

球粒子の通過に伴う乱れ特性の変化に関する実験的研究

九州大学大学院 学生員 ○竹内 美礼 フェロー 小松 利光
正会員 押川 英夫

1.はじめに

著者らは現在まで中立浮遊粒子を含む振動格子乱流場の乱れの特性量の変化を調べてきた。しかしながら平均せん断流の存在しない比較的単純な定常乱流場である振動格子乱流場においてさえ、粒子が混入された際に生じる乱れの変化は複数の要因が相互に影響し合っており、それらが乱れに及ぼす影響の評価は非常に困難なものとなっている。

本研究では混相流場の乱れの構造をさらに詳細に調べるため、その場をよりシンプルにモデル化して捉え、振動格子により生じる乱流場を単一球形粒子が一定速度で通過した際に生じる粒子背後の液相の乱れについて実験的に検討を行った。

2.実験方法及び条件

本研究で用いた実験装置は著者らが以前行った研究¹⁾で用いたものと基本的には同じであるが、今回の実験では流速の計測を行うFLV(Fiber Laser Velocimeter)および粒子を水槽と独立させたトラバース装置に一体として取り付けた(図1参照)。実験は振動格子を動かしながらトラバース装置を水平方向に一定速度で走行させつつ流速の測定を行うことで、乱流場を通過する粒子の背後の後流を測定した。図1で示すように測定位置 l_* は粒子をトラバースさせる軸上で、トラバース方向とは反対側の表面から粒子の後方に6~30mmの範囲で変化させた。また粒子の有無による特性量の比較を行うために粒子が存在しない条件での計測も行っている。この際、格子を振動させない場合でも行われているが、この実験は装置の振動等に伴う誤差の程度を評価する意味で行われている。実験で用いた粒子(66ナイロン)は粒径 $d=6.4\text{mm}$ であり、トラバース速度を $U_t=8.0\text{cm/s}$ としたため粒子レイノルズ数は $R_p=512$ である。今後の比較のために、測定断面および水表面の高さは以前行った研究¹⁾と同じとし、格子の振動の中心から鉛直上向きに11.5cmの位置に、水表面は25cmの位置にそれぞれ設定した。格子の振動数 f_g は1, 2, 4Hz及び振動させない場合($f_g=0$)の4条件とし、ストロークは6cmに固定した。流速の測定は水平方向、鉛直方向それぞれ行われたが、鉛直方向の流速の測定は $f_g=0$ の条件のみである。尚、本研究は各条件についてそれぞれ100回の測定が行われており、結果は全て同一条件における集合平均に基づいている。

3.実験結果及び考察

乱流中を粒子が通過することによって粒子背後に生じる後流の軸上平均流速を示したものが図2である。横軸は粒子から測定点までの距離 l を粒径 d で、縦軸は粒子の進む方向を正とした平均流速 U を粒子の移動速度 U_t でそれぞれ無次元化している。周囲流体に乱れない $f_g=0$ では、粒子近傍で粒子の速度に近い平均流速が生じており、粒子から離れるに従って平均流速は減少し粒径の5倍程度の距離となると U/U_t はほぼ0となり粒子の通過によって生じた流れはほぼ無くなっている。格子を振動させて周囲流体を乱流場とした場合にも、粒子から離れるに従い平均流速が減少しているが、 f_g の増加に伴い周囲流体の乱れによる運動量輸送のため、平均流速の減衰が著しく促進されている。

本実験で計測される乱れは振動格子によって生じる乱れ、粒子が通過することによって生じる後流の乱れ、およびそれらのinteractionによって形成されているが、interactionに関しては一先ず無視し、粒子が通過すること

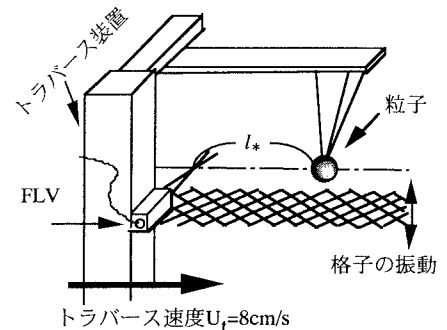


図1.測定装置の模式図

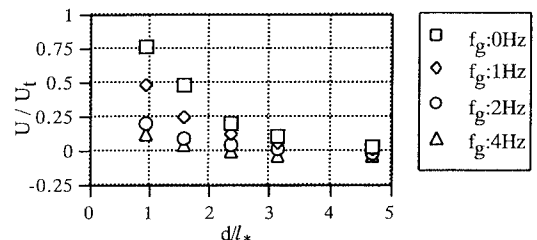


図2.平均流速

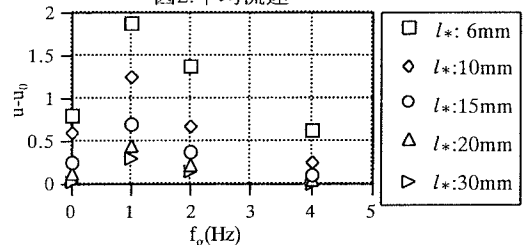


図3.乱れ強度の変化

で増加した乱れを算出するため、横軸を振動条件、縦軸を粒子の背後での乱れ強度 u と同じ f_g において粒子が存在しない場合での乱れ強度 u_0 との差 $u-u_0$ としたものが図3である。全ての振動条件において粒子から離れるほど $u-u_0$ は小さくなっており、粒子の通過による乱れは弱くなっているものと思われる。格子の振動数に着目すると、 f_g が大きくなると乱れ強度の変化が小さくなる傾向にある。この理由としては周囲流体の乱れが弱いと粒子の背後にできる平均流が速度勾配を生じ、乱れが増えるが、周囲流体の乱れが強いと粒子の進行方向に直交する方向の運動量輸送が促進され、粒子の背後に平均的な流れが生じにくくなり、速度勾配も大きくならないことから粒子の移動によって乱れがあまり増加しないということが考えられる。

