

不飽和透水試験装置を用いた水分特性曲線の測定

九州大学大学院 学○石川裕司 九州大学工学部 学 河野皓治
九州大学大学院 F 落合英俊 正 安福規之
九州大学大学院 正 大嶺聖 正 小林泰三

1. はじめに

近年、降雨時における雨水の浸透などの不飽和状態における有限要素法を用いた数値解析が数多く行われている。これらの数値解析は、入力パラメータとしてマトリックサクション(ϕ_m)—体積含水率(θ)の関係(水分特性曲線)、不飽和透水係数(k_{ws})—体積含水率(θ)の関係が必要となる⁽¹⁾。これらの関係は実験結果からの逆解析や、水分特性曲線モデルから不飽和透水係数モデルを導くなど間接的に求めることができる。本研究では水分特性曲線・不飽和透水係数を直接的に求めることを目的として3連式飽和・不飽和透水試験装置(サンケイ理科(株)製:以下透水試験装置と呼ぶ)を試作し、不飽和透水試験によりこれらの関係を求めた。本文ではその結果について言及する。

2. 飽和・不飽和透水試験装置の特徴

本研究で試作した透水試験装置を写真-1に示す。本装置は図-1に示す透水試験装置が並列に3連式となっており、同時に3点の試料が測定可能である。試料ケースはD50mm,H45mmの円筒型モールドであり、試料ケースの上部にはサクション測定用にテンシオメータを設置している。テンシオメータはサクション測定用に供試体の中央、圧力測定用に供試体の上部にそれぞれ設置してある。供試体の上部からはチューブで加圧装置とつながっており、加圧装置を用いて供試体に $p=0.1\sim 50(\text{kPa})$ の圧力をかけることができる。試料容器の底面にはセラミック板を設置しており、セラミック板の下部からチューブで給水用タンクと排水量測定用の秤とそれぞれつながっている。

測定項目はサクション、供試体からの排水量、試験終了後の供試体含水率の3点である。サクションと供試体からの排水量から式(1)により不飽和透水係数を求めた。

$$k(\phi_m) = - \frac{\Delta q}{\left(\frac{d\phi_m}{dz} + 1\right) A \Delta t} \tag{1}$$

ここで $k(\phi_m)$: ϕ_m における不飽和透水係数、 Δq : $\Delta t(\text{s})$ 間の供試体からの排水量(cm^3)、 A :供試体の断面積(cm^2)、 dz :供試体高さ(cm)、 Δt :圧力を上げてから定常状態に達するまでの時間(s)である。

3. 試料の概要・実験方法

本実験では表1に示す2種類の砂質系の試料を用いて透水試験を行った。試料には硅砂(以下 k-7 と呼ぶ)、豊浦砂をそれぞれ選んだ。試料の粒度分布を図2に示す。試料の準備方法は空中落下により試料ケースに詰めた。供試体を作成した後、セラミック板を介して下面から給水を行い毛管飽和させ、毛管飽和を目視で確認した後、加圧装置で圧力を段階的に上げてい



写真-1 3連式飽和・不飽和透水試験装置

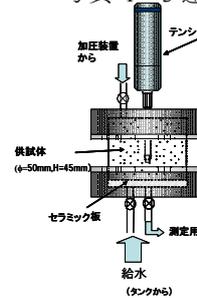


図-1 透水試験装置

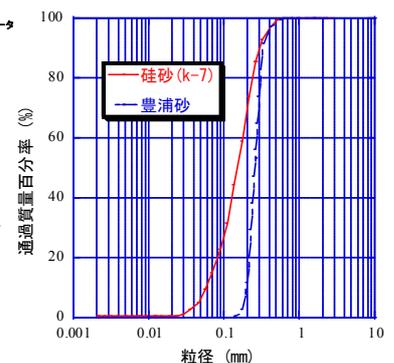


図-2 試料の粒度分布

表-1 試料の概要

	k-7	豊浦砂
乾燥密度(g/cm^3)	1.304	1.408
粒度組成	砂分(%)	99
	シルト分(%)	1
	粘土分(%)	0
D_{10}	0.318	0.183
D_{50}	0.241	0.259
U_c	0.836	1.661

き試料中央高さにおけるサクシオン値、供試体からの排水量を2分おきに測定した。この際、各段階で排水量が定常状態に十分落ち着いたのを確認した後、次のステップへ圧力を上げた。ここでサクシオン値は供試体上部(以下①とする)、供試体中心高さ(以下②とする)の2箇所測定し結果の比較を行った。加圧装置の圧力が $p=50(\text{kPa})$ に達したら測定を終了し供試体の中央付近の試料を採取し含水比を測定した。以下、実験結果を示す。

4. 実験結果と考察

図-3 に経過時間と排水量の関係、図-4 に経過時間とサクシオン①②の関係を示す。圧力を上げてから十分時間が経過すると排水量がある値に収束しているがサクシオンは時間とともに変動し消散する傾向にある。次に k-7 と豊浦砂の水分特性曲線をそれぞれ図-5,6 に示す。図-5 より空気浸入値をもつ水分特性曲線の形状が見てとれる。しかし、②ではサクシオン値が大きく変動した結果となっている。不飽和透水係数とサクシオンの関係を図-7,8 にそれぞれ示す。図-7 よりサクシオンの低い領域で結果にばらつきがあるものの全体の傾向は表現できている。図-9,10 に体積含水率と不飽和透水係数の関係を示す。図-9,10 ともに含水率が低下すると透水係数が低下しており全体の傾向は表せている。図-5~10 より全体を通してサクシオンの低い領域で結果がばらついているため測定の精度を確保するための工夫が必要である。

