

Ⅲ－51 繰返し一面せん断試験による粘土のせん断面の構造と完全軟化強度 τ_s ・残留強度 τ_r との関係

岩手大学工学部 学生会員 ○小笠原龍徳

岩手大学工学部 正 会 員 大河原文文

1. はじめに

地すべりは、活動し始めの小さな変位から数mに及ぶ大きな変位まで、様々な歪みレベルを有することから、斜面の安定解析に適用されるせん断強度は、すべり面構成土の歪み軟化レベルに応じて、最大せん断抵抗応力のピーク強度（OCR>1）、完全軟化強度（OCR=1）と、最小せん断抵抗応力の残留強度（OCR=1）の3つに大別される¹⁾。これら3つの強度は、地すべり安定解析用の平均強度パラメータ（ c, ϕ ）を得るために利用されるなど、工学的に大変重要である。小川²⁾は、「正規圧密状態の土では明白なせん断強さが見られずに最大せん断強さは残留強さと一致する。すなわち OCR=1 のときでは完全軟化強度＝残留強度である。」と述べている。しかし、過去に行った繰返し一面せん断試験の結果において、“完全軟化強度＝残留強度”、“完全軟化強度>残留強度”の2ケースが確認された。この2ケースの原因をせん断面の構造（粒子形状、粒子配向）に着目して検討した。

2. 試料および実験方法

2.1 試料

実験に用いた試料は、岩手県南部の斜面崩壊現場より採取した堆積軟岩（頁岩、泥岩）で、X線回折分析から構成鉱物は石英、長石、膨潤性粘土鉱物である。

2.2 繰返し一面せん断試験

軟岩用自動繰返し一面せん断試験装置³⁾を用いて、圧密定圧条件下で繰返し一面せん断試験を行った。垂直応力は $\sigma_v = 100\text{kPa}$ 、 200kPa 、 300kPa で、3t 法により圧密を打ち切った後、せん断を開始した。せん断速度はせん断開始から水平変位 6mm までは 0.2mm/min 、その後 0.5mm/min である。これら繰返し一面せん断試験は繰返し回数 5 回で終了し、供試体をせん断箱から取り出して数日間自然乾燥させ SEM 観察用の試料とした。供試体は、試料を粉碎したものに蒸留水を加え練り返した後、呼び径 2mm のフルイを通し、それぞれの試料の排水性を考慮して、頁岩は 2 時間、泥岩は 48 時間予圧密したものを直径 50mm、高さ約 40mm の円柱形に成形したものである。

2.3 SEM によるせん断面の構造評価⁴⁾

SEM 観察用の試料は、図-1 に示したように供試体中央から 2 つに破断し、これをさらに 5 分割して作製した。頁岩は、試験終了後せん断面を境に剥がれたが、泥岩は剥がれなかったためそのまま分割した。これら分割片を断面方向から観察し、得られた SEM 写真をスキャナーでパソコンに読み取り、せん断面を構成するベッド（粒子集合体）の配向方向を画面上で直接測定した。図-2 にベッドの配向方向の表示方法を示す。せん断面を構成しているベッドの配向方向は、せん断方向とベッドのなす角 α (deg.) で表し、その最頻度配向方向を α_{mode} (deg.) とする。測定結果は 10° 間隔の度数分布として集計し、右に示す配向度⁵⁾で評価した。

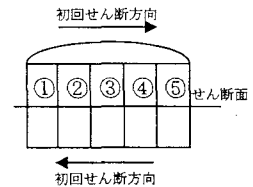


図-1 SEM 観察用供試体の分割方法

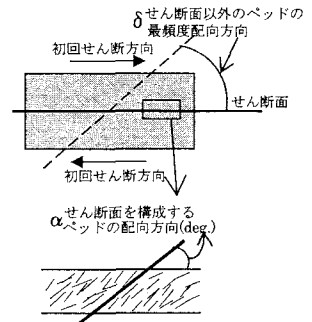


図-2 せん断面の配向方向

配向度Mの算出式

$$M = \frac{100}{\sum n_i} \sqrt{(\sum n_i \sin 2\theta_i)^2 + (\sum n_i \cos 2\theta_i)^2}$$

M：配向度

n_i ：頻度分布での 10° ごとに含まれるベッド数

θ_i ：それぞれの間隔における平均方向

3. 実験結果および考察

3.1 繰返し一面せん断試験結果

図-3 に 2 試料のせん断応力 τ ・累積変位 HD 関係を示す。頁岩は、せん断開始直後に強度が増加しピーク状態を経て漸次低下し定常状態（残留状態）に至っている。一方、泥岩は明確なピークを示さず、せん断初期からほぼ一定値のままで推移している。図-4 に示されたように、完全軟化強度 τ_s と残留強度 τ_r の関係は頁岩が $\tau_s > \tau_r$ 、泥岩が $\tau_s \approx \tau_r$ である。

3.2 セン断面の構造評価

写真・1 に頁岩のせん断面付近の SEM 像を示す。前述のとおりこの供試体は自然乾燥後、せん断面を境に上下 2 つに分離した。写真は上部供試体の SEM 像でせん断面は写真下部に相当する。せん断面上のペッドは花卉状を呈して重なり合っており、この構造は厚さ僅か $10\mu\text{m}$ の範囲に限定されている。写真・2 は、頁岩の粒子を拡大したもので、粒子は板状を呈し配向しやすい形状であることが分かる。主変位せん断面を構成するペッドの配向度は $M=92.2\%$ 、配向方向の最頻値 $\alpha_{\text{mode}}=0^\circ$ である (図・5)。

