

飽和粘土の三軸 K_0 圧密試験方法について

小田美明*・三田地利之**

本研究は、飽和粘土について K_0 圧密三軸試験を行う場合の K_0 圧密方法の確立を目的として行ったもので、試験結果に及ぼす諸要因について検討している。

実験結果から、側方ひずみの制御方法、供試体底部中央で測定される圧密中の過剰間隙水圧の信頼性、適切な鉛直応力の載荷速度等について有用な結果が得られた。

Keywords: cohesive soil, coefficient of earth pressure at rest, triaxial apparatus, consolidation

1. はじめに

原位置における応力状態を把握することは、土質工学において非常に重要な問題であるとの認識から、静止土圧係数を求めるための実験が多くの研究者により行われてきた。

室内試験で静止土圧係数を求める方法の一つとして、側方応力の測定が可能な圧密リングを用いるものがある。しかし、圧密リングと供試体の摩擦の影響が無視できない。また、 K_0 圧密後、せん断試験を行い、変形・強度特性を把握することもできない。そこで、三軸試験装置を用いて、静止土圧係数を求める方法に関して種々の提案がなされている。

最近では、コンピュータを用いた自動制御により、供試体の断面積を一定に保つ方法が一般化しているようである。その最も簡単な方法として、三軸セル内部に内セルを備えた二重セル式三軸試験装置がある^{1)~4)}。この試験装置は、キャップの断面積を供試体のそれと同じくし内セルの水位を一定に保つことにより、断面積を一定に保つようにしたものである。この方式によれば、内セルの水位変化を制御するのみで容易に K_0 圧密ができる。さらに、高精度差圧計を用い内セルの水位を測定した場合、側方ひずみを 0.001% 以下まで安定的に検知できるという報告⁴⁾もある。しかし、圧密後に圧縮試験を行う場合キャップが供試体と同径であれば供試体のはみ出すことになり、端面摩擦の軽減を行っても意味がないという問題がある^{5),6)}。

飽和粘性土の三軸 K_0 圧密においては、通常の三軸試験装置を用い、測定された体積変化量と軸変位から断面積が一定になるよう応力をコンピュータにより制御する

場合でも比較的良好な結果が得られることが報告⁴⁾されている。菊池ら⁶⁾も同様な実験方式で、側方ひずみを 0.01% 程度に抑えた実験結果を報告している。芝ら⁷⁾は、粘性土の実験においては、側方ひずみの制御精度よりも制御時間の間隔の方が重要であるとしている。

これらの実験の圧密圧力の載荷方法は、ひずみ速度一定で鉛直応力を載荷する方法^{2),3),7),8)}、軸荷重をおもりで加え一定に保つ方法⁴⁾あるいは側方応力を漸増載荷し、その後一定に保つ方法⁹⁾等により行われている。

これらの方法は、制御が容易である。しかし、 K_0 圧密後の非排水あるいは排水試験から強度・変形特性を把握するためには、せん断開始時の圧密応力が任意に決定できる方法^{1),9)}が好ましい。また、 K_0 値が時間の経過にともない変化するのであれば、鉛直応力を一定に保つことができないこれらの方法では、原位置での応力条件を再現できないという問題がある。

本研究では、 K_0 圧密三軸試験の K_0 圧密過程において鉛直応力を所定の圧力まで漸増載荷し、その後、一定値となるよう応力制御を行う方法の確立を目指した。そして、その際のろ紙の吸排水量、側方ひずみの制御方法、排水条件、鉛直応力の載荷速度、ろ紙の被覆面積、温度変化の影響等について検討を行った。

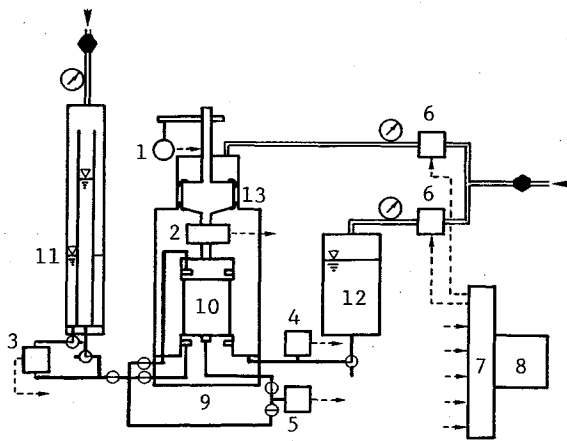
2. 試料および実験

(1) 試料

実験に用いた試料は、北海道倶知安町近郊から採取した自然粘土である。この粘土に蒸留水を加え 420 μm のフルイで粗粒分を除いた後、スラリー状態で養生した。このスラリー状態の粘土を大型予圧密セルに真空状態で引き込み十分に脱気した後、80 kPa の鉛直応力で 20 日間、一次的に予圧密した。試料の物理的性質は、 $w_L = 81\%$ 、 $I_p = 41$ 、 $\rho_s = 2.70 \text{ g/cm}^3$ である。また、圧密定数は、 $C_c = 0.45$ 、 $p = 100 \sim 400 \text{ kPa}$ において $m_v = 0.3$

* 正会員 北海道大学助手 工学部土木工学科
(〒060 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

