

東日本大震災特別委員会

原子力安全土木技術特定テーマ委員会

活動報告（中間）

内 容

■活動概要

■土木学会主催シンポジウム 東日本大震災あれから 1 年そしてこれから ～巨大災害と社会の安全～

担当セッション報告

- ・セッション概要
- ・パネルディスカッション議論
- ・講演スライド

原子力安全土木技術特定テーマ委員会 活動概要

1) 活動の目的

東日本大震災における地震や津波による原子力土木施設の被災事例の調査分析、原子力安全に関する土木技術の役割や位置づけに関する分析評価などを踏まえ、地震や津波などの自然外部事象に対する原子力安全のあるべき姿について、土木技術の視点から提言する。

2) 主な構成員

委員長：当麻純一（電中研） 副委員長：吉田郁政（東京都市大） 幹事長：大友敬三（電中研）

委員：青柳恭平（電中研） 秋山充良（早稲田大） 蛭沢勝三（JNES） 木原直人（電中研） 澤田純男（京大） 庄司学（筑波大） 高島賢二（JNES） 高橋智幸（関西大） 東畑郁生（東大） 中島正人（電中研） 中村晋（日大） 能島暢呂（岐阜大） 樋口義弘（清水建設） 松尾豊史（電中研） 松山昌史（電中研） 室野剛隆（JR 総研） 米山望（京大防災研）

※ 他分野の専門家や実務者からの話題提供、情報提供などを受ける柔軟な組織体としている。

3) 活動の要点

a) 被災原子力発電所の調査分析

- ・ 東北電力（株）女川原子力発電所の現地調査（H23.11.14，出席者7名）を実施。

b) 原子力土木技術の役割・位置づけに関する分析評価

- ・ 電力実務者からの資料提供に基づいて原子力発電所への土木技術の係り、活断層評価，地震動評価，津波評価，耐震余裕度向上工事などの現状を把握（H23.12.14 第2回委員会；21名出席）。

c) 自然外部事象に対する原子力安全のあるべき姿に関する提言策定

- ・ 委員会を3回（H23.10.3（25名出席）、H23.12.14（21名出席）、H24.2.15（24名出席））、幹事会を2回（H23.11.25（7名出席）、H24.1.16（7名出席））それぞれ開催し、提言策定に向けた論点や内容を検討。

4) 調査などを通じて得られた成果の要点

a) 被災原子力発電所の調査分析

東北電力（株）女川原子力発電所の現地調査結果

- ・ 地震動に対しては、耐震安全上重要な土木設備は健全であり、一般土木設備の基礎等は地盤変状の影響を受けた。
- ・ 津波に対しては、原子炉建屋設置地盤面までは浸水しなかったものの、原子炉建屋付属施設等への海水流入があった。これは取水土木設備底面に追加設置した水位計開口部が弱点となったため。

東京電力（株）福島第一原子力発電所ならびに福島第二原子力発電所

- ・ 地震動や津波による土木設備の被害として、ケーブルダクトへの土砂流入、諸基礎の不同沈下、構内道路・法面の段差・陥没、港湾設備の移動・流出・損傷などが確認された。港湾設備以外は機能に影響を及ぼす被害ではない。

日本原子力発電（株）東海第二原子力発電所

- ・ 地震発生後には、敷地外変電所の被害により2系統あった外部電源を喪失したが、3日後には復

旧した。

- ・ 茨城県が公表した津波波源に関する新知見を踏まえて当該サイトの想定津波を見直し、この結果を踏まえて海水ポンプ室側壁の嵩上げ工事を実施した。この対策により、海水ポンプ室への津波浸水に対して一定の効果が認められた。
- b) 原子力土木技術の役割・位置づけに関する分析評価
 - ・ 土木技術者の役割は設備の計画・設計・運用に加えて、民間技術指針類の策定・改訂、国の安全審査指針に照らした安全性確認、広報、自主活動などに及ぶ。
 - ・ 津波数値シミュレーションに関しては、公開された原子力発電所設置許可申請書を分析すると、1983年～1992年がシミュレーション技術試行時期、1993年～2001年がシミュレーション技術実用化時期、2001年～現在がシミュレーション技術高度化時期と区分できる。
 - ・ 原子力発電所の耐震裕度向上事例として、地中構造物周辺の地盤改良、原子炉建屋周辺斜面のアンカー補強などがある。東日本大震災後は防潮堤・防潮壁の設置、海水ポンプエリアの浸水防止対策などが計画中または実施中である。
- c) 自然外部事象に対する原子力安全のあるべき姿に関する提言策定
 - ・ 原子力発電所の安全対策について、地震や津波といった自然事象への対処、原子力発電所と周辺地域をシステムとした防災、事故後の対応や復旧などに土木技術が貢献できることが見出された。

5) 活動を通じて行った提言等の要点

- ・ 発電所敷地の浸水に関する津波シミュレーション結果は、今後敷地内設備や原子炉建屋周辺機器類に作用する津波波力評価に展開すべき。
- ・ 津波に議論が集中しがちだが、設計用地震動を大きく超過する地震動についての議論も必要。
- ・ シビアアクシデントマネジメントでは、耐津波の安全設計のあり方、地震動と津波の複合についても考慮すべき。
- ・ 設計地震動や設計津波の策定において、その不確定性を考慮することによって、設計における保守性を論理的に明確にする必要がある。
- ・ 安全審査では、地震、津波、火山などの自然事象に対しての自然科学面からの評価と工学的な対処と歩み寄ることが必要。
- ・ 平常時から国内外における外的事象に対する原子力安全知見に学び、システム上の脆弱性を見出すことなどを指向して安全性を向上し続けるべきである。
- ・ 機能限界が構造システム破局に展開しない設計体系の構築や、地震災害と原子力災害の複合災害への対応により公衆の地震安全を支えることが求められる。
- ・ 原子力発電所における津波安全確保では、基準津波策定の手法検証、津波浸水や津波流体力などの評価などの技術的課題に取り組むべきである。
- ・ 設計レベルを超過する津波に対処するには、津波情報を正確に把握することが重要である。このため、津波警報、海洋レーダ、GPS 波浪計など多重の情報入手システム構築、ならびに情報を活かすための体制づくりが必要である。
- ・ 確率論的リスク評価を理解・活用するには、確率値とストレステスト等によって明らかにされる裕度も参照することが合理的である。
- ・ 深層防護を講じて最も深層が破られるリスクは残る（残留リスク）。残留リスクについては緊急

対応で対処せざるを得ない。

- 原子力プラント分野等と連携するには、他学会への情報発信、指針改訂における協働、実務者レベルでの交流、各分野における原子力安全に関する概念の共有、プラント分野での利用を意識したハザード情報提供、などを進めるべきである。

