

連行モデルによる bent over jet の解析

山口大学工学部 正○羽田野 袈裯義
山口大学工学部 学 秋 田 伸 治
山口大学工学部 正 斉 藤 隆
九州大学工学部 正 平 野 宗 夫

1. 序

流れの中に流体が噴流として放出される現象は、煙突からの煙、産業排水の放出などにみられ、その挙動を精度よく予測することは環境問題に関連し強く望まれている所である。従来連行モデルを用いた解析法がいくつか提案されているが、その適合性は十分とはいえない。本研究は、この流れに特有な2個の反対回転の渦による連行を解析に反映させ、種々の放出角度の場合に対して適合しうる結果を得たので報告するものである。

2. 理論

図-1および2に示す1次元モデルで考える。基礎式は、運動量の、外部流と直角方向および平行な方向の成分の収支式、および連続の式でそれぞれ式(1)、(2)および(3)となる。

$$\frac{d}{d\xi} (\beta a u^2 \cos \theta) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d}{d\xi} (\beta a u^2 \sin \theta) = Q_e U_1 \quad (2)$$

$$\frac{d}{d\xi} (a u) = Q_e \quad (3)$$

ここに、 a は噴流断面積、 u は断面平均速度、 θ は噴流軸方向角、 ξ は噴流軸に沿ってとった距離である。 Q_e は ξ の単位長さ当りの連行流量である。

上3式を、 $da/d\xi$ 、 $du/d\xi$ 、および $d\theta/d\xi$ について解き、出口の直径 d 、出口流速 u_0 、出口断面積 a_0 を用いて無次元化すると式(4)~(6)となり、噴流軸は式(7)で計算される。

$$\frac{da'}{d\xi'} = \frac{4Q_e}{\pi d u_0} \cdot \frac{1}{u'^2} \left(2u' - \frac{1}{\beta} \frac{U_1}{u_0} \sin \theta \right) \quad (4)$$

$$\frac{du'}{d\xi'} = \frac{4Q_e}{\pi d u_0} \cdot \frac{1}{a' u'} \left(\frac{1}{\beta} \cdot \frac{U_1}{u_0} \sin \theta - u' \right) \quad (5)$$

$$\frac{d\theta'}{d\xi'} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{4Q_e}{\pi d u_0} \cdot \frac{U_1}{u_0} \cdot \frac{1}{a' u'^2} \cos \theta \quad (6)$$

$$\text{および } x/d = \int \sin \theta d\xi', \quad y/d = \int \cos \theta d\xi' \quad (7)$$

2個の反対回転の渦による連行は図-2のモデルにより評価する。噴流軸に沿ってとった長さ ξ の微小量 $d\xi$ の区間において片方の渦が連行する流量 $1/2 Q_e d\xi$ は渦の強さを Γ とすれば、

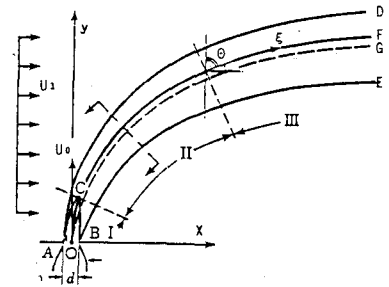


図-1 流れの概略図

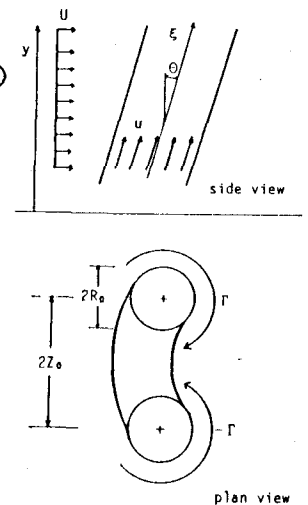


図-2 連行機構のモデル

$$d\xi \int_{R_0}^{2Z_0} v(r) dr = \frac{\Gamma}{2\pi} \log \frac{2Z_0}{R_0} \quad (8)$$

