

III-17 粘土の三軸スライスせん断試験について

京都大学工学部 正員・柴田 徹
京都大学大学院 学生員 星野 満

現在、土の応力と変形あるいは強度を調べるために、多くの場合、三軸試験や一面せん断試験が行われてゐる。しかしこれらの試験では供試体中の応力や変形が一樣でないために、例えば simple-shear 等の試験機が開発研究されつつある。ここに述べる三軸 slice 試験機は、三軸 cell 中で試験される供試体に uniform strain condition を与えること、およびせん断面に発生する間隙水压を正確に把握することを主目的として、Norwegian Geotechnical Institute において5年程前に開発されたもので、供試体の厚さが1cm程度の薄い楕円板状であるところから、その名前がつけられている。この試験機を用いて、繰返し再圧密した粘土試料の強度や変形の問題を調べた結果を以下に中間報告するが、使用した試験機は N.G.I. で試作された1台を、共同研究用として借用し若干の改良を加えたものであることを予めお断わりしておく。

1. 試験機の概略

三軸 slice せん断試験機の概略は図-1に示すようであつて、直径約5cmの円柱を45度面を斜めに切断した楕円板状の供試体に、上下の porous stone を介して垂直応力とせん断応力を載荷できるように工夫されている。すなわち通常の三軸圧縮試験と同様の操作で鉛直方向に載荷すると、上部 cap が鉛直・水平の2方向に移動して(下部 cap は固定)後述の図-3中に示したようなせん断変形が与えられる。この時の鉛直と水平変位を dial gauge より、また porous-stone を通じて間隙水压をそれぞれ測定する。供試体の厚さは13mmで透水距離が短いので、せん断面近傍の間隙水压はほぼ正確に測定できると考えられる。なおせん断に先立つて三軸 cell 中で圧密する際には、上部 cap の水平移動が生じないように clamp され、圧密が完了すると図-1中の screw driver を cell 外部から操作して clamp をはずし、上部 cap が水平可動の状態とする。写真-1は供試体の成形過程を、写真-2は等方圧密過程を示しており、いずれも供試体が黒い帯状に見える。

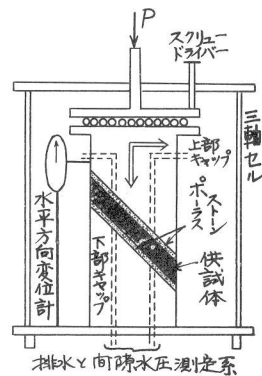


図-1

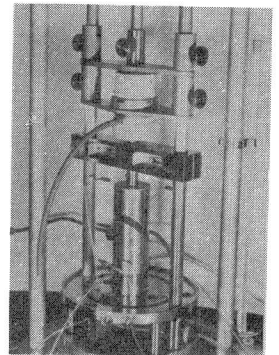


写真-1

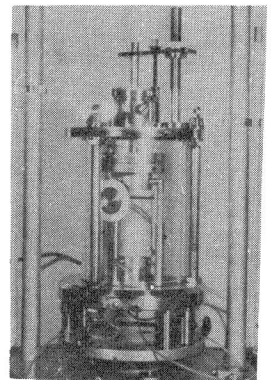


写真-2

2. 試料と試験法

使用した試料はその物性を表-1に示すような2種類の粘性土である。試料A (Kaolin) では含水比40% (液性指数28%) に調整して繰返しものを直径

表-1

試料	粘土分%	LL %	PL %	PI %	G _s	活性度
A	38	47.5	37.2	10.3	2.70	0.54
B	32	36.0	25.6	10.4	2.74	0.45

約5cmのmould内で突き固めたのち、slice試験用に成形した。また試料BではLL以上の含水比で繰返したのち、試料作成用大型ring中で圧密し、0.5kg/cm²で圧密が終了したものをパラフィンで包んで約1カ月間、恒温室内で養生したものを試験に用いた。

slice試験の方法はすべて圧密非排水状態で、定変位および定荷重式のせん断を行なったほか、6.で述べるせん断クリープ試験も実施した。鉛直方向の変位速さは1.7mm/hrとし、試料並に間隙水圧測定系を飽和させるために、すべて2.0kg/cm²のback pressureを加えた。またslice試験と他の試験結果を比較するために、通常の三軸圧縮および一面せん断試験を行なった。

