

複合負荷弾塑性構成式を適用した水～土骨格連成有限変形解析による SCP 改良地盤の地震応答解析

液状化, SCP, 有効応力解析法

名古屋大学 国際会員 ○山田正太郎 野田 利弘
 地震予知総合研究振興会 国際会員 浅岡 顕
 名古屋大学 非会員 肥後 隼大

1. はじめに

著者ら¹⁾は, サイクリックモビリティに代表される土の複雑な力学挙動をより精緻に表現するために, SYS Cam-clay model²⁾と非関連 Drucker-Prager model が複合的な負荷状態を呈し得る弾塑性構成式を開発している. 同構成式を水～土骨格有限変形解析コード **GEOASIA**³⁾に実装した上で, SCP (Sand Compaction Pile) 工法による改良を施した地盤の地震応答解析を実施した. 本稿ではその結果を示す.

2. 解析条件

図 1 に解析に用いた有限要素メッシュおよび境界条件を示す. 飽和した粘土層, 砂層, 埋土層, 盛土からなる土構造物—地盤系を対象とした. 液状化対策として SCP 工法による地盤改良を施す場合と改良を施さない場合の 2 ケースの解析を実施した. 地盤改良を施すケースでは, 既設の盛土への対策を想定し, 盛土要素を追加してから対策領域を同一材料の間隙比の低い要素に置換し, さらに定常状態に落ち着くまで圧密放置した.

構成式には, 著者ら¹⁾の提案する複合負荷弾塑性構成式に異方性を考慮したモデルを用いた. 紙幅の都合上, モデルの詳細と使用した材料定数および初期条件の具体値については割愛する. 砂層は豊浦砂に対する材料定数を用いた. 砂層 (未改良) の間隙比を相対密度 60% 相当に設定した. 粘土層は浦安で採取した自然堆積粘土に対する材料定数と初期値を用いた. 埋土層および盛土は, まさ土に対して決めた材料定数と初期値を用いた.

SCP による改良は, 直径 0.7m の砂杭を 1.9m ピッチで造成する場合を想定した. 平面ひずみ条件で計算を行っているため, 砂杭は壁状となるが, ピッチおよび改良率が等価となるよう換算を行った. 砂杭と杭間部の相対密度はそれぞれ 100% と 85% に設定した.

図 2 に中空ねじり試験装置を用いて実施した相対密度の異なる豊浦砂の液状化試験結果と複合負荷弾塑性構成式による同試験のシミュレーション結果を示す. 同構成式によって相対密度が液状化挙動に及ぼす影響を表現できることが分かる. なお, 一組の材料定数を用い, 入力値としては初期間隙比のみを変化させた.

上記地盤に対し, 底面水平方向に粘性境界条件を課し, 図 3 に示す地震波を入力した.

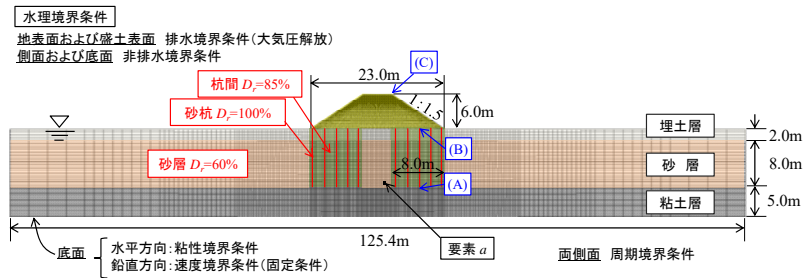
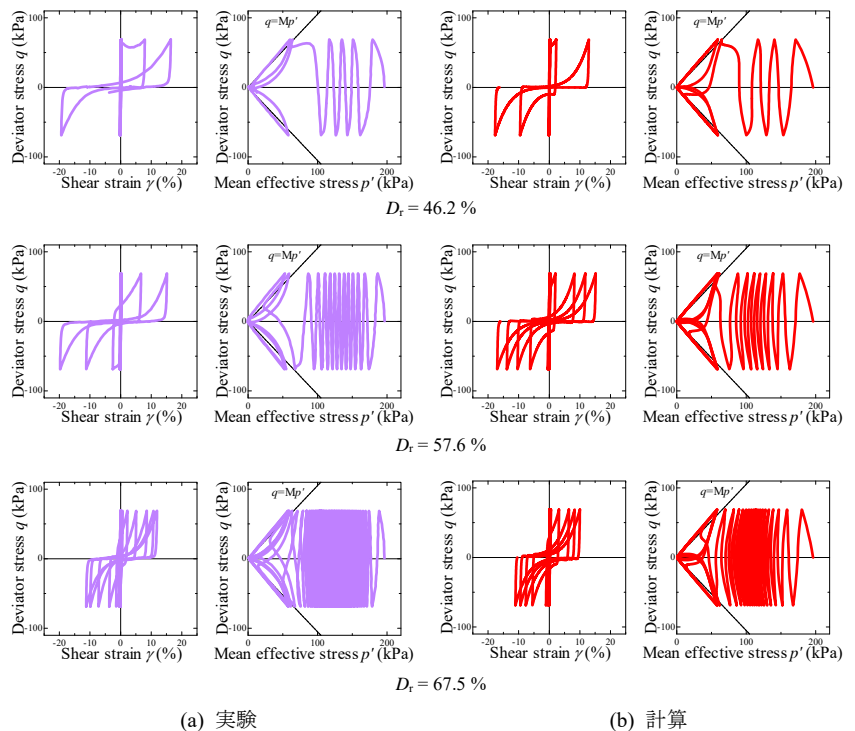