自然外部事象に対する原子力安全のあるべき姿に関する提言
(土木工学からの提言) 報告書

目次構成 (案)

1. はじめに
2. 新たな耐震・耐津波設計への課題
 - 2.1 設計上想定した事象
 - 2.1 新たに設計上考慮すべき事象
 - 2.3 設計上の各限界状態の設計ハザードレベル
 - 2.4 想定外の事象への対処
 - 2.5 防災のためのモニタリング
3. 複合災害に対処するための地域防災
4. 原子力発電所における土木技術の役割

図1 提言に関する報告書目次構成

6) 提言等の具現化の状況

- 東北電力(株)女川原子力発電所の現地調査結果や東北電力(株)からのヒアリング結果をとりまとめて、「原子力安全を支える土木技術についてー東北電力女川原子力発電所現地調査を踏まえてー」と題して土木学会誌(2012年4月号)で発表。
- 土木学会主催シンポジウム(2012.3.5-6)「東日本大震災 あれから1年そしてこれから ~巨大災害と社会の安全~」においてセッション「原子力安全における土木工学の役割ー地震・津波のリスク軽減への貢献ー」で中間報告。
- 関連分野実務等への反映として、①原子力土木委員会等での調査研究活動、②国の耐震設計審査指針の改訂等、③日本電気協会の耐震設計技術指針の改訂等、④個別地点での耐震バックチェック等などを見込む。



2011 Great East Japan Earthquake :

One Year After the Quake and Future - Large-Scale Natural Disasters
Mitigation, Preparedness, Response and Recovery

担当セッション報告

「原子力安全における土木工学の役割 ～地震・津波のリスク軽減への貢献～」



公益社団法人 土木学会

東日本大震災特別委員会

セッション概要

3)「原子力安全における土木工学の役割 ～地震・津波のリスク軽減への貢献～」

担当:原子力安全土木技術特定テーマ委員会

企画趣旨：	東日本大震災における原子力発電所の津波災害を契機にして、巨大地震・津波に対するわが国の原子力発電所の安全確保が問われている。原子力発電所は複雑なシステムであり、自然事象によるリスク低減のために多分野の専門分野からの総合的な取組が必要である。中でも土木工学は地震や津波といった自然事象への対処に強く関わる。現在、原子力発電所の耐震設計指針等が見直され、東日本大震災クラスの地震動や津波が設計の基準となる趨勢にある。このような状況において、設計用外力の予測やそれを超える事象への対処、万が一の被災時復旧などに土木工学が果たすべき役割や貢献を、原子炉工学の専門家を交えて議論する。
コーディネーター：	当麻 純一（電力中央研究所 参事、地震工学）
話題提供者：	「システム安全 = リスクの抑制」 山口 彰（大阪大学 教授、原子炉工学）
	「地震安全の観点から」 中村 晋（日本大学 教授、地震工学）
	「津波安全の観点から」 松山 昌史（電力中央研究所 上席研究員、津波工学）
パネリスト：	上記4名に加え、
	高橋 智幸（関西大学 教授、津波工学）
	庄司 学（筑波大学 准教授、災害リスク工学）

概要：

【一般講演】

「システム安全＝リスクの抑制」: 外的事象に対する原子力安全の基本はハザードを閉じ込め、リスクを抑制することである。平常時から国内外の知見に学び、システム上の脆弱性を見出すことなどを指向して安全性を向上し続けるべきである。

「地震安全の観点から」: 機能限界が構造システム破局に展開しない設計体系の構築や、地震災害と原子力災害の複合災害への対応により公衆の地震安全を支えることが求められる。

「津波安全の観点から」: 今後の原子力発電所における津波安全確保では、基準津波とアクシデントマネジメントの両面からの対策が求められる。このため、基準津波策定の手法検証、津波浸水や津波流体力などの評価などの技術的課題に取り組むべきである。

【パネルディスカッション】

設計レベルを超過する津波への対処: 津波情報を正確に把握することが重要である。このため、津波警報、海洋レーダ、GPS 波浪計など多重の情報入手システム構築、ならびに情報を活かすための体制づくりが必要である。

確率論的リスク評価の理解と活用: 確率論では極めて小さな発生確率を扱うため、ストレステストによる裕度も参照して安全性評価を行うのが良い。また、施設の限界状態を超えるシナリオ（たとえば、周辺斜面崩壊の影響）と関連づけるのも良い、なお、確率論的リスク評価は、確定論で得られたハザード外力のばらつきの評価に活用可能である。

残留リスクとクライシスマネジメント: 深層防護を講じても最深層が破られるリスクは残る（残留リスク）。残留リスクについては緊急対応で対処せざるを得ない。原子力安全については安全と不安全の二項対立で論ずるべきものではない。

原子力プラント分野等との連携: 他学会への情報発信、指針改訂における協働、実務者レベルでの交流、各分野における原子力安全に関する概念の共有、防災分野との連携、プラント分野での利用を意識したハザード情報提供、などを進めるべきである。

パネルディスカッション議論

■パネラー間議論

<設計値を超える津波>

当麻：設計レベルを超過する津波への対処はどうあるべきか。

高橋：発生した事象を良く把握して対応手段を考えることにつける。今後、原子力発電所では津波をモニタリングして、その情報を活かすための体制についても検討すべきである。

当麻：松山氏の講演内容について補足すべきことがあるか。

高橋：土木学会・原子力土木委員会・津波評価部会では地震津波のみを対象としてきたが、山体崩壊による津波などの地震以外の津波に対しても検討するべきである。耐震設計審査指針の改訂においても、そのような方向性である。なお、山体崩壊による津波については、たとえば大間原子力発電所の安全審査において評価されている。

松山：地震津波以外の津波については、事例が少なく取扱いが困難なことが課題である。

高橋：困難な課題であるからこそ、土木学会で取組む意義があるのではないか。

当麻：津波による水位推計で議論されているレベル1津波、レベル2津波は、原子力発電所の津波評価での基準津波とどのような関係があるのか。

高橋：レベル1津波、レベル2津波の議論は、地域防災を対象とした区分けであり、原子力発電所のような重要施設には、基本的にはなじまない。あえて言えば、原子力発電所の基準津波はレベル2津波に該当すると考える。

