

砂地盤の余震時液状化被害に及ぼす本震時の地下水位上昇と飽和域の過剰水圧上昇の関係性

名古屋大学 正会員 ○吉川 高広
フェロー会員 野田 利弘

1. はじめに

東日本大震災では、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 分後に最大の余震が襲い、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⁾。著者らはこれまでに、弾塑性構成式 SYS Cam-clay model²⁾を搭載した空気～水～土連成有限変形解析コード³⁾を用いて、砂地盤の地下水位以深の飽和域が本震により圧密排水（塑性体積圧縮）し、この水が浅部不飽和域に供給されて飽和域が拡大（地下水位が上昇）するために、余震時に液状化被害が拡大し得ることを示した⁴⁾。本稿では、砂地盤の地下水位上昇に加えて、飽和域の過剰間隙水圧上昇に注目した数値シミュレーションを実施して、両者の関係性を明らかにした。

2. 計算条件

図 1 は計算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。土材料は計算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⁵⁾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⁶⁾ことから、既往の粘土質砂の実験結果⁷⁾を参考にして決定した。図 2 は水分特性曲線を示す。本稿では、飽和透水係数について、本震時に砂地盤の不飽和域の飽和化現象が数値シミュレートされた 5.0×10^{-4} (m/s) の場合⁴⁾を基本とし、透水性を 5.0×10^{-5} (m/s) と 5.0×10^{-6} (m/s) に低下させた 2 つ場合の計算結果も示す。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、この地震波を 2E 波として下端の水平方向に E 波を入力した。なお、簡単のため余震時も同じ地震動を用い、本震から 29 分後に入力した。

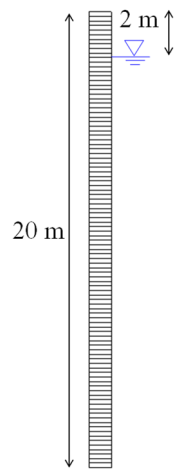


図 1 有限要素メッシュ

3. 計算結果

図 4 から図 6 はそれぞれ、飽和度分布、平均骨格応力分布、過剰間隙水圧分布の計算結果を示す。飽和度分布の結果は初期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。

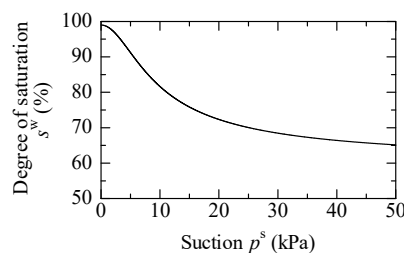


図 2 水分特性曲線

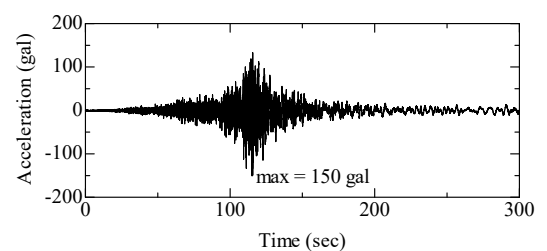


図 3 入力地震動

まず図 4 の飽和度分布より、飽和透水係数が大きい 5.0×10^{-4} (m/s) の場合は、本震中に浅層不飽和域の飽和度が上昇、つまり地下水位が上昇する一方で、 5.0×10^{-5} (m/s) の場合は本震後から余震前にかけて地下水位が上昇し始め、 5.0×10^{-6} (m/s) の場合は余震直前でも地下水位はほぼ上昇していない。地下水位上昇は、地下水位以深の飽和域からの圧密排水（塑性体積圧縮）により生じる⁸⁾ため、透水係数が小さいほど水位上昇に時間を要する。このように、本震による圧密排水が余震前までに生じる程度に透水性が高ければ、浅層の飽和度が高い状態で余震を受ける恐れがある。次に、図 5 の平均骨格応力分布と図 6 の過剰間隙水圧分布より、浅層の不飽

