識に則って、その影響の程度を評価し、施設に如何なる影響をもたらすかをシナリオとともに評価することが原子力安全の考え方に沿った対応となる。その評価のための技術は、各学術分野においてすでに蓄積されてきている。

断層変位の施設にもたらす影響を評価して、対応策などの意思決定に繋げ、その結果を社会に提示していくことが、原子力安全に関わる者の責務と言える。

断層変位の可能性の有無のみの判断(=いわば“ゼロ変位要求”)をしても、原子力安全に関わるリスクを評価したことにはならない。断層変位が生じる頻度やその特徴などの不確実さも踏まえて、科学的に分析されたシナリオとともに断層変位の施設への影響を評価することが、原子力安全に関わるリスク評価となる。リスクを評価し、リスクを可能な限り低減させる努力を促すことができる首尾一貫した考え方が重要である。

福島第一事故の教訓を踏まえて原子力利用について社会の信頼を獲得していくために、リスクの再認識、原子力安全を確保するための一貫した取組み、安全性を継続的に改善する姿勢、それらに関する国内外への説明責任が重要であるということを、本調査専門委員会としても強く認識するものである。

3. 断層変位に対するリスク評価の基本的考え方

3-1. 原子力安全の考え方

原子力安全の目的は、人と環境を、原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から防護することであり、原子力施設の安全確保の目標は、人や環境に放射線の有害な影響を与えるような事故の可能性を確実に極めて低いものとするることである。

これらの達成のため、国際的にも有効であると考えられているのが、深層防護の概念の適用である。

深層防護とは、原子力安全の目的の達成のために、ある目標をもった幾つかの障壁（防護レベル）を用意して、あるレベルの防護に失敗したら、次のレベルで防護するという概念である。

これは、人と環境に影響を与えるまでの種々の現象には人知が及ばない振る舞いが存在し得ることから、事前に充分と思われた対策でも思いがけない理由で失敗するかも知れないという不確実さの影響を考慮して、別の対応策、次の防護レベルの対応策を繰り返すことにより、一連の防護策全体の実効性を高めるという考え方である。

これら防護レベルの手段には、物理的な障壁のほか、例えば制御・管理や緊急時における対応手段も含まれる（ハード対策、ソフト対策）。

具体的な対応策においては、防護レベルを多層とすることを基本的な考え方として、想定する事象に対して複数の防護レベルで様々な手段を用意する。

また、特に自然現象のように不確実さが大きいものに対しては、事前の想定を逸脱したシナリオとなる場合もあり得るとして、不確実さに対する備えを多層とすることで、防護策全体の効果を高めることができる。

さらに、極めて頻度の低い事象や経験のない事象に関しては知識の不完全性による限界があることから、想定を超える領域の存在が否定できないとして、当該ハザードの特徴を踏まえた異なる質（工学的に違った切り口）の防護策を講じておくことが有効となる。

すなわち、不確かさに対処しつつリスクの顕在化を防ぐために深層防護の概念を適用することが有効であり、その的確な適用により、事象の早期の収束や機能の復旧などのレジリエンスの考え方も含めて、全体として質の高いロバストな対処が可能となる。

深層防護の考え方は、原子力安全を確保するための普遍的な考え方であり、それを積極的に講じることが重要な戦略となっている。

この深層防護の考え方を的確に適用し、効果的にリスクを低減を図るためには、リスク評価を実施することが有効である。

潜在的なリスクを管理するためには、リスクの三重項（リスクトリプレット）に答えることが必要であることが提唱されている。

- ①どのような望ましくないことが起こるか？ What can go wrong?（事故シーケンス）
- ②その発生可能性は如何ほどか？ How likely is it?（頻度）
- ③その影響はどのくらいか？ What its consequences might be?（影響）

福島第一事故を踏まえると、リスク評価の重要性が一層高まっている。リスク評価は、定量的なリスクの程度や弱点の把握ができ、また、多くのシナリオを取り込むことで想定外を少なくすることができる。