山口：想定超のハザード発生への対処方法として事前と事後それぞれの対処が考えられる。事前対処としてはストレステストが相当する。これは、設計レベルを超えたときの事象発生に関する想像力の具体化に役立つ。事後対処としては、やはり情報入手が基本である。福島第一原子力発電所においては、地震発生後、津波に関する情報を集められなかったと聞いている。GPS 波浪計を利用したモニタリングが検討されているとのことだが、その情報の利用方法をよく考えることが肝要である。なお、原子力発電所の立地指針と安全設計指針では情報が得にくい点の工夫を求めている。

高橋：事後の対処がより重要と考える。とにかく測ることと伝えること（加工すること）が重要である。従来、津波警報システムは地震規模をベースにしてきた。それ以外の方法、GPS 波浪計、海洋レーダなどの各種モニタリングの多重性や冗長性を確保すべきである。

<確率論的リスク評価>

庄司：確率論的リスク評価の観点からは、一般的に設計レベルを超過するようなハザードレベルは小さく、原子力発電所システムとしての破壊確率（炉心損傷発生確率）は極めて小さな値となる。このようなことを踏まえて、1) 津波 PRA 等の確率論的リスク評価とストレステストの双方から得られる結果をどのようなバランスで捉えればよいのか、2) 極めて小さな値となる破壊確率を一般社会にどう伝えるべきか、について知りたい。

山口：1) については、確率論的リスク評価においては、ハザード発生頻度の妥当性検証が重要であるが、妥当性検証はできない。これに代わるのが裕度の考え方である。確率論的評価と裕度を組み合わせた考え方が適している。なお、確率論的評価は何らかの解が出せるのが特徴であり、シス

テムや運転特性を組み込むことが可能である。意外な盲点は抽出されないのが普通である。このため、確率論とストレステストを組み合わせた評価が重要である。2) については、ていねいに考え方の基本から説明していくしかない。

中村：地震面から言えば、たとえば、橋梁ではフェイルセーフ機能が考慮されている。これと同様に原子力施設では、限界状態を超えた時の評価が必要である。たとえば、周辺斜面の崩壊とその影響までのシナリオを考えるべきである。

庄司：深層防護の考え方の枠組みの中で、緊急対応に相当するレベル 3PRA について、考え方のポイントと海外での事例等があれば御教示いただきたい。

山口：深層防護を講じてもおお、リスクは残留（残る）はず。残留リスクには緊急対応せざるを得ない。いずれにしても万全に設計・施工したものを超える事象を考えるのが基本である。なお、海外におけるレベル 3PRA では、シナリオどおりではない。スイスのある原子力発電所ではフィルター付きベントを設けており、最深層が破られたことも考慮されている。

当麻：津波に関しても、津波 PRA の考え方があるが、この活用をどう考えたらよいか。

松山：活用方法については、現状では標準的な考え方はないが、たとえば、確定論で想定した津波水位のばらつきの評価に使えるものと考えている。

■フロア・パネラー間議論

<福島第一原子力発電所における地震動>

古木（土木学会）：福島第一原子力発電所における観測地震動のレベルは想定内であったか。

中村：想定していた震源とは異なるものの、原子力発電所敷地に影響を及ぼす地震動のレベルとしては、概ね想定範囲内であった。

古木（土木学会）：想定範囲内の地震動によって外部電源が喪失している。これをどのように説明するのか。

山口：外部電源はサイトの外なので安全系の対象範囲外である。なお、原子炉安全設計の観点からは外部電源がないことも考慮して設計されている。なお、機器類への地震動の影響については今後詳細な調査をしなければならないと考えている。

<残留リスク、クライシスマネジメント>

家田（東大）：1) 残留リスクはどのような現象か、2) 残留リスクに対するクライシスマネジメントにも限界があるのではないか、3) クライシスマネジメントで対処できない場合を一般社会に伝えるべきではないか、などについてお聞きしたい。

山口：想定事象については、1) 設計外力値のように線上で扱うもの、2) さまざまな異常事象として扱うもの、の2とおおがあるので両者を区分けして説明すべきである。わが国の原子力発電に関しては安全確保、安全限界などの概念が良く言われるが、英語ではそれに相当する訳語が存在しない。このようなことから、安全と不安全の二項対立で論ぜられるべきものではないのではないかと考えられる。

<他分野、特にプラント系との連携>

住吉（セントラルコンサルタント）：プラント系の技術者に土木サイドからの安全確保の考え方をどの

ように反映させていくのか。

当麻：土木学会からの提言を関係する他学会、たとえば日本原子力学会への働きかけを考えている。また、今後本格化する指針改訂への反映について活動したい。また、事業者が実施する各種安全対策にも反映したい。

松山：津波評価に関しては、これまで土木サイドは津波水位の提供だけにとどまっていた。今後は機電サイドへの情報提供を意識していきたい。

中村：日本地震工学会で進めた原子力発電所の地震安全に関する地震工学分野の研究ロードマップ策定活動は土木、建築、機械などの協働作業の好例である。ただし、この活動初期においては、異なる専門分野における用語の定義や解釈に関する合意づくりに相当の期間を要した。

当麻：学会間での連携については、実務者レベルでの交流をもっと促進すべきと考えている。

庄司：土木学会内部においてもソフト面に関わる知見も豊富なので、これらの分野との連携も必要である。

<その他>

岩楯（首都大学東京）：事故が発生したときにどのように行動するかを考えておくのが重要である。

Yeh（オレゴン大学）：原子力発電所にはレベル1津波とレベル2津波がなじまない、ということであったが、そのような考え方もあって良いのではないか。たとえば、レベル2津波については、安全確保に関係しない機器は破壊を許容するなど。

山口：原子力発電所施設については、基本的には重要度分類の考えに沿った耐震設計・耐津波設計がなされるべきである。安全確保のために機能喪失して良いものとそうでないものを明確にすることは重要と考えている。

