

III-11 粘土の K_0 -圧密に関する2, 3の実験と考察

京都大学防災研究所 正員 ハ木則男
京都大学工学部 学生員 西川一夫

1 まえがき

自然堆積粘土層は一般に1次元圧密を受けている。また粘土層上に構造物が建設された場合の沈下の計算として、その粘土層が比較的薄く、載荷中の広い場合は1次元圧密が生じているとして計算する場合が多い。したがって古くより1次元圧密に対する研究がなされてきた。その最初はTerzaghiによる圧密理論であり、以後2次元圧密も考慮した圧密理論が研究され今日に至っている。

また一方1次元圧密においては水平方向の変形が許されない状態で圧密されているので K_0 -値の研究も同時にされることが多い。 K_0 値は実際の地盤の応力分布や変形などの計算に必要であるが、現地で測定することが困難な場合が多いので、実験室内で1次元圧密状態を再現して求める場合が多い。実験室内では3軸試験機によって K_0 -値を求めることがあるが、著者は従来のこの方法について疑問をもち、3軸試験機による新しい1次元圧密の方法によって求めた K_0 -値について従来の方法によるものと比較し、その圧密特性について調べた。

2 K_0 -値の測定法に対する考察

3軸試験機によって1次元圧密を行ない K_0 -値を求めるには、つぎの手段によっている¹⁾。円柱形の粘土供試体の周面にスリット状に切ったろ紙を巻きつけ、供試体の上下端面より直接に排水を許さない状態にして3軸セル内にセットし、ろ紙の一端をペDESTAL上におかれたポラスストンに接触させて、横方向にのみ排水を許す状態にする。そしてセル内に側圧 σ_r を作用させ、圧密を開始すると同時に排水量 ΔV に応じて deviator stress を作用させて軸方向変位 δh を、 $\Delta V = A_0 \delta h$ (A_0 :供試体の断面積)を満足するように与える。したがって外見上直径方向には変位はしていないので K_0 状態が満足されているとしている。しかし供試体内部もみるとかなりずしも K_0 状態も満足しているとは言えない。すなわち、圧密過程中の任意の時間における供試体内の間げき水圧、有効応力の分布は図-1(a)に示すようになる。したがって体積変化の分布も同様になるはずである。しかし、その体積変化に応じて与えた軸方向ひずみ ϵ_a は供試体の上下端面と剛な載荷キャップやペDESTALで押して与えるから、図-1(b)のような様なひずみとなる。ゆえに供試体内では部分的には K_0 状態も満足していない。しかるに K_0 -値は1次元圧密によって生じた土中のせん断抵抗に起因し、せん断抵抗は土中のせん断ひずみによって生ずるので、ひずみの状態がどの部分においても圧密過程中完全に K_0 状態も満足していなければ、正確な K_0 -値は得られない。そこで完全に K_0 状態も満足するには排水の方向と変位の方向とが一致することが必要である。この条件を満足する圧密も3軸セル内で行うために、側方方向へのみ排水および変位を許し、軸方向には変位を拘束した圧密実験を行なった。

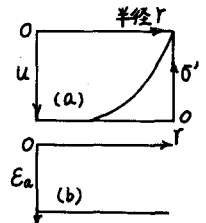


図-1

3 実験装置、実験方法、試料

K_0 -圧密実験は二種類行なった。一つは円柱供試体の軸方向の変位を拘束した圧密試験で K_{0a} -圧密

と呼ぶ。この実験を行なう装置は図-2に示してある。すなわち載荷キャップとピストンを通じてロードセルに剛結し、力が作用しても変位しないようになっている。供試体は高さ約8.0cm、直径は約3.55cmの円柱形である。その上下端面には不透水板をおき、供試体の上下端面より直接には排水できないようにした。排水は一枚づつ分離した長方形のろ紙と供試体周面にはり付け、その先端をベDESTALと不透水板の間においたポーラストンに接触させて行なった。このようにすれば、圧密過程中の水の流れは水平放射状となり、高さ方向に一様となる。以上のように供試体をセットしたのち周圧 σ_r を作用させると、排水と同時に軸圧が減少し、その値をロードセルを通じて記録計に自記させた。

