日本原子力学会 2016 年春の年会 企画セッション 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 中間報告

議事概要

日　時：2016 年 3 月 26 日（土）13:00～14:30
場　所：東北大学川内キャンパス 講義棟 B201（F 会場）
参加者：約 50 名

◆開会　座長 岡本孝司氏（東京大学）

本調査専門委員会（主査 奈良林直・北海道大学教授）では、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ひとつと捉え、施設に与える影響に関する工学的な評価手法について検討を進めてきている。断層の活動性の有無ではなく、変位が生じた場合の施設に与える影響について工学的な対応策の検討をすることが、原子力の安全における総合的な対応になると考えている。検討に当たっては、原子力学会以外の方々も含めて、これまで 1 年半の活動を進めてきて、今回、中間報告としてご報告する。セッション全体としては、重要な地盤分野の専門家からのご講演、理学と工学の間の協調に関するご講演も含めて、本調査専門委員会に関連する事項の概括となる。総合討論の時間をとるので、忌憚のないご意見をいただきたい。

◆「調査専門委員会について」奈良林直氏（北海道大学）

調査専門委員会の活動目的、活動内容、検討範囲等の紹介の後、断層変位の種類、断層変位という自然現象の理解の重要性、評価対象となり得る断層変位量とともに、線状の災害源となる断層変位に対する原子力安全からのアプローチ（シナリオに基づくリスク評価、深層防護の概念の適用など）の考え方と現状の規制基準等との関係について説明があった。さらに、断層変位による原子炉施設への影響の予想や補機系（サポート系）の重要性の指摘に加えて、施設の影響に対する具体的な対応策（深層防護の第 3 層までの処置、可搬型設備による事象収束、特定重大事故対処施設の活用など）の説明があり、断層変位も外部ハザードのひとつと捉えて、総合的なリスクを把握した上で、原子力施設の安全性向上につなげていくことの重要性が強調された。
＜質疑は、総合討論の際にまとめて行うこととされた。＞

◆招待講演「岩盤の力学挙動の数値解析モデルについて」京谷孝史氏（東北大学）

第二次大戦後に欧州の復興を契機に本格化した岩盤力学の歴史の紹介の後、不連続体を有する複雑な構造体である岩盤を扱う岩盤力学の課題について、力学モデルにおける取扱いの現状（連続体モデル、均質化理論の適用等）を中心に紹介があった。また、力学モデルに基づく最新の数値シミュレーションの事例紹介があった（トンネル路盤を隆起させる膨潤性粘土鉱物の変形挙動、粒状体モデルの解析例など）。まとめとして、計算機技術の発展により適切なモデル化で信頼性を有する数値解析ができる環境が整いつつあることを踏まえ、岩盤についても、合理的な構造体モデルの構築と適切かつ十分なケーススタディによる予測評価の実現に向けた取組みの方向性と課題の紹介があった。
＜質疑＞

（座長）膨潤性粘土鉱物（スメクタイト）による変形挙動のシミュレーションは非常に興味深いものであったが、スメクタイトというのはどこにでも存在しているものなのか。

（京谷氏）過去に熱水変質を受けたような場所では粘土鉱物が生成されていて、そこが水分を吸ってメカニカルに膨らもうとする。トンネルを建設した際には問題がないが、時間遅れで膨潤の影響が生じてくるという現象である。全体的に力が加われば問題ないが、部分的に加わると構造物に影響が生じ得る。

（会場）岩盤の数値解析について、V&V の現状を教えていただきたい。

（京谷氏）方法論も含めて、体系的な V&V は取り組むべき課題と認識している。過去に、地下発電所の建設をする際に、建設前の予測と建設後の計測データを比較していた実績はあるが、現在の目で見ると V&V と言うには十分ではなかったと思う。

◆招待講演「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」
谷和夫氏（東京海洋大学）

原子力施設の敷地内断層の評価において生じている問題を念頭に、技術者（Engineer）、科学者（Scientist）、国民（Public）の心象風景の様相と問題の背景（“変位が生ずるおそれがない”ことの証明は困難、工学の対応に不信感、“断層変位を決めてくれ”は無理な注文、現状ではリスクを評価することは容易ではない）について紹介があった。このような状況を踏まえて、問題解決のために、地盤工学分野で策定された「包括基礎構造物設計コード（地盤コード 21）」の考え方を参考に、信頼関係の構築・連帯責任・総合的な評価を目指して、「リスクの大きさを厳密に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の提案がなされた。

＜質疑＞

（会場）事業者と規制委員会の間で議論になっている敷地内破砕帯の問題では、理学と工学の対話はなされているのか。

（谷氏）規制委員会の有識者会合は、ハザード側の Scientist の方々のみが集まって議論をしており、施設に与える影響を考える Engineer 側は全く関与していない。両者が同じテーブルに着く仕組みへの改善が必要だと思う。

（会場）紹介のあった地盤の調査者と設計者の対話を求めるコードができて、実績として、対話を通じて両者が深く理解するようになったのかどうか、理解が進んだとすればそれはどういう点がキーポイントなのか。お互いを理解し合うという点なのか、あるいは自分達の技術の限界を知ったということなのか。

（谷氏）例えば、建物の杭の設計をするのは構造設計者で、一方、そこに使う地盤の情報は地盤調査者が、例えば標準貫入試験などを実施して提示している。最近問題となったマンションのような問題が起こると、結局どちらが責任をとるのかということが問題になるが、現状は建築士、すなわち構造設計者が調査計画も含めてすべての責任をもつという法律になっている。このコードが主張していることは、協調、連帯責任ということだが、日本の建築分野では、まだこの協調的な対話が取り入れられていない。将来的には、専門家が協調して、連帯して責任を持つというのが主張している方向性である。

（会場）理学と工学の関係について深く考察されていて、本質的なところを突いている。その上で、例えばこの調査専門委員会の意義を考えたときに、これまでは専門家それぞれが自分の殻に閉じこもったところからお互いに言い合っているような状況があり、工学の側からすれば、工学の側からの発信があまりに少なすぎたと思う。それは工学の責任を果たしているとは言えない。断層変位が１ミリでも生じたら許さないというルールは問題だとは言っているが、それでは、どういうことが起こって、どういう風に対応するから大丈夫だという、シナリオ、フラジリティ、発生するリスクをどう捉えるかということの体系的な考えを示すという工学の責任を果たしていない。その点についてはどうお考えか。

（谷氏）ご指摘はまったく正しいと思う。工学側がルールの作り方とかシナリオを示してこなかったところはある。それをこの調査専門委員会できちんと体系立てて、方向性を示していくということだと思う。報告書をまとめていく際に配慮したいことは、工学では馴染深い論旨、用語について、理学の専門家の方々には新規な概念、たとえばリスク評価などにも関心を持っていただけるように分かり易く伝えることである。いっしょに安全性評価をやりましょうという方向に次のステップでもっていければ良いと思う。

◆「調査専門委員会の検討状況（中間報告）」百々隆氏（原子力安全推進協会）

調査専門委員会の中間報告として、以下の説明があった。

・断層変位という現象の理解が重要であり、また、断層変位をもたらした成因の考察が重要で、成因により原子力安全のアプローチが変わり得る。

・本報告では既設の原子力施設を対象に、地震に起因する断層変位を対象にしている。

・原子力施設に対する詳細な地形・地質調査を前提にすると、施設直下で評価対象となり得る断層変位は、主断層のような大きな変位を生じさせるものではなく、1 回当たりの変位量が数十センチ以下程度の、例えば副断層のようなものになると整理できる。

・施設の影響評価については、原子力学会標準「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」に規定されている四つの評価方法を取り込んだ全体評価フローを構築した。この適用により、原子力安全のための評価をすることができる。

・本報告では、四つの評価方法のうち、事故シーケンスを考慮し、設備の分散配置の効果も把握できる「裕度評価」によるリスク評価の適用イメージを報告する。

　・適用イメージを示すために複数の断層変位量を任意に設定し、施設直下の断層変位を仮定（ここでは縦ずれと設定）。

　・断層変位による原子炉建屋等への影響、機器・配管系への影響について、後段側が必要な評価結果を的確に引き渡し、地震 PRA で用いられている既存の事故シーケンス評価モデルを活用して、ここでは炉心損傷シーケンスの有無に着目した炉心損傷に対する裕度評価の適用イメージを提示。

　・この評価方法の適用により、一定の変位量に対して炉心損傷に対する裕度を有していることを評価できること、一定の変位量を超えた場合には可搬型設備の活用が有効であることや更なる対応策を講じるための意思決定につながる評価ができる。

・最終報告に向けて、適用イメージの追加や検討事項について更に検討を深めていく。

◆総合討論

（会場）リスク論の捉え方については、包括的な枠組みの中での位置づけが必要と考えているが、本日の報告では、その点が整理されてきていると思う。

（会場）具体的な適用イメージというのは非常に重要で、本日の説明は建屋と機器の話であったが、海水取水路のような屋外土木構造物についても整理の中に入るのか。

（百々氏）本日は原子炉建屋直下で断層変位が生じた場合のイメージであるが、ご指摘の点は、今後、整理していく。なお、炉心損傷という観点で整理すると、PWR であれば蒸気発生器を介して大気をヒートシンクとする冷却や可搬設備の活用もあるので、海水系が使えなくなっても炉心損傷には至らないというパスがあるだろう。

（会場）ヒートシンクの問題は重要と考えるので質問した。評価を除外できるのなら、除外できる理由をきちんと記載する必要がある。

（百々氏）ご指摘のとおりで、最終的にはあらゆる事故シナリオを包括していることを示していく。

（奈良林氏）BWR でも、フィルターベントを備えることにより大気をヒートシンクとして活用することができる。

（座長）重要なのは、ヒートシンクに多様性があるということ。

（会場）報告書がまとまった際に、規制側へのアプローチや海外の関係機関との連携などはどのように考えているのか。また、一般国民が理解できるような情報発信も重要だと思う。

（奈良林氏）規制委員会には、この調査専門委員会が立ち上がった際に趣旨説明をし、工学的な検討をきちんと進めて欲しいとのことであった。検討結果がまとまれば、説明していきたいと考えている。また、海外の関係機関と意見交換することも重要で、それが透明性にもつながるし、検討結果は活用していただければと思うので、そのような取組みも進めていく。

（谷氏）国民に対するアピールも大事なので、マスコミや一般への情報提供も進めて欲しい。

（座長）百々氏の説明に「社会とのコミュニケーション」とあったが、最近の裁判の状況を見ていても、断層問題に限らず我々の情報発信は明らかに不十分である。そういう意味でも、ご指摘の点は非常に重要である。

（会場）中間報告に関して、非常に緻密に論理を組み立てて検討を進めていることに敬意を表す。ただ、敷地内断層の件はもう 2 年も 3 年も前から問題になっていて、事業者の見解と規制委員会側の見解が全然違っている。そのあたりについても学会としての評価が要るのではないだろうか。明らかにおかしい点については、見解を対比して、少し立ち入ったところまで検討して、提案していくようなことも必要ではないか。

（奈良林氏）この調査専門委員会の活動は、特定の発電所に対しての意見をまとめるのではなく、汎用性のあるかたちで、考え方、リスク評価の考え方、工学的な対策についてまとめていくこととしている。学術の立場からは、そのアウトプットを、規制側にも事業者にも活用していただきたいというスタンスである。

◆閉会　座長

この断層変位の問題というのは、自然現象のひとつとして重要なハザードのひとつである。そ

の他の多くのハザードとともに総合的に考えながら対策をしていくことが本来の在り方だと考える。本日の中間報告にもあったように、断層変位が生じたところが局所的に損傷する可能性があり、これへの対応は、新規制基準で求められている航空機衝突に対する対応と類似したものになると考えらえる。そういう観点で、航空機衝突であるとか断層変位であるとかを総合的に考えながら工学的な対応をとっていくことが非常に重要である。なぜそのように言うかというと、9.11の後に、もしテロ対策ができていれば、福島第一でも津波に対する防御ができたのではないかという思いがあるからである。断層変位も排除することなく、ひとつのインプットとしてのハザードとしてしっかりと対策をとるための議論をすることが重要。断層の活動性が有るか無いかで議論が終わるのではなく、有る場合でも無い場合でもどちらでもしっかりと対応をとっていくということが、工学的な対応として重要である。次回（2016 秋の大会@久留米）では最終報告をしたいと思っているので、また、しっかりとご議論させていただければと思う。

