

II-43

水みちモデルによる不飽和土壌中の溶質移動の解析

山梨大学 工学部 正 員 坂本 康

山梨大学 工学部 正 員 竹内邦良

山梨大学 工学部 学生員 武富幸郎

1.はじめに

水みちは、浸透現象において重要である。水みちについて水質によりなんらかの情報が得られれば、その意義は大きい。本報では、水みち的な流れを仮定する溶質移動モデルを提案し、従来の平均的な流れを仮定するモデルと対照させ、水みちと水質との関係を考察した。

2.モデルについて

本報では、平均的な流れを仮定する次式のモデルをモデル 1 とする。

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} = R \frac{\partial c}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 v :流速、 c :濃度、 D :分散・拡散係数、 R :減速度因子である。次に、水みち的な流れを仮定するモデルを、モデル 2 とする。モデル 2 では水は水みちを作って流れ(Fig.1)、その流れは管路のPoiseuille流と仮定する(Fig.2)。また、周囲との溶質交換は、管周囲長さ ℓ のとき、

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\ell}{a_s} q \quad (2) \quad q = K(S-c) / \ell \quad (3)$$

と表わす。ここに q :周囲との交換、 K :定数、 S :水みち影響範囲(面積 a_s)内の濃度、 c :水みち流れ濃度である。全体の溶質移動は

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\ell}{a} q \quad (4)$$

と表現される。ここに、 a :一本の水みちの断面積である(モデルの詳細と解析解はTakeuchi, K. et al. (1986)を参照)。このモデルでは、水みちを一種の管径で代表させるもの(モデル 2-1)と二種の管径で代表させるもの(モデル 2-2)とを考える。

以上のモデルは、モデル 1 では周囲とのやりとりが濃度の関数となっていない点、モデル 2 では管路内の拡散が考慮されていない点で不完全なものである。しかし、いずれも種々の境界条件、初期条件での解析解が得られているため、各機構の説明力を検討するのが容易である。以下ではこれらのモデルの最適パラメータを推定し、その説明力を検討した。

3.実験方法

内径 12.5 cm の塩ビ管に粒径 0.59-2.0 mm の赤玉土(間隙率 0.8)をつめたカラムに、蒸留水を降らせ、内部水分状態が安定してから、NaCl(1 g/l)をトレーサとして投入した。降雨強度は 1.94 mm/min(実験 1)と 6.05 mm/min(実験 2)とした。

4.結果と考察

実験結果および各モデルによる最適推定結果をFig.3-6 に、最適パラメータ値を表 1 に示す。

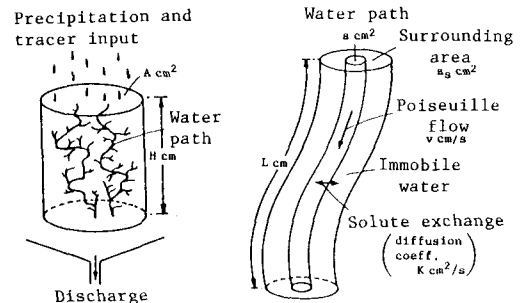


Fig.1 A soil column under stationary precipitation and discharge status

Fig.2 A model of water path: a pipe surrounded by solute exchanging area

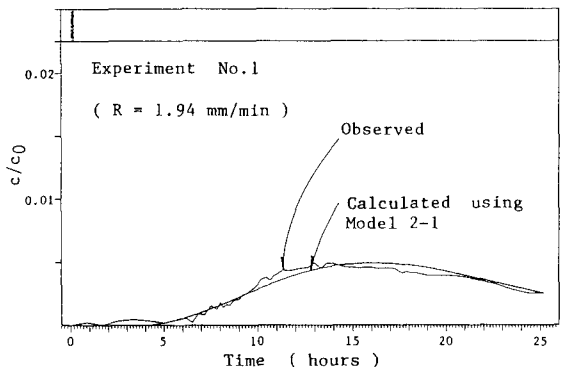


Fig.3 Observed and calculated relative concentrations (Model 2-1 applied to Experiment No.1)

モデル 1では、有効空隙率 E と D , R 、モデル 2-1では、影響面積率 as/a と d , K の3パラメータを最適化した。モデル 2-2Aでは、二種の管径を固定し、流量比率 r と K , as/a の3パラメータを最適化した。モデル 2-2Bでは、モデル 2-2Aの結果を出発点として、二種の管径、影響面積率、および r , K の6パラメータを最適化した。

結果を要約すると、以下ようになる。

(1)モデル 1とモデル 2-1では、流量の少ないときの濃度変化は十分説明できるが、流量の多いときの説明力は弱い。

(2)モデル 2-2Aは、モデル 2-1よりも、流量の多いときの結果をよりよく説明できる。このとき、影響範囲が大きい大きな水みちからは低濃度の水が流出し、小さな水みちからの流出水を希釈する効果がみられた。

