

三次元水平密度噴流の連行作用について

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

1. まえがき 密度噴流の連行加入量の評価は、従来連行流速を噴流の代表流速に関連させ、流程断面での流速・濃度分布の相似関数を用いてなされることが、その三次元的な解析に関しては二次元噴流あるいは等密度噴流の実験成果が適用され、連行の流況、水平・鉛直方向の拡がりの相異、およびそれらに関する各種パラメーターの役割等は十分に考察されたとは言い難い。本文では連行加入現象の三次元的特性、特に拡散中の流程方向変化について実験を行い、その報告する。

2. 実験諸元 実験は縦12m×横6mの水槽に水深55cmを所定濃度の塩水を貯留し、放水口模型より淡水を流入する。流速・濃度の測定にはそれぞれHot-Film流速計ならびに電気伝導度計を用いて同時計測を行い、また水表面の流水の挙動に関しては水槽上約3mに設置した16mm高速度カメラによるフロート（径0.5cm 発泡スチロール）の追跡を行い、その実験に使用した水理諸量は表-1のとおりである。

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

表-1 実験水理諸量

3. 水表面における接近流況 図-1はフィルム上のフロートを1秒間隔でグラフペンで追跡しX-Yプロッターによる図示した流跡線の一例であり、噴流外縁部の塩水が境界域を通り、噴流内へ連行される様相を示す。同図より接近流況の形態はレイノルズ数 Re_o により、三種類に分けられるようである。すなわち、(I)外縁部を流下と反対方向に大きくわん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な回転を示し、一度上流側へ移動して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そのまま連行される場合、 $Re_o \approx 2.8 \times 10^3$ のケースにおいて(II)の傾向を示し、 $Re_o \approx 11.0 \times 10^3$ で(III)、およびその中間のレイノルズ数では(II)となる。レイノルズ数の影響が顕著であることから、接近流況に對しては噴流の乱れ、特にその境界域における乱れが重要な役割をなしていると考えられる。これを水表面の噴流境界に働く力としてみれば、レイノルズ応力の発達による二次流の変遷としてとらえられよう。

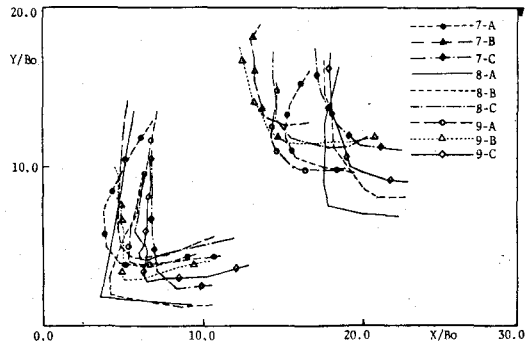


図-1 フロートの流跡線図

4. 流速・濃度の水深方向の分布特性

図-2に流速・濃度の平均量・乱れ強さ・乱れのSkewness・Kurtosisおよび局所リチャードソン数の水深方向分布の一例を示す。平均流速に比べ平均濃度の水深方向の減衰は緩かど、濃度変動が流れにより引き起こされる受動的な現象でありながら拡がり範囲は流速よりも大きい。次に流速・濃度の平均量をもちいて局所リチャードソン数を求めると、オーダー的に急変する水深が生じる。これは流速の相対乱れ強さが増大する水深にほぼ一致し流速・濃度の不連続性の考慮より上下層の境界とみなせる。同時にこの水深においては乱れのKurtosisの急増大も認められ、境界域における乱れの構造的な変化の一端がうかがわれるが、Skewnessの水深方向の変化は流速・濃度共に僅かど、2.0以下のケースが大部分である。

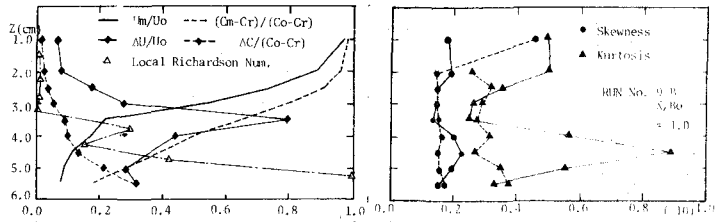


図-2 流速・濃度の水深方向変化の一例

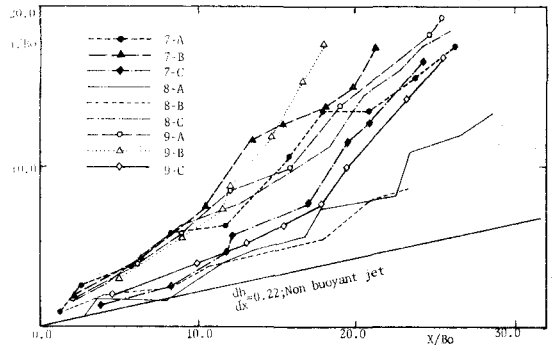


図-3 水表面拡散中の流れ変化

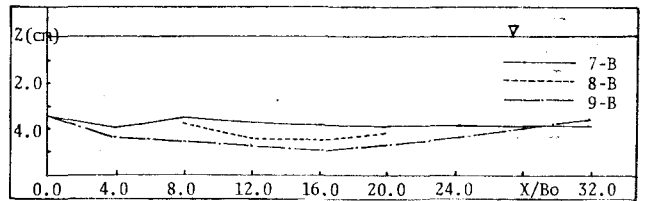


図-4 鉛直拡散中の流れ変化

5. 密度噴流の拡散中について

フロートの接近流速が最小となる点で水表面の拡散中bを定義し、図-3に示す。一般に境界近傍では明確な主流が消失し、流れが間欠的になるため計測の誤差が大きく、本実験においても測定値にバラツキがみられる。同図に得られ下流方向の拡散中の変化 dh/dx は0.3-0.8であり、等密度噴流の実験結果と比べていずれも大きく、密度差の効果が観察される。一才、局所リチャードソン数の急変水深を定義した鉛直方向の拡散中hの変化を図示したものが図-4である。hは放流口の近傍を増加し、その値は密度差により異なり、内部フルード数の増加と共に小さくなる。流速・濃度の測定ケースが少ないため、数値的な取り扱いは避けるが、 dh/dx は最大でも 10^{-2} のオーダーであり、水表面の拡散中変化と比べると極めて微小である。また、 $X/Bo > 16$ の領域においてはhはほぼ一定か、あるいは逆勾配となる。このことから鉛直方向の拡散は放流直後の混合に負うところが大きく、流下に伴う放流水の乱れの減衰と共に成層化する傾向に行なわれるものと思われる。

なお、本研究に適切な教示を頂いた室田明・榎本亨両教授に心から謝意を表す。

参考文献；村岡・中江「三次元水平密度噴流の水質混合について」20回水講，1976