

神戸大学工学部 正員 軽部大蔵
 京都大学大学院 学生員 森誠一郎

1 はじめに

同一含水比をもち、かつ異なる過圧密比をもつ粘土の力学的な性質の相違を調べるために、またそのような性質の相違が何から由来するののかも考察するために、一連の三軸クリープ試験を行ない、有効応力の立場からその結果を整理してみた。

2 試料と試験法

試料は少量のベントナイトを加えた練りかえしカオリン粘土で、大型圧密リングを用い成型ができればように圧密した。(LL.54%, PL.30%, 粘土含有量60%)、試験装置はN.G.I.型三軸圧縮試験機を用いた。含水比(以下 w と略記)一定の条件で試験をする必要があるので、まず等圧圧密試験を行ない、 w - $\log P$ 曲線を定めた。この試験より圧密応力 2.0 kg/cm^2 の正規圧密粘土(図-1の○印)と同じ含水比をもつ過圧密粘土として 2.5 kg/cm^2 で圧密し、 1.0 kg/cm^2 まで膨潤させたもの(□印)、 $3.1 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 0.5 \text{ kg/cm}^2$ (△印)、 $3.8 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 0.25 \text{ kg/cm}^2$ (×印)の3種類を選んだ。また正規圧密粘土として 1.0 kg/cm^2 で圧密したもの(●印)も以下の試験で採用した。もろもろこの粘土の含水比は他の4種類のものより高い。次に、クリープ試験の応力条件を定めるために、以上の5種類の試料について、ひずみ制御式の圧密非排水三軸試験を行なった。クリープ試験は上記の三軸試験結果より得られた主応力軸と 45° をなす面に作用する有効応力径路上の応力の組み合わせで行なった。非排水せん断による応力径路とクリープ試験の応力条件を図-1に示した。クリープ試験は所定の圧密過程がほとんど終了してから主応力差($\sigma_1 - \sigma_3$)を一時に載荷して以後6~7日間行なった。その間軸方向圧縮による断面積の増大に対し応力を一定に保つため、荷重はダイヤルゲージの読みを測定して順次増加させていった。なお、温度条件は常に 20°C に保った。

3 クリープ試験結果

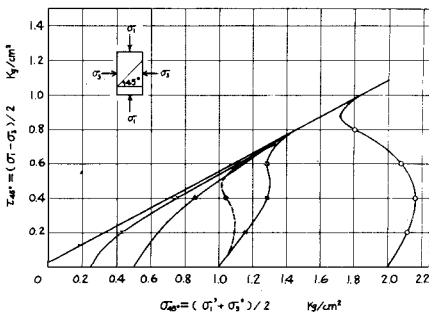


図-1

このクリープ試験は一応排水状態にはなっているが、図-1の有効応力を与えるため、含水比の変化はわずかであろうと思われるが、実際には正規圧密したものでは約1000分までは含水比が減少し、その後は増加する。過圧密したものでは最初から含水比が増加するなどの変化がみられた。(図-2) この含水比の増加に伴ってわずかに強度は減少するだろう。図-3に示すクリープ曲線が長時間にわたって勾配をもつのはそれによるものであるとも考えられる。しかし含水比増加のために生ずる断面積増加に対して応力を一定に保つための荷重増加を行なわなかったため、応力はわずかに減少しているはずである。したがってクリー

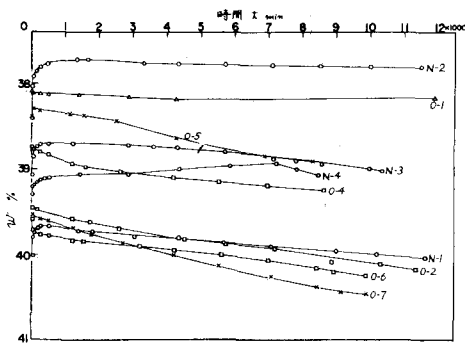


図-2

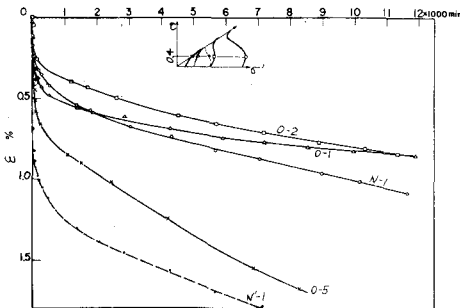


図-3

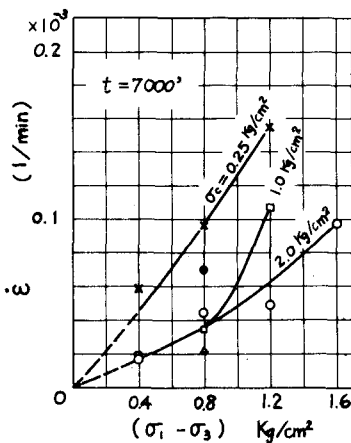


図-4

プ中の含水比増加がクリーア曲線に与える影響はどれほどのものが不明である。クリーア曲線の一例を図-3に示す。ここにあげるひずみ ϵ はせん断ひずみを示すために、軸方向ひずみから体積変化の影響分 $\Delta V/V_0$ を補正したものをを用いている。この図-3は $(\sigma_1 - \sigma_3) = 0.8 \text{ Kg/cm}^2$ で、各応力径路の異なるものを示している。他の主応力差のものもこの図と類似の曲線となる。