図 1 有限要素メッシュと境界条件



(a) 実験 (b) 計算

図 2 密度の異なる砂の液状化試験と複合負荷弾塑性構成式によるそのシミュレーション

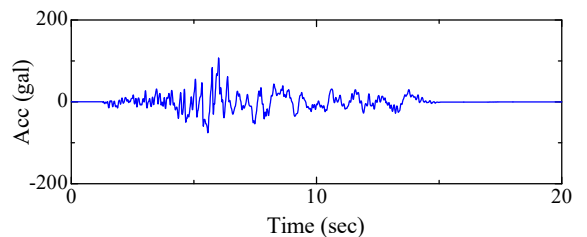


図 3 入力地震動

3. 解析結果

図4に平均有効応力分布を示す。無改良ケースでは、徐々に有効応力が低下し、地震開始から20秒の時点では広い範囲で液状化が発生している。一方、SCP改良を施したケースでは、平均有効応力の低下が抑制されている。

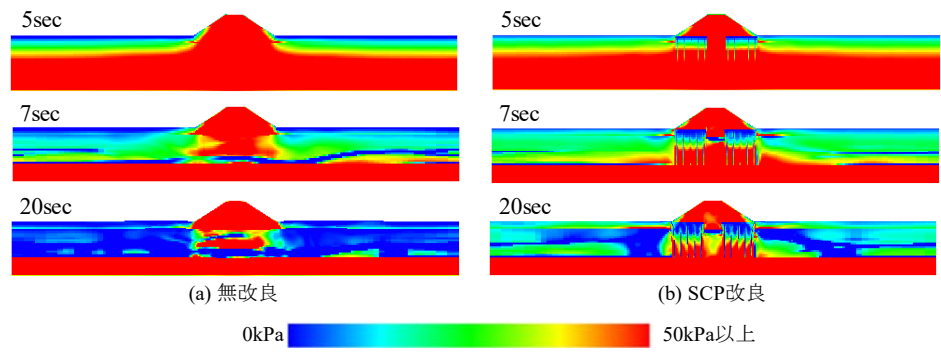


図4 平均有効応力分布

図5にせん断ひずみ分布を示す。無改良ケースでは、砂層深部でせん断ひずみが卓越しているが、改良ケースではそれを抑制できている。図6に点(B)の水平加速度応答を示す。無改良ケースは、砂層が液状化する影響で点(B)まで震動が伝播しなくなっている。図7に要素aの挙動を示す。無改良ケースでは、液状化に至り、サイクリックモビリティが描かれている。一方、改良ケースでは、有効応力の低下が抑制されており、ひずみもほとんど発生していない。要素aは改良域外にあるが、改良域に挟まれているため、振動が抑制され、液状化に至らなかった。図8に(A), (B), (C)点の時間-沈下曲線を示す。特に改良域直上の(B)点において沈下の抑制効果が顕著に表れている。

