

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

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 ○古閑 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⁾を用いて、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155mmの中空洞筒供試体を空中落下法で作成した。供試体の初期相対密度 Dr_i は約55%と約80%の2通りとした。また、比較のため $Dr_i=51\sim 94\%$ の供試体に対し、液状化履歴なしの試験も実施した。

試験中は、積層させた厚さ5mmのリングで供試体の両側面を拘束し、一次元圧縮と単純せん断条件を模擬した。繰返しせん断に定体積条件を保つため、キャップの鉛直変位を固定した。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。本稿ではこの状態を「液状化」に対応するものとして取り扱う。

各供試体は、はじめに鉛直応力200kPaで一次元圧縮した。その後、前述した定体積繰返しせん断試験を、一定のせん断応力振幅($Dr_i=50\%$ の場合は10kPa, $Dr_i=80\%$ の場合は20kPa)で、所定の両振幅せん断ひずみ $\gamma_{DA(max)}$ (=2~10%の範囲で設定)に達するまで実施した。せん断ひずみがゼロに戻るまで手で除荷してから、鉛直変位固定を解除して鉛直応力200kPaでの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。

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²⁾と同様な傾向を示した。

図3に示すように、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($N_{\gamma_{DA}=2\%}$ 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。ただし、図5で後述するように、液状化回数が少ない条件下では、液状化強度が逆に低下する場合もあった。

前述した $N_{\gamma_{DA}=2\%}$ と、その時点での相対密度の関係を図4に示す。図中には、液状化履歴を受けていない場合の試験結果も合わせて示した。再液状化時の特性は、同一の相対密度で初めて液状化する場合とは異なっており、 $Dr_i=55\%$ から液状化履歴を受けた場合には、初めて液状化する場合よりも液状化強度が全般的に高かった。また、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、液状化強度が高かった。一方で、 $Dr_i=80\%$ から液状化履歴を受けた場合には、初めて液状化する場合よりも液状化強度が低下する場合もあった。

なお、図5に示すように、液状化回数が少ない条件下では、 $Dr_i=55\%$ から液状化履歴を受けた場合であっても、液状化強度が一旦は低下したり、あるいは増加と低下を繰返す場合があった。一方で、 $Dr_i=80\%$ から液状化履歴を受けた場合には、液状化2~3回目の強度が最小となった。

4. まとめ

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。今後は、多層リングと供試体間での鉛直およびせん断方向の摩擦力と、一次元再圧縮後の水平応力の変化の影響等について検討する必要があり、前者についてはこれらを計測する準備を進めている。

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

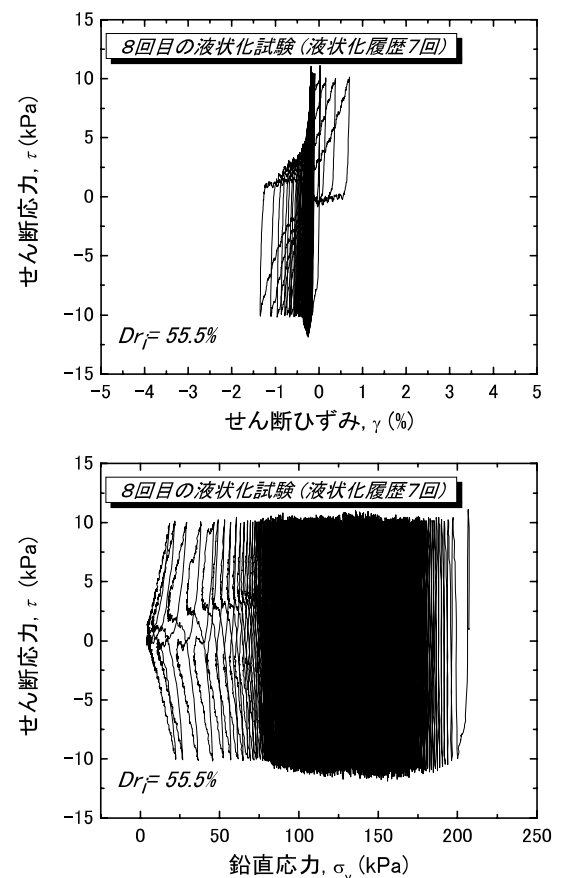


図1 定体積繰返しせん断試験結果の例
(気乾状態の豊浦砂, 初期相対密度55.5%)

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) 例えば, 海野ら(2012): 繰返しせん断ひずみをう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.

