

砂杭打設時の载荷履歴が液状化強度特性に及ぼす影響

株式会社不動テトラ 正会員 ○武田尚也 原田健二 矢部浩史 中出雄也
 東京大学大学院 フェロー会員 古関潤一

1. はじめに

これまでサンドコンパクションパイルなどの締固め工法において、地盤に与えるひずみ履歴が液状化強度に及ぼす影響が研究されてきた¹⁾。前報²⁾では豊浦砂を用いて、砂杭施工時に作用するせん断履歴を室内試験で模擬して、その後に非排水せん断時の挙動を確認した。本論文では、稲城砂を用いて同様に行った試験³⁾の概要と、特にひずみ履歴载荷時の挙動を豊浦砂と比較した結果及び考察について述べる。

2. 実験概要

2. 1 供試体作製方法

試験に用いた試料は稲城砂 ($\rho_s=2.707\text{g/cm}^3$; $D_{50}=0.21\text{mm}$; $F_c=4.9\%$; $e_{\max}=0.857$; $e_{\min}=1.377$) である。中空円筒供試体 (外径 10cm、内径 6cm、高さ 20cm) を空中落下法で、ひずみ履歴载荷直後の相対密度が $D_r=60\%$ 程度 ($\pm 5\%$ 以内) となるよう作製した。通水飽和後、有効拘束圧 50kPa で圧密し、砂杭の貫入・締固め造成過程を模擬した履歴を与えた後に液状化試験を実施した。

2. 2 砂杭の履歴を考慮した载荷方法

地盤が等方線形弾性体であると仮定し、砂杭の貫入過程を鉛直方向への点荷重载荷が鉛直下方に移動するものとして置き換えて、杭間地盤への応力変化が算定されている (図-1)¹⁾。図-1 の応力変化が、鉛直载荷において鉛直面のせん断応力 τ_{zr} と軸差応力 ($= (\sigma_z - \sigma_r)/2$) が同時に変化して最後はゼロに戻る特性を考慮し、着目地盤要素の両側への2本の砂杭施工を単純化して図-2に示すような応力履歴を試験機で再現した。また、図-2に示した例では、2本の砂杭の貫入・造成過程を計4サイクルの応力履歴で模擬しており、これを図-3に示すような所定のひずみまで試験機で繰返し载荷した。最大せん断ひずみを $\gamma_{\max}=1\%$ ~5%の範囲で設定し、所定のサイクル数に分割して最大ひずみを与えた。設定したせん断ひずみの値に至るサイクル数4の場合と10の場合の二通りの試験を実施した。

ひずみ履歴は非排水条件で载荷し、1サイクル毎に排水を行い相対密度の変化量を算出した。また、その後行った液状化試験では非排水条件で供試体高さを一定に保ったまま、 τ_{zr} のみを繰返し载荷し、繰返し応力比 $\text{CSR}=0.12$ 、せん断ひずみ両振幅 $\gamma_{\text{DA}}=7.5\%$ に達するまで行った。

3. 実験結果

液状化試験で $\gamma_{\text{DA}}=7.5\%$ に達するまでの回数を液状化強度特性として、履歴時の最大せん断ひずみとの関係として整理した結果を図-4に示す。豊浦砂²⁾、稲城砂ともに载荷回数 (サイクル数) が増えれ

