

PIVによる洪水時河川流量観測装置の開発

DEVELOPMENT OF THE MEASUREMENT SYSTEM FOR THE RIVER FLOOD DISCHARGE BY USING PIV METHOD

小林範之¹・金目達弥²・藤田一郎³
Noriyuki KOBAYASHI, Tatsuya KANAME, Ichiro FUJITA

¹正会員 農修 アジア航測株式会社 防災部 (〒243-0014 神奈川県厚木市旭町 5-42-32)

²非会員 学士 アジア航測株式会社 防災部 (同上)

³正会員 学博 神戸大学助教授 都市安全研究センター (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

PIV(Particle Image Velocimetry) method for measuring river surface velocity and flood flow was developed to improve the function of automatic observation.

This system, which uses video images interfacing with a water gauge, can measure the river surface velocity automatically. In order to examine the practical application of the system, actual video image data were taken at flood duration in Uono river and Tone river.

Key Words : PIV, river flow measurement, river surface flow, video images

1. はじめに

洪水時の河川流量観測は、従来から浮子による観測が行われてきたが、作業の安全や精度向上の観点から、より安全・確実に高精度の観測手法の開発が望まれている。

藤田らの、ビデオ画像を利用した PIV (Particle Image Velocimetry)による河川表面流速解析手法^{1),2),3)}は、その簡便性、安全性、経済性において、洪水時流量観測の新たな可能性を示すものとして注目される。

しかし、流量観測手法としての実用化や普及のためには、水位変動への対応や作業の簡易化、自動化といった観測装置としての機能の開発が必要であった。

本開発においては、画像の取得や水位計との連動など、流量観測装置としての基本的機能の開発と装置の試作を行った。

2. 開発概要

PIVやPTV (Particle Tracking Velocimetry)といった動画像を用いた流体計測手法は、流れの空間的構造解析に用いられているが、藤田らの報告(前述)など河川の流れ観測に対しても、その応用の研究が進められている。

PIVの実河川への適用性に関する戸田らの報告⁴⁾は、室内実験と現地観測で PIV の精度検証と適用性

を検討し、一定の有効性が確認されるとともに、撮影俯角と観測精度の関係を評価している。

しかし、PIVを実河川の洪水流量観測に実用するためには、観測装置として操作の簡便性を高めるとともに、水位変動への対応や自動観測、表面流速からの流量換算といった機能を開発し、システムを構築する必要があった。

本研究では、これらの研究事例をもとに、藤田らの開発した LSPIV のシステムを基本として、洪水時流量観測装置の開発を行った。

今回、新たに開発した機能は、①ビデオカメラの画像取り込みの自動化、②解析装置と水位計とのインターフェース、③画像解析への水位計データの連携、④解析プロセスの自動化、⑤観測パラメータ設定等インターフェースの改善、⑥表面流速と水位及び河川横断データからの流量換算機能、⑦観測画像の自動保存と動画表示機能などである。

なお、試作機では入力する画像信号は NTSC を採用することとした。これは、NTSC が現在のところ一般のテレビジョン画像信号として国内の標準となっており、各種機材等との接続において最も汎用性のある規格であるためである。例えば光ファイバーによる高速ネットワークでビデオカメラの画像を伝送する場合でも、ビデオモニター出力は NTSC とすることが一般的であり、この出力信号を本装置に入力することにより遠隔地のカメラ画像の解析も可能である。

これらの一連の開発により、ビデオ画像による洪

水時の河川表面流速及び河川流量の自動観測のために必要な機能及びそのシステム化の基本部分が開発できた。現在は、試作機による試験と改良を実施している。

3. システム構成及び機能

(1)システムの構成

試作したシステムのハードウェア構成は、解析用PCに、CCD カメラからの画像入力用ボードと水位計を接続するデジタル I/O ボードを組み込んだものを基本構成とした。ハードディスクは、大量の画像データを高速に処理するため、RAID ボードを組み込み高速化、大容量化をはかった。システムのハードウェア構成は、図-1 に示すとおりである。

