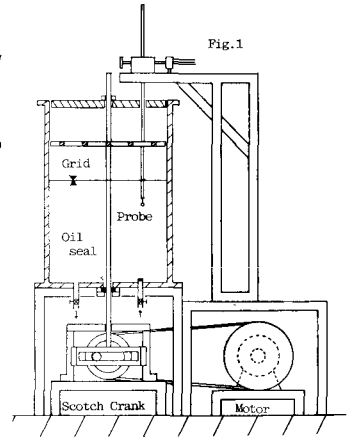


九州工業大学 正 浦 勝
九州大学 工学部 正 椿 東一郎
九州工業大学 学 中村 邦明

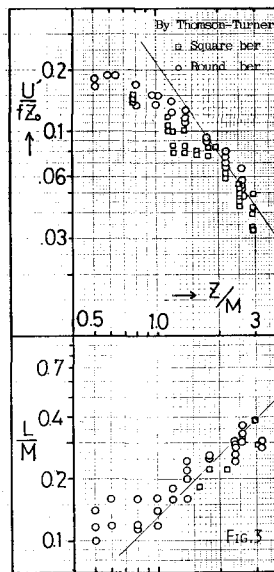
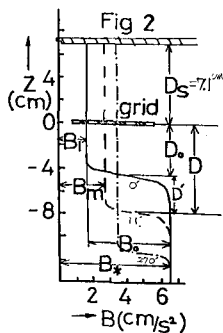
はじめに 密度成層化された水域の上層に、何らかの外乱力が加わると、静止状態にある下層水が成層界面を越えて上層に連行され上層密度の増大と界面の低下を生ずる。本報告はこの問題に関する基礎的研究として、前報に引続き、成層密度分布の場を実験水槽内に作り、上層に振動格子で乱れを与え、界面の低下、界面近傍の密度変動周期を測定したものである。

実験装置 装置の概略をFig.1に示す。水槽は内寸 $25.4 \times 25.4 \times 40$ cmで上部には水面に浸る蓋を設けた。格子は $1 \times 1 \times 25$ cmの角柱が中心間隔 $M=5$ cmで各5本直交する形であり、その中心は 1 cmの棒により、水槽底面のオイルシールを通してスコッチ・クランクに連結されている。格子のストローク Z_0 はスコッチ・クランクのロー・ベアリングの位置を変えることにより、 $Z_0=1, 2, 3, 4$ cmとなる。格子の振動数はヘルカレギア付モータにより変化する。成層の場合は予め水道水を水槽に入れ底部のストレーナを用いて所要密度の塩水を注入して形成した。



実験結果 水槽内に形成した二層分布はFig.2に実線で示すような分布である。同図のZ軸は格子中心位置を原点に上向きにとり、横軸は密度 ρ のかわりに浮力 $B=(\rho-\rho_0)/\rho_0$ で表示した。 $B_0=(\rho_0-\rho_0)/\rho_0$ は初期浮力差、 D_0 は初期界面深さ、 $D_s(=7.1$ cm)は格子より上蓋までの高さである。実験は格子の振動開始時刻を0とし、任意の時間 t の水槽内密度分布をポイント・ゲージの先端に取付けた $\phi 2$ mmの電導度端子の出力をX-Yレコーダに記録し、Fig.2のように求めた。Fig.2はExp. 62の $t=0, 11, 270$ minの浮力分布の一例である。実験はTable 1に示す条件で行なった。なお、総抵抗 R を $R_{10}=B_0(D_0+D_s)/(4Z_0) \dots (1)$ で定義したが、この値は、質量保存則より、同一実験No.では時間に無関係に一定値である。なおLinden³⁾の実験結果である。鉛直浮力分布の測定より、上下層の平均浮力の位置を界面深さと定義して、界面の相対的低下量 $D\%=(D-D_0)/D_0$ の振動経過時間 t (min)に対する変化をTable 1の記号を用いてFig. 4($Z_0=1$ cm)とFig. 5($Z_0=2, 3, 4$ cm)に示した。

