

九州大学工学部 学生員 〇仲敷 寛和
正員 小松 利光
〃 〃 松永 信博
学生員 細山田 得三

1 まえがき

密度二成層流体での界面における連行機構を解明する1つの基礎的アプローチとして、振動格子によって生じる乱れと連行量との関係が数多く研究されている。特に浦ら¹⁾は、均一流体中での流速変動を測定し、その結果を二成層場に導入することにより連行量を定量化している。しかしながら、密度躍層の存在によって均一流体場の乱れ特性が変形を受けることが予想されることから、本研究では密度界面の位置を定常に保つことにより、二成層流体場における流速変動、及び濃度変動を測定し、密度躍層が乱れに及ぼす効果について調べた。

2 実験装置および実験方法

実験水槽は、長さ100cm、深さ40cm、幅25cmで全面透明なアクリル板で作られている。底から8cmの位置に水平に格子を設置し、それを上下に振動させることにより乱れを発生させた。格子は角柱正方形格子で、格子の幅は1cm、格子のメッシュ(M)は5.0cmである。格子により生じた流速変動は、2方向V型ホットフィルム流速計を台車にとりつけ、一定速度($U_c = 8.34 \text{ cm/s}$)で走行させることにより測定された。装置に関する詳細は、文献²⁾を参照したい。便宜上、台車走行方向にx軸を、格子振動中心より鉛直上向きをz軸をとる。作業流体として、上層流体に淡水、下層流体に塩水を用い、淡水の二成層場を形成し下層流体を振動させている。実験条件としては、格子の振幅($S_0 = 4.0 \text{ cm}$)を固定し、振動数(f_0)、上下層の密度(ρ_1, ρ_2)、及び格子振動中心より界面までの距離(D_0)を変化させた。この場合、上下層にそれぞれ初期密度の淡水と供給し、実験加えた流量と下層から排水する工夫を施し、界面を通じて下層流体が上層流体と連行するために生じる躍層の上昇を抑え、界面の位置を一定に保った。濃度計を2方向ホットフィルム流速計にとりつけることにより、下層流体と躍層内の流速変動と濃度変動を測定した。測定は各断面において5回ずつ行ない、変動の統計量を5回の平均で表わした。次に、濃度計と内部波高計を台車にとりつけ、台車を一定速度(8.34 cm/s)で走行させることにより、下層流体及び躍層内での濃度変動と界面変動の同時測定を行なった。統計量は同様に各断面5回の平均を用いた。さらに内部波高計を定点に固定し、界面変動の時系列を測定した。主な実験条件は、表-1に示す。

表-1 実験条件

Run	序回	$S_0(\text{cm})$	$f_0(\text{Hz})$	$D_0(\text{cm})$	$\sigma = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}$	$R_i(\text{overall})$
1		4.0	2.0	7.3	0.0418	11.308
2		4.0	2.0	10.6	0.0415	13.428
3		4.0	2.0	13.3	0.0285	10.270
4		4.0	4.0	10.75	0.0236	0.9712
5	密度二成層場	4.0	4.0	14.31	0.0270	1.479
6		4.0	4.0	13.80	0.0136	0.7185
7		4.0	4.0	16.36	0.0150	1.054
8		4.0	4.0	12.95	0.0182	0.9516

$$R_i(\text{overall}) \equiv \frac{\varepsilon_0(D_0 + D_s)}{(f_0 S_0)^2}$$

D_s : 水槽底面より格子振動中心までの距離

3 実験結果ならびに考察

図-1は、二成層流体中における乱れ強度 u' , w' の鉛直分布を示したものである。図中の斜線は躍層の範囲を、実線は、均一流体中における乱れ強度の分布を示している。なお、今回スッチクラウシステムに改良を加えたため、再測定を行ない、均一流体中での乱れ強度分布として $u', w' / f_0 S_0 = 0.136 (Z/M)^{-1}$ を得た。密度界面より十分離れた所での乱れ強度分布は、均一流体中の減衰則にほぼ従うが、躍層内では急激に減衰している。これは、渦の持つ運動量が浮力効果によって抑えられたためと考えられる。躍層内でも均一流体と同様、 u' と w' との間に顕著な差異は見られない。図-2は、積分長さスケール l_x と l_z の鉛直分布を

