

大 工 学 部 正 員 橋 東 一 郎

" " " 小 松 利 光

" " " 柴 田 敏 彦

" 大 学 院 学 生 員 〇 神 谷 誠 一 郎

I. 緒 言

一様等方性乱流に關しては数多くの研究があるが、実際に我々が出会う現象は、温度や濃度による密度勾配を持つより複雑な流れである。その勾配は乱流構造に大きな変化をきたらし、そのらの機構の解明は、種々の混合現象把握の基礎を成すものである。

今回、2方向ホットフィルム及び塩分濃度計を用いて、流れ方向、鉛直方向流速と濃度変動の同時測定を行い、乱流特性量に關する若干の知識を得た。その結果、密度流における乱流場の構造や拡散過程がかなり明らかにになったのでここに報告する。

II. 実験概要とデータの解析

実験は右図水路を用い、静止塩水上を水平に淡水が噴出する二次元密度噴流モデルで行った。測定は、噴出口端から5, 10, 15, 30, 60 cmの各断面で、各々9〜5点と測定とし、統計処理に際しては、サンプリング間隔を $\Delta t = 1/150$ 秒とし、各測点27.3秒(データ個数 $N = 4096$ 個)のデータを用いた。なお、測定用プローブの先端は、ホットフィルムセンサーと塩分濃度計の中心間隔は約3 mmで、ほぼ同一点と見なされる。

実験条件

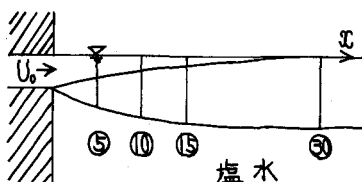
密度差 $\epsilon = 0.004$ 噴出口幅 $b = 8$ cm淡水初期流速 $U_0 = 10.0$ cm/sec内部フルード数 $Fi = \frac{U_0}{\sqrt{g\epsilon b}} = 3.57$ 淡水温 10.8°C 、塩水温 10.5°C 

Fig-1

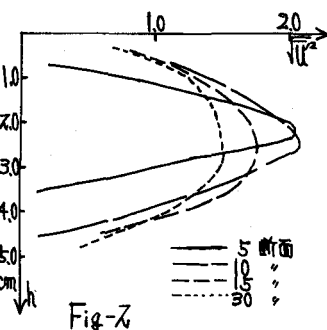


Fig-2

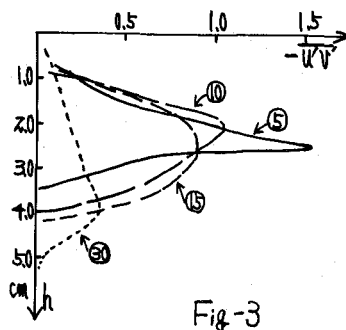


Fig-3

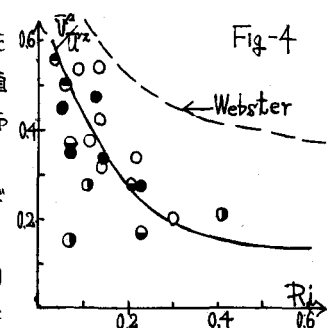


Fig-4

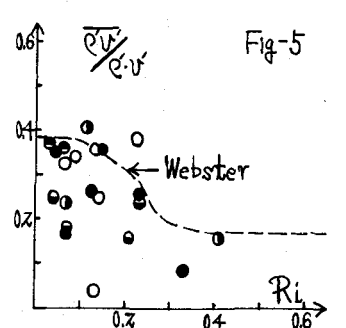


Fig-5

III. 流れによる諸量の推移

図-2, 3に見られる通り、塩水面とのせん断応力による乱れの発生及び、その減衰と一致が、予想される乱流場に矛盾なく描かれている。鉛直方向乱れ強度 $\sqrt{w'^2}$ 、濃度変動 $\sqrt{c'^2}$ 、乱れ拡散量 $-\overline{w'c'}$ 、 $-\overline{w'v'}$ も同様の形状を示す。また、レイノルズ応力ピーク値を持つ点は、各断面其の平均流速分布の最大勾配地点とよく一致する。

