

飽和粘土の K_0 圧密特性について

池 浦 勲*

K_0 - Consolidation Characteristics of a Saturated Clay

Isao IKEURA

要 旨

軸圧制御による飽和粘性土の K_0 圧密試験を行ない、室温の変化が測定値に影響を及ぼすことを示した。次に、体積圧縮指数 λ_v が圧密圧力の増加につれて徐々に増加すること、および K_0 値は予圧密時の約 1.5 倍の圧力では一定値をとることを見出した。

Abstract

Author investigated axial stress controlled K_0 - Consolidation characteristics of a saturated clay, and showed the following results.

- i) The change of room temperature has any effect upon experimental data.
- 2) Volumetric compression index λ_v gradually increases with consolidation pressure.
- 3) Value of K_0 approaches nearly a constant value at pressure of 1.5 times that of preconsolidation.

1. ま え が き

地盤の変形や安定（強度）問題を解明するためには、土の構造の異方性についての考慮がなされなければならないことは広く認識されており、近年では異方性を考慮した土の構成式が提案されている¹⁾。

実験的に粘性土の変形問題を考察する際には、自然堆積状態を再現するために、予め横方向変位を抑えたいいわゆる K_0 圧密を行なった供試体を実験の出発点とする必要がある。

筆者らは K_0 圧密後の供試体に種々の応力経路を与えた際の変形特性について実験を進めている²⁾が、今回はそのうち K_0 圧密過程の特性についての報告を行なう。なお、 K_0 圧密については既に若干報告しているが^{3),4)}、今回の圧密は、圧密の方向、応力制の方式がそれらとは異なっている。

2. 試料および実験方法

2. 1 試料および実験装置

実験に用いた試料は前段と同一の再圧密粘土であり、液性限界 63%，塑性指数 30%，土粒子比重 2.65，粘土分 62%である。

実験装置は、軸圧の制御に単動式ベロクロムシリンドーを用いた以外は前報⁵⁾と同様のものを試作したが、本報告の目的に照らして、体積変化測定装置についてや、詳しく述べる。

本装置は北大工学部土質工学講座の開発したものであり⁶⁾、図-1に示すように、容積の約半分を水銀で、残りを脱気水で満たしたアクリル製ポットと三方向バルブから成る。両ポット間はテフロンチューブでU字状に連結され、片方のポットはバネに吊されている。供試体からの排水は三方向バルブを経てポットAに入り、中の水銀をポットBに押出す。このためポットAの重量が軽くなりバネが縮む。ポットBに入った水銀は同体積の水をバックプレッシャータンクに排水する。ポットAのバネの縮み量を直流型差動トランスで検出し、事前の検定結果にあてはめて排水量が計算さ

* 土木工学科 助教授

れる。三方向バルブの切換により、水銀の移動方向を逆にすることもできる。なお、バネは水銀面の上下動と同じ量だけ伸縮するような、バネ定数 0.083 kgf/cm のものが選ばれ、結果的に供試体の排水口にかかる圧力（バックプレッシャー）は水の出入に無関係に一定値を保つ。

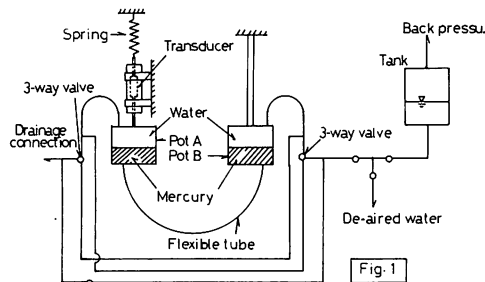


図-1

2. 2 実験方法

(1) K_0 圧密過程 供試体内および装置内の気泡の混入をできるだけ減少させるために、予め十分にフラッシング（ 2 kgf/cm^2 の圧力水による気泡の追出し）した装置に供試体を水中でセットした後、 130 kPa の等方圧力を負荷し排水を開始した。排水ルートには 100 kPa のバックプレッシャーをかけてあるので、有効圧力 $\sigma'_3 = 30 \text{ kPa}$ で圧密したことになる。

