

有効応力時刻歴動的解析による地下構造物に対する液状化の影響検討

張 鋒¹・山口 直紀²・北嶋 武彦³・太田 擴⁴・坂口 隆雄⁵・西田 允俊⁶

¹正会員 工博 中央復建コンサルタンツ(株) (〒532大阪市淀川区西宮原1-8-29)

²フェロー 中央復建コンサルタンツ(株) (〒532大阪市淀川区西宮原1-8-29)

³正会員 中央復建コンサルタンツ(株) (〒532大阪市淀川区西宮原1-8-29)

⁴正会員 大阪市交通局 (〒550大阪市西区九条南1-2-2)

⁵正会員 大阪市交通局 (〒550大阪市西区九条南1-2-2)

⁶正会員 大阪交通事業振興公社 (〒550大阪市西区九条南2-4-3)

大地震時に液状化した地盤中に位置する地下構造物には、大変形および構造物の損傷が予想される。本研究の目的は、弾塑性有効応力時刻歴動的解析により地盤が液状化した場合の地下構造物の挙動を検討するものである。

Key words: Seismic evaluation, underground structure, dynamic analysis, elasto-plasticity, effective stress

1. まえがき

兵庫県南部地震のような大地震が発生すると、大規模な地盤の液状化現象が発生する可能性がある。その液状化した地盤中に位置する地下構造物には、大変形および構造物の損傷が予想される。本研究の目的は、有効応力時刻歴動的解析により地盤が液状化した場合の地下構造物の挙動を検討するものである。

2. 自然地盤の液状化解析

液状化問題に対応可能な数値解析法として、有限要素法(FEM)や、砂の弾塑性構成式を用いた有効応力解析手法がこれまでに多く研究されている。本研究では、岡ら^{1),2)}により開発されたFEM-FDMによる有効応力時刻歴動的解析コード(LIQCA)を用い、解析においてはBiotの二相混和体理論に基づいた定式化により連成解析を行う。

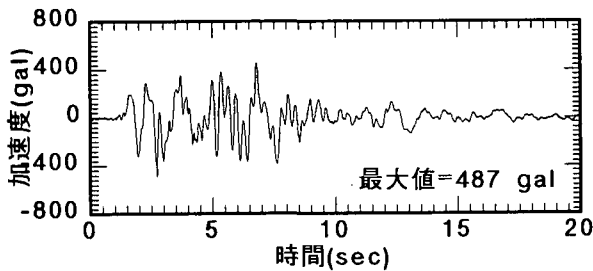


図1 入力地震動

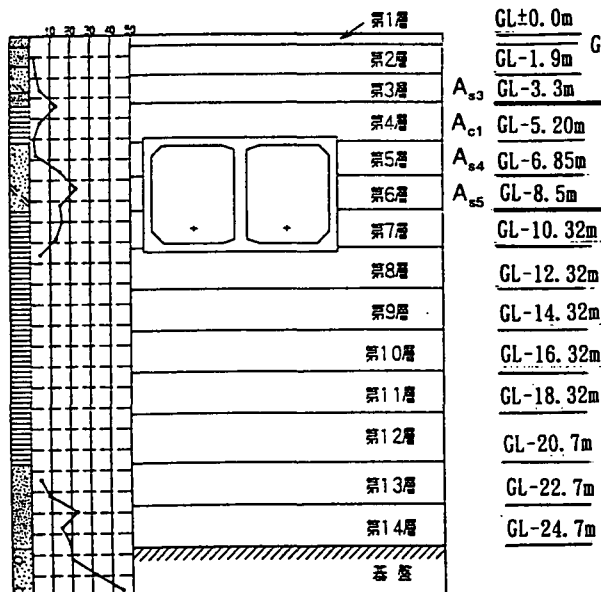
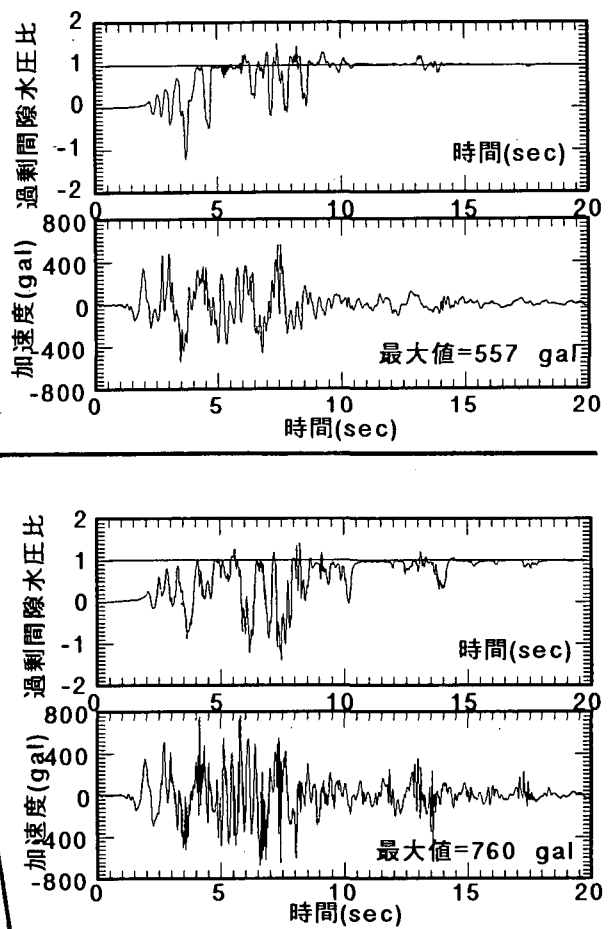


