

振動格子の乱れによる密度境界面の変動周期について

九州工業大学 工学部 正会員 浦 勝

大学院 学生員 ○換間 俊一

工学部 学生員 中村安男・長沢史郎

1 緒言 密度二成層場の密度境界面における連行量を明らかにするには、連行量と界面近傍の乱れの特性量との関係を知らねばならない。このため筆者らは槽内に密度二成層場を形成し、振動格子による乱れを上層に加えて連行実験を行ない、界面の変動周期の測定から乱れの特性量の1つである長さスケールに対する推定を行ったので以下にその結果を報告する。

2 実験概要 実験装置の詳細は前に述べたが概略図を図1に示す。また諸元は表1に示す値である。実験装置は水槽内に正方格子を取り付けたもので、水槽外部下方にあるモーターの回転運動をスコッチクラウンにより振動数 f 、ストローク S_0 の鉛直方向の上下振動に変換させて格子に連続的に与えることができる。座標軸の原点は格子の原点の中心におき、鉛直上向きに Z 軸、これと直交して X 軸をとった。実験は水槽内に塩水と淡水で形成した初期密度差 $\Delta\rho$ 、初期界面位置 D_0 の二成層の場で行ったが、格子の振動開始時刻よりポイントゲージに取り付けた塩分濃度計で鉛直密度分布を $X-Y$ レコーダーに描き、界面位置を約1分ごとに求めた。また界面位置での密度の時間的変動をペンレコーダーに記録し、その他に水槽内にセットした内部液面計によって測定した界面変位の記録の統計的解析も行った。²⁾(図2-5中黒印)

3 基本式(次元解析による支配因子の推定) 振動格子の乱れによる密度境界面の連行現象を明らかにするために実験を行ったが、この現象を支配する因子を次に示す様に次元解析で求めた。まず均質流体における乱れの場合について、次に二成層密度場の乱れによる連行の場合について述べる。

(a) 物理量 振動格子及び水槽に関する物理量は表1に示した9個である。その他の物理量は表2に示す。なお空変場の物理量のうち12, 13, 14番の物理量の代りに次式の浮力を用いる。

$$B = (\Delta\rho/\rho_0) \cdot g = \varepsilon \cdot g \quad \text{次元} [L T^{-2}] \quad (1)$$

また15番の物理量である界面の密度勾配は次式のBrant-Vasä α 振動数を用いる。

$$N^2 = -\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot (g/\rho_0) \quad \text{次元} [T^{-2}] \quad (2)$$

(b) 均質流体中の乱れの支配因子 定常状態の乱れを考え、 x 方向には乱れは等方であるとしてまず乱れ強度の支配因子を考える。物理量は表1及び2の1~10番の10個であり、基本量は $[L], [T]$ の2個であるから、代表値として $M[L], \nu[T^{-1}]$ をとり、8個の無次元量についてBuckinghamの π 定理を用いると次式が得られる。

$$U/\nu M = \phi_1(d/M, S_0/M, D_0/M, H/M, W_0/M, L_0/M, Z/M) \quad (3)$$

ところで、 d/M は全ての実験で一定であるから除去でき、また振動格子の速度振幅は $\pi f S_0$ であることを考慮して式(3)の両辺を S_0/M で割ると次の様に変形できる。

$$U/\pi f S_0 = \phi_1(S_0/M, Z/M, D_0/M, H/M, W_0/M, L_0/M) \quad (4)$$

ここで右辺の第3~6番目のパラメータは格子と水槽容器のパラメータであるから同一装置を用いれば無視できるので、乱れ強度を支配する因子は次式となる。

$$U/\pi f S_0 = \phi_2(S_0/M, Z/M) \quad (5)$$

同様に乱れの積分長さスケール l を支配する因子は次式となる。

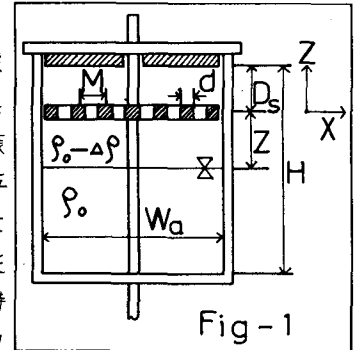


Fig-1

TABLE-1 基本量(格子・水槽)

	NO	物理量	記号	次元	寸法 (cm)
正 方 格 子	1	格子幅	d	L	1.0
	2	メッシュ	M	L	5.0
	3	ストローク	S_0	L	1, 2, 3, 4
	4	振動数	f	T^{-1}	22, 3, 4, 5, 6
	5	格子位置	D_0	L	7.1
水 槽	6	高さ	H	L	40.0
	7	幅	W_0	L	25.4
	8	長さ	L_0	L	25.4
変 数	9	格子からの距離	Z	L	

TABLE-2 基本量(乱れと密度の場)

