

水面付近での振動格子乱流の特性量について

九州大学工学部 学生員 ○ 高原 健太郎

正 員 柴田 敏彦

正 員 小松 利光

正 員 朝位 孝二

1. はじめに

著者らはこれまで平均流が存在しない振動格子乱流場において水面近傍の乱れ特性を調べてきた^{1),2),3)}。その結果、水表面近傍では鉛直方向の乱れ強度は減少し、逆に水平方向の乱れ強度が増大するという知見が得られた¹⁾。これは鉛直方向の乱れエネルギーが水平方向の乱れエネルギーに変換されて起こる現象と考えられる。昨年度は乱れと圧力変動を測定し、この変換のメカニズムの解明を試みた³⁾。今年度も昨年度に引き続き新たなデータを付け加えてこのメカニズムの解明を行なったのでその結果を報告する。

2. 実験装置及び方法

実験装置を図-1に示す。水槽は25cm×25cm×60cm(高さ)の亚克力製で、メッシュ間隔5cmの格子をストローク6cm、振動数4Hzで鉛直に振動させて乱れを発生させた。乱れの測定にはF L V (Fiber laser velocimeter) と L D V (Laser doppler velocimeter) を使い、また圧力測定には拡散形半導体小形圧力変換器を用いて同時測定を行った。

測定は(図-2参照)振動格子の中心から上向きにz軸座標を、右向きにx軸座標をとり、水表面をZ=10.0cmに設定する。実験1では水表面下1mmに圧力変換器を設置し、その直下で距離 Δz のところに鉛直流速変動成分 w_2 測定のためのF L Vを設置し、 $\Delta z=0$ mmから16mmまで変化させて w_1 、 p の同時測定を行った。また、実験2では水表面下2mmに圧力変換器、その直下に u_2 測定のためのF L Vを設置し、これからの距離 Δx のところに u_1 測定のためのL D Vを設置した後、 u_1 の測点を $\Delta x=0$ mmから14mmまで変化させて u_1 、 u_2 、 p の同時測定を行った。

以上の実験は圧力動揺による乱れエネルギーの方向配分を直接調べるためのものであり、圧力変換器の真下では鉛直方向の流速を0、また圧力と流速の相関も0という条件を用いて得られたデータから以下の計算を行った。

$$\frac{\overline{p}}{\rho} \frac{\partial \overline{w}}{\partial z} = \frac{\overline{p}}{\rho} \frac{\overline{w_2 - w_1}}{\Delta z} = \frac{\overline{p}}{\rho} \frac{\overline{0 - w_1}}{\Delta z} = - \frac{1}{\rho} \frac{1}{\Delta z} \overline{p w_1}$$

$$\frac{\overline{p}}{\rho} \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} = \frac{\overline{p}}{\rho} \frac{\overline{u_2 - u_1}}{\Delta x} = \frac{1}{\rho} \frac{1}{\Delta x} \overline{p(u_2 - u_1)} = \frac{1}{\rho} \frac{1}{\Delta x} (\overline{p u_2} - \overline{p u_1}) = - \frac{1}{\rho} \frac{1}{\Delta x} \overline{p u_1}$$

3. 実験結果及び考察

各方向の再配分項の値を図-3、4に示すが、これは式(1)の連続の式をある程度満足し、測定データの信頼性を実証する結果となっている。

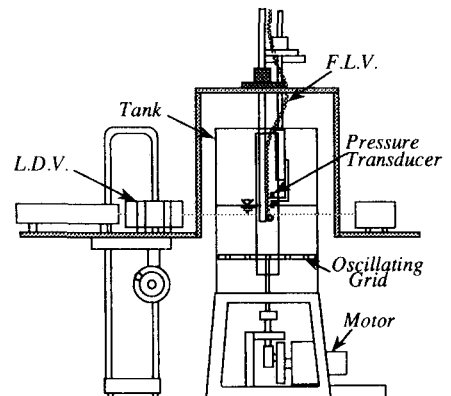


図-1 振動格子実験装置

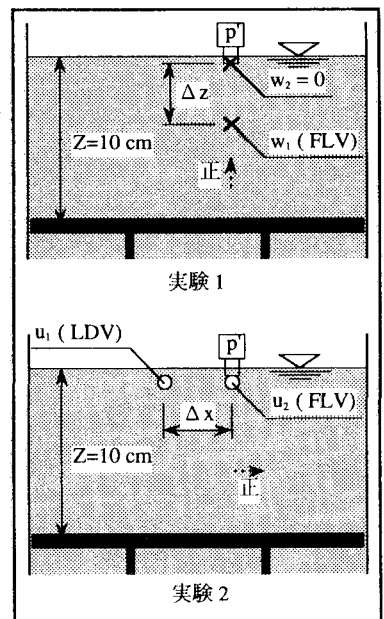


図-2 測定方法

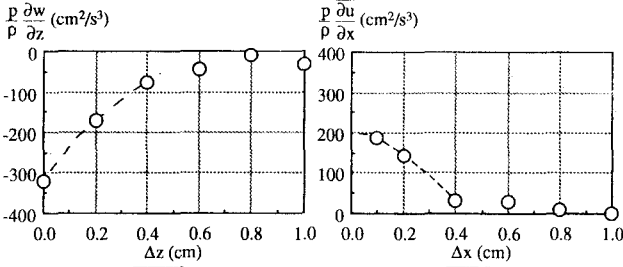


図 - 3 $\frac{p}{\rho} \frac{\partial w}{\partial z}$ の測定値

図 - 4 $\frac{p}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x}$ の測定値

$$\frac{1}{\rho} \left(p \frac{\partial u}{\partial x} + p \frac{\partial v}{\partial y} + p \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad \left(p \frac{\partial u}{\partial x} = p \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (1)$$

