

II-234

bent over Plumeの挙動について

京都府 正○秋田 伸治
 山口大学工学部 正 羽田野 袈義
 山口大学工学部 正 斎藤 隆
 九州大学工学部 正 平野 宗夫

1. 序

bent over plumeの現象は、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て強く望まれている。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、いずれも連行を周長と相対速度の積に比例する形で仮定しており連行プロセスを正しく評価していない。本研究は、前報でbent over jetについて行なったと同様、この流れに特有な2個の反対回転の渦による連行をモデルに反映させた解析を試みたものである。

2. 理論

図-1および2に示す1次元モデルで考える。噴流は外部流による圧力抵抗と連行そして重力の作用により軌道を曲げるものと考えられる。基礎式は、体積保存則、および運動量の外部流と直角方向と平行な方向の成分の収支式で、それぞれ式(1)~(4)で表わされる。

$$\frac{d}{ds} (a u) = Q_e \quad (1) \quad \frac{d}{ds} (\rho a u) = \rho_e Q_e \quad (2)$$

$$\frac{d}{ds} (\beta a u^2 \sin \theta) = Q_e U_1 + C_d U_1^2 \ell \cos \theta \quad (3)$$

$$\frac{d}{ds} (\rho \beta a u^2 \cos \theta) = a \Delta \rho g \quad (4)$$

ここに、 a は噴流断面積、 u は断面平均流速、 θ は噴流軸方向角、 s は噴流軸に沿ってとった長さ、 ℓ は噴流幅、 C_d は抗力係数、 $Q_e \ell$ は s の単位長さあたりの連行流量である。

上4式を変形し、 da/ds 、 du/ds 、 $d\theta/ds$ および $d\Delta\rho/ds$ について解き、出口の直径 d 、出口流速 U_e 、出口断面積 a_e および出口での密度差 $\Delta\rho_e$ を用いて無次元化すると、式(5)~(8)が得られ、噴流軸軌道は式(9)で計算される。

$$\frac{da'}{ds'} = \frac{4Q_e}{\pi d U_e} \frac{2}{u'} \cdot \frac{1}{\beta} \left(\frac{4Q_e}{\pi d U_e} \frac{U_1}{U_e} + \frac{4C_d}{\pi} \frac{\ell U_1^2}{d U_e^2} \cos \theta \right) \frac{1}{u'^2} \sin \theta - \frac{1}{\beta} F_0^{-2} \frac{\Delta \rho'}{u'^2} \cos \theta \quad (5)$$

$$\frac{du'}{ds'} = \frac{1}{\beta} \frac{1}{a' u'} \left(\frac{4Q_e}{\pi d U_e} \frac{U_1}{U_e} + \frac{4C_d}{\pi} \frac{\ell U_1^2}{d U_e^2} \cos \theta \right) \sin \theta + \frac{4Q_e}{d U_e} \frac{1}{a'} + \frac{1}{\beta} F_0^{-2} \frac{\Delta \rho'}{u'} \cos \theta \quad (6)$$

$$\frac{d\theta}{ds'} = \frac{1}{\beta} \frac{1}{a' u'} \left(\frac{4Q_e}{\pi d U_e} \frac{U_1}{U_e} + \frac{4C_d}{\pi} \frac{\ell U_1^2}{d U_e^2} \cos \theta \right) \cos \theta + \frac{1}{\beta} F_0^{-2} \frac{\Delta \rho'}{u'^2} \sin \theta \quad (7)$$

$$\frac{d\Delta \rho'}{ds'} = -\frac{4Q_e}{\pi d U_e} \frac{\Delta \rho'}{a' u'} \quad (8) \quad \frac{x}{d} = \int \sin \theta ds' \quad \frac{y}{d} = \int \cos \theta ds' \quad (9)$$

ここに、 $F_0 = U_e / \sqrt{\Delta \rho_e / \rho \cdot g d}$ は出口での内部フルード数である。

2個の反対回転の渦による連行を図-2のモデルにより評価する。噴流軸に沿う微小長さ ds の区間にお

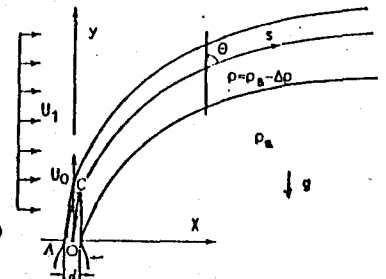


図-1 流れの概略図

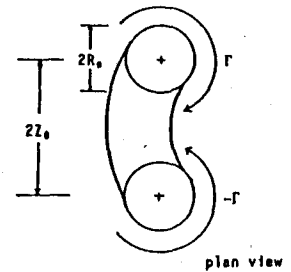


図-2 連行モデル

いて片方の渦が連行する流量 $1/2 Qe \cdot d s$ は、渦の強さを Γ とすれば式(10)で与えられる。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スケールを L 、 Γ を定数として式(11)で評価される。

