

早稲田大学理工学部 正員 後藤正司
 (微)三菱重工業(元早大) 正員 宮越 一郎

1. まえかき

一面せん断試験は、試験中に主応力軸が回転することや、試料に作用している主応力値が不明であることなどの、いくつかの短所を有しているが、 K_0 条件での試験が容易に出来ることと、盛土等による円弧すべり破壊や地震時の地盤状態をかなり忠実に再現するといった点から広く用いられている。前報⁽¹⁾で、種々の圧密履歴を与えた試料の一面せん断試験結果を用いて、過圧密粘土のせん断特性についていくつかの結論を得たが、ここでは更に、直接せん断及び単純せん断に対して示された小田・小西の主応力軸回転式⁽²⁾に基づいて落合が示した主応力値を求める方法⁽³⁾を用いて結果を整理し、種々の検討を加えることにする。

2. 試料と実験方法

実験に用いた試料は市販のTAカオリン粘土であり、その物理特性は表1に示すと表1. 試料の物理特性
 ურიであった。(前報のものとは異なるものである。)

実験方法等については、前報とはほぼ同様であるのでくわしくは触れないことにするが、簡単な排水せん断クリープを若干行なったことを付記しておく。

比重: G_s	2.69
液性限界: w_L	51.9 (%)
塑性限界: w_p	24.3 (%)
塑性指数: I_p	27.6

3. 結果とその考察

3.1 垂直特性: 正規圧密に対する破壊包絡線は、有効応力で整理すれば排水条件によらず原点を通る同一の直線で表わせ、 $\tan \phi_d = \tan \phi' = 0.405$ を得た。また過圧密の破壊包絡線が正規圧密のものから分岐するのは、前報の方法より $OCR \approx 1.6$ となった。

3.2 残留状態: 水平変位が十分大きくなると、排水条件及び圧密履歴の相異に拘らず、せん断応力はほぼ一定となり、ダイレタンシーも生じなくなるいわゆる残留状態に至る。図1は過圧密の影響が顕著となる $OCR > 1.6$ を除いて、残留状態時の $\tau - \sigma$ を示したもので、図中の原点を通る直線はプロットを1次近似したもので、傾きは $M' = \tan \phi'_{cs} = 0.399$ となった。

3.3 含水比と各応力の関係: セン断開始時と残留状態時における含水比と有効垂直応力の関係及び残留状態時の含水比とせん断応力の関係を図2及び表2に示す。但し図が煩雑になってしまったためプロットは省いてあり、表の値は図に示す直線の傾きである。

3.4 Normalized Plots: Hvorslev の等価圧密圧力 C_e を用いて実験結果を規準化し、いわゆる Normalized Plots を示したのが図3~5である。図中、原点を通る曲線は前報でも示した Hvorslev 面であり、破壊線及び1点鎖線は各々、Cam-clay Model 及び Modified Cam-clay Model による降伏面を示している。(但し、せん断成分としてのせん断応力を主応力差に、圧密成分としての垂直圧 σ_v を平均主応力 p に置き換えている点に注意されたい。)これらはそれぞれ先行垂直圧が2, 4及び6 kg/cm^2 に対するものであるが、正規圧密のものについては、排水試験でせん断速度の影響が顕著であるものの、非排水試験では Modified Model とかなり良く一致している。軽い過圧密領域試料については、先行垂直圧が小さなものが Original Model に近い

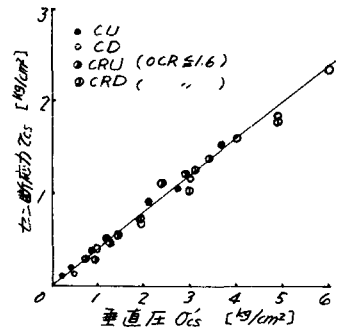


図1. 残留状態時の $\tau - \sigma$ 関係

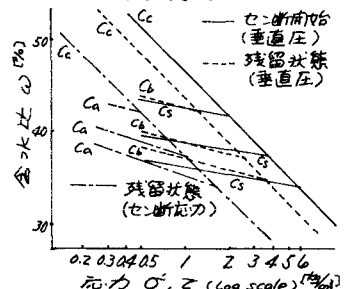


図2 含水比と各応力の関係

表2. 図2中の直線の傾き^(1/2)

C_e	C_s	C_a	C_b
15.6	2.75	5.74	4.31

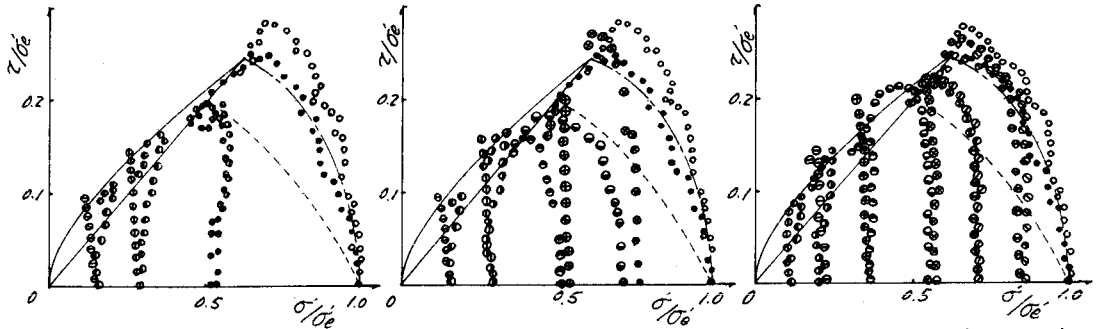


図.3 Normalized Plots (CR2-) 図.4 Normalized Plots (CR4-) 図.5 Normalized Plots (CR6-)