以上

2016 年 3 月 26 日

「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会の検討状況（中間報告）

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（主査：奈良林直 北海道大学教授）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のリスク評価、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。

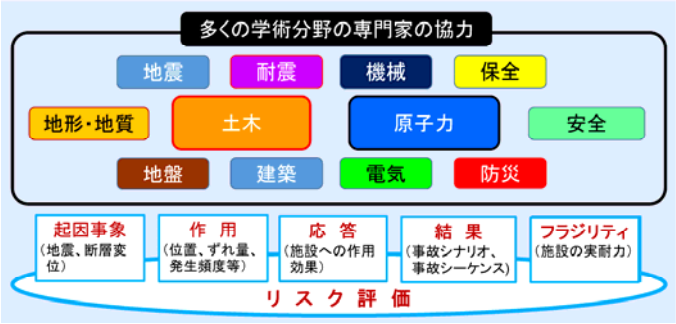


図 1　学術分野横断の検討スキームの構築

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、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。

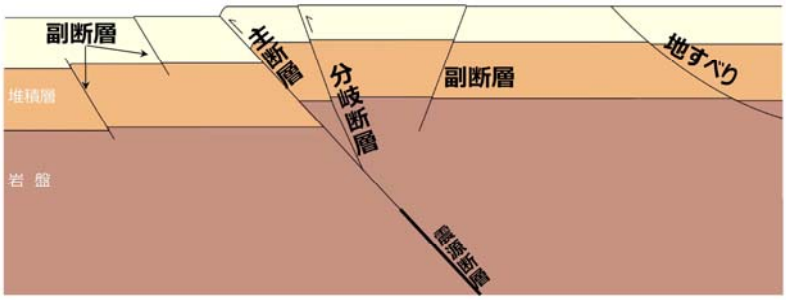


図 2　地表付近の主な断層変位

2-2. 工学的対応の重要さ

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て、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。

本調査専門委員会で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ア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）には破砕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。

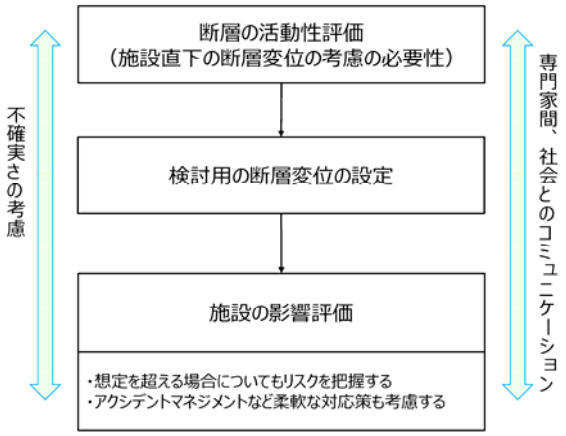


図 3　既設炉の対する評価手順案

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。

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ので、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。

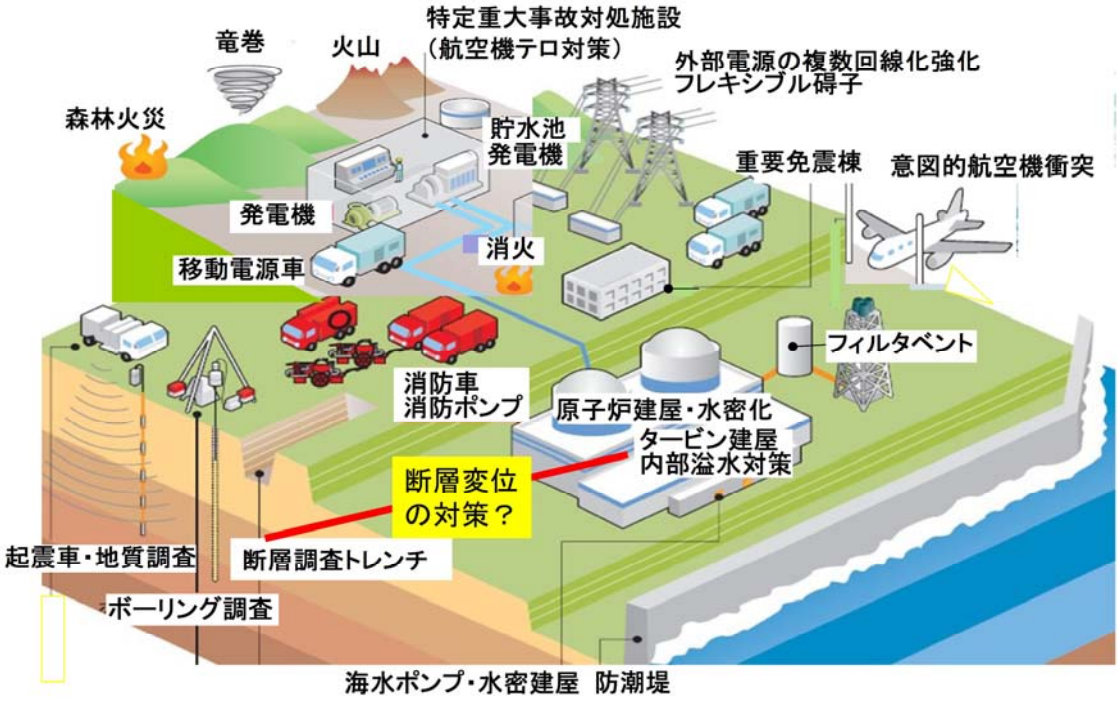


図 4　新規制基準への対応策の概要

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。

4. 断層変位について

4-1. 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（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、その成因が重要な意味をもつ。

4-2. 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。

5. 断層変位に対する既設炉の評価手順

図 5 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。

このうち、本中間報告では施設に対する影響評価について述べる

5-1. 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 6 に示す。

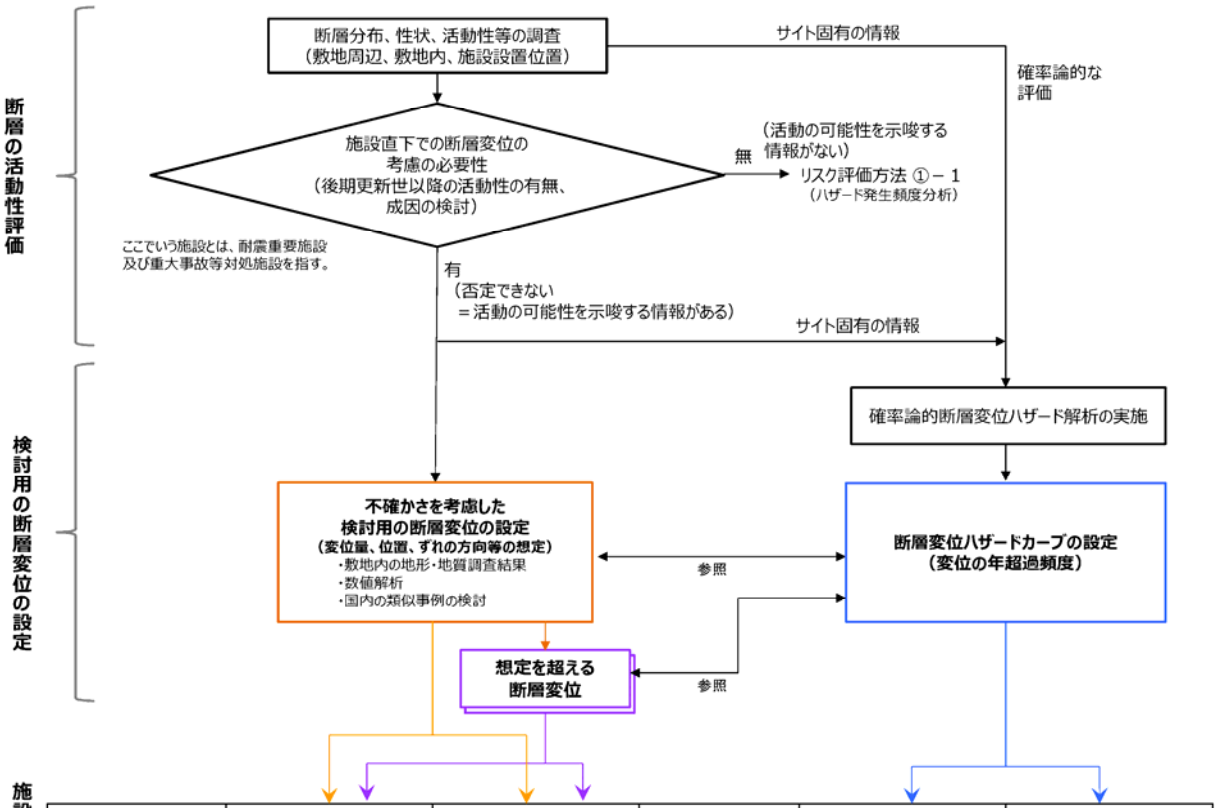
5-2. 評価方法の適用性

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。



評価方法	①－２ 影響度分析	② 裕度評価		③ 条件付の CDF評価	④ PRA等の 詳細なリスク評価
評価への入力情報	変位量等	変位量等		ハザードカーブ	ハザードカーブ
建屋、構造物、機器の評価	実施	実施		実施 （フラジリティカーブは使わない）	実施 （フラジリティカーブを使う）
事故シナリオ・事故シーケンス評価	－	実施		実施	実施
アクシデントマネジメントの検討	－	可能		可能	可能
得られるリスク情報	終局耐力に対して余裕がある 等	設備の耐力維持・機能維持、炉心損傷までには余裕がある 等		CDF等 （保守的）	CDF

図５　既設炉の評価手順（検討中）

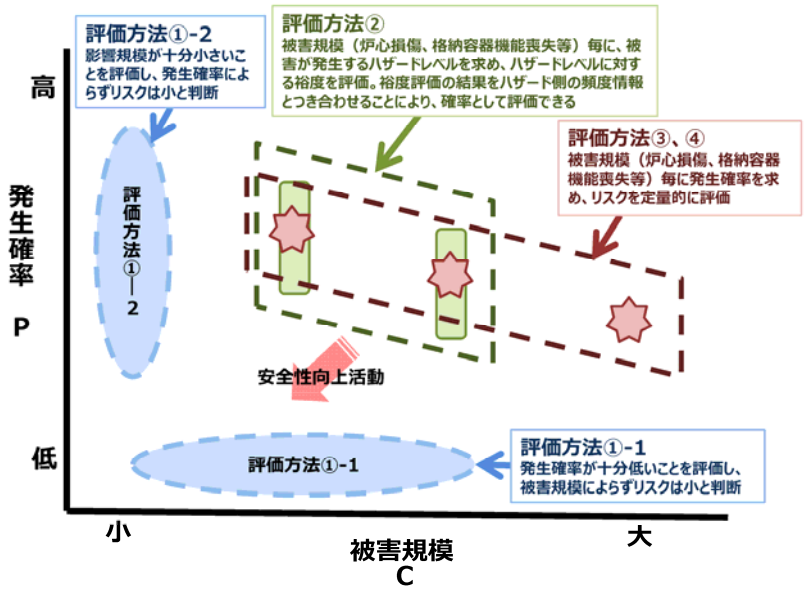


図６　四つの方法により評価されるリスクのイメージ

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。

6. 評価方法の適用イメージ

中間報告としては、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。

（発表資料参照）

7. まとめ（中間報告）

断層変位が原子力施設に与える影響を評価するための工学的なリスク評価の考え方・手順を提示した。その適用により、原子力安全のための評価をすることができる。

例えば今回報告した評価方法（裕度評価）の適用により、安全機能の確認とともに、評価結果を活用した可搬設備の有効性の検証や、リスク低減のための更なる対応策ための意思決定をすることができる。

