

不飽和土壌中における分散特性に関する研究

名古屋大学大学院
名古屋大学工学部 正会員
名古屋大学工学部 正会員

○目黒 亨
松林宇一郎
高木 不折

1. はじめに 近年の様々な環境問題の中に農業や生活用水に影響を及ぼす土壌、地下水汚染がある。この汚染物質は地上で降雨に溶け、地表付近の不飽和な土壌に浸透し、さらに飽和地下水へ到達する。これまでの研究は不飽和の分散現象の研究は少なく、特に横方向の分散を扱ったものは極めて少ない。そこで本研究は不飽和定常状態における浸透流に垂直な方向、すなわち横分散係数を実験的、数値的に明らかにしようとするものである。

2. 移流分散実験 実験装置は図-1 のようにガラスビーズを詰めたプレート状カラムと降雨発生装置から成る。カラムの上端中央には仕切りをつけ、それを境に片側に濃い NaCl 溶液を、もう片方には薄い NaCl 溶液を同一の強度で散水供給し、定常状態での濃度分布を測定した。濃度はカラムに取り付けられた横一列、5 段のプループから比電気伝導度として測定した。このようにしてガラスビーズの粒径 d が異なる 3 種類の実験を行った。横分散係数 D_y の推定に際し必要な縦分散係数 D_x は本研究と同一のガラスビーズを用いて Laxmi¹⁾ が求めた D_x - v 関係より求めた。そして二次元移流分散方程式の解、式(1)から D_y を求めた。

$$C(x, y') = \frac{1}{2} + \frac{\alpha}{\pi} \exp(\alpha x) \int_0^{y'} K_0(\alpha \sqrt{x^2 + \xi^2}) d\xi \quad (1)$$

3. 結果と考察 実験で得られた横分散係数 D_y と実流速 v の関係を図-2 に示した。この図-2 から D_y は v が増加すると共に大きくなると言え、その変化はいずれの粒径 d においてもほぼ直線的である。また粒径の違いによる変化は $d=0.50\text{mm}$ と $d=0.75\text{mm}$ との差はあまりないが、これらと $d=0.25\text{mm}$ の結果には明らかに違いが見られ、全体としては粒径が大きいほど D_y も大きいという傾向が見られる。これはほぼ同じ条件で縦方向の分散係数について実験した Laxmi の結果と同じ傾向を示しており、横方向の分散も粒径による違いは混合距離の変化によるものと考えられる。さらにこのような現象のより詳細なメカニズムを考えるため、浸透層の数値モデルを構築し、シミュレーションを行った。これは土壌中の溶質の移動を追跡し、その統計的な振る舞いから拡散現象を考えるという Lagrange 的

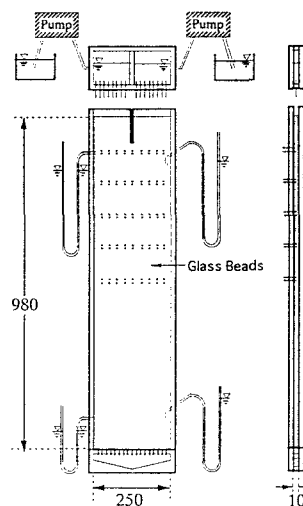


図-1 実験装置の全体図 (単位mm)

