

本震による不飽和土層の飽和化に起因した余震時の液状化被害拡大に関する解析的考察

名古屋大学 フェロー会員 ○野田 利弘
正会員 吉川 高広

1. はじめに

東日本大震災では、浦安市をはじめとして、東京湾沿岸部の埋立地盤において広範囲に液状化被害が発生した。千葉県では本震に加えて 29 分後に大きな余震が襲い、余震時に噴砂などの液状化被害が拡大したことが報告されている¹⁾。本稿は、弾塑性構成式 SYS Cam-clay model²⁾を搭載した空気～水～土骨格連成有限変形解析コード³⁾を用いて、余震時に液状化被害が拡大し得ることを、地盤の地下水位が地震により上昇する点に注目して示す。

2. 解析条件

図 1 は解析に用いた有限要素メッシュ図を示す。簡単のため、平面ひずみ条件のもと、横 1 要素とし、側方に周期境界、底面に粘性境界を与えた。地盤深さは 20m とし、地表面から 2m 下の位置に初期地下水位を設定した。水と空気の境界条件は、地表面を初期地下水位に対応した全水頭条件と排気条件、その他は非排水・非排気条件とした。土材料は解析領域全体において同一とし、弾塑性構成式 SYS Cam-clay model に関する材料定数および初期値は、浦安市地盤から採取した沖積砂の力学試験から決定した値⁴⁾を用いた。不飽和浸透特性に関する材料定数は、浦安市地盤の埋土層や沖積砂層には細粒分が多く含まれていた⁵⁾ことから、既往の粘土質砂の実験結果⁶⁾を参考にして決定した。図 2 は水分特性曲線を示す。飽和透水係数は 5.0×10^{-2} (cm/s) である。図 3 は入力地震動を示す。2011 年東北地方太平洋沖地震・K-net 浦安観測波 (CHB008EW) を、観測サイト近傍地盤モデルにより埋土層・沖積砂層下部まで SHAKE で引き戻した地震動であり、下端の水平方向に 1/2 倍して入力した。なお、余震時も同じ地震動を用い、本震から 30 分後に入力した。

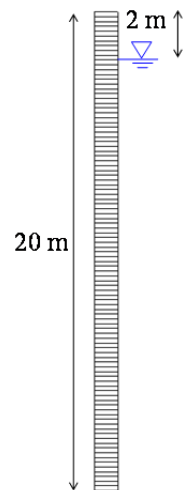


図 1 有限要素メッシュ

3. 解析結果

図 4 は本震の直前と直後の飽和度分布と平均骨格応力分布を示す。計算結果のコンター図は、地下水位が存在する地表から約 2.5m 部分を拡大して示す。

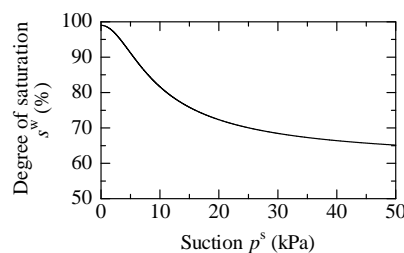


図 2 水分特性曲線

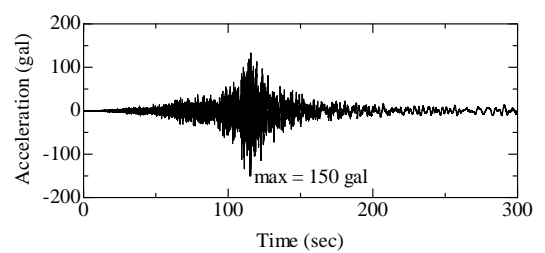


図 3 入力地震動

飽和度分布を見ると、本震中に地下水位が上昇している。また、飽和度が低く、地表により近い土要素の方で平均骨格応力が高くなっている。図 5 は本震直後の含水比変化を示す。地下水位以下の地盤深部の排水（塑性体積圧縮）に起因して、地表付近が吸水し、水位が上昇したことがわかる。なお、本解析では地盤の透水係数が高く、なおかつ地震の継続時間が長いいため、地震中でも間隙水の移動が生じた。地下水位上昇の詳細なメカニズムに関しては、別研究⁷⁾を参照されたい。

図 6 は余震の直前と直後の飽和度分布と平均骨格応力分布を示す。余震直前には過剰間隙水圧の消散に伴い、平均骨格応力が回復しているが、地表付近の飽和度はさらに上昇している。このように飽和度が高くなった状態で余震が生じたため、余震直後には本震時以上に平均骨格応力が低下している。また、地下水位は余震によりさらに上昇して地表まで達し、文献 1) の報告に合致すると言える。余震後の液状化拡大の要因には、飽和地

キーワード 三相系連成解析, 液状化, 余震

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学部 9 号館 3 階 TEL : 052-789-3834

盤内の過剰間隙水圧が十分に消散する前に新たな地震動を受けたことが挙げられる⁸⁾が、加えて、本解析結果からは、本震中・本震後の地下水位の上昇による地表付近の不飽和領域の飽和化が示唆できる。

4. おわりに

本稿で示した地震時の地下水位上昇現象は、土を弾性体と仮定する解析では表現できず、三相系の弾塑性解析ならでの結果である。今後は、本三相系の弾塑性解析を用いて、住宅等の上載荷重が作用した場合の余震時液状化被害に関する研究にも取り組んでいきたい。

