

II-460

土粒子内間隙への拡散を考慮した物質移動モデルの評価

広島大学大学院 学生員○猪木博雅
 広島大学工学部 正 員 寺西靖治
 広島大学工学部 正 員 山口登志子
 広島大学大学院 学生員 大平剛司

1.はじめに

近年、種々の化学物質による土壤汚染・地下水汚染が問題となっている。マサ土のように多孔質の粒子や団粒構造を持った土壤中へ汚染物質が浸透すると、粒子内あるいは団粒内間隙へ浸透して長期に土壤を汚染し、また徐々に地下水へ再流出して地下水汚染を引き起こす可能性が大きい。本研究では、汚染物質が土壤へ浸透した場合の挙動を明らかにするため、とくに土粒子内間隙、あるいは団粒内間隙への有毒物質の浸透を考慮した、新しいモデルを提案し、実測データとの比較により、そのモデルの妥当性を評価することを目的とする。

2.トレーサー実験の概要

実験方法は、土壤カラムに、トレーサー物質(塩素イオン)をステップ状に入力し、その応答である濃度変化(通過曲線;BTC)を測定する。そして、得られたBTCとモデルとの適合性を検討するものである。測定方法としては、カラム流出口から流出水を採水し、土粒子を除くため、5分間遠心分離した後、流出水の塩素イオン濃度をイオンクロマトグラフ(島津HIC-6A)により測定する。また、塩素イオンの通過波形が定常に達した後、塩素イオンを含まない供給液に切り換え、同様に測定する。

マサ土の土粒子内間隙率は、水銀ポロシメーター法(Mercury Intrusion Porosimetry)によって測定し、約8%という結果が得られた。また、本研究では参考として本田¹⁾によるマサ土カラム実験データについても解析を行う。本田は内径20cm、長さ60cmのマサ土カラムに本研究と同様、塩素イオンをトレーサーとして供給し、BTC(通過曲線)を実測した。以後、本実験で得られたBTCデータをT-1、本田のデータをH-1と呼ぶ。

3.溶質移動モデルの実測データへの適用

データH-1、T-1に対して移流分散方程式の理論解(パルスモデルとする)、MCS(Moving Concentration Slope)モデル、MIM(Mobile-Immobile)モデル、今回提案するMPM(Micro-Porous Media)モデルを適用した計算結果を比較検討する。ここでMPMモデルについての基本方程式を以下に示す。

◆流動相(Mobile Water Zone)について

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} = \frac{\partial J_m}{\partial z} - \alpha_f (C_m - C_f)$$

◆付着水相(Water Film)について

$$\theta_f \frac{\partial C_f}{\partial t} = \alpha_f (C_m - C_f) - \alpha_{ip} (C_f - C_{ip})$$

◆粒子内間隙(Intraparticle Water Zone)について

$$\theta_{ip} \frac{\partial C_{ip}}{\partial t} = \alpha_{ip} (C_f - C_{ip})$$

ここで

$$\alpha_{ip} = \frac{\alpha_f}{\tau_{ip}}, (\tau_{ip} \rightarrow \text{intraparticle tortuosity})$$

$$J_m = D_0 \theta_m \frac{\partial C_m}{\partial z} - u_0 \theta_m C_m, D_0 = \frac{D_m}{R}, u_0 = \frac{u_m}{R}$$

θ ; 体積水分含有率
 C ; 溶質濃度
 J ; 溶質フラックス
 D ; 分散係数
 R ; 遅延係数
 u ; 間隙内平均流速
 t ; 時間
 z ; 土壌内距離
 α ; 溶質分配係数

それぞれの添字については
 m ; 流動相における
 f ; 付着水相における
 ip ; 土粒子内間隙における
 とする

計算に用いたパラメーターの値は次のとおりである。

●H-1 ; L(カラム長)=60.0(cm), TOFF(トレーサー供給時間)=180.0(hr), $\theta m=0.33$, $\theta f=0.04$, $\theta ip=0.08$, $R=1.0$, $dz=4.8$, $dt=0.4$, $Um=1.9$, $Dm=3.9$, $\alpha_f=0.0003333$,

