

噴流の流動特性の渦モデルによる表現

大阪大学工学部 正 員 室田 明

大阪大学工学部 正 員 中辻啓二

大阪大学大学院 学生員○玉井昌宏

1. まえがき : 噴流における大規模な組織構造の存在は Antonia et al.¹⁾ を初、として多くの研究者により認められている。著者等も水理実験を実施して、このような組織構造と連行現象との関連について検討を行ってきた。²⁾ しかしながら、条件付きサンプリングによって抽出した組織構造を動力学的にいかに位置付けるかは、なかなか難しい。組織構造により惹起される流動特性の検討が必要になる。Oler・Goldschmidt³⁾は二次元噴流の自己相似領域の流動を、ランキン渦の単純な重ね合せによってモデル化している。しかし、そのモデルは乱れ特性が実験値とあまり合致しない欠点を持っており、また、浮力流束の優勢となるフォーストブルームの流動に適用するには、数々の改良すべき問題点を含んでいる。著者等は組織構造をモデル化した渦モデルの開発を試みているが、本報では均質噴流に適用した例を示す。

2. モデルの概要 : モデル化した噴流の流れ場を図-1に示す。渦の配置はカルマン渦列と同様な左右非対称な配置である。流下方向の渦間隔は、下流側渦位置の半値半幅 $y_{0.5}$ ($dy_{0.5}/dx = 0.1$) の 2.5倍とした。渦中心の通過する軌道 L_1 、 L_2 は拡がり率 α_1 で流下方向に線形に拡がっている。図中の斜線は渦の影響範囲を示す。Aの領域では V_1 、 V_2 、 V_3 の3つの渦の特性によって流動場が決定されると仮定する。この領域は、計算開始時においてはシミュレートする点を含むように設定されるが、渦の移流に伴って図-1の位置関係を保ちながら移動する。A領域がシミュレートする点を通じた瞬間に上流側に渦 V_4 を生起させ、且つ最下流側の渦 V_1 を消滅させて、新たな基本パターンを作るという操作を繰り返す。流動場を構成する渦は、次式で与えるランキン渦である。

$$Vr_i = \alpha_2 \frac{\Gamma_i}{2\pi r_i} \left[1 - \exp \left\{ -1.26 \left(\frac{r_i}{rc} \right)^2 \right\} \right] \quad (1)$$

ここに、 Vr_i : 渦の回転速度、 Γ_i : 循環、 rc : 核半径、 r_i : 渦中心からの距離、 α_2 : 係数である。循環 Γ は、中心軸上の流下方向平均流速 U_c と半値半幅 $y_{0.5}$ の積として算出した。さらに、 Vr_i は次式を用いて直交座標方向の流速成分 ur 、 vr に変換される

$$\begin{aligned} ur(X, Y) &= \sum_{i=1}^3 \left(-\frac{\xi_i}{r_i} Vr_i \right) \\ vr(X, Y) &= \sum_{i=1}^3 \left(-\frac{\eta_i}{r_i} Vr_i \right) \end{aligned} \quad (2)$$

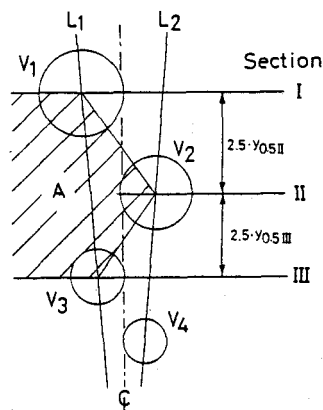


図-1 モデルの概要

Akira MUROTA, Keiji NAKATSUJI and Masahiro TAMAI

ここに、 $\xi_i = X - x_i$ 、 $\eta_i = Y - y_i$ 、 $r_i^2 = \xi_i^2 + \eta_i^2$ 、 (X, Y) : シミュレートする位置、 (x_i, y_i) : 渦中心の座標、 r_i : 渦中心からの距離を示している。また、次式に示す様に渦中心から核半径 rc の3倍までの範囲を渦内部と仮定し、中心軸上流速の0.5倍を移流速度 U_c として流下方向成分 u_r に加算する。

$$U_c = \begin{cases} 0.5 U_{\infty} & (r_i < 3rc) \\ 0 & (3rc < r_i) \end{cases} \quad (3)$$

