

東北地方太平洋沖地震を踏まえた 原子力発電所の耐震・耐津波指針

入倉孝次郎

序文

2011年3月11日14時46分（日本時間）に起こった東北地方太平洋沖地震は、モーメント・マグニチュード（Mw）9.0という日本の観測史上最大の規模のもので、それに伴う強力な津波により、死者、行方不明合わせると19846人に達する犠牲者、また11万を超える家屋全壊、など未曾有の大災害を引き起こした。福島第一原発の事故は地震による災害を拡大し、震災からの復旧や復興を困難にしている。わずか16年前、1995年兵庫県南部地震により、死者6000名を超える大災害を経験した。この地震の後、国、地方公共団体、さらに民間レベルで、地震災害の軽減のための研究や対策が進められてきたが、それらの取り組みで災害が軽減できなかったのはなぜか、検証が必要とされている。

原発の耐震安全性に関しては、兵庫県南部地震の経験を踏まえ、25年ぶりに耐震指針が2006年9月に改訂された。改訂された指針に照らした原子力施設（既設も含む）の耐震安全性の評価が始まったばかりの2007年7月16日に新潟県中越沖地震（Mj 6.6）が柏崎刈羽原子力発電所の極近傍に発生し、同発電所の建物・施設が設計用地震動レベルを最大で2.5倍も上回る強震動の直撃を受けた。同発電所は変圧器の火災、周辺地盤の沈下、極微量の放射能漏れなどの被害を受けたが、原子炉施設は「止める」「冷やす」「閉じ込める」という重要な安全機能

は確保された。中越沖地震による原発の耐震安全性の検証で最も重要な結論は、構造物や施設が十分な耐震裕度をもつように設計されていたことである。

改訂指針には、「地震学的見地からは、策定された地震動を上回る強さの地震動が生起する可能性は否定できない」として、「施設の設計に当たっては、策定された地震動を上回る地震動が生起する可能性に対して適切な考慮を払い、基本設計の段階のみならず、それ以降の段階も含めて、この『残余のリスク』の存在を十分認識しつつ、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力が払われるべきである」と書かれている。これは、原子力施設の安全確保の基本として、安全審査指針に示される深層防護の考えに基づいて、規定されたものである。

しかしながら、東北地方太平洋沖地震では、設計レベルを超える津波に襲われた福島第一原発が深層防護による安全確保ができずに、大事故に至っている。このことは、既設の原発は、深層防護の考えに基づいた設計が十分にはなされていなかったことを、露呈したものと考えられる。

1. 阪神・淡路大震災後の 地震防災の取り組み

1995年兵庫県南部地震を契機に地震調査研

究推進本部が設置され、地震防災対策の見直しが進められてきた。地震本部は日本全国をカバーする基盤的観測網の構築、全国の主要な活断層や海溝型地震の地震活動の調査、それを基に、地震の長期評価を行い、そして地震動予測地図を作成し、公表してきた¹⁾。

津波に関するハザード地図は、地震本部としては作成しなかったが、東北地方の太平洋沖沿岸地域は、1896年明治三陸津波地震 (M 8.5) や1933年昭和三陸地震 (M 8.1) など、津波の常襲地域で、多くの被害を受けてきたため、県や市町村レベルで津波ハザードの評価が行われ、対策も取られてきた。しかしながら、今回の地震は、Mw 9.0で過去に津波を引き起こした地震よりも規模が大きかったため、一般に予測されていた津波高や浸水域は過小評価で、防波堤や防潮堤がその役割を十分に果たせなかった²⁾。

地震本部の長期評価では、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの帯状の領域において、今後30年間に20%程度の確率で、津波マグニチュード (Mt) 8.2前後の津波地震が発生すると予測されていたが、中央防災会議などでなされた津波ハザードの評価では明治三陸津波地震や昭和三陸津波地震など過去に発生した地震のみが考慮され、これまでに発生が知られていない福島県沖やそれ以南の地域での津波地震の発生は無視された。長期評価が正しく活用され、津波評価に基づく対策がとられていれば、今回



