

北大工学部 正員 ○三田地利之
 " " 北郷 繁
 " " 三浦 清一

1. まえがき 土質工学における安定解析の多くは平面ヒズミの問題であるが、平面ヒズミ条件下での粘性土の強度特性に関するデータは限られている。その中でも、圧密条件と原位置の条件にあわせた K_0 圧密とし、伸張状態で破壊に致めしめるような実験結果の報告例は極めて少ない。本研究は、 K_0 圧密後の飽和粘土供試体について平面ヒズミ圧縮・伸張および軸対称圧縮・伸張の4種の非排水三軸試験を行ない、変形条件の違いおよび主応力面の回転の有無が粘性土の強度特性にどのような影響をおよぼすかについて検討したものである。

2. 実験装置および方法 実験に用いた試料は液性限界53%、塑性指数20%のぬいた自然粘土で、これをスラリー状態から 0.7 kg/cm^2 の圧力で予圧密したのち $\phi 50 \times 120 \text{ mm}$ の円筒供試体および $50 \times 50 \times 120 \text{ mm}$ の同柱供試体を切り出し、それぞれ軸対称三軸および平面ヒズミ試験に供した。試験はいずれも K_0 圧密非排水試験で、軸対称三軸試験には通常の三軸試験機に K_0 圧密装置と付属させたものを用い、平面ヒズミ試験には図-1に示すような装置を用いた。この装置は、筆者らが平面ヒズミ圧縮試験用に試作した装置¹⁾の改良型であって、平面ヒズミ条件での伸張試験が可能なように設計したものである。

試験は以下に示す4種類であって、すべての試験について K_0 圧密終了時の鉛直応力を2, 4, 6 kg/cm^2 の3段階とした。 K_0 値は 0.50 ± 0.03 であった。

1) AS-C試験; 圧密終了後、側圧一定で軸応力を増して破壊に致めしめる。2) AS-E試験; 同じく側圧一定で軸応力を減じて破壊に致めしめる。3) PS-C試験; 平面ヒズミ条件で軸圧を増してせん断する。4) PS-E試験; 同じく軸圧を減ずることによって破壊に致めしめる。

以上、4種の試験のすべてについて 1 kg/cm^2 の initial back pressure をかけ、供試体下端で間接水圧を測定した。せん断時のヒズミ速度は1)~3)の試験については $0.05 \text{ \%}/\text{min}$ 、4)の試験については $0.01 \text{ \%}/\text{min}$ とした。

3. 実験結果および考察 強度係数等の実験値を表-1

に示した。 E_f および S_u/p は $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{max}}$ を破壊とした時の値で、 E_f 以下の数値は $(\tau_{\text{oct}}/\sigma_{\text{oct}})_{\text{max}}$ を破壊とした時のものである。また、I-C、I-E とあるのは等方圧密圧縮および伸張試験によるもの²⁾である。伸張試験における破壊時間間接水圧係数 A_f は $A_f = (1 - \Delta u/\Delta \sigma_z)$ で計算した。

圧密による非排水強度の増加率 S_u/p は等方圧密試料で圧縮と伸張の差が6%程度であるのに対し、 K_0 圧密試料では軸対称・平面ヒズミともに約30%の差を生じている。 K_0 圧密試料の場合、圧密中に最大主応力面に平行

