

供試体作製条件が繰返し載荷時のひずみ分布に与える影響

アースプライム 正会員 ○佐々木 朋子
 東京大学大学院 フェロー会員 古関 潤一

1. 目的

攪乱試料を用いた供試体を作製する場合、実務では、汎用性の高さから締固め法（JGS 0520）が多用されているが、詳細についての規定はない。筆者らは、湿潤締固め法で作製した供試体を用い、作製時の層数が液状化試験結果に及ぼす影響について検討を行っている¹⁾。本稿では、作製条件が異なる供試体を用いた液状化試験を行い、繰返し載荷による軸ひずみの局所的な発生状況を画像解析によって可視化し、考察した結果を報告する。

2. 試験試料と試験方法

試験試料は、豊浦砂を使用した。試料の物理特性を表1に示す。また、供試体（φ75mm×h150mm）は、空中落下法（以下、AP）と負圧法を用いた締固め法（以下、WT）によって作製した。供試体条件の一覧を表2に示す。作製した供試体は、二重負圧法と背圧によって飽和化（ $B \geq 0.95$ ）し、圧密条件は $\sigma'_c = 100 \text{ kN/m}^2$ の等方圧密とした。また、載荷方式は、応力振幅一定のひずみ速度制御である。その他は、JGS 0541-2009「土の繰返し非排水三軸試験方法」に準拠した。

3. 画像解析手法

本研究では、ラテックス製のメンブレンに同じ素材のドットを5 mm 間隔で付して試験を行い、PIV 解析によってドットの座標を追うことで供試体表面の変位を得た。その後、得られた変位量から微小ひずみ理論と形状関数を用いて軸ひずみを算出し、可視化するという手法を用いた。

なお、円柱供試体を用いた2次元画像の場合、各ドット間距離の取得に当たっては、曲率の影響を受ける。加えて、繰返し三軸試験では、載荷時に撮影機器から供試体までの距離が変動するため、圧縮側は過大評価、伸張側は過小評価が懸念される。本研究では、供試体作製条件の違いによる結果の傾向を比較することが目的であるため、これらの影響は補正せずに解析を行った。

4. 試験結果と考察

図1に表2の条件で作製した供試体の液状化強度曲線を、図2に代表的な試験結果の有効応力経路と軸差応力～軸ひずみ関係を示す。図1より、供試体作製条件によって結果に違いが出ており、WTでは作製時の層数が多いほど、わずかに強度増加していることが見て取れる。なお、図中の丸い囲みは、後述する画像解析データに当たる供試体を示す。

一般に、締固めによる供試体は各層内に生じる密度勾配の影響を受けることから、同じ高さの供試体の場合、層数が少ないほど不均質になる。図3は、本研究で設定した層数の中では一番少な

表1 物理試験結果一覧

$\rho_s \text{ (g/cm}^3\text{)}$	2.651	$D_{max} \text{ (mm)}$	0.425
$\rho_{dmin} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	1.355	$F_c \text{ (%)}$	0.2
$\rho_{dmax} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	1.666	$D_{50} \text{ (mm)}$	0.16
-	-	U_c	1.6