	NO	物理量	記号	次元
乱 れ	10	乱れ強度	u'	LT^{-1}
	11	積分長さスケール	l	L
密 度	12	代表密度	ρ_0	ML^{-3}
	13	密度差	$\Delta\rho$	ML^{-3}
	14	重力加速度	g	LT^{-2}
	15	密度勾配	α	ML^{-4}
差	16	界面位置	D	L
	17	連行速度	U_e	LT^{-1}
	18	界面変位	η	L
	19	界面変動周期	T_i	T

$$\ell/M = \phi_3(S_0/M, Z/M) \quad (6)$$

なお乱れの時間スケールを $\tau_e = \ell/u'$ (7) と定義すれば,

$$f_0 \tau_e = \phi_4(S_0/M, Z/M) \quad (8) \text{ と表される。}$$

(C) 密度二成層場の支配因子 密度二成層の場合も(b)と同様に考えるが、乱れは均質流体中の乱れの特性量 u', ℓ で表されるとき、連行速度 U_e [LT⁻¹] を考える場合には、 $B[LT^{-2}]$, $N^2[T^{-2}]$, $D[L]$ についてπ定理を用いれば、 $U_e/u' = \phi_5(R_{ix}, N^2 \ell^2/u'^2, D/\ell) \quad (9)$ となる。

ここに右辺第一項は、局所 Richardson 数であり、次式で定義される。

$$R_{ix} = B\ell/u'^2 = \varepsilon g \ell / u'^2 \quad (10)$$

次に界面の変位量 η についても同様な解析より次式が得られる。

$$\eta/\ell = \phi_6(R_{ix}, N^2 \ell^2/u'^2, D/\ell) \quad (11)$$

また界面の変動周期 T_i についても同様にして次式が得られる。

$$T_i/\tau_e = T_i u'/\ell = \phi_7(R_{ix}, N^2 \ell^2/u'^2, D/\ell) \quad (12)$$

以上より均質流体中での振動格子による乱れの特性量を規定する支配因子及び密度二成層場の連行、界面の変動特性量を規定する支配因子がわかった。この結果 u', ℓ に関する(5), (6)の関係を定式化する必要があるが、これに関しては Thompson-Turner や Hopfinger-Toly の研究があり、著者らも九州大学椿研究室との共同実験で解析中である。ここでは密度二成層場の密度界面変動周期 T_i の測定結果から ℓ に関する若干の推定を行ったので以下に述べる。

4 結果 密度界面の変動周期は式(12)で規定されるが、(10)より

$$R_{ix} = B\ell/u'^2 = \varepsilon g \ell / u'^2 = (\ell/u')^2 / (\ell/\varepsilon g) = (\tau_e / \sqrt{\ell/\varepsilon g})^2 \quad (10')$$

であるから式(12)の両辺に $f_0 \tau_e$ をかけると、

$$\begin{aligned} f_0 T_i &= f_0 \tau_e \cdot \phi_7(\sqrt{\ell/\varepsilon g} / \tau_e, N/\tau_e, D/\ell) \\ &= \phi_8(S_0/M, D/M) \cdot \phi_7(f_0 \sqrt{D/\varepsilon g} / f_0 \tau_e, f_0 N / f_0 \tau_e, D/M, M/\ell) \\ &= \phi_8(f_0 \sqrt{D/\varepsilon g}, f_0 N, S_0/M, D/M) \quad (13) \text{ と表せる。} \end{aligned}$$

したがって界面で測定された $f_0 T_i$ と $f_0 \sqrt{D/\varepsilon g}$ の関係を $S_0/M = \text{一定}$ ごとに図2~5に示した。なおそれぞれの図における同一記号では $R_{i0} = B_0(D_s + D_0)/(f_0 S_0^2)$ は一定である。この結果より $f_0 N, D/M$ の詳細を第1近似として無視すると、

$$T_i = (4.8 \pm 1.2) \cdot (D/\varepsilon g)^{1/2} \quad (14) \text{ が成立する。}$$

ところでLinden³⁾は乱流のモデルとして、直径 ℓ_0 のVortex Ringを密度界面に衝突させる実験を行い、その反衝時間(Recoil Time) t_B の測定から、

$$t_B = (2.28 \pm 0.41) \cdot (\ell_0/\varepsilon g)^{1/2} \quad (15) \text{ を得ている。}$$

ここで T_i と t_B の関係は図6に示される様になるので、

$$t_B = T_i/2 \quad (16) \text{ とおける。式(14)と(15)をこれに代入すれば、}$$

$$\ell_0 = \{ (4.8 \pm 1.2) / 2 \cdot (2.28 \pm 0.41) \}^2 D \quad (17)$$

$$D = Z \text{ とおくと、} \quad \ell_0 \approx 1.11 Z \quad (18)$$

となり、本実験装置の代表渦径は式(18)で表わされると推定できる。

最後に御指導いただいた九州大学椿教授に深甚なる感謝の意を表します。

(参考文献) 1) 浦, 他; 九工大研報(工学) NO. 39 (1979), 2) 浦, 他; 西部支部年報 (1982), 3) Linden; J.F.M. vol 60 (1973)

