

LDVによる固液2相流のレイノルズ応力の測定

九州大学 工学部 学生員○中島 靖
九州大学 工学部 正 員 粉井 和朗
九州大学 工学部 正 員 神野 健二
九州大学 工学部 正 員 上田 年比古

1. はじめに

固液2相流における乱れエネルギーの収支に寄与する主な項として、粒子と流体との間の相対速度の存在による乱れエネルギーの損失項、およびレイノルズ応力による乱れエネルギーの生成項が考えられる。これらの項の実験的評価には、流れの場を攪乱することなく粒子と流体の速度に関する情報を同時に精度よく計測することが必要であろう。本報は、レーザ流速計(LDV)により固液2相流におけるレイノルズ応力、平均的な相対速度等を計測する方法について検討を加えたものである。

2. 実験装置

図-1に、実験装置の概略を示す。鉛直に立てた正方形断面8cm×8cmの管路に水を流し、LDVによる流速測定は管路流入口の格子から下流60cmの位置で管路を水平に微動させ、測定点をずらせながら行う。流体用トレーサには、33μmの金網を通過した水道水中の自然混入物を用いている。この状態で得られる信号を流体からの信号とする。粒子には平均粒径200μm、比重2.5のガラスビーズを用いている。粒子の体積濃度は、測定点から20cm下方の断面中央部で採水し求めている。レーザ信号の処理は、スペクトルアナライザとマイクロコンピュータにより行った。

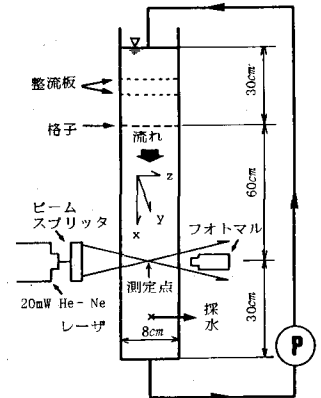


図-1 実験装置

単相流におけるレイノルズ応力($-\rho \overline{u'v'}$)は、次のようにして計測される¹⁾。いま、図-2に示すように座標原点として平均流速で移動する点を取り流れ方向にX軸、その軸に垂直にY軸を設定し、それぞれの変動速度成分を u' 、 v' とする。座標軸を角度 ϕ だけ回転してできる座標系を (x_1, y_1) 、変動速度成分を u_1' 、 v_1' とすると、

$$\begin{aligned} u' &= u_1' \cos \phi - v_1' \sin \phi \\ v' &= u_1' \sin \phi + v_1' \cos \phi \end{aligned} \quad (1)$$

となり、変動速度の相関 $\overline{u'v'}$ は、

$$\overline{u'v'} = (\overline{u_1'^2} - \overline{v_1'^2}) (\sin 2\phi) / 2 + \overline{u_1'v_1'} \cos 2\phi \quad (2)$$

となる。回転角 $\phi = 45^\circ$ とすると次式を得る。

$$\overline{u'v'} = (\overline{u_1'^2} - \overline{v_1'^2}) / 2 \quad (3)$$

上式によれば、流れ方向に対し 45° 回転した座標系でそれぞれの変動速度の2乗平均値を用いてレイノルズ応力を求めることができる。

固液2相流におけるLDV計測の問題点として流体用トレーサと固体粒子との識別がある。本報

では、以下のようにして両者の識別を行った。図-3は、ドップラー信号の振幅のヒストグラムで、実線は200μm粒子を含まない流体のみの場合(単相流)で、破線は固液2相流での200μm粒子に対す

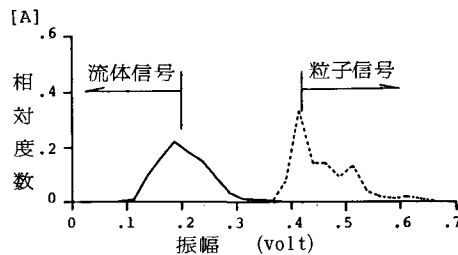


図-3 ドップラー信号の振幅の相対度数分布
[A]:X 方向計測, [B]:X₁方向計測の場合

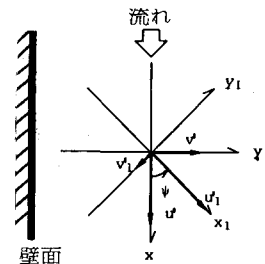
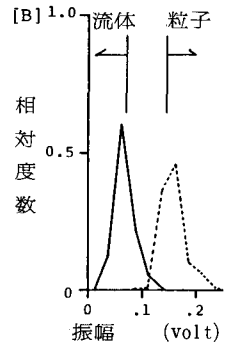