今後、最終報告に向けて、適用イメージの追加（BWR/PWR、施設直下の断層仮定位置、縦ずれ/横ずれ）など、更に検討を深めていく。

＜主な検討事項＞

・不確かさを考慮した「検討用の断層変位」の設定方法（確率論的な手法による情報の活用）

・各評価間のインターフェースの高度化、設備の耐力情報の整理・充実、対策工の考え方

・新設プラントへの適用の考え方

・専門家間、社会とのコミュニケーションの観点

以上

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

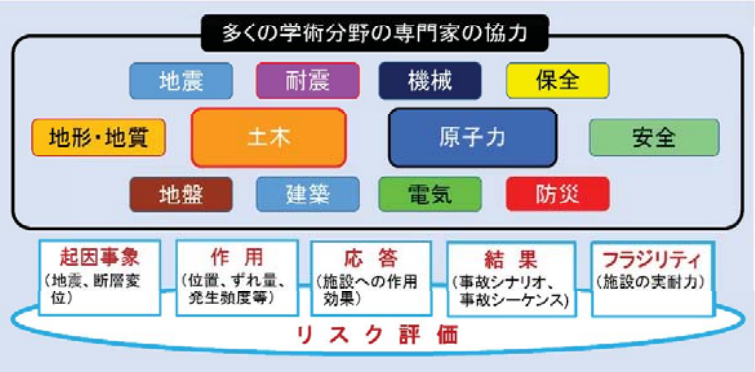
2016年3月26日13:00～

Atomic Energy Society of Japan

調査専門委員会主査　奈良林 直(北大)

活動目的

- 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。
- 調査それに基づき、**不確実性を踏まえたトータルのリスク評価、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。



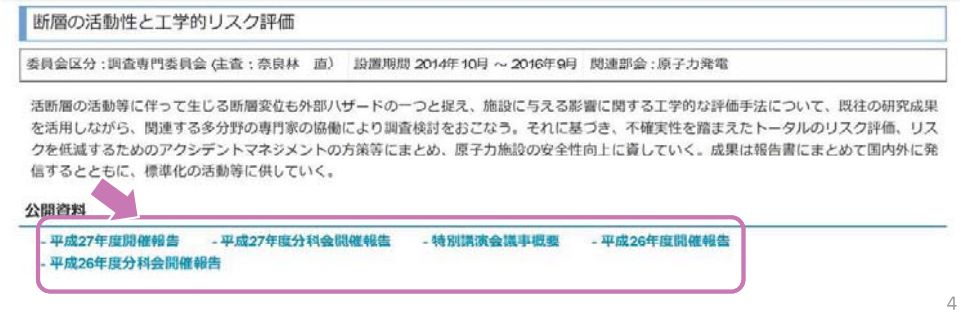
活動内容

① 断層の変位に伴う原子力施設への影響評価について、科学的・工学的な評価手法の確立とリスク低減に関する基準の策定が望まれます。また、
② 万一、活断層が動いたとしても、副断層の変位と原子炉建屋や屋外土木構築物(取水路・海水管ダクト・トレンチ等)、格納容器、重要な配管・機器・計測制御系などに与える影響の評価と、
③ そのトータルリスクについての工学的評価や、過酷事故に発展しないようなアクシデントマネージメントの策定などをあらかじめ検討しておくことが必要である。

- 原子力発電所のトータルなリスク低減と安全性向上のためには、重要度分類に基づく、科学的合理的な対策が必要。
- そこで、断層の活動性と工学的なリスク評価手法開発を多くの学協会に所属する専門家の協力を得て行い、また研究成果を国際的に共有する調査研究活動を実施する。

調査専門委員会の活動状況

- 設置期間　2014年10月～2016年9月(2年間)
- ◆ **これまでに、調査専門委員会を7回、傘下の原子力分科会を5回開催。そのほか、特別講演会（2014年2月@東京）、原子力学会2015年春の年会（@茨大日立キャンパス）での企画セッションを開催。**
- ◆ **これまで1年半の検討成果を、2016年春の年会（@東北大川内キャンパス）で中間報告。本年9月までに最終報告書をまとめる予定。**
- ◆ **検討の状況は、原子力学会ホームページで適宜公開。**
  http://www.aesj.net/sp_committee/com_dansou


断層の活動性と工学的リスク評価

委員会区分：調査専門委員会 (主査：奈良林　直)　設置期間 2014年10月 ～ 2016年9月　関連部会：原子力発電

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おこなう。それに基づき、不確実性を踏まえたトータルのリスク評価、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。

公開資料

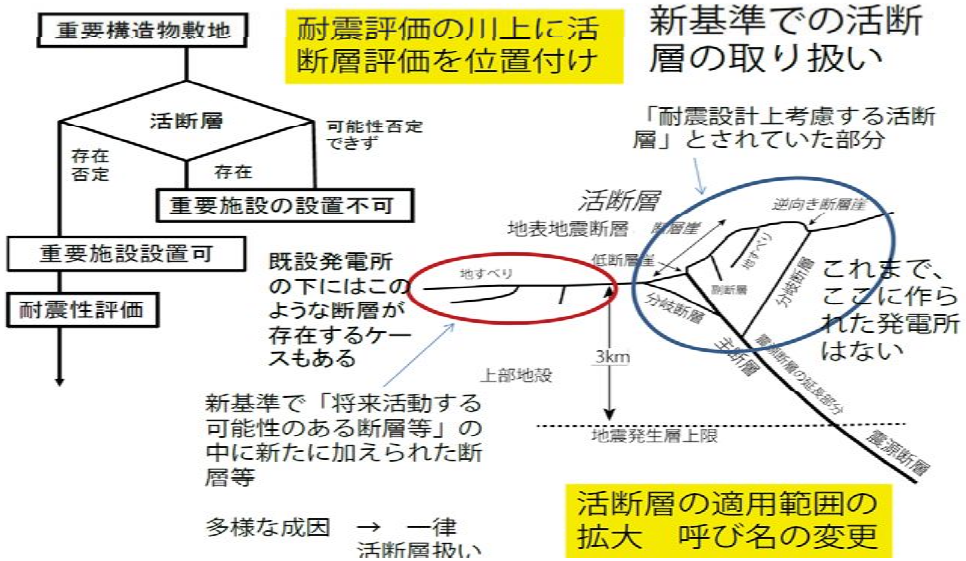
- 平成27年度開催報告　- 平成27年度分科会開催報告　- 特別講演会議事概要　- 平成26年度開催報告
- 平成26年度分科会開催報告

当委員会が活動する範囲

① 各発電所敷地の断層の活動性評価結果の調査と土木学会による評価
② 断層が仮に動いた場合の建屋や原子力機器・系統に与える影響についての最新の知見（JANSI技術報告など）を活用した工学的評価
③トータルのリスク評価と、リスクを低減し、原子力発電所や原子力関連施設へのダメージを最小化するアクシデントマネージメントの方策の策定

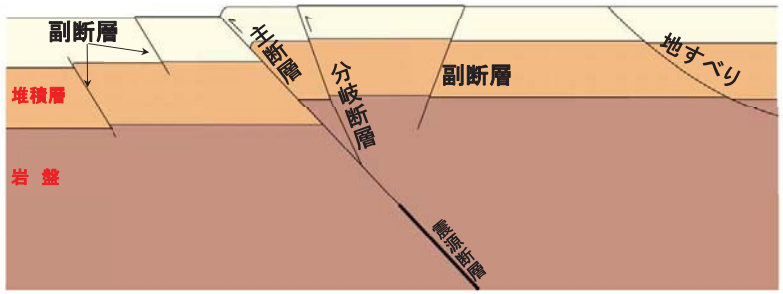
断層の種類と活断層

この考え方に工学的対策を追加する



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、「断層変位」と呼ぶ。
- 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。その他、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。



自然災害の重畳という観点からは

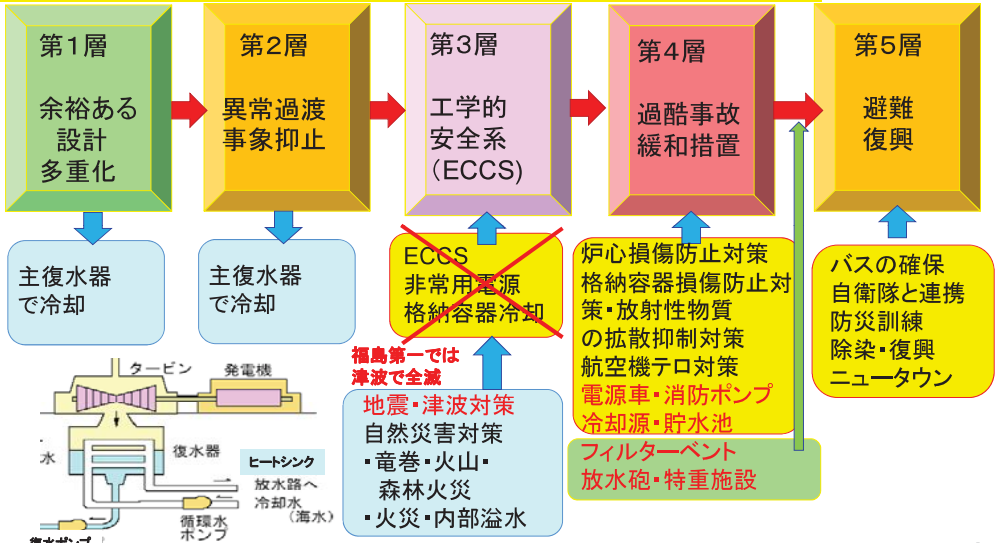
■断層が大きく変位した場合、自然災害として、
（1）断層変位
（2）地震
（3）津波
がセットで来襲することは十分に考えられる。

新規制基準では、（2）、（3）については対策済
（1）の災害によって、防潮堤の一部が損傷するということは有り得るが、建屋の防潮壁や防潮扉が深層防護としての次の防護壁となって発電所を守る。

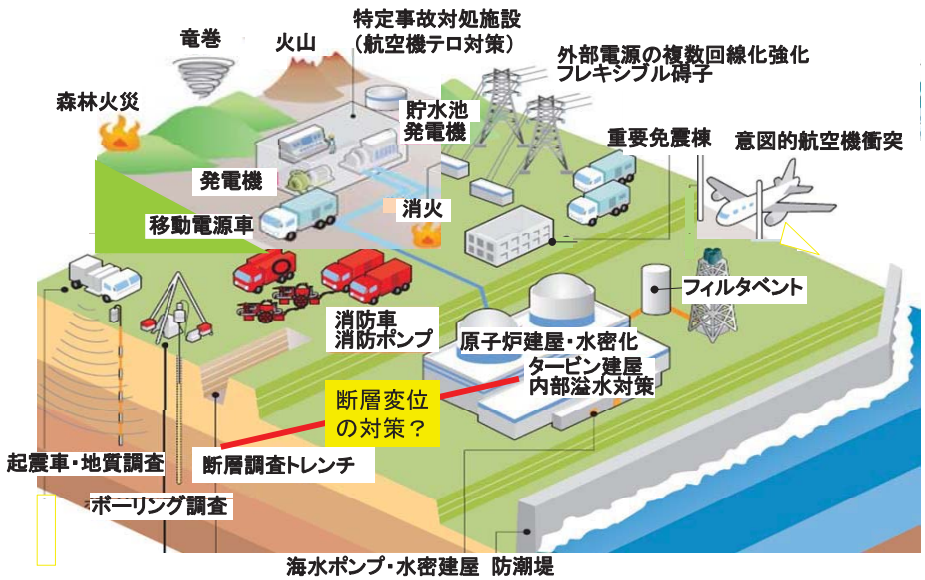
■断層変位のリスクとしては、断層という線状の災害源に対する対処に的を絞ることが合理的な考え方。

深層防護（Defense in Depth）

第3層の断層変位に対する耐性向上、第4層の資機材の活用



新規制基準への対応策の概要



新規制基準による規制強化

シビアアクシデント（過酷事故）を防止するため基準（第3層）を強化すると共に、
シビアアクシデント）の緩和対策や航空機テロへの対処の基準（第4層）を新設

＜従来の規制基準＞

断層変位も自然災害の1つとして考え、必要に応じて対策をとる。（事業者の自主的取り組み）

シビアアクシデントを防止するための基準（いわゆる設計基準）
（単一の機器の故障を想定しても炉心損傷に至らないことを確認）

- 自然現象に対する考慮
- 火災に対する考慮
- 電源の信頼性
- その他の設備の性能
- 耐震・耐津波性能

＜新規制基準＞

第4層（テロ・過酷事故対策）

- 意図的な航空機衝突への対応（新設）
- 放射性物質の拡散抑制対策（新設）
- 格納容器破損防止対策（新設）
- 炉心損傷防止対策（複数の機器の故障を想定）（新設）

