

## II-202

## 遠方領域における鉛直重力噴流の特性について

電力中央研究所 ○仲敷憲和 水島雅文 片野尚明

### 1. まえがき

周囲流体と温度や密度の異なる重力噴流は、熱や物質の混合・拡散現象を評価する上で、工学的にも重要な問題となっている。鉛直重力噴流に関しては、従来より多くの実験がなされ、流速や濃度の変化等その特性が明らかとなってきた。しかしながら、それらの実験は、比較的放出口に近い領域（流下方向に放出口直径の数10倍程度）においてなされたものであり、さらに遠方の領域での諸特性については不明な点が多い。

本実験では、従来研究がなされていない放出口直径の数100倍程度の遠方領域まで流速、濃度の測定を行い、流速低減率、希釈倍率や流速、濃度の半値半幅等について検討を行った。さらに、熱や物質の混合現象を評価する上で重要となる、乱流シュミット数についても検討した。

### 2. 実験方法について（スケール効果、内部フルードの相似則）

本研究では、内部Fr数( $Fr = u_0 / (\Delta \rho / \rho \cdot g \cdot D)^{1/2}$ )を、10~200の範囲で、放出Re数( $Re = u_0 \cdot D / \nu$ )を $1.28 \times 10^3 \sim 2.2 \times 10^4$ の範囲で変化させた。図-1に、鉛直重力噴流の概略、及び使用した記号を示す。まず、重力噴流におけるスケール効果について検討を行った。放出口として、直径 $D=5.0, 2.5, 1.6, 1.25$  mmの4種類を用いて測定を行い、実験の範囲内で、放出口のスケールを変化させても噴流の諸特性は変化しないことを確認した。次に、流体の物性が異なった場合の内部フルードの相似則について検討を行った。密度差を設定するために、淡水/塩水、アルコール水溶液/淡水、及び温水/冷水の3組の流体を用いて実験を行った。実験の範囲においては、放出口での内部Fr数を一致させれば、使用する流体の物性の違いによる影響は小さく、噴流の特性はほぼ一致しており、内部フルード則が成り立っていることが確認された。

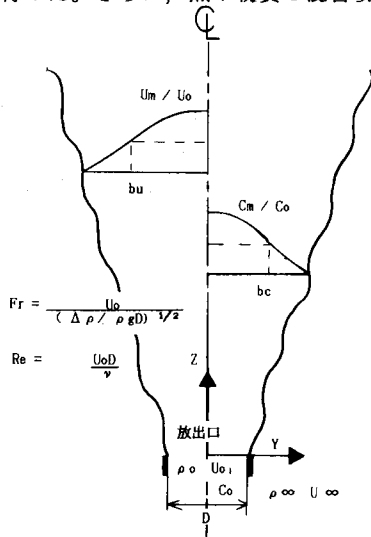


図-1 鉛直重力噴流概略

### 3. 実験結果

図-2に、測定された重力噴流軸上での流速の低減と希釈倍率の変化を示す。 $u_0, C_0$ は、それぞれ放出口での流速、濃度であり、 $u_m, C_m$ は、噴流軸上での流速、濃度を示している。また、図中の実線は、Abraham<sup>1)</sup>による実験式を示している。図-

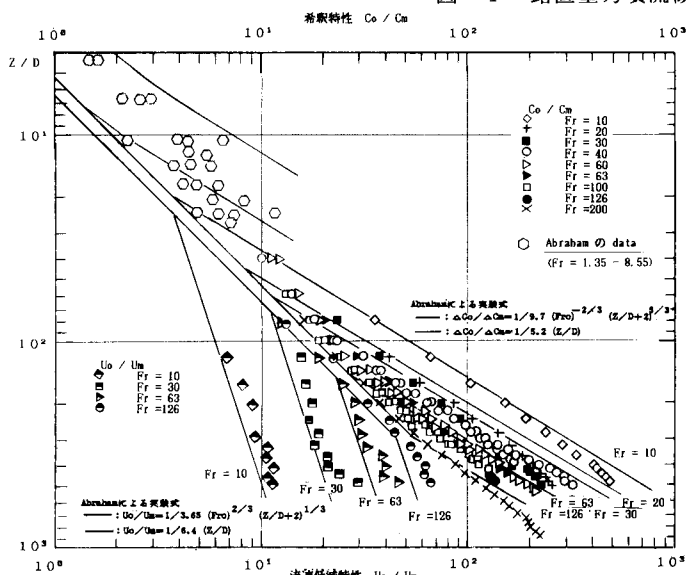


図-2 希釈倍率、及び流速低減特性

2から明らかな様に、今回測定された放出口より十分に離れた領域（ $Z/D \geq 100$ ）においても、Abrahamの実験式はほぼ成り立っていることがわかった。しかしながら、その係数については若干異なった値となり、以下の実験式を得た。