図-2 座標系説明図



るものである。流れに平行な図-3〔A〕に比べ、流れに45° 傾いた状態である図-3〔B〕の振幅は約1/3 に低下しているが、〔A〕、〔B〕共に粒子と流体のドップラー信号の振幅は異なっており、回転角度によって適切な振幅識別値を設定することで粒子と流体の信号を区別することが可能といえよう。なお、本報では、〔A〕の場合0.20volt以下を流体信号、0.42volt以上を粒子信号〔B〕の場合0.07volt以下を流体信号、0.14volt以上を粒子信号として解析を行った。また両者を識別することにより、粒子と流体の平均的な相対速度も得ることができる。

4. 実験結果

4.1 平均速度 図-4に、単相流、固液2相流の粒子および流体の平均速度分布を示す。図中の破線は比較のための対数分布則であり摩擦速度が0.93cm/sの場合である。本報よりも高濃度の固気2相流の計測結果²⁾によると、2相流の流体の平均速度分布は平坦になる傾向にあるが、本例では粒子濃度が低いため単相流と比較して顕著な違いは見られない。粒子と流体の平均相対速度は、断面中心付近で約1 cm/s、壁面傍で約2 cm/sとなった。

4.2 乱れ強度 図-5に、流下方向の乱れ強度の分布を示す。単相流に比べ2相流の乱れ強度は壁面傍で約30%減少している。

4.3 レイノルズ応力 図-6に、レイノルズ応力の分布を示す。中心付近では変動速度の相関 $(\overline{u'v'})$ が小さく、中心から壁面近傍に向かって直線的に相関が増加する傾向があり、定性的にはせん断乱流の場合とよく一致している。単相流と2相流のレイノルズ応力には大きな変化がみられない。これは図-4の黒丸と白丸を比較してわかるように単相流と2相流の流体の平均速度勾配に大きな違いがなかったためと考えられる。

十分に発達したせん断乱流においてはレイノルズ応力とせん断応力 τ 、平均速度勾配 $d\bar{u}/dy$ の間には、単相流の場合次の関係がある。

$$-\rho \overline{u'v'} = \tau = \mu d\bar{u}/dy \quad (4)$$

ここに μ は粘性係数である。式(4) による算定値は断面全域で図-6に示す実測値の約4 倍となる。両者が一致しない原因は、今回の測定位置では流路の助走区間が短く流入部における格子背後の等方的な乱れの影響があり、流入条件に依存しない乱流境界層が十分に発達していなかったためと考えられる。

5. おわりに

レーザ流速計による固液2相流のレイノルズ応力の計測方法について検討を行った。レイノルズ応力は、ビームスプリッタを±45° 回転させ、予め設定した振幅識別値以下の流体信号を用いて十分計測可能であると考えられる。今後、十分に発達したせん断乱流を対象に本計測法の妥当性を検討するとともに、高濃度の固液2相流での乱れの特性、エネルギーの収支等について検討する予定である。

参考文献 1)Hinze,J.O.:Turbulence,McGraw-Hill,p.254,1959.
2)辻 裕:空気輸送の基礎,養賢堂,pp.68-73,1984.

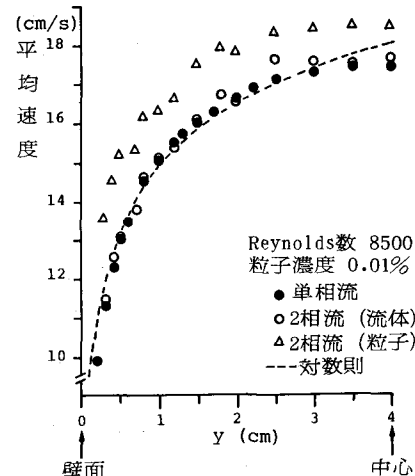


図-4 平均速度分布

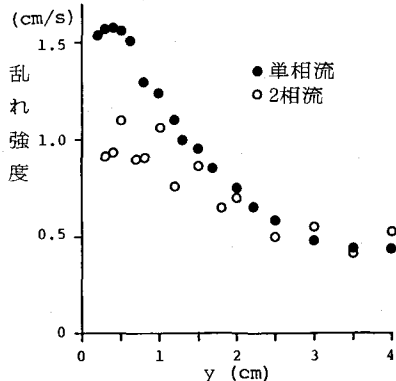


図-5 流下方向の乱れ強度の分布

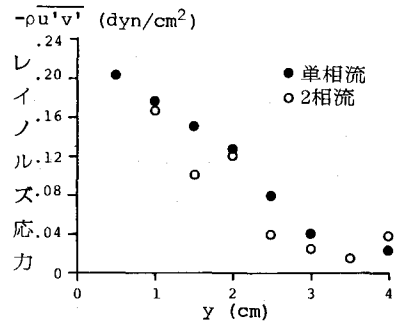


図-6 レイノルズ応力の分布