

## 1. 総説

### 1.1 東日本大震災と日本地震工学会「原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会」の設立

#### (1) 委員会発足の経緯

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、東日本大震災と呼ばれる大災害をもたらした。マグチチュード 9.0 は、これまで我が国で観測されたすべての地震を超える規模であり、東北地方から東京首都圏に至る本州の太平洋側に甚大な災害をもたらした。この震災における地震動災害も軽微なものではないが、それを圧倒的に凌駕する規模で、青森県から千葉県までの南北 500km に及ぶ太平洋岸一帯を襲った津波による大災害が発生した。

この地震がもたらしたもう一つの大災害は、東京電力福島第一原子力発電所における炉心溶融に発する過酷事故とそれが周辺地域に及ぼした原子力災害である。被災地内には 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）が立地していたが、そのうち福島第一原発において、地震動下での外部電源喪失とそれに続く津波による非常用電源の機能喪失により、全電源が失われ、これを引き金に炉心溶融含む過酷事故が発生した。一方、他の 3 原発では、冷温停止状態が達成された。この状況下で、日本地震工学会「原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会」（以下適宜、「耐津波工学委員会」と略称）の設立が構想された。

日本地震工学会では、原子力安全に対する地震工学課題を取り上げ、2008 年 10 月～2012 年 3 月に「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：亀田弘行）の活動を行った。同委員会設置の目的は、2007 年 7 月の新潟県中越沖地震が東京電力柏崎刈羽原子力発電所に及ぼした影響に関する検証と地震工学的課題を抽出することであったが、委員会活動の末期に、東日本大震災が発生し、津波を外的要因とする原子力安全の問題がクローズアップされ、震災発生から半年を経た時点におけるこの震災からの教訓を含む最終報告書を取りまとめた<sup>1)</sup>。その中で、当委員会の主題である「耐津波工学」の体系化の課題が提起された。

この状況をふまえて、地震工学、津波工学、原子力安全工学の専門家の間で討議を重ねた結果、2012 年 9 月～2014 年 8 月を活動期間として、日本地震工学会に「原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会」が設置された。

委員会の期間は、当初 2012 年 9 月～2014 年 8 月の 2 年間で予定して発足したが、活動の進展の中で、報告書の内容が当初の構想と比べてより総合的な体系とすることの必要性が認識され、たため、内容の充実のため半年の延長を申請し、その結果、2012 年 9 月～2015 年 3 月の活動期間となった。

#### (2) 多分野間の連携の枠組

本委員会は日本地震工学会に設置されたものであるが、実際には、日本原子力学会との密接な協力のもとに企画・運営されたことを特筆したい。両学会の協力関係は、上記「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」が、日本原子力学会の「原子力発電所地震安全特別専門委員会」<sup>2)</sup>（委員長：大橋弘忠）（2007 年 12 月～2012 年 3 月）の要請に応じて設置されたことに遡る。一部のコアメンバーが両委員会の委員を兼務することにより、地震工学と原子力安全工学にまたがる分野横断的な討議が活発に行われたことは、それまで疎遠な関係にあった両学会の新たな交流の場として意義深いものであった<sup>3)</sup>。

この協力関係は、今回の耐津波工学委員会の設立に活かされた。具体的な形として、委員長と

2名の副委員長に、それぞれ地震工学（亀田）、津波工学（今村）、原子力安全工学（宮野）の専門家を据えて、トロイカ体制のリーダーシップを構築したこと、幹事・委員の構成にこれら3分野の専門家をバランス良く配置したことなどにより、本委員会の目的遂行に必要な体制を整えた（付録1の委員会名簿参照）。実際の運営でも、日本原子力学会から物心両面の協力を得ており、両学会による共同運営の趣を持つ。

福島事故の原因のひとつに、学術分野（研究機関・研究者）における分野横断的視野の欠如を挙げねばならない。これは、大規模な複雑システムである原子力発電所の地震・津波安全を論ずるうえで、「正しい技術を正しく現場に適用する」という、技術ガバナンス<sup>4)</sup>の観点から極めて重要である（コラム\_\_参照）。本委員会の構成と活動は、この課題に最大限に取り組むことを目指したものである。