図-2は異方圧密による体積変化と圧密圧力の関係を示すもので、図には体積ひずみ $\Delta V/V_0$ と鉛直方向ひずみ E_v の実測値および $\Delta V/V_0 = 3 \cdot E_v$ と仮定して計算で求めた曲線が併記してある。これによれば $\Delta V/V_0$ の実測値は $3 \cdot E_v$ 曲線よりも上側にplotされ、供試体の端面拘束の影響があらわれているものと考えられる。試みに $\Delta V/V_0$ と E_v から側方ひずみ E_h を推算してみると $E_h \approx 0.7 \cdot E_v$ となる。

次にこの試験機によるせん断中の鉛直変位 δ_v と上部cap（すなわち供試体上面）の水平変位 δ_h の推移は図-3のようになって、せん断初期の δ_h が δ_v に較べて小さい部分を除けば、広範囲にわたって δ_v/δ_h 比は一定となる。しかもこの関係は試料、圧密圧力、応力履歴のいかんにかかわらず、すべて図-3の曲線上にplotされた（装置の設計は図-3の δ_h が4mmまで可能である）。仮りにsimple shearが生じていると、 $\delta_h \sim \delta_v$ 曲線は45度線に沿はずであるが、実際にはいずれの場合も52度であった。この角度の差は、せん断に伴ない供試体の側方膨張によるものと考えられ、その値は試料径の2%以下と小さいが、なお理想的なせん断変形を生じさせるために、現在はslice供試体の設置角度を45度以上に変える試みがある。

3. 応力、ひずみ、間隙水圧

圧密非排水三軸slice試験によるせん断応力 τ 、有効垂直応力 σ'_v および τ/σ'_v 比をせん断ひずみ $\bar{\gamma}$ に対してplotした例が図-4(a)(b)(c)に示してある。ただし $\bar{\gamma}$ は2.で述べたような供試体の側方膨張量を考慮していないので、真の値とはいえないが、この報告ではせん断ひずみ量を表わす指標として用いている。

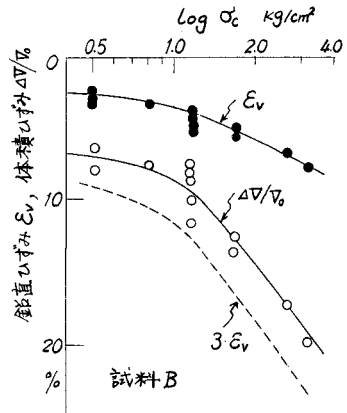


図-2

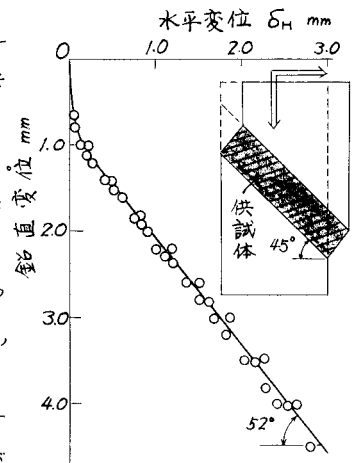


図-3

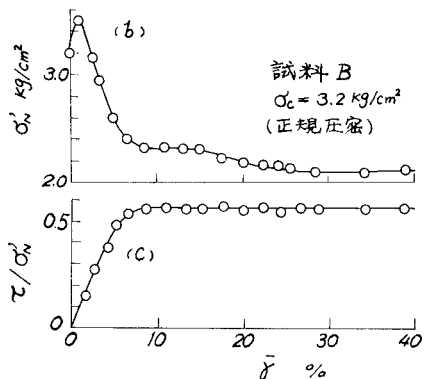


図-4

図-4 はひずみの進行に伴う τ/σ'_v の推移や、 $\tau/\sigma'_v (= \tan \phi')$ の mobilization を明瞭に読み取れるので、このような資料の集積は貴重である。また測定精度を低下せず供試体に変形を与えることは、例えば ring-shear のような特殊な装置を除いて困難とされているが、slice 試験機では図-4 よりわかるように τ の終局値まで求めるので、粘土の残留強度を調べるための試験にも利用できる。

