

京都大学大学院 フェロー 瀬津家久 京都大学大学院 正 員 〇鬼束幸樹
横 浜 市 正 員 高橋俊介 京都大学大学院 学生員 矢野勝士

1. はじめに

河川側岸に開口部を有する「わんど」は、河川環境を保全する役割を担っており、現在研究が盛んに行われている。中川ら¹⁾は電磁流速計を用いて凹部流れにおける時間平均流速分布を明らかにし、瀬津ら²⁾はレーザー流速計を用いて乱流特性を解明した。Muto *et al.*³⁾は紙トレーサーを用いて表面流況を観察し、木村ら⁴⁾も同様な実験を行い凹部内から主流へ流出する紙トレーサーの数をカウントすることで物質交換特性を検討し、これに関する簡易計算も行った。しかし、木村ら⁴⁾の実験および計算はアスペクト比 L/B_w (凹部の流下方向長さ L /凹部奥行き B_w) が 1.5 のケースのみである。本研究は、アスペクト比およびフルード数を変化させた凹部流れにおいて、染料の濃度変化を濃度計を用いて計測し、開水路凹部における物質交換特性を検討したものである。

2. 実験装置および実験条件

実験装置を図-1に示す。主水路幅 B は 26cm、水深 h は 3cm、 B_w は 14cm と固定し、 L を変化させることでアスペクト比 L/B_w を 1, 2 および 3 の 3 通りに変化させた。また、それぞれのアスペクト比において、フルード数 $Fr = U_m / \sqrt{gh}$ を 0.2, 0.5, 0.8, 1.2 および 1.5 の 5 通りに変化させ、合計 15 ケースの流れを作成した。ここに U_m は主水路における断面平均流速である。計測方法としては、はじめに凹部と主水路の境界部をしきり板でふさぎ、凹部に染料(ローダミンB)を注入して攪拌し、凹部内の濃度を一定にした。続いてしきり板をはずして凹部中央 ($x=L/2$, $z=B_w/2$) における染料の濃度変化を濃度計(東京計測社製)を用いて計測した。

3. 実験結果および考察

開水路凹部における物質交換速度 λ は次式で与えられる⁴⁾。

$$L \cdot B_w \cdot h \frac{dC}{dt} = -\lambda \cdot C \cdot L \cdot h \quad (1)$$

C は濃度である。この微分方程式は以下のように解ける。

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -\frac{\lambda}{B_w}(t-t_0) \quad (2)$$

ここで、 t_0 をしきり板をはずした時刻、 C_0 をしきり板をはずす時の濃度とする。

図-2および図-3にフルード数 Fr が 0.2 および 1.5 の場合の濃度変化をそれぞれ示す。フルード数が 1.5 の射流の場合は単調減少の傾向を示し、また、アスペクト比が大きいほど急速に濃度が減少している。フルード数が 0.2 の常流のケースではアスペクト比の効果については同様な傾向を示すものの、濃度変化は単調減少ではなく極端な増加と減少が交互に引き起こされ、特徴的である。この相違が生じた原因は次のように考えられる。

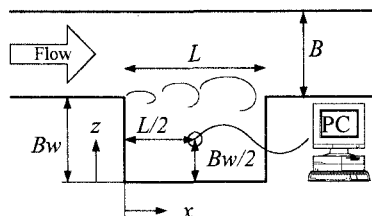


図-1 実験水路 (平面図)

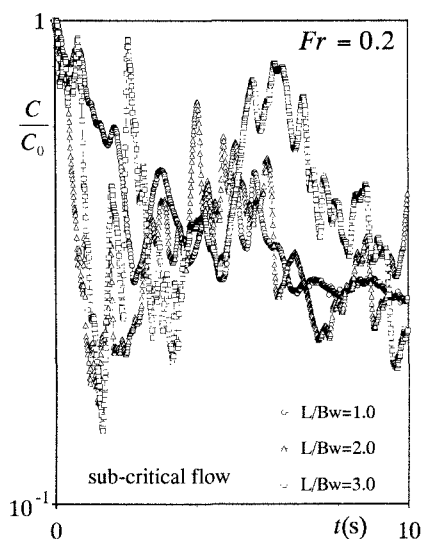


図-2 フルード数が 0.2 における濃度変化

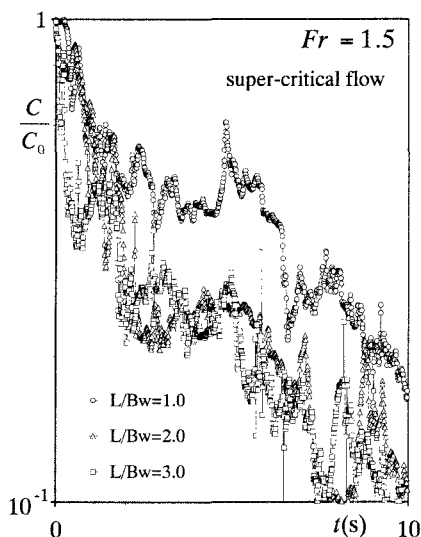


図-3 フルード数が 1.5 における濃度変化

水質交換は境界部付近に発生した渦の流体塊が凹部に進入し、それに伴い凹部内の流体が主流に放出されることで引き起こされるが、本実験のように一点で濃度を計測した場合、渦の回転に伴って上流から運ばれてきた濃度の低い流体と元々凹部に存在していた濃度の高い流体が交互に検出される。こうした現象はいずれのケースでも生じているが、フルード数が低い場合はこうした交互現象が緩やかに進むので以上のような結果になったものと考えられる。