第3層（安全上重要な施設への対策強化）

- 内部溢水に対する考慮（新設）
- 自然現象に対する考慮（火山・竜巻・森林火災を新設）（強化又は新設）
- 火災に対する考慮（強化又は新設）
- 電源の信頼性（強化又は新設）
- その他の設備の性能（強化又は新設）
- 耐震・耐津波性能（強化又は新設）

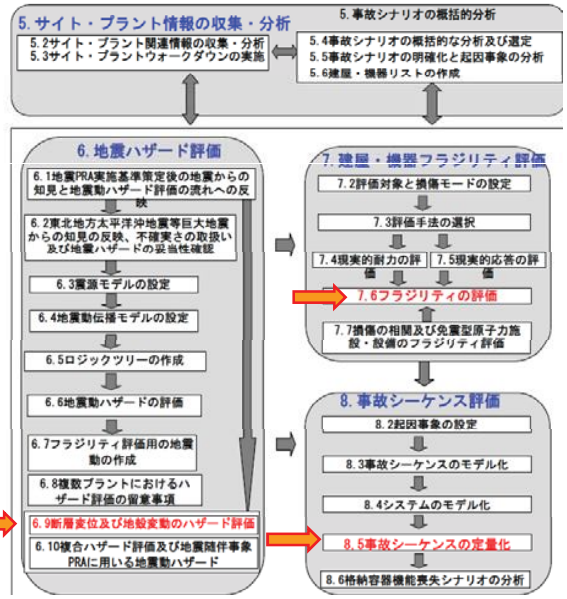
（シビアアクシデント対策）

断層変位の対策？

日本原子力学会地震PRA実施基準

- 地震PRA実施基準は、2007年9月に発行。
- 同基準は、５年の定期改定作業を終え、2014年9月に発行予定。
- 改定基準には、断層変位ハザード評価、同ハザードに対するフラジリティ評価、事故シーケンス評価が追加された。

断層変位も自然災害の1つとしてリスク評価と工学的対策を検討する



原子力発電所のリスクの定義とリスク評価

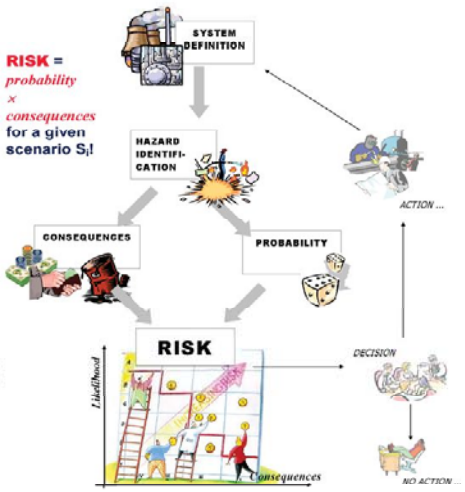
- リスクの三重項 (Risk Triplet)
  by Kaplan and Garrick

リスク評価は、以下の3つの質問に対する答えを提示する。

✓ What can go wrong?
何が起こりうるか？ Scenario

✓ What is the likelihood of that happening?
それはどのくらい起こりやすいか？ Probability

✓ What are the consequences?
それが起こったとして、その結果はどうなるのか？
Consequences



- 原子力発電所の「リスク」とは、施設周辺の人々の健康や社会、環境に影響を及ぼす潜在的危険性、例えば、炉心が損傷し、放射性物質が放出され、人々等に被害をもたらすシナリオに対する、発生確率と被害の積のことをいう。

$$R=\sum_{\text{すべての}i}(P_i \times C_i)$$

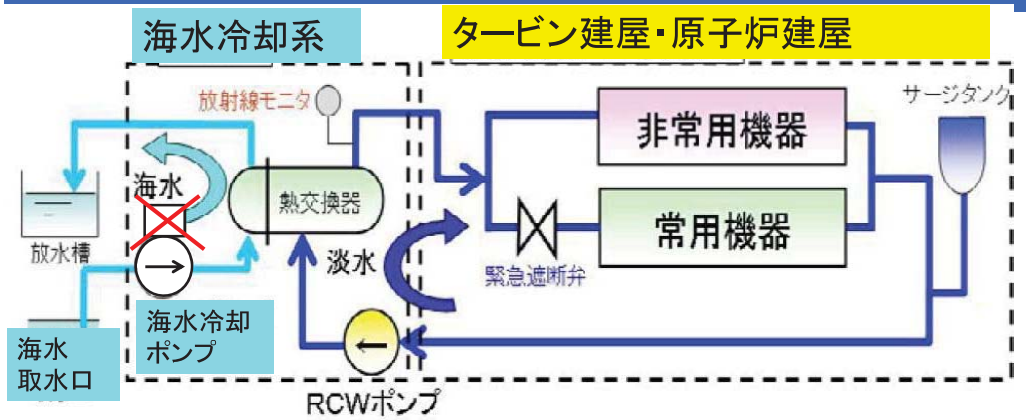
R:リスク、P_i:i番目のシナリオの発生確率、C_i:i番目のシナリオに対する影響

【出所：倉本孝弘氏講演資料（2015年2月14日）に加筆】

断層変位という自然現象の理解

- 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。

補機冷却系の重要性（共倒れ）

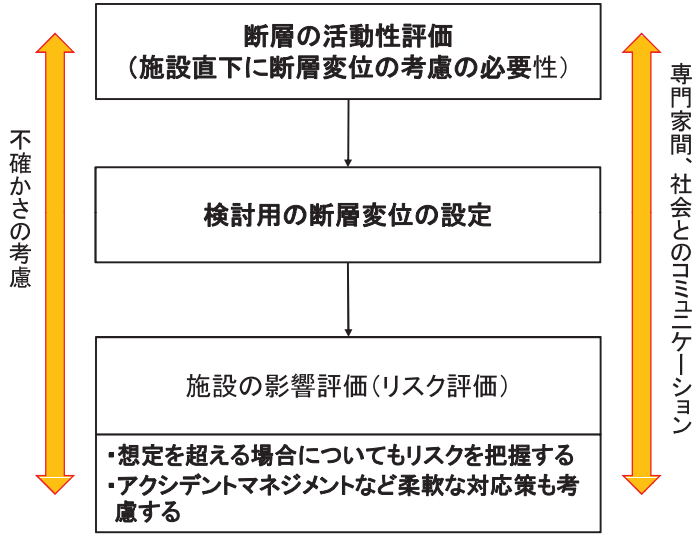


非常用機器	RHR熱交換器、RHRポンプ、非常用DG、燃料プール冷却系ポンプなど
常用補器	CRDポンプ、再循環ポンプ、タービン補機など

断層変位大による影響予想

断層変位が原子炉建屋や安全上重要な施設に与える影響
（1）原子炉建屋の真下の断層が変位した場合
・格納容器の塑性変形や閉じ込め機能の喪失△
・高圧1次系配管破断→LOCA（冷却材喪失事故）△
・ヒートシンク系配管の損傷→格納容器や炉心の除熱不能△
（2）原子炉建屋とタービン建屋間の相対変位が生じた場合
・主蒸気管の損傷（BWRはMSIV閉、PWRはSG2次系冷却材喪失）→複数系統あるので、影響は限定的○
（3）タービン建屋の下の断層が変位した場合
・給復水系の損傷による給水喪失→ECCS作動するので○
・復水器や空気抽出器、海水冷却系循環の機能喪失△
→タービン止弁閉、原子炉側はホットスタンバイ、RHRで冷却
（4）タービン建屋～海水循環系配管・海水熱交換器建屋の間
・復水器の冷却機能喪失・補機冷却系の機能喪失→△
（5）受電設備、スイッチヤードの断層変位
・外部電源喪失→非常用DGの自動起動で ○

既設炉に対する評価手順



PWRの型式分類（LOCAに収斂）

第3層の断層変位に対する耐性向上：LOCA対応に収斂される

PWRの型式分類：1次冷却設備のループ数

- 原子炉容器（1）
- 加圧器（1）
- 蒸気発生器（2）
- 1次冷却材ポンプ（2）

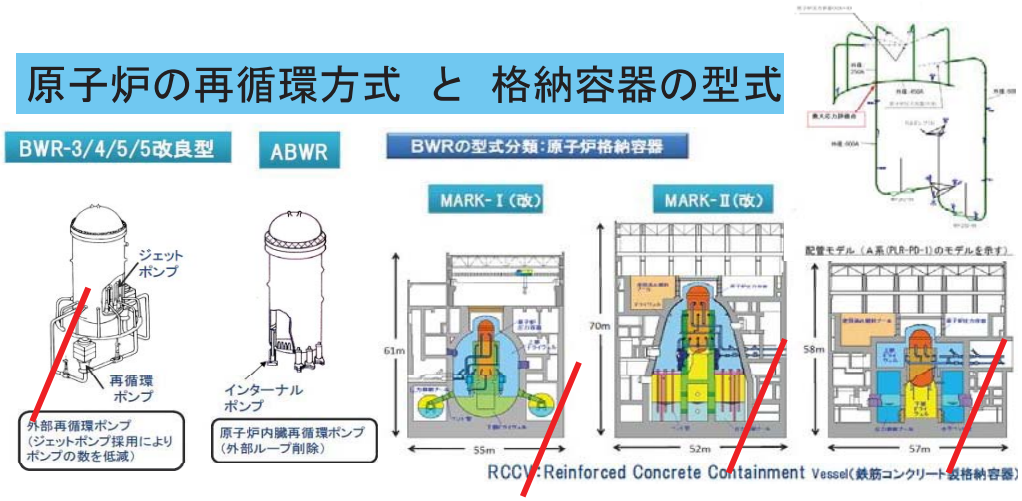
- 原子炉容器（1）
- 加圧器（1）
- 蒸気発生器（3）
- 1次冷却材ポンプ（3）

