

繰返しせん断履歴を受けた細粒土の体積圧縮量の観察

宇都宮大学 地域デザイン科学部 正会員 ○海野寿康 吉直卓也
東日本高速道路株式会社（元宇都宮大学大学院） 非会員 緑川 雄介

1. はじめに

従来の地盤の耐震評価は、もっぱら飽和した砂質地盤の液状化の検討に主眼が置かれており、粘土地盤については耐震設計上さほど問題視されてこなかったのが実状である。一方、実被害では、浚渫土（細粒土）を用いた港湾埋立て地盤の変状や宅地地盤の液状化被害が問題となり、液状化に関する研究対象が砂質土だけではなくシルトや粘土に至るまで広がりを見せている^{例え1)}。

本研究では、従来、砂の液状化と比べ報告事例が少ない細粒土の繰返しせん断特性や体積圧縮特性を明らかにするため、浚渫土（細粒土）および比較試料として塑性指数の異なる粘性土とシルトの合計3試料に対して繰返しせん断試験およびせん断後の再圧密試験を行い挙動を観察した。本稿ではその内容を報告する。

2. 試料の物理特性と試験装置^{2),3)}

本研究では、新潟港で採取した浚渫土砂（以後、新潟港浚渫土）を用い、比較試料とし①海底堆積粘土を模した低塑性粘性土である模擬海成粘土（AXカオリン+MCクレイを重量比で1:1配合）⁴⁾および②非塑性シルトである石英粉について同様の実験を実施し、その挙動の違いを観察した。各試料の物理特性を表-1に示す。

本研究では、ステップモーター駆動の中空ねじりせん断試験機を用いた。繰返しせん断は、過剰間隙水圧の応答性を考慮し振動数 $f=0.01\text{ Hz}$ の正弦波を与えた。体積変化は、二重ビュレット管を用いて排水量を測定することで把握した。

粘性土である新潟港浚渫土、模擬海成粘土は100、50 kN/m^2 で事前に予備圧密を行い、トリミング法を用いて外

径7 cm、内径3 cm、高さ10 cmの中空円筒供試体形の供試体を作製した。一方、非塑性シルトである石英粉は湿潤締固め法を用いた。供試体設置後、JGS基準の各試験方法を参考に飽和させ（B値:0.95以上）、初期有効拘束圧 $\sigma'_c=50\text{ kN/m}^2$ として十分に圧密し（正規圧密、過圧密2パターン）、非排水条件で繰返しせん断を与える。この時、繰返しせん断前の供試体状況として、新潟港浚渫土は乾燥密度 $\rho_{dc}=0.85\sim0.91\text{ Mg/m}^3$ 、模擬海成粘土は $\rho_{dc}=1.11\sim1.37\text{ Mg/m}^3$ および石英粉は $\rho_{dc}=1.09\sim1.12\text{ Mg/m}^3$ の状態である。

繰返しせん断は、一定振幅のせん断応力を与える応力制御で実施した。繰返し応力振幅比 $\tau_u/\sigma'_c=0.1\sim0.5$ とし、せん断ひずみの絶対値が片振幅で10%に達した時点で試験終了とした【繰返しせん断過程】。次に繰返しせん断終了後、排水、再圧密させ、体積ひずみを測定した【再圧密過程】。なお、本研究における体積ひずみは、繰返しせん断後の平均有効主応力が初期の有効拘束圧に戻るまでに生じたものと定義する。

3. 繰返しせん断履歴時の挙動および体積圧縮挙動

(1) 応力制御による繰返しせん断変形特性

各試料の応力制御による繰返しせん断挙動の代表例（応力～ひずみ関係、過剰間隙水圧比の時刻歴）を図-1に示す。粘性土（新潟港浚渫土、模擬海成粘土）は、圧密状態に関わらず繰返しせん断に伴うせん断ひずみの発達が見られるが、過剰間隙水圧比が0.95以上、すなわち平均有効主応力がゼロに至る前に終了条件に達した（所定のせん断ひずみが発生し載荷終了）。繰返しせん断の進行に伴い過剰間隙水圧比は上昇するが、0.7～0.9程度に留まり、所謂、液状化には至らなかった。また、正規圧密粘性土を同程度の繰返し応力振幅比 $(\tau_u/\sigma'_c=0.25)$ の下で変形挙動を比較すると、模擬海成粘土は、載荷回数4回でせん断ひずみが10%に達したが、新潟港浚渫土は29回と比較的大きな軟化抵抗を示した。