2012年3月6日
東日本大震災 あれから1年そしてこれから
～巨大災害と社会の安全～

システム安全 = リスクの抑制

原子力安全における土木工学の役割
—地震・津波のリスク軽減への貢献—

2012年3月6日

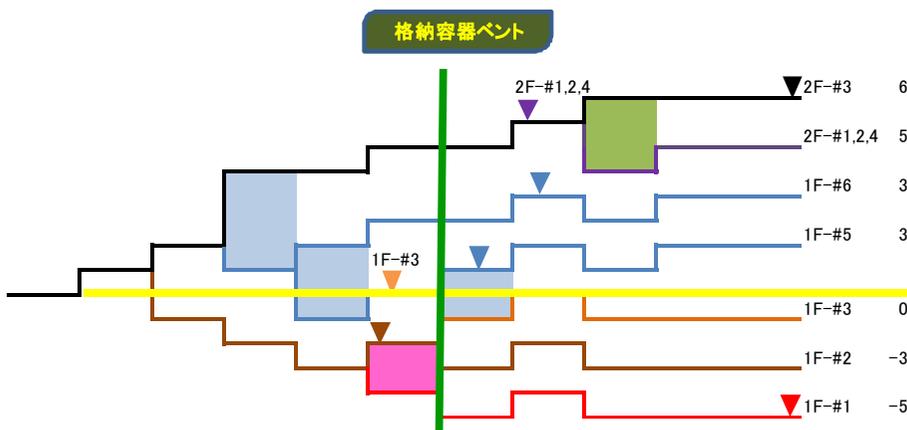
大阪大学 大学院工学研究科
山口 彰

原子力安全の確保

- 原子力の研究、開発及び利用の目的
 - 原子力基本法に基づき、厳に平和の目的に限り、**安全の確保を前提**に、将来におけるエネルギー資源を確保し、**学術の進歩と産業の振興**とを図り、**もって人類社会の福祉と国民生活の水準向上**とに寄与する
- 原子力安全規制の目的
 - 「公共の安全を図るために発電所周辺への放射能による災害の防止」
 - 「国民の健康と安全を十分に守り、公共の保護と安全を増進し、環境を保護するということを保証するため、**発電所外への有害な放射性物質の放出防止**」

福島第一、第二発電所で起きたこと

地震と津波	原子炉スクラム	直流電源	外部電源	非常用DG	原子炉冷却	電源復旧	原子炉減圧	残留熱除去	残留熱除去復旧	冷温停止建屋損壊
-------	---------	------	------	-------	-------	------	-------	-------	---------	----------



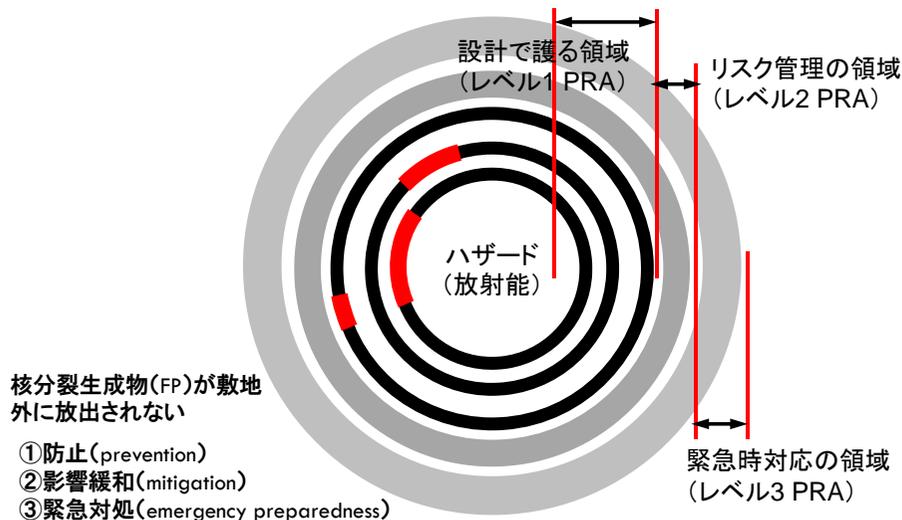
白いカラス、ブラックスワン

- ハザードの顕在化 想定を超えたところ(認識外)
- 私たちが証明できるのは、「99%のカラスは黒いという仮説が正しい確率は95%程度である」
- 事故に対する備え — 深層防護
 - 想定外を想像し、それに備えること



深層防護は不確かさへの備え

5



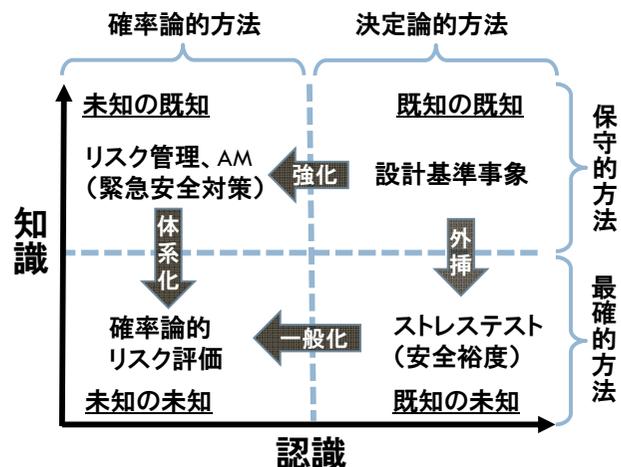
What if ? 想定外に備える

6

- 津波PRA
 - 津波による炉心損傷発生頻度は小さい
 - 津波ハザードの不確かさは大きい
 - 上限値は地震リスクと同程度
- ストレステスト(10mの津波)
 - 1号機は、SBO
 - 2号機は、SBO(P/CとD/Gが1階にあり生存?)
 - 3号機は、SBO(直流は生存?)
 - 6号機はD/Gが生存(5号機に電源融通)
 - 全号機でヒートシンク喪失

不確かさ(二種類の想定外)に対処

7



まとめ

8

- ハザードを閉じ込め、リスクを抑制する(安全)
- ハザードの顕在化に対応し、リスクを管理する(安心)
- 安全性を向上し続ける
 - 国内外の知見に学ぶ姿勢(ニアミスに対する感受性)
 - 脆弱性を見出すことを指向する仕組み
- リスクを抑制し、それを適切に管理する
 - 認識外と想定外
 - 本来の目的を見失わないこと

原子力安全における土木工学の役割
～地震・津波のリスク軽減への貢献～

地震安全の観点から

平成24年3月6日
日本大学工学部土木工学科
中村晋

原子力発電所の地震安全に関する既往の取り組み (日本地震工学会)

- 日本原子力学会「原子力発電所地震安全特別専門委員会;2007年12月から2012年3月」に**地震工学の観点から貢献**するため**日本地震工学会が連携**
- 原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会(2008年10月から2012年3月)
 - ✓ 委員長：亀田弘行京都大学名誉教授（地震工学・土木）
 - ✓ 副委員長：高田毅士東京大学大学院教授（地震工学・建築）
 - ✓ 土木分野，建築分野，地震分野，地盤工学分野，機械分野など分野横断委員で構成
 - ✓ 目的：原子力発電所の地震安全に関する研究ロードマップ形成（新潟県中越沖地震，東日本大震災から学ぶ研究課題）

原子力発電所の地震安全に関する既往の取り組みの基本 (日本地震工学会)

