

## 不飽和土壤中における物質の移流・分散に関する研究

名古屋大学大学院 ○大國 哲  
 名古屋大学工学部 正会員 松林宇一郎  
 名古屋大学工学部 正会員 高木 不折

**1. はじめに** 環境問題の一つである地下水の汚染は、農薬や肥料などが降雨に溶けて土壤中に侵入していき、地下水に達することにより生じる。そこでこの研究では物質移動を表す指標の一つとして分散係数を取り上げる。そして分散係数が土壤中の流れの特性（実流速）とどのような関係にあるのかを流れ方向の縦分散だけでなく、流れと直交する横分散についても見ることで不飽和土壤中での物質の移動を理解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のような降雨発生装置とガラスビーズを詰めた実験槽とからなる装置を用いた。この実験ではトレーサーの変化の様子を視覚的にとらえるために、実験槽は2枚の透明なアクリル板を用いて作製したプレート状のものを用いた。また排水方法は実験槽下端からの重力のみによる排水とした。観察は実験槽の裏側から照明をあてて、正面からトレーサーの変化の様子をCCDビデオカメラで撮影し、画像解析装置で濃度を数値化して記録解析するという方法をとっている。

実験は蒸留水を流量フラックス一定で実験槽内に供給して定常状態をつくる。その後トレーサー注入口より濃い過マンガン酸カリウム溶液を注入し、溶液の移流・分散現象を観察した。ここで、過マンガン酸カリウム溶液は注入量が大い場合の水分量を乱してしまうので微量注入することにした。また、1分ごとの溶液の変化の様子を画像解析装置に収録した。ここで二次元の移流・分散方程式は、 $t=0$ で点源として質量 $M$ の物質を注入するという条件のもとで次のような解が得られる。

$$C(x, y) = M \frac{1}{4\pi\sqrt{D_x D_y} \tau} \exp\left\{-\left(\frac{x^2}{4D_x \tau} + \frac{y^2}{4D_y \tau}\right)\right\} \quad (1)$$

ここで $x$ は流れ方向、 $y$ は流れと垂直な方向である。コンピュータに収められた画像の中で、濃度の最も大きいポイントを原点とすると、 $x$ 軸、 $y$ 軸上での溶液の濃度分布（その一例を図-2に示す）を、それぞれ式(1)での $x=0$ 、 $y=0$ に沿う理論解とフィッティングさせ $D_x$ 、 $D_y$ を求めた。実流速 $v$ は濃度ピークの移動速度より求めた。

