

不飽和土の水分保持特性と透水性のヒステリシスに着目した実験的研究

京都大学大学院
京都大学大学院
京都大学大学院
京都大学大学院

学生会員 南野 佑貴
フェロー会員 三村 衛
正会員 矢野 隆夫
学生会員 澤田 茉伊

1. はじめに

近年温暖化の影響により集中豪雨や局所的大雨の増加に伴って斜面崩壊や盛土の沈下・崩壊などの不飽和地盤の災害が多く発生している．このような地盤災害の発生メカニズムの解明には不飽和土の浸透・力学特性と密接な関係を持つ水分保持特性の理解が不可欠である．本研究では，特に水分特性曲線のヒステリシスに着目し，これを捉えることができる保水性試験装置を開発し，それを用いて水分特性曲線の実験的な評価を試みた．本稿では，不飽和土の透水性のヒステリシスについても不飽和透水試験の結果より考察する．

2. ヒステリシスの把握を目的とした保水性試験装置の開発¹⁾

水分特性曲線のヒステリシスを把握するためには，吸水と排水の両過程で，供試体の水分量を捉えることが必要である．そこで，図1に示すように，本試験装置では供試体下端に接続したビューレットの水位変化を差圧計により測定することにした．ビューレットは上下方向に可動式とし，水頭差でサクションを負荷できるようにした(水頭法)．また，砂質土から粘性土までの幅広い試料を対象とできるよう水頭法の制御範囲を超える領域では，加圧法を採用した．二重セルの内側に接続するもう一方のビューレットは，より正確に水分特性曲線を把握するために，供試体の体積変化量の測定を目的としたものだが，現状開発中のため，本稿では試験中の体積変化はないものとする．なお，開発した試験装置の試験結果の妥当性については，次章で示す試験の排水過程について，既存の試験装置を用いた保水性試験の結果と比較し，既存のものと遜色ない結果が得られることを確認した．

3. 保水性試験の結果と考察

砂質土を対象に，開発した試験装置を用いて保水性試験を実施した．本研究では飽和から残留状態までを捉えた主吸排水曲線を得るため，炭酸置換法で予め飽和し凍結させた供試体を用いた．凍結試料はB値試験を実施し，十分に飽和していることを確認した²⁾．なお，本試験では供試体下端にセルローズ膜を設けたが，試験時間が短縮できる反面，膜の空気の拡散現象がみられ，吸排水過程を連続して行うことが困難であったため，両過程は同様に作製した別の供試体を用いた．

試験結果を図2に示す．任意のサクションに対する体積含水率が，排水過程よりも吸水過程のほうが

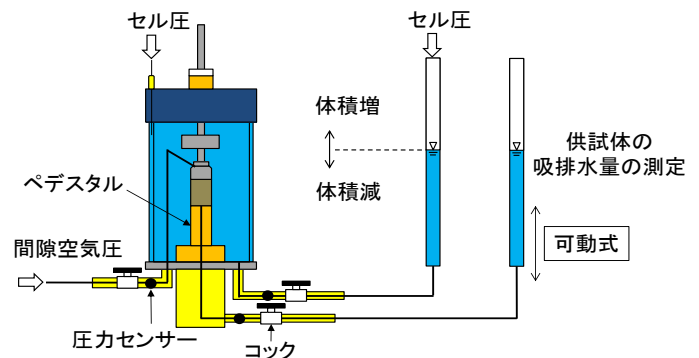


図1. 開発した保水性試験装置の概略

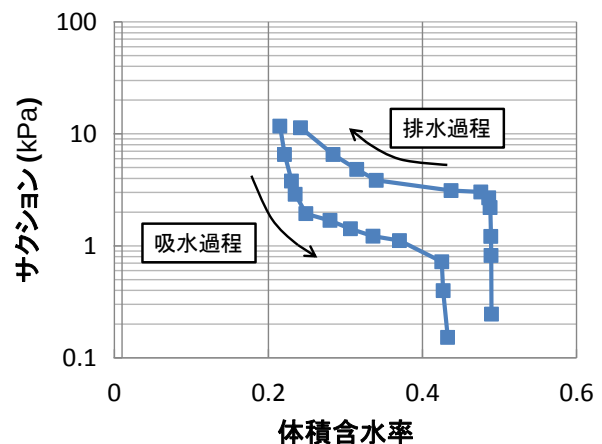


図2. 開発した試験装置を用いて得られた水分特性曲線

キーワード 水分特性曲線，透水性，ヒステリシス

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-2 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-383-3306