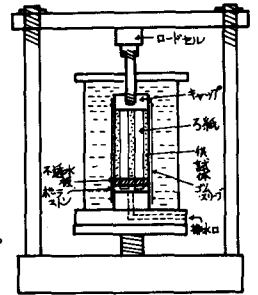


図-2

第二の実験は円柱供試体の半径方向の変位を許さない圧密試験で K_{or} -圧密と呼ぶ。これは従来より行なわれてきた方法で、その実験装置も図-3に示す。供試体の状態は K_{oa} -圧密の場合と全く同じである。周圧 σ_r を作用させると排水 ΔV を生ずるが、 $\Delta V = A_0 \delta h$ を満足するようにレバーにより荷重を作用させ σ_a を増加させた。ただし過圧密状態の試験を行なう時は図-2と同様の装置によって、下部の台を上下させることにより供試体にひずみを与え実験を行なった。

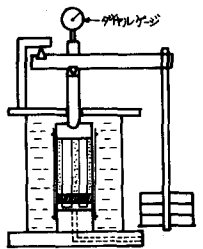


図-3

試料は表-1に示すように大阪沖積層、洪積層より採取した塑性指数PIの異なる数種の粘土である。

実験は、No.1, No.2, No.3の試料に対しては σ_r を0.5, 1.0, 2.0 kg/cm²と段階的に作用させ、各段階においては約5000分間放置した。またNo.4, No.5の試料に対しては、載荷、除荷を繰り返して与え過圧密状態における圧密特性についても調べた。

試料	PI (%)	採取箇所 粘土の状態	K_{oa} -圧密	K_{or} -圧密	新着地
No.1	76.1	洪積層、重粘土	○	○	0.5
No.2	45.5	"	○	○	"
No.3	19.7	"	○	○	"
No.4	37.3	洪積層、中粘土	○	○	"
No.5	"	洪積層、"	○	"	"

表-1

4 実験結果と考察

① K_0 -値

3軸試験機により円柱形供試体の直径方向の変位を拘束して求めた静止土圧係数 $K_{or} = \sigma_r' / \sigma_a'$ (ここに σ_a' は軸方向の有効応力、 σ_r' は直径方向の有効応力)は粘土の土粒子骨格のポアソン比 ν とすれば次式で与えられる。

$$K_{or} = \nu / (1 - \nu) \quad (1)$$

一方、軸方向の変位を拘束して求めた静止土圧係数 $K_{oa} = \sigma_a' / \sigma_r'$ は次式で示される。

$$K_{oa} = 2\nu \quad (2)$$

ゆえに K_{or} と K_{oa} の関係は次式となる。

$$K_{or} = K_{oa} / (2 - K_{oa}) \quad (3)$$

図-4に K_{or} -圧密および K_{oa} -圧密の代表的な結果の一例を示す。図は時間 t の対数に対して体積変化と全応力比 σ_r / σ_a および σ_a / σ_r の変化を示したものである。図からわかるように2次圧密領域に入ると σ_r / σ_a , σ_a / σ_r はほぼ一定となり、 K_{or} , K_{oa} に等しくなる。

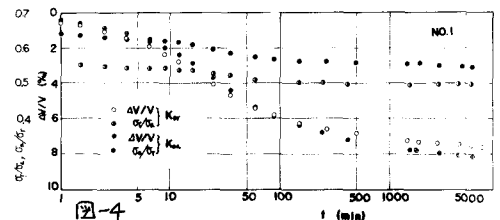


図-4

この K_{or} , K_{oa} を有効側圧 σ'_f に対してプロットすると図-5 のようになり、 K_{or} は σ'_f に対してほぼ一定であるが、 K_{oa} は σ'_f の増加とともに減少している。これは、供試体とゴムスリーブの間に入った空気や水を排水させるために、 K_{oa} , K_{or} -圧密開始前に約 0.15 kg/cm^2 で等方圧密したために σ'_f の小さい範囲ではその影響を受け、とくに K_{oa} -圧密では最大主応力が小さいため K_{oa} の値が大きくなったものと思われる。また実際に中瀬らの実験によっても K_o の値は有効応力の増加とともに減少している。

