

原子力発電所の津波評価技術2016 第2章津波評価の概要

原子力土木委員会 津波評価小委員会 幹事長
松山昌史(電力中央研究所)

1

概要

- ▶ 原子力土木委員会及び津波評価小委員会
- ▶ 改定の目的, 経緯, スタンス
- ▶ 本書全体の構成
- ▶ 第2章の概要

2

原子力土木委員会

- ▶ 原子力利用についての土木技術に関する問題の調査研究を行い, 学術, 技術の進展に寄与することを目的として1970年に設立
- ▶ 現在5つの小委員会が活動中
 - ▶ 断層活動性評価の高度化小委員会
 - ▶ 地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会
 - ▶ 津波評価小委員会
 - ▶ 地盤安定解析高度化小委員会
 - ▶ 断層変位評価小委員会

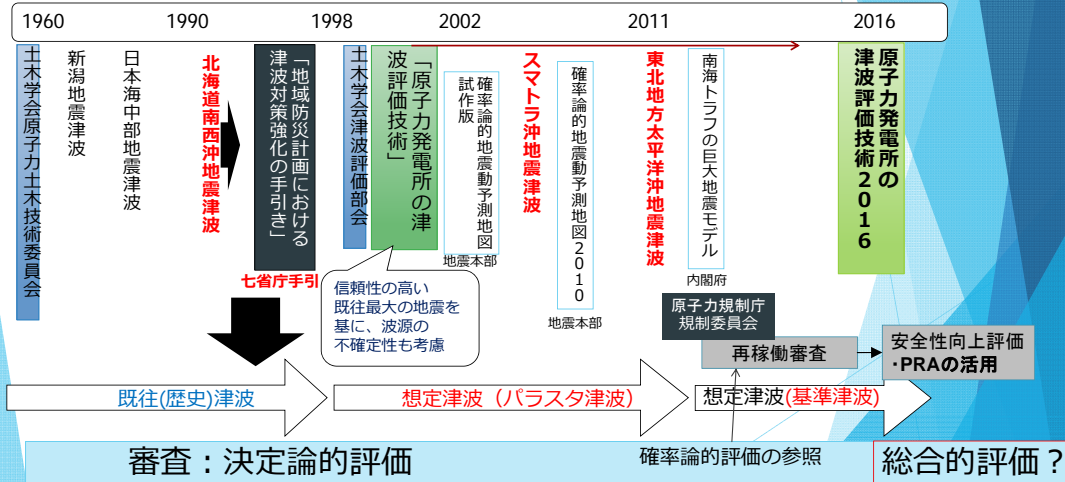
3

原子力土木委員会 現委員長: 丸山久一名誉教授(長岡技大)

年	出版物
1985.8	原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法
1992.9	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル
1996.3	原子力発電所の立地多様化技術
1999.3	原子力発電所の立地多様化技術 (追補版)
2002.2	原子力発電所の津波評価技術
2002.5	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針
2005.6	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針[改訂版]
2008.7	原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン
2012.10	原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン2012
2016.9	原子力発電所の津波評価技術2016

4

津波評価の経緯



5

津波評価小委員会の活動

第I期(H11~12年度)
⇒「原子力発電所の津波評価技術」を刊行(2002)

第II期(H15~H17年度), 第III期(H18~H20年度)
・確率論的津波ハザード解析手法
・砂移動評価手法
・分散性と砕波を考慮した数値モデル
・津波による威力評価手法の検討
⇒委員会報告として土木学会論文集に投稿

第IV期(H21~23年度)
・最新の知見、波力・砂移動・確率論的津波ハザード解析の体系化
⇒「原子力発電所の津波評価技術」改訂版・延期
→ 東北地方太平洋沖地震津波に関する課題抽出

第V期(H24~27年度上期), 第VI期(H27下期~29年度)
⇒「原子力発電所の津波評価技術2016」策定
断層運動以外の要因による津波評価手法

原子力土木委員会ウェブサイトで公開

原子力発電所の津波評価技術(2002)

上記英語版公開(2006)
Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japan
NUREG/CR-6966(2008)に引用

津波評価手法の高精度化研究(2008)土木学会論文集B
: 確率論的評価, 分散性と砕波モデル

「確率論的津波ハザード解析の方法」公開(2011)

