

離散渦法による合流部流れの解析

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
 岐阜大学工学部 ○学生員 荒尾 仁

1. まえがき

2つの直線水路がある角度で合流するとき、合流部支流側の側壁付近には非定常流の循環流領域（死水域）が形成される。本研究では、この循環流領域（死水域）をシミュレートする離散渦法モデルを構築し、このモデルによって再現される流れと実際の流れの特性とを比較し、このモデルの有効性について検討する。

2. 離散渦法の概要

離散渦法とは、境界層のように渦度の集中した領域を多数の渦点の集まりと見なし、各渦点の運動を追跡して流れの状態を調べるものである。Lagrangeの渦定理によると、完全流体においては渦は不生不滅であり、同じ強さを維持し続ける。このため渦は流体にいわば凍結されたまま移動するという性質があり、渦点による速度場は重ね合わせることができる。したがって、完全流体の流れに渦点の速度場を重ね合わせて全体の流れとすることができる。¹⁾²⁾

3. 変換写像関数と流れの複素速度ポテンシャル

図-1の合流水路（Z-平面）の内部は、Schwarz-Christoffel変換法により図-2の変換平面（ ζ -平面）に写像される。

$$\frac{dZ}{d\zeta} = - \frac{B_3 \sqrt{\zeta(\zeta-1)}}{\pi(\zeta+e)(\zeta-c)} \dots (1)$$

上式を積分して

$$Z = - \frac{2B_3}{\pi} i \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{1+e} \sqrt{\zeta}}{\sqrt{e}\sqrt{1-\zeta}} \right\} - \frac{B_3}{\pi} i \log \frac{\sqrt{c-c^2} \sqrt{\zeta} / \sqrt{1-\zeta} - c}{\sqrt{c-c^2} \sqrt{\zeta} / \sqrt{1-\zeta} + c} + \frac{2B_3}{\pi} i \tan^{-1} (\sqrt{\zeta} / \sqrt{1-\zeta}) + B_3 i \dots (2)$$

式(2)により ζ -平面からZ-平面へ写像を行う。

全体の流れを表わす複素速度ポテンシャルfは次式で表わされる。

$$f = f_3 + \sum_{j=1}^N f_{v_j} = - \frac{Q_3}{\pi} \log(\zeta+e) + \frac{Q_2}{\pi} \log(\zeta-c) \dots (3)$$

完全流体の複素速度ポテンシャル

$$+ \sum_{j=1}^N \frac{-i\Gamma_{F_j}}{2\pi} \log(\zeta-\zeta_{F_j}) + \sum_{j=1}^N \frac{i\Gamma_{F_j}}{2\pi} \log(\zeta-\bar{\zeta}_{F_j})$$

点Fから発生する渦の複素速度ポテンシャル

$$+ \sum_{j=1}^N \frac{-i\Gamma_{A_j}}{2\pi} \log(\zeta-\zeta_{A_j}) + \sum_{j=1}^N \frac{i\Gamma_{A_j}}{2\pi} \log(\zeta-\bar{\zeta}_{A_j})$$

点Aから発生する渦の複素速度ポテンシャル

ここで、 Q_2 、 Q_3 は流量、 Γ_j はj番目の渦の強さ、 ζ_j はj番目の渦の位置、Nは渦の個数、 $\bar{\cdot}$ は共役複素数を表わす。添字のA、Fはそれぞれ点A、Fから発生した渦点に関する量を示す。

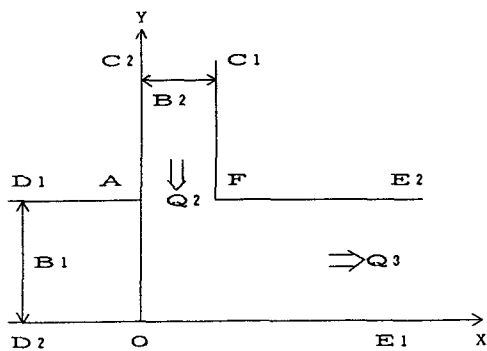


図-1 合流水路 (Z-平面)

