

複数回液状化時の特性変化に関する多層リング繰返し単純せん断試験 (その 2)

液状化 単純せん断試験 再液状化

東京大学生産技術研究所 国際会員 ○古関 潤一
東京大学大学院社会基盤学専攻 Seto WAHYUDI
複合技術研究所 国際会員 佐藤 剛司
東京大学生産技術研究所 国際会員 宮下 千花

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では広域多所で液状化が発生した。今後の対策を検討するうえで、再液状化時の特性を把握する必要がある。そこで、液状化履歴を受けた場合の特性の変化を明らかにするために、新開発した多層リング単純せん断試験装置¹⁾を改良し、豊浦砂の定体積繰返しねじり試験と一次元再圧縮試験の組み合わせを、同一の供試体に対して複数回実施した。

2. 試験方法

気乾状態の豊浦砂を用いて、外径 150、内径 90、高さ 55 mm の中空円筒供試体を空中落下法で作成し、200 kPa の鉛直応力を載荷して一次元圧縮した。一次元圧縮後の供試体の初期相対密度 Dr_0 は約 55% である。

厚さ 5mm のリングを計 11 枚積層させて供試体の両側面を拘束することで単純せん断条件を模擬し、さらに定体積条件を保つためにキャップの鉛直変位を固定した状態で、繰返しねじりせん断を行った。その結果として、例えば図 1 に示すように、供試体が気乾状態のままでも最終的には鉛直応力がほぼゼロの状態に至った。本報ではこの状態を「液状化」として取り扱う。

繰返しせん断試験は、一定のせん断応力振幅 (=20 kPa) で所定の両振幅せん断ひずみ $\gamma_{DA(max)}$ (=2, 5, 10% の 3 通りに設定) に達するまで実施した。その後せん断ひずみがゼロに戻るまで手動で除荷してから、鉛直変位固定を解除して鉛直応力 200kPa で一次元再圧縮を行なった。これらの载荷の組み合わせを、液状化に至る繰返し回数が 200 回程度を超えるまで複数回実施した。

なお、前報²⁾では高さ 155 mm の供試体 (31 枚の積層リングで拘束) を用いた試験結果を報告したが、供試体の下側に荷重計を追加して計測した結果、リングと供試体の境界面で発揮される摩擦の影響を受けて供試体底部に作用する鉛直応力は 10 kPa 以下であったことが判明したため、本報では高さを約 1/3 に減らして境界面での摩擦の影響を低減させた。図 1 には供試体底部で計測した鉛直応力も示したが、頂部における計測値の約半分であり、これらから境界面における摩擦角を逆算すると約 22 度となる。この摩擦角は供試体の違いによらずほぼ一定で、液状化履歴を与えても変化しなかったことから、異なる試験条件間での比較が可能であるものと判断した。また、比較のため $Dr_0=46\sim 91\%$ の供試体に対して、液状化履歴なしの試験も実施した。

3. 試験結果

図 2 に示すように、液状化履歴を受けると再圧縮により徐々に相対密度が増加した。同じ液状化履歴回数で比較した場合、液状化履歴を受けた際のせん断ひずみ振幅 $\gamma_{DA(max)}$ が大きくなるほど密度増加が著しく、関連研究結果³⁾と同様な傾向を示した。

図 3-5 に一例を示すように、液状化回数が増えるほど、所定の両振幅せん断ひずみ (ここでは $\gamma_{DA(max)}$ の最小値に相当する 2% で比較) に至るまでの繰返し回数 ($N_{\gamma_{DA(2.0\%)}}$ と称する) が全般的に大きくなり、液状化強度が増大する傾向を示した。全ての試験結果をまとめた図 6 においても、全般的には同様な傾向が見られたが、液状化履歴回数が少ない条件下 ($\gamma_{DA(max)}=2$ および 5% で 2 回目の液状化時) では、1 回目の液状化時よりも液状化強度が低下する場合があった。

前述した $N_{\gamma_{DA(2.0\%)}}$ と、各試験時点での相対密度の関係を図 7 に示す。図中には、液状化履歴なしの試験の結果も示した。 $\gamma_{DA(max)}=2\%$ まで液状化履歴を受けた場合の再液状化強度は、同一の相対密度で初めて液状化する場合よりも常に大きく、逆に $\gamma_{DA(max)}=10\%$ まで履歴を受けた場合の再液状化強度は、初めて液状化する場合よりも常に小さくなった。また、 $\gamma_{DA(max)}=5\%$ まで履歴を受けた場合の再液状化強度は、2 回目と 3 回目の液状化時には初めて液状化する場合よりも小さく、4 回目の液状化時には逆に大きくなった。これらの傾向は定性的には前報²⁾と同一であった。

