

鋭敏粘性土の非排水繰返しせん断挙動の把握

名古屋大学 学生会員 ○潮崎彰太，小川大貴，長谷川将之
名古屋大学 正会員 中井健太郎，野田利弘

1. はじめに

新潟地震やアラスカ地震で砂質土の液状化被害が注目されて以降，砂質土の動的問題に関する力学試験データはかなり蓄積されてきたが，粘性土は砂質土と比較すると十分ではない¹⁾．粘性土は大きく乱されなければ，比較的大きな剛性，強度を有することが知られており，地震被害が大きく発生する要因として考えられてこなかったためである．しかしながら，過去の地震被害を精査していくと，特に高含水比かつ鋭敏な粘性土地盤において，地震中の支持力低下や地震後の長期継続沈下被害も見受けられている．本報では，N 値ゼロの軟弱粘性土を用いた非排水繰返し三軸試験を実施し，粘性土の動的問題に関する実験事実を蓄積することを目的とする．

2. 実験に用いた試料の物理特性と静的力学特性の把握

実験に用いた試料は，伊勢湾内から採取した不攪乱粘性土試料である．粒径加積曲線を図-1，物理特性を表-1 に示す．細粒分含有率がほぼ 100%を占め，高塑性な試料である．また液性指数 I_L は 0.86 と高く，高含水比の状態で堆積していたことがわかる．標準圧密試験結果を図-2 に，軸ひずみ速度一定非排水三軸圧縮・伸張試験結果を図-3 に示す．せん断試験においては，軸ひずみ速度 0.006mm/min，圧密圧力は土被り圧相当の 50kPa とした．繰返し試料の圧縮線（一次元状態における正規圧密線）に対して，不攪乱試料の圧縮線は嵩張った（同鉛直応力で比較すると大きな比体積を有する）挙動を示していること，せん断挙動において，ひずみ軟化挙動を示していることから，この粘性土試料は構造を有しており²⁾，鋭敏な状態にある．また，伸長強度に比して圧縮強度が大きいことから自然堆積時に異方性を有している．

3. 非排水繰返し三軸試験

拘束圧 50kPa（側圧 250kPa、背圧 200kPa）で 48 時間，等方圧密した供試体に，軸力制御で側圧一定非排水繰返し三軸圧縮／伸張試験を実施した．繰返し応力は，応力振幅 25kPa（応力振幅比 $q/p\phi = 0.5$ ）の正弦波形で与え，繰返し周期 T は 20s と 100s の 2 通りである．

図-4 は比較のために実施した砂質土の非排水繰返しせん断挙動である．また，図-5 には繰返し回数と過剰間隙水圧比 $u_e/p\phi$ の関係も示す．砂質土は繰返しとともに過剰間隙水圧 u_e が

表-1 物理特性

密度 ρ_s (g/cm ³)	2.66
液性限界 w_L (%)	111.0
塑性限界 w_p (%)	42.5
塑性指数 I_p	68.5
自然含水比 w_n (%)	101.3
液性指数 I_L	0.86

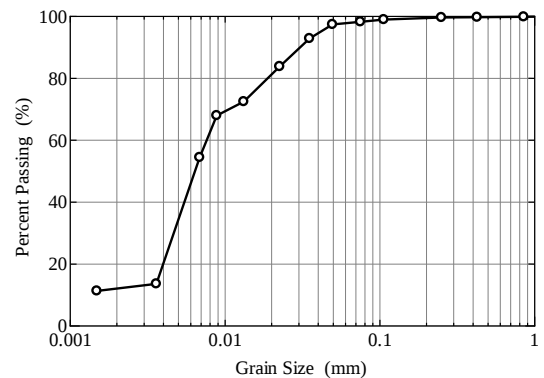


図-1 粒径加積曲線

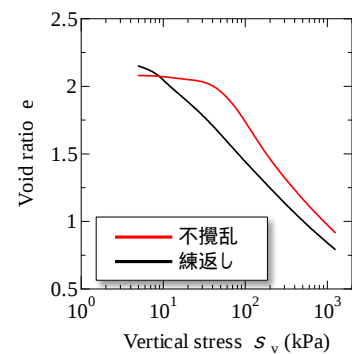


図-2 圧縮挙動

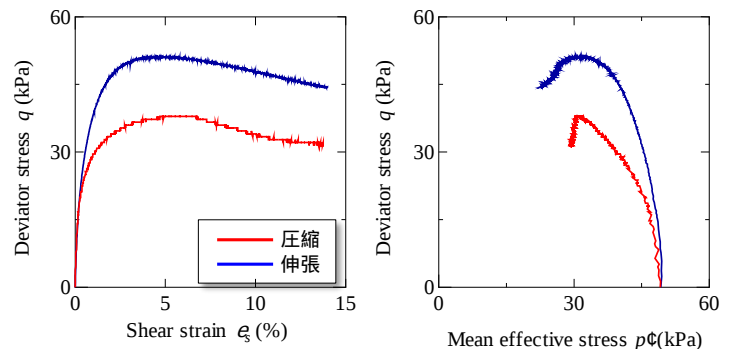


図-3 非排水せん断挙動

徐々に上昇(平均有効応力 p が減少)するが, $u_e/p \approx 0.6$ 付近から u_e が急増して $u_e/p \approx 1.0$ (液状化)に達する. その後は, $q = p \approx 0$ を通りながら, 塑性圧縮 (p の減少を伴う q の減少)と塑性膨張 (p の増加を伴う q の増加)の繰返し挙動を示す. 有効応力減少とともに著しい剛性低下を示し, 軸ひずみが圧縮・伸張両方向に進展するが, 塑性膨張時には剛性の回復挙動(下に凸の圧縮線)が見られる. これはサイクリックモビリティと呼ばれ, 砂質土の非排水繰返しせん断において特徴的な挙動である.

