# 「練返し」履歴を有する再構成粘土の力学特性

名城大学　学生会員　三好直輔・福沢宏樹・吉田賢史
名城大学　正会員　小高猛司・板橋一雄

## 1．はじめに

不攪乱の自然堆積粘土の鋭敏性を検討する際には，比較のために「練り返した」攪乱試料が用いられる。三好ら[1)]は「練り返した」攪乱試料で三軸試験を実施した結果，不攪乱試料に現れるひずみ軟化挙動は観察されず，せん断後半で正のダイレイタンシー（いわゆる「巻き返し」）が見られることを報告している。一方，構造の低位下を期待してスラリーから作製する再構成粘土では，この「巻き返し」は観察されない。本報では，スラリーから作製した再構成粘土と，さらにそれを「練り返した」粘土を用いて，三軸試験と単純せん断試験を実施し，「攪乱粘土」の力学挙動について検討する。

## 2．試験概要

試験には有楽町層粘土（$w_L$=86%，$w_P$=31%，$I_P$=55）を用い，液性限界の 2 倍の含水比のスラリーにしてから，100kPa の有効上載圧で 2 週間予圧密して再構成した。本報では，予余圧密後，そのまま供試体に成型したものを「再構成粘土」と呼ぶ。圧密履歴による異方性も検討するため，予圧密後に圧密方向と同一の鉛直方向とそれと直交する水平方向の 2 種で切り出した。一方，予圧密後の再構成粘土（含水比 71.7～79.0%）に対し，含水比を一定に保つように手で十分に練り返した後，供試体に成型したものを「練返し粘土」と呼ぶ。試験は，CRS 圧密試験，三軸試験，単純せん断試験を実施した。供試体は，三軸試験では直径 5cm，高さ 10cm，単純せん断試験では直径 6cm，高さ 3cm の円柱形であり，0.1%/min.のひずみ速度制御で単調載荷の非排水せん断試験を実施した。

## 3．試験結果

図 1 に鉛直に切り出した再構成粘土と練返し粘土の CRS 圧密試験結果を示す。再構成粘土では 100kPa の先行圧密応力を反映して，明確な圧密降伏応力が観察できる。一方，練返し粘土は再構成粘土で観察される「嵩張り」が観察できず，圧密曲線は圧密圧力 800kPa 付近で重なる。この結果より，「練返し」によって再構成粘土の骨格構造が低位化していると見ることができる。

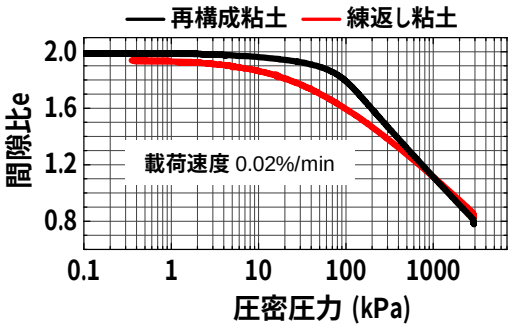
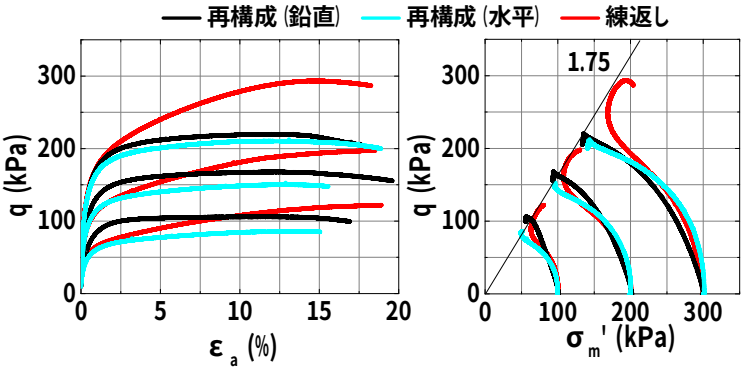



図 1　再構成粘土と練返し粘土の CRS 試験結果

図 2 は再構成粘土と練返し粘土の三軸圧縮試験結果である。切り出し方の異なる再構成粘土の試験結果を比較すると，予圧密時と最大主応力方向を一致させている鉛直供試体の方が，若干軸差応力が大きく現れている。予圧密時の異方圧密履歴の影響と考えられるが，予圧密圧力より大きな有効拘束圧になるに従い，鉛直と垂直との差が縮まる。また，再構成粘土では，単調に軸差応力が増加しつつ限界状態線に到達し，そのまま試験が終了している。一方，練返し粘土では，限界状態線付近までは，再構成粘土とほぼ同様のダイレイタンシー挙動をしているが，最終段階で急激に正のダイレイタンシーが発現し，軸差応力が増加する。再構成粘土と練返し粘土は，供試体作製時の間隙比は同一であるが，練返し粘土は「練返し」の行為によって構造が低位化




(a)　応力～ひずみ関係　　(b)　有効応力経路

図 2　再構成粘土と練返し粘土の三軸圧縮試験結果

するためか，等方圧密中の体積変化が大きく，非排水せん断時の間隙比は再構成粘土よりも小さくなる。軸差応力 $q$～平均有効応力 $p'$ ～体積比 $v$（=1+$e$）の空間上で表した有効応力経路を図 3 に示す。限界状態線は同一と見ることができ，それぞれの体積比（間隙比）に応じた限界状態を目指して軸差応力が増加してゆく。図 2 および図 3 を見る限り，練返し粘土は「過圧密」的，再構成粘土は「正規圧密」的な力学挙動を示しており，再構成粘土に特に「高位な構造」を有する粘土の特徴は見られない。