4. まとめ

装置を改良して複数回の液状化試験を実施し、以下の点を再確認した。

- ・液状化履歴を受けると再圧縮により徐々に密度が増加したが、その後の再液状化特性は、同一密度で初めて液状化する場合とは異なった。このような特性変化は、液状化履歴を受けた際のせん断ひずみ振幅の違いの影響も受けた。

参考文献 1) 佐藤ら(2013): 多層リング単純せん断試験装置の開発, 第 48 回地盤工学研究発表会. 2) 古関ら(2013): 複数回液状化時の特性変化に関する多層リング繰返し単純せん断試験, 第 48 回地盤工学研究発表会. 3) 例えば, 海野ら(2012): 繰返しせん断ひずみを用いた砂質土の液状化に伴う体積ひずみの評価法, 土木学会論文集 C, 68(4), 680-694.

Cyclic Simple Shear Tests using Stacked-Rings on Change of Liquefaction Properties during Multiple Events (part 2): Koseki, J., Wahyudi, S. (Univ. of Tokyo), Sato, T. (Integrated Geotechnology Institute) & Miyashita, Y. (Univ. of Tokyo)

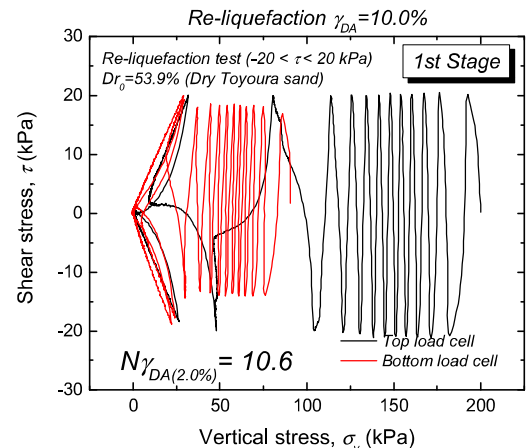


図 1 試験結果の例 (応力ひずみ関係は図 3 参照)

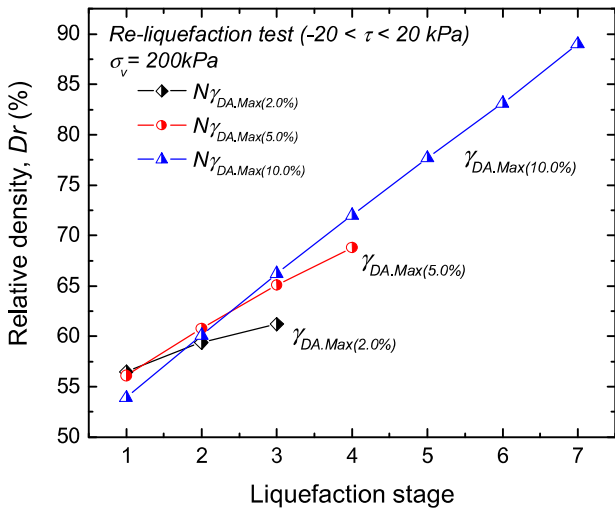


図2 液状化履歴に伴う相対密度の変化

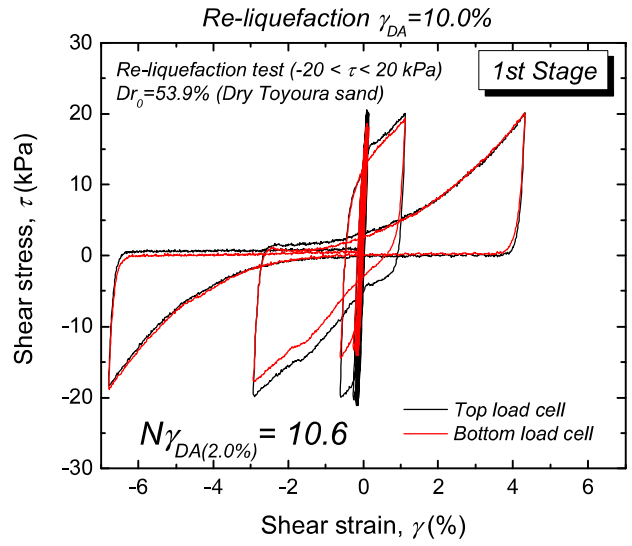


図3 液状化1回目の応力ひずみ関係の例 ($\gamma_{DA(max)}=10\%$)