すなわち、「どのような望ましくないことが起こるか」というシナリオを幅広く考慮することが重要で、

事象の進展についての検討を行うアプローチが必須の取組みとなる。その取組みが原子力安全において価値を生み出す。

自然現象の一つである断層変位に対してもこの考え方を適用して原子力安全を考えること、すなわちリスクを評価するアプローチが必要であり、そのことにより、原子力安全の取組みが全体として首尾一貫した対応となる。

原子力安全の考え方からは、リスクへの寄与が小さいことが明らかでない限り放置してはならず、リスクの定量化の努力を行い、定量化が不完全にしかできない場合であっても、合理的に実行可能な評価・対応策を検討して、社会に提示していくことが必要である。

3-2. 断層変位に対する安全の考え方

原子力施設の場合、事前の詳細な地形・地質調査によって重要施設の設置地盤に断層変位の想定をする必要がないことを確認し、特に原子炉建屋に関しては設置地盤の検査（岩盤検査）を実施し、施設の支持性能に問題が生じるものではないことを確認してきた。

すなわち、施設を設置する場合は、断層変位を「避ける」という考え方によって、断層変位の想定を不要としていた。

一方、もとより施設の設置地盤（岩盤）には破碎帯などの弱面が存在しているので、地震動の影響に対する設置地盤の支持性能等の検討はこれまでもなされている。

福島第一事故の教訓を踏まえると、可能な限り想定外をなくすことが必要で、その上で、想定を超えた領域に対しても対処を行い、リスクをできる限り低減することが求められる。

断層変位については、上記のとおり、施設設置時点の判断により施設への影響評価の想定に含めていなかったが、想定から排除せずにリスク評価を行うことが、隙間のない一貫した原子力安全の対応となる。

既設の原子力施設において、新たな情報等によって断層変位の考慮の必要性が生じた場合には、地形・地質調査などから得られる情報に基づき断層変位という事象の内容（発生位置、ずれ量、方向、頻度など）を想定し、次のステップとして施設に対する影響の検討を行うことが基本的な手順となる。これら評価においては、不確実さが適切に考慮されねばならない。

その上で、想定する断層変位を設定しても、事象の不確実さが大きいことから、想定を超える場合も考慮してリスク評価を行うことが必要である（図3）。

ここで、断層変位により発生する事象に対しても、深層防護の考え方で対処することが基本であり、有効である。知識やデータが限られている低頻度事象に対して、深層防護は一層重要な戦略となる。

既設の原子力施設においては、福島第一事故の経験を踏まえ、深層防護の考え方も適用しながら、アクシデントマネジメントなど、様々な対応策が講じられている。

これらは断層変位を想定して講じられてきているものではないが、事故以前よりもロバストな防護策が講じられていると考えられることから、これらも含めて、断層変位に対する評価をしていくことが技術的に理に適っている。

具体的には、例えばすでに地震動などに対してなされていた設計あるいはその設計裕度の範囲において、想定する断層変位に対しても安全上重要な機能を有する施設（SSC）の要求性能が満足されるかを確認する。変位量の程度によっては、施設の有する安全機能に支障を与えない場合が考えられる。

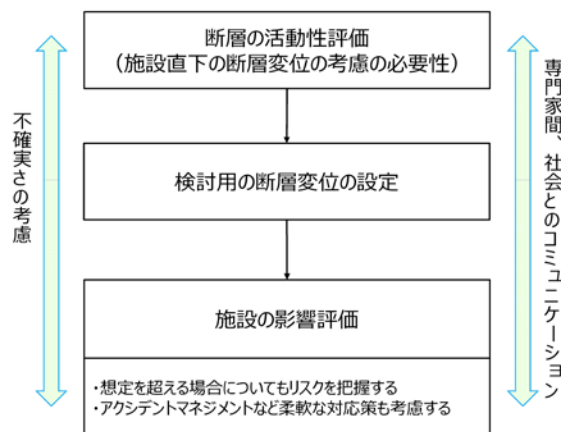


図3 既設炉の対する評価手順案

また、既設炉の当初設計においては断層変位を設計基準事象としては想定していなかったことから、必要に応じて、福島第一事故後に拡張・強化された影響緩和策（アクシデントマネジメント）も含めた有効性についても検討を行う。

