

# 柏崎刈羽原子力発電所における 2007 年中越沖地震の 2 次元 FEM シミュレーション

株式会社日本アムスコ 正会員 ○佐口浩一郎  
 愛知工業大学 工学部 正会員 正木 和明

## 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（図 1）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  $993\text{cm/s}^2$ （EW 方向）（図 2）であったと報告されている<sup>1) 2)</sup>。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<sup>3)</sup>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 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入射地震動の推定

図 2 に発電所内における地震観測点を示す。1 号機地盤系、5 号機地盤系およびサービスホールは鉛直アレイ観測点である。唯一、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のみ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<sup>3)</sup>を用いることにより、柏崎刈羽原子力発電所直下の地震基盤内における本震時の入射地震動 ( $E(f)$ ) の推定を行った。

図 3 に推定に用いた地下構造を、図 4 に推定したボアホール観測点 (SG4) および観測点直下の地震基盤内における入射地震動 ( $E(f)$ ) の加速度波形 (EW 成分) をそれぞれ示す。推定した地震動の最大加速度はボアホール観測点 (SG4) および地震基盤内において  $604\text{cm/s}^2$  および  $307\text{cm/s}^2$  であり、地

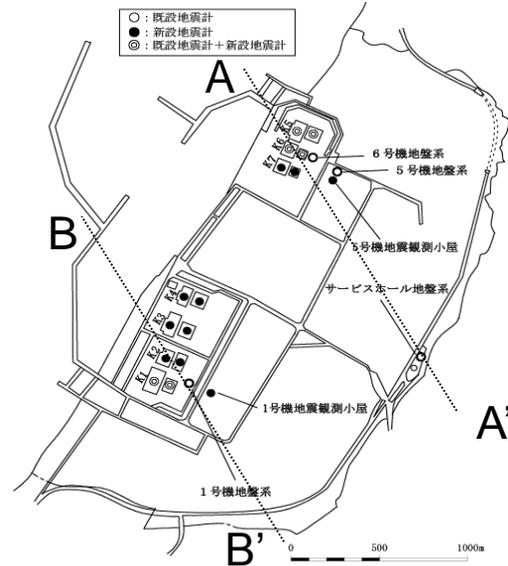


図 1 柏崎刈羽原子力発電所内における地震観測点<sup>1) 2)</sup>

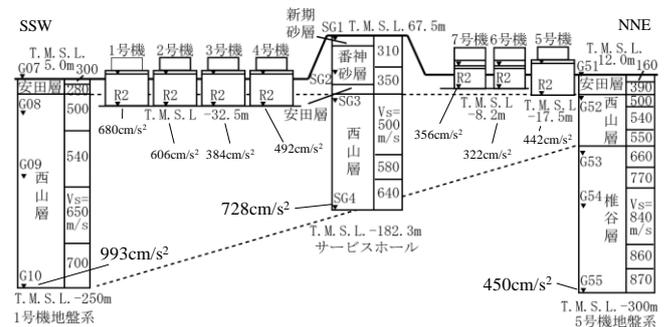


図 2 各観測点における中越沖地震の最大加速度<sup>1) 2)</sup>

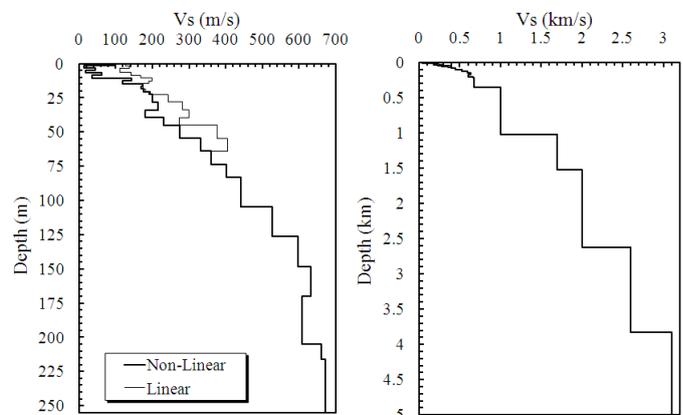


図 3 サービスホールの地下構造と深部地下構造

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。

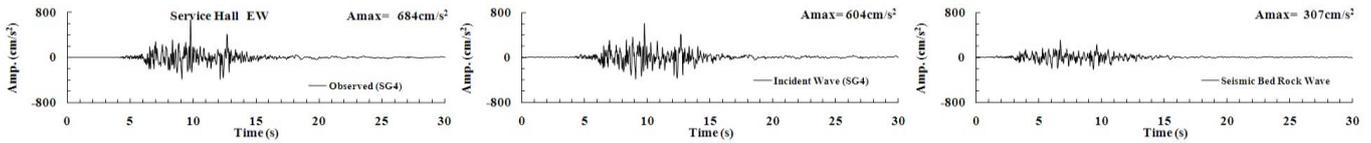


図4 サービスホールにおける観測記録 (SG4) と推定した入射地震動 (EW 成分)  
 (左: 観測記録 中央: SG4 における入射地震動 右: 地震基盤内における入射地震動)

3. 2次元 FEM 解析によるシミュレーション

2次元 FEM 解析にあたり, 1号機および5号機直下の地下構造を図1に示す各測線について, 既往の研究<sup>4)</sup>を参考に, それぞれ図5および図6に示す幅7.5km, 深さ5kmの2次元断面で7層によるモデル化を行った. モデル境界において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.