図-5は遅れ時間 τ に対する圧力変動と w の鉛直方向勾配の相互相関を示したものである。ピーク値における遅れ時間が負であることから、速度変動 w に勾配が生じた後に圧力変動が起こっているといえる。また圧力と速度勾配は負の相関をもつことから減速する乱れ w が圧力上昇を引き起こしていると考えられる。同様のことは図-6の p と w の相互相関係数からも言えるがピークの値をとるときの遅れ時間は Δz によらずほぼ一定であることが分かる。図-7は p と u の相互相関係数を示している。ピークの値をとるときの遅れ時間は $\Delta x=0 \sim 0.4$ cm ではあまり変わらず、しかも u の変動が p の変動より先に起こることを示している。ピークの値が負であることから x 軸の負の方向に乱れが起こるとそれに遅れて圧力が上昇していることになりこれは圧力再配分の効果では説明できない。 p と w の遅れ時間と p と u の遅れ時間とがほぼ一致しているということ、また Δz 、 Δx 共に遅れ時間がほぼ一定ということに着目すると、 w と u は空間的に一体となって変動していることが推察される。つまり w と u が一体となって変動した後に p が変動しているわけで、これはある程度のスケールを持った渦塊が水表面に接近したときの挙動を表わしていると考えられ、そのスケールは図-7で p と u の遅れ時間が $\Delta x=0.6$ cm でステップ状に変わることからおよそ 0.5 mm 程度と思われる。

4. むすび

圧力再配分によるエネルギー交換とは別にある程度の時間的・空間的に一体性を持った渦塊の挙動が水面付近の乱れ特性に寄与していることが分かった。今後は可視化実験を含めてより詳細な実験を行い更に検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) チャヤイ・ベンジャミン, 小松利光, 柴田敏彦: Influence of Free Surface on Turbulence, 土木学会西部支部研究発表会, 1991年3月
- 2) 遠藤悟, 小松利光, 柴田敏彦: 乱れ特性に及ぼす水表面の効果, 土木学会西部支部研究発表会, 1992年3月
- 3) 柴田敏彦, 小松利光, 高原健太郎: 水表面の乱れ特性に関する実験的研究, 土木学会西部支部研究発表会, 1993年3月

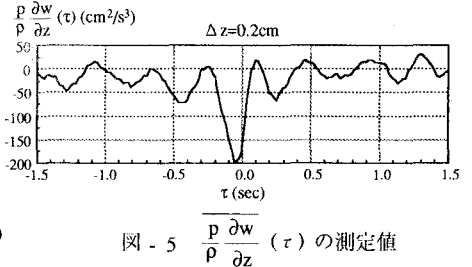


図 - 5 $\frac{p}{\rho} \frac{\partial w}{\partial z}(\tau)$ の測定値

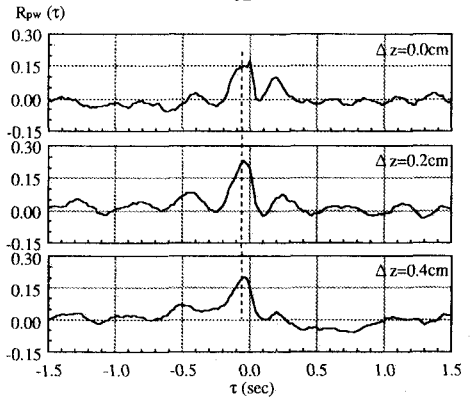


図 - 6 p - w の相互相関係数

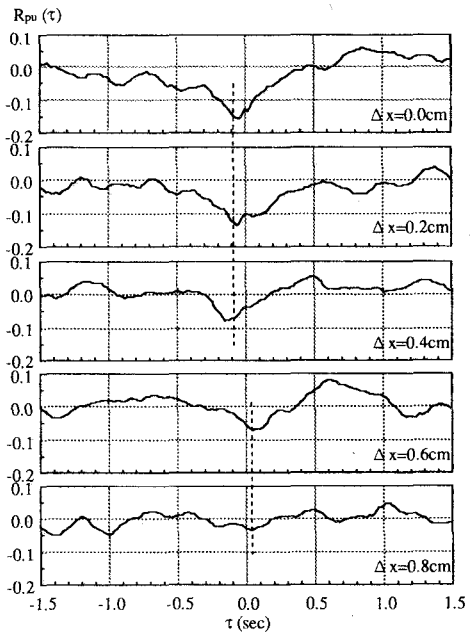


図 - 7 p - u の相互相関係数