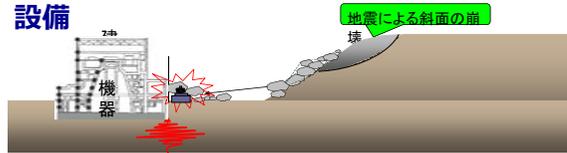
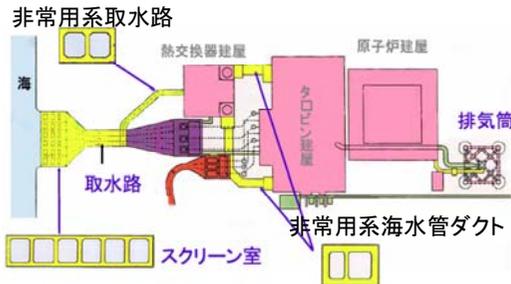
- 設計値を超える地震動下でのプラントの安全性を**リスク概念**に基づき定量的に評価するための課題の提起
 - **リスク課題**：設計（要求性能，意志決定方法），システム評価（リスク評価のusability向上など）
 - **耐震裕度**：公称・実体としての耐震裕度，応答・挙動解析法，維持・管理・診断の工学的な方法
 - **ハザードの理解**：地震ハザード評価手法の高度化

地震安全の観点から Beyond designを考慮した安全確保へのアプローチ：リスクシナリオの明確化と対応(土木工学の役割)

- 地震安全を支える設計体系：限界状態を越える終局も考慮したデザインへ
- 公衆の地震安全を支える：地震災害と原子力災害との複合災害への対応 -防災への取り組み-
- (公社)土木学会が取り組むべき原子力施設の地震安全に向けた課題

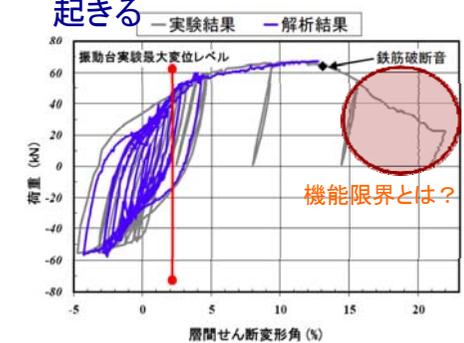
地震安全を支える設計体系： 土木関連構造物の設計事象

- 重要土木構造物（取水路、非常用系海水管ダクトなど）の機能：冷却水の確保
- ✓ 設計事象：曲げ破壊(変形性能)、せん断破壊(耐力)
- 原子力建屋などの周辺斜面の機能：安定
- ✓ 設計事象：崩壊可能性の有無
- 津波の影響を受ける施設・設備



地震安全を支える設計体系： (設計事象)限界状態を越える 機能の限界

- 構造体の限界状態：構成部材の破壊モード(曲げ破壊、せん断破壊)による保守的評価
- 構造体に必要な機能の限界：この限界を越えた時になにが起きる



地震安全を支える設計体系： 機能限界を超えた破壊も考慮し たデザインへ

- 屋外重要土木構造物が構造体に必要とされる機能の限界を超えた状態(破壊状態)が生じた時、また
- 地震と津波などの複合的な作用により複数の構造物が機能の限界を越えた状態が生じた時
- ✓ 1システム or 複数システムが破壊状態を越える状態となる地震作用が生じた時、他のシステムの状態は？
- ✓ 1システム or 複数システムが破壊状態を越える状態となった時に他のシステムに与える影響は？
- ⇒ 機能の限界を定量的に評価できる技術の構築
- システム全体の機能限界に及ぼす影響：リスクの認識
- ⇒ 機能の限界が構造システムの破局とならないようようになるような性能を構造物に付与する設計の必要性：地震安全を支える設計体系の構築

公衆の地震安全を支える 原子力災害への対応の現状

- 災害対策基本法(1961)：事故災害としての原子力災害への地域防災計画を策定(福島県が対応)
- 原子力災害対策措置法(2000.6)：
 - 国の責務：内閣総理大臣を長とする原子力災害対策本部の設置(国が対応)
 - 地方公共団体の責務：原子力災害対策措置法+災害対策基本法に基づく原子力災害に対する防災計画に基づく責務
- ✓ 原子力緊急事態宣言後、災害対策基本法の地域防災計画の災害は減災力災害と読み替え適用する。
- 原子力事業者の責任：原子力事業者防災業務計画の策定
- ✓ 発生の予防、災害の拡大の防止と災害復旧
- 法令以外の防災関係資料
 - 原子力安全委員会作成の「原子力施設などの防災対策について(防災指針)」
 - 中央防災会議作成の防災基本計画：防災基本計画：

公衆の地震安全を支える

地方公共団体の原子力災害への対応と見直し

○地域防災計画に基づく地方自治体の実施事項(現在)

- ✓ 周辺住民に対する広報及び指示等の伝達
- ✓ 緊急時環境放射線モニタリングの実施+SPEEDIネットワークシステムによる影響予測情報の入手と防護対策
- ✓ 住民の屋内退避、避難
- ✓ 飲食物の摂取制限等
- ✓ 緊急時医療措置

○地域防災計画策定に向けたガイドライン案:H24.1.23

新潟県中越沖地震の災害を踏まえた見直しのポイント

- ✓ 過酷事故、地震や津波等との複合災害への対処
- ✓ 事故の初期段階における即応体制の確保
- ✓ 周辺地域における原子力災害の影響が広域に及んだ場合の対処
- ✓ 被災者の生活支援、除染、放射生廃棄物の処理への対処
- ✓ 災害時要支援者への十分な配慮

公衆の地震安全を支える

地震災害と原子力災害との複合災害の対応について：現状と課題

○平成19年7月：新潟県中越地震による東京電力柏崎刈羽原子力発電所の火災事故などの発生

○平成20年4月：原子力安全保安院「原子力災害などと同時期または前後して大規模自然災害が発生する事態に対応した原子力防災マニュアル」

→ 課題（事故・調査委員会中間報告より）

- 複合災害の発生する可能性は極めて低いので現状の防災体制を基本とする(基本的考え方)
- 国や地方自治体からの批判的な意見
- ✓ 複合災害対策の策定は大規模自然災害が原子力災害を引き起こすと誤解を招く
- ✓ 地域防災計画の大幅な見直しが必要
- ✓ 保安院以外の所掌事務に他機関との調整が行われていない

公衆の地震安全を支える

地震災害と原子力災害との複合災害の対応について：東日本大震災による課題

- 複合災害を意識した訓練を実施していない。
 - 人的リソースの不足：震災対応に追われる中で、避難や身体除染に対応
 - 通信インフラの障害：地震の影響で電話やFAXなどの通信手段が使えない、オフサイトセンターが機能しない
 - 交通インフラに障害：必要資材、食料や水などの搬入が困難となった
- ⇐地震の影響による交通渋滞、地震や津波によるインフラの変状、停電などによる周辺の道路状況の悪化
- ⇒事故対応が困難となった。