さらに、想定を超えた断層変位に対してもリスク評価を行い、アクシデントマネジメントの有効性の検討を行う。

これらの評価・検討においては、断層変位の生じる頻度や現象の特徴を踏まえた考慮が重要となる。

例えば、想定する断層変位の位置は、調査により施設直下の設置地盤の断層位置（弱面の位置）に設定することができる。このことは、断層変位により施設に発生するせん断応力等の伝搬が施設内において空間的に限定される可能性があるため、そのことを事故シナリオの中に考慮することが重要となる。同様の機能を有する SSC が分散配置されていれば、共通要因故障の回避を考慮することができる。さらに、現在、より一層の信頼性向上のために航空機落下やテロなどへの対処が検討されており、想定を超える断層変位の評価においては、このような大規模損壊に対する対応策も考慮することができる（図 4）。

以上、断層変位に対しても多段階リスクマネジメントのスキームで考えていくこと、すなわち、高頻度で被害が小さい事象に対する対象領域から、低頻度ではあるが被害が大きい対象領域まで、それぞれの領域に応じた考え方、例えば工学的に質の異なる対応策で考えていくことが重要である。

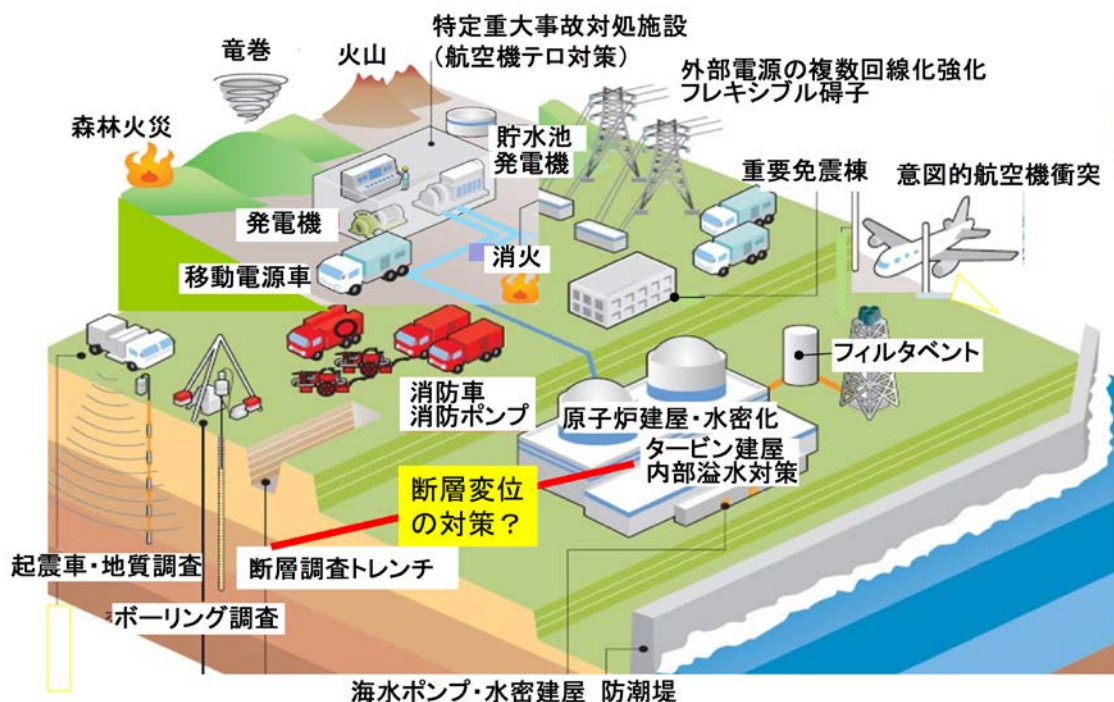


図 4 新規制基準への対応策の概要

なお、本調査専門委員会の検討に当たっては、日本原子力学会標準委員会から発刊されている「原子力安全の基本的考え方について 第Ⅰ編 原子力安全の目的と基本原則」、「原子力安全の基本的考え方について第Ⅰ編 別冊 深層防護の考え方」、「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」などを踏まえている。