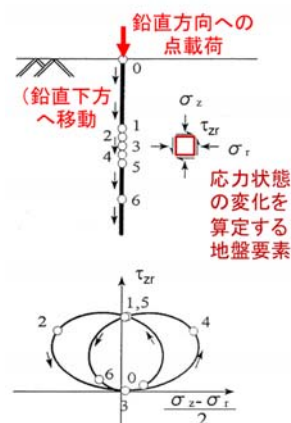


図-1 地盤中での鉛直方向への点荷重载荷時の弾性解による応力変化¹⁾

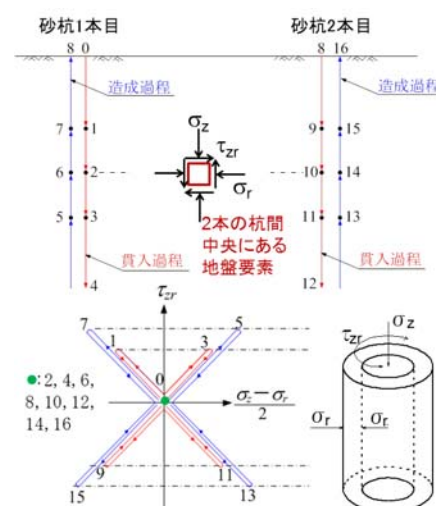


図-2 砂杭2本の施工を単純化して模擬した中空ねじり試験の応力履歴設定例

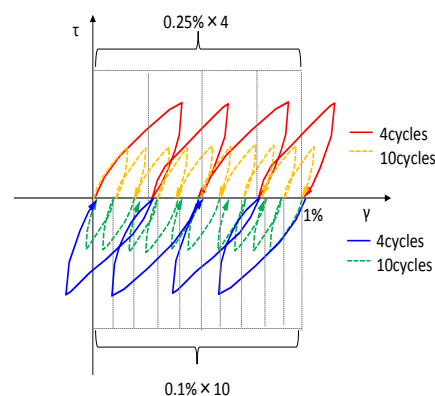


図-3 砂杭の応力履歴時のせん断応力とせん断ひずみの模式図 ($\gamma_{\max}=1\%$ の場合)

キーワード: 稲城砂、液状化特性、中空ねじりせん断試験 連絡先: 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7-2 TEL 03-5644-8534

ば強度が増加する。豊浦砂より稲城砂の方が強度の増加が大きい傾向にある。

豊浦砂については、4 サイクル時に履歴なしの液状化強度より低下するケースがあるが、稲城砂については見られなかった。その違いについて、砂杭履歴載荷時のせん断挙動を確認した。砂杭履歴載荷時の有効応力経路および間隙比 e と平均有効主応力 p' の関係を図-5 に示す。図-5 (中央) から、豊浦砂ではひずみ履歴載荷中に平均有効主応力 p' が急増するサイクル (矢印) が存在し、変相線を超えた後に見られる膨張挙動を示した。膨張挙動後の排水量は少なく間隙比 e はその前のサイクルの時より小さくなっている (点線枠)。このように顕著な膨張挙動を示したケースでは、履歴がない場合と比べて液状化強度が減少した。一方、豊浦砂 (図-5-左) と稲城砂 (図-5-右) では、膨張挙動がほとんどなく、間隙比 e の収縮量はその前のサイクルと同程度である (点線枠)。このように収縮挙動が卓越する履歴を示したケースでは、履歴がない場合と比べて液状化強度が増加した。稲城砂では特に収縮傾向が強く、収縮的挙動のままであれば液状化強度が上がると推察する。

