

「原子力安全」は如何にあるべきか、その基本的考え方と今後の活動について

日 時：2012年3月20日（火）[春分の日] 13:00-14:30

場 所：福井大学 文京キャンパス 工学部1号館G会場（〒910-8507 福井市文京3丁目9番1号）

原子力発電所地震安全特別専門委員会
司会 関西電力 成宮祥介

講演者

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1. あいさつ | 法政大学 宮野 廣 |
| 2. 原子力安全に関する今後の活動について | 大阪大学 山口 彰 |
| 3. 地震安全ロードマップの策定について | 大阪大学 中村隆夫 |
| 4. 津波ハザードの検討について | (独)原子力安全基盤機構 蛭沢 勝三 |
| 5. 地震工学会におけるロードマップの検討について | 京都大学名誉教授 亀田 弘行 |

2011年3月11日に発生した東日本大震災とその後に発生した大津波により、太平洋岸に立地する原子力発電所はいずれも大きな影響を受け、とりわけ福島第一発電所においては、3基の原子炉が炉心損傷を受けるシビアアクシデントが発生し、環境への大量の放射性物質の流出により周辺の多くの住人が避難を余儀なくされると共に、放射能による環境の汚染が深刻な影響を与えている。この状況は1年を経た今も継続しており、これにより、我が国の国民の生活や電力の安定供給、経済活動にまで深刻な影響を与えている。また、この事故により、国内外の原子力発電所の安全に対して、多くの否定的な意見や議論が提起されている。

この状況下で、日本原子力学会では、そもそも「原子力安全」とは如何にあるべきかについて根本に帰ってそれを問い直し、それを元にして今後の原子力安全のあるべき姿とその基本的考え方を明らかとしていく活動を開始した。今回は、この活動に関し、「原子力安全」とは如何にあるべきかの基本的考え方と今後の検討活動の進め方について紹介する。

一方で、地震安全に関しては、4年前の中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災を受けて原子力発電所地震安全特別専門委員会を設置して、その検討を開始した。本委員会は「地震安全の論理」をとりまとめると共に、日本機械学会、日本地震工学会の委員会と連携して地震安全の論理に基づいて今後の検討課題をロードマップとして取りまとめる活動を展開してきた。昨年3月に東日本大震災が発生した時点では、約3年間をかけて議論した、地震に対する安全確保の基準、考え方、評価の方法などに関する検討結果がまとめられており、今般その成果を報告書に取りまとめたので、その内容について紹介する。

また、今後、日本原子力学会が「原子力安全」に関する包括的な分析検討を進める上では、他学会との連携が極めて重要であり、今回は、これまで津波及び地震安全に関して連携して活動してきた、土木学会、日本地震工学会の活動についてもあわせて紹介する。

“『原子力安全』は如何にあるべきか、その基本的考え方と今後の活動について” [一般公開]

—もう一度考える「原子力安全」について—

標準委員会委員長 宮野 廣(法政大学)

1. はじめに

2011年3月11日は、原子力発電の歴史において忘れてはいけな日になった。東北地方太平洋沖地震の津波により東京電力福島第一原子力発電所が被災し、1号機から4号機が原子力災害を引き起こすに至った。

これまで日本原子力学会は、福島第一原子力発電所の事故に関して、社会に事態の理解を得るための説明や事故の収束を助ける技術活動、さらには発電所周辺地域の環境修復に向けた様々な支援活動をボランティアに進めてきた。今後とも、これらの活動は継続して行かなければならないと考える。

更に、今ある運転中の原子力発電の安全確保も重要な課題であり、標準委員会でも今回の事故の教訓を反映し、急ぎ取り組まなければならない技術的な対応策や、見直さなければならない点を議論し、様々な具体策の提案を行うべく活動を進めてきた。

一方、これまで、エネルギーセキュリティや地球温暖化防止といった問題解決の重要なエネルギー源として、原子力エネルギーは利用されてきた。学会の使命として、原子力エネルギーが引き続き社会に貢献するために、決して同じ原子力災害を起こしてはならないと、もう一度、原子力技術の安全のあり方についての議論を積極的に進め、具体的な対応策の提案をしていかなければならないと考えている。

今回の教訓の大きな点は、実行するに躊躇してはならない、ということであり、行動の迅速性が大切であると考えている。

日本原子力学会は、事実を尊重しつつ、公平・公正な態度で自らの判断を下すという高い倫理観を持ち、学会の、特に標準委員会の公平・公正かつ透明な議論の場を通じて、社会に対して信頼できる情報の発信と、具体的活動に自ら取り組むことが出来るよう努めて行かなければならないと考えている。

公開情報から得られた事故の直接的な要因の分析や、これまでの様々な活動を通じての遠因としての今回の事故につながる要因を分析してきた。事故の把握も現時点では限界があり得られた教訓も全てではない。ここで紹介する検討についても、まだ途中のものもあり十分なものではない。しかし、上述のようにこれまで急ぎ議論しなければならぬと、関係者の強い反省の下に取り組んできたものである。見方により異なる結果も得られるであろうし、また検討の途中であるものもあるが、福島の被災から1年、取り組んできた成果を報告し議論して、次に向かう方向のコンセンサスを得ることも重要と、批判は承知でまとめたものである。今後、更に意見をいただき、新たに展開を進めるが、これを契機に学会内外での議論の素となれば幸いである。

福島事故から得られた教訓として、まず「原子力安全」とはなにか、をもう一度明確にする必要がある。原子力関係者のコンセンサスを形成するとともに、社会との共有も必要である。その上で、原子力安全の確保への取り組みとしての活動の課題への取り組みがあると考えているものである。

2. 福島の教訓からの課題と対応

1) 自然災害に対する取り組み

津波対策については、すでに各発電所では規制の要求に従い福島程度の大きさの程度の津波への対応は十分に取られている。しかし、対策の基準となる津波の大きさやそれを越える津波に対する安全評価の考え方については十分な対応となっているとは言えない状況にある。地震津波を含めて、自然災害に対する対応は、立地により異なるがそれぞれの発電所で考えなければならない重要な課題であ

る。各事業者、発電所は、早急にこれに取り組むことが必要であり、評価を行って十分に対応できていることを示す必要がある。その結果は地元、社会と共有しなければならない。

2) シビアアクシデントの検討

シビアアクシデント (SA) の検討については、原子力発電所毎の特有の問題である。設計基準事象を越える場合の評価については、どのような事象—主に自然災害ではあろうが—に対して、どのように現状の設備が対応でき、どの程度の耐性能力を持つのか、を示すことが重要である。いわゆるハザード (危険の大きさ) を事業者、自ら、もしくは設計者が想定して、それに現有設備がどの程度の安全余裕を持つのかを評価して、現有の常用設備で不十分であれば、どのように非常用設備を設置しているのか、それで充分であるのかを評価しなければならない。必要であるならば、その法的な仕組みの構築も進めなければならない。原子力災害のリスクの評価と共有である。

基本的には、これはわが国が“福島事故”を受けた後の各原子力発電所の最低限の要件とも言えるのではないかと。早急にに取り組むことが肝要と考える。

3) シビアアクシデント対策の社会での共有

想定するハザードへの対応を越える事象、すなわちシビアアクシデント領域に入った場合の対応策 (SAM) については、社会でのリスクの共有が第一である。その上で、国の規制整備と事業者の SAM の整備、訓練が重要課題である。国は法令等の整備を進めると同時に、当面の対応策に対する技術基準を早急に整備し、最低限その確認作業を行えるようにしなければならない。事業者は SAM の適用の事態に対して、マニュアルの整備はもちろんではあるが、特にマネジメントを中心とした訓練と実施者の様々な条件下での訓練を徹底しなければならない。規模に応じて、所内レベルから地域レベル、地方レベル、国レベルとそれぞれの役割を意識した訓練が必要である。特に、地域レベルの訓練は事態の共有の観点からも徹底が重要である。これを効果的に実行するには、仕組みとして国の規制基準とすべきか、民間の基準とすべきか、実効的な仕組みを早急に構築しなければならない。

4) マネジメントの重要性と体制整備

この問題は早急には結論は得られない。特に重要なのはマネジメントの教育である。徹底した現場対応のマネジメント教育と訓練が必要である。プラントの直接的な管理者クラスの徹底した訓練が必要である。組織の仕組みとして、現場での指揮官を明確にする観点から、運転員への管理者の配置など、権限が一任できる体制とすることも考えなければならない。一方、国のマネジメントにおいても、原子力プラントを運用する現場の知識も獲得した原子力安全の監視役である規制官を配置するためにも、待遇も含めての体制の見直しが必要である。事業者の現場の待遇と合わせて改革が必要である。

5) 危機管理

事業者の事故対応力、危機管理への要求と共に国がどのような体制で危機管理に望むのか、それぞれの責任の明確化がなければ、発電所の運用はうまくいかない。どこが、どの範囲の責任を持つのか、非常時のみではなく、常時の運用の中での体制ができていなければ、危機発生時の対応は不可能である。事業者、規制、規制以外の国、などのそれぞれの役割分担を明確にしたうえで、その責任の範囲と関係について早急に徹底した議論を進め、仕組みを構築することが必要である。

3. まとめ

以上の課題は技術だけの範疇ではない。広く社会との関係も含めて解決しなければならない課題を挙げている。原子力学会だけではなく、広く多くの学会が協力してこの課題に取り組むことこそ、今必要とされているのではないかと。関係者の協力を仰ぎたい。

山口 彰
大阪大学 大学院工学研究科
(安全分科会主査)

E-mail: yamaguchi@see.eng.osaka-u.ac.jp

原子力安全に関する今後の活動について

1

原子力の研究、開発及び利用の目的

- 原子力政策大綱(平成17年)
 - 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
- 原子力が人類社会の福祉と国民生活の水準向上に寄与するのであれば利用
- 安全確保の前提をどうやって達成するか？

2

原子力安全をどうやって確保するか

- 原子力安全規制
 - 「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**」(核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律)
- 安全確保＝放射能による災害の防止
- それでは、放射能による災害とは何か？
- 米国の場合
 - 「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**」

3

原子力災害とは

- 原子力災害対策特別措置法
 - (炉規法等と相まって)原子力災害に対する対策の強化を図り、もって原子力災害から**国民の生命、身体及び財産を保護**することを目的とする
- 原子力災害
 - 原子力緊急事態により国民の生命、身体または財産に生ずる被害
 - 内閣総理大臣が発出する原子力緊急事態宣言
 - テロ等の外部的要因を直接の原因とする場合であっても原子力災害に該当する
- 原子力緊急事態
 - 放射性物質又は放射線が異常な水準で原子力事業所外へ放出された事態

4

原子力安全 何をすれば安全は確保されるのか

- 安全設計審査指針
 - 安全性確保の観点から設計の妥当性について判断する際の基礎を示すことを目的として定めたもの
 - 安全審査に当たって確認すべき安全設計の基本方針について定めたものであって、原子炉施設の一般的な設計基準を指向したものではない
- 安全確保とは何か？
 - 原子力災害法
 - 原子炉等規制法
 - 安全設計審査指針