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会の中間報告より

公衆の地震安全を支える

地震災害と原子力災害との複合災害の対応について：今後取り組むべき課題

- 交通インフラや情報インフラの防災力向上のためのハード、ソフト課題の整理(東日本大震災など)
- ✓ 原子力発電施設へのアクセス
- ✓ 原子力発電施設からの避難
- ✓ 時間とともにニーズが変化するロジスティックス
- 地震や津波により生じた被災情景と原子力災害がもたらす放射線の影響とを加味した複合災害シナリオの構築 ⇐ 土木分野以外の専門家との協働が重要(防災指針の中でロジスティックとインフラの関係が完全に抜けている)。
- 災害リスク、被災シナリオなどに関する公衆や住民とのコミュニケーションの確立-信頼の再構築に向けて（技術者による技術説明技法(高田プロジェクトなど)の適用など)
- 地震災害と原子力災害とを包括した災害対応が可能な常設組織を含む枠組みの基本的な考え方の提案

(公社)土木学会が取り組むべき原子力施設の地震安全に向けた課題:現状

○原子力発電施設の地震安全に関する学協会の果たす役割:

- 原子力発電施設の設計, 維持管理の実施基準として参照される民間基準
- ✓ **日本原子力学会**: 原子力発電所に対する津波を起因とした確率的リスク評価手法に関する実施基準(2012.2.8), 原子力発電所の高経年化対策実施基準(2008)
- ✓ **日本電気協会**: 原子力発電所耐震設計技術指針(2008), 原子力発電所の保守管理指針
- **土木学会・原子力土木委員会**: 地質, 地盤, 土木系建造物の調査・設計マニュアルなど作成(活断層評価部会, 構造健全性評価部会, 地下環境部会, 津波評価部会, 地盤安定性評価部会, Q&A)
- ✓ 日本原子力学会や日本電気協会の基準・指針にて参照される。津波は中央防災会議, 耐震指針などでも参照される。

今後, (公社)土木学会が取り組むべき原子力施設の地震安全に向けた課題

- 他学協会と連携し, ライフサイクルの中での安全性の評価技術, 維持管理技術, 廃炉などに関する技術の研究に取り組み, それらの基準化への貢献を行う。
　　<土木技術者として必要不可欠な事項>
- ✓ 原子力発電所の設計, 建設, 運転から廃炉にいたるライフサイクルの中でリスクシナリオを正しく理解し, 伝える(限界から終局の理解など).
- ✓ 原子力の総合的な安全性を認識する(土木建造物の安全性に関する哲学が必要)
- 自然災害と事故災害との複合災害に対する防災対応に関するソフト, ハード面でのリスクマネジメントに関する研究の促進
- 土木分野の主体的な貢献が期待される安全性向上のための技術の高度化

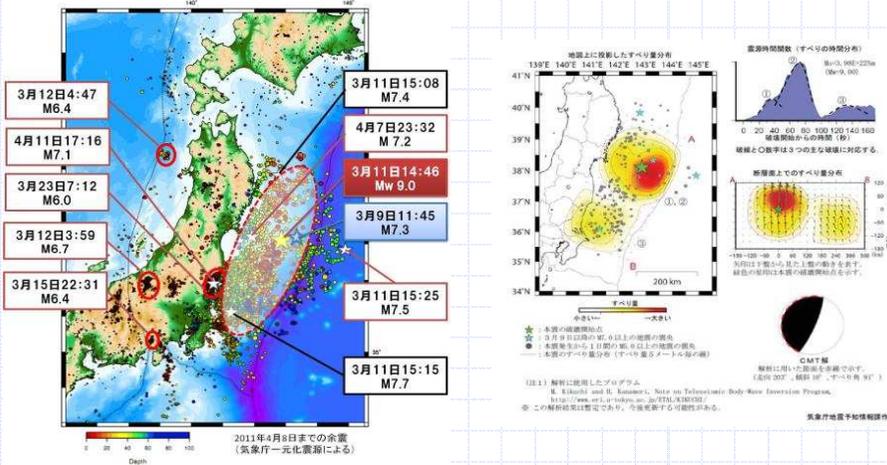
津波安全の観点から

(財)電力中央研究所 地球工学研究所
流体科学領域 松山昌史

概要

- ◆ 東北地方太平洋沖地震津波
 - 既往最大の津波, その特徴
 - 原子力発電所への影響
- ◆ 津波評価に関する歴史
 - 1990年代以前と以後の想定津波の変化
 - 津波評価技術2002
- ◆ 原子力発電所における津波安全の考え方
 - 今後の方向性
 - 今後の課題

東北地方太平洋沖地震



東京大学地震研究所

気象庁より

- ◆ 14:46～15:15:地震は岩手中部沖から茨城県沖にまたがる

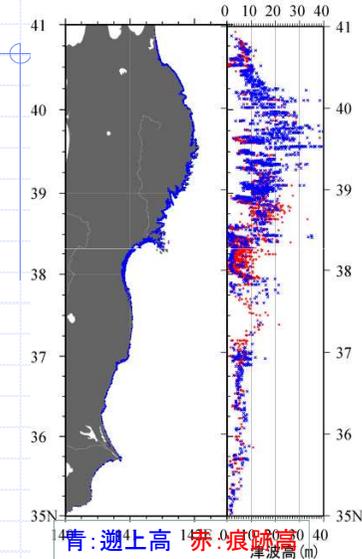
東北地方太平洋沖地震

- ◆ 地震
 - プレート境界の低角逆断層を含む地震が連動
 - 日本で観測された最大の地震M9.0
- ◆ 断層
 - 断層の破壊域は500kmにわたり広大
 - 14:46～15:15の地震において、M7.4以上が4つ
 - 岩手中部沖から茨城沖
 - 最大すべり量が20m以上と大きい (50mや70m以上のモデルも！)



