

II-85

一次元不飽和浸透トレーサー実験における非構造的な水みち流れの影響

山梨大学工学部 正員 坂本 康
高島屋日産工業 伊豫田 喜美

1. はじめに

不飽和浸透のトレーサー実験では、水の実際の移動速度と流量フラックス、トレーサー移動速度とが等しいかどうか問題となる。著者らの研究（坂本・竹内(1986)）によると、固相の構造が均質のときでも不飽和浸透では流れが偏り、水みち流れになることがある。著者らはこれを非構造的な水みち流れと呼んでいる。本研究では、このような水みち流れで、トレーサー移動がどう影響されるかを検討する。

2. 実験法

実験には粒径 0.5-0.6 mm のガラス・ビーズ層(34 cm)の上に粒径 1.00-1.41 mm のガラス・ビーズ層(34 cm)を重ねた層(幅 10cm、奥行き 5mm)を用いた。実験装置の概要をFig.1に示す。ガラス・ビーズ層は予め飽和にした後、下層の下面を大気圧面にした状態で、自然流下で脱水した。設定した降雨浸透量に対し水頭分布が定常になった時点でトレーサー（ KMnO_4 溶液(840 mg/l)）を投入し、移動を目で観測した。

3. 平均流速とトレーサー流速の違い

トレーサー移動の様子をFig.2に示す。また、各時刻でのトレーサーの先端の達した位置をFig.3、右図に△で、平均的濃度の部分が達した位置を▲で示す。水のある部分をトレーサーが均等に同じ速度で流れるとすれば、その流速は次式の平均流速 v_w となるはずである。

$$v_w = \frac{q}{\theta} \quad (1)$$

ここに、 q :流量フラックス、 θ :不飽和体積含水率である。流量フラックス q からリチャーズの式（不飽和透水係数はキャンベル式による）により求めた体積含水率を用いて計算した平均流速(左図、○)と、各時刻でのトレーサー平均濃度の部分が達する位置(右図、細い実線)もFig.3に示す。

このトレーサー実験結果によると、水は必ずしも飽和の部分と同じ速度で流れているとは考えられない。そこで、トレーサー流速を以下のように定義した。

$$v_t = \frac{v_w}{p} \quad (2)$$

ここに、 p は溶質流路面積率と呼び、以下のように定義する。

$$p = \frac{a}{A} \quad (3)$$

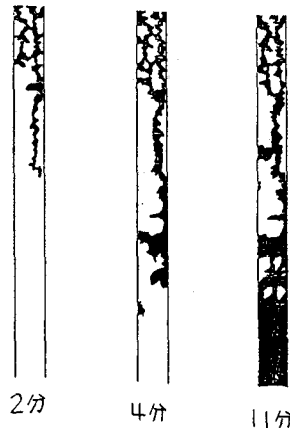


Fig.2 トレーサー移動

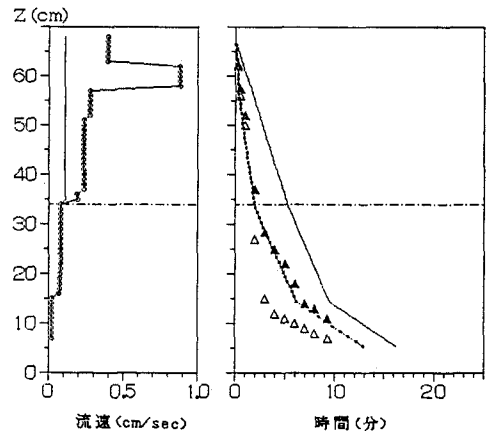


Fig.3 流速とトレーサー到達位置

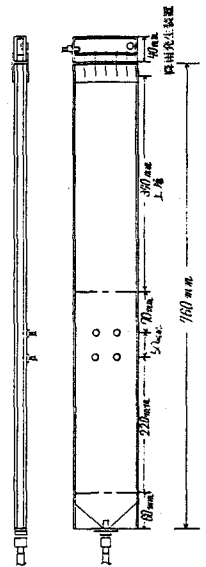


Fig.1 実験装置

ここに、A:ガラス・ビーズ層の幅、a:ガラス・ビーズ層のうちトレーサーの色が識別できる幅である。ただし、溶質流路面積率はFig.2のように空間的にも時間的にも変化する。

