

有効応力解析における土層モデルの違いが液状化危険度予測に与える影響

地盤工学研究室 川崎直人

(平成 27 年 3 月 6 日提出)

1. 研究の背景と目的

2011 年東北地方太平洋沖地震では、東北・関東地方の広範囲に及ぶ液状化によって、住宅周辺の地盤沈下、上下水道・雨水管・ガス等のライフラインが寸断されるなどの被害が発生し、市民生活に大きな影響を与えた。

本研究は、地盤沈下の経時変化を予測し、具体的な防災・減災活動計画のため、空間的・時間的な精度を高めた実用的な液状化危険度予測図を作成を目的としている。そのための基礎的検討として、徳島市川内町のボーリングデータを対象に、三次元有効応力解析において液状化による地盤沈下等の地盤変形を予測する新たな土層モデルを考案した。この土層モデルと従来のモデルについて液状化危険度予測の違いを検討した。

2. 有効応力解析手法

本研究で用いる解析コード LIQCA3D13¹⁾ では、固相の変位 u と間隙水圧 p を未知数とした $u-p$ 定式化 ($u-p$ formulation) を用いる。砂の動的挙動を再現する構成式について、液状化に伴う地盤の地震中の変形を再現できる Oka ら²⁾ の繰返し弾塑性モデルを用いる。支配方程式の離散化に有限要素法 (FEM) と有限差分法 (FDM) を用いる。時間離散化には陰解法である Newmark の β 法を用いる。

3. 解析条件

解析対象地点は徳島平野の吉野川河口付近である。本解析は、液状化対象層に適用する繰返し弾塑性モデルについて、従来の方法に加えて、モデル化の方法が異なる新たな手法を用いて解析を行った。各手法の概要図を図 1 に示す。

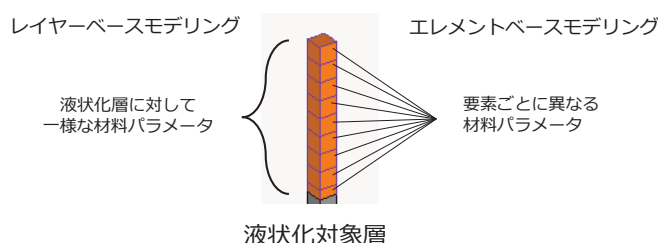


図 1 モデルの概要

対象土層から採取した不攪乱試料の非排水繰返し三軸試験から得られる液状化強度を基に、要素シミュレーションにより構成モデルの材料パラメータを設定する従来の方法をレイヤーベースモデリング (以下、LBM) とする。これは液状化対象層に対して代表的な材料パラメータを 1 セット設定する方法で、実際の試験結果から液状化特性等の力学的性質が得られるが、不攪乱試料の品質や、不均質性の評価が課題となる。これに対し、液状化対象層における解析モデルの要素 (深度 1m ごと) の N 値や細粒分含有率 F_c 等を用いて経験的に液状化強度を算出する方法を新手法として検討を行うことにした。これをエレメントベースモデリング (以下、EBM) とよぶ。土層の力学特性の情報が無い場合でも、深度 1m ごとの液状化強度が得られるため解析対象の拡大に繋がるという利点を持つ反面、経験式の精度が課題となる。

LBM では、室内試験に基づいてパラメータを決定し、不足してる値は要素シミュレーションまたは近くの地点で行われていた調査結果を用いて決定した。EBM では基本的な方針として経験式を用いてパラメータを設定したが、その精度が問題となる。徳島平野の数地点において、経験式と室内試験による液状化強度を比較したところ、両者は概ね一致していることを確認している³⁾。また、経験式からは得られない液状化特性 (せん断ひずみの発達傾向) について、三上ら⁴⁾ の方法を用いて、徳島平野の液状化層のひずみの発達モデルを検討し、 $F_c \leq 35\%$ と $F_c > 35\%$ の 2 種類のひずみ発達特性モデル³⁾ (バイアリニア型モデル) を作成した。このような関係があれば、経験的ではあるが要素シミュレーションによって材料パラメータを設定することができる。

4. 解析結果

解析の対象とした地点を図 2 に示し、その内の一例として地点 1 の土層構成を示す。標準貫入試験から得られた N 値 (SPT-N)、細粒分含有率 F_c 、及び PS 検層から得られたせん断波速度 V_s の深度分布を示している。As1 層には繰返し断塑性モデル、その他の層には