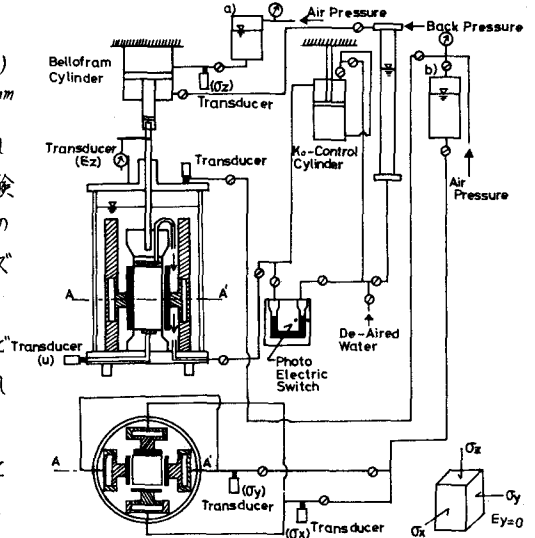


図-1 平面ヒズミ試験装置

	I-C	I-E	AS-C	AS-E	PS-C	PS-E
$E_f (\%)$	14.0	8.0	9.1	10.9	3.5	8.5
S_u/p	0.402	0.377	0.343	0.233	0.370	0.266
$\bar{E}_f (\%)$	13.4	8.1	9.0	10.4	8.1	5.8
$\phi (^\circ)$	34.7	46.9	32.5	42.4	41.2	56.7
A_f	0.88	1.16	1.50	0.97	1.37	0.92
$\tau_{\text{oct}}/\sigma_{\text{oct}}$	0.662	0.554	0.617	0.519	0.666	0.636

表-1 実験結果一覧

に粒子が配列するとされているが、このこととせん断中に主応力面の回転が生ずることの二つが原因となって強度の異質性がより強く現われるものと考えられる。有効せん断抵抗角 ϕ' は等方・ K_0 ともに伸張の方が圧縮よりも約 10° 大きい。これは等方圧縮試験料についての Broms³⁾、 K_0 圧縮試験料についての Ladd⁴⁾、Parry⁵⁾ および Vaid⁶⁾ の結果と一致している。

輕部⁷⁾は ϕ' が圧縮・伸張により必ず一定であるという仮定および Roscoe らの等間デキ比線の式を基礎とし、さらに2,3の仮定を設けて、 K_0 圧縮試験料の軸対称圧縮・伸張の非排水強度比を次式で表わした。

$$\frac{S_{UE}}{S_{UC}} = \frac{3}{3+M} \exp\left\{\frac{M}{1.75(3+M)} - \frac{3}{6-M}\right\} \dots (1) \quad (M; \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'})$$

Parry⁸⁾は同じく ϕ' 一定の仮定のもとに、軸対称の圧縮と伸張および軸対称圧縮と平面ヒズミの強度比を各々つぎのように与えた。

$$\frac{S_{UE}}{S_{UC}} = \frac{3 - \sin \phi'}{3 + \sin \phi'} \dots (2) \quad \frac{S_{UP}}{S_{UC}} = \frac{3 - \sin \phi'}{2(1+m)} \dots (3) \quad (m; \frac{\sigma_y}{\sigma_x + \sigma_z})$$

(1)式と(2)式の相違は破壊時の有効平均主応力に関する仮定の違いによるものであって、Parryは圧縮・伸張にかかわらず平均主応力一定と仮定している。図-2は(1)~(3)式による強度比と ϕ' の関係曲線および K_0 圧縮軸対称圧縮の強度比1.0としたときの実測値による強度比を示したものである。なお、前述のように実測の ϕ' は圧縮と伸張で大きく異なっているが、強度比はすべて圧縮による ϕ' の線上にプロットしてある。理論曲線と実測値との一致度が必ずしもよくないのは、 ϕ' 一定の仮定と破壊時の有効応力に関する仮定とが同時に満足されないことによる。(2),(3)式とは別に、Parry⁹⁾は Mohr-Coulomb 規準に中間主応力の影響を評価する項を導入した新

