

兵庫県南部地震鉛直アレー観測記録の3次元液状化解析シミュレーション

大成建設（株） 正員 田口 洋輔 大成建設（株） 正員 立石 章  
 岐阜大学 正員 岡 二三生 岐阜大学 正員 八嶋 厚

1. はじめに

兵庫県南部地震において、耐震工学上解決すべき課題が多数顕在化した。その一つとして、沖合いあるいは沿岸の埋立地や低湿地における液状化被害に対するメカニズムの解明と対策は早急に実施すべき重要なテーマである。本報はポートアイランドで記録された鉛直アレーの加速度記録をもとに、有効応力解析法に基づく3次元液状化解析を当該地盤に対して行ったものである。地盤の物性値に関する情報などに不十分なものが多く必ずしもの確なパラメーターの設定には至っていないが、第1報として報告するものとする。

2. 解析手法の概要

本解析手法は Biot の二相混合体理論を用いて u-p 形式に定式化した支配方程式を、空間的には FEM と FDM を用いて離散化し、時間的には Newmark の  $\beta$  法を用いて離散化した (Okaら; 1994) 3次元有効応力解析コードである。土の有効応力とひずみの関係を記述する構成モデルは、弾塑性理論に基づいており、過圧密境界曲面、非線形移動硬化則、流れ則の一般化などの概念を取り入れた構成モデル (Okaら; 1992、Tateishiら; 1995) であり、多様な応力状態に対応する実用的な3次元および2次元液状化解析を可能としている。

3. 解析モデルと解析条件

鉛直アレー記録は、4深度 (GL-79m, -28m, -12m, 0m) における3方向 (NS, EW, UD) 成分の加速度記録が得られている。本検討ではGL-79mの加速度記録を入力加速度とし、GL-79m以浅の地盤を1列の柱状要素(37要素)としてモデル化した。底面節点変位は固定、側方は等変位境界とし、また底面と側面は非排水境界、地下水位面 (GL-5m) を排水境界とした。Newmark の  $\beta$  法における  $\beta$ 、 $\gamma$  をそれぞれ0.3025、0.6とし、Reileigh 減衰2%を考慮した。各土層のパラメーターに関しては、N値、せん断波速度、土質程度の情報しかないことから、付近の土質データ、一般的な値などをもとに推定した。表-1に本解析に用いたパラメーターと想定した各層の液状化強度を示す。

4. 解析結果と考察

図-1に観測記録と解析結果の比較をNS, EWの2成分について示す。地表面 (GL±0m) での液状化にとも

表-1 解析に用いたパラメーター

深度 (GL.m)	土層	単位体積重量 tf/m <sup>3</sup> (N値)	間隙比 e	せん断波速度 Vs m/sec	ポアソン比 ν	透水係数 m/sec	Go/σ'vo	変相角 (°) (変相応力比 Mm*)	破壊角 (°) (破壊応力比 Mp*)	液状化抵抗		塑性剛性 パラメータ		ダイレイタンス パラメータ		標準ひずみ
										N=10	N=30	上段: B <sub>0</sub> * 中段: B <sub>1</sub> * 下段: C <sub>1</sub> *	上段: D <sub>0</sub> * 下段: n	上段: γ <sub>Dr</sub> <sup>ε</sup> 下段: γ <sub>Dr</sub> <sup>ε</sup>		
0.0	砂礫 (埋土)	1.9 (5.2)	0.80	170	0.25	乾燥弾性材料を仮定 (λ = 2800tf/m <sup>2</sup> , μ = 2800tf/m <sup>2</sup> )										
-5.0	砂礫 (埋土)	1.9 (6.5)	0.80	210	0.25	4.0×10 <sup>-4</sup>	1000	23.8 (0.76)	26.4 (0.85)	0.16	0.13	4000 400 2000	0.8	2.2	0.005%	0.10%
-12.6	礫混り砂 (埋土)	1.9 (6.5)	0.80	210	0.25	4.0×10 <sup>-4</sup>	670	23.8 (0.76)	26.4 (0.85)	0.16	0.13	3000 900 2000	0.8	2.0	0.05%	0.20%
-19.0	沖積粘土	1.6 (3.5)	1.20	180	0.30	1.0×10 <sup>-8</sup>	320	28.0 (0.91)	36.7 (1.22)	—	—	4000 400 2000	0.001	1.2	0.05%	0.20%
-27.0	(-28m)沖積砂	1.9 (13.5)	0.75	245	0.25	1.0×10 <sup>-4</sup>	590	28.0 (0.91)	31.4 (1.03)	0.35	0.25	7000 700 2000	0.8	4.0	∞	∞
-33.0	洪積砂礫	1.9 (36.5)	0.72	305	0.25	1.0×10 <sup>-4</sup>	680	28.0 (0.91)	42.0 (1.41)	0.40	0.30	10000 1000 2000	0.6	5.0	0.005%	0.03%
-50.0	洪積砂礫	1.9 (61.9)	0.70	350	0.25	1.0×10 <sup>-4</sup>	680	28.0 (0.91)	43.0 (1.44)	—	—	10000 1000 2000	0.4	5.0	0.005%	0.03%
-61.0	洪積粘土	1.6 (11.7)	1.00	303	0.30	1.0×10 <sup>-8</sup>	355	28.0 (0.91)	39.4 (1.31)	—	—	6000 600 2000	0.001	1.2	∞	∞