** 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科



- ⊙: Two way ball valve
- ⊖: Three way ball valve
- : Regulator
- ⊙: Pressure gauge
- : De-aired water route
- ==: Air pressure route
- : Electric route
- 1: Displacement transducer (Δh)
- 2: Load cell
- 3: Differential pressure transducer (Δv)
- 4: Pressure transducer (σ_h)
- 5: Pressure transducer ($\sigma_{BP,u}$)
- 6: Electric pneumatic transducer
- 7: D/A and A/D converter board
- 8: Micro computer
- 9: Triaxial cell
- 10: Specimen
- 11: Burette
- 12: Air-water cell
- 13: Bellofram

図一 自動三軸試験制御システム装置の概要

$\sim 0.7 \text{ cm}^2/\text{MN}$, $c_v = 10 \sim 13 \text{ cm}^2/\text{d}$ である。

(2) 実験

実験装置は、通常の三軸試験装置を用いた。本研究の場合、圧密後圧縮試験を行わないため供試体の寸法は、実験時間の短縮を考え高さを直径と同じ 50 mm とした。軸力の測定は三軸セル内にセットしたロードセルにより行った。また、間隙水圧の測定は供試体底部中央で行った。

K_0 圧密は、軸圧縮量 ΔH と体積変化量 ΔV を測定し、供試体断面積が一定となるよう応力を制御する方法で行った。計測および応力の制御はすべてコンピュータにより行った。図一にシステムの概要を示す。軸変位測定精度(最小読み取り)は、供試体初期高さの 0.004%、体積変化においては、供試体初期体積の 0.01% である。

セル液は、ゴムスリーブの透水・透気性に関する問題^{10)~12)}を考慮して、脱気水を用いた。加圧は水面に浮かべたテフロンシートを介して空気圧を液圧に変換して行っている。ダミー供試体を用いた実験結果から、今回

の実験期間では、ゴムスリーブを介しての透水は全く無かった。

応力の荷重は、所定の圧力まで鉛直応力を漸増荷重し、その後、一定値となるようにした。漸増荷重開始から側方変位を生じないように側方応力を制御している。圧密終了時の有効鉛直応力 σ_{vc}' は 400 kPa とした。また、圧密開始から 200 kPa のバックプレッシャーを荷重した。

圧密時間短縮のため供試体周囲に幅 1 cm の短冊状のろ紙を 4 枚(供試体周囲面積の約 25%) 用いた。また、供試体上端からろ紙を用い排水を行っている。端面摩擦の軽減は行っていない。実験期間は、 $3t$ 法¹³⁾による圧密終了時間以上とした。

セット時と圧密開始時の供試体の有効応力状態および含水比を同じ条件にするために行う K_0 圧密開始前の予備圧密における等方応力は、過去の経験から 30 kPa とした。この値は、初期および圧密終了後の含水比と初期供試体質量から求めた体積変化とビュレットへの排水量が等しくなるような応力である。

菊池ら⁶⁾は、乱さない粘土の K_0 圧密開始前の初期等方圧密の応力は、圧密降伏応力の 1/8 から 1/6 が適切だとしている。しかし、別に行った乱さない試料の実験結果から、圧密降伏応力が小さい場合には、圧密降伏応力の 1/6 では、供試体が吸水する場合があった。これは、一連の実験手順における試料の乱れが、供試体の有効応力と比べて大きいためと考えられる。したがって、圧密降伏応力が小さい場合の初期等方圧密圧力の値には十分留意する必要がある、吸水傾向を示すような場合には、初期等方圧密圧力を 1/6 より大きくすべきであろう。

側方ひずみの制御は $\pm 0.01\%$ 以下になるようにした。また、制御時間は、圧密の進行に伴い、長くなるようにしている。例えば、荷重速度 0.9 kPa/min では、漸増荷重時は 5 秒で行っている。漸増荷重終了後(約 400 分)の制御間隔は、時間の対数に比例させ、圧密終了時(約 1500 分)では、2 分となり、最終的には 20 分とした。また、粘性土の変形は時間を要するため、急激に応力が変化しないようにしている。すなわち、側方応力の荷重は、漸増荷重中は、鉛直応力荷重速度以下とし、その後、時間の対数に比例して、側方応力の増減幅を小さくした。

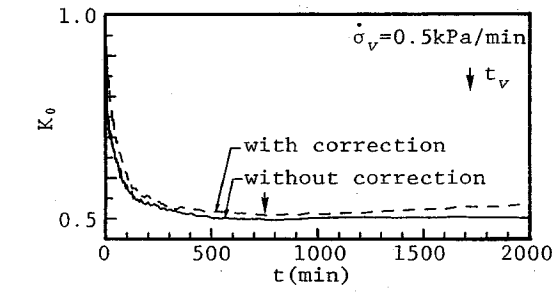
実験は、一部を除き $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ の恒温室内で行った。

