

圧密降伏応力超過条件下での自然堆積粘性土の繰返しせん断による圧縮特性

中部土質試験協同組合 正会員 ○久保裕一
名城大学 正会員 小高猛司・李 圭太
いであ（元名城大院） 田中貴之

1. はじめに

我々の研究グループでは粘性土地盤の地震時のゆすり込み沈下や、その後の圧密沈下挙動などを検討するため、繰返し載荷試験を実施してきた（例えば 1),2)。今回、北上川流域で採取された自然堆積粘性土を用いて、一定振幅条件での繰返し単純せん断試験を実施した。特に本実験では、過圧密領域から圧密降伏応力を経て正規圧密領域に上載荷重が遷移した場合の自然堆積粘性土の構造劣化に伴う変形特性について観察した。

2. 試験の概要

試験試料は、東北地方宮城県石巻市不動町でシンウォール採取された深度 29m の不攪乱沖積粘性土であり、自然含水比 69.1%、液性限界 85.2%、粘土分 64.9%の高液性限界粘土である。圧密降伏応力 p_c は 160kN/m^2 となり、有効土被りに対して小さな値であった。本試験に先立ち

表 1 試験条件

Case	状態	K_0	σ_1'	σ_3'	σ_m'	繰返し回数	せん断ひずみ
Case-A1	不攪乱	1.0	200kPa	200kPa	200kPa	160回	1.0%
Case-A2		0.5	400kPa	200kPa	266kPa		
Case-A3		0.5	500kPa	250kPa	333kPa		
Case-B	不攪乱	0.5	150kPa	75kPa	75kPa	160回	1.0%

実施した中空ねじり試験機を用いた動的変形試験³⁾より、過剰間隙水圧が大きく上昇し、構造変化を始めるのはせん断ひずみが 1%前後であるとの知見を得ている。そのため、本試験では片振幅せん断ひずみを 1%で固定して繰返し載荷をする条件で単純せん断試験を実施した。具体的には、直径 60mm 高さ 30mm の円柱形に供試体を成型し、所定の圧密圧力で 16 時間圧密した後、非排水せん断条件で片振幅せん断ひずみ 1%の繰返し載荷を 24 時間（往復 160 回、せん断ひずみ速度 $0.45\%/min$ ）行った。長時間にわたる繰返しせん断は、粘性土の骨格構造を十分に劣化させることを目的として設定した条件である。繰返し載荷後には、排水条件にて 24 時間静置して過剰間隙水圧を消散させた。表 1 に試験条件を示す。Case-A1～3 は同一供試体を用い、 p_c を超えた正規圧密領域において、圧密→非排水繰返しせん断→排水の過程を、3 段階の上載荷重で実施した。一方、Case-B は p_c 未満で実施した試験である。単純せん断試験の詳細は文献 2)を参照されたい。

3. 試験結果

図 1 に試験結果を示す。図中のプロットは、繰返し単純せん断試験の垂直応力 σ_1 を圧密圧力として簡易的に表示したものである。Case-A1 と B のいずれも○で示す初期の位置は、供試体設置時の初期有効拘束圧 20kPa を示している。また、図には不攪乱試料と再構成試料（一旦高含水のスラリーにして再構成）の CRS 圧密試験結果も示している。

Case-A1 の 200kPa の等方圧密後のプロット△は、不攪乱試料の CRS 圧密曲線付近にある。しかし、非排水繰返しせん断を経て、排水させた後のプロット■は、再構成試料の圧密曲線上まで圧縮変形した。その後、 $K_0=0.5$ の異方圧密条件で上載荷重を増加させた Case-A2 ($\sigma_1=400\text{kPa}$) ならびに A3 ($\sigma_1=500\text{kPa}$) の排水後のプロット（■，■）も再構成圧密曲線上を推移した。

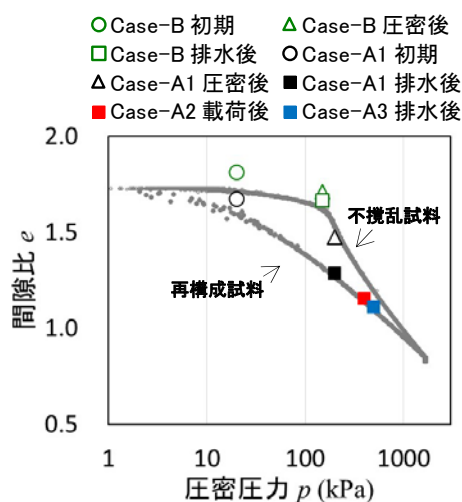


図 1 不攪乱・再構成圧密試験結果と垂直応力で簡易表示した間隙比の推移

キーワード 単純せん断，圧縮，圧密，せん断ひずみ，繰返しせん断

連絡先 〒463-0009 愛知県名古屋守山区緑ヶ丘 804 中部土質試験協同組合 TEL052-758-1500

一方、 p_c 未満 ($\sigma_1=150\text{kPa}$ 異方圧密) で実施した Case-B においては、非排水繰返しせん断後の排水に伴う圧縮変形は小さく、圧密後のプロット△と排水後のプロット□の差は小さい。