学会間連携の観点では、土木学会との連携も重要である。土木学会原子力土木委員会津波評価部会（現主査：磯部雅彦）は、これまで津波ハザード評価技術の学術的な中核を担ってきたのであり<sup>5・6)</sup>、本委員会の役割は、その成果を前提に、原子力発電所における個別プラント要素の耐津波技術とプラント全体の対津波システム信頼性評価後術を体系的に示すことにある。この観点から、同津波評価部会の主要メンバーが本委員会の委員として参加しており、またシンポジウムの共同開催などの連携活動を行った。

## 1.2 委員会の目的

東日本大震災における福島第一原子力発電所の過酷事故の主たる原因は、原子力発電所における津波対策の不備にあった。かかる事故を決して再発させないためには、不確定性の高い地震・津波ハザードを前提とするリスク論的意思決定の枠組とそれを着実に実行する技術ガバナンスの確立が不可欠である。これには当然、個々の要素技術が的確に形成されることが前提となる。このように、個別技術とシステム評価技術が的確に融合する技術体系の枠組を構築することを本委員会の目的とし、以下の4項目を実現する総合体系の構築を目標に、活動を行った。

### （1）原子力発電所の津波防御のための工学技術の体系化

津波対策の基礎となる津波学・津波工学の近年の進歩は著しく、津波波源の形成、津波伝播・遡上のシミュレーション、津波が物体や構築物に及ぼす波力の算定などに顕著な成果が挙げられている<sup>2)、3)、4)</sup>。これに対し、構造工学的観点から耐津波設計を行うための工学体系は未整備の状況であり、その構築が急務である、というのが本委員会の動機であり、それは本報告書の中核を占めるものである。

津波による外力作用は、浸水、波力（波圧）、洗掘、浮力、揚力、などの多様な様相を持ち、その対策には防水・耐水・避水による柔軟な方法論が必要となる。特に、動力駆動装置、配電盤、計測制御板などの電器品が無防備な状態にあると、水に接触することが直ちに機能喪失という、いわゆるクリフエッジ効果により、きわめて脆弱性が高くなる。こうした点は、材料の耐力と変形性能（ねばり）により耐震性能を担保する地震動対策と様相が異なる。

このような観点から、原子力発電所の津波に対する安全を確保するための構造工学的体系を「耐津波工学」と規定し、その具体的方法論を明らかにすることを当委員会の第一の目的とする。

我が国で経験する近地津波では、津波の到達前に強震地震動を受けるから、地震動による劣化と津波来襲時の挙動を組合せる検討も必要である。また、地震・津波作用下で原子力発電所に起こりうる事故シナリオと、安全に関わる機器・構築物を落ちなく取りあげ、対策の基本を明らかにすることが求められる。地震動の影響を受けたプラント要素に津波が来襲する複合効果の問題を解明することは、本委員会の設置期間では困難で、その詳細な検討は次期以降の活動に委ねざるを得ない。従って本委員会では要素技術としての耐津波工学の見当では、津波の影響を絞

