

三軸試験による不飽和粘性土の K_0 圧密特性

鳥取大学大学院 学生会員 ○落合 祐介
鳥取大学大学院 正会員 中村 公一

1. はじめに

不飽和土の一次元圧縮試験において、供試体にサクシオンを作用させて不飽和化すると、鉛直荷重を載荷していても側方方向に収縮する可能性がある。供試体が側方に収縮すると一次元という条件は満たされない。そこで本研究では三軸試験装置を用いて不飽和粘性土の K_0 圧密特性について調べた。なお K_0 圧密試験は、軸方向変位と体積圧縮量を測定することによって側方の変位（ひずみ）を制御し行った。

2. 試料, 試験装置

試料は DL クレー（低塑性シルト）と $75\mu\text{m}$ ふり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。

試験装置は不飽和土用三軸圧縮試験装置を用いた。図 2 は試験装置の概略図であり、供試体不飽和化時の状態を表している。各圧力はレギュレーターにより個別に制御し、各圧力計により計測した。排水量は二重管ビュレットの水面変動、体積圧縮量は内セルの水面変動を、それぞれ差圧変換器を用いて計測した。軸変位量は軸変位計により計測した。

3. 試験方法・試験条件

はじめに供試体作製について説明する。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や直径を計測し、ゴムスリーブを装着した後、内セルと三軸セルを組み立てた。なお、飽和土試験は不飽和化を省略し、飽和度 100%として供試体を作製した。

供試体作製後、セル圧 200kPa 、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、飽和土試験は等方圧密後、 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、供試体を不飽和化するためサクシオンを作用させた。間隙空気圧を供試体底面の間隙水圧と同じ 150kPa 作用させ、サクシオン ($s=u_w-u_a$) を 0kPa とする。サクシオンは間隙空気圧 150kPa 一定とした状態で、供試体底面の間隙水圧を減少させることで作用させた。サクシオンは $20\text{kPa} \rightarrow 50\text{kPa} \rightarrow 70\text{kPa} \rightarrow 90\text{kPa}$ と段階的に作用させた。なお、本研究では間隙空気圧を供試体上面から作用させているが、下垣は供試体底面から作用させている。

飽和土試験は等方圧密後、不飽和土試験は不飽和化後に K_0 圧密を行った。なお、不飽和土試験ではサクシオンを一定としている。 K_0 圧密は、圧縮速度 6.52×10^{-4} (cm/min) で載荷台を上昇させ供試体を圧縮しつつ、側方ひずみが 0.05%以内となるようにセル圧をコンピュータ制御により制御した。供試体の体積圧縮量は、不飽和土試験は内セルの水面変動、飽和土試験は排水量とした。

試験条件は 3 ケースであり、サクシオン 90kPa を落合 s_{90} 、サクシオン 70kPa を下垣 s_{70} 、飽和条件を下垣 飽和と以降呼称する。

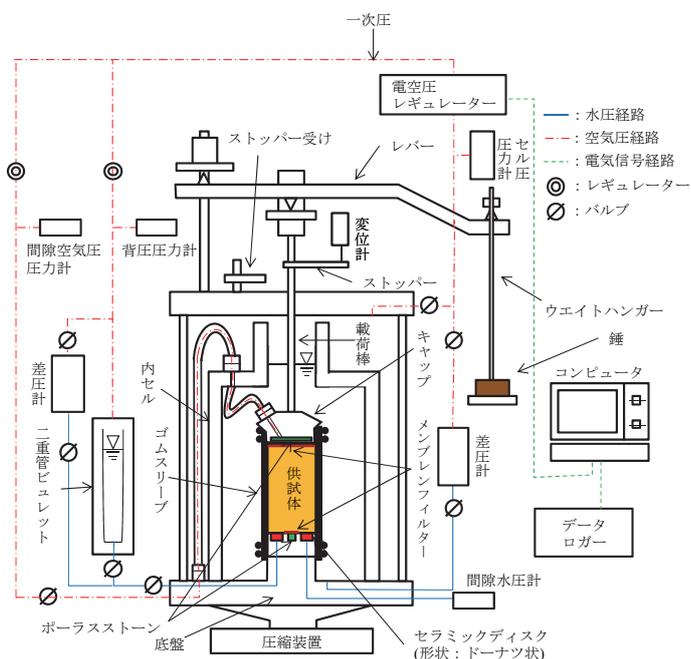


図 1 試験装置概略図

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_{rnet} , 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 はサクシヨン ($s=u_a-u_w$) 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_{rnet} , 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.

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

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

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

落合 s_90, 下垣 s_70 の K_0 圧密開始時の飽和度はともに約 88% である. また, K_0 圧密中の飽和度は減少傾向にあるが, その変化量は約 0.3% 以内で小さく, ほとんど変化していないと言える.

図 2 に K_0 圧密時の軸ひずみと基底応力の結果を示す. 軸ひずみに対して各応力は落合 s_90, 下垣 s_70, 下垣 飽和の順に大きい. これは供試体が不飽和化していることにより, 強度が増加するためである.

