

不均質性のある地質媒体中の移流分散流れ

Advection and dispersion in homogeneous geologic media

箕浦 逸郎[1]; 羽田野 祐子[2]; 岡田 健太[2]; 堀 俊和[3]; 毛利 栄征[3]

Itsurou Minoura[1]; Yuko Hatano[2]; Kenta Okada[2]; Toshikazu Hori[3]; Yoshiyuki Mohri[3]

[1] 筑波大、理工、構造; [2] 筑波大・機能工; [3] 農工研

[1] Eng.Mech,Tsukuba Univ; [2] Inst. Eng. Mech & Sys., Tsukuba Univ.; [3] NIRE

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

1 はじめに

地下水における汚染物質の移行の予測には、従来から移流分散方程式が広く用いられている。この方程式は汚染源から近いところや、均質場における汚染物質の濃度分布を良く表せることがわかっている。一方、不均質場や汚染源から遠い所では一致しないことがわかっている。この原因として考えられているのは、移流分散方程式の分散係数 D が流下距離に依存することである。ここで分散係数は L と v の積で表され、(L は縦分散係数、 v は地下水の平均流速) L の値が流下距離に従って増加することが直接の原因となっている。この現象は「 L のスケール依存性」と呼ばれ、大きな問題の一つである。本研究ではこの問題を解決すべく、この値が場の均質性とどのように関係しているかを実験的に明らかにする。具体的には、均質な媒体と不均質な媒体中でトレーサー実験を行い、 L のスケール依存性、分散幅などを調べることによって、媒体の均質性と移流分散流れの関係を検討する。

2 実験概要

実験装置は 1000 × 120 × 710(H)mm 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。容器中に水中落下法により砂を充填した後、マリオットタンクを用いて上流側と下流側の水位を水頭差 5cm で一定に保つ。水頭差を一定に保ったまま、上流側タンクからトレーサー水溶液 (3%の NaCl 水溶液) を注入する。砂の中の 15ヶ所にセンサが埋め込んであり、その点における電気伝導度を濃度に換算し PC に取り込む。均質場の実験では、豊浦砂 (平均粒径 0.175mm) を均質に詰めた模型を使用した。不均質場の実験では、豊浦砂中に砂層の体積の約 10% に相当する不透水性のブロック 10 個を混ぜることによって、不均質性を与えた模型を使用した。ブロックは 100mm × 100mm × 40mm の豊浦砂をシリコンで固めたものであり、水槽との間に隙間のないように詰めた。各ブロックの配置は、乱数により決定した。

3 実験結果

得られた破過曲線について、次の 3 つの解析を行った。(1) L のスケール依存性、(2) 平均 2 乗変位、(3) 破過曲線のフィッティングである。まず(1)については、横軸に流下距離 x 、縦軸に L をとり両対数プロットをしたところ、均質場で累乗近似式 $L = 8.4 \times 10^{-5}x - 0.17$ で表され、不均質場では $L = 4.0 \times 10^{-4}x^{0.56}$ を得た。つまり L のスケール依存性は均質場では小さく、不均質場では大きいという結果となり、井上ら (2000) の実験結果とは異なる結果となった。(2)については、平均 2 乗距離 $\langle L^2 \rangle$ を得られた破過曲線から算出した結果、均質場では $\langle L^2 \rangle = t^{1.05}$ となりほぼ時間に正比例したため通常の拡散とみなすことができたが、不均質場では $\langle L^2 \rangle = t^{0.768}$ となりべき指数が 1 ではないため通常の拡散とは異なることがわかった。(3)の移流分散方程式によるフィッティングでは、均質場では概ね実験結果と一致したが、不均質場ではテール部分を再現できなかった。以上から、汚染物質の移動は、均質場の場合、移流分散方程式にほぼ従うが、不均質場の場合、移流分散方程式で予測することが困難であることが分かった。この原因として、不均質場の分散幅が均質場のそれよりも大きいことが挙げられる。ここで分散幅とは、粒子が単位時間中に多孔質媒体中を移動するとき、各粒子が流下方向へ移動する距離のばらつきを示す値である。このばらつきは、各粒子が間隙中を等しい距離だけ流れるとき、曲がった経路や直線的な経路などの異なる流路を移動するために、単位時間当たりの流下方向への移動距離が異なるために起こる。つまり不均質媒体では、ブロックの影響で粒子が様々な流路を通るため、 L のスケール依存性も大きくなると考えられる。一方、均質場の場合、各粒子が同じような流路で多孔質媒体を移動するので、 L の増加がなく媒質の移動を移流分散方程式で表すことができると考えられる。

4 まとめ

サンドボックス型容器において均質場、不均質場の 2 種類の砂層を用いて実験を行った。その結果均質場においては、汚染物質の移動について、従来の移流分散方程式で表すことができたが、不均質場では表すことができないことが明らかになった。発表の場では、不均質場での汚染物質の移行を表すために、Benson(1998)らの研究を基にした、非整数階微分を用いた支配方程式で実験結果のフィッティング結果を示す予定である。