

振動格子乱流場の自由水面領域における乱れの空間特性量

九州大学大学院 学生員○油島 栄蔵 九州大学工学部 正 員 小松 利光
九州大学工学部 正 員 柴田 敏彦 九州大学工学部 正 員 朝位 孝二

1. はじめに

著者らは自由水面領域の乱流構造の把握を目的とし振動格子乱流場を対象として乱流計測を行った¹⁾。しかしながら、この計測は点計測であるため波数スペクトルをはじめとする乱れの空間特性量を得ることが出来なかった。そこで新たに空間特性量を計測できる実験装置を作製した(図1参照)。この実験装置により空間特性量に関する詳細なデータが得られることが大いに期待できる。しかしながら、この種の実験装置では2次流の発生が一般的には避けられないことが注意すべき点である。2次流の変動を乱れとして取り込み乱れ特性量の算定に大きな誤差を引きおこす可能性があるからである。そこで、今回の実験ではアンサンブル平均と移動平均を用いて2次流成分をカットすることにより純粋な乱れを抽出することを試みた。

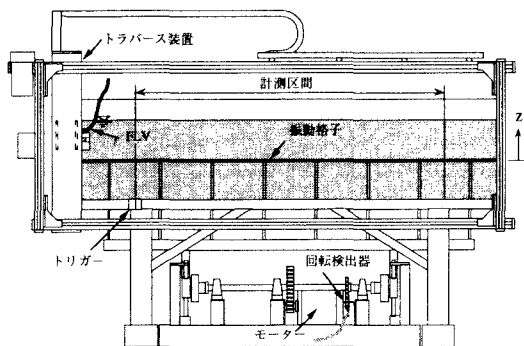


図1. 振動格子実験装置

2. 実験装置及び方法

本実験で用いた装置の概要を図1に示す。水槽は長さ200.0 cm、高さ50.0 cm、幅25.0 cmの亚克力製で、水槽底部から20.0 cm上方に1.0 cm幅の角柱正方の格子を取り付け、それを鉛直に振動させることにより乱れを発生させた。乱れの計測にFLV(Fiber Laser Velocimeter)を使用し、それを水槽と独立させたトラバース装置に取り付け、水平方向に一定速度で滑らかに走行させながら乱れの計測を行うことにより乱れの空間特性量を評価した。実験では格子のストローク長は4.0 cm、振動数は4.0 Hz、格子間隔は5.0 cm、格子の振動の中心($z=0.0$ cm)から水表面までの距離 z_s は25.0 cmと設定した。また、トラバース装置に取り付けたFLVの移動速度は16.0 cm/sとした。1回の走行で得られた出力信号は、時間間隔 $\Delta t=1/1000$ 秒でAD変換され、8192個のデータとして収録された。本実験では乱れ成分とそれに付随する平均流(2次流)成分をうまく分離しなければならないことを考慮して、同一平面内での測定においては空間的に同一区間のデータ収集を可能とさせる装置(トリガー)を新たに作成した。

3. 実験結果及び考察

水平方向の乱れ成分 u' の5回の測定の時系列を図2(a)に示す。本来の乱れ成分とは異なるスケールの大きな変動が見られる。これは水槽の形状や側壁の存在などに起因する2次流成分と思われる。Hopfinger *et al.*²⁾は格子の幾何形状によって2次流をある程度抑制できると報告している。しかし、今回の実験で用いた格子条件は彼らが用いたものと同じであることから、格子の幾何形状の工夫だけでは2次流のない流れ場を作ることは困難であることが明らかとなった。そこで同じ

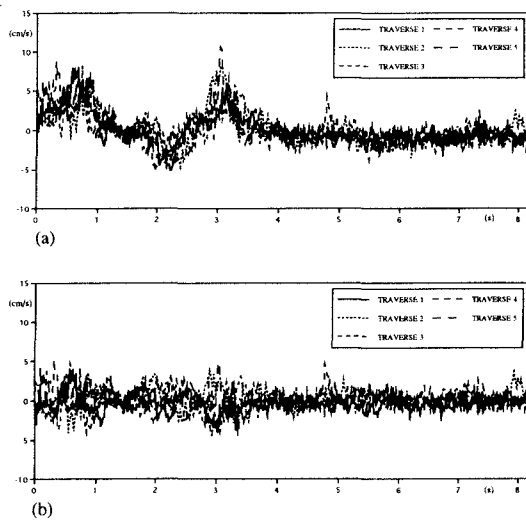


図2. u' の時系列 ($z=17.0$ cm) (a) 2次流カット前 (b) 2次流カット後

水平面内で20回の乱れの測定を行い、アンサンブル平均をとることにより乱れの成分を大部分除去し、なお残った変動については移動平均をかけることで、滑らかな2次流流れを水平及び鉛直流速について算出した。得られた時系列データは2次流の空間分布に対応しておりこれらを元の乱れのデータから差し引くことにより、水平及び鉛直方向の乱れ成分 u' , w' を抽出した。

