

II-74

粗空隙をもつ2次元浸透層内の
物質移動過程に関する研究

日水コン

奥田 卓

名古屋大学大学院

井上 康

名古屋大学助教授 正員

松林宇一郎

名古屋大学 教授 正員

高木 不折

1. はじめに

河川はこれを巨視的にみると、1方向に卓越した流れであり、水理学的には1次元の漸変流として取り扱われることが多い。ところが、河床内および河床近辺の流れは、混合、拡散などによりその構造は複雑で、1次元流れとして取り扱うには限界がある。しかし河川の疎通能力や浄化能力、魚類や水棲生物などの生態系の維持といった面から、河床近辺の流れの構造や物質輸送構造を知ることが重要であるものと考えられる。そこで本研究では、河床が砂利や礫からなる自然河川における、河床内伏流水の流れを、透水性の高い浸透流であるとみなし、比較的粒径の大きな、すなわち空隙の粗な浸透層内の流れを2次元(流下方向とそれに直交する方向)で考え、その透水特性を溶存物質の移動過程から明らかにしようとするものである。

2. 実験装置および実験方法

実験には、浸透層として小砂利を詰めた透明アクリル樹脂製の開水路(長さ6m, 断面積35cm×10cm)を用いた。この水路に水道水、およびトレーサーである食塩水を流し、浸透層内の流速分布ならびに、食塩水の濃度分布を測定した。図1に実験装置の概要を示す。実験は大きく分けて、①浸透層自体の透水特性および、流下方向の拡散特性(縦分散)を明らかにする予備的実験と、②浸透層上を流れる表流水が存在し、河床表面からの食塩水の拡散的侵入がある場合の、縦分散と流れに直交する方向の横分散特性を明らかにする実験を行った。

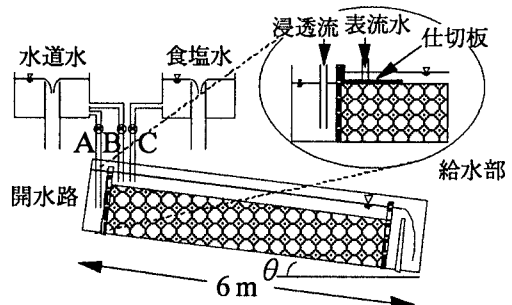


図1 実験装置の概要

前者は、給水口Aより浸透層内に、水面勾配が水路勾配と等しくなるように水道水を供給し、浸透層内の流れを飽和定常状態にする。十分時間が経過し流れが等流となった後、給水口Aを閉めながら、給水口Cを開けていき、浸透層内への給水を、水道水からトレーサーである食塩水に切り換える($t=0$)。そして、浸透層内の濃度分布の時間変化を測定した。

後者は、給水口Aより浸透層内に水道水を供給し、次に浸透層の上を流れる表流水として、給水口Bより水道水を供給する。十分時間が経過し、流れが等流となった後、給水口Bを閉めながら、給水口Cを開けていき、表流水の供給をトレーサーである食塩水に切り換え($t=0$)、同じく浸透層内の濃度分布の時間変化および流速分布を測定した。

3. 流速の測定法

浸透層内の流速分布を測定するために、一定距離離れた2カ所に電極を1対ずつ配置し、上流側電極の直上流の位置で食塩水を瞬間的に注入し、2対の電極の抵抗変化を計測した。そしてそのピーク出力の遅れ時間の差から、平均流速を算出した。

4. 濃度の測定法

本研究では、浸透層内においてトレーサーである食塩水の濃度分布を知るために、砂利中を流れる水の比

電気伝導度SC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) を測定した。そのため、なるべく流れを乱さず、かつ周りの砂利の影響を受けずに、安定した状態でSCを測定できるブルーブを新たに考案した。図2はブルーブの形状を示したものである。ブルーブは外径1.5mmのステンレスパイプ製の電極2本を直径20mmのゴム製の球で固定する構造とした。電極の周囲の場を常に一定に保つため、電極を囲むように同一のゴム球を4個配した。測定においては、電極間の抵抗R (Ω) をデータロガーにより読みとり、別途求めた検定曲線により、トレーサのSCに変換した。

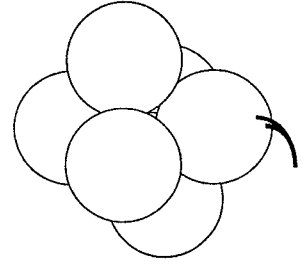


図2 ブルーブの形状

5. 実験結果および考察

図3に浸透層上を表層流が流れている場合の浸透層内の流速分布（実流速）を示す。図中の実線は式(1)で表される曲線である。また、図4はブルーブにより測定されたSCの値の時間変化と、差分法による数値解析でのSCの時間変化とを無次元化表示し、比較したものの一例である。図中のyの値は、浸透層の深さ方向上向きを正としてyをとったものである。各深さごとに4個ないしは5個のブルーブを50cm間隔でセットし、上流側から順にNo.をつけてある。

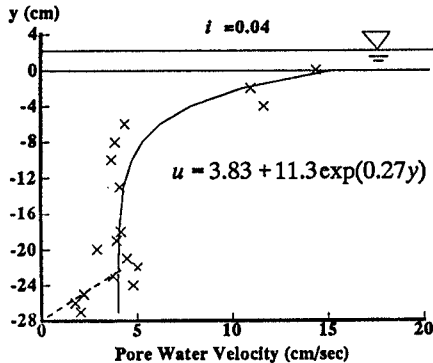


図3 浸透層内の流速分布

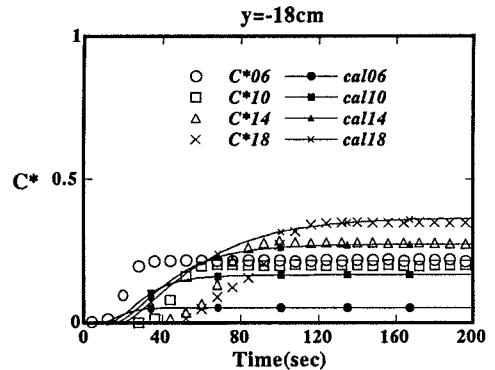


図4 SCの時間変化の測定値と数値解析との比較

数値解析は、実現象を考慮して、様々な条件を変えて行った。図3の流速分布から明らかのように、浸透層底面付近では底面の影響で流速が小さくなるのが分かる。そこで、数値解析において、浸透層底面を不透水性境界であるとみなし、図3の流速分布に基づいた D_x 、 D_y の分布を与えたところ、図4に代表されるように各ブルーブで測定値と解析値がほぼ一致することが分かった。つまり、底面付近では水の動きが制御されるために、流速とともに、流れ方向およびその直交方向の分散係数も小さくなり乱流拡散が抑えられていることが分かった。また図4のブルーブNo.6に見られるような測定値と解析値との違いは、表流水と浸透層流との間で盛んな水質交換が存在することや、分散係数が場所的に一意に決まらないことによるものであると考えられる。

6. 結論

1) 表流水を伴う場合、浸透層内の流速分布は、圧力勾配に起因する流れと境界面でのスリップ速度に起因する乱流クエット流れの和で表される。

2) 2次元の溶質輸送では、浸透層底面付近では、底面の不透水性により、流速の乱れおよび分散係数が拘束され、溶質の輸送が進行しない。

3) 数値解析では、深さ方向の流速分布に応じて、流れ方向およびそれに直交する方向の分散係数にも、深さ方向の分布形を与えてやると実測値とよく合う。