

II-77

不飽和層中の水みち形成と水みち流下速度

山梨大学大学院 学生員 渡辺 和彦
山梨大学工学部 正 員 坂本 康

1. はじめに

不飽和状態では、流れは均一ではなく、水みちができている可能性がある。水みちは、マクロ・ポア、亀裂のような構造的不均一性が原因でもできるが、構造的に均一でもできる可能性があり、坂本・竹内(1986)はこれを「非構造的な水みち流れ」と呼んでいる。また、坂本・伊豫田(1989)によると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ている。本研究では、坂本・伊豫田の実験をさらに実験条件を整備して行い水みち流れの生成条件、及び水みち流下速度を検討する。

2. 実験方法

実験には、高さ 68 cm、幅 5 cm、奥行き 5 mm のアクリル槽にガラスビーズをつめたものを用いた。実験条件を表-1に示す。ガラスビーズ層は予め飽和にした後、層の下面を大気圧面にした状態で、自然流下で脱水した。坂本・伊豫田の実験では、予めガラスビーズ層に入れる液には蒸留水を用いたが、本研究ではトレーサーと等濃度のNaCl溶液を用い、密度差の影響を除いた。設定した降雨浸透量に対して水頭分布が定常になった時点でトレーサー(KMnO₄溶液(840 mg/l))を投入し、移動を目で観察した。また、同様な装置に直径約 18 mm の試料採取孔を 5 cm 間隔で計 11箇所開けたものを用いて、トレーサー濃度の空間分布を測定した。ただし、このときはトレーサーとしてNaCl溶液(20000 mg/l)を用いて電導度により測定した。

表-1 実験条件

降雨強度 (mm/hr)	300, 400, 664, 800	
ビーズ粒径 (mm)	0.71-0.84, 0.84-1.00 1.00-1.41, 1.41-1.70	
トレーサー	KMnO ₄ (840 mg/l)	NaCl (20000 mg/l)
層中の液	NaCl (840 mg/l)	蒸留水

3. 結果と考察

3.1 水みち形成について

全溶質流路面積率Mとガラスビーズ径の関係を図-1に示す。ここに、Mはガラスビーズ層全体に対する水みちの割合である。ここで、水みちとは、層のうちトレーサーによる着色が認められる部分である。これによるとガラスビーズ径が大きい程水みちが小さくなり、比較的降雨強度が大きい程水みちが大きくなることからわかる。

3.2 水みち流下速度について

各時刻でのトレーサーの達した位置を図-2の右図に示す。水の存在する部分をトレーサーが同一の流速で流れるとすれば、そのときの平均流速 V_w は次のようになる。

$$V_w = q / \theta \quad (1)$$

ここに、 q ：流量フラックス、 θ ：不飽和体積含水

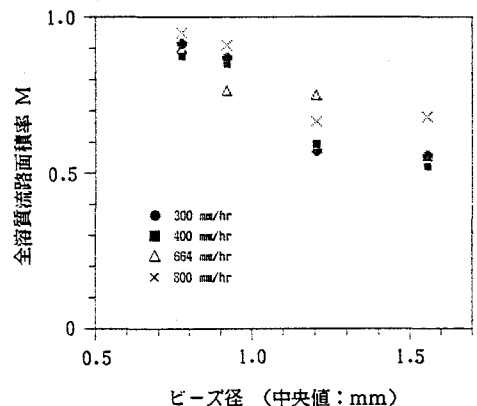


図-1 全溶質流路面積率Mとビーズ径の関係

率である。図-2には、 V_w での移動速度も示す。ただし、体積含水率 θ は、水頭分布からリチャーズの式（不飽和透水係数はキャンベルの式による）を用いて計算した。図に示したように、この流速ではトレーサーの移動速度は説明できない。ここで坂本・伊豫田が導入している溶質流路面積率 m を考慮した流速を V_T とすると

$$V_T = V_w / m \quad (2)$$

となる。ここに、 $m = a/A$ とし a ：ある水平断面での水みち幅、 A ：ガラスビーズ層の幅である。 V_T での移動位置も図-2に示す。

この考え方で推定したトレーサー到達距離は、実験値により近づくが十分ではない。これは、水みち中のすべての水が流れているわけではないこと示している。そこで、 t 時間流下した後のトレーサー濃度の空間分布（図-3）から、流れている水、つまり可動水の体積含水率 θ_1 を次式により求めた。

$$\theta_1 = q/u, \quad u = L/t \quad (3)$$

ただし、 u ：濃度分布から求めた流速、 L ：流下距離である。水みち中の水がすべて可動水とすると、 θ_1 は θM に等しくなる。 θ_1 と θM の関係を図-4に示す。これによると全体的に傾き1の直線よりもわずかに右にずれている。これは、見た目の水みちが実際の流路よりも大きくなるためであると考えられる。これを考慮したものが次式の V_T' （図-2の破線）であり、実験値とよく一致している。

$$V_T' = V_T / N \quad (4)$$

ここに、 N は図-4から降雨強度ごとに求めた直線の傾きである。

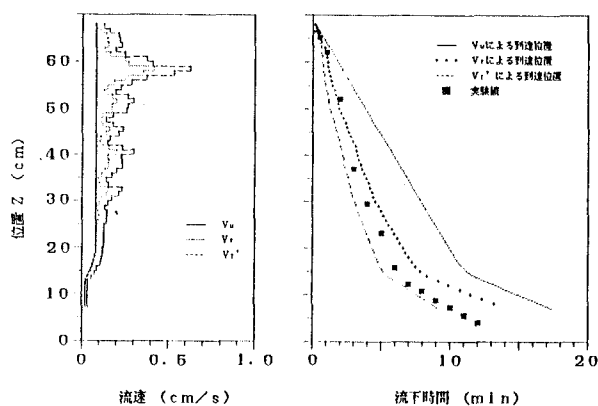


図-2 流速とトレーサー到達位置

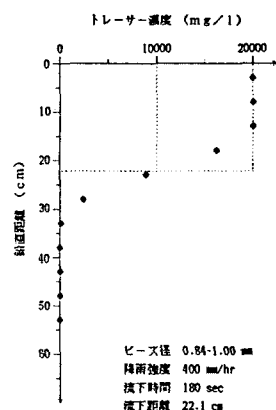


図-3 トレーサー濃度の空間分布

4. まとめ

本研究では、坂本・伊豫田の実験法を修正し、トレーサーとガラスビーズ層中の水との密度差をなくして実験した。これにより水みち形成に密度差が影響していないことを示した。また、水みちの形成においてはビーズ径が小さいほど、降雨強度が大きい程広がりやすい傾向があった。水みち流下速度については、水みち内の水の約70-80%が可動水となっている流速に相当している。

（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。

坂本康・伊豫田喜美(1989)：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、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、第2部、pp.240-241。

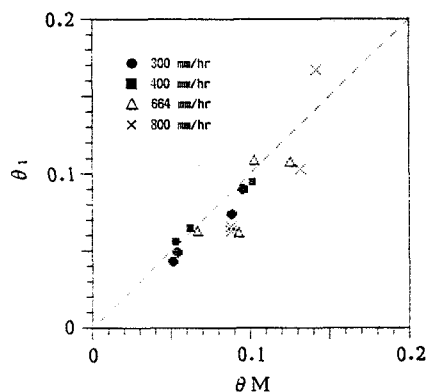


図-4 θ_1 と θM の関係