

九州大学大学院 学生員○末松 健 二
九州大学工学部 正会員 柳井 和 朗
九州大学工学部 正会員 神野 健 二
九州大学工学部 正会員 上田 年比古

1.はじめに

レーザドップラー流速計(LDV)を用いて測定部を通過する散乱粒子の速度を前方散乱方式で計測する場合、固体粒子と流体粒子(流体用トレーサ粒子)をいかに識別するかが問題となってくる。本研究では、流体粒子として金網を通した水道水中に混入した牛乳粒子を、固体粒子として平均粒径 $200\mu\text{m}$ のガラス球を用い、両者のレーザ信号を識別する方法について検討する。

2.実験

2.1 実験装置 図-1は、固体粒子と流体からのレーザ信号を得るのに用いる装置の概略図である。水路の上流端に格子間隔 $33\mu\text{m}$ の金網を取り付け、流れから粒径 $33\mu\text{m}$ 以上の混在物を除去する。連続した良好なレーザ信号を得る目的で流体粒子として少量の牛乳を混入している。また固体粒子は粒径範囲 $170\sim 210\mu\text{m}$ 、平均粒径 $200\mu\text{m}$ 、比重 2.48 の透明ガラス球で、水深 16.5cm の位置のノズルより開水路に混入している。LDVの光源として、出力 20mW のHe-Neガスレーザを用い、レーザ光はビームスプリッタにより二つに分割され、光束が交差する位置に測定体積を作る。散乱粒子の透過光強度が反射光強度より数十倍強い¹⁾ので光学系として透過光を測定する前方散乱方式を採用している。

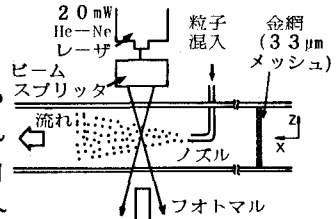


図-1 実験装置(1)

図-2は、平均粒径 $200\mu\text{m}$ の粒子からのレーザ信号を得るための装置の概略図で、静水中にこの粒子を装置の上部より自由降下させる。

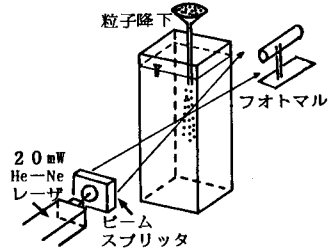


図-2 実験装置(2)

2.2 信号処理系 フォトマルにより検出されるレーザ信号を、バンドパスフィルタを通して高周波のドップラー信号、およびローパスフィルタを通して低周波のペDESTAL信号の二つに分離する(図-3参照)。二種類の有効な信号を適当なサンプリング周波数でA/D変換した後に、マイクロコンピュータで解析する。

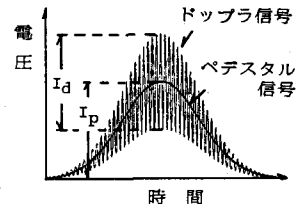


図-3 散乱粒子1個のレーザ信号例

3.実験結果および考察

3.1 粒子と流体の識別法 本報ではドップラー信号の強度 I_d 、ペDESTAL信号の強度 I_p を図-3のように定義する。まず、実験装置(1)で、 $200\mu\text{m}$ 粒子を付加しない流れからの出力信号を流体からの信号とみなし、500個の I_d, I_p を抽出し標本(A)とした。標本(A)の I_d, I_p の分布を図-4の(A)に、 I_d のヒストグラムを図-5の(A)に記している。さて、図-5の(A)において、 $I_d \geq 0.7v$ の確率は 4.3% と小さいことから、粒子を付加した流れにおいて、 $I_d \geq 0.7v$ のレーザ信号は粒子からの信号と考えられる。従って、 $I_d \geq 0.7v$ の信号から500個の I_d, I_p を抽出し標本(B)とした。標本(B)の I_d, I_p の分布を図-4の(B)に、 I_d のヒストグラムを図-5の(B)に記している。図-5の(A)の I_d の上限値が $1.05v$ なので、トリガーレベルを $I_d = 0.7\sim 1.05v$ の範囲に設定すると、 $200\mu\text{m}$ 粒子と流体のドップラー信号の識別ができる。

なお、ドップラー信号が大きく出力される時、ペDESTAL信号も大きく出力されることが報告²⁾されており、従ってペDESTAL信号を利用した識別も考えられるが、図-4の(A)と(B)の I_p が全般的に重なり、トリガーレベルの設定範囲が広くなるので、ペDESTAL信号による識別は難しいものとする。

