

# 粘性土の残留強度状態における微視的構造の観察

構造【土の】、残留強さ（残留強度）、リングせん断試験

○ (株) 村尾地研 国際会員 村尾 英彦  
筑波大学 国際会員 松島 亘志

## 1. はじめに

粘性土のせん断において、せん断の進行に伴って、強度はピーク強度、もしくは完全軟化強度から残留強度へと低下する。その際には、せん断面において、微視的な構造変化が生じていると考えられる。

粘性土の、せん断に伴う微視的構造の変化と、強度の関係性の理解を深めることを目的として、リングせん断試験を行い、残留強度状態に着目して、微視的構造の SEM 観察を行った。

## 2. 物理的性質

試料には、新第三系中新統砂岩泥岩互層における地すべり粘土を用いている。試料の物理的性質を表-1 に示す。試料の 98.5%はシルト粒径 (75 $\mu$ m) 以下で、50%は粘土粒径(5 $\mu$ m) 以下である。また、塑性指数  $I_p$  が 56.8%と比較的高塑性を示し、活性度  $A=1.42>1.25$  となることから有機コロイドを含む活性粘土 (ス멕タイト質土) に分類される。

## 3. 力学的性質

すべり面粘土の強度定数を求めるために、再構成試料を用いたリングせん断試験を実施した。表-2 に強度定数 (完全軟化強度 ( $c_{fs}'$ ,  $\phi_{fs}'$ ) 残留強度 ( $c_r'$ ,  $\phi_r'$ )) を示す。完全軟化強度、残留強度を求めた際の相関係数は、0.99, 0.97 と共に良好である。なお、リングせん断試験機は、ビショップ型試験機<sup>1)</sup>に改良を加えたもの<sup>2)</sup>を使用している。試験条件は、上載圧一定、ひずみ制御方式、せん断速度 0.015mm/min、および圧密排水条件である。なお、供試体は正規圧密粘土 (OCR=1.0) である。

## 4. せん断面側部の微視的構造観察

リングせん断試験において残留強度状態 (垂直応力

200kPa, せん断変位  $D=1000$ mm) となったせん断面を SEM 観察によって 50, 500, 2,000 倍に拡大したものを図-1 に示す。SEM 観察用の試料は、図-2 に示すように作成した。

図-1(b)より、せん断面に沿って、80 $\mu$ m 程度の厚みを持った層 (以下、せん断層と記す) が生成されていることがわかる。また、せん断面側部を拡大した図-1(b), (c)より、せん断層は、せん断方向に平行な複数の薄層が重なったような状態にあることがわかる。このことから、リングせん断試験において生成された、周辺とは明瞭に異なる構造を持つ、せん断層は、供試体上下面合わせて、160 $\mu$ m 程度の厚みを持っていると考えることができる。SEM 観察から、このせん断層の構造は、ベッド<sup>3)</sup>がほぼ一定方向に配向した、完全配向構造<sup>3)</sup>であり、せん断層以外の箇所の分散構造 (不完全配向構造)<sup>3)</sup>とは明瞭に異なる構造を持っていると考えられる。また、図-1(b)からは、せん断層と直交する方向に発達した亀裂が確認できる。同様な亀裂は、せん断層内にも確認可能である。現段階では、この亀裂がせん断の進行に伴って形成された、力学的に何らかの意味を持つ亀裂なのか、SEM 観察用の試料作成課程で生じた亀裂なのかを判断することは困難であり、今後の検討を要する。

## 5. 考察

図-1(b), (c)より、せん断層は、完全配向構造に近く、せん断面から離れるにつれて、分散構造 (不完全配向構造) に移行すると考えられる。また、供試体は、含水比 200% のスラリーを十分に攪拌した後に圧密を行なっているので、スラリー状態では、ランダム構造<sup>3)</sup>もしくは、綿毛構造<sup>3)</sup>にあったと考える。その後の予圧密によって、ベッドが幾分配向した分散構造 (不完全配向構造) となり、せん

表-1 すべり面粘土の物理的性質

液性限界	塑性限界	塑性指数	細粒分含有率	活性度	土粒子の密度	砂分	シルト分	粘土分
$w_l$ (%)	$w_p$ (%)	$I_p$ (%)	$F_c$ (%)	A	$\rho_s$	sand fraction (%)	silt fraction (%)	clay fraction (%)
1.5	48.5	56.8	98.5	1.42	2.60	1.5	48.5	50

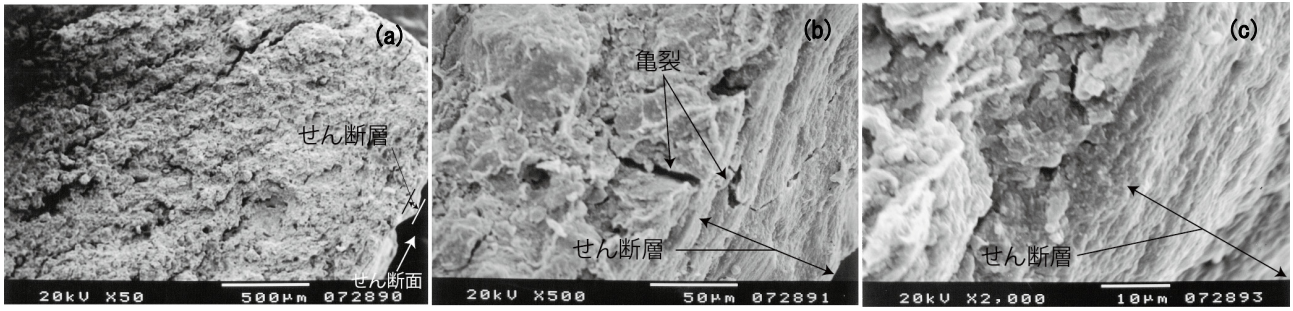


図-1 SEM 観察によるせん断面側部 (50, 500, 2,000 倍)

