

柏崎刈羽原子力発電所における 2007 年新潟県中越沖地震の強震動特性

-2 次元 FEM による非線形強震動シミュレーション-

Strong ground motions during the 2007 Chuetsu-oki earthquake in Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plant

-Nonlinear simulation of strong ground motions using a 2-D finite element method-

#佐口 浩一郎 [1], 倉橋 奨 [2], 正木 和明 [2], 入倉 孝次郎 [2]

#Koichiro Saguchi [1], Susumu Kurahashi [2], Kazuaki Masaki [2], Kojiro Irikura [2]

[1] 株式会社日本アムスコ, [2] 愛知工大

[1] Emsco Ltd., [2] Aichi Inst. Tech.

1. はじめに

2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震の際、震源域の近傍（震央距離 16km）に位置する東京電力柏崎刈羽原子力発電所構内においては非常に大きな地震動が観測され、特に 1 号機の地下 255m においては最大加速度が 993cm/s^2 (EW 方向) であったと報告されている。しかしながら、その波形記録は余震による上書きで消失し、最大加速度のみが残される結果となった。本研究では、まず、ボアホール記録であるサービスホール地点の強震記録から HASKELL 法による 1 次元重複反射理論に非線形係数を導入した解析手法を用いて地震基盤内における地震動の推定を行う。次に推定した基盤地震動を用いて 2 次元 FEM による非線形解析を実施し、1 号機の地下 255m(G10)および 5 号機の地下 312m(G55)における本震記録の再現を試みる。

2. 地震基盤内における地震動の推定

本震時のボアホール記録としては深度 250m までの鉛直アレイ観測点があるサービスホール地点において強震記録が得られており、原子力発電所直下の入射地震動を適切に評価することが可能であると考えられる。本研究では、サービスホールにおけるボアホール観測点である SG4 の本震時の強震記録 ($E(f) + F(f)$) と余震記録の逆解析から得られた地盤構造を用いて HASKELL 法による 1 次元重複反射理論に非線形係数を導入した解析手法 (佐口・他 (2009) ¹⁾) を用いることにより、サービスホール観測点 (SG4) および柏崎刈羽原子力発電所直下の地震基盤内 (深度 5km) における本震時の入射地震動 ($E(f)$) の推定を行った。推定したサービスホール観測点 (SG4) および地震基盤内における地震動の最大加速度 (EW 成分) はそれぞれ 604cm/s^2 および 307cm/s^2 であり、地震基盤から SG4 に至るまでの深部地盤構造の影響により約 2 倍程度増幅されたことが推察される。

3. 2 次元有限要素法による深部地盤構造モデル

2 次元 FEM 解析にあたり、1 号機および 5 号機直下の深部地盤構造を、徳光・他 (2009) ²⁾ を参考に、幅 7.5km、深さ 5km の地震基盤を含めた 8 層によりモデル化を行った。また、地盤が非線形化したと考えられる最表層には MC-DP モデルを用いた。地盤の非線形化における各パラメータは時松・他 (2008) ³⁾ における G/G0- γ および h- γ 曲線より算出を行った。2 次元 FEM モデルにおける境界条件は側方境界ではエネルギー伝達境界、下方境界では粘性境界を用いた。

4. 本震時における地震動の推定

柏崎刈羽原子力発電所直下の地震基盤内 (深度 5km) における本震時の推定地震動 ($E(f)$) を用い、モデル下部境界において鉛直入射による非線形解析を行った。解析の結果、1 号機の地下 255m (G10) および 5 号機の地下 312m (G55) における最大加速度はそれぞれ 978cm/s^2 および 448cm/s^2 であり、各観測点における観測値と概ね調和的であった。

謝辞

本研究では、東京電力(株)から提供された地震観測記録を使用しています。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 佐口浩一郎・正木和明・入倉孝次郎：強震時における解放基盤面の地震動の推定—2007年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の地下構造モデルの同定と解放基盤の地震動—, 日本建築学会構造系論文集, No.628, 831-839, 2009.5
- 2) 徳光亮一・土方勝一郎・西村功・渡辺哲史・諸井孝文：柏崎刈羽原子力発電所における不整形地盤の2次元FEM解析 その1 褶曲構造によるサイト増幅の違いと新潟県中越沖地震のシミュレーション解析, 日本建築学会大会学術講演概要集(東北), B-2, pp.1019-1020, 2009.8
- 3) 時松孝次・新井洋・蓑和健太郎：柏崎刈羽原子力発電所サービスホールの鉛直アレイ強震記録から推定した地盤の非線形性状と露頭基盤波, 日本建築学会構造系論文集, 第630号, pp.1273-1280, 2008.8

Strong ground motions during the 2007 Chuetsu-oki earthquake in Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plant

-Nonlinear simulation of strong ground motions using a 2-D finite element method-

Koichiro Saguchi [1], Susumu Kurahashi [2], Kazuaki Masaki [2], Kojiro Irikura [2]

[1] Nihon Emsco Ltd., Co. [2] Aichi Inst. Tech.

Strong ground motions during the Niigataken Chuetsu-oki earthquake occurring on July 16, 2007, were observed in the Kashiwazaki Kariwa Nuclear Power Plant. The maximum acceleration of 993cm/s^2 (the EW direction) at 255m deep (G10) below ground of No. 1 reactor was obtained during the main shock. The maximum acceleration of 450gal (the EW direction) in 312m deep (G55) below Unit of No. 5 reactor was also obtained. However, there were obtained no time history records and only the maximum accelerations.

In this study, we tried to simulate the strong ground motions of underground observation sites (G10 and G55) in the No. 1 and No. 5 borehole arrays during the main shock by a nonlinear analysis using the two-dimensional finite element method.

First, strong motion records of the main shock observed by the bore hole seismometers were simulated by the one-dimensional multiple reflection method with non-linear coefficients for down-going waves reflected from surface. Moreover, strong ground motion in the seismic bedrock with V_s of 3.0km/s during the main shock was simulated by the same procedure as mentioned above. The maximum acceleration of the EW component in the seismic bedrock is estimated to be 307cm/s^2 .

Strong ground motions of underground observation sites (G10 and G55) during the main shock were simulated by a nonlinear analysis using the two-dimensional finite element method with estimated strong motion in the seismic bedrock. The results indicate that the maximum accelerations of observation sites (G10 and G55) in simulated waveforms were similar to the observed one.