この考え方で推定したトレーサー到達位置もFig.3右図に太い点線で示す。図のように、溶質流路面積率の概念を導入することでトレーサーの移動を説明することができる。

4. 溶質流路面積率の空間分布

溶質流路面積率の空間分布をFig.4に示す。また、比較のためにリチャーズの式を用いて求めた全水頭と水分量（飽和度）の空間分布をFig.5に示す。

図によると、上層では水分量は大きく変わらないのに対し、溶質流路面積率は一般に層の下部の方が大きい。このことは、溶質流路の形成に全水頭が関係していることを示唆している。

また、Fig.4に見られるように、粒径の大きい上層では流量の大きい方が溶質流路面積率が大きい。これは、流量の大きい方が流路が広がり易いことを示している。

5. 溶質流路面積率の時間変化

溶質流路面積率は場所によって異なるとともに時間によっても変化する（Fig.2）。溶質流路面積率を累加流出高の関数として表したものをFig.6に示す。

Fig.6によると、溶質流路面積率を累加流出高の関数は、流量によらずほぼ一定である。図には、この変化をロジスティック曲線で近似した線も示してある。

6. まとめ

以上のように、偏り不飽和状態での非構造的な水みち流れでは、水の存在する部分を同一の流速で流れるのではないことが推定される。しかし、このような流れの不均一さの原因が、①トレーサーと水の密度差の影響か、②動かない水（immobile water）が存在するためか、または③水みち内の動く水の中に速度分布が生じているためかは不明である。

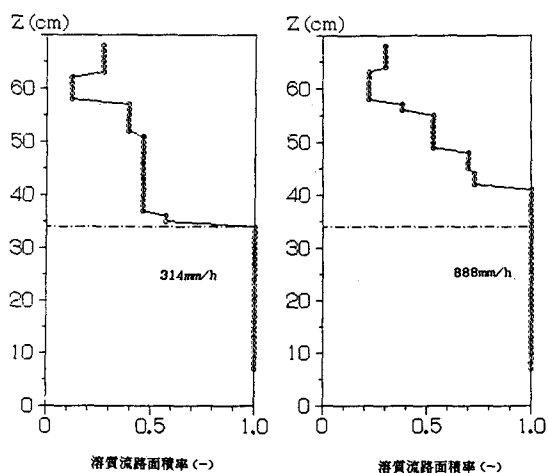


Fig.4 溶質流路面積率の空間分布

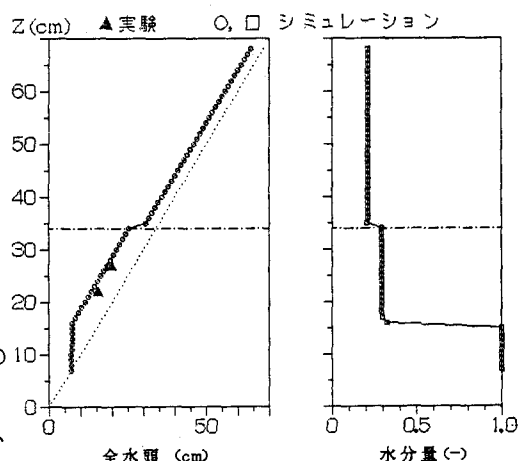


Fig.5 全水頭と水分量の空間分布

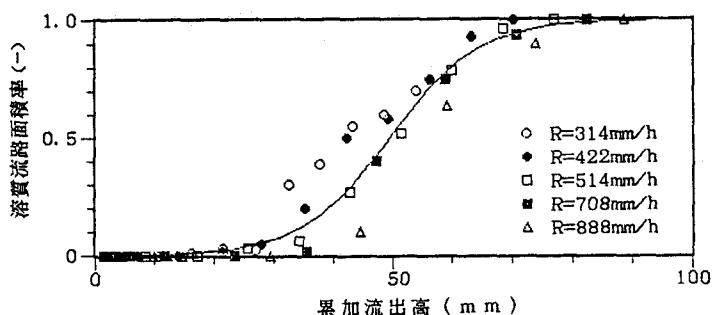


Fig.6 累加流出高と溶質流路面積率の関係

文献 坂本康・竹内邦良(1986):色素トレーサーを用いた不飽和浸透・流出実験、土木学会第14回関東支部年次研究発表会講演概要集、pp.78-79.