$$\frac{1}{2} Qe d s = d s \int_{R_0}^{2Z_0} \frac{\Gamma}{r} d r = \frac{\Gamma}{2\pi} \log \frac{2Z_0}{R_0} d s \quad (10)$$

$$\Gamma = K L |U_1 - u \sin \theta| \quad (11)$$

計算では $l = 2(Z_0 + R_0)$ 、 $L = \pi \sqrt{a}$ とした。つぎに、式(10)中の Z_0 と R_0 の比率を評価する。bent over plume の断面形状についての研究結果が見あたらないのでbent over jetについてRajaratnamが整理した結果を用いる。図-2とRajaratnamの結果との対比から次の関係式を考えることができる。

$$Z_0/R_0 = 2.97 \sqrt{s/(\alpha^2 d)} \quad ; \quad \alpha = U_0/U_1 \quad (12)$$

3. 計算結果と考察

式(10)～(12)を式(5)～(8)に代入してルンゲクッタ法により計算し、Fan、首藤の実験と比較した。まず、噴流軸軌道が最も重要な物理量と考え、式(11)の k の値を種々変化させて計算を行ない、軸軌道の計算値が実験値と最も合うような k の値を求め、これを用いて再度計算した。なお、抗力係数 C_d を0.5, 1.0について計算した。以下示す結果は同様であった。図-3はこうして得られた k の値を速度比 U_0/U_1 に対してプロットしたものである。 k は速度比と共に増大する傾向がある。また、小さな U_0/U_1 では F_0 が大きい程 k の値が大きいが、大きな U_0/U_1 のデータではこのような傾向は認められない。なお、首藤は写真により噴流軸を決定しており、 F_{ar} は最大濃度の点をつらねた線として噴流軸を決定している。最大濃度の点は目視観測により得られる中心線よりもう少し外側に位置する。次に噴流軸の実験値と計算値の比較の一例を図-4に示す。計算結果と首藤の実験とは比較的良好な一致を示すがFanの結果とは余り良い一致を示さない。噴流軸の決定法による違いによることが考えられ、更に検討を要する。最後に密度差の計算値と実験値の比較を図-5に示す。大体において計算値はFanの実験については過小評価をし、首藤の実験については比較的良好な一致を示した。濃度測定点が両者により違うことの効果が出ていることが考えられる。

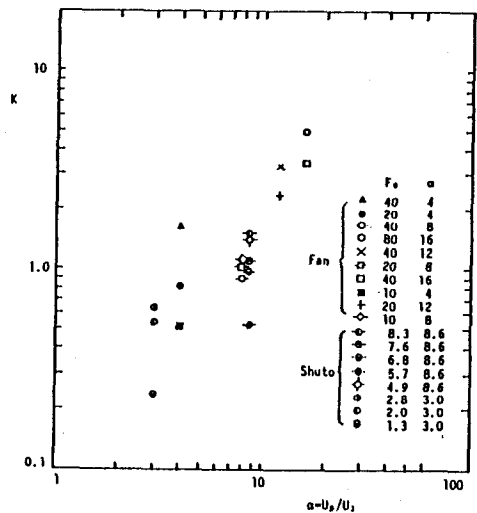


図-3 K値と速度比の関係

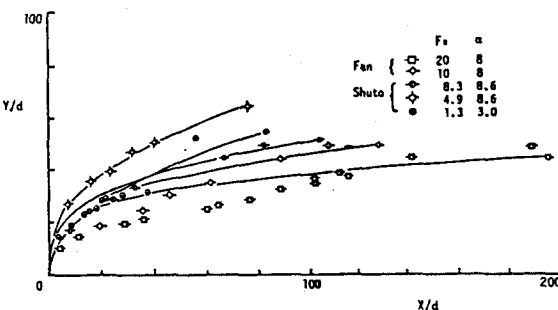


図-4 噴流軸軌道の実験値と計算値

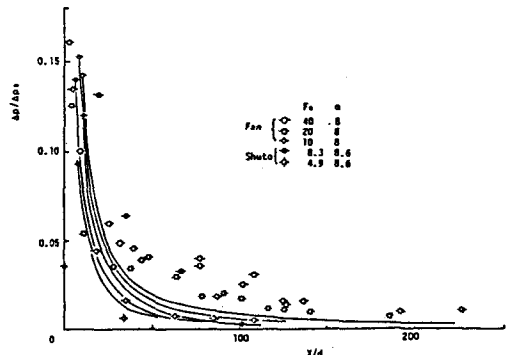


図-5 密度差の実験値と計算値