総合講演・報告 3 「『断層の活動性と工学的なリスク評価』調査専門委員会活動報告」

(2) 岩盤の力学挙動の数値解析モデルについて

(2) On numerical models for mechanical behavior of rock mass

京谷孝史

東北大学

1. 岩盤力学の始まり

岩盤力学の歴史は長くはない。第二次大戦後、ヨーロッパの復興のためにダムやトンネル、発電所などのインフラが盛んに作られるようになった。その頃は、ダムなど大型構造物は表層地盤を剥いで岩盤に構築すれば心配ない、岩盤は壊れないということが常識であった。ところが、1959年にマルパッセダム(仏)、1963年にバイオントダム(伊)において岩盤の破壊による大事故が続けて起きたことを契機に、岩盤力学体系化の機運が一気に高まった。そして、国際岩の力学連合会が組織され1966年にリスボンにおいて第一回目の岩の力学に関する国際会議が開催された。ちょうど50年前、それが岩盤力学の本格的な始まりである。

2. 岩盤の力学挙動に対する数値解析モデル

岩盤は種々の岩石から構成され、大小様々の不連続面で構造化された半無限体である。その力学挙動は構成岩石の材料特性と不連続面が定める構造的特性の二つの要因に支配される。したがって、岩盤の力学挙動を扱う力学モデルは、岩石材料の力学特性と不連続面による構造的特性を合理的に取り込んだものでなければならない。岩盤の力学モデルはこの難しい要請に応えなければならないのだが、それは有限要素法に代表される数値解析モデルの豊かな表現力に支えられて、種々の数値解析モデルとして実現することとなった。そうした岩盤に対する数値解析モデルは、不連続面の表現方法の違いから不連続体モデルと連続体モデルの二つのグループに大別される。

不連続体モデルは、数値解析モデル上で不連続面をそのまま陽に表現する。そして、不連続面による構造特性は数値計算の過程において自然に表現されることに期待する。裏を返せばモデルにおける不連続面の配置が解析結果を左右する。もしも、岩盤内部の不連続面が完全にわかっているならば不連続体モデルは岩盤の力学挙動を極めて高精度で予測するであろう、がそれは望めない。

一方、連続体モデルは、不連続面の力学的効果を構成則のレベルで表現して岩盤を連続体として扱う。そのため解くべき支配方程式が具体的に表されて力学問題としての見通しがよくなるという利点がある。しかし、不連続面の力学的効果を表現する完璧な力学論理は今のところ存在せず、この点において様々なアイデアが示されて百家争鳴状態となっている。

3. 課題と展望

計算機の処理能力の飛躍的向上と計算力学の目覚ましい発展により、適切なモデル化が出来ればどんなに複雑な現象についても高い信頼性で数値解析ができる環境が整いつつある。岩盤に対しても、その正確な構造体モデルを得ることができれば、力学が教えるところに従って合理的な範囲で複数のモデルを設定し、十分なケーススタディを通して「想定外の事象」を「想定内の事象」にしてしまう予測評価が可能となると思われる。課題は、岩盤力学理論モデルの高度化とそれに呼応した構造体モデルの精緻化であろう。

Takashi Kyoya

Tohoku University

総合講演・報告 1 「『断層の活動性と工学的なリスク評価』調査専門委員会活動報告」

(3) 理学と工学の間で協調的な対話を進め、断層変位ハザードに対応しよう

(3) Facilitation of cooperative discussion among scientists and engineers to cope with fault rapture hazards

谷 和夫¹¹東京海洋大学**1. はじめに**

いくつかの原子力施設のサイトでは、断層変位ハザードへの対応が「将来活動する可能性のある断層等」の有無に置き換わり、不毛な議論が続いている。この困難な状況を打開するためには何をなすべきか、以下に私見を述べる。

2. 問題の背景と原因

このような状況に至った背景の主なものに、①‘変位が生ずるおそれがない’ことの証明は極めて困難なこと、②工学の対応に不信感を抱く理学の専門家がいないこと、③設計条件である断層変位を決めることは不可能であること、④現状ではリスクを評価することは難しいこと、が挙げられる。①消極的事実の証明の困難性（悪魔の証明）、②活断層の認定を巡る過去の経緯、③活断層学が学術として発展途上（未熟）であること、④リスク評価技術が実装レベルに達していない（未完成）なことがそれぞれの原因であろう。

