

河床と主流の水質交換に関する基礎的研究

豊橋技術科学大学大学院 学生員○平野朝誠
豊橋技術科学大学工学部 正 員 四倉信弘

1. はじめに

河川中に不連続かつランダムに存在する停滯域の為、主流中を輸送される物質の一部が補捉され停滯域に補捉されず輸送される場合とは別の挙動を示す。その挙動の具体的な例は観測される時間—濃度曲線を正規分布と比べた場合の歪みやピーク後に低い濃度が長時間続くロングテール現象であり、予測モデルとのずれを生じさせる一つの要因となっている。

本報告は上述の問題解明の第一歩として、主流と停滯域の水質交換について特に主流の流れの状態や停滯域の形状を変化させた場合の交換係数について値の大きさを明かにし、水理諸量との関係を調べたものである。

2. 実験

使用水路は幅40cm、長さ12mの矩形断面水路である。水路床勾配は1/1000に設定した。水路中央付近5.5~6.5mの区間をその他の区間より水路床を1cm低くし、かわりに1cm角、長さ40cmの角棒を一定間隔で数個敷設し、角棒間の隙間を停滯域と仮定する。停滯域の性質を示すパラメーターの一つである形状比は角棒の敷設間隔を変えることで変化させた。

以下、実験結果をTable2-1に示す。なお本報告において交換係数は以下のように求めた。まず一次元モデル

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\alpha K}{h} (C_d - C) \quad (2-1)$$

$$\frac{\partial C_d}{\partial t} = \frac{\alpha K}{h_d} (C - C_d) \quad (2-2)$$

において(2-2)式に注目する。濃度変化観測地点を固定し、トレーサーは停滯域に直接注入することで $C=0$ を仮定出来、結果として

$$C_d = C_0 \exp(-\alpha K t / h_d) \quad (2-3)$$

を得、濃度減衰の勾配から交換係数は算定できる。

3. 考察

Fig.3-1は主流速と交換係数の関係を示したものである。これより交換係数は主流速に比例して増加することがわかる。また、主流に対して開かれた形状の停滯域は比較的流速が小さくても高い交換を示すことがわかる。

Table 2-1 実験結果

Run No.	b (cm)	U (cm/s)	U ₀ (cm/s)	b/h _d	h _d /h	F	F ₀	R _L	αK (1/s)	K (1/s)
1-1	0.18	11.8	0.37	1.0	2.37	0.037	0.55	521	0.178	0.338
1-2	0.36	17.3	0.34	1.0	1.11	0.021	0.58	1557	0.218	0.406
1-3	1.18	23.0	1.08	1.0	0.85	0.018	0.68	2714	0.217	0.494
1-4	1.88	32.7	1.38	1.0	0.51	0.011	0.77	6872	0.228	0.652
2-1	0.36	7.2	0.70	0.7	2.00	0.074	0.33	360	0.082	0.200
2-2	0.36	17.2	0.96	0.7	1.05	0.025	0.58	1824	0.104	0.254
2-3	1.55	26.1	1.25	0.7	0.85	0.018	0.67	4016	0.120	0.292
2-4	2.22	26.8	1.37	0.7	0.15	0.015	0.79	9170	0.214	0.385
2-5	2.77	31.5	1.58	0.7	0.09	0.007	1.05	12721	0.284	0.607
3-1	0.35	5.3	0.37	1.3	2.02	0.062	0.28	175	0.038	0.087
3-2	0.85	12.1	0.80	1.3	1.54	0.020	0.32	852	0.220	0.306
3-3	0.86	17.4	0.87	1.3	1.04	0.015	0.51	1878	0.216	0.378
3-4	1.21	24.7	1.13	1.3	0.76	0.017	0.69	3238	0.221	0.388
4-1	0.38	19.8	0.75	1.7	1.72	0.028	0.45	826	0.221	0.351
4-2	1.44	23.3	1.18	1.7	1.08	0.023	0.58	2011	0.253	0.402
4-3	2.18	11.4	1.48	1.7	0.48	0.016	0.80	9025	0.126	0.378
5-1	0.48	6.8	0.69	3.0	0.23	0.007	0.30	223	0.257	0.313
5-2	0.87	11.8	0.82	3.0	0.33	0.008	0.10	1069	0.411	0.588