(3)実験結果は、管径を二種考えるモデルの最適解に拡散の効果をいれたものと解釈できる。

(4)モデル 2-2Aでは、種々の管径の組み合わせを検討したが、(0.1, 0.01)以外ではよい結果が得られなかった。また、実験 1では一種の管径のモデル以上のよい結果は得られなかった。

(5)モデル 2-2Bでは、モデル 2-2Aと比べ、説明力の増加はわずかであった。ただし、 as/a は管径の大きいほど小さい。これは影響範囲は管からの距離で決まり、同じ距離では管径が大きいほど as/a が小さくなるためと考えられる。

5.まとめ

不飽和土壌での溶質移動は、拡散を考慮しない水みちモデルでもある程度表現できる。水みちモデルでは、代表的な二種の大きさの水みちを考えれば、拡散を考慮した均一流れについてのモデルよりもよい結果を得られる。これは、水みちモデルで考慮した流れの周囲とのやりとりが拡散よりも効果が大きいと解釈できる。しかし、水みちモデルでは、影響範囲をどう考えるかについてさらに検討する必要がある。

文献

Takeuchi, K., Ogihara, Y. and Sakamoto, Y. (1986): Development of an underground solute transport simulator - a proposal and preliminary results -, Proc. 5-th Congress of Asian and Pacific Regional Division of the IAHR, Vol. IV, pp.375-385.

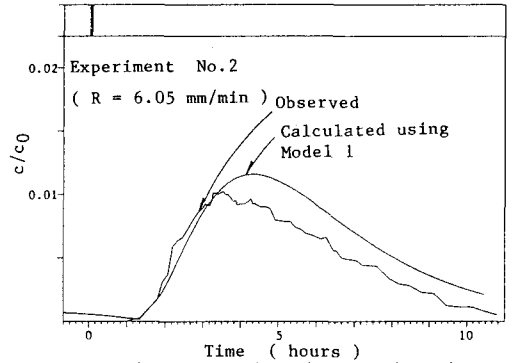


Fig.4 Observed and calculated relative concentrations (Model 1 applied to No.2)

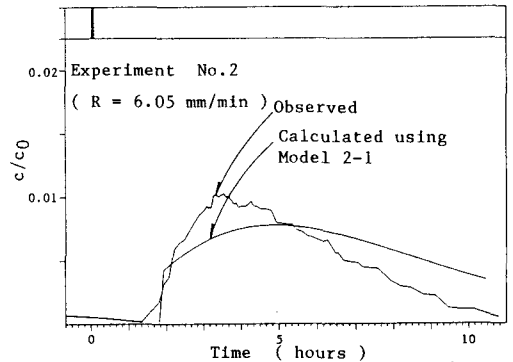


Fig.5 Observed and calculated relative concentrations (Model 2-1 applied to No.2)

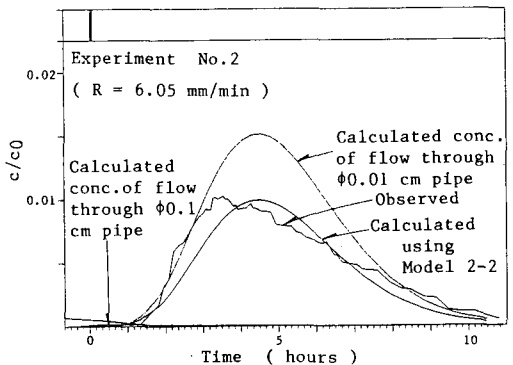


Fig.6 Observed and calculated relative concentrations (Model 2-2 applied to No.2)

表 1 各モデルの最適パラメータ値

モデル	対象	最適パラメータ値
1	実験 1	$E=0.630$, $D=0.0497$ cm ² /min, $R=3.29$
	実験 2	$E=0.527$, $D=0.219$ cm ² /min, $R=4.20$
2-1	実験 1	$d=0.00253$ cm, $K=2.77 \times 10^{-7}$ cm ² /min, $as/a=2.86$
	実験 2	$d=0.00401$ cm, $K=5.88 \times 10^{-7}$ cm ² /min, $as/a=2.95$
2-2A	実験 2	$r1=0.401$, $K=1.28 \times 10^{-5}$ cm ² /min, $as/a=7.0$
2-2B	実験 2	$d1=0.101$ cm, $d2=0.0100$ cm, $r1=0.410$, $K=1.32 \times 10^{-5}$ cm ² /min, $(as/a)1=1.26$, $(as/a)2=6.98$