

加振履歴が液状化強度に及ぼす影響に関する研究

戸田建設 正会員 ○松木園隆晟 愛媛大学 学生会員 渡邊翔太
愛媛大学 正会員 岡村未対

1. はじめに

砂の液状化強度は土粒子の微視的骨格構造の安定性に強く依存することが知られている。再構成試料の試料作成法により液状化強度が大きく変化するのはその一例であり、また中小地震による加振履歴により液状化強度が大きく変化することが三軸試験 (Finn ら, 1970) や年代効果に関する事例研究 (東畑ら, 2013) で報告されている。しかしながら、このような加振履歴による液状化強度の変化について定量的には明らかになっていない。本研究では遠心模型実験により、加振履歴が砂地盤の液状化強度に及ぼす影響を調べた。また、加振履歴によって生じる微小な沈下量を計測して体積ひずみを求め、その体積ひずみと液状化強度の関係を評価した。

2. 実験概要

本研究では豊浦砂を用い、内寸が 40cm(幅) × 12(奥行) × 22(高さ) のせん断土槽内に空中落下法により相対密度 45%、層厚 12cm の地盤を作成し、その後粘性係数が 50cSt のメチルセルロース溶液で飽和した。図 1 に模型の概要図を示す。地盤中の 5 深度に加速度計、間隙水圧計、沈下計を設置した。沈下計は沈下板と沈下計ロッドの自重が浮力と釣り合うように重量調整し、地盤の沈下挙動に追従す

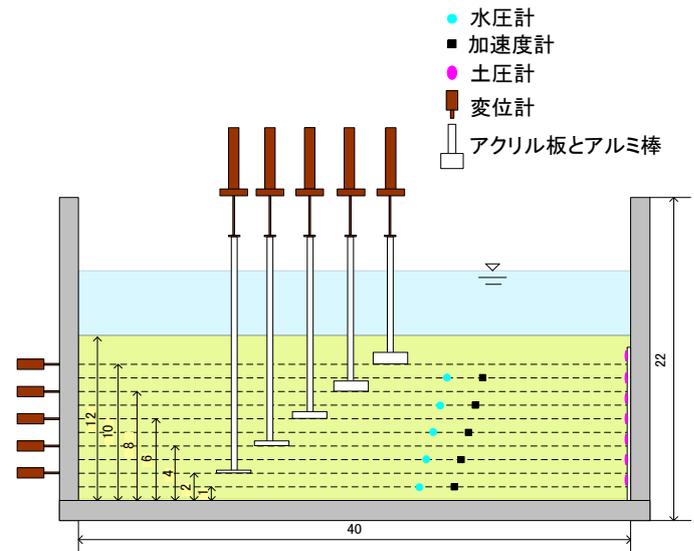


図 1 模型の概要

るよう工夫したものを用いた。実験は 3 ケースであり、いずれも 25G の遠心場において実験を行った。加振は 8Hz~19Hz の正弦波 1 秒間加振を 1 ステップとし、各ステップ間は過剰間隙水圧が完全に消散するまでの十分な間隔を空けて合計 9 ステップから 28 ステップの加振を行った。

3. 実験結果及び考察

(1) 加振履歴による液状化強度の変化

図 2. 3 に各ケースにおける加振ステップ毎の最大入力加速度 (A_{max}), 加振によって生じた地盤全体の体積ひずみ (ϵ_v), 加振後の相対

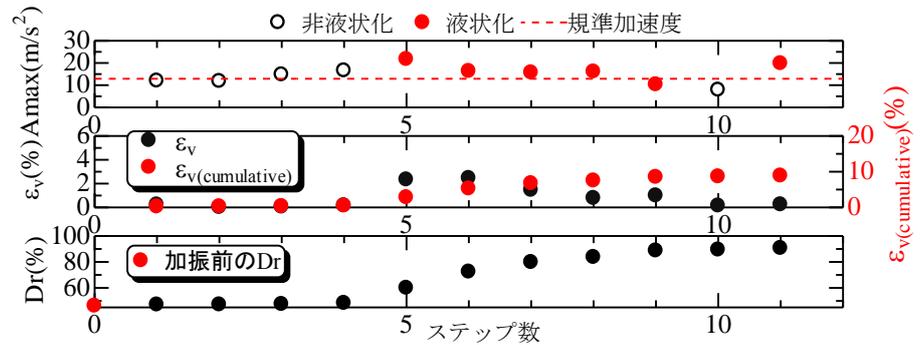


図 2 Case2 の実験結果

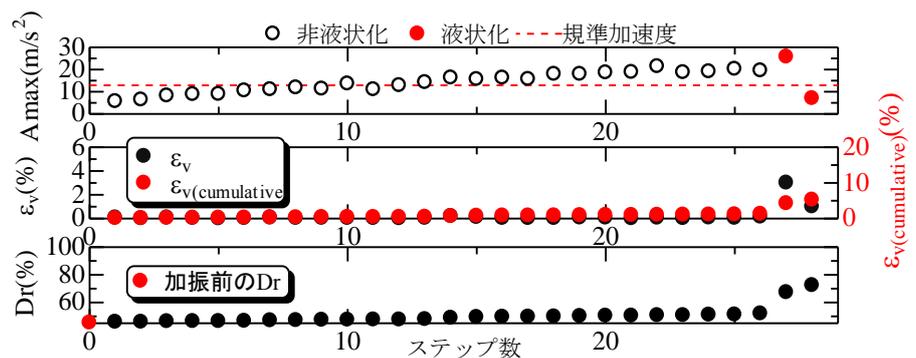


図 3 Case3 の実験結果

密度(Dr)を示す。なお、以後実験結果は全て原型スケールで表す。最大入力加速度のグラフでは赤プロットはそのステップで地盤が液状化したことを、黒い白抜きは液状化しなかったことを表す。また赤い破線は、ケース1ステップ1で液状化したことからケース1ステップ1での $A_{max}(=0.52\text{m/s}^2)$ を加振履歴の無い地盤を液状化させるに必要な規準加速度とし、液状化強度の増減の評価に用いた。