3. 信頼関係の構築、連帯責任、総合的な評価のために‘協調的な対話’を

上記の4項目にどのように対処すべきであろうか。まず、①活動性を否定できなければ、変位することを前提にするより他はない。次に、②不信感を取り除き信頼関係を構築するためには、相互理解を進めるための対話が不可欠である。さらに、③④理学・工学の学術・技術の不十分さを補うために、相互の情報を共有した上で安全性を総合的に評価し、その協働作業に対して連帯して責任を負うとするのが良い。すなわち、「ハザード（断層変位）を理学の研究者が決めてもらえれば、後は、工学の技術者は安全な施設を設計する」という安全性評価の仕組みを、「リスクの大きさを厳密には決めることが難しいことを前提に、理学と工学の専門家が協調的な対話を通じて、施設の安全性を総合的に評価する」という新しい仕組みに転換することが肝要と考える。信頼関係の構築、連帯責任、総合的な評価を実現するためには、理学と工学の間で、巷に言われている理学・工学の連携や融合とは異なる‘協調的な対話’を行う仕組みを安全性照査のプロセスに取り込む必要がある。

4. ‘協調的な対話’の例

‘協調的な対話’の重要性が指摘された例には、基礎設計に係る包括的なコード「地盤コード 21」¹⁾における地盤調査者と構造設計者の関係が挙げられる。その趣旨は、専門性の尊重、調査と設計の調和、調査者と設計者の位置付け・責任・役割分担の明確化、モラル・技術レベル（資格）の重視等である。

断層変位問題についても、活断層学やリスク工学の専門性の尊重、設計条件と安全性照査・リスク評価の調和、関与する専門家の位置付け・責任・役割分担の明確化等は同様に重要である。断層変位の設定から構造物の安全性照査やリスク評価は一連の作業であり、理学と工学の専門家が相互理解を促進し、協働して対処することが望ましい。両者が、‘協調的な対話’（協議）を通じて施設の安全性を総合的に評価し、その結果に対して連帯して責任を負うべきである。

参考文献 1：科研費（課題番号：10555163）「限界状態設計法による基礎構造物モデル設計コードの提案」2002-2003 年

*Kazuo Tani¹

¹Tokyo University of Marine Science and Technology

総合講演・報告 3 「『断層の活動性と工学的なリスク評価』調査専門委員会活動報告」

(4) 調査専門委員会の検討状況（中間報告）

(4) An Interim Report of the Investigation Committee

*百々 隆¹, 奈良林 直²¹原子力安全推進協会, 調査専門委員会委員, ²北海道大学, 調査専門委員会主査

1. はじめに

「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会の中間報告として、講演(1)の内容に加えて、以下、総論的な内容を述べる。

なお、評価手法や適用の考え方などについては、講演当日までの検討成果を紹介する。

2. 断層変位について

2-1. 断層変位という自然現象の理解

本調査専門委員会で対象とするのは、施設の設置地盤に変位（ずれ）が生じる自然現象である。これを、ここでは“断層変位”と呼称する。

断層変位を生ずる代表的なものは、地震をもたらす震源断層によるずれが地表にも及んだ場合の変位（主断層）や、主断層の周辺に副次的に生じる変位（副断層）がある。そのほか、重力性の地すべりなど、地震とは関係のない成因によって生じる変位も知られている（講演(1)図 2 参照）。

以下、特に断りのない限り、ここでは地震に起因する断層変位を代表として論じる。

断層変位という現象を理解した上で、不確実さを考慮して、変位の想定、施設への影響評価のプロセスの中に考慮していくことが必要である。

断層変位という現象の特徴として、主に以下の点が挙げられる。

頻度：非常に低い…活動履歴の情報が少なく、定量的に扱い難い

場所：震源断層の直上や近傍で、狭い幅に限定…既存の岩盤中の弱面を活用

性状：局所的なせん断変形、ランダム性があり複雑

タイミング：地震時

断層の活動性や連続性を評価するために、自然に残された痕跡を対象に地形・地質の調査が行われるが、専門家の間でも評価が異なる場合があり、それぐらい難しい自然現象であるという認識に立つ必要が要る。

