

不整形堆積地盤における地表面地震応答の局所的集中について

熊本大学 正会員 秋吉 卓 熊本大学 正会員 松本 英敏
 熊本大学 学生員 栗 治郎 熊本大学 学生員 中島 直紀

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震では、山麓部の東西方向に 1~2km、長さ 30km にわたる“震災の帯”において構造物被害が多く、沿岸部や埋立地域では、広範囲にわたる液状化の被害により、地下構造物に多大な被害が生じた。これらの原因としてさまざまな要因が考えられるが、ここでは神戸の地盤と大地震との組み合わせが、地盤の不整形な堆積のため地震動が表層地盤内で乱反射することによって、地表面で局所的にエネルギーを集中させ、また、沿岸部の埋立地域では、液状化によって地盤の剛性が急低下し、表層地盤の動特性の低周数域化をもたらし、結果的に被害域の顕在化をもたらしたものとして解析を進める。また、液状化の発生による動特性の変化が周辺地盤の動特性、特に地表面の応答が集中する地域特性の影響についても検討を行う。本研究では神戸の地盤をモデル化し、地盤の不整形性と液状化に重点を置いて地震応答解析を行い、それらの連成について実際の被害状況と比較しながら検討していく。

2. 表層地盤の地震応答解析手法の概要

不整形・軟弱な表層地盤モデルの地震応答解析には、当研究室で開発した 2 相系飽和多孔質媒体についての 2 次元有限要素法により定式化した非線形有効応力解析プログラム「NUW2」を用いている。¹⁾ この解析プログラムは、Biot の 2 相混合体理論を基に、井合らの構成式を組み込んだものを、有限要素法により定式化したもので、液状化にも対応できるものである。またモデルの作成において、地盤のように無限の広がりを持つ系をある有限の領域で表現するために、前述のプログラムに当研究室で開発した吸収境界条件を付加することによって、仮想境界上で波動エネルギーを吸収させた。²⁾

3. 表層地盤のモデル化・地震応答解析

解析の対象とした表層地盤モデルは、阪神・淡路大震災調査報告書の南北地層断面図⁴⁾を参考にして、Fig.1 に示す、A-A'の神戸市中央区三宮付近と B-B'の神戸市東灘区岡本付近の地盤断面を 2 次元モデル化した（ここではスベ - スの都合上モデル図は省略）。本来ならば無限領域で取り扱うべき地盤を、本研究では 2 次元の有限領域にモデル化して数値解析を行う。

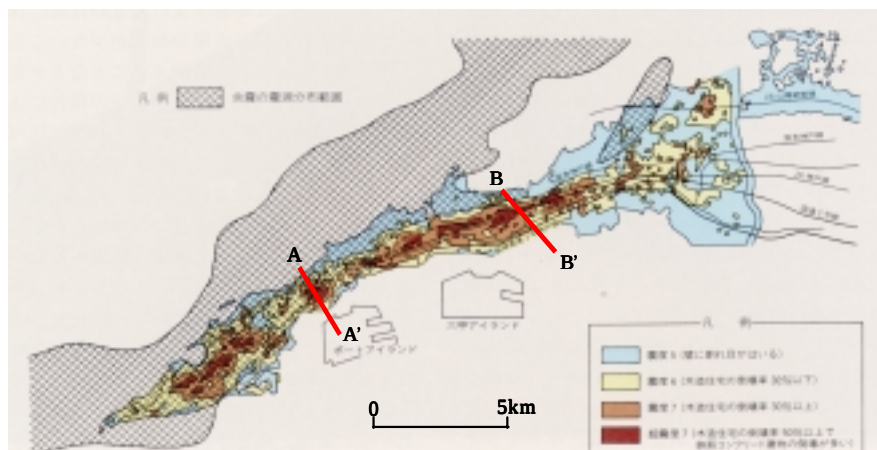


Fig.1 神戸付近地図³⁾

入力地震波は、1995 年兵庫県南部地震（ポートアイランド GL - 32m、加速度波形 NS 成分）とし、液状化による地盤の伝達特性の変化を見るため、最大加速度を 0.1m/s^2 、 1.0m/s^2 、 5.4m/s^2 (0.1m/s^2 を液状化が発生しない場合、 5.4m/s^2 を液状化が発生する場合、 1.0m/s^2 はその中間的なものとしている。) に調整した 3 種類の地震波を各モデルの下方の基盤から鉛直上方に入射させている。また、モデル地盤の両側方境界には前述した吸収境界条件を付加することにより、境界へ向かう地震波動のエネルギーを吸収している。

Key words : 不整形地盤、液状化、固有周期、非線形解析、吸収境界、エネルギー集中

連絡先 : 〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1、TEL : 096-342-3538 fax : 096-342-3507