のに対し、先行垂直圧の大きいものは Modified Model によって説明出来るようである。(尚、いくつかの排水フリープ試験は、非排水試験の path とかなり近いものとなつた。)更に、著しい過圧密試験は先行垂直圧に拘らず Hvorslev 面上に留まる。先に述べたように、ここでは圧密成分としての σ と p に、せん断成分としての τ を置き換えるという前提の下に結果を整理しているが、一面せん断試験が k_0 圧密及び膨張を受けた強度異方性を有する試料について行なわれると同時に、構造異方性の影響も大きいと考えられるため、前述の置き換えにはかなり問題がある。

3.5 正規圧密に対する一面せん断の Mohr の応力円: 1 で述べた著合の方法⁽³⁾により Mohr の応力円を描いたのが図.6 及び図.7 であるが、図.6 は排水試験の結果で、図.7 は非排水試験の結果

を全応力と有効応力それぞれで整理したものである。有効応力で整理すればほぼ等しい摩擦角となり同一の破壊包絡線が表わされることかわかる。($\phi_{cu} = \phi_{cd} = 23.5^\circ$ となりカオリンの平面ヒズミ条件摩擦角として妥当な値を与えている。)尚、 k_0 値は、 $k_0 = 1 - \sin \phi_{cs} = 0.625$, $q/p = 0.317$ であった。

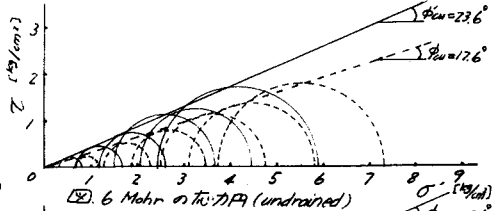


図.6 Mohr の応力円 (undrained)

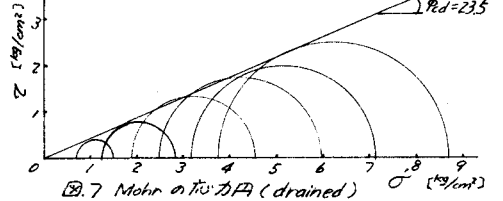


図.7 Mohr の応力円 (drained)

3.6 試験前の含水比と平均有効主応力の関係: 前節の結果から

正規圧密時の最大及び最小主応力が定まり、膨張時の k_0 値を知れば過圧密時の各主応力も定まる。そこで中間主応力を Bishop と同様に考えて平均有効主応力を求めれば図.8 が得られ、これより Cambridge Theory に於ける λ と K がわかる。

3.7 σ ~ p 面上での経路と Cambridge Theory の比較: 以上より結果を σ ~ p 面上の経路として示したのが図.9 であるが、排水条件によらず $\sigma = 0.844p$ なる破壊線が存在することかわかる。今、 k_0 圧密状態は限界状態面上にあると考えられるから、経路の始点が降伏面上にあるとして降伏面を定めたと破壊線があり、経路の始点を通る等方圧密経路が一点鎖線である。実験結果は圧密圧の増加とともにモデル経路より逸脱し、異方性の卓越を示すようである。

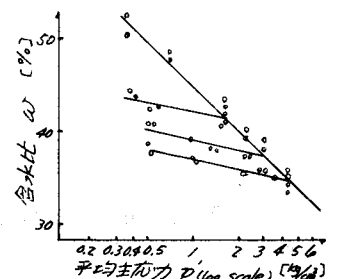


図.8 含水比と平均主応力の関係

4 まとめ

一面せん断時の粘土の挙動は異方性の影響のためかなり複雑であつて、 τ ~ σ 面上の Normalized Plots でも先行圧密による異方性の影響が見られる。また、著合の方法に基づく τ ~ p 面上の path も圧密圧の増加とともに異方的となり、異方圧密試料を等方過圧密試料に置き換えて考える Cambridge Theory には無理がある。

最後に、早大後藤教授と今村・小沢・馬場・安川の4君の協力に感謝します。

(参考文献) (1)前野 隆義: 過圧密粘土のせん断特性, 土木学会論文集, 1981 (2) Oda, M.: "on the relation $\tau_{cw} = k \tan \phi$ in the simple shear test," Soils and Foundations, vol. 15, 4, 1975 (3) 著合: 過圧密せん断試験による粘土の挙動, 土質工学会論文報告集, vol. 15, 4, 1975

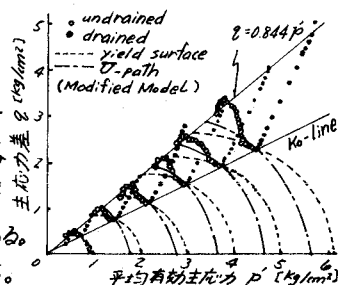


図.9. p ~ σ 曲線