

九州大学工学部 ○ 学生員 日高 隆明

正員 棚井 和朗

正員 神野 健二

正員 上田 年比古

1 まえがき 流体・粒子の2相流の運動特性を調べるためには、流体速度、粒子速度及び粒子濃度が同時に測定されることが必要であろう。F. Dürst^{1),2)}はレーザードップラー流速計を用い、粒子及び流体中の散乱粒子から得られるドップラー信号の出力レベルの相異を利用して、各々の信号の分離を行ない両者の速度を測定する方法を示している。本報では流体、粒子各々の場合の信号処理について基礎研究を行ない、固液2相流への適用上の問題点について検討を行なった。

2 実験装置 図-1は急拡部を持つ2次元平行板間、の流速を測定するための装置である。レーザービームの通過する両側面はガラス板でその他は塩化ビニル板である。奥行きは20cmで流入部にはベルマウスを用いた。流速測定は散乱光強度の強い前方散乱方式で行なった。図-2は回転板上に直径2mmのガラスビーズを針で固定したもので、回転板の角速度を 3.49 rad/sec (定速)、ガラスビーズの位置を中心からそれぞれ1.50、2.35、3.85cmとしたときのガラスビーズの接線方向速度成分を測定する。この場合は後方散乱方式を採用した。

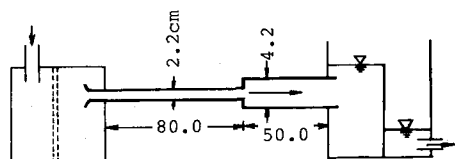


図-1 実験装置1 (流速測定)

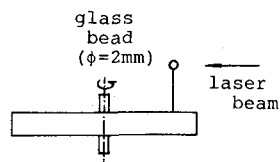


図-2 実験装置2 (粒子速度測定)

3 信号処理 信号処理は次の順序で行なった。

① フォトマルからの出力信号をシンクロスコープで波形を見ながら低周波のベダスタル信号と高周波の電気ノイズをフィルターで除去する。

② フィルターからの出力信号をトランジェントメモリーで、後の処理に必要な精度でデジタル化し記憶する。(使用したトランジェントメモリーは最大1MHzのサンプリング周波数と2048個の記憶容量を持つ)

③ デジタル化した信号をGPIBを通してコンピューターに転送し、そこで後述のプログラムでドップラー周波数を計算し、流速に換算する。

4 周波数計算方法 ドップラー信号は一般に振幅に変調があり、振幅の小さい部分を含んでいる。その部分の信号を無効とし、強い信号のみを処理するためにトリガーレベルを設け、このレベルを超えた信号のある区間だけ周波数計算が行なわれるよう次のようにプログラムを作成した。

① 取り込まれた2048個のデータを最初から読んで行き、データがトリガーレベルを超えると最初のゼロクロス点を計算する。

② 次に信号のピークがトリガーレベルを下回ったまでピーク個数 N_p を数え、トリガーレベルを下回った時点で最後の信号のゼロクロス点を計算する。(ゼロクロス点の計算はその部分の信号の最大値から最小値までの半サイクル分の点の直線回帰の最小2乗法で正確に行なう。)

③ この2点間の時間間隔 T を計算し、ドップラー周波数 f_D を $f_D = N_p / T$ で計算する。この時ピーク個数 N_p が3以下であれば無効とする。

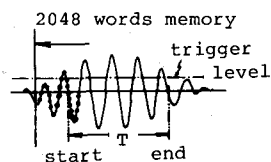


図-3 周波数計算について

5 実験結果

(1) FFT との比較 図-4 は種々に流量をかえて、断面 A (図-5) の中心軸上の点の流速 U_{max} を測定したものである。ここに U_0 は断面平均流速である。図中の○印は前述の方法で求めた測定値で、●印は FFT により求めたピーク周波数をドップラー周波数として流速に換算した測定値である。図に見られるように両者の差は小さく、数パーセント以下である。また、演算時間は FFT の 1/10 に対し本法のプログラムは 4 分である。図中の実線はハーゲン・ポアズイユ流における $U_{max}/U_0 = 1.5$ を表わしたもので、実測の U_{max}/U_0 はほぼ 1.60 ~ 1.68 となっており、これは実際の流れが 3 次元で側面の影響を受けているためと考えられる。

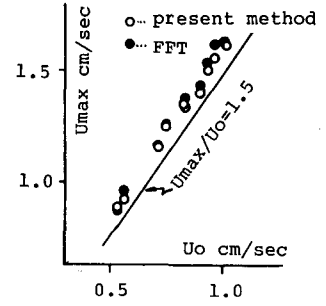


図-4 FFT との比較

(2) 実測流速分布と数値解との比較 図-5 は本報で示したプログラムによる流速分布の測定値と数値解との比較をプロットしたものである。図中の○印は断面 A で 2 mm 間隔、断面 B では 1 mm 間隔で流速分布の測定を行なったものである。実線は次に示す基礎式 (ナビエ・ストークスの方程式を流れ関数 ψ と渦度 ζ で表わした式) の差分法による数値解である。

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + u \frac{\partial \psi}{\partial x} + v \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\zeta \quad (2)$$

断面 A は上下対称な流速分布が測定されているが、断面 B では最大流速の位置が中心軸より 4 mm 程度ずれている。流速分布は数値解に比べて全体的に大きくなっているが、これは前述のように側面の影響を受けているためと考えられる。なお、使用したシステムには周波数シフト装置が含まれていないため、2 mm/sec 以下の低流速の測定は無理のようである。

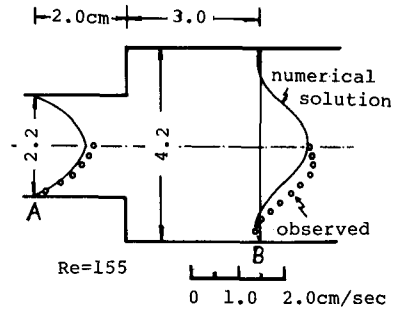


図-5 流速分布の比較

表-1 粒子速度の比較

cal.		5.23	8.20	13.44
LDV	1	5.09	8.04	13.35
	2	5.11	8.07	13.29
	3	5.09	7.92	13.65
mean =		5.10	8.01	13.43
(cm/sec)				

(3) ガラスビーズの速度の測定 表-1 に回転半径、角速度より計算される速度 (cal.) と実測値の比較を示している。実測値の方がやや小さい値を示しているが、これは計算値の方は回転半径をガラスビーズの中心までの距離として求めているのに対し、実測ではビームのあたる位置の速度が計測されるからである。しかしながら、両者の差違はこの場合 2% 前後であり、良い一致をしていると言えよう。

6 結び 本報で使用したプログラムでは、前もってペデスタル信号が完全に取り除かれていることと信号の S/N 比が高いことを前提としているので、フィルターの周波数範囲の設定を慎重に行なわなければならないが、本法の信号処理でも流体および粒子の速度測定が可能であると考えられる。今回では流体と粒子の速度を別個に測定したが流体と粒子の 2 相流で、粒子濃度がある程度低ければ粒子および粒子間の流体の速度測定が可能であろう。今後さらに粒子の形状、径あるいは微細粒子の場合にはその濃度に関するドップラー信号の特性を調べ、2 相流の流体と粒子の運動を解明して行きたい。

(参考文献)

1) Durst, F. "Studies of Particle Motion by Laser Doppler Techniques", Proceedings of Dynamic Flow Conference 1978

2) Durst, F. 他, Principles and Practice of Laser Doppler Anemometry (1976), Academic Press.