

画像解析を利用した表面流速測定法

岐阜大学工学部 正員 河村 三郎

岐阜大学工学部 正員 O中谷 剛

岐阜大学工学部 正員 水上 精栄

1. はじめに 流れの現象は可視化すると、その現象をよく理解できる。また、最近では、可視化実験で得られた画像をデジタル処理し、流速分布などの水理量を定量的に測定する技術も数多く開発されてきている。¹⁾ 本研究では、射流の水面に棒状の障害物を置いたときにその下流側に生ずる波の頂角と、フルード数に関係があることを利用し、波の可視化画像から表面流速を求める方法について述べる。

2. 画像解析システムの概要 本研究に使用した画像解析システムの構成は、図-1のようになっている。デジタル画像メモリPIAS-Iは、パーソナルコンピュータを本体とする画像解析装置である。画素数256X256で、カラー画像の各成分(R, G, B)を16階調で表現できる。モノクロであれば4画面分、カラーであれば1画面分のメモリをもち、1/60秒で1画面を取り込める。また、基本的な画像処理手法(画質改善、画像解析、画像再構成)の機能を持っている。

3. Ship Wave理論 微小振幅波理論によれば、表面張力の影響を考慮した波速Cは、次式で表される。

$$C = \sqrt{\left\{ \frac{g}{k} (1+e) \tanh(kh) \right\}} \quad , \quad e = \frac{\tau k^2}{\rho g} \quad \cdots (1)$$

ここに、g:重力の加速度、k:波数(波長をLとすると、 $2\pi/L$)、h:水深、 τ :水の表面張力、 ρ :水の密度である。また、eは表面張力の影響を表す。ここで長波を仮定し、Ship Wave理論²⁾による航せき波の中心角度を求める方法を利用すると、次の関係を得る。

$$\tan \theta = \frac{1}{\sqrt{(1+e)Fr^2 - 1}} \quad , \quad Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad , \quad (\text{ただし、} Fr > 1/\sqrt{1+e}) \quad \cdots (2)$$

ここに、U:表面流速、 θ :流水の水面に接触した障害物によって広がる波の頂角の半分、である。したがって、上式より、 θ を画像解析により求め水深を与えるなどすれば、表面流速を求めることができる。

4. 実験の概要と結果 波の写真を撮る場合、一般に水面からの光の反射が弱かったり、水路床の汚れなども同時に撮影するのできれいな波紋写真は撮りにくい。アルミ粉などを水面にまくと水面にできる薄いアルミ膜によってきれいな写真が撮れるが、循環式の水路では水を汚してしまい、他の実験の障害となることもある。そこで、実験水路の一部分の上方25cmのところに、水面と平行になるように90cmx80cmの大きさの白板を固定し、4個のフラッドライトを白板の下から当て、白板がきれいに水面に写るように調節した。そして、白板の表面にレモンイエローの色紙を貼り、ライトそのものが水面に写るのを防いで波の可視化を行った。写真-1に可視化された波の例を示す。実験は、長さ15m、幅50cm、高さ25cmの木製水路に通水し、流れの表面にアクリルで加工した障害物を置き、その下流側にできる三角形の波の鉛直写真を撮影した。また、障害物を置いた同じ位置の水深と流速を測定した。流速の測定には、直径10mmの小型プロベラ流速計(三光精密工業㈱、SV-101型ホトトランジスタ式)を使用した。水路勾配と流量を変化させて種々の表面流速を得た。図-2に実験によって得られたFr数と波の中心角 θ (度)との関係を○印で示す。また、図中の実線は式(2)で、 $e=0$ (重力波の場合、 $Fr > 1$)、 $e=2.5$ (表面張力を考慮した場合で波長が1.09cm程度、 $Fr > 0.53$)のそれぞれの場合を示している。 $Fr < 0.5$ の実験では、障害物によって生じる波の波長は5mmから7mm程度の表面張力波となるので、 $e=2.5$ とした曲線からは外れるが、適当なeの値($6 < e < 12$)を決めてやれば、式(2)によって θ とFrの関係を表示できる。図-3は、実測されたFr数と、波の可視化写真を画像処理して得られた中心角度(θ)から、