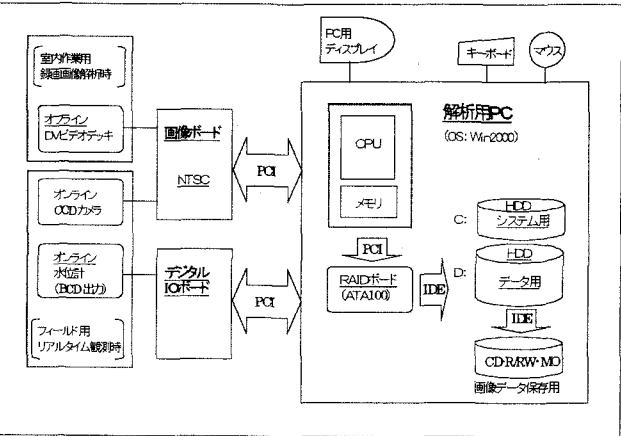


図-1 システムのハードウェア構成

ソフトウェアは、OS を Windows2000 とし、独自開発の PIV 解析プログラムを組み込んでシステムを構成している。このプログラムには画像ボードや水位計データを取得するデジタル I/O ボードのコントロール機能を組み込んでおり、画像データの取得や水位センサーからの水位データの読み込み、画像の幾何変換、PIV 解析を自動で行い、リアルタイムで流量観測値を出力することができる。

(2)主要な機能

システムの機能は、①パラメータ設定、②観測実行 (画像および水位データ入力、幾何変換、流速解析、流量計算)、③計測結果出力、の3段階に区分することができる。

パラメータ設定では、観測間隔や1回当たりの観測時間、画像キャプチャのタイミング設定、幾何補正のための標定条件の設定、計測エリアや計測ポイントの設定、流量計として使用する場合には河川断面の設定や表面流速から平均流速を求める更正係数

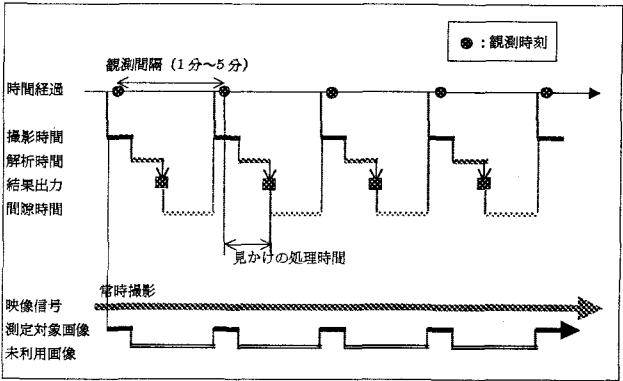


図-2 観測実行時の動作概念図

の設定を行う。

なお、本システムでは1つのCPUで画像入力や水位計データ入力、画像幾何変換、PIV解析、結果出力などのプロセスを実行している。特に画像幾何変換はCPUへの負荷が大きいため、本システムでは観測、解析、出力の各プロセスを、図-2に示すように時間を区切り順次実行するよう設計した。

計測結果の出力は、表面流速、流量といった観測結果の数値出力に加え、取得した原画像や変換後の画像、流速ベクトル図などを動画や静止画として画面やファイルに出力することができる。

