

路床の不飽和浸透特性に関する研究

大林道路技術研究所 正会員 ○森石 一志
 山口大学大学院 正会員 中島伸一郎

京都大学大学院 正会員 矢野 隆夫
 京都大学大学院 正会員 西山 哲

1. はじめに

透水性舗装は、降雨による雨水を積極的に舗装体内に取り込んで路床以下の地盤へと浸透させる舗装であり、極度に市街化された地域における省スペースで経済的な治水施設として期待されている。従来、透水性舗装の治水性能は、舗装の空隙量と路床土の飽和透水係数を用いて簡易的に設計されてきた。しかし、この手法では治水性能を過大に評価する危険性があり、不飽和域も含めた貯留浸透特性の把握の必要性が指摘されている¹⁾。以上を踏まえ本研究では、透水性舗装の治水性能を不飽和域も含めて評価することを目指し、舗装各材料の飽和－不飽和浸透特性を調査しているところである。アスファルト混合物、粒状路盤材、路床土に関して同一の試験機を使用して、飽和－不飽和透水試験および水分保持特性試験を実施している。

そこで本報告では、路床土として2種類の砂質土に対して実施した飽和－不飽和透水試験と水分保持特性試験の結果について述べる。

2. 試験概要

(1) 使用材料

本研究では、霞ヶ浦砂（川砂；粗砂）および江戸崎砂（山砂；細砂）を使用した。粒径加積曲線を図－1に、物性値を表－1にそれぞれ示す。なお、供試体は突固め試験の結果をもとに室内にて作製し、締固めはタンパパイプで行った。

(2) 試験装置

a) 飽和－不飽和透水試験

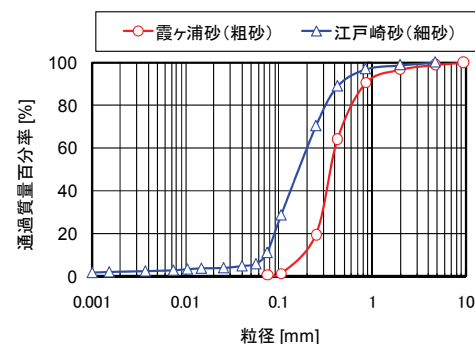
飽和－不飽和透水試験装置は図－2に示すように、著者らが過去に作製した試験装置²⁾の一部を改良したものを使用した。給水装置として一定流量を供給するためにマリオット瓶を用いた。また、給水ノズルを用い供試体断面に均等に給水できる構造とした。なお、試験モールドは供試体のセットを容易にするため、縦方向に二つ割りモールドとした。

b) 水分保持特性試験

本研究では、圧力の測定範囲が広く、低い吸引圧まで測定可能である吸引法（水頭法、以下、吸引法と称す）と加圧法を併用した方法を用いている。本研究で作製した水分保持特性試験装置を図－3に示す。

3. 試験結果

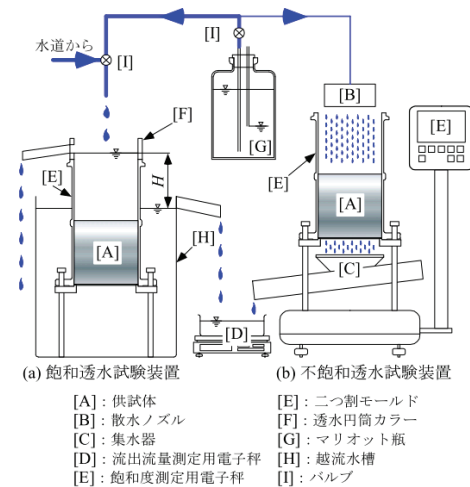
a) 飽和－不飽和透水試験



図－1 粒径加積曲線

表－1 路床材料の物性値

	霞ヶ浦砂(粗砂)	江戸崎砂(細砂)
土粒子の密度 ρ_s [g/cm ³]	2.706	2.689
最大粒径 D_{max} [mm]	9.50	4.75
60%粒径 D_{60} [mm]	0.57	0.19
10%粒径 D_{10} [mm]	0.255	0.015
均等係数 U_c [-]	2.235	12.667
最適含水率 ω_{opt} [%]	17.6	17.0
最大乾燥密度 ρ_{dmax} [g/cm ³]	1.685	1.737
室内CBR [%]	11	20
連続空隙率 [-]	0.387	0.339
飽和透水係数 k [cm/s]	1.8×10^{-2}	3.2×10^{-4}



