

レーザ流速計による固液2相流の流体および微細粒子の速度計測について

九州大学工学部 学生員○末松 健二 正会員 初井 和 朗

九州大学工学部 正会員 神野 健二 正会員 上田 年比古

1. はじめに

非接触測定が可能なレーザ流速計(LDV)は、固液2相流の速度計測に十分に応用可能であると考えられるが、微細な粒子を対象とする場合には、信号処理に関して未だ不明確な点が多い。本研究では、流体運動に追隨していると考えられる $33\mu\text{m}$ 以下の粒子と平均粒径 $200\mu\text{m}$ のガラス球から得られる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に実験装置の概略を示している。流れ方向をX軸、これに直角方向をZ軸とする。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 $33\mu\text{m}$ 以上の混在物を除去している。ガラス粒子は粒径分布 $170\mu\text{m}$ ~ $210\mu\text{m}$ 、平均粒径 $200\mu\text{m}$ の透明ガラス球である。

LDVの光学系としては前方散乱方式を採用し、投光部には20mWのHe-Neガスレーザを用いている。ビームスプリッタによって分離された光束は、水路中央部で交差し測定体積を形成する。測定体積は、長軸 0.894cm 、短軸 0.037cm の楕円をZ軸回りに回転してできるラグビーボールに類似し、体積は $0.648 \times 10^{-3}\text{cm}^3$ である。ドップラー強度は測定体積の中央位置で最大となり、その空間分布はガウス分布をしている。

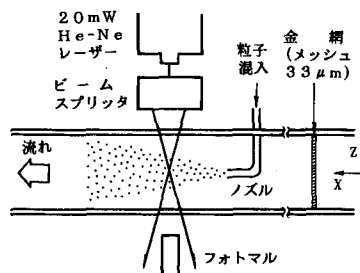


図-1 実験装置

2.2 信号処理系 レーザ信号には、ペDESTAL信号と呼ばれる低周波成分、速度算定に必要なドップラー成分、および高周波の雑音成分が含まれている。バンドパスフィルター(4kHz ~ 17kHz)を通しドップラー信号を、ローパスフィルター(600Hz)を通し低周波のペDESTAL信号を得る。分割したレーザ信号を 128kHz のサンプリング周波数でA/D変換し、マイクロコンピュータで処理している。

3. 実験結果および考察

3.1 実際の信号例 図-2に固液2相流における実際の信号例を示している。ドップラー信号の振幅は粒径のほぼ二乗に比例して増加する¹⁾ので、同図の中央部の振幅の大きなドップラー信号は粒子からの信号、他のドップラー信号は流体からの信号と考えられる。なお、ここでの粒子からの信号とは、平均粒径 $200\mu\text{m}$ のガラス球からの信号であり、一方流体からの信号は、流体運動に追隨していると考えられる $33\mu\text{m}$ 以下の浮遊粒子からの信号である。図中央部に示すように、ドップラー信号の強度(I_d)が大きい場合でも、ペDESTAL信号の強度(I_p)が大きくなるとは限らないようである。

3.2 レーザ出力信号のシミュレーション レーザの測定体積を粒子1個が通過する場合のフォトマルからの出力信号は次式で与えられる²⁾：

$$x(t) = A_p \exp\{-[2(2)^{1/2}(t-t_0)/\tau]^2\} + A_d \exp\{-[2(2)^{1/2}(t-t_0)/\tau]^2\} \cos 2\pi f_0 t \quad (1)$$

ここに、 $x(t)$ ：出力信号、 t ：時間、 A_p ：ペDESTAL信号の振幅、 A_d ：ドップラー信号の振幅、 t_0 ：到達時間、 τ ：ペDESTAL周期、 f_0 ：ドップラー周波数である。図-3に、式(1)を用いて8個の散乱粒子が測定体積を通過するとし、ドップラー強度が大きい時ペDESTAL強度も大きいという考え方をういて行ったレーザ信号のシミュレーション結果を示している。同図を図-2と比較すると、ドップラー信号は実際の例にほぼ近似した信号となるが、ペDESTAL信号は理論的に再現できそうにない。

3.3 ドップラー信号とペDESTAL信号の強度分布 まず $200\mu\text{m}$ 粒子を付加しない流れからのレーザ信号を500個抽出し、これらを流体からのドップラー信号と見なし標本(A)とした。図-4の(A)には標本(A)のドップラー信号の最大強度(I_d)とペDESTAL信号の最大強度(I_p)の分布、また図-5の(A)には標本(A)のドップラー信号の最大強度のヒストグラムを示している。次に、 $200\mu\text{m}$ 粒子を付加した流れにおいて、