この状態を3時間続けてバックプレッシャーを十分に供試体内に行きわたらせた後、側圧 σ_3 を 130 kPa から 280 kPa まで、時隔約12時間で段階的に上昇させつつ K_0 圧密を行なった。後述のせん断時の応力上の原点を各試験とも揃えるために、最終の $\sigma_3 = 310 \text{ kPa}$ の K_0 圧密のみは応力制御（ $K_0 = 0.5$ ）によった。

なお今回の K_0 圧密は、側圧一定のもとで横方向変位が生じないように軸圧を制御する点が、既報の、軸変位を抑えて水平方向に圧密する方式³⁾や、一定軸圧のもとで側圧を制御する方式⁴⁾とは異なる。また供試体の横方向変位をナラインジケーター中の水銀の移動として検出し、光電管スイッチの入・切により軸圧を増加させる自動圧密装置である点も異なる。

(2) せん断過程 K_0 圧密終了後の供試体に次のような経路の応力を与えた。i) 応力比一定 ($C\eta$ テスト), ii) 応力増分比一定 (CIR テスト), iii) 軸差応力一定 (CQ テスト)。

i) の試験の応力比は $\eta = 0.75$ を用いた。ii)

の試験の応力増分比は、前報以外の応力経路という意味で $\Delta q / \Delta p = 0.40$ を採用した。

3. 実験結果と考察

せん断過程については実験継続中でありここでは K_0 圧密過程についてのみ考察する。

以下において用いるパラメータを定義する。まず応力については有効最大および最小主応力 σ'_1 と σ'_3 である。

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_1 &= \sigma_1 - u \\ \sigma'_3 &= \sigma_3 - u \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

σ_1, σ_3 ; 軸方向応力および側圧
 u ; 供試体内間隙水圧

ひずみについては軸ひずみ ϵ_1 と体積ひずみ ϵ_v を用いる。いずれも公称ひずみを用い、圧縮（あるいは排水）を正とする。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= \Delta H / H_0 \times 100 (\%) \\ \epsilon_v &= \epsilon_1 + 2 \epsilon_3 = \Delta V / V_0 \times 100 (\%) \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

ϵ_1 ; 軸方向ひずみ
 $H_0, \Delta H$; 供試体初期高さおよび軸方向変位量
 $V_0, \Delta V$; 供試体初期体積および排水量

3. 1 測定値におよぼす温度変化の影響

図-2は供試体からの排水バルブを閉じた状態でバックプレッシャーのみを負荷した場合の体積変化測定装置の体積変化読み D_v の経時変化を示す。このテストは装置系の“もれ”をチェックするため昭和58年12月から59年1月にかけて実施したものの一部であるが、図に表わされているように約12時間周期の波形を描きつつ D_v が増加し、1月4日以降は逆に減少傾向に転じている。この波形は暖房用通気サイクルと一致しており、他の測定結果とも総合して、図-2の D_v の変化は室温の影響によるものと判定した。室温変化の

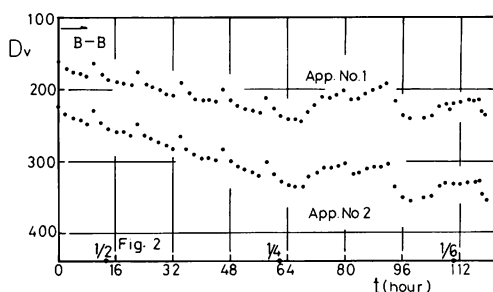


図-2

D_v への影響を、水と水銀の熱膨張（収縮）の面のみから試算してみると、温度が 15°C から 1°C だけ上昇するときの D_v の変化は、バルブ開放方向が A-A の場合 $+2.5/^\circ\text{C}$ 、B-B の場合 $-1.6/^\circ\text{C}$ であり、図の増減傾向は納得できるところである。

以上のような温度変化の影響は、 D_v のみならず間隙水圧 u や加圧機構（摩擦部分や空気調圧弁が存在する）そのものにも見られるものであろう。図-3 は一例として昭和 59 年 2 月 6 日～7 日の実験結果を示す。いずれのデータとも午前 6～7 時以降に、それ以前とは別の不規則な値を示しており、またこの変化が土の本質に起因したものと見ることはできない。

