

構造と異方性による粘土の力学挙動に及ぼす影響

名城大学大学院 学生会員 ○吉田賢史・三好直輔
名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛

1. はじめに

不攪乱自然堆積粘土の鋭敏性を議論する際には、不攪乱粘土とそれを練返して構造を乱した攪乱粘土の一軸圧縮強さの比較を行うことが多い。しかし、「練返し」の行為自体の力学的な位置づけは不明確であり、それによって作製される構造が低位化した攪乱粘土の位置付けも実はよくわかっていない。本報では、比較的鋭敏な不攪乱粘土を用いて、その練返し試料ならびに再構成試料とともに三軸試験や定ひずみ速度圧密試験（以下、CRS 圧密試験）を実施し、それぞれの試料が有する「構造」、「過圧密」、「異方性」について検討する。

2. 試験試料および試験方法

本報で用いた自然堆積粘土は、大東市赤井で採取した Ma13 沖積粘土（以下、「不攪乱赤井粘土」と呼ぶ）である。不攪乱赤井粘土（ $w_L=70\sim80\%$ ， $w_p\approx 35\%$ ， $I_p=40\sim50$ ）は、自然含水比が液性限界を上回っている鋭敏性の高い粘土¹⁾である。不攪乱赤井粘土を自然含水比のまま手こね作業で練り返すとペースト状になる。これを三軸試験に供するために、ペースト表面にペーパータオルを付着させて徐々に脱水させることにより塊状ブロックを形成した後、直径 5cm、高さ 10cm の円柱供試体を作製した。これを「練返し粘土」と呼ぶ。さらに、攪乱した赤井粘土を 420 μm フルイで裏ごしし、 w_L の 2 倍の含水比のスラリー状に調整してから、上載圧 100kPa で 2 週間予圧密した。これを「再構成粘土」と呼ぶ。以上、3 種の試料について、三軸圧縮・伸張試験ならびに CRS 圧密試験を実施した。ただし、CRS 圧密試験においては、ペーパー脱水した練返し粘土の代わりに、ペースト試料を圧密リングで 20kPa の上載圧で 2 日間予圧密して作製した「準再構成粘土」を用いた。

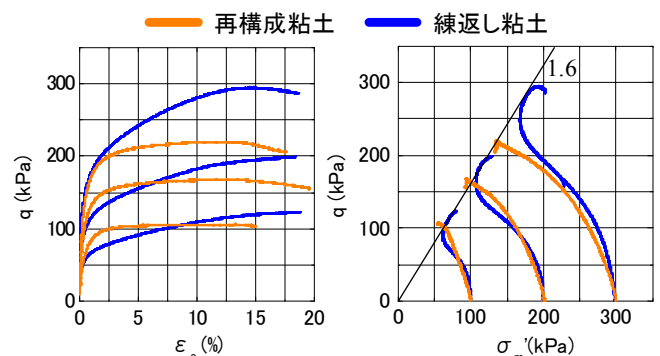
いずれの粘土においても、供試体を三軸セルに設置してから二重負圧法により飽和化を行い、背圧 200kPa を載荷しながら所定の有効拘束圧で圧密後、載荷速度 0.1%/min で非排水せん断を実施した。

3. 有楽町粘土の試験結果²⁾

不攪乱赤井粘土の試験に先立ち、東京湾で浚渫採取した高塑性な有楽町粘土（ $w_L=86\%$ ， $w_p=31\%$ ， $I_p=55$ ）の「再構成粘土」ならびにそれを手こね作業で十分に練り返した「練返し粘土」の試験結果を示し、それぞれの特徴について概観する。

図 1 に三軸試験結果を示す。再構成粘土では、単調に軸差応力が増加し、限界状態線に達しているが、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挙動を示すが、最終段階で急激に正のダイレイタンスが発現し、軸差応力が増加する「巻き返し」の挙動が観察できる。

図 2 に CRS 圧密試験結果を示す。再構成粘土は 100kPa の上載圧で予圧密した履歴を反映して、明確に 100kPa の圧密降伏応力が観察できる。再構成粘土の高拘束圧領域を含む直線（紫の破線）が正規圧密曲線（NCL）と考えることができる。一方、練返し粘土は、予圧密後の過圧密状態にある再構成粘土を練り返すこ



(a) 応力～ひずみ関係 (b) 有効応力経路

図 1 有楽町粘土の三軸試験結果

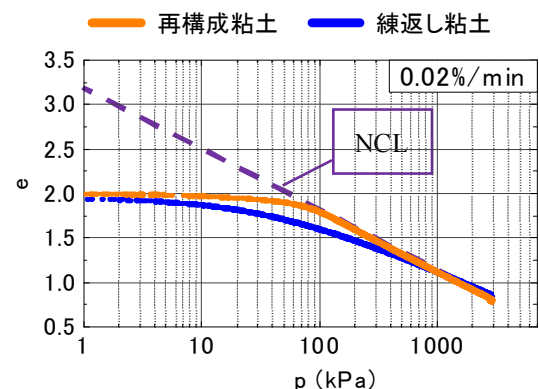


図 2 有楽町粘土の CRS 圧密試験結果

とで、元々過圧密粘土であった上に、予圧密時の応力履歴を「練返し」によって消去してしまったために、100kPaを遙かに超えてもNCL上には戻らず、過圧密の状態が続いている。以上より、図1で見られた「巻き返し」の挙動は、練返し粘土の過圧密性によるものであると考えられる。