一方、断層変位は、自然に残された痕跡を有効に活用し得る対象であるということも言え、過去に生じた断層変位のデータを蓄積する努力がなされている。これまでの知見、経験を踏まえて、どのようなことが起こり得るかはある程度説明することができる。得られている知見は可能な限り活用する姿勢が重要である。

断層変位が認められる自然露頭において、それが主断層による変位なのか副断層による変位なのかの認定が困難な場合もあるが、施設への影響評価の観点からは、その他の成因も含めて、当該変位の成因の検討は重要である。すなわち、断層変位は様々な成因によって生じるので、成因によって、変位の発生する位置、変位量、繰り返し発生するか否か、変位が生じる速度（瞬時的なのか否か）などが異なる。原子力安全の観点から施設への影響を検討する際には、単に変位の有無に着目するのではなく、その成因が重要な

*Takashi Dodo¹ and Tadashi Narabayashi²

¹Japan Nuclear Safety Institute, Member of the Committee, ²Hokkaido University, Chairman of the Committee

意味をもつ。

2-2. 対象となる断層変位量のイメージ

過去における断層変位の痕跡は、自然の地層、地盤中に残っている場合があり、その情報を最大限活用して、断層変位量のイメージを整理してみる。

主断層は1回のずれの量が大きく、過去に繰り返し動いた痕跡を地形・地質に残している。ただし、1回当たりの変位量が小さい場合は、地形・地質への痕跡が残り難い場合があり得る。

これまでの地形・地質分野の知見からは、日本の主断層の1回当たりの変位量は、～数十 cm～数 m～10m 程度と言える。主断層（活断層）の活動間隔は、短いもので数百年、平均的には数千年、長いもので数万年である。

なお、実際の現場では、主断層なのか副断層なのかの区別が難しい場合があるが、副断層の変位量は、当該副断層の起因となる主断層の変位量以下と考えることが適当と言える。

原子力施設を建設する際には、事前に詳細な地形・地質調査が実施され、特に敷地内や重要施設等を設置する地盤（施設の支持基盤）における断層の存在、活動性等が精度の高い情報によって把握される。

主断層のように1回当たり数十 cm 以上の変位は、数千年～数万年前の変位の痕跡を、詳細な地形・地質調査により施設建設前に把握することが十分にできると考えられる。

一方、1回当たり数十 cm 以下の変位は、過去の浸食等の影響により地形・地質に痕跡が残らず、詳細な地形・地質調査によっても把握することが困難な場合があり得る。変位が最後に生じた時期（最新活動時期）が古いほど、堆積層中のその痕跡は残り難くなる。

これらの知見等を踏まえると、個々の原子力施設の事案において慎重な評価を行うことが必要であるが、既設炉の重要施設等の設置位置において考慮が必要となり得る断層変位は、1回当たりの変位量が数十 cm 以下で、数千年～十万年に1回出現したような頻度のものと整理できるのではないかと考えられる。

3. 断層変位に対する既設炉の評価手順

図1は、現在検討中の断層変位に対する既設炉の評価手順である。

本講演では、施設に対する影響評価を中心に述べる

3-1. 本調査専門委員会での「リスク評価」について

原子力学会標準委員会において、「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」が制定されている。

この実施基準では、「全ての外部ハザードに対して確率論的リスク評価（PRA）等の詳細なリスク評価が必要ではなく、リスク評価方法としては、定性的な評価、ハザード分析（発生頻度又は影響）、裕度評価、決定論的な炉心損傷頻度（CDF）評価など、様々な方法が考えられます」としている。そして、定量的リスク評価方法として、①ハザード発生頻度分析若しくは影響度分析によるリスク判断、②裕度評価、③決定論的な CDF 評価（以下、ここでは「条件付き CDF 評価」と呼称する。）、④PRA 等の詳細なリスク評価の四つの方法を挙げている。

