

乱れを変化させた吹送流による二層界面の連行

九州工業大学工学部 正 員 浦 勝 学生員 淡谷 武司
学生員 O岩永 洋

1. 緒言 種々の二層流の密度界面における連行係数の統一的表示を目指して、これまで上層流、吹送流の実験を行ってきた。その結果乱れが卓越する場合には、連行速度 U_e を平均流速 U_m 、混合層厚 h 、二層相対密度差 $\Delta \rho / \rho_0$ を用いた層平均量で整理すると式(1)で表されることがわかった¹⁾。

$$Em = A \cdot Rim^{-3/2} \quad (1)$$

ここに $Em (=U_e/U_m)$; 層平均連行係数、 $Rim (= \Delta \rho gh / \rho_0 U_m^2)$; 層平均リチャードソン数である。そして式(1)の比例係数 A は混合層内の界面近傍の乱れ強度 u' 、積分長さスケール L を用いて次式で定義される乱れファクター

$$Tf = (u' / U_m)^4 \cdot (L/h)^{-3/2} \quad (2)$$

によって支配され

$$A = 0.7 Tf \quad (3)$$

なる関係にある。

ところで、我々はさらにこの関係式が Tf のより広い範囲に対しても成立するかどうか調べるために、風洞水槽槽を用いて実験を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験装置及び方法の概要 実験は図-1に示す風洞水槽内に二成層場(上層; 淡水、下層; 塩水)を形成し、水表面に風による剪断応力を加えた。今回行った実験は風路助走部末端に粗度要素(高さ; 2cm, 長さ; 1cm)を幅いっぱいにならべて1本取り付けられている。風洞水槽内の位置表示は貯水部上流端静止水面を原点に取り風下側に x 軸、鉛直下向きに z 軸を取った。流速測定は、 $X=281$ cm にホットフィルム流速計のコニカルプローブを設置して行い、密度分布は $X=201$ と $X=328$ cm の上・下流に塩分濃度計を設置して測定した。密度界面の深さ、即ち混合層厚 h は上・下層の中間密度を有する位置と定義し、連行速度は $U_e = dh/dt$ として求めた。また流速測定点における界面位置は上・下流の位置より内挿した。今回行った実験の条件は表-1に示す。ここに N は送風機回転数、 h_0 、 $\Delta \rho_0 / \rho_0$ はそれぞれ h 、 $\Delta \rho / \rho_0$ の初期値である。

3. 実験結果 鉛直密度分布より得られた連行速度 U_e の測定結果は前出の表-1に示した。吹送流の平均流速 U を、深さ z に対して片対数紙にプロットしたものを図-2に示す。水表面近傍の順流部は、図中の直線で近似され対数分布則に従うものと言える。この直線の傾きより求めた水表面の摩擦速

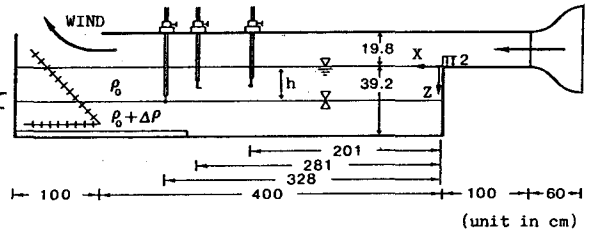


図-1 風洞水槽

表-1 実験条件と結果

Exp No	N r. p. m	h_0 cm	$\Delta \rho_0 / \rho_0$	u_* cm/s	$u_e \times 10^4$ cm/s
204	800	19.0	0.0098	1.36	2.29
202	1000	18.8	0.0149	1.41	6.25
203	1200	18.8	0.0239	1.84	8.00
205	1200	19.0	0.0134	1.93	16.80

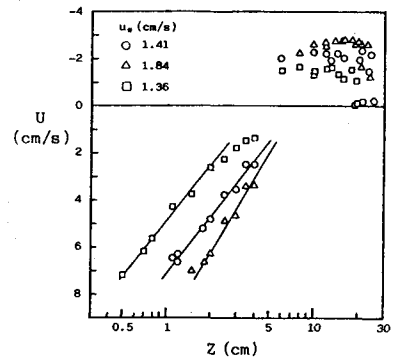


図-2 流速分布

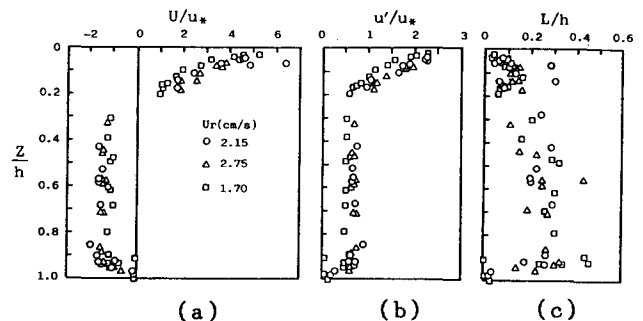


図-3 吹送流の平均流速と乱れ強度、乱れスケール

度 u の値は表-1に示している。
平均流速分布を h と u を用いて無次元化したものを図3(a)に示す。同図より対数分布則に従う順流部は、 $z/h=0.25$ で流向が逆転し、 $0.4 < z/h < 0.9$ でほぼ様な逆流流速 U_r をとる。流速の時間変動量 $u' (= \sqrt{u'^2})$ を u で無次元化した値 u'/u の鉛直分布を図-3(b)に示す。

