

九州工業大学 正 潮 勝  
九州工業大学 大学院 学 ○ 尾田 芳徳  
九州工業大学 学 我間 俊一  
九州工業大学 正 西村 直人

1. はじめに 安定に密度成層化された貯水池や海域において、上層に何らかの外乱力が加わると、成層界面を通して静止状態にある下層水が上層へと連行される。そこで、連行速度と乱れの強さ(外乱力)との関係について検討するために、二成層の上層において格子を振動させることによって乱れを発生させ、平均せん断流のない乱れのみが作用した場合について、界面の時間的变化、波高変化を測定した。今回は、密度境界面の連行速度、変動特性及び界面の変動速度特性について述べる。

2. 実験概要 今回は、密度境界面の変動特性の格子中心位置からの距離 $D$ 及びRichardson数との関係を調べるため、格子振動数 $f_0$ の影響は入らないように密度境界面のBrünt-Väisälä振動数 $N$ よりはるかに大きな $f_0 = 4 \text{ Hz}$ に固定し、格子ストローフを $Z_0 = 1, 2, 4 \text{ cm}$ の三種類に、二層間初期密度差 $\Delta\rho_0$ 、界面深さ $D_0$ を適宜に変え、 $Ri_0 = \frac{B_0(D_0 + D_z)}{f_0 Z_0} \cdot \left(\frac{B_0}{\rho_0 g}\right)$ とする $Ri_0$ 数を約0.5, 1.2, 5.5, 15となるように変え、表1に示す条件で実験を行った。装置及び測定法については前報<sup>1)</sup>に述べた。格子は $M = 5 \text{ cm}$ ,  $d = 1 \text{ cm}$ の正方格子である。

3. 連行速度 連行速度 $U_e$ は平均流速が存在しないので、 $U_e = \frac{dD}{dt}$ として求められる。連行速度 $U_e$ と $Ri_0$ の関係をストローフ別に示したものが、図1である。図中の数字は界面位置 $D$ を示す。図より $D$ が $Z_0$ の約7倍までは $Ri_0^{-1/2}$ に従い、それ以上深い位置では、 $Ri_0^{-1}$ に変化することがわかる。これらの傾向は、昨年までの結果と同じであるが、連行速度は波高計を挿入したため、わずかに低い値となった。今回の結果を一応式化すると次のようである。

Table-1

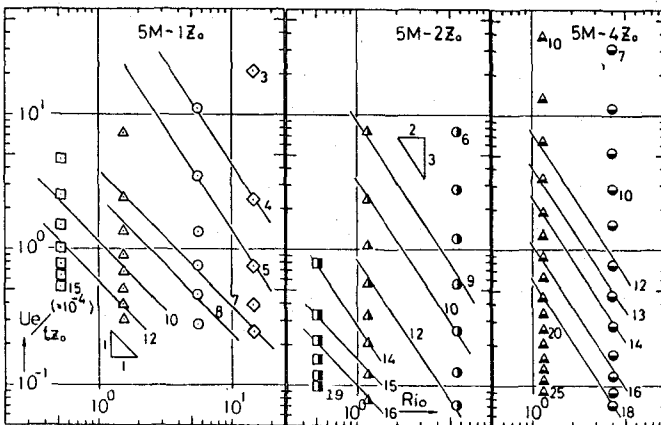
| Exp.No | Symbol | $Z_0$<br>(cm) | $Ri_0$ | $D_0$<br>(cm) | $D_e$<br>(cm) |
|--------|--------|---------------|--------|---------------|---------------|
| 515    | □      | 1             | 0.521  | 7.55          | 16.05         |
| 514    | △      | 1             | 1.540  | 5.20          | 13.35         |
| 513    | ○      | 1             | 5.540  | 3.20          | 9.65          |
| 516    | ◇      | 1             | 14.640 | 2.20          | 7.15          |
| 523    | ■      | 2             | 0.505  | 13.60         | 19.20         |
| 522    | ▲      | 2             | 1.200  | 8.90          | 15.70         |
| 521    | ●      | 2             | 5.570  | 5.15          | 11.95         |
| 542    | ▲      | 4             | 1.200  | 8.50          | 24.80         |
| 541    | ●      | 4             | 3.970  | 5.35          | 17.30         |

$$U_e / f_0 Z_0 = \begin{cases} 4.55 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{M}\right)^{-5/2} \cdot Ri_0^{-1/2} & (Z_0 = 1, D/M < 1.2) \\ 1.76 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{M}\right)^{-4} \cdot Ri_0^{-1} & (Z_0 = 1, D/M > 1.2) \\ 0.792 \left(\frac{Z_0}{M}\right)^{1/3} \left(\frac{D}{M}\right)^{-7} \cdot Ri_0^{-3/2} & (Z_0 = 2, D/M < 3.0; Z_0 = 4) \\ 0.792 \left(\frac{Z_0}{M}\right)^{1/3} \left(\frac{D}{M}\right)^{-7} \cdot Ri_0^{-1} & (Z_0 = 2, D/M > 3.0) \end{cases}$$

(M: 格子メッシュ)

この結果から、乱れの強さが $D$ の増加とともに急激に減少するために、連行の機構が $D/Z_0 \approx 7$ 近傍で変化しているものと推定される。

4. 界面変動の特性 振動格子による密度境界面の挙動を明らかにするため、内節波高計を用いて界面の変位量 $\eta$ を測定し、きざみ時間 $\Delta t = 205 \text{ sec}$ 、データ数 $N = 2048$ でMEM法を用いてスペクトルを計算し、 $R_0 = \text{const.}$ とし $Z_0$ の影響を示したものが図2、 $f_0 Z_0 = 4$ とし $Ri_0$ の影響を示したものが図3である。界面変動の特性