●T-1 ; L=40, TOFF=866, $\theta m=0.33$, $\theta f=0.04$, $\theta ip=0.08$, $R=1.0$, $dz=3.2$, $dt=0.4$, $Um=2.5$, $Dm=2.6$, $\alpha_f=0.000533$

ここでMPMモデルに用いる α_f のみは実測できないため curve fittingにより決定した。H-1, T-1におけるMIM, MPMモデルによる計算結果と実測データを比較検討するとFig.1~Fig.4のようになる。

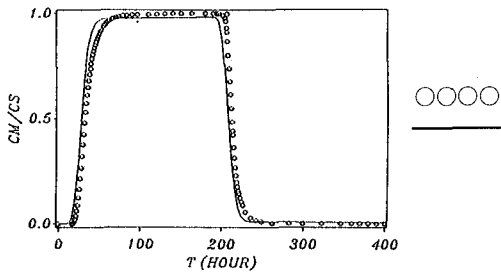


Fig.1 H-1におけるMIMモデルと実測データ

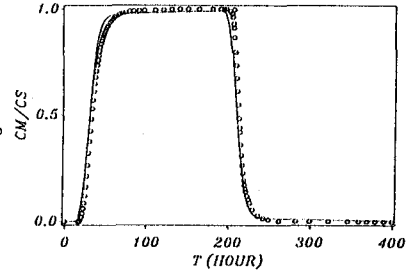


Fig.2 H-1におけるMPMモデルと実測データ

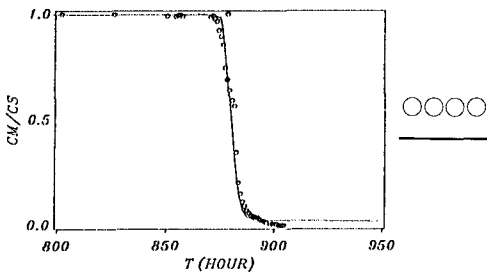


Fig.3 T-1におけるMIMモデルと実測データ

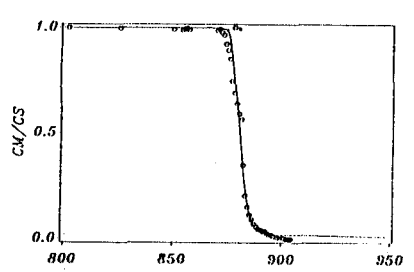


Fig.4 T-1におけるMPMモデルと実測データ

Fig.1~4の各グラフをみるといずれのモデルにおいても理論曲線と実測データとの適合性に大きな差はみられないが、MPMモデルではBTCの立ち上がりの最上端部とテーリングの部分で、実測値との適合性がやや良いといえる。しかし、BTCの全体においてMPMモデルが最も整合しているとは、必ずしもいえないものであった。ここでMPMモデルにおける各層の濃度をFig.5に示す。Fig.5においてCf（付着水相における溶質濃度）Cip（土粒子内間隙における溶質濃度）のピークは、トレーサーの供給を停止した後に現れ、長期にわたり徐々に減少していることがわかる。

4.まとめ BTCの整合性から見ると必ずしも今回提案したMPMモデルが最良とはいえないが、低濃度とはいえ、有毒な物質の場合、土粒子内間隙への拡散浸透と再流出による環境への影響が無視できないことがわかる。これらは土壤汚染や地下水汚染といった形で我々や自然生態系を脅かすことにもつながる。よって土粒子内間隙や団粒内への物質移動を考慮することは必要であるといえる。

<参考文献> 1) 本田俊廣：広島大学工学部修士論文（1989）

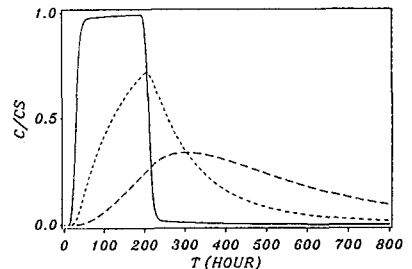


Fig.5 MPMモデルにおける各相の濃度

—— 流動相における濃度
 - - - - 付着水相における濃度
 土粒子内間隙における濃度