

Ⅲ－50

大変位一面せん断試験による粘土の残留状態せん断面のその場観察

岩手大学工学部 学生会員 ○美馬 健二
 岩手大学工学部 正会員 大河原正文
 北海道大学工学研究科 フェロー 三田地利之

1. はじめに

粘土に大きなせん断変形を与えると、せん断面付近の粒子はせん断方向に配向し、これに伴いせん断強さは一定値に落ち着く。この状態を定常状態もしくは残留状態という。残留状態におけるせん断面の構造については、Nakamori ら¹⁾、Gibo ら²⁾、岸本ら³⁾などにより研究がなされている。Nakamori らは、繰返し一面せん断試験により形成されたせん断面を走査型電子顕微鏡で観察し、せん断面を構成する粒子の隙が試料の状態により異なることを確認している。Gibo らは、リングせん断試験より形成されたせん断面に X 線を照射し、得られた回折強度比からせん断変位と粒子配向との関係を述べている。また、岸本らは、試作した「中距離一面せん断試験機」を用いて大変位せん断試験を行い、試験後のせん断面の軟 X 線像を撮影し、せん断面のクリープ構造を明らかにしている。これらの研究は、いずれも静止状態すなわちせん断現象のある瞬間をとらえたものである。せん断とは動的現象であり、評価にあたっては時間軸を入れないと真の姿が見えてこないと考える。そこで本研究では、せん断を連続してとらえるべくその場観察を行った。具体的には、大変位一面せん断試験中のせん断面をマイクロ스코プで直接観察し、せん断時のせん断面付近の粒子挙動を観察・評価した。

2. 試料

観察に用いた試料は、市販の NSF 粘土である。NSF 粘土の主成分鉱物は、パイロフィライトと石英で、石英の含有割合は、XRD 内部標準法より平均 46.67% である⁴⁾。

3. 実験方法

(1) 大変位一面せん断試験

大変位一面せん断試験とは、水平変位量が 100mm を超える直線的かつ一方方向の一面せん断試験のことで、地すべりなど実際のせん断現象を忠実に再現していると考えられる。試験に用いた装置は、岩手大学で試作・改良された「大変位一面せん断試験装置」^{5), 6)}である。

試験条件は、垂直応力 100kPa、せん断速度 0.5mm/min とし、定圧条件で試験を実施した。圧密は、所定の圧密応力に達するまで垂直応力を 5kPa/min で漸増させ 3 t 法により圧密を打ち切り、せん断を開始した。供試体は、圧密圧力 400kPa で 4 日間予圧密したものを用いた。供試体寸法は、長さ 600mm、高さ 45mm、幅 30mm である。

(2) マイクロ스코プによるせん断面の観察

せん断面を横方向から観察できるようにせん断箱隙間に高倍率ズームレンズ（キーエンス社 VH-Z450）を取り付けて観察した（写真-1）。観察は、せん断変位が 200mm に達した時点で開始し、観察倍率は 450 倍である。また、NSF 粘土は白色で凹凸が気づいたため、画面上の輝度変化の大きい部分を強調できるエッジ強調機能を使用した。

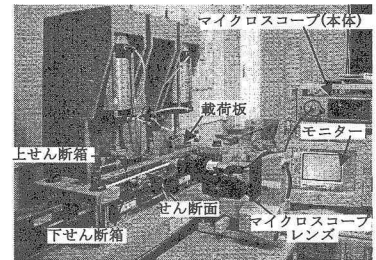
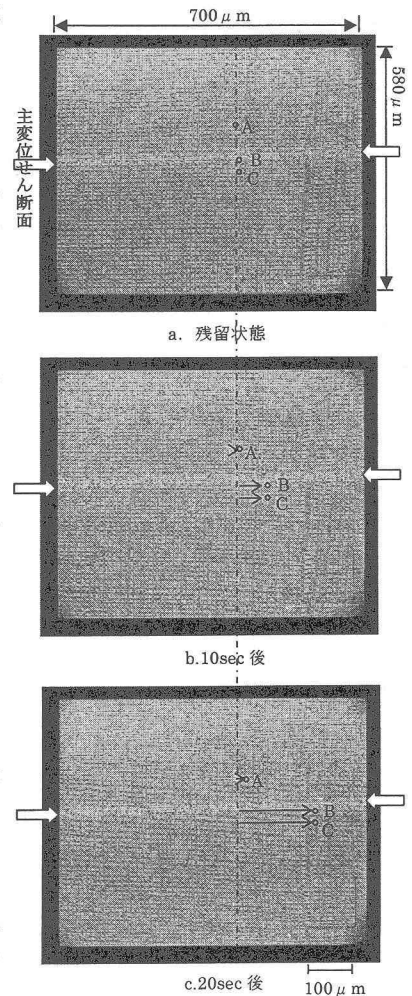


写真-1 マイクロ스코プによるその場観察



画像-1 NSF 粘土の残留状態せん断面

4. 実験結果および考察

マイクロスコープによるせん断面付近の観察結果を、画像-1a,b,c に示す。なお、画像-1 では、個々の粒子が見えにくいので代表的な 3 つの粒子に丸印をつけた(粒子 A、粒子 B、粒子 C)。ここで粒子 A は上部供試体、粒子 B、C は下部供試体に属している。

