

パソコン制御による粘性土の K_0 圧密排水せん断試験

池 浦 勲*・中 村 努**

Computer-controlled Drained Shear Test on Cohesive Soils

Isao IKEURA and Tsutomu NAKAMURA

要旨

飽和粘性土を用いてパソコン制御による K_0 圧密排水せん断試験を実施し、在来的方式による結果と比較した。

Abstract

Several computer-controlled drained shear test were carried out on saturated cohesive soils. These test results were compared with those by conventional test method.

1. ま え が き

筆者らはこれまで、主として、一方向の変位を拘束したいわゆる K_0 圧密履歴を与えた粘性土を対象とした各種応力経路のもとでの排水せん断試験結果を報告してきた^{1)~3)}。それらは機構的に K_0 条件を満たしつつ圧密した後に、適当な時間間隔をもって、所定の応力経路を辿るように手動で圧力を調整してせん断するという方式であった。

したがって、段階的な載荷が避けられないために、圧密過程においては長時間を要し、排水せん断過程においては所定応力経路を正確に辿ることが困難であるという難点があった。

今回、パソコン制御による三軸試験装置を設置する機会を得たので、それを用いた若干の実験を実施して、その結果を在来の方法によるものと比較したので報告する。

2. 実 験

2. 1 応力及びひずみパラメータ

以下において用いる応力パラメータは平均有効主応力 p 、軸差応力 q と応力比 η であり、それぞれ次式で表される。

$$p = \frac{\sigma_a + 2\sigma_r}{3}$$

$$q = \sigma_a - \sigma_r, \quad \eta = \frac{q}{p} \quad (1)$$

ここに σ_a' : 有効軸圧 ($= \sigma_a - u$)

σ_r' : 有効側圧 ($= \sigma_r - u$)

u : 過剰間隙水圧

ひずみパラメータは体積ひずみ ε_v と、せん断ひずみ ε であってそれぞれ次式で表される。

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= 100 \ln \left[\frac{H_0}{H} \right] \\ \varepsilon_v &= 100 \ln \left[\frac{V_0}{V} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_a - \frac{\varepsilon_v}{3}$$

ここに ε_a : 軸ひずみ (%)

ε_v : 体積ひずみ (%)

H_0, H : 初期および試験中の供試体高さ

V_0, V : 初期および試験中の供試体体積

2. 2 試料及び実験の種類

実験に用いた試料は、勇払郡早来町から採取した自然粘性土をスラリー状態にした後、鉛直圧力80kPaで再圧密したものである。その物理的性質は液性限界 $w_L=63\%$ 、塑性指数 $w_I=30$ 、土粒子密度 $\rho_s=2.68\text{g}/\text{cm}^3$ である。

実験は K_0 圧密応力制御排水せん断試験であり、図-1に示すように所定の p まで K_0 圧密した試料についての p -一定試験(経路OA-B, 以下CPテストと呼ぶ)と、応力増分比一定試験(経路OA-C, $\Delta q/\Delta p=1.714$, CIRテスト)の2種類である。

* 教授 環境都市工学科

** 助手 環境都市工学科

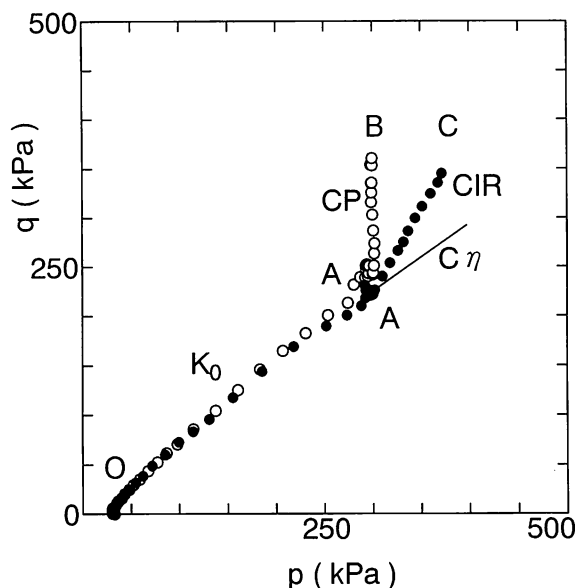


図-1 応力経路

2.3 K₀圧密

K₀圧密は北大土質工学講座の方式⁴⁾によるコンピュータ制御法によった。それは、まず $\sigma_r' = 130$ kPaの圧力で等方圧密した後に、目標の σ_a' を漸増させつつ、で軸方向変位量 ΔH と体積変化量 ΔV との間に常に次の関係が満足されるようにパソコンとアクチュエータによって σ_a と σ_r を調節するものである。

