解説

東日本大震災合同調査報告 原子力編と関連編

概要および原子力編にまとめられた外的事象対策に関する今後の課題

東京大学 糸井 達哉, 法政大学 宮野 廣

土木学会, 日本建築学会, 日本地震工学会, 地盤工学会, 日本機械学会, 日本都市計画学会, 日本地震学会, 日本原子力学会の8学会の連携のもと設置された東日本大震災合同調査報告書編集委員会より, 福島第一原子力発電所を含む原子力関連施設に関わる被害状況を取りまとめた「東日本大震災合同調査報告 原子力編」が刊行された。そこで, 報告書および出版を受けて開催した合同報告会の内容に基づき, 東京電力福島第一原子力事故等の原子力関連施設の被害を踏まえた, 地震・津波を含む自然現象に対する今後の課題を概説する。

KEYWORDS: *Fukushima Daiichi NPP Accident, earthquake, tsunami, defence in depth, risk management*

I. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の地震・津波による福島第一原子力発電所事故を含む原子力発電所の被災から, 4年が経過した。福島第一原子力発電所では, 現在も, 廃炉に向けた作業が進められている。

東北地方太平洋沖地震以前, わが国の原子力発電所は, 2007年7月の新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所を含め, 近年, 基準地震動を上回る地震動が観測される事例がたびたび見られた。いずれの場合も安全機能に支障は生じていないが, 柏崎刈羽原子力発電所では, 事務建物や敷地地盤の被害, 変圧器火災などの地震動被害を経験した。これらの地震経験においては, 地震観測記録をはじめとする多くの知見が得られた。

これを受け, 日本地震工学会において, 地震, 地盤, 土木, 建築, 機械等の横断的議論を行う場として「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: 亀田弘行京都大学名誉教授)」を組織し, 日本原子力学会との協働で原子力発電所全体を捉え最適な地震安全を実現していくべきかという共通認識に基づいた研究ロードマップの検討を行った。福島第一原子力発電所事故の状況の報告とあわせて, 原子力発電所の地震や津波に対する安全を確保するための研究ロードマップとして取りま

とめられたものである¹⁾。これは, 日本原子力学会における原子力発電所の地震安全に関するロードマップ²⁾の作成にも貢献している。

一方, 東日本大震災の被害発生を受けて, 東日本大震災合同調査報告を刊行するための東日本大震災合同調査報告書編集委員会(委員長: 和田章東京工業大学名誉教授)が土木学会, 日本建築学会, 日本地震工学会, 地盤工学会, 日本機械学会, 日本都市計画学会, 日本地震学会, 日本原子力学会の8学会により設置され, 合同調査報告全29巻を取りまとめ, 刊行することとなった。

社会への影響が大きい福島第一原子力発電所事故を含む原子力発電所の被害状況についても, あわせて読める報告書(「原子力編」)としてまとめることとなり, 日本原子力学会も編集に加わった。地震安全の研究ロードマップでの日本地震工学会と日本原子力学会の協働の成果等を踏まえ, 日本地震工学会に「東日本大震災合同調査報告 原子力編」編集委員会(主査: 平野光将東京都市大学特任教授(当時))が設置された。著者らは, この委員会の委員である。委員会では, 日本原子力学会をはじめ, 土木学会, 日本機械学会, 日本地震学会, 日本建築学会から大学・研究機関を中心に様々な立場の委員の参加を得て, 報告書の編集を行った。

本報では, 以上の経緯に基づき編集・刊行した「東日本大震災合同調査報告 原子力編」³⁾の内容を踏まえて, 地震・津波等外的事象対策に関する今後の課題を中心に概説する。

Joint Workshop on Publication of "Report on the Great East Japan Earthquake Disaster – Nuclear Engineering Volume":
Tatsuya ITOI, Hiroshi MIYANO.