写真・3 は泥岩のせん断面付近の SEM 像である。せん断面は単一の面としてではなく、ある厚さをもったせん断帯であることが観察から確認された。せん断帯内には連続するせん断面が複数確認できるもののペッドの配向性は低い。写真・4 は泥岩の粒子で、微小な粒子集合体からなり、全体として丸みを帯びている。主変位せん断面の配向度は $M=11.4\%$ 、 $\alpha_{\text{mode}}=-10^\circ$ である (図・5)。

4 まとめ

堆積軟岩に対して圧密定圧条件での繰返し一面せん断試験を行い、形成されたせん断面を SEM で観察し、せん断面の構造とせん断強度との関係について検討した。得られた知見を次に示す。

- (1) 頁岩は、完全軟化強度 τ_s と残留強度 τ_r が一致せず $\tau_s > \tau_r$ の関係にあった。一方、泥岩は、完全軟化強度と残留強度が一致し $\tau_s = \tau_r$ である。
- (2) 頁岩の粒子は板状を呈している。泥岩は、微粒子の集合体として存在し、全体として丸みを帯びている。
- (3) 頁岩の主変位せん断面の配向度は $M=92.2\%$ 、 $\alpha_{\text{mode}}=0^\circ$ であり、粒子はせん断方向にほぼ完全配向している。泥岩の主変位せん断面の配向度は $M=11.4\%$ 、 $\alpha_{\text{mode}}=-10^\circ$ であり、配向性は認められなかった。
- (4) (1)~(3)より、粒子が板状を呈する場合、せん断面を構成する粒子は残留状態になるとほぼ完全配向となり、完全軟化強度 $\tau_s > \tau_r$ となる。粒子が丸みを帯びているときは、せん断面を構成する粒子は配向せず、完全軟化強度 $\tau_s = \tau_r$ となる。

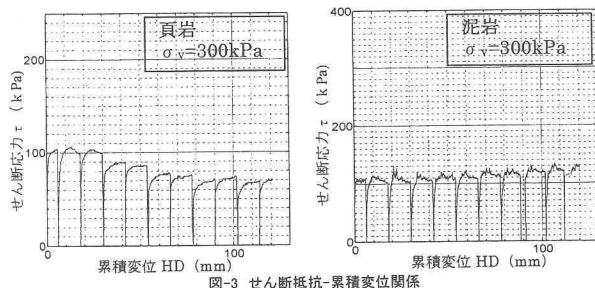


図-3 セン断抵抗-累積変位関係

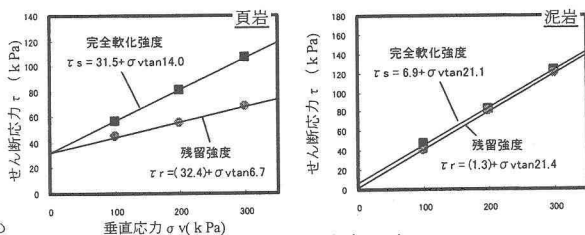


図-4 両試料の強度パラメータ

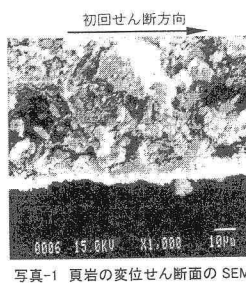


写真-1 頁岩の変位せん断面の SEM 像

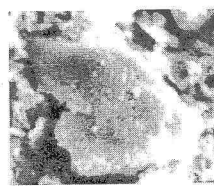


写真-2 頁岩のペッド形状 (×1,090)

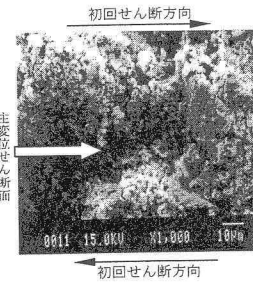


写真-3 泥岩の変位せん断面の SEM 像



写真-4 泥岩のペッド形状 (×750)

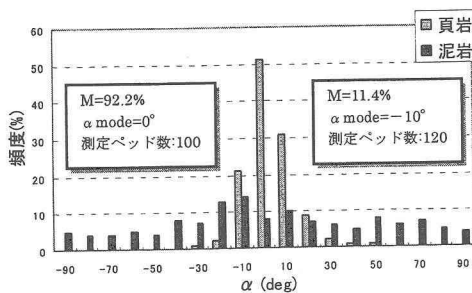


図-5 セン断面の粒子配向頻度分布

参考文献：1)地すべり安定解析用強度決定法(社団法人 日本地すべり学会東北支部),pp.9,2001 2)小川正二:地すべり斜面の安定解析における土のせん断強さの考え方,基礎工,pp.9,1985 3)佐野彰・三田地利之・渋谷啓:地すべり面強度定数決定のための軟岩用自動繰返し一面せん断試験機の開発,pp1~4,地すべり学会論文,第31巻,第2号,1994 4)大河原正文・三田地利之・棚田真・藤村正二・米田哲朗:繰返し一面せん断試験によるカオリン粘土のせん断面の構造と形成過程,pp2~3,地すべり学会論文,第37巻,第2号,2000 5)松尾新一郎・嘉門雅史:粘性土の構造の表示法に関する考察,第8回土質工学研究発表会,pp.93~96,1973.