

Ⅲ-16

グリーンタフ地帯地すべり粘土の力学特性

秋田高専 正会員 ○伊 藤 驍
秋田大学鉱山学部 川原谷 浩

1. 緒言

東北・北陸地方の地すべりは構造的に採まれたグリーンタフ地帯に多く分布する。このため地すべり面にはグリーンタフ粘土を挟むものが多い。しかも地すべり頻発地帯は豪雪地帯と重なって分布するため融雪期に地すべり活動を示すものが全体の7～8割を占める¹⁾。しかし、地すべり面のグリーンタフ粘土の力学的挙動については余りよく知られていない。そこで本研究では、毎年豪雪に見舞われる鳥海山麓の鳥田目断層群の切留地すべりのグリーンタフ粘土について一面せん断試験(CU-Test)を行い、その力学的挙動について検討した。その結果、特定含水比でMohr-Coulombの破壊基準式に従わない特異な挙動を示すことがわかったので、これについて検討を加え妥当な修正式を得た。ここではその概要を報告する。

2. 試料の特徴

現地から採取したグリーンタフ粘土試料について物理試験、各種の力学試験、X線回折等を行ったところ次のような特徴をもつことが判った。まず、X線回折（全岩分析）による同定の結果を図1に示す。この粘土にはVermiculite～Chloriteの混合層鉱物(M)が多く含まれる。この混合層鉱物は膨潤性や強いイオン交換性を有する。またこの粘土は、主として粘土分(30%)で他にシルト分が卓越し、塑性指数は $Ip=60$ で工学的分類としてCHに属し、膨潤性をもつ粘土であることが判った。これが当地の地すべり挙動を粘塑性的にし、以下に述べるような特徴ある地盤工学的現象を呈した理由と考えられる。

3. グリーンタフ粘土の力学的特性

一面せん断試験(CU-Test)によると、 $\sigma \sim \varepsilon$ 曲線は一般にこの粘土の場合、ひずみ硬化現象の後でピーク強度を迎え、やがて軟化現象を呈し残留強度状態に落ちつく。切留地すべりのような2次的地すべりでは、崩積土と基岩の間に挟在するすべり面の粘土の残留強度が地すべり挙動を支配すると考えられる。そこで含水比(w)毎のピーク強度(τ_f)や残留強度(τ_r)に基づき粘着力(C, Cr)、内部摩擦角(ϕ , ϕ_r)等を取り、各パラメータ間の関係を検討してみた。その結果、例えば残留強度(τ_r)とピーク強度(τ_f)の間に図2に示すような関係が得られた。これを式示すと、rを相関計数として次式となる。

$$\tau_r = 0.702 \cdot (\tau_f)^{0.993} \quad (r=0.869)$$

この他、 τ_r と ϕ_r および ϕ_r と他のパラメータ間に次のような密接な相関関係が見出された。

$$\phi_r = 16.398 \cdot \ln(\tau_f) \quad (r=0.869)$$

$$\phi_r = 42.263 \cdot (W)^{0.319} \quad (r=0.976)$$

$$\phi_r = 19.771 \cdot (Cr)^{0.981} \quad (r=0.990)$$

一連のCU-Testによると、試料のせん断面には明瞭な鏡肌(slicken-side)が形成されていた。このことはこの粘土は粒子配向性の良い粘土であることを裏付ける。このグリーンタフ粘土のせん断試験結果から鉛直応力(

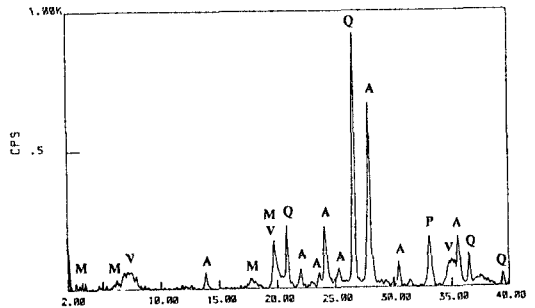


図1. 切留地すべりグリーンタフ粘土のX線回折

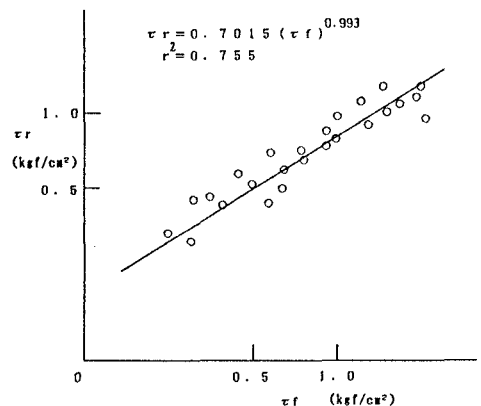


図2. ピーク強度(τ_f)と残留強度(τ_r)の関係

σ_n とピーク強度(τ_f)の関係をまとめて示すと図3のようになる。図を良くみると σ_n と τ_f の関係は w の状態によって異なり、特に低含水比状態で非線形性を示し、Mohr-Coulombの破壊規準曲線に従わないものが現れた。このような現象は鋭敏な粘土²⁾とかベントナイトを含む粘土によく見られる³⁾。これについてSokolovskiはMohr-Coulombの破壊規準式に対応する次式を提案し c は単にMohr-Coulombの規準式では求められないものがあることを示した。

