

Ⅲ-A54

垂直応力変化による土の破壊から残留状態に至るまでのリングせん断挙動

信州大学大学院 学 鈴木素之 (現 山口大学工学部)

信州大学工学部 正 梅崎健夫 正 川上 浩

山口大学工学部 正 山本哲朗

1. はじめに 地すべりの多くは豪雨や融雪時に発生していることから、自然斜面の破壊機構は一定のせん断応力が作用した下での間隙水圧の増加に伴うすべり面上の有効垂直応力の減少によるものと考えられる。このような間隙水圧の増加による土の破壊現象を実験的に調べた研究のうち、そのほとんどがせん断破壊するまでの過程を扱ったものであり¹⁾、これに引き続く残留状態に至るまでの過程を扱ったものは少ない²⁾。本文では、せん断応力を一定に制御したリングせん断試験により、間隙水圧の増加と等価とみた垂直応力の減少による土のせん断破壊と、その後の残留状態に至るまでのせん断挙動について考察した。

2. 地下水位上昇時のすべり面の応力状態 図-1 に雨水や融雪水の浸透によって地下水位が上昇する場合のすべり面の応力状態を模式的に示す。すべり面には上載している土塊の重量による初期せん断応力 τ_i と初期垂直応力 σ_{Ni} および初期間隙水圧 u_i が作用している。我が国の粘性土斜面では深さ 30 cm 以上まで含水比が低下するほど乾燥することはまれであり、降雨前後で土の単位体積重量はほとんど変わらないことから³⁾、実際には地下水位の上昇に伴うせん断応力増分および垂直応力増分はともにゼロとみなすことができる。図-2 にせん断応力が一定のまま間隙水圧が変化する場合の応力経路を模式的に示す。すべり面の全応力表示の応力状態はその傾斜角 β と土塊の重量によって図中の点 A (有効応力表示では点 A') のように定まる。土は、間隙水圧の増加 Δu によって有効垂直応力が減少し、破壊線上の点 B に達して破壊する。

3. 間隙水圧変化を模擬したリングせん断試験

リングせん断試験では、その構造上の理由により排水条件を厳密に設定できないので、供試体の間隙水圧を制御することは難しい。小川ら⁴⁾は、図-3 に示すリングせん断試験の供試体内部の状態において、(a) の間隙水圧 u の変化量 Δu と (b) の (Δu に等しい分の) 垂直応力 σ_N の変化量 $\Delta \sigma_N$ を力学的に等価と仮定することにより、地下水位上昇時

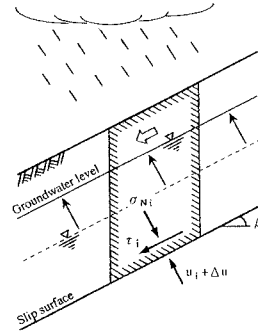


図-1 地下水位上昇時のすべり面の応力状態 (模式図)

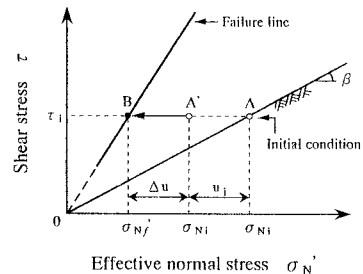


図-2 間隙水圧が増加する場合のすべり面の応力経路 (模式図)

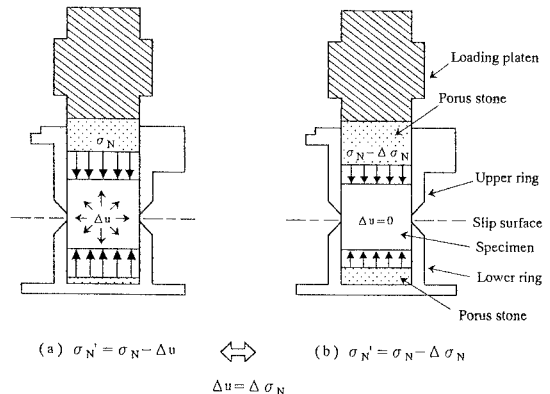


図-3 リングせん断試験の間隙水圧と垂直応力 (模式図)

地すべり、間隙水圧、リングせん断試験、垂直応力、残留強度

〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557 TEL:0836-35-9111 ext. 8318 FAX:0836-35-9429