図2 自然地盤の液状化解析結果



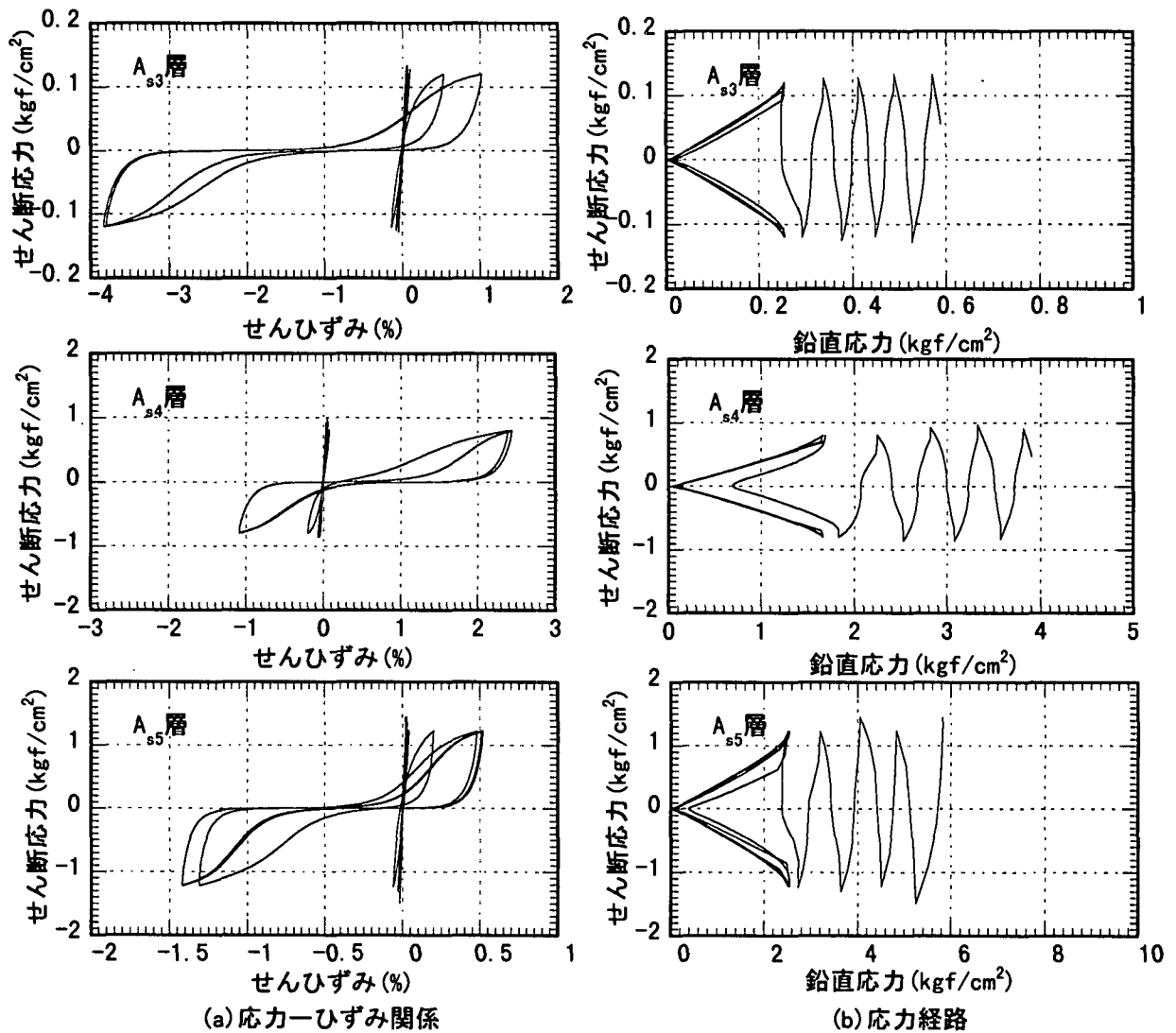


図3 中空ねじり繰り返しせん断試験のシュミレーション結果

解析に用いる砂の構成式は、非線形移動硬化理論に基づいた繰り返し弾塑性構成式である。支配方程式の離散化については、空間的には有限要素法、時間的には差分法 (FDM) で行う。解析用入力地震動としては図1に示す大阪市暫定地震波西大阪地盤の基盤波形のうち主動部の20秒を用いた。検討の対象となる地盤は図2に示すように、上位から表土・レキ混り砂・粘土・砂・粘土・洪積互層に区分し、液状化対象層を第3層、第5層、第6層の沖積砂層、3層に限定する。解析の対象とする地盤の特性について、動的せん断試験など室内試験の結果に基づいて、有効応力解析のパラメータを決めるのは理想であるが、今回の場合、実験の結果がないために、標準貫入試験のN値により推定した。図3は液状化対象層においてせん断比0.2の場合の中空ねじり繰り返しせん断試験を理論的にシュミレートした結果を示すものである。解析領域は二次元モデルとし、その側方境界は等変位境界とする。図2に液状化層の境界面における地盤の時刻歴応答加速度、過剰間隙水圧比を示す。A_{s3}層では、7.

5秒前後から液状化の影響により加速度波形が長周期化するとともに、最大応答加速度もA_{s5}層における地震動の最大値に対して約73%に低減している。過剰間隙水圧は、10秒前に多少の変動が見られるが、その後完全液状化してほぼ一定の値になっている。

3. 地盤・構造物一体系の解析

検討の対象となる構造物は、図4に示すように一層二径間のRC構造物である。その位置から見ると、ボックスの周辺地盤は液状化する層としない層が互層になっている。地盤・構造物体系の解析について以下の2点を考慮した。

- (1) 部材の非線形性を逆向型バイリニアモデルで考慮し、図5に示すように第二勾配を第一勾配の1/10に設定した。
- (2) 部材と地盤の剛性差による剥離・すべりを薄葉要素でシュミレートする。薄葉要素は、せん断破壊が発生すると載荷・除荷によらず剛性が