$$\tau_f = \{ (\alpha + \sigma) / c \}^{1/n} \cdot c$$

このような現象は、鋭敏な粘土とか膨潤性をもつ粘土の特性と考えられ、特に特定の含水比または締め固め密度状態においてはその破壊包絡線は次のように近似できる。

$$\tau_f = k \cdot C' + (\sigma' \cdot \tan \phi')^n, \quad (n \leq 1, k < 1)$$

ここで k は c' の減少係数、 n は有効応力に伴う減少指数。非線形性を示す理由として、荷重速度にもよるが、親水性鉱物を含むため拘束圧増加に伴う土粒子間の水分子の緩慢な移動が時間遅れを伴って有効応力に影響を与えていたことが考えられる。実験によると、低含水比領域で n は小さいが、高含水比状態では n が大きく1に近づく。即ち、高含水比状態では $\tan \phi'$ がゼロに近づく最終的に $\tau_f = C'$ になる。

一例として、ベントナイトとカオリナイトを3:1で混合した試料の場合、図4のような結果を得た。この場合の状態方程式は、次式のように求められた。

$$\tau_f = 0.875 + (0.753 \cdot \sigma')^{0.618}$$

そこで、切留地すべりのグリーンタフ粘土について試料の含水比状態からこれをまとめてみると、次のようであった。

$$\begin{aligned} w \leq 30 \% & : \tau_f = k \cdot C' + (\sigma' \cdot \tan \phi')^n \\ w = 30 \sim 35 \% & : \tau_f = C' + \sigma' \cdot \tan \phi' \\ w \geq 35 \% & : \tau_f = C' \end{aligned}$$

このことは、多量の融雪水が伴えば、この地すべり粘土のせん断強度は粘着力のみに支配されるが、夏期などの渇水期になれば、 $\tau_f = k \cdot C' + (\sigma' \cdot \tan \phi')^n$ の挙動に従うものと判断される。

4. 結語

切留地すべりのすべり面に挟在するグリーンタフ粘土についてせん断試験を行い、その力学的特性を明らかにしたが、特にMohr-Coulombの規準に従わない領域について修正式を提案し、妥当な結果を得た。

【参考文献】

- 1) ITO, T: A Statistical Study of Landslides Disasters in the Snowy Regions of Japan, Proc. of the Int'l Conference on Landslides, Slope Stability and the Safety of Infra-Structures, 81-87, 1994.
- 2) Gillott, J.E.: Clay in Engineering Geology, Elsevier Publishing Company, 123-168, 1968. 「1979.
- 3) 伊藤 肇: 膨潤挙動を示す地盤の力学的性質に関する考察、第12回岩盤力学に関するシンポジウム、46-50.

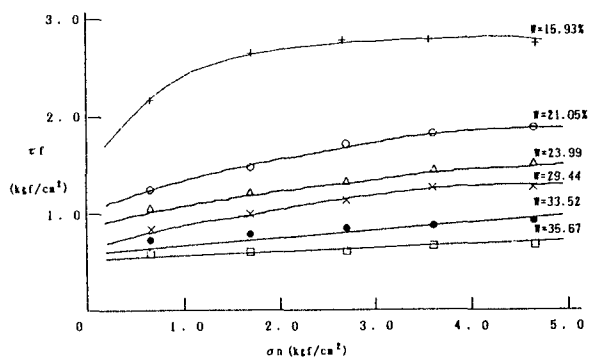


図3. 切留地すべりグリーンタフ粘土の $\sigma_n \sim \tau_f$ 関係図

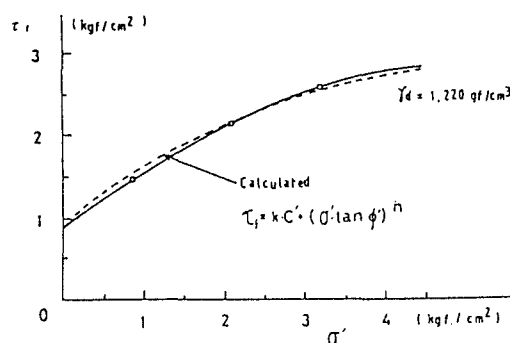


図4. $\sigma_n \sim \tau_f$ 関係の修正式