

画像処理による水面形計測法の精度検討

神戸大学大学院 学生員 ○下山 顕治
神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志

神戸大学工学部 フェロー 神田 徹
八千代エンジニアリング(株) 正会員 大江 和正

1. まえがき

水面変動を伴う開水路流れを対象として、著者らは水面形状と流速を同時に計測する画像処理法を提案している¹⁾。本研究では、その水面計測の精度について検討を行う。また、水面変動を伴う開水路流れに本計測手法を適用し、水面変動の伝播特性について調べた。

2. 実験の概要および計測法

図-1 に計測システムの概要を示す。流水中に高分子ポリマー粒子を投入し、レーザーシート光を照射して可視化断面を作成する。この断面を、ハイスピードカメラを用いてサンプリング周波数 240Hz で撮影し、720×480 画素、256 階調のバイナリーデータとして保存する。可視化断面における水面の撮影は、水路手前壁面での水面が障害となるため、鏡を介して斜め上方から行う。

得られた水面の可視化画像を用いて、水面形状抽出のアルゴリズム¹⁾により水面高さを算出する。図-2は水面形算出過程での各処理段階の画像である。まず、原画像(図-2(a))に対し3×3画素の移動平均を施してノイズを除去する。この画像に対してラプラシアンを用いた処理を行い、輝度の濃淡を強調する(図-2(b))。次に、各画素毎に輝度勾配ベクトルを求め、その輝度勾配ベクトルと大小2つのしきい値により濃淡境界線を決定する(図-2(c))。得られた境界線のうち水面を表す境界線以外を除去する処理を行い、水面高さを決定する(図-2(d))。なお、流速ベクトルの算出には、CEC アルゴリズムを導入したPIV¹⁾を用いる。

3. 水面計測の精度検討

本画像計測の精度を調べるために、図-3のように近接した測点で容量式波高計による計測を行い、両者の水位を比較した。ここでは、変動幅が約 0.43 cmの周期的な水面変動(実験 A)と、変動幅が約 0.15 ~ 3.75 cmの種々の波形の水面変動(実験 B)を対象とする。なお、波高計のサンプリング周波数は 20Hz である。また、両計測値の偏差 ε を次式により定義する。

$$\varepsilon = h'_h - h'_i \quad (1)$$

ここに、 h'_h : 波高計による水面高さ、 h'_i : 画像計測による水面高さであり、いずれも時間平均水面を基準としている。

図-4に、両計測法による水面高さの時系列を示す。水面高さ h'_h 、 h'_i はほぼ同一の値をとっていることがわかる。ただし、実験Aでの水面変動の山の部分で画像計測による水面高さ h'_i が波高計による水面

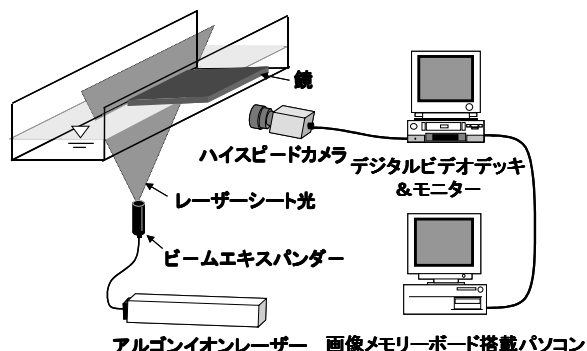


図-1 計測システムの概要

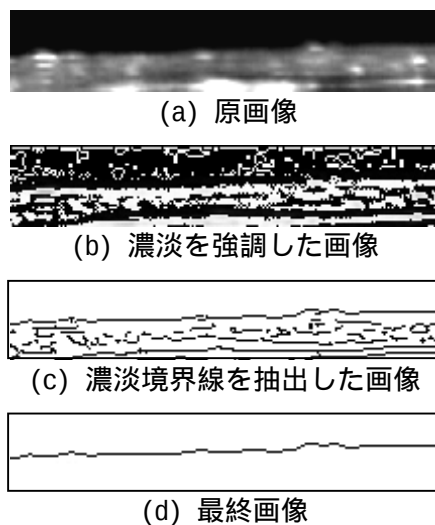


図-2 水面高さ算出における各処理段階の画像

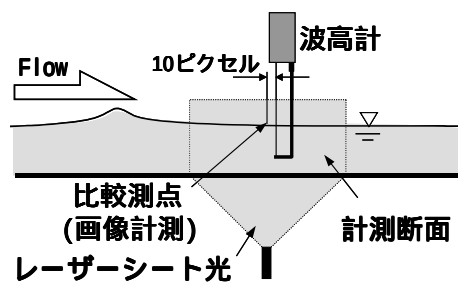


図-3 実験の概略(精度検討)

キーワード：計測法，水面変動，画像処理，開水路流れ，PIV

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-6069

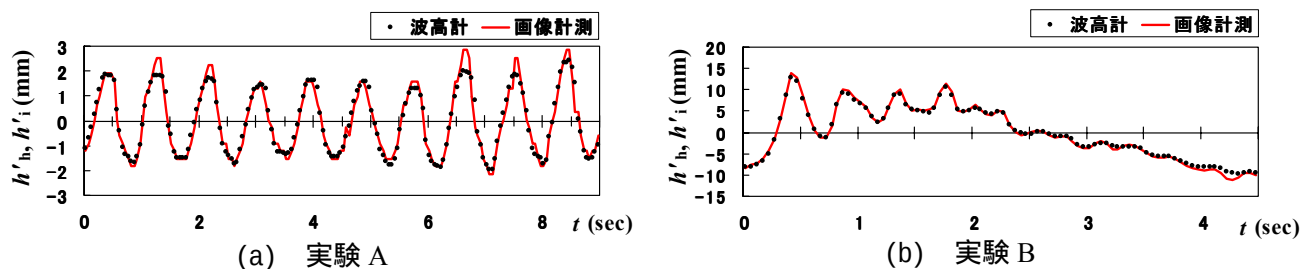


図-4 画像計測と波高計による水面高さの時系列

高さ h'_h より大きくなる場合がある．図-5は，水面高さ h'_h と h'_i を比較したものであり，上述のように水面高さの極大値において両計測法による水面高さに差が生じている．