5

標準委員会の枠組み

- 原子力学会において、標準策定活動を進めていくにあたり、学会員の拠って立つ「原子力安全の考え方」が必要
- 多層的検討
 - 原子力利用の目的は何か
 - 何をもちて原子力安全を確保するか(原子力安全目的)
 - 原子力安全の考え方はいかにあるべきか(安全目的を踏まえた原子力安全の基本原則)
 - 何をもちて原子力安全を達成するか(基本原則を具現化する技術的要件)
- 標準委員会のもとに、原子力安全検討会を設置
 - 原子力安全分科会にて報告書をまとめる

6

原子力安全分科会の活動

- 第46回標準委員会(平成23年9月9日)にて設置
- 原子力安全分科会を6回開催(10月7日～3月13日)
 - 原子力安全の目的の明確化
 - 他産業分野における安全の確保の考え方との比較(産業の特徴を踏まえて)
 - 原子力安全の基本原則案の提示
 - 福島第一原子力発電所事故を踏まえること

7

原子力安全の目的

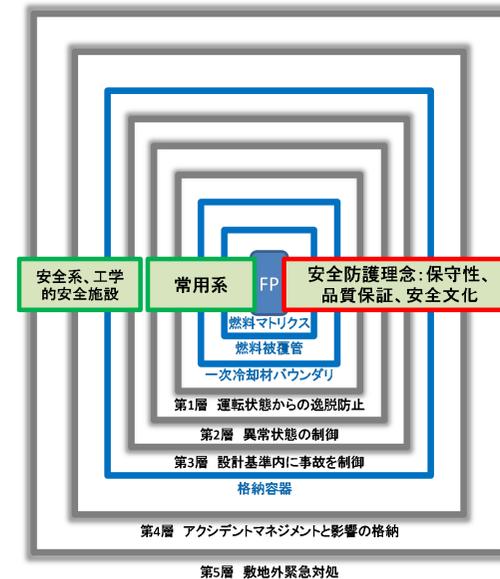
- 原子力安全の目的は、人と環境を、原子力の施設とその活動に起因する放射線の有害な影響から防護すること
 - 人の放射線被ばく及び環境への放射性物質の放出を管理すること
 - 原子炉の炉心、核連鎖反応、放射性線源またはその他の全ての放射線源に関する制御の喪失に至ると思われる事象の発生を可能な限り防止
 - そのような事象が発生した場合、その影響を緩和し、環境への放射性物質の放出を最小限に抑制する
 - 施設の敷地内外の放射線の監視、敷地外対応(除染、環境修復を含む)を行い、放出された放射性物質の影響を最小限に抑制

8

原子力安全目的と深層防護

- 原子力安全の目的を“人と環境を、原子力の施設とその活動に起因する放射線の有害な影響から防護すること”としたとき、深層防護と物理障壁の関係が明確になる
- 原子力基本法 第二条 安全の確保
 - 安全の確保については、これに関する国際的動向を踏まえつつ、原子力利用に起因する放射線による有害な影響から人の健康及び環境を保護することを目的として、行うものとする
 - 原子力基本法 第二条 基本方針
 - 原子力の研究、開発及び利用は平和の目的に限り、安全の確保を旨として、民主的な運営の本に、自主的に行う

9



10

原子力安全の基本たる深層防護

- 深層防護は三層
 - 安全を脅かす事象の発生防止 (Prevention)
 - 安全を脅かす事象の影響抑制 (Mitigation)
 - 放射能による被害(安全目的)の最小化 (Emergency preparedness)
- 深層防護は柔軟である
 - 例えば発生防止のための深層防護を定義できる
 - 運転状態からの逸脱防止 (Prevention)
 - 異常な状態を制御し事故状態へ拡大防止 (Mitigation)
 - 設計基準内に事故を制御 (緊急対応)
 - 特に発生防止は、想定する事象の境界条件が明確であり、安全設計により対処できるので細分化することが有効
- 深層防護の概念とハードウェアは対応しない
 - 発生防止に係る部分は安全設計により実現するので対応させやすい

11

はじめに、適用範囲

- はじめに
 - 原子力安全の目的、原子力安全を達成するための基本原則及び概念
 - 下位に位置する、関連する技術的要件は、省令、指針などにおける性能規定事項として定める
 - 技術的要件に適合するための仕様規定事項は関連の標準・規格として整備される
- 適用範囲
 - 原子力安全の目的は、すべての施設と活動に適用され、また、計画立案、立地、設計、製造、建設、試運転及び運転、廃止措置や閉鎖までを含む、原子力施設又は放射線源の寿命期間中のすべての段階に適用
 - 安全とセキュリティの対策は、相互に齟齬をきたさぬよう統合的な対策として計画・実施

12

原子力安全の基本原則案

- 責任とマネジメントシステム
 - 原則1 安全に対する責務
 - 原則2 政府の役割
 - 原則3 規制機関の役割(安全に対する規制)
 - 原則4 安全に対するリーダーシップとマネジメント
 - 原則5 組織文化(安全文化)
- 人及び環境の防護
 - 原則6 人及び環境への放射線リスクの制限
 - 原則7 放射線リスク低減の継続的取り組み
 - 原則8 原子力施設と活動の正当性の説明
- 事故の防止と影響緩和
 - 原則9 事故の防止及び緩和
 - 原則10 緊急時の準備と対応
 - 原則11 現存又は規制されていない放射線リスクの低減のための防護措置

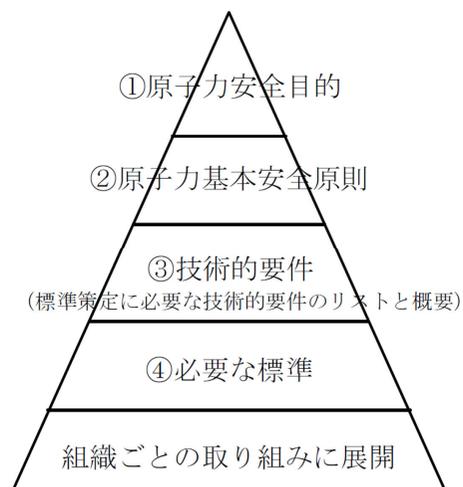
13

原子力安全の目的及び基本原則のポイント

- 人および環境の防護
 - 原子力安全の目的は、“人”のみならず“環境”をも防護すること
- 役割と責任の明確化
 - 原子力安全の確保のために、事業者、政府、規制機関など、それぞれのステークホルダーが果たすべき役割を責任を持ち、これらを果たすこと、およびお互いが協力すること
- 組織文化の醸成
 - 原子力安全の根幹を成す組織文化(安全文化)の醸成の充実・強化に社会全体で取り組む
- 放射線リスク低減の継続的取り組み
 - 原子力安全をより高いレベルで達成するため、原子力施設に起因する放射線リスクを常に達成できる限り低くするように継続的取り組みの強化を図る
- ライフサイクルを通じたリスク低減
 - 原子力施設の、設計・建設から運転・廃炉および次期建設までの、ライフサイクルを通じたリスク低減への取り組みを積極的に推進する
- 「想定外」事象 = “ブラックスワン” への実効ある対応
 - 事故防止、影響緩和手段の多様性の確保および複数ユニットの立地を考慮する。また、大規模災害においてインフラ、行政・公的機関が複合的影響を受けることを想定した緊急時対応計画の整備を行う

14

成果の概要と位置づけ



15

今後の取り組み

- 設計想定事象への徹底した安全確保
- 想定外、外的事象を含めたシビアアクシデントに対する対策としてのアクシデントマネジメント整備
- 最新知見の反映
 - 運転経験
 - 国内外トラブル情報
 - 技術開発成果
- 安全評価手法の開発・整備
 - シビアアクシデント解析
 - 確率論的リスク評価
- 原子力安全の考え方を受けた標準整備計画の策定
- リスクの考え方の浸透、将来に向けた人材育成

16

地震安全ロードマップ の策定について

-原子力発電所の“地震安全”に関する
検討報告書-より

2012年3月20日
日本原子力学会 春の年会
総合講演・報告5
「原子力発電所地震安全」

大阪大学 中村隆夫

報告書を発行するにあたって

- ・地震安全特別専門委員会(以下、本委員会と言う)は、中越沖地震(2007年7月)を起点に、東日本大震災発生まで、約3年間をかけて議論してきた、**地震に対する原子力発電所の安全確保のための研究ロードマップ**を報告書として取りまとめた。
- ・今回発生した東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故にかかるといふ事柄については、今後十分に時間をかけて議論すべき事柄であることから、**本報告書に含めていないが、原子力に求められる、より広範で堅固な安全を確保するために“原子力安全”は如何にあるべきか、**について検討を進めてきたものであり、その本質は将来においても、また他の事象状態においても**普遍なもの**であると考えます。
- ・原子力学会として福島第一原子力発電所の事故から得られた教訓を十分に検討し、この**報告書にまとめた内容**に対して、**今後必要な見直しを行うため、継続して、検討して行きたい。**

1

経緯

- ・2007年7月に中越沖地震発生
 - ・2007年12月に「原子力発電所地震安全特別専門委員会」を設置し、検討を開始
 - ・原子力の地震時の安全確保に関する基本的考え方を「地震安全の論理」としてまとめた
 - ・これを基に、地震安全と言う広範囲にまたがる専門分野において今後取り組むべき研究課題を、「日本地震工学会」、「日本機械学会」との協働によりロードマップに取りまとめた
 - ・その検討成果を国民から見える形で公表し、地震安全に関して広く理解を求める活動を展開した
 - ・2011年3月に東日本大震災が発生
 - ・2012年3月に報告書を発行
- これまでの検討の成果をとりまとめ、今後広く活用していく

2

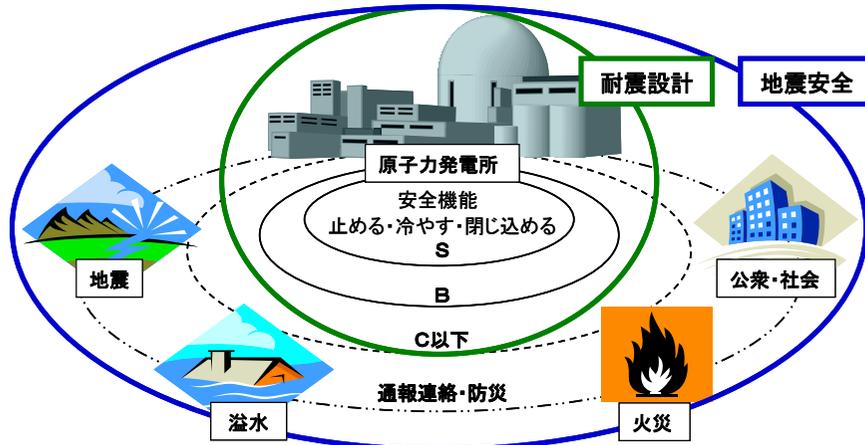
目的

本委員会は以下を目的として活動を行った

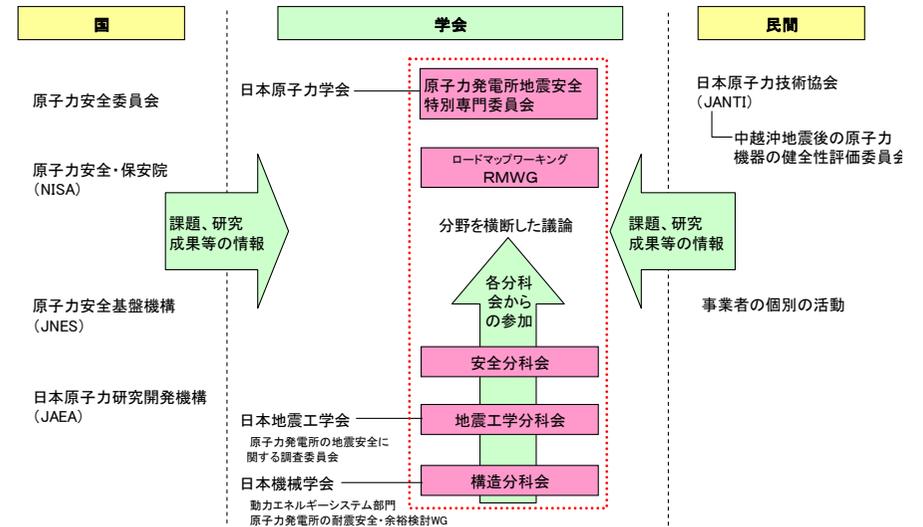
- ・地震時の安全確保の基本的考え方(「**地震安全の論理**」と呼ぶ)を明らかにする
- ・課題解決のための研究開発と方策の検討を行い、解決のためのスケジュール、成果目標などを**ロードマップ**としてまとめる
- ・**地震安全**が全体として進むべき方向に関して**コンセンサス**を形成し、それを社会に発信、実行する