るが、地震動の影響についても、できるだけ具体的に問題提起を行って、今後の活動への橋渡しとする。

(2) リスク論に基づく原子力発電所の地震・津波安全評価体系の明確化

- ・福島事故の主たる原因：設計外外力への考慮の不足＝リスク論の欠如
- ・リスクインフォームド意思決定の枠組み
- ・リスクステージ



図-1 リスク論と設計の統合による原子力安全



図-2 設計と事故マネジメントにおけるリスクステージ

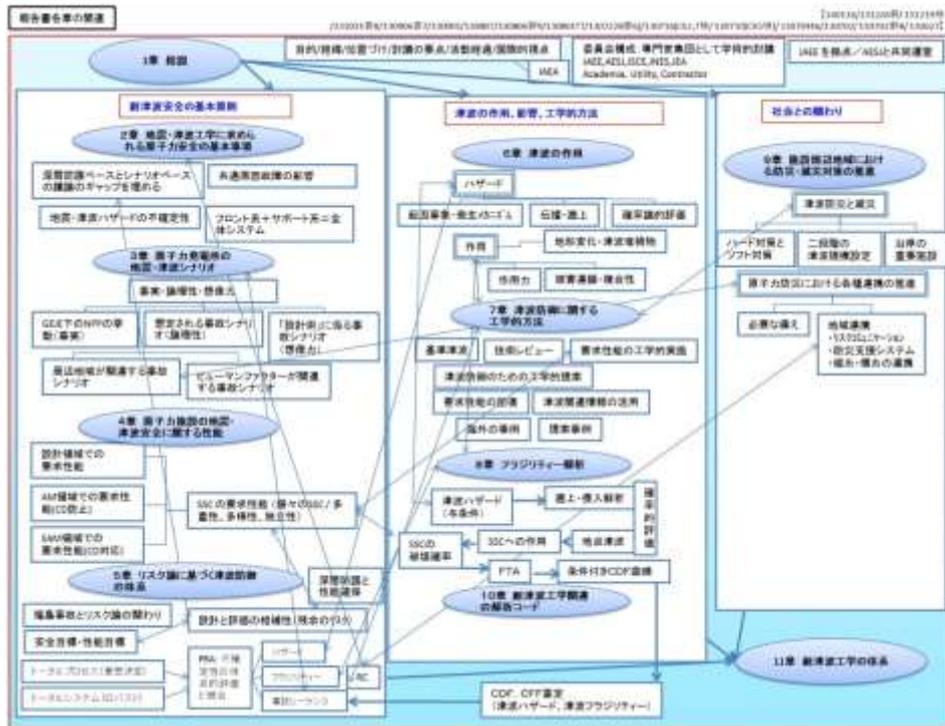
(3) 地震工学、津波工学、原子力安全工学の分野横断的討議をふまえた総合的視野の構築

津波に対する原子力安全への取り組みは、規制当局においても、電力事業者においてもそれぞれ具体的な方策が広範に検討され、実施されつつある。しかし、それらの多くは個別的な検討から決定されており、全体として発電所全体のシステム信頼性の向上にどれだけ寄与するか、定量的な評価が明確なわけではない。本委員会は、課題を総合的に捉え、津波に対する原子力安全の枠組みを学術の視点から明確にしようとするものである。

この目的を達成するため、委員会の構成には特に意を用いた。第一に、分野横断的な討議の体制を整えることが必須である。これには、2008年から2012年3月にかけて同時並行で活動した日本地震工学会の「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」と日本原子力学会の「原子力発電所地震安全特別専門委員会」の間で密接な連携が行われた実績が拠り所となった。これにより、地震工学、津波工学、原子力安全工学におけるリーダー的な人材を委員に得て、多分野間の討議を実践する体制を整えた。

第二に、討議の成果が学術的に健全であると同時に、工学的実践に結びつく内容を備えることが重要であり、学理と現場がシームレスに連携する体制が不可欠である。そのため、委員構成は大学・学術研究機関、電力事業者、ゼネコン、そして電気協会や原子力安全基盤機構の関連技術者を網羅するものとした。討議は組織の利害を代表することを目的とせず、「事実」と「論理的整合性」を重んずる学術的な視点に徹するという合意のもとに活動を進めた。

