不飽和土の三軸圧縮試験における側方ひずみの挙動

鳥取大学大学院　正会員　○清水正喜
鳥取大学大学院　学生会員　下垣克夫

１．序論

粘性土の１次元圧縮試験において，飽和供試体にサクションを作用させて不飽和化すると，供試体が側方に収縮して圧密容器と供試体の間に隙間ができ，１次元圧縮状態でなくなる可能性がある．しかし，圧密荷重が作用していれば，隙間ができた瞬間に一軸圧縮状態になり，隙間が生じないとも考えられる．本研究では，このことを検証するために，三軸圧縮試験によって，飽和供試体を K_0 圧密した後にサクションを作用させて，次にせん断応力を増加させて，側方ひずみの変化を定量的に評価した．

２．試料および試験方法

試料として低塑性シルト（DL クレー）を用いた（表 1 参照）．

表 1 試料の物理的性質

試料名	DL クレー
土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	2.703
液性限界 w_l (%)	32.8 注
塑性限界 w_p (%)	17.0 注
塑性指数 I_p	15.8 注
シルト分 (%)	75
粘土分 (%)	25

注：清水・寺方[1)]より値を引用．

試験は不飽和土用三軸圧縮試験装置[1)]を用いた．セル圧σ3，間隙空気圧 ua，背圧をレギュレーターにより個別に制御するとともに，供試体底面の間隙水圧 uw を計測した．供試体の体積変化量および排水量を個別に測定した．

供試体は，三軸セル内に設置したモールド内でスラリー状の試料を予圧密した後（最大圧密応力 49.2kPa），不飽和化して作製した．DL クレーは飽和状態では乱れやすく，自立しないので，サクション 50kPa を作用させて，不飽和化させることで自立できる乱れの少ない供試体を作製した．

作成した供試体は不飽和状態であるので，飽和状態で K_0 圧密を行うために，供試体に給水して飽和化した．その後，有効拘束圧σ_3'（=50kPa）で等方圧密した．等方圧密後，軸方向有効応力 σ_1'を増加させて，有効応力比 R’（$=\sigma_3'/\sigma_1'=1/K_0$）で異方圧密した．ここで K_0 は Jaky の式（$K_0=1-\sin\varphi'$）と過去の研究[1)]（φ’=36°）を参考にして設定した．次に，サクション s（$=u_a-u_w$）70kPa を作用させて不飽和化した．不飽和化が終了した後，応力制御でせん断を行った．不飽和化終了時の応力比 R_{net}（$=\sigma_{1net}/\sigma_{3net}$）は 2.5，正味の軸方向応力 σ_{1net}（$=\sigma_1 - u_a=\sigma_3+q - u_a$）は 125kPa である．

せん断は次の二通りの方法で行った．試験①正味の側方拘束圧 σ_{3net}（$=\sigma_3- u_a$）を 50kPa に保ち，正味の軸方向応力を段階的に増加させた．試験②不飽和化直後に σ_{3net} を一旦 0(kPa)にした．この時，ゴムスリーブ内に余分な空気が入る恐れがあったので，5 分後に σ_{3net} を 3kPa にした．ゴムスリーブと供試体が密着できたことを確認した．σ_{3net}=3kPa の状態で，σ_{1net} を段階的に増加させた．

３．結果

以後，側方ひずみ（ε_3）は飽和状態での異方圧密終了時を基準として表している．

（１）異方応力状態における不飽和化（サクション増加段階）

図 1 はサクション増加段階の側方ひずみの時間的変化である．試験①の結果を例として示す．異方応力状態（$R=1/K_0$）で不飽和化をすると側方に収縮することがわかる．

（２）せん断過程の挙動

図２は試験①におけるせん断過程の各段階の側方ひずみ（ε_3）と時間の関係を示したものである．せん断応力レベルは応力比 $R_{net}(=\sigma_{1net}/\sigma_{3net})$で表した．図，$\sigma_{3net}$=50(kPa)の時は，$R_{net}$ が 5.4 より小さい時は経過時間約 100 分までほとんど変化がなく，約 100 分以降は側方に収縮している．R_{net} が 5.8 より大きいと約 300 分まで

キーワード　不飽和土，せん断，三軸圧縮試験，側方ひずみ，サクション
連絡先　〒680-8552　鳥取市湖山町南 4-101　鳥取大学工学部土木工学科，TEL：0857-31-5290

は側方に膨張し，約 300 分以降は収縮している．

図３は試験②におけるせん断過程の各段階の側方ひずみと時間の関係を示したものである．の σ_{1net}=77.9kPa において，時間 0.5(min)までに急激に内セルの水面が上昇した．そのため，内セルから水が溢れない様にするため，排水コックと間隙空気圧コックを閉じた．このため 0.5～1min の間は供試体が側方に膨張していない結果となった．時間 5～30min で側方ひずみが 0.1%から 0.7%へ側方に収縮している．これは，先に述べたが，経過時間 5min より前は σ_{3net}=0kPa に，5min より後は σ_{3net}=3kPa に設定したためである．

