

大阪大学工学部 正 員 玉 井 昌 宏
大阪大学工学部 学生員○関 静 夫
大阪大学工学部 正 員 村 岡 浩 爾

1. 研究の目的 既存の流動中に固体粒子など分散相が混入すると乱流構造が変化する、いわゆる乱流変調が生じる。Gore¹⁾の整理した結果は、粒子径(d)と乱れの長さスケール(L)の比率(d/L)がおおよそ0.1以上の粗い粒子の混入は乱れ強度の増大に貢献し、逆に0.1以下の細かい粒子は乱れ強度の抑制に貢献することを示している。しかしながら、筆者ら²⁾の実験によれば、粒径が大きくなると乱れ強度は確かに増大するものの、乱れの積分長さスケールは逆に減少するというので、乱れ強度の増大が直接に乱流輸送の増大に結びつかないという結論を得ている。このように粒子混入による乱流変調について統一的な結論が得られない理由は、対象とする流動システムそのものが複雑な乱流構造を有するために、得られた実験データの中から分散相と連続相の相互作用の影響を定量的に抽出するまでには到らなかったことによると考えられる。

本研究の目的は複雑な流動システムに悩まされることなく、単純なシステムの中で粒子-乱流の相互作用を明らかにすることにある。そのひとつの方法として、Parthasarathyら³⁾に倣い、静水中に単一粒径の固体粒子を一樣に沈降させることにより生じる乱流場について検討した。

2. 実験方法 実験装置の概要を図-1に示す。粒子供給装置から供給された粒子は、26cm×26cmの5段の金網を用いた粒子分散装置を通して、幅と奥行き26cm、高さ50cmの水槽に一樣かつ連続的に投下される。粒子によって生じた乱流場をレーザードップラー流速計LDVによって計測した。また、ここで用いた粒子は公称粒径が1mm、粒子レイノルズ数 $Re_p=154$ のガラスビーズである。直径1mmのガラスビーズによるレーザーの反射光(あるいは散乱光)は高強度であることから、周波数トラッカーから得られる流速データには不要なノイズが混入する。本研究では、フォトマルチプライヤからの信号を分岐させて直接AD変換し、ペDESTALレベルを用いて不要なデータを除去する方法を用いた。本研究では平均流動が形成されないことから粒子の失うポテンシャルエネルギーはすべて乱れにより逸散されることになる。この様な観点から、ここでは実験条件は次式より算出されるポテンシャルエネルギーの逸散率 ε を用いて表示

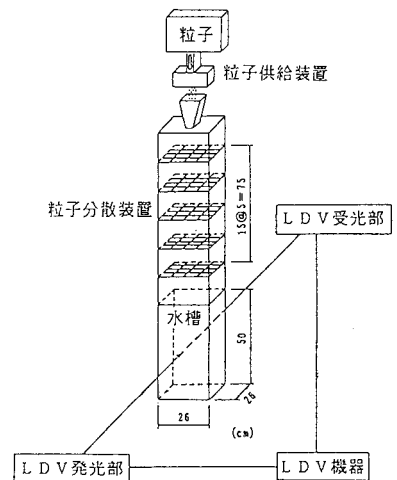


図-1 実験装置

する。 $\varepsilon = Q \cdot g / A (\gamma - 1)$ ここに、 ε : 逸散率(cm^2/s^3)、 Q : 投下量(cm^3/s)、 g : 重力加速度(cm/s^2)、 A : 水槽断面積(cm^2)、 γ : 粒子の比重である。従って、逸散率は粒子濃度に比例する。

3. 実験結果と考察 図-2は鉛直方向と水平方向流速変動の乱れ強度の断面内分布である。横軸は水槽中央からの水平方向距離を示している。断面内では概ね一樣になっており、一樣な乱流場が形成されているのが確認できる。また、鉛直方向乱れ強度は水平方向より僅かに大きくなっている。図-3は流速変動の確率密度分布である。全ての実験条件について重ねて示している。実線はガウス分布を示している。鉛直方向流速変動については概ねガウス分布に一致している。これに対して、水平方向流速はより先鋭な分布となって

Masahiro TAMAI, Shizuo SEKI, Kohji MURAOKA

いる。

図-4はエネルギー逸散率と乱れ強度との関係を示している。鉛直方向乱れ強度は水平方向の1.2~2.0倍程度の規模となっている。 ε の増加にともないこの比率つまり乱れの異方性は増大する。

