

II-67

振動格子による乱れ特性

九州工業大学 正会員 浦 勝
九州大学 正会員 小松 利光
九州大学 正会員 松永 信博
九州大学 員生員 仲敷 遷和

1 予えがた

密度流において、内部境界面に生じる連行現象を明らかにすることは、流れを知る上で不可欠であると認識されて以来、噴流や二層流、混合層流における連行現象について着実な研究が行われて来た。その結果、連行は界面の変動だけでなく界面付近の乱れや組織渦も大きく関与していることが指摘されており、その乱れ特性を知ることが要求されている。従って本研究では、振動格子という比較的簡単な工ネルギー源により乱れを発生させ、均一流体中の乱流場の測定を行い、乱れ強度や積分スケールの空間特性を明らかにすると共に、組織渦の存在を確認しスケールを求め両スケール間の関係則を求めた。

2 実験装置及び実験方法

図-1は本実験に用いた装置の概略図であり、その作業流体としては均一流体(水)を用いた。表-1に水槽と格子の寸法並びに振動条件を示す。格子の振動中心位置から水槽の底面までの距離(25)を、15cmまたは8cmに固定し、格子の振動高(20)を1~8cm、振動数(20)を1~6Hzの範囲で変えた。表面波による乱れの発生を防ぐため、水表面に蓋を浮かべた。加振機には、格子の運動が正弦的であるように、スコッチ、クランク、システムを採用した。台車は水路と独立に設置されたレール上を一定速度で走行できるようにしている。台車走行方向(X)と、鉛直方向(Z)の二成分の流速測定を行うため、V型二方向熱線流速計をポイントゲージに取り付け、それを台車に固定した。台車速度(Uc)を2.28%から15.43%の範囲で8段階に変化させることにより、流速計の検証を行った。乱れの測定に際しては、台車速度が格子によって発生した最大流速よりも十分大きく、走行による変動が定まる限り小さいことが望ましいため、Uc=8.29%に設定した。熱線流速計の二成分出力はデータレコーダーに収録した。また振動格子による定量的な乱れを調べるために、振動を停止した状態でも、台車の走行に伴う変動も収録した。データ処理に際しては、時間刻み $\Delta t=0.0025$ 、データ個数 $N=4096$ でA-D変換した。

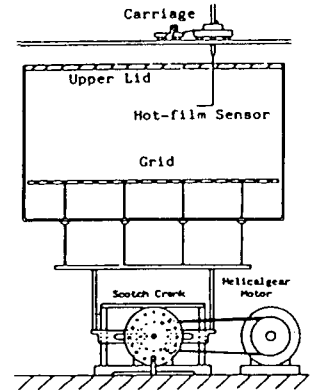


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Case	Basin			Oscillating Grid					
	Length L _z (mm)	Width W _z (mm)	Depth D _z (mm)	Position D _z (mm)	Bar thickness d (mm)	Mesh M (mm)	Stroke S _z (mm)	Frequency f _z (Hz)	
1	1000 (Fig. 2)	254	400	150	10	50	40	2.3, 4.5, 8	
							10	4.8	
				80	10	50	40	4.5	
							80	1.5, 2.7, 5	

3 実験結果

振動格子によって作られた乱れは水平面内一様であると思われるため、乱れ特性量としてZ方向及びX方向の乱れ強度 U' 、 W' とそれらの方向の積分スケール L_z 、 L_x が考えられる。乱れ強度 U' 、 W' は

$$U' = \sqrt{U^2 - U_c^2}, \quad W' = \sqrt{W^2 - U_c^2}$$

によって求めた。ここに U 、 W は格子振動中に測定された速度変動で、 U_c 、 W_c は台車走行に伴う速度変動である。これらの量は規定するものは、外観パラメータ M 、 d 、 f_0 、 S_0 であるが、本実験が $d/M=0.2$ のもとで行われ、これを考慮し、次元解析により次の関係式を得た。

$$\begin{aligned} U'/f_0 S_0 &= C_1 (S_0/M)^{R_1} (Z/M)^{R_2}, & L_z/M &= C_3 (S_0/M)^{B_3} (Z/M)^{B_4} \\ W'/f_0 S_0 &= C_2 (S_0/M)^{R_2} (Z/M)^{R_2}, & L_x/M &= C_4 (S_0/M)^{R_4} (Z/M)^{R_2} \end{aligned} \quad (1)$$

ここに $C_1 \sim C_4$ は指数は定数である。図-2は $U'/f_0 S_0$ 、 $W'/f_0 S_0$ と Z/M に対してプロットした結果の一例である。

図-2 及び他のデータより、 g_2 は $5/4$ をとることから分かった。次に $(u'/f_0 S_0)/(Z/M)^{5/4}$, $(w'/f_0 S_0)/(Z/M)^{5/4} E(S_0/M)$ に対しそれぞれ自己と異相でプロットしたものが図-3 である。これより P_1 , P_2 は $1/2$ であり, $C_1 = 0.220$, $C_2 = 0.215$ となった。

$$\begin{aligned} u'/f_0 S_0 &= 0.220 (S_0/M)^{1/2} (Z/M)^{-5/4} \\ w'/f_0 S_0 &= 0.215 (S_0/M)^{1/2} (Z/M)^{-5/4} \end{aligned} \quad (2)$$

