

神戸大学工学部 フェロー 神田 徹
神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志
神戸大学大学院 学生員 大江 和正
神戸大学工学部 学生員 ○下山 顕治

1. まえがき

著者らは、水面変動を伴う開水路凹部流れを対象として、瞬時の水面形状と流速分布を計測する画像計測手法を提案している¹⁾。本研究は、その水面計測法の精度について検討を行ったものである。

2. 実験システムおよび水面形状の画像計測手法

図-1に実験システムの概要を示す。高分子ポリマー粒子を水中に混入させ、鉛直下方よりレーザースリット光を照射することにより可視化断面を作成する。この可視化断面を、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。水面形状計測のための可視化画像は、水路手前壁面での水面が画像に入らないように、鏡を用いて斜め上方から撮影する。

得られた水面の可視化画像を、水面形状抽出のアルゴリズム¹⁾を用いて処理し、水面高さを算出する。図-2に、各処理段階の画像を示す。まず、原画像(図-2(a))に3×3画素の移動平均を施し、ノイズを除去する。この画像に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、各画素の輝度勾配ベクトルを求め、その輝度勾配ベクトルを用いて、大小2つのしきい値により条件抽出を行い、濃淡境界線を決定する(図-2(c))。得られた境界線のうち、水面形を示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))。

3. 計測精度の検討

本計測手法と波高計(容量式)による計測を比較することにより、本計測の精度を検討する。表-1に実験条件を、図-3に精度検討のための実験の概容を示す。実験Aでは周期的な水面変動を、実験Bでは種々の波形の水面変動をそれぞれ対象とする。なお、波高計のサンプリング周波数は20Hzである。また、波高計と画像計測における計測値の偏差 ε を次式により定義する。

$$\varepsilon = h'_h - h'_i \tag{1}$$

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規準としている。

図-4に、両計測法による水面高さの時刻系列を示す。両手法による水面高さ h' は、

表-1 実験条件

実験	水面変動の幅(cm)
A	約0.43(周期的)
B	0.154~3.742

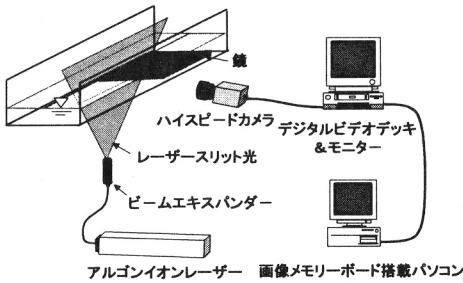


図-1 実験システムの概要

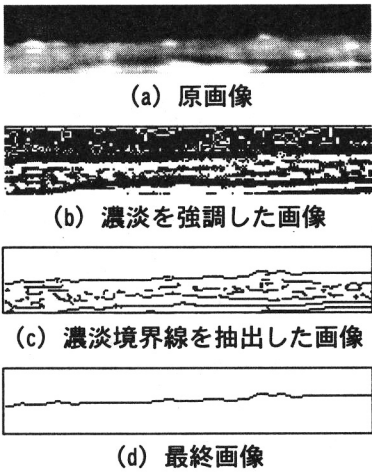


図-2 水面高さを算出における各処理段階の画像

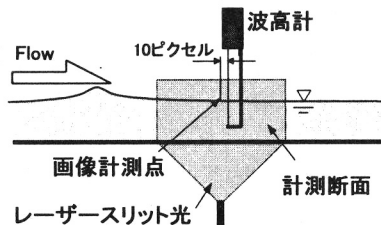


図-3 実験の概略(精度検討)

