

透水系数のバラツキと条件付けを考慮した物質移行の解析的検討

(財) 電力中央研究所 ○長谷川琢磨

1. はじめに

地下水流動やそれに伴う汚染物質の移行は、地盤の物性に影響をうける。この地盤物性は、均一ではなく、空間的にバラツキがある。また、ボーリング孔で調査できる範囲は、評価対象に対して、点または線であり、大部分は内挿あるいは外挿による推定に頼らざるを得ない。このため、推定による不確実性が汚染物質の移行に与える影響を把握しておく必要がある。また、この推定の不確実性は調査量の増加に伴い減少すると考えられるため、調査数への依存性についても検討した。

2. 検討方法

本検討では、透水系数の確率分布が期待値 μ 、標準偏差 σ の対数正規分布に従い、共分散関数が場所に依存せず、2点間の距離だけに依存し、指数関数型で与えられる仮定する。これらの条件を式(1)～(3)に示す。

$$\mu = E[\log_{10}(k)] \quad (1) \quad \sigma^2 = Var[\log_{10}(k)] \quad (2) \quad Cov = \sigma^2 e^{-\frac{h}{\lambda}} \quad (3)$$

ここに、 k は透水係数、 $E[\]$ は期待値、 σ は透水系数のバラツキ、 $Var[\]$ は分散、 Cov は透水係数空間分布の共分散を示し、 λ は相関長、 h は2点間の距離を示す。

この条件下で、透水系数のバラツキと相関長を変動させて、モンテカルロシミュレーションを実施した。解析モデルは、図-1に示すように、単位長さの領域において、単位の水頭損出があると仮定した。その条件下で、地下水流動が定常、物質移行は上流部において濃度1を与え、非定常解析を行う。この領域において透水系数のバラツキと相関長を変化させた。また、調査によるバラツキの減少は、領域内に観測点を設け、その地点でのバラツキが0になるとして透水係数場を条件付けした。観測点の配置は、観測点数によって図-2のように配置した。この配置は、領域が大きくなった場合にも等間隔となるようにした。

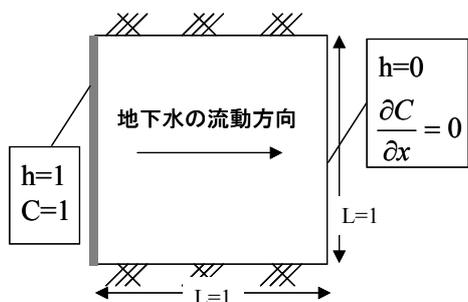


図-1 解析条件図

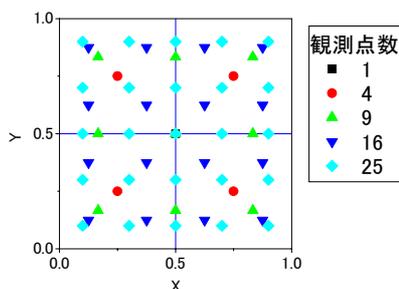


図-2 観測点の配置

解析にはガラキン法による有限要素法を用いた。解析モデルは、解析領域を縦横40に分割し、節点総数1681、要素総数1600のものを用いた。時間刻みは、0.005、時間積分は中央差分を用いた。

透水系数の確率分布と空間特性は、以下の手順で考慮した。

1) 要素間の共分散マトリックスを作成する。2) 共分散マトリックスをLU分解する。3) 正規乱数を要素数発生させる。4) 乱数とLマトリックスを掛け合わせる。5) この積を透水係数に変換し各要素に与える。観測点での条件付けは、共分散マトリックスを作成する際にクリッキングにより共分散マトリックスを作成した。

3. 計算結果

透水系数のバラツキ(σ)を0.2, 0.5, 1.0, 1.5の4種、相関長(λ)を0.05, 0.1, 0.2, 0.5の4種の場合について実施した。モンテカルロシミュレーションは各ケースについて100回ずつ実施した。この結果を、各時間に流出する濃度のフラックスの平均値と標準偏差としてとりまとめた。

Keyword: 地下水流動、物質移行、数値解析、透水係数、モンテカルロシミュレーション、バラツキ
連絡先: 千葉県我孫子市我孫子 1646 Tel: 04-7182-1181, Fax: 04-7182-2243