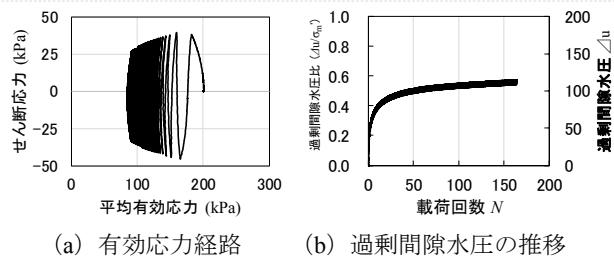


図2 Case-A1の試験結果

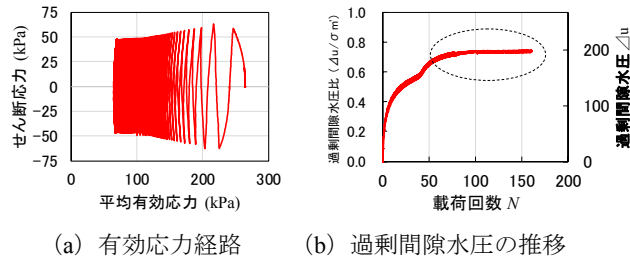


図3 Case-A2の試験結果

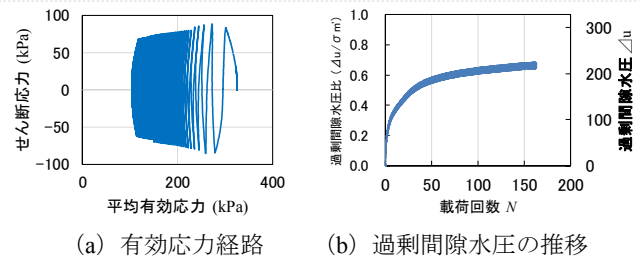


図4 Case-A3の試験結果

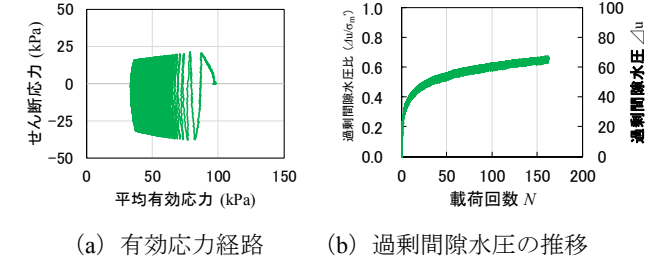


図5 Case-Bの試験結果

図2～図5に各Caseの(a)有効応力経路と(b)過剰間隙水圧の推移(縦軸左は過剰間隙水圧比, 右は過剰間隙水圧)を示す。また, 図6は非排水繰返しせん断に伴う軸ひずみの推移を示し, 図7は繰返しせん断後の排水に伴う軸ひずみならびに体積ひずみの経時変化である。

図6において, 等方応力条件 (Case-A1) での繰返しせん断中の軸圧縮は全く発生せず, むしろ膨張傾向が見られるが, 異方応力条件 (Case-A2) にした途端に, 繰返しせん断中に大きな軸圧縮が発生している。この大きな軸圧縮の要因は, 図3に示すように側方応力 $\sigma_3=200\text{kPa}$ と同じ上限値まで過剰間隙水圧が発生している (図中破線部) ことにも現れており, このA2の段階で大きな有効応力の低下, ひいては骨格構造の劣化が顕著に発生したことを示すものと考えている。さらに, 非排水繰返しせん断時に発生した過剰間隙水圧を消散させるために排水させた場合の圧縮変形 (図7) は, やはりA2が最も顕著となる。

一方, Case-A3においては, A2の段階での一連の圧縮が大きかった影響もあり, A3での非排水繰返しせん断時の軸圧縮とその後の排水による圧縮変形ともに, p_c 未満で実施したCase-Bと同程度に小さい。図7を見ると, 24時間の計測時間内で圧縮変形は完全に収束していない。

4. まとめ

本報の試験により, 圧密降伏応力の前後で粘性土の繰返しせん断時の変形挙動も, その後の排水に伴う圧縮変形も大きく異なることが明らかとなった。この結果は, 粘性土地盤の地震時の即時沈下ならびに地震後の継続沈下とともに, その粘性土地盤が過圧密領域にあるのか正規圧密領域にあるのかによって, 大きく影響を受けることを示唆している。ただし, 正規圧密領域にあったとしても, 圧密沈下の最大値は, 骨格構造が完全に消失する再構成粘土の圧密特性から予測できることもあわせて示された。

参考文献 1)小高ら:不攪乱自然堆積粘土の繰返し単純せん断後の変形について, 第47回地盤工学研究発表会, 2012. 2)小高ら:繰返し単純せん断試験による不攪乱自然堆積粘土の地震後挙動の考察, 第53回地盤工学研究発表会, 2018. 3)久保ら:北上川流域の自然堆積粘土の力学特性, 第53回地盤工学研究発表会, 2018.

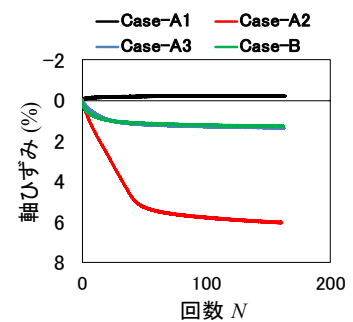


図6 荷重時の軸ひずみ

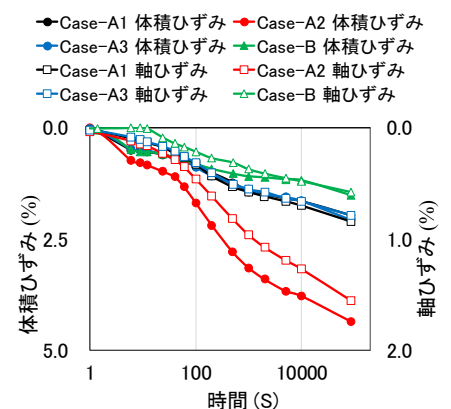


図7 排水時の体積ひずみと軸ひずみ