

III-53 ベーンせん断試験による軟弱粘土の強度および流動特性について

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄

同 正員 〇松井 保

同 大学院 学生員 阿倍 信晴

(1) まえがき

斜面のフリープ、軟弱地盤上の盛土による側方流動などの塑性流動問題を取扱う際に、土はせん断変形中定常的に流動し、かつその特性として式(1)の関係を満足すると仮定されることが多い¹⁾。

$$\tau = \tau_y + \mu_p \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

ここに、 τ はせん断強度、 τ_y は降伏値、 μ_p は塑性粘度、 $\dot{\gamma}$ はせん断ひずみ速度である。この関係は現在まで十分実証されているとはいえず、厳密にはすべての場合に成立するとは限らないが、応力レベル²⁾、土質条件等に制限を設けた場合に近似的に成立することは考えられ、工学的な意義を有すると思われる。そこで、粘性の効果が大きいと考えられる軟弱粘土についてひずみ制御型のベーンせん断試験を行ない、定常流動の生ずる状態および流動特性について考察したので、その結果を報告する。

(2) 実験装置および方法

実験に用いたベーンせん断試験機は試料置台が回転する型式のもので、モータ・変速機およびギアの組合せにより $1.5 \text{ deg/sec} \sim 0.002 \text{ deg/sec}$ の範囲の回転角速度が得られる。またベーン回転軸に固定されたアームとリゲージ(容量 1 kg)によりトルクの最大値が約 $24 \text{ kg-cm} \sim 4 \text{ kg-cm}$ の範囲に変えることができ、ビジュグラフにより連続的に記録される。ベーン寸法は $D \times H = 20 \times 40 \text{ mm}$ のものを使用した。用いた試料は粘土 13% 、シルト 54% 、砂 33% のシルト質ロームで、 $L_L = 57.2\%$ 、 $P.L. = 27.3\%$ 、 $P.I. = 27.9\%$ 、土粒子の比重 $G_s = 2.68$ である。含水比約 53% 、 74% および 67% の練り返し試料および含水比約 71% の圧密試料を径 8 cm 、高さ 10 cm のサンプラーに入れ、それぞれ数種の一定回転角速度でベーンせん断試験を行った。なお実験は 20°C の恒温室で行なった。

(3) 実験結果および考察

実験で得られたトルク M より、 Coulomb's law ³⁾ 式(2)を用いて、円筒側面に作用するせん断応力 τ を求める。

$$\tau = M / \pi D^2 (H/2 + D/6) \quad (2)$$

ここで、ベーン上下端面のせん断応力分布は矩形分布とし、円筒側面および上下端面に作用するせん断力はほぼ等しいと考⁴⁾

えている。実験結果の典型的な例として、角速度約 0.11 deg/sec のせん断応力 τ と回転角 θ の関係を図-1に示す。 $\tau \sim \theta$ 曲線は大別して2種の挙動を示

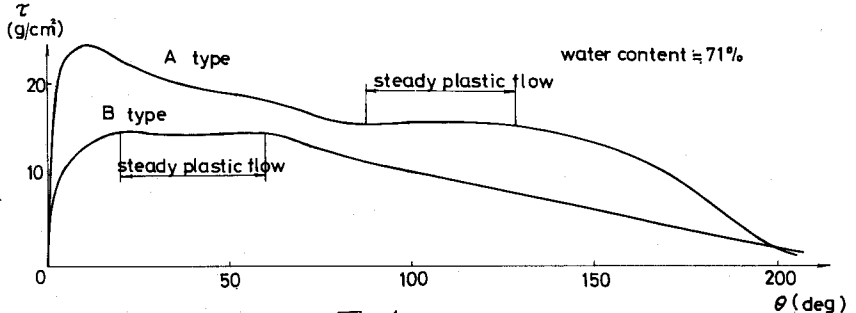


図-1

すと考えられ、これらをA型およびB型と呼ぶ。A型はおもに圧密試料にみられ、せん断開始後にピークが現われる。その後 τ が減少するが、 τ がほぼ一定と認められる区間が続く。B型はおもに練り返し試料にみられ、A型とは異なり τ に顕著なピークが現われず、 τ がほぼ一定と認められる区間が持続する。その後、A型、B型とも τ は次第に減少し、最終的に残留応力に近づくものと推測される。したがって、定常流動が生じる状態は、A型では τ のピーク後に生じ、回転角が相当進んでいる。B型では τ の最大値付近で生じ、回転角はA型より少ない。また実験は行っていないが残留応力があらわれる状態においても定常流動が生じることが考えられる。

