

畑地土壌における陰イオン成分の1次元物質輸送解析

九州大学工学部	学生員	○川谷 逸樹
九州大学工学部	正 員	広城 吉成
九州大学工学部	学生員	江種 伸之
九州大学工学部	正 員	神野 健二

1.はじめに

農耕地における施肥が、その地域の飲料水源としての地下水水質に大きな影響を及ぼしている。肥料に含まれる主要構成成分は窒素、リン酸、カリウムなどであり、これら肥料成分が地下に浸透する水理化学的物質輸送過程²⁾は大きく異なる。従って、地下水系の水質悪化を防止する上で、地下水水質変換機構を把握することは必要不可欠である。

本報では、実際の畑地から採取した不攪乱土壌を用いて、陰イオン成分 (Cl^- , NO_3^- -N, SO_4^{2-}) の移動に着目した室内カラム実験の結果を踏まえ、不飽和土壌中における鉛直1次元による物質輸送モデルの解析を行い、これらの輸送特性を明らかにするとともに実験値とモデルの適合性について比較検討した。

2.実験の概要および結果

実験では直径75mm、全長40cm(8セグメント)のカラムを用いた。カラム上面から純水を41ml/hの流量で滴下し、カラム底部からの流出流量が定常状態になった後、 Cl^- を10、 NO_3^- -Nを20、 SO_4^{2-} を10meq/lの混合溶液を同じく41ml/hの流量で2本のカラムに対して、それぞれ10(Case1),19時間(Case2)滴下した。滴下終了後、カラム8セグメントを分割解体し、各セグメントの土壌の大部分を採取し、遠心分離により土壌間隙水を抽出した。陰イオン濃度はイオンクロマトグラフィーで測定した。実験結果は図-1,2に実線で示した。この図より SO_4^{2-} は Cl^- や NO_3^- -Nに比べ、輸送の遅れが生じていることがわかる。

3.数値解析モデル

陰イオンが地表面から浸透し、不飽和土壌中を移動する過程を解析するため、不飽和土壌中における水分移動の基礎式、陰イオンの物質輸送に関する基礎式として次式を用いた。但し、鉛直上向きをy軸とする。

・不飽和土壌中における水分移動の基礎式 ・物質輸送に関する基礎式

$$C_w(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial y} + 1 \right) \right\} \quad \dots(1) \quad \frac{\partial (\theta C_L)}{\partial t} + \frac{v'}{R_d} \frac{\partial (\theta C_L)}{\partial y} = \frac{1}{R_d} \frac{\partial}{\partial y} \left(\theta D_L \frac{\partial C_L}{\partial y} \right) \quad \dots(2)$$

ここに、 $C_w(h)$:比水分容量、 h :圧力水頭、 t :時間、 $k(h)$:透水係数、 θ :体積含水率、 C_L :濃度、 v' :実流速、 R_d :遅れ係数、 D_L :分散係数($D_L = \alpha_L \cdot v' + D_M$)、 α_L :縦方向分散定数、 D_M :分子拡散係数($1 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{sec}$)

4.遅れ係数の算出

土壌への吸着による遅れ係数は、吸着がない場合は1.0で与えられ、吸着がある場合は次式で示される。

$$R_d = 1 + (1-n)/\theta \cdot \rho_s \cdot k_d \quad \dots(3)$$

ここに、 n :空隙率、 ρ_s :土壌の密度、 k_d :分配係数

なお、分配係数は吸着量 C と溶液の濃度 c_i との間に $C = k_d c_i$ のような吸着等温式が成立すれば、濃度 c_i の k_d 倍が土壌表面に吸着されると考える係数である。遅れ係数の算出にあたっては、図-1,2より Cl^- , NO_3^- -Nは吸着がないと仮定し、各陰イオンの50%濃度における位置を実験値から読みとれば次式によって SO_4^{2-} の遅れ係数として $R_d = 1.886$ を得る。

$$y_{50} = v' \cdot t / R_d \quad \dots(4)$$

ここに、 y_{50} :陰イオンの50%濃度における位置

また、この遅れ係数と実験で用いた不攪乱土壌の空隙率 $n(=0.588)$ 、土壌の密度 $\rho_s(=2.758)$ 、体積含水率 $\theta(=0.302)$ から、(3)式より分配係数 $k_d=0.235$ を得る。