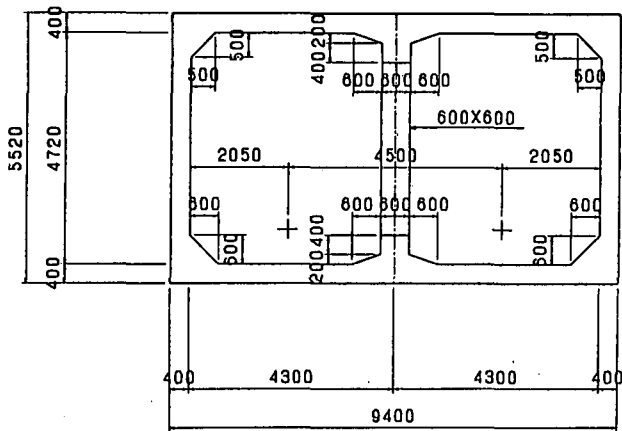


図4 ボクスカルバートの構造寸法

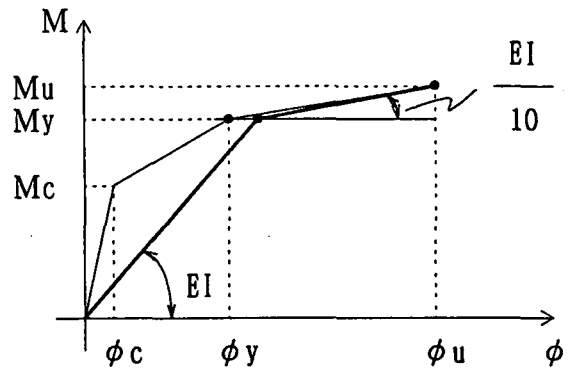


図5 部材の非線形特性

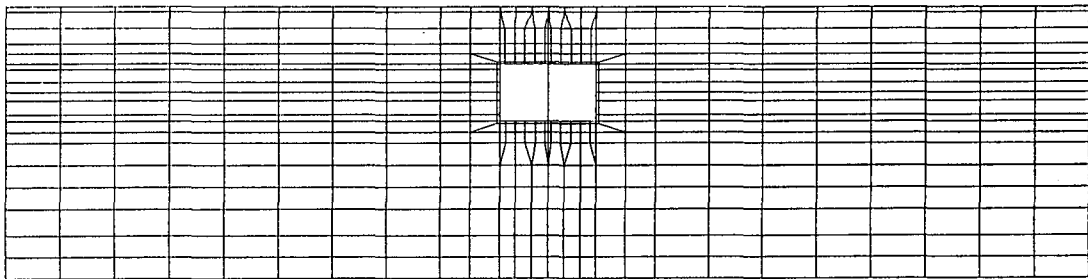


図6 FEMメッシュ

急激に減少する特性を持つ要素をいう。図6に解析に用いられるFEMメッシュを示す。薄葉要素の幅は20 cmとした。

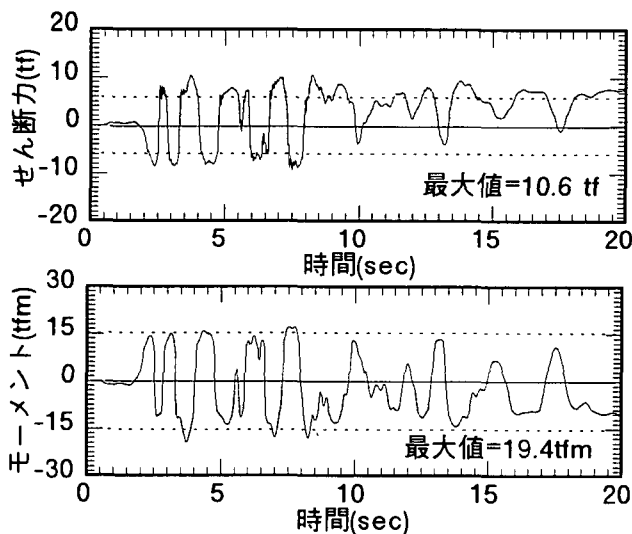


図7 中柱断面力時刻歴応答値(薄葉要素あり)

また、構造物の常時荷重による初期応力は別途、骨組解析により求め、一体系解析の初期値として入力することにした。図7は、薄葉要素がある場合の中柱の時刻歴応答断面力を示したものである。いずれも、発

生せん断力・曲げモーメントが終局耐力を上回り、その発生時刻は完全液状化前となっている。薄葉要素の影響を調べるために、薄葉要素が有る場合と無い場合の2ケースについて解析を行った。その結果を図8に示すが、薄葉要素を考慮した場合には断面力の最大値は約1/2に低下している。

図9は最大断面力が発生した時刻の地盤変形を示したものである。薄葉要素がない場合には、構造物の反射による地表面の鉛直振動は顕著でない。それに対して、薄葉要素がある場合には、地表面鉛直振動が数センチに達し、両者の差が相当大きいという結果が得られた。

4. まとめ

今回の検討結果は以下の様に要約される。

- (1) 自然地盤の解析結果から、沖積砂層では液状化により応答加速度が長周期化し、その最大応答も入力最大加速度の約73%まで低減される。
- (2) 地盤構造一体系の解析では、構造物に与える液状化の影響は、薄葉要素の有無に大きく左右される結果となり、さらなる検討が必要であると考えられる。

