

鉛直カラム実験に基づく不飽和浸透場における分散現象の把握

法政大学大学院 学生会員 ○木下 孝介
 沼津市役所 正会員 林 繁樹
 法政大学工学部 正会員 岡 泰道

1. はじめに

本研究では、土壌中に EC センサを設置し、降雨形態により溶質を均一場に供給する実験を行った。さらに、筆者らが既に求めている飽和分散長と不飽和分散長との関係¹⁾に基づいて、均一場における溶質移動現象を把握することを目的とした。

2. 実験装置

実験装置を図 1 に示す。この装置は、鉛直カラム(内径 0.2m, 高さ 1.5m), 降雨装置および排水装置から構成される。降雨装置は定常降雨(20~200mm/hr)の設定が可能であり、内部に EC センサが設置されている。また、鉛直カラムには、TDR 計 6 本, EC センサ 4 本, 温度センサ 3 本を取り付けた。なお、各種センサの測定値は 1 分間隔でデータロガーに記録される。排水装置は、流出量計および地下水位設定装置からなる。試料には豊浦標準砂(比重 2.63, 平均粒径 0.196mm)を用い、一定乾燥密度 $1.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ になるように水締め方式によりカラム内に充填した。溶質としては非吸着性物質である NaCl を使用した。

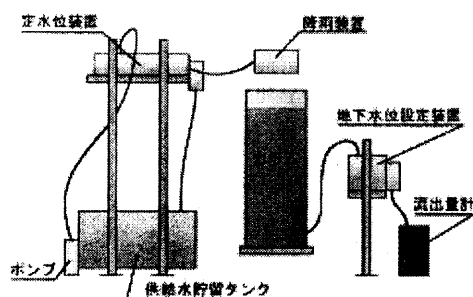


図 1 鉛直カラム実験装置の概要

3. 実験方法

実験手順は以下のとおりである。一定降雨を降雨装置から供給し、試料内が定常状態になった後、供給水を NaCl 溶液に切り替え、浸透水ならびに流出水の電気伝導度の計測を開始する(NaCl 供給過程)。流出水と供給水の電気伝導度がほぼ等しくなった後、供給水を水道水に切り替える(脱塩過程)。

4. 実験結果

(1) 実験時の水分分布

降雨供給による土壌中の水分分布は、下方に比べ上方の α が高い体積含水率を示すことがある。その原因の 1 つに封入空気残存が考えられるが、ここでは飽和度と飽和分散長との関係を明らかにするために、以下の数値解析においては、電気伝導度の測定領域内では水分量一定と仮定した。数値解析は次式に基づいている。

$$c_w(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right\} \quad \cdots (1)$$

ここに、 $c_w(\psi)$: 比水分容量, ψ : 吸引圧(mH₂O), $k(\psi)$: 透水係数(m/s)である。また、吸引試験結果より得られた水分特性曲線に対して van Genuchten 式を当てはめ、 α , n を同定した(図 2)。降雨強度 61.3(mm/hr)で行った実験時の水分分布を図 3 に示す。深度 0.48~0.84m では実測値に比べ解析値の α が高い水分量になってい

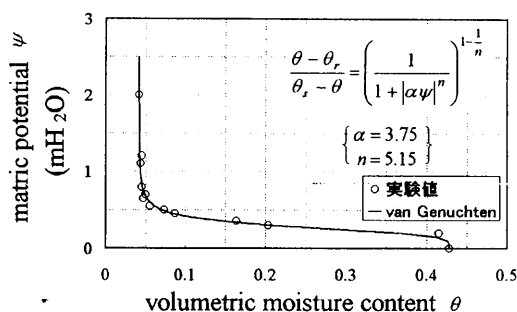


図 2 水分特性曲線

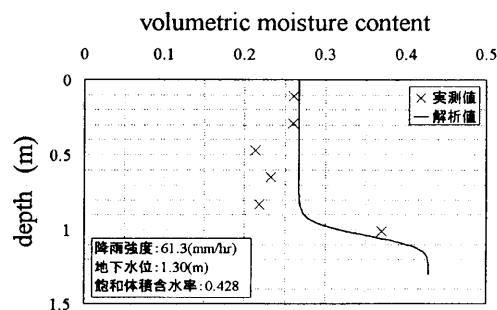


図 3 実験時の水分分布

キーワード 鉛直カラム実験装置, 均一場, 降雨供給形態, 分散長, 飽和度

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部 TEL042-387-6278

ることがわかる。しかし、実験前に行った TDR 計の検定結果により測定誤差が 5% 程度と得られているので、これを測定誤差とみなし、深度 0.71m まで一定水分量とした。

