

間隙水圧変化を受ける粘土の三軸スライスせん断挙動

信州大学大学院 学 鈴木素之

信州大学工学部 正 梅崎健夫 正 川上 浩

信州大学工学部 学○山上友也

1. はじめに

地すべり地におけるすべり面の粘土は、せん断破壊後の大変形によって残留状態に達した後においても、地下水位の変動に伴って間隙水圧の変化を受ける。著者ら¹⁾は、残留状態において垂直応力を変化させるリングせん断試験を実施した結果、残留状態に達したせん断応力は、垂直応力の変化に対して、残留強度線上を辿って変化することを明らかにしている。本文は、粘土供試体の間隙水圧を直接増加させる三軸スライスせん断試験により、残留状態以降における有効応力の变化に伴うせん断挙動について考察したものである。

2. 三軸スライスせん断試験^{2), 3)}

試料には、カオリン($\rho_s=2.724 \text{ g/cm}^3$, $w_L=75.6 \%$, $I_p=39.3$)を用いた。供試体には、直径5 cmの円柱供試体から45°方向に厚さ1 cmに切り出したスライス片を用いた。二重負圧法および背圧(B.P.)の载荷により供試体の飽和化をはかり、その他の試験手順は三軸圧縮試験(CU)とほぼ同様である。軸圧縮力(P)、鉛直変位(s_v)、水平変位(s_H)および間隙水圧(u)を測定した。スライス上面に作用するせん断応力(τ_a)および垂直応力(σ_a)はそれぞれ $\tau_a=P \sin 45^\circ/A_c$ および $\sigma_a=(P \cos 45^\circ/A_c)+\sigma_3$ (A_c :圧密後の供試体断面積, σ_3 :等方応力)により算定した。

試験は、ひずみ速度0.1%/min.で非排水せん断して、残留状態に達した後、間隙水圧をさらに増加させたものである。間隙水圧の载荷は、まず非排水せん断で発生した過剰間隙水圧に等しい水圧(u_L)を、排水状態において二重管ビューレットを介して供試体上面より加えた後、 u_L を所定の速度($\dot{u}_L=1.96 \text{ kPa/min.}$)で増加させたものである。このとき、供試体下面の中心での間隙水圧(u_M)を、間隙水圧の増加に伴う間隙水の変化量(ΔV)を測定した。供試体の間隙水圧は $u=(2u_L+u_M)/3$ により、体積ひずみは $\varepsilon_v=\Delta V/V_0$ (V_0 :間隙水圧の载荷前の供試体の体積)により算出した。

3. 試験結果と考察

(1) せん断応力、間隙水圧、体積ひずみ～せん断ひずみ関係 図-1(a)～(c)は、せん断応力(τ_a)、過剰間隙水圧(Δu)、体積ひずみ(ε_v)～最大せん断ひずみ(γ_{max})関係を示したものである。図-1(a)の

