

非定常不飽和透水試験を用いた水分特性曲線の測定に関する研究

九州大学大学院 学○石川裕司 学 河野皓治
正 安福規之 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。これらの数値解析には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)の関係が入力パラメータとして用いられている⁽¹⁾。本研究では、これらの関係を同時に求める手法として非定常法による不飽和透水試験に着目し、新たに飽和・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)を試作した。本文では、試料の粒度分布が異なるケイ砂を試料として用い、粒度分布に着目した透水試験装置の適用範囲について実験により評価を行った。

2. 透水試験装置の概要

本研究では不飽和透水係数と水分特性曲線の同時計測を目的として透水試験装置を試作した。透水試験装置の写真を図-1、概略図を図-2に示す。本装置は非定常法の流出入計測法により水分特性曲線・不飽和陶酔係数を測定するものである⁽²⁾。装置は図2に示すようにD45mm×H50mmの円形の試料ケースが並列に3連式となっており各供試体には間隙水圧測定用にテンシオメータが差し込まれている。実験方法は供試体を毛管飽和させた状態を初期状態とし、供試体上面から加圧装置を用いて空気圧を $p=0.1\sim 50(\text{kPa})$ まで段階的に上げて供試体から排水を行った。このとき、供試体に給水はなく、排水のみが行われている。圧力は供試体中心高さ、供試体上部にそれぞれテンシオメータを設置しており間隙水圧 u_w 、空気圧 u_a が測定できる。また、試料容器の底面にはセラミック板を介して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。ある圧力時の供試体の含水率は排水量測定用の秤で測定した排水量 q と実験終了時の含水率 θ_r から逆算して求めることができる。測定項目は間隙水圧 u_w 、空気圧 u_a 、供試体からの排水量 q 、試験終了後の供試体含水率 θ_r の4点である。

3. 試料の概要と結果の整理

本研究では試料として粒度の異なる2種類のケイ砂 k-7、k-8 を用いて実験を行った。k-7、k-8 の粒径加積曲線を図-2に、粒度組成を表-1に示す。表-1 から k-7 は砂分 99%、シルト分 1%とほぼ全てが砂分の材料であり、k-8 はシルト分 63%、粘土分 37%とシルト分を多含む材料であることがわかる。全体の乾燥質量に対する k-8 の乾燥質量の割合を混合率 f_s とし、 f_s を変化させることで砂質土からシルト系試料まで



図-1 不飽和透水試験装置

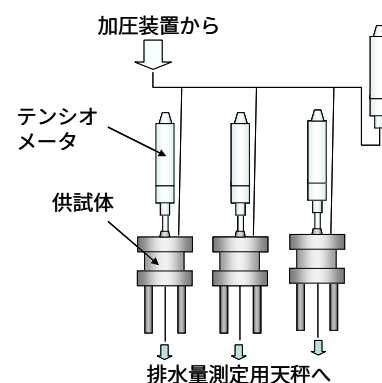


図-2 透水試験装置の概略図

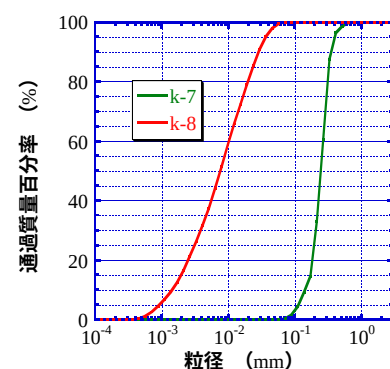


図-3 k-7、k-8 の粒度分布

表-1 k-7、k-8 の粒度組成

	k-8	k-7
砂分(%)	0	99
シルト分(%)	63	1
粘土分(%)	37	0

key word:水分特性曲線、不飽和透水係数

Address: 〒813-0395 福岡市東区元岡 744 番地 WEST2 号館 1108 tel: (092)802-2999(内線 7805)

粒度分布を変化させ本装置における水分特性曲線・不飽和透水係数の測定可能な範囲を調べた。ここで、マトリックポテンシャル ϕ_m は間隙水圧 u_w と空気圧 u_a から式(1)により求められる¹⁾。

$$\phi_m = u_w - u_a \quad (1)$$

ここでマトリックポテンシャル ϕ_m は負の値をとるので図表上の数値はその絶対値をとったものとしている。また、不飽和透水係数は式(2)により算出した。

$$k(\phi_m) = -\frac{\Delta q}{\left(\frac{d\phi_m}{dz} + 1\right)A\Delta t} \quad (2)$$