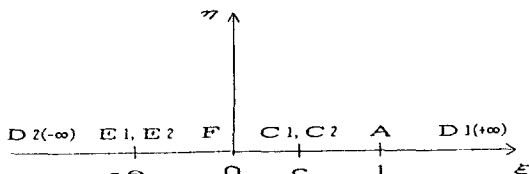


図-2 変換平面 (zeta-平面)

3. 結果と考察

時間ステップが0.02sec, 渦点放出間隔が5の場合の結果を以下に示す。初期渦の放出後、15sec経過したときの瞬間的な流速分布を図-3に示す。渦点の存在によって、死水域の再循環領域が形成されていることがわかる。各渦点は相互に誘起された誘導速度によってそれぞれ移動するため、非定常な大規模渦運動が得られる。図-4, 5には20秒間の変動流速を用いて得られた平均流速分布と乱れ強度分布を示す。図-4より死水域における逆流域の形成、図-5より離せん断層における乱れ強度の増大が再現できていることがわかる。ただし、これは実際の流れの表面流速分布と比べると、若干、再循環流の領域の規模が過小に評価されている。今後は、離散渦法モデルの中で用いる渦点導入位置、渦点導入時間間隔などのモデルパラメータを変えて解析を行い、それらの効果について検討し、最適値を求めていく予定である。

参考文献

- 1) 今井 功: 流体力学 (前編)、裳華房
- 2) 谷 一郎: 流体力学の進歩境界層、丸善株式会社

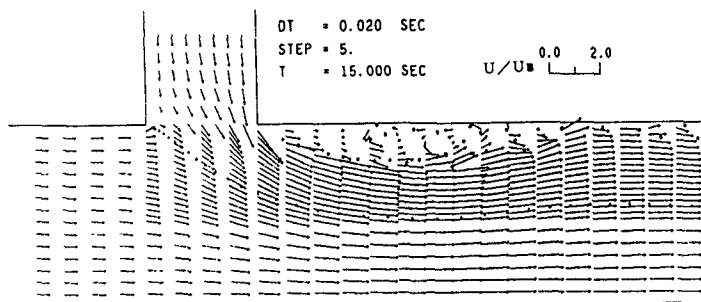


図-3 瞬間流速分布

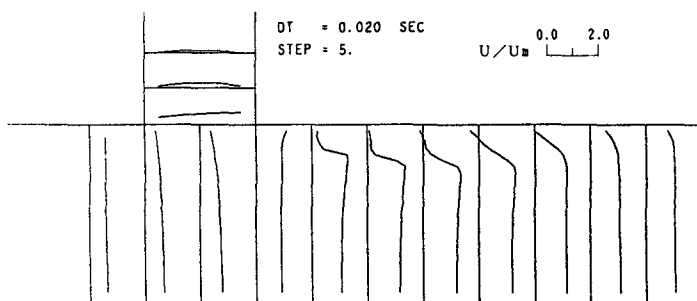


図-4 平均流速分布

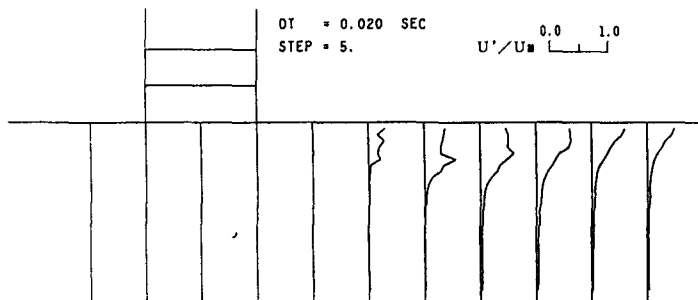


図-5 乱れ強度分布