原子力発電所の津波評価技術2016

6

改訂版の趣旨

東北地方太平洋沖地震等の2002年以降の新たな知見

- 津波の想定に関連する要素技術を取りまとめる。
 - 他学協会等の安全性向上の考え方に従い、原子力発電所の安全性評価のための津波評価を行う際の最新の知見・要素技術を織込んだ**技術参考書**
- 敷地浸水も考慮し、波力等に関する各種評価手法についても取りまとめる。
 - 設備に対する津波の作用(浸水深や波力等)評価に有用な要素技術を記述
 - 原子力発電所全体の安全性を検討するには広範囲の専門家の知見が必要

7

改訂版作成の工程

- 本編
 - 2015年土木学会全国大会研究討論会
 - 改訂版の方針と概要
 - 原子力土木委員会・津波評価小委員会の意見募集
 - 意見公募**: 2015年11月 → 対応提示: 2016年4月
- 付属編・レビュー編
 - 原子力土木委員会・津波評価小委員会の意見募集

一般向けの説明と意見募集: 2回
関係識者への内容確認

8

意見公募：意見概要

意見概要	
①	津波による洗掘事例・表面被覆の有効事例の追加など
②	確率論の位置付け・深層防護や危機耐性と被害との関係の明確化など
③	I A E A 深層防護の文献の追加、ロジックツリーの必要性の明確化など
④	ロジックツリーの位置付けの明確化など
⑤	津波による波圧の特徴・波力や波圧の考え方の追加など
⑥	確率論の位置付け・適用範囲の明確化、国の基準類との整合など
⑦	固有地震説の否定、海底地すべりの文献の追加、万寿3年の津波の基準化、地震調査研究推進本部の扱い、最新研究成果の反映など

▶ 本編・付属編の修正に反映

9

本書の利用にあたって

- ▶ 本書は、本編、付属編およびレビュー編によって構成されており、これらは原子力発電所において想定津波を設定するための**評価の考え方**、活用可能な**要素技術**および**それらの適用事例**をとりまとめたものである。
- ▶ 本書で示したこれらの評価の考え方あるいは適用事例は、社会において津波防災・減災等を目的として想定される様々な津波の**普遍的な上限規模を示すものではなく**、同時に、**想定津波として最低限必要な水準を示すものでもない**。
- ▶ 土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会では、津波の想定にあたって必要となる諸条件について、設計対象や用途等に応じ、関連知見に基づいて個別に設定されるべきものであると考える。

10

構成

▶ 趣旨

▶ 津波の想定に関連する**要素技術**を取りまとめた**技術参考書**

本編
【目次案】
第1章 まえがき
第2章 津波評価の概要
第3章 津波評価に必要な調査
第4章 決定論的津波評価手法
第5章 確率論的津波評価手法
第6章 数値計算手法

付属編
・必要なデータ
・具体的な手法
・例示計算

レビュー編
・今後に活用
・研究進展確認

11

本編目次

第1章 まえがき

第2章 津波評価の概要

- 2.1 東北地方太平洋沖地震の教訓
- 2.2 本書の背景と目的
- 2.3 評価対象となる波源
- 2.4 評価対象とする津波の作用
- 2.5 本書の構成
- 2.6 用語の定義

第3章 津波評価に必要な調査

- 3.1 既往津波に関する調査
- 3.2 津波の伝播経路に関する調査
- 3.3 津波の波源モデル設定に関する調査
- 3.4 津波による土砂移動・堆積に関する調査
- 3.5 津波漂流物に関する調査

第4章 決定論的津波評価手法

- 4.1 基本事項
- 4.2 検討用津波の作成
- 4.3 想定津波の選定

第5章 確率論的津波評価手法

- 5.1 確率論的津波評価手法の概要
- 5.2 確率論的津波ハザード解析
- 5.3 確率論的ハザード解析の手順

第6章 数値計算手法

- 6.1 津波伝播・遡上計算
- 6.2 海底での地すべり、斜面崩壊、山体崩壊等に起因する津波の計算
- 6.3 取放水設備の水位変動計算
- 6.4 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの策定
- 6.5 波力評価
- 6.6 砂移動計算
- 6.7 漂流物評価