試験②の場合では，σ_{1net}=77.9(kPa)の段階から側方に膨張していることがわかる．

図２と図３より，試験①の試験開始時点（R_{net}=3.5）の ε_3（約 1.7）と方法②の試験開始時点（σ_{1net}=77.9kPa）の ε_3（約 1.8）は同じような値となっている．

試験①では，R_{net}=6.9（σ_{1net}=346(kPa)）の段階までに，ε_3 は 0 にもどらなかった．試験②では σ_{1net}=151.2(kPa)の段階の経過時間約 100 分で ε_3=0.1 となり，試験①とは違い ε_3 が 0 に近い値となった．これから，側方ひずみはと側方拘束圧が極めて低い場合は不飽和化前の値に戻る．

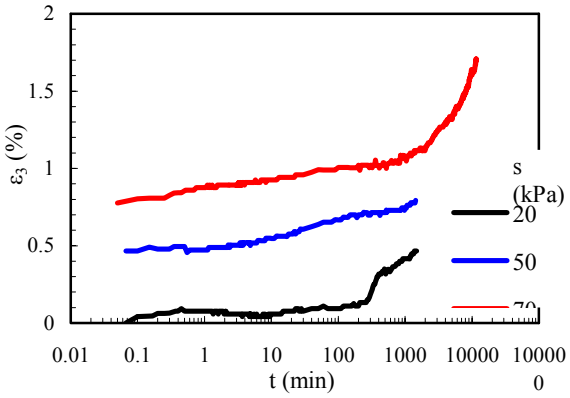

図１．異方応力状態でサクションを作用させたときの側方ひずみの変化

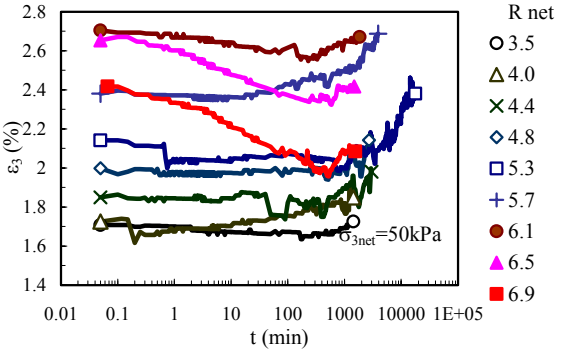

図２．s3net=50kPa のときの側方ひずみの変化

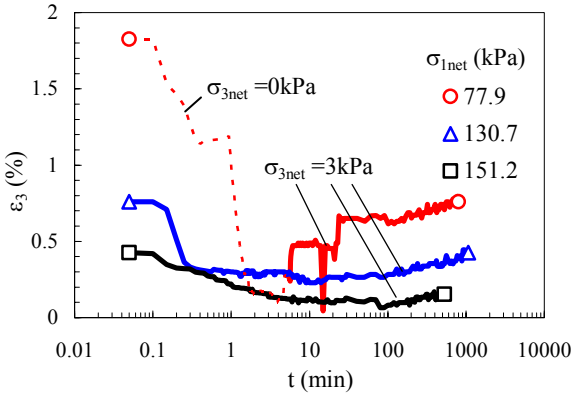

図３．s3net=0 または 3ｋPa ときの側方ひずみの変化

４．結論

（１）異方応力状態で供試体を不飽和化すると，供試体は側方に収縮する．

（２）異方応力状態で供試体を不飽和化した後に軸方向応力を増加させていくと，ある応力状態を境に供試体が側方に膨張する．

これより，異方応力状態で供試体を不飽和化した後に軸方向応力を増加させることで，異方応力状態で供試体を不飽和化した時に生じた供試体側方の収縮を打ち消すことができると考えられる．よって，一次元圧縮試験装置においても，不飽和化時に供試体が側方に収縮し，供試体と圧密容器の間に隙間が生じたとしても，供試体に荷重をかけることで供試体と圧密容器の間の隙間をなくすことができると考えられる．

ただし，今回の実験方法では応力制御方式によるせん断において，不飽和化時の側方への収縮量を 0 にするような正味の軸方向応力を求めることができなかった．今後，不飽和化時の側方への収縮量を 0 にするような正味の軸方向応力を求める必要がある．

参考文献

清水正喜，寺方淳治，景山健：不飽和土のせん断強度特性に対する間隙比および圧密履歴の影響，第 44 回地盤工学研究発表会，No.317，2009