

II-242

渦列モデルによる二次元ジェットとプルームの流動解析

大阪大学工学部 正 員 中辻啓二

大阪大学工学部 正 員 玉井昌宏

大阪大学工学部 正 員 室田 明

1. まえがき : 近年せん断乱流の多層構造性に注目して、条件付抽出法の適用が数多く試みられている。その結果、可視観測からの類推の域を出なかった組織構造の様相が定量的に明らかになりつつある。著者等も二次元ジェットとプルームの乱流計測を実施し、完全発達領域における組織構造と連行現象や乱流輸送との関連について検討を行ってきた。¹⁾ しかしながら、条件付抽出法によって検出した組織構造を動力学のどのよう位置づけるかは、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である。Oler・Goldschmidt²⁾ は、二次元噴流の完全発達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た。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いるものの、実験により得られた組織構造の情報を基礎として構築されたものであり、非常に興味深い。また、大規模組織構造の役割を検討する上で簡便な方法であると考えられる。本研究では、著者等の実施した実験結果に基づいて、渦列モデルを開発し、二次元ジェットとプルームの流動特性を解析することを試みる。

2. モデルの概要 : 二次元ジェットとプルームの流れ場を、実験結果に基づいて図-1のようにモデル化する。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。渦中心の移動する軌道は拡がり率 $dy_r/dx=0.1$ で流下方向に線形に拡がる。流下方向の渦間隔は上流側(放流口側)の渦の中心と中心軸との距離 y_r の2倍とした。流動場を構成する渦は次式で与えるランキン渦である。

$$V_{ri} = C_G \frac{\Gamma_i}{2\pi r_i} [1 - \exp\{-1.26 (\frac{r_i}{rc_i})^2\}] \quad (1)$$

ここに、 V_{ri} : 渦の回転速度、 Γ_i : 循環強度、 rc_i : 核半径、 r_i : 渦中心からの距離、 C_G : 実験係数である。循環強度 Γ_i は次式を用いて算出する。

$$\Gamma_i = 2\pi rc_i U_{\xi i} \quad (2)$$

ここに、 $U_{\xi i}$ は上流側から i 番目の渦の中心が位置する断面における中心軸上の流下方向平均流速である。その値は実験により得られた流下方向減速特性に基づいて与えた。また、核半径 rc_i は y_r に等しいとした。さらに、 V_{ri} は次式を用いて直交座標方向の流速成分 u_r, v_r に変換される。

$$\begin{aligned} u_r(X, Y) &= \sum_{i=1}^N \left(-\frac{\eta_i}{r_i} V_{ri} \right) \\ v_r(X, Y) &= \sum_{i=1}^N \left(\frac{\xi_i}{r_i} V_{ri} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

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、 N : 渦数である。

著者等の実施した実験結果によれば、ジェットおよびプルーム流動に内在する大規模渦動は、流動内の高速で高温の流体を外縁方向に、また、低速で低温の流体を中心軸方向に輸送することによってレイノルズ応力を生成する。このせん断効果を表現するために大規模渦列によって生じる流下方向流速の横方向勾配と横方向変動流速により運動量の輸送が行われると仮定して、その効果を次式のように表現する。

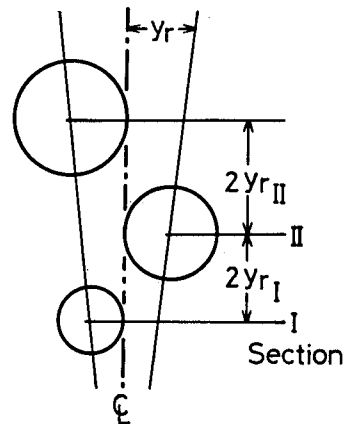


図-1 モデルの概要

$$u_{EX} = C_{EX} v_r T_s \frac{\partial u_r}{\partial y} \quad (4)$$

ここに、 u_{EX} ：運動量輸送により生じる流下方向変動流速、 T_s ：計算時間ステップ、 C_{EX} ：実験係数である。 u_{EX} は u_r に単純に加算した。

3. 計算結果：ジェットに対しては $U_{\epsilon} \propto x^{1/2}$ 、ブルームに対しては $U_{\epsilon} = \text{一定}$ の遞減則を与えて、組織構造の通過に伴う乱流変動の計算を実行した。