また、 Γ は噴流断面周辺部におけるせん断により生じるから、噴流断面の長さのスケールを L 、 k を定数として次式により評価される。

$$\Gamma = kL |U_1 - u \sin \theta| \quad (9)$$

L として噴流断面積の平方根を用いる。

次に、式(8)の Z_0 と R_0 の比率を、断面形状に関する従来の研究結果から算定する。

図-3は、Rajaratnam¹⁾が整理したデータを再整理したものである。図より次式の関係が読みとれる。

$$\Delta Z / \Delta \xi_* - 1 = 5.0 \xi_* / (\alpha^2 d) \quad (10)$$

また、図-2と図-3の対比より次の対応関係を考えることができる。

$$2R_0 \approx \Delta \xi_* ; 2(Z_0 + R_0) = \Delta Z \quad (11)$$

3. 計算結果

式(8)～(11)を式(4)～(6)に代入して計算を行ない既往の実験と比較した。図-4はPlatten keffer²⁾の実験結果との比較の一例である。なお、式(8)の評価法では次式

$$\log \left(\frac{2Z_0}{R_0} \right) < 0 ; \frac{\xi}{\alpha^2 d} < 0.1$$

を満足する出口近くの領域では連行量を評価できない。この難点を避けるため、式(8)を変形した次式を用いた。

$$Q_e = \frac{2Z_0/R_0}{(1+2Z_0/R_0)} \log (1 + 2Z_0/R_0) \quad (12)$$

図-4より実験値と計算値は良好な一致を示している。

本報告では噴流軸の軌跡についてのみ実験結果との比較を示したが、速度と断面積(物質濃度から算定)を合わせて測定した Patric³⁾のデータを現在整理中である。

参考文献

- 1) N. Rajaratnam (1976); Turbulent Jets, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- 2) J.L.Platten & J.F.Keffer (1971); Deflected turbulent jets, Trans. ASME, J.Appl. Mech.
- 3) M.A.Patric (1967); Experimental investigation of the mixing and penetration of a round turbulent jet injected perpendicularly into a transverse stream, Trans. Inst. Chem. Eng.

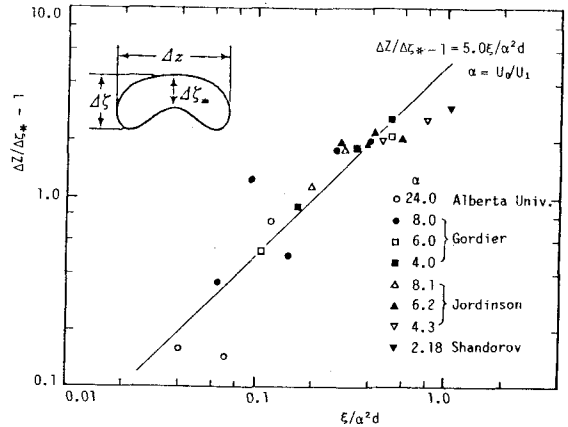


図-3 噴流断面形状の特性

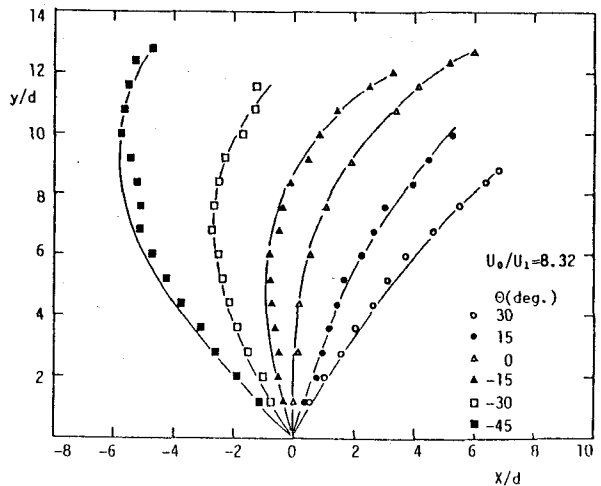


図-4 噴流軌道の実験値と計算値の比較