A型のピーク時およびA、B型の定常流動時のそれぞれの τ と回転角速度 ω の関係をプロットすると図-2のようになる。B型の定常流動時においては、 ω が小になるにつれて τ も小になり、角速度のせん断応力への影響すなわち粘性の効果が顕著にみられている。一方A型では、データが少ないので断定はできないが、ピーク時および定常流動時とも ω が小さくなると τ も小さくなるが、 $\omega = 0.005 \text{ deg/sec}$ では τ がやや増加する傾向を示し、必ずしも角速度の影響だけではないと考えられ、とくに ω が小さいときにはせん断による圧密の効果が比較の顕著になるのではないかと思われる。

以上の結果のうち、ここではおもに粘性の効果があらわれていると考えられるB型の定常流動状態のみに着目して、その流動特性について考察する。ベーンが円筒面で回転し、その周辺が定常流動状態であれば式(1)が成立すると仮定すると、次式が導かれる。

$$\omega = \frac{1}{2\mu_p} \left\{ (\tau_v - \tau_y) - \tau_y \cdot \ln \frac{\tau_v}{\tau_y} \right\} \quad (3)$$

ここに、 τ_v はベーン円筒側面のせん断応力である。図-2に示された練り返し試料の結果に式(3)を適用し、最小自乗法により τ_y 、 μ_p を求めると図-3のようになる。この図より τ_y 、 μ_p ともに含水比が増加するに連れて指数関数的に減少する傾向をもち、この結果はパイプフロー試験の結果⁴⁾とも一致している。

これらの値を式(3)に代入して求めた $\tau \sim \omega$ 曲線を図-2の破線で示す。これらの曲線がそれぞれ各プロットとほぼ一致していることから式(1)が近似的に成立することが分かる。

参考文献

- 1) Stroganov, "Visco-Plastic Flow of Soil" Proc. 5th I.C.S.M.F.E. 1961
伊藤松井・三藤「軟弱地盤の流動に関する考察」第23回工学会講演概要、1968
B.C. Yen "Stability of Slopes Undergoing Creep Deformation" ASCE, 94, 1969
- 2) E. Jenze, T.K. Tan "The Mechanical Behaviour of Clays" Proc. 2nd I.C.R. 1963
- 3) G. Gulling, S. Odumstad "The Vane Borer" Proc. No. 2 of R.S.G.L. 1950
- 4) 伊藤・松井・古坂「パイプフローによる軟弱粘土の流動特性」第23回工学会講演概要、1968

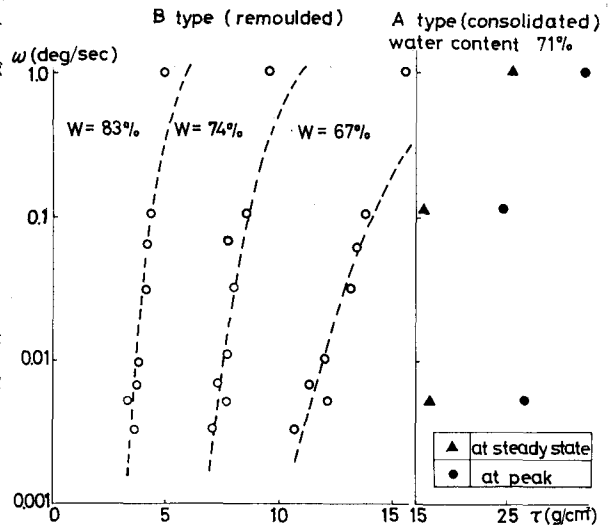


図-2

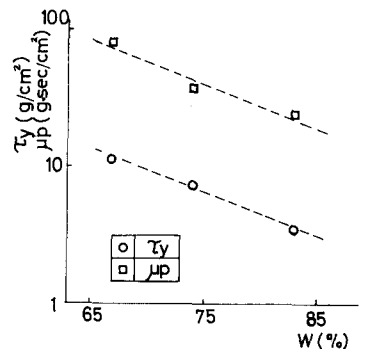


図-3