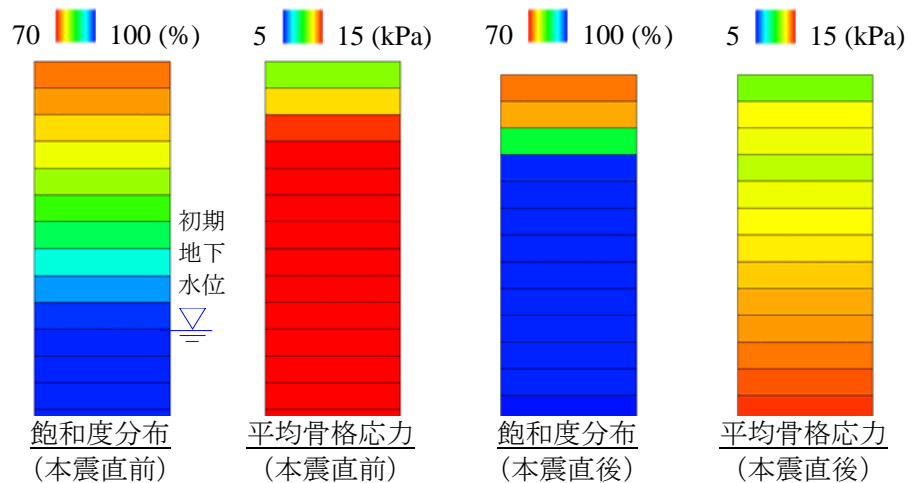


図4 本震直前と本震直後の飽和度分布と平均骨格応力分布 (地表から約2.5m部分を拡大)

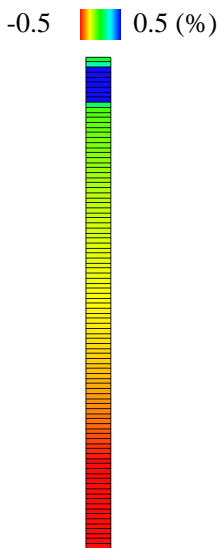


図5 本震直後の含水比変化分布

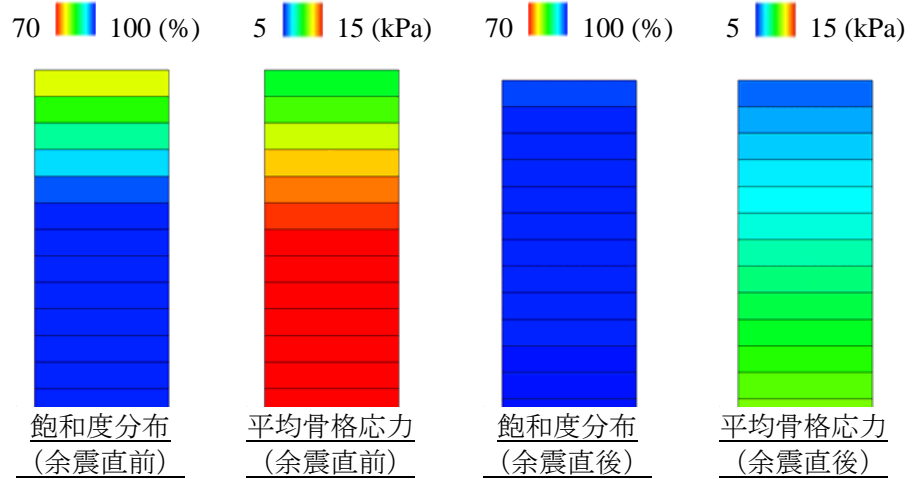


図6 余震直前と余震直後の飽和度分布と平均骨格応力分布 (地表から約2.5m部分を拡大)

謝辞：JSPS 科研費 25249064 の助成を受けた。感謝の意を表す。

参考文献

1) 安田進, 原田健二, 石川敬祐: 東北地方太平洋沖地震による千葉県への被害, 地盤工学ジャーナル, 7(1), 103-115, 2012. 2) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M.: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, 42(5), 47-57, 2002. 3) Noda, T. and Yoshikawa, T.: Soil-water-air coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, Soils and Foundations, 55(1), 45-62, 2015. 4) Nakai, K., Asaoka, A. and Sawada, Y.: Liquefaction damage enhanced by interference between the body wave and surface wave induced from the inclined bedrock, Japanese Geotechnical Society Special Publication, 2(19), 723-728, 2015. 5) 浦安市: 浦安市液状化対策技術検討調査委員会 第3回委員会資料, 2011. 6) 山本剛, 中井卓巳, 丸木義文, 小高猛司, 岸田潔, 大西有三: 長期劣化の概念を導入した道路路面の健全性評価手法の提案, 地盤工学ジャーナル, 4(1), 21-33, 2009. 7) Yoshikawa, T., Noda, T., Kodaka, T. and Takaine, T.: Analysis of the effect of groundwater level on the seismic behavior of an unsaturated embankment on clayey ground, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, accepted. 8) 中井健太郎, 野田利弘, 浅岡顕: 東日本大震災で発生した広範な液状化被害に及ぼす本震一余震時間間隔の影響, 2013年度地球惑星科学連合大会, SSS33-P24, 2013.