記号の説明
C : 主流域内断面平均濃度 U : 断面平均主流速
C_d : 停滯域内断面平均濃度 U₀ : せん断速度
h : 主流水深 b : 角棒敷設間隔
h_d : 停滯域高さ F : 摩擦係数
t : 時刻 F₀ : F₀数
x : 流下方向距離 R_L : Reynolds数
D : 分散係数 α : 同床面に占める交換面積の比率
C₀, C_d (t=0) K : 交換係数

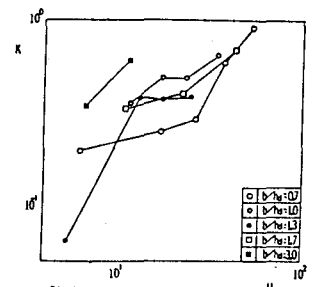


Fig.3-1 主流速と交換係数の関係

Fig.3-2は主流速と主流速により無次元化した交換係数の関係を示したものである。比較の為にValentine¹⁾らによる観測値も示した。プロットの分布より主流速が小さいとき無次元交換係数は流速の増加に対し減少していくが、主流速がある程度以上大きくなると無次元交換係数はほぼ0.019程度の一定値をとるように思われる。

Fig.3-3は摩擦係数と無次元交換係数の関係を示したものである。観測値は $b/h_d=0.7$ の場合を除いてはば

$$f = \frac{k}{U} \quad (3-1)$$

の付近に集中しており、主流と停滞域の水質交換に関して主流速の他に摩擦係数が支配的であることがわかる。また摩擦係数と h_d/h は比例関係がある事で水質交換では主流速と流水断面に占める停滞域の比率が重要であると思われる。

Fig.3-4はReynolds数と無次元交換係数-摩擦係数比の関係を示したものである。Fig.3-4よりReynolds数が500以下の場合と500以上の場合では異なった傾向を示していることがわかる。つまりReynolds数が500以下の場合、無次元交換係数-摩擦係数比はReynolds数の増加に対し比例的に増加する一方、Reynolds数が500~8000の範囲では形状比で規定される一定値をとる傾向が示された。Reynolds数8000以上では無次元交換係数は一定となる傾向に対して摩擦係数が急速に減少するため、結果として無次元交換係数-摩擦係数比は急増したものと考えられる。この段階では交換係数はかなり大きくなっており、停滞域としての物質貯留機能はほとんどないと思われる。

4. おわりに

以上、水路床に疑似的な停滞域を設け実験を行い、交換係数と水理諸量の基礎的な関係を示すことができた。今後は河床面だけでなく河岸面にも停滞域を設けた場合の交換特性についても検討が必要であろう。

<参考文献> 例えば

- 1) Valentine, E.M. and I.R. Wood, Longitudinal dispersion with dead zones, J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 103(HY9), 975-990, 1977.

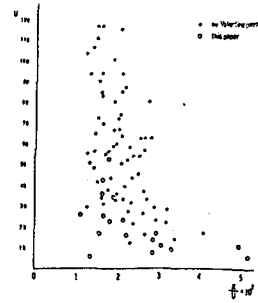


Fig.3-2 主流速と無次元交換係数の関係

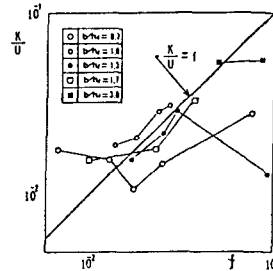


Fig.3-3 摩擦係数と無次元交換係数の関係

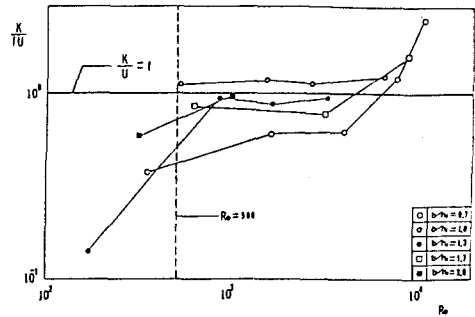


Fig.3-4 Reynolds数と無次元交換・摩擦係数比の関係