鳥取大学大学院 正会員 清水正喜 鳥取大学工学部 学生会員 加登侑起,秋原真人

1.目的

不飽和土の研究では試験時間短縮の目的で透水性のよい試料が選択的に用いられることが多く,透水性の低い粘 性土の圧密特性に関する実験的研究が少ない.本研究では,透水性にこだわらず,中程度の塑性を有する粘性土を 対象として,不飽和状態で一次元圧密試験を実施した.目的は不飽和粘性土の一次元圧密・圧縮に関する基本的な 挙動を実験的に明らかにすることである.昨年も同じ試料で試験した結果を報告した¹⁾が,本研究では,圧密挙動 をより詳細に観察するために,底面非排水で圧密荷重を載荷して過剰間隙水圧の変化挙動を調べ,その後,排水に 移行する方法で試験した.

2. 試料

粉末粘性土(藤森粘土)の75µm ふるい通過分を用いた(表1).液性限界の約2倍 の含水比で練り返し,大型圧密容器を用いて最大圧密圧力73kPaで予備圧密した.予 備圧密後,直径6.0cm,高さ1.7cmに整形して1次元圧密試験に供した.整形直後で は飽和度はほぼ100%である.セラミックプレートを用いて加圧板法でサクションを 作用させたが,セラミックの空気浸入値AEVより低いサクションであっても長時間 作用させると空気が漏れる²⁾ので,試験時間を極力短縮するために供試体高さを2cm ではなくて1.7cmにした.

表1.試料の物理的性質

$\rho_{\rm s} ({\rm g/cm}^3)$	2.683
シルト分(%)	55
粘土分(%)	45
液性限界(%)	57
塑性限界(%)	31
塑性指数(%)	26

3.装置と試験方法

不飽和および飽和状態で1次元圧縮試験を行った.飽和供試体の 試験も含めて不飽和土用圧密試験装置(図1)を使用した.この装 置全体を通常の一次元圧縮試験用載荷装置に設置して段階的に圧密 荷重を載荷した.

圧力セル内に圧密容器を設置した.サクションの測定と制御を可 能にするために,圧密容器底部にセラミック板(AEV=300kPa)を装 圧密容器 着している.二重管ビュレット内水面に作用させた空気圧(uw')が セラミック板 (供試体 セラミック板を通して供試体底面に間隙水圧(uw)として作用する.図1.不飽和土用一次元圧密装置模式図

一方,圧力セルにセル圧 u_c を作用させる.セル圧は加圧版の細孔を



蒸発を抑制するため供試体上面にはメンブレンフィルターを,載荷棒にはYリングをそれぞれ装着している.

圧密荷重を載荷しないで,所定のサクションを段階的に作用させて不飽和状態にした(不飽和化).その後,サ クションを一定にしたまま,圧密荷重を荷重増分比1で段階的に載荷した.不飽和化時にサクション120kPaを作 用させた試験(s120試験)と80kPaを作用させた試験(s80試験)を行った.比較のため,不飽和化させない供試 体(飽和供試体)についても圧密試験を実施した.

s80 試験の全載荷段階と s120 試験の一部の段階で,供試体底面を非排水にして載荷し(非排水過程),底面間隙 水圧の変化がおさまってから底面を排水にした(排水過程).

圧密時間は試験によって,また圧密の段階によって異なる. 飽和供試体はすべての段階で1440分,不飽和供試体の非排水過程は過剰間隙水圧の変化がなくなるまで,排水過程は排水量の変化がなくなるまでとした.



4.結果と考察

(1) 圧密挙動

飽和供試体に対する圧密圧力 p=78.5 および 157(kPa)での 結果を例として図 2 に示す.飽和供試体は典型的な圧密挙動 を示している.即ち,時間軸を対数目盛りにすると圧密曲線 は逆 S 字形を示すこと,いわゆる二次圧密は時間の対数に比 例するような特性をもっていることがわかる.

s120 試験の p=78.5kPa 段階における結果を図3に示す.飽 和供試体の挙動と比較する.s120 試験はこの段階では非排水 過程を設けていないが,約4500分間圧密した.飽和供試体の 圧密時間(1440分)に比べて約4倍であるが,生じたひずみは 飽和供試体より小さい.ひずみ-時間曲線は飽和供試体で見 られたような明瞭な逆S字形を示していない.ただし,さら



図2. 飽和供試体の圧密挙動.

に時間をかけるとひずみ速度が減少して逆 S 字形状がより明確になるかもしれない.



