

岐阜大学工業短期大学部 正員 藤田 一郎

岐阜大学工学部

正員 河村 三郎

1. まえがき

固定床の開水路合流部においては支川からの流線が剝離し、剝離した流線が合流点の下流で再附着して死水域(剝離泡)を形成する点が特徴的である。死水域の形状については、これまで板倉らによる実験式が提案されているが¹⁾、理論的に取り扱った研究は少ない。筆者らはこれまでに自由流線理論を用いて死水域幅を予測するモデルを提案している。²⁾本研究ではこのモデルの適合性を検証し、死水域領域の水理学的特性を明らかにするために実験的な検討を行った。

2. 実験装置

実験には本川長約10m、支川長約3m、本川水路幅 $B_3=30\text{cm}$ 、支川水路幅 $B_2=20\text{cm}$ (または10cm)の循環式水路を用いた。合流角は $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 、水路の勾配は水平とした。

3. 実験方法

死水域形状は支川に平均粒径約0.4mm、発泡スチロール粒子を水表面に投入して可視化し、ビデオ撮影を行った。再附着点の位置を含めた死水域形状は非定常に変動するが、ここでは目視により平均的な値を定め、デジタイザーを用いて形状の測定を行った。流速分布は直径3ミリの小型正逆プロベラ流速計を用いて測定した。流速値は5Hzでサンプリングし、1000個のデータを用いて本川流下方向の平均流速、および、乱れ強度を算定した。

4. 実験条件

実験は基本的には全流量 $Q_3=5(\text{L/s})$ 、合流後の水路のフルード数 $Fr_3=0.26$ (レイノルズ数 $Re=Uh/\nu=1.67\times 10^4$)の水理条件で行った。ただし、合流角 90° 、支川幅10cm、流量比 $Qr(=Q_2/Q_3)$ が0.2のケースにおいては $Q_3=1.6, 7.8(\text{L/s})$ (それぞれ $Fr_3=0.1, 0.5$, または $Re=5.35\times 10^3, 2.60\times 10^4$)についても実験を行い、レイノルズ数による影響について検討した。

5. 死水域幅について

合流点で発生する剝離剪断層は剝離点のすぐ下流では水路幅などの代表スケールに比べると十分薄いので、これを自由流線とみなすことが出来るが、流下するにつれて剪断層は大規模な渦に巻きあがって交互に下流に放出されるようになる。この場合、自由流線は下流に向かって厚くなる剪断層の時間平均的な中心の軌跡に対応すると考えられる。一方、死水域は交互に放出された渦のうち水路壁に到達した渦が剝離域内の背圧によって合流点に引き寄せられ、閉じた逆流域となったものである。従って、自由流線は死水域が最大幅となる程度までは死水域外縁に一致するか、または、若干大きな値を与えると考えられる。

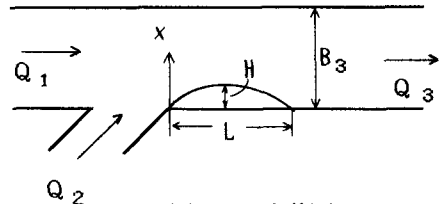
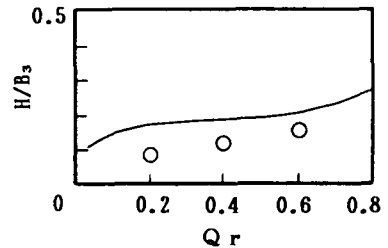
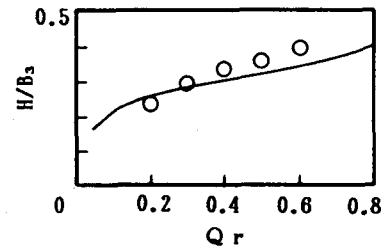
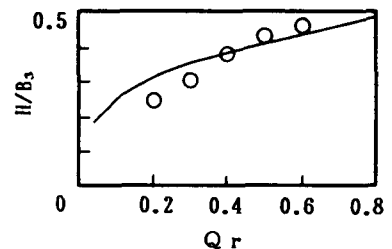


図-1 定義図

(a) $\theta=30^\circ$ (b) $\theta=60^\circ$ (c) $\theta=90^\circ$ 図-2 死水域幅の変化 ($B_2=20\text{cm}$)

