

福島事故後の原発耐震設計に対する北大学部生の評価

Evaluation of Seismic Design by Students Made after Fukushima Dai-ichi Accident

北海道大学 名誉教授 杉山 憲一郎 Ken-ichiro SUGIYAMA Member

The sense of anxiety for safety of nuclear power plants among people in Japan has not disappeared after Fukushima Dai-ichi accident because of a typical country with frequent earthquakes. The provision of information for seismic design in nuclear power plants prepared for easier comprehension is always required in any kind of study meetings for the social acceptance of nuclear power plants. In the present paper, the effect of the provision of information made an attempt for students in Hokkaido University is reported.

Keywords: Nuclear Safety, Social Acceptance, Provision of Information, Seismic Design

1. 緒言

福島事故以降、脱原発・減原発の意見も含め、国民の原子力発電に対する不安感が解消されていない。原子力発電所のリスクは、その他の社会的・個人的リスクに比べて十分に受容可能な範囲にあることを分かりやすく説明していかなければならない。原子力発電に不安を抱く背景には、冷戦時にイメージされた核戦争勃発による地球規模での“文明の破壊と放射能汚染”の恐怖がある[1]。地震大国日本では、このイメージは、地震が原因で原子力発電所から多量に放射性物質が放出され広域汚染が引き起される恐怖に結び付いている。

今後の日本のトータルリスクを考え、原子力発電所の設計・建設・保全分野で若手人材を獲得していくためには、小中高の教員・学生・生徒への情報提

供が重要である。加えて、発電所周辺住民・一般国民とのリスクコミュニケーションを継続していく必要がある。その際、耐震設計・放射線影響の分かり易い情報提供は必須である。ここでは耐震設計の情報提供（試行例）に対する北大生（機械系）の評価について報告する。

2. 耐震設計に関する情報提供

耐震設計の情報提供では、建物をモデル化した質量とばね定数の概念と、その値で決まる固有振動数（周期）と加速度の関係を分かりやすく説明することがキーとなる。具体的イメージを Fig. 1 で説明した。(a)では、質量とばねでモデル化され固有周期（振動数）1 秒、1.5 秒、2 秒の建物が、想定される最大地震動で揺れている。(c)にはこの状況で得られた建物群の最大応答加速度と固有周期（振動数）の関係が示されている。加速度と質量との積が力であることから、各々の建物にかかる力（瞬時最大）が求められ、この力に十分に耐える強度の（ばねでモデル化されている）柱が用意されれば、信頼性の高い建物が出来上がる。

連絡先：杉山 憲一郎

北海道大学 大学院工学院 エネルギー環境システム部門
〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目