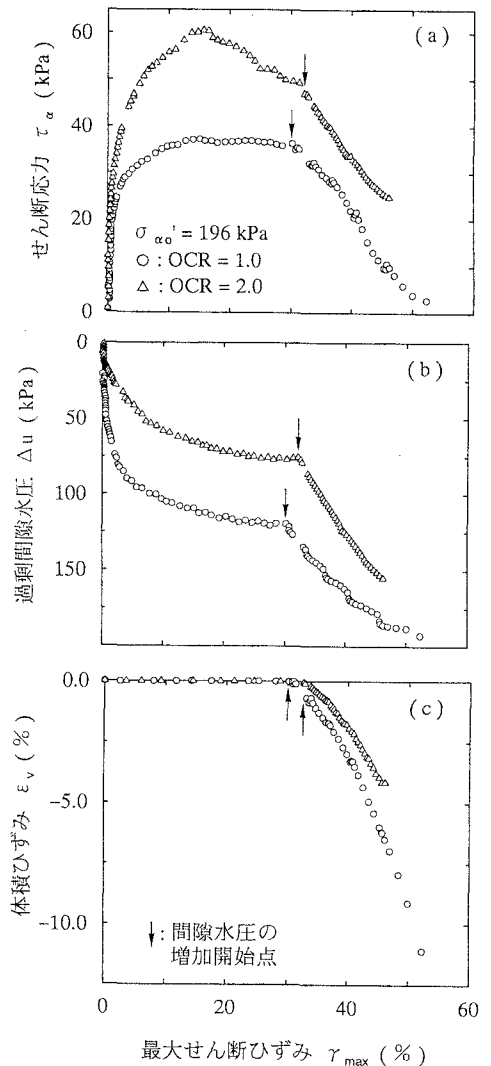


図-1 $\tau_a \sim \Delta u \sim \varepsilon_v \sim \gamma_{max}$ 関係

$\tau_a \sim \gamma_{max} (= (S_H / (H_c \cos 45^\circ)) \times 100, H_c: \text{圧密後の供試体厚さ})$ 関係において、初期有効垂直応力 $\sigma_{\alpha 0}' = 196 \text{ kPa}$ の正規圧密粘土(図中の記号: ○)の場合には、 τ_a は、せん断初期から単調に増加して $\gamma_{max} = 30\%$ において残留状態(せん断応力が一定)に達している。この点を間隙水圧の増加開始点として、図-1(b)の $\Delta u \sim \gamma_{max}$ 関係のように、 u_L を単調に増加させた。 τ_a は Δu の増加に伴って減少している。一方、過圧密粘土(図中の記号: △)の場合においては、 τ_a は、最大せん断応力に達した後、漸次減少して、 $\gamma_{max} = 30\%$ において残留状態に達している。また、図-1(b)より、 τ_a は Δu の増加に伴って減少している。 Δu の挙動は、図-1(b)に示すように正規圧密および過圧密状態によって異なるが、ともに $\gamma_{max} = 30\%$ において一定になっている。図-1(c)の $\varepsilon_v \sim \gamma_{max}$ 関係においては、体積ひずみは Δu の増加に伴って減少しており、 Δu の増加量が大きいほど、供試体の膨潤量は大きくなる。

図-2は、間隙水圧の単調増加過程における u_L と u_M の関係を示したものである。実測値は概ね $u_L = u_M$ 線の付近にあることから、 $\dot{u}_L = 1.96 \text{ kPa/min.}$ の場合、供試体内の間隙水圧分布はほぼ一様に保たれている。

(2) 間隙水圧の単調増加過程における応力経路

図-3は、 τ_a と有効垂直応力 ($\sigma_{\alpha}' = \sigma_{\alpha} - \Delta u$) の関係を示したものである。非排水せん断過程における有効応力経路は、正規圧密および過圧密の状態によらず、 $\gamma_{max} = 30\%$ において破壊包絡線上に収れんしている。したがって、この破壊包絡線は残留強度線に相当するものと考え、この残留強度線は、内部摩擦角および見掛けの粘着力がそれぞれ $\phi_s = 17.2^\circ$ および $c_s = 0 \text{ kPa}$ の直線で表されるが、リングせん断試験により得られたもの ($\phi_r = 11.3^\circ, c_r = 0 \text{ kPa}$) とは異なる。間隙水圧の単調増加過程における有効応力経路は、正規圧密および過圧密の状態によらず、 σ_{α}' の減少に対して、残留強度線 (ϕ_s 線) 上を辿って減少している。この挙動は、1. で述べたリングせん断試験において得られた実験結果と一致している。

4. まとめ 得られた知見をまとめると、以下のようである。

① 三軸スライスせん断試験においては、せん断ひずみを比較的大きく与えることができるので、残留強度線を得ることができる。さらに、間隙水圧の単調増加過程においては、供試体内の間隙水圧分布をほぼ一様に保つことができる。② 残留状態に達した後の間隙水圧の変化に対して、せん断応力は残留強度線上を辿って変化する。このことは、先に報告したリングせん断挙動¹⁾と一致する。

【参考文献】

- 1) 鈴木素之ら：第31回地盤工学研究発表会，pp.867～868，1995。
- 2) 柴田 徹ら：土と基礎，Vol.16，No.1，pp.3～9，1968。
- 3) 久貝壽之ら：土木学会中部支部平成6年度研究発表会，pp.323～324，1995。

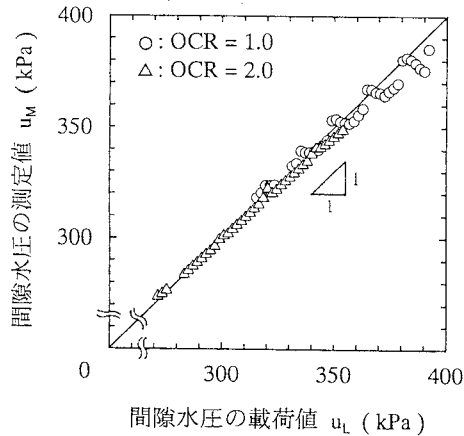


図-2 $u_M \sim u_L$ 関係

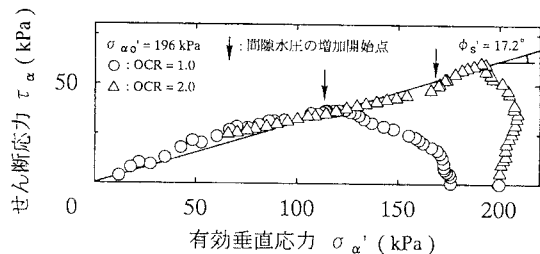


図-3 $\tau_a \sim \sigma_{\alpha}'$ 関係