表-2 リングせん断試験による強度定数

$c_s'$ (kPa)	$\phi_s'$ (degree)	$c_r'$ (kPa)	$\phi_r'$ (degree)
13.15	11.85	1.66	4.94

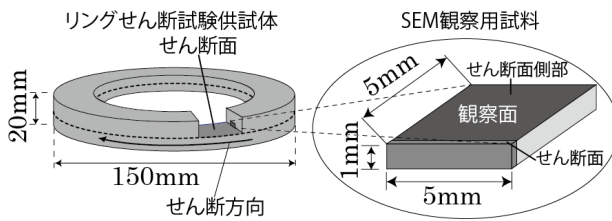


図-2 SEM 観察用試料

断によって、残留強度状態となる時点で、せん断面から一定区間（供試体においては 80 $\mu$ m）が完全配向構造へと移行し、せん断層が形成されたと考えられる。このことは、粘性土においては、応力-ひずみ曲線の傾きの変化が、図-3 に示すように、せん断面周辺の微視的構造の変化に伴って生ずると解釈可能である。詳細に説明すると、以下のようなになる。

せん断開始後は、ペッドの回転が生じ、ペッド間の摩擦抵抗が増加することの総量として、せん断強度が増加する。その後、完全軟化強度となると、ペッドの細分化（破壊）

が生じ、さらに、せん断変位の増加に伴って、せん断強度が低下する際には、細分化したペッドの再配列が進行する。そして、再配向が完了した時点で残留強度に達し、その後は、せん断変位が増加しても、せん断面周辺の構造は変わらず、強度は一定のままになると考えられる。

## 6. おわりに

残留状態にある粘性土の微視的構造の特徴が、ある程度明らかとなった。微視的な視点から、配向程度に関する検討を行うことは、本来、離散体である土の個々の粒子挙動特性と、強度、および変形との関係性を把握できるとともに、地すべりなどの、すべり面粘土の特性の詳細把握に繋がると考える。

今後は、リングせん断試験の、せん断面を特定できる特性を活用して、せん断の進行と微視的構造の変化を明らかにすることを計画している。

### 【参考文献】

- 1) Bishop, A.W., Green, G.E. et al. (1971): A New Ring Shear Apparatus and its Application to the Measurement of Residual Strength, Geotechnique, Vol.21, No.4, pp.273-328.
- 2) 村尾英彦, 渋谷達也 (2003): リングせん断試験による地すべり面強度定数決定のための試験条件に関する検討, 第 38 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.227-228.
- 3) 松尾新一郎, 嘉門雅史 (1976): 粘土の構造に関する用語について, 土と基礎, Vol.24, No.1, pp.59-6.

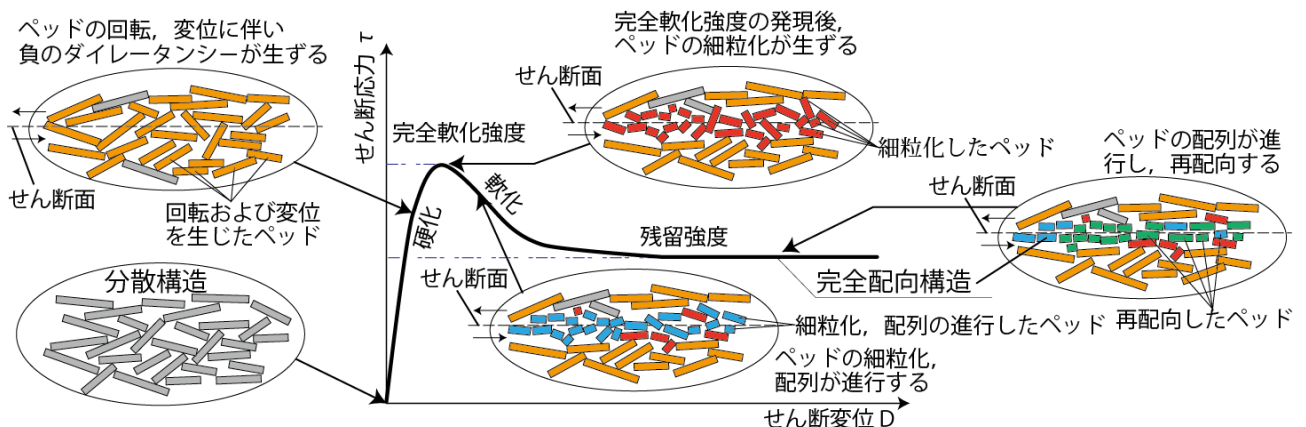


図-3 応力~ひずみ関係と微視的構造の変化のイメージ