い破壊規準を提案し、圧縮試験による ϕ' から伸張時の ϕ' を推定する手法を示している。ここでも、破壊時の有効平均主応力が圧縮・伸張により必ず一定と仮定されているので、実測値との対応はあまりよくない²⁾。本実験の場合、別報¹⁰⁾に示したように八面体せん断応力と垂直応力の比(τ_{oct}/σ_{oct})の最大値はAS-C, PS-C, PS-Eではほとんど一致している。そこで、 ϕ' と τ_{oct}/σ_{oct} および $m (= \sigma_y / (\sigma_x + \sigma_z))$ の関係を導くと次式を得る。

$$\sin \phi' = \sqrt{2N^2(1+m)^2 - (2m-1)^2} / \sqrt{3} \quad (N; \tau_{oct}/\sigma_{oct}) \dots (4)$$

図-3は N をパラメータとして ϕ' と m の関係曲線および実測値をプロットしたものである。Vaid⁶⁾は古典的破壊規準のいずれもが実験値うまく説明出来ないとしているが、本実験の結果はAS-E以外で拡張 von Mises 規準に適合し、AS-Eでは von Mises と Mohr-Coulomb の中間となっている。したがって破壊規準としては、 $\sigma_1 = \sigma_2$ の時に Mohr-Coulomb に近くなるように von Mises 規準を修正した形のものとなろう。この点に関しては、 m の値を任意に変化させた試験を行なって検討して行きたいと考えている。

〔あとがき〕本研究における実験およびデータ整理に関しては、本学卒業生 佐藤・橋岡君および工藤技官に負うところが大きい。また、本研究には文部省科学研究費(一般-C)の補助を受けたことと付記し、謝意を表する。

(1) 北郷・三浦・三浦;土木学会第28回年次講演会, 1973, PP.25-26

(2) 北郷・三浦・神谷;第11回土質工学会研究発表会, 1976, PP.239-242

(3) Broms, B.B. & A.O. Gasbarian; Proc. 6th ICSMFE, Vol. 1, 1965, PP.177-183

(4) Ladd, C.C.; Proc. 8th ICSMFE, Vol. 4-2, 1973, PP.108-115

(5) Parry, R.H. & V. Nadraajah; Geotechnique, Vol. 24, 1973, PP.345-358

(6) Vaid, Y.P. & R.G. Campanella; Proc. ASCE, Vol. 100, GT3, 1974, PP.207-224

(7) 輕部大蔵;第20回土質工学会シンポジウム, 1975, PP.45-60

(8) Parry, R.H.G.; Proc. 1st Australia-New Zealand Conf. Geomechanics, 1971, PP.11-15

(9) Parry, R.H.G.; Proc. 4th Asian Reg. Conf. SMFE, Vol. 1, 1971, PP.157-165

(10) 三浦・三浦・北郷;土木学会第31回年次講演会, 1976, 講演番号76

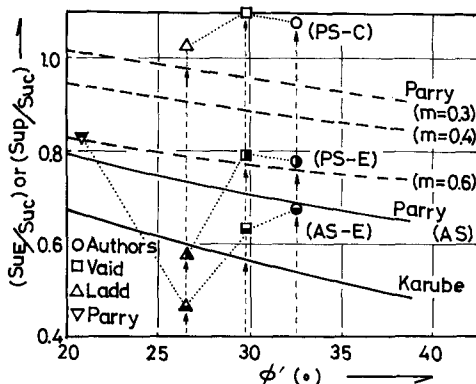


図-2 ϕ' と非排水強度比

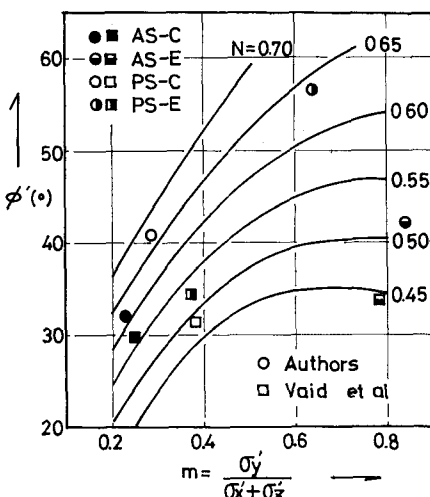


図-3 ϕ' と m の関係