$$\frac{\Delta V}{\Delta H} = \text{一定} \quad (= \text{供試体初期断面面積 } A_0) \quad (3)$$

σ_a の増加速度は0.4または0.6 (kPa/min)とし、 p が所定の値(圧密圧力 p_c)に達した後は σ_a を一定に保った。

間隙水圧 u は供試体下端中心部で測定し、体積変化量 ΔV としては供試体周面に巻かれた濾紙(開口率は15%)を通して排出された水量を差圧計で測定した。この際に拘束圧 σ_r の増加による濾紙自身からの排水量も合わせて測定されることから、次式によって補正を施した⁵⁾。

$$\Delta V = \Delta V_m - 1.24 \log \left[\frac{\sigma_r}{\sigma_{r0}} \right] \quad (4)$$

ここに ΔV : 体積変化量 (ml)

ΔV_m : 測定排水量 (ml)

σ_{r0} : 試験開始時の σ_r (kPa)

また供試体の飽和度を高めるために、圧密開始時から100kPaの背圧を負荷した。

2.4 セン断

せん断もコンピュータにより応力を制御する方法とした。具体的には、応力増加度を指定して(C

Pテストでは $\Delta q/\Delta p = \infty$, CIRテストでは $\Delta q/\Delta p = 1.714$), 目標の σ_a' とそれに見合った目標の σ_r' の値を漸増させておき、測定された応力が目標値と等しくなるようにペロフラムシリンダー上室圧力用及び側圧用アクチュエーターをパソコンで制御する操作を繰り返すというものである。せん断を終了する応力比 $\eta_{\max}$ は随時入力可能とした。 σ_a' の増加速度は、発生する間隙水圧 u の大きさにより0.02kPa/min ($u \leq 1$ kPa) から0 ($u > 4$ kPa)まで逓減させた。その結果、せん断が長期化することから、供試体からの排水量に対して、セル液に用いた50%グリセリンへの供試体水分の浸透を考慮した補正を施した⁵⁾。

$$\Delta V = \Delta V_m + 1.11 \times 10^{-4} t \quad (5)$$

ここに ΔV : 体積変化量 (ml)

ΔV_m : 濾紙圧縮を補正した排水量

t : セン断経過時間 (min)

3. 実験結果と考察

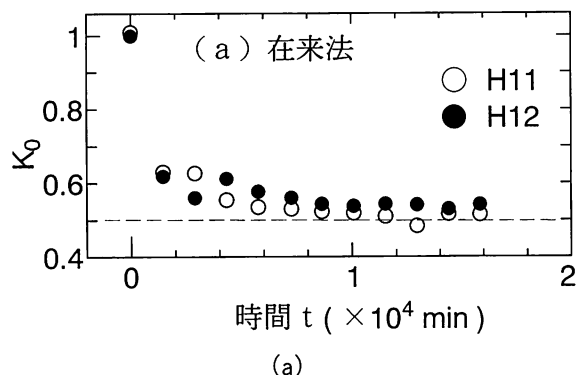
3.1 K₀圧密過程

(1) K₀の時間経過

図-2は圧密過程における $K_0 (= \sigma_r'/\sigma_a')$ を示す。在来法((a)図)^{6),7)}では、手動によって側圧を段階的に増加させる都合上から載荷時隔を24時間としているために、所定の p に達するまでに長時間を要する。それに対しパソコン制御法((b)図)では800分程度までは急激に減少した後増減をし、2000分以降はほぼ一定値($K_0 = 0.5 \sim 0.45$)となった。この値は在来法における値よりもやや小さい。