のすべり面の応力状態を模擬的に再現した。ただし、 σ_N の変化速度 $\dot{\sigma}_N$ が過大な場合、供試体内部に正または負の過剰間隙水圧が発生し、上記の仮定は成立しない。図-4 にせん断応力を一定に制御したリングせん断試験の方法を模式的に示す。この試験では、(a)の点Aの初期せん断応力 τ_i を一定に保つように、(b)の σ_N を点A'の初期垂直応力 σ_{Ni} から τ_i を一定に保ちうる下限値 σ_{Nf} まで単調に減少させている。ここでの $\Delta\sigma_N$ は、 σ_N の変化量($\Delta\sigma_N = \sigma_{Ni} - \sigma_{Nf}$)であり、2.で前述した Δu と等価とみている。その後、定圧条件でせん断変位角 10 rad (せん断変位 40 cm) までせん断した。表-1 に供試体の初期状態(湿潤密度 ρ_t 、含水比 w_0)と試験条件(圧密応力 σ_c 、垂直応力 σ_N 、過圧密比 $OCR = (\sigma_c / \sigma_N)$ 、せん断変位角速度 $\dot{\theta}$)を示す。なお、試料はカオリン($\rho_s = 2.724 \text{ g/cm}^3$, $w_L = 75.6\%$, $I_p = 39.3$)である。

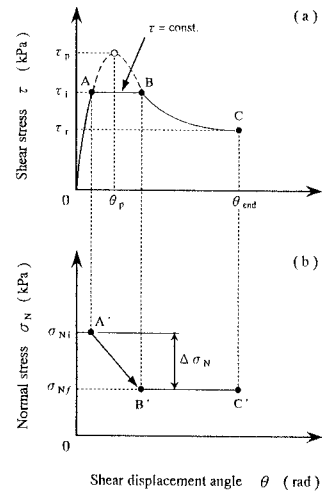


図-4 初期せん断応力を一定に制御する試験の方法(模式図)

4. 応力径路・破壊強度線および残留強度線 図-5 に上記の試験(Test No.1 および 2)の応力径路を示す。定圧せん断状態で初期応力状態(σ_{Ni} , τ_i)に達した時点から、せん断応力を一定に保つように垂直応力を減少させた過程が示されている。図中には、せん断応力最大時および残留状態における見掛けの内部摩擦角および粘着力がそれぞれ $\phi_d = 17.6^\circ$, $c_d = 0 \text{ kPa}$ の破壊強度線および $\phi_r = 11.3^\circ$, $c_r = 0 \text{ kPa}$ の残留強度線が示されており、ともに正規圧密状態のカオリンに対して別途定めたものである。

表-1 供試体の初期状態と試験条件

Test No.	ρ_t (g/cm ³)	w_0 (%)	σ_c (kPa)	σ_N (kPa)	OCR	$\dot{\theta}$ (rad/min.)	τ_i (kPa)	σ_{Ni} (kPa)	σ_{Nf} (kPa)	$\Delta\sigma_N^*$ (kPa)	Symbol
1	1.660	63.7	196	196	1.0	0.0025	51.5	196	129.1	66.9	○
2	1.706	56.0	392	392	1.0	0.0025	103.2	392	309.6	82.4	△

* : $\Delta\sigma_N = \sigma_{Ni} - \sigma_{Nf}$

最終的な応力状態(σ_{Nf} , τ_r)は、いずれも初期応力状態に依らず垂直応力の減少に対して破壊強度線上に達しており、この実験結果は久貝ら⁵⁾の指摘と一致している。その後の応力径路は、垂直応力が一定の下、せん断変位の増加に伴って残留強度線上に達する。実際の斜面では、地質条件や土質条件などにより間隙水圧の高いレベルがある期間継続するものと考えられる。これらのことから、間隙水圧の増加によってせん断破壊した土は、破壊時の垂直応力の下でせん断ひずみが累積することにより、残留状態に達するものと説明される。

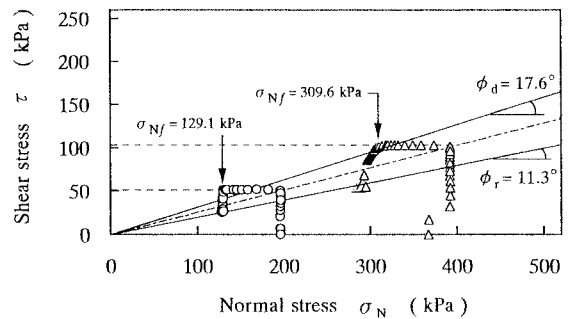


図-5 応力径路と破壊および残留強度線

5. まとめ 得られた知見をまとめると、①せん断応力が一定の下での応力径路は、初期応力状態に依らず、垂直応力の減少に対して正規圧密状態の破壊強度線上に達する。そして、②せん断破壊後の応力径路は、垂直応力が一定の下で、せん断変位の増加にしたがって残留強度線上に達する。

[参考文献] 1) たとえば Katagiri et al.: S&F, Vol. 36, No. 3, pp. 1~12, 1996. 2) 鈴木ら: 第 32 回地盤工学研究発表会, pp. 571~572, 1997. 3) 川上: 土と基礎, Vol. 35, No. 11, pp. 3~8, 1987. 4) 小川ら: 第 20 回土質工学研究発表会, pp. 1439~1440, 1985. 5) 久貝ら: 平成 6 年度土木学会中部支部, pp. 323~324, 1995.