図-6 は $T=20s$, 図-7 は $T=100s$ で実施した粘性土の非排水繰返しせん断挙動である. 砂質土ほどではないものの, 繰返しとともに p は次第に減少する. 砂質土と比較すると, 図-5 から明らかなように, 繰返し初期こそ p の減少量が大きい, 次第に減少の程度は小さくなり, $u_e/p \approx 1.0$ にまでは達しない. 変形特性に着目すると, 砂質土は有効応力が $q = p \approx 0$ 付近まで減少した後に軸ひずみが急増するが, 粘性土の場合は繰返し初期から徐々に軸ひずみが進展していく. 砂質土と同様に, 塑性膨張時における剛性回復挙動がみられるが, 砂ほどは顕著でなく, 繰返し中も高い剛性を保ったままである. ひずみ進展は伸張側で顕著だが, これは自然堆積時に圧縮側に異方性が発達したことが一要因である. 載荷速度で比較すると, 載荷速度が遅いほど, 繰返しに伴う p 減少の程度が大きくなり, 同程度のひずみに小さな繰返し回数で達する.

繰返し載荷を止めた後, 供試体を放置すると, 過剰間隙水圧が上昇して p が減少していく(図-6, 7 参照). 粘性土は透水性が低いので, 間隙水のマイグレーションが十分に生じず, 供試体内部の間隙水圧分布が不均一となってしまうためである. 要素挙動(供試体内の均質変形・一様分布)を把握するためには, 載荷速度をもっと遅くする必要がある.

4. おわりに

砂質土と粘性土の繰返しせん断挙動の比較から, 粘性土は砂質土に比べて, 繰返しに伴う有効応力減少・剛性低下の程度が小さいことがわかった. また, 載荷速度が遅いほど, 繰返しに伴う p 減少の程度が大きく, 同程度のひずみに小さな繰返し回数で達する. ただし, 粘性土は透水性が小さいため要素特性を把握するためには, 載荷速度を十分に小さくして実施する必要がある. 今後は載荷速度を十分に遅くして実験を実施し, 繰返し要素特性を把握するとともに, 数値解析コードの検証・高度化へ反映させていく.

参考文献 1) 粘性土の動的性質: 土と基礎, 1998 年 5 月~1999 年 4 月. 2) Asaoka, A. et.al. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, 42(5), 47-57.

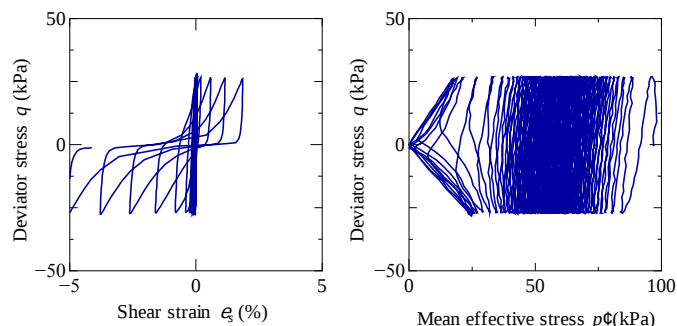


図-4 砂質土の非排水繰返しせん断挙動

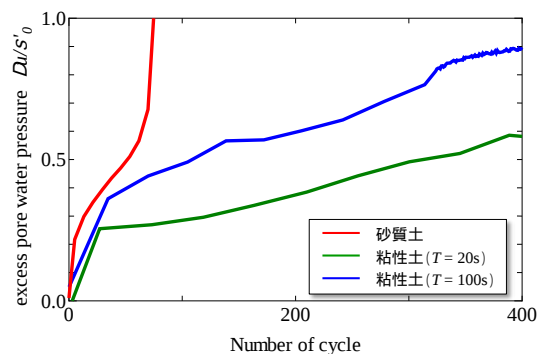


図-5 繰返し回数と過剰間隙水圧比関係

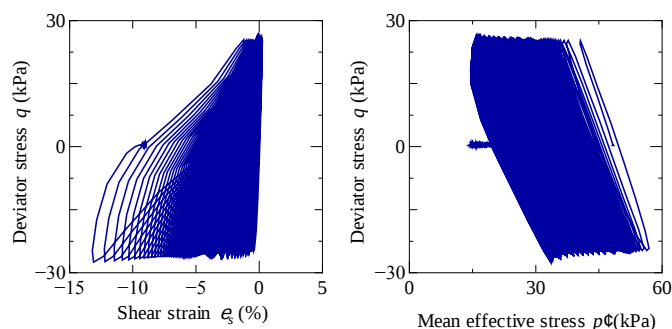


図-6 粘性土の非排水繰返しせん断挙動 ($T=20s$)

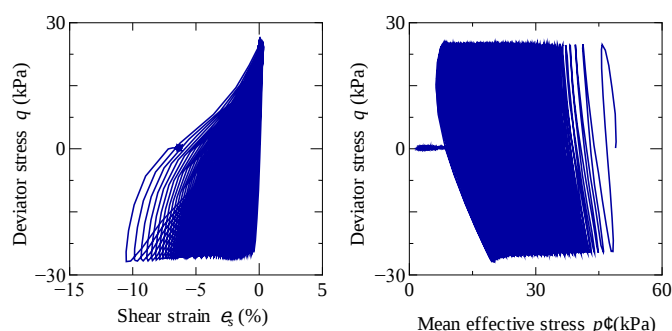


図-7 粘性土の非排水繰返しせん断挙動 ($T=100s$)