５学会合同による柏崎刈羽原子力発電所中越沖地震被害調査と報告

家村浩和

[1]正会員　近畿職業能力開発大学校　校長（〒596-0103大阪府岸和田市稲葉町１７７８）
E-mail:h1.iemura@ehdo.go.jp
Fellow of JSCE, Kinki Polytechnic College

東京電力柏崎刈羽原子力発電所は、２００７年７月に発生した新潟県中越沖地震の直撃を受け、観測された地震波加速度記録の最大値は、設計時のそれの約２倍の大きな値を示した。幸いにして、原子炉本体の大きな損傷や、大量の放射能漏れなど重大な災害は回避できたものの、設計地震動を大きく上回る地震であり、種々の被害や不具合が報告され、運転再開にも長時間を要している。土木学会や日本地震工学会をはじめとする関係５学会では、ことの社会的重要性に鑑み、被害の実態を、より詳しく合同で調査した。本報告は、参加者の調査後の意見を、調査班幹事が取りまとめたものである。

Key Words :*Kasiwazaki Kariha Atomic Power Plant, Earthquake Damage, Site Investigation, 5 Japanese Societies, Joint Inverstigation Team, Members Opinions*

1.　はじめに

２００７年７月の新潟県中越沖地震は、柏崎市周辺の直下で発生し、柏崎市および刈羽町に存在する７基の原子力発電所を直撃した。原子炉本体の大きな損傷や、大量の放射能漏れなど重大な災害は回避できたものの、設計地震動を大きく上回る地震であり、種々の被害や不具合が報告され、運転再開にも長時間を要している。

土木学会や日本地震工学会をはじめとする関係５学会では、ことの社会的重要性に鑑み、被害の実態を、より詳しく合同で調査するため、東京電力株式会社に、被害の報告と現地の立ち入り調査を依頼したところ、快く受け入れるとの回答を得た。現地調査は、８月７日の午後実施された。参加者は次の２５名である。

土木学会；濱田政則、川島一彦、丸山久一、小長井一男、橋本隆雄、古木守靖

日本建築学会；滝口克己、久保哲夫、　倉本洋、仲居正一、土井希祐、

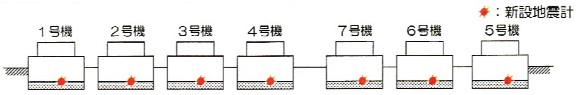
地盤工学会；龍岡文夫、尾上篤生、安田　進、國生剛治、東畑郁生

日本地震工学会；北川良和、鈴木浩平、鈴木祥之、若松加寿江、源栄正人、

日本地震学会；横井俊明、松崎伸一、司　宏俊

５学会合同調査団幹事；家村浩和

表―１　観測加速度の最大値と設計時の値の比較
（東京電力による）



観測された最大加速度　（単位：ガル）

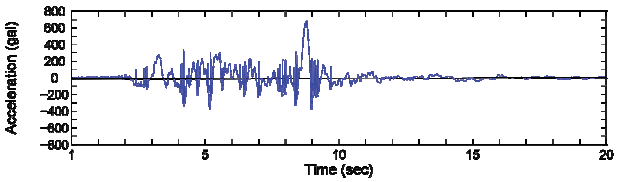
観　測　値		南北方向	東西方向	上下方向
1号機	最下階（B5F）	311	680	408
2号機	最下階（B5F）	304	606	282
3号機	最下階（B5F）	308	384	311
4号機	最下階（B5F）	310	492	337
5号機	最下階（B4F）	277	442	205
6号機	最下階（B3F）	271	322	488
7号機	最下階（B3F）	267	356	355