4. 解析結果と考察

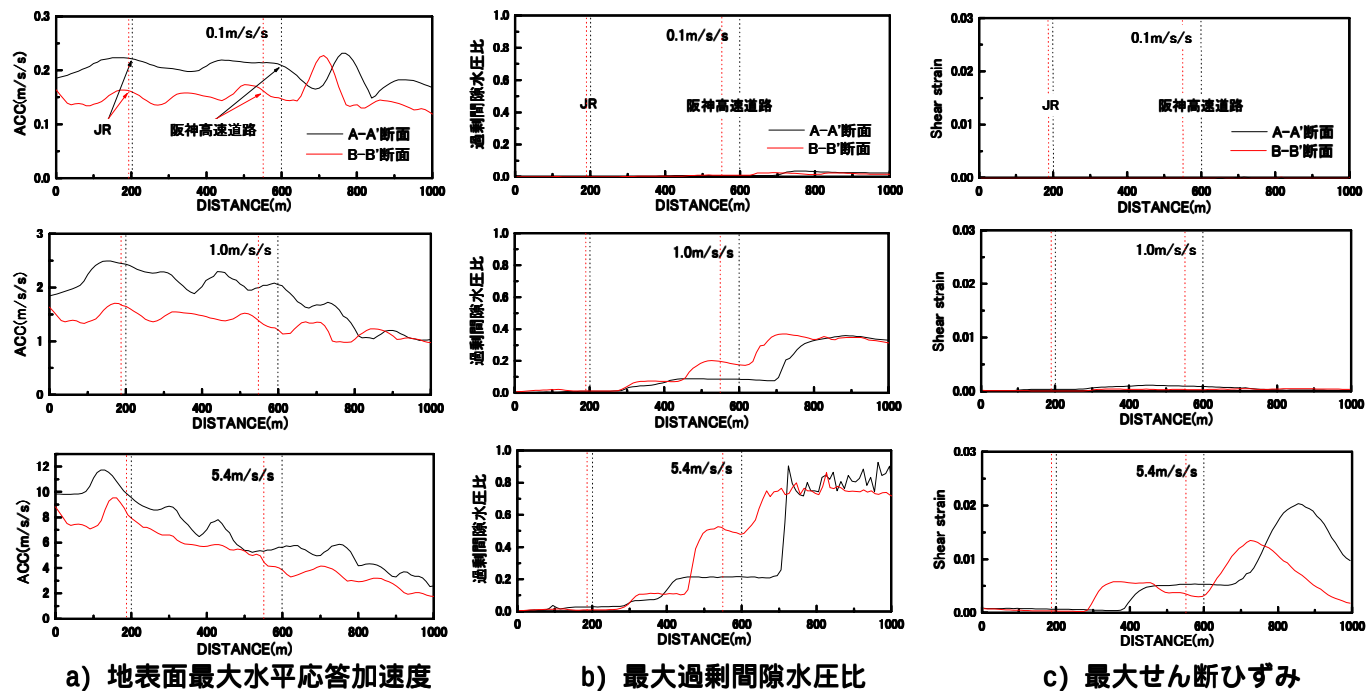


Fig.2 地表面近傍における最大応答値の分布

Fig.2 は前述の地震波の最大加速度振幅を 0.1m/s^2 、 1.0m/s^2 、 5.4m/s^2 としたときの A-A'断面、B-B'断面における地表面の水平加速度応答、過剰間隙水圧比、地表面から深さ 5m におけるせん断ひずみの最大値を示したものである。過剰間隙水圧比、せん断ひずみの最大値を見ると、海側に行くにつれて増加しているが、特に埋立土層や沖積粘土層などの軟弱地盤が堆積している部分では急激に増加していることが分かる。この地域は地下構造物やライフラインに多大な被害が生じたところである。また、両断面の地表面加速度応答の最大値を見ると、入力最大加速度振幅が 0.1m/s^2 の時のピーク地点が 800m 付近、 1.0m/s^2 では 200m 付近、 5.4m/s^2 では 150m 付近と過剰間隙水圧比が増加するにつれピーク地点が山側に移動し、顕在化していくことが分かる。 5.4m/s^2 では、両断面ともにピーク時の値は非常に大きい、特に A-A'断面では 11.7m/s^2 を示し、その周辺でも最大加速度が 10.0m/s^2 を越える地域がある。実際の地震でも JR 三ノ宮駅をまたいだ南北の地域で、震度 7 に相当する被害が生じている。以上のように、解析結果が実際の被害とほぼ対応していることがわかる。

5. まとめ

本研究では、地盤構成がかなり異なる 2 断面を用いて解析を行ったが、ほぼ類似の結果を得た。すなわち、神戸の地盤のように不整形性の強い地盤では、入力強度とともに、海側の液状化が進むにつれ、加速度応答のピーク地点が海側から山側に移動することがわかった。また、局所的に大加速度が集中する場所が存在し、それらの場所は構造物被害が最も顕著に表れた地域とほぼ一致した。埋立土層や沖積粘土層などの軟弱地盤が堆積している部分では液状化が起これ、加速度は軽減されたが、地下構造物の被害が生じたということも検証された。以上のことから 1995 年の兵庫県南部地震における「震災の帯」や沿岸部の液状化などの諸現象を検証でき、実際の被害との対応性が確認できた。

6. 参考文献

- 1) Akiyoshi, T. Fuchida, K. & Fang, H.L., An absorbing boundary conditions for dynamic analysis of fluid-saturated porous media, Int.J.Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.13, No.6, pp.387-397, 1993.
- 2) Akiyoshi, T. Fang, H.L. Fuchida, K. & Matsumoto, H., A Nonlinear seismic response analysis method for saturated soil-structure system with absorbing boundary, Int.J.Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.20, No.5, pp.307-329, 1996.
- 3) 社) 地盤工学会・阪神大震災調査委員会：阪神・淡路大震災調査報告書（解説編） pp.222-224, 平成 8 年 3 月。
- 4) 田村 重四郎：「阪神・淡路大震災の特徴」土木施工、1995 年 8 月号