

II-48 大型浸透層を用いた縦分散特性のスケール依存性に関する研究

中日本建設コンサルタント株式会社 正会員 目黒 亨*
名古屋大学難処理人工物研究センター 正会員 松林宇一郎**

1. はじめに 近年の多岐にわたる環境問題の中で様々な汚染源から地盤中へと汚染物質が浸透して起こる土壌・地下水汚染の問題がある。その汚染物質には少量でも有害なものが多く、どのように広がるかが大きな問題である。しかしこの現象は地上からは見えない地盤中で起こっていることから人々の関心がうすいという点で他の環境問題と異なる。したがって地表水と同様に土壌・地下水の浄化にもさらに目を向ける必要があり、その対策の基礎として土壌中の物質移動についての理解も重要となってくる。

2. 目的 土壌中の物質移動は移流分散現象として扱うことができ、分散現象については分散係数 $D[L^2/T]$ を用いて議論され、実流速 v との間に $D = \alpha v$ という線形関係が成り立つことが言われている。またここで傾きに相当する分散度 $\alpha [L]$ については測定距離が大きくなると共にその値も大きくなるという、分散度のスケール依存性が見られることも言われている。その理由の一つとして不均質場では測定距離が増すとトレーサー雲の中により大きな不均質性を含むようになるからという考え方がある。しかしこれまでの研究は現地観測等のスケールが大きなデータとスケールが小さい実験室データを合わせて扱ったものが多い。そこで本研究では大型浸透層を用いて両スケールに亘る分散度のスケール依存性を調べることを目的とする。

3. 移流分散実験 実験は図-1 のように浸透材料を詰めた長さ 20m の密閉された水路を用いた飽和状態でのトレーサー実験である。実験方法はまずこの水路の両端にヘッド差をつけて水を流して定常状態をつくり、上流側からトレーサーとして NaCl 溶液を瞬間面源として与える。この時刻を $t=0$ としてトレーサー注入地点から 50, 250, 450, 950, 1940cm 地点における濃度の時間変化を水路に設置したプローブにより各地点の断面平均の比電気伝導度として測定した。このような実験を平均粒径 $d=1.41\text{mm}$ の珪砂を用いた均質な場とその均質場により大きな粒径を持ち透水性が珪砂の 1.4 倍である、ろ材帯をレンズ状にランダムに埋め込んでつくった不均質な場において行った。そして各実験結果と一次元の移流分散方程式の解である式(1)をフィッティングさせ、各測定地点における分散係数 D 及び分散度 α を求めた。

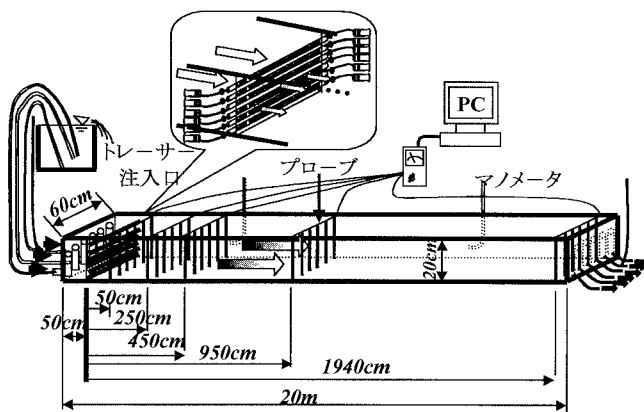


図-1 実験装置

$$C = \frac{M}{\rho \sqrt{4\pi t}} \exp \left[-\frac{(x - vt)^2}{4Dt} \right] \quad (1)$$

4. 実験結果及び考察 均質場実験の結果から同定された各測定地点における分散係数 D と実流速 v の関係を図-2 に示す。この結果よりすべての測定地点において分散係数 D は実流速 v とほぼ線形な関係にあり、しかもその近似直線の延長は原点付近を通ることが分かる。このような特性は不均質場実験の結果においても、先に述べた $D = \alpha v$ という関係が本実験の均質場及び不均質場実験においても成り立つことを示している。

さらにこれらの近似直線の傾きから各測定地点における分散度 α を求め、両対数グラフ上に測定距離に対してプロットした図を図-3 に示す。図からは二つの場の実験ともに分散度 α は測定距離が増すにつれ大きくなり、しかもほぼ同図に示した近似式の上