Email : k-sugi@eng.hokudai.ac.jp

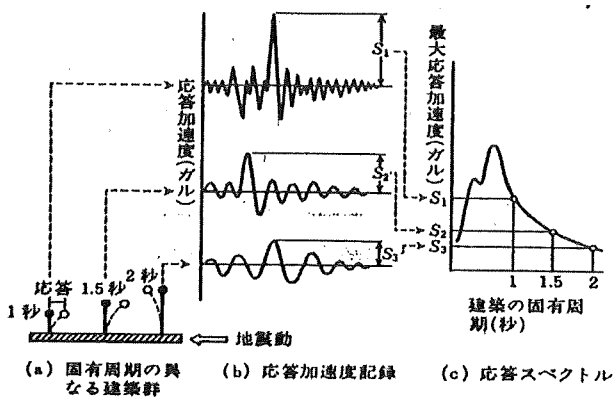


Fig.1 Response spectrum for maximum earthquake

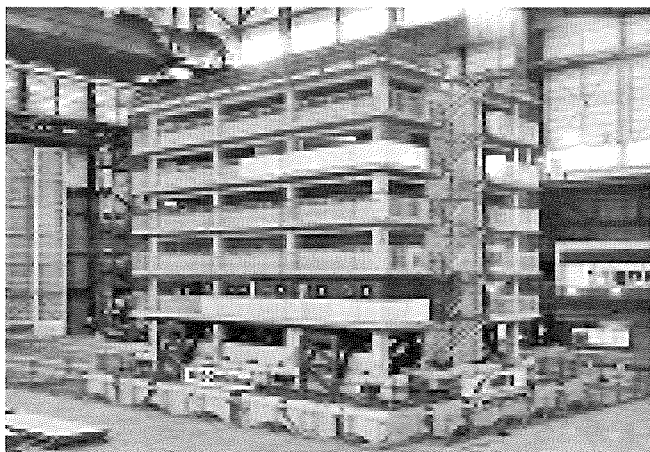


Fig.2 Specimen of 6-story building



Fig.3 Reinforcing steel structure for nuclear reactor building

1995年の兵庫県南部地震では古い瓦屋根木造住宅が多数倒壊した。質量が大きい瓦屋根に大きな加速度が働き大きな力が生じたため、経年腐食し強度の低下した柱（ばね）が耐えられず倒壊した。固有周期（振動数）は最も揺れ易い振動数である。瓦屋根木造住宅の固有周期は約0.2~0.5秒であり、この固有周期帯は地震動に対して揺れ易く大きな加速度が生じる。即ち、古い瓦屋根木造住宅は一番壊れ易い建物と言える。

“揺れ易い”固有周期（振動数）に関連して、身近な乗用車についても触れておく。乗用車の固有周期（振動数）は、発進回転数以下の低いエンジン回転（振動）数になるよう車体構造を工夫（設計）している。このため高速運転中に路面の凹凸等により振動の動きが異常に増幅されることはなく安定した走行が保たれる。

この「質量-ばね」モデルの概念を高度化させ、想定される最大地震動に対して発電所の最重要度建屋・機器・構造等の耐震（状況によっては制振、免震）設計用のコンピュータ解析が行われている。身近で深刻な例として、最も大切な家族の緊急手術中に地震が発生し停電する場合を想定してみる。確実に病院内の緊急電源が立ち上がり、手術を終了するためには病院建屋は耐震（制振、免震）設計されていなければならない。大規模地震に対しても信頼できる病院であるためには、原子力発電所と本質的に同じ設計が求められる。現状の社会インフラでは原子力発電所の最重要建屋が地震に対する信頼性が最も高い。事実、3・11の震災では、付近の被災者が東北電力女川発電所に救助を求め長期滞在した。

なお、この種の耐震設計の信頼性を明らかにするため大規模検証実験が求められる。現在日本には最大搭載重量1,200ton、搭載面積20m x 15m、最大水平加速度900Gal以上、最大垂直加速度1,500Gal以上、最大水平方向±100cm、最大垂直変位±50cmの実物大3次元振動破壊実験施設 E-ディフェンスが兵庫県三木市にある。Fig.2はE-ディフェンスの振動台に設置された病院・学校などを想定した実物大6階建て鉄筋コ

ンクリート建物であり実験中の動画も閲覧できる[2]。耐震設計に基づき発電所基礎岩盤上に設置される立体的な鉄筋構造を Fig. 3 に示す。

実際に観察された地震動に基づく事後評価(コンピュータ解析)により、福島第一発電所の最重要度建屋・機器・構造等の耐震設計に問題はなかったことが確認されている[3]。事故の原因は、想定以上の津波による海水の施設内への浸入(対策は比較的容易)であり、冗長性を持たせた重要機器の冠水であった。

3. 学生(合計127名)の回答の分析

提供された情報に基づき耐震設計は信頼できるとする学生:85名、信頼できないとする学生:9名、どちらとも言えないとする学生:33名であった。

「信頼できる」とする回答は以下のように集約できた。

- ・原子力発電所の耐震構造は、十分に信頼できるものとする。今回の福島の事故は、原因の大部分が構造ではなく「人」であった。今後は、十分な安全設備をしっかりと利用できるよう職員の教育と事故対策の訓練が必要である。
- ・地震に関する研究は、わが国は世界最高水準を有しており、今後改善しなければならぬのは、国民のリスクの考え方である。
- ・岩盤の選定や耐震解析が十分行われている。東日本大震災においても地震動自体による致命的な破壊がなかったことから十分に信頼できる。
- ・想定する地震動として、古文書レベルなどから最悪なケースを考えていることは信頼に値する。また、想定される場面(避難時等)におけるリスクも細分化して評価していることも評価できる。
- ・日本の原子炉は、きちんと地震にたいして解析が行われており、安全性が確立されていることが分かった。重要機器に問題がなかったという点で、十分信頼できると思う。今後は、津波に対してもきちんとした対策

をとって、すべての人が安心して生活できるようにしてほしい。安全対策の努力はし過ぎるということはないので、これからも甘んじることなく耐震設計に力を注いでもらいたい。

