

不飽和粘性土の一次元圧縮試験における圧密，排水および間隙水圧の挙動

鳥取大学大学院 正会員 清水正喜
 鳥取大学工学部 国見 悠，山根正和
 鳥取大学大学院 学生会員 谷川大輝

1. はじめに

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．著者ら^{1),2)}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してきた．前報²⁾では，底面非排水で圧密荷重を載荷して，その後，排水に移行するという方法で行った試験の結果を示した．即ち，底面非排水で載荷すると過剰間隙水圧が時間とともに上昇するが，ほぼ一定値になったときに排水に移行すると過剰間隙水圧が消散する．非排水および排水の両過程で圧縮変形が時間とともに進行した．

本研究では，非排水過程をさらに継続すると一旦上昇した間隙水圧が減少するのではないかという予測を立て，間隙水圧の変動がなくなるまで長時間継続するような試験を実施した．非排水過程での間隙水圧と圧縮ひずみの挙動，および排水過程での排水と圧縮ひずみの挙動を調べた．

2. 試料 および試験装置

これまでの研究^{1),2)}と同じ試料と装置を用いた．

試料は粉末粘性土（藤森粘土）の75 μm ふるい通過分である（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．

供試体高さを2cmではなくて1.7cmにした理由を述べる．セラミック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³⁾．よって，前報と同様，試験時間短縮のために供試体高さを1.7cmにした．

試験装置の概要を図1に示す．装置の特徴は前報で詳述している．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．セラミック板はAEV（公称）300kPa，透水係数 $1.20 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ である．二重管ビュレット内水面に作用させた空気圧（ u_w' ）がセラミック板を通して供試体底面に間隙水圧（ u_w ）として作用する．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通して供試体間隙空気圧（ u_a ）として作用する．以後，サクション（ s ）は底面間隙水圧 u_w と間隙空気圧 u_a の差（ $u_a - u_w$ ）を意味する．本研究では u_w を50kPaに保って， u_a を変えることによりサクションを制御した．

表1. 試料の物理的性質

ρ_s (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

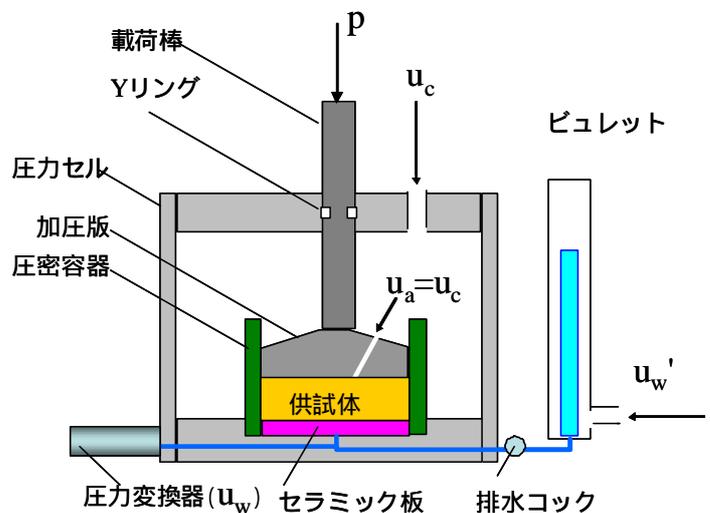


図1. 不飽和土用一次元圧密装置模式図

3. 試験方法

$p=9.8\text{kPa}$ を作用させた状態で、所定のサクシオンを 80kPa まで段階的に作用させて不飽和状態にした（不飽和化）。その後、サクシオンを一定にしたまま、圧密荷重を荷重増分比 1 で段階的に载荷した。サクシオンを 120kPa にした試験と不飽和化させない供試体（飽和供試体）についての試験も先に^{1),2)}実施している。

全载荷段階において、供試体底面を非排水にして载荷し（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）。前報では、非排水過程で間隙水圧が最大値に達したと判断できれば排水過程に移行したが、本研究では、最大値に達した後にさらに継続した。排水過程は排水量の変化がなくなるまでとした。なお、底面の排水・非排水は図 1 の排水コックの開・閉の操作に対応している。