5. まとめ

本研究では飽和・不飽和透水試験装置を試作して不飽和透水係数と水分特性曲線の同時計測を試みた。不飽和透水係数、水分特性曲線ともに大まかな傾向を表現できることが確認できた。また、本装置の特徴としてシルト分を含む材料のほうが砂質系の材料よりも傾向を表現できた。しかしサクシオン値が低い領域では圧力が安定せず測定結果にばらつきが出るため改善が必要であるといえる。

また、本研究は科学研究費(萌芽研究:19656119、基盤研究(B):19310123)の支援を得て行われたものである。

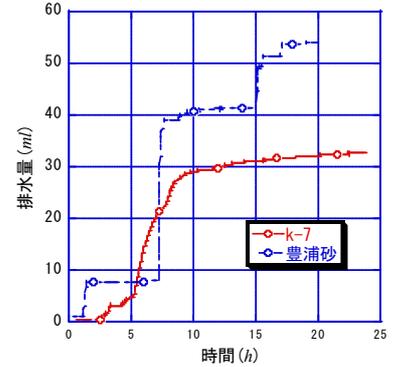


図-3 経過時間と排水量の関係

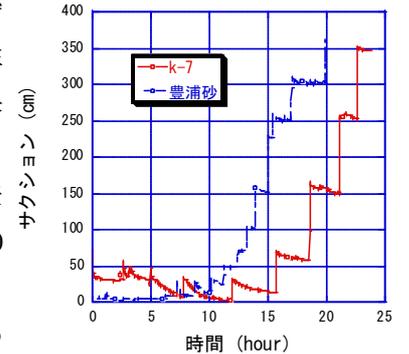


図-4 経過時間とサクシオンの関係

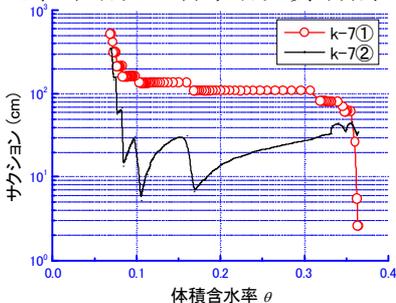


図-5 k-7 の水分特性曲線

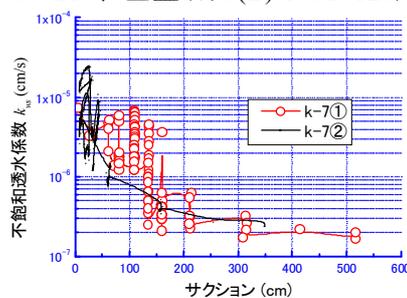


図-7 k-7 のサクシオンと不飽和透水係数の関係

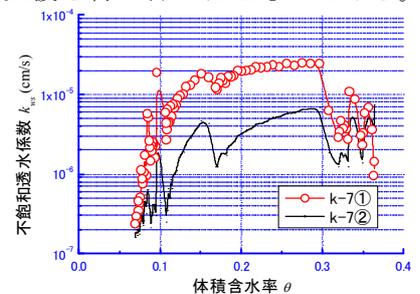


図-9 k-7 の体積含水率と不飽和透水係数の関係

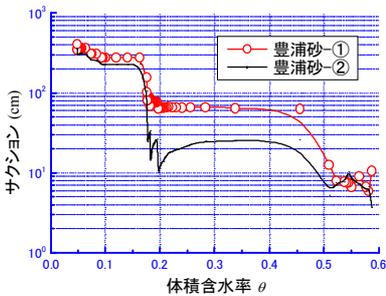


図-6 豊浦砂の水分特性曲線

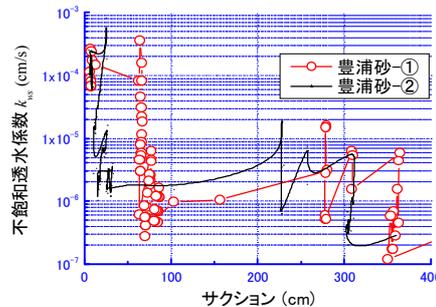


図-8 豊浦砂のサクシオンと不飽和透水係数の関係

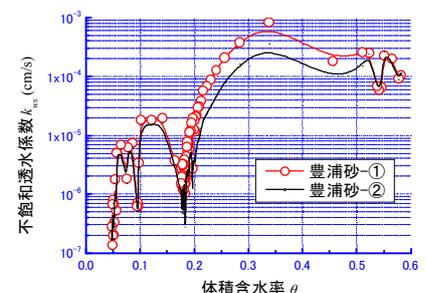


図-10 豊浦砂の体積含水率と不飽和透水係数の関係

【参考文献】地盤工学会『不飽和土の挙動と評価』2004年 p11~84