(2) σ_a および u の時間経過

図3は σ_a と u の発生状況を示す。在来法では載荷時隔が長いために、 u の発生無しに σ_a が増加している。パソコン制御法では在来法の20倍程度の一定速度で載荷していくために50kPa程度の過剰水圧が生じている。これは σ_a' の1割程度である。



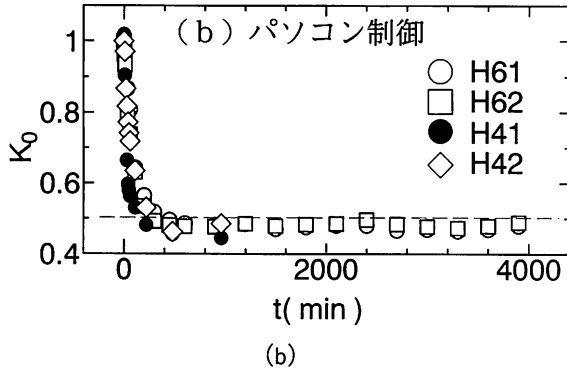


図-2 K_0 の時間経過

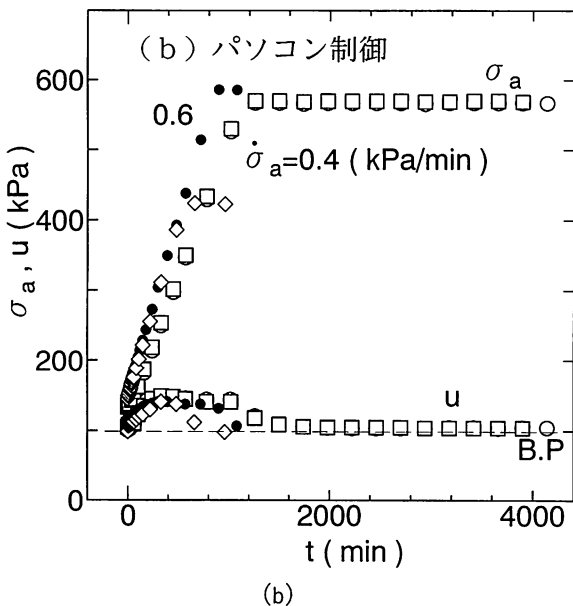
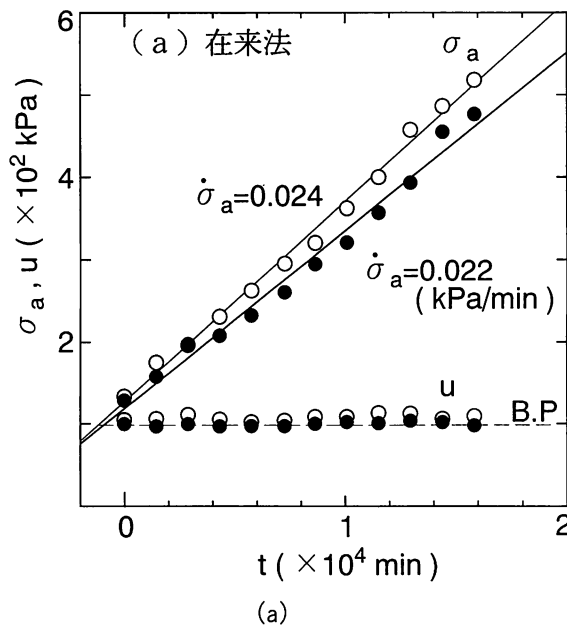


図-3 σ_a および u の時間経過

また載荷速度が0.4と0.6のいずれの場合も σ_a が上昇中の $t=800$ 分程度で u は最大となり、 σ_a が目標に達して一定値となってからは急速に減少している。この程度の載荷速度の相違は u の発生状況に対しては影響を及ぼさないといえる。

(3) 側方ひずみ ϵ_r の時間経過

側方ひずみ ϵ_r は測定した ϵ_a と ϵ_v から次式によって計算される。

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_v - \epsilon_a}{2} \quad (6)$$