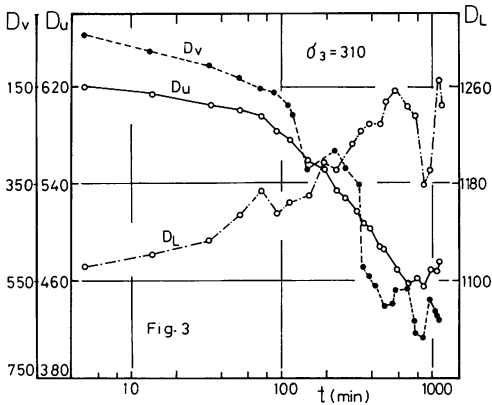


図-3

このように粘性土の実験においては恒温設備が不可欠であろうが、今年度において懸案の電熱による実験室恒温装置が導入された。10 月以降稼動しているが、室温は 11 月末までにおいて $20 \pm 0.4^\circ\text{C}$ を保っている。図-4 は、実験室恒温化以降の実験結果の一例であるが、前図で見られたような、後半部分におけるデータの不規則な動きは見られず、恒温化の効果は明らかである。

3. 2 体積変化と軸ひずみの関係

今回の K_0 圧密では横方向変位はゼロである。従って(2)式において $\epsilon_3 = 0$ であるから

$$\epsilon_v = \epsilon_1 \quad (3)$$

が成り立つはずである。図-5 は $\sigma_3 = 220 \text{ kPa}$ の圧密段階における ϵ_1 と ϵ_v の実測値を示す。出発点において若干の差が見られるものの、増分関係を考えると(3)式は成立している。

このような関係は他の圧密段階にも見られ、従って図-6 に示すように圧密全体を通じて(3)

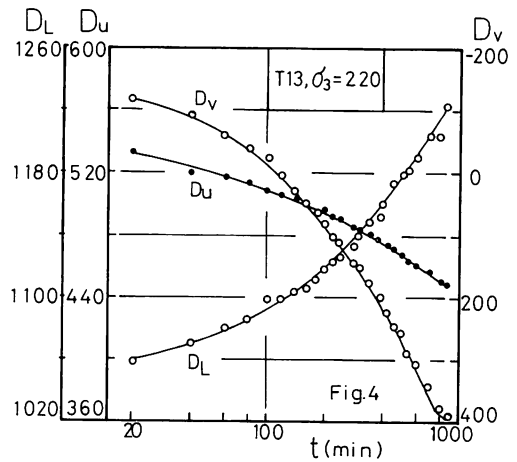


図-4

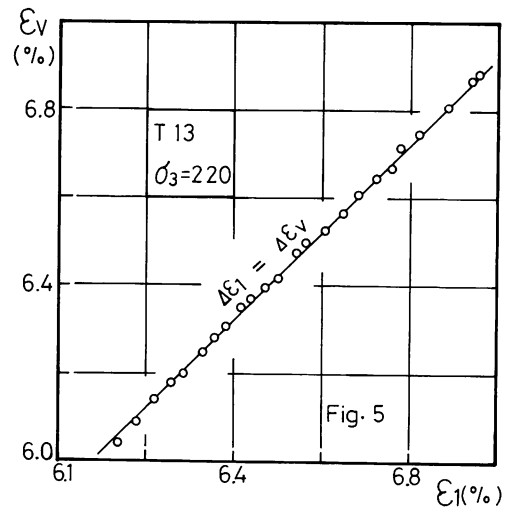


図-5

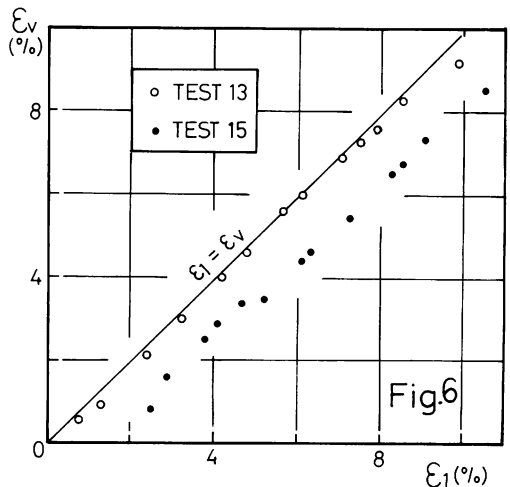


図-6

式の関係がほぼ満足されている。ただし試験番号15(以降T15と略記する)に顕著のように、 K_0 圧密の第一段階においては ϵ_1 が ϵ_v より大きくなる傾向が見られるが、これは排水量の速さに載荷台の上昇速度が追従しないために生じる自動 K_0 装置の機構上の問題と考えられ、現在圧密の初期においては側圧の上昇幅をより小さくして実験を進めている。