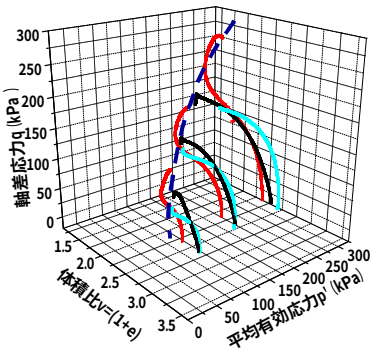
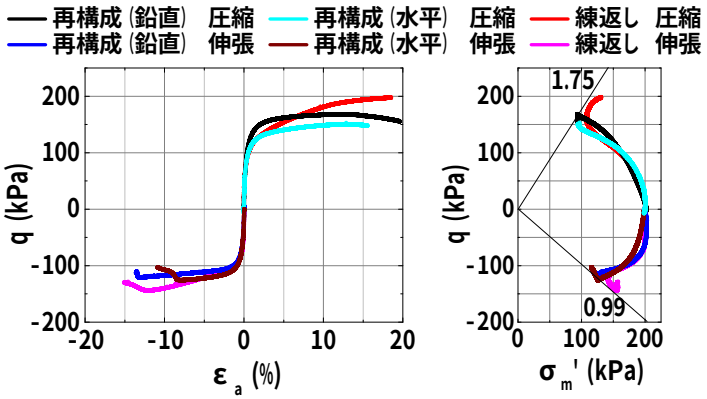



図 3　3 次元空間上の有効応力経路

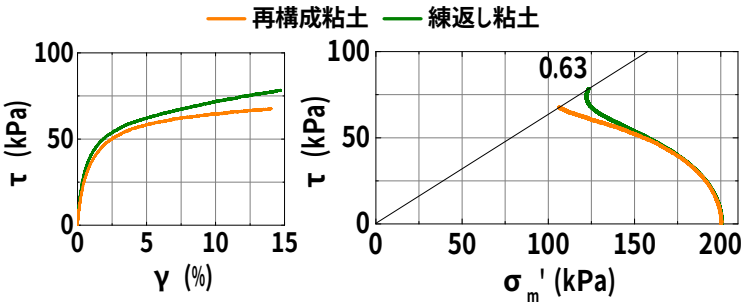
図 4 に三軸伸張試験結果を示す。三軸伸張では，水平に切り出した再構成粘土の方が若干であるが鉛直供試体よりも軸差応力が大きい。練返し粘土は，圧縮試験と同様に「巻き返し」の挙動を示している。伸張側でも，再構成粘土と練返し粘土の破壊応力比は同じであるが，その値は圧縮側に比べて非常に小さい。この差が圧縮と伸張との明確な強度差となって現れている。




(a)　応力～ひずみ関係　　(b)　有効応力経路

図 4　再構成粘土と練返し粘土の三軸圧縮・伸張試験結果

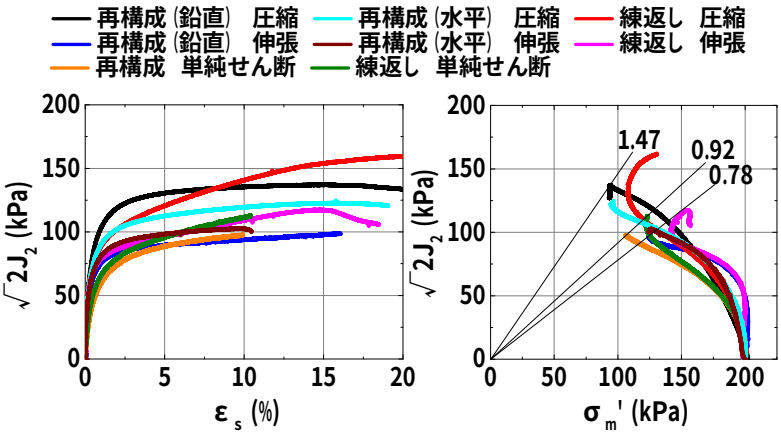
図 5 に単純せん断試験結果を示す。この試験においても，破壊応力比は再構成粘土と練返し粘土は同一となり，また，練返し粘土には「巻き返し」の傾向が観察される。




(a)　応力～ひずみ関係　　(b)　有効応力経路

図 5　再構成粘土と練返し粘土の単純せん断試験結果

図 6 にすべての試験結果を併せて，偏差応力テンソルの第 2 不変量 $\sqrt{2J_2}$（以下，偏差応力と呼ぶ）と偏差ひずみテンソルの第 2 不変量 $\varepsilon_s$（以下，偏差ひずみ）を用いて示す。有効応力経路を見ると，三軸圧縮，単純せん断，三軸伸張の順に破壊応力比が小さくなっており，載荷モードによって顕著な差が生じている。再構成粘土の切り出し方向による強度差がわずかだったことから，三軸圧縮・伸張の大きな強度差は，初期異方性によるものではなく，誘導異方性や中間主応力の影響によるものと考えられる。




(a)　応力～ひずみ関係　　(b)　有効応力経路

図 6　再構成粘土と練返し粘土のせん断モードによる比較

## 4．まとめ

三軸圧縮試験で観察される大きな破壊応力比は，載荷モードに強く依存している。関連する現象として，不攪乱粘土の大きなひずみ軟化挙動も三軸圧縮試験でしか観察できない[1)]。通常，要素試験と考えられている三軸圧縮試験でも，材料定数を評価する際には注意が必要である。今回は高塑性粘土で得られた結果であるが，今後低塑性粘土でも検証する予定である。

**参考文献**：1）三好ら：高塑性粘土の力学挙動に及ぼす種々の要因についての実験的検討，第 22 回中部地盤工学シンポジウム，2010