一方、石英粉は、繰返しせん断を与えることで過剰間隙水圧比が0.95以上に達しており、繰返し応力振幅比

表-1 本研究で用いた試料の物理特性

試料名	土粒子密度	塑性指数	細粒分含有率
	$\rho_s\text{ (Mg/m}^3\text{)}$	I_p	$F_c\text{ (\%)}$
新潟港浚渫土	2.638	71.3	97.0
模擬海成粘土 AXカオリン+MCクレイ	2.739	17.4	100.0
石英粉	2.649	N.P.	100.0

キーワード 繰返しせん断、細粒土、中空ねじりせん断試験

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部 TEL. 028-689-6217

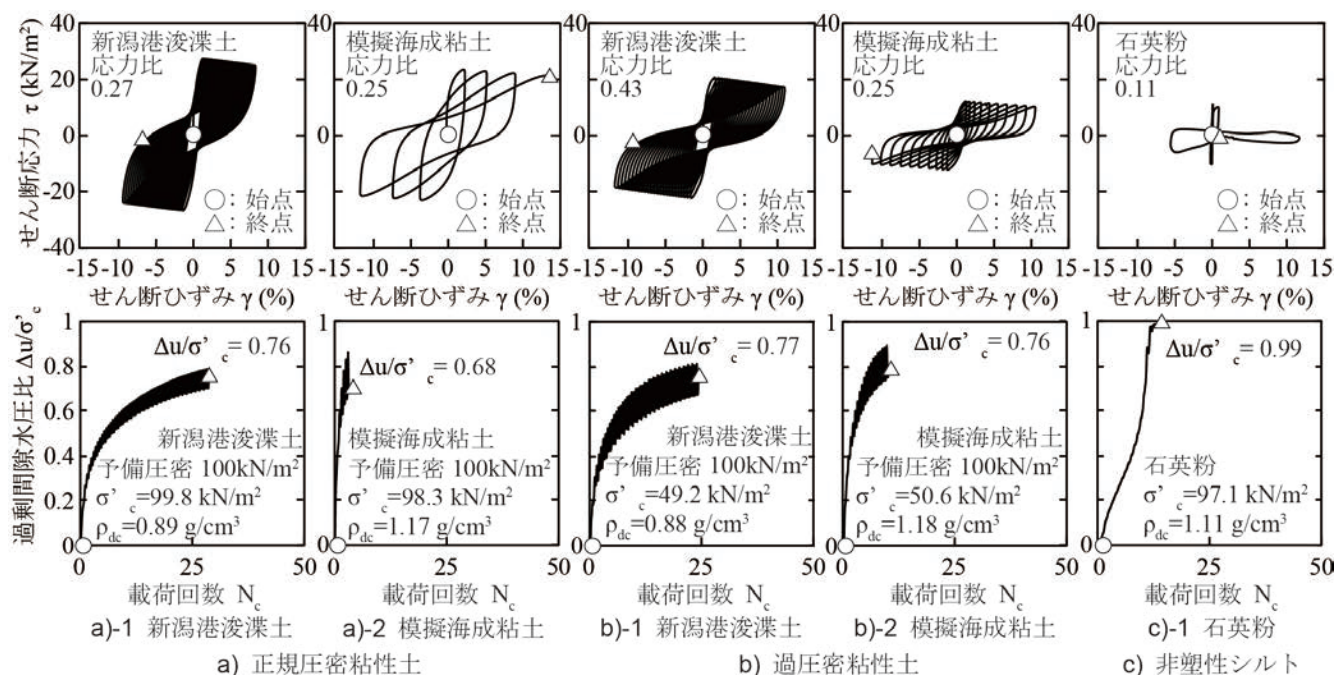


図-1 細粒土の応力制御による繰返しせん断変形挙動（上段：応力～ひずみ関係，下段：過剰間隙水圧比の時刻歴）

$\tau_u/\sigma'_c=0.1$ 程度の非常に小さなせん断応力でも載荷回数12回で試験終了，液状化が生じている。

(2) 繰返しせん断履歴（応力制御）後の体積圧縮特性

図-2 は，応力制御繰返しせん断後の排水（再圧密）による体積ひずみを繰返し応力振幅比で整理したものである。粘性土，非塑性シルトともに大半の試験ケースで繰返しせん断後の体積ひずみはそれぞれ約3～5%程度の値を示し，今回の試料の範囲内では，繰返し応力振幅比にはほとんど依存しない結果となった。これは応力制御による試験の特性上，供試体に与えられるせん断応力が大きい場合，少ない載荷回数で繰返しひずみ軟化が生じることからせん断ひずみが10%を超えてしまい，どうしても載荷を終了することにより大きな差が生じなかったのではないかと試験中の様子より推測する。