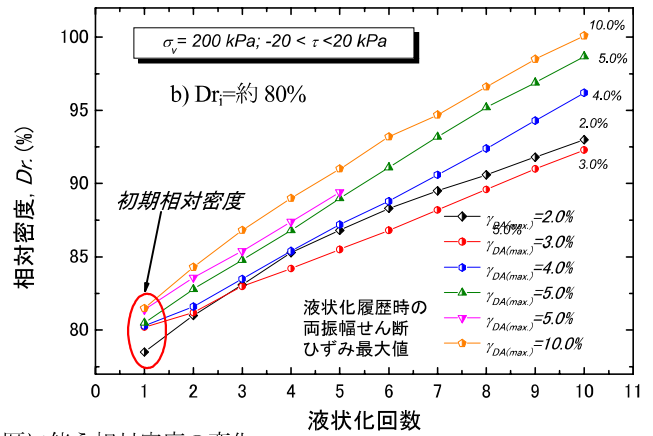
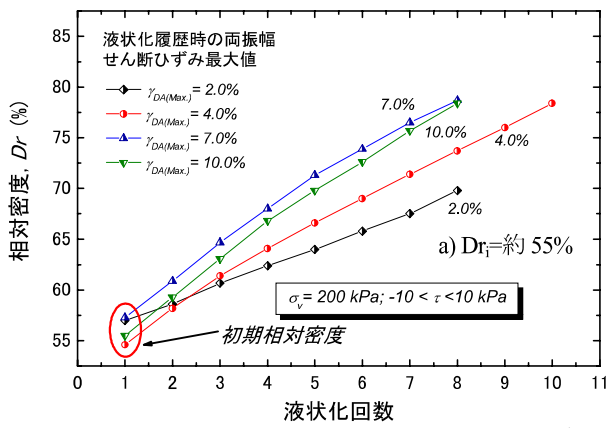


図2 液状化履歴に伴う相対密度の変化

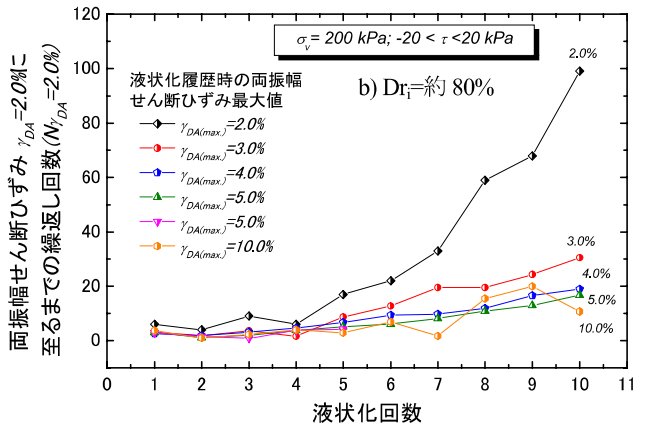
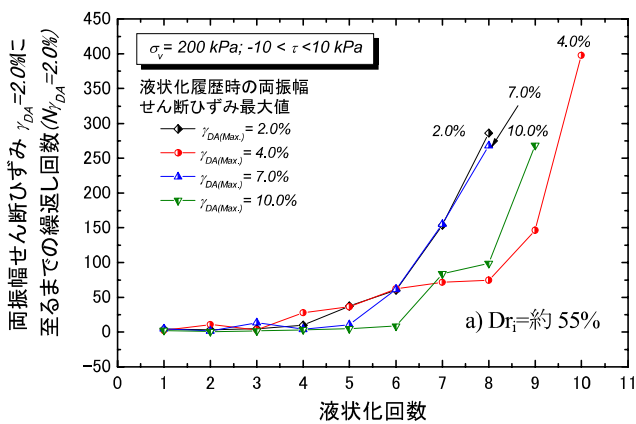


