

砂質土の骨格構造の違いが液状化特性に及ぼす影響

名城大学	学生会員	○山下隼史
名城大学大学院	学生会員	藤田 薫
名城大学	正会員	小高猛司
中部土質試験協同組合	正会員	久保裕一
日本工営株式会社	正会員	李 圭太

1. はじめに

原地盤の液状化強度を適正に評価するためには、地中の砂質土の骨格構造を乱さずに採取して室内試験をする必要がある。図1は、同じ砂地盤から凍結およびチューブサンプリングによって採取した試料の繰返し三軸試験結果であり、この液状化強度の違いはまさに骨格構造の劣化の度合いを示すと解釈できる。しかし、骨格構造の実態も含めて、未だ概念的な説明に留まっているのが現状である。

本報では、同一間隙比でありながら異なる骨格構造を有する砂質土供試体²⁾を用いて、三軸圧縮試験とSYSカムクレイモデル³⁾によるそのシミュレーションによって骨格構造の違いを定量的に評価するとともに、繰返し三軸試験および模型地盤の振動台試験を実施し、その骨格構造の違いが液状化特性に及ぼす影響を検討する。

2. 試験の概要

試験試料は、三軸試験、振動台試験ともに、三河珪砂4号と6号、および野間精配砂を質量比3:1:3で配合した混合砂であり、細粒分を15%程度含む砂質土試料である(図2参照)。締固めによって供試体を作製する際の初期含水比を0%、5%、10%と変えることにより、異なる骨格構造を有する供試体を作製可能である²⁾。すなわち、含水状態によって細粒分の団粒化の度合いが異なり、それら団粒化した細粒分が粗粒分の周囲に付着することで骨格構造が形成される(写真1)。三軸試験では、初期含水比5及び10%は外部モールドで所定の間隙比($e=0.60$, $Dr=71.6\%$)になるように5層に分けて締め固め、高さ100mm、直径50mmの供試体を作製した。一方、初期含水比0%では自立しないため、三軸試験室内に2つ割モールドを設置し、自然乾燥試料を5層に分けて締め固めた。いずれの供試体も二重負圧法による完全飽和を行うが、飽和後も写真1の骨格構造が残存することを別途確認している。CU三軸試験は有効拘束圧50, 100, 150kPa、載荷速度0.1%/min、繰返し三軸試験は有効拘束圧100kPa、周波数0.1Hzで実施した。

図3に振動台模型の概要を示す。模型地盤は1層あたり20mmとし、5層に分けて締め固めを行い、間隙比0.6となるように図の寸法の地盤を作製した。模型地盤底部の有孔アクリル板を通して、模型地盤内の間隙空気をCO₂に置換した後に、やはり地盤底部から水を浸透させて飽和化を行った。入力加速度は、振幅3m/s²、振動数3Hzの正弦波(開始1/3秒間はスイープ波)とした。加振中は、加速度計による振動台の加速度と微小間隙水圧計による深さ40, 80mmの位置で地盤内の過剰間隙水圧を測定した。

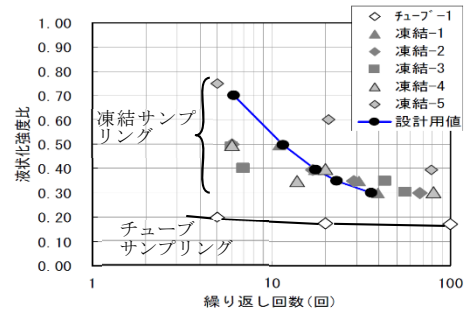


図1 サンプリング法の違いによる液状化強度比の違い¹⁾

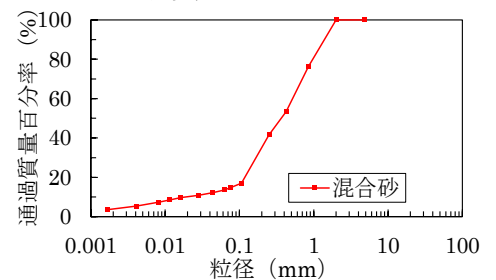


図2 試験試料の粒径分布



写真1 供試体のマイクロスコープ画像

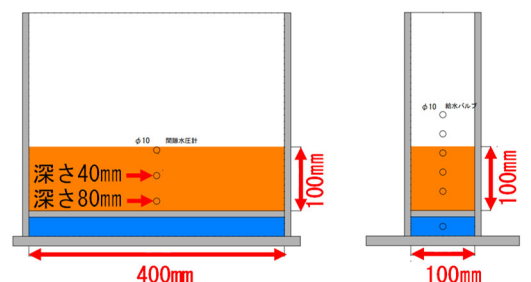


図3 振動台模型の概要

3. 試験結果

図4に $\overline{CU}$ 三軸試験による有効応力経路を黒線で示す。初期含水比0%は緑の破線で囲ったせん断初期から塑性圧縮挙動を示す。一方、初期含水比5%と10%は、せん断初期においては、有効応力経路が鉛直に立ち上がる弾性挙動が卓越しているのをはじめとして共通点が多い。図4にはSYSカムクレイモデルによるシミュレーション結果を赤線で示している。初期含水比0%の有効応力経路を合致するようにすべての弾塑性パラメータを決定した後に、骨格構造に関するパラメータである構造の程度の初期値 $1/R_0^*$ ならびに構造劣化指数 α のみを変化させることで、初期含水比5%と10%の有効応力経路の再現を試みている。図5はせん断中の構造の程度 $1/R^*$ の変化を表すが、初期含水比が高いほど構造の程度の初期値 $1/R_0^*$ が大きく、せん断に伴う劣化が遅い。このように骨格構造の違いを定量的にモデル化することによって、三軸試験で観察される有効応力経路をはじめとする力学挙動の大きな変化は説明可能であることが示された。

