

Ⅲ - A260

帯水層中の物質移行特性評価手法についての検討

鹿島技術研究所 正会員 中村充利 同左 正会員 川端淳一
 鹿島技術研究所 正会員 河合達司

1. はじめに

帯水層中の物質移行特性は、主に分散係数と吸脱着特性を表す遅延係数で評価される。分散係数について、筆者らは原位置トレーサ実験及び室内カラム実験で得られた分散度に関する定量的な検討を行ってきた¹⁾²⁾。一方、遅延係数で評価される吸脱着特性については、物質の種類、帯水層の条件によって異なる上、原位置実験での評価が難しいとされている。本報文は、吸脱着特性を含む物質移行現象について評価を試みたものである。

2. 検討方法

まず、原位置トレーサ実験(トレーサ: Cl^- , Br^- イオン)を行い分散度を求めた後、原位置帯水層を模擬して原位置実験と同じトレーサを用いた室内カラム実験(直径2cm, 長さ10cm)から分散度を求め、本実験で得られた分散度が原位置の帯水層を模擬する値として妥当であることを過去の実験結果¹⁾と比較し確認する。次に、同じ模擬帯水層を用いて、人工地下水流システムによる生物浄化を想定したトレーサ(PO_4^{3-} , NO_3^- イオン等)で室内カラム実験を行い、遅延係数を求める。最後に、これらの物質の原位置での物質移行現象について物質移行解析により予測解析する。

3. 原位置トレーサ実験

3.1 実験概要

本トレーサ実験は、細砂で構成される不圧帯水層において揚水流量 $Q=18 \text{ l/min}$ で発生させた人工地下水流での分散特性を評価するものである。トレーサとしては、2種類のものを用いる(Case A: Cl^- イオン, Case B: Br^- イオン)。実験概要及び地盤条件を図-1に示す。実験は次の手順で行った。①揚水井で揚水を行い、人工地下水流を発生させる②地下水位が定常となった時点で、あらかじめ原位置の地下水の比重と同等となるように調整したトレーサ溶液(30 l)をトレーサ投入井より置換投入する③揚水井とトレーサ投入井間の観測井でトレーサ濃度の経時変化を測定する。

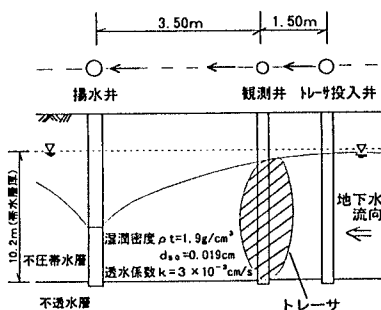


図-1 実験概要図

3.2 実験結果

観測井で測定したトレーサ濃度の最大値を1として換算した比濃度の経時変化を図-2に示す。Case A, Bともにトレーサ投入後約7000分(約5日)で観測井でのトレーサ濃度が最大となる傾向が見られた。このトレーサ到達時間をもとに推定した帯水層の有効間隙率 n は約33%であった。この実測値により移流分散方程式を基礎式とする平面二次元条件下での物質移行解析から縦方向分散度(α_z)と横方向分散度(α_r)の関係を $\alpha_z = 0.1 \alpha_r$ と定義して分散度の同定を行った結果、 $\alpha_z = 0.01 \text{ m}$, $\alpha_r = 0.001 \text{ m}$ となった。ここで得られた物質移行特性値は、過去の知見と同様であり妥当な値であるものと思われる²⁾。

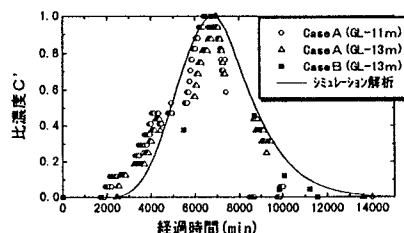


図-2 分散度の推定

4. 室内カラム実験

4.1 実験概要

本実験は、透水カラム内に原位置トレーサ実験地盤の砂を用いて現地と同様の密度の模擬帯水層を作成し、各種トレーサを用いたカラム溶出実験から得られる破過曲線より物質移行特性を評価するものである。模擬帯水層下流部より経時的に採取した流出水のイオン濃度は、イオンクロマトグラフで定量分析することによ

キーワード: 分散特性, 遅延特性, 原位置トレーサ実験, カラム溶出実験, 物質移行解析

〒182 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島技術研究所 TEL. (0424) 89-7072 FAX (0424) 89-7086

り求めた。なおトレーサには、原位置トレーサ実験で使用した Cl^- , Br^- 各イオン及び原位置でバイオレメディエーションを実施する場合を想定して、メタン酸化性菌及び芳香族酸化性菌への栄養塩物質である NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} 各イオンも併せて用いた（計5ケース）。