クリーア現象を表現するにはひずみ ϵ 、あるいはひずみ速さ $\dot{\epsilon}$ などを用いるのが普通であるが、どちらを用いてもその結果は類似しているので以下では主としてひずみ速さ $\dot{\epsilon}$ をとらあげることにする。そこでまずクリーア曲線上の100分、2000分、7000分、におけるひずみ速さと主応力差の関係を求めた。7000分のもを図-4に示す。この実験では主応力差として選んだ実数が少ないので、この図-4の曲線は決定しにくいさらいがある。しかし、以前での実験で得られたものを参考にして、この図-4を描いた。これより一定のひずみ速さに対する主応力差を読みとり、図-1に書き込めば図-5の等ひずみ速さ線が得られる。これにより現在受けている有効垂直応力 σ_{e0} が小さいものが同じせん断応力のもとでは、ひずみ速さが小さくなるとは必ずしも云えないことがわかる。すなわち、せん断応力が低いと、圧密条件 $2.5 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ の過圧密した試料が 2.0 Kg/cm^2 で正規圧密した試料よりひずみ速さが小さく、ひずみにくいという結果が見られる。これは過圧密によって受けた有効垂直応力の残存のためと考えられる。そこで、過圧密の影響を調べするために、 $\dot{\epsilon}$ と σ_e/P_c (σ_e : 現在受けているせん断応力, P_c : 過去の最大圧密応力)の関係を示すと図-6となる。これによると、正規圧密粘土(○印)は原真を通る直線上にのる。過圧密粘土ではせん断応力がある値より小さいとこの直線にのるが、ある程度せん断応力が大きくなるはずれてきて、ひずみ速さは σ_e/P_c ではほぼ半規定で小さくなる。

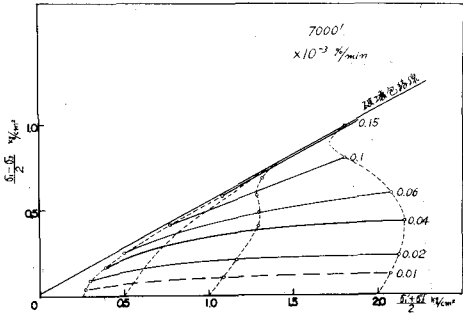


図-5

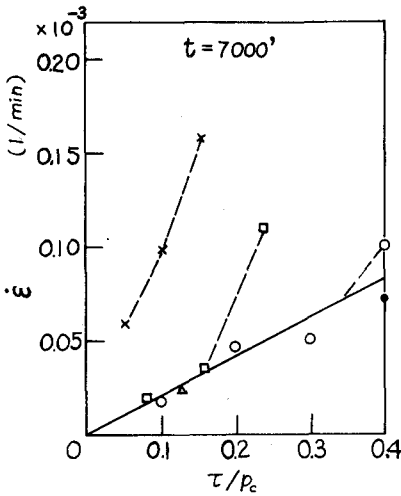


図-6

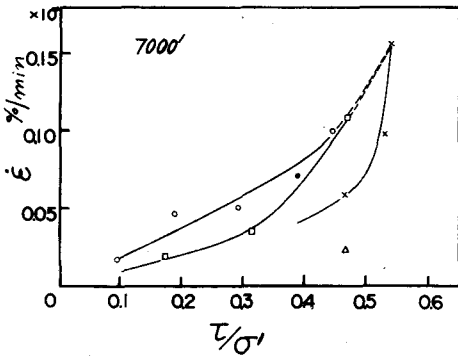


図-7

3. 過圧密比の大きいものほど小さいせん断応力でのこの直線からはずれるのは、現在受けている有効垂直応力 σ' が P_c と比べて相対的に小さいので、小さいせん断応力を受けただけで σ' が P_c にとって代わるためである。それで P_c に代って現在受けている有効垂直応力 σ' を用いてひずみ速さ $\dot{\epsilon}$ と $\sigma'/\sigma_{v'}$ の関係を調べてみると図-7 のようになる。これによって $\sigma'/\sigma_{v'}$ が大きくなっていくにしたがい、ひずみ速さ $\dot{\epsilon}$ は $\sigma'/\sigma_{v'}$ によって規定されることかわかる。また、破壊に近づくにつれてすべり面上での粒子配列は正規圧密粘土、過圧密粘土ともに（過圧密比には関係なく）同一の形態に近づくことと云える。

