

非排水繰返し载荷を受けた砂質土／粘性土の圧縮特性の把握

名古屋大学 学生会員 ○潮崎彰太，長谷川将之，小川大貴

名古屋大学 正会員 中井健太郎

名古屋大学 フェロー会員 野田利弘

1. はじめに

東日本大震災では，東京湾沿岸部を中心とする広範囲の埋立地盤で液状化被害が発生した．液状化被害は地震中の不安定現象だけに留まらず，地震中から地震後にかけての地盤沈下も生じる．砂質土の繰返し载荷後の圧縮特性を把握する研究はこれまでも精力的に行われており，例えば Nagase and Ishihara は，単純せん断試験機を用いた非排水繰返しせん断を行い，再圧密時の体積ひずみ量は繰返しせん断中の最大せん断ひずみと相関が高いこと，液状化後の体積ひずみ量は3～5%程度となることを示してきた¹⁾．一方，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．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，地震後に沈下が加速化する被害も報告されており，粘性土を含めた地盤の地震後の圧縮挙動を把握することは重要である．本報では，三軸試験機を用いて，砂質土と粘性土の非排水繰返しせん断試験を実施し，繰返し载荷後の圧縮特性を実験的に把握することを目的とする．

2. 実験に用いた試料

実験に用いた砂質土は三河珪砂6号である．供試体は乾燥堆積法（モールド内に必要量準備した乾燥砂を空中落下させ，側面を四方から木槌でたたいて締め固める方法）を用いて，相対密度が60%となるように調整した．粘性土は，伊勢湾内の海底から採取したN値ゼロの軟弱な不攪乱粘性土である．細粒分含有率がほぼ100%を占め，高塑性な試料である．液性指数 I_L は0.96と高く，高含水比の状態に堆積していた．

3. 砂質土の繰返し载荷後の圧縮特性

応力制御で非排水繰返し载荷を与えると，液状化到達付近からひずみが急増して供試体が破壊してしまう．本報では，1) 液状化到達後も多数回の繰返し载荷を与えることができる，2) 小さい変位振幅で繰返し载荷を与えることによって供試体形状の均質性を保ったまま液状化の程度の差について議論が可能である，といった利点から変位振幅一定変位制御で繰返し载荷を与えた．

拘束圧は100kPa（側圧300kPa，背圧200kPa），変位振幅は1.0%，载荷速度は4%/min（4mm/min）である．非排水繰返しせん断挙動の一例を図1に示す．繰返しとともに平均有効応力および剛性の低下が見られる．変位振幅一定で行っているため，液状化到達後（ $u_e/p'_0 \geq 0.95$ ）も多数回の繰返し载荷を与えることが可能である．繰返し载荷後に排水コックを開くと，蓄積した過剰間隙水圧の消散に伴って体積圧縮する．図2は，1～1000回まで繰返し回数を様々に変えた時の圧縮量を示す．なお，液状化した砂供試体の応力状態はほぼゼロとなるため，計測センサーの精度等の問

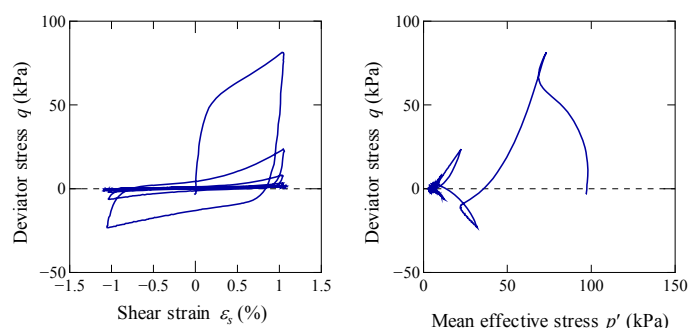


図1 砂質土の変位制御非排水繰返しせん断挙動

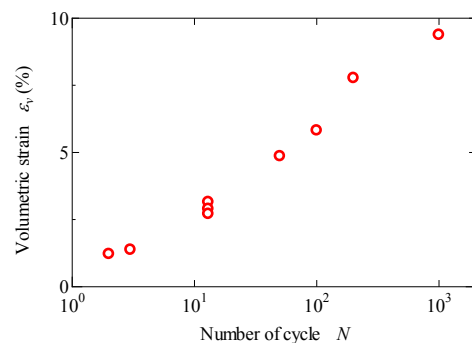


図2 非排水繰返し载荷後の体積圧縮量

非排水繰返しせん断，圧縮，砂質土，粘性土，三軸試験

〒464-8604 愛知県名古屋市千種区不老町 C1-3 (651) 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL:052-789-5203

題から、正確な応力状態を把握することが難しい。そこで、拘束圧を計測精度が満足できる 5kPa まで落としてから排水させ、手動でゆっくりと拘束圧を上昇させることで、拘束圧増加に伴う状態量変化を連続的に取得した。図 2 を見ると、繰返し回数と体積ひずみ量には一意の関係性が見出される。繰返し回数の増加とともに体積ひずみ量は増加し、液状化到達後も繰返し载荷を続けた場合、最大で 10% にまで達する。図 3 は、繰返し回数が異なる試験結果の比体積～有効応力関係図である。繰返し回数が多いと 5kPa 下でコックを開けた瞬間の体積圧縮量が大きい、その後の圧縮挙動（圧縮線の勾配）に大きな違いはない。 $v \sim \ln p'$ 図上での再圧縮勾配を算出すると約 0.005 となり、別途実施した等方除荷試験から得られる膨潤指数とほぼ等しい。