全ての画像から、主変位せん断面がほぼ全面接触していることが確認できる。

また、画像-1a(10 秒後)と画像-1b(20 秒後)を見ると、粒子 B と粒子 C のほかに上部供試体の粒子 A も移動している。前述のとおり大変位一面せん断試験装置は下部せん断箱が可動しているので、粒子移動は下部供試体の粒子 B、C のみと思われた。しかし、実際には上部供試体の粒子 A も移動していた。図-1 に粒子 A、B、C の 30 秒間の移動距離を示す。図-1 から速度を算出すると、粒子 B、C の速度が 0.502mm/min 、粒子 A の速度は 0.076mm/min である。ちなみに、せん断箱の移動速度は、 0.5 mm/min である。粒子 A は、粒子 B、C の 15% の速度で少しずつ移動していることになる。この移動は、下部供試体が上部供試体の粘土粒子を引きずっているためと考えられる。

次に、図-2、図-3 はそれぞれ粒子 B と粒子 A の経過時間と移動距離との関係である。図-2 から下部供試体の粒子は、一定の速度で移動しているのに対し、上部供試体の粒子は、図-3 に示されたように一定ではなく断続的に移動していることが読みとれる。この挙動は、トライボロジー分野で広く知られているスティック・スリップ運動と同じ挙動である(図-4) ⁷⁾。図-4 にスティックスリップ運動の概念図を示す。この運動は、二つの物質に滑り摩擦を生じさせたとき、自発的に急激な加速と減速を繰り返す動きのことであり、固体界面間に介在物のある滑り摩擦の場合に起こる現象である。そのメカニズムは、固体界面間に挟まれた潤滑剤の厚さが数分子層になると、両界面の結晶格子の周期ポテンシャルの効果も受けて、潤滑剤は秩序構造を作って固化する。この固化した潤滑剤を間に挟んだ界面にずれ応力を加えると、潤滑剤が固化しているため、ある程度までは動かない。しかし、ずれ応力がある程度、大きくなると応力の効果により潤滑剤が融解する。そして、滑る。滑ると応力が緩和する。そして、潤滑剤は再び固化する。これを繰り返すことにより、系は、スティックスリップ運動を起こす ⁷⁾ ということである。本実験での断続的な粒子の移動現象がスティック・スリップ運動と同じメカニズムによるものか、さらなる研究が必要である。

5. まとめ

NSF 粘土の残留状態におけるせん断面のその場観察を行った。得られた知見は次のとおりである。

- (1) 残留状態でのせん断面は、ほぼ全面接触している。
- (2) 上部供試体の粘土が下部供試体の粘土に引きずられる現象が確認された。
- (3) 引きずりによる粒子挙動は、一定ではなく断続的であり、いわゆるスティック・スリップ運動と同じである。

<参考文献>

1) Nakamori, K. et al. Soils and Foundations, Vol.36, No.3, pp.75 ~ 83, 1996, 2) Gibo, S. et al.; Canadian Geotechnical Journal, Vol.24, No.3, pp.671 ~ 674, 1987, 3) 岸本良次郎ほか; 地すべり, Vol.34, No.1, pp.8 ~ 14, 1997, 4) 大河原正文ほか; 直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集, pp.203 ~ 206, 1995, 5) 辻広成・大河原正文; 平成 12 年度東北支部技術研究発表会講演概要, pp.308 ~ 309, 2001, 6) 甲谷紀幸・大河原正文; 平成 13 年度東北支部技術研究発表会講演概要, pp.282 ~ 283, 2002, 7) 松川宏; 摩擦の物理, 平成 12・14 年度科学研究費補助金(基盤研究(c)(2)) 研究成果報告書, 課題番号 12640374, 99p.22 ~ 30, 2003

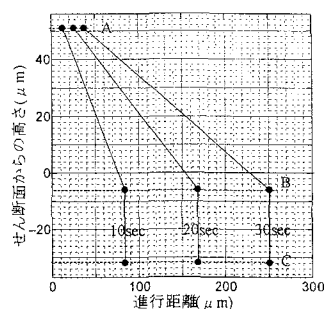


図-1 上部供試体の土粒子と下部供試体の土粒子が進行した過程

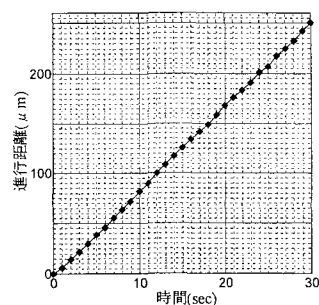


図-2 下部供試体の土粒子の動き

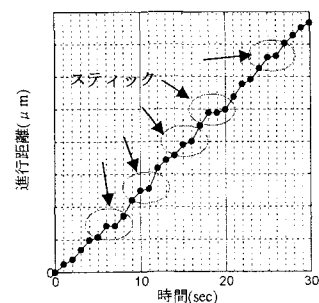


図-3 上部供試体の土粒子の動き

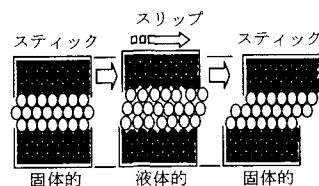


図-4 スティック・スリップ運動 ⁷⁾