以上のことより、あるせん断応力以下では、過圧密粘土は正規圧密粘土よりも仮定すべり面上の有効垂直応力に対して、過圧密によって生じた内部潜在有効垂直応力が相当な部分を占める。そして、せん断応力が大きくなっていくと、しだいに過圧密の影響は消えてゆき、有効垂直応力は現在受けている部分が全体を占めるようになっていく。などのことがわかる。

一方、正規圧密粘土では等ひずみ速さ線は原土を通る直線となることかわかっている。そこでこれは実際にはせん断応力と真の垂直有効応力比 $\frac{\tau}{\sigma_r}$ (σ_r : 真の垂直有効応力) によって決められるものであると仮定する。今、図-5 の等ひずみ速さ線上で1つのひずみ速さ $\dot{\epsilon}$ を選ぶと、そのひずみ速さ線と正規圧密粘土に対する応力経路の交点 A と原点 O と結ぶ直線は正規圧密粘土に対する等ひずみ速さ線となる。(図-8) ある過圧密粘土の有効応力経路を選ぶと、この応力経路と過圧密粘土に対する等ひずみ速さ線 (ひずみ速さ $\dot{\epsilon}$) の交点 B が $\dot{\epsilon}$ というひずみ速さを 7000 分においてもつ粘土の応力状態 (τ, σ') を表わす。ところが、仮定によれば $\dot{\epsilon}$ というひずみ速さをもつ粘土の真の応力状態は直線 OA 上のところなければならぬはずである。よって、B を通り σ' 軸に平行な直線と OA との交点を C とすると、

過圧密粘土の真の応力状態はC点で表わされる。よって、BCの横距が過圧密に有り残っている潜在有効垂直応力 σ_0 であるといえる。この1つの過圧密粘土の有効応力経路を通じて、BCと類似の線分を考えてゆけばせん断応力が大きくなるにつれて σ_0 がどのように変化してゆくかがわかる。破綻にちかづくとき σ_0 は減少する。

σ_0 がクリープ時間とともにどのように変化してゆくかを見るために、主応力差と任意に選んだひずみ率パラメーターにとって調べてみると図-9が得られる。これにFと時間に対し σ_0 はそれほど変化しないようだが、若干小さくなる傾向がみられる。

図-8での曲線の等ひずみ速さ線は一定含水比に対するもので、直線の等ひずみ速さ線は含水比が異なっているものである。これを($\sigma_1 - \sigma_3 - w$)空間に移すと図-10が得られる。この図では正圧密粘土に対する等ひずみ速さ線は曲線DEFで表わされ、この曲線の($\sigma_1 - \sigma_3$)平面への投影が図-8で見たように直線になるということである。任意のクリープ時間に対して($\sigma_1 - \sigma_3 - w$)空間内で各ひずみ速さに対し、等ひずみ速さ面が形成されることがわかる。

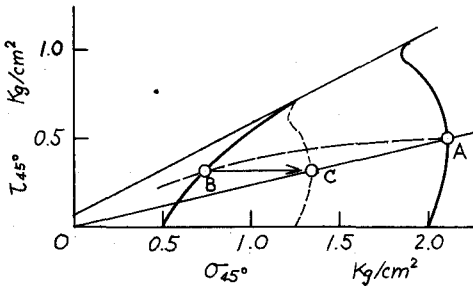


図-8

参考文献

軽部文蔵：粘性土の排水クリープ試験
土木学会関西支部年次講演会(54)

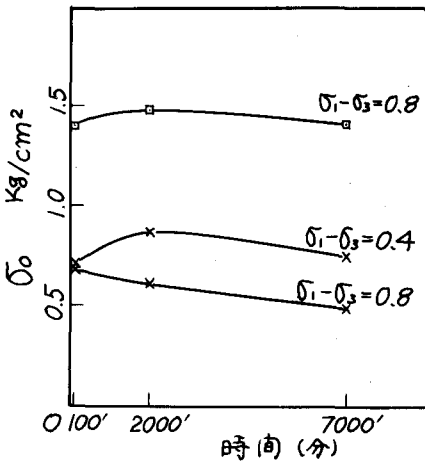


図-9

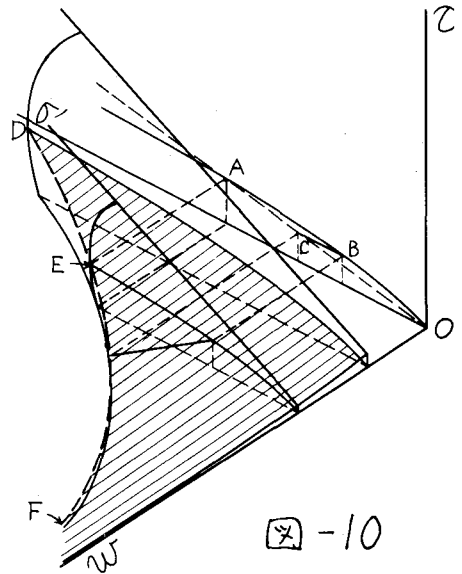


図-10