

II-203 離散渦法による合流部拡散のシミュレーション

○ 岐阜大学大学院 学生員 梅村裕也
 岐阜大学工学部 正 員 河村三郎
 岐阜大学工業短期大学部 正 員 藤田一郎

1. まえがき

開水路合流部では、支流からの流れが剥離し、合流部直下に再循環領域(剥離泡)が形成される。この領域は非定常な流れを伴った非常に複雑な流況を呈しており、この領域の非定常特性を解明することは、河川工学的に非常に重要なことと考えられる。本研究では、開水路合流部に対してモデル化した2次元の離散渦法¹⁾を粒子拡散に適用し、このモデルの有効性について検証する。

2. 研究方法

本研究では、本流幅30cm, 支流幅20cmの合流水路の内部を Schwarz-Christoffel の定理を用いて、変換平面の上半分の領域に写像して解析を行った。ここで、全体の流れを表わす複素速度ポテンシャルは、次式で示される。

$$W(\xi) = -\frac{Q_2}{\pi} \log(\xi - e) + \frac{Q_3}{\pi} \log(\xi - c) + \sum_{j=1}^N \frac{-i\Gamma_{Fj}}{2\pi} \log(\xi - \xi_{Fj}) + \sum_{j=1}^N \frac{i\Gamma_{Fj}}{2\pi} \log(\xi - \bar{\xi}_{Fj}) \\ + \sum_{j=1}^N \frac{-i\Gamma_{Aj}}{2\pi} \log(\xi - \xi_{Aj}) + \sum_{j=1}^N \frac{i\Gamma_{Aj}}{2\pi} \log(\xi - \bar{\xi}_{Aj}) \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 Q_2 , Q_3 は支流, 合流後の流量, Γ_j はj番目の渦の強さ, ξ_j はj番目の渦の位置, $\bar{}$ は共役複素数を表わす。また、添字のA, Fは、それぞれ点A, F(図-1参照)から発生した渦糸に関する諸量を示す。

離散渦法は、もともと完全流体における非粘性の流れを対象としているので、粘性効果を直接導入することはできない。そこで、いくつかの方法によって見かけ上、粘性効果を計算に取り入れる。本研究では、渦糸半径 σ のcut-off vortexを導入し、壁に $\sigma/2$ まで接近した渦糸は消去した。その他、渦糸同士が半径 σ より接近すれば等価渦に置き換え、渦糸の強さの時間的減衰も考慮した。また、粘性拡散の影響を取り入れるため、渦糸の運動にランダムウォーク等を付加した。

乱流拡散の状況は、流れ場に仮想的に連続投入したマーカーを時々刻々追跡することによって検討した。このときマーカーの移動速度は、合流断面を1cm間隔のメッシュに区切り、メッシュ点上の流速データから2次元の補間を用いて求めた。本解析では、メッシュ点上の流速データは、0.16秒ごとに得られている。

3. 結果と考察

図-1は、流量比 $Q_r(=Q_2/Q_3)=0.4$ において支流中のある一点にマーカーを導入したときの粒子拡散の様子を示す。支流に導入した粒子が本流を流下するに従って拡散していく様子が得られている。図-2にそのときの粒子濃度分布を示す。マーカーの導入位置に近い断面では、実験値の方が拡散幅が大きくなっているが、ピークの位置はほぼ一致している。また、それより下流側の断面では拡散幅も良好な一致を示している。

図-3は、流量比の異なる場合の粒子濃度分布を比較したものである。マーカーの広がりについて見てみると、流量比の違いによる著しい変化は見られないが、流量比が大きくなると粒子濃度分布のピークが剥離泡の発達に伴って剥離泡の反対側へ移動する様子が示されている。流量比が変化しても拡散幅やピーク濃度が変わらないのはレイノルズ数が一定なためと思われる。また、このような傾向は実験値においても確認できるが、計算値と比較すると、拡散幅は大きく、ピーク値は小さくなっている。これは、実験においてマーカー投入位置が面的に若干広がっていたことが原因のひとつと考えられる。

図-4に支流全幅にわたって導入したマーカーの約20秒間の拡散の様子を示す。剥離点付近から流入したマーカーには、そのまま流下するものと、再循環領域内に取り込まれるものがみられ、実際の流れに近い流況を再現している。