東大地震研 第892回 対話発表資料より

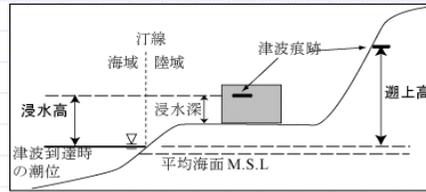
東北地方太平洋沖地震津波



2012/2/8現在

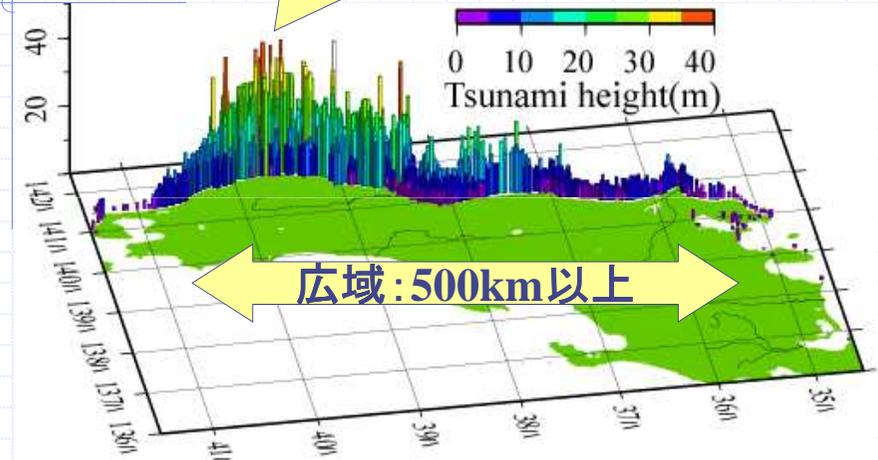
1. 痕跡高が5mを超える範囲が沿岸500kmに及ぶ広域災害
2. 三陸北部で最大35m以上

巨大かつ広域な津波



東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ <http://www.coastal.jp/ttj/>

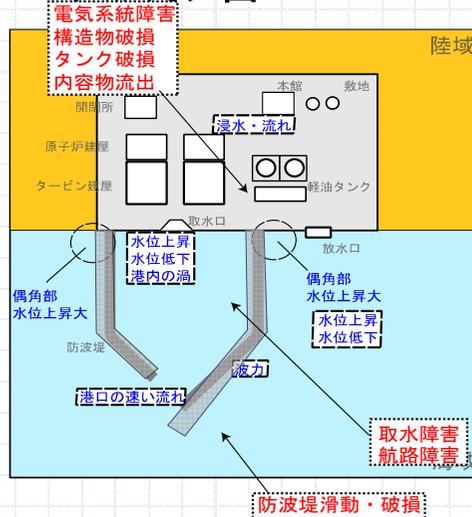
巨大: 35m以上



東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ <http://www.coastal.jp/ttj/>

原子力発電所への津波影響

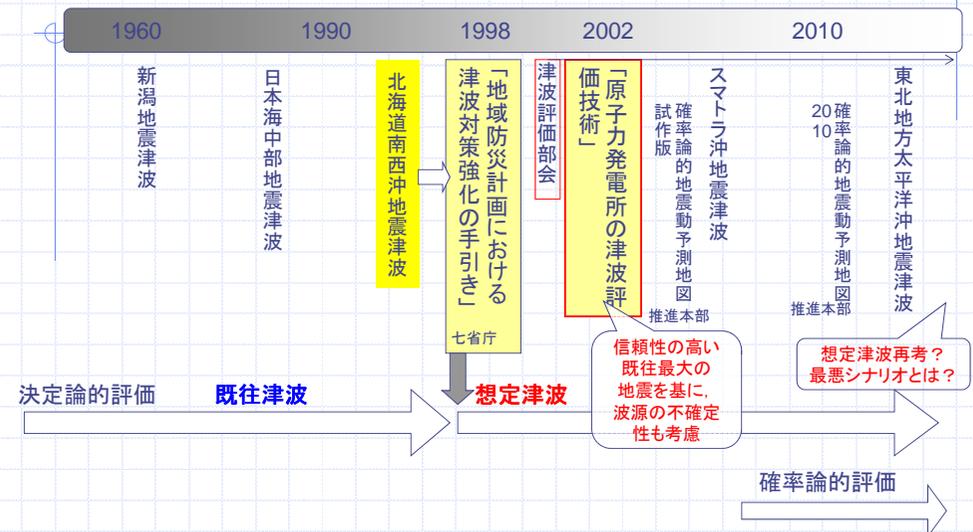
- ◆ 浸水: 非常用冷却系機器の障害
 - 建屋敷地内への浸水: (F1)(F2)
 - 建屋内部への浸水: (F1)(F2)(O)
 - ポンプの浸水: (F1)(F2)(O)(T)
- ◆ タンク漂流: (O)(F1)
- ◆ 港湾構造物被害: (F1)
- ◆ 港内地形変化: (F1)(F2)(O)(T)



事故を引き起こす主たる原因
 → 津波の浸水による電気系統への影響
 → 津波の水位

福島第一(F1), 福島第二(F2), 女川(O), 東海第二(T)

津波の想定に関する小史



信頼性の高い
既往最大の
地震を基に、
波源の不確定
性も考慮

想定津波再考?
最悪シナリオとは?

「地域防災計画における津波対策強化の手引き」

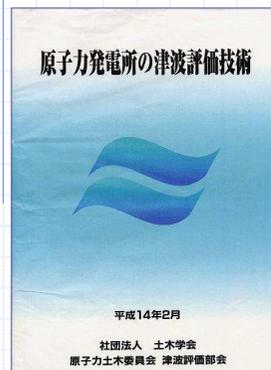
- ◆ 七省庁 平成10年3月
- ◆ 津波想定に関する新しい考え方

想定しうる最大規模の地震津波を検討し、既往最大津波との比較検討を行った上で、常に安全側の発想から沿岸津波水位のより大きい方を対象津波として設定するものとする。

想定方法については未提案
→津波評価部会の設立



原子力発電所の津波評価技術(2002) 原子力土木委員会 津波評価部会



想定しうる最大規模の地震津波
具現化した手法を提案

津波と地震に関する当時の資料・データ収集

✓水位は水位上昇と水位下降を検討

✓文献調査などによる信頼性の高い地震と津波データ

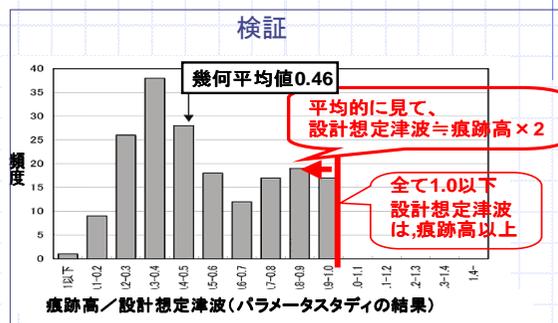
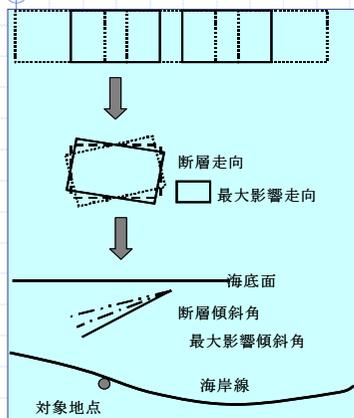
✓津波波源の不確定性
✓数値解析上の誤差
✓データの誤差

