

大阪大学大学院 学生員 広畑 彰一
大阪大学工学部 正 員 中辻 啓二
大阪大学工学部 正 員 村岡 浩爾

1. まえがき ; 三次元水平密度噴流の連行量の算定に際しては、流速ならびに濃度分布形状の相似関数、水平方向拡散幅、上層水深(鉛直方向拡散幅)の評価が支配的な要素となる。相似関数系は多くの実験結果にみられるように Gauss 型分布形状ではほぼ近似できると考えられるが、拡散幅、連行速度に関しては等密度噴流の実験データが適用される程度であり、密度差にもとづく成層効果と結びつけて考察した例は乏しい。そこで、本文においては連行現象を三次元的に把握するために、水表面のフロート追跡ならびに流速・濃度の測定より拡散幅を定義しその流程方向変化を定量的に把握するとともに連行加入量の算定を行つた。実験は前回と同様であり、用いた水理諸元は表-1に示すとおりである。

Run No.	Uo(cm/s)	Ho(cm)	Bo(cm)	$\Delta\rho$ (g/cm ³)	Fio	Reo(10 ³)
7-A	13.207	3.58	2.50	0.0165	1.74	2.77
7-B	25.942	3.65	2.50	0.0161	3.43	5.55
7-C	54.942	3.50	2.50	0.0165	7.19	10.08
8-A	12.918	3.66	2.50	0.0080	2.41	2.82
8-B	26.864	3.52	2.50	0.0080	5.12	5.64
8-C	53.124	3.56	2.50	0.0080	10.06	11.28
9-A	13.133	3.60	2.50	0.0035	3.74	2.79
9-B	26.864	3.52	2.50	0.0035	7.74	5.58
9-C	51.114	3.70	2.50	0.0035	14.36	11.11
10-A	14.29	3.50	2.50	0.0000	=	2.93
10-B	26.15	3.50	2.50	0.0000	=	5.38
10-C	50.06	3.50	2.50	0.0000	=	10.27

表-1 実験諸元

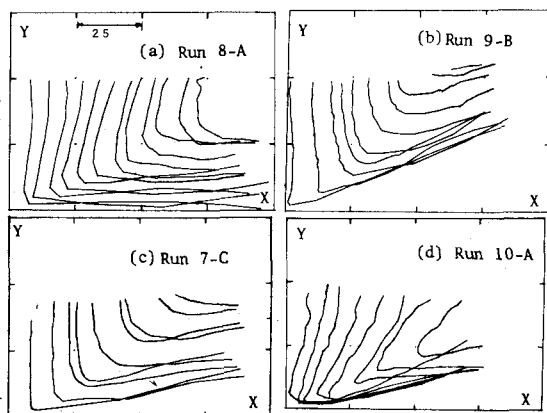


図-1 フロートの流跡線例

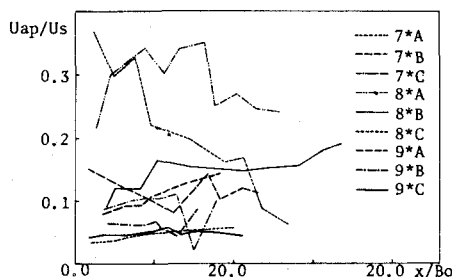


図-2 接近流速

2. 水表面における接近流況について ; 図-1は水表面に浮かべたフロートの接近流跡線の典型例を示したものであり、接近流況の形態はレイノルズ数 Re_o によって三種類に分類することができる。すなわち、(I) 噴流外縁部で流下と逆方向に大きく湾曲して噴流内へ連行される場合、(II) 噴流軸に直交するように接近するが境界で小さく回転しながら巻き込まれるように連行される場合、(III) 噴流軸に直交するように接近してそのまま連行される場合である。 Re_o の増大とともに形態は(I)→(II)→(III)に移行する傾向を持つ。したがって、実現象への相似を考える場合には Re_o による形態が内部フルード数 F_{io} と同様に重要となる。他方、等密度噴流(図4)においては Re_o に関係なくほぼ同一のパターンを呈し、成層化の存在する密度噴流と著しい差異を示している。つぎに、フロートの流速が最小となる点までの平均速度で接近流速 U_{ap} を定義し、噴流軸流速 U_s で無次元化した U_{ap}/U_s の流程方向の変化を図-2に示す。 F_{io} が小さいケース($F_{io} \leq 2.41$)では、流れのパターンが平面的になることから U_{ap}/U_s は大きな値をとるが、密度差 $\Delta\rho$ が小さくなるに従い等密度における Abramovich の測定値 0.295 に近づくようである。また Re_o が大なる程 U_{ap}/U_s は減少する傾向にある。

3. 噴流の拡がり幅について ; 噴流断面での流速・濃度の平均量分布は正規確率紙上に直線と表わされることより、確立領域では水平・鉛直方向共に分布関数系として Gauss 分布を用いることができる。しかしながら、噴流外縁部においては流れの間欠性のために直線からずれる傾向にあり、このことが境界の定義を困難にしているものと考えられる。本文では、水平方向の拡散幅(b)としては U_s の 2% とな

