

浸透層上の流れにおける物質輸送(その2)

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
日本道路公団 正 員 中井 俊雄

京都大学工学部 正 員 綾 史郎
京都大学大学院 学生員 西内 美空

1. はじめに; 本研究は、浸透性路床上の流れにおける主流と浸透層間に生じる物質交換機構について実験的に研究したものである。具体的には、まず水深方向の物質輸送について室内水路において基礎的な水理実験を行い、観察された浸透層内の概観、測定された交換層厚と、減衰時間定数をもとに、物質輸送の形態および交換の特性について調べた。つぎに、物質輸送に関するいくつかの特性パラメータ(交換速度、乱流拡散係数、減衰時間定数)と水理量、浸透層構成材料との関係について考察を行った。

2. 実験方法と実験結果; 実験は、(1)染料を用いた可視化による浸透層内の流れの観察と交換層厚との測定、(2)主流に塩水をトレーサとして瞬間的に投入し、主流、浸透層における塩水濃度の時間的変化の測定による移流速度の測定、(3)主流に定常的にトレーサを投入し、浸透層内と一様濃度とした後、浸透層内の濃度の時間的変化を測定することによる減衰時間定数の測定からなっている。浸透層構成材料としては、ガラスビーズ; $d_{50} = 1.25 \text{ cm}$ (A), 1号ケイ砂; $d_{50} = 0.354 \text{ cm}$ (B), 2号ケイ砂; $d_{50} = 0.218 \text{ cm}$ (C), 3号ケイ砂; $d_{50} = 0.113 \text{ cm}$ (D) の4種を用い、層厚10cm前後として、流量、路床勾配を变化させて20通りの実験を行った。実験の詳細及び実験諸量については、紙面の都合上省略する¹⁾。

実験(1)の結果を示せば図-1のようであり、浸透層は流れの形態、現象の時間スケールにより3層に大別されることがわかる。この内、物質交換に関係するものは主として浸透層A, Bであり、特に浸透層A(以後、交換層と呼ぶ。)は最も主流との交換が盛んな領域である。図-2に浸透層内の流れの形態を例示した。

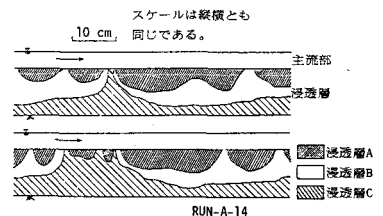


図-1 染料可視化実験結果

実験(3)によって得られた交換層内の濃度の時間的変化は、図-3に示すとおりであり、濃度はおおむね指数低減している。ここに C_B/C_{B0} は濃度 C_B を初期濃度 C_{B0} で正規化したものである。ここで濃度が右に減衰する時間を求め、減衰時間定数 T_0 とすると、 T_0 は10~100(sec)程度の値であるが、水理量、浸透層構成材料に依存するようである。

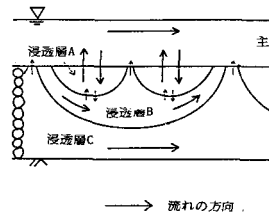


図-2 流れの形態

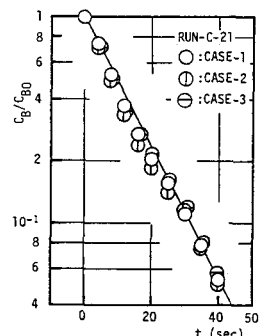


図-3 濃度の時間的変化

3. 物質交換機構に関する考察; <交換層に関する考察> まず、交換層厚さについて検討を行う。交換層厚さ δ_b を図-4に示すように $\delta_b = \sum_{i=1}^n \Delta i / \sum_{i=1}^n \Delta i$ で定義すると、 δ_b は浸透層構成材料の代表粒径 d_m が大きくなれば大きくな

