

II-41

水みちを持つガラス・ビーズ層でのトレーサー移動実験

山梨大学工学部 正 員 坂本 康
山梨大学大学院 学生員 武富幸郎
山梨大学工学部 正 員 竹内邦良

1. はじめに

物理水文学の実験では水分の移動をトレーサー試験で検討することがよく行われる。しかし、トレーサーの伝わる早さが水分量変化の伝わる早さに比べ遅くなる現象も報告され、山田ら(1987)はこの現象を水分量変化が波として伝わるためだと解釈している。一方、土壌カラム実験ではイオン種によるトレーサー流出の顕著な相違も観測されており（坂本(1988)）、この場合は物理化学的機構の影響と考えざるを得ない。本研究では、トレーサーの移動に関係する種々の物理化学的機構のうち、水みちを通る可動水と土壌微細構造（soil matrix）中の非可動水との間の溶質のやりとりを対象とした。粒径の異なるガラス・ビーズで水の流れやすい部分（水みち部）と流れにくい部分（マトリックス部）を人工的に作り、①マトリックス部の影響の有無、粒径の違い、②陰イオンの種類の違い、がトレーサーの移動にどのように影響するかを実験により確かめた。

2. 実験方法

本研究では、水みちを持つ構造での可動水-非可動水間の溶質のやりとりを対象とした。そのため、固層への吸着等の少ないガラス・ビーズを材料にした。また、単純な流れになるように、ガラス・ビーズ層の上に湛水し飽和状態の流れとした。実験装置は、Fig. 1 に示すように大きな粒径のガラス・ビーズでつくった幅 2cmの水みち部の両側

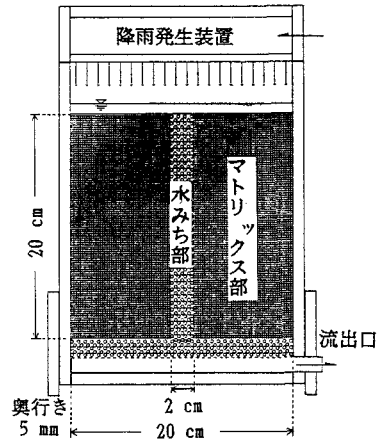


Fig. 1 実験装置概要

Table 1 実験条件

トレーサー	ガラス・ビーズ径 (mm)			降雨強度 (mm/hr)
	水みち部	マトリックス部	仕切り	
KMnO ₄	2.00-2.80	0.42-0.50	無	45, 66, 82, 104, 128
	2.00-2.80	0.60-0.71	無	42, 69, 84, 107, 124
	2.00-2.80	0.71-0.84	無	48, 62, 84, 104, 126
	2.00-2.80	0.84-1.00	無	45, 58, 81, 108, 124
	2.00-2.80	1.00-1.41	無	45, 63, 78, 104, 128
	2.00-2.80	0.60-0.71	有	44, 62, 84, 102, 120
Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	2.00-2.80	0.60-0.71	無	104, 125

9cm に小さな粒径のガラス・ビーズでつくったマトリックス部を置いたものである。流れを定常にするために、流入量・流出量とも定量ポンプで制御した。マトリックス部の影響を検討する実験では、KMnO₄ 1000 mg/l 溶液をトレーサーとして 5分間投入した。また、水みち部とマトリックス部の間に仕切りをいれて、マトリックス部の影響がないときを実験した。以上の実験では、密度差による流れを防ぐためトレーサー投入前のガラス・ビーズには NaCl 1000 mg/l 溶液をいれておいた。陰イオンの種類の影響をみる実験では、Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ がそれぞれ 1000 mg/l となる溶液を 5分間投入した。KMnO₄ 濃度は吸光度により、Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 濃度はイオン・クロマトにより測定した。実験条件を Table 1に示す。

3. 実験結果と考察

3.1 マトリックス部の影響の有無、粒径による違い

各種降雨強度で、マトリックス部の影響がないとき、あるときのトレーサー流出濃度変化を、それぞれFig. 2, 3に示す。図によると、マトリックス部への拡散により、ピークが低くなり流出時間も遅くなる。マトリックス部