- 原子炉容器（1）
- 加圧器（1）
- 蒸気発生器（4）
- 1次冷却材ポンプ（4）

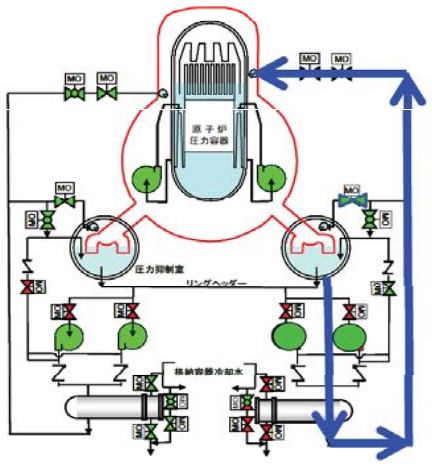
BWRの型式分類（ABWRとBWR/4・5）

第3層の断層変位に対する耐性向上：LOCA対応に収斂される

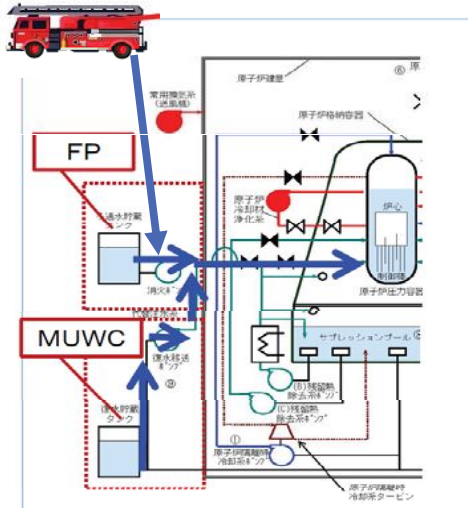
原子炉の再循環方式　と　格納容器の型式



格納容器冷却系の機能喪失とAM対策



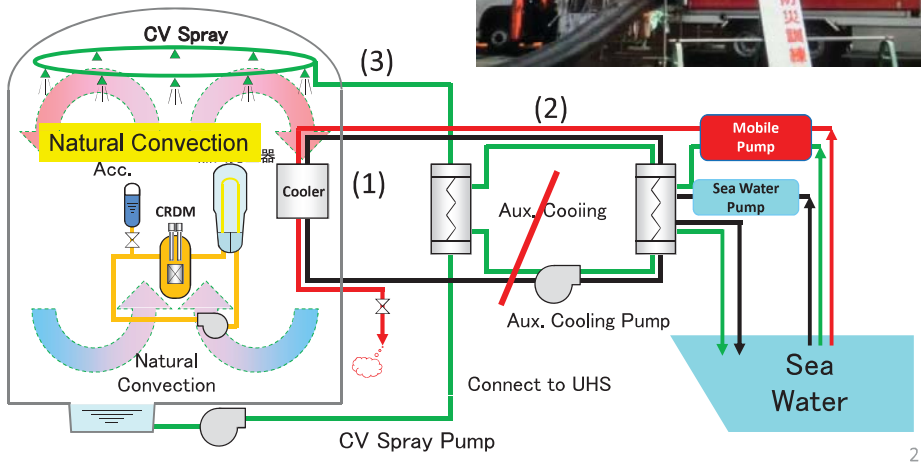
原子炉格納容器冷却系の概略系統図



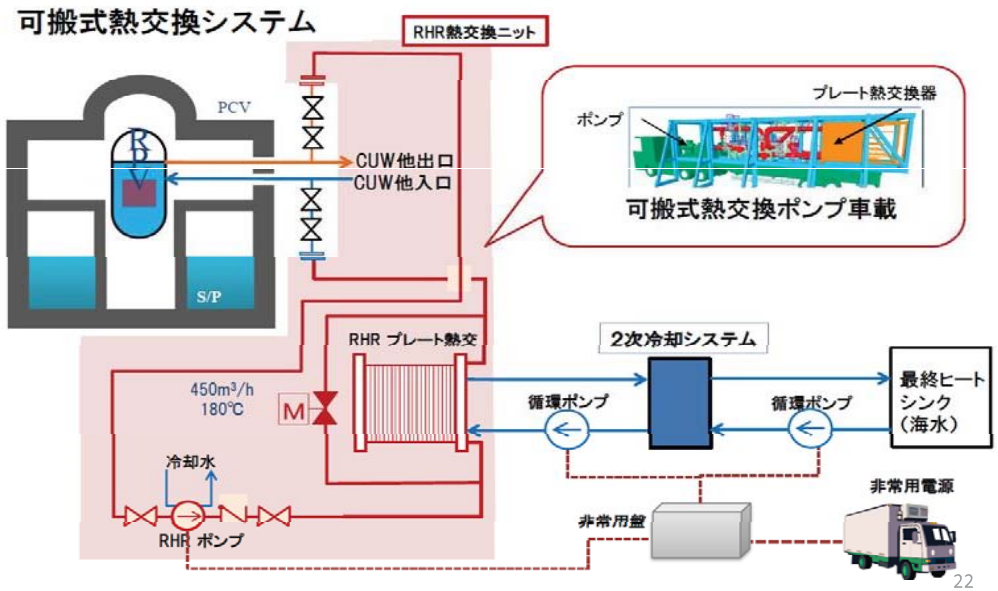
代替注水系の機器配置と概略系統図

移動ポンプ車による格納容器スプレイ

(1)格納容器冷却器
(2)海水冷却
(3) 格納容器スプレイ



移動式熱交換器車による冷却源回復



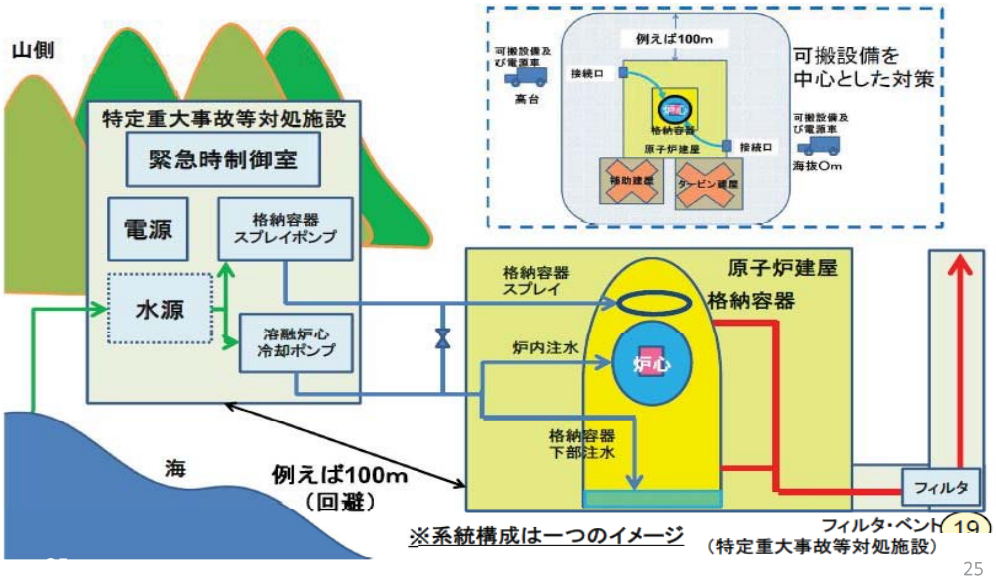
断層変位という自然現象の理解

- 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。
- **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（瞬時なのか否か）などが異なることになる。**
- **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、その成因が重要な意味をもつ。**

対象となる断層変位量のイメージ

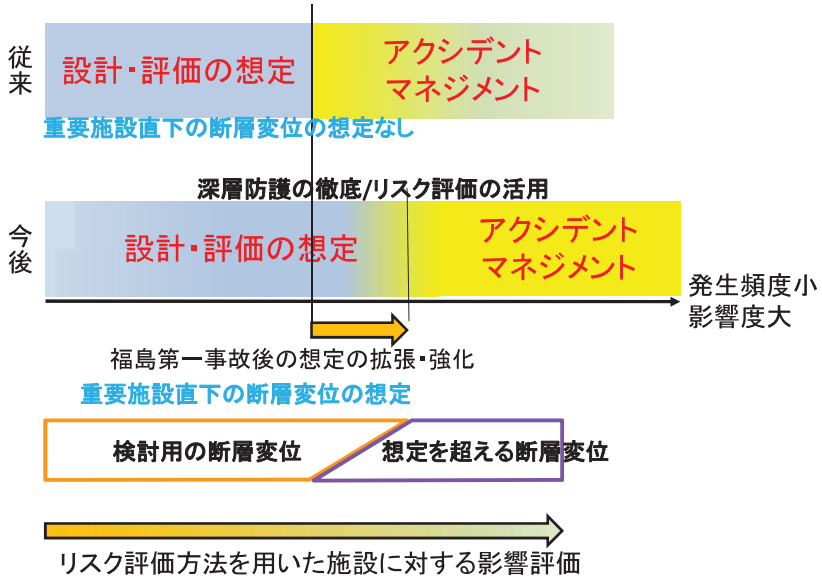
- 過去における断層変位の痕跡は、自然の地層、地盤中に残っている場合があり、その情報を最大限活用して、断層変位量のイメージを整理してみる。
- 主断層は1回のずれの量が大きく、過去に繰り返し動いた痕跡を地形・地質に残している。ただし、1回当たりの変位量が小さい場合は、地形・地質への痕跡が残り難い場合があり得る。
- これまでの地形・地質分野の知見からは、**日本の主断層の１回当たりの変位量は、数十cm～数m～10m程度**と言える。
  主断層（活断層）の活動間隔は、短いもので数百年、平均的には数千年、長いもので数万年である。（**10^{-3}～10^{-4}～ 10^{-5}回/年**）
- 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。

特定重大事故対処施設も強力な対策



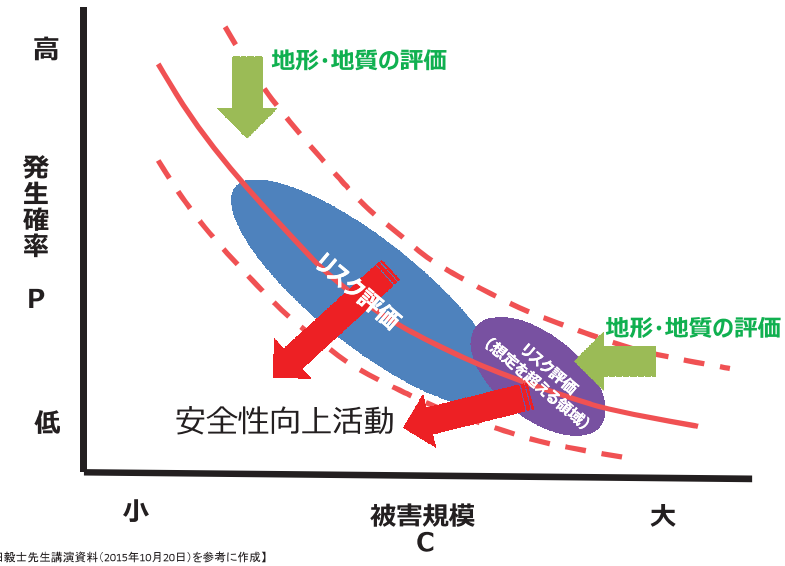
※系統構成は一つのイメージ

断層変位に対する原子力安全の考え方



【出所：岡本孝司先生講演資料（2015年2月14日）を参考に作成】

工学的対策による断層変位に対するリスク低減



【出所：高田毅士先生講演資料（2015年10月20日）を参考に作成】

断層変位の影響と工学的対策のまとめ

■断層変位が原子炉建屋や安全上重要な施設に与える影響

（1）原子炉建屋の真下の断層が変位した場合

・格納容器の塑性変形や閉じ込め機能の喪失→燃料を冷す○

・高圧1次系配管破断→LOCA（冷却材喪失事故）に収斂○

・ヒートシンク系配管の損傷→格納容器や炉心の除熱→移動冷却車○

（2）原子炉建屋とタービン建屋間の相対変位が生じた場合

・主蒸気管の損傷（BWRはMSIV閉、PWRはSG2次系のMSIV閉）

　→複数系統あるので、影響は限定的○

（3）タービン建屋の下の断層が変位した場合

・給復水系の損傷による給水喪失→ECCS作動するので○

・復水器や空気抽出器、海水冷却系循環の機能喪失→移動冷却車○

（4）タービン建屋～海水循環系配管・海水熱交換器建屋の間

・復水器の冷却機能喪失・補機冷却系の機能喪失→移動冷却車○

（5）受電設備、スイッチヤードの断層変位

・外部電源喪失→非常用DGの自動起動で ○

■安全上重要な機器のレイアウト図の確認、成功パスの確率評価要

日本原子力学会
「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会
検討状況（中間報告）

委員　百々　　隆（原子力安全推進協会）
主査　奈良林　直（北海道大学）

平成28年3月26日　日本原子力学会2016年春の年会
於：東北大学川内キャンパス

報告内容

１．断層変位について
(1) 断層変位という自然現象
(2) 対象となる断層変位のイメージ

２．断層変位に対する既設炉の評価手順
(1)「リスク評価」について
(2) 全体評価フロー
(3) リスク評価の適用イメージ

３．「裕度評価」の適用例
(1) 評価の考え方、手順
(2) 建物・構築物に対する影響評価
(3) 建物・構築物の損傷状態と機器・配管系の損傷形態との関係
(4) 断層変位レベルに応じた機器・配管系の評価手法概要
(5) 機器・配管系に対する影響評価
(6) 機器・配管系の評価結果を受けたリスク評価のイメージ
(7) リスク評価結果の解釈・利用の際の留意事項

４．まとめ（中間報告）

(1) 断層変位という自然現象

◇断層変位…地盤に変位（ずれ）が生じる現象
- 地震起因 主断層、分岐断層…震源断層の変位が地上に及んだもの
  副断層…主断層等の周辺に副次的に生じたもの
- 地震とは関連しないもの　例 重力性の地すべり

◇断層変位の特徴
- 頻度：非常に低い→活動履歴情報が少なく、定量的扱い困難
- 場所：震源断層の直上や近傍で、狭い幅に限定
  →岩盤中の既存の弱面
- 性状：局所的なせん断変形。ランダム性があり複雑。

◇対象となる断層変位の性状把握の重要性
- 自然に残された痕跡が利用可能。ただし、活動性等について専門家でも見解が分かれる場合あり。
- 成因の考察が重要。成因により、施設に対する原子力安全のアプローチが変わりうる。

※本報告では、地震に起因する断層変位を対象に述べる。

(2) 対象となる断層変位のイメージ

◇我が国のこれまでの知見からの考察
- 主断層：１回のずれ量が大きく、繰り返し動いた痕跡が地形・地質に残っていることが多い。
  １回当たりの変位量　～数十ｃｍ～数m～10m程度
  活動間隔　（短）数百年～（平均的）数千年～（長）数万年
- 副断層：主断層の変位量以下と考えるのが適当。

