

浮遊固体粒子による乱流構造の変化

九州大学工学部 学生員 ○竹内 美礼 九州大学大学院 学生員 押川 英夫 油島 栄蔵
九州大学工学部 正 員 小松 利光 柴田 敏彦

1. はじめに

固液混相流場において浮遊粒子の存在が流体の乱れや平均流速に及ぼす影響について数多くの研究がなされている。しかしながら、従来の研究は点計測による乱れの時間特性量の解析が主であるため、乱れの空間特性量には不明な点が多い。本研究は振動格子乱流場において空間特性量の測定が可能な実験装置を用いることにより、粒子の存在による流体の乱流構造の変化を調べることを目的としており、今回の報告では乱れ強度と積分長さスケールについての解析を行なっている。

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上方にメッシュサイズ $M=4.418$ cm、栈幅 $d=0.884$ cm で $M/d=5.0$ の角柱正方格子を取り付け、それを鉛直に振動させることにより乱れを発生させた。乱れの計測には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22.0 cm/s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。その際、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。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する装置(トリガー)を使用した。用いた粒子は平均粒径 $d=0.67$ 、 1.02 mmの2種類のポリスチレン粒子(比重 $\sigma=1.062$)であり、塩を用いて周囲水の比重調整を行い中立浮遊させた。計測は粒子濃度 C を $C=0.000 \sim 0.150$ %まで7段階に系統的に変化させることにより行った。全実験を通じて、格子の振動数 f は4.0 Hz、ストローク数 S は6.0 cm、格子の振動の中心 ($z=0.0$ cm) から水面まで距離 Z_s は25.0 cmとした。尚、粒子濃度が高くなりレーザー光が粒子に当たることによって発生した異常値についてはしきい値を用いて判定し、直線内挿を行った。

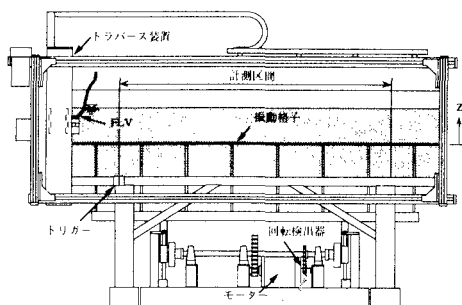


図1 振動格子実験装置

3. 実験結果及び考察

3-1 乱れ強度 水平方向の乱れ強度 u 、鉛直方向の乱れ強度 w の粒子濃度による変化を測定断面をパラメーターとして示した例(粒径 $d=0.67$ mm)がそれぞれ図2、図3である。これらの図で乱れ強度は u 、 w 共にばらつきが少なく安定していることから、FLVの移動計測にも関わらず精度の良い実験であることが推測できる。

図2で、乱れ強度 u は粒子のない粒子濃度0.000%と最も濃度がまだ薄い0.050%とを比較すると全測定断面

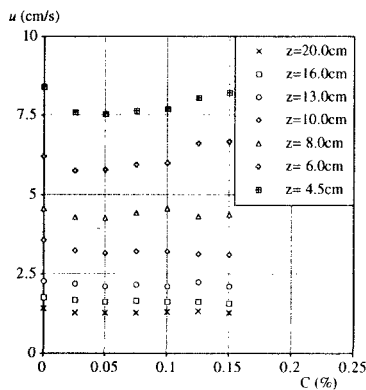


図2 乱れ強度 u ($d=0.67$ mm)

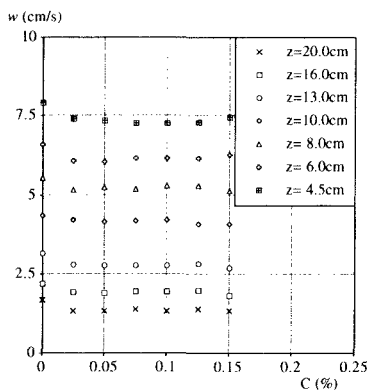


図3 乱れ強度 w ($d=0.67$ mm)