3. 3 応力と体積ひずみの関係

前節で述べた理由により、以下においては体積ひずみ ϵ_v を軸ひずみ ϵ_1 と同義と考える。

図-7は $\sigma_3 = 220$ kPaの圧密段階における ϵ_v と平均主応力 $p (= \frac{\sigma'_1 + 2\sigma_3}{3})$ との関係を示す。図のように ϵ_v は p の対数と直線関係にあり、その傾き $\lambda_v = \Delta\epsilon_v / \Delta(\ln p)$ は図の場合 4.83×10^{-2} であった。この λ_v を圧縮指数 C_c に換算すると0.28となる。これらの値は、側圧制御の K_0 圧密時より約2割小さい⁴⁾。

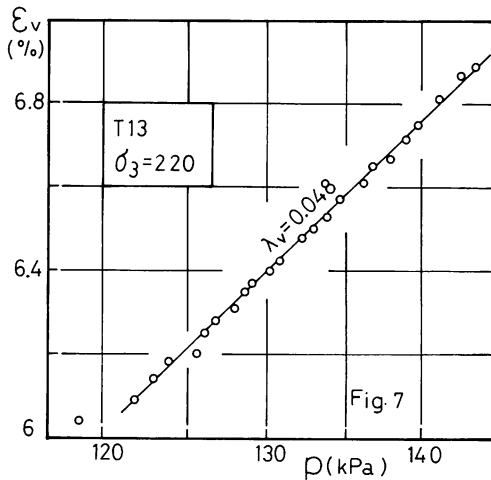


図-7

このような ϵ_v と $\ln p$ の直線関係は他の圧密段階においても認められるが、 λ_v は σ_3 の増加につれてや、上昇する傾向にある。(表-1)

図-8は各段階の $\epsilon_v \sim p$ 関係の最終値のみをプロットしたものである。表-1から予想される通り $\epsilon_v \sim \ln p$ は緩やかな曲線関係を示すが、 $p \geq 130$ kPa以上ではほぼ直線と見なされ、両テストの λ_v の平均は $\lambda_v = 0.047$ ($C_c = 0.27$)である。

3. 4 K_0 値と圧力の関係

圧密中の有効鉛直応力に対する水平方向応力の

σ_3 No	200	220	260	280
T13	4.45	4.83	4.73	6.02
T15	4.88	4.71	5.12	5.57

Table 1

($\times 10^{-2}$)

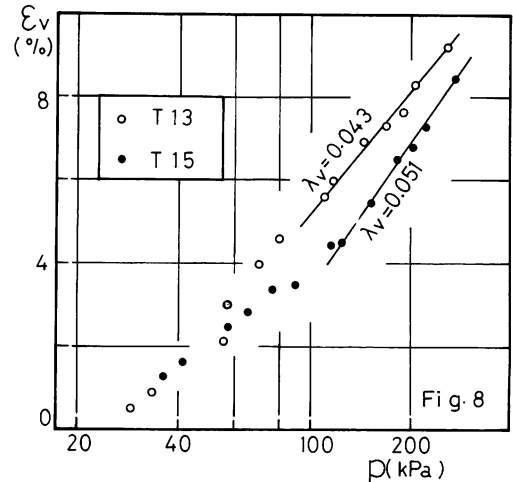


図-8

比 σ'_3/σ'_1 を静止土圧係数と同義と考えて K_0 と表わす。図-9は $\sigma_3 = 220$ kPaの圧密段階における σ'_1 と σ'_3 の経時変化を示す。 σ'_1 、 σ'_3 ともに時間(20分以降)経過につれて値が大きくなる。その比 K_0 は図中に示したようにわずかに大きくなっていく傾向にある。