図4、図5は $f_g=0$ での水平鉛直両方向の乱れの周波数スペクトルである。両方向ともに $f=3.3\text{Hz}$ 付近にピークが存在する。坂本²⁾は一樣流場に固定された球の背後に発生する渦のStrouhal数($S_r=Ud/\nu$ 、 f :渦の発生周波数、 U :主流の流速)は0.2程度であるという知見を得た。本実験結果においてもピークのStrouhal数を求めると0.26となり、これらは坂本²⁾の結果と近い値であり、これらのピークは後流の渦の発生周波数であると考えられる。ここで粒子を入れずに行った実験結果を見ると水平方向のスペクトルにおいて $f=3.3\text{Hz}$ に若干のピークが存在する。これは装置固有の振動、ノイズなどによって現れた可能性も考えられ、粒子を通過させた際の実験にもこれらの影響が含まれていることも予想される。今後さらにデータの信頼性を高めることが必要であると思われる。図6は $f_g=1\text{Hz}$ の時の水平方向の乱れの周波数スペクトルである。この図では粒子に近いほどパワーが増加している。 $f_g=0$ の時に現れるような後流の影響と思われるピークは存在せず、全体的にパワーが増加し、粒子の通過の影響が幅広い周波数帯に及んでいることがわかる。

4.まとめ

本研究の結果をまとめると以下の通りである。

- (1)乱流中を粒子が通過する時、元々の場の乱れが大きいと乱れ強度の増加は小さくなる。
- (2)乱れの周波数スペクトルにおいて粒子が静水中を通過したときに発生する後流の渦の発生周波数のピークは、乱流場を通過したときには現れない。

著者らは現在さらに R_p や格子の振動数等を変えて様々な条件での実験を行っている。今回提示した考察も含めて乱流場を通過する粒子が乱れ場に与える影響についてより詳細に調べて行く予定である。

参考文献

- 1)小松利光、押川英夫、竹内美礼:中立浮遊粒子を含む乱れ場の空間特性、水工学論文集、第43巻、1999
- 2)坂本弘志、羽二生博之、中村知己:一樣流中にある球から放出される渦に関する実験的研究、日本機械学会論文集(B編)、55巻、515号、PP.1889-1895、1989

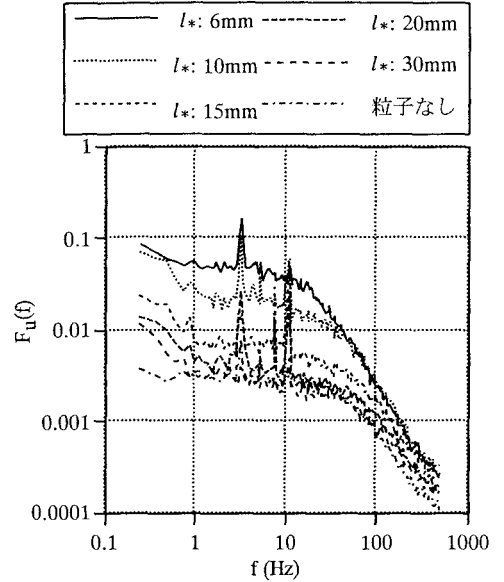


図4.乱れの周波数スペクトル $F_u(f)$, $f_g=0\text{Hz}$

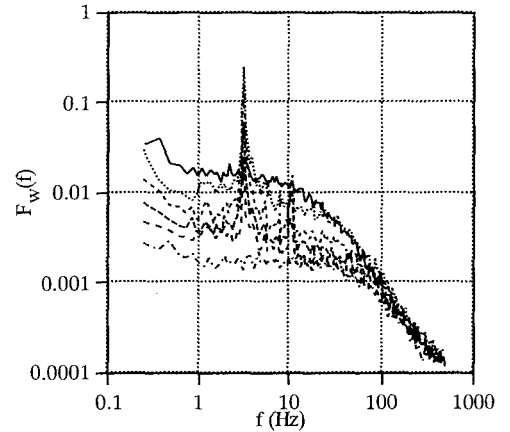


図5.乱れの周波数スペクトル $F_w(f)$, $f_g=0\text{Hz}$

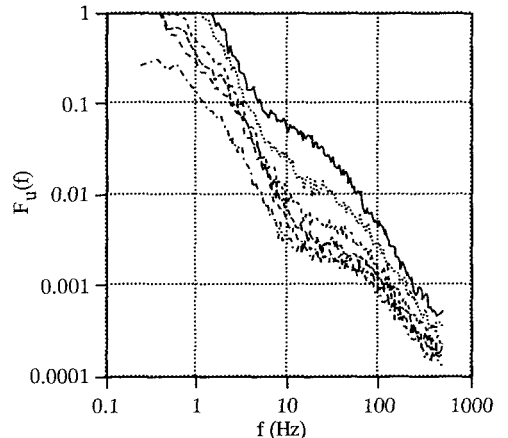


図6.乱れの周波数スペクトル $F_u(f)$, $f_g=1\text{Hz}$