本調査専門委員会としては、この実施基準の考え方、四つの定量的リスク評価方法を踏襲し、断層変位に対する施設影響評価の評価フローの中に位置づけて検討を進めている。

四つの方法により評価されるリスクのイメージを図2に示す。

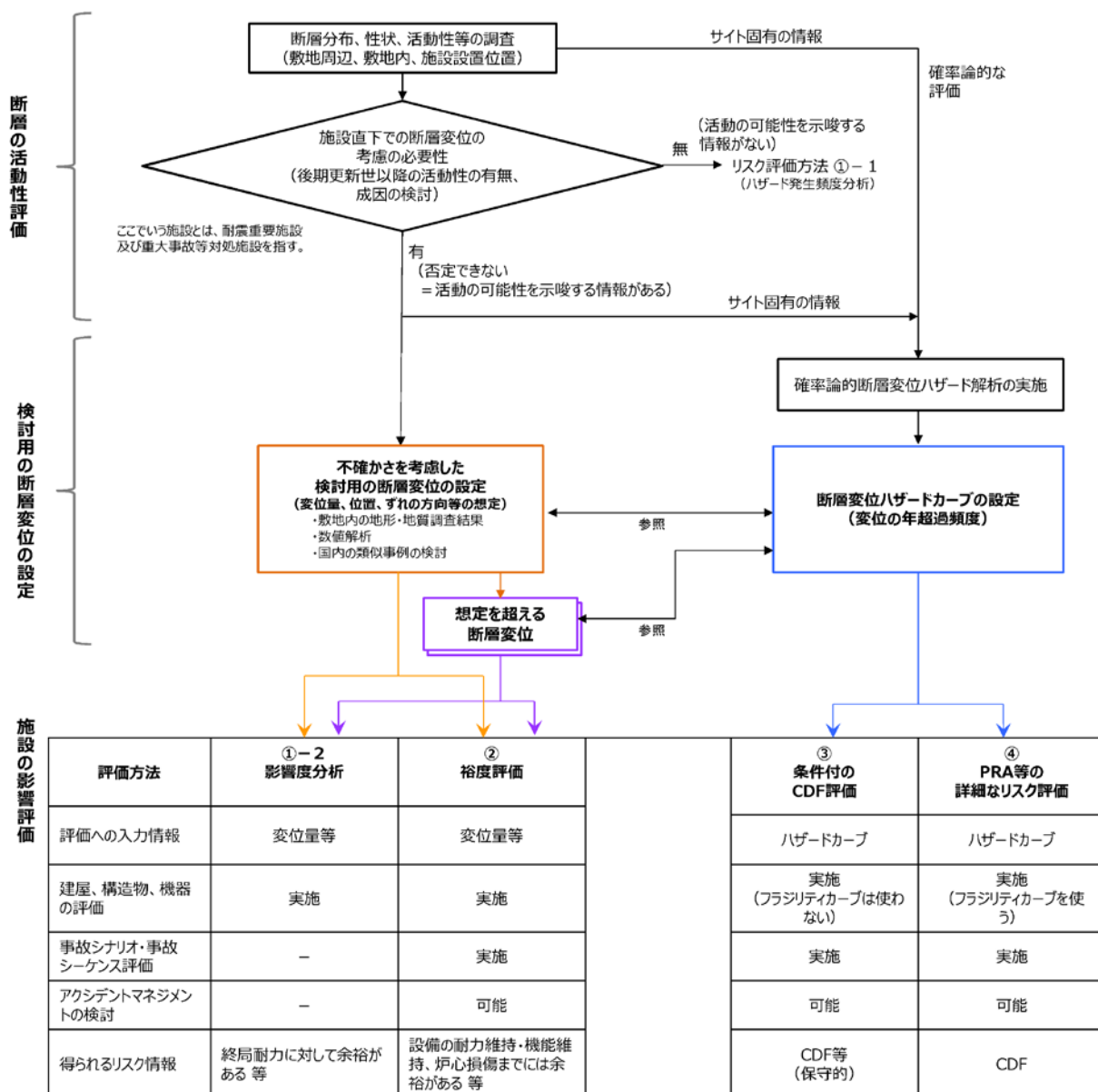


図1 既設炉の評価手順（検討中）

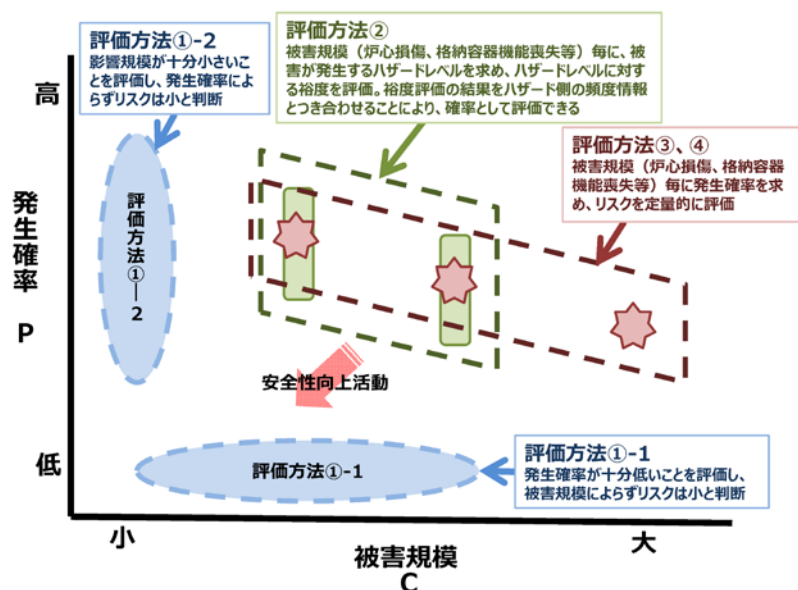


図2 四つの方法により評価されるリスクのイメージ

3-2. 評価方法の適用性

断層変位の影響に対して四つの評価方法を適用する際には、それぞれの評価方法の限界や成熟度に応じて適用することが重要であり、また、活用できる技術情報が限定される場合は、評価が安全側となるような工学的な条件を付して、施設に対する影響の評価結果を得ていくことになる。

- ・手法①-2「影響度分析」は、検討用の断層変位のずれ量が小さい場合において、例えば確立された構造強度の評価体系の中で、施設設置時における耐震設計の裕度などの範囲内で評価することができる。
- ・手法②「裕度評価」は、検討用の断層変位のずれ量が大きい場合において、また、断層変位の影響が空間的に限定され SSC の分散配置の効果を把握する場合において、一部の施設が機能喪失に至っている状態も含めて評価する場合に有効な手法である。