◇原子力施設における詳細な調査
- 主断層のように数十ｃｍ以上の変位は、建設前の詳細な地形・地質調査で把握可能。
- 一方、数十ｃｍ以下の変位は、浸食等の影響で痕跡が残らない場合もあり得る。

既設炉において評価対象となり得る断層変位は、主に副断層のように１回当たりの変位量が数十ｃｍ以下で、数千年～十万年に１回出現する程度の現象と整理できるのではないか。

2．断層変位に対する既設炉の評価手順

(1)「リスク評価」について

◇原子力学会標準「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」に準拠する。
同実施基準では、リスク評価方法として四つの方法を規程。

①ハザード発生頻度分析若しくは影響度分析
②裕度評価
③条件付きCDF評価
④PRA等の詳細なリスク評価

CDF：炉心損傷頻度
PRA：確率論的リスク評価

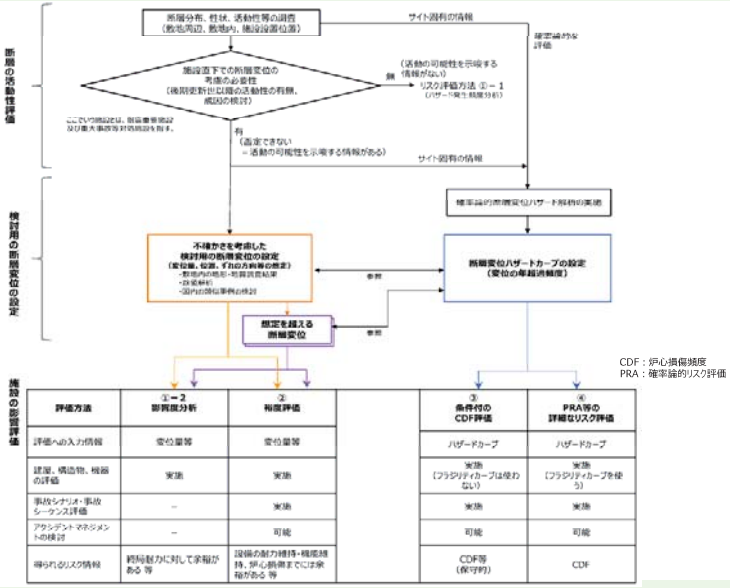
◇上記の四つの方法を取り込んで、当調査専門委員会として、断層変位に対する全体評価フローを構築。

断層の活動性評価
↓
検討用の断層変位の設定
↓
施設に対する影響評価

次頁に詳細

2．断層変位に対する既設炉の評価手順

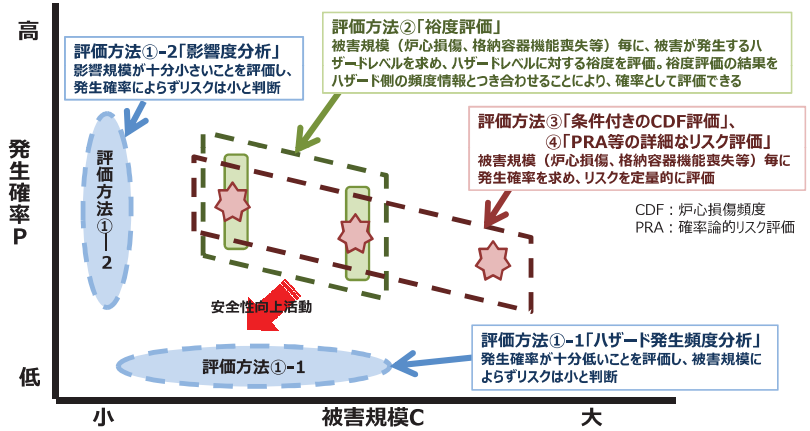
(2) 全体評価フロー



2．断層変位に対する既設炉の評価手順

(3) リスク評価の適用イメージ

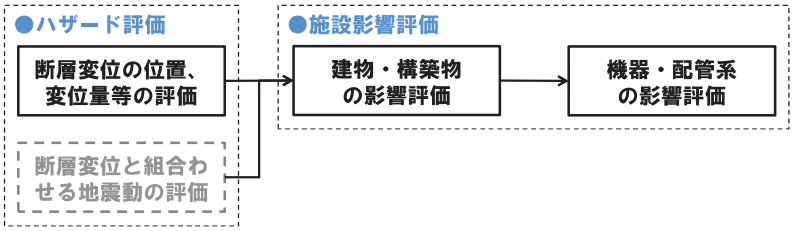
・個別サイトの状況等に応じて、四つの評価方法の適用性を踏まえて評価に用いることが必要。
・本報告では、事故シーケンスを考慮し、設備の分散配置の効果も把握できる評価方法②「裕度評価」によるリスク評価の適用イメージを示す。



3．「裕度評価」の適用例

(1) 評価の考え方、手順

・既設炉に対して、建屋直下の断層変位（副断層など）を仮定し、施設の安全機能維持の確認を行う。
・影響評価では、ハザードとして与えられる断層位置とその変位量に基づく建物・構築物の影響評価を行い、その評価結果を機器・配管系の影響評価へと受け渡す。
（なお、断層変位と組み合わせる地震動による影響も評価に取り込んでいくが、今回の適用イメージでは陽には省略）



（注）本イメージで仮定している断層変位（副断層など）は、全体評価フローにおける「検討用の断層変位」あるいは「想定を超える断層変位」に該当するもので、「裕度評価」のイメージを表現するために、複数の変位量を任意に設定。

(2) 建物・構築物に対する影響評価　①評価手順

建物・構築物の影響評価

入力条件 → **応答評価** → **耐力評価** → ・建屋の損傷状態 ・変形、傾斜 ・建屋間相対変位

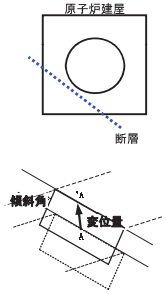
- 断層位置
- 断層形状
- 断層変位量

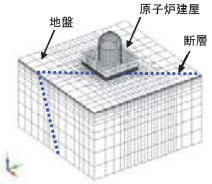
３次元非線形 FEM解析

許容限界

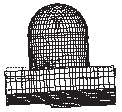
↓

機器・配管系の影響評価

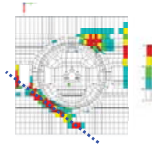




解析モデル
（全体モデル又は部分モデル）



変形

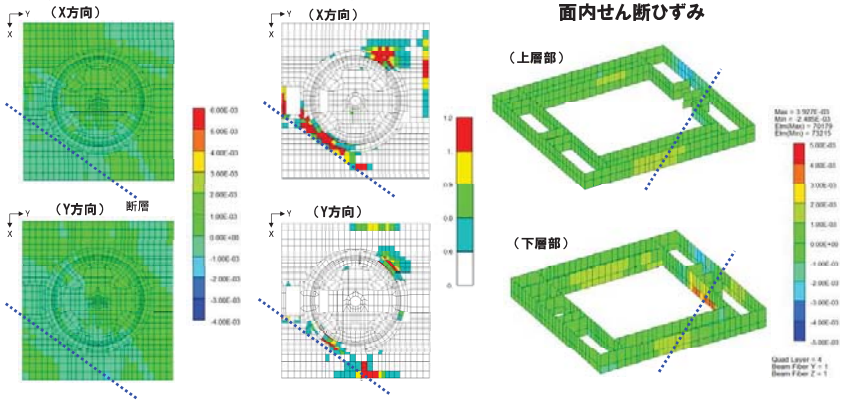


応力・ひずみ

(2) 建物・構築物に対する影響評価　②解析例

解析結果（応力・ひずみ）：出力例　縦ずれ、断層変位３０ｃｍ

鉄筋のひずみ　基礎版の面外せん断(検定値)　原子炉建屋構造壁の面内せん断ひずみ



【解析結果の出力データ】
・発生応力
・発生ひずみ

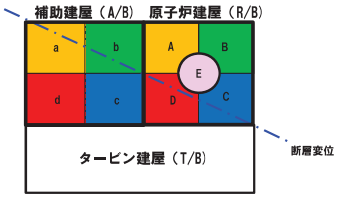
建屋側の損傷評価 ← 【解析結果の出力データ】 → 機器側評価へ

(2) 建物・構築物に対する影響評価　③評価結果簡略イメージ

断層変位※（縦ずれ）	評価エリア	原子炉建屋 A	原子炉建屋 B	原子炉建屋 C	原子炉建屋 D	原子炉建屋 E	補助建屋 a	補助建屋 b	補助建屋 c	補助建屋 d
10cm	地下1階	○	○	△	△	○	△	△	○	○
	地下2階	○	○	△	△	○	△	△	○	○
20cm	地下1階	○	○	△	△	○	△	△	○	○
	地下2階	○	○	△	△	○	△	△	○	○
30cm	地下1階	○	△	×	×	○	×	×	○	○
	地下2階	○	△	×	×	○	×	×	○	○
50cm	地下1階	△	△	×	×	△	×	×	△	△
	地下2階	△	△	×	×	△	×	×	△	△

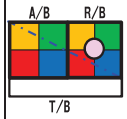
※断層変位量は、裕度評価のイメージを表現するために任意に設定したもの。
（注）個別サイトの評価では、建屋のエリアを更に細か区分して評価する。

【凡例】
○：有意な損傷無し（安全機能維持）
△：基礎・壁・床に局部損傷があるが、機器の支持性能が可能と判断できる状態
×：基礎・壁・床の損傷によって機器の支持性能が困難な状態



機器側の評価に必要な情報を、建物側から引き渡す。

(3) 建物・構築物の損傷状態と機器・配管系の損傷形態との関係

断層位置	建物・構築物の損傷状態	機器・配管系で考慮する変位影響	機器・配管系で防止する損傷形態	リスク評価
原子炉建屋直下の場合 	有意な損傷無し（安全機能維持）（○）	建屋の傾斜	動的機器の機能損傷	機器・配管系の裕度に基づくリスク評価
		建屋間の相対変位	渡り配管等の構造損傷	
	基礎・壁・床の局部損傷（△、×）	建屋支持機能の低下	機器定着部の構造損傷	
		建屋の傾斜	動的機器の機能損傷	
		建屋の変形	大型機器の構造損傷	
		建屋間の相対変位	渡り配管等の構造損傷	
	基礎・壁・床の広域損傷（×）			ハザードの発生頻度によるリスク評価

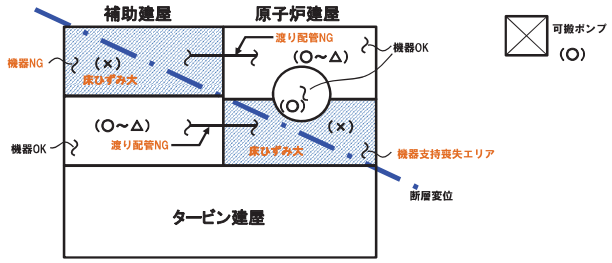
(4) 断層変位レベルに応じた機器・配管系の評価手法概要

変位レベル	建物・構築物の損傷状態	機器・配管系の評価対象	荷重組合せ	許容限界
変位小	損傷なし	全ての耐震安全上重要な設備（Sクラス設備、SA対策設備）	「運転時荷重」＋「変位＋地震力※」	[設計クライテリア] JEAC4601に基づく以下の評価 ● 共用状態Dsの許容限界 ● 動的機器の機能維持限界
変位大	局部損傷	炉心損傷防止に必要な設備	「運転時荷重」＋「変位＋地震力※」	[実耐力] JEAG4601（重大事故等対処設備編）等に基づく以下の評価 ● 塑性ひずみに対する許容限界
	広域損傷	－	－	－

※例えば、安全側にSs地震動を考慮

(5) 機器・配管系に対する影響評価 ①評価手順

- 断層変位が機器に及ぼす影響範囲を設定
  建屋の曲げ、せん断ひずみから機器支持性能の有無を判定
- 支持機能が健全との前提で機器に対する評価を実施
  原則、現設計手法を用いるが、必要に応じて弾塑性評価を実施し、実耐力を算定
- リスク評価は、機能喪失の有無に着目した機器耐力を用いて評価