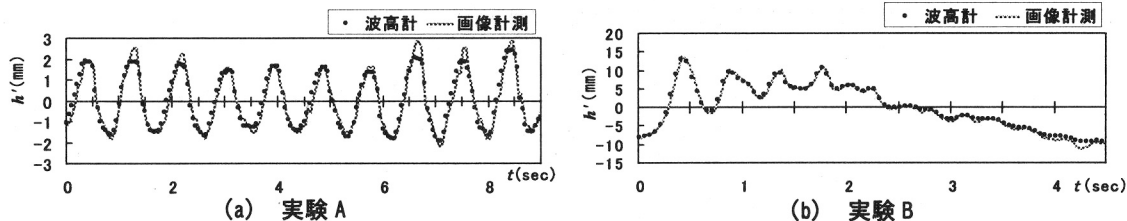


図-4 画像計測と波高計による水面高さの時系列

ほぼ同一の値をとっていることがわかるが、図-4(a)に示すように、水面高さの極大値において画像計測による水面高さ h'_i が波高計による水面高さ h_h に比べて大きくなる場合がある。図-5に全実験ケースにおける水面高さ h'_i と h_h の比較を示す。偏差 ε は両実験においてほぼ1 mm以内であるが、図-5(a)に示すように、周期的な水面変動の極大値において、偏差が1 mmを超える傾向がある。図-6に1 mm以上の偏差が発生した時の画像の一例を示す。これより、極大値近傍を計測する場合、波高計と画像計測の計測点が10ピクセル(約3 mm)ずれていることが偏差の原因と考えられる。

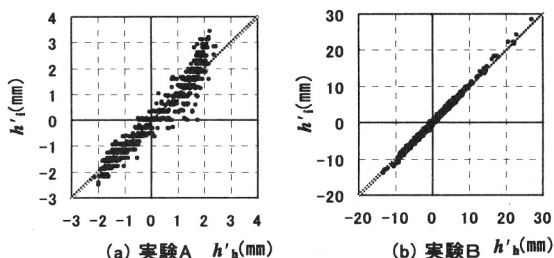


図-5 水面変動の比較

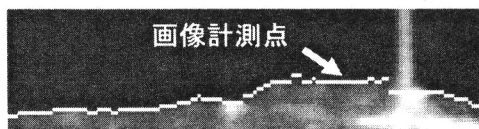


図-6 誤差発生時の画像

水面変動幅と偏差 ε の関係を図-7 に示す。水面変動幅が増加しても最大偏差、標準偏差の値には大きな変化はないことから、画像計測の精度は水面変動の規模には影響を受けないことがわかった。

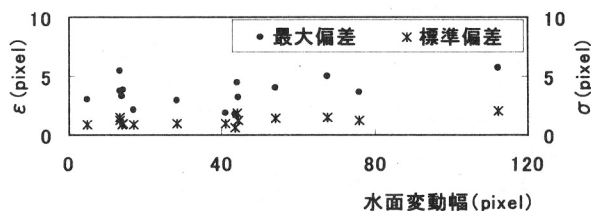


図-7 水面変動幅と偏差の関係

図-8は偏差 ε の相対度数分布である。全ケースにおいて、偏差はほぼ3ピクセル以内で分布している。また、全ケースから求められた度数分布は、標準偏差 $\sigma=1.24$ の正規分布に近似していることから、画像計測の精度は±2.5ピクセル以内(信頼水準95%)となる。

4. あとがき

本稿では、画像輝度情報から水面形状を算出し、その計測精度を検討した。その結果、本手法の精度は、水面変動の規模に影響なく±2.5ピクセル以内であることがわかり、高い精度で水面高さを計測できることを確認した。

<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.

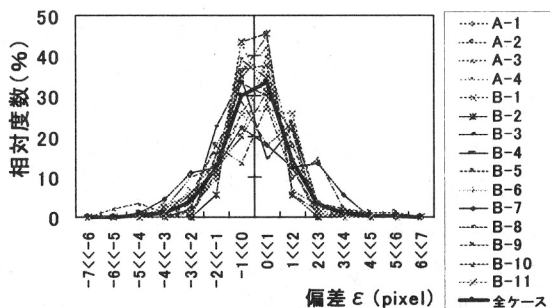


図-8 偏差の相対度数分布