

K_0 圧密された飽和粘性土の定体積条件での不飽和化に伴う応力挙動鳥取大学
鳥取大学学生会員 ○落合 祐介
正会員 中村 公一

1. はじめに

静止土圧係数 K_0 は地盤の応力状態を推定する上で重要なパラメータである。しかし不飽和土の K_0 値に関しては未解明な部分が多い。そこで本研究では供試体を K_0 圧密後、 K_0 状態で不飽和化を試み、 K_0 圧密後から不飽和化させたときの応力挙動について調べた。ここで不飽和化は、 K_0 圧密終了時の供試体の高さと同直径を一定に保った状態でサクションを段階的に作用させる方法により行った。

2. 試料, 試験装置

試料は、DL クレー（低塑性シルト）と $75\mu\text{m}$ 以下の通過分の藤森粘土の混合試料を用いた。炉乾燥した各試料を DL クレー40%、藤森粘土 60%の割合で混合した。混合試料の物理的性質は $\rho_s=2.676\text{g/cm}^3$, $w_L=41.5\%$, $w_p=28.6\%$, $I_p=12.9\%$ である。

図1は試験装置の概略図であり、不飽和化時の状態を示している。各圧力はレギュレーターにより制御し、圧力計により計測した。また、排水量は二重管ビュレット、体積変化量は内セルの水面変動により、それぞれ差圧計を用いて測定した。軸変位量は軸変位計により測定した。

3. 試験方法

はじめに供試体作製方法について説明する。含水比 60%となるように脱気水を加えスラリー状にした混合試料を、三軸セル内に組み立てた圧密モールドに流し込んだ。その後、錘により上面排水・底面非排水条件で $10.4\text{kPa} \rightarrow 16.3\text{kPa} \rightarrow 49.4\text{kPa}$ と段階的に供試体を圧密した。圧密後、三軸セル内に空気圧 50kPa を作用させ不飽和化した。不飽和化後、自立した供試体の高さと直径を計測し、ゴムスリーブを装着した後、三軸セルを組み立てた。

供試体作製後、供試体を飽和するためセル圧 13kPa 、背圧 15kPa の圧力差 2kPa で通水を行った。圧力差 2kPa は、ゴムスリーブが通水により膨張しない程度の圧力として設定した。通水経路は、供試体底面から通水させた。通水終了の判断は、通水量が供試体作製時に不飽和化で排水された排水量と、キャップとチューブ内容積を満たす水量の和を上回る時点とした。

通水後、セル圧 200kPa 、背圧、即ち供試体底面より間隙水圧 150kPa を作用させ、有効拘束圧 50kPa で等方圧密を行った。なお等方圧密後、 B 値 $=0.95$ 以上であることを確認し、以後の試験を行った。

等方圧密後、 K_0 圧密は圧縮速度 $6.52 \times 10^{-4} (\text{cm/min})$ で供試体を圧縮しつつ、側方ひずみが 0.05% 以内となるようセル圧をコンピュータにより制御した。 K 値がほぼ一定となったことを確認した後、圧縮を止めた。

最後に不飽和化を行うが、この際、軸変位を一定とした定体積の状態で行った。具体的に、 K_0 圧密後の載荷台を固定して軸変位を一定とし、側方の変位は K_0 圧密時と同様に、セル圧の制御により側方ひずみが 0.05% 以内にするこで定体積状態とした。なお、サクションは間隙空気圧を背圧と同じ 150kPa とし、背圧、即ち供試体底面に作用する間隙水圧を下げることによって $30\text{kPa} \rightarrow 50\text{kPa} \rightarrow 70\text{kPa} \rightarrow 90\text{kPa} \rightarrow 110\text{kPa} \rightarrow 130\text{kPa} \rightarrow 150\text{kPa}$ と段階的に作用させた。各サクション作用過程終了の判断は排水量が落ち着いた時とした。

4. 結果と考察

本研究で用いた結果の整理方法について説明する。 σ_{net} , σ_{anet} は基底応力の考えに基づき、 σ_{rB} , σ_{aB} は Bishop の有効応力の考えに基づいている。なお、式中の χ はサクション ($s=u_a-u_w$) が有効応力にどれくらい寄与するかを表すパラメータであり、本研究では χ を飽和度 S_r としている。 K_{net} は基底応力に基づいた σ_{net} , σ_{anet} の応力比で、 K_B は Bishop の有効応力に基づいた σ_{rB} , σ_{aB} の応力比で以下のように表現する。

