

室内実験ならびに two-region model に基づく移流分散パラメータの推定

法政大学大学院 学生会員 ○木下 孝介
法政大学工学部 学生会員 小松 義隆
法政大学工学部 正会員 岡 泰道

1. はじめに

これまで筆者らは、鉛直カラム実験結果と移流分散方程式を用いた数値シミュレーションに基づいて、実流速ならびに分散係数を推定してきた¹⁾。これらの結果から、移流現象は、間隙水全域ではなく、有効断面で生じていることが推察された。したがって、移流分散パラメータを飽和・不飽和混合領域に適用するためには、いわゆる two-region model を用いる必要がある。本研究では、飽和・不飽和混合領域の移流分散現象の定量化を図るための移流分散パラメータを、カラム実験ならびに two-region model より推定することを目的とした。

2. 実験装置と実験方法

(1) 鉛直カラム実験装置

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(電気伝導度)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。なお、砂層下端には砂利を敷き詰めた。溶質としては非吸着性物質である NaCl を使用した。

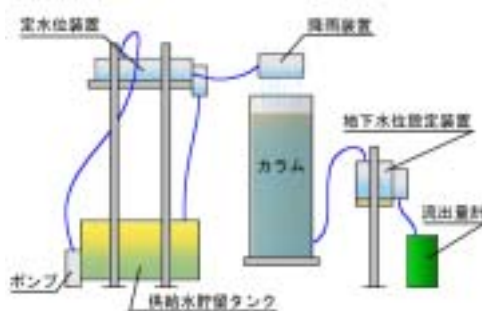


図1 鉛直カラム実験装置の概要

(2) 実験方法

飽和溶質移動実験では、まず土壌層全体を飽和させた後にそれを維持する条件に降雨強度を設定した。また、下部の砂利層の上面を地下水面とした。一方、不飽和溶質移動実験では、不飽和条件となる定常降雨を約12時間供給することにより定常不飽和流を形成した。地下水面の位置は飽和実験と同じである。両実験とも様々な降雨条件で行ったが、いずれも流れの定常性を確認後、供給水を NaCl 溶液に切り替え、浸透水ならびに流出水の EC の計測を開始するという手順をとる。流出水と供給水の EC がほぼ等しくなった後、計測を終了する。

3. Two-region model によるパラメータの推定

(1) two-region model

非吸着性物質の土壌試料内での挙動を示す支配方程式の1つに、以下のような two-region model がある。

$$\begin{aligned} \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} &= \theta_m D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - u' \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial z} \\ \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} &= \alpha (C_m - C_{im}) \end{aligned} \quad \dots(1)$$

ここに、 C_m : 可動水の溶質濃度、 C_{im} : 不動水の溶質濃度、 $\theta_m = \phi \theta$: 可動水領域の体積含水率、 θ_{im} : 不動水領域の体積含水率、 ϕ : 可動水の存在割合、 θ : 土壌試料内の体積含水率、 α : 物質移動係数(s^{-1})、 u' : 実流速(m/s)、 D : 分散係数(m^2/s)である。

(2) 移流分散パラメータの推定

実験結果に上式のモデルを当てはめ、目視による最適化を行うことにより移流分散パラメータを推定した(図2: 飽和, 図3: 不飽和)。図3においては、実験時に目視により観測した毛管水縁上端(深度 0.8m)より上方を水分量一定と仮定している。両図に見られる実験値と計算値の相違は、締固めが不十分であったことによると判断される。

キーワード 鉛直カラム, two-region model, 飽和度, 分散長

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 TEL 042-387-6278

4. パラメータの評価

(1) 飽和分散長

飽和実験結果より求められた実流速と分散係数の関係を図4に示す。また、図中の式に基づき、飽和分散長 7.51×10^{-4} (m)を得た。これは筆者ら¹⁾が以前に算出した飽和分散長 2.50×10^{-3} (m)よりも小さい値となっている。この差は、後者のケースにおいて、1次元移流分散方程式によりパラメータを推定する際に、間隙内部への拡散も同様に機械的分散として取り扱ったためと考えられる。

(2) 不飽和分散長

飽和度と分散長との関係を図5に示す。工藤ら²⁾による分散長の飽和度依存性を確認した。

(3) 可動水の存在割合

次に、飽和度と可動水の存在割合の関係を図6に示す。不飽和状態に比べ飽和状態での不動水の存在割合は小さくなったが、飽和度と可動水の存在割合との間には、現段階では明確な関係は見出せない。

