

九州大学 工学部 正員 椿 東一郎
 “ 大学院 学生員 小松 利光
 “ 工学部 正員 木寺 佐和記

まえがき

密度噴流の解析に於ては、従来、連行係数を含む、連続の式、運動方程式、質量欠損の式に基いて、計算が行われているが、林教授らは鉛直噴流の取り扱いに於て、連続の式の代わりに平均流に関するエネルギー方程式を用い、式中の乱れの強度を一定と仮定した計算方式を提案されている。我々は、水平、鉛直噴流に於ける連行係数について、理論解析を行ってきたが、ここでは、乱れエネルギーと連行係数との関係について考察するとともに、鉛直噴流について若干の実験、考察を行ってみた。

図- (i), 図- (ii) に示す水平、鉛直密度噴流(二次元)に於て、平均流に関する基礎式のうち、連続、質量欠損の式は両者とも同一で

$$\text{連続の式} \quad \frac{d}{dx} [B U_x] = E U_x \quad (1)$$

$$\text{質量欠損の式} \quad \frac{d}{dx} [E_x B U_x] = 0 \quad (2)$$

運動量及び平均流のエネルギーに関する基礎式は次のようである。

$$\text{水平噴流} \quad \frac{d}{dx} [B U_x^2] = 0 \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \alpha_3 \cdot \frac{d}{dx} [B U_x^3] = -\frac{1}{3} \alpha_4 \cdot \beta_* \cdot \bar{g}' U_x^3 \quad (4)$$

$$\text{鉛直噴流} \quad \alpha_2 \frac{d}{dx} [B U_x^2] = \beta_1 \bar{g}' E_x B \quad (3')$$

$$\frac{1}{2} \alpha_3 \cdot \frac{d}{dx} [B U_x^3] = \beta_2 \bar{g}' E_x B U_x - \frac{1}{3} \alpha_4 \beta_* \bar{g}' U_x^3 \quad (4')$$

ここに、 $\alpha_1 = \int_0^1 f d\eta$, $\alpha_2 = \int_0^1 f^2 d\eta$, $\alpha_3 = \int_0^1 f^3 d\eta$, $\beta_1 = \int_0^1 m d\eta$, $\beta_2 = \int_0^1 f m d\eta$, $\bar{g}' = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2} / U_x$, $\beta_* = \frac{B}{l}$, l : 混合長
 水平噴流については、(1)(2)(3)(4)、鉛直噴流については、(1')(2')(3')(4')より、連行係数 E と乱れエネルギー $\bar{g}'$ との関係は次のようになる。

$$\text{水平噴流} \quad E = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha_4}{\alpha_3} \cdot \beta_* \cdot \bar{g}' \quad (5)$$

$$\text{鉛直噴流} \quad E = 2 \left(\frac{\beta_1}{\alpha_2} - \frac{\beta_2}{\alpha_3} \right) \frac{\alpha_1^2}{\beta_1} \cdot Ri + \frac{2}{3} \frac{\alpha_4}{\alpha_3} \cdot \beta_* \cdot \bar{g}' \quad (6) \quad \text{ここに } Ri = \bar{E} g B / \bar{u}^2, \bar{u}, \bar{E} \text{ は断面平均}$$

水平噴流に於ては、 E は直接 $\bar{g}'$ に比例する。昨年度は、乱れのエネルギー方程式、渦動粘性の式を使って、 E 及び $\bar{g}'$ を Ri 数の関数として求めたが、さらに混合長 $l = \beta_* B$, も Ri 数によって変化するものと考え、乱れの加速度方程式を用いて計算し直すと、結果は図- (iii) に示すようになる。Ellison & Turner の実験曲線及び、我々の実験結果を記入しているが、計算曲線はかなり良く一致している。従って、水平密度噴流の場合には、(1)(2)(3)式を基礎式として、 E に関する図- (ii) の曲線を援用すると解を求めることが出来る。

次に、鉛直噴流に於ける、乱れのエネルギー方程式は (2)(3)(4) を用いて変形すると、微小な量を無視した近似式は、
$$\frac{1}{4\beta_*} \cdot \bar{g}'^2 + 2 \frac{\alpha_1 \beta_2}{\alpha_3 \beta_1} \cdot Ri \cdot \bar{g}' - \left\{ \frac{2}{3} \alpha_4 \beta_* + \frac{2}{3} \left(2 \frac{\beta_2}{\alpha_3} - \frac{\beta_1}{\alpha_2} \right) \frac{\alpha_1^2}{\beta_1} \cdot \beta_* \cdot Ri^2 \right\} = 0 \quad (7) \quad \text{ここで } l = \beta_* B$$