PROFILE

入倉孝次郎
(いりくら こうじろう)
日本学会議連携会員、愛知工業
大学地域防災研究センター客員教授、
京都大学名誉教授
専門：強震動地震学

の震災の被害の一部は、多少とも軽減できた可能性がある³⁾。

この地震では、津波による大きな被害に比べて、揺れによる構造物被害が少なかった。もし揺れによる大きな被害が発生したら、揺れと津波の相乗効果で被害が数倍に拡大していたかもしれない。揺れによる被害が少なかったのは、宮城県沖地震や三陸沖南部地震が高い確率で起こることが知られており、揺れに対する対策がそれなりに効果的に進められてきたことがあげられる。

2. 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の見直し

東北地方太平洋沖地震では、三陸沖南部海溝寄り、三陸沖北部から房総沖に至る広領域が破壊された。今回の地震の前に得られていた869年貞観地震の調査結果、および津波堆積物などの古地震の調査研究による新たな知見を加えて、三陸沖から房総沖の海溝型地震に対する長期評価が見直された⁴⁾。

東北地方太平洋沖型の地震は、津波堆積物の

調査から、15世紀、869年貞観地震、4～5世紀、紀元前3～4世紀、と過去2500年間に5回発生していたと確認され、これらの津波をもたらした地震が繰り返し発生したとするとその発生間隔は400年～800年程度で平均発生間隔は約600年となった。これらの考察から、東北地方太平洋沖型の地震を2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生直前に確率を算出すると、今後30年以内の発生確率は10～20%と評価された。次の東北地方太平洋沖型の地震の発生確率は、現時点（2012年1月）および今後100年以内でもほぼ0%と評価されている。

2002年に公表された長期評価で、「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」の日本海溝付近の海域では、今後30年間に20%の確率でマグニチュード8.2の津波地震が発生すると予測されていたが、この海域では、大震災の後発生頻度が高まり、今後30年の確率は30%に上がった。この海域のマグニチュードをMtで表すと9.0になると評価されている。

3. 改訂された耐震設計審査指針による既存原発のバックチェック

今回の地震の震源域にある四つの原子力発電所（女川、福島第一、福島第二、東海第二）では、2006年の指針の改訂を受けて、原子力安全・保安院および原子力安全委員会において、各原子力発電所の耐震安全性に関してバックチェックが行われ、2010年末までに中間報

告が出されていた。今回の地震時にこれらの発電所の原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値は、設計用に策定された基準地震動Ssから算定される加速度値とほぼ同程度か一部で上回った。耐震バックチェックでは、基準地震動に対して原子炉建屋や機器の耐震安全性が、耐震裕度を含めて検討され、相対的に裕度の小さい設備について耐震裕度向上工事が実施されており、揺れに対する安全性は確認されている。津波を含む地震随伴事象に対する確認及び残りの安全上重要な施設の耐震安全性については、最終報告までにすることとなっていた。

今回の地震による揺れで、原子力発電所の安全上重要な構造物や機器（Sクラス）がどのような損傷を受けたかについて、政府の事故調査委員会および原子力安全・保安院で調査がなされている。今回の地震の震源域に最も近く揺れも最も大きかった女川原子力発電所では、重要機器の安全機能が保持されたことは、観測記録の解析および現地調査で確認されている。しかしながら、福島第一原発は、いまだ原子炉建屋の放射線量が高く、被害内容について直接確認することが困難な場合が多く、すべてが解明される状態にはなっていない。事故調査委員会の報告では、稼働中の1号機から3号機に圧力容器は、揺れにより全制御棒が全挿入され、津波到着までの間には圧力容器の損傷はなかったこと、冷却機能について、1号機の非常用復水器（IC）や2号機および3号機の原子炉隔離時

冷却系（RCIC）は損傷を受けなかったと推認されること、高圧注水系（HPCI）は、3号機では自動稼働したので損傷受けなかったと推認されるが、他の号機では起動していないため揺れによる損傷は現時点で不明としている⁵⁾。その後の、原子力安全・保安院の調査では、今回の地震の揺れを当てはめて重要施設への影響を試算した結果、高圧注水系を含め、殆どの設備は健全な状態を保ち、安全機能は維持できたと推定した、という中間報告をまとめている⁶⁾。今回の揺れにより、重要構造物・機器の損傷や機能の状況については、引き続き徹底した調査が必要とされている。