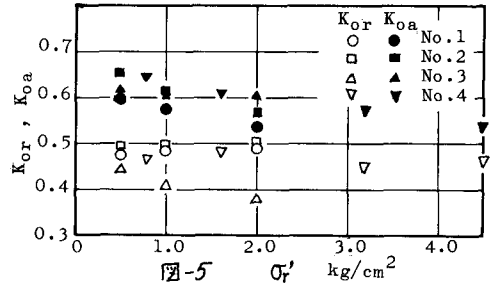


図-5

塑性指数 PI と K_{or} または K_{oa} の関係を調べると、従来から言われているように K_{or} , K_{oa} は PI の増加とともに増加しない。これは、これらの粘土の有効内部摩擦角 ϕ' が PI の増加とともにかなりずしも増加していないことによるものと思われる。そこで K_{or} , K_{oa} と ϕ' の関係を示したのが図-6 である。ここで ϕ' は K_{or} , K_{oa} -圧密後の供試体に対して行なった非排水せん断により求めた σ'_f/σ'_v が最大値における値である。ただし、この図で K_o は K_{or} に対してはそのまゝの値であり、 K_{oa} に対しては(3)式によって K_{or} の値を求めてプロットしたものである。圧密後に行なったせん断試験を失敗したデータはプロットできなかった。なお図中には $Brooker^{32)}$, $Bishop^{43)}$ によって求められた K_o 値についてもプロットした。この図によると No.3 以外は K_{oa} より計算した K_o 値より K_{or} の方が大きく、 K_{or} は No.3 のデータは

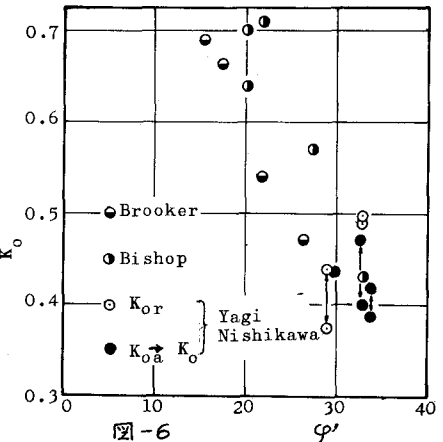


図-6

別として $Bishop$ の結果に近い値を示し、 K_{oa} より求めた値は $Brooker$ の結果に近い値を示す。このことについて考察する。 $Bishop$ は著者が行なった K_{or} -圧密と同じ方法で3軸試験機により K_o 値を求めたものである。一方 $Brooker$ は標準圧密試験機と同様な方法で圧密を行ない、側方に作用する応力を測定して K_o 値を求めたものである。したがって $Brooker$ の実験では圧密過程において、間げき水圧の消散した部分と変形の生じた部分とは同じであり、その意味ではここで行なった K_{oa} -圧密と同じ条件である。ゆえに、 K_{or} -値は $Bishop$ の結果に、 K_{oa} -値より計算した K_o -値は $Brooker$ の結果に近い値を示す理由は、上記の実験条件によるものではないかと思われる。また著者の行なった K_{or} , K_{oa} -圧密は同じ試料に対して行なった実験であり、 K_o -値は同じであるから、両者から得られた K_o -値は一致するはずである。したがって前記2で述べた理由により、3軸試験によって K_o -値を求める場合は K_{oa} -圧密によって行なった方が望ましいと思われる。しかしこのことは重要な問題であるので今後さらにデータを蓄積して行きたい。

つぎに載荷、除荷の繰返し試験を行なった試料について、過圧密比 OCR に対して K_{or} , K_{oa} -値をプロットしたのが図-7 である。 OCR が大きくなると、 K_{or} , K_{oa} -値はたがいに近づく。また OCR と K_{or} , K_{oa} -値とは両対数紙上で直線で表わされる。

b) 間げき有効応力関係

一般に1次元圧密の聞けき比 e と有効応力 σ' の関係は e に対し最大有効応力に対してプロットし、圧縮指数なども求める。 K_{or} , K_{oa} -圧密の場合、 $e - \log \sigma'$ 関係を統一的に表わすにはどのような応力に対し e もプロットすればよいかを調べたのが図-8である。図によると最大有効応力 σ'_a または σ'_r より、平均有効応力 σ'_m に対してプロットした方が K_{or} , K_{oa} -圧密の $e - \log \sigma'$ 関係を統一的に表わしている。しかし σ'_a , σ'_r , σ'_m のいずれの場合も直線の勾配は等しくなり、いわゆる C_c の値は等しくなる。