となる。homogeneous jet ($Ri \rightarrow 0$) の場合より、 $\beta_* = 0.1334$ として、 $\bar{g}'$ と Ri 数の関係を計算すると、

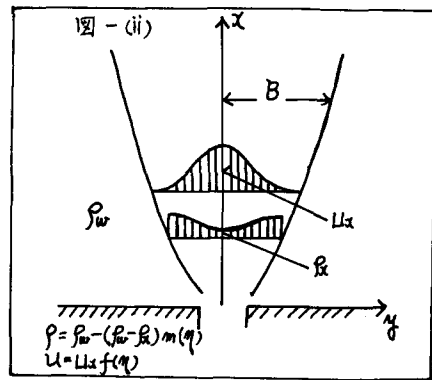
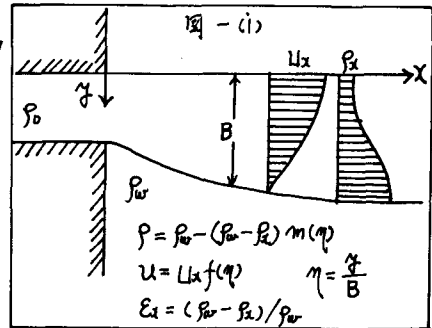


図-(iv)のようになる。 Ri 数が増加すると、浮力の影響の為、乱れエネルギー $\mathcal{E}$ は一時減少するが、極小値を経た後、再び増加する。

一方、鉛直噴流の連行係数は式 (6) に示されているように、浮力及び、慣性項の影響を示す右辺第一項と乱れの影響による第二項からなり、前述の数値を用いて計算した結果は図-(v)の曲線のようになる。同図には、我々が行った実験の結果も記入されている。傾向的にはある程度一致しているが、量的にはかなり異なる。

この理由は以下のように考えられる。まず (6) 式の右辺第一項は Ri とともに *linear* に増加するが、その勾配は β/α_2 と β/α_3 との差に比例する。従って、仮定した流速分布、濃度分布の形によって大きく左右され、原理的に E を求めることは、むずかしい。

次に水平噴流に於ては、 Ri 数の値が、噴出口に於ける値からともはや連行、混合がなくなってしまうような値までかなり幅広く変化し得るが、鉛直噴流では Ri 数がどのように変化するの調べてみる。式 (1), (2), (3) より、若干の計算の後、 Ri 数に関して次式を得る。

$$B \frac{dRi}{dx} = 3 \cdot Ri \left(E - \frac{\alpha_1^2}{\alpha_2} Ri \right) \quad (8)$$

$$\frac{dB}{dx} = 2E - \frac{\alpha_1^2}{\alpha_2} \cdot Ri \quad (9)$$

従って、噴出口に於て、大きな Ri_0 の与えても Ri 数は急激に減少して、 $E - \frac{\alpha_1^2}{\alpha_2} \cdot Ri^* = 0$ を満たす Ri^* に近づいていく。

(6) 式より求めた E の理論解を用いて、 Ri^* を計算すると、

$Ri^* \approx 0.11$ が得られる。

Ri 数の急減領域は流れの形成領域に相当しており、この領域の E の値は *potential core* や縮流及び複雑な流速分布、密度分布などの影響を受けている為、上の理論との比較とすることはできない。

一方、鉛直噴流の確立領域に於ては、 Ri は Ri^* 付近の値のもしくはそれより小さい値しかとり得ないので、確立領域に於ける E 及び $\mathcal{E}$ の値は、*homogeneous jet* の場合よりも若干大きい $E \approx 0.08 \sim 0.09$ 、若干小さい $\mathcal{E} \approx 0.20$ 程度の一定値を用いても差しつかえないものと思われる。前者の値を用いた式 (1) (2) (3) による計算は後者の値を用いた (2) (3) (4) による計算結果とほぼ同一の結果を与える。次に、噴出口の近くでは、流速、密度分布はともに *top hat type* とみなすと、 $\alpha_1 = 1.0$, $\beta_1 = 1.0$ 従って (9) 式は $\frac{dB}{dx} = 2E - Ri \dots (10)$ $2E - Ri^* = 0$ を満たす Ri^* を基準として、 Ri_0 の与え方により次の三通りに分けられる。(a) $Ri_0 < Ri^*$ のとき $\frac{dB}{dx} > 0$, (b) $Ri = Ri^*$ のとき $\frac{dB}{dx} = 0$, (c) $Ri > Ri^*$ のとき、 $\frac{dB}{dx} < 0$ 図-(vi) に示されているように (a) は *homogeneous jet* と同じような流況を呈し、(c) は噴出口の付近で縮流を生じ Ri は急減して $2E > Ri$ となって初めて (a) のように漸次振りが始める。