【スクラム設定値】水平方向120ガル，上下方向100ガル

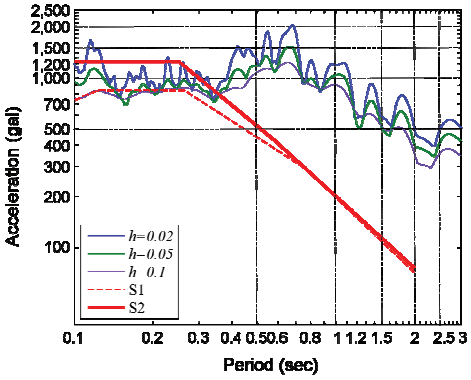
設計時の加速度応答値　（単位：ガル）

観　測　値		南北方向	東西方向	上下方向
1号機	最下階（B5F）	274	273	(235)
2号機	最下階（B5F）	167	167	(235)
3号機	最下階（B5F）	192	193	(235)
4号機	最下階（B5F）	193	194	(235)
5号機	最下階（B4F）	249	254	(235)
6号機	最下階（B3F）	263	263	(235)
7号機	最下階（B3F）	263	263	(235)

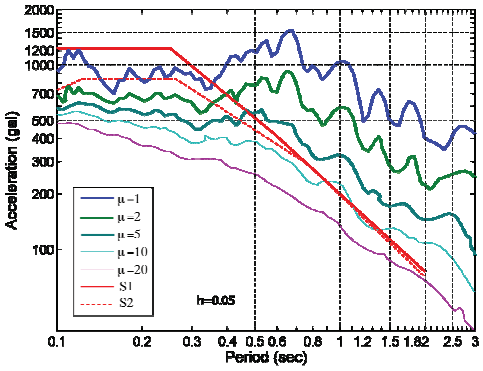
※上下方向については，（ ）内の値を静的設計で用いている



図―１　１号機地下での東西方向の加速度記録
（最大加速度は、周期の長い大パルスで発生している）



図－２　１号機地下の加速度応答スペクトルと
Ｓ１，Ｓ２の設計時スペクトル（五十嵐准教授による。
周期０．４秒以上の長い周期において値が大きい）



図―３　１号機地下の必要強度スペクトル（五十嵐准教授による。周期０．５秒以上では、塑性率５でも、設計スペクトル値を超えている）

2.　被害概要のヒアリングおよび現地調査からの所見のまとめ

５学会合同調査報告会（２００７年８月２２日実施）に示された参加者全員の調査所見を参考に、家村が取りまとめた現地視察の所見は次のとおりである。

(1)　原子炉本体の耐震性能

記録された地震加速度記録から算出した応答加速度は、設計時のそれの２倍程度ときわめて大きな値を示した。この激震動下でも、運転中の４基（３基は運転休止中）の原子炉が自動的かつ安全に停止し、重大な損傷を受けなかったことは、地震国日本の耐震技術の高さを示すものである。大きなトラブルにならなっかたことは、日本のみならず世界における原子力発電所の継続運転を可能とし、電力供給の確保にとっても、きわめて幸いなことであった。

(2)　重要度クラスによる被害程度の差

耐震性の重要度ＡおよびＢクラスの建物や施設に目視可能な大きな被害は見られなかったが、これらの構造物が地盤との相互作用効果などにより、弾性域内での応答に収まったのか、あるいは一部塑性域に及んでいるのかについては、詳細な調査検討が必要である。また発電機器類については、機能上の支障がないかの調査検討が必要である。

一方、重要度Ｃクラスの変圧器などにおいては、地盤沈下や振動を受けたためと見られる被害が観察された。Ｃクラスの構造物、施設が、Ａ，Ｂクラスより低い地震荷重で設計されている以上、被害が多いのは当然である。しかしながら、これらの野構造物、施設に対しても、設計地震力を超える地震動に対して、どのような耐震性能を付与しておくべきか？また発電所全体の機能にどのような影響が及ぶか？について検討しておく必要がある。原子炉の安全性という観点のみならず、大地震後の機能の修復性、ＢＣＰと言った観点からも、検討されるべきである。

(3)　部材接合部の被害

部材、特に異種部材の接合部では、剛性や変形性能の急激な変化があるため、地震時における応力が集中し、被害を受けやすい。原子炉内の多くのパイプ類の接合部分に損傷などの発生がないか、入念なチェックが必要である。屋外の施設においても、廃棄ダクトと煙突の接合部分、建物と変圧器をつなぐケーブル部分、タンクとパイプの接合部分、タンクを基礎の固定部分などにおいて、損傷が見られた。