(C) 2次圧密速度

K_{or} , K_{oa} -圧密の2次圧密量は図-4でもわかるように、1次元圧密の終了後に時間 t の対数と直線的な関係がある。そこで2次圧密^{二次圧密}を $d(\Delta V/V)/d \log t$ で表わした。同じ σ_r に対しては $d(\Delta V/V)/d \log t$ は K_{or} -圧密の方が大きい。これは K_{oa} より K_{or} の方が $(\sigma_a - \sigma_r)$ が大きいことによるものであろう。また $d(\Delta V/V)/d \log t$ は σ'_m の大きさにもよると思われるので、 $d(\Delta V/V)/d \log t$ と $|\sigma_a - \sigma_r|/\sigma'_m$ との関係を正規領域のものに対してプロットしたのが図-9である。図-9にはかなりのバラツキがあるが、 $|\sigma_a - \sigma_r|/\sigma'_m$ の増加とともに2次圧密速度は増加するようである。しかし2次圧密速度は粘土が受けた応力履歴や応力の作用方向などに関係してくるので定量的に求めるには今後さらに実験を進めねばならない。なお、 K_{oa} -圧密では正規領域における2次圧密速度はほぼ一定である。

5 あとがき

以上、数少ないデータから主に K_0 値に対する考慮を行ない、3の結論を出した。この種の実験は長時間を必要とするため、現在実験を続行中であるので、講演時にさらに詳しい実験結果を報告する。

参考文献

- 1) A.W. Bishop & D.J. Henkel; "The Measurement of Soil Properties in the tri-axial Test" London Arnold, 1964, pp 140~144.
- 2) 八木則男, 西川一夫; "K₀-圧密を受けた粘土のせん断時性" 土木学会第26回年次学術講演会概要集第3部, 昭46.10
- 3) E.W. Brooker & H.O. Treland; "Earth Pressure at Rest related to Stress History", Canadian Geot. Jour., vol.11, No.1, 1965 pp 1~15.
- 4) A.W. Bishop; "Test Requirements for Measuring the Coefficient of Earth Pressure at Rest," Brussels Conf. 58 on Earth Pressure Problems Vol.1, 1958 pp 1~14.

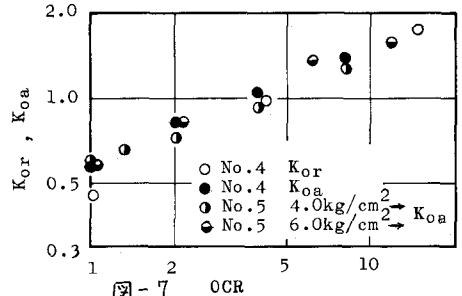


図-7

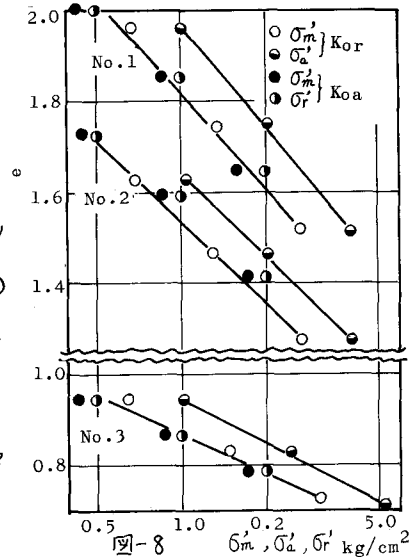


図-8

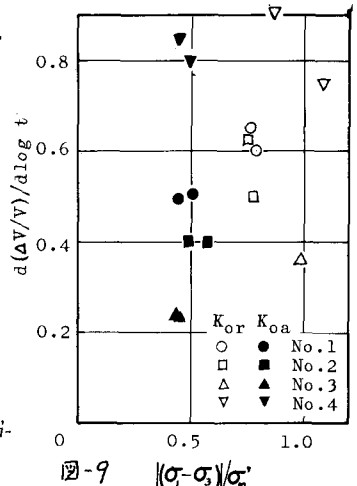


図-9 $|\sigma_a - \sigma_r|/\sigma'_m$