3

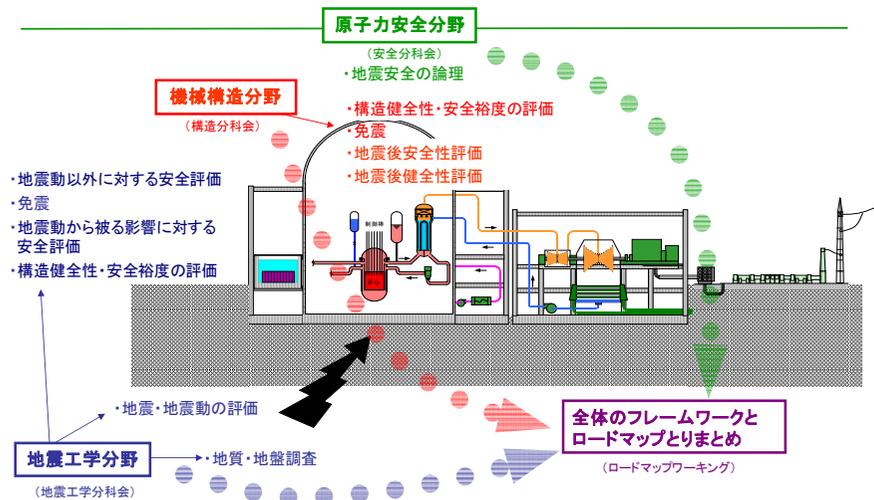
地震安全



体制



地震安全の技術分野と役割分担



特別専門委員会の活動

- 地震安全の論理のまとめ
- 国民から見える活動
- 地震安全ロードマップの策定

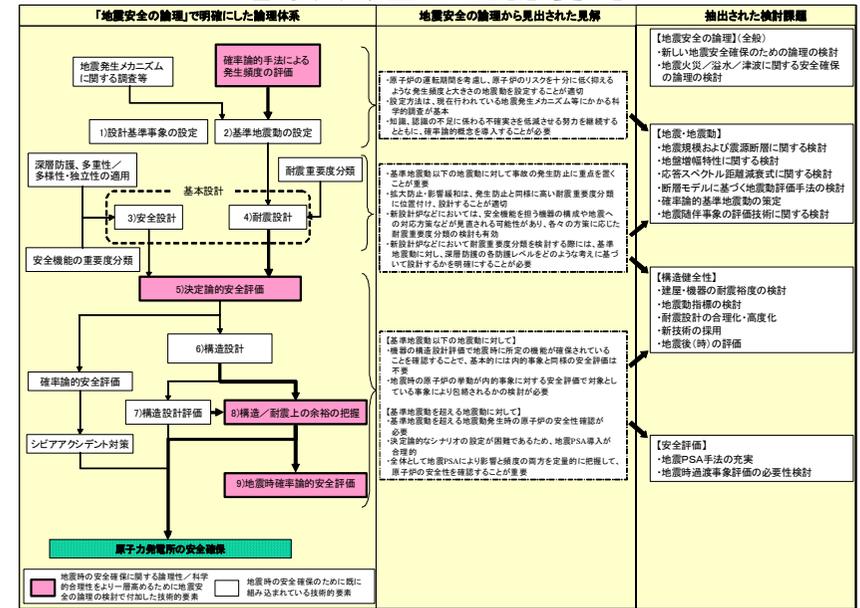
	H19(2007年度) 12月~3月	H20(2008年度)	H21(2009年度)	H22(2010年度)	H23(2011年度)
課題抽出	地震安全の論理の検討				報告書の取りまとめ
	論理を踏まえたRM見直し				
			★ RM中間 報告書発行	★ 地震安全の 論理発行	★ 地震安全 シンポジウム
委員会 1 ↓	2 ↓	3 ↓	4 ↓	5 ↓	6 ↓
対外発表	2008春	2008秋	2009春	2009秋	2010春
				安全工学 シンポ	地震工学 シンポ
					7 ↓
					8 ↓
					報告書発行
					2012春

「地震安全の論理」に基づいた ロードマップの検討

- これまで、過去に観測された地震動から将来起こり得る地震動の予測を適切に行い耐震設計を実施
- 近年、この耐震設計で用いる基準地震動を超える場合がしばしば見られ、その基準地震動を超える地震動に対しても十分な安全性を確保する必要
- 地震時の原子力施設の安全を如何に確保すべきかの論理の必要性
- 安全を確保するプロセスを体系化し、その確立のために必要な今後取り組むべき課題を抽出し、ロードマップにまとめる



地震安全の確保体系



ロードマップの策定と合わせて 考慮すべき事項

1) 研究開発や規格基準活動の国際化への対応

我が国は、ロードマップにまとめられた研究開発や規格基準活動に対し国際的に連携して支援していく必要

2) 制度的基盤の確立に向けた研究開発成果の規格基準への反映

ロードマップに掲げた研究の成果の活用については今後検討していく

3) 人的基盤の確立

地震安全の確保に必要な広範囲の人材確保に向けて産官学の役割も含めて議論していく

地震安全の論理の要点

- 規準地震動の策定:**
地震発生メカニズム等に基づく科学的調査に基づくものとするが、**確率論的概念の導入が必要**
- 耐震設計:**
基準地震動以下の地震動に対し、事故の発生防止のみならず**拡大防止、影響緩和についても同様の高い重要度で設計**
- 地震時の安全評価:**
 - 基準地震動以下の地震動**
地震時の原子炉の挙動が、内的事象に対する安全評価により包絡されていることを確認
 - 基準地震動を超える地震動**
 - 安全機能を担う機器の耐力に関する余裕を予め定量的に把握
 - 地震により発電所に発生するシナリオを定量的に示す
 - 地震PSAIにより、発電所の有する潜在的なリスクが十分に小さいことを確認

地震安全ロードマップの策定

1. 策定の考え方

以下の手順で検討を行い、ロードマップを取りまとめた

- 1)地震安全確保に関する基本的考え方(地震安全の論理)の検討
- 2)地震安全の論理に基づく技術課題の抽出
- 3)地震安全の論理に基づいた目指すべき地震安全の確保体系の構築
- 4)地震安全の確保体系を実現するために必要な各分野の課題に対応した産官学各部門の研究計画の検討
- 5)日本地震工学会、日本機械学会の関連委員会と協働し、安全確保体系と検討課題の網羅性を相互に補完したロードマップの策定

地震安全ロードマップの策定

2. 「地震安全の論理」に基づく安全分野の技術課題抽出活動

- 前述の地震安全の確保体系では、従来のプロセスに2)確率論的手法による発生頻度の評価、5)決定論的安全評価における耐震設計の評価、8)構造/耐震上の余裕の把握、9)確率論的安全評価を新たに付加した
- これら4項目について、これまで不足している事項に着目して今後取り組むべき研究課題を抽出した
 - ①新しい地震安全確保のための論理の検討
 - ②地震に従属して発生する火災、溢水、津波に関する安全確保の論理の検討
 - ③確率論的基準地震動の策定
 - ④建屋・機器の耐震裕度の検討
 - ⑤地震PSA手法の充実
 - ⑥地震時過渡事象評価の必要性検討

地震安全ロードマップの策定

3. 地震工学分野の技術課題の抽出及び日本地震工学会との協働活動

1)「地震安全の論理」に基づき、今後目指すべき安全確保体系実現のための技術課題に対応した産官学各部門の研究計画の調査・整理

- 地震規模および震源断層に関する検討
- 地盤増幅特性に関する検討
- 応答スペクトル距離減衰式に関する検討
- 断層モデルに基づく地震動評価手法の検討
- 要求性能を踏まえた基準地震動の工学的決定法
- 確率論的基準地震動の策定
- 地震随伴事象等の評価技術に関する検討
- 建屋・機器の耐震裕度の検討
- 耐震設計の合理化・高度化
- 新技術の採用

2)日本地震工学会の委員会と協働し、安全確保体系と検討課題の網羅性を相互に補完したロードマップの策定(以下の8件を抽出し、織り込んだ)

- ①耐震裕度の概念規定
- ②強震動下での複数機器の同時損傷評価の検討
- ③地震時の要求性能の体系化
- ④要求性能を踏まえた基準地震動の工学的決定法
- ⑤経年劣化を考慮した建造物の耐震性能評価法
- ⑥地震PSA手法の充実
(津波ハザード下での津波リスクの検討)
- ⑦国際耐震戦略における人材育成の方向付け
- ⑧地震安全に関する分かりやすい説明方法の検討

参考資料-4
原子力安全分野と地震工学分野間の地震安全の論理に関する議論の記録

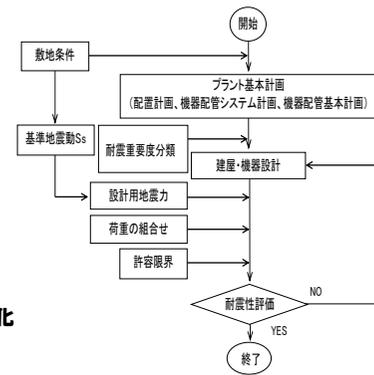
地震安全ロードマップの策定

機械構造分野の技術課題抽出活動

•耐震設計の基本手順に沿って技術的課題を抽出、「地震安全の論理」に沿って整理し課題整理表に取りまとめ、ロードマップを策定

•以下の項目を課題として抽出

- 1)建屋・機器の耐震裕度の検討
 - a.耐震設計手法の内在する裕度の定量的把握
 - b.信頼性評価法を活用した構造基準の高度化検討
- 2)地震動指標の検討
- 3)耐震設計の合理化・高度化
(減衰定数、材料強度に及ぼす地震時動的ひずみの影響、弾塑性解析手法の適用、動的応答評価モデル)
- 4)新技術の採用(免震技術の原子力施設への適用)
- 5)地震後(時)の評価
 - a.フロントテータ採取
 - b.健全性評価基準、点検項目策定と点検方法の高度化
 - b)地震PSA手法の充実



耐震設計の基本手順

抽出された技術課題 地震安全に関する課題整理表(例)

