

二次液状化地盤の変形特性 (その2)

正会員 ○三上 武子*1
同 吉田 望*2
同 小林 恒一*3

液状化 変形係数 三軸試験

1.はじめに

地震時の振動によって有効応力が 0 となり、地盤の剛性や強度が失われていくのを液状化というのに対して、液状化地盤の過剰間隙水圧が非液状化地盤に伝播して液状化することを二次液状化という。実務において両者は同様に扱われているようであるが、繰返し载荷によって有効応力が 0 になった地盤と過剰間隙水圧の伝播によって有効応力が 0 になった地盤の変形挙動は異なると考えられる。そこで、三軸圧縮試験を行って二次液状化地盤の変形特性を調べた。実験では、地震による振動および過剰間隙水圧の伝播をそれぞれ繰返し载荷、背圧付加により模擬し、両者を組み合わせて有効応力を 0 にして二次液状化地盤を作製した。前報¹⁾では $D_r=50\%$ の実験を紹介したが、新たな実験を追加したので報告する。

2.実験方法

実験材料は豊浦砂($\rho_s=2.646\text{g/cm}^3$, $\rho_{\text{dmin}}=1.339\text{g/cm}^3$, $\rho_{\text{dmax}}=1.640\text{g/cm}^3$)で、空中落下法により相対密度 $D_r=65\%$ および 50% に作製した。圧密応力 100kPa で等方圧密した後、表-1に示す過剰間隙水圧が発生するまで繰返し载荷を行い、さらに背圧を付加して有効応力を 0 にした後、非排水状態で単調载荷を行った。繰返し载荷の周波数は 0.1Hz 、単調载荷のひずみ速度は $0.1\%/min$ である。また、背圧付加は 2 段階に分けて行った。まず、繰返し载荷終了後、非排水状態を保ったまま間隙水圧と背圧が等しくなるまで背圧を付加する。その後、排水バルブを開け、有効応力が 0 になるまで背圧を付加した。ここで、Case 1

表-1 実験条件

		有効応力の低下	
		繰返し载荷による 過剰間隙水圧 (kPa)	背圧付加 (kPa)
非液状化 地盤	Case 1	—	—
二次液状化 地盤	Case 2	—	100
	Case 3	20	80
	Case 4	60	40
液状化地盤	Case 5	100	—

は非液状化地盤、Case 5 は繰返し载荷によって液状化した地盤、Case 2~Case 4 は過剰間隙水圧の伝播によって二次液状化した地盤とみなすことができる。

3.実験結果

図-1および図-4に単調载荷過程の応力-ひずみ関係を示すが、非液状化地盤を模擬した Case 1、二次液状化地盤を模擬した Case 2~Case 4、そして液状化地盤を模擬した Case 5 の 3 つにグループ分けすることができる。液状化地盤の $D_r 50\%$ -Case 5 の応力-ひずみ関係では、载荷の初期にほとんど勾配を持たない領域があるが、 $D_r 65\%$ -Case 5 にはそのような領域は認められない。二次液状化地盤の Case 2~Case 4 の応力-ひずみ関係は、実験条件にかかわらずほぼ一致している。有効応力が低下した状態での砂質土のせん断挙動は、履歴ひずみが小さい場合は、有効応力の低下方法による影響はない²⁾ との報告があるが、有効応力の低下により発生した Case 2~Case 4 の軸ひずみ ε_a はいずれも 0.1% 程度であった。

単調载荷過程の応力経路を図-2および図-5に示す。なお、Case 5 については、繰返し载荷過程の応力経路も併記した。有効応力の低下のない Case 1 の応力経路の立ち上がりは、Case 5 の繰返し载荷の 1 サイクル目の応力経路と一致している。また、有効応力を 0 にした状態で単調载荷を行った Case 2~Case 5 の応力経路は、原点から直線的に立ち上がっているが、その勾配は Case 5 の繰返し载荷によって液状化したときの応力経路と一致する。

応力-ひずみ関係から割線変形係数 E_{sec} を求め、軸ひずみとの関係にまとめて図-3および図-6に示す。非液状化地盤を模擬した Case 1 の E_{sec} は、载荷の進行とともに低下し、 $\varepsilon_a=1\%$ 程度で一定値に落ち着く。一方、二次液状化地盤の Case 2~Case 4 および液状化地盤の Case 5 の E_{sec} は、载荷初期に一旦低下した後上昇に転じる傾向を示すが、その値は大きく異なっている。そこで、非液状化地盤に対して、二次液状化地盤および液状化地盤の変形係数がどの程度低下しているか確認するため、各実験の E_{sec} を Case 1 の E_{sec} で正規化して図-7に示した。全体的な傾向として、軸ひずみの増大とともに変形係数の低下は縮小している。また、 $D_r 65\%$ の方が変形係数の低下は小さい。

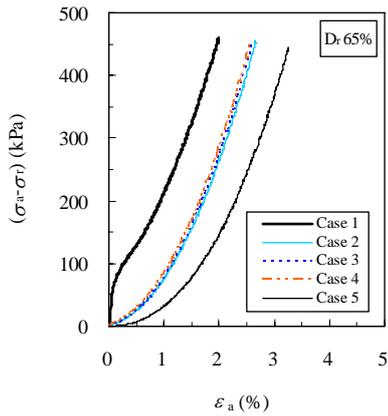


図-1 応力-ひずみ関係 (D_r 65%)

