

液状化に伴う戸建住宅の沈下現象についての数値解析的アプローチ (その1)

正会員 ○余川 弘至* 同 磯部 有作**
同 福田 毅*** 同 里 優***
同 新井 洋****

液状化 戸建住宅 有限要素法
有効応力 動的解析 東北地方太平洋沖地震

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、地盤が液状化することにより、住宅が沈下、傾斜する被害が多数報告されている。中でも住宅が近接して建築されている場合には、隣り合う住宅がお互いにお辞儀するように傾斜して沈下する被害が報告されている¹⁾。これは、地震に伴う地盤の液状化および住宅の振動が相互的に作用するためと考えられる。そこで本研究では、その様な被害を受けた茨城県潮来市日の出地区(以下、日の出地区)および千葉県習志野市香澄地区(以下、香澄地区)の2地区(図1参照)を対象に動的有効応力解析を実施した。本報では、お辞儀モードを検討するための準備解析として、地盤のみを取り扱った土柱モデルによる検討結果を報告する。



図1 解析対象地区の位置図

2. 解析手法

有効応力解析プログラムコード LIQCA²⁾を用いた。LIQCA は、Biot の二相混合体理論³⁾に基づいた土-水連成の動的な支配方程式に、非線形移動硬化則に基づく構成式を組込んだものである。支配方程式は、固相の変位と間隙水圧を変数とする $u-p$ 形式に基づいている。空間の離散化には、有限要素法(FEM)と有限差分法(FDM)を用いて、時間の離散化には Newmark の β 法を用いている。

3. 解析条件

(1) 入力パラメータ

各地区で実施された地盤調査結果を基に要素シミュレーションを実施し、各種のパラメータを決定した。図2に両地区の液状化懸念層(図4参照)で実施した要素シミュレーションの結果を示す。

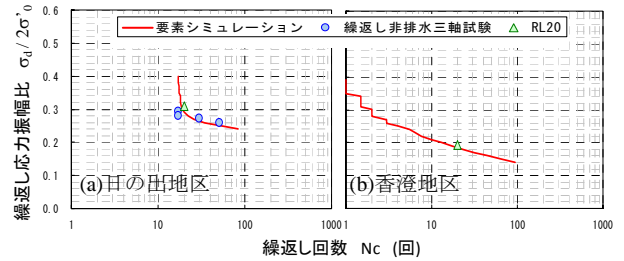


図2 要素シミュレーション結果(液状化強度曲線)

(2) 入力地震動

入力地震動には、日の出地区では潮来市役所(図1(a)参照)、香澄地区では習志野市役所(図1(b)参照)で計測された本震および余震記録(SK-net)を用いた。両観測点とも、近隣のボーリングデータおよび微動 H/V スペクトルから、概ね工学的基盤($V_s=400\text{m/s}$)以浅の表層地盤による地震動増幅の影響が小さいと推察されたため、計測された地震波を 2E 波であると仮定し用いた。なお、本報では NS 方向、EW 方向の水平2方向を同時に入力し、次報では2次元解析のため角度補正をした波を入力している。それぞれの地区で計測された本震の応答スペクトル(減衰定数5%)および平成12年建設省告示1461号で規定されている工学的基盤上の地震動スペクトルを図3に示す。