分類	研究(検討)項目	達成目標	現状と課題
I. 地震安全の論理	①新しい地震安全確保のための論理の検討	リスク論を全面的に展開した論理を構築する。	現状に対する耐震設計を基にして、内的事象に対する安全確保の考え方に照らして、地震安全の論理を構築し、 検証可能な要素を挙げて、プラント全体の受容可能なリスクから、基準地震動の位置付けや設定方法に関する検討を含め、新たな地震時の安全確保体系を構築し、地震安全の論理を再度展開する。
	②地震に被災して発生する火災、漏水、津波に関する事象等の評価の検討	地震に被災して発生する火災、漏水、津波の考え方を整理し、安全論理を構築する。	現状は地震そのものに関する事象に着目して、地震安全の論理体系を構築した。 しかしながら、被災に被災して発生する火災や漏水、内臓はは、全体での地震は被災 時に起こり、あるいは地震に被災して発生する火災や漏水、津波は地震によって発生すること がある。そのため、津波や火災、内臓ははそれ以外の事象に比べて発生する可能性が比較的高い と考えられている。また、津波や火災、内臓ははそれ以外の事象に比べて発生する可能性が比較的高い と考えられている。また、津波や火災、内臓ははそれ以外の事象に比べて発生する可能性が比較的高い と考えられている。
II. 地震・地震動	①地震震度および震害予測に関する検討	最新の方法と設定方法、および震害予測精度の向上と標準化を図る。	観測地学的調査、地質学的調査、地質学的評価手法を用いた評価が設定方法、 震害予測精度の向上が図られている。
	②地震震害特性に関する検討	地震震害からの震害特性の把握と評価手法の標準化を図る。	観測地学的調査、地質学的調査、地質学的評価手法を用いた評価が設定方法、 震害予測精度の向上が図られている。
	③応答スペクトル距離減衰式に関する検討	応答スペクトルに基づく地震動評価の適用性を向上させる。	観測地学的調査、地質学的調査、地質学的評価手法を用いた評価が設定方法、 震害予測精度の向上が図られている。
	④新基準モデルに基づく地震動評価手法の検討	新基準モデルに基づく地震動評価手法の適用性を向上させる。	観測地学的調査、地質学的調査、地質学的評価手法を用いた評価が設定方法、 震害予測精度の向上が図られている。
	⑤震害特性を踏まえた基準地震動の工学的決定法	基準地震動からの震害特性の把握のための工学的決定法	観測地学的調査、地質学的調査、地質学的評価手法を用いた評価が設定方法、 震害予測精度の向上が図られている。
	⑥標準的基準地震動の策定	標準的基準地震動の策定	観測地学的調査、地質学的調査、地質学的評価手法を用いた評価が設定方法、 震害予測精度の向上が図られている。
	⑦地震に被災して発生する事象等の評価に関する検討	地震、津波、火災に被災して発生する事象等の評価手法やデータベースを整備する。	観測地学的調査、地質学的調査、地質学的評価手法を用いた評価が設定方法、 震害予測精度の向上が図られている。

16

抽出された技術課題 地震安全に関するロードマップ(例)

分類	研究(検討)項目	2008	2010	2015	2020~
		短期	中期	長期	長期
I. 地震安全の論理	①新しい地震安全確保のための論理の検討			リスク論を全面的に展開した論理構築の構築 リスク論を全面的に展開した論理の構築	
	②地震に被災して発生する火災、漏水、津波に関する安全確保の論理の検討		火災(建物)、漏水(漏洩)の安全確保の考え方の整理 地震に被災して発生する火災、漏水、津波の論理の整理		
II. 地震・地震動	①地震震度および震害予測に関する検討	最新標準化-設定方法及び震害予測のモデル化手法の構築向上			評価 震害中であり計画が決定している期間 震害中であり計画が決定している期間 震害中であり計画が決定している期間
	②地震震害特性に関する検討	震害特性の地震震害特性評価手法の高度化・標準化 一律化して検討			
	③応答スペクトル距離減衰式に関する検討	応答スペクトル距離減衰式の整備 基準への反映			
	④新基準モデルに基づく地震動評価手法の検討	震害予測モデルによる地震動評価の不確実性評価手法の整備			
	⑤震害特性を踏まえた基準地震動の工学的決定法	基準地震動からの決定法の整備			
	⑥標準的基準地震動の策定	標準的評価手法を用いた基準地震動策定手法の整備			
	⑦地震に被災して発生する事象等の評価に関する検討	地震、津波、火災に被災して発生する事象等の評価手法およびデータベースの整備			

17

抽出された技術課題 技術課題個別表(例)

課題1	
分類	I. 地震安全の論理
研究(検討)項目	①新しい地震安全確保のための論理の検討
達成目標	リスク論を全面的に展開した論理を構築する。
現状と問題点	地震安全の論理は現状における耐震設計を基にして、内的事象に対する安全確保の考え方に照らして、論理を展開したが、今後、観点を変えて、プラント全体の受容可能なリスクから、基準地震動の位置付けや設定方法に関する検討を含め、新たな地震時の安全確保体系を構築し、地震安全の論理を再度展開することも考えられる。
内容	安全目標・性能目標との関係から、基準地震動の位置付けや設定方法に関する検討を含め、新たな地震時の安全確保体系を構築し、地震安全の論理を再度展開する。 まずは、リスク論を全面的に展開した論理の成立性について検討する。
研究(検討)期間	長期
役割分担	産・官・学 ：例えば、基本的な概念は学が主体に、産は実行性を、官は規制体系上の課題検討を分担するなどの役割も検討する。
備考	

18

今後の展開 この活動の成果をどう活かすか

- 地震以外の災害に対して、より広範囲で堅固な安全を確保するために“原子力安全”は如何にあるべきか、真剣な議論を進める
- 分野の異なる学会間の交流を継続して行く
- ここでまとめたロードマップの定期的なローリングのための体制の整備
- 研究成果の反映計画の具体化
- 今回、十分に議論できなかった国際戦略や人材育成の課題について、新しい体制の下で取り組んでいく

19

日本原子力学会 2012春の大会

『「地震安全」は如何にあるべきか、
その基本的考え方と今後の活動について』
津波ハザードの検討

平成24年3月20日

福井大学 工学部1号館1号棟G会場

原子力安全基盤機構
蛭沢 勝三

報告内容

- I. 津波ハザードの役割とは？
- II. 2011.3.11東北地震・津波以前の津波ハザード関連動向
- III. 東北地震・津波の原因究明と教訓
- IV. 東北地震・津波以降の動向及び課題
- V. まとめ

I. 津波ハザードの役割とは？

■ プラントの「残余のリスク」の定義

- (1) 基準地震動を上回る地震動により施設の重大損傷事象が発生すること：炉心損傷
- (2) 大量の放射性物質が放散する事象が発生すること：格納容器損傷
- (3) 結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすこと：安全目標

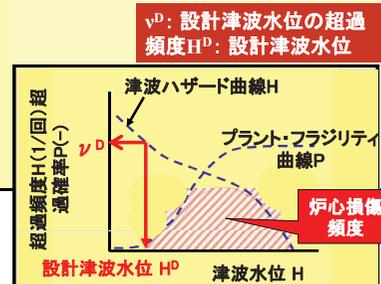
■ 炉心損傷頻度、津波ハザード、設計津波水位との関係

● 炉心損傷頻度(CDF)は、津波ハザードとプラント・フラジリティを用いて評価

● 設計津波水位は、津波ハザードの1点

⇒ 津波ハザードはCDF評価の必須要件

⇒ 津波ハザードは設計津波水位設定に
必須とすべき



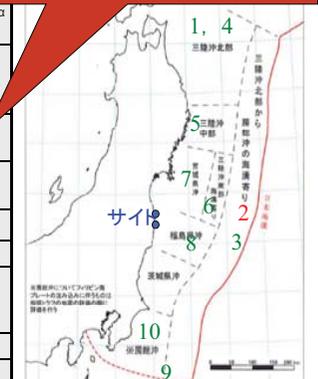
II. 2011東北地震・津波以前の津波ハザード関連の動向

(1) 地震調査研究推進本部 長期評価部会の活動

- 「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価 (H14.7)」等
- 「上記の一部改定(H21.3)」(内容を下表に示す)

領域名	次の地震規模	今後30年以内の発生確率(2009)	上段:平均発生間隔 中段:発生間隔のばらつきα 下段:最新発生時期
1 三陸沖北部のプレート間大地震	M8.0前後	0.2%~10%	97.0年 0.11~0.24 1968/5/16
2 三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間大地震(津波地震)	Mt8.2前後	20%程度 (6%程度)*1	133.3年 (530年)
3 三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート内大地震(正断層型)	M8.2前後	4%~7% (1~2%程度)*1	400~750年 (1600~3000年)
4 三陸沖北部(M7クラス)	M7.1~M7.6	90%程度	11.3年
5 三陸沖中部	既往津波なし		
6 三陸沖南部海溝寄り	M7.7前後		104.5年
7 宮城県沖と連動	M8.0前後	80%~90%	0.19~0.24 1897/8/5
8 宮城県沖	M7.5前後	90%より大*2	37.1年
9 房総沖	M7.4前後	7%程度以下	400年以上
10 房総沖	M6.8程度	90%程度	21.7年 0.16~0.24 2005/5/8
10 房総沖	日本海溝沿いでは大きな被害なし		

津波地震:青森沖~千葉沖の広範囲のどこでも発生し得ると評価



*1 三陸沖北部から房総沖海溝よりのプレート間及びプレート内部での値は特定の海域で発生する確率を()で示す

*2 宮城県沖単独の発生確率は2001年を基準とする*3 領域2,3,8はポアンソン過程

(2) 土木学会津波評価部会の活動

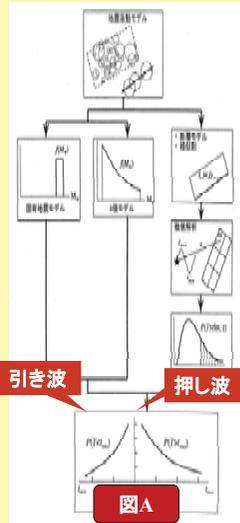
■「原子力発電所の津波評価技術(平成14.2)」:

決定論的手法で不確かさの考えは考慮されているが、津波ハザードの概念なし

■「確率論的津波ハザード解析の方法(案)(平成21.3)」:

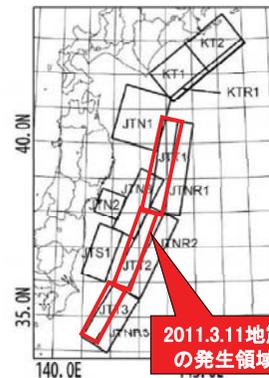
平成15年から確率論に立脚した津波評価法を研究・審査した中間的まとめ

- (1) 確率論的津波ハザード評価手法(PTHA)は、確率論的地震ハザード評価手法(PSHA)を参照とし開発
- (2) PTHAは、特定期間における津波高さや超過頻度との関係(図A)
- (3) 同手法は押し波と引き波の2つのハザード曲線で表示
- (4) 同手法は、不確かさを考慮して、評価に係る各種不確かさを系統的に処理し、工学的判断のための資料を提供するもので、意思決定を行うための手段
- (5) PSHAもPTHAも、可能性のあるすべての事象を考慮し、時間(発生頻度)を明確に考慮している点が、決定論的手法との重要な違い
- (6) PTHAは、原子力施設の津波に対するリスクの定量的評価や、設計津波の超過確率の把握に有用