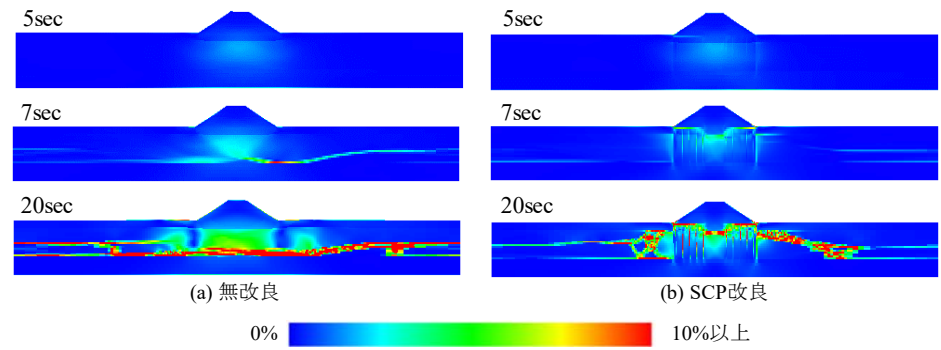


図5 せん断ひずみ分布

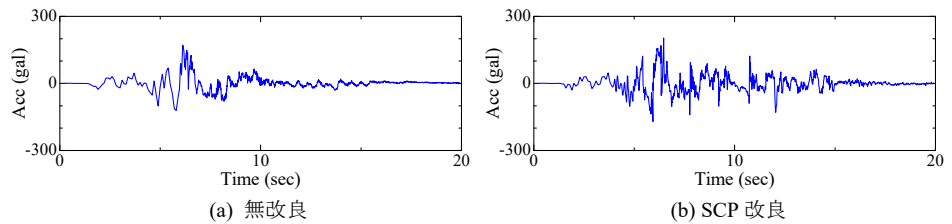


図6 (B)点における水平加速度応答

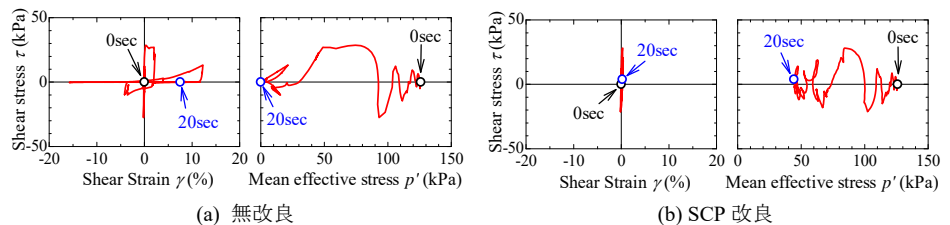


図7 要素aの挙動

4. おわりに

上記の通り、複合負荷弾塑性構成式を搭載した地盤解析コード *GEOASIA* が、液状化時に一般に見られる地盤応答の主な特徴や、SCP工法による液状化対策効果を再現し得ることを示した。

謝辞：本研究は科学研究費補助金（基盤研究(A)：課題番号25249064，基盤研究(B)：課題番号16H04408）の補助を受けて実施した。また、本研究は地盤工学会中部支部「南海トラフ巨大地震中部地域地盤災害研究委員会(委員長：野田利弘)」の活動の一環として実施した。

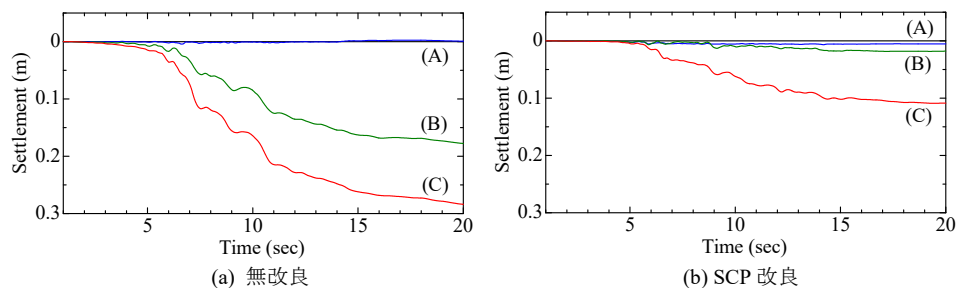


図8 時間-沈下曲線

参考文献) 1) Yamada et al. (2013): Proposal of a new double hardening elasto-plastic constitutive model of soil skeleton based on integration of associated and non-associated flow rules, *Proc. of 15th ARC*, JPN-128. 2) Asaoka, A. et al. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *S&F*, 42(5), 47-57. 3) Noda et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *S&F*, 48(6), 771-790.