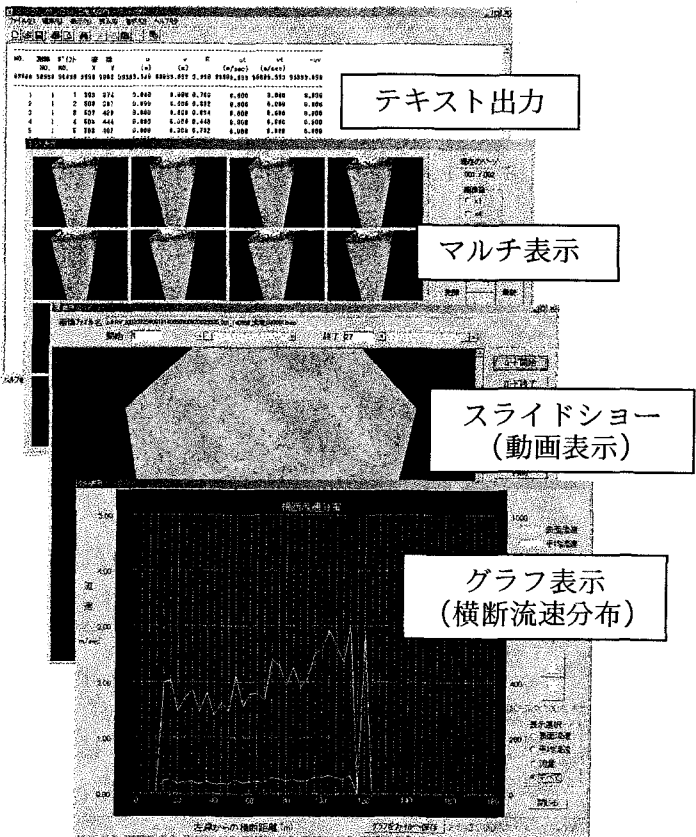


図-3 計測結果の表示・出力例

4. 計測精度の検討と観測結果

(1) 計測精度の検討

ビデオ画像を用いた流速・流量観測において、計測誤差の主要因は、①カメラおよびレンズの歪み、②画像解像度、③幾何補正の変換誤差、④PIV によるパターンマッチングの誤差などが考えられる。

カメラおよびレンズの歪みについては、事前に特性を計測して補正することが可能である。

パターンマッチングの問題については、戸田らの研究⁴⁾で撮影俯角が小さい場合に画像の濃淡情報の量が減少し、マッチングの誤差が発生しやすいことが指摘されているが、事前に撮影条件を吟味することにより一定レベルに制御することは可能であると考えられる。また、藤田ら⁵⁾は小俯角で撮影されたビデオ画像に対しても、精度良く計測する手法を提案している。

幾何補正の際の画像変換誤差は、数値計算上の問題で発生する誤差は特に問題にならない程度であると考えられるが、ビデオ画像を使用することによる画像解像度の制限は、標定パラメータの設定段階で変換誤差を生ずる原因として重要である。

画像解析における位置精度については、平面位置の精度を Δxy 、焦点距離を f 、被写体までの距離を H 、座標計測精度を α とすると、画像計測の平面位置精度は以下の式で与えられる。

$$\Delta xy = (H/f) \times \alpha \quad (1)$$

(1)式より、精度に影響を及ぼす要因は、焦点距離、被写体までの距離、座標計測精度の3つであることがわかる。

画像計測での座標計測精度は、CCD 素子の大きさと解像度によって決定され、一般的なビデオカメラの場合は、1/3～1/4 インチ CCD の総画素数は640×480 画素 (VGA) サイズの物が多い。

斜め撮影では手前の画像と遠方の画像は画像縮尺が大きく異なり、遠方の画像では位置精度が低下するため、これが変換誤差の原因となる。

本システムで計測する場合にも、一定の精度を確保するためには俯角をできるだけ大きくとって撮影するように配慮する必要があることがわかる。

(2) 現地観測による確認

開発したシステムを用い、実河川で現地観測を行って、観測時の操作性や機能の確認を行った。

測定精度の検証については、今回は同一個所を左右岸から同時撮影し、両者の比較によって俯角の差(カメラからの距離に対応する)による観測誤差の発生状況を比較した。

他の計測法による観測結果との比較や、流量換算する場合の平均流速算定に関する検討については、別途検討する予定である。



図-4 現地試験個所の河道の状況

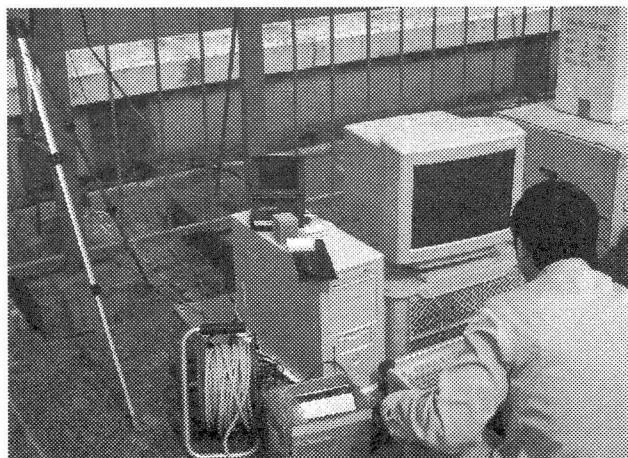


図-5 現地観測の実施状況

今回、現地観測は信濃川水系魚野川で融雪出水時を対象に実施した。

観測個所は根古屋橋下流で、右岸側は堤防上にカメラを設置し、左岸側については隣接する病院の屋上にカメラを設置した。

左岸側の病院屋上には今回開発した観測装置を設置し、カメラと接続して観測を行った。カメラは SONY 製の DCR-VX-2000 を使用し、プログレッシブモードで撮影した。