図 3 に K_0 圧密時の軸ひずみと Bishop の有効応力の結果を示す. 不飽和土試験の各応力が 120kPa 付近から始まる理由は, Bishop の有効応力は上式のように計算されているためである. また, K_0 圧密中の飽和度がほとんど変化しないから, 基底応力の挙動とほぼ同じになる.

図 4 に K_0 圧密時の基底応力と Bishop の有効応力の各応力の結果を示す. なお, 図中の点線は等方応力線であり, 実線の途中にある印は K_0 圧密中の $\epsilon_a = 6\%$ 時を示す. K_0 圧密開始時の飽和土と基底応力の試験結果を比較すると, 飽和土試験は σ_{anet} が不飽和土試験よりも小さい応力で σ_{rnet} が増加し始めることがわかる. ここで σ_{rnet} が増加し始めた軸ひずみを確認すると, 下垣 飽和, s_70 は ϵ_a が約 0.6%, 落合 s_90 は ϵ_a が約 0.4% であった. サクシヨンが大きいほど, σ_{rnet} が増加し始める ϵ_a が増加するか今後検討する必要がある.

図 5 に K_0 圧密時の軸ひずみと K_{net} , K_B , K' の結果を示す. K' , K_B はほぼ同じ挙動を示した. また, 落合 s_90, 下垣 s_70 の K_B , K_{net} はそれぞれほぼ同じ挙動を示した. K_B と K_{net} の $\epsilon_a = 6\%$ 時点と比較すると, K_B が K_{net} より約 0.05 大きくなった.

5. まとめ

- ・ K_B , K' がほぼ等しい挙動となり, $\epsilon_a = 6\%$ 時点で K_B が K_{net} より約 0.05 大きい結果となった.

参考文献

下垣克夫, 清水正喜, 中村公一: 不飽和粘性土の K_0 圧密挙動, 第 47 回地盤工学研究発表会, pp.671-672, 2012.

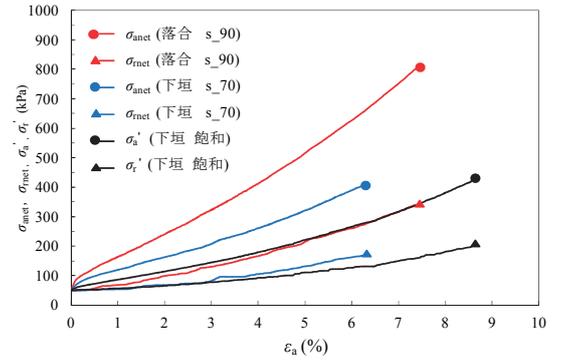


図 2 K_0 圧密時の軸ひずみと基底応力

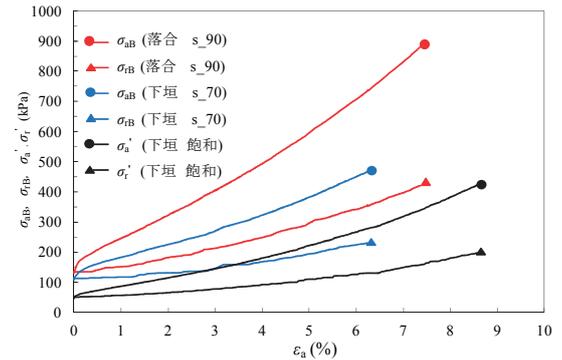


図 3 K_0 圧密時の軸ひずみと Bishop の有効応力

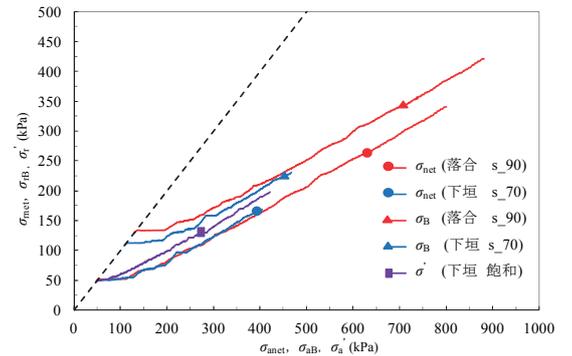


図 4 K_0 圧密時の基底応力と Bishop の有効応力の各応力

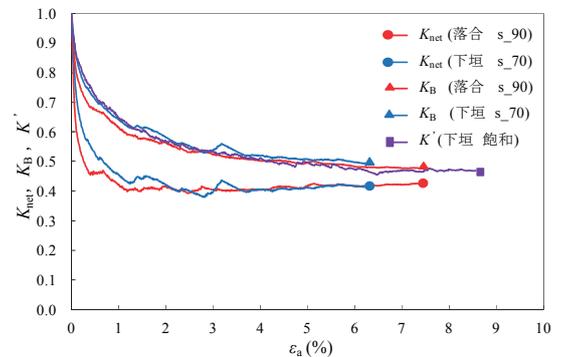


図 5 K_0 圧密時の軸ひずみと K_{net} , K_B , K'