(2015年3月30日受理)

Ⅱ. 「東日本大震災合同調査報告 原子力編」で取り上げた課題

1. 報告書の構成

福島第一原子力発電所の事故に至った直接的経緯や根本原因などは、日本政府 IAEA 閣僚会議報告書、政府事故調査報告書、国会事故調査報告書、原子力安全・保安院、東京電力、日本原子力学会など、様々な立場・観点から報告されている。本報告書は、新たな調査は実施せず、これまで出されたこれらの報告書に基づき編集し、2014年3月時点までの知見として取りまとめた。

報告書は3部構成とし、第1部「原子力発電所及び周辺の被害状況」では、原子力発電所内の被害状況及び原子力事故による原子力発電所の被害状況について、事故の直接原因ではないものも含めてまとめた。第1章では、地震及び津波に対する安全規制や設計の考え方、第2章では、福島第一原子力発電所及びその周辺の発電所関連施設の被害状況、第3章では、周辺環境の被害状況、第4章では、福島第二原子力発電所、東海第二発電所、女川原子力発電所の被害状況を記載した。

第2部「シビアアクシデントの発生と拡大」は、日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」の報告書「福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言」から、特にシビアアクシデントの発生と拡大に関係する部分を抜粋し、当編集委員会の責任で編集した。

第3部「今後の課題」では、第1部・第2部の記載を踏まえて、以下の10項目について、様々な報告書の記載等も踏まえて、現状と今後の課題を論じた。

1. 地震・津波の予測と設計
2. シビアアクシデント対策
3. 地震等外的事象に対するリスク評価
4. 地域防災
5. 廃炉計画
6. 汚染水対策
7. 火災防護対策
8. 除染・放射性廃棄物処理
9. 原子力分野における人材の確保
10. リスクコミュニケーション

次節では、以上10項目のうち、地震・津波など外的事象に対する対応に関連する部分を中心に、概要を述べる。

2. 自然事象を含む外的事象への対策に関連する課題

(1) 外的事象の予測と設計

外的事象の予測と設計に関する課題は、大きくは設計基準ハザードの設定に関する課題と、設計における安全確保の考え方に対する課題に分けられる。

まず、設計基準ハザードに関しては、福島第一原子力発電所事故の原因のひとつとして、設計津波高さが結果的に過小評価であったことが指摘されている。わが国では、旧原子力安全委員会において「自然事象などすべての要因を含めた事故時の原子力発電所敷地境界での死亡確率を $10^{-6}/(\text{人} \cdot \text{年})$ とする」という安全目標に基づき、炉心損傷頻度 $10^{-4}/\text{年}$ 、格納容器損傷頻度 $10^{-5}/\text{年}$ を原子力発電所の性能目標とする案が議論されてきた。一方、津波を含む外的事象に対する設計における設計基準ハザードの設定は、過去の発生に明確な証拠がある外的事象を基本に余裕を付与することで、設計基準ハザードとされることが多かった。2006年の耐震設計審査指針の改訂で、基準地震動については、この安全目標・性能目標とも概ね整合するレベルに強化された。一方で、基準津波の設定は、従来通りの枠組みのままとなっていた。つまり、津波を含めて地震随伴事象については、安全目標・性能目標と整合した設計基準ハザードの設定は、ほとんど議論されていなかったのである。

次に、設計における安全確保の考え方については、「深層防護」の不十分な理解が、事故の原因のひとつと言える（「深層防護」とは、“事故を起こさせない”，“起こしても拡大させない”，“起きたとしても公衆に被害を及ぼさせない” ための考え方であり、IAEA INSAG-10⁴⁾では、効果が独立した5段階の方策で構成している）。津波を含めた外的事象に対する設計が、防潮堤など異常発生防止（深層防護レベル1）に偏り、異常の拡大防止や事故発生防止など深層防護のレベル2、3に相当する部分について、設計的配慮を欠いていたことが問題として挙げられる。自然現象は、その不確実さゆえに、可能性が小さいながらも規模の大きい事象が発生することを否定できない。それ故、立地や保守的な発生防止策だけでは安全確保としては不十分であり、深層防護の適用が内的事象に対する安全確保と比べて、さらに重要となる。

(2) シビアアクシデント対策

深層防護レベル4に位置づけられる事故時の対策（アクシデントマネジメントあるいはシビアアクシデント対策という）は、深層防護レベル3の設計のレベル4までの延長ではなく、それとは独立した効果（Independent effectiveness）を与える対策（マネジメント）を講じるものである。それにより、設計基準を超える事態となっても、原子力安全（放射性物質の放出事故の回避）が確保される。

外的事象に起因する事故進展に対するシビアアクシデント対策では、内的事象に対する対策とは異なる対応が求められる。具体的な違いとして、構造物、系統及び機器（SSC）の同時損傷による短時間での炉心損傷の発生、周辺斜面の崩壊など周辺施設の地震被害の悪影響、複数ユニットにおいて事故が同時発生しうる過酷な条件を考慮した人員、設備、訓練、手順書、さらに東日本大震災