低い結果となった。これは、一般にインク瓶効果と呼ばれる両過程における間隙水の土粒子との接触角の違いに起因すると考えられる。また、吸水時は毛管力の高い小さな間隙から順に水で満たされるが、排水時はこの逆順ではなく、小さい間隙がボトルネックとなり、大きな間隙の排水を阻害することも原因と考えられる。これらのメカニズムを勘案すると、特に砂質土の場合、大きな間隙の割合が比較的多いため、明確なヒステリシスが観察された要因と思われる。

4. 不飽和土の透水性に関するヒステリシス

保水性と関連が高い透水性についても実験的にヒステリシスを評価した。不飽和透水試験方法のうち本研究では、土中水の流速とサクシジョンの關係に着目した流束制御法を採用した。不飽和透水試験に用いた試験装置の概略を図3に示す。保水性試験で用いた試料を用いて作製した炉乾燥状態の供試体を試験装置に設置し、段階的に数種類の給水量を与え、流出流量と供試体重量を測定して、各測定値から透水係数と供試体の含水量を算定した。なお、供試体中のサクシジョンは均一と仮定した。

不飽和透水試験の結果を図4に示す。過程1～4のうち奇数は給水量を増加し、飽和度が上昇する過程であり、偶数はこの逆の過程を表す。図4を見ると、飽和度の上昇に伴い不飽和透水係数も敏感に上昇していることがわかる。これは、不飽和状態にある土では、土中水が間隙を迂回し、連続した水相を伝わって流れるためである。すなわち、不飽和土の透水性は間隙中の水分量によって決まるため、過程2～4はほぼ同じ経路をたどり、不飽和透水係数の飽和度に対するヒステリシスはほとんど見られない。ただし、図2に示す保水性試験の結果から、不飽和透水係数はサクシジョンに対してはヒステリシスを持つことが推測される。なお、過程1は以降の過程よりも高い透水係数を示しているが、これは初期状態では供試体が乾燥しており、他の過程に比べて供試体中のサクシジョンの分布幅が大きいにも関わらず、これを均一と仮定し、動水勾配を過小評価したことが原因と考えられる。

5. おわりに

本研究では、水分特性曲線のヒステリシスの把握が可能な保水性試験装置を開発し、それを用いて砂質土に対して保水性試験を実施したところ、水分特性曲線の明確なヒステリシスを観察することができた。さらに透水性に関するヒステリシスについても不飽和透水試験により考察した。対象とする問題によって、水分特性曲線のヒステリシスが検討結果に与える影響の大きさは異なるが、検討におけるヒステリシスの考慮の必要性を適切に判断する上では、水分保持特性の実験的な評価と試験結果の蓄積は不可欠と考えられる。

参考文献

- 1) 南野祐貴, 三村衛, 矢野隆夫, 澤田茉伊: 水頭法および加圧板法を用いた保水性試験装置の開発, 平成26年度土木学会関西支部年次学術講演会(投稿中)
- 2) 南野祐貴, 三村衛, 矢野隆夫, 澤田茉伊: 保水性試験装置の開発と不飽和土の水分保持特性に関する研究, 平成26年度地盤工学研究発表会(投稿中)

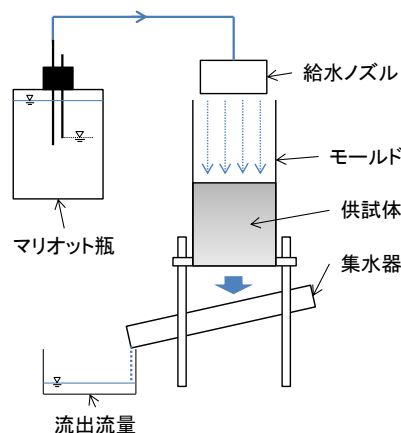


図3. 不飽和透水試験装置

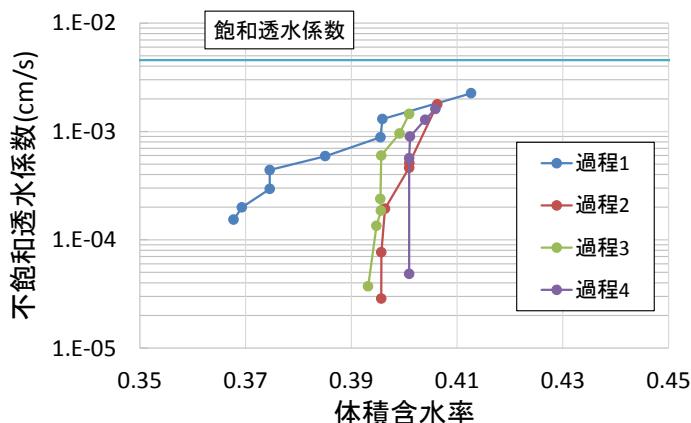


図4. 不飽和透水試験の結果