

九州大学工学部 正員 橋 東一郎
九州大学工学部 正員 小松 利光
九州大学大学院 学生員 ○荒谷 慶太

1. まえがき

塩水楔と二層流の内部境界面においては、一般に内部波が発生・発達し、通行現象や界面抵抗に密接に関連している。しかしながら、内部波や界面動揺と上層流の乱れや、乱れ特性との関連性について定量的な研究は少なく若干の記述があるにすぎない。¹⁾そこで本文では、均一流体中もしくは二層流体の上層水中で振動格子により乱れを人工的に発生させて、界面動揺を起し乱れおよび界面変動を詳細に測定することによって、内部波の発生原因や乱れが界面に与える影響について考察を行った。

2. 実験概要

実験は格子によって生じる乱れを測定するための一様流速をもつ均一流体中で格子を振動させる実験(Exp-A)および、内部波が発生しない程度の上層流速を与えた実験(Exp-B)、それから上層流速を更に加速して通常見られる内部波が発生した状態で格子を振動させた実験(Exp-C)の3通りに分けて行った。実験条件は表-1に示す。流速はV型2方向 hot film流速計を用い、内部波高は点抗式内部波高計を用いて測定している。なお、格子はφ3mmの円形断面の真鍮棒を縦、横1.5cmの間隔で組合わせて固定したもので大きさは24.3cm×15.3cmである。

3. 平均量および乱れ特性量の分布

Exp-B-3で測定された平均流速 $\bar{U}$ 、乱れ強度 $\sqrt{u'}$ 、 $\sqrt{v'}$ 、内部波高の変動強度 $\sqrt{h'}$ の代表的な例を図-1に示す。乱れ強度は格子から遠ざかるにつれて減衰しているが界面付近で界面変動との相互干渉からやや大きくなる。界面変動は $x=5\sim 15\text{cm}$ (格子下流端を原点とする)で最大値をとりその後次第に減衰する。

4. 振動格子によって生じる乱れの特性

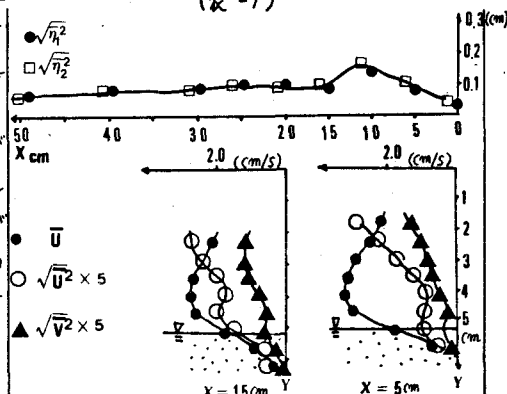
Exp-B-3における流速変動 u 、 v のスペクトルを図-2に示す。いずれも振動格子の周波数に相当する周波数帯に鋭いPeakが見られる。高周波側では粘性域の $-1/3$ 乗則が格子からの距離に関係なく良く成立しており u と v の間に差は見られない。一方、低周波側にはPeakが見られるが、これは、格子乱流の *energy containing eddies* に対応するもので、格子から離れるにしたがって低周波側へ移行する傾向が見られる。しかしながら、 $y=3\text{cm}$ (y は格子の最下位置を原点にとり、下方へ正をとる)以上では、 $f_p=0.15$ で一定となる。これは、密度界面が存在しないときは乱れのスケールは格子から離れるにしたがい単調に増加して f_p が減衰することを考えると、界面との相互干渉によるためであると思われる。

5. 振動格子によって生じる界面変動の特性

図-3にExp-B-3での $x=5\text{cm}$ における界面変動のスペクトル

EXP	NO	T[SEC]	$\varepsilon(\frac{\text{cm}^2}{\text{s}^3})$	$\bar{U}(\text{cm/s})$	$H_1(\text{cm})$	$H_2(\text{cm})$
A	A-1	∞	0	1.95	18.7	
	A-2	0.435	"	"	"	
	A-3	0.502	"	"	"	
	A-4	0.577	"	"	"	
B	B-1	0.502	0.0104	2.77	9.9	8.15
	B-2	0.435	0.0069	1.954	10.2	8.0
	B-3	0.502	"	"	"	"
	B-4	0.577	"	"	"	"
C	C-1	∞	"	4.30	11.2	7.5
	C-2	0.577	"	"	"	"

(表-1)



(図-1)