で見られたような複数サイトでの同時被災、自然災害と原子力災害の大規模複合災害における地域防災と連携した対応策の立案などが挙げられる。

シビアアクシデント対策は、1992年の旧原子力安全委員会決定「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネージメントについて」とそれを受けた当時の通商産業省の電気事業者に対する自主的なシビアアクシデント対策整備の要請で2000年前後に導入された。しかし、導入された対策は内的事象による事故を前提としたものであった。その後の継続的改善で、自然災害を含む外的事象に対象を拡大することもできたのではあるが、新潟県中越沖地震の教訓に基づき設置された免震重要棟を除けば、対象の拡大はほとんど試みられなかった。

今後のシビアアクシデント対策の整備では、立地地域やプラントの特徴を踏まえ、個別プラントごとに、地震・津波を含む外的事象を前提とした効果的なシビアアクシデント対策を整備することが求められる。

その際、地域防災を考慮したシビアアクシデントマネージメント対策も重要である。実際、福島第一原子力発電所事故では、事故の進展に伴い避難区域や屋内退避区域が設定されたことで、救援活動を中止せざるを得ず、地震の揺れによる負傷者や津波による行方不明者の捜索・救助活動を行えなかったことなどが問題として挙げられている。

(3) 地震等外的事象に対するリスク評価

米国では、全プラントを対象に地震、洪水、火災等外的事象に対してPRA(確率論的リスク評価)を用いた個別プラント評価(IPEEE)が行われ(一部のプラントでは簡易法)、相対的な脆弱点に対する強化対策が取られている。欧州では、西ヨーロッパ原子力規制者協会(WENRA)が、自然事象に対しても深層防護レベル3の多様性と独立性を強化する設計改善により、新設炉の安全性を既設炉よりも安全にするという安全目標を設定した⁵⁾。

一方、わが国では、上述したシビアアクシデント対策導入時においても、原子力発電所のリスクの主要因は内的事象ではなく地震を含めた外的事象であることが認識されてはいた。わが国における外的事象を対象としたシビアアクシデント対策整備と外的事象PRAの実施による対策効果確認の導入の機会は、1992年の旧原子力安全委員会決定とそれを受けた当時の通商産業省の要請時と、「残余のリスク」を可能な限り小さくすることを求めた2006年の耐震設計審査指針の改訂時の2回存在した。日本原子力学会において地震PRA手法の実施標準が策定されるなど技術基盤の整備は進められたものの、前述のように、東北地方太平洋沖地震以前に、内的事象を対象に実施されたシビアアクシデント対策が、外的事象に拡張されることはなく、また対策効果の検証を目的とし

た個別プラントにおける地震を含めた外的事象PRAも公には実施されることはなかった。

福島第一原子力発電所事故を受けて、わが国の既設炉は欧米諸国の新設炉並みのシビアアクシデントに強い、高い安全性を目指すことが求められている。2012年10月の旧原子力安全委員会決定で、外的事象リスク評価に基づくシビアアクシデント対策の法令要求化が規制当局に求められ、旧原子力安全・保安院でシビアアクシデント対策規制の基本的考え方が作成された。

この枠組みのもとで、地震を含む外的事象を対象に、個別プラントに対する包括的なリスク評価の実施が求められることになる。これまで、PRAは発電所が十分安全であることを示すという目的のためのみに使われることが多かったが、効果的に脆弱点を摘出することで実効的なリスク低減策を実施し、多様な視点からの継続的な安全性向上に結び付けるPRAの本来の活用ができるかが問われている。

具体的には、設計基準ハザードを設定する、あるいは深層防護の有効性を評価し、安全対策の実施に関する意思決定を行うために、確率論的ハザード評価、およびリスク評価が実施される。自然現象に対する確率論的評価に対しては、手法が成熟していない、あるいは信頼できるデータが少ないことから、高い精度での評価が難しい場合がある、あるいは専門家の意見が一致しないことで正確な評価ができないという懸念もされる。しかし、そういう状態であるからこそ、リスク評価が有効であるとも言える。また、現実に自然現象のリスクに直面している可能性がある以上、リスク評価を用いた自然現象に対するリスクマネジメントを行うことは必須である。リスクマネジメントにおいては、以上の専門家の意見の相違などの認識論的不確実さの定量化を含めた包括的なリスク評価を行い、認識論的不確実さも意思決定に必要な知見と考えて、できる限り活用する仕組みを構築しなければならない。