(4) 物質移動係数

図7より、物質移動係数の流速依存性は確認できるが、飽和状態と不飽和状態では異なる傾向となった。また、飽和実験において、大きな物質移動係数となった実験では可動水の存在割合は他に比べ小さい値を示した。このことから、物質移動係数と可動水の存在割合との関連性が伺える。

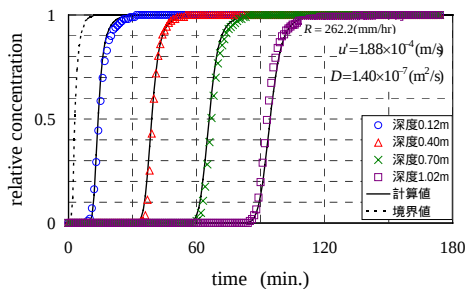


図2 移流分散パラメータの推定結果(飽和)

5. まとめ

- ・two-region modelより分散係数を推定すると、従来用いられている移流分散方程式で推定した場合に比べ小さい分散長となる。
- ・分散長の飽和度依存性を確認した。
- ・飽和度と可動水の存在割合の関係は不明確である。

参考文献

- 1) 木下ら, 土木学会年講, -36, pp.71-72, 2003.
- 2) 工藤ら, 土木学会年講, , pp.456-457, 2001.

3) van Genuchten et al (1976), Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.40, No.4, pp.473-480, 1976.

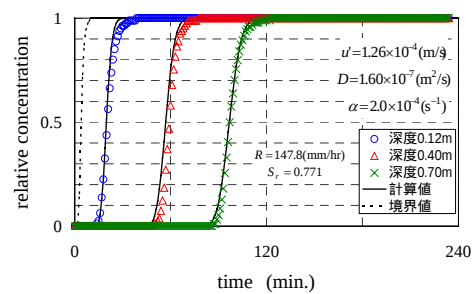


図3 移流分散パラメータの推定結果(不飽和)

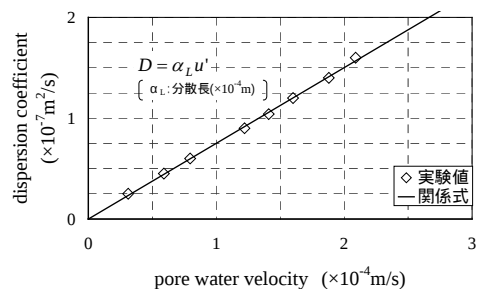


図4 実流速と分散係数の関係

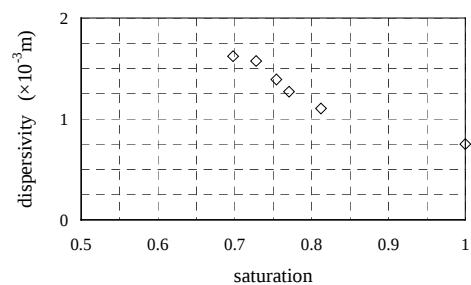


図5 飽和度と分散長の関係

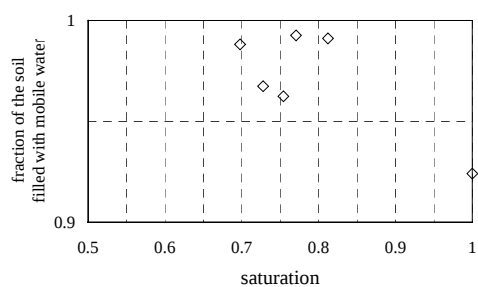


図6 飽和度と可動水の存在割合の関係

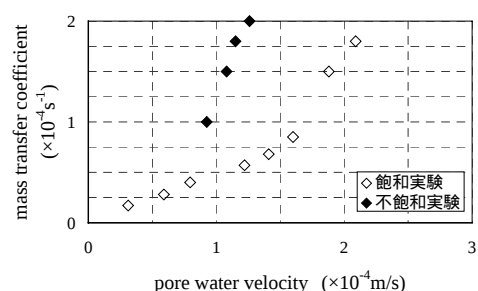


図7 実流速と物質移動係数の関係