式(2)により計算されたFr数の対応を示している(ただし、 $e=2.5$)。Fr数が1.2~2.1の間では両者の値はよく一致している。Fr数が2.2以上のところでは、水路壁面から生じる衝撃波も顕著となり、可視化写真の画像処理が難しくなるために誤差が大きくなると考えられる。Fr数が1よりも小さいところでは、表面張力の影響が $e=2.5$ よりも大きくなるので計算値と実測値が一致しない傾向を持っている。

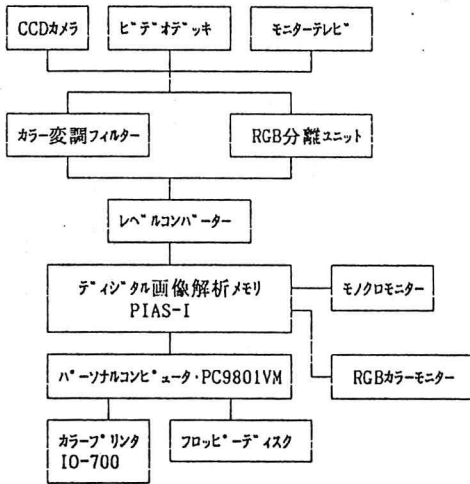


図-1 画像解析システム

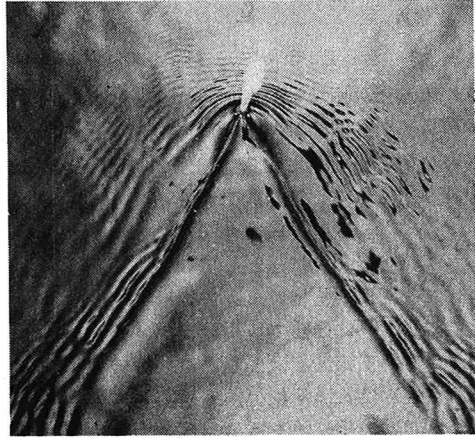


写真-1 波の可視化写真の一例

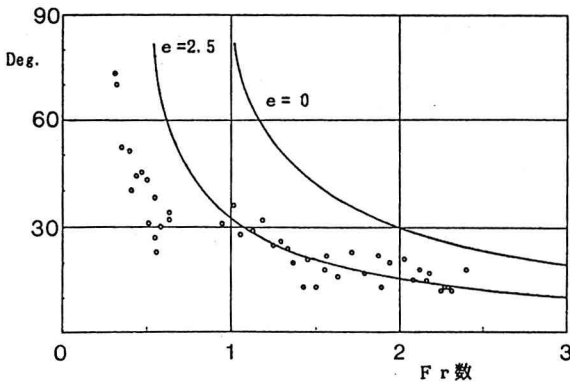


図-2 フルート数と波の中心角度の関係

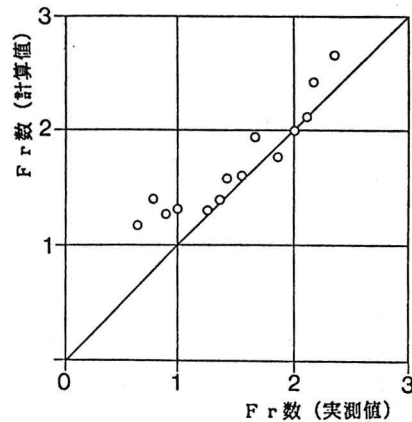


図-3 実測と計算によるフルート数の関係

5. おわりに 本研究では、画像処理を利用して表面流速を求める方法を示した。さらに精度を上げるためには測定毎に表面張力の影響を補正する必要があることが判明した。また、可視化写真は、照明の状況、カメラの種類、焼付け具合などの影響を受けるので、現在のところ画像処理の仕方は毎回試行錯誤的に行わなくてはならないが、ある程度の自動化も可能である。

〔参考文献〕 (1)種子田定俊:流れの可視化、土木学会論文集、第387号、pp. 1-10、1987年11月 (2)G. D. Capper: Introduction to Water Waves, John Wiley & Sons, 1984