

水平浸潤試験における砂礫土中の水分拡散係数の評価

九州大学大学院 学生会員 ○伊東雄一郎
九州大学大学院 正会員 古川全太郎

九州大学大学院 フェロー会員 安福規之
九州大学大学院 正会員 石蔵良平

1. まえがき

近年の地球温暖化をはじめとした地球環境問題は依然として深刻な状況にあり、その中でも砂漠化問題は危機的な状況となっている。

写真-1 に、モンゴルの Bogd 村における土地劣化の一例を示す。写真の地域の 1980 年代は地表一面が緑に覆われていたが、現在は砂地が一面に広がり、植生がほとんど確認されないのが明らかである。

一方、文献 1)によると、水資源の今後の使用の増加が予測されており、その内訳は農業分野が大きな割合を占めている。このように水問題は、砂漠化問題と同様に喫緊の課題である。

このような背景より、持続的な土地劣化の抑制のためには、節水型の技術開発が必要である。土地劣化の抑制技術にあたっては、低コスト・省力・節水型の灌漑システムの敷設が必要不可欠である。この灌漑システムの一つとしては、ひもを用いた節水型灌漑、点滴灌漑などが挙げられる。これらの灌漑システムでは、地表面からの蒸発や地盤内の浸透による水のロスがある。そのため、蒸発や浸透などの水のロスを最小化することで節水できるような技術開発が必要とされている。

著者らは、現地材料やバイオマスなどを活用して乾燥地の灌漑システムをさらに効率化できるような技術開発に取り組んでいる²⁾。

本研究では、乾燥地の地盤内における浸透抑制層の開発に向けて、水平浸潤試験を行い砂礫土中の水分拡散係数に着目して水分移動特性の基礎的な検討を行った。

2. 試料および実験方法

(1) 試料

実験にあたって、試料は乾燥珪砂 2 号 (以後、K-2 と称する)、4 号 (K-4)、7 号 (K-7) の 3 種類を用いた。図-1 は、使用した試料の粒径加積曲線を示す。なお、参考のためモンゴルのカンゾウ自生地において、深さ 0cm 地点で採取した現地試料の結果³⁾も併記した。

(2) 実験方法

実験では、室内実験で水分拡散係数が得られるボルツマン変換法⁴⁾を採用した。図-2 は、水平浸潤試験装置の概要を示す。装置は、定水位給水装置、給水バルブ、厚さ 10mm の内径および外径がそれぞれ 27mm、33mm の浸潤セルを 20 個つなげたもので構成されている。流入部直近のセルには、目開き 250 μ m のメッシュおよび保持粒子径 6 μ m のろ紙を複数枚重ねて設置した。

実験方法としては、ビニルテープにより連結したセル



写真-1 土地劣化の一例 (モンゴル国南部 Bogd 村, 2011 年 9 月 15 日撮影)

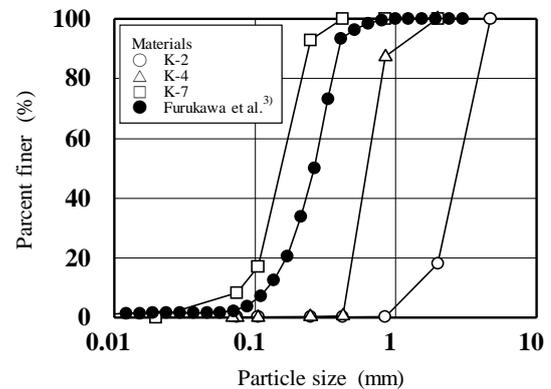


図-1 粒径加積曲線

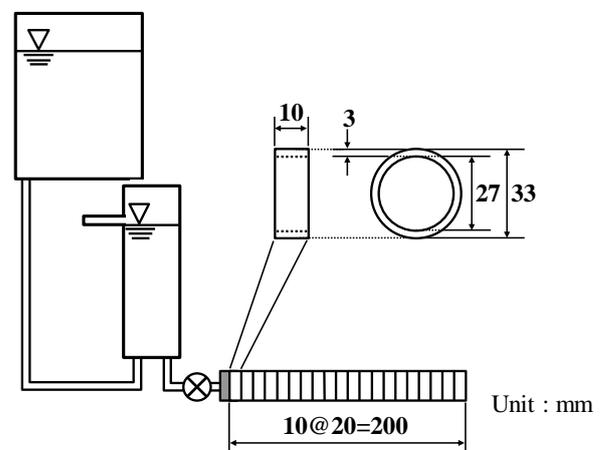


図-2 水平浸潤試験装置の概要

内に試料を所定の間隙比で、一定の層厚となるように充填した。その後、連結セルを水平に設置し、給水バルブを開き、0cm の給水水頭で浸潤させた。給水開始後、時間を測りながら各セルを前進する浸潤前線の位置 x と

時間 t を記録した。浸潤前線が 20cm まで到達したら、バルブを閉め、ただちに各セルを分解しそれぞれの含水比を測定した。実験条件は、間隙比 e をいずれの試料も 0.84 とした。

実験で得られた結果から以下の(1)式を用いて各セルのボルツマン変数を算出した。

$$\eta = \frac{x}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

ここに、 η : ボルツマン変換 ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$), x : 浸潤前線の位置 (cm), t : 時間 (min)