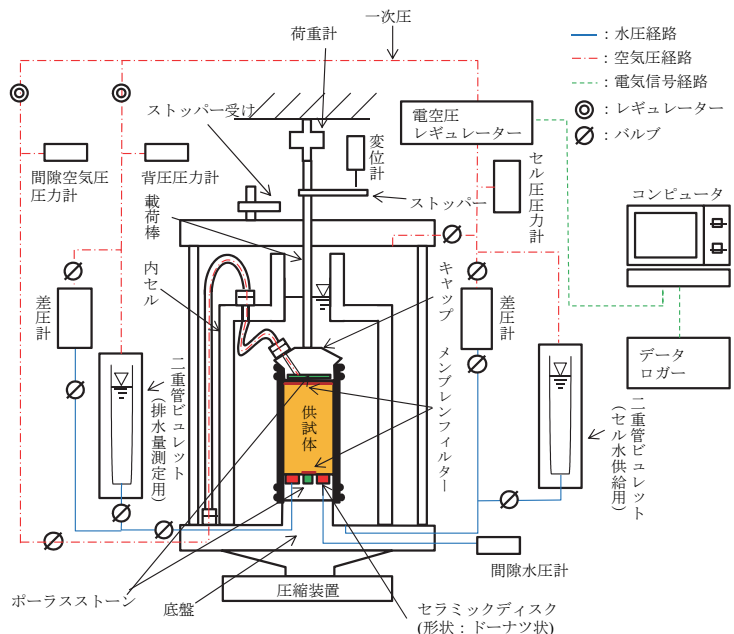


図1 試験装置概略図

 K_0 圧密 不飽和化 サクション

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101番地 TEL: 0857-31-5986

$$\sigma_{\text{net}} = \sigma_r - u_a, \quad \sigma_{\text{anet}} = \sigma_a - u_a$$

$$\sigma_{\text{rB}} = \sigma_r - u_a + \chi \cdot (u_a - u_w), \quad \sigma_{\text{rB}} = \sigma_r - u_a + \chi \cdot (u_a - u_w)$$

$$K_{\text{net}} = \frac{\sigma_{\text{net}}}{\sigma_{\text{anet}}}, \quad K_B = \frac{\sigma_{\text{rB}}}{\sigma_{\text{aB}}}$$

図2に各サクシオン作用過程終了時における飽和度の結果を示す。\$K_0\$圧密後からサクシオン90kPa終了時までには飽和度は100%である。サクシオン110kPaから飽和度が99%に減少し、サクシオン130kPaで98%、サクシオン150kPaで88%となった。

図3は\$K_0\$圧密と各サクシオン作用過程時の基底応力ならびにBishopの有効応力の応力経路を示した図であり、サクシオン作用過程ごとに色分けをしている。図中の基底応力とBishopの有効応力を見ると、基底応力は連続しているが、Bishopの有効応力はサクシオン作用過程ごとに連続していない。この理由として本研究ではサクシオンを、間隙空気圧を一定、間隙水圧を減少させて作用させている。したがって結果の整理で示すように、基底応力は全応力から間隙空気圧のみを引いているため、サクシオンを変化させても基底応力は変わらない。Bishopの有効応力は式中にサクシオンと飽和度を考慮しているため、サクシオンを変化させるとBishopの有効応力は変化する。基底応力を見ると、\$K_0\$圧密終了時から各応力はほぼ同じ割合で減少し、ほぼ直線的に減少している。Bishopの有効応力では、サクシオン70kPa終了時まで\$K_0\$圧密終了後の有効応力とほとんど変わらないが、サクシオン90kPa以降、\$K_0\$圧密終了後の有効応力より上方に位置し、\$\sigma_r/\sigma_a\$が増加していることがわかる。図2より、サクシオン110kPaから飽和度が減少しているため不飽和化していると考え、基底応力は不飽和化しても各応力の挙動にほとんど変化はないが、Bishopの有効応力は不飽和化すると上述のように変化する。またグラフの傾きが緩やかになっていることから軸方向の応力の減少割合が大きくなっていることがわかる。

