

粘土の三軸 K_0 圧密試験機の試作について

山口大学工学部 正員 兵動正幸 中田幸男 村田秀一
大成建設(株) 正員 川手伸哉
山口大学 学生員 ○柴田晴光

1. まえがき 水平な自然地盤は K_0 状態で圧密され形成されている。三軸試験機を用いて K_0 状態を再現するためには、供試体の側方向へのひずみを拘束する必要がある、普遍的に実験を可能にするには多くの困難が生じる。本研究は三軸室内で、側方ひずみを高精度に制御する K_0 圧密試験システムの試作を行うこととしたものである。その際、周面ろ紙の排水量及び管路の膨張量の補正、側方ひずみの制御方法、軸方向のひずみ速度などが K_0 値に与える影響についてそれぞれ調べたのでその結果について報告するものである。

2. 試料及び実験装置 試料は佐賀県の東与賀地区で採取された有明海岸堤防粘土をとした。試料は $420\ \mu\text{m}$ ふるい通過分に対して予圧密容器内で圧密圧力 $p_c=50\text{kPa}$ で一次元圧密をすることで作製した。試料の物理的性質を示すと、 $G_s=2.585$, $W_L=67.5$, $W_P=32.7$, $I_P=32.7$, $F_C=83.3\%$, 粘土分含有率=43%となっている。実験装置には二重セル式三軸試験機を使用し、コンピュータを用いることで自動制御・計測を可能としている。試験機の概要を図-1に示す。軸圧はサーボモーターにより一定のひずみ速度で載荷(漸増載荷)でき、側圧はコンピュータからの電気信号を空圧に変換することにより最小値 0.5kPa の精度で載荷できる。内セル水として揮発性の低いシリコンオイルを用いることで、セル水の蒸発とメニスカスの発生を低減し、長時間に及ぶ実験を可能にしている。試験中の供試体の側方ひずみは、高感度差圧計が感知する内セル水の変動と供試体軸変位量から、コンピュータによって計算される。さらに、その側方ひずみがゼロとなるように側圧を制御しながら、目標とする軸方向圧密圧力まで漸増載荷するプログラムをコンピュータに組み込んだ。 K_0 圧密条件は側方ひずみを $\pm 0.005\%$ 以内に抑えることを目標とした。

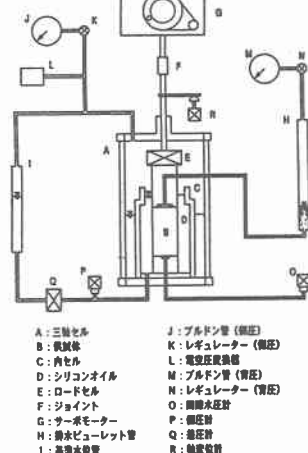


図-1 K_0 圧密試験機の概要

3. 実験結果と考察 K_0 圧密実験はセットされた供試体に排水状態で 20kPa の初期等方圧力を加え、その後、軸圧を漸増載荷し、側方ひずみを拘束するように側圧を変動させて行った。 K_0 圧密中の側圧の増加に伴うろ紙の排水、管路の膨張により誤った体積変化量を算出してしまふ。計算された体積変化量に対してこれらの補正をした場合としなかった場合の K_0 圧密試験結果を図-2(a),(b)に示す。図-2(a)は軸方向圧密応力 σ_a' と K_0 値、図-2(b)は軸方向圧密応力 σ_a' と側方ひずみ ε_r の関係をそれぞれ示したものである。図-2(a)より K_0 値は σ_a' の増加に伴い次第に減少し、最終的にある値に漸近していることがわかる。補正の有無を比較すると、補正を行わなかった場合は、行った場合に比べ K_0 値を低めに評価していることがわかる。さらに、補正を行わなかった場合、 ε_r は膨張側に大きく偏って生じ、 K_0 状態を十分満足しているとは言えない結果となった。従って精度の高い K_0 圧密試験を行う上で、計算された体積変化量に対して、ろ紙の排水や管路の膨張の影響は無視できないものと考えられる。

一般に粘土は載荷された応力に対し変形の時間的遅れをとまうためゆっくりとした速度で応力を載荷する必要がある。そこで側方ひずみの制御時間間隔 Δt の違いが K_0 値に与える影響について調べた。図-3 は K_0 圧密試験結果から得

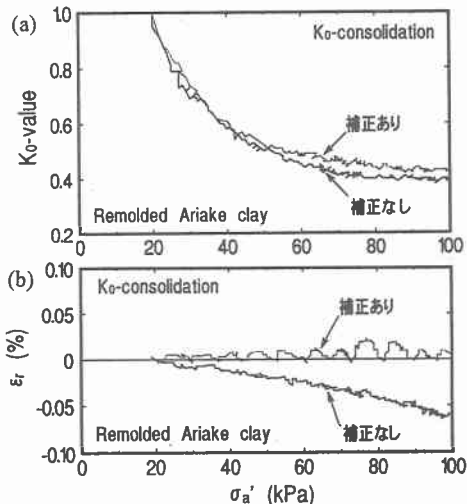


図-2(a)(b) 体積変化量補正の有無の影響

られた軸方向圧密応力 σ_a' と側方ひずみ ε_r の関係を示したものである。 $\Delta t=60\text{sec}$ とした場合の側方ひずみの変動は $\Delta t=20\text{sec}$ の場合と比べて小さいことがわかる。また図-4は側方ひずみの制御を片振りとした場合と、両振りとした場合での K_0 圧密試験結果から得られた軸方向圧密応力 σ_a' と側方ひずみ ε_r の関係を示したものである。両振りとした場合の変動は片振りとした場合に比べて小さくゼロ付近で生じている。これらのことから K_0 圧密試験をひずみ速度 $0.01\%/min$ で行う場合には、側方ひずみの制御時間間隔は 60sec 、両振りで行うことにより K_0 圧密条件を満足できると考えられる。

