

二次元表層密度噴流の連行量に関する一考察

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

1. まえがき；著者等は23回水講において有限な二次元水路での表層密度噴流の実験の困難さを指摘した。つまり、表層噴流への下層塩水の一方向的連行加入のために成層界面が時々刻々低下し定常状態を保ち得ないこと、内部跳水の発生ならびに移動により流動形態が変わってしまうことの二点である。それゆえに、連行加入量に見合う塩水量の補給等の人為的操作が必要となり、実験技巧としてしばしば用いられる。本報告では、既存の実験式を用いて連行加入量の推算を行ない今回採用した塩水補給量の妥当性を検討するとともに、人為的操作の必要性を強調する。

2. 実験装置および実験内容；実験には、長さ6m、幅0.15m、高さ0.5mの両側面アクリル製水路を用い、放流口水深2cmで淡水を表層放流すると同時に、下層から塩水を調整しながら補給し、水質連行を伴う密度噴流を発生させた。実験ケースおよび水理条件は表1に示すが、淡水放流量 Q_0 ・塩水補給量 Q_s ともに、水槽容量に比較して非常に大きいのが特徴である。流速ならびに密度の測定は、一方向熱線流速計および電導度計を用いて水表面下0.5cmの位置で流程方向に約150cmまで行なった。

表1 水理条件

RUN	U_{∞}	H_0	$\Delta\rho_0$	Q_s	Q_0	h	Fi_0	Re_0
205	19.7	1.83	0.005	28	30	-0.2	6.58	2600
210	21.3	1.90	0.010	30	30	-0.2	4.94	4300
304	27.9	1.74	0.004	53	38	-1.1	10.68	3300
310	30.5	1.70	0.010	49	38	-1.1	7.48	5500
	cm/sec	cm	gr/cm ³	ℓ/min	cm			

3. 流速および密度の流程方向特性；再現された密度噴流の流程方向の特性を把握するために、流速および密度の平均量について考察する。図1は、表層での流速および密度の遞減曲線を示す。密度差のある場合は、成層効果により混合層の拡がりや抑制される結果、流速の遞減は小さくなる。図中には、一般に知られている $-1/2$ 乗則に従っている等密度($\Delta\rho_0=30\text{‰}$)での実験値を併記したが、その差異は明瞭である。密度差の遞減は流速のそれとほぼ同じ傾向で減衰していく。しかし、 $X/H_0 \approx 55, 70$ 付近でRUN 210, 310ともに遞減は緩やかになり、下層からの連行はほとんど終了していると考えられる。実計測と併用して行なった可視観測による噴流界面の拡がりにおいても同様の傾向があり、初期密度フルード数 F_r が小さいほど噴流界面の拡がりや減少し連行加入も少ないと予想される。図2は、Run310の鉛直断面流速分布を示す。放流口では、ほぼ矩形分布であるが、剪

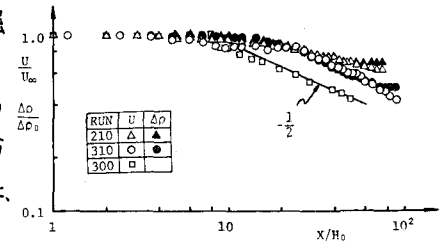


図1 流速および密度の遞減

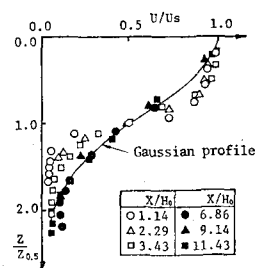


図2 流速の鉛直断面分布 (RUN310)

断効果を受けて徐々に滑らかになり、確立領域に到ってガウス分布に漸近するよく知られた分布形になる。密度分布も同じ傾向の変化を示し、確立領域では同様のガウス分布にしたがう。

4. 連行量に関する一考察；連行係数についての実験式の提案は数々の研究者によ、てなされているが、総じて噴流の形態であったか、また、定常状態を保ち得たかという点に疑問がある。しかしながら、これらの実験式に頼らざるを得ないのが現状である。本報では、連行量の算定にあたって Ellison-Turner (1959), 林・有田 (1975) および Koh (1971) の連行加入に関する実験公式を採用した。実験式に含まれる断面平均リチャードソン数 Ri は、本来断面平均流速 $\bar{u}$, 断面平均密度差 $\Delta\rho$ を用いて定義されるが、測定は、表層流速 u_s , 表層での密度差 $\Delta\rho_s$ に関して行なっているので、 $\bar{u} = \alpha u_s$, $\Delta\rho = \beta \Delta\rho_s$ と補正することにより、 $Ri = (\beta/\alpha^2) \cdot (\Delta\rho_s g h / \rho_s u_s^2)$ と定義される。ここに α, β は分布形より決定される形状係数と言えるものであり、精度よく求めることが重要となる。確立領域では相似分布に従う流速および密度分布を積分し、断面平均することにより α, β の値を求めた。密度分布には、ガウス分布近似および直線分布近似を採用し、それぞれ $\beta = 0.507, 0.528$ を得た。形成・遷移領域では、実験の分布形から α, β を決定せざるを得ない。以上より流速・密度ならびに噴流水深を用いて連行加入量を算出した。

図3は、累加連行加入量の流程方向変化を示す。流下距離の増加とともに累加連行加入量の増加率は減少し、最終的には、横ばいになる。これは、剪断効果が卓越している形成・遷移領域において連行加入が多く、成層化とともに連行が減少し、やがては終了することを示している。図4は、 Ri 数と総連行加入量との関係を示し、塩水補給量を決定する際の目安を与えるものと考えられる。 Ri 数が増すとともに総連行量も増大する傾向にある。図5は、補給塩水量と総連行加入量との関係を示す。本実験において噴流の定常性が維持されたことを考慮すると、林・Koh の式を用いた推算から、塩水補給量は連行加入量と釣り合っていると判定できる。Ellison-Turner の式によると、過少に見積られるが、逆に塩水補給のない彼らの実験における内部跳水の発生の可能性を示唆できよう。

以上の推算から、一見供給過多に思われた塩水補給量も妥当な結果を示すと判断できる。表層密度噴流の再現のためには、これほどの大量な塩水補給量を必要とすることを示していると言える。したがって、表層密度噴流の実験には、下流端堰高の調整も含め供給量の綿密な人為的操作が不可欠であると結論できよう。

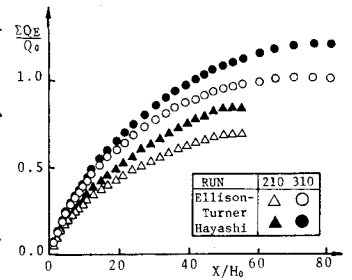


図3 累加連行加入量

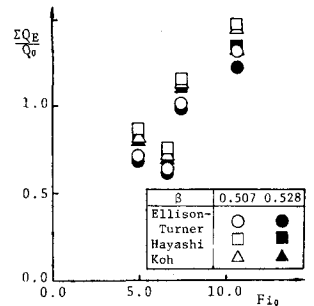


図4 初期密度フルード数と総連行加入量

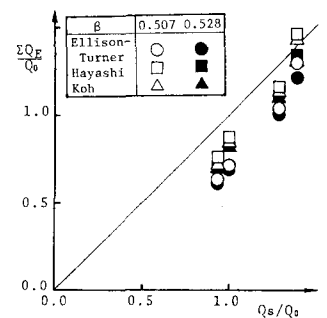


図5 補給塩水量と総連行加入量