K_0 圧密は側方変位ゼロの圧密方式を指すのであるから ϵ_r は K_0 圧密の誤差を示すものである。

図-4は ϵ_r の発生状況を示すが、在来法では圧密初期に大きな誤差が生じてしまうのに対してパソコン制御法では全期間を通して最大 $\pm 0.03\%$ 程度の誤差が生じるのみである。この値は 0.015mm の直径変化に相当するものであり、パソコン制御法は十分な精度で K_0 条件を満たしているといえよう。また制御条件の(3)式を厳しく適用することで ϵ_r をより小さく抑えることも容易である。

(4) 圧縮特性

図-5は ϵ_v と $\log p$ の関係を示す。 $p \geq 40\text{kPa}$ では両者はほぼ直線関係にあることが分かる。図中の直線の傾きから逆算した $\lambda (=C_c/2.3, C_c$: 圧縮指数)は0.137であった。この λ の値は、早来試料につきこれまで報告してきたもの($\lambda=0.13$)²⁾とほ

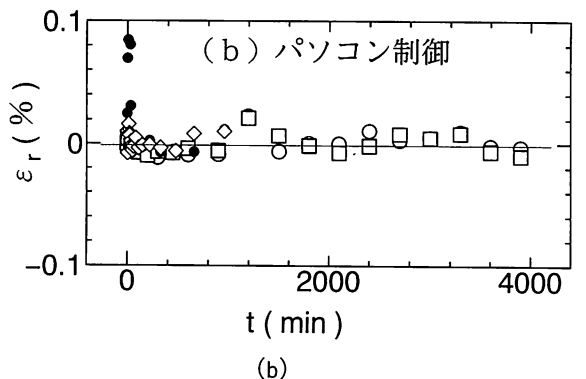
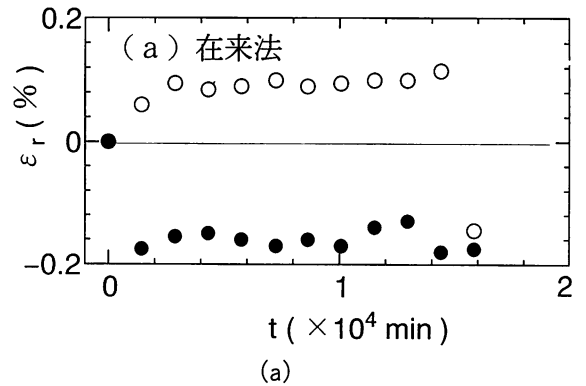


図-4 ϵ_r の時間経過

ば一致している。

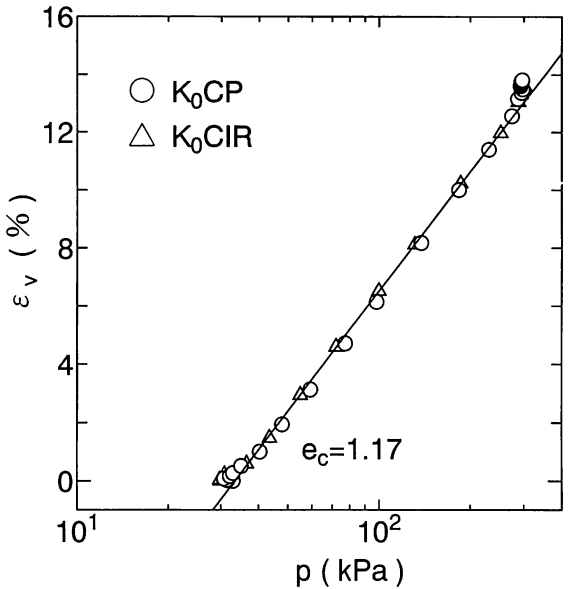


図-5 pと ε_v の関係

3. 2 セン断過程

(1) セン断応力経路

図-1は実験での圧密、せん断を通しての応力経路を示す。せん断開始時の応力に若干の差がみられるが、CP、CIRテスト共に、ほぼ指定通りのせん断経路を辿っていることが分かる。なおロードセルの容量の都合上、両テスト共に破壊に至る前に実験を打ち切っている。