備考 1. ▲ 加速度計 2. 静止土圧係数 K<sub>0</sub>=0.5 3. 過圧密比 1.2

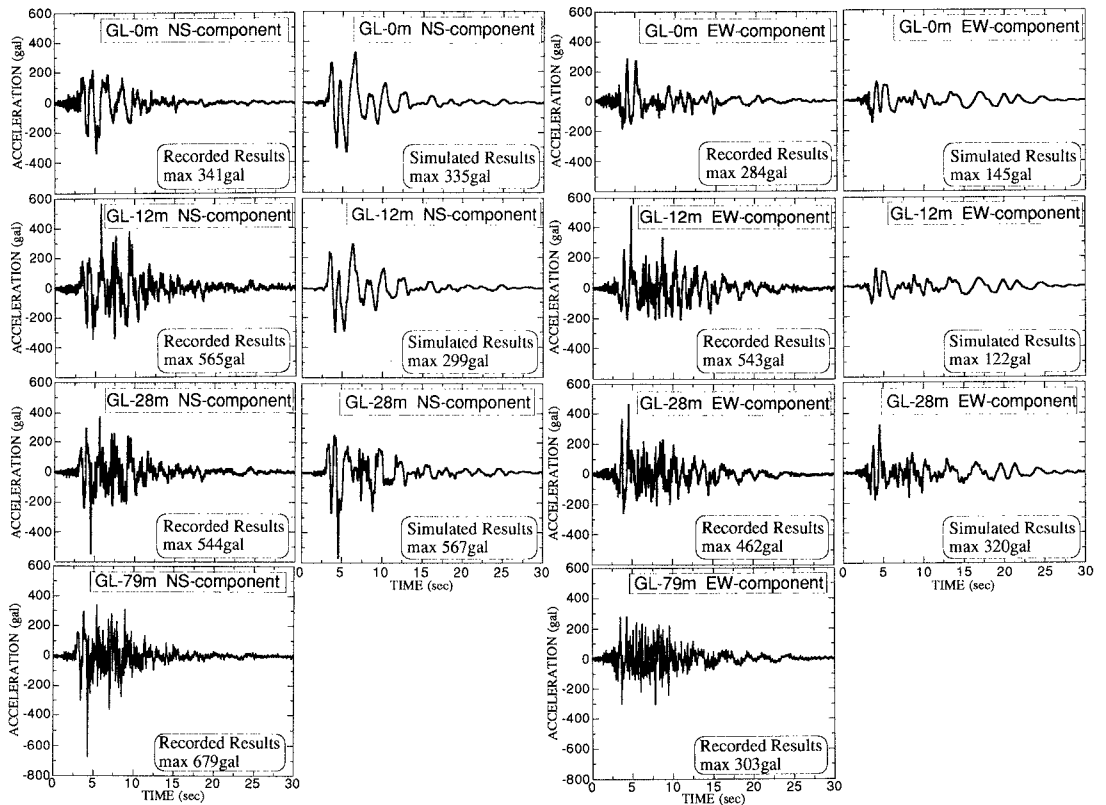


図-1 観測記録とシミュレーション解析結果の比較

なう加速度応答の減衰や長周期化は観測記録をよく再現し得ており、GL-28m、-12mにおいてもピークの形状はほぼ再現されており全体的に整合のとれた観測結果、解析結果であることがうかがえる。ただし、特にGL-12mにおいては解析結果において高周波成分の減衰が観測値に比較して大きく、洪積砂礫層の剛性・強度などの評価に問題点が残される。またEW成分については解析による応答最大値が観測記録に比較してかなり小さくなっている。一方、ここには示さないが、UD成分に対しても観測記録においては増幅がみられたが、本解析の様な1列の柱状のモデルでは加速度増幅を十分再現することができず、ほとんど増幅がみられなかった。3次元的な変形、あるいは水の流れを考慮するモデル化についてもさらに検討する必要がある。

#### 5. まとめと今後の課題

鉛直アレー観測記録の3次元液状化解析シミュレーションを実施し、限られた情報のなかで比較的良好に観測記録を再現することができた。今後は、当該地盤の調査、土質試験結果をもとにより精度の高いパラメータの設定を行い解析を実施するとともに、3次元的な変形、浸透を考慮したモデルによる比較解析を行なう予定である。

謝辞 アレー観測記録は神戸市開発局の提供を受けたものであり、また本検討で用いた加速度データは岐阜大学において計器補正を行なったものである。末筆ながら、データを提供していただいた神戸市開発局、補正データを作成していただいた岐阜大学の杉戸真太助教授に謝意を表します。

参考文献 1) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M. and Uzuoka, R. (1994): "FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model," Applied Scientific Research 52, pp.209-245. 2) Oka, F., Yashima, A., Kato, M. and Sekiguchi, K. (1992): "A constitutive model for sand based on the non-linear kinematic hardening rule and its application," Proc. of 10th WCEE, pp.2529-2534. 3) Tateishi, A., Taguchi, Y., Oka, F. and Yashima, A. (1995): "A cyclic elasto-plastic model for sand and its application under various stress conditions," 1st Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering IS-TOKYO '95 (投稿中)