

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3)

液状化 単純せん断試験 再液状化

東京大学大学院社会基盤学専攻 学生会員 ○青柳 悠大
国際会員 古関 潤一
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、関東・東北地方の広域において大規模な液状化が発生した。今回の地震では、1978年宮城県沖地震などで液状化が発生した場所と全く同じ場所で再液状化が確認された¹⁾。今後想定される首都直下地震の対策を検討するうえで、大小様々な液状化履歴の組み合わせを受けた場合の地盤特性の変化を明らかにする必要がある。そこで、多層リング繰返し単純せん断試験装置²⁾を用いて、目標の両振幅せん断ひずみを一回の液状化試験ごとに变化させた定体積繰返しせん断試験と一次元再圧縮試験の組み合わせを、豊浦砂の同一の供試体に対して複数回実施した。

2. 試験方法

本試験では、多層リング単純せん断試験装置を用いて複数回液状化試験を実施した。いずれの試験でも気乾状態の豊浦砂($G_s=2.656$; $D_{50}=0.160\text{mm}$; $F_c=0.1\%$; $e_{\max}=0.992$; $e_{\min}=0.632$)を用いて、外径150、内径90、高さ55mmの中空円筒供試体を空中落下法で作製し、上面に200kPaの鉛直応力を載荷して一次元圧縮した後、キャップの鉛直変位を固定し定体積状態で繰返しせん断試験を行った。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るので、本研究ではこの状態を「液状化」として取り扱う。最初の一次元圧縮後の相対密度 D_{r0} はおよそ55% (51~57%)である。定体積繰返しせん断試験では、一定のせん断応力振幅 ($-25\text{kPa} < \tau < +25\text{kPa}$) で目標の両振幅せん断ひずみ $\gamma_{DA\max}$ ($=2, 10\%$ の2通りに設定) を一回の液状化試験ごとに設定し、図1に示すように、大小様々な液状化履歴(変形レベル)の組み合わせを与えた。目標の両振幅せん断ひずみに達したら、せん断ひずみがゼロに戻るまで除荷し、鉛直変位を固定したキャップを再び開放し、鉛直応力200kPaで再び一次元圧縮を行った。いずれの試験ケースも5回ずつ液状化試験を行った。なお、本試験では繰返し載荷回数が500回に至ったものは「液状化しない」として扱った。

3. 試験結果

本試験の有効応力経路の一例を示すと図2のようになった。まず、相対密度の変化に着目すると図3に示すように、どの実験ケースでも液状化履歴を受けると再圧縮により徐々に相対密度は増加した。図中には、各液状化試験での目標せん断ひずみ両振幅 γ_{DA} を示し、各液状化試験で同一の両振幅せん断ひずみ $\gamma_{DA\max}$ ($=2\%$ 一定, 10% 一定)を与えた既往の試験結果は破線で示した。

一方で、図4に示すように、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%と比較)に至るまでの繰返し回数 $N_{\gamma_{DA}(2\%)}$ (同一のせん断応力振幅で得られた結果であるので、これを「液状化強度」と称する)に着目すると、大きな液状化履歴 $\gamma_{DA\max}=10\%$ を与えた後の液状化試験では、それ以前の液状化履歴に関わらず液状化強度は同等または低下する傾向を示した。各液状化試験で同一の両振幅せん断ひずみを与えた場合の結果では、液状化履歴が少ない条件下($\gamma_{DA\max}=10\%$ で2回目の液状化試験時)では1回目の液状化時よりも低下する場合があったが、今回の試験では、4回目の液状化試験でも液状化強度が低下することがあった。また全般的に、液状化強度が著しく低下するのは、それまでの液状化履歴に関わらず直前に大きな液状化履歴($\gamma_{DA\max}=10\%$)を受けた後に起こりやすいということがわかった。

