

## 原子力施設の耐震設計の現状について (発電用原子炉の耐震設計についての雑感)

市橋 一郎

( (財)原子力発電技術機構  
耐震技術センター )

頂いた題は「原子力施設の耐震設計の現状と今後の動向」であったが、勝手ながら個人的な感想に代えさせていただいた。現在の発電用原子炉施設の耐震設計は商用軽水型原子炉が導入された昭和40年代はじめにその基本方針が固まり、50年代に「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」として成文化された。指針では原子炉施設を構成する各建物・構築物、機器・配管について耐震設計上の重要度、重要度毎に考慮すべき地震力、地震力算定のために考慮する地震動等原子炉施設が保持すべき耐震性能についての基本的な要求が定められている。原子炉施設に限らず構造物の耐震設計を行うためにはこうした基本的な要求を実現するための具体的な設計手法等が必要で、これは日本電気協会の技術指針が担ってきた。耐震設計審査指針を踏まえた設計手法の事例が「原子力発電所の耐震設計技術指針 JEAG 4601」として昭和59年に刊行された。以降、この技術指針は昭和62年、平成3年にそれぞれ追加見直しが行われている。この技術指針策定の裏には、設計評価法策定、検証のためのデータを取得するために数多くの試験が電気事業者、プラントメーカー、建設会社等によって行われ、大学関係者の参加を得て評価検討が行われてきた。筆者が関係した機器配管関連に限ってもその主なものとして、配管の減衰評価試験、動的機器の機能

評価試験 (Active Component Test)、アンカーボルトの耐力評価試験が挙げられる。建物・構築物関連や地震動関連についても同様の努力がなされてきている。これら試験とは別に、昭和57年以降原子炉施設の耐震性を判りやすく示すことを目的として、大型模型を使って耐震性を実証する試験、いわゆる耐震実証試験が国によって行われてきている。ここでは、原子炉施設の安全上重要な機器やシステムを対象に実際に使われている機器乃至はそれに近い大きさの模型を多度津の大型振動台上に設置して、耐震設計に考慮されている地震動で加振が行われている。これまでに原子炉格納容器、原子炉容器、制御棒及び炉内構造物、非常用ジーゼル発電機システム、電算機システム、及び原子炉停止時冷却システム等についての設計地震動を上回るレベルまでの健全性実証、さらにコンクリート製格納容器及び配管についての破壊強度確認が行われた。現在は電気盤及びポンプの動的機能の限界強度を確認する試験が行われている。これら耐震実証試験で得られた結果により設計手法の検証が行われ、また得られた新知見は設計手法に反映されてきた。即ち、指針に示される基本方針はこれまで大きな見直しがされていないが、この方針を実現するための設計手法については地道な検証データの積重ねと精度向上等改良の努力が重ねられて

きている。

現在、耐震設計審査指針への関連知見の反映、見直しのための検討が原子力安全委員会にて安全、地質、地震、建築、土木、機械等の分野の専門家により行われている。検討は公開で行われており、検討の動向はご承知の方も多いかと思われる。耐震設計の基本目標と目標が達成されるために満たされるべき性能、基本目標へのリスク概念の導入、設計上考慮する地震動の考え方への最新の地震学等の関連知見の反映、地震応答解析・応力解析に係る基本的性能要求、許容限界に係る基本的要求及び構造信頼性の確率論的評価等々多方面からの検討が行われている。具体的な設計手法の事例を示す技術指針に関しては、審査指針の見直し結果に対応した見直しが行われることになっている。さらに、必要なら、評価法や設計法の新たな策定、検証のための試験が行われることもあろう。

施設の設計に関連科学、技術の最新知見をタイムリーに反映がしやすいように規制基準の性能規定化とともに、要求される性能を実現するための具体的な設計手法や仕様等を定める学協会規格の審査基準への採用が進められている。このため、学協会規格には、最新知見の取り込みと新たに採用する知見(技術等)の信頼性、成熟性の確認が要求されることになる。また、関係者には「平成7年兵庫県南部地震を踏まえた原子力施設耐震安全検討会報告書」で提言されているように施設の耐震信頼性を一層向上するための努力が求められている。耐震設計手法等の見直しにおいても信頼性向上の視点は欠かせないが、以下の点にも留意してはと思う。

地震による損傷モードの同定：施設の耐震性を確保するには作用する地震動に対して発生し得る損傷モードを的確に把握することが重要である。十勝沖地震で発生した原油タンクの火災及び釧路空港管制ビルの天井落下事故では、いずれもタンク本体又は建物本体とは異なる部分の損傷により火災、管制機能の一時喪失が生じている。一般に構造物はその機能を喪失したり、その結果2次的災害が発生するのに複数の損傷モードが存在する。また、損傷が初通過破壊型か累積損傷型かそれ以外かの違いもある。当然ながら、それぞれの損傷モードに対する損傷確率の分布は同じとは限らない。損傷モードの確認には破壊試験が必要であるが、作用する地震動の違いを包含したクリチカルな損傷モードを少ない試験体で確認することは容易ではないと思われる。今後、試験データの蓄積が望まれる。

地震動の不確定さに対する考慮：設計地震動スペクトルの幅広げ、許容応力への余裕の考慮、保守的な設計解析手法の採用等これまでも不確定さに対して種々の配慮がなされてきているし、新たな対応の検討(例えば確率論的安全評価、構造信頼性の確率論的評価)が行われてきている。筆者は、入力の変動に対して鈍感な構造の導入に関心を持っている。免震構造、制振構造もその一つと考えられよう。一般建築では兵庫県南部地震以降、免震構造や制振構造を採用した建物が相当数に上っている。また、原子力施設への適用についてもFBR免震システム確認試験等が行われ、これらの成果をもとに日本電気協会では「原子力発電所免震構造設計技術指針 JEAG 4614-2000」を制定している。これまでどちらかと言えば施設に所要の耐震強度を付与

する観点及び経済合理性の観点から免震構造、制振構造が評価されてきたように思えるが、不確定さへの対応の観点からも評価されて良いように思う。

設計と運転管理との役割分担：原子炉施設の地震に対する安全性を確保するには、設計、製作、据え付け、運転の各段階で安全確保上必要な措置が効果的に執られる必要がある。例えば、運転に伴って施設に生ずる欠陥等劣化への対応については何処までを設計が分担して、どこから運転時のモニタリングと修復が分担すればリスクが最も少なくなるのかの観点での検討が必要ではないかと思う。

以上