3. 実験結果

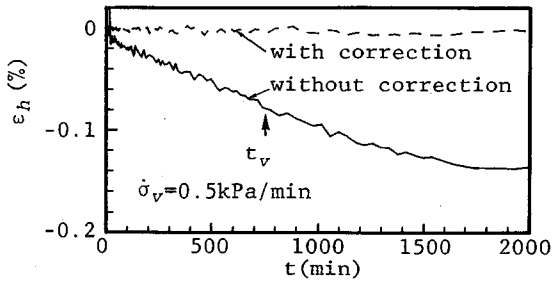
(1) ろ紙の吸排水量の影響

圧力の増減によるろ紙の圧縮・膨張量が無視できないことが報告^{10),14)}されている。菊池ら⁶⁾は、このろ紙の排水量を補正しなかった場合、鉛直応力がかなり大きい正規圧密領域(約 300 kPa 以上)では、 K_0 値が 0.02 程度小さくなることを報告している。

図二 (a), (b) にろ紙の補正の有無による K_0 値およ

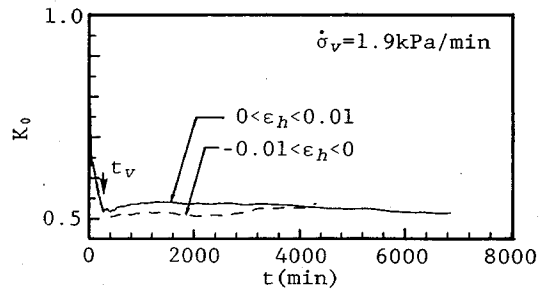


(a) K_0 値

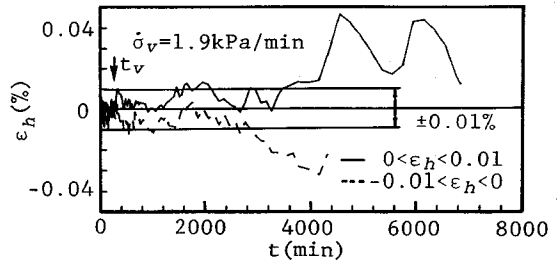


(b) 側方ひずみ

図—2 ろ紙の吸排水量補正の影響



(a) K_0 値



(b) 側方ひずみ

図—3 側方ひずみの制御方法の影響

び側方ひずみの変化をそれぞれ示す。補正量は、アクリル製のダミーを用いた実験から求めた。鉛直応力載荷速度は、0.5 kPa/minとした。図中に漸増載荷終了時間 t_v も示している。この図から分かるように、正規圧密領域についてのろ紙の補正の有無の比較によれば、補正を行わなかった場合、側方ひずみは、膨張側に0.15%生じるが、 K_0 値は0.01減少するのみであった。菊池ら⁶⁾の実験結果 ($D=35$ mm, $H=80$ mm, ろ紙の被覆面積：約75%)より影響が小さくなっているが、これはろ紙の被覆面積および供試体の大きさの違いによるものと考えられる。以下の実験結果は、ろ紙の圧縮・膨張量の補正を行ったものである。

(2) 側方ひずみの制御方法

側方ひずみの制御方法として、両振り(圧縮・膨張の両方向で制御する方法)と片振り(圧縮あるいは膨張方向のみで制御する方法)が考えられる。安定した K_0 値を得るためには、両振りよりも片振りの方が良いことが報告^{6),8)}されている。

側方ひずみを圧縮方向 ($0 < \epsilon_H < 0.01\%$)と膨張方向 ($-0.01\% < \epsilon_H < 0$)で制御した場合の K_0 値および側方ひずみの時間に伴う変化を図—3 (a), (b)にそれぞれ示す。

これらの図から分かるように、漸増載荷中(約250分まで)は、両者にほとんど差がない。しかし、漸増載荷終了付近から圧縮方向に制御した場合は、 K_0 値が0.02程度大きくなる傾向となっている。どちらの場合も、4000分程度まで、 K_0 値は安定しているが、それ以降に

おいて、両者とも片振りの方向にひずみが増大し、圧縮側では K_0 値をかなり小さくしなければ、所定の側方ひずみを維持できない状態となった、膨張側においては、全く逆の状態となった。今回の実験においてこの圧密時間では、側圧の制御間隔をかなり遅くしているために、このような状態となった。しかし、ひずみの制御を優先して、応力を制御した場合には、 K_0 値が大きく変動する可能性がある。したがって、片振りによる制御では、長期にわたる K_0 試験は不可能であろう。

両振り制御した場合の実験結果を図—4 (a), (b)に示す。側方ひずみは、全試験結果を通じ十分に制御されている。また、 K_0 値は、0.53から0.55の範囲で変動しているが、1週間程度では、 K_0 値は、ほぼ一定と考えて良いであろう。

(3) 排水条件の影響

本研究のような方式の三軸 K_0 圧密においては、漸増載荷中の過剰間隙水圧がほとんど生じない状態で応力を増加させるのが理想であろう。しかし、等方圧密の場合でも供試体底部中央で測定される過剰間隙水圧の消散挙動が供試体周囲のろ紙からの排水を集水する場所によりかなり異なった結果となることが分かっている¹⁵⁾。そこで、供試体底面で測定される過剰間隙水圧の信頼性を検討するため、周囲のろ紙のみの場合と上端面からの排水も併用した場合の2種類について実験を行った。集水はキャップおよびベDESTALのドーナツ型のポーラストーンを介して行っている。鉛直応力載荷速度は、1.9 kPa/minとした。