表2 供試体条件一覧

作製方法*)	締固め層数	作製時含水比(%)	相対密度(%)
AP	-	0.0	60
WT	4	4.0	60
WT	6	4.0	60
WT	10	4.0	60

*) AP : Air-Pluviation, WT : Wet-Tamping

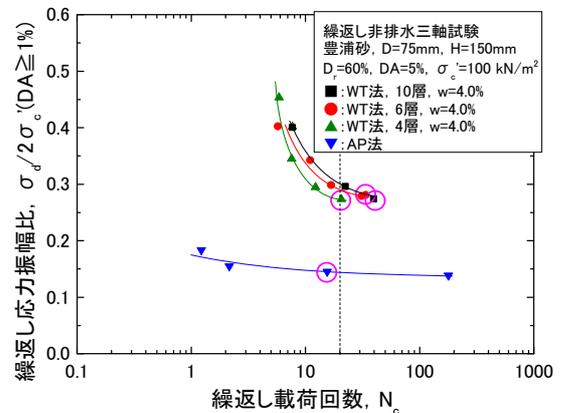


図1 液状化強度曲線

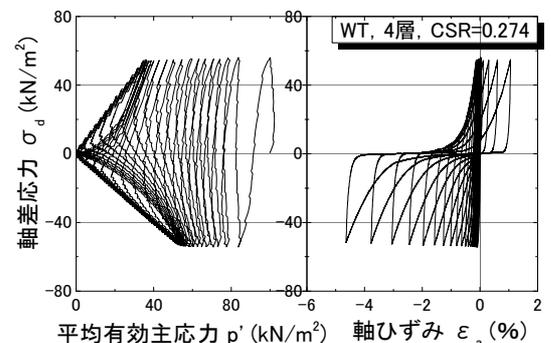


図2 有効応力経路, 応力～軸ひずみ関係

キーワード 液状化, ひずみ分布, 供試体作製, 三軸試験, 砂質土

連絡先 〒359-0007 埼玉県所沢市北岩岡 296-1 (株)アースプライム 技術センター TEL 04-2990-1010

い4層で作製した供試体の荷重状況であり、両振幅軸ひずみ DA が5%を超えたサイクルの伸張側ピーク時のものである。層境付近を拡大すると、供試体の側面の層境上方にくびれのようなものがみられ、この付近に伸張側のひずみが集中していると考えられる。このような供試体表面における変形の不均一性を、以下の画像解析にて確認する。

図4(a)~(d)は、画像解析によって得られた軸ひずみ分布のコンター図であり、いずれも DA が1, 2, 5%に最も近いサイクルの伸張側ピーク付近のものである。図4の(a)はAP, (b)~(d)はWTで作製した供試体であり、WTは、それぞれ供試体作製時の層数が4, 6, 10層の結果である。この中で、図4(b)の $DA=5%$ は、図3に対応している。また、図中には、各時点までに蓄積された過剰間隙水圧比を記載している。

図4(a)のAPによる結果では、軸ひずみは下端から上端に向かって大きくなる傾向を示している。また、供試体内のひずみ分布のバラツキは少なく、比較的均一である。

WTで作製した図4(b)~(d)は、いずれの結果においても、供試体中の層境付近を中心として不均一なひずみ分布を示し、層数が少ないほど明瞭である。また、6層と10層は、供試体の上部で比較的大きいひずみが出ており、下部におけるひずみは、同じ供試体の上部と比較すると小さい。これは、APによる結果と似た傾向である。一方、4層では、各層の軸ひずみ分布に密度勾配の影響はみられるものの、供試体の上部と下部で伸張ひずみの分布に明瞭な差がない点が特徴的である。

なお、作製時の層数が4層と6層のケースでは、 $DA=2\sim5\%$ でのコンター図に、局所的に圧縮ひずみが生じている領域が確認できる。メンブレンと供試体の変位については、有効応力が減少するとこれらの境界で滑りが生じて整合しなくなることが指摘されている²⁾。また、4層で作製した供試体を凍結によって自立させ、その後メンブレンをセットしたケースを実施したところ、上記のような伸張側での圧縮ひずみは確認できなかった。締固めによる供試体作製で負圧法を用いる場合、密詰め部付近で局所的にメンブレン張力が増加する可能性がある。このメンブレン張力が、繰返し荷重による有効応力の減少によって解放された結果、伸張側での局所的な圧縮ひずみの発生につながったと考えられる。

5. まとめ

異なる作製方法による供試体を用いて液状化試験を行い、画像解析によるひずみ分布の比較を行った。その結果、作製条件による供試体表面の変形挙動の違いが確認できた。

参考文献 1) 佐々木, 古関: 湿潤締固め供試体の層数の違いが液状化特性に及ぼす影響, 第52回地盤工学研究発表会発表講演集(投稿中)
2) Zhao, C., et al.: Direct and indirect local deformations of sand in undrained cyclic triaxial tests by image analysis technique, Advances in Laboratory Testing and Modelling of Soils and Shales, ISSMGE, 2017, pp.215-222.