(4)　地盤と地中構造部物の被害

原子炉の建物は、現地の沖積地盤を取り除いて岩盤上に建設されたが、取り除かれた地盤は、建物周辺で埋め戻されている。この地盤の被害としては、ゆすりこみによる地盤の沈下や、液状化による変形などが多く見られた。これらに伴って基礎、地中杭、地中パイプ、など地中構造物には、大きな強制変形力が作用したものと考えられ、目視では確認できない部分が多く、掘り起しなどの調査が必要である。また岸壁の海側の先端部分では、大きな変形が発生した。これに伴い、クレーンのレールに大きな変形が見られた。

写真―１　排気ダクトと煙突の接合部における損傷

写真―２　支持台の沈下により、建物と変圧器を結ぶケーブルが発火し、変圧器の油に引火し火災となった

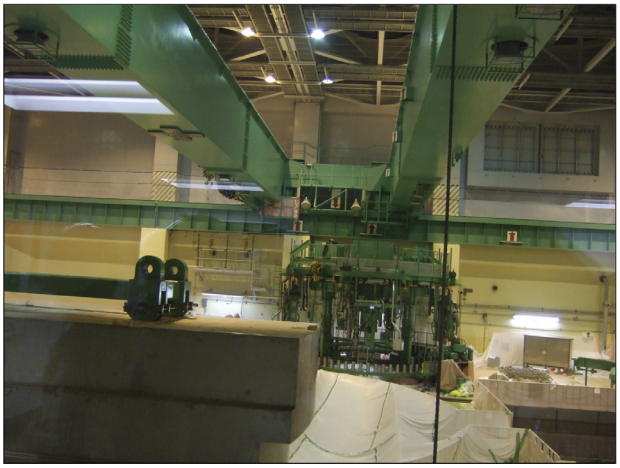
写真―３　表層地盤の沈下により道路がうねっている

写真―６　地下杭の健全性を、掘削により調査

写真―４　液状化による地盤の沈下

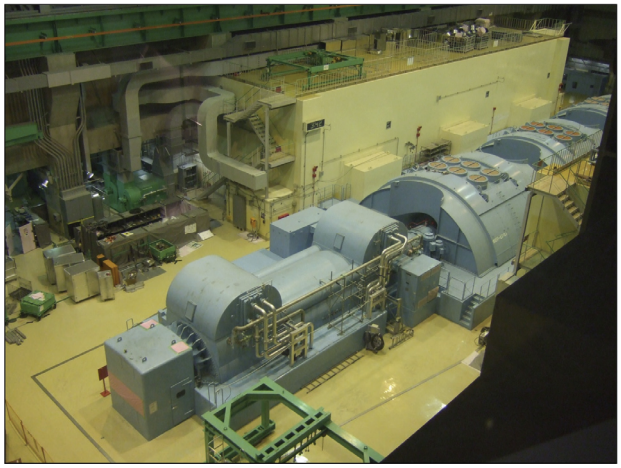
写真―７　岸壁上のクレーンのレイルの変形

写真―５　杭基礎を有しないＣクラスの設備は
沈下などの被害を発生



写真―８　室内クレーンの支承部に損傷が発生した

写真―９　使用済燃料プールの液体がスロッシングにより、越流しこぼれた



写真―１０　タービンの内部で、不具合が発見された

写真―１１　タンクとパイプの接合部分の被害

3.　原子力発電所の耐震性能向上への取り組みと一般的提案

今回の地震では、原子力発電所の機能の復旧に長時間を要し、経済的な損害も甚大で、きわめて不幸な出来事であったが、この教訓を生かして、激震動に対して構造的にもまた機能的にも強い発電所と建設するための一般的な提言は次のとおりである。

写真―１２　５学会代表による討議風景

(1)　経験を今後に生かす

今回の地震被害は、原子力発電所が、想定外の直下地震の直撃を受け、設計地震力を大きく上回る地震荷重にさらされた、世界でも初めての経験である。被害の有無にかかわらず、関連施設の細部にいたるまで、詳細な調査検討を行い、原発の耐震性能向上のための、重要なデータとすべきである。