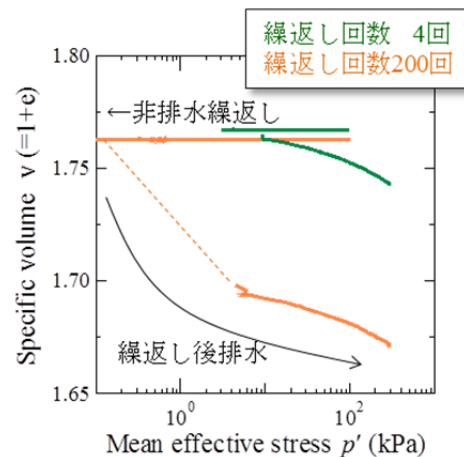


図 3 繰返し载荷後の圧縮特性

4. 粘性土の繰返し载荷後の圧縮特性

粘性土は応力制御で非排水繰返し载荷を与えた。拘束圧は原位置の土被り圧を想定した 50kPa（側圧 250kPa，背圧 200kPa）とし、応力振幅比 0.5，繰返し周期 20sec の正弦波形で与えた。非排水繰返しせん断挙動の一例を図 4 に示す。砂質土のように液状化までは達しないが、粘性土であっても大きな応力比で多数回繰返し载荷を与えると有効応力が減少する。繰返し载荷後にコックを閉じたまま放置すると有効応力の減少が見られる。粘性土は透水性が小さいので、繰返し载荷中に間隙水のマイグレーションが十分に生じていないためである。非排水状態のまま平均有効応力変化が収まったことを確認した後に、排水コックを開いて体積変化

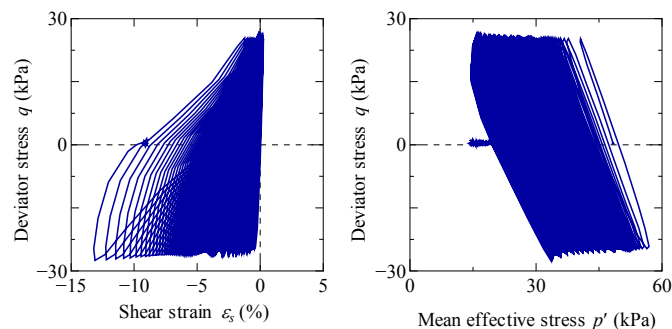


図 4 粘性土の応力制御非排水繰返しせん断挙動

表 1 非排水繰返し载荷後の体積圧縮量

	過剰間隙水圧比 u_e/p'_0	初期比体積 v_0	排水後比体積 v_1	体積ひずみ ε_v (%)	再圧縮勾配
A	0.937	2.88	2.73	5.27	0.062
B	0.816	3.20	3.05	4.66	0.083
C	0.948	3.08	2.88	5.97	0.077

量を計測した（表 1，図 5）。体積ひずみ量は、初期状態・繰返し履歴の違いによって差はあるが、5%程度である。再圧縮勾配は約 0.07 と、砂質土と比べて約 10 倍大きい。砂質土と比べて圧密時の有効応力変化量が小さいにもかかわらず体積変化量が大きくなるのは、再圧縮時の勾配が大きいためである。なお、再圧縮勾配は標準圧密試験から得られる膨潤指数 $\kappa = 0.035$ よりも若干大きく、初期比体積が大きく、繰返し履歴が大きいほど（繰返し後の p' が小さいほど）、再圧縮勾配は大きくなる。軟弱な粘性土が大きく乱された時に、圧縮量は大きくなることが示唆される。

5. おわりに

砂質土・粘性土の非排水繰返し载荷後の圧縮特性を、実験的に把握することを試みた。その結果、①砂質土は液状化到達後も繰返し载荷を続けることで圧縮量が増大すること、②粘性土であっても振幅が大きく継続時間の長い繰返し载荷を受けると p' が減少して、繰返し後の圧縮が生じること、③粘性土は砂質土と比べて再圧縮勾配が 10 倍程度大きいこと、④砂質土・粘性土ともに再圧縮勾配は膨潤指数程度だが、初期比体積が大きくて繰返し履歴が大きいほど、圧縮量が増大すること、を示した。今後更なる実験データの蓄積を試み、実験事実の検証を進めていく。

参考文献 1) Nagase, H. and Ishihara, K. (1974): Liquefaction-induced compaction and settlement of sand during earthquake, S&F, 28(1), 65-76.

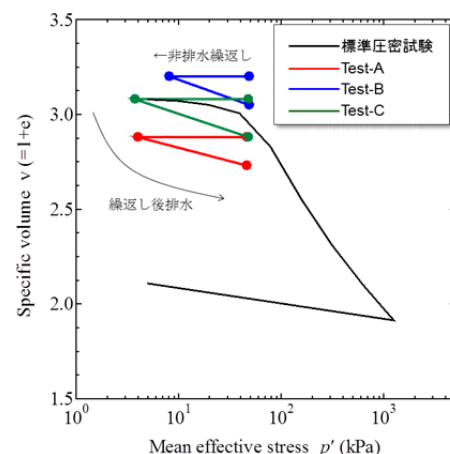


図 5 繰返し载荷後の圧縮特性