4. 結果と考察

(1) 非排水過程における間隙水圧変化

非排水過程で生じた間隙水圧変化の最大値について述べる（時間的変化の詳細は後述する）。図 2 は、各荷重段階 p での非排水過程で生じた底面間隙水圧の変化量の最大値（ $\Delta u_{w,max}$ ）を p に対してプロットしたものである。図中、点線は $u_w = u_a$ 、即ち間隙水圧の最大値が間隙空気圧と等しくなる状態を表す。図より、圧密荷重 p が 628kPa 以上となると u_a 以上の間隙水圧が供試体底面で発生したことがわかる。

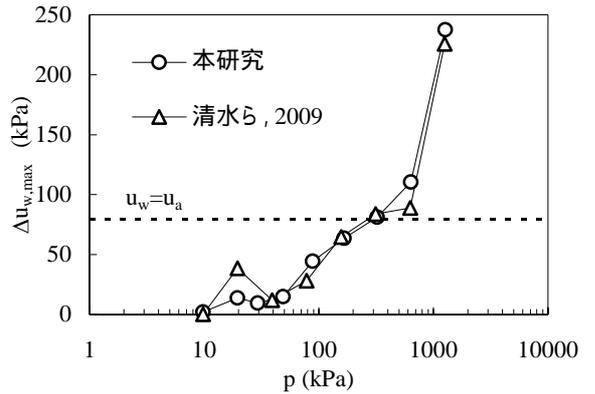


図 2. 非排水载荷によって生じた底面間隙水圧の最大変化量（ $\Delta u_{w,max}$ ）

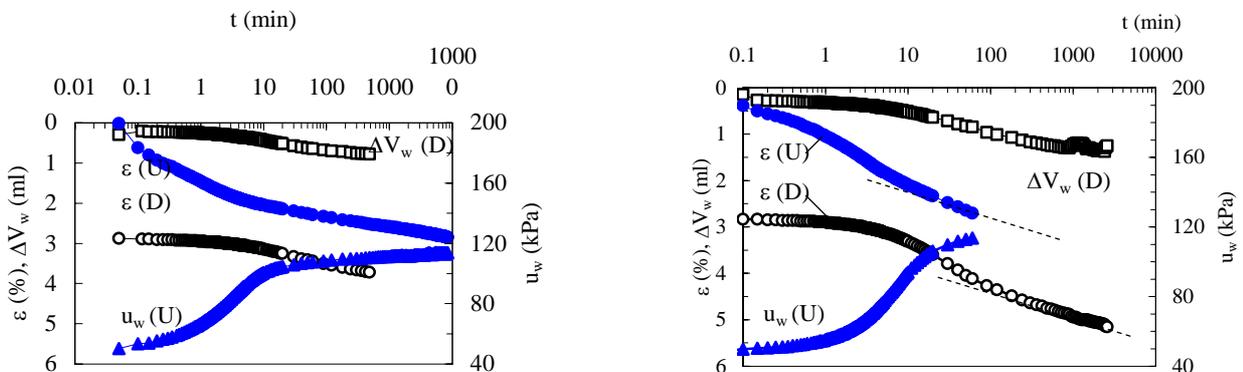
(2) 間隙水圧、ひずみ、排水量の時間的挙動

1) $p=157\text{kPa}$ の場合（図 3）

底面間隙水圧が u_a を越えることがない荷重段階の例として $p=157\text{kPa}$ の結果を図 3 に示す。図 a) は非排水過程を長くした場合、b) は短い場合である。非排水過程を(U)で、排水過程を(D)でそれぞれ示した。

図 3 a) を参照して、非排水過程において底面間隙水圧は時間とともに増加し続けている。横軸が対数目盛りであることを考えると、その変化速度はきわめて小さいものの変化が完全にはなくなっていない。同様にひずみも変化し続けている。排水過程では、ひずみは非排水過程に比べて変化の速度も量も小さいことがわかる。排水量の挙動はひずみの挙動に似ている。