ようであり、図-5からは

$$y_b = 2.35 dm + 0.53 \quad (\text{単位; cm}) \quad (1)$$

の関係となる。次に交換層の形状について検討を行う。

図-4において交換層の個数 n を知らば、平均的な形状比 η は $\eta = y_b / (L/n)$ で与えられる。また、測定区間において交換層セルの占める比 ξ は、 $\xi = L/L$ で与えられる。図-6, 図-7は全実験ケースについて、 y_b を横軸にとり、 η , ξ をプロットしたものであるが、ともに構成材料や水理量による依存性は見られず、

$$\eta \approx 0.25 \quad (2)$$

$$\xi \approx 0.825 \quad (3)$$

程度になるようである。また、個々の交換層の長さ l_i/dm について見ると、どの実験ケースにおいてもかなりばらつきがあるが、必ずしも均等ではなく数個の l_i/dm に集中する傾向をもっている。

<交換機構に関する考察> $k = y_b / T_{10}$ で定義される交換速度を、前出の y_b と実験(3)で求めた T_{10} により求めると、

$$k = (1.0 \sim 20.0) \times 10^{-2} \quad (\text{cm/sec}) \quad (4)$$

程度になった。この値は、前報²⁾で移流分散係数を測定することによって求めた k と比較すると5倍程度系統的に大きくなっている。次に、 $D_y = 4 k n l_{10} y_b^2 / \pi^2 T_{10}$ によって求められた拡散係数について見ると、

$$D = (0.2 \sim 8.0) \times 10^{-2} \quad (\text{cm}^2/\text{sec}) \quad (5) \quad D/ub d_{50} = 0.9 \sim 25 \quad (7)$$

$$D/hu_* = (0.6 \sim 16) \times 10^{-2} \quad (6)$$

程度である。ここに h :水深, u_* :摩擦速度, ub :浸透層内流速である。ここで(7)式と浸透層内の横分散係数と与えている $D/ub d_{50} \approx 0.04$ ³⁾と比較すると、(7)式の方がはるかに大きくなっており、主流が浸透流に及ぼす効果がでていいるものと考えられる。最後に、減衰時間定数 T_{10} について dm , U_A を基本量として次元解析を行うと、その結果は図-8に示すようであり、

$$\frac{dm}{T_{10} U_A} = C \left(\frac{k}{U_A} \right) \left(\frac{h}{dm} \right)^{3/5} Fr.^{2/5} \quad (8)$$

の関係式が得られた。(8)式は、減衰時間定数 T_{10} には主流、浸透流の特性、水理量が相互に作用していることを示しているが、

(8)式の持つ物理的意味については、明らかでなく、理論的、実験的検討を行う必要がある。《参考文献》1) 中井俊雄; 京都大学修士論文, 1986

2) 三石真也; 昭和60年度関西支部年次学術講演会講演概要 II-42, 3) 玉井信行; 密度流の水理, 新体系環工22, 1980, 筑館堂

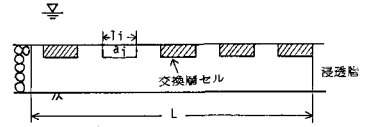


図-4 交換層の形態

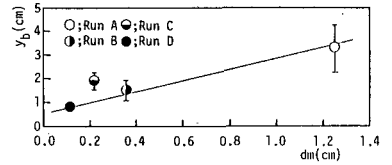


図-5 $y_b \sim dm$

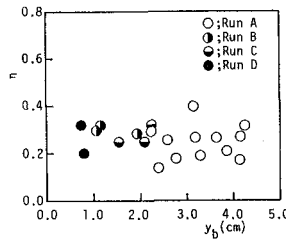


図-6 $\eta \sim y_b$

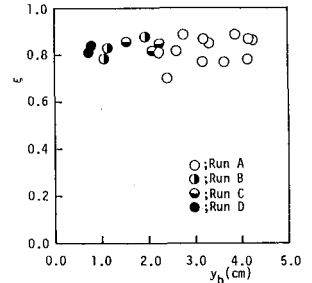


図-7 $\xi \sim y_b$

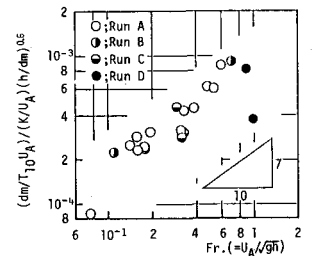


図-8 $(dm/T_{10} U_A) / (k U_A (h/dm)^{3/5}) \sim Fr.$