(2)　東京電力による情報公開

東京電力（株）が、観測地震波形のみならず、被災状況、復旧状況などを逐次公開したことは、今後の耐震性能の向上や、一般人の原発に対する理解を深める上で、貴重な情報開示として高く評価する。

(3)　設計地震動と性能設計法

地震断層を特定し、そこから発生する最大級の地震動を確率論的に想定してそれを設計地震動とすることは、耐震設計を実施するうえで、不可欠である。しかし、建設地点の最大級の地震動を推定しえたかどうかは、断層の位置や規模、さらに発震メカニズムの特定が、かなり困難であることを考えると大きな不確実性を伴う。今回の地震の断層は事前に特定されていなかったし、また発震メカニズムもきわめて複雑なものであった。今回の地震は、設計地震動の設定の困難さを示している。２００６年９月の新指針で今回の地震動を予測できるのかの検証が必要である。

一方、設定が不確実な荷重に対する設計法としては、多段階の荷重レベルに対応する他段階の耐震性能を保証してゆくいわゆる性能設計法が合理的であると考えられ、建築や橋梁ではすでに取り入れられている。

重要度ランクＡ，Ｂ，Ｃのそれぞれの構造物や施設が、それぞれの設計地震動を上回る地震動に対して、どのような耐震性能を保有すべきか、また保有しているかを、性能設計法の枠組みの中で明示してゆくことが、一般社会に対する説明責任ではないだろうか？　設計地震動を上回る地震動に対する耐震性能についても、一般社会にわかりやすく、説明す

る必要がある。

(4) 保有耐震性能の確証

構造物や施設が保有すべき耐震性能を保証するためには、確証データが必要である。今回の地震による各種の記録や被害状況や、教訓を踏まえること、また、不足分については、E-defenceなどを用いた激震時の性能に関する実験データを得ること、さらに非線形の数値シミュレーッションの精度を上げることなどにより、より多段階の耐震性能を保障できるものと考えられる。

(5) 先端技術の応用

世界の地震国において、観測される地震動の量と大きさは増大の一方である。これに伴い、耐震設計で考慮すべき地震力も、比例的に増大しており、コスト面での負担も大きい。今回の地震被害では、甚大な被害はなくとも、機器類の復旧に長時間を要しており、これに伴う機能停止、経済的負担も甚大である。これを克服するためには、従来からの耐震設計法に替わって、免震設計法や制震設計法など、先端的技術の応用の応用により、作用地震力そのものを低減する工夫が必要となってきている。

4. おわりに

今回の５学会合同調査は、各学会の関係者の御協力により、比較的短時間で結成できた。また東京電力（株）にも、現地調査、ヒアリングを快く受け入れてもらった。今後の地震被害調査、検討、報告会の開催などにおいて、この形態が参考になれば幸いである。なお、京都大学五十嵐晃准教授と高橋良和准教授には、本文作成に当たってご協力いただいた。記して感謝するしだいである。

参考文献

1) 土木学会ほか４学会：２００７年新潟県中越沖地震被害災害調査報告会資料集、pp.64-115, 2007 年 8 月.

INVESTIGATION OF THE DAMAGE OF THE KASHIWAZAKI-KARIHA ATOMIC POWER PLANTS BY THE NIIGATAKEN-CHUETSUOKI EARTHQUAKE IN JULY OF 2007

Hirokazu IEMURA

The Kashiwazaki-Kariha Atomic Power Plants were struck by the Niigataken Chuuetsu-oki Earthquake of 16th July 2007. The maximum of the recorded acceleration was very severe and reached to 200% of the design value. The operation of the atomic power plants stopped without any serious problems, but many minor damages were reorted. 5 Japanese academic societies; JSCE, AIJ, JGS, JAEE, SSJ formed the joint investigation team for the hearing and the site visit. This paper is the summary of the opinions of the 25 team members on the damage and improvement of the seismic design.