R-Oモデルを適用した．南海トラフ地震を想定した入力地震動⁵⁾，およびその地表面応答加速度の波形を図4に示し，地点1における地表面の鉛直変位と過剰間隙水圧の時間経過による変化を図5，6に示す．LBMでは鉛直変位が30cm沈下するという結果に対してEBMでは1mを超える解析結果となった．これは経験的に過大評価となっているという可能性がある．この地点が厚い沖積層（液状化対象層）を有し，被害が大きくなりやすい土層構成となっている．また細粒分含有率 F_c のデータが存在せず，付近のボーリングデータから得られた値を直接用いたことが過大評価を招いたと考えられる．

5. まとめ

今回の検討では，徳島市川内町のボーリングデータを対象として，LIQCAによる有効応力解析を行い，LBMとEBMの二つの土層モデルによる液状化危険度予測の違いを検討した．EBMでは地表面の鉛直変位が1mを超える結果となった．今後再検討する必要がある．



図2 徳島市川内町調査対象地点

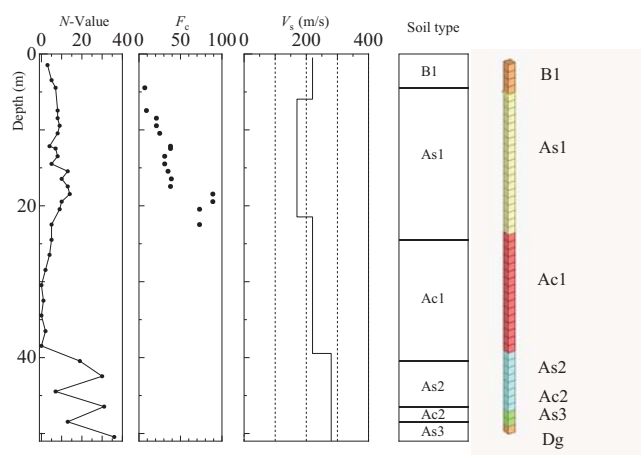


図3 土層構成の一例（地点1）

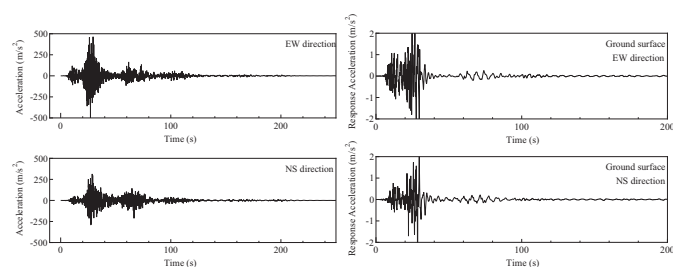


図4 入力地震動及び地点1における地表面応答加速度

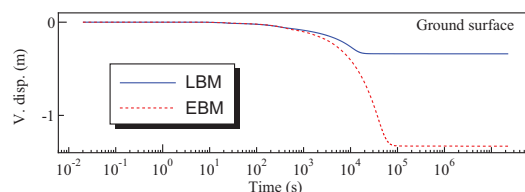


図5 鉛直変位の比較（地点1）

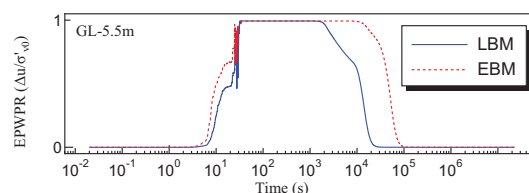


図6 過剰間隙水圧比の比較（地点1）

参考文献

- 1) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所：LIQCA2D13・（2013年公開版）資料，2013.
- 2) Oka, F., Yashima, A., Tateishi, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S.: A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependence of the shear modulus, Geotechnique, 49(5), 661-680, 1999.
- 3) 石川裕規，渦岡良介，吉田直央：徳島平野における沖積砂質土の液状化特性モデル化，第48回地盤工学研究発表会（富山），No.129, C-09, pp.258-258, 2013.
- 4) 三上武子，一井健二，上村一瑛，仁科春貴：非排水繰返しせん断時のひずみ発達モデル，地盤工学ジャーナル，7(1)，311-322，2011.
- 5) 内閣府（防災担当）：南海トラフの巨大地震モデル検討会，2012.