同図より水表面の大きな乱れ強度は水深方向に減少し、逆流部 $z/h=0.4 \sim 0.95$ の範囲でほぼ様な値を取り界面で減少することが判る。乱れの積分スケール L 、乱れの周波数スペクトル $E(f)$ より求められる平均渦のスケール $L_0 (= U \cdot E(0)/4u'^2)$ を求めた。 L 、 L_0 とも同程度の値を取ることがわかったので、 L_0 も参考にして L/h の分布を図-3(c)に示す。順流部ではほぼ様な値を取るが逆流部では水深方向に漸増し $z/h=0.4 \sim 0.95$ でほぼ一定の値 L となり界面で減少するものと判断される。これらのデータをまとめ、式(2)を用いて求めた Tf を表-2に表す。同表には乱れを変化させた過去の実験結果も示した。

4. 連行係数の平均流表示 以上の結果を用いて求めた E_m と Rim の関係を図-4に■印を用いて示す。同図には平均流をもつその他の二層流の連行速度の測定結果も示されている。吹送流の場合は U_m の代わりに逆流平均流速 U_r を用いている。同図にはこれまでに得られた Tf の値が直線で記入されている。本実験で得られた結果も Tf をパラメータとして式(1)で表される事が判る。図-4よりこれを確かめるために式(1)を用いて求めた A の値と乱れ係数 Tf の関係を示したものが図-5である。同図より A は Tf によって一義的に定められ、 $1.4 \times 10^{-3} < Tf < 2.0 \times 10^{-1}$ の範囲で式(3)をほぼ満足していると言える。

5. 結言 本実験は式(1)～(3)の関係が Rim のより広い範囲で成立する事を確認する事ができた。しかし、 Tf の値は前回のRough(C) (直角三角柱棧粗度)の場合の値と大差なく、今後さらに Tf の値を変化させた実験を行いたいと考えている。

最後に貴重な助言と討議を頂いた九州大学工学部・松永信博助手に謝意を表し、実験と資料整理に尽力頂いた九州工業大学工学部、西村直人技官、同大学卒論生、塚田 誠君、柳本和泰君に謝意を表す。

参考文献 1) 浦 勝, 岩永 洋, 淡谷武司: 第34回海岸工学講演会論文集 pp. 641～645(1987)。

表-2 界面直上の流れと乱れ特性量の値

C a s e		U_r/u_*	u'/u_*	u'/U_r	L/h	$Tf \times 10^2$
本実験 (2cm Rough)	204	1.25	0.515	0.412	0.3	17.5
	202	1.52	0.674	0.442	0.26	22.8
	203	1.49	0.656	0.436	0.27	25.8
	205	1.35	1.347	0.442	0.27	27.2
Smooth (A)		1.85 ± 0.30	0.65 ± 0.10	0.35	0.35 ± 0.05	8.0～100
Surfactant (B)		1.85 ± 0.40	0.39 ± 0.15	0.21	0.20 ± 0.02	2.5～3.5
Rough (C)		1.50 ± 0.15	0.82 ± 0.13	0.52	0.45 ± 0.05	26～58

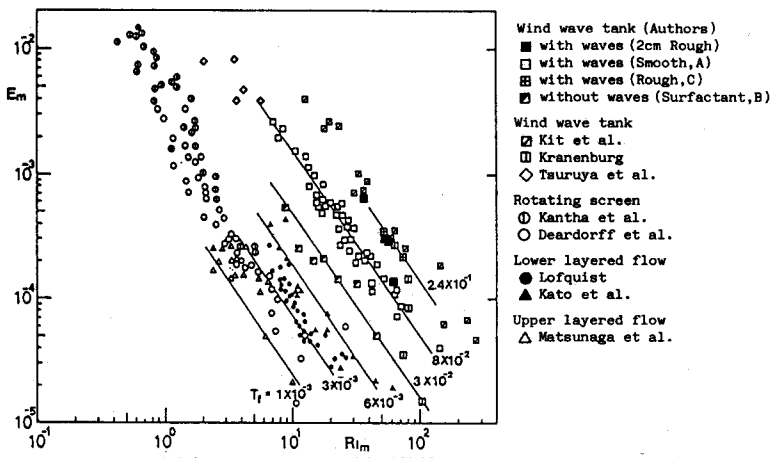


図-4 二層流の E_m と Rim の関係 (数値は乱れファクター T_f の値)

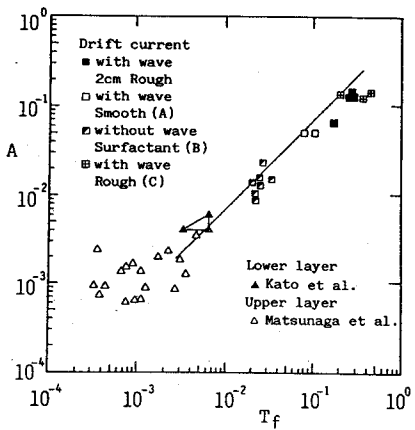


図-5 係数 A と乱れ係数 T_f の関係