キーワード 空気～水～土連成有限変形解析, 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

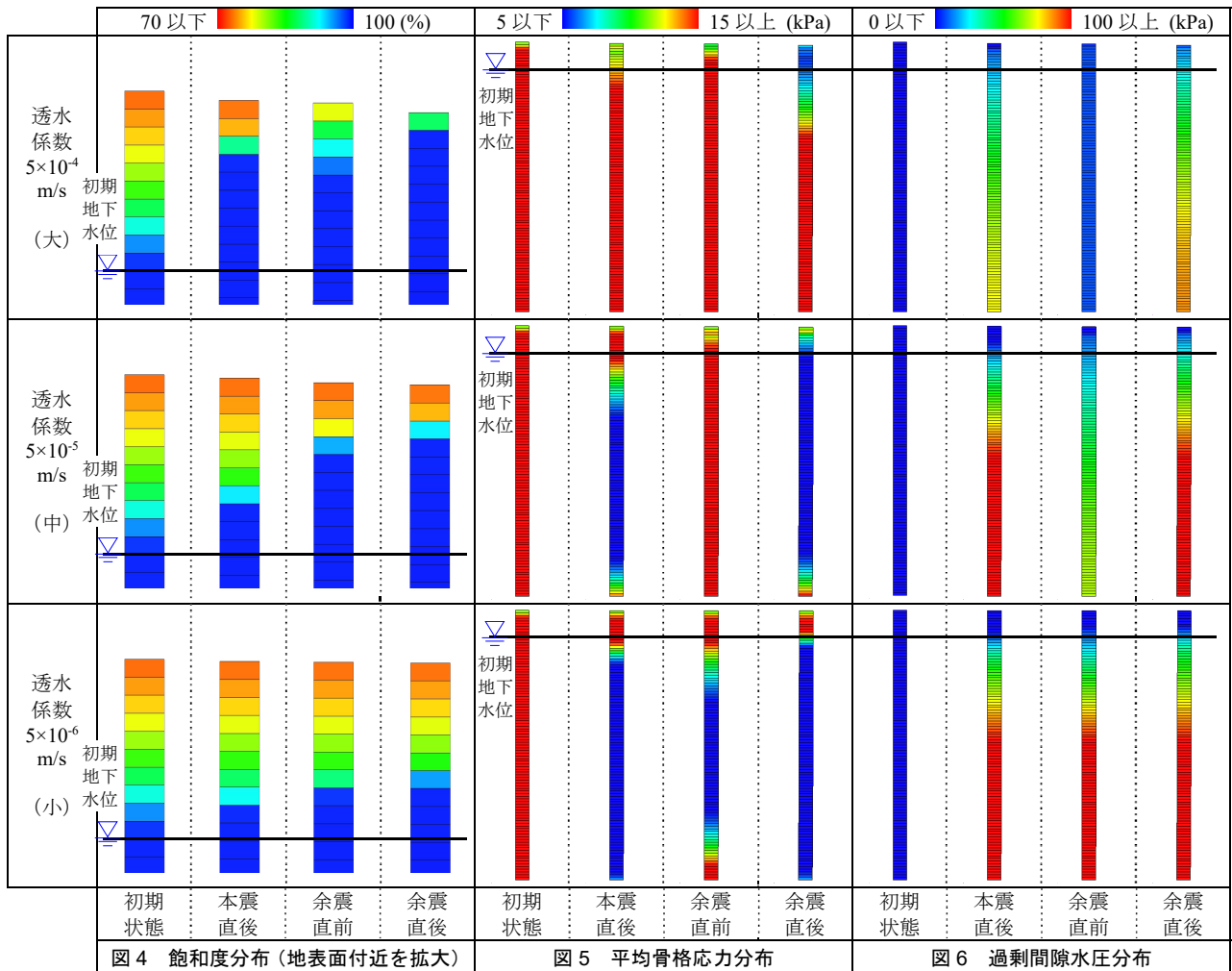


図4 飽和度分布(地表面付近を拡大)

図5 平均骨格応力分布

図6 過剰間隙水圧分布

和域では、本震による飽和化が生じた透水係数が大きい場合の方が、余震時に平均骨格応力が低下し、過剰間隙水圧が上昇することを確認できる。しかし、地下水位以深の飽和域については、飽和透水係数が大きい 5.0×10^{-4} (m/s) の場合は、本震中から過剰間隙水圧が消散し始め、余震直前には平均骨格応力が回復している。これに対して、透水係数が小さい場合は過剰間隙水圧の消散が遅く、特に飽和透水係数が 5.0×10^{-6} (m/s) の場合は、余震直前でも地下水位以深の飽和域は平均骨格応力が著しく低下した状態にあり、余震中に全ケースの中で平均骨格応力が最も低下している。このように本震による浅層の飽和化が生じない程度に透水性が低い場合は、地下水位以深の飽和域において過剰間隙水圧が消散する前に余震を受ける恐れがある。

4. おわりに

本稿では、空気～水～土連成弾塑性有限変形シミュレーションにおいて、砂地盤の飽和透水係数を変化させて、不飽和域の飽和化と飽和域の過剰間隙水圧上昇の両挙動に注目した。その結果、飽和域の圧密排水が本震から余震前までに生じる程度に地盤の透水性が高ければ、浅部不飽和域の飽和化が与える影響が大きく、一方で透水性が低くなるほど、本震時に上昇した過剰間隙水圧が消散する前に余震を受ける影響が大きくなることを示した。なお、本稿では本震から 29 分後に余震が発生した事実を基に、透水性が異なる地盤の地下水位上昇と過剰間隙水圧上昇の関係性を議論したが、これは、ある透水性を有する地盤に対して、本震後に余震が発生する時間のタイミングが異なる場合の両者の関係性に相当すると考えている。

謝辞：JSPS 科研費 17H01289 の助成を受けた。

参考文献：1) 安田ら：東北地方太平洋沖地震…，地盤工学ジャーナル，7(1)，103-115，2012。 2) Asaoka et al.: An elasto-plastic…，S&F，42(5)，47-57，2002。 3) Noda and Yoshikawa: Soil-water-air…，S&F，55(1)，45-62，2015。 4) Noda and Yoshikawa: An analytical consideration…，16ARC，SF05-04-002，2019。 5) Nakai et al.: Liquefaction damage…，Japanese Geotechnical Society Special Publication，2(19)，723-728，2015。 6) 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。 7) 山本ら：長期劣化の概念を導入した…，地盤工学ジャーナル，4(1)，21-33，2009。 8) Yoshikawa et al.: Analysis of the effect …，Soil Dynamics and Earthquake Engineering，85，217-230，2016。