

砂地盤の液状化特性に与える体積変化特性と透水性の影響に関する模型実験

液状化, 遠心模型実験, 砂

愛媛大学大学院理工学研究科 学生会員 ○岡大二朗

正会員 小野耕平

正会員 岡村未対

1. はじめに

砂の液状化特性は平均粒径や相対密度などにより変化することが知られているが, 本質的には砂の体積変化特性と透水性によって支配されていると考えられる. 砂に応じた間隙比の存在範囲に応じて体積変化特性は変化するが, 透水係数も間隙比の影響を受けるため, 両者の影響が合わさる形で液状化特性が決定している. そこで本研究では両パラメータをコントロールした水平地盤に対して振動実験を実施し, 液状化強度を評価した.

2. 実験概要

図1に本実験模型の概要を示す. 実験には, 内寸で幅510 mm, 高さ230 mm, 奥行き120 mmの剛土槽を用いた. 地盤材料には, 表1に材料特性を示す東北硅砂5号と8号を使用した. 5号は8号に対して間隙比範囲(最大間隙比と最小間隙比の差)が狭く, 透水性の高い材料である. 空中落下により, 層厚20 mm毎に目標相対密度60%の水平地盤を作成した. 地盤内には図1に示す位置に間隙水圧計と加速度計を設置した. 表2に実験ケースの一覧を示す. 透水係数と間隙比範囲の組み合わせを変えた計4ケースの実験を行った. 間隙水にはメトローズを溶かした粘性流体を使用し, 粘性を調整することで透水係数を変化させた.

遠心加速度を30 gまで上昇させた段階でソレノイドバルブの開閉によって地盤下部側方から排水を行い, 地下水位が地表面から10 mm低下したことを確認した後, 遠心加速度を40 gまで上昇させた. いずれの実験も原型スケールで最大加速度 2.5 m/s^2 の正弦波を40 s間与えた. 以降, 実験結果はすべて模型スケールで示す.

3. 実験結果

3.1 過剰間隙水圧の応答

図2に透水係数のみが異なるTest 1, 2の過剰間隙水圧の時刻歴の比較を示す. 図中の破線は初期鉛直有効応力を示している. P2(深さ40 mm)では両ケースの過剰間隙水圧の上昇速度に違いは見られないものの, P4(深さ80 mm)では透水性の高いTest 1の上昇速度はTest 2よりも低下しており, 初期鉛直有効応力に達していない. これは, 透水性の高い地盤では間隙水の部分的な排水を伴いながら過剰間隙水圧が上昇していることを示す結果であり, 上層地盤は下層地盤からの排水が伝搬するため, 結果的に液状化に至ったものと理解できる.

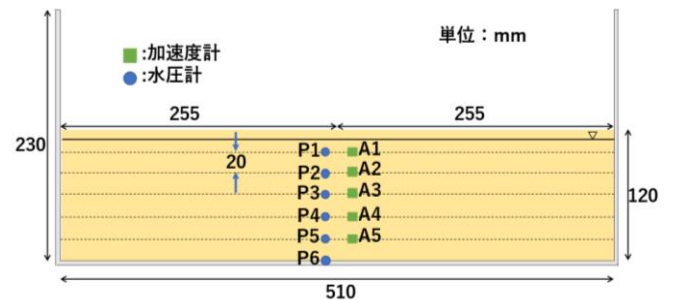


図1 模型図

表1 砂の諸元

	東北硅砂5号	東北硅砂8号
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.76	1.51
ρ_{dmin} (g/cm ³)	1.46	1.09
D_{50} (mm)	0.35	0.08
e	0.632	1.025
$e_{max} - e_{min}$	0.309	0.676
k (m/s)	1.1×10^{-3}	7.0×10^{-5}

表2 実験ケース

	地盤材料	間隙水の粘性	透水係数
Test 1	東北硅砂5号	40 cSt	1.1×10^{-3} m/s
Test 2		650 cSt	7.0×10^{-5} m/s
Test 3	東北硅砂8号	2.5 cSt	1.1×10^{-3} m/s
Test 4		40 cSt	7.0×10^{-5} m/s

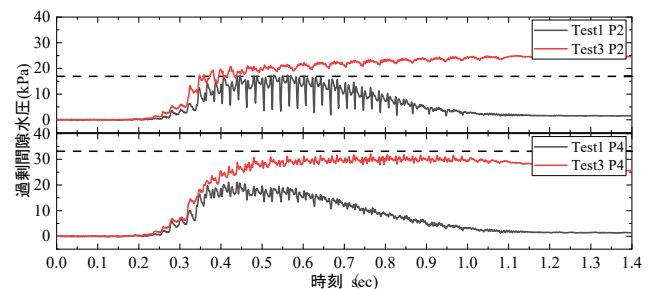


図2 過剰間隙水圧の時刻歴(Test 1, 2)

図3に間隙比範囲のみが異なる Test 1, 3 の比較を示す。いずれの深度においても間隙比範囲が広い Test 3 では過剰間隙水圧の上昇速度が速いことがわかり、これは間隙比範囲が広いほど負のダイレイタンスに伴う体積圧縮量が大きいためであると推察される。