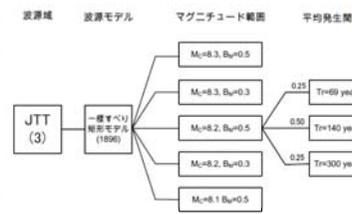
確率論的津波ハザード解析の方法(案)による評価例

■評価対象領域の例

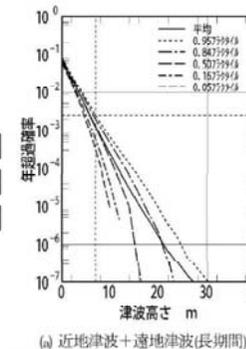


2011.3.11地震の発生領域

■ロジックツリーの例



■津波ハザードの例

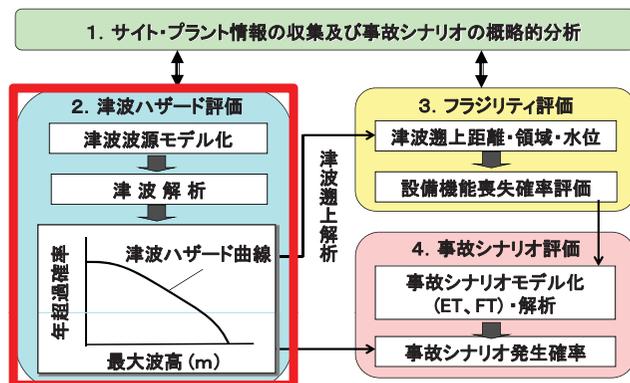


- 当時の最新知見に基づき、不確かさを考慮した解析方法
- 不確かさの取り扱いを明記し、ロジックツリーの評価例も記述
- 2011.3.11地震の発生領域が感度解析の1ケースとして記載

(3) JNES津波PSA手法における津波ハザード評価

■経緯

- ・JNESは、2004年から津波PSA手法の整備を進め、津波ハザード評価も実施
- ・JNESは、スマトラ沖津波(2004.12)を踏まえ、IAEA津波特別拠出金事業(2007.4～2010.3)を進め、津波PSA手法を活用。
- ・研究成果は、原子力学会(2007.9)、世界地震工学会議(2008.10)、IAEA国際津波EBP会議(2010.3)等で発表



Ⅲ. 東北地震・津波の原因究明と教訓

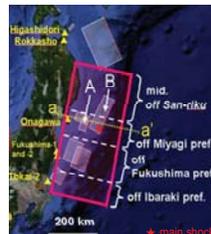
- 東北地震は、2011年3月11日14時46分に、マグニチュード9.0として発生し、巨大津波も襲来した。
- 福島第1NPPでは地震動を検知し、制御棒が挿入され原子炉は停止した。
- 津波が約46分後に襲来し、複数の海水給水系設備や非常用電源のディーゼル発電機が冠水した。
- 敷地外からの外部電源の機能も地震動及び津波によって喪失し、全交流電源機能が喪失した。
- 炉心冷却系機能が喪失し、炉心損傷(CD: Core Damage)が発生し、放射性物質が敷地外に放出された。



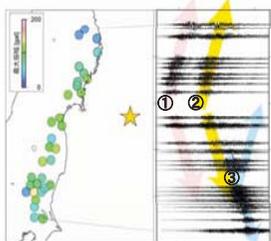
地震及び津波の特徴

- (1) 巨大な地震規模Mw9.0
- (2) 複数震源域の空間的連動
- (3) 観測地震動に見られる地震の時間差発生
- (4) 観測津波水位における異なる性質の波の重なり
- (5) 日本海溝付近の大きなすべり量分布

■震源域- (1), (2)

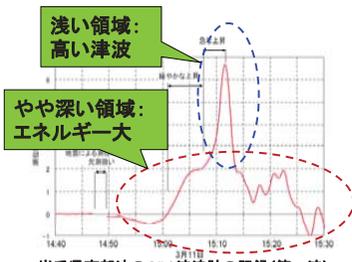


■観測地震動- (3)



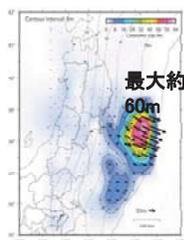
引用元: 防災科学技術研究所

■観測津波水位- (4)



岩手県南部沖のGPS波浪計の記録(第一波)
引用元: 港湾空港技術研究所

■すべり量分布-(5)



測地データから推定
引用元: 国土地理院・海上保安庁

8

(1) 東北地震・津波の原因究明

原因究明の前提条件(1/4)

(1) 東北地震・津波の特徴の考慮

- 1) 巨大な地震規模Mw9.0
- 2) 複数セグメントの連動
- 3) 観測地震動に見られる時間差発生
- 4) 観測津波水位に見られる異なる性質の波の重なり
- 5) 日本海溝付近の大きなすべり量分布

(2) 原子力サイト以外の広域の観測津波波形・痕跡高と、4原子力サイトにおける観測津波波形・痕跡高を1つの波源モデルで再現

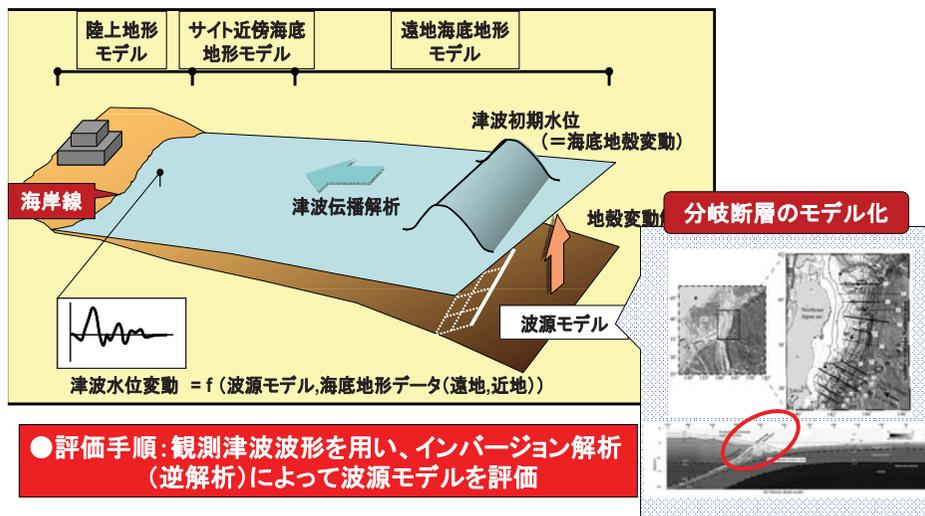
- ・4原子力サイト: 女川、福島第一、福島第二、東海第二
- ・1つの波源モデルによる再現のメリット

⇒原子力サイト間の津波高の相違の比較・分析を、共通の条件で可能

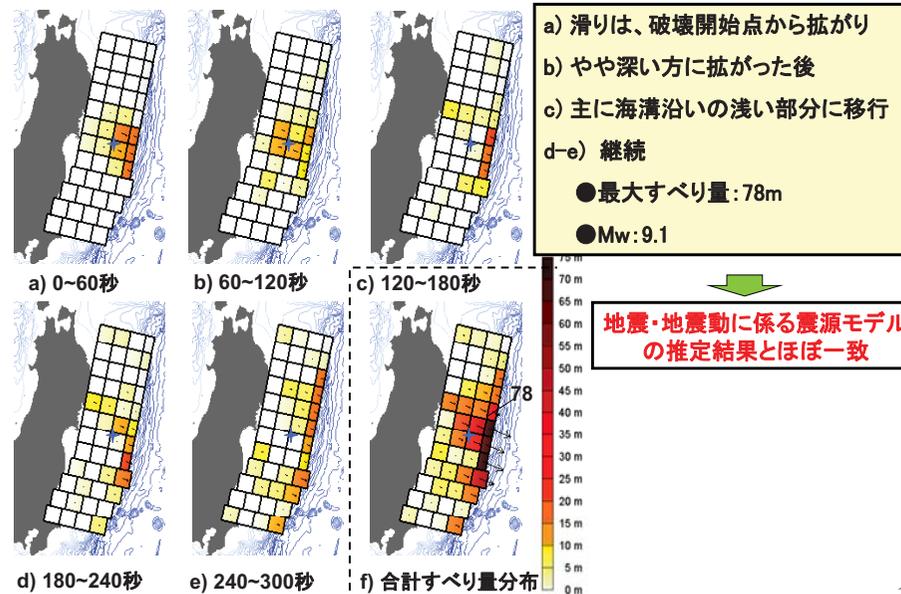
9

津波水位の評価手順と波源モデル(2/4)

■津波水位の評価手順と波源モデル



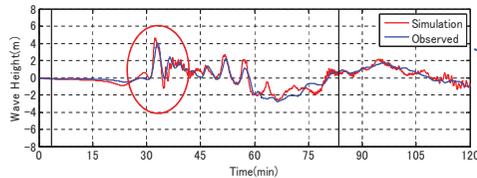
■波源モデルにおける破壊時間の違い毎のすべり量分布



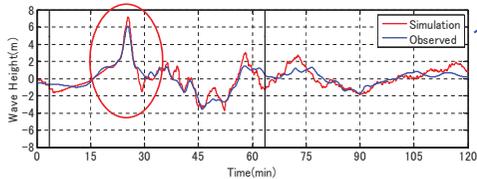
11

■ 原子力サイト以外の観測津波波形の再現

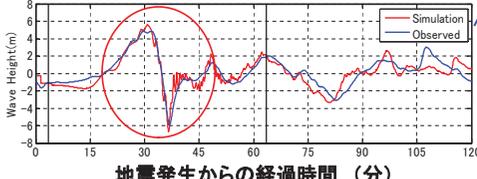
岩手北部沖
G807



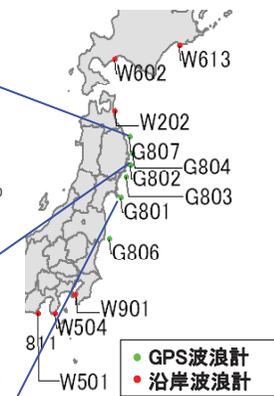
岩手南部沖
G802



宮城中部沖
G801



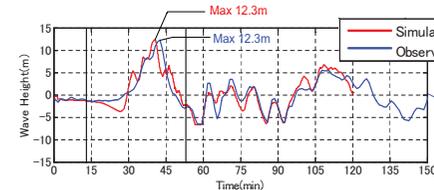
地震発生からの経過時間 (分)



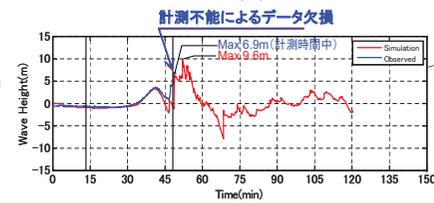
観測津波波形の特徴の第一波の波形形状を良く再現

■ 原子力発電所における観測津波波形の再現

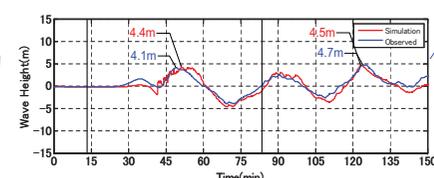
女川原子力発電所



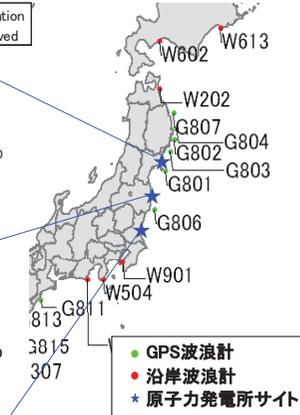
福島第一原子力発電所



東海第二原子力発電所



地震発生からの経過時間 (分)