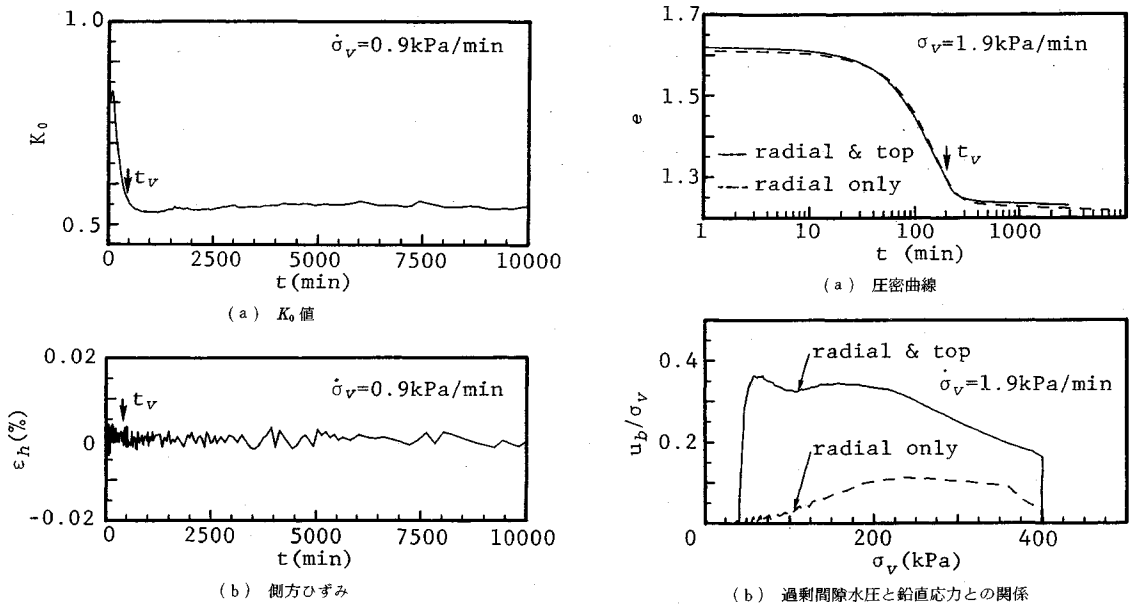


図-4 側方ひずみを±0.01%で制御した場合の実験結果

上端からの排水を併用した場合でも、図-5 (a) に示すように圧密曲線はほとんど同じとなった。また、圧密中の全応力の変化は両者でほとんど変わらなかった。しかし、図-5 (b) から分かるように供試体底部で測定された間隙水圧は、かなり異なった結果となった。圧密進行中の K_0 値と有効鉛直応力との関係を図-5 (c) に示す。図中には、段階的に圧密圧力を载荷した場合の K_0 値 (●印) も示している。これらの図から分かるように、供試体底部中央で測定される過剰間隙水圧は、周面のみの排水では平均過剰間隙水圧を過小に、上端も併用した場合には過大に評価してしまう。このように载荷速度が速く、過剰間隙水圧が大きく発生する場合、供試体底部中央で測定される間隙水圧は、排水条件に依存するため、信頼性がない。したがって、圧密進行途中の正確な K_0 値を得ることはできないであろう。ただし、圧密終了時間 t_e における K_0 値は両者とも 0.54 であった。なお、段階载荷の方が安定した K_0 値を得ることができるが、実験期間が長くなり実務上不適切であろう。

上端面での排水を併用した場合の方が、排水面積が広いので圧密が速く進行し、供試体内の平均過剰間隙水圧が小さくなるのが考えられる。しかし、供試体底部中央で測定された間隙水圧は、上端面の排水を併用した方が大きく、特に载荷開始直後では、その差がかなりある。また、同条件で供試体高さを高くした場合においても差は小さくなったが、同様な傾向がみられた。周面のろ紙のみの排水では、供試体中心部において過剰間隙水圧が最大になることが予想される。そして、上端からの排水を併用することにより、この位置が下方に移動するため

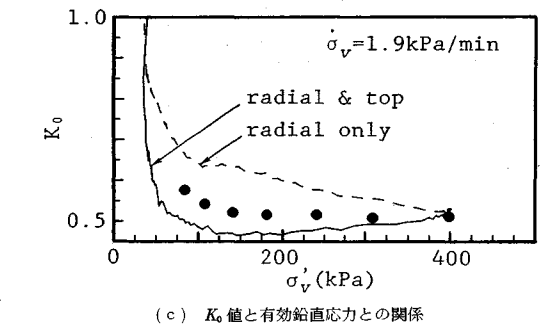
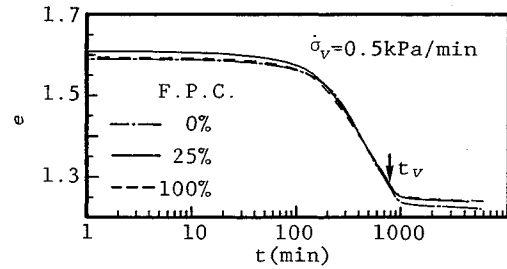