乱れ成分 u' の例を図2(b)に示す。図2(a)と較べて大きな周期の変動はほとんど見られず、2次流成分がうまく除去されていることが期待できる。図3に実験により得られた乱れエネルギーの空間分布を示す。ここで乱れの統計量は水平面内において一様で方向性をもたないことを考慮して乱れエネルギーを $k=(2u'^2+w'^2)/2$ から算出した。2次流の成分を除くことにより乱れエネルギーが小さくなっており、その割合は振動格子から離れて乱れエネルギーが小さくなる程顕著になっている。

図4には2次流成分を含んでいる水平方向及び鉛直方向の乱れ強度 u'_o/w'_o と乱れエネルギー k_o の過大評価の程度を示している。ここで、 u'_o/u' , w'_o/w' , k_o/k はそれぞれ2次流カット前の各値をカット後の値で除したものである。これによると、 u'_o/w'_o についてはそれぞれ約105~115%, 125~180% となっており、大きく過大評価されているのが分かる。これに伴い k_o に関しても約130~190%程度にまで過大評価されるという結果に至っている。ここでは示されていないが、他の乱流特性量(積分長さスケール, 乱れエネルギーの散逸率)についても2次流により過大評価されているのが確認されている。

図5は乱れの等方差 w'/u' の鉛直分布を示している。2次流カット前の等方差は1.4~1.6であったのに対し今回の一連の平均操作によって2次流成分をカットした後の等方差は0.9~1.2である。これは Hopfinger *et al.*²⁾ による同様な振動格子による実験での1.1~1.3と比べてもよい値を示している。

4. 結論

今回の実験において、トリガーの設置により測定の各試行において同一区間での乱れの測定が可能となった。従って、FLVでの高精度計測に加えてアンサンブル平均等の平均操作により測定データに含まれている2次流成分の抽出及びカットも可能となり、乱流特性量の高精度計測が可能となった。今後詳細な計測を行い、考察・検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 小松, 柴田, 朝位, 高原: 振動格子乱流場における水表面近傍の乱れ特性, 水工学論文集, 第39巻, pp. 819-826, 1995.
- 2) Hopfinger, E. J. and Toly, J. A.: Spatially decaying turbulence and its relation to mixing across density interface, J. Fluid Mech., Vol. 78, pp. 155-175, 1976.

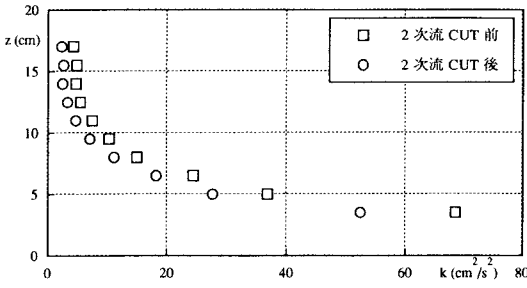


図3. 乱れエネルギー k の鉛直分布

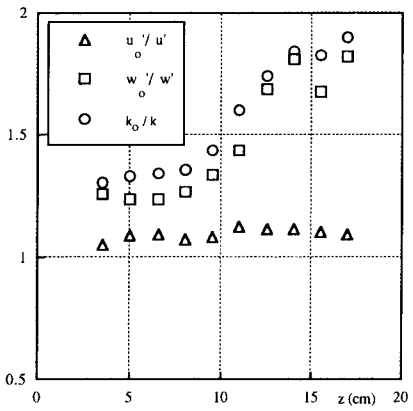


図4. 乱れ強度と乱れエネルギーの過大評価の程度

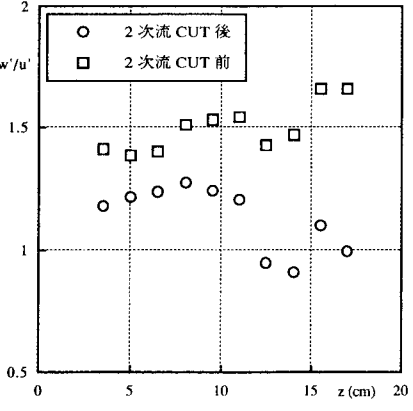


図5. 乱れの等方差の変化