Fig.1  $U_e/f_0 Z_0$ - $Ri_0$  relationship

量は、界面位置が急激に変化する様子近傍とすることが困難であったが、図3の右端図に見られるように、椅子振動数 $f_0 = 4 \text{ Hz}$ のピークは急激に減衰し、スペクトルピーク周波数 $f_p$ は密度境界面の Brunt-Väisälä 振動数  $F_N$  近傍に移ることがわかった。つまり、 $D$  の増加とともに全体のエネルギーレベルが減少し、 $f_p$  も徐々に減少することがわかる。また、同じ界面位置でのスペクトルピークは、 $R_{10}$  の増大とともに減衰していきることがわかる。また、ピーク周波数より高周波側の減衰が-5 乗であることは、波の性質が強いことを意味している。

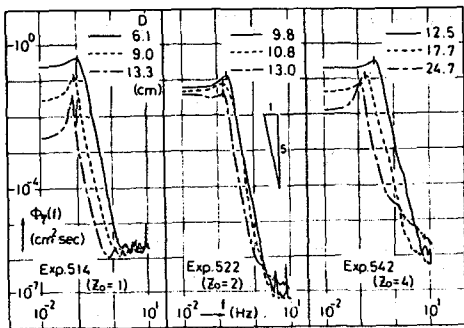


Fig.2 Spectrum( $\Phi$ ) ( $R_{10}=\text{const.}$ )

次に、界面変動のエネルギーは、 $E = \rho_0 g \bar{z}^2$  で表わされるが、これを  $E_0 = \rho_0 g \bar{z}_0^2$  で無次元化し、相対距離  $D/M$  による変化は図5のようである。これを式化するると次のようである。

$$\frac{E}{E_0} = \alpha_c \cdot (D/M)^{-5} R_{10}^{-2}$$

ただし、 $\alpha_c$  は、 $0.35$  ( $Z_0=1.2 \text{ cm}$ )、 $0.80$  ( $Z_0=4 \text{ cm}$ ) であった。界面変動のエネルギーは、 $R_{10}^{-2}$ 、 $(D/M)^{-5}$  で急激に減衰することがわかる。

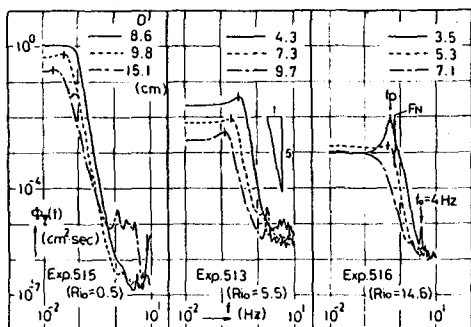


Fig.3 Spectrum( $\Phi$ ) ( $f_0 Z_0=4$ )

次に、界面の変動速度を  $v = \frac{\partial \eta}{\partial t}$  で近似し、このスペクトルの一例を図4に示した。この減衰は-4 乗であった。

変動速度  $v$  の r.m.s. を  $v'$  で表わすと、この椅子からの距離に対する変化を図6に示した。図には、homogeneous な場で測定された Thompson-Turner の乱れ強度の結果も示した。結果を式化すると、次のようになる。

$$\frac{v'}{f_0 Z_0} = \begin{cases} 0.073 (D/M)^{-1} R_{10}^{-1/4} & (Z_0=1) \\ 0.097 (D/M)^{-2} R_{10}^{-1/8} & (Z_0=2) \\ 0.73 (D/M)^{-3} R_{10}^{-1/8} & (Z_0=4) \end{cases}$$

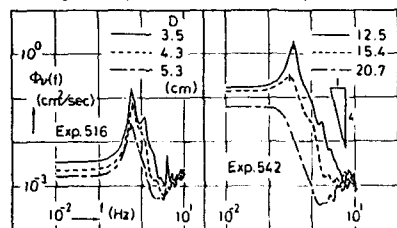


Fig.4 Spectrum( $v$ )

椅子からの距離に対する減衰べき乗は、Thompson-Turner の結果では-1 乗であるが、筆者らの結果では、 $(D/M)^n$  の  $n$  の値は大きく、 $v'/f_0 Z_0$  の値は低くなっている。これは、界面の存在が起因しているのであらう。また、 $R_{10}$  の影響があらわれ、約-1/4 乗になっている。

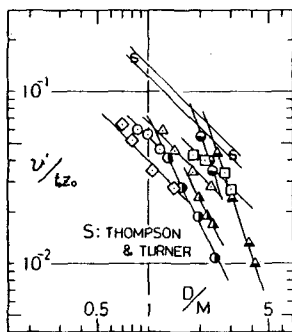


Fig.6  $V'/f_0 Z_0$ - $D/M$  relationship

最後に、助言をいただいた九州大学工学部 橋本一郎教授に、実験に協力いただいた本学開発工科学科 大学院生 児玉英信、松村武彦君及び工学部生の諸君に心から謝意を表わす。

(参考文献) 1) 瀬尾昌夫、土本孝、西村文雄、1981) p.103.

2) Thompson-Turner ; J.F.M. vol. 67 (1975)

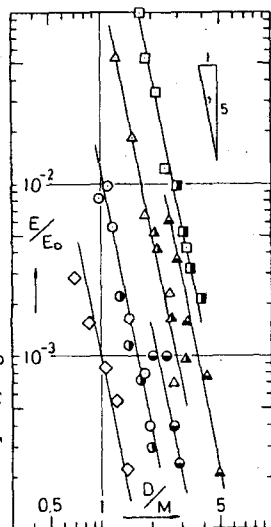


Fig.5  $E/E_0$ - $D/M$  relationship