

大阪大学工学部 正員 ○笠松 正広
 大阪大学工学部 正員 末石 富太郎
 大阪大学工学部 正員 八木 俊策

1. 序

河道の線形や断面形の不規則性にもとづいて形成される死水域は河川での濁質の挙動に大きな影響を与える。具体的には死水域による濁質の捕捉・貯留効果であり、その結果として主流域では水質分散が生じ、死水域では沈降性物質の沈降、堆積が促進される。本報告は、死水域のもつ上記効果の中で主要な現象である境界面での交換現象を理論的に考察し、実験的に検証を加えたものである。

2. 交換現象のモデル化

境界面付近では死水域内の流体が主流域の流体に引き込まれることにより混合域が形成される。混合域内の流体は境界面下流端で分裂し、再び死水域に入るものと、主流域を流れるものとに分かれ、これにより水質の交換が生ずると考える。図-1に示すように、混合域を境界面によって主流域側と死水域側に二分し、このおののについて物質収支式を立てれば、定常状態では次式となる。

$$Q_1 C_1 + Q_3 C_3 = Q_1 C_2 + Q_3 C_4 \quad (1)$$

$$Q_2 C_2 + Q_3 C_1 = Q_2 C_4 + Q_3 C_3$$

混合域が完全に混合している状態であれば $C_3 = C_4$ であるから $Q_3 = Q_1 Q_2 / (Q_1 + Q_2)$ となるが、完全混合でないと考えるのが妥当であり、混合度に相当するパラメータ α ($0 \leq \alpha \leq 1$) を用いて、

$$Q_3 = \alpha \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (2)$$

と表わす。

混合域内の流量 Q_1 , Q_2 は次のようにして求めた。境界領域での速度分布の発達には、プラントルの混合距離仮説を用いてつぎのように表わせる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3)$$

ここで $l = \beta b$ (β が混合域幅) と仮定¹⁾ し、境界条件を

$$y = b, \quad u = U$$

$$y = -b, \quad u = 0$$

として次元解析を行えば次式を得る。

$$u(y, x) = \frac{1}{2} U \left\{ 1 + \frac{3}{2} \frac{y}{b} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{b} \right)^3 \right\} \quad (4)$$

$$b = 1.5 \beta^2 U x, \quad \text{ただし } x \text{ は流下時間} \quad (5)$$

これから Q_1 , Q_2 が求められる。式(2)に Q_1 , Q_2 の値を代入して Q_3 を求め、交換速度 $\gamma (= Q_3 / L \cdot h)$ で表わすと、

$$\gamma = 0.457 \alpha \beta^2 U \quad (6)$$

となる。ただし h は水深を表わす。

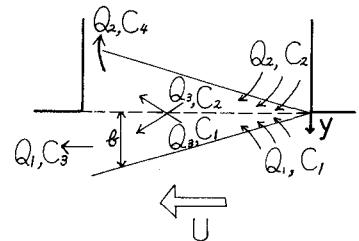


図-1 混合域のモデル図

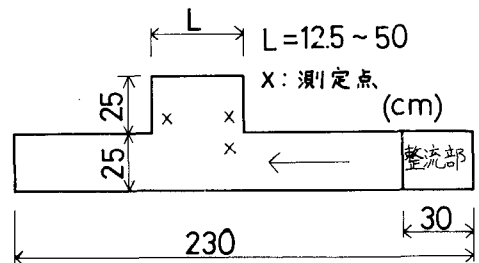


図-2 実験水路

3. 実験結果とその考察

実験水路の概略および測定点を図-2に示す。凹部の奥壁中央部からメタノールで比重調整したトレーサー塩水を連続投入して、電気伝導度を白金センサーを用いて測定した。通常用いられる濃度減衰曲線から交換速度を求める方法では、主流流速が遅い時に発生する内部死水域の影響により、厳密には θ が大きく求まる。そこで今回の実験では、定常状態において投入トレーサー量と境界面からのトレーサー放出量が等しいことから

$$M = Q_2(C_2 - C_1) \quad (7)$$

が成立つことに注目して交換速度 θ を求めた。ただし M は単位時間あたりの投入トレーサー量である。

実験結果は図-3、図-4に示す。今回の実験では、 θ はほぼ主流流速 U に比例し、境界面長さ L には無関係であった。したがって $\theta = \theta U$ (θ は比例定数)と表わすことができ、これは混合距離の考え方にもとづくモデルの式と一致する。なお θ は 0.036 ± 0.003 である。