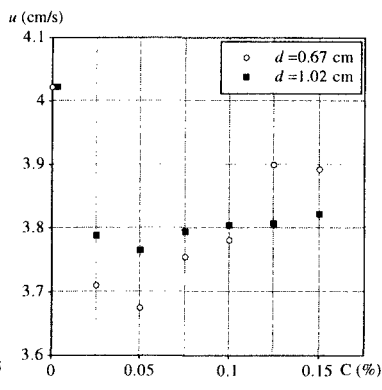


図4 乱れ強度 u の相加平均

で減少しており、本実験で用いた粒径の範囲では粒子の混入により乱れ強度 u は減少することが分かる。また、粒子濃度が0.025～0.075%程度では u がほぼ一定の濃度領域となっている。更に粒子濃度が高くなると粒子濃度0.100%を境にして、測定断面により u の濃度依存性が異なっている。そこで、スケールを反映する測定断面の違いによる効果、乱れの異方性による効果等も含めて u の大局的な濃度依存性を知るため、測定断面全ての乱れ強度 u を粒子濃度毎に相加平均した。 u の平均値の粒子濃度による変化を粒径をパラメーターとして示したものが図4である。乱れ強度 u は粒径0.67、1.02mm共に粒子の存在により一旦減少するが、粒子濃度の増加に伴い増加していくことが分かった。増加領域である粒子濃度0.050%以降での乱れ場のメカニズムについて明確なことは現段階では言えないが、粒子同士の間隔の減少により、粒子-流体間だけでなく粒子同士の相互干渉が乱れ場に何らかの影響を及ぼしていると思われる。

図3から乱れ強度 w も実験で用いた粒径の範囲では、粒子が混入されることにより u 同様減少することが分かる。しかし、 w の粒子濃度依存性は実験範囲内では見られなかった。

3-2 積分長さスケール 乱れのタイムスケールに及ぼす浮遊粒子の影響については日野²⁾が乱れのエネルギー方程式と加速度平衡式で構成された理論的考察から渦の寿命時間は粒子濃度の影響を受けて変化し、特に中立浮遊粒子の場合は、粒子濃度の増加と共に渦の寿命は減少すると予測している。このことから乱れの長さスケールも粒子の存在により減少することがある程度期待できるが、未だ実験的な検証はなされていない。図5、6に異常値補正後の u' 、 w' の水平方向の積分長さスケール lu 、 lw を示す。データに若干のばらつきはあるけれども図5、6より、乱れの長さスケールについても C の増加に伴い $C=0.000\%$ のもの（図の直線）よりも減少する傾向にあるということが実験的に解明された。

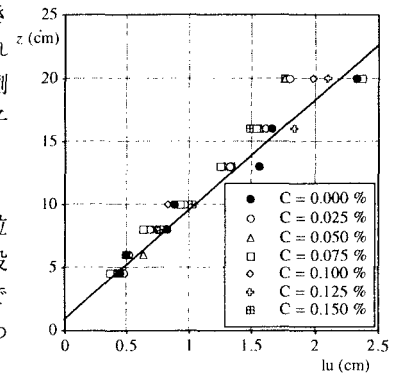


図5 積分長さスケール lu ($d=0.67\text{mm}$)

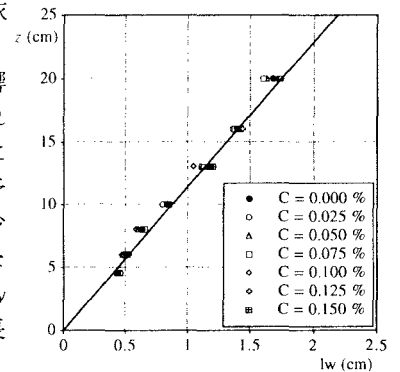


図6 積分長さスケール lw ($d=0.67\text{mm}$)

4. 終わりに

本研究は振動格子乱流場において中立浮遊粒子による乱流構造の変化を詳細に調べたものである。本研究で得られた主な知見を列挙すると次の通りである。

- (1) 実験で用いた粒径に関して、乱れ強度 u 、 w 共に粒子の存在により減少する。
- (2) 実験で用いた粒子に関して、乱れ強度 u は粒子濃度の影響を受け易く $C=0.050\%$ 以上で再び増加するが、乱れ強度 w は実験範囲内では粒子濃度にはほとんど依存しない。
- (3) 積分長さスケールは粒子濃度の増加と共に $C=0.000\%$ のものより減少する傾向にある。

今回の実験のように浮遊固体粒子を含む乱流の現象は非常に複雑でそのメカニズムは粒子と流体間の相互作用だけでなく粒子と壁面間の相互作用、粒子間の衝突、水槽内の流れの形態といった数多くの要素によって支配され解明することは容易ではないが、その重要性に鑑み今後は他のメカニズムについても理論的、実験的に解明し精力的に研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 例えば、欄津家久：開水路流の乱流構造に関する基礎的研究，京都大学学位論文，1977。
- 2) 日野幹雄：固体粒子を浮遊した流れの乱流構造の変化，土木学会論文集，第92号，1963。