改訂版で追加

12

付属編目次

- ・必要なデータ
- ・具体的な手法
- ・例示計算

- | | |
|--|--|
| 第1章 津波に対する安全性確保の考え方現状
学協会等から提案されている安全性確保の考え方を紹介 | 第5章 確率論的評価手法に関する知見
津波水位のばらつきや 専門家活用の考え方等 |
| 第2章 津波波源設定に関する検討
地震学的知見, 地球物理学的知見等を海域ごとに整理 | 第6章 決定論的評価手法の適用事例 |
| 第3章 津波波源の不確実性が水位に及ぼす影響検討
津波波源に関する不確実性の考慮に関する計算事例 | 第7章 確率論的評価手法の適用事例 |
| 第4章 津波伝播計算に関する検討
津波水位等の数値計算手法や事例(取放水設備内の水位計算) | 第8章 波力評価, 砂移動計算, 漂流物衝突力に関する検討 |

本書の決定論の適用事例：実際の原子力発電所を想定したものではない。実際の実務作業を構成する各要素技術単体の手法と結果の特徴の例示

13

第2章 津波評価の概要

1. 東北地方太平洋沖地震の教訓
2. 本書の背景と目的
3. 評価対象となる波源
4. 評価対象とする津波の作用
5. 本書の構成
6. 用語の定義

14

東北地方太平洋沖地震の教訓

本編 2.1 P.5-6

付属編 1.1

▶ 福島第一原子力発電所の事故の主要因

- ▶ 津波により敷地内に遡上した海水
- ▶ 原子力建屋に侵入し, 全電源喪失や安全系の機能喪失

▶ 学会の提言

土木学会 危機耐性という性能の維持

日本原子力学会 「自然災害への対応不備」, 「過酷事故対策への不足」, 「緊急時対応の混乱」

日本機械学会 「大規模システムのシステム・インテグレーション」, 「デザインベースの考え方, “Beyond”への対応」, 「リスクコミュニケーションの課題」

技術者(研究者)はPRAなどのリスクマネジメントを必須知識に

15

1. 東北地方太平洋沖地震の教訓

本編 2.1 P.5-6

- A) 設計基準を超える津波に対する備えが不十分
- B) 設計基準となる津波水位の高さが不十分

- i. 設計基準を超える津波に対する備え
- ii. 設計基準となる津波水位に不確かさを適切に考慮

▶ 新規制基準とも調和的

1. 設計基準外の事象に対しても重大事故に至らないための対策の強化
2. 安全機能が一斉に喪失しないように大規模な自然災害に対する対策の強化

16

本書の背景と目的

安全性向上の一つの考え方

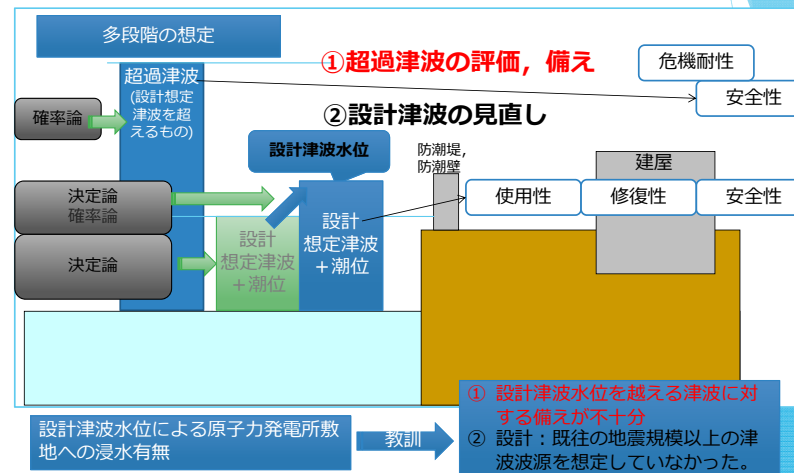
▶ 深層防護 (IAEA) と津波対策

深層防護レベル	目的	津波に対する対応方針	津波対策
プラントの当初設計	レベル1	② 設計基準の津波水位に不確かさを適切に考慮	敷地高, 防潮堤等
	レベル2		
	レベル3		
設計基準外	レベル4	① 設計基準を超える津波に対する備え	建屋浸水防止, 排水機能, 代替機器等
緊急時計画	レベル5		住民避難

目的 安全性向上の考え方を実践するために必要な技術を取りまとめる。

津波に関する設計基準の設計や照査, 機器影響と関連技術

今後の津波防護の考え方の例(案)