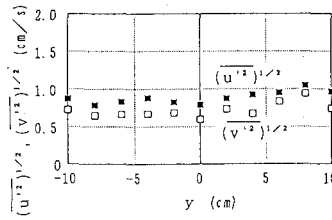
図-5、図-6はそれぞれ水平方向と鉛直方向の流速変動のスペクトルである。横軸の周波数は粒子径 d と自由沈降速度 U から算出される粒子通過時間の逆数(U/d)で無次元化されている。また、縦軸についても、乱れ強度と U/d で規格化されている。水平方向については粒子通過に相当する周波数において僅かにピークが観察される。しかしながら、粒子間距離に相当する周波数よりも低周波のエネルギーが存在し

ているのは興味深い。これは粒子の後流の平均流成分や粒子間距離に相当する周波数成分が影響しているものと考えられる。粒径が同一であれば概ね同一の減衰特性を示すことがわかる。 $10^{-2} < f \cdot d / U < 10^0$ の領域においては、概ね $-5/3$ 乗程度の勾配となっている。鉛直方向スペクトルにおいては粒子濃度が大きくなるほど、低周波成分が大きくなり、高周波成分が小さくなる傾向がある。特に、高周波成分は $f \cdot d / U = 1.0$ 付近でスペクトルの差異は最も顕著に現れている。これは粒子濃度が小さいほど、個々の粒子の通過による乱れが卓越するのに対して、粒子濃度が大きいケースでは粒子の相互作用が顕著になり、より低周波のスペクトル成分が顕著に現れてくることを示している。

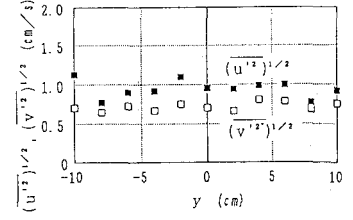
(参考文献) 1) 日本流体力学会編：混相流体の力学，p.113，1991。

2) 玉井・下屋・村岡：粒子ブルームの乱流特性流動構造に関する実験，水工学論文集，37，1993。

3) Parthasarathy・Faeth：Turbulence Modulation in Homogeneous Dilute Particle-laden Flow，JFM，220，1990。

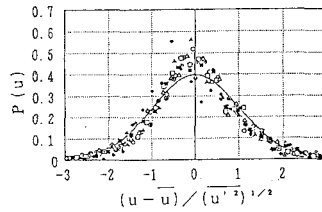


(a) $\varepsilon = 1.70 \text{ cm}^2/\text{s}^3$

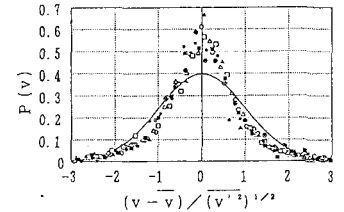


(b) $\varepsilon = 3.02 \text{ cm}^2/\text{s}^3$

図-2 乱れ強度の断面内分布



(a) 鉛直方向



(b) 水平方向

図-3 流速変動確率密度分布

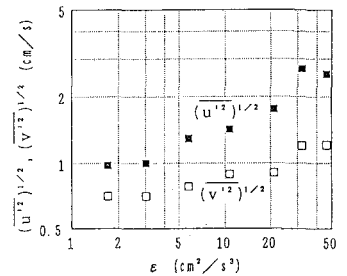


図-4 乱れ強度と逸散率

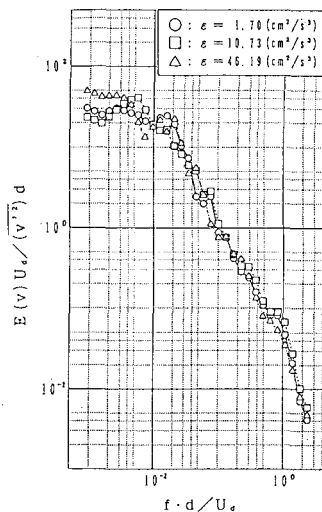


図-5 水平方向流速変動

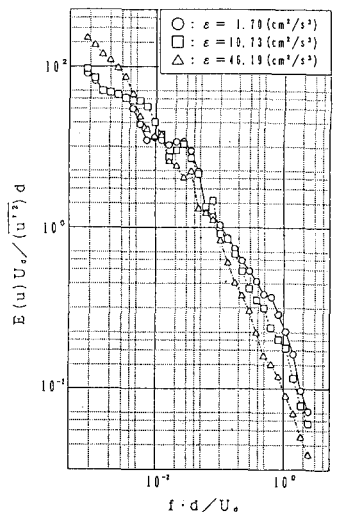


図-6 鉛直方向流速変動