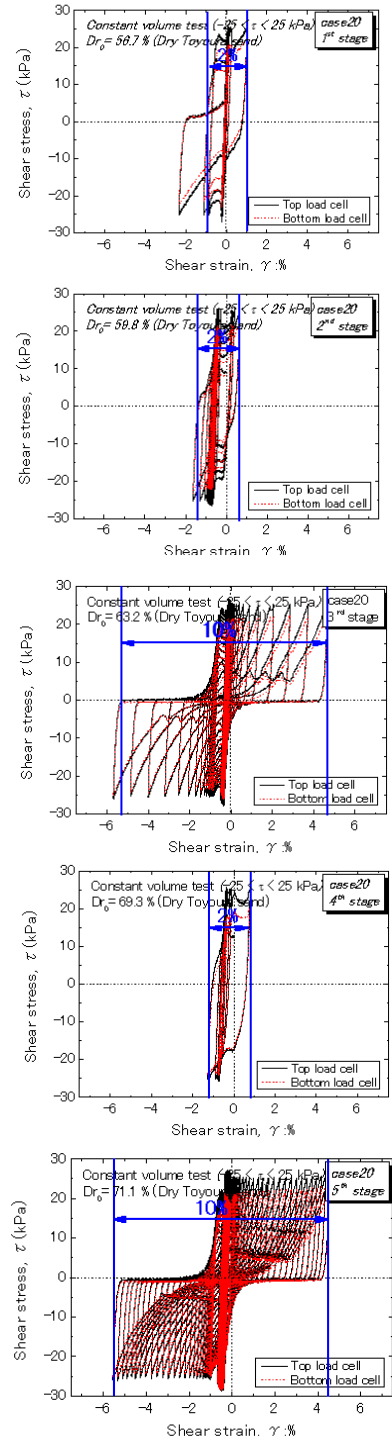


図1 大小様々な液状化履歴の例

$N_{\gamma_{DA}(2\%)}$ と、各試験時点での相対密度の関係を図5に示す。図中には液状化履歴なしの既往の試験結果も示した。破線の同一のせん断ひずみ両振幅を与えた場合は、同一の相対密度で比較すると、 $\gamma_{DA}=2\%$ の場合は常に液状化履歴なしの場合より液状化強度は高く、 $\gamma_{DA}=10\%$ の場合は低くなるといった結果となったが、本試験では、直前の液状化履歴の違いに応じて液状化履歴なしの場合よりも液状化強度が高くなる時と低くなる時を繰り返した。

4. 考察

目標とするせん断ひずみ両振幅を液状化試験1回ごとに变化させて行った場合、せん断ひずみ両振幅が大きいと供試体内の土粒子構造が大きく乱され、その後一次元圧縮すると相対密度の増加は大きくなる。特に大きなせん断ひずみ両振幅($\gamma_{DA}=10\%$ の場合)を与えた後の相対密度の増加は大きくなった。

液状化強度に関しては、全般的にそれまでの液状化履歴に関わらず直前の大きな液状化履歴によって低下することがあり、相対密度が65%程度となる4回目の液状化試験においても大きく液状化強度が低下した。

今後は、目標のせん断ひずみに達したら除荷してせん断ひずみをゼロに戻さず、残留ひずみが残った状態での検討も必要であると考えられる。また、各液状化試験でせん断応力を様々な大きさに变化させた試験も検討中である。

参考文献 1)若松加寿江(2012):2011年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化,日本地震工学会論文集第12巻第5号,pp.69-88. 2)佐藤ら(2013):多層リングせん断試験装置の開発,第48回地盤工学研究発表会. 3)古関ら(2014):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),第49回地盤工学研究発表会.