$$\begin{cases} u_o/u_m = \frac{1}{6.3} \left( \frac{Z}{D} \right) \\ u_o/u_m = \frac{1}{3.3} Fr^{2/3} \left( \frac{Z}{D} + 2 \right)^{1/3} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_o/C_m = \frac{1}{4.5} \left( \frac{Z}{D} \right) \\ C_o/C_m = \frac{1}{9.9} Fr^{-2/3} \left( \frac{Z}{D} + 2 \right)^{5/3} \end{cases} \quad (2)$$

図-3, 4に、流速及び濃度の半値半幅  $bu$ ,  $bc$  の流下方向変化を示す。 $Z/D \geq 100$  の領域においても、 $bu$ ,  $bc$  は放出口の内部  $Fr$  数に依存せず、 $Z$  に比例して増加していることがわかった。 $bu$ ,  $bc$  は、以下の様に示すことができる。

$$bu/D = 0.07682 \left( \frac{Z}{D} \right) + 1.97 \quad (3)$$

$$bc/D = 0.10039 \left( \frac{Z}{D} \right) - 0.656 \quad (4)$$

図-5に、流速、濃度の横断分布形の流下方向変化の一例を示す。 $Z/D \geq 120$  の遠い領域においても、分布形はほぼ同一であり、この領域においても相似性の仮定が成り立っていることがわかった。流速、濃度の分布型は、誤差関数を用いると次式の様に表示することができる。

$$u/u_m = \exp(-\ell_{n2}(Y/bu)^2) \quad (5)$$

$$C/C_m = \exp(-\ell_{n2}(Y/bc)^2) \quad (6)$$

最後に、物質の混合・拡散現象を評価する際に重要となる乱流  $Sc$  数 ( $Sc_T$ ) について考察する。乱流  $Sc$  数は、流速と物質の拡散係数の比であり、次式で与えられる。

$$Sc_T = \frac{V_T}{\gamma_c} = \frac{-\bar{u} \bar{v} / \partial u / \partial Z}{-u T / \partial C / \partial Z} \quad (7)$$

ここで、発達領域において流速、濃度分布の相似則を仮定すれば、式(5), (6), (7)より次式が得られる。（例えば、石垣<sup>2)</sup>）

$$Sc_T = (bu/bc)^2 \quad (8)$$

式(8), 及び(3), (4)より、 $Z/D \geq 100$  の範囲における乱流  $Sc$  数として以下の値を得た。

$$Sc_T = 0.60 \quad (9)$$

この値は、石垣<sup>2)</sup>が、 $Z/D \geq 100$  の既存の実験データを整理して得た、0.67とほぼ一致している。

参考文献) 1) G. Abraham; ASCE, HY. DIV., HYb, pp2506~1218, 1960.

2) 石垣 博; 日本機化学会論文集, 48巻, 433号, pp1701~1708, S57.

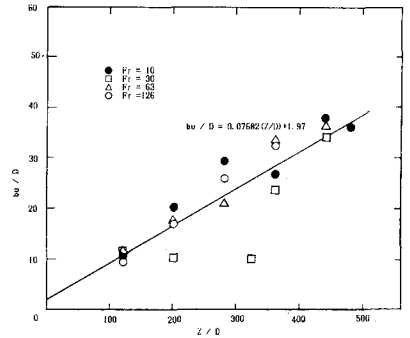


図-3 流速の半値半幅

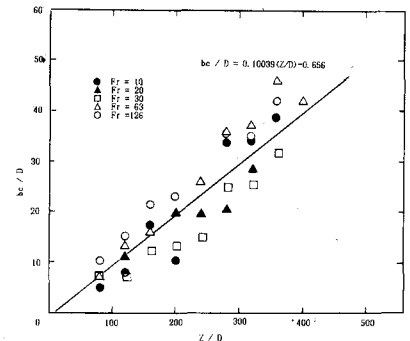


図-4 濃度の半値半幅

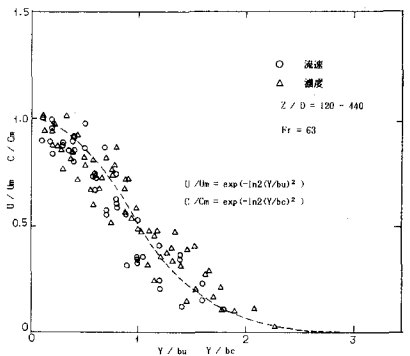


図-5 濃度、流速の分布型