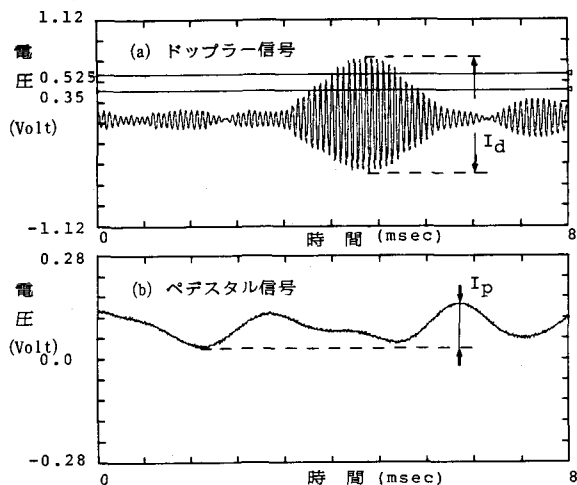


図-2 固液2相流のドップラー信号とベデスタル信号の実例

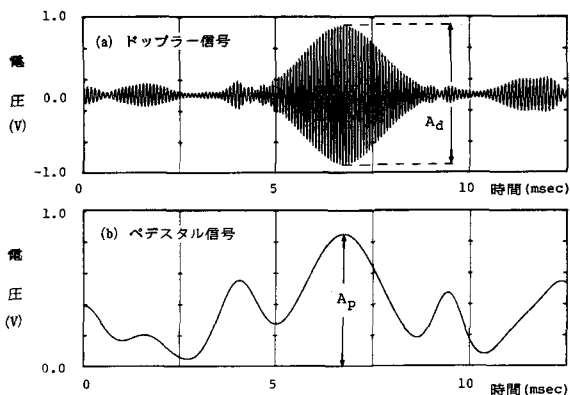


図-3 固液2相流のドップラー信号とベデスタル信号のシミュレーション結果

図-5の(A)の分布曲線の確率が1%となるレベル0.7V以上のレーザ信号を500個抽出し標本(B)とした。図-4および図-5の(B)に I_d - I_p 分布とドップラー信号の最大強度のヒストグラムを示している。図-4の分布(A)の点の相関係数は0.133、分布(B)の点の相関係数は0.128となり I_d と I_p の相関は低いので必ずしもドップラー信号の強度が大きい場合にベデスタル信号が大きくなるとは言えないようである。一方、図-4で標本(A)の点と標本(B)の点を一緒にして相関係数を求めると0.71となって、 I_d と I_p との間の相関が生じ、粒子の場合のドップラー信号とベデスタル信号の強度が、流体の場合に比べ増加すると言えよう。これより粒子と流体のドップラー信号とベデスタル信号の二つから信号の識別は可能であるが、ベデスタル信号はドップラー信号ほど分布(A)および分布(B)が明確に分離しないのでベデスタル信号による識別は困難である。ここでは図-5に示すように、粒子と流体の混在しているレーザ信号のドップラー成分に対してトリガーレベルを0.7V~1.05Vの範囲に設定することで粒子と流体のドップラー信号を識別することが可能であると言えよう。

4. おわりに

本研究では、レーザ流速計を用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った。その結果、粒子と流体のドップラー信号の強度の違いを利用して両者を識別することが十分可能であるという知見を得た。

参考文献

- 1) 前田昌信・菱田公一・中村公泰:混相流中の微粒子の粒径、速度および濃度の非接触測定(粒径測定のためのLDV測定体積の検討と信号処理),日本機械学会論文集(B編),47巻420号,pp.1563-1570,1981.
- 2) 中谷 登:LDVの原理と構成,流体計測講習会,pp.1-14,1978.

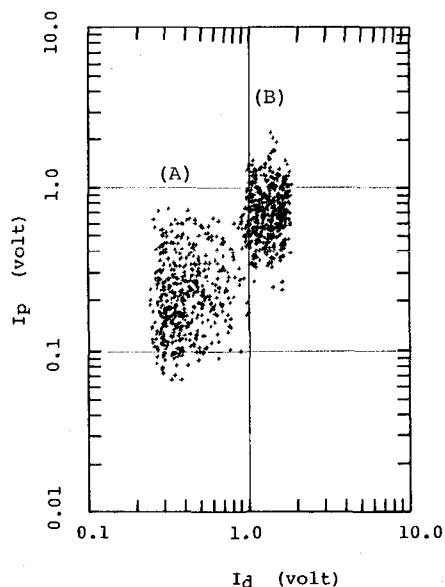


図-4 ドップラー信号とベデスタル信号の最大強度分布

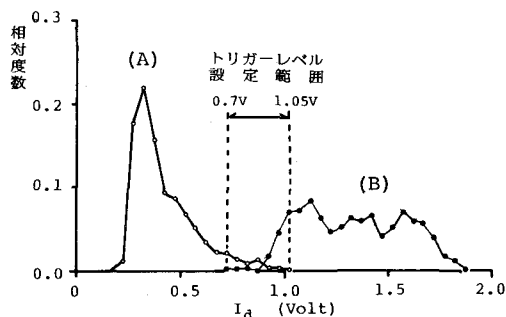


図-5 ドップラー信号の最大強度のヒストグラム