

II-215 二次元表層密度噴流の実験に関する二・三の問題点について

大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
大阪大学工学部 正員 室田 明
大阪大学大学院 学生員 藪内 生死

1. まえがき ; 表層密度噴流は周囲流塊の噴流への連行加入がみられる不可逆的な現象であり、二次元有限水路において定常実験を行なうことは不可能に近い。所与の実験条件を定常に保つためには、連行加入量に見合う塩水を下層へ補給するとか、下流端堰高を調整するとかの人為的操作が是非共必要になる。このために、流動形態、乱れ特性が変形を受けることは避け難く、流動場の十分な吟味と理解が必須となろう。本報告では表層密度噴流の実験に関する問題点を指摘するとともに、流動形態の受ける影響度についても考察する。

2. 実験内容 ; 実験は長さ6.0m、幅0.15m、高さ0.5mの両側面アクリル製水路を用い、所定濃度の塩水を貯留した後に、淡水を表層放流すると同時に下層へ塩水を微調整しながら補給して水質連行を伴う密度噴流を発生させた。放流口水深を2cmに固定し所与の流速を得るためには、下層からの塩水供給量ならびに下流端堰高を試行錯誤的に調整して定常な表層密度噴流を維持する必要がある。塩水の補給のない場合には、下層塩水の表層淡水噴流への一時的な連行加入のため成層界面は時々刻々低下し、内部跳水の発生位置が放流口に近づくため流動形態が異なることがしばしば観察される。水理条件は表1のようである。

3. 表層密度噴流の確認 ; 連行係数の算出で高名なEllison-Turnerの実験が果たして噴流であったのか否かの疑問が近年Chu等によっても呈せられており、密度流の形態分類が自由表面を有する場合に特に重要となる。図1は開水路流れの形態分類に倣い成層水深比と密度フルード数との関係を示したものである。下層への塩水供給がない実験(1979)では低流速の実験を除いて内部跳水を生起していたのが、今回のケースでは塩水供給により密度噴流の範疇に属するのが明瞭にわかる。

図2は可視観測に基づく成層界面の流程方向変化を示したものである。慣性力の卓越する放流口近傍では成層界面は直線的に増大するが、流下とともに浮力による成層安定効果が働いてその勾配は徐々に緩やかになる。等密度噴流の場合にはその拡がりはレイノルズ数にかかわらずほぼ一定となるのに対し、密度噴流の場合にはレイノルズ数が小さい程、また密度フルード数が大きい程、下層への拡がりが増大される。つまり、連行加入による混合層の拡がりが増大する。図3の表層での平均流速・密度の流程方向減衰特性においても同様の傾向が観察される。とくに、同図に併記した等密度噴流の $-1/2$ 乗則に従った減衰と比較して、密度噴流では流速、密度ともに緩勾配を呈することになる。また、密度の減衰曲線はRun 210、

RUN	U_{∞}	H_0	ϵ	Q_F	Q_S	Δh	u_*	δ	Re_{δ}
300	27.5	1.82	0.000	20	48	-0.3	0.92	0.378	1142
305	27.4	1.76	0.005	53	38	-1.1	1.06	0.248	743
310	29.5	1.66	0.010	49	38	-1.1	1.06	0.220	706
200	18.1	1.95	0.000	18	32	+0.2	0.64	0.407	809
205	20.0	1.92	0.005	28	30	-0.2	1.06	0.231	503
210	19.0	1.98	0.010	30	30	-0.2	0.83	0.272	564
100	10.0	1.92	0.000	16	20	+0.5	0.54	0.335	368
105	10.5	1.96	0.005	20	18	+0.6	0.55	0.301	347
110	10.3	1.96	0.010	20	18	+0.6	0.71	0.209	236
cm/sec		cm		l/min		cm	cm/sec	cm	