図4には過剰間隙水圧の最大値の深度分布を示す。初期鉛直有効応力との比較から、Test 1は深さ40mm、Test 2では深さ120mm、Test 3では深さ80mmまで液状化したと判断できる。Test 4に関してはP4以深の水圧計が故障したため、加速度計の計測結果をもとに120mmの深さまで液状化したと判断した。以上より定性的には、透水性が高いほど、また体積変化量が小さい地盤ほど液状化深さは浅くなることわかる。

3.2 液状化強度の評価

不規則な振幅のせん断履歴を受ける地盤の液状化強度を簡易的に評価する手法として累積損傷度法¹⁾がある。せん断波の半パルスがもたらす損傷度を $1/(2N_i)$ とすると、損傷度の累積が1となった時点で液状化に至ると考えることができる。繰返し回数と繰返し応力比の関係である液状化強度曲線は両対数グラフで次式のように直線近似できる。

$$\log(\tau/\sigma'_c) = R_1 - a \log(N)$$

τ/σ'_c は繰返し応力比、 R_1 は繰返し回数1回でのせん断応力比、 a は近似直線の傾き、 N は繰返し回数である。繰返し応力比は、計測加速度から得られる慣性力との釣合いから求めた地中せん断応力を、初期有効拘束圧で除すことにより求めた。近似直線の傾きは既往の非排水繰返し三軸圧縮試験結果²⁾³⁾を利用し、 R_1 を未知数として求めた。図5に一例としてTest 3と非排水試験の液状化強度曲線の比較を示す。

繰返し回数20回での応力比を液状化強度 R_{L20} と定義し、非排水試験で得られた R_{L20} に対する累積損傷度法で求めた R_{L20} の比を液状化強度増加率と定義する。図6にP2の深さにおける間隙比範囲と液状化強度増加率の関係を示す。増加率は透水性の高いTest 1, 3で高く、排水の影響により見かけの液状化強度が増加しており、また、間隙比範囲による増加率への影響は相対的に小さいことがわかる。

4. 結論

透水係数および間隙比範囲をそれぞれ独立させて変化させ、水平地盤の液状化特性を調べたところ、過剰間隙水圧の上昇速度と液状化深さに変化が見られた。累積損傷度法から液状化強度の増加率を計算したところ、排水の影響により見かけの液状化強度が増加していることが確認でき、間隙比範囲の影響は小さいことが確認できた。

参考文献

- 1) 丹波ら：砂質土の動的特性に及ぼす粒子形状の影響，地盤工学会北海道支部技術報告集，121-128, 2020.
- 2) 増田：地盤の飽和度低下による液状化被害の液状化被害の低減効果に関する遠心模型実験と数値計算の適用法，愛媛大学大学院理工学研究科，修士論文，2008.

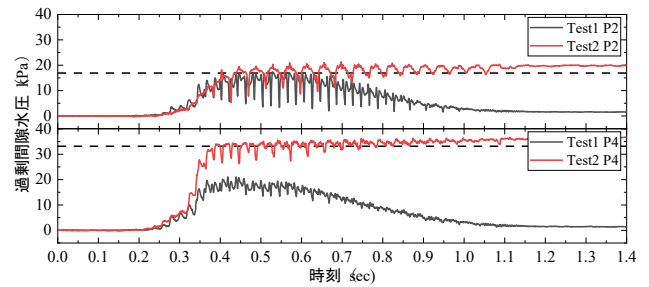


図3 過剰間隙水圧の時刻歴 (Test 1, 3)

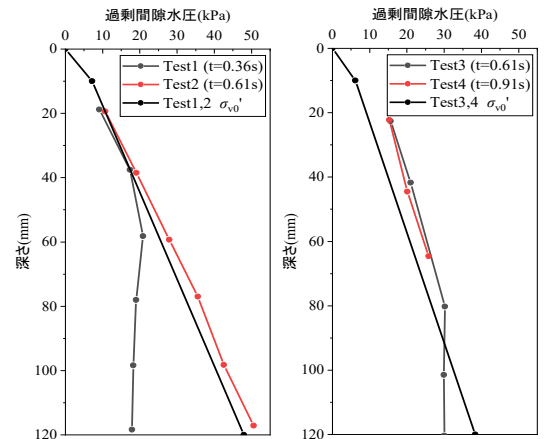


図4 最大過剰間隙水圧の深度分布

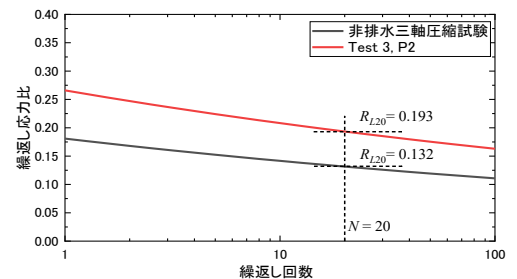


図5 液状化強度曲線

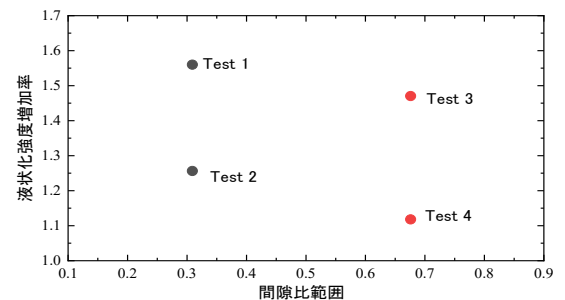


図6 間隙比範囲と液状化強度増加率の関係