

Ⅲ-A47 地すべりの滑動中に垂直応力変化を受ける粘土のせん断挙動

信州大学大学院 学生会員 鈴木素之
 信州大学工学部 正会員 梅崎健夫
 信州大学工学部 正会員 川上 浩

1. はじめに 地すべり粘土は長い年月をかけてせん断と圧密の履歴を繰返し受けていることが指摘されている¹⁾。地すべりの滑動中では、土がせん断される過程のどの時点においても、降雨などによる間隙水圧の変化に伴って、すべり面に作用する垂直応力は変化している。著者らは、この事象を再現するためにリングせん断試験を用いてせん断過程のいくつかの応力状態から垂直応力を減少させる実験^{2), 3)}を行っている。本文では、試験結果に基づいて、せん断と同時に垂直応力の変化を受ける粘土のせん断挙動を検討するとともに、せん断破壊時、その前後、および残留状態における強度特性について考察する。

2. 試験方法 試料はカオリン($\rho_s=2.724 \text{ g/cm}^3$, $w_L=75.6 \%$, $I_p=39.3$)であり、環状供試体は内径6 cm, 外径10 cmおよび初期高さ2 cmである。実施したリングせん断試験は、正規圧密状態(圧密応力 $\sigma_c=196 \text{ kPa}$)の供試体を、所定の応力状態まで定圧せん断(垂直応力 $\sigma_N=196 \text{ kPa}$)し、直ちにその時点から $\sigma_N=0.98 \text{ kPa/min.}$ ($0.01 \text{ kgf/cm}^2/\text{min.}$)の変化速度で単調に減少させたものである。試験では、すべり面に作用する間隙水圧の増加を垂直応力の減少と等価である⁴⁾と仮定している。 σ_N の減少開始点は、図-1のせん断応力 τ ～せん断変位角 θ 関係(模式図)において、せん断破壊時($\tau=\tau_p$, τ_p :最大せん断応力)のB点, その前後のA点とC点, および残留状態($\tau=\tau_r$, τ_r :残留強度)のD点である。表-1に示したのは試験ケースであり、 τ_i および σ_{Ni} はそれぞれ垂直応力の減少開始時のせん断応力および垂直応力の値である。

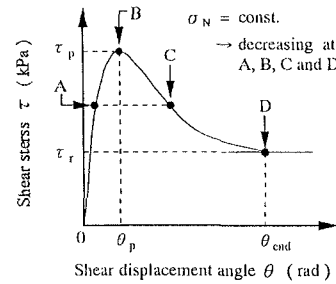


図-1 $\tau \sim \theta$ 関係(模式図)

表-1 試験 ケース

Test No. (Symbol)	Stress state at decreasing normal stress		
	τ_i (kPa)	σ_{Ni} (kPa)	Data point
1 (○)	51.6	196	A
2 (△)	67.8	196	B
3 (□)	51.2	196	C
4 (◇)	43.0	196	D

ある。いずれの試験ケースにおいても、せん断はせん断変位角速度 $\dot{\theta}=0.0025 \text{ rad/min.}$ (0.10 mm/min.)でせん断変位角 $\theta=10 \text{ rad}$ (40 cm)まで行った。なお、上下部リングの隙間(0.10 mm)の設定時および定圧せん断過程では、リング周面摩擦力を考慮して、すべり面の平均的な垂直応力が一定になるように垂直力を随時調整した。