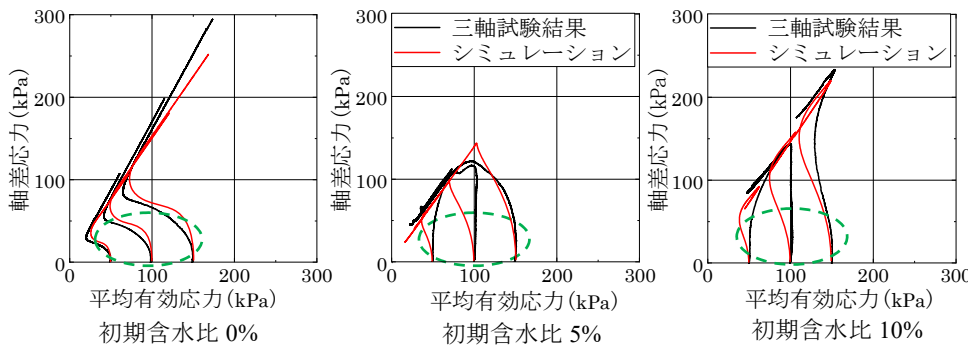


図4 $\overline{CU}$ 三軸試験の有効応力経路

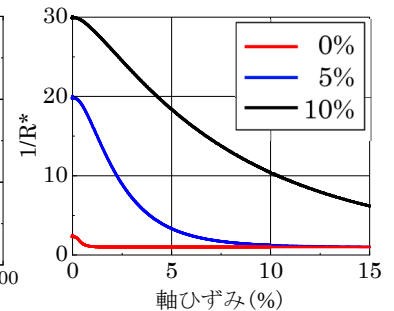


図5 せん断に伴う構造の程度の劣化の推移

図6に繰返し载荷試験の結果を示す。初期含水比5%と10%は、初期含水比0%と比較して液状化強度が明確に高い。この理由としては、図4の $\overline{CU}$ 試験で見られた、せん断初期の卓越した弾性挙動が大きく影響していると考えてよい。繰返し応力

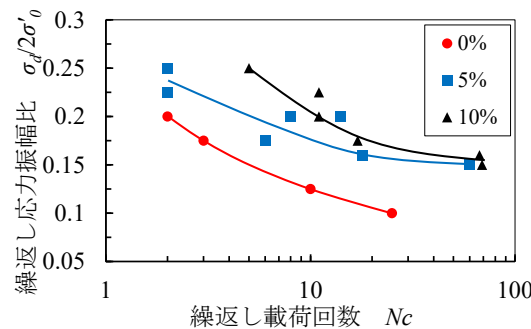


図6 繰返し三軸試験結果 (液状化強度曲線)

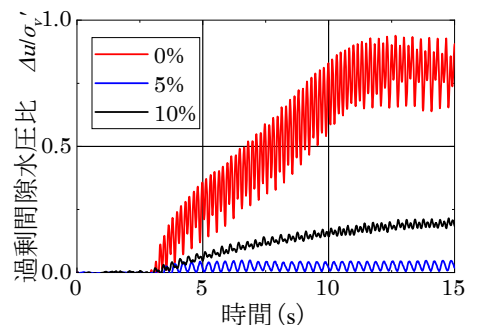


図7 振動台試験における過剰間隙水圧比の経時変化 (深さ80mm)

振幅比が低い範囲では、初期含水比5%と10%の液状化強度に有意な差が認められないが、これも $\overline{CU}$ 試験の有効応力経路でも軸差応力が小さい範囲ではほぼ同じであることと合致しており、繰返し応力振幅比が高くなると差が生じる傾向が見られるのも、 $\overline{CU}$ 試験において軸差応力の増大につれて差が生じることと合致する。

図7に振動台試験での深さ80mmにおける過剰間隙水圧比の経時変化を示す。初期含水比0%は地表面の観察からも明らかに液状化しており、過剰間隙水圧比も初期含水比5%と10%の試験結果と比べて突出して高く出ている。過剰間隙水圧比は1に到達していないのは、過剰間隙水圧の計測誤差と考えている。この振動台試験の結果は、図6の繰返し三軸試験結果において、初期含水比0%のみ液状化強度が低いことと合致する。今回は加振力が小さく、初期含水比5%と10%は明確な液状化には至らなかった。

4. まとめ

本報では、砂質土の骨格構造の違いが液状化特性に影響を及ぼすことを示した。原位置砂地盤の骨格構造とサンプリングによる劣化の程度を定量化できれば、低品質な試料からでも原地盤の適正な液状化強度の評価が可能となると考えている。今後、境界値問題の数値解析も取り入れ検討を進めたい。

参考文献：1) 水口ら：凍結サンプリングの液状化試験を用いた港湾施設設計事例報告，平成22年度土木学会年講，2010。

2) 御手洗ら：砂質土の供試体作製時における初期含水比の違いが力学的挙動に及ぼす影響，第72回土木学会年次学術講演会，2017。

3) 例えば，A.Asaoka et al：An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, 42(5), 2002。