(2) 载荷速度

図-6はCIRテストにおける σ_a' の時間変化を示す。 u の発生(最大で3 kPa)につれて载荷速度が減少していくことが分かる。

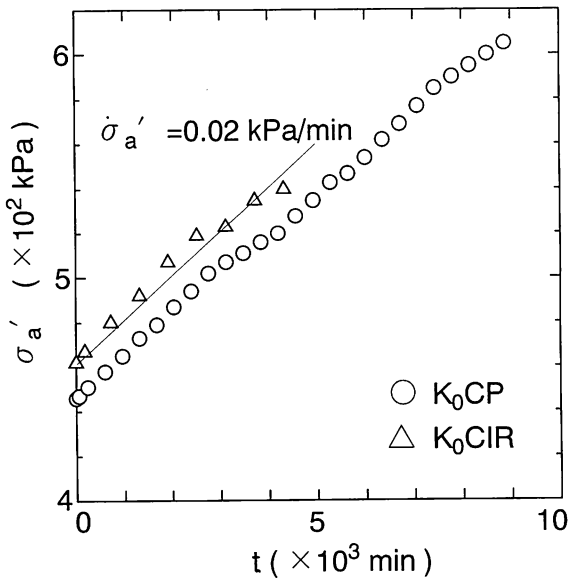


図-6 セン断時の σ_a' の増加

(3) 応力比 η とひずみの関係

図-7は η と ε_v の関係を示す。図中の白抜き点は今回の結果であり、実点は手動载荷による既報²⁾のものである。手動载荷では図の間隔でしか測定点を得られないのに対して、コンピュータ制御法では、図では間引いているがほぼ連続した測定点を得られる利点がある。図によれば両テストともに今回の応力範囲では、既報とほぼ同じ結果とみることができる。CPテストの ε_v すなわち負のダイレイタンスは η に対して階段状に上昇しているが、これはせん断初期の応力制御の幅が大きすぎたためと思われたので、CIRテストではそれを改めた。

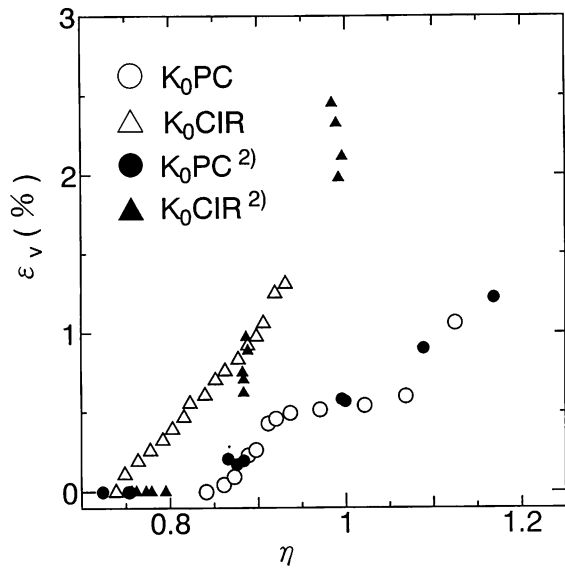


図-7 η と ε_v の関係

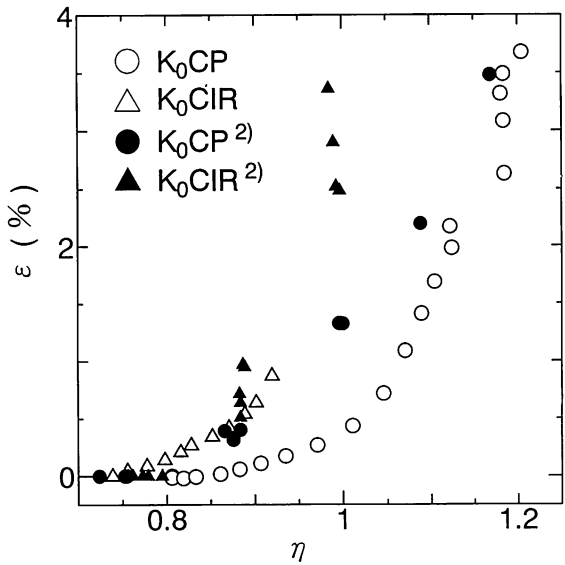


図-8 η と ε の関係

図-8は η と ε の関係を示す。CPテストでは既報より小さい ε となっている。CIRテストでは今回の応力範囲ではほぼ既報と一致しているが、高い応力レベルでの ε の発生については、さらに広い応力範囲の実験で検討する必要がある。