死水域幅Hに関して、自由流線理論より得られた結果と実験値を比較したのが図-2である。合流角が60°および90°の場合、本川と支川の平均流速がほぼ等しい $Qr=0.4$ 程度で実験値と理論値は非常に良好に一致していることがわかる。合流角が30°の場合には、剝離剪断層の発達が十分でなく、また、本川流から死水域への流体の連行が著しく、死水域の発達を抑制しているため、実験値は理論値よりも小さい値を与えている。

6. レイノルズ数による影響

図-3に死水域形状のレイノルズ数による変化を示す。死水域形状は Re の増加に伴い、自由流線を1つの包絡線として発達していることがわかる。図中には板倉の実験式による死水域長 L_0 も記入されている。

7. 平均流速分布および流速変動特性

図-4, 5に合流角90°, 支川幅10cm, $Q_3=5$ (l/s), $Fr_3=0.3$ のケースの平均流速分布、及び乱れ強度分布を示す。平均流速は自由流線の内側で急激に減少しており、この分布形は再付着点よりかなり下流まで保たれている。逆流域は水面付近よりも中層部で発達して

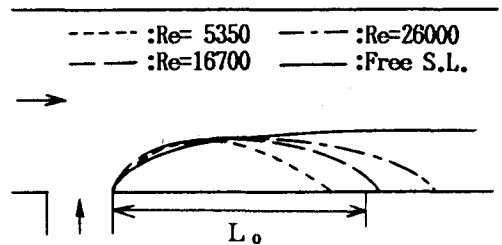


図-3 Re による影響 ($Qr=0.2$)

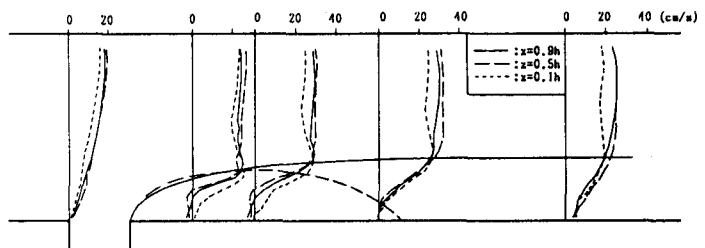


図-4 平均流速分布 ($Qr=0.2, Fr=0.3$)

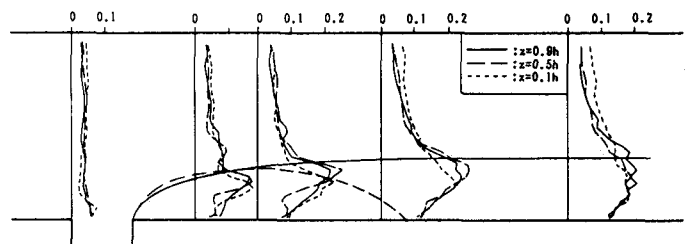


図-5 乱れ強度分布 ($Qr=0.2, Fr=0.3$)

おり、底面付近ではほとんど逆流域は現れていない。乱れは死水域の発達域では、ほぼ自由流線上で最大値を示し、それ以降は自由流線より若干内側で最大値を示す。ここで、測定している乱れはサンプリング周波数が低いため、比較的規模の大きな渦の通過によって生じる流速変動と考えられる。そこで、死水域幅が最大値を示す合流点から20cm下流の断面における水面付近の変動流速を図-6に示した。これより、比較的側壁から離れた所においても渦の通過によって間欠的に負の流速値を示しており、死水域内部の流れが大規模な渦運動を伴っていることがわかる。今後は、このような非定常性を考慮したモデルについて検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 板倉忠興：河川における乱流拡散現象に関する研究，土木試験所報告，No.83, 1984.
- 2) Fujita, I., Komura, S.: Application of the free stream-line theory to the flow at a confluence, APD-IAHR, pp. 103-120, 1986.

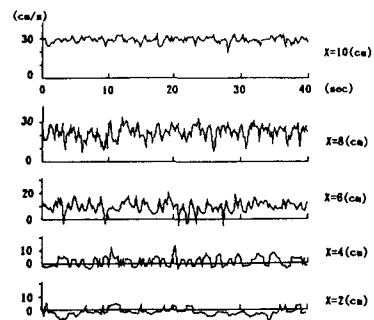


図-6 変動流速 ($Z=0.9h$)