5. まとめ

本研究では細粒土の繰返しせん断変形特性および体積圧縮特性を観察するため，浚渫土を含む合計3試料に対して中空ねじりせん断試験と繰返しせん断後の再圧密試験を行った。以下が得られた知見である。

- ① 高塑性粘性土である新潟港浚渫土は，応力制御による繰返し載荷履歴を与えた場合，多量のせん断履歴を与えてた場合でも過剰間隙水圧は0.95以上には至らず，繰返しひずみ軟化挙動を示し液状化しない。この挙動は模擬海成粘土でも同様の傾向にある。
- ② 応力制御繰返しせん断試験結果後の排水試験より，今回用いた土試料では，体積ひずみは大よそ5.0%前

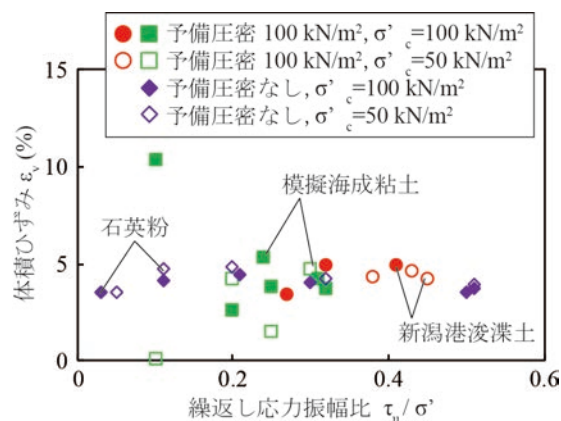


図-2 応力制御による繰返しせん断後の体積ひずみ

後のものが多く，模擬海成粘土だけでなく非塑性の石英粉や塑性指数が70を超える高塑性の新潟港浚渫土の間に大きな差はない結果となった。

参考文献 1) 風間基樹，河井正，森友宏，金鍾官，山崎智哉：東日本大震災の液状化被害に見る液状化研究の課題，日本地震工学論文集，第15巻，第7号（特集号），pp.46-59,2015. 2) 柳田匡慶，海野寿康：低塑性細粒土の繰返しせん断履歴による体積圧縮挙動，日本地震工学会論文集，第19巻，第5号，pp.21-33,2019. 3) 海野寿康，仙頭紀明，小野大和，林健太郎：繰返しせん断ひずみ履歴を用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，Vol.68, No.4, pp.680-694,2012. 4) 仙頭紀明，海野寿康，中村晋：海底地盤を模擬した斜面モデルの作製およびその安定評価，土木学会論文集（海洋開発），Vol.73, No.2, pp.306-311,2017.