また式(1)に式(7)を代入すると Q_2 は次式で表わされ、実験から求めることができる。

$$Q_2 = \frac{M}{C_2 - C_1}$$

いっぽう Q_2 は

$$Q_2 = 0.563 \beta^2 U L h$$

であるので、これより β の値が求まる。図-5はその結果である。性格的にカルマン定数に似たパラメータである β は、今回の実験では、 0.30 ± 0.02 となった。

主流流速が比較的遅い場合は混合域に規則的な渦列が観察される。しかしながら、流速が比較的速くなった場合には渦列が不安定となり、混合域内をランダムな乱れの場合とみなすことができるであろう。このような場で本報のモデルの適用が可能であり、交換速度 θ は主流流速 U に比例して増加するといえる。

4. 結語

本研究はトレーサーとして溶解性物質を用いた。この種の研究の方向として沈降性物質の挙動を考える必要がある。死水域の貯留作用は沈降性物質に対して効果が大きく、濁質制御上の意味からも、沈降性物質をトレーサーとした実験や交換現象のマクロな定量化を進める一方、実河川との対応として相似則や調査による交換現象の定量方法を考える必要がある。最後に本研究に対して数々の有益な助言と援助をいただいた盛岡助教授ならびに研究室の諸氏に謝意を表する。

〈参考文献〉 1) SCHLICHTING Boundary-Layer Theory pp 681 ~ 690

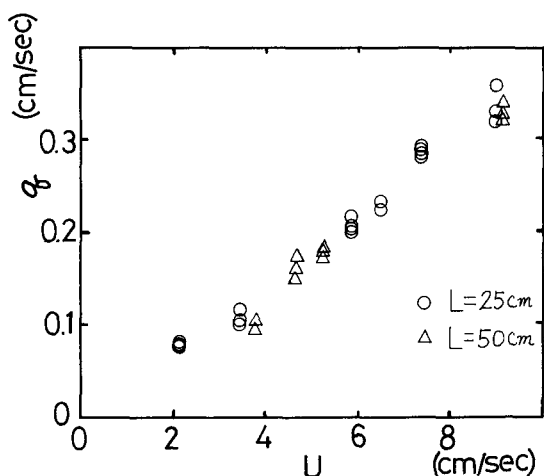


図-3 交換速度と主流流速

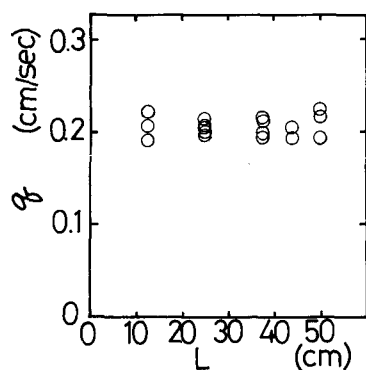


図-4

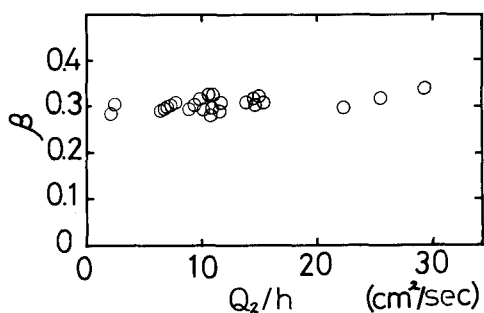


図-5