ここで $k(\phi_m)$: ϕ_m における不飽和透水係数、 Δq : Δt (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。

4. 実験結果と考察

図-4 に $fs=0, 40, 80, 100\%$ の水分特性曲線の測定結果を示す。図-4 から粘度・シルト分を多く含む $fs=80, 100\%$ ではなだらかな水分特性曲線、砂質分を多く含む $fs=0, 40\%$ では明確な空気進入値をもつ水分特性曲線となっており、粘性土・砂質土両方の水分特性曲線の傾向を表現できている。次に図-5 に不飽和透水係数と有効飽和度の関係、図-6 に不飽和透水係数とマトリックポテンシャルの関係をそれぞれ示す。ここで有効飽和度とは図-5 に示すように体積含水率を正規化したものである。図-5 より有効飽和度が減少するにつれて不飽和透水係数も減少するという全体の傾向は表現できている。しかし、飽和度が高い領域でも透水係数に大きな違いは見られず細かい部分に関してはまだ検討が必要である。図-6 においてもマトリックポテンシャルが大きくなると不飽和透水係数は減少しており全体の傾向は評価できているが細かい結果についてはまだ検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、非定常法による不飽和透水試験装置を新たに試作し、水分特性曲線と不飽和透水係数の同時計測を試みた。

水分特性曲線については砂質土・粘性土ともに両者の水分特性曲線の特徴を表現できていた。また、不飽和透水係数についても砂質土・粘性土共に全体の傾向は表現できている。しかし、今後の課題としては定常法による測定や飽和透水係数との適合などの検討を行いたいと考えている。

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。

【参考文献】1)地盤工学会『不飽和土の挙動と評価』2004年 pp.11~84 2)宇野尚雄; 空気圧制御による不飽和砂質土の透水試験法, 土木学会論文集, 第418号, pp.115-124

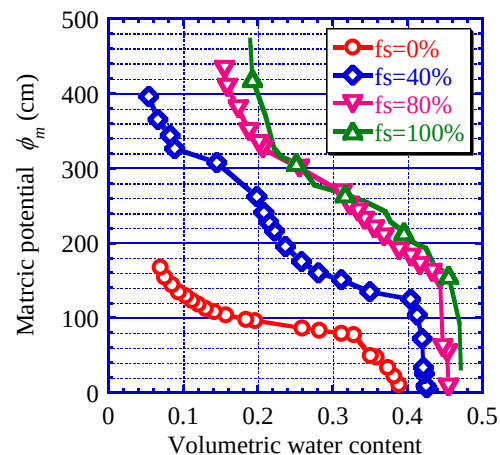


図-4 水分特性曲線

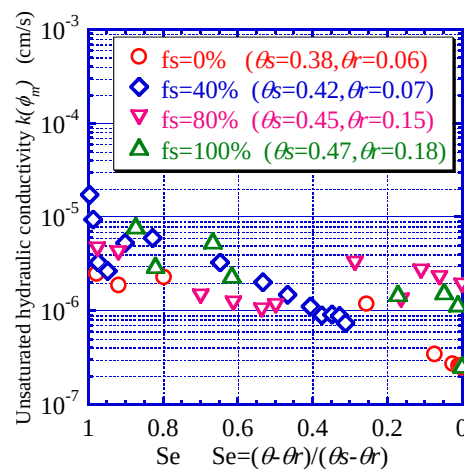


図-5 不飽和透水係数 $k(\phi_m)$ と有効飽和度 Se の関係

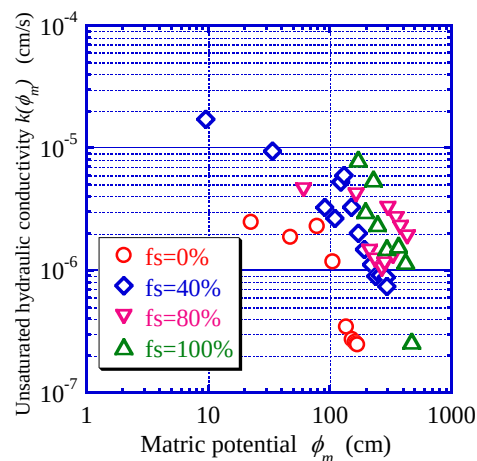


図-6 不飽和透水係数 $k(\phi_m)$ とマトリックポテンシャル ϕ_m の関係