図-2 は時間平均した流下方向流速 U および横方向流速 V の横方向分布を示す。縦軸と横軸はそれぞれ中心軸上の流下方向流速 U_{ϵ} と半幅 $y_{0.5}$ により無次元表示した。白抜記号と黒塗記号はブルームとジェットの計算値を、実線と破線はそれぞれの実験値³⁾を示す。流下方向流速 U の分布は両流動ともにガウス分布に概ね一致している。他方、ブルームにおける横方向流速 V の計算値は全断面にわたって中心軸向きの流動を、ジェットにおいては中心軸付近で生じる外縁向きの流動をうまく表現している。平均流速場に関する計算値と実験値の一致は比較的良好である。

図-3 は流下方向および横方向流速の相対乱れ強さ u' 、 v' とレイノルズ応力 $\overline{u'v'}$ の横方向分布を示す。 u' と v' に関する計算値と実験値の対応は概ね良好である。 u' に認められる分布形状の違いは、組織構造を中心軸に関して逆対称に与えたこと、および乱れの移流や拡散を考慮していないことに原因していると考えられる。ブルームの u' 変動の値はジェットのそれに比較して大きい。他方、 v' 変動については両流動の絶対値の差異は殆ど認められない。レイノルズ応力 $\overline{u'v'}$ の計算値は実測値の2倍程度大きい値を示すものの、分布形状や両流動の違いは比較的うまく再現している。Oler・Goldschmidt の計算結果が負のレイノルズ応力を算出していることに比較すれば、本モデルは動力学的に矛盾なく流動を再現しているものと判断できる。

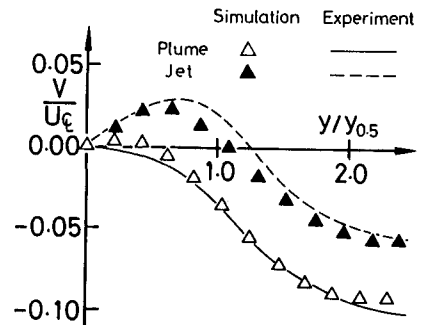
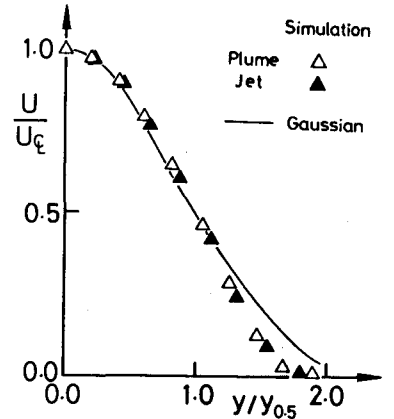


図-2 平均流速分布

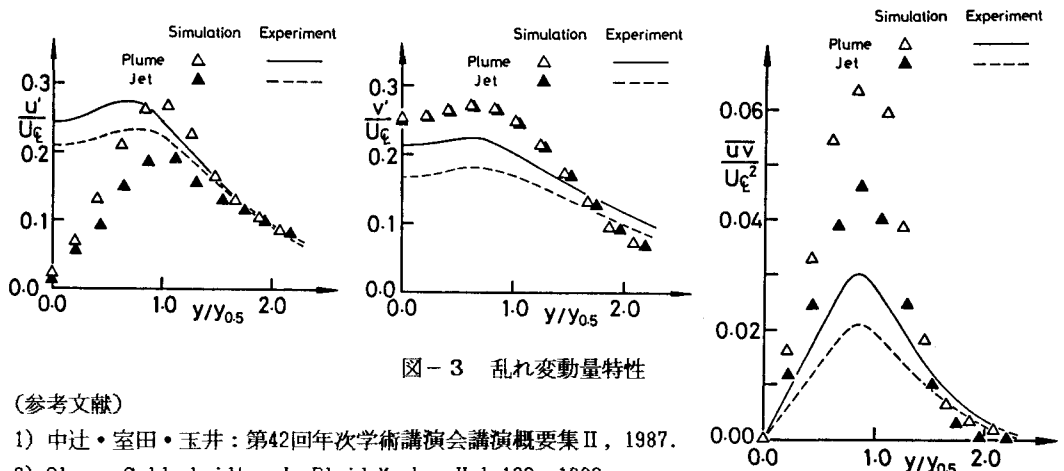


図-3 乱れ変動量特性

(参考文献)

- 1) 中辻・室田・玉井：第42回年次学術講演会講演概要集Ⅱ，1987.
- 2) Oler・Goldschmidt：J. Fluid Mech., Vol.123, 1982.
- 3) Ramaprian・Chandrasekhara：IIHR-Report, No.257, 1983.