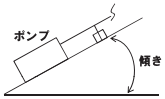


断層変位に対する機器影響範囲の例

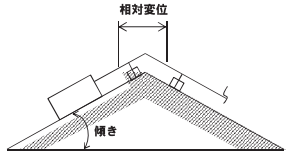
(5) 機器・配管系に対する影響評価 ②耐力評価イメージ

断層変位に対する機器損傷状態と評価イメージを以下に示す。
重要機器はこれらの損傷状態を考慮して耐力評価を実施する。

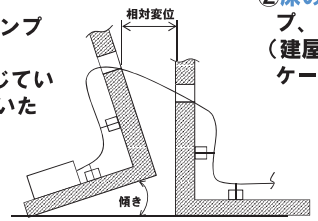
①床の傾きによる損傷評価
②床の傾きと変形による損傷評価
③建屋間渡り配管の損傷評価



①床の傾きを考慮したポンプの評価方法
（建屋内は相対変位は生じていないが、建屋全体が傾いたケース）



②床の傾きと変形を考慮したポンプ、配管の評価方法
（建屋内で相対変位が生じているケース（フロア間を含める））



③建屋間相対変位を考慮した渡り配管の評価方法
（一方の建屋が傾き、建屋間で相対変位が生じているケース）

(5) 機器・配管系に対する影響評価 ③評価結果簡略イメージ

リスク評価のインプットとなる機器・配管系の評価結果の整理

断層変位※（縦ずれ）	原子炉建屋				補助建屋			
	躯体の損傷エリアに設置の機器		躯体の健全エリアに設置の機器		躯体の損傷エリアに設置の機器		躯体の健全エリアに設置の機器	
10cm	－	－	PRV PMP1 SFP1 AFWP-TD AFWP-MDA/B CSP2A/B	○	－	－	CPP1A/B RHP1A/B CSP1A/B/C SIP1A/B	○
20cm	－	－	PRV PMP1 SFP1 AFWP-TD AFWP-MDA/B CSP2A/B	○	－	－	CPP1A/B RHP1A/B CSP1A/B/C SIP1A/B	○
30cm	AFWP-TD AFWP-MDA/B CSP2A/B	×	PRV PMP1 SFP1	○	CPP1B RHP1B CSP1B SIP1B	×	CPP1A RHP1A CSP1A/C SIP1A	○
50cm	AFWP-TD AFWP-MDA/B CSP2A/B	×	PRV PMP1 SFP1	○	CPP1B RHP1B CSP1B SIP1B	×	CPP1A RHP1A CSP1A/C SIP1A	○

※断層変位量は、裕度評価のイメージを表現するために任意に設定したもの。

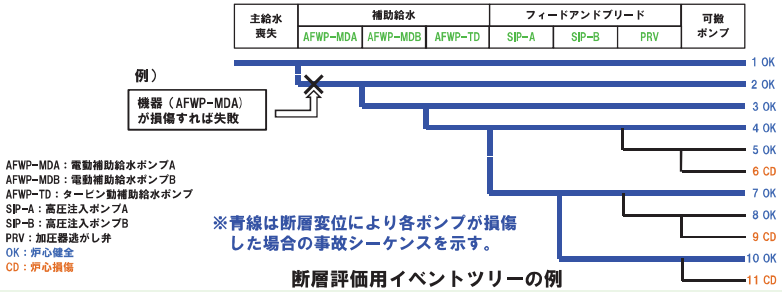
PRV：加圧器逃がし弁
PMP1：１次系補給水ポンプ
SFP1：使用済燃料ピットポンプ
AFWP-TD：タービン動補助給水ポンプ
AFWP-MDA/B：電動補助給水ポンプA、B
CSP2A/B：ほう酸ポンプA、B

CPP1A/B：格納容器スプレイポンプA、B
RHR1A/B：余熱除去ポンプA、B
CSP1A/B/C：充てん／高圧注入ポンプA、B、C
SIP1A/B：高圧注入ポンプA、B

(6) 機器・配管系の評価結果を受けたリスク評価のイメージ①

①断層変位による影響を考慮した事故シーケンスの評価（イベントツリー）の例

- 地震との重畳を想定すると、主給水（深層防護レベル１）が機能喪失する可能性。
- その場合、原子炉建屋にあるMS設備である補助給水系（深層防護レベル２）により安全機能を維持。
- 断層変位量、３台のポンプそれぞれの断層からの距離等に応じて機能喪失する場合は、補助建屋にある高圧注入ポンプを用いたフィードアンドブリード（深層防護レベル３/４）を活用。
- 断層変位量、２台のポンプそれぞれの断層からの距離等に応じて機能喪失する場合は、代替手段として有効な可搬ポンプ等（深層防護レベル４）を活用。



断層評価用イベントツリーの例

(6) 機器・配管系の評価結果を受けたリスク評価のイメージ②

②炉心損傷シーケンスの試算による裕度評価のイメージ

- 既存のPRAモデルを利用して、断層変位の影響を考慮できる事故シーケンス評価モデル（前述のイベントツリー）を構築

↓

- 機器の損傷状態をインプットとして事故シーケンス評価モデルに基づくシステム評価を実施

↓

- ある断層変位量を想定したときの炉心損傷シーケンスの有無により、断層変位に対する裕度を評価（必要に応じて格納容器機能喪失シーケンスの有無）

↓

- 炉心損傷に支配的な（裕度が小さい）事故シーケンスを分析し、重要な安全機能（「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」）の喪失、機器の損傷等を抽出する等により、断層変位に対するプラントのリスクを評価

(6) 機器・配管系の評価結果を受けたリスク評価のイメージ③、④

③裕度評価結果の整理イメージ

機器・配管系の耐力評価と事故シーケンス評価結果を下表のように整理し、プラントのリスク（断層変位に対する裕度）を評価する。

	断層変位※（縦ずれ）							
	10cm		20cm		30cm		50cm	
可搬ポンプなし	躯体損傷有	炉心損傷無	躯体損傷有	炉心損傷無	躯体損傷有	炉心損傷の可能性あり	躯体損傷有	炉心損傷の可能性あり
	機器損傷無		機器損傷無		機器損傷有		機器損傷有	
可搬ポンプあり	同上		同上		同上	炉心損傷無	同上	同上
追加の対応策（可搬設備の更なる多様化等）	同上		同上		同上		同上	炉心損傷無

※断層変位量は、裕度評価のイメージを表現するために任意に設定したもの。
（注）上記は整理のイメージを示すもので、前ページまでの簡略評価イメージと対応しているものではない。

④裕度評価結果の分析・考察のイメージ

- 可搬ポンプなしの場合でも、設備の分散配置の効果により、炉心損傷の観点からの裕度を有している。
- 代替手段となりうる可搬ポンプはリスク低減に有効と考えられる。
- リスク評価結果を踏まえて、追加の対応策を講じる意思決定ができる。

(7) リスク評価結果の解釈・利用の際の留意事項

- 今回の報告では、特定の断層を想定、分散配置の特性を考慮するため、学会標準に基づく外部ハザードリスク評価方法の②「裕度評価」を選択。
- 裕度評価のイメージを示すことを目的とし、事故シーケンスや損傷を評価する安全上重要な設備（SSCs）等を単純化。
- 実際にはこれら以外のSSCsの損傷の影響や、建物・構築物、配管、ケーブル、従属性のあるサポート系設備など、分散配置の効果が必ずしもそのまま期待できない可能性のある広範な影響を及ぼす損傷シナリオも考慮することが必要。
- この方法により得られる結果は、特定の断層に着目したリスクを評価したものであることを認識して利用することが必要。
（事故シーケンスモデルを使用しない方法①では分散配置の効果を考慮不可。また、断層変位ハザードを使用する方法③、④では、特定の断層の特性を考慮困難。）

リスク評価方法
①ハザード発生頻度分析若しくは影響度分析
②裕度評価
③条件付きのCDF評価
④PRA等の詳細なリスク評価

４．まとめ（中間報告）

◇断層変位が原子力施設に与える影響を評価するための工学的なリスク評価の考え方・手順を提示した。その適用により、原子力安全のための評価をすることができる。

◇例えば今回報告した評価方法（裕度評価）の適用により、安全機能の確認とともに、評価結果を活用した可搬設備の有効性の検証や、リスク低減のための更なる対応策ための意思決定をすることができる。

◇最終報告に向けて、適用イメージの追加（BWR/PWR、施設直下の断層仮定位置、縦ずれ/横ずれ）など、更に検討を深めていく。

＜主な検討事項＞

- 不確かさを考慮した「検討用の断層変位」の設定方法（確率論的な手法による情報の活用）
- 各評価間のインターフェースの高度化、設備の耐力情報の整理・充実、対策工の考え方
- 新設プラントへの適用の考え方
- 専門家間、社会とのコミュニケーションの観点

招待講演

2016 原子力学会春の年会

岩盤の力学挙動の数値解析モデルについて

東北大学大学院工学研究科
土木工学専攻
京 谷 孝 史

○岩盤は非均質な半無限体
→ スケールが大きい
→ 構造が判らない

○モデル化はそんなに簡単ではない
→ キャリブレーションが難しい

○それでも，数値解析は有力な手段

岩盤力学の略歴

- 第二次大戦後のヨーロッパの復興（ダム，トンネル，地下発電所の建設ラッシュ．）
- 1955年 J. Talobre（仏）が土質力学に呼応する岩盤力学を提唱．1957年「岩盤力学」を執筆．
  （1948年 Terzaghi & Peck : Soil Mechanics in Engineering Practice）

  1959年 マルパッセダム崩壊（仏）
  1963年 バイオントダム岩盤崩落（伊）
- 1966年 第一回ISRM(Int. Soc. Rock Mechanics) Congress (Lisbon)

マルパッセダム崩壊跡

Wikipediaから

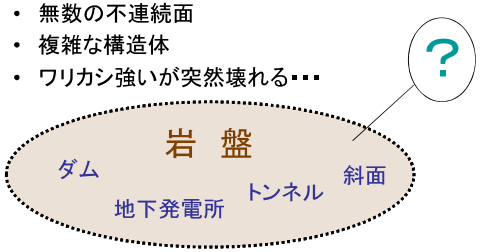
バイオントダム

（発電不能のため放棄）

Wikipediaから

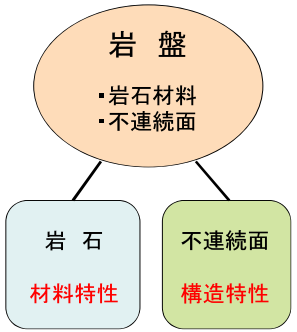
岩盤とは・・・・

- 無数の不連続面
- 複雑な構造体
- ワリカシ強いが突然壊れる・・・



戦後復興，高度成長期の駆け足の社会資本整備
→ 観測的施工法の発達（力学は後追い）
・NATM工法，地下発電所空洞掘削
→ 力学としての裾野は土質力学ほどに広くない

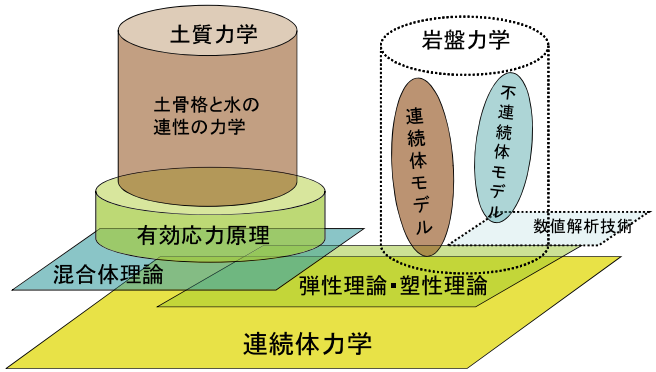
岩盤は複雑な構造体



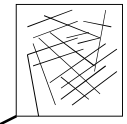
（支配要因）
- 岩石の材料特性
- 不連続面の空間分布
- 不連続面の力学特性

・合理的な力学モデルは？

岩盤力学と土質力学



岩盤の力学モデル：二つのアプローチ



岩　盤
- 岩石材料
- 不連続面

不連続面の
力学的影響

不連続体モデル
→ ・不連続面をそのままモデル化
・構造特性は計算機にお任せ
・完全なモデル化は不可能.

→ ・不連続面配置が答えを決める.

連続体モデル
→ ・不連続面の影響を取り込んだ
連続体力学モデル
→ ・不連続面の影響をモデル化
その論理が重要.
・人は神でない．人により様々.