・3月の東日本大震災で、地震による直接的な被害が少なかったことから、日本の耐震設計は間違っていないと思う。ただ、どのような耐震設計が行われているかについては、この授業を受けて初めてわかったので、国や電力会社は原子力の事とともに、原発の耐震についても、国民に分かりやすく説明することが必要である。

・今回の講義を聞いて、原子力発電所における機器・構造・系統は分離されて、同じ原因で支障をきたすことのないような設計がされていることから、機器・構造・系統の安全性はかなり信頼できると思う。日本の耐震設計は、世界でもかなり進んでいるので、この技術を今後も日本で利用していくべきであり、多くの人に理解してもらうことが大切である。

「信頼できない」とする回答は以下のように集約できた。

- ・事故が起きたときの対処法までしっかり考えての耐震設計が大事だと考える。いくら機器・構造・系統に問題がなかったとしても、万が一の可能性まで考えるべきである。
- ・地震に対しては対策されていたが、福島では鉄塔が地震で倒れて電力がなくなったと聞いた。対策技術はすごいが、このように詰めの甘いままでは信頼はできない。
- ・立地条件等の基準が甘いような気がする。現在立地しているものに少し疑問を持つ。福島のように、何百年に一度のような地震に対する対策をすることは、確かに困難ではあると思うが、もっとシビアになったらいいと思う。また、信頼できる情報源をもっとしっかりする必要がある。
- ・耐震設計の評価方法についてなるほどと思うところもあったが、大部分は振動工学を勉強中の私には理解できないものであり、信頼性を評価することはできな

い。また、前提となっている「構造には問題はなかった」と評価された根拠についてまだ疑問があり認めることはできない。

「どちらとも言えない」とする回答は以下のように集約できた。

- ・日本の原子力発電所の耐震設計は、かなり高いものと考えられるが、自然災害の恐ろしさは計り知れないので、十分とは言い切れない。また、テレビやニュース、他の授業等を受けても、今回の福島の発電所には少し不備があったと聞く。冷却が即座にできなかったのは事実であり、やはり十分とは言い切れないだろう。

- ・耐震設計の方針に関しては、さまざまな要因が詳しく評価検討されていると感じられたが、どうもそれが机上の空論のように感じられる。それを解消するには、実際に評価検討を行っている様子や実験の様態等を視覚的に理解しやすいような資料を使って紹介することが必要と考える。

- ・事前の地盤調査や設備の耐震等、十分な説明を受ければ信頼できると言えるが、その説明が原発を実際に運用している組織からはあまりないため、正確な情報が一般人にまで来ないことが大きな問題といえる。

- ・原子炉建屋の耐震解析方法については、今日の講義を聞いて十分な技術が確立されていると感じた。「地震に対して重要な機器・構造・系統は問題がなかったと評価されている」とあるが、その考え方自体が問題があると思う。結果論として、3月11日により原子力発電所は、膨大な被害をもたらしている。主要部に問題がないのに、事故が起きたということは設計上問題があるように思われる。

- ・問題がないといっても、いつ、どれくらいの災害が起きるか分からないので、その時の対応が一番重要になってくる。それまでの対応がしっかり

していても、管理が行き届いていないと意味がないので、どちらとも言えない。

4. まとめ

機械工学系3年生の8回シリーズの安全工学(90分)の最終回到原子力発電所の耐震設計を基本から説明し、10行程度の評価を提出させ集約した。将来リーダになることを求められている約130名の小集団であるが、耐震設計を含めた福島事故に対する評価(感じ方)は、常識的な国民の評価をほぼ反映していると言える。ハード面よりソフト面での関係者の力量の向上を求めていることも伺えた。

謝辞

提供資料は、2008～2010年度文科省原子力基礎基盤戦略研究イニシヤティブ「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線プログラム開発」の成果の一部である。

参考文献

- [1]リチャード ローズ(小沢千重子・神沼二真訳): “原爆から水爆へ”, 紀伊国屋書店, 東京, pp.896-899 (2001)
- [2] 防災科学技術研究所, 兵庫耐震工学研究センター(<http://www.bosai.go.jp/hyogo/>): “実大三次元振動破壊実験施設”
- [3] 原子力安全・保安院: “第8回東京電力株式会社福島第一発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会資料”, 経済産業省別館, 2012年2月8日