

Bent over jet の 1 次元解析 (2)

山口大学工学部 正〇羽田野袈裟義

山口大学工学部 正 斎藤 隆

熊本県

上田 邦彦

1. 序

bent over jet 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。著者らは前報¹⁾において、この流れの連行はこれに特有の 2 個の反対回転の渦により惹起される流れにほぼ支配されるとの考えに基づき、1 次元解析モデルに新しいタイプの連行量の評価を組み込んだ解析法を提案した。その後、連行量評価のために導入された渦強さの表示を再検討し、また連行に関わる係数や抗力係数の再評価を行なったので、その結果をここに報告する。

2. 理論の概要

基礎式については前報とほぼ同様である。前報と異なるのは passive contaminant の濃度の実験データから連行量を評価するためこれについての保存則を追加した点である。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により軌道を曲げる。基礎式は、体積保存則、passive contaminant の保存則、および運動量の外部流方向・直角方向の成分の収支式で、それぞれ式(1)~(4)で表わされる。

$$\frac{d}{ds}(au) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d}{ds}(cau) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d}{ds}(\beta \rho au^2 \cos \theta) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d}{ds}(\beta \rho au^2 \sin \theta) = \rho QeU_1 + C_d \rho U_1^2 \ell \cos \theta \quad (4)$$

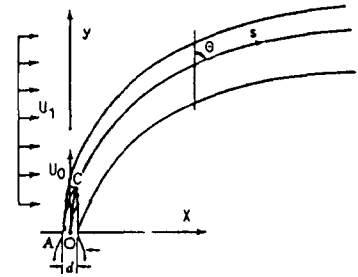


図-1 解析モデル

ここに、 a は噴流断面積、 u は断面平均流速、 c は passive contaminant の濃度、 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、 Qe 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 、および $d\theta/ds$ について解き、出口の直径 d 、出口流速 U_0 、および断面積 a_0 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。

$$\frac{da'}{ds'} = \frac{8Qe}{\pi du_0 u'} - \frac{1}{\beta} \left(\frac{4Qe U_1}{\pi du_0^2} + \frac{4C_d \ell U_1^2 \cos \theta}{\pi du_0^2} \right) \frac{1}{u'^2} \sin \theta \quad (5)$$

$$\frac{du'}{ds'} = - \frac{4Qe}{\pi du_0 a'} + \frac{1}{\beta} \left(\frac{4Qe U_1}{\pi du_0^2} + \frac{4C_d \ell U_1^2 \cos \theta}{\pi du_0^2} \right) \frac{1}{a' u'} \sin \theta \quad (6)$$

$$\frac{d\theta}{ds'} = \frac{1}{\beta} \left(\frac{4Qe U_1}{\pi du_0^2} + \frac{4C_d \ell U_1^2 \cos \theta}{\pi du_0^2} \right) \frac{1}{a' u'^2} \cos \theta \quad (7)$$

$$\frac{dc'}{ds'} = \frac{4Qe}{\pi du_0} \frac{c'}{u' a'} \quad (8) \quad \frac{x}{d} = \int \sin \theta ds', \quad \frac{y}{d} = \int \cos \theta ds' \quad (9)$$

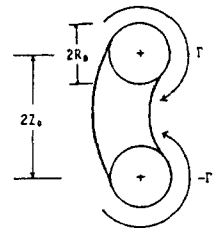


図-2 連行機構

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。渦軸に沿

う微小長さ ds の区間において周囲流体が噴流背後凹部空間に取り込まれる流量 $Q_e \cdot ds$ は、渦の強さを Γ とすれば係数 K_1 を用いて式(10)で評価する。

$$Q_e ds = 2ds \int_{R_0}^{2Z_0+R_0} V(r) dr = K_1 \frac{\Gamma}{\pi} ds \log \frac{2Z_0+R_0}{R_0} \quad (10)$$

また、渦は噴流断面内にプラスマイナス Γ の渦強さをもつ2本存在する。この値は s 方向に一定と考えるのが妥当であるが、ここでは噴流出口断面における周辺部でのせん断により生じると考え、出口断面の長さスケールを $L = \sqrt{a_0}$ 、出口での相対速度を u_{r0} 、 K_2 を定数として式(11)で評価する。

$$\Gamma = K_2 \cdot L \cdot u_{r0} = K_2 \cdot \sqrt{a_0} \cdot u_0 \sqrt{(U_1/u_0 - u' \sin \theta_0)^2 + \cos^2 \theta_0} \quad (11)$$

計算では $l = 2(Z_0 + R_0)$ 、 $K = K_1 \cdot K_2$ とした。つぎに、式(10)中の Z_0 と R_0 の比率は前報と同様、*bent over jet* の断面形状について Rajaratnam が整理した結果を用いて評価し、 $Z_0/R_0 = 2.97\sqrt{s/(\alpha^2 d)}$; $\alpha = u_0/U_1$ とおいた。

3. 計算結果と考察

式(10)~(11)を式(5)~(8)に代入してルンゲクッタ法により計算し、Patrick の論文の実験データと比較し、モデルに導入された係数 K および抗力係数 C_d の値を求めた。まず、Patrick の論文、噴流軸軌道に沿う濃度の低減のデータと、噴流軸軌道のデータとで実験条件の対応が見つかるものを選び出した。そして噴流軸方向の濃度低減のデータに本モデルを適用し、最適の K を求めた。なお、本稿で対象としている、*passive contaminant* の場合は C_d を変化させても最適 K 値は変化しない。このことは式(8)が示唆するところである(重力噴流の場合には、 C_d 値により最適 K 値が変化する)。つぎに、この k 値を用いて、実験条件が対応する噴流軸軌道の実験データに本モデルを適用し、最適の C_d 値を求めた。これらの結果が図-3、4に示されている。検討した実験条件の範囲では、 K の値は大体1~1.5程度でほぼ一定であった。 C_d はかなり幅があり、速度比(噴出速度/周囲流速度)が1.0程度における0.8程度の値から速度比4.0程度における1.5程度の値へと、速度比とともに C_d は増大している。この C_d 値は2次元物体の抗力係数と同程度となっている。

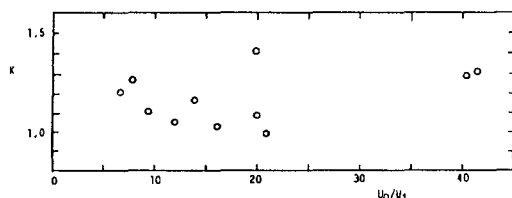


図-3 K と U_0/U_1 の関係

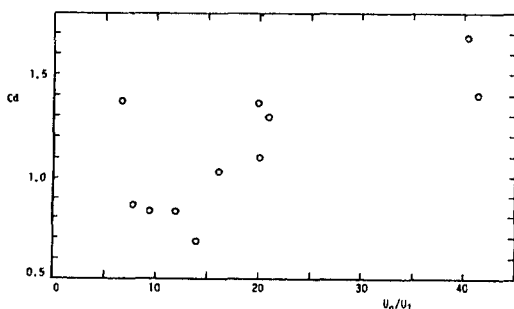


図-4 C_d と U_0/U_1 の関係

参考文献

- 1) 羽田野・秋田・斉藤：bent over jet の1次元解析、第40回土木学会中国四国支部講演集、1988
- 2) Patrick, M.A.: Experimental investigation of the mixing and penetration of a round turbulent jet injected perpendicularly into a transverse stream, Trans. Inst. Chem. Eng., 45, 1967