3. 試験結果と考察 (1) せん断応力, 鉛直変位およびせん断変位角 図-2(a)および(b)にせん断応力 τ ～せん断変位角 θ 関係

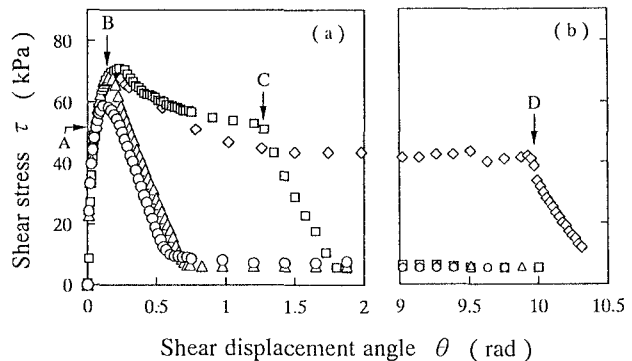


図-2 $\tau \sim \theta$ 関係

粘土, 地すべり, 残留強度, 直接型せん断試験, リングせん断試験

〒380 長野市若里500 TEL 026-226-4101 ext.5529 FAX 026-223-4480

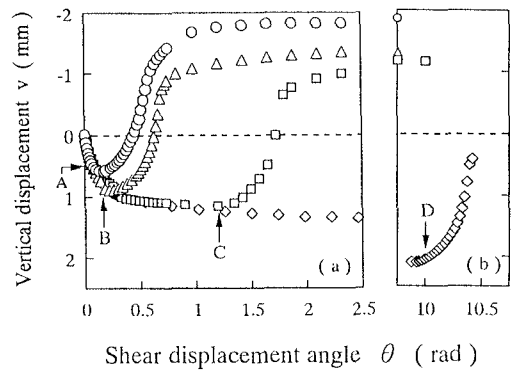
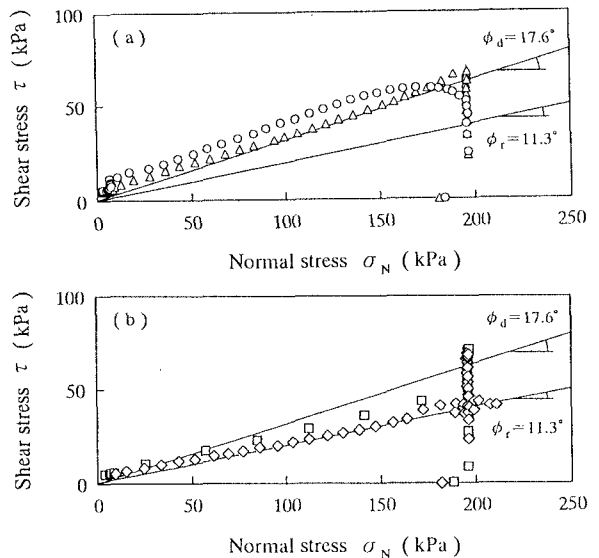
を示す. 図-2(a)のTest No.1(記号:○)では, 図-1の τ_p 前のA点($\theta=0.06$ rad)から $\sigma_N (=196\text{ kPa})$ を減少させており, τ は $\theta=0.11\text{ rad} (\sigma_N=177.7\text{ kPa})$ のときに見掛け上最大値を示した後, 漸次減少している. Test No.3(記号:□)では, τ_p 後のC点($\theta=1.28$ rad)から σ_N を減少させている. τ は σ_N の減少に伴って単調に減少している. A点とC点の応力(τ_i および σ_{Ni})は等しい(表-1)が, 定圧せん断過程($\sigma_N=196\text{ kPa}$)において最大せん断応力を発揮したかという点でせん断履歴は異なる. 図-2(a)のTest No.2(記号:△)では, τ_p 時のB点($\theta_p=0.18$ rad)から σ_N を減少させており, τ はそれに伴って単調に減少している. しかし, σ_N がほぼゼロとなっても, τ はゼロとはならない. このことは他の試験ケースでも同様である. 図-2(b)(記号:◇)には, τ_r 時のD点($\theta_{end}=10$ rad)から σ_N を減少させたときのものを示している. 図-3(a)および(b)にこのときの鉛直変位 v ～せん断変位角 θ 関係を示す. v は, 定圧せん断過程では負のダイレイタンスーを示しているが, σ_N の減少過程では膨潤している. 膨潤量は σ_N の減少開始時の応力によらずほぼ等しい.

(2) 応力経路および強度線 図-4(a)および(b)に σ_N の減少過程における $\tau \sim \sigma_N$ 関係を示す. 図-4(a)の σ_N の減少開始点がA点である場合の応力経路(記号:○)は, 正規圧密粘土の破壊強度線($c_d=0\text{ kPa}, \phi_d=17.6^\circ$)の上方に逸脱している. この理由に, 垂直応力の減少に伴う過圧密化によって

供試体の破壊時の応力状態が過圧密粘土の破壊強度線上に達することが考えられる. B点の場合の応力経路(記号:△)は σ_N の減少に対して破壊強度線上を辿っている. これらより, せん断破壊以前の応力状態は, せん断と垂直応力変化の同時進行に伴って, 正規圧密粘土の破壊強度線を一旦越えるように変化するものと推測される. 他方, 図-4(b)のD点の応力経路(記号:◇)は σ_N の減少に対して残留強度線($c_r=0\text{ kPa}, \phi_r=11.3^\circ$)上を辿って減少している. すなわち, 残留状態以降の応力状態は残留強度線と垂直応力によって一義的に規定される^{2), 3)}. C点の応力経路(記号:□)は, σ_N の減少開始時には図-2(a)に示したように残留状態に達していないが, σ_N が減少するにつれて残留強度線上を辿って減少するようになる. このことから, せん断破壊以降の応力状態は, せん断と垂直応力変化の同時進行に伴って, 残留強度線に漸近するように変化するものと考えられる.

4. まとめ 今回得られた試験結果を吟味すると, せん断と垂直応力の変化が同時に進行するとき, 体積変化はダイレイタンスーと圧密(膨潤)を含む複雑な挙動を示すが, 応力状態はせん断破壊時を境に破壊強度線あるいは残留強度線に従って変化する. これより, この強度線がその挙動を規定する特性線になることが示唆される.

【参考文献】 1) 矢田部ら: 地すべり, Vol.26, No.4, pp.3~9, 1990. 2) 鈴木ら: 第31回地盤工学研究発表会, pp.867~868, 1996. 3) 鈴木ら: 平成8年度土木学会中部支部研究発表会, pp.479~480, 1997. 4) 小川ら: 第16回土質工学研究発表会, pp.365~368, 1981.


 図-3 $v \sim \theta$ 関係

 図-4 $\tau \sim \sigma_N$ 関係