4.2 実験結果

各種トレーサの比濃度の経時変化を図-3に示す。 NO_3^- , NO_2^- イオンは非吸着性の Cl^- , Br^- イオンと同様の挙動を示しているものの、 PO_4^{3-} イオンは土壌への吸着に起因する遅延が発生している。これは、現地の砂の鉄イオン濃度が高いことから、 PO_4^{3-} イオンが他のイオンと比較して正の変位電荷に特異的に吸着されるという性質により生じた現象と考えられる。なお、本実験を行った帯水層条件下での PO_4^{3-} イオンの遅延係数 R は約2.9である。この実験値を一次元の移流分散方程式に基づく理論曲線で同定した結果により得られた分散度と今回の原位置トレーサ実験で推定した分散度を観測スケールで整理したものを図-4に示す。今回実施した実験により得られた分散度は、図-4にプロットした過去室内において同程度のスケールで実施されたカラム実験から得られた分散度と同様の数値（ 10^{-4}m オーダー）を示しており、また今回原位置トレーサ実験で得られた分散度と併せて観測スケールと分散度の関係で評価しても両者とも妥当な値が得られた。これらの結果より、本実験で使用した模擬帯水層は原位置の物質移行現象を表現しており、得られた遅延係数についても原位置の状況をほぼ表しているものと推定できる。

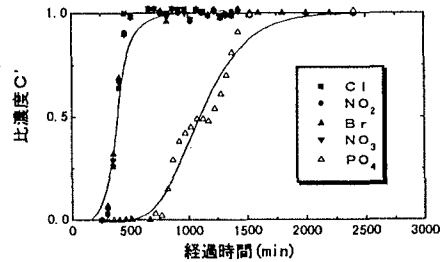


図-3 各イオンの濃度の経時変化

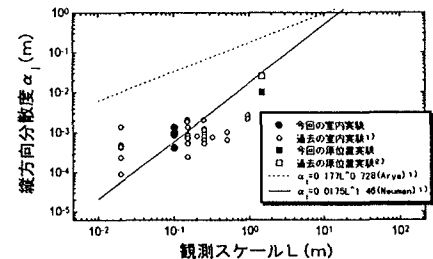


図-4 分散度と観測スケールの関係

5. 物質移行解析

原位置実験と同様の地下水状況で栄養塩を投入した場合の帯水層中の物質移行の解析を行った。図-5は、栄養塩物質として NO_3^- , NO_2^- イオンを投入し、観測井での濃度が最大となる時点での平面二次元の濃度分布である。また、図-6は栄養塩物質として PO_4^{3-} イオンを投入した場合の図-5と同じ経過時間での濃度分布である。この結果より、本解析モデルはバイオレメディエーションを想定した浄化システムの設計にあたって、原位置の状況を表現した物質移行解析への適用に対しても有効であると考えられる。

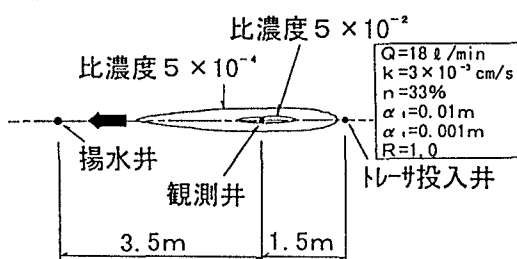


図-5 NO_3^- , NO_2^- イオンの分散（投入後7200分経過）

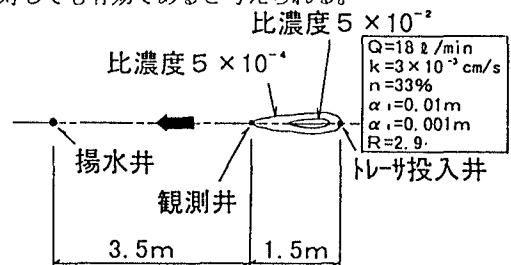


図-6 PO_4^{3-} イオンの分散（投入後7200分経過）

6. おわりに

今回、室内カラム実験により原位置の帯水層中の分散、遅延特性を定量的に評価できることが確認できた。今後もさらに、室内実験による遅延特性の定量的な評価に関するデータの蓄積を行っていく予定である。

なお、本報文中の実験データの一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より委託を受けた土壌汚染等修復プロジェクトでの研究成果を含むものである。

参考文献

- 1) 川端，中村；地下水における分散係数に関する実験的検討，第32回地盤工学研究発表会，1997
- 2) Kawabata&Tsuchihiro; In-situ Investigation Method of Groundwater advection-dispersion characteristics with tracer Test, Proc. of 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, 103-108, 1995