

移流拡散解析の検証に用いる模型実験装置の開発

法政大学 学員 ○塚田 剛
 法政大学 学員 山口正樹
 法政大学 正員 竹内則雄
 法政大学 正員 草深守人

1. はじめに

事前に予想される汚染源の周辺でいかにして汚染の拡大範囲を予測し、あるいは万一汚染事故発生した場合にも汚染領域を的確に予測することが、効率的かつ経済的な予防措置や浄化対策を行う上で必要となる。予測法としては粒子追跡法(特性曲線法)と有限要素法といった解析法がある。本報告では、これらシミュレーションの有効性を検証するための透明アクリル製2次元模型実験装置の開発について述べる。

2. 実験方法

飽和帯水槽中を移動する汚染物質の拡散現象について調べるため透明アクリル製2次元模型実験装置を製作し、実験を行った。本実験では、主に地下水の流速、汚染物質の濃度が拡散現象に与える影響について着目した。アクリル製土槽内の試料部分の寸法は縦400mm、横150mm、奥行き19mmである。図1に示すように汚染源は土槽上流部に点汚染源を配置し、かつ上流側給水槽と汚染水供給水槽を調整することにより一様定常流れを乱すことなく汚染物質の拡散状況を観察できるようにした。一様定常流れになったところで流速を測定する。このとき全流出量については密度 $\rho=1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、流出時間 $t=300$ 秒、模型の試料部分の断面積 $A=2850\text{mm}^2$ として計測した。使用した汚染物質(塩水)に、土粒子を無視できる着色物質としてフローエッセン(黄色)を選定した。汚染領域はフローエッセンによる着色領域と仮定し、その拡大状況を実験装置側壁面において写真撮影することとした。ただし、拡散領域は可視部分でのみ判断するものとした。

3. 実験結果

図3は塩水濃度が拡散に与える影響を比較したものである。塩水濃度が濃くなると塩水の比重の影響で下部に進む時間が多少速くなるが、横方向への拡散についてはあまり顕著な差は見られなかった。図4は周辺流速の変化が与える影響を比較したものである。

水頭差(H2-H3)=100mm程度の速い流速が汚染物質の周辺を流れる場合は、横方向への拡散はほとんど見られない。濃度の影響が現れず、周辺の速度に強く依存される。また、図5は汚染源の水頭による拡散状況の変化を示したものである。汚染源の水頭H1が大きければ、大きく、速く汚染物質が拡散し、逆にH1が小さければ、汚染源の周辺の流速に影響を受け、拡散の状況もH1が大きき時と比較すると小さいものとなる。汚染の進行過程は、周辺の流速や濃度により変化していた。流速や汚染物質の濃度は、汚染の対策をたてる際の重要な因子となる事が分かる。しか

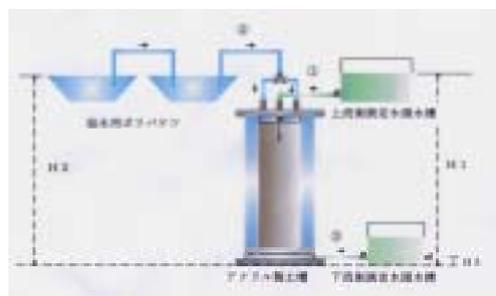
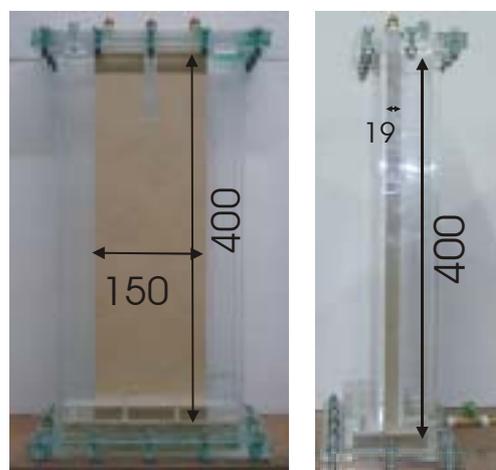


図1 配管系統図



正面図

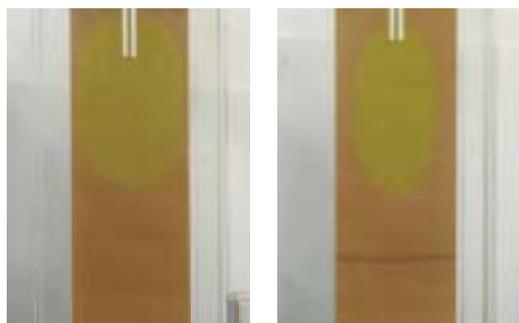
側面図

図2 アクリル製土槽

キーワード：移流拡散、模型実験、解析

〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

し、本研究で作製した実験装置は、さらに精度の高いものに改良できる余地を残している。特に、地盤内を流れる間隙水の流速分布や汚染水の濃度分布を定量的に計測手法の検討を進めるべきである。