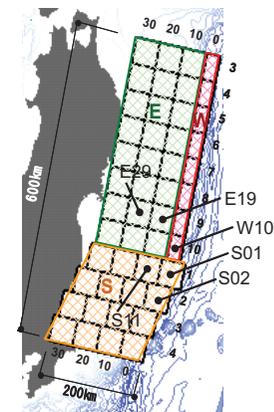
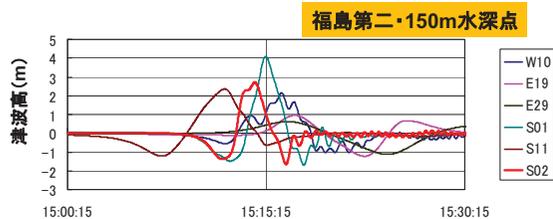
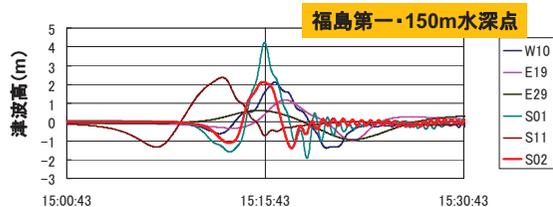


各原子力発電所の観測津波波形の形状を良く再現

*福島第二では計測不能につき観測記録がない。

福島第一と福島第二の津波高の相違に関する分析(4/4)

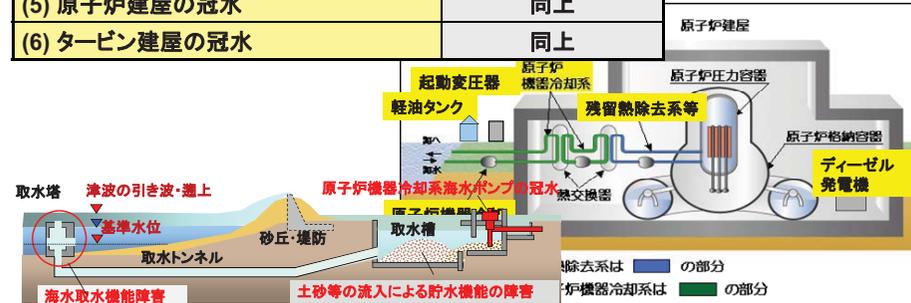
■ 影響の大きな小断層の解析波形



○福島第一と第二の沖合150m水深点の最大水位：小断層S01のピークが支配
○両者の最大水位の差(1.5m)：小断層S01とS02、W10の波形の重なるタイミングによる
⇒破壊時間の違いの影響が大きく、この要因の反映が必須

(2) 津波PSAの有用性の確認

津波PSAでの同定事故シナリオ	福島NPPでの事故
(1) 海水給水系の機能喪失	左記発生
(2) 電源の機能喪失	同上
(3) 費用用ディーゼル発電機の機能喪失	同上
(4) 開閉所変圧器の機能喪失	同上
(5) 原子炉建屋の冠水	同上
(6) タービン建屋の冠水	同上



○東北地震前の津波PSAの事故シナリオと福島第1の事故は、良く一致
⇒津波PSAの有用性が明らかになった。

IV. 東北地震・津波以降の動向及び課題

(1) 地震本部及び土木学

■地震本部

- 長期評価の新しい考え方を公表(2011年11月25日)
 - ⇒ 3.11地震・津波の教訓を踏まえ、科学的合理性に基づく限界の考え方を明示
 - ⇒ 日本海溝付近での地震の発生位置、規模、発生頻度等について、3.11の知見を踏まえて公表

■土木学会 津波評価部会

- 「確率論的津波ハザード解析の方法(案)」を、「確率論的津波ハザード解析の方法」として公表(2011年9月)
 - ⇒ 案を取り、正式に公表したもの。
 - ⇒ 3.11の知見の反映はなされていない。

(2) 原子力学会津波PRA実施基準における津波ハザード

目次

1. 適用範囲
 2. 引用規格
 3. 用語及び定義、略語
 4. 評価手順
 5. プラント構成・特性及びサイト状況の調査
 6. 事故シナリオの同定
 7. 津波ハザード評価
 8. 建屋・機器フラジリティ評価
 9. 事故シーケンス評価
 10. 文書化
- 附属書A~V
解説

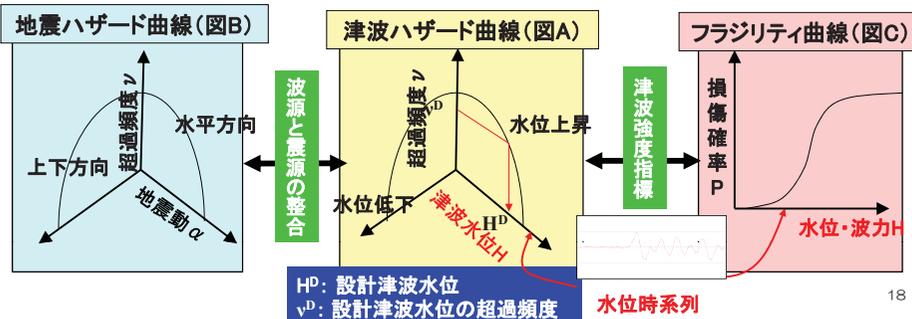


- 詳細内容：・標準委員会セッション：3月21日(水)：13:00~14:30、G会場
・「津波を起因とした確率論的リスク評価実施基準」
- 課題：基準内津波ハザード評価手法に2011地震・津波の知見の反映がなされていない。今後の検討中。

(3) JNES津波ハザード評価結果に基づく設計津波水位作成レシピ

■レシピ作成の基本方針

- A) 2011東北地震津波の知見(すべり分布の空間的・時間的不均一性等)を反映。
- B) 設計津波水位は、不確実さを考慮した確率論的津波ハザード評価(図A:津波水位Hと超過頻度 ν)に基づき決定
- C) 津波ハザードでの波源モデルと地震ハザード(図B)での震源モデルとの整合を考慮
- D) 津波ハザードでの津波水位は、津波強度指標の代表値。
津波強度指標は機器・構造物フラジリティ評価(図C)から決定(例えば、波形や波力等)
- E) 対象地震は、プレート間地震とプレート内地震に大別。前者の地震に伴う津波から着手



設計津波水位作成レシピ(案)

■対象津波波源

- 近地津波
 - (1) プレート間地震
 - a) 津波地震
 - b) 深部地震
 - (2) 海洋プレート内地震 (海溝軸外側での地震)
 - (3) 海域活断層での地殻内地震
 - (4) その他(海底地滑り、火山、斜面崩壊等)
- 遠地津波(例:チリ津波)

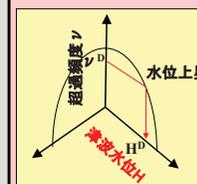
■プレート間地震の対象波源域(右図)

- ① 千島海溝~日本海溝
- ② 南海トラフ
- ③ 日本海東縁部
- ④ 琉球海溝
- ⑤ 伊豆・小笠原海溝

■評価項目

- ◆津波波形・水位と発生頻度
 - 津波波形・水位(H) (波源モデル)
 - (1) 巨視的パラメータ
 - (2) 微視的パラメータ
 - (3) 破壊に係る時間パラメータ
 - 発生頻度(ν)
 - (1) ポアソン過程
 - (2) 更新過程(非ポアソン)
- ◆不確実さ
 - (1) 現象論的不確実さ
 - (2) 認識論的不確実さ (ロジックツリー)

■設計津波水位の判断基準

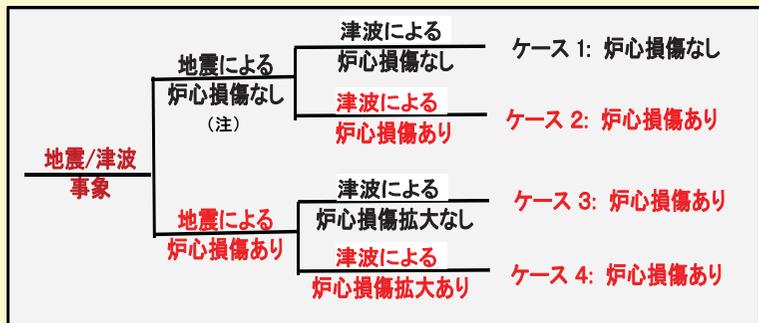


(4)地震・津波の重量を考慮した地震-津波PSA手法の開発

- 地震及び津波事象に対するPSA手法は、両事象の従属性を考慮せずに、互いに独立に地震及び津波PSA手法として整備された。
- 東北地震・津波による福島NPP事故の教訓から、地震及び津波の重量を考慮した地震-津波PSA手法の開発が必須と考える。

事故シナリオの設定 (1/4)

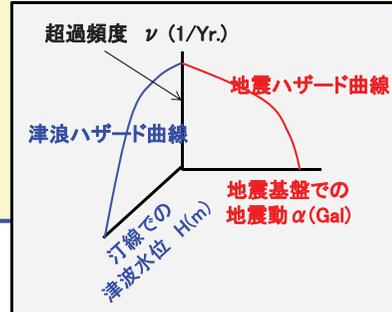
■ 事故シナリオの設定では、次の4ケースのシナリオを対象とする。



(注)一部の安全機能を有する構造物、系統及び機器の安全機能喪失或いは性能劣化を含む。

ハザード評価 (2/4)

- ハザード評価: 複数炉を対象とする。
- 地震ハザード: 地震基盤における地震動の大きさとその超過頻度の関係を表す曲線として求める(下図)。
- 津波ハザード: 汀線における津波の水位とその超過頻度との関係を表す曲線として求める(下図)。
- 両者の超過頻度: 同等であるが、地震動の大きさと津波の水位の相関関係が明確でないので、相関関係の明確化が重要となる。
- 震源モデルと波源モデルの整合も重要。
- 複数炉の地震動の相関: 考慮する。
- 津波水位の相関の考慮: 広域の波源を対象とし、1つのモデルで評価するので、必要ない。



フラジリティ評価 (3/4)

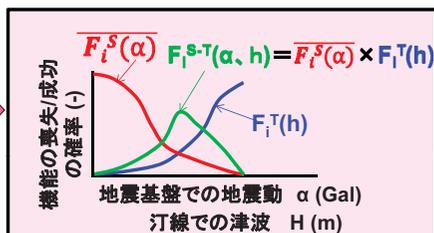
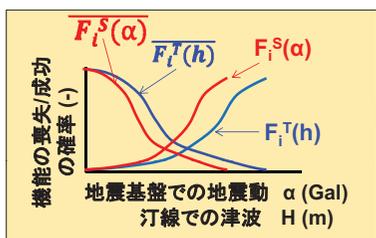
■ フラジリティ評価では、複数炉の構造物・危機を対象として、これらの損傷の相関も考慮する。

