

II-66

レーザ流速計による固液2相流の粒子及び流体速度の同時測定

九州大学工学部 正 員 上田 年比古 神野 健二 初井 和朗

九州大学工学部 学生員○牛嶋 純 川本 敏道

1. はじめに 乱流中の微粒子の浮遊あるいは比較的大きな粒子の重力沈降などの固液2相流は、乱流中において粒子および流体が相互に影響し合い流体の乱れの構造が変化するきわめて複雑な現象である。最近の2相流の乱流構造に関する研究^{1), 2), 3)}によれば、Kolmogoroffのミクロスケール程度の粒径をもつ微細粒子の2相流では流体の乱れエネルギーが抑制されるのに対し、粗大粒子の場合では新たに流体のエネルギーが生成されることが報告されている。また粒径の相違の他に粒子濃度も固液2相流の乱れの構造に影響を及ぼす重要な因子³⁾となってくるであろう。

本報では上述の粒子および流体の相互運動を実験的に検討するための第一歩として、まず非接触測定が可能であり固液2相流の速度測定に有効なレーザ流速計を用いて粒子と流体の速度、粒子個数濃度の同時測定システムについて検討し、次いで固体粒子(粒径1.25mm, 比重1.08)の存在が流体の乱れに及ぼす効果に関する基礎的知見を得ようとするものである。

2. 実験装置 図-1に全長8m, 勾配1/100, 水深 $h=27\text{cm}$ の開水路での粒子および流体速度の測定状況を示す。Reynolds数($U_0 h / \nu$)は22300である(ここに、 ν :動粘性係数, U_0 :断面平均流速9.59cm/s)。粒子は平均粒径1.25mm, 比重1.08, 終末沈降速度5.87cm/sの白着色ポリスチレン球である。この粒子を高さ17.5cmの位置のノズルの噴出口(内径9mm)より水とともに噴出し、噴出口より下流15cmの位置で粒子および流体の水平方向速度成分の測定を行った。

3. 信号処理システム^{*)} 図-2に本実験で用いた信号処理システムを示す。まず流体からのドップラ信号を前方散乱方式(透過方式)、粒子からのドップラ信号を後方散乱方式(反射方式)でそれぞれ独立に二つのフォトマルPM1, PM2により検出する。次いで、粒子および流体からの4msec毎のドップラ信号のピーク周波数をスペクトルアナライザ(FFT)により求め、マイコンに転送後、速度に換算した。またF/Vコンバータにより粒子のドップラ信号をパルス信号列に変換し単位時間に測定点を通過する粒子個数を求め濃度とした。

図-3にそれぞれのフォトマルから得られたドップラ信号の一部の20msec間の信号例を示している。図上部の流体信号が遮断された区間は図下部の粒子信号に対応しており、本方式によれば粒子および流体信号の分離処理を特に行う必要がない利点がある。

4. 結果および考察 図-4に高さ13cmにおける(a)单相流、(b)固液2相流の粒子および流体速度の時系列(サンプリング時間間隔 $\Delta t=4\text{msec}$)の一部を示す。また図-5には、(A)流体および粒子の平均速度分布、(B)流体の乱れ強度の分布、(C)測定点を単位時間当たりに通過する粒子の平均個数濃度分布、(D)粒子の個数濃度変動の標準偏差 σ (図中実線)および各測定位置における平均個数濃度 N に対する標準偏差 σ の比である変動係数 σ/N (図中点線)を示している。

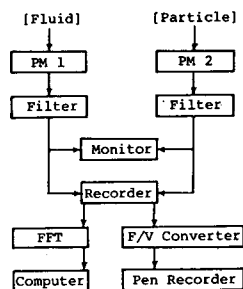


図-2 信号処理システム

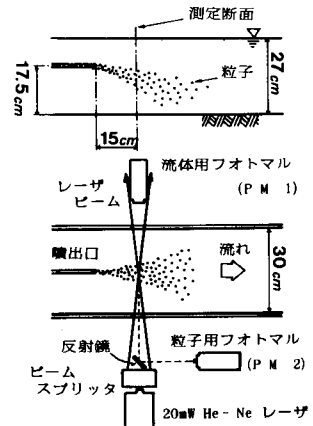


図-1 実験装置

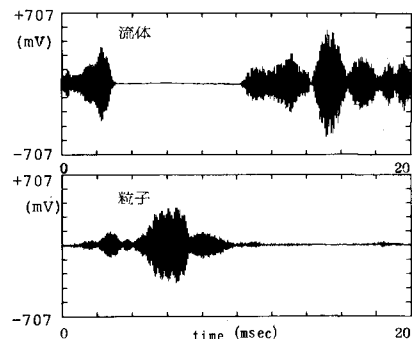


図-3 流体および粒子から得られるドップラ信号例

4.1. 平均速度分布【図-5(A)】: 粒子を付加しない場合では流体の平均速度はノズルからの噴出のため噴出口中心(高さ17.5cm)で最大となっている。粒子を付加した場合は、ノズルから粒子を噴出するために流体のエネルギーが消費され噴出口中心付近で一様流速分布となっている。また、粒子と流体の平均速度に差はみられず、噴出口下流15cmの位置の測定断面では、水平方向に関して粒子は比較的良好に乱流場に追従していると考えられる。