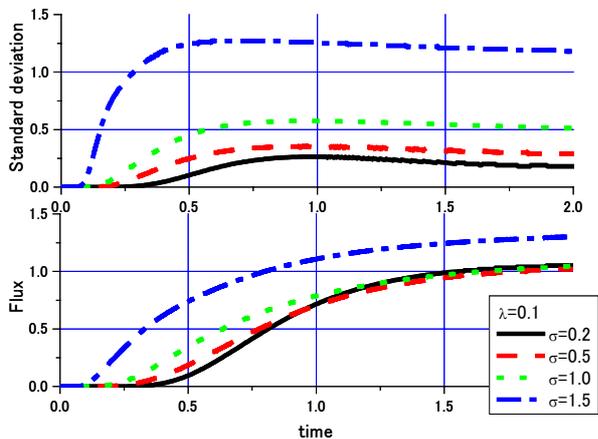


図-3 透水係数のバラツキによる解の変化

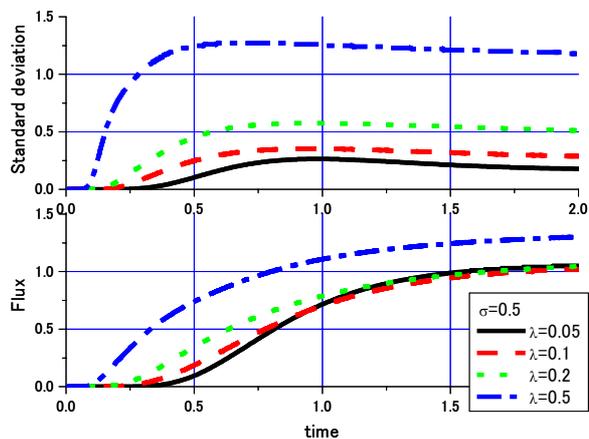


図-4 透水係数の空間特性(相関長)による解の変化

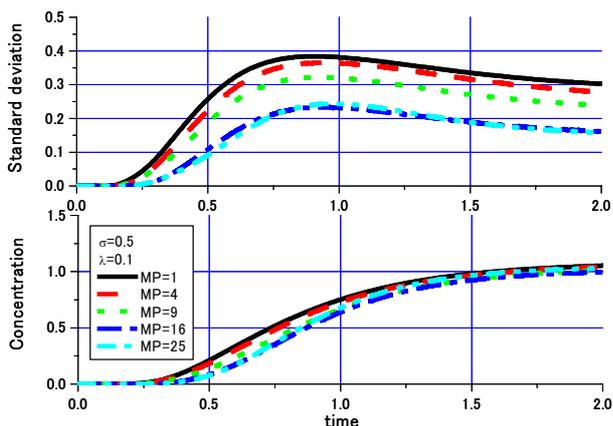


図-5 観測点数の変化による解の変化

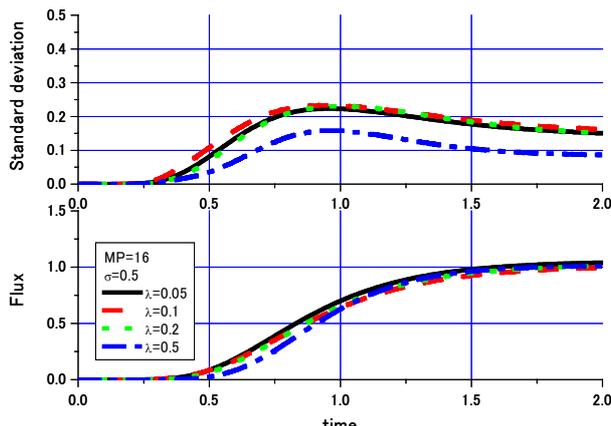


図-6 観測点がある場合の空間特性による解の変化

解の一般的傾向を示すために、透水係数のバラツキ(σ)の変化による解の変化を図-3示す。ここでは、観測点のない(unconditional)条件において、相関長 $\lambda=0.1$ (領域の 1/10)を一定として、透水係数のバラツキを変化させた。この結果、フラックスの標準偏差は、バラツキの増加に伴い大きくなる傾向が見られた。

次に、透水係数のバラツキ $\sigma=0.5$ で一定とし、相関長(λ)を変化させた結果を図-4に示す。相関長の増加に伴い、フラックスの標準偏差が大きくなる傾向が見られる。これは、狭い領域で値がバラツク場合には、領域全体で値が平均化されるが、大きい領域の場合には平均化の影響が小さいため、標準偏差が大きくなることを示している。逆にバラツキが大きくても相関長が小さければ標準偏差は小さくなる。

このように、透水係数のバラツキと相関長が大きいほど、標準偏差は大きくなることがわかった。

ここで、観測により条件付けされる場合について同様な検討を実施した。まず、バラツキと相関長を一定($\lambda=0.1, \sigma=0.5$)として、観測数を1~25に変化させた結果を図-5に示す。観測数の増加に伴い、標準偏差が小さくなる傾向が見られる。また、条件付けが多くなると標準偏差が一定値に漸近する傾向が見られる。

次に、観測数を16、バラツキを一定($\sigma=0.5$)として、相関長を変化させた場合の結果を図-6に示す。相関長がある程度大きくなると標準偏差が一定値に漸近する傾向がある。図-4に示したように、相関長が大きいほど標準偏差は大きいため、調査による標準偏差の低減は、相関長が大きいほど大きいことを示している。

4. まとめ

これらの結果から、相関長が小さいほど標準偏差は小さい。相関長が大きい場合には、標準偏差は大きくなるが、相関長が大きいほど調査による標準偏差の低減傾向が大きい。これは、相関長が大きい場合には、調査量の増加により、標準偏差を小さくすることが可能であることを意味する。この相関長と標準偏差、調査量とそれによる標準偏差の低減の関係を鑑みて、調査計画を策定すべきであると考えられる。

参考文献 Elfeki,A.M.M., Uffink,G.J.M. and Barends,F.B.J.: Groundwater contaminant transport, Impact of heterogeneous characterization: A new view on dispersion, A.A.Belkema, 1997.