図-5は、本流に導入したマーカーと支流に導入したマーカーの軌跡が重なり合う部分をトレースしたものであり、(a)が計算値、(b)が実験値である。どちらも下流側に向かってこの領域の幅が広がっている。計算値と比較すると実験値の方が拡散幅の広がり方が大きくなっているが、これは実際の流れ場においては、流れの三次元構造の影響を受けているためと思われる。ただし、全体的な分布形はある程度再現されていると思われる。

4. あとがき

本研究では、2次元の離散渦法を用いて、合流部における粒子拡散に関するシミュレーションを行った。その結果、表面流況に対して得られた実験値をある程度再現できることがわかった。



図-4 支流からの拡散状況($Qr=0.6$)

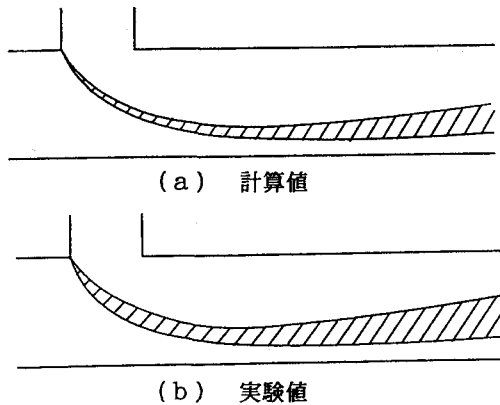


図-5 混合領域($Qr=0.6$)

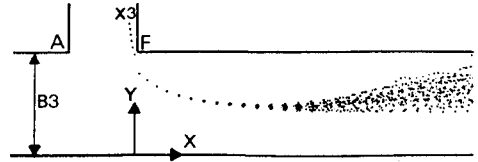


図-1 支流からの拡散状況($Qr=0.4$, 点源: X3)

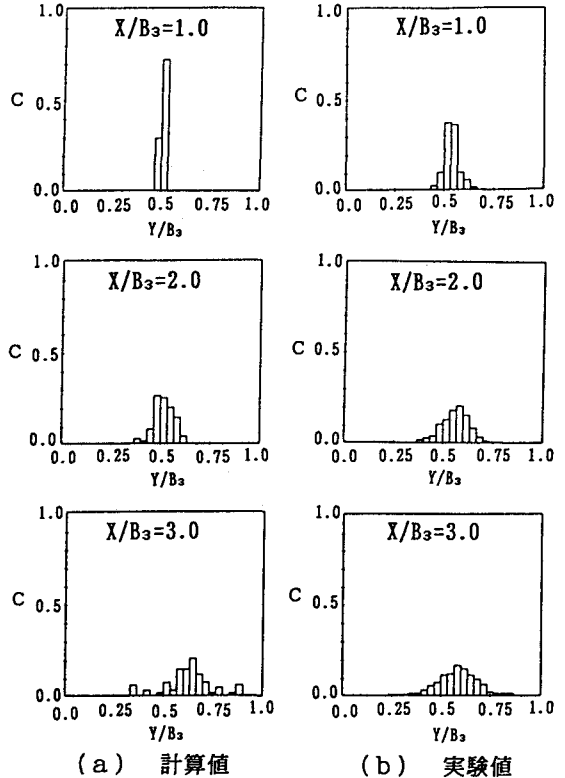


図-2 粒子濃度分布($Qr=0.4$, 点源: X3)

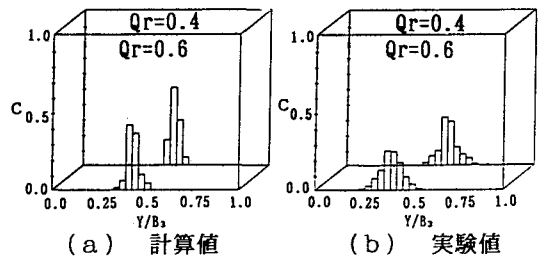


図-3 粒子濃度分布の比較($Qr=0.4$ vs. 0.6 , 点源: X3)

参考文献

- 1) 藤田, 河村: 離散渦法による合流部流れの解析, 土木学会論文集, 第411号/II-12, pp.25-33, 1989.