表1 水理条件

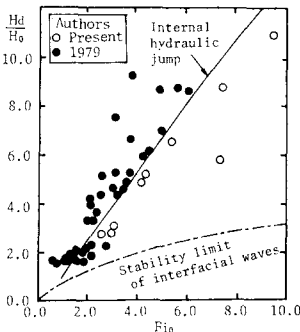


図1 形態分類

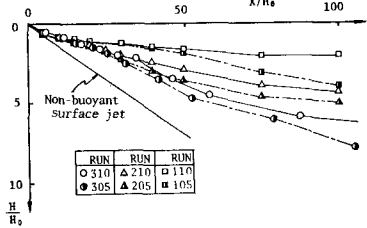


図2 成層界面の流程方向変化

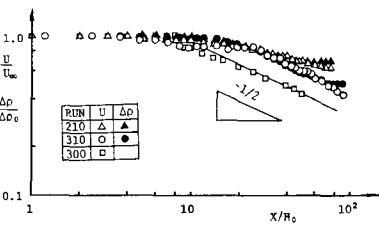


図3 流速・密度の流程方向変化

310においてそれぞれ $x/H_0 = 50, 70$ 付近で横ばいになり、下層からの塩水の連行加入は減少している。

換言すれば、成層化し始めていることを示している。

このような浮力効果の働く断面においても平均流速、

平均密度の鉛直方向分布は図4に示されるように自己保存性が保たれ相似分布となるのは興味深い。図

5は今回の塩水供給量の妥当性を検証するために、

Ellison-Turner, 林およびKohの提案した実験式

を用いて流速、密度の流程方向分布から求めた総連

行加入量と塩水供給量との比較を示したものである。同図より塩水量供給過多の傾向もあるが、総連行加入量と

見合うほぼ妥当な塩水供給量であることを示している。¹⁾

以上の結果から、今回の実験において表層密度噴流の発生が確認されると同時に、有限な水路で定常な表層密

度噴流を発生させるためには表1に示したように表層放流量と同程度の塩水供給量を必要とすることが、認識さ

れる。とくに、今回の実験においては放流口水深を固定したために塩水供給に併せて下流端堰高の大幅な調整が

必要となった。平均量特性を合わせるための人為的な操作が、噴流の発達過程に微妙な影響を与えることは十

分に予想されることであり、噴流の実験を遂行するにあたって周到な検討が必要となろう。

4. 放流口における流速分布特性；噴流の混合層の発達には組織立った大

規模渦動の発達・合体過程が深く関与し、この大規模渦動の発生は放流水路に

おける境界層の特性によって規定される。表1に実測により得られた放流口で

の平均流速分布を用いて求めた境界層諸量を示してある。図6は、 U_0 が約30

cm/secの分布の一例である。Run 300の場合は、密度噴流よりも壁面付近の流速

の減少が大きく、排除厚・運動量厚ともに大きくなり層流的である。また、図

7は、平均流速の対数分布 ($\Delta\eta = 0.005$ の場合) であり、十分に発達した乱

流境界層において成立つ Nikuradse の対数則との比較を行なっている。Run

205, 105においてはほぼ Nikuradse の結果が成立して乱流境界層を示すの

に対し、比較的レイノルズ数の大きい Run 305 の場合は層流的な境界層である

と考えられる。放流口の平均量で定義されたレイノルズ数がほぼ同一の場合に

おいても、また限界レイノルズ数を越えているにもかかわらずこのような層流

的あるいは乱流的流速分布が現われるのは、前節で示したような下流端堰高な

らびに下層からの供給量の人為的な操作が顕著な影響を及ぼしているものと考え

られる。つまり、下層への塩水供給の結果下流側水面が上昇し、放流口での

圧力勾配が0でなく $dp/dx > 0$ となっている結果生じたものと思われる。圧力

勾配の影響も含めて論じられた Schlichting の教科書にみられる安定限界の図によると、排除厚 δ を用いて定

義されたレイノルズ数 Re_δ が大きくなるにつれて、層流→乱流→層流という遷移を示し、その際圧力勾配の違い

によってそれらの遷移点は異なる。今回の実験は、速度分布の形状因子 Δ が -5 の場合に相当しており、下層へ

の過剰供給が流程方向に圧力増大をもたらしたものと考えられる。以上のように、自由水面を有する表層密度噴

流では放流口近傍での流程方向圧力勾配の急変等特有な現象を呈し、それが境界層諸量、ひいては混合層の発達

段階で観られる大規模渦動の特性に影響を及ぼすことが予想される。これらの境界層諸量が流程方向のどの範囲

まで影響を持続し得るかは噴流の広がり・連行過程を考えるうえで興味深いことである。

参考文献 1) 室田・中辻・藪内；昭和56年度 関西支部年次学術講演会概要集，1981。

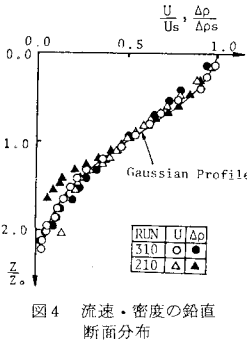


図4 流速・密度の鉛直断面分布

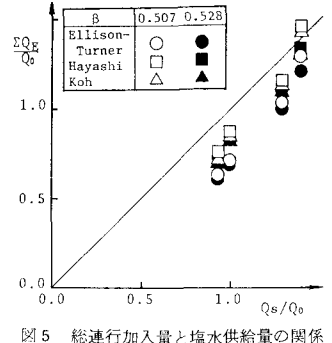


図5 総連行加入量と塩水供給量の関係

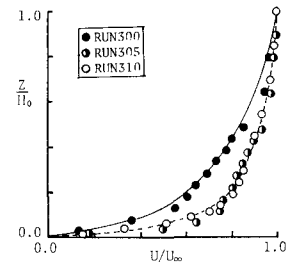


図6 放流口での流速分布

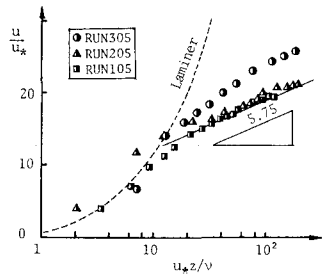


図7 放流口での流速分布