(4) 以上を包含する地震・津波に対する原子力安全実現の枠組みを「耐津波工学」として体系化する



### 1.3 委員会における討議の要点

- 1) 委員からの提言を重視すること
- 2) 総花的でなく重要項目を落とさぬこと
- 3) 総合化課題と個別技術課題の重層的な体系を重視すること

委員会構成：専門家集団として学術的討議

JAEE,AESJ,JSCE,JNES,JEJ

Academia, Utility, Contractor

外部からの意見収集：シンポジウム

### 1.4 委員会活動の経緯

日本地震工学会「原子力安全のための耐津波工学の形成に関する調査委員会」の活動経過

実施項目	2012年			2013年				2014年			
	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
1. 成果目標の検討			1回(12/6) 2回(12/27)								
2. 本論	委員の会合、2.11地震時の対応(1)：直轄			3回(2/28)	4回(5/16) 5回(6/12)	6回(7/22) 7回(8/6)	8回(10/11) 9回(11/12)	10回(2/24)	11回、12回	13回	
	基本方針			地震・津波工学4原子力安全(仮)委員会、2.11地震時の対応(2)：原子力			プラザリサーチ評価(仮)、一般市民との関連(仮)：燃料における津波・誘発対策			耐津波工学関連の報告コード(16章)：総論(1章)、耐津波工学の体系(11章)	
	原子力発電所の地震・津波事故シナリオ(仮)委員会、地震・津波対策：中核型			原発の地震・津波安全に関する性能(4章)：地震・津波対策：総論			耐津波工学関連の報告コード(16章)：総論(1章)、耐津波工学の体系(11章)				
	リスク論に基づく津波防除の体系(仮)委員会、東電へのアシケート中間報告			津波の作用(仮)、国際的視点			耐津波工学関連の報告コード(16章)：総論(1章)、耐津波工学の体系(11章)				
3. まとめ											
					津波防除の工学的立場(仮)			報告書とりまとめ			
調査サイト視察					4/18、5/10、22、24						
準備会・事務局打合せ	4/20、5/25	7/11、8/28、7	11/23、12/13、20、25	2/28	4/15、5/9	8/21、7/31					
幹事会・特定課題討議	8/22、9/18	10/11、11/2、21		2/13	4/10、4/27	7/1、7/18、18、4/8、8/2、12	10/9、11/7、12/10、23	1/30			
WG1等の開催								10/27、11/10、12/14、21、28			
地震工学会 原子力学会		秋の大会		春の年會		秋の大会	年次大会	春の年會		秋の大会	

+原発サイトの視察：(柏崎刈羽(5/16、22)、浜岡(5/10)、島根(5/24)、女川(6/28)) / 候補：福島第一-1、2、3、福島第二、志賀など)  
+各章関係の発表の中に、調査サイトでの適用例を適宜定める 4\*「原子力安全のための耐津波工学シンポジウム」

\*原子力安全のための耐津波工学シンポジウムの開催

1.5 国際的視点

- (1) 国外の事例
- (2) 国際機関における技術討議

1.6 本報告書の構成

本報告書は以下の構成から成っている。

序

- 1 総説 (Introduction) 委員会の目的
- 2 地震・津波工学に求められる原子力安全の基本事項(仮) (Fundamentals of earthquake engineering and tsunami engineering for nuclear safety)

(宮野)

- 3 原子力発電所の地震・津波事故シナリオ (Accident scenarios at NPPs under earthquake-tsunami actions)

(中村・蛭澤)

- 4 原子力施設の地震・津波安全に関する性能 (Performance criteria for nuclear safety under earthquake-tsunami actions)

(成宮)

5 リスク論に基づく津波防御の体系 (Risk-based earthquake-tsunami protection scheme for nuclear safety)

(高田)

6 津波の外力作用 (Load effects and actions of tsunamis on NPPs)

(越村)

7 津波防御に関する工学の体系化 (Engineering framework for tsunami protection of NPPs)

(今村)

8 フラジリティー評価 (Fragility assessment)

(香月)

9 一般防災との関連 (Relevance to disaster reduction including external zones)

(佐藤)

10耐津波工学関連の解析コード (Computer codes for tsunami analysis)

(松山)

11耐津波工学の体系 (Framework of tsunami resistant technology)

(今村)

## 参考文献

- 1) 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に関する調査委員会、第I部: 2011.3、第II部: 2011.10 (2部構成で合本/全380ページ) .
- 2) 原子力発電所の”地震安全”に関する検討報告書—地震安全ロードマップ—、日本原子力学会 原子力発電所地震安全特別専門委員会、2012.2.
- 3) 亀田弘行:原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会 報告—新潟県中越沖地震から東日本大震災へ— (平成20年10月～平成24年3月)、日本地震工学会誌、第16号、2012年3月、pp.73-76.
- 4) 亀田弘行・高田毅士・蛭沢勝三・中村晋:原子力災害の再発を防ぐ(その3) —地震工学分野から原子力安全への提言—、日本原子力学会誌, Vol. 54, No. 9、2012年9月、pp.29-37.
- 5) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会:原子力発電所の津波評価技術、2002.2.
- 6) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会:津波評価手法の高精度化研究、土木学会論文集 B,

Vol.63, No.2, pp.168-177, 2007.6.

7) 首藤伸夫・佐竹健治・松富英夫・今村文彦・越村俊一 編：津波の事典、朝倉書店、2007.11.