計算で用いた係数 α_1 と核半径 rc は Oler et al. と同様の値 $\alpha_1 = 0.08$ 、 $rc = 1.3 \cdot y_{0.5}$ である。 α_2 は Γ を算出する際に用いた U_{∞} と計算値が合致するように調整した。

3. 計算例 : 図-2に流下方向平均流速 U および横方向平均流速 V の断面内分布を示す。シンボルは計算値を、実線は実験値⁴⁾を示す。縦軸は軸上流速で規準化した平均流速を、横軸は半値半幅で無次元化した横方向距離を示す。計算値は概ね実験値と一致している。 $y/y_{0.5} > 1.0$ の領域で U/U_{∞} の計算結果が過大になるのは、移流速度を断面内で一様としたことに起因する。図-3は乱れ強さ u'/U_{∞} 、 v'/U_{∞} とレイノルズ応力 $\overline{uv}/U_{\infty}^2$ の断面内分布を示している。計算値は乱れ強度を少し過大に評価する傾向にある。しかし、レイノルズ応力に関しては逆の傾向を示す。特に、実験値と計算値は $y/y_{0.5} < 1.0$ の領域においてあまり一致しない。この原因としては、本モデルが軸上付近の流れによる剪断効果を再現していないことが考えられる。

4. あとがき : 本モデルにより、噴流の流動特性を表現することが可能であることが確認された。しかしながら、本モデルで用いた仮定、渦の影響範囲、渦の配置、移流速度の与え方、渦回転速度の与え方等については、さらに詳細な検討が必要である。

(参考文献) 1) Antonia et al. : JFM, 134, 1983.

2) 室田・中辻・玉井 : 第30回水講論文集, 1986.

3) Oler・Goldschmidt : JFM, 123, 1982.

4) Ramaprian・Chandrasekhara : IIHR-257, 1983.

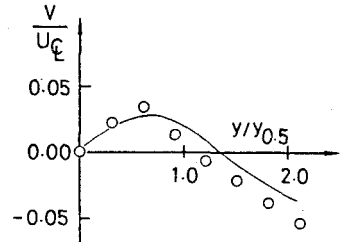
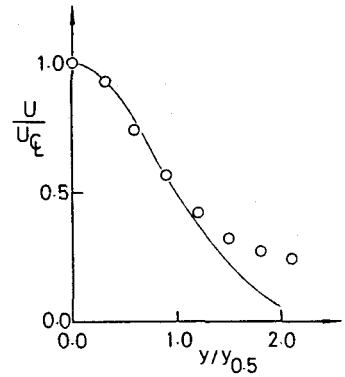


図-2 平均流速分布

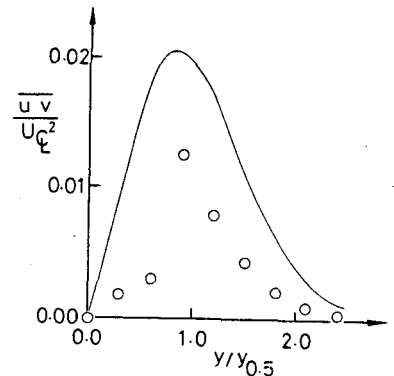
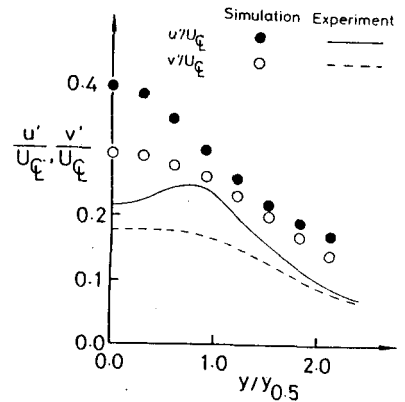


図-3 乱れ変動量分布