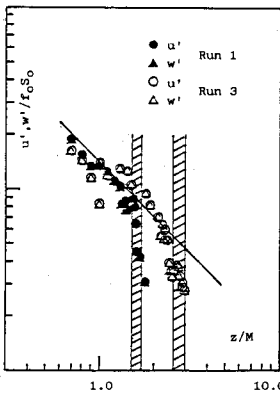


図-1 乱れ強度の分布

示したものである。 L_x と L_z は、それぞれ x 方向と z 方向の変動速度の自己相関関数から積分時間スケールを求め、それに台車速度 U_c を掛けたものである。界面より十分に離れた所では、 L_x と L_z はともに z に比例して増加するという均一流体場での特性とほぼ同じ傾向が見られるが、界面に近づくにつれて L_x は急激に増大し、 L_z は減少する。これは密度躍層がある種の壁面的な役割を果たし、渦が扁平化するためであると考えられる。図-3は、 x 方向と z 方向の変動流速の自己相関関数から卓越周期を読みとり、それぞれに台車速度を掛けることによって求めた大規模スケール L_x と L_z の鉛直分布を示したものである。格子近傍では、 L_x と L_z はメッシュのスケールを持ち、かなりのばらつきがあるが、 z とともに増大する傾向がある。しかしながら、積分スケールと同様、界面に近づくにつれて L_x は急激に大きくなり L_z は減少する。このように、大規模スケールの渦から積分スケール程度の渦まで密度躍層の存在の影響を受け変形することになる。

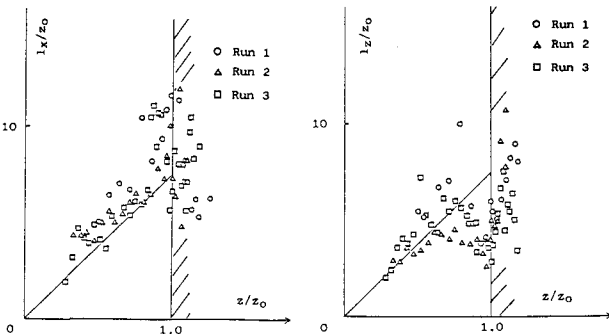


図-2 積分スケールの分布

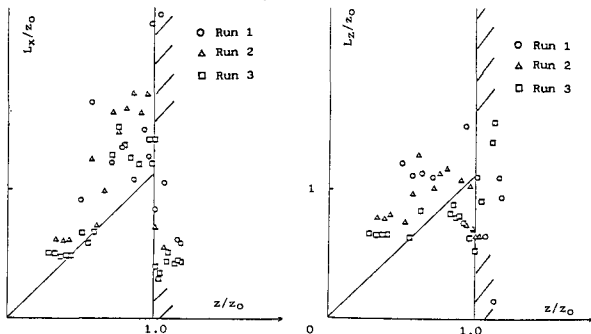


図-3 大規模スケールの分布

また躍層内では、図-1に示すように、変動速度が急激に減衰するため、スケールの評価として濃度変動のスケールを用いた。図-4は、濃度変動の積分スケール l_d の躍層内での鉛直分布を示す。二重に、 δ は躍層の厚さであり、 l_d は濃度変動の自己相関関数より積分時間スケールを求め、それに台車速度を掛けたものである。 l_d は、躍層

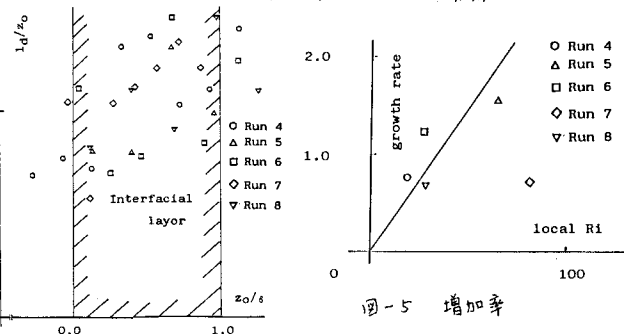


図-4 躍層内のスケール

下面では変動流速の積分スケール L_x とほぼ一致している。そこで、躍層内における濃度積分スケールの増加率の局所Richardson数に対する依存性を示したものが図-5である。 l_d の増加率は、局所 Ri 数に比例して増大していることがわかる。これは、界面での密度効果が卓越するにつれて、躍層内での乱れの変形が大々なることを示している。最後に、図-6に固定点における濃度変動の時系列データより求めた周期の鉛直分布の一例を示す。濃度変動の周期は、躍層上面では界面変動の周期と一致しており、躍層下部へ行くに従い周期は増大している。従って、濃度変動は躍層上部では界面変動の影響を強く受け、界面変動と同程度の頻度で起きているが、躍層下部へ行くに従い頻度が低下することになる。

図-5 増加率

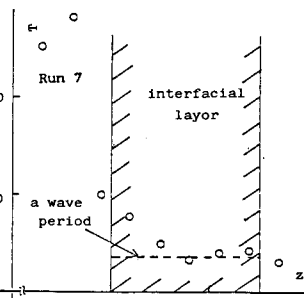


図-6 濃度変動の周期

(参考文献)

浦 勝・小松 利光・松永 信博：振動格子の乱れによる密度界面の変動特性と連行現象，工学会論文集-II 第345号，pp. 91～99