(4) 地域防災

原子力発電所の外、オフサイトでの緊急時対応は、深層防護レベル5に位置づけられる。緊急時対応は、準備、対応および復旧の3つの段階に大別される。対応の段階はさらに初期における対応と危機管理、影響管理と復旧への移行に区分でき、初期には得られる情報も少ないため、あらかじめ決められた迅速な対応が求められる。

福島第一原子力発電所事故では、事業者、規制双方において、TMI、チェルノブイリ、ブラジル・ゴイアニア⁶⁾、JCO事故等これまでの事故の経験を踏まえた、実効的な緊急時体制の整備が不十分であったことが、指摘されている。具体的には、要支援者の避難や飲食物に対する制限、屋内退避区域における医療の不足や物流の混乱、ERSS/SPEEDIの利用についての取り決めがなく混

乱が生じる等が、問題となった。

加えて、周辺地域では、原子力災害と自然災害との複合災害による課題も多く挙げられる。まず、避難の長期化による避難所運営の問題は、原子力災害に限らない問題であるが、原子力災害により、更に多くの被災者が、長期間遠方への避難を強いられるのは、避難者、受け入れ側双方にとって大きな問題である。また、緊急時対策の実施に関して、複合災害下での福島第一原子力発電所や女川原子力発電所のオフサイトセンターの機能喪失(2012年7月にこれらの教訓を踏まえ原子力災害特別措置法を改正し、設置要件の見直しを行った)や、道路など避難のためのインフラの地震・津波被害などの可能性を前提とする必要がある。また、複合災害下での国や県から市町村への情報連絡や避難指示も、課題として挙げられている。

(5) 火災防護対策

地震に伴って発生する事象としては、津波や斜面崩壊が挙げられることが多いが、随件事象ではないものの火災による影響も重要である。火災は、対策の不備により発生する。東日本大震災では、原子力発電所における火災の発生が2件報告されている。1件は、福島第一原子力発電所4号機における原因不明の火災、もう1件は女川原子力発電所1号機における高電圧アークに起因する電源盤の火災で、地震の揺れが原因である。後者では崩壊熱除去系のポンプが一時停止するなどの影響が出た。

2013年に施行された新たな規制基準では、内部火災、外部火災に対する設計対策が強化された。それに伴う現状の審査基準は深層防護に基づく決定論的手法がベースである。しかし、想定事象の網羅性などの観点、あるいは地震・津波との重畳の可能性もあることから、PRAなどリスク評価結果や最新の実験・解析を踏まえた更なる高度化の検討が求められる。

Ⅲ. まとめ

本報では、日本地震工学会を中心に、日本原子力学会も含めた関連学会の協働で編集した「東日本大震災合同調査報告 原子力編」について、「第3部 今後の課題」のうち、地震・津波を含む外的事象に関わる課題を中心に概説した。

全29巻の東日本大震災合同調査報告では「原子力編」以外にも既に出版された「土木編5」、「機械編」、「都市計

画編」の中で様々な側面から福島第一原子力発電所事故の被害と影響について取りまとめている。本報告書の出版を受けて、2015年2月13日に建築会館ホール(東京都港区)において、これらの報告書を概観し、今後の課題を議論するため、8学会合同で報告会を開催した。

様々な分野から130余名の参加者を得た報告会では、本報で触れなかった「原子力編」で記載した課題に加えて、規格基準のあり方、リスクコミュニケーション、エネルギー政策、避難の影響や住民の帰還、復興計画の課題、学会や学術研究機関のあり方まで多岐にわたる課題が挙げられた。また、多くの参加者からこのような分野横断的な活動を継続することの必要性が指摘された。

— 参考資料 —

- 1) 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：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—, 2011.
- 2) 日本原子力学会原子力発電所地震安全特別専門委員会：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—, 2012.
- 3) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告 原子力編, 丸善出版, 2015.2.
- 4) International Atomic Energy Agency: Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, A report by the International Nuclear Safety Advisory Group, 1996.
- 5) Western Europe Nuclear Regulators Association Reactor Harmonization Working Group: Report Safety of New NPP Designs, 2013.
- 6) International Atomic Energy Agency: The Radiological Accident in Goiania, 1998.

著者紹介

糸井達哉 (いとい・たつや)

東京大学

(専門分野/関心分野)地震工学, 外的事象
リスクの評価とマネジメント

宮野 廣 (みやの・ひろし)

法政大学, AESJ 廃炉委員長

(専門分野/関心分野)システム安全・設計,
流動・振動・耐震, 規格基準