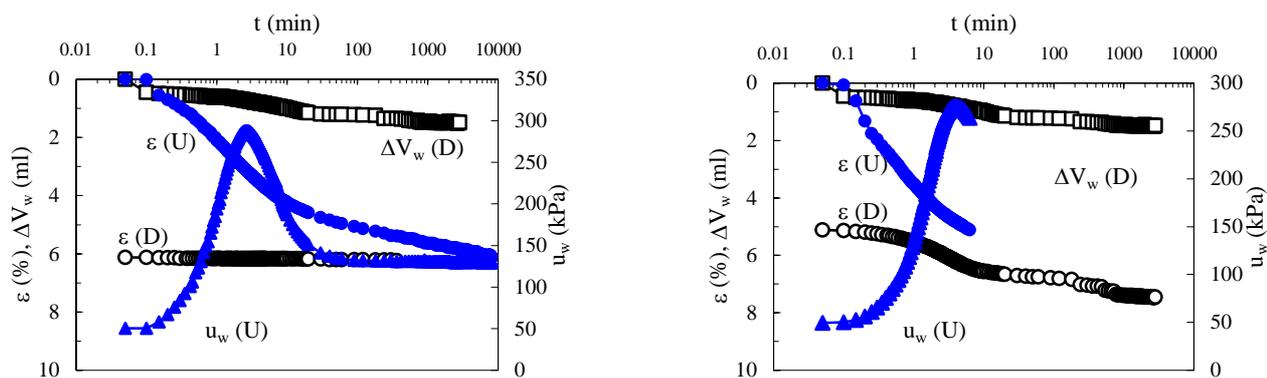
図 b) を参照して、非排水過程の時間が短いと排水過程でひずみが速度も量も大きいことがわかる。



a) 非排水過程 8400 分（本研究の結果）。

b) 非排水過程 60 分（前報の結果）。

図 3. $p=157\text{kPa}$ の段階におけるひずみ、間隙水圧、排水量の時間的変化



a) 非排水過程 8200 分 (本研究の結果)

b) 非排水過程約 6 分 (前報の結果).

図 4 . $p=1256\text{kPa}$ の段階におけるひずみ, 間隙水圧, 排水量の時間的变化

2) $p=1256\text{kPa}$ の場合 (図 4)

図 4 a) を参照して, この例では, 底面過剰間隙水圧は約 2 分で最大値 285kPa に達し, その後徐々に低下し, 最終的にはセル圧 ($=130\text{kPa}$) に等しくなった. 供試体上面の間隙水圧は, 測定していないので推測すると, 載荷直前の値 ($=50\text{kPa}$) からセル圧 ($=130\text{kPa}$) まで短い時間で (おそらく 2 分前後で) 上昇し, その後その大きさを保つ. 間隙水圧の鉛直上向きの勾配が生じて圧密が起こったと考えられる. 実際, この荷重段階で供試体上面からの排水が観察された. 不飽和から飽和状態へ移行するが, 飽和状態での変形 (圧密) が卓越したのではないかと思われる. 排水過程に移行すると間隙水圧の勾配が非排水過程と逆になって底面から排水が生じた. しかし, ひずみはきわめて小さい.

図 4 b) を参照して, 非排水過程が短い場合は, 排水過程において大きなひずみが生じた.

5. 終わりに

非排水過程の継続時間を長くした場合の挙動をまとめると次のようになる.

底面間隙水圧が間隙空気圧を超えない場合, 非排水過程を長時間継続しても底面間隙水圧は時間とともに増加し続けて (減少することなく) 変化が止まらなかった. 同様にひずみも変化し続けた. 排水過程では, ひずみは非排水過程に比べて変化の速度も量も小さく, 排水量はひずみと似た挙動を示した.

大きな圧密荷重を載荷すると, 底面間隙水圧が間隙空気圧 ($=$ セル圧) を超える現象が見られた. 非排水過程を長時間継続すると飽和状態での圧密現象が起こり, 底面間隙水圧は時間とともに減少しセル圧と等しくなって変化が止まった. ひずみは止まることなく変化し続けた. 排水過程では底面排水は生じたがひずみはほとんど生じなかった.

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, -14, 2008.
- 2) 清水正喜, 加登侑起, 秋原真人: 不飽和粘性土の一次元圧密・圧縮挙動第 61 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, -42, 2009.
- 3) Shimizu, M. and Nambu, K. One-dimensional consolidation of unsaturated soils and problems in experiments, Proc. 2nd Asian Conf. Unsaturated Soils, 2003.