る nominal boundary を U_s の $1/2$ となる点より求めた。また、鉛直方向（ r ）に関しては流速・濃度両者の不連続性を考慮して局所リチャードソン数が急変する水深で定義した。（図-3、図-4）図-3に得られた b の流程方向変化率 db/dx は $0.58 \sim 0.78$ の範囲であり、 Fi_0 が小さい程水平方向より広がる傾向を有し、等密度噴流の 0.22 と比較して3倍に近い。また、フロートの接近流速が最小となる点で拡散幅 b_f を定義した場合においても db/dx はオーダー的に図-3に近い結果を得ている。つぎに、 b の変化は放流口近傍では大きく、また Fi_0 の増加とともに大きくなるが、いずれの値も db/dx の変化と比べれば極めて小さく、 $x/b_0 > 16$ の領域においては db/dx は0か、あるいは負の値を呈する場合も生じ、成層化の効果を示しているものと思われる。

4. 連行加入量について ; 噴流軸直交断面において計測された流速値を3. で定義した拡散幅内で積算することにより断面流量を算定することができる。図-5は放流口流量 Q_0 を無次元表示した流量の流程方向変化であり、形成領域と確立領域とは変化率が異なるが、実験データが乏しいこともあり、 Fi_0 の影響は顕著にはみられないようである。つぎに、流程断面における噴流の流量変化として連行加入量を求めると流速に関する相似関数の導入により次式で算出できる。

$$Q_e = \frac{d}{dx} \iint U dy dz = - \left(\int_0^b w dy + \int_{-r}^0 v dz \right) \\ = w_m b \cdot f(\xi) d\xi + v_s r \cdot g(\zeta) d\zeta$$

ここに、 w_m, v_s は鉛直、水平方向の代表連行速度であり、連行流速の分布関数を U の分布特性より類推して、 $f(\xi) = \exp(-\xi^2)$, $\xi = y/b_e$, $g(\zeta) = \exp(-\zeta^2)$, $\zeta = z/r_e$ とする。また、 w_m は断面での平均リチャードソン数から Ellison-Turner の実験値を用いて求め、（図-6）、 v_s としては図-2の測定値 U_{ap} を使用した。以上を用いて、上式から連行加入量 Q_e を求め Q_0 を無次元表示したものが図-7である。同図においても連行加入量は3ケース共明確な差異は表現されてはいない。また、 $x/b_0 < 20$ の領域では流程方向の変動も小さく、連行加入量は放流口流量の10%にも達している。 Q_0 に Q_e を加算していくと $x/b_0 = 16$ において断面積算流量の4倍以上の値となり、両者のつき合わせは困難である。この原因としては、上式の算定に際し、連行流速に関して数々の仮定を用いたため連行量の信頼性が低下していることが考えられる。その一例としては断面リチャードソン数の増加にもかかわらず、流下に伴う b の増加の結果として $w_m \times b \times f(\xi) d\xi$ の値が増大する傾向があることが上げられる。また、その他に、上式には乱れの影響が全く考慮されていないこと、および、 v_s として接近流速 U_{ap} を用いたこと等が指摘されよう。

本研究に適切な御教示を頂いた大阪大学工学部の室田明・榎本亨両教授に心から謝意を表します。

参考文献 村岡・中辻・広畑；三次元水平密度噴流の連行作用について 51年度 工学会関西年講

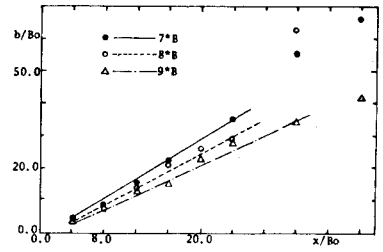


図-3 水平方向拡散係数

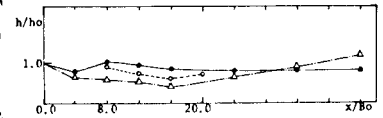


図-4 鉛直方向拡散係数

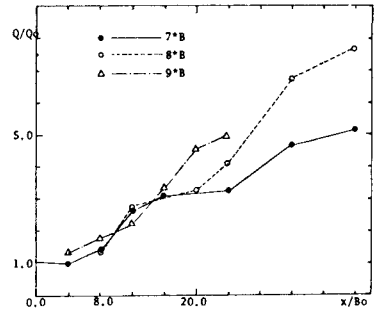


図-5 噴流流量の変化

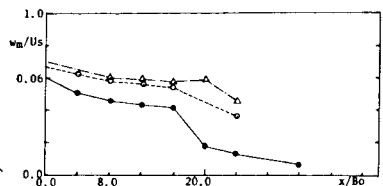


図-6 鉛直方向の代表連行速度

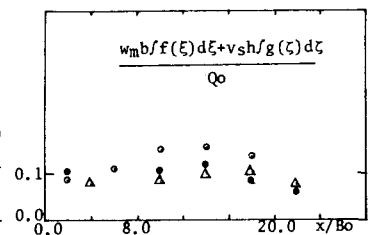


図-7 連行加入量の変化