

早大理工学部 正員 後藤 正司
現・道路公団 〃 前野 宏司

1. まえがき

一般に、粘土の強度や変形に関する特性は、その粘土が過去に受けた応力の影響を受ける。本研究では、応力履歴や応力径路が粘土のせん断特性、および圧密降伏応力に及ぼす影響を及ぼすことを実験的に取り扱い、合わせて Hvorslev の破壊規準を検証する。

2. 試料、実験方法

実験には、 K_0 圧密が容易にでき、近似的に平面ひずみ状態が満たされていると考えられる改良型一面せん断試験機を用いた。

実験に用いた試料は、カオリン粘土 ($G_s=2.71$, $w_L=50.47$, $w_P=28.82$) である含水比 100% で繰り返したスラリー状のものをせん断箱に詰め、三時間ずつ圧密・膨張・再圧密を行い、せん断前の供試体の厚さがほぼ 2cm になるように試料の量を調節した。直径は 6cm である。せん断面にはシリコングリースを塗り、粘土が不飽和になるのを防いだ。

せん断過程として、等体積 (非排水) せん断と等圧 (排水) せん断を行った。せん断速度は、両試験とも 0.03% で、水平変位が 8mm までひずみ制御で試験を行った。せん断強度は、せん断応力が最大のものとし、ピークが出ない場合は、水平変位 8mm のものとした。またエネルギー式による側面さきつりのせん断強度への影響は、1% ほどだったため無視した。

3. 試験結果とその考察

3.1 含水比と諸応力の関係 —— 図 1 は、含水比とせん断前の垂直応力 σ_c を片対数上にプロットしたものである。1.7, 3.7, 5.7% から膨張させたものは、ほぼ等しい傾きをもつ直線 (破線) となる。曲線は、3.7% で圧密、0.2% で膨張したものを再圧密させたものであり、Casagrande 法により圧密降伏応力を求め 3.5% を得た。この値は、3.7% にはほぼ等しく、膨張による圧密降伏応力の低下は無視できる。図 2 は、 $w \cdot \log \sigma_f$ (破壊時) の関係を示したもので、図 1 と同様の傾向がみられる。この図から圧密降伏応力は、0.1% となる。これより、圧密降伏応力は、せん断により低下することがわかる。また CD・CU 試験にかかわらず、同じ線で表わせるため強度的には応力径路の影響を受けない。 $w \cdot \log \sigma_f$ (せん断強度) の関係についても、図 1、2 と同様の傾向がみられた。以上より、図 3 に正規圧密、膨張の $w \cdot \log \sigma_c$, σ_p , σ_f 関係を表わし、傾きも示した。

3.2 強度特性 —— 図 4, 5, 6 は、 τ - σ 関係を示したものである。正規圧密の破壊包絡線は、周知のとおり、原点を通る直線となり、 $\tan \phi_d = \tan \phi' = 0.428$, $\tan \phi_{cu} = 0.265$ を得た。膨張の破壊包絡線は、OCR が小さい粘土では正規圧密のものと同じであり、過圧密の影響が表われるのは、 $\sigma_y = 5.7, 3.7\%$

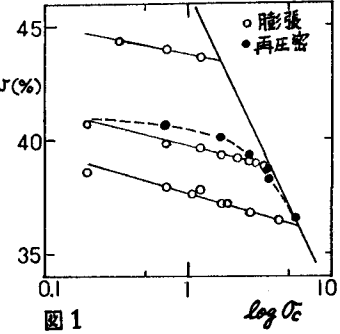


図 1

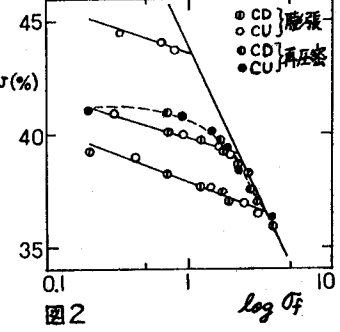


図 2

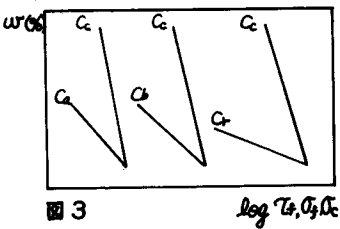


図 3

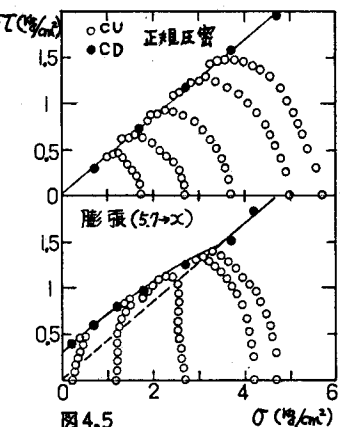


図 4, 5

からではなく、 $\sigma_0=3.5, 2.3$ からである。このことより、三笠の式⁽¹⁾ $\sigma_0 = (\frac{\tan \phi_{cu}}{\tan \phi_d}) \sigma_f$ は正しいということが判明した。再圧密粘土では、 $\sigma_0=2.3$ を折点とする二本の直線となった。過圧密の影響が出てくる値 $\sigma_0=2.3$ は図2より求めた圧密降伏応力 2.1 にはほぼ等しい。

図8は、膨張粘土の強度増加率 $\frac{\tau_f}{\sigma_f}$ と最大圧密応力 σ_m と σ_f との比 $\frac{\sigma_m}{\sigma_f}$ を両対数上に表わしたものである。実線は、図3より求めた式、

$$\frac{\tau_f}{\sigma_f} = (\tan \phi_{cu})^{1-\frac{c_a}{c_b}} \cdot (\tan \phi_d)^{\frac{c_a}{c_b}} (\frac{\sigma_m}{\sigma_f})^{-\frac{c_a}{c_b}} \quad \text{----- (1)}$$