図-5 排水条件の影響

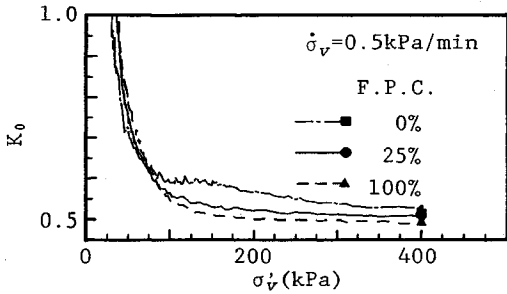
このような結果になったと考えられる。さらに、この傾向は、供試体の高さが低いほど顕著になると考えられる。しかし、後述のように载荷速度を遅くすることによりこのような排水条件による影響は小さくなる。

理想的には、三軸試験装置で次元圧密を行う場合も、供試体周面にろ紙を用いず、鉛直応力载荷速度を小さくして供試体上部からのみの排水とし、放物線分布を仮定して、下端で測定される過剰間隙水圧の 2/3 を平均過剰間隙水圧とすべきであろう¹⁰⁾。 K_0 値を求めるだけであれば、供試体高さを低くし、このような条件で実験を行うことができる。しかし、 K_0 圧密後の圧縮せん断試験を行う場合には、上端のみからの排水ではかなりの時間を要することになる。また、変形・強度特性に及ぼす端面摩擦の影響もあるであろう。したがって、 K_0 圧密三軸試験の K_0 圧密過程においては、このような方法は、実務的には不都合であろう。

結論として、圧密中の K_0 値を得る必要がある場合には、上端面からの排水も併用し、供試体底部における過

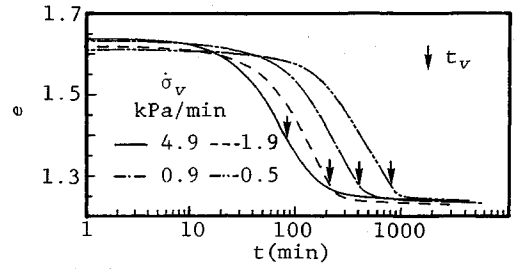


(a) 圧密曲線

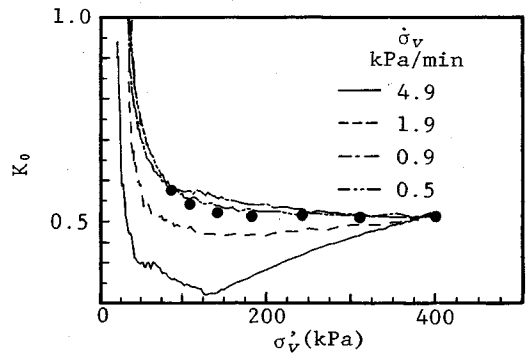


(b) K_0 値と有効鉛直応力との関係

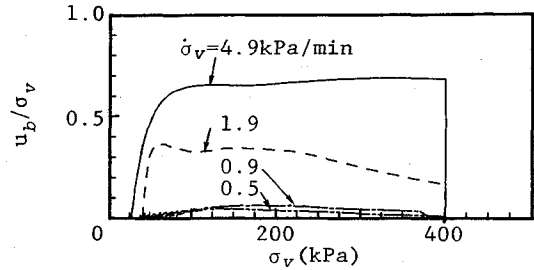
図—6 ろ紙の被覆面積の影響



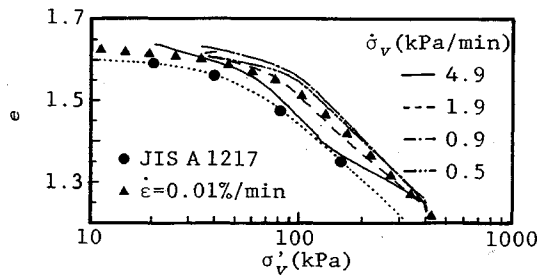
(a) 圧密曲線



(b) K_0 値と有効鉛直応力との関係



(c) 過剰間隙水圧と鉛直応力との関係



(d) 間隙比と有効鉛直応力との関係

図—7 鉛直応力載荷速度の影響

刺間隙水圧が、ほとんど発生しない載荷速度で応力を載荷するべきであろう。

(4) 周面のろ紙の被覆面積の影響

圧密時間短縮のため用いられる排水用のろ紙被覆面積が K_0 値に及ぼす影響を調べるため、供試体周面をろ紙で覆った場合と、両端面のみの排水の場合について検討した。周面にろ紙を用いた場合は、上端面からの排水も併用している。載荷速度は、両端面での排水を考慮し 0.5 kPa/min とした。

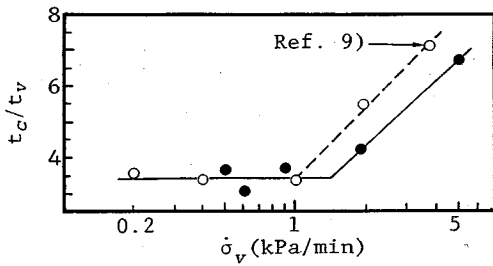
間隙比と圧密時間との関係を図—6 (a) に示す。この図から分かるように載荷速度が遅い場合にはろ紙の被覆面積は圧密時間にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。有効鉛直応力と K_0 値の関係 (図—6 (b)) は、被覆面積 25% と 100% では、あまり差がない。ただし、両端面排水の場合においては、過剰間隙水圧の測定が行われていないため、最終値以外は意味を持たない。

