

東京工芸学部 正員 玉井信行
東京大学大学院 学生員 ○茂枝 隆

1 まえがき 密度成層中での境界面を通しての混合については振動格子による実験などがあり、擾乱が大きな役割をすることが知られている。ここでは底板の水平振動により擾乱を起し、その擾乱の性質と混合の関係を明らかにした。

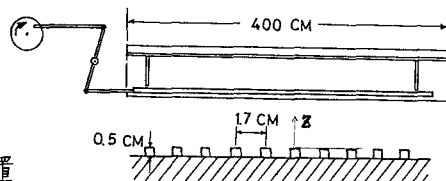


図-1
実験装置

2 実験及び実験方法 実験は図-1に示すような

長さ4m、幅0.2m、高さ0.5mの水槽の底に5mm角の稜粗度をつけた摺動板を置き、それを周期的に滑動させて行なった。粗度間隔は初の開水路流れを参考に中心間隔と粗度高さの10倍とした。1か1.2~5秒の周期では乱れのスケールが小さく間隔約になるので、粗度間隔は1.7cmとした。摺動板の振幅は7.5cm一歩とした。また上部境界は固定壁として流動を抑えた。濃度分布の測定は電導度計により、流速測定は熱膜流速計による。水槽内の水温は17.5~18.5°Cでほぼ一定していた。初期水理条件は表に示す。

Run	$\frac{\Delta \rho}{\rho}$	f	L ₀	$\frac{1}{L_0} \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right)$
1	0.0090	0.20	2.0	0.0080
2	0.0036	0.20	—	0.0008
3	0.0010	0.25	3.6	0.0040
4	0.0040	0.25	—	0.0028
5	0.0080	0.30	3.0	0.0088
6	0.0037	0.33	—	0.0007
7	0.0067	0.33	1.2	0.0048
8	0.0042	0.33	—	0.0022
9	0.0084	0.33	2.0	0.0010
10	0.0043	0.40	1.5	0.0013

ρ 初期下層密度
(g/cm^3)
 $\Delta \rho$ 上層下層の
密度差 (g/cm^3)
 L_0 初期下層厚
(cm)
 Z 稜粗度頂上
からの高さ
(cm)
 f 周波数 (Hz)

3 混合層の密度分布 摺動板による擾乱を加えると稜粗度付近は激しく攪拌され不連続成層の場合でも連続成層の場合でも鉛直方向に一様な密度分布を示すようになる。1か1安定な密度勾配が存在するためこうした乱れは急速に上方に伝わらない。そして新たに出現した混合層とそれより上部の領域との間の勾配は当初のものより急にな

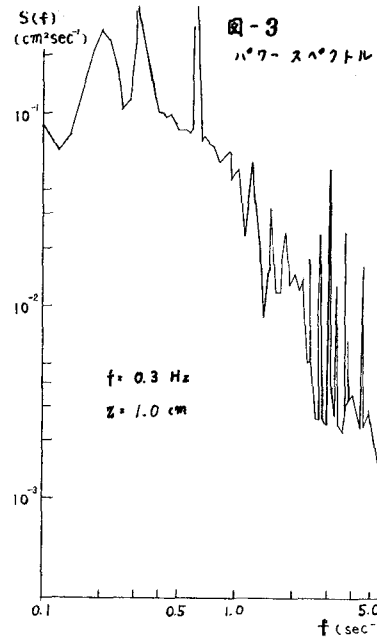


図-3
パワー スペクトル

り安定化が進む。引続いて摺動板を振動させると以後はほぼ同様な密度分布形を保ちながら界面が徐々に上昇する。(図-2) 界面付近には内部波が発生し、これに基づくと考えられる密度変動が観測された。

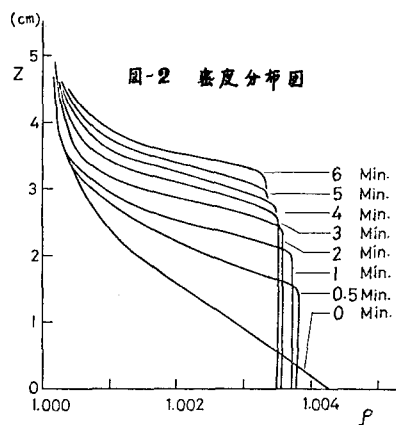


図-2 密度分布図

1か1この変動はかなり不規則な成分を含んでおり内部波の不安定性を示している。実験条件から算定すると Väisälä 振動数の最大値は $Nm^{-3}sec^2$ であり周期は 5sec 程度以下だから、波長λ波高aの比は $a/\lambda > 0.13$ となり内部波の剪断型の不安定限界を越えている。