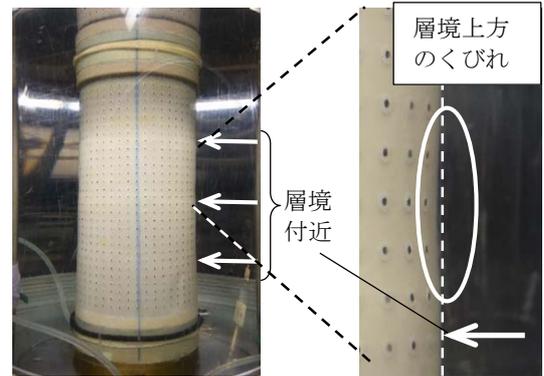
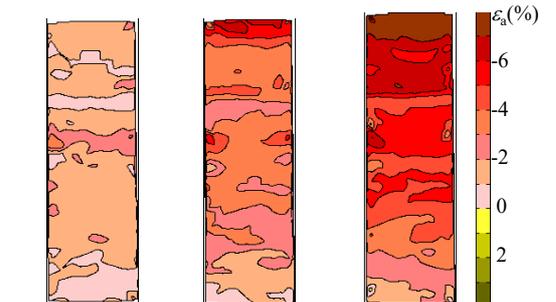
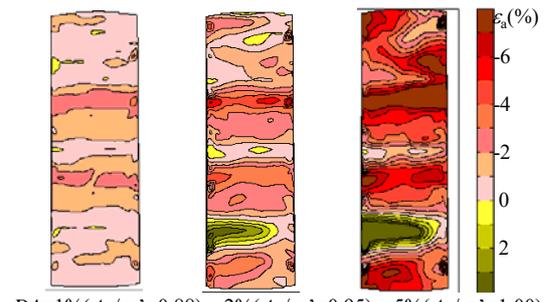


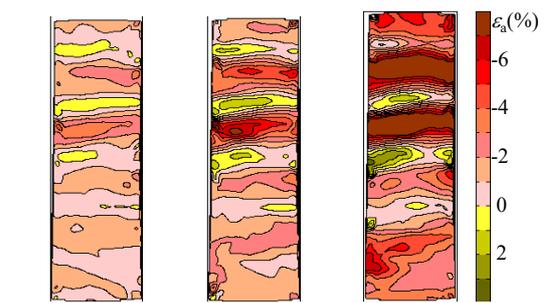
図3 荷重中の供試体状況 (4層, CSR=0.274, $DA=5\%$, 伸張側ピーク付近)



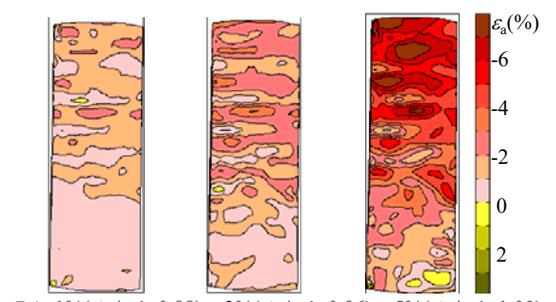
DA=1%($\Delta u/\sigma'_c=0.90$), 2%($\Delta u/\sigma'_c=1.00$), 5%($\Delta u/\sigma'_c=1.00$)
図4(a) APで作製した供試体のひずみ分布



DA=1%($\Delta u/\sigma'_c=0.88$), 2%($\Delta u/\sigma'_c=0.95$), 5%($\Delta u/\sigma'_c=1.00$)
図4(b) WT4層で作製した供試体のひずみ分布



DA=1%($\Delta u/\sigma'_c=0.89$), 2%($\Delta u/\sigma'_c=0.96$), 5%($\Delta u/\sigma'_c=1.00$)
図4(c) WT6層で作製した供試体のひずみ分布



DA=1%($\Delta u/\sigma'_c=0.88$), 2%($\Delta u/\sigma'_c=0.96$), 5%($\Delta u/\sigma'_c=1.00$)
図4(d) WT10層で作製した供試体のひずみ分布