図3 両振幅せん断ひずみ2%に至るまでの繰返し載荷回数の変化

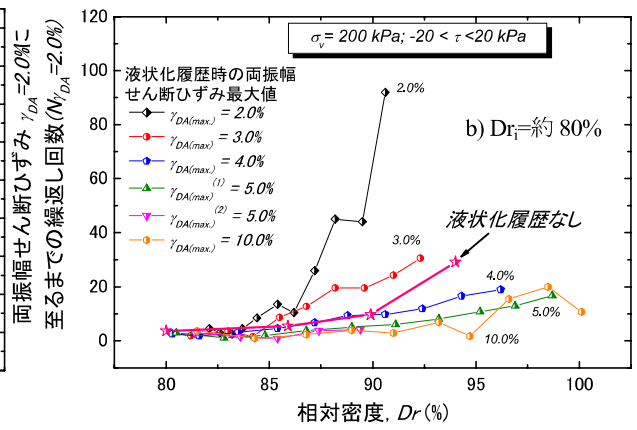
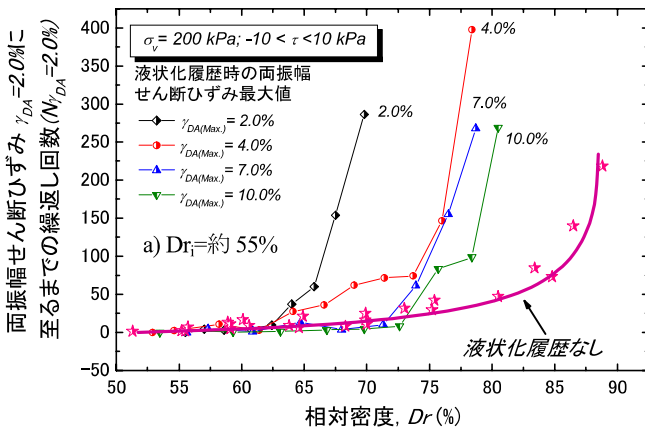


図4 両振幅せん断ひずみ2%に至るまでの繰返し載荷回数と相対密度の関係 (全データ)

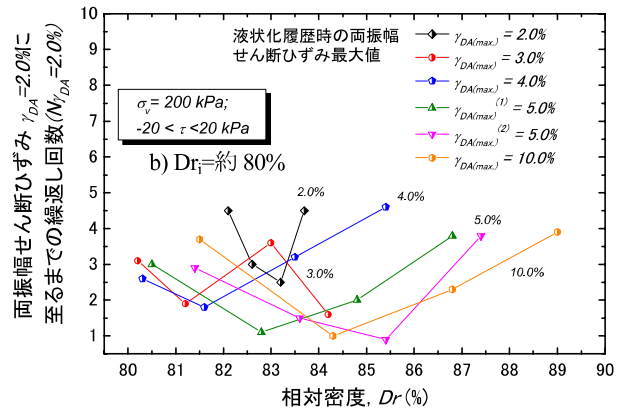
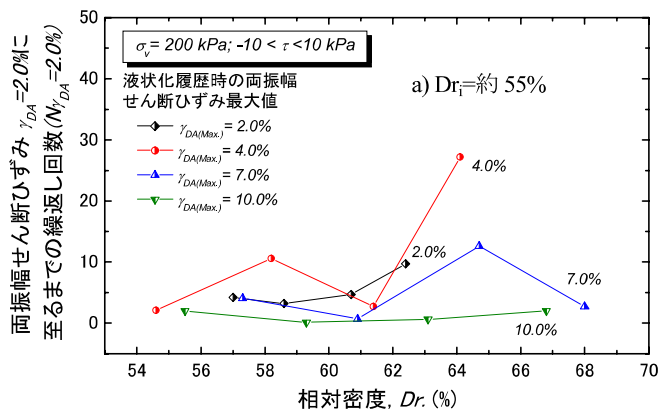


図5 両振幅せん断ひずみ2%に至るまでの繰返し載荷回数と相対密度の関係 (液状化回数1~4回のデータのみ)