解析には図4に示す地震基盤内における入射波を用い, モデル下部境界において鉛直入射による解析を行った. 図7および図8に1号機の地下255m (G10) および5号機の地下312m (G55) におけるシミュレーション結果としてEW成分の加速度波形をそれぞれ示す. 図7および図8に示されるように, G10 および G55 における最大加速度はそれぞれ 1004cm/s<sup>2</sup> および 430cm/s<sup>2</sup> であり, 各観測点における観測値と概ね調和的である.

4. まとめ

本研究では, 2007年新潟県中越沖地震の余震記録を用いて, 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を用いて柏崎刈羽原子力発電所直下の地震基盤内における本震時の入射地震動の推定を行った. 推定した入射地震動を用いて2次元 FEM 解析を行った結果, 1号機および5号機におけるボアホールにおける計算波形の最大加速度は, 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. 記して感謝致します.

**参考文献:** 1) 東京電力(株): 柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された強震観測データの分析に係る報告(第二報), 2007.8.22 2) 西村功・他: 柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震の地震観測記録—その1 地震観測概要—, 日本建築学会大会学術講演概要集(中国), B-2, pp.1007-1008, 2008.9 3) 佐口浩一郎・他: 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 4) 徳光亮一・他: 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

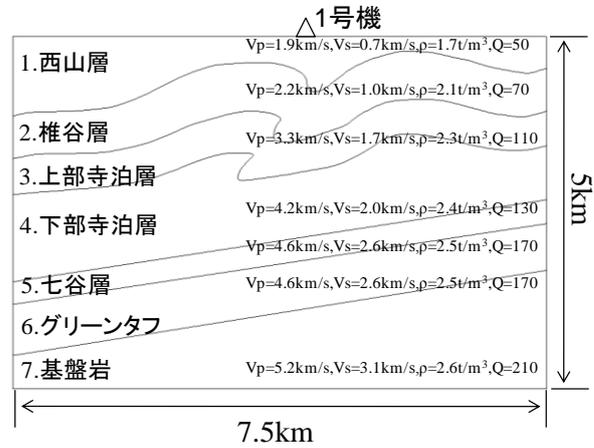


図5 1号機における解析モデル (A-A'断面 (図1))

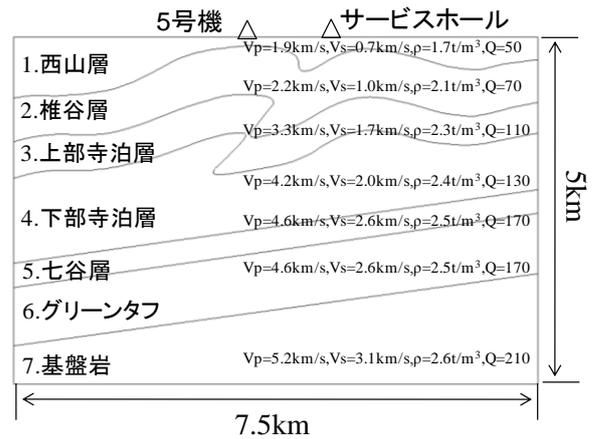


図6 5号機における解析モデル (B-B'断面 (図1))

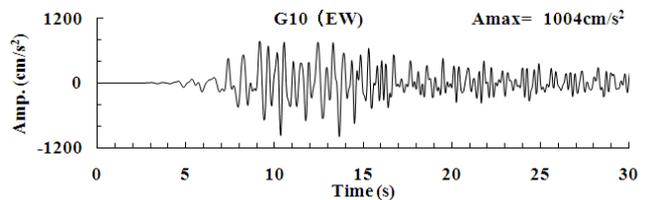


図7 1号機 (G10) における解析結果 (EW 成分)

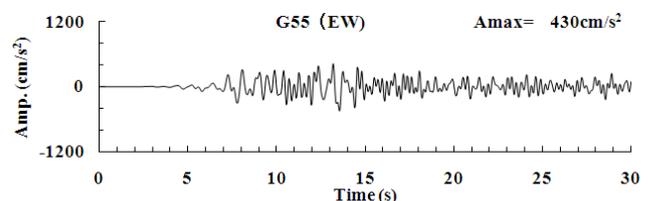


図8 5号機 (G55) における解析結果 (EW 成分)