

密度躍層における乱流構造

九州大学工学部 正員 〇松永 信博

九州大学工学部 正員 橋 東一郎

九州大学工学部 正員 小松 利光

九州大学工学部 学生員 仲敷 嵩和

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ための一つの基礎的アプローチとして、振動格子によって生ずる乱れと連行量との関係が数多く研究されている。特に、浦らは同一流体中での流速変動を測定し、その結果を二層場を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り、同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位置を定常状態に保つことにより二成層流体における流速変動を測定し、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る。格子は向柱正方形格子で格子の幅は1cm、格子のメッシュMは5.0cmであった。格子によって生じた流速変動は、2方向ホット・フィルム流速計を台車に取り付け、一定速度で走行させることにより測定された。台車速度は0.24cm/sであった。装置に関する詳記は、文献を参照されたい。ここで、便宜上台車走行方向にx軸を、格子振動中ばから鉛直上向きにz軸をとることにする。今回は、格子振動のゆらぎを少くするため、スウィッチングシステムに改良を加えたので、振動数が2.0Hzと4.0Hz、振動幅 S_0 が4.0cmの条件で、改めて同一流体中での流速変動を測定した。次に、淡水の二成層場を形成し下層流体(塩水層)を振動させる実験を行った。この場合、上下層にそれぞれ初期密度の淡水を一樣に供給し、実質加之に流量と下層から排水するといった工夫を施し、界面を通過して下層流体が上層流体を連行するために生ずる躍層の上昇を抑え、界面位置を定常に保った。濃度計を2方向ホット・フィルム流速計に取り付けることにより、下層流体と躍層内の流速変動と密度変動を測定した。測定は、各断面において5回ずつ行い、変動の統計量を5回の平均で表した。界面には、2つの内部波高計を設置し、界面変動の定点測定を行った。波高計の間隔は1.6cmから下層水深の約2倍程度まで変化させた。主な実験条件を表-1に示す。

表-1 実験条件

Run	作流機 (倍)	D_0 (cm)	C_0 (lit)	D_1 (cm)	$\alpha = \frac{D_1 - D_0}{D_0}$	R_1 (g/cm ³)
1	同一流体	4.0	2.0			
2	(倍)	4.0	4.0			
3	淡水	4.0	2.0	7.3	0.04193	11.308
4	二成層場	4.0	2.0	10.8	0.04147	13.428
5		4.0	2.0	13.3	0.02850	10.270

 D_0 = 水槽底面より振動中心までの距離 D_1 = 振動中心より界面までの距離 C_0 = 上層流体の密度 $R_1 = E \rho (D_0 + D_1) / (6 S_0)$ C_2 = 下層流体の密度

3. 実験結果から考察

(i) 同一流体中に誘起される乱れ特性：図-1(a),(b)は、同一流体中に誘起されたx, z方向の流速変動強度 u' , w' の鉛直分布を示したものである。 u' , w' はともに格子振動中心からの距離 z の1/2乗に比例して減衰する。これは浦らの実験式(図中の点線)と矛盾しないが、今回の実験では、定数がわずかに小さく0.19程度の値をとるようである。また、 u' と w' の分布に顕著な違いは見られない。流速変動に関するその他の特性量、つまり積分スケールや組織渦スケールに関してもしx方向とz方向の差を認められず、浦らが提案した実験式とよく一致している。これらのことから、振動格子によって同一流体中に誘起される乱れは、方向性をほとんど持たないことがわかる。

図-1 同一流体中の乱れ強度

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{---} : u'/f_0 S_0, w'/f_0 S_0 = 0.22 (S_0/H)^{1/2} (z/H)^{-1/2} \end{array} \right.$$

(ii) 二成層流体場における乱れ特性：図-2は、二成層流体中における乱れ強度の鉛直分布を示したものである。図中の斜線部は、密度躍層の範囲を、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。密度界面から十分離れた所での乱れ強度は、均一流体中での減衰則にほぼ従うが、躍層内では急激に乱れが減衰している。これは、渦の持つ運動量が浮力効果により、抑えられにためと考えられる。躍層内でも均一流体場と同様、 u' と w' の間に顕著な違いは見られず、図-3は、積分長さスケール l_x と l_z の鉛直分布を示したものである。 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、それに台車速度をかけたものである。界面より十分離れたところでは、 l_x と l_z はともに z に比例して増大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 l_x は急激に増大し、 l_z は減小する。これは、密度躍層がある種の壁面効果放射を果にし、渦を扁平にするためであると考えられる。

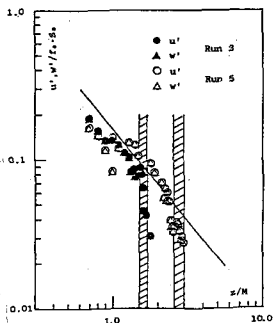


図-2 二層流体中の乱れ強度分布

図-4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取り、それぞれに台車速度をかけたことにより、求めた大規模渦スケール 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、かきり

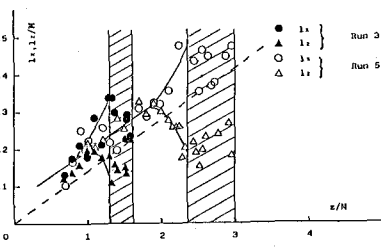


図-3 積分スケールの分布
のばらつきがあるが、その増加とともに大きくする傾向が見られる。

しかしながら、界面に近づくにつれ積分スケールと同様、 L_x は急激に大きくなり L_z は減少する。このように、大規模渦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

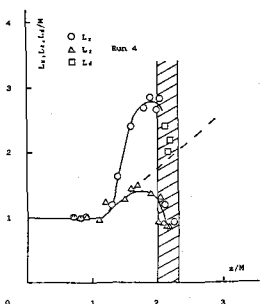


図-4 大規模渦スケールの分布

することがわかる。図-5は、2つの波高計により測定された界面変動の相互相関係数を波高計の間隔に対してプロットしたものである。間隔が大きくなるにつれ、相関係数は小さくなっている。図-6は、躍層の下面における L_x の値を図5で示すように相互相関係数が0となる間隔 L_w に対してプロットしたものである。 $L_w = L_x$ であることから、界面変動は、大規模渦が界面に傾斜することにより、生ずる変動を含んでいることが推測される。

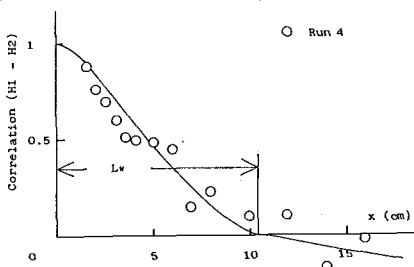


図-5 界面変動の相互相関係数

最後に、実験とデータ整理に協力して下さった細山田 得三君に感謝します。

<参考文献>

潮勝・小松利光・小松信博：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 9345号/II-1 1984年5号

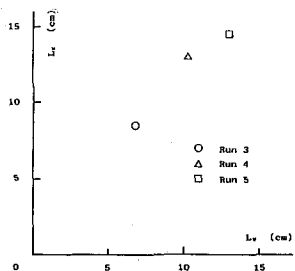


図-6 大規模渦スケールと界面変動スケールとの比較