ケース2(図2)では、規準加速度を下回る A_{max} でまずステップ1, 2の加振を行い、ステップ3, 4では A_{max} を 0.66m/s^2 まで増加したが液状化は生じなかった。この間の累積体積ひずみは0.5%であり、Drの増加も2%と小さかった。ステップ5で A_{max} を 0.87m/s^2 まで増加したところようやく液状化した。これはステップ1~4の加振履歴によって1.7倍程度まで液状化強度が増加したことを示しており、また体積ひずみとDrの値も液状化することによって大きく増加することが観察できた。ステップ6では $A_{max}=0.65$ (液状化しなかったステップ4とほぼ同じ) で加振したところ液状化し、その後ステップ9では規準加速度以下の 0.41m/s^2 でも液状化した。これより、液状化しない程度の加振履歴は地盤の液状化強度を増加させるが、一旦液状化してしまうとそれまでの加振履歴の効果は消滅し、相対密度は増加しているにもかかわらず液状化強度は初期のものよりもむしろ減少することがわかる(後藤・東畑, 2014)。

ケース3(図3)では液状化しない加振履歴のステップ数を26回まで増やした。ステップ1~26の間に生じた体積ひずみの累積値は1.3%であり、相対密度は約6%増加した。ステップ27では $A_{max}=1.03\text{m/s}^2$ の加振で地盤は液状化した。続くステップ28では規準加速度以下の 0.28m/s^2 で加振したにもかかわらず液状化し、前述のように一旦液状化するとそれ以前の加振履歴の影響が無くなることがわかる。

(2) 体積ひずみによる評価

図4は、液状化しない加振履歴により生じた累積体積ひずみと液状化強度比(液状化が生じたステップの加速度/規準加速度)の関係である。ケース2ステップ5とケース3ステップ27では液状化強度が2倍前後まで増加しており、累積体積ひずみは1%前後である。図中には、不飽和砂の非排水繰返し三軸試験から得られた液状化強度比と体積ひずみの関係(岡村・曾我, 2006)を曲線で示してある。今回の実験結果は曲線と良く一致しており、加振中に空気の圧縮で生じる僅かな体積変化と、本研究での加振履歴による体積圧縮は、何れも砂粒子の微細構造を改善し液状化強度を増加させる同様の効果があることが推察される。

4. まとめ

本研究では中密な飽和水平砂地盤の動的遠心模型実験を行い、加振履歴と加振履歴による体積ひずみが液状化強度に及ぼす影響を調べた。その結果、既往の研究成果と同様に、液状化しない程度の加振履歴によって地盤の液状化強度は増加するが、一旦液状化するとそれ以前の加振履歴の影響は無くなり、液状化強度は初期の値あるいはそれ以下になることを確認した。また、液状化しない加振履歴による体積ひずみと加振履歴による液状化強度倍率にはよい関係があることが示唆され、この関係は不飽和砂の非排水繰返し三軸試験から得られた液状化強度比と体積ひずみの関係とほぼ一致した。

参考文献

- 東畑ら(2013): 液状化判定法の評価, 基礎工, 2013.4, pp.13-16.
 Finn, W.D.ら(1970): Effect of strain history on liquefaction of sand, ASCE Vol.96, No.SM6, pp.1917-1934.
 後藤・東畑(2014): 被排水条件下の繰返しせん断履歴や高温環境での圧密によって年代効果を付与した砂質土試料の液状化特性, 地盤工学ジャーナル, 9(4), pp.707-719.
 Okamura and Soga(2006): Effect on liquefaction resistance of volumetric strain of pore fluid, Soils and Foundation, Vol. 46, No. 5, pp. 703-708.

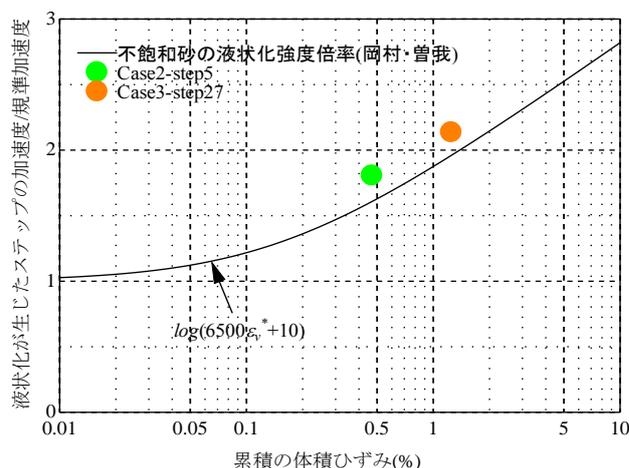


図4 液状化強度増加割合と体積ひずみの関係