

繰返し一面せん断試験後の粘土および軟岩のせん断面のSEM観察

岩手大学工学部 正 員 ○大河原文
 北海道大学工学部 正 員 三田地利之
 北海道大学工学部 米田 哲朗
 岩手大学工学部 多田 元彦
 北海道大学大学院 学生員 佐野 彰

1. まえがき 地すべりの解析にあたって、地すべり粘土のせん断強度定数の決定は必要不可欠である。繰返し一面せん断試験機を用いることにより、ピーク・完全軟化・残留状態に対応する3つの強度定数が求められ、また、不攪乱試料にも対応できる¹⁾。しかし、残留強度に至るまでの大変位を繰返しせん断により与えているため、実際の地すべりや斜面崩壊での一方向せん断とは異なるという本質的な問題点を抱えている。残留強度を粘土粒子の完全配向面において発揮される最小の排水強度²⁾とした場合、せん断方向が頻繁に逆転する繰返し一面せん断試験では、粘土粒子の配向評価が重要な意味をもつ。

そこで本研究では、残留強度測定時およびせん断方向逆転時の粒子の配向性を調べるため、繰返しせん断後のせん断面の形態を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察した。

2. 試料 実験に使用した試料は、北海道爾志郡相沼地すべり地より採取した流紋岩質凝灰岩、および南白老鉱山において製紙用原料として精製されているカオリン粘土である。不定方位法によるX線回折実験、メチレンブルー吸着法によるモンモリロナイトの定量実験および交換性陽イオン分析から、流紋岩質凝灰岩は、モンモリロナイト、石英、斜長石からなり、モンモリロナイトは66.6wt%、CEC114.0meq/100g、 Ca^{2+} 型で、石英を7.0 wt%含有している。カオリン粘土は、X線回折実験より純粋なカオリナイトからなる。

3. 繰返し一面せん断試験 北海道大学工学部で試作・改良してきた繰返し一面せん断試験機¹⁾を、コンピュータ制御により、周面摩擦およびせん断による断面積の変化を補正しつつ鉛直応力 σ_v を一定値に制御できるように改良し、水浸状態で定圧試験を行った。圧密圧力は400, 500, 600kPaに設定して、3 t法により圧密終了を判定し、せん断を開始した。試料は含水比200%以上で繰返し、200kPaで10日間予圧密して、直径5cm厚さ4cmに整形したものである。試験機への供試体のセットは、は中山³⁾を参考に、 $\delta = 0^\circ, +45^\circ$ になるように行った。ここで、 δ (deg)をせん断方向とせん断終了時のせん断面以外の粒子の最頻度配向方向とのなす角とし、始めのせん断方向に対して順目を+とする。

4. せん断面のSEM観察 繰返し一面せん断試験終了後、供試体を室内において風乾し、せん断面に対し垂直な面が観察面となるように破断し、破断面をSEMにより観察した。各試料の代表的なSEM像をPh. 1~Ph. 4に示す。

Ph. 1は、流紋岩質凝灰岩、相対変位なし(繰返しせん断後、せん断面を境とした上下の供試体の相対変位がゼロの状態—以下同様)、累積変位量469.2mmのSEM

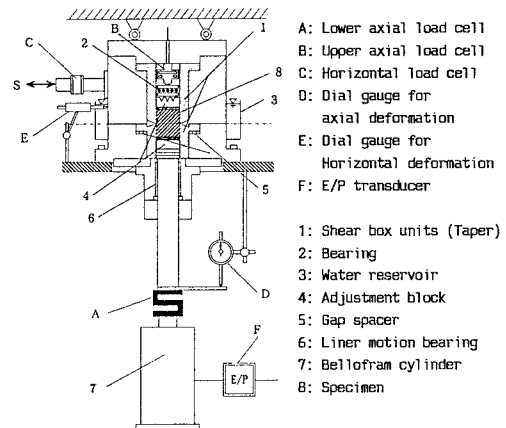


Fig.1 Schematic diagram of Cyclic direct shear apparatus

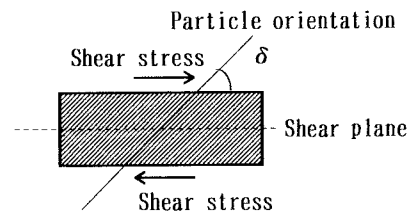


Fig.2 Relationship between shears and δ

像である。せん断面以外の粒子の配列方向は、せん断方向に平行で $\delta = \pm 0^\circ$ である。粒子はせん断方向に平行に完全定向配列している。せん断面はシャープで幅 $2\mu\text{m}$ 以下と極めて薄い。低倍率(50倍)での観察では、せん断面以外の部分は初期の配向構造を留めている。