評価対象となる波源

- ▶ 地震
 - ✓ プレート境界付近で発生する地震
 - ✓ 陸域の浅い地震
- ▶ 地震以外
 - ✓ 海底地すべり
 - ✓ 斜面崩壊
 - ✓ 火山現象 (山体崩壊, カルデラ陥没等)
- ▶ 発生要因の組み合わせ
 - ✓ 因果関係を有する波源の組み合わせ

改訂版で追加

評価対象とする津波の作用

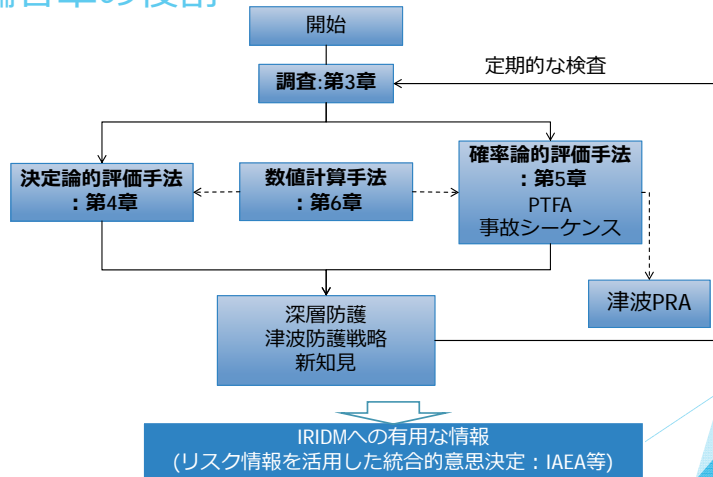
2002年度版では敷地近傍の水位評価に大きな比重

- ▶ 水位上昇による浸水, 被水, 没水
- ▶ 取水に影響を及ぼす水位下降
- ▶ 津波による流体力 (圧力, 波力, 浮力等)
- ▶ 砂移動による地形変化 (侵食, 堆積, 洗掘)
- ▶ 漂流物発生と漂流, その衝突

改訂版で追加

本編各章の役割

本編 2.5 P.10-11

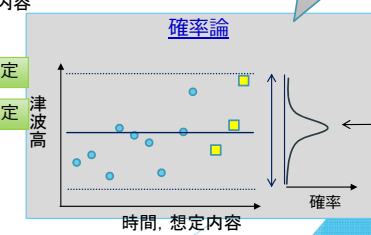
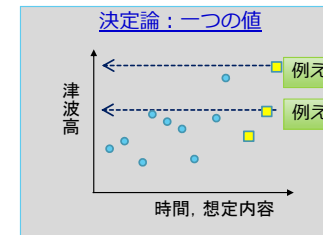
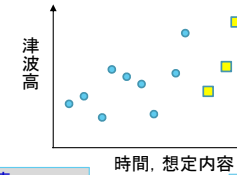


21

決定論と確率論のイメージ

▶ いろんな見方があるので、あくまで一つの例(私見)

● 過去
■ 想定した結果



(*)防波堤の耐津波設計ガイドライン(2013), 国交省

港湾における津波対策の基本的考え方(*)
・最大クラスの津波
・発生頻度の高い津波
確率的な考慮

22

決定論と確率論

本編 2.5 P.10

▶ 原子力発電所に対して、必要な不確定性を考慮して

	決定論的手法	確率論的手法
波源	最大級の影響が考えられる一つ選定	一定の影響が考えられる複数選定
津波作用(水位, 波力等)	定量化	発生確率を定量化
活用例	外郭施設的设计, 健全性評価, 他	津波PRA, 他のリスク(地震, 内部溢水等)との比較, 決定論的評価結果の参照, 他
評価コスト	中	高

両者とも重要なリスク情報
統合的意思決定(IRIDM: IAEA)に有用

津波PRA: 津波を起因とした確率論的リスク評価 Probabilistic Risk Assessment
IAEA: 国際原子力機関

23

まとめ

- ▶ 2002年以降の研究成果を含めた技術参考書
 - ▶ 意見公募等による透明性の配慮
- ▶ 今後の原子力発電所の安全性確保の考え方に有用な知見
 - ▶ Beyond designへの対応, 設計津波水位
 - ▶ 決定論, 確率論, その他
- ▶ 新たな評価項目
 - ▶ 断層運動以外の要因による津波
 - ▶ 発電所敷地内に浸水した津波の評価に有用な知見

24