最終的な K_0 値については、ろ紙の被覆面積が大きい方が、 K_0 値がやや小さくなる傾向となった。これについて、森脇ら¹⁷⁾は、数値計算結果から、 K_0 圧密において、半径方向の排水が卓越した場合、供試体内の変形が不均一になり、 K_0 値が小さくなることを報告している。東田ら¹⁸⁾もモールドを用いた次元圧密と三軸 K_0 圧密の比較を行い、同様な結果を報告している。実験終了後供試体を高さ方向に 4 分割、半径方向に 3 分割し、含水比の分布を調べたが、3 者において明瞭な差はみられず、最大でも 0.5% 程度の差しかみられなかった。 K_0 値に及ぼす排水方向の影響については、明瞭な結果は得られ

なかったが、さらに検討すべき課題であろう。

(5) 載荷速度の影響

鉛直応力載荷速度 $\dot{\sigma}_v$ を変えた実験結果を図—7 (a) ~ (d) に示す。排水条件は周面のろ紙 (被覆面積: 25%) および上端としている。図—7 (a) から分かるように載荷速度が早い方が圧密が速く終了する。また、最急勾配は、載荷速度の増加にともない増加する。図中には、漸

図-8 t_c/t_v との載荷速度との関係

増載荷終了時間 t_v および 3t 法による圧密終了時間 t_c も示している。載荷速度 1.9 kPa/min 以下では、漸増載荷終了時に圧密が 90% 程度終了していることが分かる。

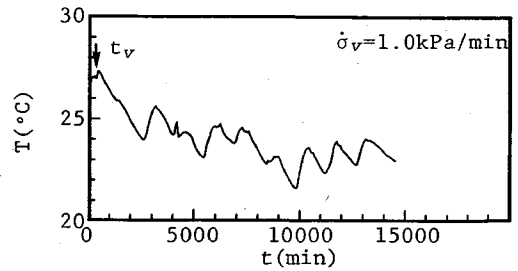
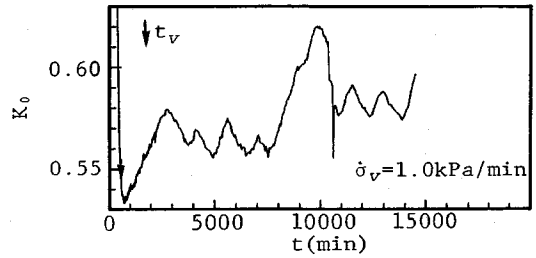
図-7 (b) は、 K_0 値と有効鉛直応力との関係である。図中には、段階的に圧密圧力を載荷した場合の K_0 値 (●印) も示している。載荷速度が速い場合 (1.9 kPa/min 以上), 小さな有効鉛直応力で、 K_0 値を過小に評価する傾向となる。この原因として、上述したように供試体底部で測定された間隙水圧が供試体の平均値を示すものでないためと考えられる。載荷速度 0.9 kPa/min 以下では、供試体底部中央で測定された過剰間隙水圧は鉛直応力の 10% 以下となっている (図-7 (c) 参照)。この程度であれば、漸増載荷中の K_0 値も十分に信頼できる。圧密終了時間 t_c における K_0 値は 0.51 から 0.53 の範囲にあり、載荷速度の影響はみられなかった。したがって、任意の応力での K_0 値のみが必要な場合には、載荷速度を速くしても差し支えないといえるが、載荷速度が速い場合には、供試体内のひずみや有効応力の分布が不均一になるおそれがある。

図-7 (d) は、有効圧密圧力と間隙比の関係である。図中には、圧密試験 (JIS A 1217) および定ひずみ速度圧密試験 (0.01%/min) の結果 (●および▲印) も併記している。この図から分かるように、載荷速度 0.9 kPa/min 以下では、一次元圧密とほぼ同様な形状を示しており、実験全期間における有効応力は信頼できると判断できる。

図-8 に漸増載荷時間 t_v と圧密時間 t_c との比と載荷速度との関係を示す。図中には、供試体高さ 120 mm の実験結果⁹⁾も示している。この図から分かるようにある載荷速度 0.9 あるいは 1.0 kPa/min 以下では、この比は、一定となることが分かる。

以上の結果から漸増載荷速度は、今回実験に用いた粘土では、0.9 kPa/min 以下にすべきであろう。この漸増載荷に要する時間は、等方圧密時の圧密時間の 1/2 程度であった。圧密時間が圧密圧力に依存しないのであれば、圧密圧力が小さい場合には、当然載荷速度も小さくすべきであろう。