塩水濃度 3.4% 塩水濃度 10%
 図3 水頭差 20mm 1時間後の拡散状況



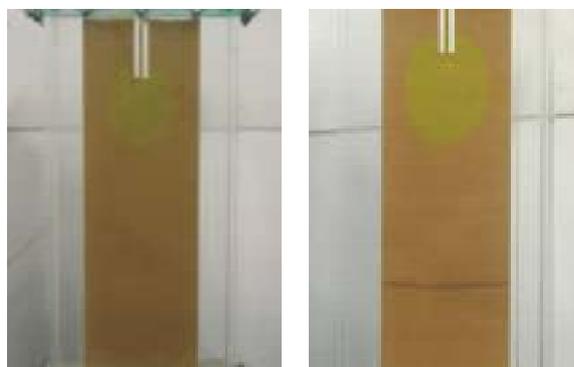
水頭差 20mm 水頭差 100mm
 塩水濃度 10%の1時間後の拡散状況
 図4 水頭差 (H2-H3) による変化

4. 解析結果との比較

2次元移流分散方程式は次のように表される。

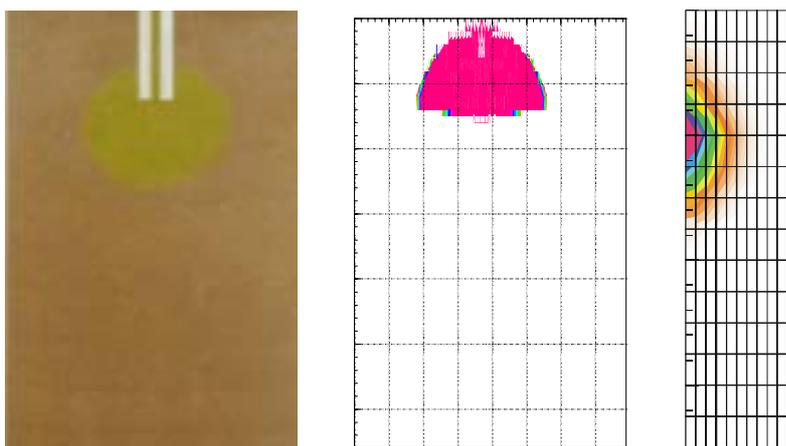
$$\frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + u' \frac{\partial C}{\partial x} + v' \frac{\partial C}{\partial y} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

ここで u' , v' は x および y 方向の実流速、 C : 濃度、 t : 時間、 D_x : x 方向の分散係数、 D_y : y 方向の分散係数である。これを用い、特性曲線法と有限要素法の2次元移流分散方程式の数値解析プログラムを作成し、模型実験の汚染の拡散状況との比較・検討を行う。算定時には実験で得られた流速を用いる。分散係数は実験結果と比較しながら、より実際の分散係数に近い値を求める。



H1=621.5mm H1=681.5mm
 図5 汚染源の水頭 H1 による変化 (30 分後)

図6は実験の拡散状況を特性曲線法と有限要素法で解析し、比較したものである。解析結果では汚染水拡散領域が乱れのない楕円状なのに対し、実験結果では汚染領域の形状に乱れが生じていた。これらの原因として、土槽内の土が均質でなかった事やアクリル製土槽からの水漏れによる影響などが考えられる。また、今回の解析では汚染物質の濃度を考慮していないので、汚染物質の濃度に対応できるように汚染解析プログラムを改良していく必要がある。



実験の拡散状況 特性曲線法 有限要素法
 図6 塩水濃度 10%の10分後の拡散状況
 (特性曲線法と有限要素法による比較)

6. まとめ

模型実験を実施した結果、汚染水の拡散範囲は、周辺の流速と汚染源自体の流速による影響が大きいことを示していた。実際の土壌汚染問題において、地下水の流速分布を知ることが非常に重要であり、広域的な流速、流向分布の調査が必要であることと同時に、どのような汚染物質かを明確にする必要があることを示唆している。この結果とシミュレーションとの比較・検証により、解の精度を検当することが可能になるものとする。