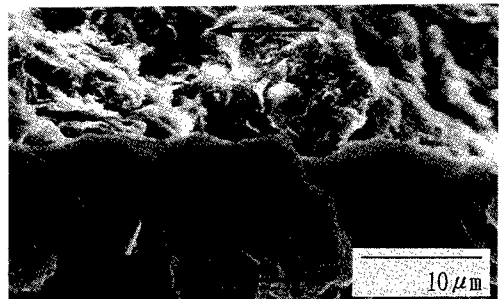
Ph. 2は、カオリン粘土、相対変位なし、累積変位量 467.0mm のSEM像である。せん断面以外の粒子の配列方向は、せん断方向に斜交し $\delta = +45^\circ$ である。複数のせん断面が観察される。各々のせん断面は互いに平行で、2面のものが多い。また、 $\delta = \pm 0^\circ$ 同様、1面部分も観察された。1面から複数面へは連続的に変化している。せん断面部分を拡大したSEM像(Ph. 3)では、せん断面の粒子はせん断方向に平行に配向している。複数のせん断面に挟まれた部分をせん断ゾーンとすると、ゾーン内での粒子配向方向はせん断方向に対して $30^\circ \sim 60^\circ$ 程度傾斜しており、傾斜方向は最終せん断方向に対して順目である。残留状態に至ってもせん断ゾーン内の粒子は、配向方向が変化している可能性がある。

Ph. 4は、カオリン粘土のせん断逆転時(逆転変位量 0.11mm)、累積変位量 468.9mm のSEM像である。せん断面以外の粒子の配列方向は $\delta = +42^\circ$ である。写真左上部において、粒子凝集体(ped)がせん断ゾーンの最頻度傾斜方向と異なる傾斜方向を示している。粒子凝集体(ped)は大きく湾曲しており、せん断方向の逆転による粒子のめくり上がり現象と推定される。しかし、この現象は複数のせん断面のところに限られており、観察範囲の一部にすぎない。

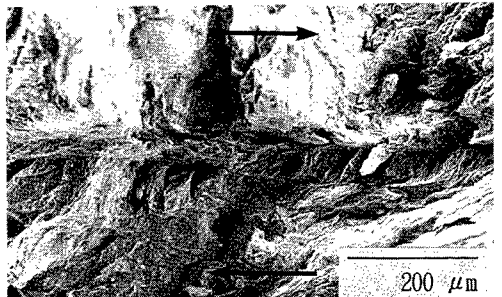
5. 結 言 残留応力状態でのせん断面のSEM観察より、 $\delta = \pm 0^\circ$ 供試体では、せん断面上の粒子はせん断方向に平行に完全定向配列しており、残留状態の粒子配向条件を満たしている。また、せん断面以外には、粒子の乱れは観察されず、繰返しせん断にも係わらず粒子の再配列挙動は、厚さ $5\mu\text{m}$ 以下のせん断面に限定されている。 $\delta = +42^\circ, 45^\circ$ 供試体では、複数のせん断面が観察され、とくに $\delta = +42^\circ$ 供試体では、逆転時の粒子のめくり上がり現象と推定される現象が一部で確認された。

参考文献

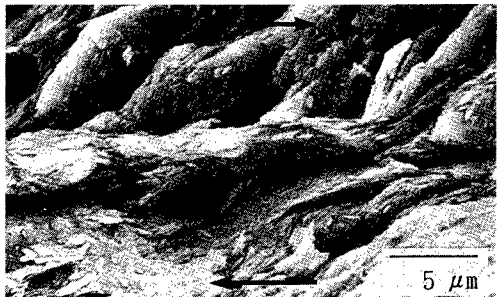
- 1) 佐野彰・三田地利之・澁谷啓・大河原正文:繰返し一面せん断試験による軟岩の残留強度測定と地すべり安定問題への適用, 土質工学会「直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム論文集」, pp. 239-244, 1995.
- 2) 宜保清一・江頭和彦・林義隆:地すべり土の残留強度の大変位剪断試験による測定法と物理的鉱物学的性質による類推法, 農業土木学会論文集, 第159号, pp. 57-63, 1992.
- 3) 中山晴幸:過圧密粘土の微視的構造と一面せん断挙動, 土木学会論文集, No. 505/III-29, pp. 161-170, 1994.



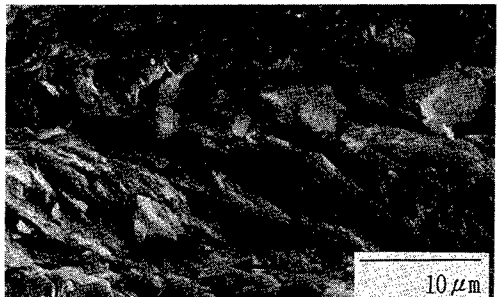
Ph. 1 Rhyolitic-tuff, $\delta = \pm 0^\circ$, $\sigma_v = 400\text{kPa}$



Ph. 2 Kaolinite, $\delta = +45^\circ$, $\sigma_v = 400\text{kPa}$



Ph. 3 Kaolinite, $\delta = +45^\circ$, $\sigma_v = 400\text{kPa}$



Ph. 4 Kaolinite, $\delta = +42^\circ$, $\sigma_v = 600\text{kPa}$

→ Shear direction