上式より、各セルの体積含水率とボルツマン変数との関係を明らかにした。図-3 にその結果を示す。図の体積含水率とボルツマン変数との関係より、以下の(2)式より水分拡散係数を算出した⁵⁾。

$$D(\theta) = -\frac{1}{2} \frac{d\eta}{d\theta} \int_{\theta_i}^{\theta} \eta d\theta \quad (2)$$

ここに、 D : 水分拡散係数 (cm^2/s), θ : 初期体積含水率 (%) ($\theta_i = 0\%$)

3. 結果

図-4 は、体積含水率と水分拡散係数との関係を示す。図より、いずれの試料においても水分拡散係数は体積含水率の増加とともに増加し、初期体積含水率 ($\theta = 0\%$) 付近で急激に増加し、それぞれ $10^{-2}\text{cm}^2/\text{s}$ から $10^{-1}\text{cm}^2/\text{s}$ の間にあることがわかる。

水分拡散係数は、体積含水率 15%程度では礫質である K-2 が最大となったが、砂質である K-4 と K-7 では、それぞれ体積含水率 25%, 35%付近で最大となった。

図-5 は、平均粒径と水分拡散係数との関係を示す。図より、体積含水率一定の条件下では平均粒径の増加とともに水分拡散係数は、直線的に増加していることがわかる。

また、体積含水率が大きいほど水分拡散係数が増加する割合も大きくなっていることもわかる。

このことから、一定の体積含水率であれば、平均粒径と地盤内の水分移動特性を表す水分拡散係数との間には、一義的な比例関係が存在することが示唆された。

4. まとめ

本研究では、砂礫土中の水分拡散係数に着目して水分移動特性について検討したところ、礫質の試料では体積含水率 15%程度で水分拡散係数が最大となり、砂質の試料では、礫質の試料よりも高い体積含水率で最大となった。平均粒径と水分拡散係数との関係では、両者の間に一義的な比例関係が存在することが示唆された。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、九州大学地盤工学研究室技術協力スタッフ中島通夫氏には実験装置の作成など多大なるお力添えをいただいた。ここに、深甚なる謝意を表す。

参考文献

1) A joint Igor A. Shiklomanov / UNESCO product : World water

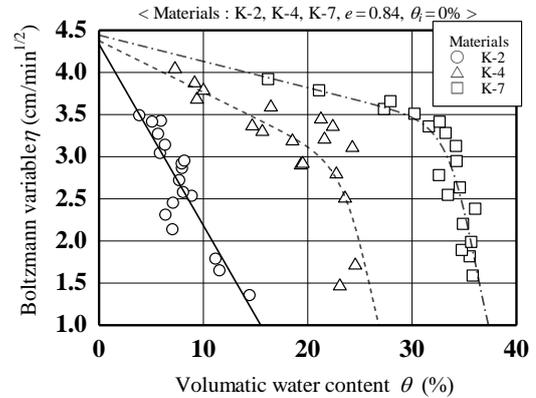


図-3 体積含水率とボルツマン変数との関係

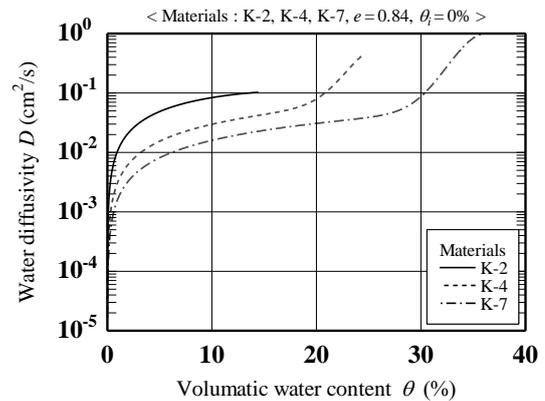


図-4 体積含水率と水分拡散係数との関係

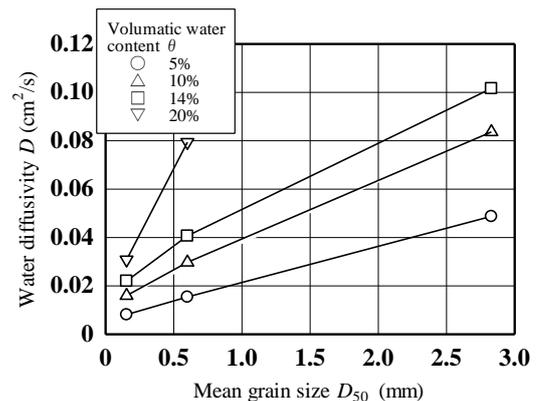


図-5 平均粒径と水分拡散係数との関係

resources and their use, 1999.

2) Furukawa Z., Yasufuku N., Omine K., Marui A. : Evaluation of survival rate of Licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) in semi-arid region by statistical analysis, Lecture Notes in Civil Engineering, Volume 62, No.1, pp.759-766, 2019.
 3) 古川全太郎, 安福規之, 大嶺聖, 丸居篤: 砂漠化対策に向けたモンゴル乾燥地における薬用植物「カンゾウ」自生地 の地盤環境特性, 土木学会論文集 C (地圏工学), 第 69 巻, 第 4 号, pp.417-431, 2013.
 4) 地盤工学会: 不飽和地盤の挙動と評価, 丸善, 2003.
 5) 水村和正: 水文学の基礎, 東京電機大学出版局, 2008.