界面低下のエネルギー的検討 界面低下の定量的評価は前報において乱れエネルギーの収支の観点から述べたが、二層分布の場



EXP. NO	Z ₀ (cm)	f (Hz)	D ₀ (cm)	Rio
① 41	1.0	2.22	2.5	12.64
○ 31	1.0	2.21	7.0	4.85
▲ 83	1.0	3.0	3.0	40.53
△ 82	1.0	3.0	15.3	1.16
△ 34	1.0	3.06	6.0	3.87
△ 35	1.0	3.06	5.9	3.69
□ 38	1.0	4.0	2.9	5.01
□ 36	1.0	4.0	8.4	2.31
◆ 39	1.0	5.0	2.4	5.27
◆ 41	1.0	5.0	6.9	5.26
◆ 16	1.0	5.0	7.2	4.99
◆ 13	1.0	5.0	12.2	3.51
◆ 18	1.0	5.0	8.0	2.45
◆ 40	1.0	5.0	8.1	1.81
◆ 19	1.0	5.0	6.5	1.48
◆ 21	1.0	5.0	2.0	1.00
◆ L-1*	1.0	5.0	7.0	15.29
◆ L-h*	1.0	5.0	7.0	5.10
○ 61	2.0	2.22	12.6	6.40
○ 65	2.0	2.43	12.4	6.40
○ 66	2.0	2.43	7.1	3.68
○ 67	2.0	2.43	4.9	2.87
▲ 76	2.0	3.0	2.9	11.51
▲ 72	2.0	3.0	0.6	8.11
▲ 77	2.0	3.0	2.6	7.56
▲ 71	2.0	3.0	2.9	3.46
▲ 62	2.0	3.0	5.0	2.21
▲ 73	2.0	3.0	11.0	1.69
▲ 74	2.0	3.0	11.1	0.78
□ 63	2.0	4.0	5.4	1.26
□ 64	2.0	5.0	5.1	0.82
○ 51	3.0	2.22	3.1	1.54
○ 53	3.0	3.0	5.5	1.00
○ 54	3.0	4.0	5.5	1.16
○ 55	3.0	5.0	5.4	0.73
○ 2	4.0	2.18	10.3	1.63
○ 1	4.0	2.18	8.1	0.66
○ 3	4.0	2.18	10.6	0.40
▲ 8	4.0	2.94	10.5	3.77
▲ 4	4.0	2.94	10.9	0.47
▲ 7	4.0	2.94	10.5	0.20

合の基本式は次式で表される。

$$\frac{1}{2}B_0(D_0+D_1)\frac{dD}{dt} = \frac{G}{2} - \left[w\left(\frac{P}{R} + \frac{G}{2}\right) \right]_{D_0} - \int_{D_0}^0 dz \dots (2)$$

ここで $G/2$ は種子片側で生成されたエネルギー束であり、右辺第2項は界面における拡散項で、等分性を仮定して、 $w\left(\frac{P}{R} + \frac{G}{2}\right) = \frac{3}{2}r(m)u^3 = \frac{R_1}{m}u^3 \dots (3)$

$$\text{第3項は消散項で } \epsilon = \frac{3\sqrt{3}}{8Kv} \frac{u^3}{L} = \frac{3R}{m^2} M_0 \frac{u^3}{L} \dots (4)$$

と表示し得る。上式の乱れ強さ u 、積分ゲル L に均質流体に関する Thompson-Turner⁴⁾ の測定結果から、 $u/4z_0 = m(z/z_0)^{-1} \dots (5)$ ($m=0.65$), $L = -Rz \dots (6)$ ($R=0.1$) を用いれば $D/D_0 = (1+\tau)^{1/4} - 1 \dots (7)$ を得る。ただし $\tau = 8(M_0 - R_1)(z/z_0)^{1/2} t/R_1 \dots$

$\dots (8)$ 実験結果は $M_0 - R_1 = 0.135$ とすると $z_0 = 10\text{cm}$ に対しては、 D' があまり変化しないと、かなり的一致がみられたが、その後の実験で D が小さくなると適合性が悪いことがわかり、 u, L の分布形の検討が必要となった。