(2) 実験結果

図4に濃度プロファイルの時間的変化を示す。実験におけるカラム内初期 NaCl 濃度は 0.0(%), 供給 NaCl 溶液濃度は 4.87×10^{-2} (%)である。時間が経過するにつれ、NaCl 溶液が下方に浸透していき、360 分後にはカラム内の溶液濃度がほぼ一定になっている。

5. 分散係数の推定

次に実験結果に対して、次式を用いて特性曲線法により数値解析を行い、最適化による間隙流速ならびに分散係数の同定を試みた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \dots(2)$$

ここに、 C : 相対濃度、 u : 間隙流速(m/s)、 D : 分散係数(m^2/s)である。

図4に示した実験において、実験値と解析値の相対濃度の時間的変化と合わせて、推定した間隙流速ならびに分散係数を図5に示す。間隙流速と分散係数はそれぞれ相対濃度 0.5, 0.9 付近で、測定深度全体で実験値と解析値とが見合うように推定した。その結果、深度 0.25, 0.71m では、両者に誤差が生じた。これは締め固めが不十分であったために、カラム内に水みち的な流れが存在したことに起因すると推察される。

6. 分散長の推定

(1) 飽和分散長

機械的分散が分子拡散に比べて卓越するような場では、分散長は次式で定義される。

$$D = \alpha u \quad \dots(3)$$

ここに、 D : 分散係数(m^2/s)、 α : 分散長(m)、 u : 間隙流速(m/s)である。筆者ら¹⁾により飽和状態について得られた(3)式の関係を図6に示す。NaCl 供給過程に比べ脱塩過程における分散長の α が大きい値を示している。この原因としては、EC センサの相互干渉により NaCl 浸透過程では分散係数が過大評価、脱塩過程では過小評価されたことが考えられる。そのため、飽和状態における分散長を、過程ごとではなく、全データに対し近似直線を当てはめることにより求めた。

(2) 飽和度と分散長の関係

工藤ら²⁾によると、分散長は飽和度に依存し、図7中に示す関係式で表されている。 α として前述した飽和分散長を用い、 $n=1$ を当てはめると、ある程度の再現性が得られた。これは工藤らの結果に沿うものとなっている。

7. まとめ

本研究の結果から、飽和分散長を既知として、図7中の関係式において $n=1$ とすることにより、飽和度と分散長の関係を近似的に表現できることを確認した。今後は、この関係を飽和・不飽和混合領域に適用し、その再現性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 林ら: 土木学会関東支部, VII, 2003.
- 2) 工藤ら, 土木学会年講, III, pp.456-457, 2001.

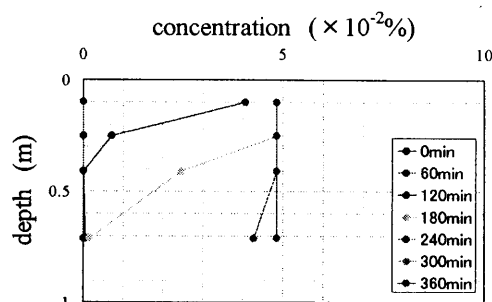


図4 濃度プロファイル

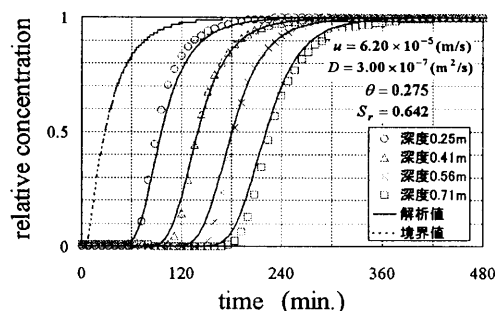


図5 分散係数の推定結果

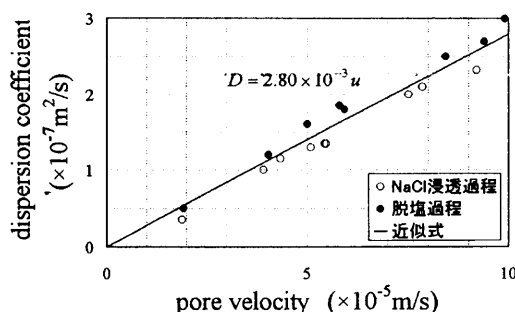


図6 間隙流速と分散係数の関係

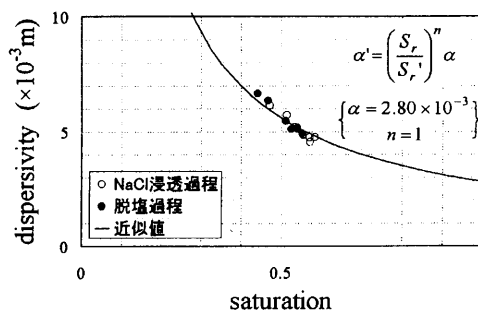


図7 飽和度と分散長の関係