IV. 乱れ諸量及び拡散量とリチャードソン数について

成層流の安定度に関する無次元量リチャードソン数 $Ri = \frac{g\epsilon}{N^2 L} = \frac{g\epsilon}{\rho \overline{u'^2} / \rho}$ に

対しての流し方向乱れと鉛直方向乱れとの比を図-4に示す。(図中実線は我々のデータの傾向線と以下同様) 図より明らかに、 Ri の増加に伴って v'/U が減少、つまり流し方向乱れに對し、鉛直方向乱れが抑えられ、非等方

性が顕著になる。図-5には鉛直方向の拡散量 $\overline{P'v}$ と R_i との関係を示すが、 $\overline{w'w'}$ が抑えられるのに相関して拡散量も減少する。また流水方向と鉛直方向の拡散が同程度である輸送構造が、流水方向拡散に片立った構造に移行する様子が図-6によく示されている。

V. 渦動粘性係数 K_H と渦動拡散係数 K_M の R_i に対する変化

図-7によれば、渦動拡散係数 K_M ($-\overline{w'v} = K_M d\bar{u}/dy$) は、 R_i とかなり一義的な関係を示し、 R_i による関数化も可能な様に見える。一方、渦動粘性係数 K_H ($-\overline{w'w} = K_H d\bar{u}/dy$) は、 R_i による一定の減少傾向は示すものの、かなりばらつきが見られ(図-8)、その減少も K_M に比して緩慢である。よって R_i 以外の規定量の導入も考えねばならない様だ。また、 K_H/K_M の変化も図-9に示す。

VI. 乱流場モデルと拡散過程

以上のことから判明した乱流場として、リチャードソン数 R_i の増加(成層の安定化)に伴って、鉛直方向の乱れが抑えられる平らな非等方性乱流場となる。従って鉛直方向拡散も抑えられる、流水方向の拡散に大きく依存する拡散構造となる。各図中に示す流れに対するWebster (1964)の結果との比較では、いずれも我々の結果の方が急激な減少を示している。これは、本表面の存在で鉛直方向の運動が全体的に抑えられる為と、乱水の未発達段階によると思われる。

VII. Ellisonの破壊時間について

EllisonはN-S方程式、連続の式、熱伝導の方程式から、 $\overline{P'v}$ 、 $\overline{q'v}$ 、 $\overline{P'v}$ に對し、その破壊時間 T_1 、 T_2 、 T_3 を導入することによって以下の式を示した。

$$\frac{1}{N} \left(\frac{\overline{P'v}}{2} \right) + \overline{P'v} \frac{d\overline{P}}{dy} = 0, \quad \frac{1}{N} \left(\frac{\overline{q'v}}{2} \right) + \overline{w'w} \frac{dU}{dy} + \frac{3}{P} \overline{P'v} = 0, \quad \frac{1}{N} (\overline{P'v}) + \overline{v'v} \frac{d\overline{P}}{dy} + \frac{3}{P} \overline{P'v} = 0$$

この為に従って求めた T_2/T_3 を図-10に示す。その結果、Ellisonの予想した様に、 R_i に關係なく、ほぼ $T_2/T_3 \approx 1$ を示している。(Websterの結果は、 R_i に依存し、 $R_i = 0.2$ で $T_2/T_3 \approx 0.45$)つまり密度変動と乱水エネルギーは、ほぼ同じプロセスで破壊されると考えられる。

またEllisonは $K_H/K_M = 0$ となるflux formのRichardson数 R_i の限界値として $R_{lim} = 0.15$ を導いたが、我々の実験では R_{lim} を決定するには多少データが少い様である。(図-11)

VIII. 最後に

その他、相関やスベクトル解析を行ったので講演時に持参したい。なお、実験に際し、学部生佐々郁至二君に多大な協力を頂いた。謝意を表する。