図-6に偏差 ε (単位：ピクセル)の相対度数分布を示す．全てのケースにおいて偏差 ε はほぼ3ピクセル以内である．また，その相対度数分布は，標準偏差 $\sigma=1.24$ の正規分布にほぼ一致していることから，画像計測の精度は ± 2.5 ピクセル以内(信頼水準95%)となる(1ピクセルは，実験Aで0.31mm，実験Bで0.33～0.41mm)．以上のことより，本画像計測法を用いることにより，高精度で水面高さを計測できることがわかる．

4. 水面変動を伴う開水路流れへの適用

水面変動を伴う開水路流れ(射流)に本計測法を適用し，水面の時空間変動を調べた．実験条件は，レイノルズ数 $Re=U_0H_0/\nu=17600$ ，フルード数 $Fr=U_0/(gH_0)^{1/2}=1.7$ である．ここで， U_0 ：断面平均流速， H_0 ：平均水深である．図-7に，瞬時の水面高さと流速ベクトルを示す．壁面せん断により，水路床近傍の流速は上下に変動している．また，水面はほぼ水平であるが，小さな凹凸が流下方向に存在している．図-8は水面変動成分 h' の時空間分布である．ここに， h' は時間平均水面 $\bar{h}$ からの

偏差 $h'=h-\bar{h}$ である．水面変動がほぼ一定の移流速度で下流側に伝播していくのがわかる．その移流速度は約84 (cm/sec)であり，また，対応する断面平均流速 U_0 は約80 (cm/sec)であることから，水面変動は平均流速とほぼ等しい速度で下流側に伝播している．

参考文献 1)宮本仁志，神田徹，大江和正：画像解析による水面変動・流速の同時計測と開水路凹部流れへの適用，水工学論文集，第45巻，pp.511-516，2001．

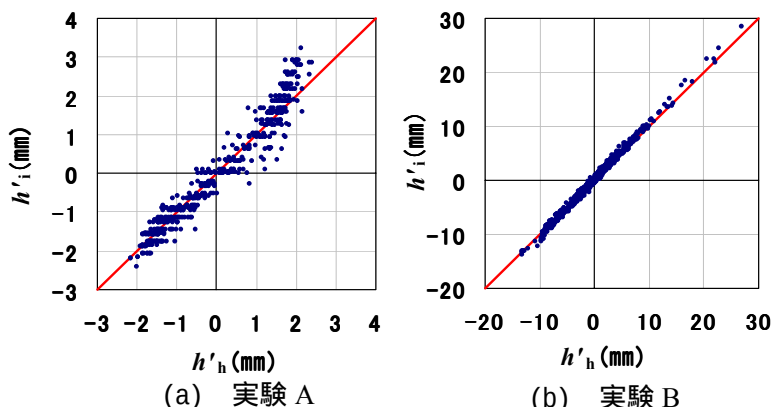


図-5 水面変動の比較

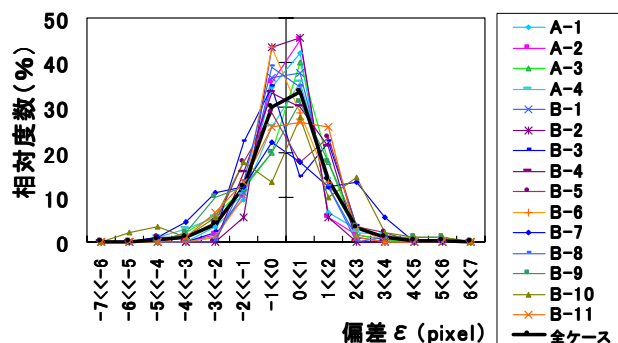
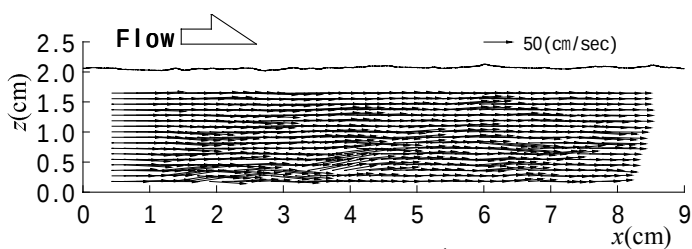
図-6 偏差 ε の相対度数分布

図-7 瞬時の水面形状および流速ベクトル

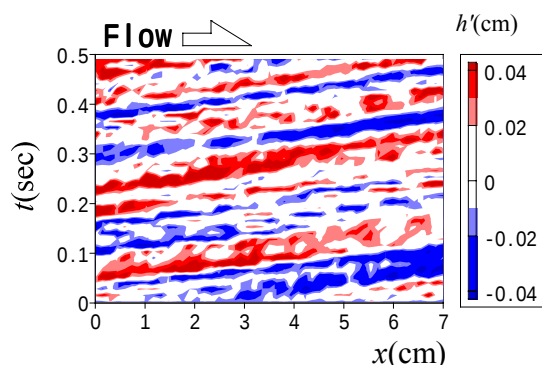


図-8 水面変動成分の時空間分布