図4に各サクシオン終了時における\$K_{\text{net}}\$と\$K_B\$の結果を示す。\$K_{\text{net}}\$を見ると減少傾向にあるが、\$K_B\$は増加した後、サクシオン110kPa以降ほぼ一定の値に落ち着いた。飽和状態であるサクシオン90kPaまでは、\$K_{\text{net}}\$の減少の割合は緩やかであり、\$K_B\$の増加の割合も緩やかである。不飽和化するサクシオン110kPaからは\$K_{\text{net}}\$は飽和度の低下が大きくなる分、減少の割合が大きく変化して0に近づくが、\$K_B\$はほぼ一定の値0.53付近に落ち着いていることがわかる。

5. 結論

\$K_0\$圧密後、定体積条件で供試体を不飽和化した結果、\$K\$値は以下のような挙動となった。

- ・基底応力に基づく応力比\$K_{\text{net}}\$で整理した場合、\$K_{\text{net}}\$値は減少し0に近づく。
- ・Bishopの有効応力に基づく応力比\$K_B\$で整理した場合、\$K_B\$値はほぼ一定の値に落ち着く挙動がみられた。

参考文献

- 1) 落合祐介, 中村公一, 清水正喜: \$K_0\$圧密された飽和粘性土の不飽和化に伴う\$K\$値の挙動, 第49回地盤工学研究発表会, 2014 (投稿中)。
- 2) 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会, 2009。

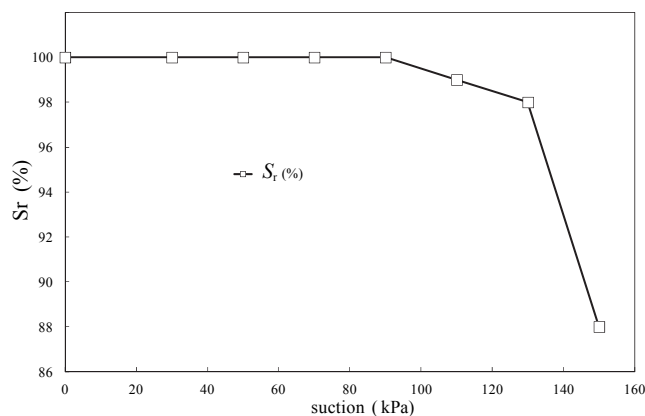


図2 各サクシオン終了時の飽和度

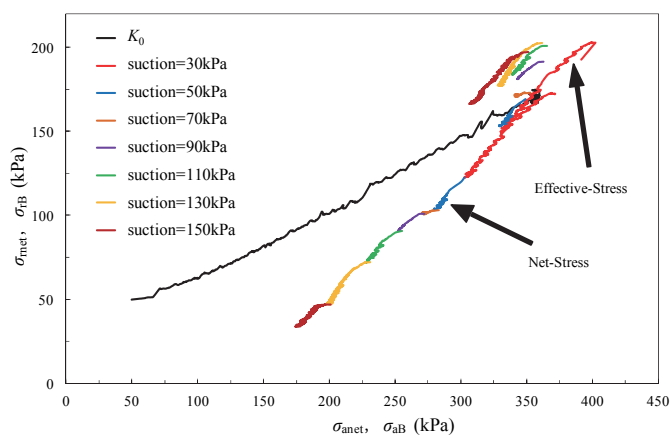


図3 \$K_0\$圧密時から不飽和化終了時までの各応力経路

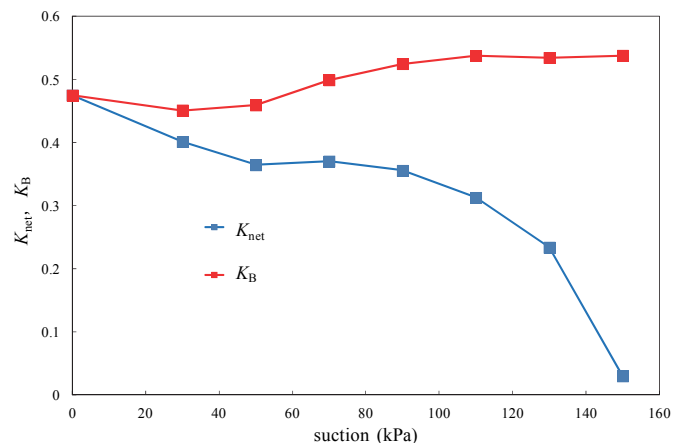


図4 各サクシオン終了時の\$K_{\text{net}}\$, \$K_B\$