4. 耐震指針の見直しと地震・津波に対する安全設計審査指針の策定

東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子力安全委員会は、安全設計審査指針類及び耐震設計審査指針類の見直しを指示し、原子力安全基準・指針専門部会の下に、地震・津波に関わる問題点を検討するために、地震・津波小委員会を2011年7月に設置した。

津波に関しては、これまで地震随伴事象として「施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性がある」と想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこと」と規定されていたが、その評価方法については、指針ではなく、

別に定めた「手引き」にのみ記載されていた。同小委員会は、見直しにあたって、今回の地震に伴う津波の発生ならびにそれによる原発事故から得られた知見・教訓を踏まえて、津波の評価やその安全性確保の認識を高め、その重要性を強調するため、原子力発電所の津波に対する安全設計に関わる事項を明確に規定することを検討している。名称についても「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を「発電用原子炉施設に関する地震・津波に対する安全設計審査指針」に改める。

基準津波の策定方針として、「プレート形状、すべり欠損分布、断層形状、地形・地質並びに火山の位置等から考えられる適切な規模の津波波源を考慮すること。この場合、国内のみならず世界で起きた大規模な津波事例を踏まえ、津波の発生機構やテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で検討を行うこと。また、遠地津波に対しても、国内のみならず世界での事例を踏まえ、検討を行うこと」としている。

これまでの指針には、「想定された地震動を上回る強さの地震動が生起される可能性は否定できない」、その場合でも、「残余のリスク（想定以上の外力に対しても施設の重大な損傷、施設からの放射線物質の放散、結果として周辺公衆が放射線被ばくするリスク）を合理的に実行可能な限り小さくするための努力がはらわれるべき」と明記されていた。これは、地震に伴って生成される津波などの随伴事象に対しても当然適用されるべきものであった。しかしなが

ら、福島第一原子力発電所の重大事故は、想定を超える津波に対して、リスクを最小にする努力がなされていなかったことを露呈した。今回の指針の見直しでは、津波に対する安全性について、「自然科学の観点からは、策定された津波を超える津波が施設に襲来する可能性は否定できない。その場合においても、周辺公衆に対して放射線被ばくにより災害を及ぼすこと
のリスクを抑えるよう措置されなければならない」と明記する予定である。

7. まとめ

原子力発電所は、原子炉が想定を超える外力で故障しても、炉心損傷、放射線物質の放散、住民の放射線被ばくなどの最悪の事態を回避するため、多重に防護システムを張り巡らしておく、という「深層防護」の考えで設計されてきた。しかしながら、これが現場で生かされていなかったことが今回の重大事故の本質といえる。「深層防護」の考えを基本とする原子力施設の耐震安全性の確認が急務と考える。

中国やインドにおいて、大規模な原発建設の計画が進行中であり、トルコ、ベトナム、インドネシア、など日本と同じような地震国でも原発建設の計画が進行している。原発の耐震安全性は、日本だけの問題ではなく、国際的に追及していかないと、安全は確保できない。福島第一原発事故の根本原因を明らかにして、原発の安全性を徹底的に向上させることにより、原発

の耐震安全性の研究の振興、技術の開発、指針などの規制の在り方、などに関して、我が国が国際的なリーダーシップを発揮する必要がある。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部：全国地震動予測地図 2010年版，2010.
- 2) 中央防災会議：東日本大震災を踏まえた今後の被害想定
の主な課題・海溝型地震に伴う広域災害への対応，東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会(第8回)，2011.
- 3) 島崎邦彦：予測されていたにもかかわらず、被害想定から外された巨大津波，科学，10，1002-1006，2011.
- 4) 地震調査研究推進本部：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について，2011.
- 5) 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：中間報告II-3 現在判明している福島第一原発における被害の概要，19-37，2011.
- 6) 原子力安全・保安院：平成23年東北地方太平洋沖地震による福島第一及び第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価について～中間とりまとめ(案)，建築物構造意見聴取会第21回(平成23年2月18日)，2012.