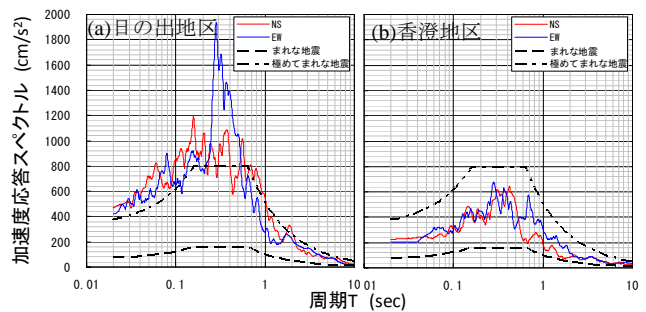
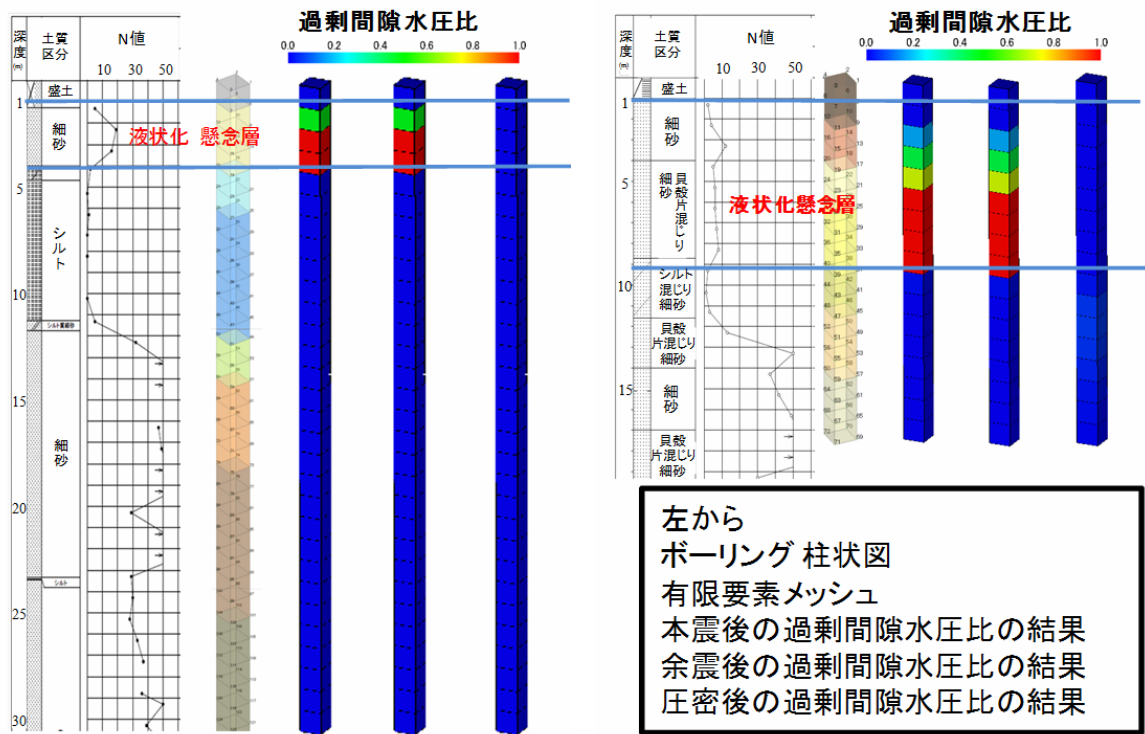


図3 加速度応答スペクトル

(3) 解析メッシュ

解析メッシュは、 $1\text{m}\times 1\text{m}\times 1\text{m}$ の正立方体を縦(鉛直方向)に配列し、日の出地区、香澄地区それぞれの工学基盤(N



(a) 日の出地区 (b) 香澄地区
 図4 ボーリング柱状図、解析メッシュおよび解析結果(過剰間隙水圧比)

値 50 相当)までモデル化した。日の出地区の解析メッシュの節点数および要素数は、124 および 30 であり、香澄地区の解析メッシュの節点数および要素数は、72 および 17 である(図4参照)。

(4) 境界条件

変位境界条件は、解析メッシュの底面を粘性境界(弾性基盤)とし、側面の節点は周期境界とした。水理境界条件として、地下水面を排水境界とした。

4. 解析結果

日の出地区での本震後(120秒)、余震後(170秒)、圧密が終了した時刻(約3時間)の過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)の状況を図4(a)に、香澄地区での本震後(140秒)、余震後(190秒)、圧密が終了した時刻(約6時間)の過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)の状況を図4(b)に示す。凡例のカラーグラデーションは、過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)を示しており、橙色～赤色(数値で0.95～1.00)になった時、地盤が液状化したと判断される。

日の出地区、香澄地区いずれの地区も、液状化が懸念される層(日の出地区: GL.-1.0m～GL.-4.0m、香澄地区: GL.-1.0m～GL.-9.0m)と、数値解析において液状化するとされた層が概ね一致した。ただし、液状化懸念層の上層

部で、液状化に至りにくい傾向が見られる。これは、境界条件や下層が液状化することにより入力される地震動が小さくなったためと考えられる。

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震で確認された隣り合う住宅がお互いにお辞儀するように傾斜して沈下する被害を検討するための準備解析として、日の出地区および香澄地区の2地区を対象に、地盤のみを取り扱った動的有効応力解析を実施した。

謝辞 本研究では、首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)を利用しました。また、これらの検討は、国土交通省「道路・宅地の一体的な液状化対策効果の電算解析業務」の一環として実施したものである。記して謝意を示す。

【参考文献】1) Tokimatsu, K., and Katsumata, K., : LIQUEFACTION-INDUCED DAMAGE TO BUILDINGS IN URAYASU CITY DURING THE 2011 TOHOKU PACIFIC EARTHQUAKE, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, pp665-pp674, 2012. 2) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M., and Uzuoka, R. : FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Scientific Research, 52, 209-245, 1994. 3) Biot, M. A., "Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media," Journal of Applied physics, Vol. 33, No. 4, pp. 1482-1498, 1962.

*バタリービングつくば建築試験研究センター, 博士(工)
 **地層科学研究所, 修士(工)
 ***地層科学研究所, 博士(工)
 ****国土技術政策総合研究所, 博士(工)

*1 Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living, Dr. Eng.
 ** Geoscience Research Laboratory, Dr. Eng.
 *** Geoscience Research Laboratory, Dr. Eng.
 **** National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng