

地盤内の汚染物質拡散の微視的メカニズムの検討

筑波大学大学院システム情報工学研究科 学生会員 ○三田貴之
 筑波大学大学院システム情報工学研究科 正会員 松島亘志
 筑波大学大学院システム情報工学研究科 正会員 山田恭央

1. 研究の背景

産業活動などによって排出される汚染物質による地盤や地下水の汚染は、人体や生態系など様々なものへ悪影響を及ぼす深刻な問題である。汚染物質の拡散防止を検討する上で、拡散の予測をすることは大変重要である。

現在、地盤内の汚染源からの汚染物質の拡散を予測する際には、移流拡散方程式が使われることが多いが、この方法は実際の地盤から得られたデータと異なる場合が見受けられる。

図1はAdamsとGelherが行ったフィールド実験^[1]から得られたデータ（縦軸：トレーサー質量、横軸：移動距離、503日後）と、移流拡散方程式を用いた予測値を比較しているが、(1)常に汚染源に分布のピークが見られる、(2)流れと逆方向への拡散がほとんど見られない、(3)分布の先端に小さな山ができる、といった差異が認められ、移流拡散方程式ではこのような濃度分布を十分説明できていない。岡田ら^[2]は、この現象を「異常拡散」として、新たな拡散の支配方程式を導入し、実験結果の比較を行っているが、異常拡散の微視的メカニズムは未だ明らかになっていない。

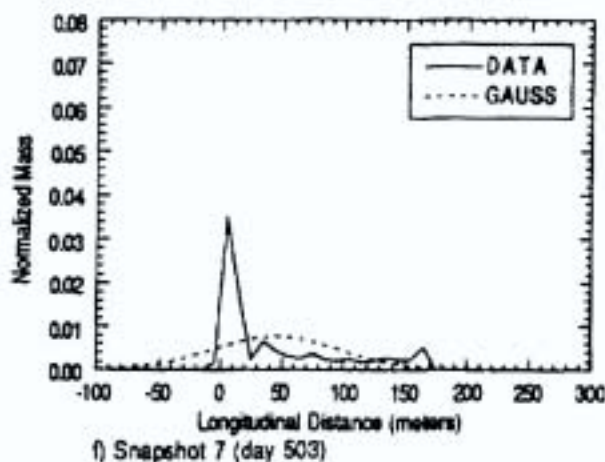


図1 異常拡散の例

そこで本研究では、SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法^[3]を用いて地盤内の微視領域の流れ場を解析し、異常拡散のメカニズムを明らかにすることを試みた。

具体的には、2次元領域において土粒子を動かない障害物に見立て、それらの障害物が周期的に配置された流れについて、間隙率、障害物の配置、形状の変化が流れに与える影響を調べる。そしてこれらの結果をもとに、実際のデータにおける拡散のメカニズムを考察した。

2. 解析領域における固体粒子配置

以下の図2のように3つの配置を考え、それぞれ解析を行った。色付きの部分が障害物、外周は周期領域とした。

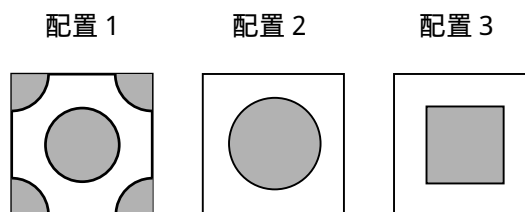


図2 固体粒子配置

3. 解析結果

配置1～3において、周期長さ $L=100[\text{mm}]$ 、間隙率 $n=0.435$ とし、鉛直下向きの一様な流体力を用いて流れを与えたときの、定常状態での流体粒子の移動距離を示す。

配置1：図3からわかるように曲がりくねった流線の影響で流速0の場所は殆ど無い。また異常拡散の特徴のうち、(2)と(3)は一致したが、初期位置から移動しない粒子は少なく、(1)のような結果にはならなかった。

配置2：障害物の上方と下方で流速が鈍った。特に領域中央部付近の粒子が殆ど動かなかった。また移動距離の分布において、粒子数のピークを示す距離は殆

キーワード 地盤汚染、拡散、SPH

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 システム情報工学科 地盤工学研究室

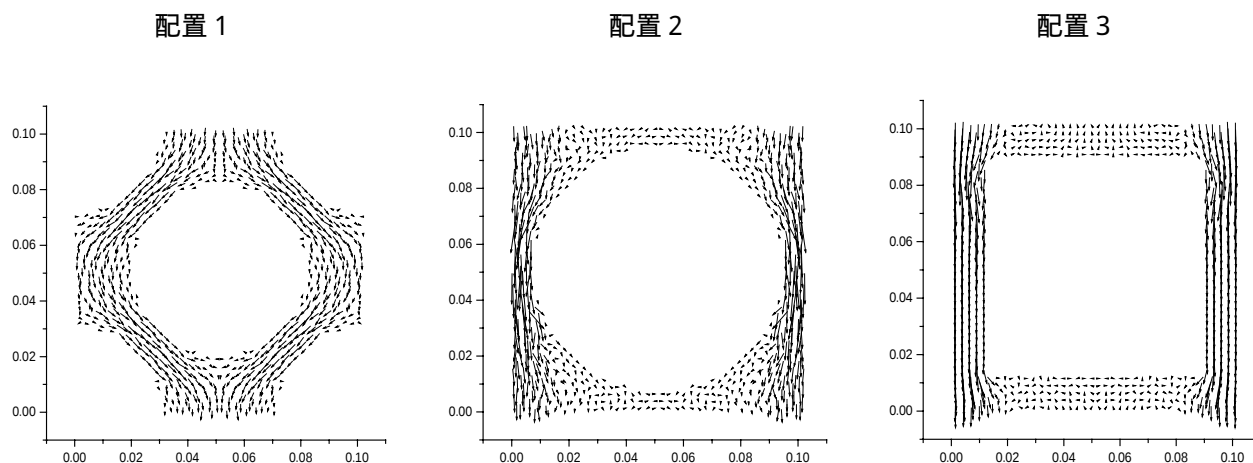


図3 定常状態での各配置のベクトル図

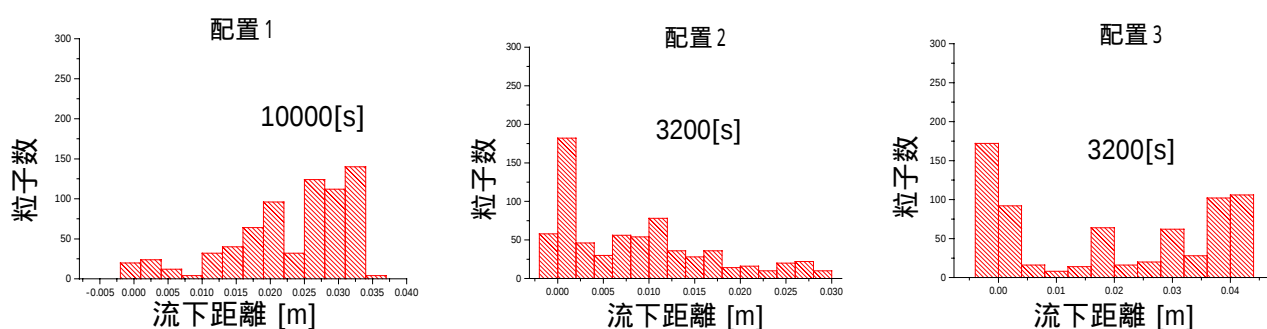


図4 定常状態での各配置の粒子移動

ど変化しない等、異常拡散と比較的良好一致を得た。

配置3：障害物上方と下方で粒子が動かなくなり、粒子が動くものと動かないものにはっきりと分かれた。

4. 竿本らによる可視化実験^[5]との比較

SPH で得られた結果を、竿本らがガラス粒子とシリコンオイルを用いて行った可視化実験^[5]の様子(図5)と比較してみた。図5において、粒子近傍と流れに対して平行な面を持つ粒子の前後ではよどんだ部分が観察され、一方、粒子間距離が広がっている部分、すなわち n や L の値が大きい場所では流れが速くなっている。この結果は SPH で得られた結果と一致する。

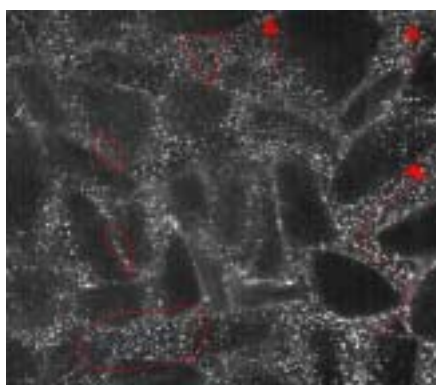


図5 竿本らによる可視化実験

5. 結論

拡散に関わる粒状体中の流れ場について SPH を用いて解析を行った結果、以下に示す結論が得られた。

- ・ SPH は地盤内の流体を解析するに際し、有効な手法であることがわかった。
- ・ 領域内の障害物(土粒子)の配置、形状によってよどみが生じ、そこに粒子が留まることが、汚染源から汚染物質が拡散しにくい原因と推測できる。
- ・ SPH 解析で得られた結果は、竿本らの行った可視化実験と整合性を示した。

参考文献

- [1] E. ERIC ADAMS AND LYNN W. GELHER: WATER RESOURCES RESERCH, VOR.28, NO.12, pp.3293-3307, 1992.
- [2] 岡田健太：筑波大学修士論文、2004
- [3] Joseph P. Morris, Patrick J. Fox, and Yi Zhu: JORNAL OF COMPUTATIONAL PHYSICS **136**, pp.214-226, 1997
- [4] 三田貴之：筑波大学卒業論文、2005
- [5] 竿本英貴：筑波大学博士論文、2004