不確定性と誤差

✓断層に関するパラメータスタディ
✓あるサイトに最も影響の大きい津波の断層モデルを探索→設計津波水位

地震に関する知見は適切にアップデート

パラメータスタディと検証, その課題



問題点←3.11地震津波
基準となる断層は地震発生域の既往最大Mw9.0は未想定

課題:地震発生域における最大規模Mwの想定方法

2002年以降の活動

- ◆ 確率論的津波ハザード解析手法
- ◆ 分散性と砕波を考慮した数値モデルの検討
- ◆ 津波による波力評価手法
- ◆ 津波による海底地形変化

必要・先駆的な研究を進めてきた

原子力学会標準に反映
原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011

今後の津波に関する安全の考え方

事故調査委員会中間報告

- 津波の浸水による**アクシデントマネジメント(AM)に対する備えの欠如**

地震・津波関連指針等検討小委員会(原子力安全委員会)

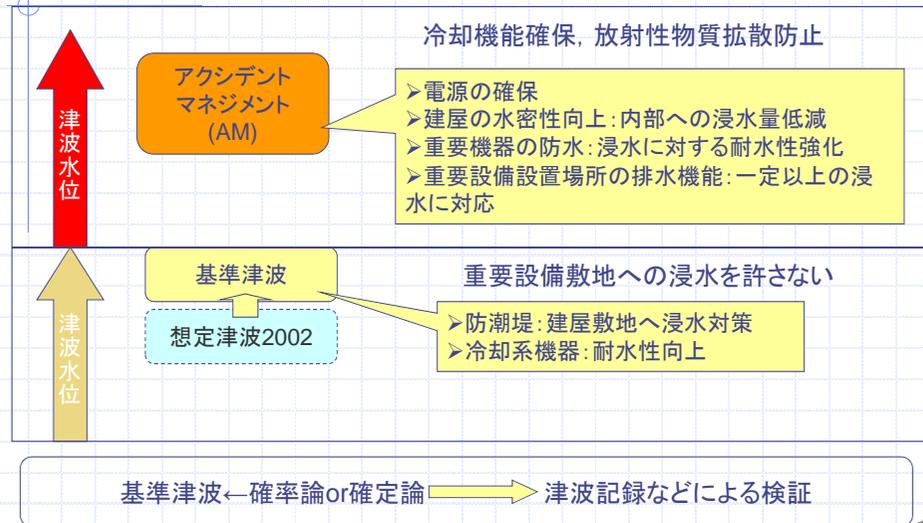
- 基準津波:** 東北地方太平洋沖地震津波を含む

- ✓ 建屋敷地内へ浸水を許さないレベル
- ✓ 古津波研究の発展・熟成
- ✓ 地震以外の原因による津波

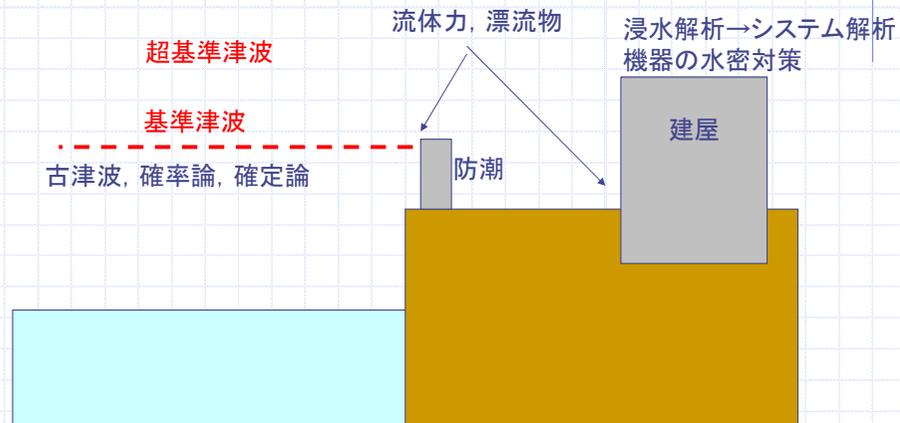
原子力発電所の安全に対する地震工学の課題(亀田, 2011)

- ✓ **ハザードに対するクリフエッジの解消**
- ✓ 津波流体力
- ✓ 水の流動性(遡上以外の浸水)
- ✓ 耐津波工学の提案: 防水, 耐水, 避水

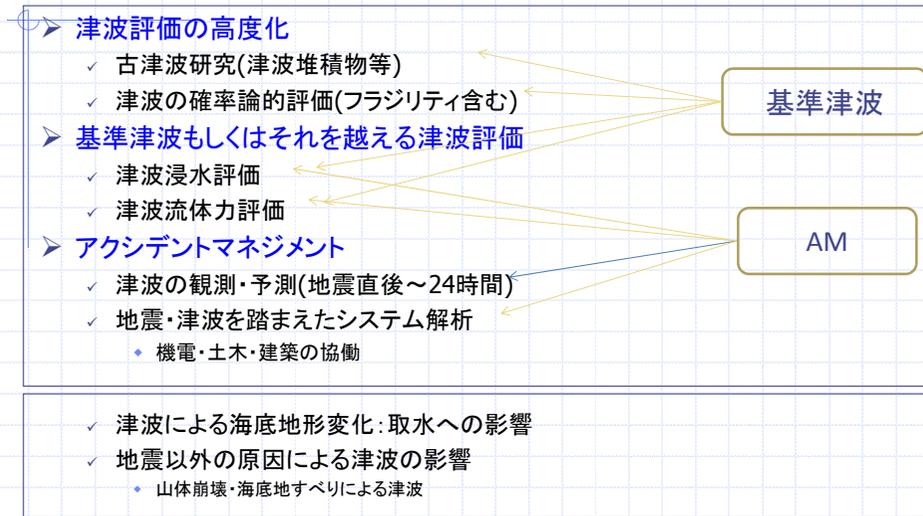
津波対策の方向性



基準津波



今後の課題



まとめ

◆東北地方太平洋沖地震津波

- 日本観測史上最大の巨大かつ広域災害の津波

◆原子力発電所の津波評価技術

- 最新データを基にした想定津波の設定法の一つ
- 歴史津波記録で検証 → 基準津波においては？

◆課題

- 基準津波への対策:防波施設の健全性
- アクシデントマネジメントへの対策:浸水後の評価