(4) ひずみの重ね合わせ

図-9は体積ひずみの重ね合わせ則を検討するために、CIRテストで得られた ε_v と、それと同じ応力成分 (p , η) を有する $C\eta$ とCPテストの ε_v の和とを比較したものである。ただし、 $C\eta$ テスト値は K_0 圧密の延長と考え、図-6の直線から次式により求めた値である。

$$\varepsilon_v = \frac{100\lambda}{1+e} \ln\left(\frac{p}{p_c}\right) \quad (7)$$

ここに e : せん断開始時の間隙比 ($=1.17$)

p_c : せん断開始時の p

図-9によれば、せん断が進むにつれてCIRテストの ε_v のほう小さな値となっており、既報とは異なって、今回の応力範囲 ($p \leq 350 \text{ kPa}$) では重ね合わせ則が成立しないこととなるが、この点についてもさらに広い応力範囲で検討する必要がある。

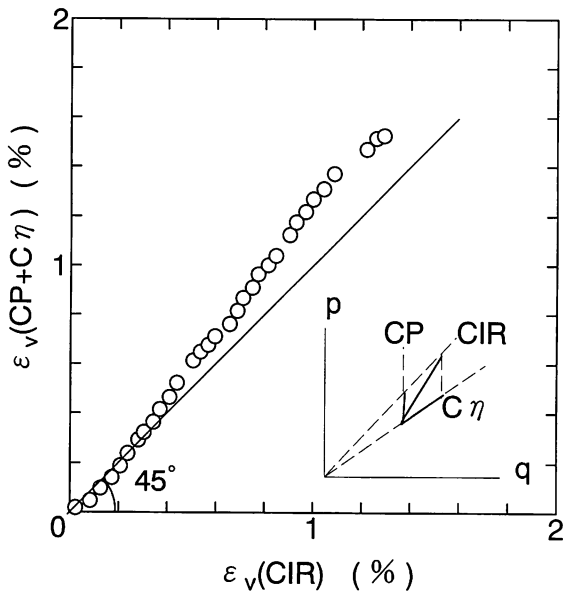


図-9 ε_v の重ね合わせ

4. ま と め

コンピュータ制御によって、比較的短時間で高い精度の K_0 圧密を実施できることや、正確な応力経路で排水せん断を実施できることが確かめられた。今後は、応力範囲を拡大して実験を進めるとともに、経路に応じた最適な載荷速度の選定等について検討をしていきたい。

結びにあたり、装置や制御プログラムなどで多大のご助力や助言を頂いている北海道大学三田地利之教授、福田文彦助手、北海学園大学小野丘助教授に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 北郷繁, 池浦勲, 三田地利之, 下越仁; 異方圧密粘土変形特性について, 土質工学会北海道支部技術報告集, 第22号(1982)
- 2) 池浦勲, 三田地利之; 異方圧密粘土の応力-ひずみ関係に及ぼす応力経路の影響, 土質工学会論文報告集, 第26巻 3号(1986)
- 3) 池浦勲, 小野丘; 異方圧密粘土の応力-ひずみ挙動について(第4報), 土質工学会北海道支部技術報告集, 第29号(1989)
- 4) 小田美明, 三田地利之; 飽和粘土の三軸 K_0 圧密試験方法について, 土木学会論文集 No.448/III-19(1992)
- 5) 三田地利之, 成田孝; 三軸試験の体積変化測定におよぼすろ紙の圧縮性およびゴム膜の透水性の影響, 第20回土質工学研究発表会(1985)

(平成7年11月30日受理)

