

## 砂地盤の不飽和液状化対策工法における深度の影響

佐藤工業 正会員 ○加藤 謙吾

正会員 永尾 浩一

東京都市大学 正会員 末政 直晃

強化土エンジニアリング 正会員 佐々木 隆光

### 1. はじめに

著者らは、宅地のような狭隘な場所でも低コストで簡易に施工が出来る液状化対策として、マイクロバブル水を用いた不飽和化工法の確立・普及の取り組みを行ってきた。これまで大型振動台実験などにより、地盤の不飽和化による効果を確認し、防災対策としての機能を確認した。しかしながら、不飽和化による砂地盤の液状化強度は深度（拘束圧）により液状化抑制効果が増減することが認められた<sup>1)</sup>。そこで動的単純せん断試験を用い有効上載圧を変化させた液状化強度試験を行い拘束圧による液状化強度の影響について調べた。

### 2. 動的単純せん断試験

実験には土粒子密度、 $\rho_s=2.66\text{g/cm}^3$ ,  $e_{max}=0.957$ ,  $e_{min}=0.611$ , の豊浦砂を用いた。また、不飽和供試体の実験には、Air Entry Value(AEV)=20kPa のセラミックディスクを用いた。供試体の相対密度は空中落下法を用いて目標の値になるように調整した。密詰め供試体作成については、豊浦砂を空中落下させた後、モールド側面を打撃することにより相対密度を調整した。供試体下部から脱気水を供試体体積の3倍を目安に通水し、飽和供試体に対して背圧100kPaを与え、B値0.96以上を確認した。不飽和供試体については、通水後に供試体キャップに繋がれたシンフレックスチューブから間隙空圧を与えることにより不飽和化を行った。図1に、サクシオン応力( $u_a - u_w$ )=1.0kPaを与えた場合の間隙水の排水量(飽和度)変化の例を示す。排水された間隙水はおおよそ50分辺りで一定となり、飽和度93%で供試体の保水状態が安定したことを示している。飽和、不飽和状態を確認後、K値=0.5を保ちながら供試体を圧密した。圧密後、軸シャフトを固定し、周期1分の正弦波に荷重を合わせるにより繰返し载荷を行った。

### 3. 試験結果

図2, 図3に、有効上載圧( $\sigma'_v$ , あるいは,  $\sigma_{net,v}$ )=50kPaにおける緩詰め( $D_r=40\%$ )、および、密詰め( $D_r=80\%$ )供試体の過剰間隙水圧応答とせん断ひずみ応答例を示す。せん断応力比( $\tau/\sigma'_v$ ,  $\tau/\sigma_{net,v}$ )=0.15における緩詰め供試体の応答について、飽和状態の過剰間隙水圧比は繰返し回数( $N_{cyc}$ )1回程度で1.0に達しており、繰返し回数が増えるにつれ両ひずみ振幅(DA)=40%を超える大きなせん断ひずみが発生している。不飽和状態の過剰間隙水圧比は繰返し回数30回辺りで1.0に達している一方、飽和状態の様な急激なせん断ひずみの増加は見られず粘り強い応答を示している。例を示すと、過剰間隙水圧比0.5におけるDAは4.0%であり、液状化後 $N_{cyc}=30$ 回のDAは11.5%程度となっている。 $\tau/\sigma'_v$ ,  $\tau/\sigma_{net,v}=0.24$ における密詰め供試体の応答について、飽和状態の過剰間隙水圧比は $N_{cyc}=3$ 回程度で1.0に達しており、DA=15%を超えるせん断ひずみが発生している。不飽和状態では、 $N_{cyc}$ の増加と共に過剰間隙水圧比も少しずつ大きくなっており、 $N_{cyc}=25$ 回辺りで1.0に達している。一方、せん断ひずみは最初の繰返し载荷から1.0%程度生じているが、飽和状態のような急激な増加は見られない。例を示すと、過剰間隙水圧比0.5におけるDAは3.9%程度であり、液状化後 $N_{cyc}=25$ 回のDAは10.3%程度となっている。実験結果は次の2点を示している。(1)不飽和供試体は、過剰間隙水圧比が1.0に達した後も

不飽和砂、有効上載圧、液状化対策、液状化強度、動的単純せん断試験

〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山5-4-6 佐藤工業技術センター技術研究所

急激なせん断ひずみの増加を見せず、粘り強い応答を示す。(2)特に、粘り強さは相対密度が大きくなると顕著になる。

図4, 図5に、各有効上載圧( $\sigma'_{v,}$ ,  $\sigma_{net,V}=25, 50, 100, 300$  kPa)における  $DA=10\%$ の液状化強度曲線を示す。結果の一例を示すと、繰返し回数  $N_{cyc}=20$  を与える緩詰め飽和供試体のせん断応力比  $CSR_{N_{cyc}=20}$  は、それぞれ有効上載圧が小さい順に 0.110, 0.125, 0.139, 0.144 であり、不飽和供試体の  $CSR_{N_{cyc}=20}$  はそれぞれ 0.140, 0.170, 0.181, 0.258 であった。実験結果は次の2点を明瞭に示している。(1)不飽和状態の液状化強度は、有効上載圧の大きさに関わらず飽和状態より大きい。(2)サクシオン応力(飽和度)の大きさに関わらず、有効上載圧が大きくなると液状化強度が増加する。密詰め供試体の  $CSR_{N_{cyc}=20}$  は、飽和状態でそれぞれ 0.20, 0.15, 0.17, 0.18 であり、不飽和状態では 0.20, 0.25, 0.29, 0.33 であった。密詰め供試体においては  $\sigma'_{v,}=25$  kPa を除き、緩詰め状態と同じ傾向を示した。これより、相対密度に関わらず有効上載圧(深度)が大きくなると不飽和砂の液状化強度が増加することが分かる。

