

地下水汚染物質の非整数階微分を用いた移流拡散モデルに関する研究

Fractional governing equation of groundwater flow: a numerical and experimental study

岡田 健太[1], 羽田野 祐子[2]

Kenta Okada[1], Yuko Hatano[1]

[1] 筑大院・理工, [2] 筑波大・機能工

[1] Inst. Eng. Mech & Sys., Tsukuba Univ.

<http://kz.tsukuba.ac.jp/~hatano/>

地下水における汚染物質の移行の予測のための基礎式として、従来から移流拡散方程式が広く用いられている。しかし、不均質な多孔質媒体中での物質輸送を表すのに適当でない場合があることが徐々に確認されてきている。このような流れをうけ、本研究では Benson ら (1998) の研究をもとに媒体の不均質性を考慮した新しい支配方程式を導入し検討する。

媒体中の流れの不均質性を考慮することにより空間での微分が、媒体中の吸着時間の不均質性を考慮することにより時間での微分が、それぞれ整数階ではなくなり、次式のように表される。

$$d^{\gamma}C/dt^{\gamma} = Dd^{\alpha}C/dx^{\alpha} - vC/dx \quad (0 < \gamma < 1, 1 < \alpha < 2)$$

この支配方程式による解の特徴は次のような点である。通常の移流拡散方程式では解は基本的にガウス分布で表されるのに対し、非整数階微分の移流拡散方程式ではレヴィ分布とよばれる幅広のすそを持った分布で表される。我々は上記の支配方程式の数値解を差分法によって求めてきた。ある実験データとの比較により、上記の方程式の空間微分の階数は通常の 2 ではなく、非整数階の 1.5 になることが確認されている。

今回、我々は新しい支配方程式における微分の階数アルファ、ガンマの値が物理的になにか意味を持っているのか、つまりトレーサーや媒体によるものなのか等を検討するために、実際の地下の形状に近いサンドボックス型の装置を構築して様々なトレーサー、媒体を用いた実験を行う。今回、我々が使用する実験体系というのは、Berkowitz and Scher (2000) らを元にして構築しているが、彼らのものでは層構造あるいはブロックなどで人為的に不均質性を持たせた土層における破過曲線を求めていた。本研究では、地質の不均質性を示すと考えられるパラメータのアルファが実際の体系とどのように関連するのかを評価するために、まず人為的な不均質性がない土層を用いて実験を行う。

実験装置は 1000mm×710mm×120mm のアクリル容器、マリオットタンク、チャンネル切り替え機、アンプ、PC から成る。容器中に媒体となる砂を詰め、水平方向にトレーサーとなる水溶液を流す。マリオットタンクにより上流側と下流側の水位は一定に保たれる。水頭差は 5cm に設定し、流速 1.66×10^{-3} cm/s で上流側タンクから希薄トレーサー水溶液が注入される。砂の中の 15ヶ所、さらに上流側タンクと下流側タンクのそれぞれ 1ヶ所ずつにセンサが埋め込んであり、その点における電位差を常時測定し、アンプを介して出力電圧を濃度に換算し、PC に取り込む。媒体とトレーサーとしては、最初は東北珪砂と 3% の NaCl 水溶液を使用し、その後、粒径や均質性の異なる媒体や吸着能の異なるトレーサーを用いて実験を行う。得られたデータから破過曲線を描き、それらの破過曲線にフィットするアルファ、ガンマの値を見つけるために再度シミュレーションを行い、考察する。

この一連の研究により、従来用いられている移流拡散方程式では表現できなかった地下での非常に遅い拡散、つまり破過曲線において長いテールを示す“異常拡散”という現象を表現する支配方程式の構築が可能になると予想される。