図3.s120 試験 p=78.5 段階の圧密挙動



図4.排水量変化の詳細(s120試験, p=78.5kPa)

図4に排水量の変動を拡大して時間(普通目盛)に対してプロットした.時間が 1000 分を越えるあたりからほ ぼ 1 日周期の排水量の変動が顕著になっている.これは試験室の温度が同じ周期で約±1 変動しているためであ る.圧密による排水が完全には終焉していないが,温度変化に起因する変動が卓越しはじめたのでこの段階の圧密 を終了した.

同じ p=78.5kpa 段階における s80 試験の圧密挙動を観察す る(図5).s80 試験では非排水過程を経て排水(圧密)過程 に移行した.図では,各過程の開始を t=0 にとった.また, 非排水および排水過程で測定された量にそれぞれ記号(U)と (D)を付けて区別した.

非排水過程において間隙水圧は 90 分程度で一定値に落ち着 いた.排水過程において排水量は約 2600 分で一定値になった. 両過程でひずみはまだ一定値に落ち着いていない.なお,こ の段階では非排水過程より排水過程で大きなひずみを生じた.



ただし,各過程で生じるひずみの大小関係は試験と段階によっ 図 5 . s80 試験, p=78.5kPa 段階での結果 て異なる.

s120 試験および s80 試験における p=157kPa 段階での結果を図 6 と図 7 にそれぞれ示す.

非排水過程での間隙水圧とひずみの挙動,さらに排水過程での排水量とひずみの挙動を両図で比較すると類似していることがわかる.

量的な比較をする.非排水過程で生じた過剰間隙水圧は s80 試験において大きい,また,同過程でのひずみも



s80 試験において大きい.過剰間隙水圧の上昇はサクションの低下を意味しており,後述するようにサクションが低いほど圧縮性が高いという現象と矛盾しない.このことから,非排水過程で生じるひずみはその過程で生じる過剰間隙水圧の大きさに関係する.

一方,排水過程は,非排水過程で生じた過剰間隙水圧の消散過程であると見なせる.過剰間隙水圧が大きいほど 排水量とひずみが大きくなると予想できる.実際,両図の排水過程での排水量とひずみを比較すると s80 試験の方 が大きい.

なお,図6と図7において,非排水および排水過程のひずみは,各過程の後半部分で時間の対数に対して直線的 に変化している.その直線部分の傾きは各図で平行になった(破線).ただし,図5(s80 試験・p=78.5kPa)では そのような挙動が見られなかったことを考えると,普遍的な 現象でないかもしれない.

(2) 非排水過程での過剰間隙水圧

非排水過程で生じる最大過剰間隙水圧(=間隙水圧の変化 量の最大値△u_w)とpの関係を図8に示した.過剰間隙水圧 はpが大きいほど大きくなった.これは荷重増分比を一定に して載荷したことを考えると,pが大きいときはpの増分も 大きいためであると考えられる.よってB値を求めた.ただ し,B=△u_w/△p.B値は過圧密領域ではpと共に増加したが正 規圧密領域ではpと共に減少した.

(3) 圧縮特性

間隙比と log p の関係を図 9 に示す.s80 試験の最初の載荷 段階(p=9.8kPa)で変位が正しく測定できなかったため,間









隙比の挙動を試験間で正しく比較できない.そこで, p=19.7kPa での段階終了時を基準にしたひずみで比較する(図 10).サクションが高いほどpの比較的低い段階で圧縮性が低 下すること,pが十分大きくなると圧縮性に大きな違いがな いことがわかる.

図 11 に, s120 試験を例にして, 飽和度 S_rの p による変化 を示した. S_r は p の増加につれて全体として増加した. 非排 水で載荷すると S_r は一旦大きく上昇するが, 排水にすると低 下した.

非排水載荷時に間隙水圧,従ってサクションが変化する.
図 11
よって p と e の間には 1 対 1 の対応関係がない.そこで p の (s120 記
代わりに,Bishop の有効応力(=p+Sr・s)をとった.不飽和化
の段階(p=0)も含めて e と p の間に一義的な関係を得ることができる.



図 11.e, S_rと log p の関係および e-logo_B 関係 (s120 試験)

5.結論

非排水載荷時には∆p による圧縮が主体でおこり,排水時には∆u_wの消散によって圧密が起こることがわかった. 非排水載荷過程を設けることは複雑な不飽和土の圧密現象を解明する上で有効な方法であると考える.ただし,考 察はまだ不十分ではある.また,Bishopの有効応力はp一定で生じる体積変化挙動を説明できる可能性がある.

参考文献

1) 清水正喜,里本誉幸,杉浦豊:不飽和粘性土の圧密・圧縮特性に関する実験的考察,第60回土木学会中国支部 研究発表会講演概要集,3014,2008.

2) Shimizu, M. and Nambu, K. One-dimensional consolidation of unsaturated soils and problems in experiments, Proc. 2nd Asian Conf. Unsaturated Soils, 2003.