水位計との連動については、水面と観測装置との距離が離れていたため機器の設置が困難であったことから、実験時に撮影したビデオテープ(デジタルビデオテープ)を用い、室内で水位計のシミュレータを用いて解析を行い動作を確認した。

観測個所の河道状況および機器の設置および観測状況は、図-4～図-5 の写真のとおりである。

河川幅は約 200m で、そのうちの水面部分の幅が約

150mである。

左右岸の観測結果を重ね合わせたグラフを図-6 に示す。

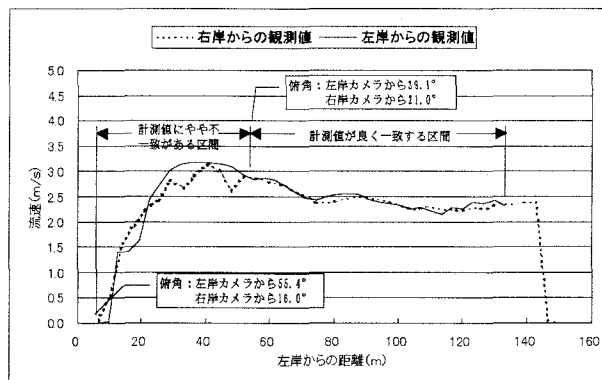


図-6 左右岸からの観測結果の比較

左岸は病院屋上にカメラを設置したため、俯角を大きく取れており、河道幅などの再現性が良い。両岸からの観測値はほぼ一致しているが、詳細に左右岸の解析結果を比較すると、左岸から50m～140mの付近では観測値が良く一致しているが、左岸側の河岸付近で観測値に若干の差が生じている。

これは、右岸側からは遠方となる左岸付近は、右岸カメラの設置高が低いため俯角が小さくなり、河岸付近で誤差が生じているためと考えられる。

流量換算の機能については、現時点では河道の鉛直方向の流速プロファイルを観測していないため、表面浮子に適用する更正係数を仮に入力して解析しているため、適切な更正係数の設定方法などを含め、流量の観測精度については今後も検討の余地はあるが、システムとして正常に動作していることは確認できた。

本システムは、河道の表面流速を計測するものであるが、画像を利用する本手法の特性として、同時に面的に流速分布を求めることができるため、得られる情報量は他の手法と比べて十分に大きい。このため、ADCP等を利用して3次元的な流速分布と表面流速との関係を事前に把握することにより、より正確な流量算出が可能である。

5. 結論

洪水時河川流量・流速観測装置の開発を行い、以下の結論を得た。

- 1) カメラ画像の取り込みから解析、結果出力までを自動化し、観測の簡略化が可能になった。
- 2) 水位及び表面流速を観測し、自動流量観測する機能を確認した。
- 3) 水位計との連動については現地試験での確認はできなかったが、撮影した画像を用いた室内実験で動作を確認した。

また、本システムは画像記録ができるため、観測後に解析結果の検証が可能であり、現状の浮子観測などの手法と比べて優れた特徴である。

今後は、夜間や降雨といった様々な気象条件下での観測を行って実績データを積み重ね、撮影機材や手法を検討し、安定した計測精度が得られるよう開発を進める予定である。

さらに、操作をより簡便にするためユーザーインターフェースの改良を行い、光ファイバー等の高速ネットワーク上のCCTV画像を利用するインターフェースの開発など、機能の充実をはかる予定である。

謝辞：本開発を行うにあたり、神戸大学大学院生の椿涼太氏には解析作業に協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 藤田一郎，中島丈晴：実河川流計測におけるLSPIVの汎用化と水制間流れへの適用，水工学論文集，Vol.44，pp.443-448，2000.
- 2) 藤田一郎，綾史郎，小澤純：河川表面流のモニタリング手法LSPIVの改良，神戸大学都市安全研究センター研究報告，Vol.4，2000
- 3) 藤田一郎：トレーサを利用した実河川水制周辺流れのビデオ画像解析，水工学論文集，Vol.42，pp.505-510，1998.
- 4) 戸田祐嗣，池田俊介，西亮樹：PIVの実河川流速計測への適用性に関する研究，河川技術論文集，Vol.7，pp.479-484，2001.
- 5) 藤田一郎，椿涼太：小俯角のビデオ画像に対応した河川表面流速計測手法の開発，河川技術論文集，Vol.7，pp.475-478，2001.

(2002. 4. 15 受付)