図-5 は正規圧密粘土(試料B)について、圧密圧力 σ_c 、載荷方式(定変位と定荷重式)の異なる一連の slice 試験結果を τ/σ'_v と $u/\sigma_c \sim \bar{\gamma}$ の関係に

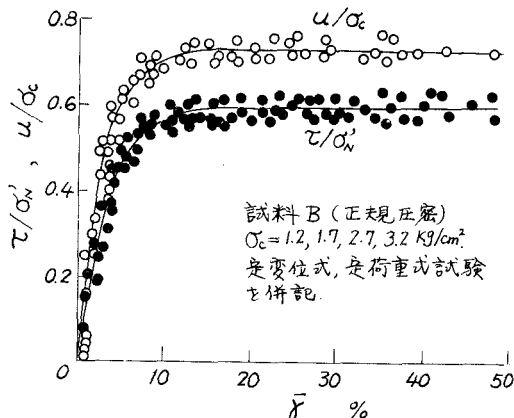


図-5

plot したものである。ただし u は間隙水圧。測定値に若干の幅のあることは避けられないが、圧密圧力と載荷方式の相異に拘らずそれぞれ単一の曲線上にのびとみられるので、従来数人の人達によって主張されているように、 $\gamma = f(\tau/\sigma'_v)$ および $u = g(\gamma)$ の関係が成立すると考えられる。ただし f, g はそれぞれ則数。なお曲線の形は異なるが、試料Aについても同様の結果がえられている。

4. Hvorslev の有効内部摩擦角

同一の粘土試料について三軸 slice と通常の三軸圧縮試験を行ない、それぞれの vector-curve を描いて気付くことは、前者では $(\tau/\sigma'_v)_{max}$ あるいは τ_{max} を過ぎてからの曲線に、かなり明瞭な直線部分が表われることである。通常の三軸試験でも過圧密比の高いものはこの現象がみられることがあるので、その直線部分を利用すれば Hvorslev の有効粘着力 C_e 、内部摩擦角 ϕ_e を求めると Simons が示唆したことがある。¹⁾ 粘土の強度を C_e と ϕ_e

に分離することへの異論や、 C_e は小さいひずみで消滅するという考えもあるが、図-6 に例示する τ_{max} 後の vector-curve の直線部分は $\tau = C_e + \sigma'_v \tan \phi_e$ を表わすものと仮定すれば、1供試体の slice 試験で C_e, ϕ_e が求められることになる。この方法で ϕ_e を求めると、試料A, B の正規、過圧密ともに $\phi_e \approx 30^\circ$ であった。この値は従来の $\phi_e \sim PI$ 関係より推定した値(乱さない粘土; 31° , 練返し粘土; 27°)と比較して妥当と思われる。

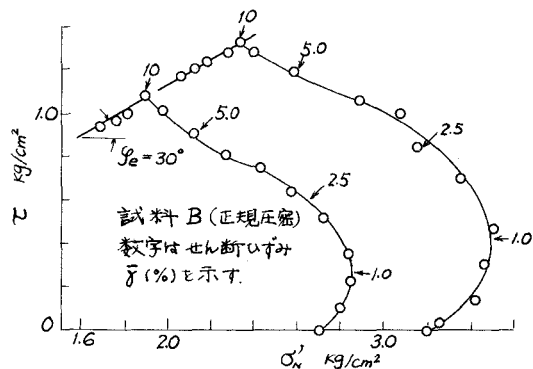


図-6

5. 他のせん断試験との比較

slice せん断と三軸圧縮および一面せん断試験と種々の英より比較しているが、ここではせん断強度 τ_f について述べる。図-7 は試料A, B に関する結果をまとめたものであり、試料Aでは τ_{max} があらわれないので、 $\tau_f \sim \sigma'_v$ 関係は $(\tau/\sigma'_v)_{max}$ 一線の包絡線として示してある。また一面せん断試験は同じ試料につき定体積方式で行われた村山・栗原の結果が²⁾引用してある。試料Bの一面せん断は非

(b)

三軸スライス (有効応力) (全応力)

三軸圧縮

一面せん断

$\tau_y = \sigma'_y$

$\tau_y = \sigma_c$

試料 B

図 - 7

図 - 8

● クリップ破壊を生じたもの。
○ 破壊を生じないもの。

破壊包絡線

試料 B

Z kg/cm^2

G_0 kg/cm^2

W - 9

17-4