ニニ C_1 と C_2 の値に大きな差が見られないことから、振動格子によって発生した乱れは通常の格子乱流と同様、顕著な方向性を持たないと考えられる。Thompson & Turner¹⁾ の u' についての測定結果は、本実験とほぼ一致するが、Hopfinger & Torg²⁾ の結果は 20% 程大きめとなっている。また g_2 と g_1 は u' , w' の自己相関係数 $R_u(\tau)$, $R_w(\tau)$ から次式によって求めた。

$$L_x = U \int_0^\infty R_u(\tau) d\tau, \quad L_z = U \int_0^\infty R_w(\tau) d\tau$$

ニニ L_x は相関係数が最初に 0 となるまでの時間である。図-4 は L_x/M S_0/M により、記号別に、 Z/M に対してプロットしたものである。 L_x/M は S_0/M にほとんど依存せず、 Z/M に関して線形的に増大し、 L_z にも同じような結果が得られる。従って横分スケールとして、

$$L_x/M, L_z/M = 0.14 (Z/M) \quad (3)$$

を得る。次に、相関係数には明確な乱れの卓越周期 T_m が認められ、 T_m の値は Z の増加と共に大きくなっていることが分る。この卓越周期 T_m は横分スケールと比較すると数倍大きい値となることから、乱れの組織的渦の周期に関連した時間スケールと考えられる。組織渦の x , z 方向の長さスケールをそれぞれ L_x , L_z として、台車速度と T_m の積によって求め、図-5 に L_x/M の Z/M に対する関係を示した。 L_x/M も L_z/M と同様 S_0/M に依存せず Z/M に関して線形的に増加する。しかし、 $Z/M \leq 1.47$ で L_x がメッシュの寸法に一致するということより、格子近傍に生じた規則的な吸い込み、湧き出し流のスケールは格子のメッシュの寸法に規定されていると考えられる。 L_z にも同じような特性が認められた。従って組織渦の長さスケール L_x , L_z を記述する式を以下のように提示する。

$$\begin{aligned} \frac{L_x}{Z} &= \begin{cases} 1.0 & (0 \leq Z/M \leq 1.14) \\ 0.88 Z/M & (Z/M \geq 1.14) \end{cases} \\ \frac{L_z}{Z} &= \begin{cases} 1.0 & (0 \leq Z/M \leq 1.14) \\ 0.68 Z/M & (Z/M \geq 1.14) \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

4 結論

振動格子により発生する乱れの諸特性量について測定した結果、乱れ強度は格子の振動中心からの距離の $5/4$ 乗に比例し(式(2))、乱れのスケールに比例する(式(3), (4))。また、乱れスケールは横分スケールに加え組織渦と思われる卓越したスケールが存在することが確認された。

<参考文献> 1) Thompson, S.M. and, Turner: Mixing across an interface due to turbulence generated by an oscillating grid 2) Hopfinger E.J and Torg, J.A: Spatially decaying turbulence and its relation to mixing across density interface.

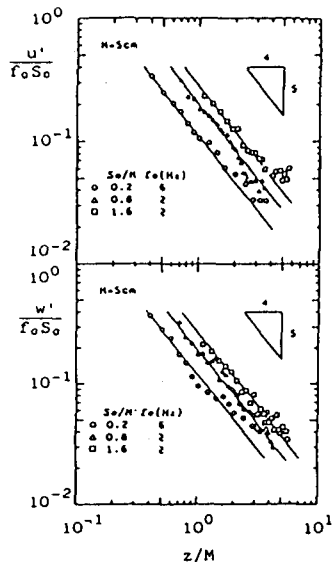


図-2 乱れ強度の一例

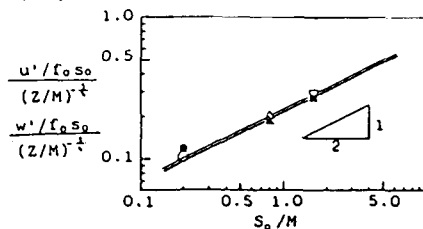


図-3 乱れ強度の S_0 に対する依存性

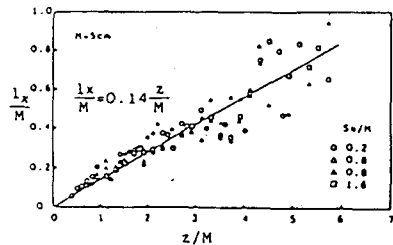


図-4 横分スケール

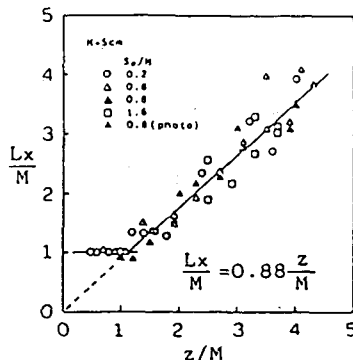


図-5 組織渦のスケール