#### 4. おわりに

実験結果より、飽和度低下による液状化強度(空気の収縮による過剰間隙水圧の抑制効果)は、粒子間の拘束(拘束圧, 密度)が大きいと効果が発揮されやすいが、粒子間の拘束が小さいと変形しやすく粒子が動いてしまうため、過剰間隙水圧が上昇し、効果が小さくなるものと想定される。

実施工では、弱面となる箇所が出来ないように改良地盤全体を評価し対策を行う必要がある。今後は、密度増加や固結工法など他の液状化対策方法と併用し、より高性能、高機能な対策法を検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) 永尾, 明石, 末政, 岡村, 渦岡, 二木, 服部: 大地震動に対する地盤内不飽和化による液状化抑制効果確認遠心載荷試験, 第45回地盤工学研究発表会, 2010.8.

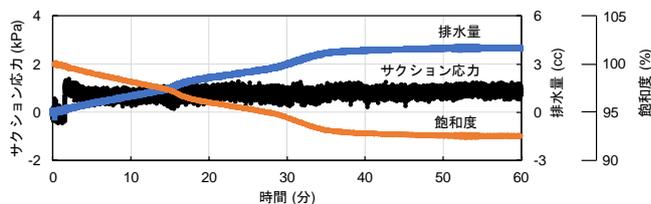


図1 不飽和過程における間隙水の排水量と飽和度

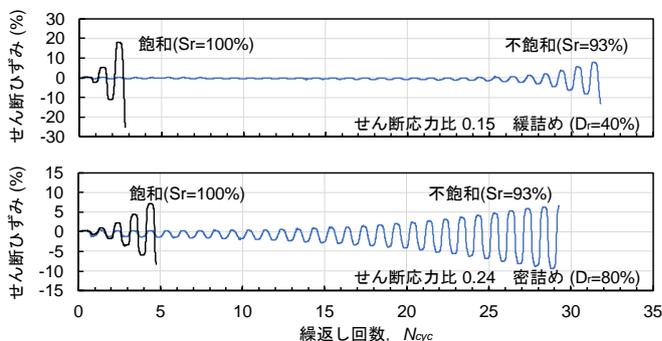


図2 せん断ひずみ応答

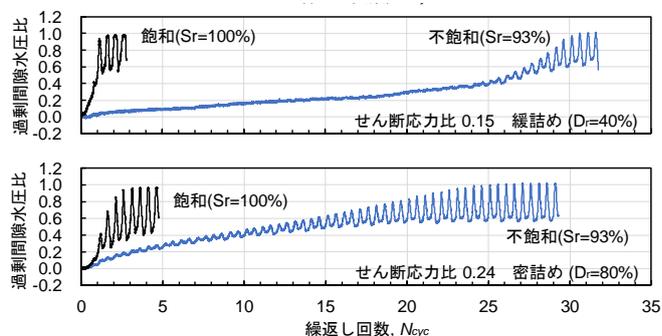


図3 過剰間隙水圧比応答

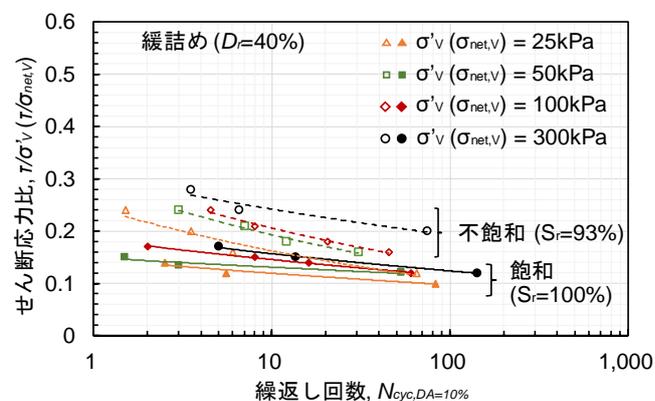


図4 各上載圧における液状化強度曲線(緩詰め)

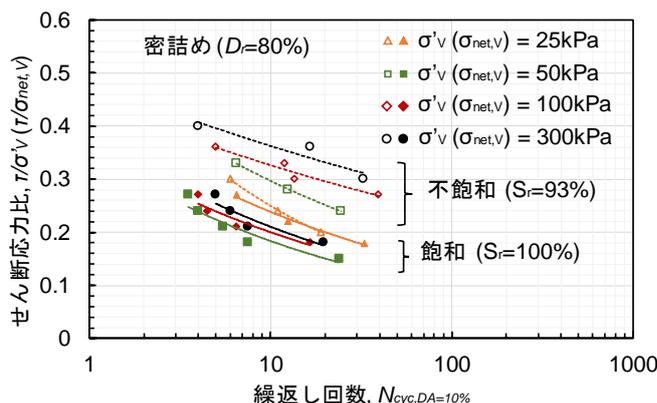


図5 各上載圧における液状化強度曲線(密詰め)