4.2. 流体の乱れ強度の分布【図-5(B)】: 粒子を付加しない場合は、噴出口中心で乱れ強度は最大となっている。粒子を付加した場合は、噴出口より下流15cmの位置では図-5(A)のように粒子は高さほぼ16cm~8cmの間に存在し、この範囲について図-5(B)をみると、実線は点線より大きくなっていて、粒子が付加されると乱れ強度が増加する結果が得られている。これは図-4の時系列でも流体の変動幅が単相流の場合に比べて大きくなっていることからわかる。この乱れ強度の増加は、(i)図-4(b)に示すように瞬間的に存在する粒子と流体との相対速度にもとづいて粒子背後に生ずるwakeによるもの、および(ii)鉛直方向には沈降速度に相当する相対速度が存在し、水平方向の平均流速 U_0 の流体場を斜め下方に横切って運動する粒子の攪乱によるものと考えられる。

4.3. 粒子の平均個数濃度分布と標準偏差【図-5(C),(D)】: 単位時間当たりに測定点を通過する粒子個数濃度は高さ13.0cmで最大となり、この高さを中心に粒子濃度はやや下側にかたよった非対称な分布となっている。さらに、粒子濃度が最大となる13.0cm付近において標準偏差 σ は減少しており、また変動係数 σ/N の値は小さく、平均値に対する粒子個数濃度のばらつきが小さいことがわかる。

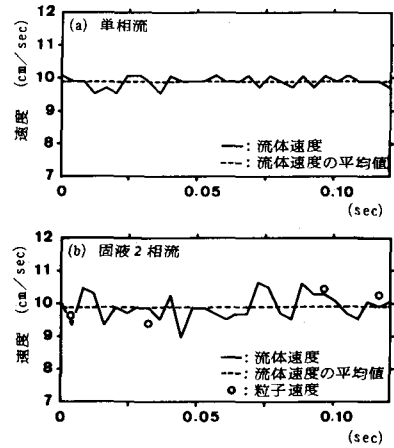


図-4 流体および粒子の速度の変動時系列(高さ13cm)

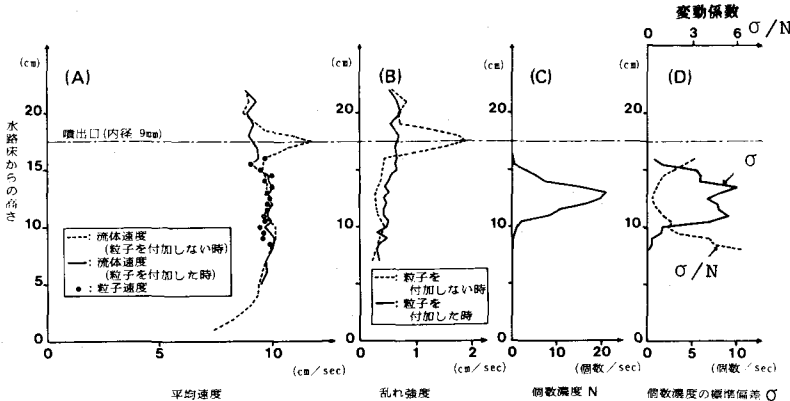


図-5 (A)平均速度分布,(B)流体の乱れ強度,(C)粒子の個数濃度分布,(D)個数濃度変動の標準偏差 σ (実線)および変動係数 σ/N (点線)

5. おわりに

本報で得られた結果を要約すると、

- (1) 粒子および流体の平均速度、流体の乱れ強度の同時測定が本計測システムにより可能である。
- (2) 測定点を単位時間当たりに通過する粒子の個数濃度の測定も可能である。
- (3) 平均粒径1.25mmの固体粒子の付加によって流体の乱れ強度は増加する。

参考文献 1)Danon,H.,et al.:Numerical Calculations of Two-phase Turbulent Round Jet,Int. J. of Multiphase Flow,Vol.3,pp.223-234,1977. 2)清水、他:固気混相媒体の自由噴流(第2報 乱流の解析),九大総理工研究報告,第4巻,第1号,pp.73-78,昭和57年6月. 3)辻 裕:固気二相流の乱流構造,第2回混相流シンポジウム講演論文集,pp.135-155,1983年12月. 4)神野、他:レーザ流速計による固液2相流の粒子及び流体速度の同時測定について,第28回水理講演会論文集,1984年.