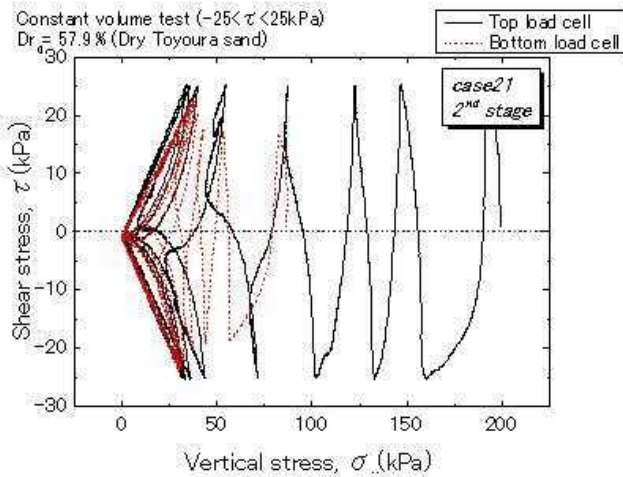


図2 有効応力経路の例

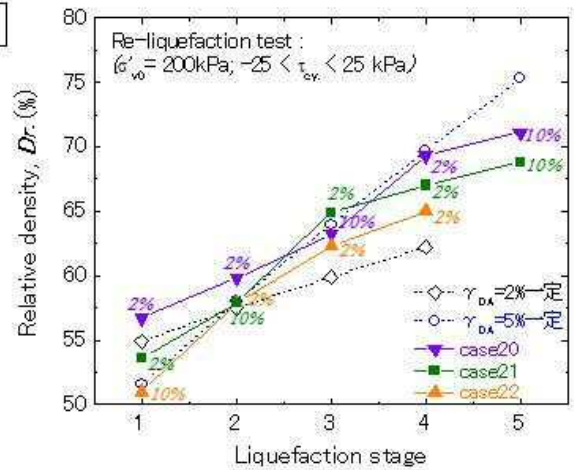


図3 液状化履歴に伴う相対密度の変化

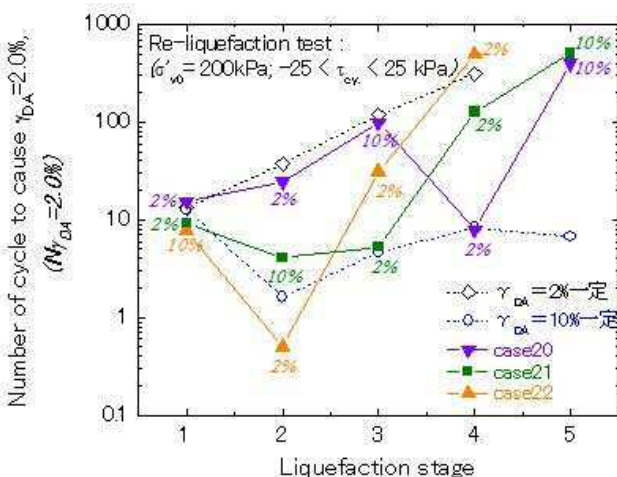


図4 液状化履歴に伴う「両振幅せん断ひずみ2%に至るまでの繰返し載荷回数」の変化

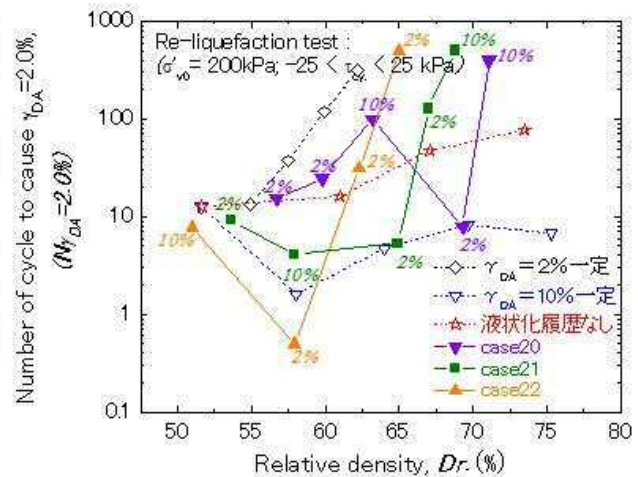


図5 せん断ひずみ両振幅2%に至るまでの繰返し載荷回数と相対密度の関係