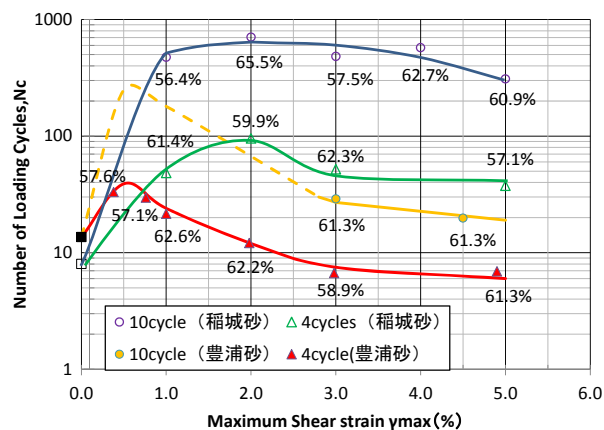


図-4 液状化強度特性に及ぼす履歴時最大せん断ひずみの影響^{2,3)}

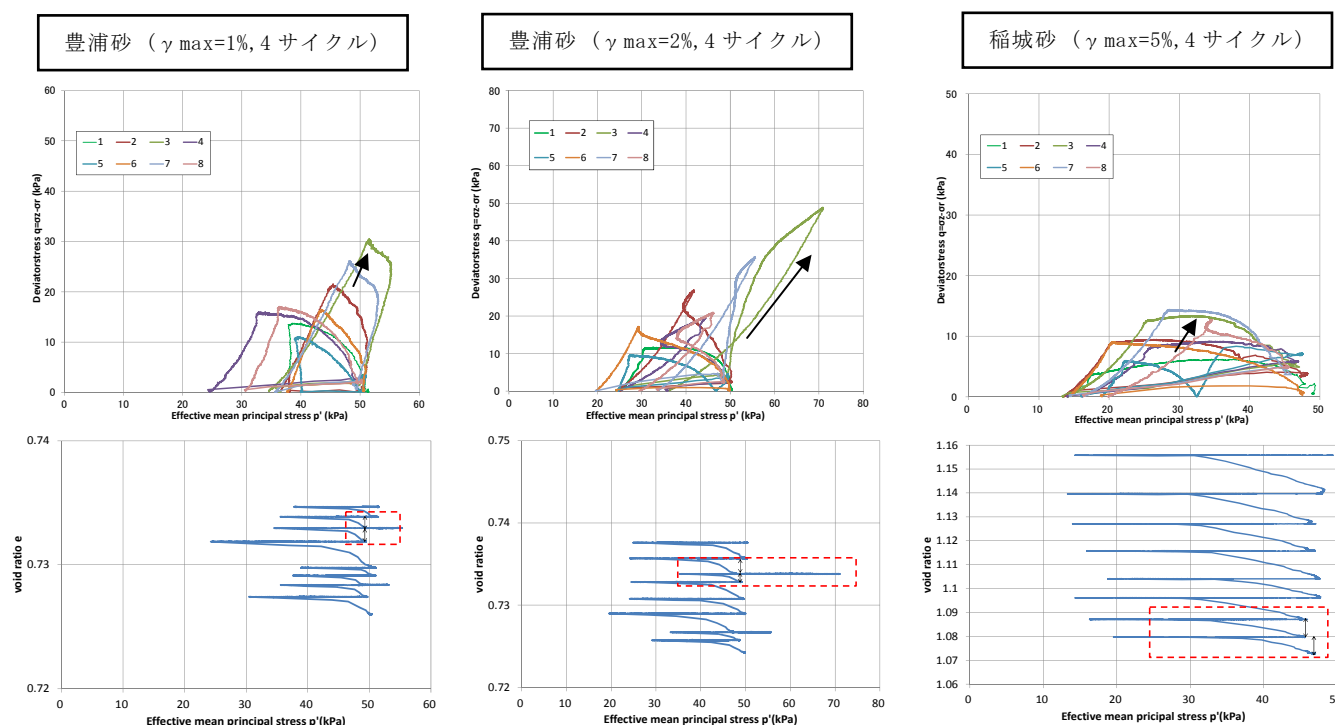


図-5 有効応力経路 (上段) と e - p' (下段)

4. おわりに

砂杭履歴を室内試験で再現し、その後の液状化試験より履歴による液状化特性を 2 種類の材料で確認した。その結果、砂杭履歴載荷で膨張挙動が卓越するケースでは液状化強度が減少する傾向が見られた。また、両材料ともにサイクル数の増加に伴い、収縮挙動が多くなり液状化強度が増加する傾向が見られた。

参考文献

- 1) 古関 (2018) : 締固め砂杭の施工が液状化強度特性に及ぼす影響に関する最近の知見 基礎工 Vol.46, No11, p.2-p.5
- 2) 中出ら (2018) : 砂杭打設によるひずみ履歴の回数が地盤の液状化強度に及ぼす影響 第 73 回年次学術講演会講演概要集 III-010 p.19-p.20
- 3) 武田ら (2019) : 砂杭打設によるひずみ履歴を考慮した中空ねじりせん断試験 第 54 回地盤工学研究発表会