4. 赤井粘土の試験結果

図3に不攪乱赤井粘土と準再構成粘土、再構成粘土のCRS圧密試験結果を示す。各試料の圧縮曲線には差が見られ、不攪乱粘土、準再構成粘土、再構成粘土の順に初期間隙比は大きい。準再構成粘土と再構成粘土では、それぞれの圧密降伏応力以降の圧縮曲線は一致しており、高拘束圧領域を含む直線（紫の破線）は構造が低位化した粘土の正規圧密曲線（NCL）と考えられる。一方、不攪乱粘土の圧縮曲線は、高位な構造を反映してNCLよりかなり上側に位置し、典型的な嵩張りが観察できる。有効土被り圧を超えてから勾配が急になり、圧密応力が増加するにつれてNCLに漸近する。

図4に不攪乱赤井粘土とその練返し粘土、再構成赤井粘土の三軸試験結果を示す。不攪乱粘土では明確なピーク強度が現れ、その後塑性圧縮を伴うひずみ軟化挙動を示し、脆性的な破壊をする。次に、練返し粘土では、試験終盤で「巻き返し」が観察できる。有楽町粘土の試験からの知見では、「巻き返し」は過圧密性を反映した挙動であることが推察される。

赤井粘土においても、ペースト試料からの強制脱水が過圧密性を高める要因となったと考えられる。一方、再構成赤井粘土では、圧縮・伸張ともに軸差応力が単調増加しながら限界状態に達しており、圧縮においては、有効応力の最終状態が不攪乱粘土のそれと一致している。また、圧縮・伸張側の破壊応力比は、不攪乱赤井粘土では1.6と0.8、再構成粘土では1.3と1.2となっており、不攪乱粘土で顕著に現れている強度異方性が、再構成粘土で明確ではない。

写真1は、三軸伸張試験後の赤井粘土の供試体の様子

子である。不攪乱粘土では明確なせん断帯とともにネッキング破壊を呈しているが、再構成粘土ではネッキング破壊は見られない。不攪乱粘土では誘導異方性や中間主応力による影響が大きく現れるため、圧縮側と伸張側で大きな強度差が生じたものと考えられる。

4. まとめ

構造が高位な不攪乱粘土、構造を低位化させた練返し粘土と再構成粘土を用いて、構造の効果について検討を行った。その結果、不攪乱粘土が有する構造の効果を定量的に比較するには、スラリーから再構成した粘土との比較が最も信頼性が高いことが示された。

参考文献：1) 大島ら：東大阪地域の鋭敏粘土層の分布域と堆積環境から見たその要因の再検討，材料，59（1），2010。
2) 小高ら：不攪乱・再構成・練返し粘土供試体のせん断挙動の違い，第46回地盤工学研究発表会，2011。

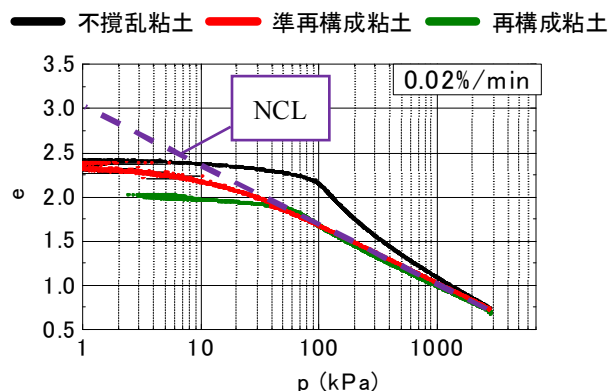
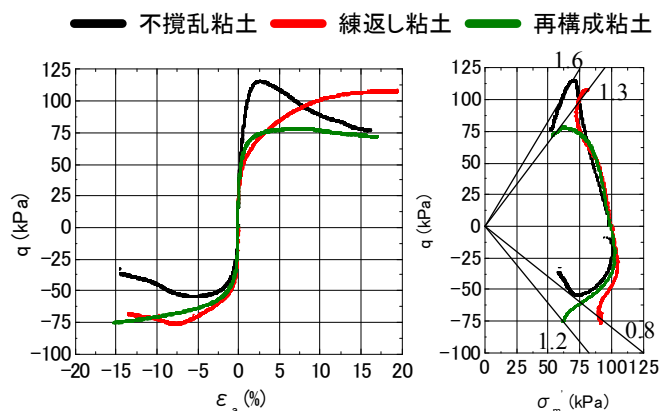


図3 赤井粘土のCRS圧密試験結果



(a) 応力～ひずみ関係 (b) 有効応力経路

図4 赤井粘土の三軸試験結果



(a) 不攪乱粘土 (b) 再構成粘土

写真1 赤井粘土の三軸伸張試験後の供試体の様子