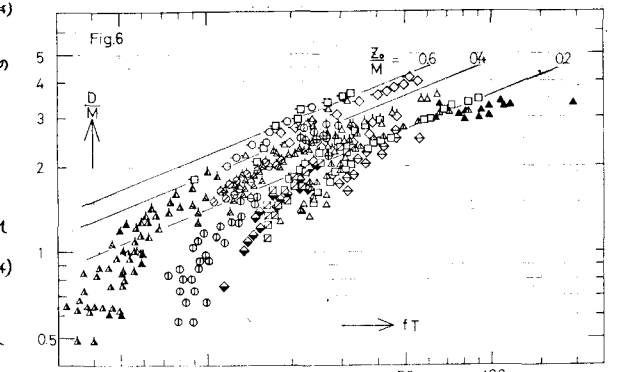
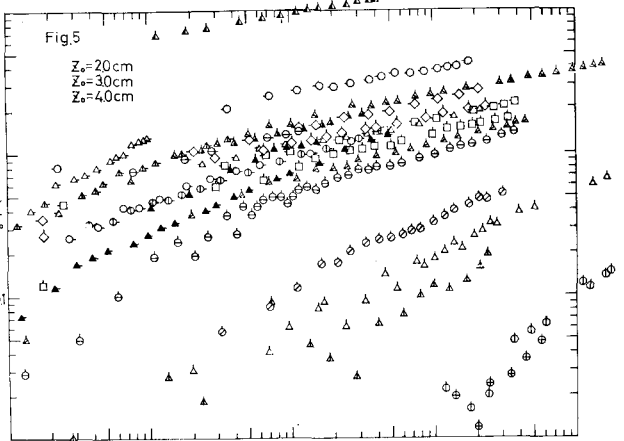
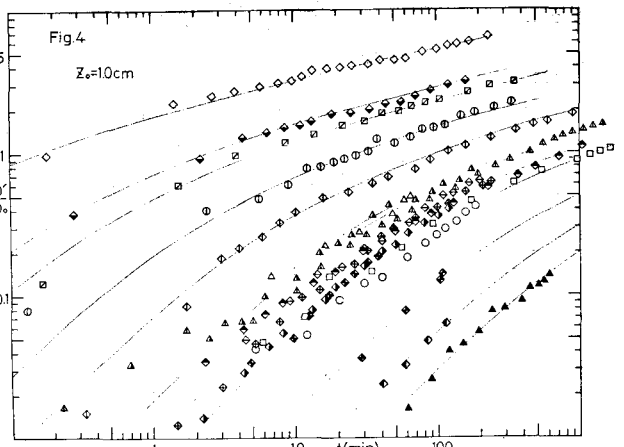
二層の乱れ特性量を測定することが難しいので、界面における密度変動周期 T が乱れ渦の寿命時間に比例すると仮定し、 $T \sim \tau_c = L/u \dots (9)$ T の測定結果と次元的分析により u, L の分布の推定を行なうことを試みた。測定された T の種子からの距離 D に対する分布を Table 1 の記号を用いて Fig. 6 に示す。この結果から概略的に $fT = 0.84(z/z_0)^{-1} (D/M)^{1/2} \dots (10)$ で近似すると同図の実線となる。さらに Thompson³⁾ の結果を種子からの実距離を用いて示すと Fig. 3 のようになり、式(6)で $R=0.3$ とすると成層の場合では、 $u/4z_0 = m(z/z_0)^{-1/2} \dots (11)$ ($m=0.22$) と推定された。

さらに $\int_{D_0}^0 dz = G/2 \dots (12)$ を用いると式(2)より、 $dD/dt = 2(3M_0 - R_1)(z/z_0)(D/M)^{-1/2}/R_1 \dots (13)$ が得られ $t=0$ で $D=D_0$ を用いて積分すれば $D/D_0 = (1+\tau)^{3/11} - 1 \dots (14)$ となる。ここに $\tau = 11(3M_0 - R_1)(M/z_0)^{1/2}(z/z_0)t/R_1 \dots (15)$ 。Fig. 4 の曲線は各測定値に最も適合するよう選んだ式(14)の曲線である。これより、

$$3(M_0 - R_1) = \begin{cases} 2.5 \times 10^{-3}; & (R_1 \leq 4) \\ 5.0 \times 10^{-3} R_1^{1/2}; & (R_1 > 4) \end{cases} \dots (16)$$

なる結果が得られた。一方 Fig. 5 の結果は式(11)との適合性があまりよくなかった。

おわりに 以上の結果から、成層の場合の乱れ構造は R_1 数の影響を受けて変化することが考



えられること、ストロー管効果および Fig. 6 の D/M の小さい領域の変化から z/z_0 の影響もさらに考慮する必要があることとわかった。今後なお検討を加えたいと考える。最後にスウェーデンの設計製作は九大機械工学科金集一先生に協力いただいた。実験・資料整理は本学卒業生、田中保、芝尾芳昭、阿部聖、栗山恭孝、児玉英信、西村直人、松岡の協力を得た。深くなる謝意を表す。

- 1) 浦橋・松尾、土木学会年報第222(1974) 2) 香浦・河村、西部支部年報177(1979) 3) Linden, J.F.M. vol. 71 (1975) 4) Thompson-Turner, J.F.M. vol. 67 (1975)