

女川原子力発電所の鉛直アレイにおける2011年東北地方太平洋沖地震の強震動特性-地盤の非線形化が高加速度強震動に与える影響- Strong Ground Motions during the 2011 Tohoku Earthquake at the Vertical Array inside Onagawa Nuclear Power Plant

佐口 浩一郎^{1*}, 倉橋 奨², 正木 和明², 入倉 孝次郎²

SAGUCHI, Koichiro^{1*}, KURAHASHI, Susumu², MASAKI, Kazuaki², IRIKURA, Kojiro²

¹ 株式会社日本アムスコ, ² 愛知工業大学

¹Nihon Emsco Co., Ltd., ²Aichi Institute of Technology

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の際、東北電力女川原子力発電所構内において大きな地震動が観測され、地表面においては最大加速度が 692cm/s^2 (NS方向)であったと報告されている。この際、地表付近における地盤の非線形化が予想されるため、強震動特性を明らかにするためにも地盤の非線形性を適切に評価する必要がある。本研究では、まず、余震記録を用いて焼きなまし法によるボアホール観測点直下の地盤構造の同定を行う。次に、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を適用する。最後に、解析により得られた女川原子力発電所における非線形係数から地盤の非線形化が高加速度強震動に与える影響を明らかにする。

2. 地震動記録

女川原子力発電所内においてはボアホール観測では4点の鉛直アレイが組み立てられており、それぞれG4 (GL -1.7m), G3 (GL -27.3m), G2 (GL -61.5m) および G1 (GL -147.1m) となっている。これらの観測点では本震と多くの余震が観測されている。各観測点間のフーリエスペクトル比から、本震時および最大余震 (2011/04/07 23:32 M=7.5) の地表近傍での観測点 (G4) における観測記録は地盤の非線形挙動の影響を強く受けているのに対して地中の観測点 (G1~G3) における観測記録は非線形の影響が比較的少ないことが明らかであり、したがって、G3~G4 に対応する、概ね数10m程度以浅の地盤が本震時に大きく非線形化した可能性が示唆された。

3. 地下構造モデルの同定

本研究では焼きなまし法 (Ingber (1989)) によってボアホール観測点における地下構造モデルの同定を行った。地下構造モデルの同定には1次元重複反射理論での検討を行い、対象には3成分の地中に対する地表のスペクトル比を用いることにより、P波速度構造およびS波速度構造の推定を行った。推定するパラメータは各層のP波速度 V_p 、S波速度 V_s およびQ値であり、さらにQ値に関しては $Q(f) = Q_0 f^n$ とし、 Q_0 と n を推定した。温度低下関数は $T_k = T_0 \cdot \exp(-ck^a)$ で表され、冷却スケジュールのパラメータは $T_0=1$, $a=0.6$, $c=1.0$ とした。また、 T_k が 10^{-30} 以下になるまで繰り返し計算を行った。

4. 非線形係数を導入した地震応答解析

本研究では、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地震応答解析 (佐口・他 2009) を行うことにより、女川原子力発電所における地表付近の地盤の非線形化が本震時における強震動特性に与える影響を明らかにする。非線形係数であるパラメータは地盤の非線形化による地震動の振幅の低下量である $c(f)$ と各層のS波速度の低下量である (i) であり、各パラメータは焼きなまし法による逆解析により算出する。解析の結果、概ね5m以浅の非常に浅い地盤内により大きく非線形化したことが明らかとなり、また、各非線形係数から地盤の非線形化が高加速度強震動に与えた影響が明らかとなった。

謝辞

本研究では、東北電力(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

Ingber, L.: Very fast simulated annealing, Math. Comput. Modeling, Vol.2, pp.967-973, 1989

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

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 強震動, 焼きなまし法, 非線形係数, 同定

Keywords: 2011 off The Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Strong ground motions, Simulated annealing, Non-linear coefficient, Identification