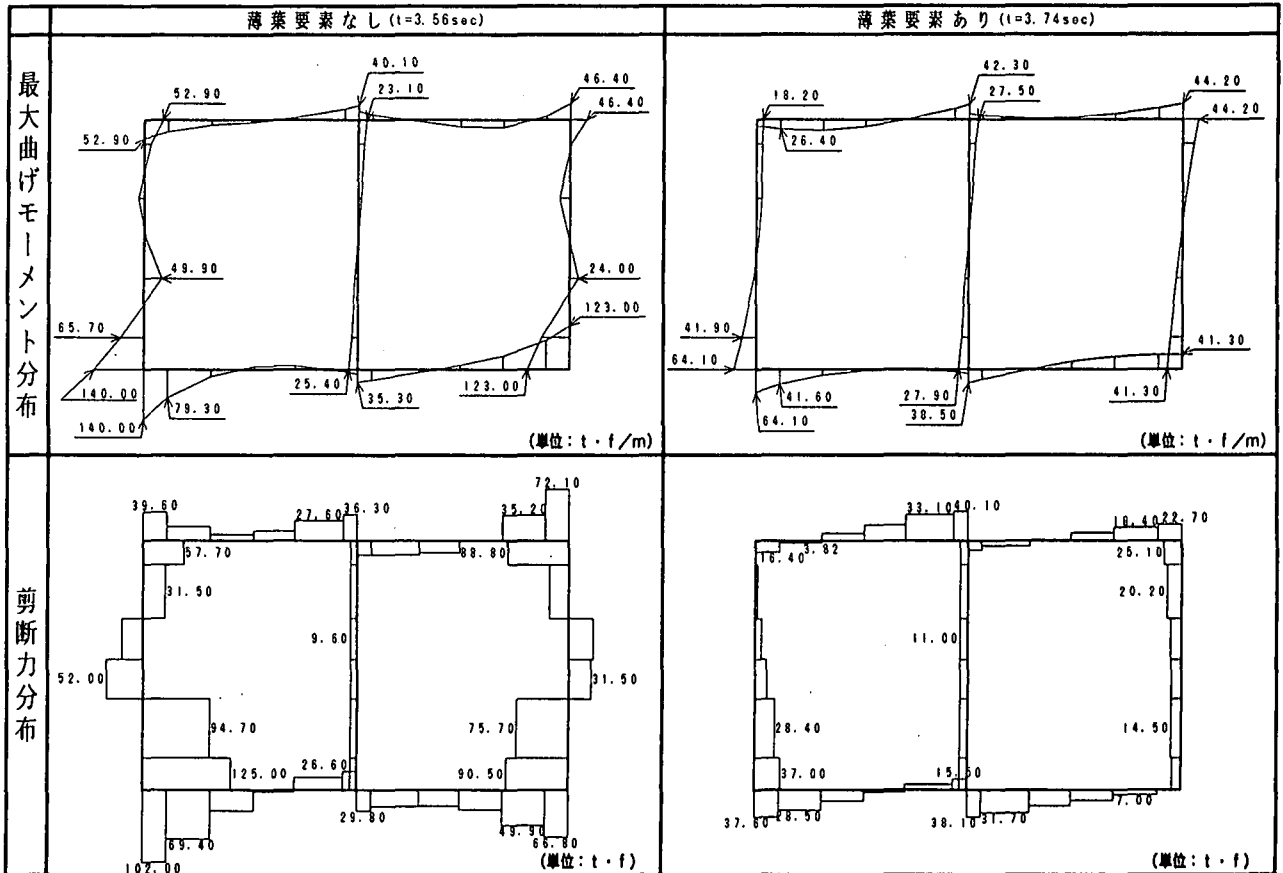
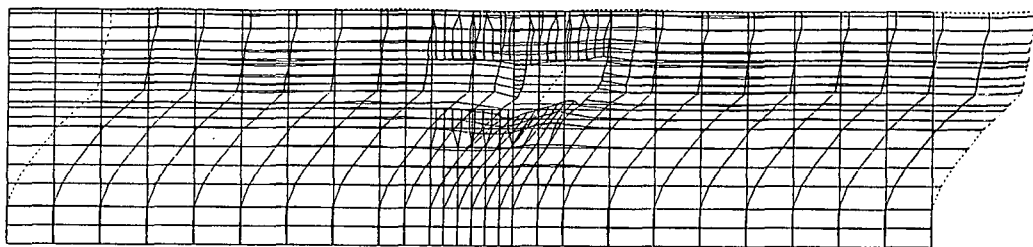
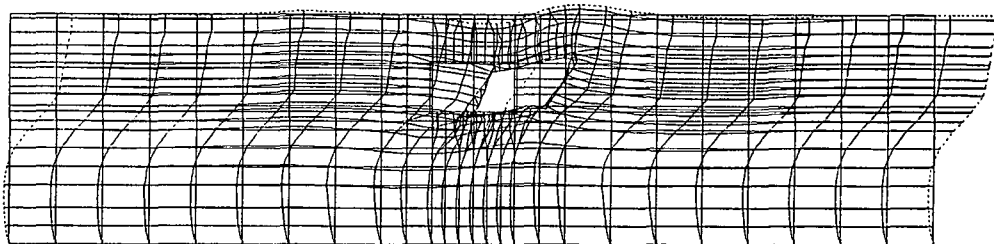


図8 最大断面力分布の比較



(a) 薄葉要素なし



(b) 薄葉要素あり

図9 最大断面力発生時刻の地盤変形

参考文献

1) F. Oka, A. Yashima, T. Shibata, M. Kato and R. Uzuoka, 1994: "FEM-DEM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model," Applied Science Research 52, pp.209-245

2) Y. Taguchi, A. Tateishi, F. Oka and A. Yashima, 1995, A cyclic elasto-plastic model for sand based on the generalized flow rule and its application, Proc. 5th Int. Symp. on Numerical Models in Geomechanics, Davos, Swiss, pp57-62.