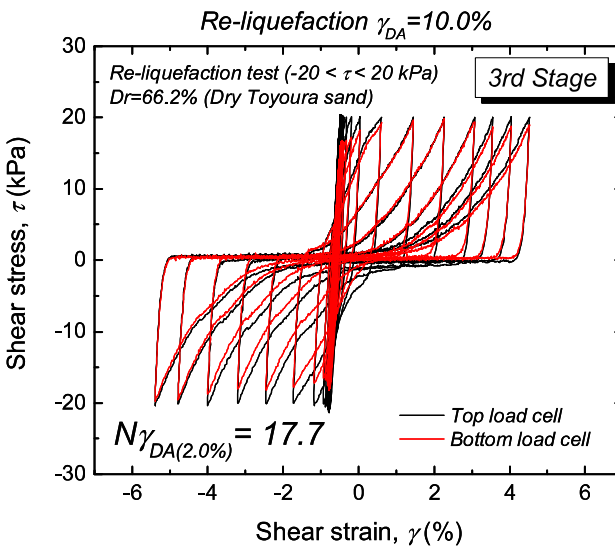


図4 液状化3回目の応力ひずみ関係の例 ($\gamma_{DA(max)}=10\%$)

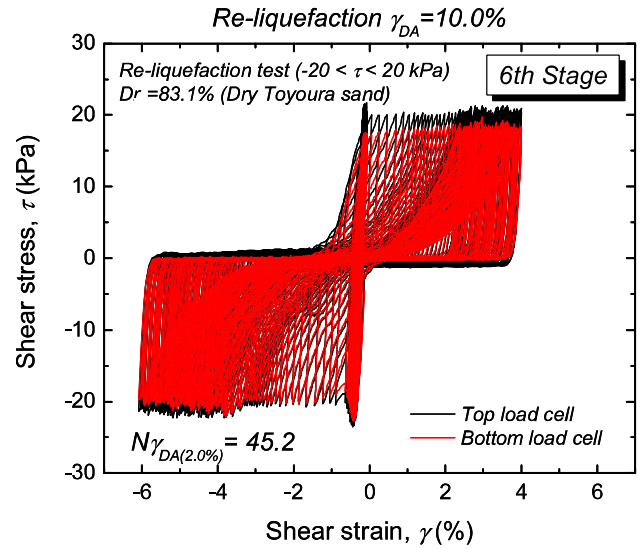


図5 液状化6回目の応力ひずみ関係の例 ($\gamma_{DA(max)}=10\%$)

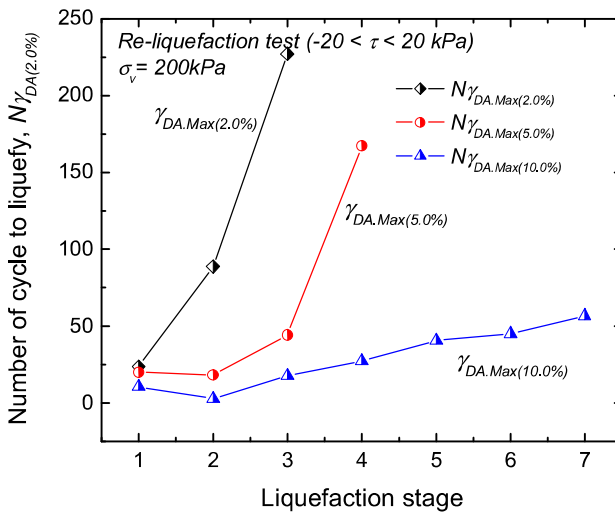


図6 液状化履歴に伴う「両振幅せん断ひずみ2%に至るまでの繰返し载荷回数」の変化

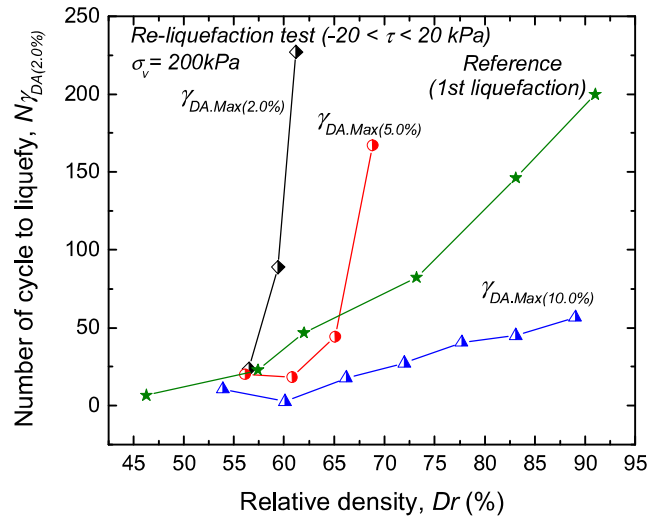


図7 両振幅せん断ひずみ2%に至るまでの繰返し载荷回数と相対密度の関係