5. 計算条件および計算結果

縦方向分散定数については、実験値と計算値の差の二乗和が最小となる値を用いた。また、実験で与えた流量フラックスを用いて計算を行ったところ、全体的に濃度の移動が大きく、実験値との比較が困難になったため、計算から得られる値と実験値との差の二乗和が最小となる流量フラックスを求めた。その結果、Case1では実験で与えた流量フラックスの60%値、Case2では85%値となった。このことは実験において、混合溶液がカラム断面に均等に浸透しなかったためと考えられる。図-1,2にはCase1,2における計算結果を破線で示す。

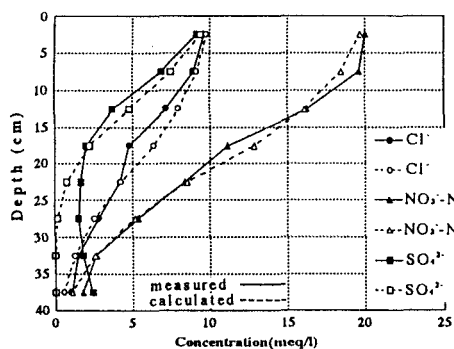


図-1 10時間滴下後の陰イオンの濃度分布(Case1)

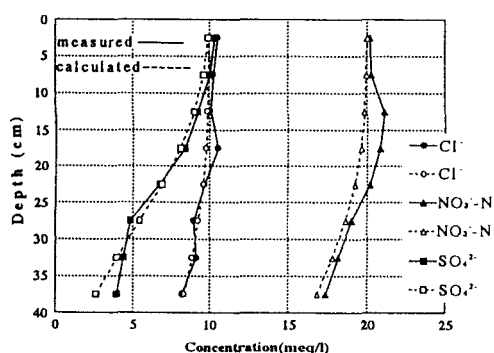


図-2 19時間滴下後の陰イオンの濃度分布(Case2)

6. 考察

Cl⁻は土壤に吸着しにくい物質であるため、この浸透状況は水の移動を反映する。図-1よりCl⁻の濃度分布でその濃度の50%位置とNO₃⁻-N濃度の50%位置はほぼ一致しており、NO₃⁻-Nに脱窒はなく、Cl⁻と同様な挙動を示していることがわかる。SO₄²⁻の濃度分布では、図-1,2ともCl⁻などに比べ遅れが生じているが、遅れ係数R_d=1.886を用いることでうまくその輸送過程を再現することができた。なお、図-1のSO₄²⁻の濃度分布において、深さ20cm以深で計算値と実験値との間に不一致がみられるが、実験に用いた土壤間隙水には既に3~4meq/lのSO₄²⁻が含まれており、その影響が現われたと考えられる。

7. まとめ

本報では、実際の畑地から採取した不攪乱土壌を用いて、陰イオン成分(Cl⁻, NO₃⁻-N, SO₄²⁻)の移動に着目した室内カラム実験の結果を踏まえ、不飽和土壌中における鉛直1次元による物質輸送モデルの解析を行ったが、適当な遅れ係数を用いることで遅れを伴う物質の輸送を再現することができた。今後はSO₄²⁻が土壤にどの程度吸着するかなどの化学的実験を行い、SO₄²⁻の吸着メカニズムを明らかにする予定である。

＜謝辞＞ 本研究を行うに際し、九州大学理学部の横山拓史先生、九州大学農学部和田信一郎先生、九州大学工学部地熱開発センターの糸井龍一先生には多大な協力と助言をいただいた。なお、本研究の一部は（財）河川環境管理財団「化学的水質変換機構を含む水系における物質輸送モデルの構築」（研究代表者広城吉成）の補助のもとに行われた。ここに記して感謝の意を表す。

＜参考文献＞ 1) 広城吉成、横山拓史、神野健二、和田信一郎、糸井龍一、山崎雅義、市川勉、細川上佐男：農耕地における地下水水質の変動特性、水工学論文集 第36巻、pp.403-408, 1992. 2) 神野健二：水理化学的物質輸送解析、応用地質33巻3号、pp.35-45, 1992.