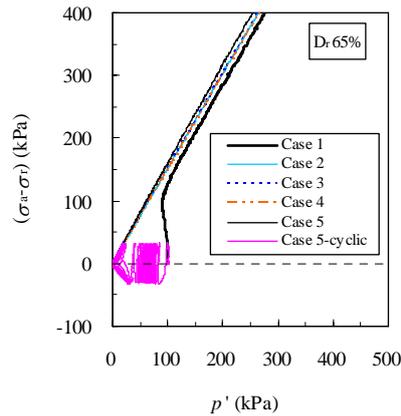


図-2 応力経路 (D_r 65%)

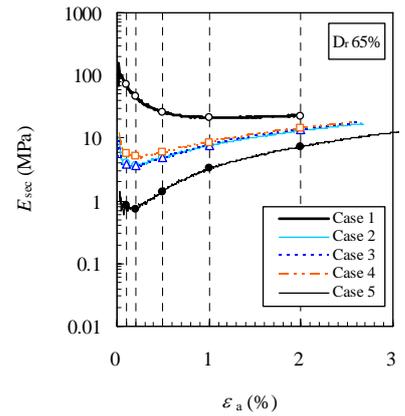


図-3 変形係数の変化 (D_r 65%)

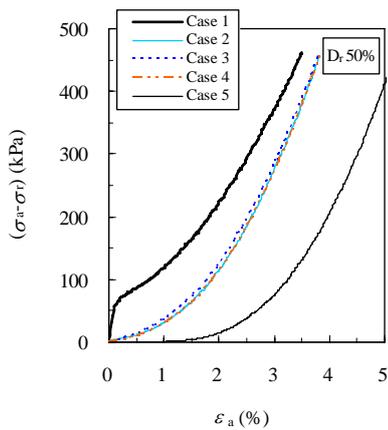


図-4 応力-ひずみ関係 (D_r 50%)

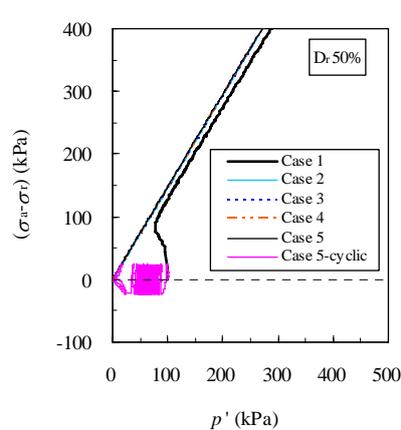


図-5 応力経路 (D_r 50%)

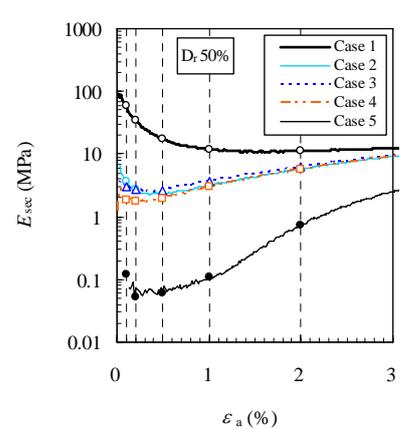


図-6 変形係数の変化 (D_r 50%)

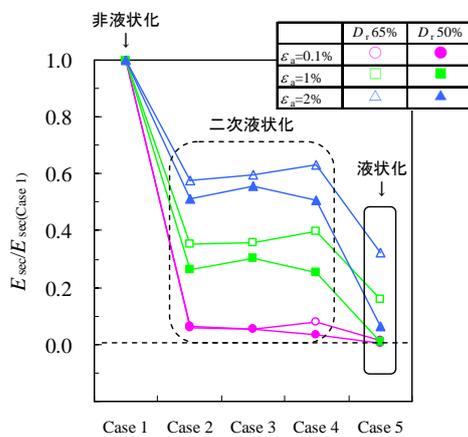


図-7 変形係数の低下

$\epsilon_a=1\%$ を例に取ると、Case 5 の E_{sec} は Case 1 に対して、 D_r 50%では 1%、 D_r 65%では 16%に低下している。また、Case 2~Case 4 は、 D_r 50%では約 30%、 D_r 65%では約 35%に低下している。このように、二次液状化地盤の変形係

数は、液状化地盤に比べて数倍から数十倍有していることがわかる。

4.まとめ

二次液状化地盤の変形特性を調べるため、繰返し載荷と背圧付加により有効応力を 0 にして三軸圧縮試験を行った。その結果、以下のことがわかった。

- ① 繰返し載荷により液状化した地盤と間隙水圧の伝播により二次液状化した地盤では、変形挙動が異なる。
- ② 二次液状化地盤の変形係数は、液状化地盤に比べて数倍から数十倍大きい。

参考文献

- 1) 小林恒一, 吉田望, 三上武子 (2007) : 二次液状化地盤の変形特性, 日本建築学会 2007 年度大会 (九州) 学術講演梗概集, Vol. B1, pp. 525-526
- 2) 保坂吉則 (2002) : 非排水繰返しせん断によって低下した拘束圧下における砂質土のせん断挙動, 第 11 回日本地震工学シンポジウム講演集, pp.689-694

*1 応用地質
*2 東北学院大学
*3 ジャパンパイル

*1 OYO Corporation
*2 Tohoku-Gakuin University
*3 Japanpile Corporation