(6) 温度の影響

(a) K_0 値

(b) 温度

図-9 温度変化の影響

粘土の力学挙動が温度の影響を受けることは、かなり以前から知られている。一定期間、恒温状態の維持をやめ、 K_0 値に及ぼす温度による影響を調べた。

図-9 (a), (b) に時間の経過に伴う温度および K_0 値の変化の状態を示す。温度は、セル近傍においた容器内の水温としている。この図から分かるように温度の上昇により K_0 値は小さくなる。その変動は 1°C で約 0.04 程度である。 K_0 値の時間依存性に関する研究においては、この影響は無視できないであろう。この実験における側方ひずみは ±0.02% 以内に収まっている。計測装置も温度変化の影響を受けるが、無視できる範囲であった。なお、他の実験結果から、漸増載荷中から圧密終了時までの K_0 値については、温度との明瞭な関係が認められなかった。

長期 K_0 圧密試験においては、所定の室温の ±0.5°C 以内に制御すべきであろう。

(7) 除荷時の制御について

圧密圧力の載荷時に比べ除荷時にはその制御が難しいとされている^{1), 6)}。 K_0 膨張試験は、載荷時と同様、鉛直応力を一定速度で除荷した後、一定値を取る方法で行った。ろ紙の膨張による補正も行っている。過圧密領域では体積ひずみが小さいため、膨張側にひずみが卓越した場合、側方応力が増加することを避ける目的でひずみの制御は圧縮側の片振りで行った。

図-10 (a), (b) に、圧密圧力を 400 kPa から 40 kPa まで除荷した際の、側方ひずみおよび K_0 値の変化を示す。除荷速度は、1.0 kPa/min としている。この図から分かるようにかなりの精度で制御が行われていると

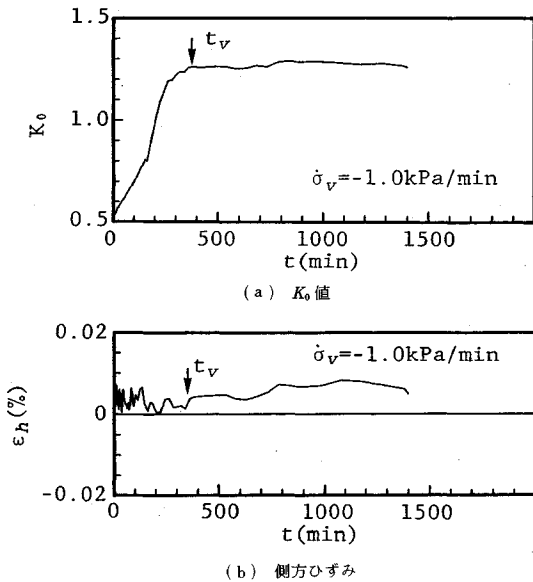


図-10 除荷時の K_0 の変化

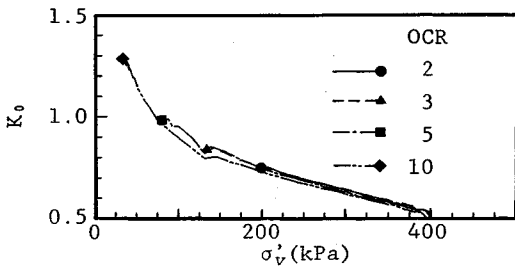


図-11 過圧密状態での K_0 値

考えられる。膨張終了付近において K_0 値の変動があるが、これは、圧密圧力が小さいため、側方応力の変動が 1 kPa 程度でも、 K_0 値が 0.025 程変わるためである。

過圧密比を、2, 3, 5, 10 とした実験から得られた膨張に伴う有効鉛直応力と K_0 値の変化を図-10 に示す。小さな過圧密比においてもよい結果が得られている。全ての実験において、同程度の制御が行われている。

4. 結 論

K_0 圧密三軸試験における K_0 圧密方法の確立を目指した実験結果から以下の結論を得た。

- 1) 側方ひずみの制御は、従来から K_0 値が安定すると言われている片振りによるよりも両振りの方が長期的な実験を行う際は有効である。
- 2) 供試体周面に紙を巻いた場合、応力の載荷速度が速く過剰間隙水圧が多く発生する際の圧密中の供試体底部中央で測定される過剰間隙水圧は、供試体全体の平均過剰間隙水圧としては信頼性が無い。
- 3) 排水方向の違いにより K_0 値が変化する可能性が

あるが、実験時間短縮のためには、周面に紙を巻くべきであろう。その際、上端との排水を併用すれば、供試体底部中央における過剰間隙水圧が大きく発生する傾向があるので、圧密進行中の K_0 値の妥当な値を得るためには、この過剰間隙水圧がほとんど発生しない載荷速度を決定すればよい。

4) 鉛直応力の載荷速度が速い場合 (5 kPa/min 程度) においても圧密終了時の K_0 値には、載荷速度の影響はみられないが、漸増載荷中の K_0 値を得るためには、等方圧密時の圧密終了時間の 1/2 程度の時間以上で載荷すればよい。

5) 長期的に K_0 圧密を行う場合には、温度変化に十分留意する必要がある。

6) 除荷時の K_0 値を安定して得るためには、側方応力を増加させないように制御したほうがよい。

以上の結論から分かるように、粘性土の K_0 圧密三軸試験における K_0 圧密については、その目的に応じて実験条件を十分に検討する必要がある。本報告は、一種類の繰り返した粘土のみについての実験結果によるものである。しかし、同じ実験システムで、乱さない粘土の K_0 圧密・膨張試験を行っているが、良い結果が得られている。