**3. 結果と考察** この実験より得られた結果に以前行った実験の結果も加えて、実流速に対する縦方向の分散係数をプロットしたのが図-3である。図-3より縦方向の分散係数はある流速の値までは比例的に増大するが、その値を越えると急速に減

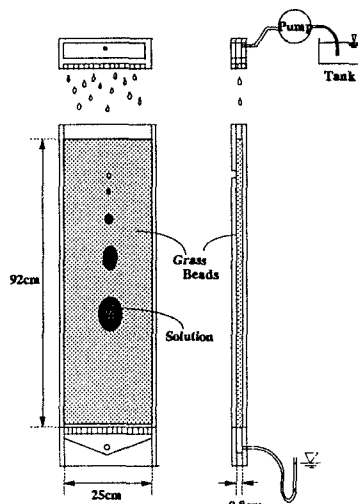


図-1 実験装置

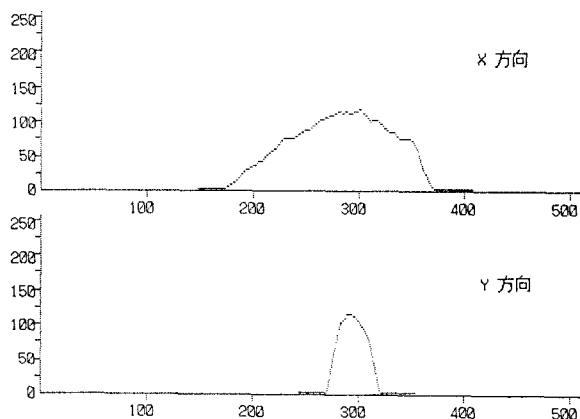


図-2 x軸、y軸上での溶液の濃度分布の例

少していく。今回の結果(×印)は前回の実験結果に対応したものとなっている。

一般に多孔体内の流れの分散係数は分子拡散係数と物理的分散係数の和で表されるが、本研究で扱う流速の範囲では分子拡散係数は無視できるほど小さい。分散は間隙ごとの流速の違いによって発生するものと考えられるので、乱流における混合距離の考え方をを用いると分散係数は  $D = \ell \sqrt{v'^2}$  のように表現される。ここで、 $v'$  は間隙流速  $v$  の平均値  $\bar{v}$  からの変動成分。 $\ell$  は土の間隙が合流しそこで溶質の混合が生じるまでの平均距離である。この考えを基礎にして今回の結果を考察する。不飽和な状態では水は点在しておりルートの屈曲が大きいので  $v'$  は大きくなり、また  $\bar{v}$  に伴っても大きくなるので分散係数は増大する。ところが、飽和度が大きくなるとルートが短絡されるために屈曲は小さくなる。そのために  $v'$  が小さくなり分散係数は小さくなると考えられる。一方、 $\ell$  は溶質の混合が起こるまでの距離のことをいっているが、飽和に近いほど水脈が次に接する距離が短くなるので  $\ell$  は小さくなり、このことから図-3の高含水域での分散係数の減少が説明される。

また、縦方向と横方向の分散係数について比較したのが図-4である。明らかに縦方向の分散係数が横方向の分散係数よりも大きく、15～30倍程度の値を示す。これは過去に行われた地下水帯での研究でも述べられており、この結果とほぼ対応している。原因としては、流れの縦方向が横方向よりも卓越しているので、縦方向の速度変動が横方向の速度変動に比べて大きいことに見られる現象であると考えられる。

**4. まとめ** この研究では平面二次元の様な浸透場での移流・分散実験を行い次のような結論を得た。

- ・ 不飽和土壌中の縦方向の分散係数が、前報で述べられているように高含水域で減少することを再確認した。また、その原因を飽和度によって土壌の間隙の水脈の構造が変わることによる効果と、それに伴って生じる速度変動の違いによって説明した。
- ・ 縦方向の分散係数と横方向の分散係数を比較すると分散の程度は縦方向の方が横方向よりも大きく、値としては15～30倍程度の大きさである。

<参考文献>

- 1) L.P.Devkota: Dispersion of Solutes Through Unsaturated Glass Beads Media, 水文・水資源学会誌, 104-105(1995)

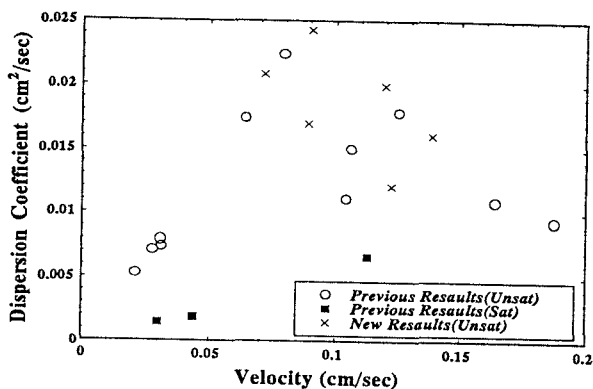


図-3 実流速に対する縦方向の分散係数

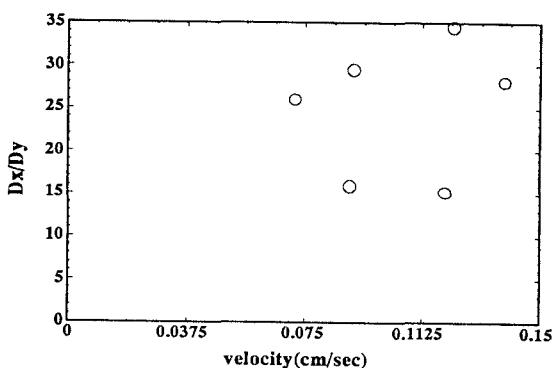


図-4 実流速に対する分散係数の縦方向と横方向の比