a) 飽和透水試験装置 b) 不飽和透水試験装置

図－2 飽和－不飽和透水試験装置

キーワード 治水性能、透水性舗装、水分保持特性、飽和－不飽和浸透特性

連絡先

〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林道路技術研究所 TEL042-495-6800

飽和透水試験の結果を表-1に、不飽和透水試験の結果を図-4に示す。図より、飽和透水係数は霞ヶ浦砂に比べて江戸崎砂の方が2オーダー小さい。不飽和透水係数については、体積含水率に対する増加傾向は類似しているものの、同じ体積含水率における不飽和透水係数を比較すると、飽和透水係数と同様に江戸崎砂が1~2オーダー小さい値を示している。これは図-1からも分かるように、江戸崎砂の方が粒度分布が良く空隙量も少ない事によるものである。

b) 水分保持特性試験

従来、多くの研究者により不飽和浸透流の関数モデルが提案されているが、本研究ではその関数モデルとして、Van Genuchten 式³⁾を用いることにする。Van Genuchten 式(以下、VG 式と称す)は飽和-不飽和浸透解析に広く用いられており、水分保持特性試験で得られた計測値を式(1)でフィッティングして α_v 、 β_v を決定するものである。なお、 α_v は水分保持特性曲線の保水力の強さを表しており、 β_v は曲線の間を決定するパラメータである。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + |\alpha_v \phi|^{\beta_v}} \right]^{-\lambda} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ここに、 S_e は有効飽和度、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は最小含水量、 ϕ 圧力水頭であり、 α_v 、 β_v は土の種類などにより決定される定数である。

図-5は水分保持特性試験結果にVG 式をフィッティングした結果である。図中のマトリックポテンシャルとは、土壌粒子が水分子を引きつける力の強弱を示している。マトリックポテンシャルが大きいほど、保水性が高いことを示す。

図より、実線で示すようにVG 式で算出した値は、実験結果とほぼ同じ経路を推移していることが分かる。また、VG 式の適用性も良いことが明らかである。マトリックポテンシャルが最大値の時の体積含水率は霞ヶ浦砂が0.07、江戸崎砂が0.18を示している。このことより江戸崎砂は霞ヶ浦砂より水分を保持することが分かる。逆に、霞ヶ浦砂の方が粗い骨材が多いため、骨材粒子間の空隙が大きくなり、類似した空隙径の分布が多くなることから、マトリックポテンシャルの低下に伴って急激に脱水が生じ、空隙が侵入する。その結果、透水係数が大きく、保水力も小さくなったと言える。

4. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 今回使用した試料では、粒度が異なる路床土の不飽和透水係数の値は異なるものの、増加傾向は類似する。
- ② VG 式で算出した値は実験結果に良くフィッティングすることから、VG 式が適用可能である。

【参考文献】

- 1) 西山ほか：透水性舗装の雨水浸透機能に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第12巻，pp.99-106,2007.
- 2) 森石ほか：不飽和浸透特性を考慮した透水性舗装の透水性能に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第13巻，pp.63-70,2008.
- 3) Van Genuchten. M. Th. : A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.44, pp.892-898, 1980.

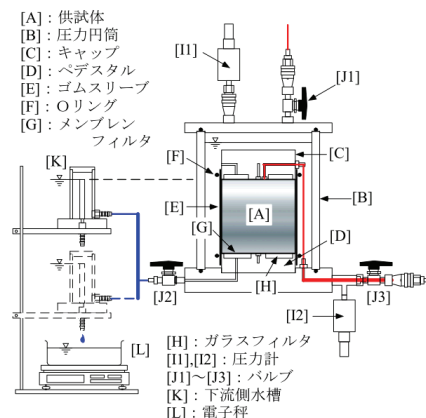


図-3 水分保持特性試験装置

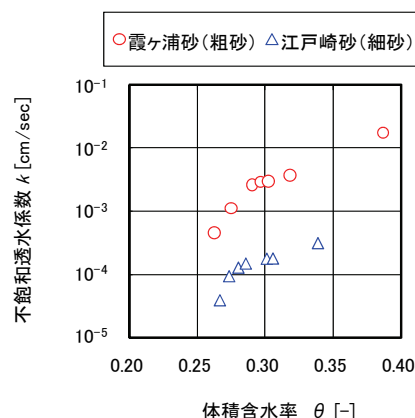


図-4 不飽和透水試験結果

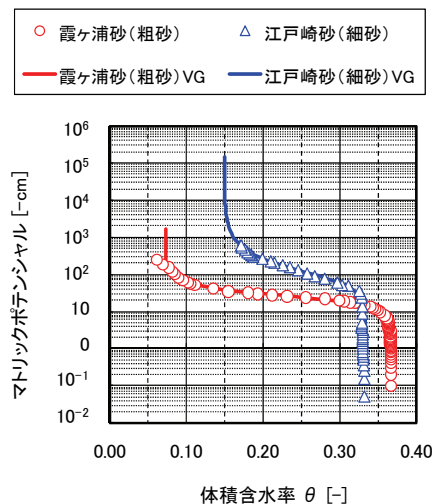


図-5 水分保持特性試験結果