岩盤の連続体モデル

岩盤の損傷モデルの構造

Cauchy応力 $\boldsymbol{\sigma}$

$\mathrm{div}\,\boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{f} = \boldsymbol{0}$ in V

$\boldsymbol{\sigma n} = \bar{\boldsymbol{t}}$ on S_t

損 傷 $\boldsymbol{\Omega}$

実質応力 $\boldsymbol{\sigma}^* = \boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{\psi}$

構成則 $\boldsymbol{\sigma}^* = \boldsymbol{D}\boldsymbol{\varepsilon}$

損傷発展則 $\mathrm{d}\boldsymbol{\Omega} = \boldsymbol{\Phi}(\boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\Omega})$

変位・ひずみ $\boldsymbol{u}, \boldsymbol{\varepsilon}$

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\partial \boldsymbol{u}/\partial \boldsymbol{x})_{Sym.}$ in V

$\boldsymbol{u} = \bar{\boldsymbol{u}}$ on S_u

岩盤のクラックテンソル

Cauchy応力 $\boldsymbol{\sigma}$

$\mathrm{div}\,\boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{f} = \boldsymbol{0}$ in V

$\boldsymbol{\sigma n} = \bar{\boldsymbol{t}}$ on S_t

構成則 $\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{C}^*\boldsymbol{\sigma}$

クラックテンソル $\boldsymbol{F}$

不連続面の頻度

変位・ひずみ $\boldsymbol{u}, \boldsymbol{\varepsilon}$

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\partial \boldsymbol{u}/\partial \boldsymbol{x})_{Sym.}$ in V

$\boldsymbol{u} = \bar{\boldsymbol{u}}$ on S_u

岩盤のMBCモデル

Cauchy応力 $\boldsymbol{\sigma}$

$\mathrm{div}\,\boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{f} = \boldsymbol{0}$ in V

$\boldsymbol{\sigma n} = \bar{\boldsymbol{t}}$ on S_t

構成則

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{C}^{*}\boldsymbol{\sigma}$$

マイクロメカニクス
による理論的考察

不連続面分布パラメータ

λ, L

変位・ひずみ $\boldsymbol{u}, \boldsymbol{\varepsilon}$

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\partial \boldsymbol{u}/\partial \boldsymbol{x})_{Sym.}$ in V

$\boldsymbol{u} = \bar{\boldsymbol{u}}$ on S_u

連続体モデルの問題点

1）連続性の強い不連続面が分布する場合，その構造的な影響は連続体モデルでは表現できない．

2）不連続面の力学的効果の定量表現の問題．

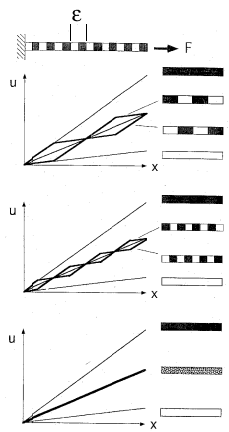
3）さじ加減パラメータが多すぎる．

→ 金属モデルではセルフキャリブレーション可能．
岩盤では不可能．
→ 客観的なパラメータ決定法が見つからない
→ そこそこ現象にあわすことが出来る（本末転倒！！）

均質化理論の岩盤への適用

均質化理論

- 初期値問題の特異摂動2変数漸近展開法
  Lindstedt(1882), Poincare(1892)
- 工学の境界値問題に適用（1950s）
- 仏の応用数学者たちによる理論の完成(1970s)
  Lions, Bensoussan, Sanchez-Palencia
- 工学への応用，形状最適設計など(1980-)
  ミシガン大学（菊池研究室 ）



$$L(u;\varepsilon) = f \qquad u(x,y) = u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \ldots, \quad y = x/\varepsilon$$

特異摂動2変数漸近展開法

$$f = L(\Sigma \varepsilon^k u_k)$$
$$= L_0(u_0, u_1, u_2 \ldots) + \varepsilon L_1(u_0, u_1, u_2 \ldots) \quad \ldots$$
$$L_0 = f,\ L_1 = 0,\ L_2 = 0, \ldots\ldots$$

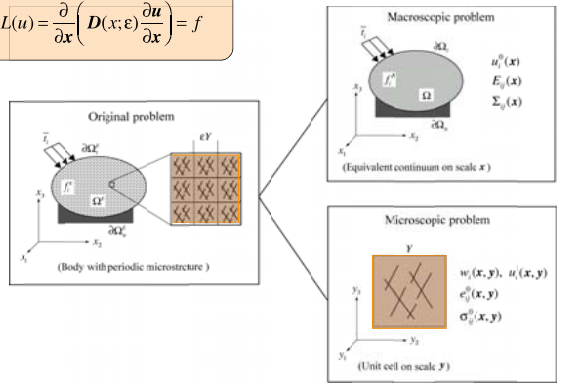
均質化理論

$$\lim_{\varepsilon \to 0}\left[L(\Sigma \varepsilon^k u_k) - f \right] = L_0(u_0, u_1, u_2 \ldots)$$

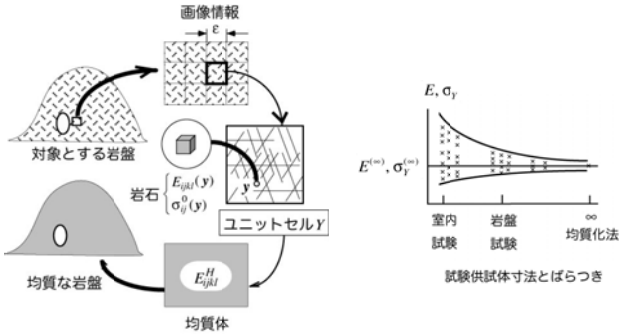
平均挙動を記述する方程式

均質化理論に基づくマルチスケール解析

$$L(u)=\frac{\partial}{\partial x}\left(D(x;\varepsilon)\frac{\partial u}{\partial x}\right)=f$$



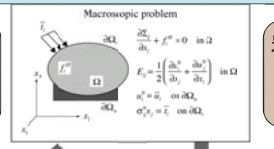
均質化理論に基づく岩盤のモデル化



巨視的問題（岩盤の力のつり合い式）

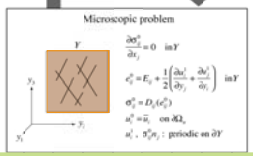
岩盤の応力 Σ

岩盤のひずみ E



$$E_{ij}(x)=\frac{1}{|Y|}\int_Y e^0_{ij}(x,y)\,dY$$

$$\Sigma_{ij}(x)=\frac{1}{|Y|}\int_Y \sigma^0_{ij}(x,y)\,dY$$



＊内部構造の影響を合理的に評価 !!

微視的問題（構成則の役割）

最後に：

計算機処理能力の飛躍的向上 ＆ 計算力学の発展
→ 複雑な現象も適切なモデル化さえ出来れば高い信頼性の数値解析ができる環境が整いつつある.

岩盤についても：
- 合理的な構造体モデル
- 適切かつ十分なケーススタディ

→ 「想定外の事象」を「想定内の事象」にしてしまう予測評価の実現が期待できる

→ 課題は：
- 岩盤力学理論モデルの高度化と
- それに呼応した精緻な構造体モデル

招待講演

2016/3/26　　(一社)日本原子力学会, 2016年春の年会

Ref-16jan6

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

1999年　集集地震(台湾)
石岡ダム

東京海洋大学
谷　和夫

東京海洋大学
Tokyo University of Marine Science and Technology

現状

問題の背景

1. ‘変位が生ずるおそれがない’ことの証明は極めて困難 ・・・ 悪魔の証明
2. 工学の対応に不信感を抱く理学の専門家がいる ・・・ 活断層の認定を巡る経緯
   - ◆ 立地を前提とし, 安全性を強弁する(屁理屈を捏ねる？)
3. 「断層変位を決めてくれ」は, 無理な注文 ・・・ 学術として未完成
   - ◆ 分からないので決められない
4. 現状では, リスクを評価することは容易ではない ・・・ 技術として未熟
   - ◆ 非常に低い発生確率である
   - ◆ 不確かさが顕著で, 被害は甚大かもしれない(何が起きるか分からない)
   - ◆ 岩盤の破壊を扱う物理・数値モデルは, 信頼性が低い
     - ➢ 現場実験・模型実験は×
     - ➢ 地表地震断層や被災の事例の再現計算も△

解決するのか？

解決の糸口

「ハザード（断層変位）を理学の専門家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変えたらどうか？

信頼関係の構築
連帯責任
総合的な評価

**「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
新しい仕組みを提案する。

理学 と 工学 の 融合？ 連携？ 協調？

何が起こるのか？　何ができるのか？

【融合】
とけあうこと。とけあって一つのものになること。

【連携】
同じ目的で何事かをしようとするものが、連絡をとり合ってそれを行うこと。

【協調】
利害の対立した者同士が、おだやかに問題を解決しようとすること。
性格・考え方などの異なった者同士が、互いにゆずりあって調和していこうとすること。

結論

1. 非常に低い発生確率のハザード

ハザード（断層変位）の評価をする活断層の研究者（理学の専門家）と
リスクを評価して構造物を設計する技術者（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

2. 非常に厳しい条件のハザード

危機対応を前提とした　深層防護
（終局限界のさらに先の設計状態を考える）

3. 非常に限定された位置で発生するハザード

経済的な対策は　原則として　積極的に講じる

対話を通じて，
不確かさへの配慮や
安全に係る考え方の
理解を促進

参考

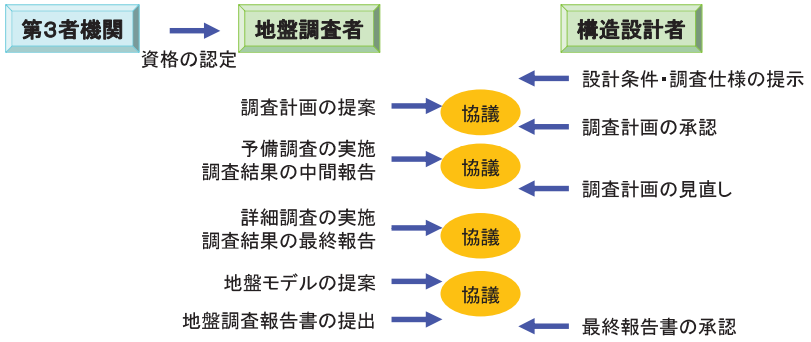
包括基礎構造物設計コード「地盤コード21」

科研費，基盤研究（B1）（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
研究代表者：本城勇介（岐阜大学・教授（当時））

（公社）地盤工学会の研究委員会
「我が国の基礎設計と地盤調査の現状と将来のあり方に関する研究委員会」
2001−2003年，委員長：日下部治（東工大・教授（当時））

参考

段階的システム と 協議



趣旨

- 地盤技術者の専門性を尊重
- 調査の位置付けや方針は、設計全体の考え方に調和的
- 調査者と設計者の位置付け・責任・役割分担の明確化
- 地盤技術者のモラル・技術レベル（資格）を重要視
- その手続きが曖昧にならないように、文書にその経緯や根拠を必ず記載

参考

地盤調査者と設計者の協調的な対話

2章　地盤に関する情報

2.2.2　設計者と地盤調査者

1. 地盤調査と構造物の設計は密接な関係にある一連の作業であり，設計者と調査者は十分に協力して作業を進める。・・・
2. 設計者は，地盤調査の計画，結果の評価に関する最終的決定を行う。・・・
3. 設計者と調査者の協力は協調的な対話（協議）により行う。
4. 協議の内容及び結果は，適切な文書により記録・保存する。・・・

まとめ

1. ‘変位が生ずるおそれがない’ことの証明は極めて困難　　変位することを前提
2. 工学の対応に不信感を抱く理学の専門家がいる　　信頼関係を構築するための対話
   - ◆ 立地を前提とし，安全性を強弁する（屁理屈を捏ねる？）
3. 「断層変位を決めてくれ」は，無理な注文　　学術・技術の不十分さを補うために
   - ◆ 分からないので決められない　　⇒ 相互の情報の共有
4. 現状では，リスクを評価することは容易ではない　　⇒ 総合的な評価
   - ◆ 非常に低い発生確率である　　⇒ 協働の結果に連帯責任
   - ◆ 不確かさが顕著で，被害は甚大かもしれない（何が起きるか分からない）
   - ◆ 岩盤の破壊を扱う物理・数値モデルは，信頼性が低い
     - ➢ 現場実験・模型実験は×
     - ➢ 地表地震断層や被災の事例の再現計算も△