機能喪失状態を十分に模擬できない場合や評価のための技術情報が不足する場合は、評価が安全側となるような工学的な条件を付し、プラントシステム全体の状態を事故シーケンスとして評価することにより、例えば炉心損傷までの余裕などのリスク情報を得ることができる。

この手法では、事故に備えて用意している可搬型設備などの活用によるアクシデントマネジメントも含めて評価することができる。

手法②は、いわば欧州のストレステストに類似した手法であり、断層変位のような外部事象に対するプラントの脆弱性を把握し、必要に応じて改善策を検討するのに有効である。想定を超える断層変位に対する評価にも適している。

- ・手法③「条件付の CDF 評価」と手法④「PRA 等の詳細なリスク評価」は、確率論的な手法（PRA）であり、炉心損傷頻度（CDF）などの確率論的なリスク指標を評価できる手法である。

断層変位に対する PRA は、断層変位に対する施設のフラジリティ評価等に係るデータ拡充の段階にあるが、手法③では、安全側の条件を付して事故シーケンスを整理することにより、感度解析としてのリスク情報を得ていく場合に有効で、例えば他の内部事象や外部事象による炉心損傷頻度と比較することにより、リスクの程度を把握することができる。

断層変位に関する PRA の適用の考え方と課題については、原子力学会標準「原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2015」にとりまとめられている。

4. 評価方法の適用イメージ

講演では、上記の手法②「裕度評価」を適用した場合の検討状況を紹介する。