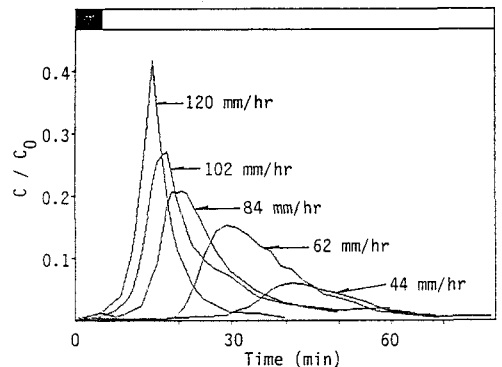


Fig. 2 マトリックス部の影響がないときのトレーサー流出濃度変化

粒径の影響を見るため、各条件での水みち部流速とトレーサー流速の関係を Fig. 4に示す。ただし、水みち部流速は透水係数が粒径の自乗に比例し、空隙率が 0.32 であるとして求め、トレーサー流速はピーク濃度の流出時間から求めた。Fig. 4によると、①マトリックス部粒径が大きいときは流速が大きいほどトレーサー流速が水みち流速より遅くなり、②マトリックス部粒径が小さいときは逆に流速が大きいほどトレーサー流速と水みち流速の違いが小さくなる。また、③マトリックス部の影響がなく、水みち部の流れ方向への拡散のみのときはトレーサー流速と水みち流速の差は小さい。③から、水みち部の流れ方向への拡散の影響は小さいと考えられる。マトリックス部への拡散の大きさは、拡散係数、水みち部マトリックス部境界面積、滞留時間に関係する。このうち境界面積は、均一粒径で空隙率がほぼ同じであるため、ほぼ一定である。したがって、粒径による違いは拡散係数、滞留時間の違いによる。マトリックス部への拡散係数が水みち部流速に依らないならば、②のように水みち流速が大きく、滞留時間が短いほど、トレーサー流速と水みち流速の差は小さいと考えられる。①のようにマトリックス部粒径が大きいときに逆の傾向がみられたのは、粒径が大きく水みち流速が大きいとき、水みちマトリックス間に溶質だけでなく水のやり取りも起こり、拡散係数が大きくなるためと解釈できる。

3.2 陰イオンの種類による違い

同降雨で陰イオン種が違う場合を Fig. 5に示す。図によると、三つの陰イオンの中では Cl^- が幾分遅れるようにも見えるが、土壌カラム実験のような顕著な相違はみられない。このことから、陰イオンの種類による水みち部での流れ方向の拡散係数、マトリックス部への拡散係数の差はほとんどないと考えられる。したがって、土壌カラム実験で観測された違いは、土壌中の初期濃度の違い、土壌固層と各イオンの親和力の違いが原因と考えられる。

4. まとめ

水みちをもつガラス・ビーズ層でのトレーサー移動実験の結果得られた結論は、以下の通りである。

- ①水みち部とマトリックス部との溶質のやり取りは見かけの拡散を生じ、トレーサー流出を遅くする。
- ②水みち部とマトリックス部との間の拡散係数は、粒径が大きいときは水みち流速の影響を受ける。
- ③陰イオンの種類による水みち部流れ方向の拡散係数、マトリックス部への拡散係数の違いは小さい。

本研究ではトレーサーとして陰イオンを想定した。一般に陰イオンは吸着が少ないといわれ、その点ではトレーサーの種類による差はないと考えられがちである。しかし、ここで取り上げた非可動水とのやり取りは吸着現象ではなく、陰イオンの種類にも影響される。土壌中の流れの観測に陰イオンをトレーサーとして用いるときは、この点に留意する必要がある。

（文献）

山田正・小林稔(1987)：第42回年講概要集、pp. 122-123. / 坂本康(1988)：第32回水講論文集、p. 129.

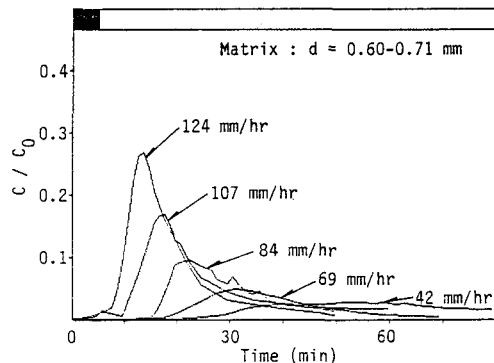


Fig. 3 マトリックス部の影響があるときのトレーサー流出濃度変化

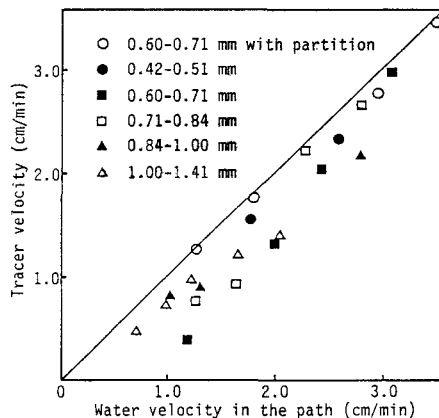


Fig. 4 各条件での推定水みち部流速とトレーサー流速の関係

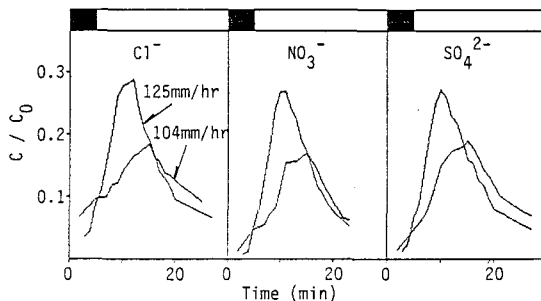


Fig. 5 同降雨(104 mm/hr)で陰イオン種が違うときのトレーサー流出濃度変化