キーワード：土壌汚染、縦分散、分散度、スケール依存

* 〒460 名古屋市中区錦 1-8-6 中日本建設コンサルタント株式会社 TEL 052-232-6033

** 〒464-8603 名古屋市中種区不老町 名古屋大学難処理大量人工物無害化処理研究グループ TEL 052-789-3972

にのることが分かる。またこの近似式の傾き、すなわち分散度のスケール依存の程度は不均質場実験より均質場実験の結果の方が大きくなった。これらの結果は前述のようにスケール依存性が場の不均質性によるものと考えらるならば、1)均質場実験では分散度のスケール依存性は見られないはずである、2)ろ材帯を入れてつくった不均質場実験の結果の方が α が大きくなり、スケール依存性も大きくなるはずであるという二つの点で矛盾する。

これらについて、まず 1)については珪砂にも粒径分布があることから局所的に見れば不均質なところが存在し、これによって分散度のスケール依存性があらわれた可能性が考えられる。この点について均質場においても同一断面内でも流速の大きさにばらつきがあり、最大 1.5 倍のずれを生じていることが確認された。したがって均質場実験の結果にスケール依存性が見られたのはこのような局所的不均質性によるものと考えられる。

また 2)についてはろ材を入れた不均質場が分散現象に大きな影響を与えていないことが考えられ、これについては有限要素法を用いた数値シミュレーションを行い、流れの場を再現して考えることにした。このシミュレーションはまず実験と同じ条件の下で二次元の飽和浸透流の式を解いて流れの場を再現し、さらにランダムウォーク法に基づいてトレーサー粒子を上流端から動かしたものである。そして実験と同様に各地点の分散係数 D 及び分散度 α を求めた結果が表-1 である。この結果より分散度の値はほぼ一定値であることが分かる。このシミュレーションは先に述べた珪砂の局所的不均質性を考慮していないので、ここであらわれた結果はろ材帯を入れたことによる不均質性の効果ということになる。そして、その結果に分散度のスケール依存性が見られないということはすなわち、図-3 の結果がろ材帯による不均質性より珪砂の持つ局所的不均質性によるものであることが分かる。

5. まとめ 本研究では実験室内で長さ 20m の大型浸透層を用いて飽和な均質場と不均質場におけるトレーサー実験を行い、次のような結論を得た。

- ・粒径分布をもつがほぼ均質な珪砂を用いた場においても分散度のスケール依存性がみられ、分散度 α と測定距離 x の関係は $\alpha = 0.022x^{1.1}[\text{m}]$ という近似式で表されることが分かった。

- ・不均質場における実験結果と数値シミュレーション結果より分散度のスケール依存性は場の大きな構造変化による不均質性よりも局所的な不均質性に影響を受けることが分かった。

<参考文献>

- 1) Shlomo P. Neuman : On advective transport in fractal permeability and velocity fields, Water Resources Research , Vol.31 , No.6 , pp1455-1460 , June 1995
- 2) Kirda, C. , Nielsen, D.R. and Biggar, J.W.: Simultaneous transport of chloride and water during infiltration, Soil Science Society of America , Vol.37 , No.3 , 1973 , pp339-345

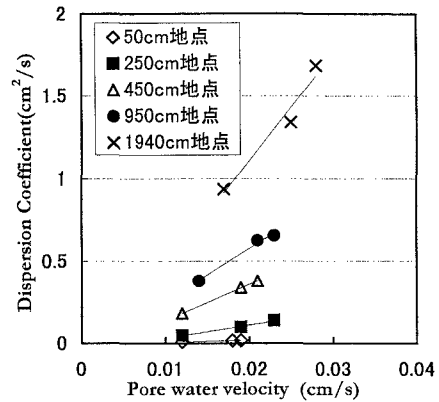


図-2 各測定地点における分散係数と実流速の関係(均質場実験)

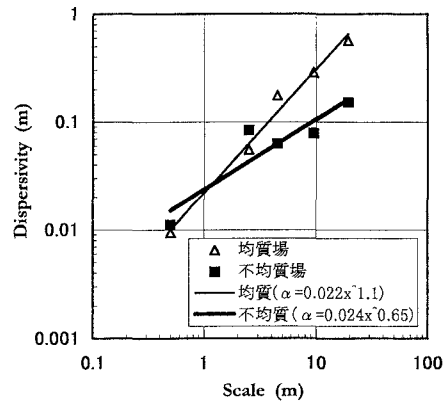


図-3 分散度と測定距離の関係

表-1 シミュレーション結果

測定地点 $x(\text{cm})$	実流速 $v(\text{cm/s})$	分散係数 $D(\text{cm}^2/\text{s})$	分散度 $\alpha(\text{cm})$
50	0.019	0.116	6.11
250	0.017	0.075	4.41
450	0.017	0.076	4.47