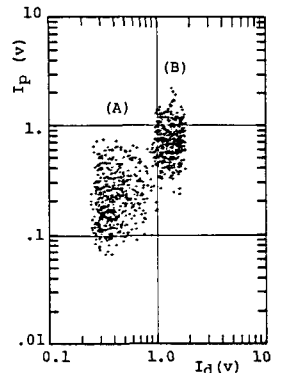


図-4 I_d, I_p の分布

次に、実験装置(2)で得られた $I_d \geq 0.7v$ のレーザ信号から 500 個の I_d, I_p を抽出した。図-6 はこの標本の I_d のヒストグラムであり、 $I_d \geq 0.9v$ の確率は 97.6 % となる。従って、 $200 \mu m$ 粒子についてはトリガーレベルを $I_d = 0.9v$ に設定することで、流体の信号との識別が可能と考えられる。

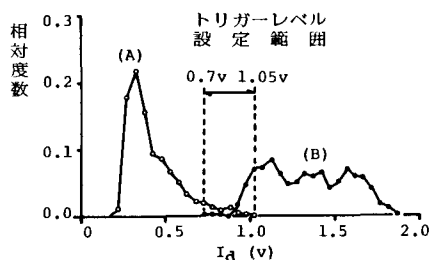


図-5 ドップラー信号の強度 I_d のヒストグラム

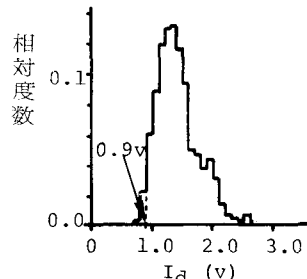


図-6 ドップラー信号の強度 I_d のヒストグラム ($200 \mu m$ 粒子)

表-1 平均値と標準偏差

3.2 粒子と流体の速度算定

ドップラー信号の周波数 f と速度 V とは次の関係にある：

$$V = 7.603 \times 10^{-4} \times f \quad (1)$$

表-1に、粒子の鉛直速度、粒

子と流体の水平速度および粒子移動方向の速度の平均値、標準偏差を記している。図-5より $I_d \geq 1.4v$ は粒子からの信号、 $I_d \leq 0.5v$ は流体からの信号と判断して、粒子速度を $I_d \geq 1.4v$ の 200 個の信号から、また流体速度を $I_d \leq 0.5v$ の 200 個の信号からそれぞれ求めた。粒子移動方向の角度 (θ) は粒子の水平および鉛直速度成分より計算した結果 $\theta = 16.7^\circ$ である。Allen 公式による $200 \mu m$ 粒子の終端速度は、 $V = 3.1 (cm/s)$ となり、実測値とほぼ一致する。水平方向と粒子移動方向の乱れ強度は、2 相流および単相流においてあまり違いはなく、粒子混入による流れへの影響は、単相流より 2 相流の水平方向と粒子移動方向の平均速度が共に増加していることに現れている。

図-6は、水深 10cm の位置で 0.04s 間のドップラー信号の周波数をゼロクロス法で求め、式(1)より速度を求めた速度変動時系列である。粒子は 3.1 の結果より $I_d \geq 0.9v$ 、流体は $I_d = 0.9 \sim 0.03v$ の範囲、 $I_d \leq 0.03v$ は雑音とした。表-1で固液 2 相流の粒子と流体の速度差が小さいことが、図-6の粒子速度が、粒子近傍の流体速度とあまり違いがないことから確認できる。

4. おわりに

本研究では、レーザ流速計を用いて固液 2 相流において粒子と流体の速度を計測する場合、粒子および流体からのレーザ信号を識別する方法について検討を行なった。その結果、

- (1) 粒子と流体のドップラー信号の強度の違いを利用して、粒子と流体の信号の識別ができる。
- (2) ペDESTAL 信号による粒子と流体の信号の識別は困難である。

今後は、本識別法を利用し、粒子径、粒子濃度の実測、および固体粒子と流体の相対速度、乱れの特性に関する実験的検討を行なっていきたい。

参考文献

- 1) 中谷 登：LDV の原理と構成、流体計測講習会、pp.1~14、1978。
- 2) 辻 裕、森川 敬信、潮海 弘資：レーザ流速計による鉛直管内固気二相流の測定、機械学会論文集 (B)、第 50 巻、第 452 号、pp.1000~1008、1984。

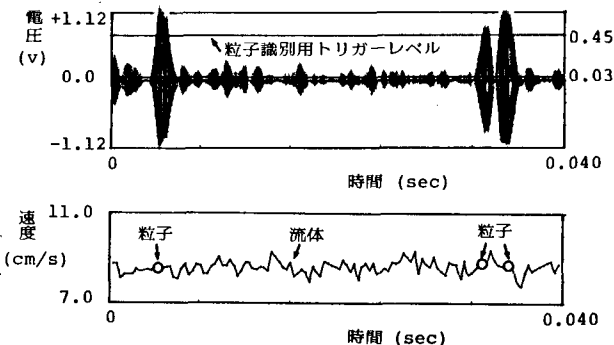


図-7 前方散乱方式によるドップラー信号と速度変動時系列