■ ケース2の地震・津波の重量を考慮の場合の任意機器iが、地震動に対して、機能が確保されるが、津波水位によって機能が喪失する条件付きの機能喪失確率(フラジリティ) $F_i^{S-T}(\alpha, h)$ は、次式で表される。

$$F_i^{S-T}(\alpha, h) = \overline{F_i^S(\alpha)} \times F_i^T(h) = (1 - F_i^S(\alpha)) \times F_i^T(h)$$

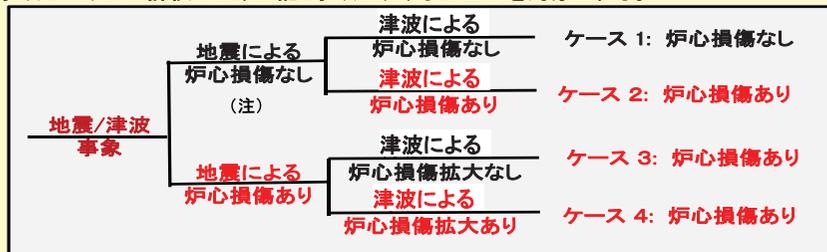
$F_i^S(\alpha)$ 及び $F_i^T(h)$: 機器iの地震動 α 、津波水位Hに対する機能喪失確率

$\overline{F_i^S(\alpha)}$: 機器iの地震動 α に対する機能成功確率



事故シーケンス評価 (4/4)

■ 事故シーケンス評価では、上記4事故シナリオの全てを対象とする。



■ 地震及び津波の重量を考慮した場合の炉心損傷頻度(CDF)は、地震によるCDF(ケース3, 4)に津波によるCDF(ケース2)の分が増加することになる。

- ただし、
- ・ケース2は、地震により一部の安全機能を有する構造物、系統及び機器の安全機能喪失或いは性能劣化、津波により炉心損傷するシナリオを含む。
- ・ケース3は、津波により一部の構造物、系統及び機器が被害を受けることがある。
- ・ケース4は、地震により炉心損傷が発生したが津波により拡大している。
- 地震/津波により炉心損傷した場合はほとんど格納容器機能喪失に至るが、事故シナリオによりソースターム(放射性物質の種類、化学形態、放出量、放出時期など)が大きく相違するので、レベル2PSAではケース2~4での事故シーケンスの詳細な分類、設定が重要となる。従って、レベル1PSAにおける事故シーケンスの詳細な分析が重要となる。

V. まとめと今後の活動の方向性

■まとめ

- (1) 残余のリスクの評価では、津波ハザードは必須要件
- (2) 残余のリスクは認知すれど、津波ハザード評価が困難ならば、リスクの程度が分からず（安全確保の程度が分からず）、説明性・抗弁性が著しく欠如

■今後の活動の方向性

- (3) 耐津波設計の確立、実効的アクシデントマネジメント（AM）の実施、津波PSAによるAM効果の確認・評価
- (4) 津波ハザード評価手法を、2011地震・津波の知見を反映し、一層高度化を図る
- (5) 地震と津波事象の重畳を考慮した地震-津波PSA手法を高度化

日本原子力学会 2012春の年会
『原子力安全』は如何にあるべきか、
その基本的考え方と今後の活動について」
2012年3月20日、福井大学にて

地震工学会におけるロードマップの検討 －新潟県中越沖地震から東日本大震災へ－

亀田弘行
日本地震工学会「原子力発電所の
地震安全問題に関する調査委員会」委員長
京都大学名誉教授
(独) 原子力安全基盤機構 技術顧問

Slide 1

内容

1. 委員会の主旨
2. 発足の経緯
3. 活動経過
4. 報告書の作成
5. 委員会の成果
 - (1) ロードマップ表
 - (2) 各項目に関する解説
 - (3) 東日本大震災に関する検証
6. 委員会を終えて(今後へ向けて)
 - (1) 多分野の連携の重要性
 - (2) 東日本大震災の教訓に関する私見
7. おわりに

Slide 2

1. 委員会の主旨

- * 日本地震工学会 原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会 (JAEE委員会)
(2008年10月～2012年3月)
- 目的: 原子力発電所の地震安全に係る地震工学的研究課題を網羅的に抽出・体系化して地震安全研究ロードマップをとりまとめること
- * 連携: 日本原子力学会 原子力発電所地震安全特別専門委員会 (AESJ委員会)
(2007年12月～2012年3月)
- JAEE委員会→AESJ委員会: 地震工学の観点から貢献

Slide 3

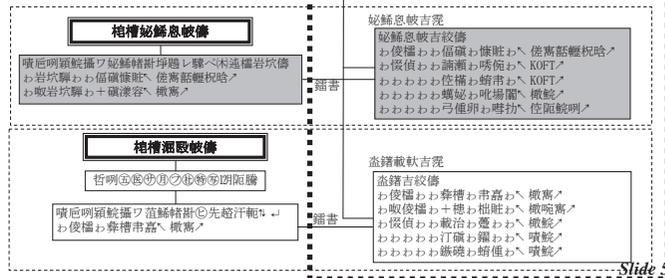
2. 委員会発足の経緯

- 動機: 2007年7月16日新潟県中越沖地震における東京電力柏崎刈羽原子力発電所の経験:
- 設計値地震動をはるかに上回る地震動に曝された中で各原子炉の冷温停止が達成された
 - 設計値を超える地震動下でのプラントの安全性を定量的に評価する課題を提起
 - 地震工学的視点: リスク課題、耐震裕度、ハザードの理解



Slide 4

- AESJ委員会発足
 - 地震工学会に協力要請
- 地震工学会で検討
 - 原子力学会の要請を了承
 - ／地震工学の横断的な学会として活動することの意義確認
 - 独自にJAEE委員会を構成する
 - AESJ委員会と連携し活動



委員の構成

- 建築学, 土木工学, 機械工学, 原子力工学, 地震学などの分野の研究者・技術者28名の委員と2名のオブザーバー(2011年10月現在/途中で異動あり)
- 専門は, 地震工学, リスク評価, 耐震設計, システム安全, プラント設計, 強震地震学, 免震構造, 機械力学, 地盤工学, 建築構造など
- コアメンバー + 応募メンバー

報告書への貢献

- 委員全員: JAEE委員会の討議/原稿執筆
- 幹事会メンバー: 委員会の内容を充実させる推進力
- 執筆協力: 委員外から(一部)
- オブザーバー参加(東京電力、中部電力、関西電力): 現場情報
- AESJ委員会のリーダー&幹事との分野横断的な討議

Slide 6

3. 委員会の活動経過

JAEE委員会の設置期間:

- 当初は2008年10月～2011年3月(2011年2月末には最終報告書の原稿ほぼ完成)
- 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)が発生
- 被災地内に4つの原子力発電所(東京電力福島第一および福島第二、東北電力女川、日本原子力発電東海第二)が立地。福島第一原発において過酷事故、他の3原発では冷温停止達成
- JAEE委員会の対応を検討→東日本大震災の影響をふまえた報告書に再構築する方針を決定
- 期間を1年延長(2011年3月まで)

Slide 7

4. 報告書の作成

(報告書の再構築における基本認識)

- 委員会報告書原稿の意義: JAEE委員会の動機となった新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所の経験は重要な意味を持つ。
 - 強震地震動に対する原子力発電所の安全に関する研究ロードマップとして、東日本大震災前に執筆された報告書原稿は十分有意義。→そのまま使う
- 委員会討議で抜けていた事項: 東日本大震災に照らし、委員会討議で欠けていた2つの重要事項
 - 津波への取り組みの不十分さと、ハザードの理解において連動型巨大地震の日本海溝沿いでの発生を想定していなかったこと
 - この点について報告書を補強の要。→新たに執筆

Slide 8

+報告書の構成

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
(日本地震工学会 原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会 報告書)
構成(全380ページ)

- ・序
- ・第Ⅰ部 研究ロードマップの検討結果
(第Ⅰ部本文:182ページ)／2011年3月
- ・第Ⅱ部 東日本大震災の発生をふまえた補遺
(第Ⅱ部本文:88ページ)／2011年10月
- ・本報告書の活用に向けて
- ・むすび
- ・付録
 - 付録1 委員会名簿
 - 付録2 委員会開催及び関連活動記録
 - 付録3 議事録

Slide 9



Slide 10

報告会
主催:(社)日本地震工学会
後援:(社)日本原子力学会
日時:平成24年2月21日(金)
9:30~17:00
会場:建築会館ホール

報告書購入
・地震工学会にて販売
・原子力学会にて斡旋(原子力学会員はこちらから)
・価格:地震工学会員および原子力学会員:¥8,000
その他:¥10,000

5. 委員会の成果(1):ロードマップ表

委員会としての統合的結論:委員の全員参加により
練り上げた/各委員が共同責任を負う
原子力発電所の地震安全に関する地震工学研究ロードマップ表
(a) 第Ⅰ部から得られたロードマップ表

基本事項	大項目	目次(4)	ロードマップへの反映事項	目次(5)
リスク	研究・実践シナリオ 津波に対する構造的リスク概念 地震学的地震工学的概念	(1) 1)	地震・津波シナリオ、リスク概念の整理	(1)
		(2) 2)	「大規模地震工学」津波工学・津波工学・津波工学の発展による統合的リスク概念の整理	(2)
新設・耐震 補強	研究を促した事例 耐震性能に関する「シフトアップ」	(1) 1)	防災建設の工学的特徴	(3)
		(2) 2)	プランの未実用化のための耐震工学の体系的強化(防、避、減、消)	(4)
ハザードの理解	---	---	新たな必要のハザード評価技術	(5)
		---	ハザード評価における観測資料と計算機科学的検証	(6)
新しい概念	従来型大震災に対する概念 オフ・ピーク・モード概念	(4) 1)	---	---
		(4) 2)	---	---

(b) 第Ⅱ部から得られたロードマップ表(拡充)

基本事項	大項目	目次(4)	ロードマップへの反映事項	目次(5)
リスク	研究・実践シナリオ 津波に対する構造的リスク概念 地震学的地震工学的概念	(1) 1)	地震・津波シナリオ、リスク概念の整理	(1)
		(2) 2)	「大規模地震工学」津波工学・津波工学・津波工学の発展による統合的リスク概念の整理	(2)
新設・耐震 補強	研究を促した事例 耐震性能に関する「シフトアップ」	(1) 1)	防災建設の工学的特徴	(3)
		(2) 2)	プランの未実用化のための耐震工学の体系的強化(防、避、減、消)	(4)
ハザードの理解	---	---	新たな必要のハザード評価技術	(5)
		---	ハザード評価における観測資料と計算機科学的検証	(6)
新しい概念	従来型大震災に対する概念 オフ・ピーク・モード概念	(4) 1)	---	---
		(4) 2)	---	---

(ロードマップ作成の基本方針)

- * 委員の提言を重視、その意義を十分な討議で検証
- * 総花的でなく、重要項目を落とさぬことに集中
- * 総合化課題と個別技術課題のバランスを重視

Slide 11

原子力発電所の地震安全に関する地震工学研究ロードマップ表(第Ⅰ部-第Ⅱ部統合) (a) 第Ⅰ部から得られたロードマップ表

基本事項	大項目	目次(4)	ロードマップへの反映事項	目次(5)
リスク	研究・実践シナリオ 津波に対する構造的リスク概念 地震学的地震工学的概念	(1) 1)	地震・津波シナリオ、リスク概念の整理	(1)
		(2) 2)	「大規模地震工学」津波工学・津波工学・津波工学の発展による統合的リスク概念の整理	(2)
新設・耐震 補強	研究を促した事例 耐震性能に関する「シフトアップ」	(1) 1)	防災建設の工学的特徴	(3)
		(2) 2)	プランの未実用化のための耐震工学の体系的強化(防、避、減、消)	(4)
ハザードの理解	---	---	新たな必要のハザード評価技術	(5)
		---	ハザード評価における観測資料と計算機科学的検証	(6)
新しい概念	従来型大震災に対する概念 オフ・ピーク・モード概念	(4) 1)	---	---
		(4) 2)	---	---