4 稜粗度による乱流特性 稜粗度の運動により上部流体塊との間に非常に大きな速度差ができそこに渦動が発生する。平均的な移流がないためこの渦動は同一の場所にとどまってしまうがその間に次の渦動が発生すると全域がある程度強い擾乱に覆われるようになる。従って渦領域内の稜粗度頂上より1cm以内で激しい速度変動を示し、境界面の1cm付近では間隔

的になり 3cm 以上では主流の減衰期の高周波の乱れを除いてほぼ周期的になる。図-3 にパワースペクトルを示す。摺動板により与えられた周波数の部分及びカスケードダウンによって生じたと思われる整数倍周波数のところに線スペクトル的なピークがみられる。この線スペクトル的な部分は振動に近い状態のものであるから、流速変動よりこの周波数成分をとり除いて R.M.S. 速度と求む周波数との比があらわしたのが図-4 である。この図より R.M.S. 速度は周波数にほぼ比例していることがわかる。

5 混合速度

平均的な剪断抵抗がないとして混合によるポテンシャルエネルギーの増加は境界面に達する運動エネルギーに比例するとすると

$$\frac{1}{2} \rho_0 \overline{u'^2 w'} = \frac{dV}{dt} \tag{1}$$

ここに ρ_0 : 下層密度, V : ポテンシャルエネルギー $u' \sim w'$ とすると

$$\frac{3}{2} \rho_0 \overline{u'^2} = \text{const.} \times \frac{dV}{dt} \tag{2}$$

境界層下端の高さを L , 上端の高さを D として密度分布を

$$\rho_0 \quad 0 \leq x \leq L; \quad \rho_0 + \frac{\Delta \rho}{\Delta L} (x-L) \quad L \leq x \leq D \tag{3}$$

として $\frac{dV}{dt} \ll \frac{dL}{dt}$ ($L+D$)/2 $\approx L$ と仮定すると式 (2) より

$$\frac{U_e}{L} = \text{const.} \times Ri^{-1}$$

ここに $U_e = \frac{dL}{dt}$, $Ri = \frac{g \Delta \rho L}{\rho_0 \omega^2}$ である。このリチャードソン数のもとに整理したのが図-5 である。これとみると $\frac{U_e}{L} = \text{const.} \times Ri^{-1}$ の関係が成立しているようである。この結果は、積分尺度が L に比例するとすると Kato-Phillips, Moore-Long の剪断流中での実験結果, また Long の考察と同様な結果であるといえる。

6 結論

摺動板の振動により生ずる混合特性について基礎的な結果が得られた。

1) 摺動板の振動により密度一様の混合層が形成され界面の巻度勾配は時間とともに大きくなる。

2) ある高さでの R.M.S. 速度は周波数に比例する。

3) 界面での混合速度は R.M.S. 速度、一様密度の混合層厚を用いたリチャードソン数に逆比例することが得られた。

<参考文献>

R. Long, J. Fluid Mech (1975), vol 70
M. J. Moore & R. Long, J. Fluid Mech (1979), vol 49
P. F. Linden, J. Fluid Mech (1975), vol 71
H. Kato & O. M. Phillips, J. Fluid Mech (1969), vol 37
J. S. Turner; Buoyancy Effects in Fluids. Cambridge Univ Press

図-4 R.M.S. 速度と周波数の比

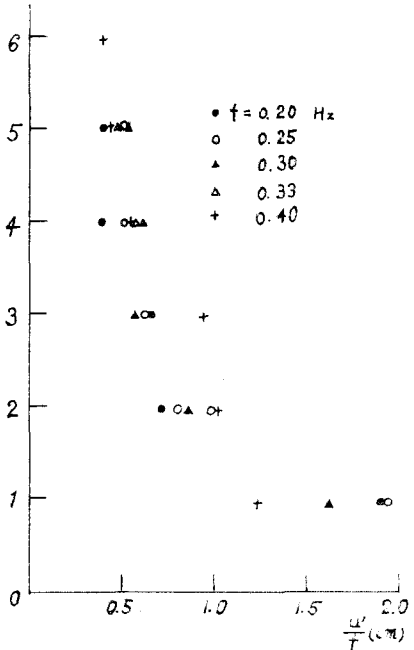


図-5 混合速度とリチャードソン数の関係