図-4 はアスペクト比 L/B_w が 3.0 の場合の濃度変化を示したものである。フルード数が高い場合は初期時刻からしばらくの間は線形的な減少傾向を示し、その後傾きが緩慢になり曲線を描いている。フルード数が小さい場合はかなり変動しているものの、線形的な減少傾向と見なすことができる。そこで、全ケースにおいて濃度変化の傾きから式(2)を用いて交換速度 λ を求めた。

図-5 は無次元交換速度 $\lambda^* \equiv \lambda/U_m$ を示したものである。同図にはアスペクト比が 1.5 の流れにおける木村ら⁴⁾の実験値および計算値も併示している。本実験結果は木村らの実験値と同オーダーであるが、定性的には一致していない。彼らの行った実験では流れが発達した状態であるのに対し、本実験では初期状態ではしきり板が存在することで凹部の流れが静止しているためこのような相違が生じたものと考えられる。本実験で得られた無次元交換速度 λ^* はフルード数に対して減少傾向を示しているが、フルード数が小さい場合は傾向が異なっている。これは上述したように水質の異なる流体塊が交互に濃度計に接したために生じたものと考えられる。そこで、ここではフルード数が 0.8 以上のデータについて着目し、フルード数と無次元交換速度 λ^* との関係を線形近似で表現する。

$$\lambda^* = a \cdot Fr + b \tag{3}$$

最小 2 乗法で得られた傾き a および切片 b とアスペクト比 L/B_w の関係を図-6 に示した。両係数とも L/B_w と線形関係にあるので両者の関係を求めると次式となった。

$$a = -0.01 \cdot (L/B_w) + 0.002 \tag{4}$$

$$b = 0.025 \cdot (L/B_w) + 0.012 \tag{5}$$

図中に得られた式を点線で記載している。

4. おわりに

側岸に凹部を有する開水路乱流において、アスペクト比およびフルード数を系統的に変化させ、濃度計を用いて凹部と主流との物質交換特性について検討した。その結果、水質交換速度に及ぼすアスペクト比およびフルード数の影響を定式化できた。今後、フルード数をより密に変化させてその変化特性を検討したい。

参考文献

- 1) 中川研造, 河原能久, 玉井信行, 水工学論文集, 第 39 巻, pp.595-600, 1995.
- 2) 瀬津家久, 鬼束幸樹, 高橋俊介, 土木学会論文集, No.684/II-56, pp.11-20, 2001.
- 3) Muto, Y., Imamoto, H. and Ishigaki, T., *Proc. of 12th Congress of APD-IAHR*, pp.353-362, 2000.
- 4) 木村一郎, 細田尚, 安永良, 村本嘉雄, 水工学論文集, 第 41 巻, pp.711-716, 1997.

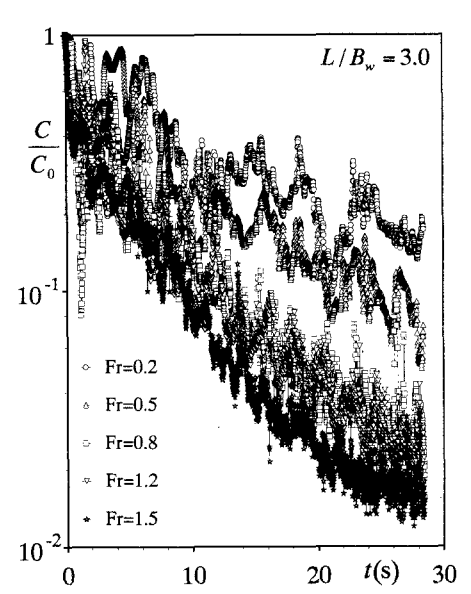


図-4 アスペクト比が 3.0 における濃度変化

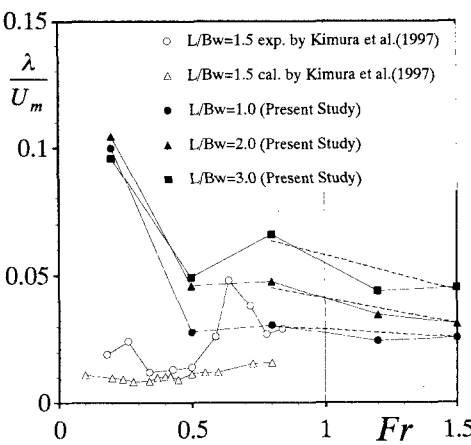


図-5 無次元交換速度

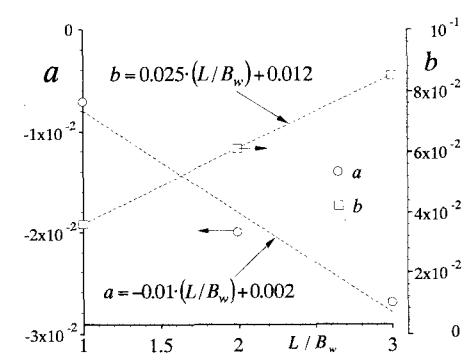


図-6 係数とアスペクト比との関係