である。 σ_m の大きさと無関係に、 $\frac{\sigma_m}{\sigma_f}$ が1.6までは $\frac{\tau_f}{\sigma_f} = \tan \phi'$ であり、過圧密の影響がないことがわかる。

図9は、Hvorslevの破壊規準を検証するための図で、最小二乗法により $X=0.10, \phi_e=14.8^\circ$ を得た。破線は、図3より求めた式

$$\frac{\tau_f}{\sigma_e} = \tan \phi_{cu} \cdot (\tan \phi_d / \tan \phi_{cu})^{\frac{c_b(c_c - c_a)}{c_a(c_c - c_b)}} \cdot (\sigma_f / \sigma_e)^{\frac{c_b(c_c - c_a)}{c_a(c_c - c_b)}} \quad \text{----- (2)}$$

であり、 σ_e は等価圧密応力である。本研究の適用範囲は、 $0.05 < (\sigma_f / \sigma_e) < 0.75$ であり、この範囲では(2)式でHvorslevの破壊規準を近似しえる。そのため、どちらが実験値をより正確に表わしているかは、一概に結論を出せない。

3.3 ダイレタンシー特性——図10は、 $\frac{\tau}{\sigma_e} \sim \frac{\sigma}{\sigma_e}$ 関係を示したものである。Roscoeらの状態面と比較するために、単純に圧密成分としての σ を σ_e に、せん断成分としての τ を τ_e と置き換えてよいと仮定する。図4の正規圧密粘土のせん断試験の結果より、状態面はModified Modelに近しいと思われる。さらに $\frac{\tau_e}{\sigma_e} = M \frac{\tau}{\sigma_e}$ と(2)式が交わる点 $\frac{\sigma}{\sigma_e} = \frac{c_c - c_r}{c_c} = 1.45$ を得た。ここでMの値として $\tan \phi'$ を用いた。CD試験の応力経路は、CU試験のものより、wet側では右へ、dry側では左へずれている。このことより、CD試験では、排水が充分に行われずに、排水がせん断よりも遅れて生じていることがわかる。そのゆえ、CU試験についてのみ考えると、ダイレタンシー限界は、Wet側ではOriginal Model, dry側では $\frac{\tau_e}{\sigma_e} = M \frac{\tau}{\sigma_e}$ である。

4. 結論

- (1) 破壊経絡線で、過圧密の影響が出る点は、有効応力で整理すれば排水条件に関係なくほぼ同じ点となり、 $w \sim \log \sigma_f$ 関係から求めた圧密降伏応力に等しい。
- (2) $\frac{\tau_f}{\sigma_e} \sim \frac{\sigma_f}{\sigma_e}$ 関係を直線とするHvorslevの規準も確かめられたが、含水比と諸応力の関係より、指数関係を得た。
- (3) ダイレタンシー限界として、Wet側ではOriginal Model, dry側では $\frac{\tau_e}{\sigma_e} = M \frac{\tau}{\sigma_e}$ を得た。

最後に実験を手伝って下さった藤井、空野、森本、山田、宮越君に謝意を表する。

文献 (1) 三笠(1974)土木学会年講義III部 P88~89
 (2) Schofield & Wroth "critical state soil Mechanics" など
 (3) 足立, 西(1976) 京大防災研 才19B

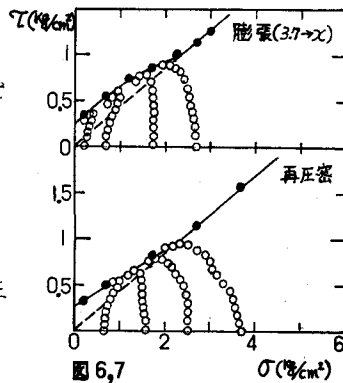


図6,7

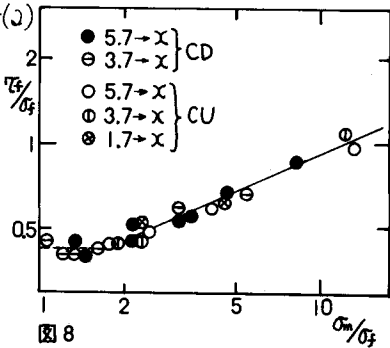


図8

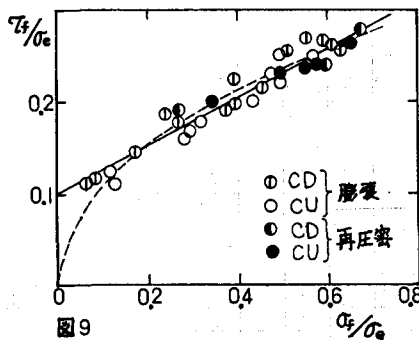


図9

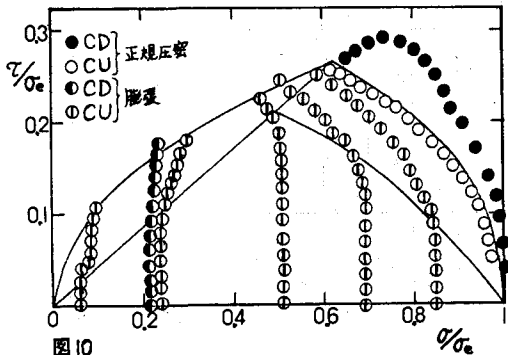


図10