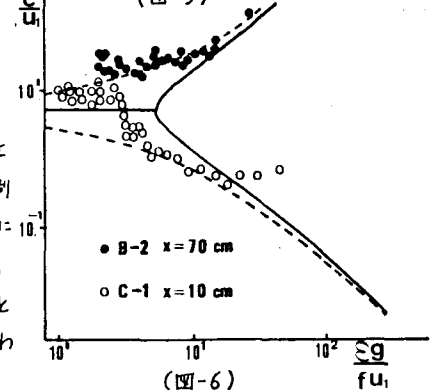
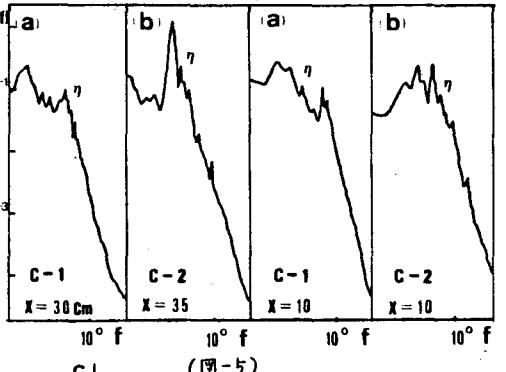
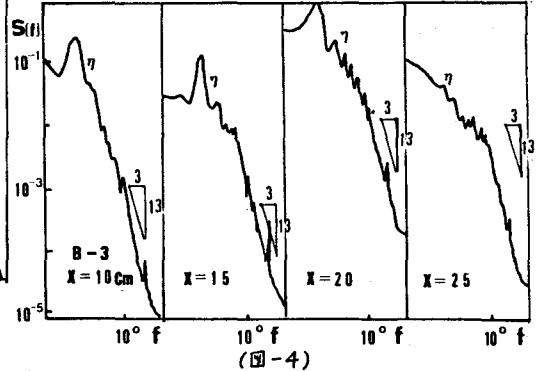
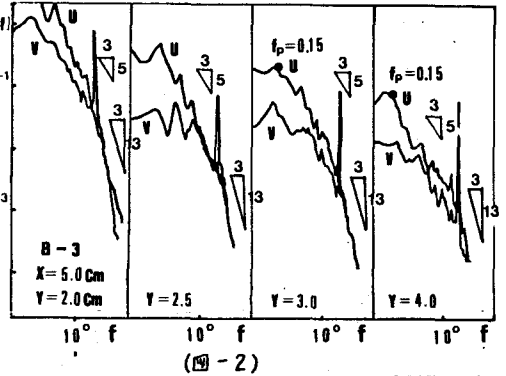
と同一点における流速変動スペクトルを示す。この点は乱れが初めて界面に接触する点である。両者は良く一

致しており、特に非同波数側の乱れのPeak ($f_p = 0.15$)は完全一致する。

図-4に乱れによって生じた内部波の流れ方向の変化を示す。下流側へいくにしたがってPeakのパワーは減衰し、一般に見られる内部波のスペクトルの形に近づいていく。

図-5にExp-Cにおける界面変動のスペクトルを示す。(a)は $T = \infty$ 、すなわち、格子を静止させているとき(b)は同じ条件で格子を振動させているときの界面変動のスペクトルである。(a)においては著者らによって報告されている正のKH波、負のKH波に対応するPeakが見られる。(b)では格子乱流のenergy containing eddiesに相当する同波数のところに顕著なPeakがあらわれ、この強制波とのinteractionにより負のKH波、正のKH波はともにエネルギーを失っている。

図-6にC-1とExp-B-2における内部波の波速の測定結果を示す。波速は流れ方向に $\Delta x = 1\text{cm}$ 離れた2本の内部



図中の実線はKH波(式(2))、破線は界面での流速のスリップを許さないときの深水内部波(式(3))の計算結果である。

$$\frac{C_i}{U_i} = 1 \pm \sqrt{\frac{\epsilon \cdot g}{4\pi f U_i} \cdot \frac{U_i}{C_i}} \quad (3)$$

Exp-B-2の測定において通常の2層流での内部波では見られない非同波の正のKH波が観測されていることは注目する。以上のことから振動格子によって引き起こされた界面変動は最初は強制波であるが流下するにしたがって減衰しながら流速せん断等の作用により自由波の性質を有する内部波へと変化していくことがわかる。従って、乱れは内部波発生トリガー的役割を果たしているものと思われる。最後に本研究に熱心に協力された並川正氏に謝意を表します。

参考文献：格・小松・下田：2層境界面における内部波と乱れに関する実験的研究(第25回水理講演会論文集1981)