実務の上で K_0 圧密試験を行うことを考えた場合、圧密終了まで時間の短縮の可能な方法が望ましい。そこで、軸方向のひずみ速度を $0.01, 0.02, 0.05\%/min$ の3種類に設定して行った試験結果を図-5(a),(b)に示す。図-5(a)は軸方向圧密応力 σ_a' と K_0 値の関係を示したものである。いずれの場合においても K_0 値は σ_a' の増加に伴い、ある一定の値に漸近してしていることがわかる。 $0.01, 0.02\%/min$ で行った2つを比べると、 K_0 値の挙動に大きな差は見られないが、 $0.05\%/min$ で行った場合、他の2つに比べて小さい σ_a' で K_0 値を過小に評価していることがわかる。図-5(b)は軸方向全応力 σ_a と σ_a' で正規化された過剰間隙水圧 Δu の関係を示したものである。 $0.05\%/min$ で行った場合、軸圧に対して最大14%程度の Δu が生じている。これは圧密中にせん断力が加わったために Δu が大きく生じたものと考えられる。 $0.01, 0.02\%/min$ で行った場合では、 Δu は生じているものの、比較的小さな割合となった。従って、今回の試料では、ひずみ速度を $0.02\%/min$ 以下に設定すべきであるという結論に達した。

図-6は図-5で示したひずみ速度 $0.01\%/min$ で K_0 圧密試験を行った場合の軸方向圧密応力 σ_a' と時間 t の関係を表したものである。側方ひずみは全過程を通じてほぼ $\pm 0.005\%$ 以内に制御できており、 K_0 圧密条件を十分満足していると判断される。

4. まとめ

1. 供試体の体積変化量に対しての補正を行わず K_0 圧密試験をした場合、側方ひずみを大きく膨張側に生じさせる。従って精度の高い K_0 圧密試験を行うためには体積変化量の補正を行う必要がある。
2. 側方ひずみの制御を行うにあたり、粘土特有の载荷に対する変形の時間的遅れを考慮に入れた上で、側圧を载荷する時間間隔と応力の大きさを設定しなければならない。
3. 载荷速度を設定する際に、粘土の透水性も考慮に入れて、過剰間隙水圧が生じないひずみ速度を選ぶことが必要である。今回の試料では $0.02\%/min$ 以下にすべきであることが明らかになった。

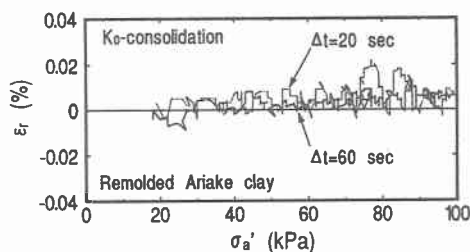


図-3 制御時間間隔の影響

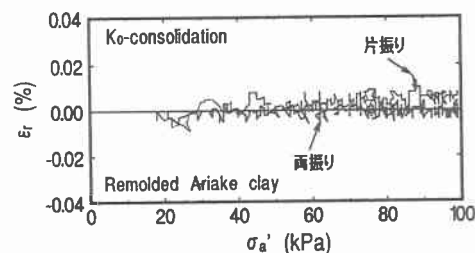


図-4 片振り、両振りの影響

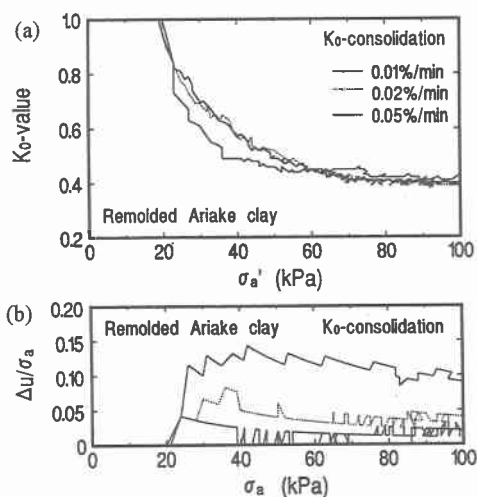


図-5(a),(b) 軸方向のひずみ速度の影響

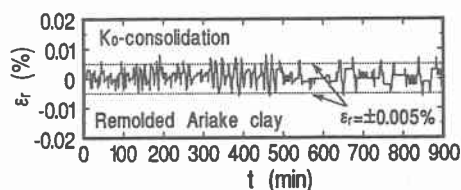


図-6 側方ひずみと時間の関係