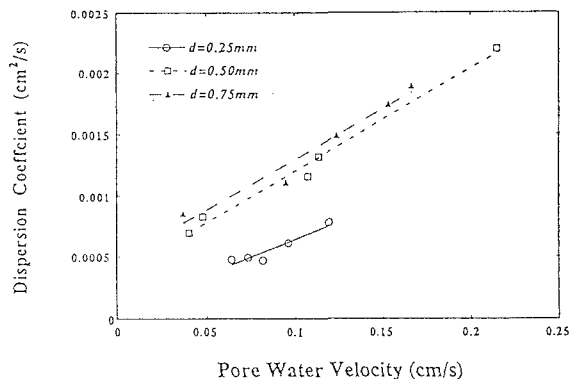


図-2 実流速に対する横分散係数

な方法である。である。ここでは図-3のように土粒子は全て球、その配置は六方充填、物質は土粒子の接点から接点へと1/2の確率で進むという仮定をした。このようなシミュレーションによって求めた D_y と実流速 v の関係を実験による D_y - v 関係と共に両対数でプロットしたものを図-4に示す。図-4から両粒径とも両対数でグラフを描くと傾きはほぼ等しく 45° であるが、 D_y の値そのものは数値解析結果の方が実験結果に比べて1/3~1/4ほど小さいことが分かる。これは実際の浸透場は今回仮定したモデルのように粒子は完全な球でその配置は最密な状態になっていない等が考えられる。しかし D_y は実流速 v と線形関係にあり、同じ v に対して粒径が大きい方が D_y が大きいという点は実験結果と共通な点である。最後に分散係数 D は土の空隙が合流して溶質が混合するまでの平均距離 l と乱れ強度 $\sqrt{v'^2}$ を用いて $D = l\sqrt{v'^2}$ と書けるという混合距離理論の観点からシミュレーションの結果を考えると混合距離は表-1のような値が得られた。Laxmi は実測値に基づいた縦方向の混合距離を求め、その値は粒径の約2倍としており、表-1の結果はそれに比べてかなり小さい。横方向は速度のばらつきが小さいため、混合距離も小さくなると考えられるが、粒径の1/10程になってしまうのは先に述べたシミュレーションの仮定に問題があったと思われる。

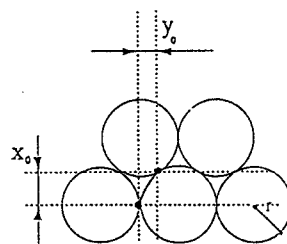


図-3 シミュレーションモデルの仮定

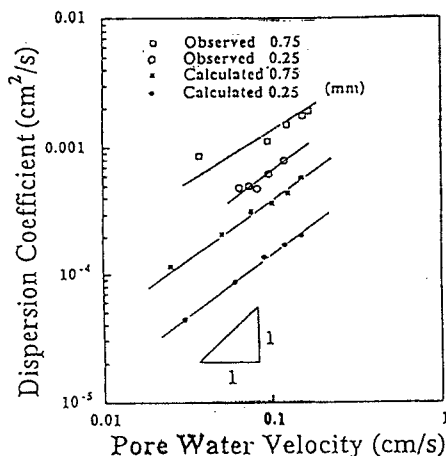


図-4 実流速に対する横分散係数

4. まとめ 本研究では不飽和定常状態において浸透流に対して垂直方向の移流分散特性を行い次のような結論を得た。

- ・不飽和土壌中の横方向の分散係数 D_y を実流速 v に対してプロットすることによってこれらの関係には線形関係があることが分かった。

- ・浸透層内のモデルを仮定することにより、数値解析から横方向分散係数を求め、実験による結果と比べることができた。しかし定性的には一致したが定量的には数値解析の方が小さくなり、その原因の解明には至らなかった。

<参考文献>

1) Laxmi P. Devkota: Characteristics of Mixing Length in Dispersion Through Unsaturated Glass Beads Media, Annual space J. hydraulic Engineering, JSCE, vol40, 1996, pp425-430.

表-1 横方向の混合距離

粒径 d (cm)	平均実流速 v (cm/s)	横分散係数 D_y (cm ² /s)	混合距離 l (cm)	l/d
0.025	0.03	0.0000436	0.0022	0.0089
	0.06	0.0000869	0.0023	0.0904
	0.09	0.0001289	0.0024	0.0946
	0.12	0.0001688	0.0022	0.0867
	0.15	0.0002279	0.0020	0.0799
0.075	0.025	0.0001158	0.0058	0.0773
	0.05	0.0002151	0.0064	0.0858
	0.075	0.0003062	0.0060	0.0798
	0.10	0.0003785	0.0057	0.0767
	0.125	0.0004064	0.0053	0.0710
	0.15	0.0005562	0.0063	0.0842