(b) 第Ⅱ部から得られたロードマップ表(拡充)

基本事項	大項目	目次(4)	ロードマップへの反映事項	目次(5)
リスク	研究・実践シナリオ 津波に対する構造的リスク概念 地震学的地震工学的概念	(1) 1)	地震・津波シナリオ、リスク概念の整理	(1)
		(2) 2)	「大規模地震工学」津波工学・津波工学・津波工学の発展による統合的リスク概念の整理	(2)
新設・耐震 補強	研究を促した事例 耐震性能に関する「シフトアップ」	(1) 1)	防災建設の工学的特徴	(3)
		(2) 2)	プランの未実用化のための耐震工学の体系的強化(防、避、減、消)	(4)
ハザードの理解	---	---	新たな必要のハザード評価技術	(5)
		---	ハザード評価における観測資料と計算機科学的検証	(6)
新しい概念	従来型大震災に対する概念 オフ・ピーク・モード概念	(4) 1)	---	---
		(4) 2)	---	---

Slide 12

委員会の成果(2):各項目に関する解説

ロードマップ表の各項目に関する解説記事:執筆担当者が比較的自由に記述/末尾に執筆者名を明記/全体構成についての共通理解があることを前提に、各委員の個性を表現/①地震工学的意義, ②原子力施設における位置づけ, ③研究の現状, ④課題(破るべき壁)をコンパクトに記述

Slide 13

委員会の成果(3):東日本大震災に関する検証

(第II部作成の方針)

- * 幹事会討議を中心
- * 枠組み構成の後、全委員に執筆を募集
- * 幹事の分担執筆および委員からの執筆貢献

・討議の流れ:リスク論に基づく地震・津波安全策と、現場主義と「科学的想像力」を兼ね備える技術的洞察力の重要性を認識



6. JAEE委員会を終えて(今後へ向けて)

(1) 多分野の連携の重要性—名目的でない深く真剣な討議/原子力安全分野~地震工学分野

- 安全分科会との討議(JAEE: 亀田、高田、中村英、山崎、AESJ: 成宮、渡邊、宮田)/リスク論、深層防護、設計と評価、原子力システム工学と地震工学の溝の解消、etc./AESJ委員会報告書—参考資料4(議論の記録)
- 地震工学分科会、JAEE委員会幹事会での分野横断的討議
- JAEE委員会報告書第II部/報告会の分野横断的内容
- 東日本大震災1周年国際シンポジウムでキーノート、原子力セッションを共同で組織(JAEE: 亀田、高田、蛭沢、AESJ: 宮野、中村隆)

Slide 15

(2) 東日本大震災の教訓に関する私見

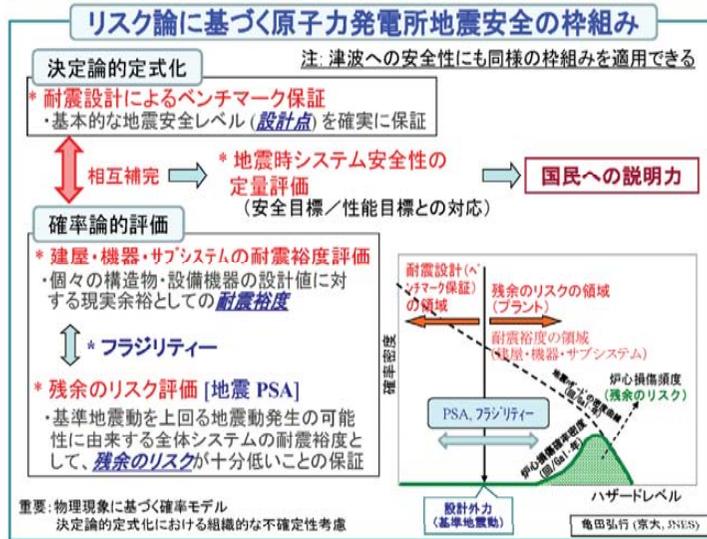
(地震工学会誌、東日本大震災特集号、2011.10)

(福島事故の再来防止に不可欠/もの、仕組み、知恵)

- (1) リスク概念の徹底:「設計外外力(beyond-design hazard)」への防護の欠如が1F事故の主たる要因/リスク論に基づく意思決定の仕組みが不可欠/技術ガバナンスの確立を!/工学の役割:リスク~コスト~技術オプションの提示(安全 & BCM)
- (2) 「科学的想像力」の発揮: 既往最大に頼ることの落とし穴/再現期間が非常に長い現象に対して、限定された期間のデータに無くても、十分な科学的根拠があればリスクモデルに組み入れるべき
- (3) 行動の迅速性: 自然は待ってくれない。東海第二原発で海水ポンプエリアの側壁の嵩上げ(7m)工事がほぼ完了していたことが津波を部分的浸水に食い止めたことは銘記されるべき

Slide 16

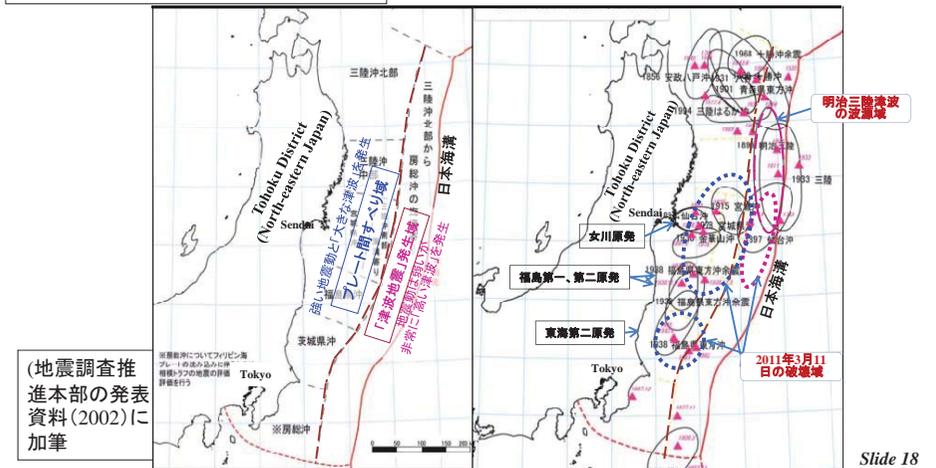
* 教訓 (1) +リスク論に基づく意思決定



+安全確保の工学的枠組(耐震指針のもとで実現されるべき)

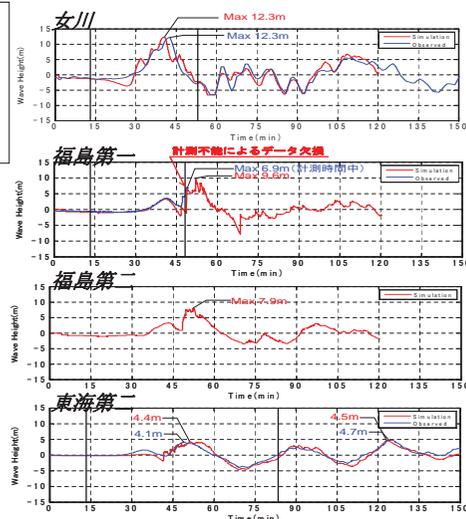
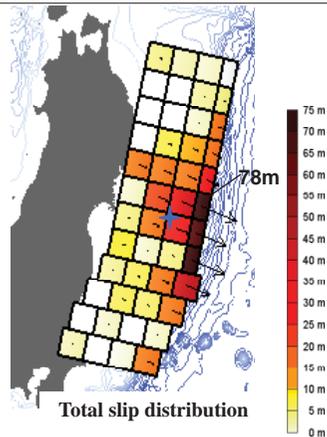
* 教訓 (2)

「科学的想像力」
= 既往最大依存からの脱却
= 日本海溝沿いのどこでも
「津波地震」は起こりうる



* 原発サイトにおける津波シミュレーション (JNES, 2011.10) 単一の波源モデルによる原発サイトへのキャリブレーション

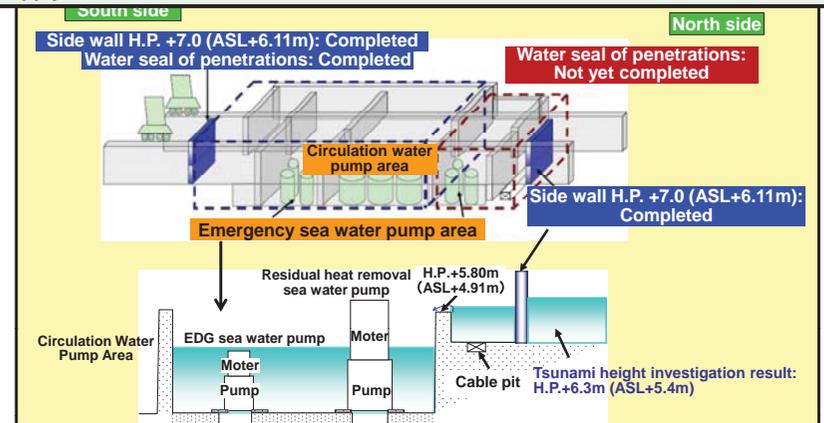
- * Inversion from tsunami records to generate slips and rupture initiation times at each small segment
 - * Slip propagation and effects of time lags in tsunami generation from small segments were incorporated
 - * Max. slip = 78m, Mw = 9.1
- Note: Consistency with geodetic and ground motion (T=10s) based models have been confirmed.



検潮記録との比較
(非線形長波モデル)

* 教訓 (3) * 行動の迅速性

- The tsunami flooded the north emergency seawater pump area in the seawater pump room through the small holes.
- ⇒ One of three seawater pumps for EDGs was submerged, and one of three EDGs stopped.
- ⇒ The other two EDGs were able to operate, successfully ensuring emergency power supply.



Tokai Dai-ni plant where inundation was slight and light enough was able to avoid total loss of the terminal heat sinks.

おわりに

- 原子力発電所の新規プラント建設は不透明
- 日本経済が疲弊を続ける現状
- エネルギー政策が再検討される中で、原子力発電の位置づけが変化／どの方向を社会が選択するにせよ……
- 技術の錬磨をゆるがせにはならない＝総合技術として

今後の学会の取り組みへの要請

- 原子力の安全に関する中心的役割を担うべき＝原子力学会
- 地震安全の課題に対して原子力学会のみでは手薄なことは明らか
- 地震工学に係る横断的学会としての地震工学会の役割は重要
- 分野間の隙間を埋める必要(自然は隙間(間隙)を突く)
- JAEE委員会とAESJ委員会の連携の教訓
- 津波、斜面分野では土木学会の原子力土木委員会の活動
- 学会の閉鎖性(しがらみ)を超える分野間の連携が緊要
(例:原子力安全のための耐津波工学の構築)