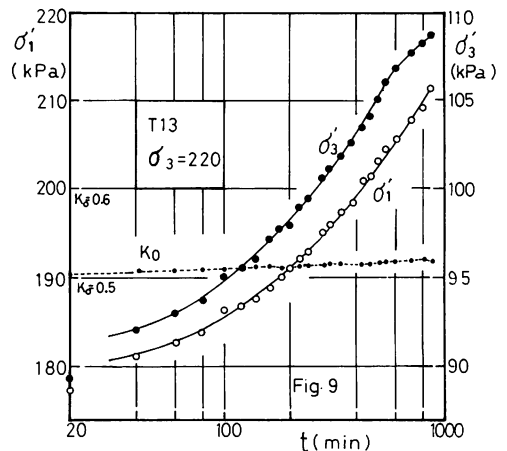


図-9

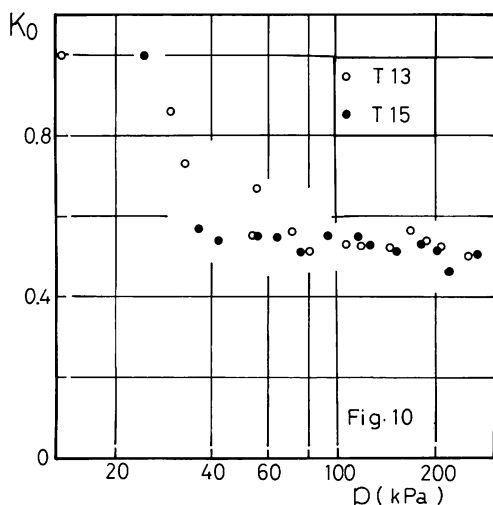


図-10

図-10は各段階の K_0 の最終値を p に対してプロットしたものであり、 K_0 は1.0から始まって、 p の上昇につれて下降し、 $p \geq 80$ kPa においては極めて徐々に $K_0 = 0.5$ 付近に漸近する傾向を示す。この K_0 の減少は図-9では表わされていない載荷初期に著しい。

本実験においては、予圧密試料からの供試体切出し方向を考えると、薄片状とされる粘土粒子が、圧密初期には σ'_1 に平行に配列し、圧密進行につれて σ'_1 と垂直な職きに徐々に再配列すると推測される。従って上記の $p = 80$ kPa は粒子再配列がほぼ終了する圧力と解される。ちなみにこの値は予圧密終了時の p の約1.5倍である。

4. ま と め

以上を要約すると次のようである。

- i) 粘性土の実験においては温度変化が複雑な影響を、その結果におよぼす

- ii) 体積圧縮指数 λ_v は、平均有効主応力 p の増加と共に増加する傾向にある

- iii) K_0 値は圧密によって急速に減少し、予圧密時の応力の約1.5倍の圧力以降はほぼ一定値に収束する。また各側圧段階の中での K_0 値は載荷初期を除いてはほぼ一定値となる。

K_0 圧密終了後のセン断過程については別の機会に報告したい。

おわりに、日頃御指導頂いている北海道大学三田地利之教授に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) たとえば、中井照夫、松岡元；ひずみ増分方向の応力経路依存性を考慮した砂の弾塑性構成式、土木学会第39回年次学術講演会、昭和59年、
- 2) 北郷繁、池浦勲、三田地利之、下越仁；異方圧密粘土の変形特性について、技術報告集、第22号、土質工学会北海道支部、昭和57年
- 3) 池浦勲、粘性土の異方圧密に関する実験的研究、苫小牧工業高等専門学校紀要、第14号、昭和54年
- 4) 池浦勲；平面ひずみ状態における粘性土のせん断特性について、苫小牧工業高等専門学校紀要、第16号、昭和56年
- 5) 池浦勲；異方圧密粘土の時間-変形関係、苫小牧工業高等専門学校紀要、第18号、昭和59年
- 6) 北郷繁、三田地利之ら；粘性土の変形特性におよぼす応力経路の影響について、技術報告集、第21号、土質工学会北海道支部、昭和56年
(昭和59年12月1日受理)