参 考 文 献

- 1) 大西有三・芦田徹也・矢野隆夫・小西真治：マイクロコンピュータによる自動 K_0 圧密試験装置について、第 17 回土質工学研究発表会講演集，pp. 213~216, 1982.
- 2) 柳田真司・一篠昌幸・神立哲男・丸井伸之・岩崎恒明：上野地下駅設置工事に伴う K_0 圧密試験結果，第 17 回土質工学研究発表会講演集，pp. 221~224, 1982.
- 3) 西 好一・江刺靖行・吉田保夫：空圧サーボ制御方式による K_0 圧密試験装置の開発，第 17 回土質工学研究発表会講演集，pp. 225~228, 1982.
- 4) 大河内保彦・龍岡文夫： K_0 値測定法—三軸セルを用いる方法—，土と基礎，Vol. 31, No. 7, pp. 56~58, 1983.
- 5) 落合英俊：UCLA におけるせん断試験方法と試験装置，土と基礎，Vol. 31, No. 7, pp. 35~39, 1983.
- 6) 菊池善昭・土田孝・中島謙二郎：三軸試験機による粘性土の静止土圧係数の測定，港湾技術資料，No. 577, pp. 3~27, 1987.
- 7) 芝 博史・阿部廣史・川上 浩：飽和粘性土の三軸 K_0 圧密時の挙動，第 23 回土質工学研究発表会講演集，pp. 577~580, 1986.
- 8) 菅野安男・増見文昭： K_0 圧密試験における横ひずみ制御の影響，第 17 回土質工学研究発表会講演集，pp. 229~232, 1982.
- 9) 小田美明・三田地利之：粘性土の K_0 圧密三軸試験結果に及ぼす圧密時の載荷方法の影響，三軸試験方法に関するシンポジウム発表論文集，pp. 149~154, 1991.
- 10) 三田地利之・成田 孝：三軸試験の体積変化測定におよぼす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講演集，pp. 186~189, 1985.

- 11) 岡二三生：三軸試験におけるゴム膜の透水・透気性、土と基礎, Vol.31, No.7, pp.67~68, 1983.
- 12) Oda, Y. and Mitachi, T. : Stress relaxation characteristics of saturated clays, *Soils and Foundations*, Vol.28, No.4, pp.69~80, 1988.
- 13) 土質工学会編：土の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験, 「土質試験の方法と解説」, p.357, 1990.
- 14) Shimizu, M. : Factors affecting the measurement of volume change of cohesive soils in drained triaxial tests, *Soils and Foundations*, Vol.21, No.2, pp.121~128, 1981.
- 15) 小田美明・三田地利之・木藤勇人：粘性土の圧密非排水せん断挙動に及ぼす圧密時間の影響, 土木学会論文集, 第412号, III-12, pp.117~126, 1989.
- 16) 土質工学会：漸増載荷圧密試験について, 特殊圧密試験に関するシンポジウム発表論文集, pp.47~84, 1988.
- 17) 森脇武夫・藤井秀憲・網干寿夫：飽和粘土の K_0 値に関する実験的研究, 土質工学会論文報告集, Vol.28, No.2, pp.205~215, 1988.
- 18) 東田 淳・中橋貞雄：一次元圧密並びに K_0 圧密三軸試験による粘土の非排水せん断特性の比較, 土木学会第40回年次講演会概要集, pp.473~474, 1985.
- 19) 大河内保彦・河辺 衛・龍岡文夫：粘性土の長期 K_0 圧密非排水せん断試験, 第17回土質工学研究発表会講演集, pp.353~356, 1982.
- 20) 赤井浩一・佐野郁雄：二次圧密における粘性土の状態変化, 土木学会論文集, No.364, pp.123~131, 1985.
- 21) Kavazanjian, Jr., E. and Mitchell, J. K. : Closure to "Time dependence of lateral earth pressure." *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol.110, No.10, pp.1246~1248, 1985.
- 22) 小林秀幸・中瀬明男・斉藤邦夫・竹村次朗：飽和粘土の強度特性に及ぼす圧密時間の影響, 第21回土質工学研究発表会, pp.385~386, 1986.
- 23) Yasuhara, K. and Ue, S. : Closure to "Increase in undrained shear strength due to secondary compression," *Soils and Foundations*, Vol.24, No.1, pp.166~170, 1983.

(1991.5.23 受付)

TRIAxIAL K_0 -CONSOLIDATION TEST ON SATURATED CLAY

Yoshiaki ODA and Toshiyuki MITACHI

A series of K_0 -consolidation test on saturated remolded clay with triaxial testing apparatus was performed to investigate the influence of the difference of testing condition on K_0 -value.

A new automatic K_0 -consolidation system was devised which can establish the K_0 condition by increasing vertical stress up to the desired value while controlling lateral stress to prevent the occurrence of lateral strain of the specimen within the limit of $\pm 0.01\%$.

Based on the test results, suitable methods of horizontal strain control, rate of vertical stress loading, drainage condition etc. were proposed.