

画像処理を活用した 水位観測システムの実現

服部亮史* 上田英滋***
 新房健一** 平 謙二†
 池上俊之**

Water Level Observation System Based on Image Processing Technique

Ryoji Hattori, Kenichi Shinbo, Toshiyuki Ikeue, Eiji Ueda, Kenji Taira

要 旨

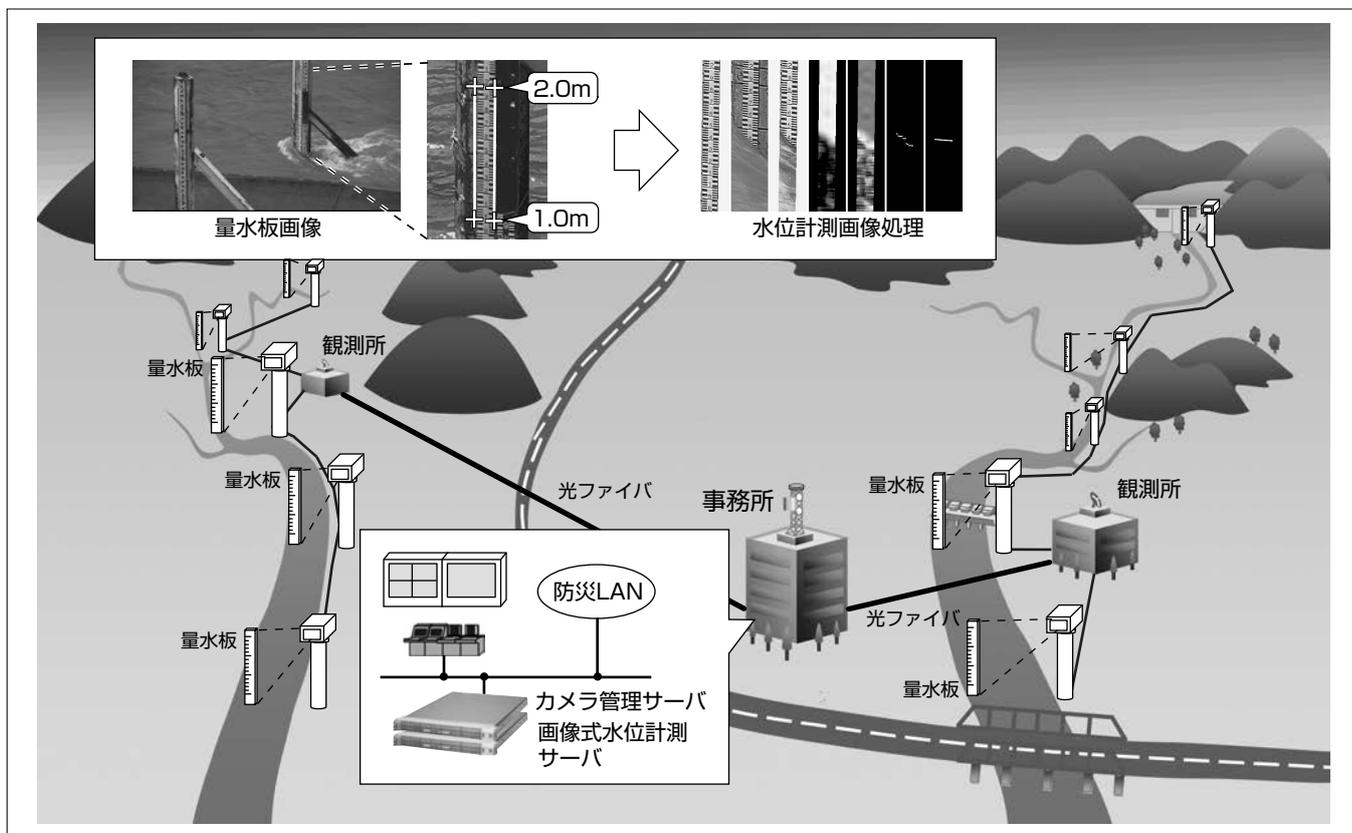
近年、集中豪雨による水災害の頻発化によって、河川管理での水位把握の強化が重要となっている。国土交通省(以下“国交省”という。)では、直轄河川に量水板や水位観測所を設置して水位計測を実施し、水位テレメータ設置箇所では遠隔からの常時監視を行っているが、さらに、洪水時等でもより確実に観測を継続できる手段と、よりきめ細かな地点間隔での観測が求められている。

従来、水位センサとして、フロート式や水圧式等が用いられているが、水と接触する方式は特に洪水時で計測への影響が懸念される。そこで、非接触方式となるカメラ映像を用いた画像式水位計測が注目されている。また、国交省では、河川沿いに河川監視CCTV(Closed Circuit TeleVision)カメラ局を整備しており、その活用で水位計

測の多地点化が期待できる。

三菱電機は、このニーズに対応するため、新たな画像式水位計測アルゴリズムを開発し、今回、河川監視CCTVシステムの複数カメラ映像に対応可能なサーバ装置に実装した。この製品は、河川管理の現場に適した次の特長を持つ。

- (1) 量水板を被写体とし昼夜間に強い静止画を対象とした画像相関法による水位計測画像処理
- (2) 画像式水位計測アルゴリズムにはカメラの画角ずれに頑健な対策を具備
- (3) 河川監視CCTVシステムとの高い親和性(H.264/MPEG-2映像符号ストリーム直接取り込み、最大100地点対応(計測周期10分間の場合))



河川監視CCTVシステムと画像式水位計測サーバ

画像式水位計測サーバは、カメラ管理サーバと連携してカメラをプリセットポジション制御し、画像処理の対象とする画角の映像を受信して画像を取得する。その後、カメラを元の画角に自動で戻す。取得した20秒程度分の画像について水位計測画像処理を行い、水位計測結果を出力する。この間、60秒/カメラで1プロセスを完了する。量水板が複数段の場合、水位に追従して適切な段のポジションにカメラを制御して計測を継続する。

1. ま え が き

近年、記録的な大雨や集中豪雨による水災害の頻発化によって、河川管理での治水計画及び防災・減災に向けた水位把握の強化が重要となっている。国交省では、直轄河川に量水板や水位観測所を設置して水位計測を実施し、水位テレメータ設置箇所では遠隔からの常時監視を行っている。しかしながら、水位観測所局舎の倒壊や水位計が流出する等の被害や、水位計の計測範囲を超過した状況での水位把握の必要性も出ており、洪水時等でもより確実に観測を継続できる更なる手段と、よりきめ細かな地点間隔での観測が求められている。

従来、水位センサとしては、フロート式や水圧式等が用いられているが、水と接触する方式は特に洪水時等で計測への影響が懸念される。そこで、非接触方式のカメラ映像を用いた画像式水位計測が注目されている。非接触方式であれば高水による直接的な流出のおそれがなく、画像式水位計測では用いるカメラを河道から比較的離れた場所に設置でき、洪水等による影響の軽減が期待できる。

また、国交省では、河川監視CCTVカメラ(以下“河川カメラ”という。)を整備しており、河川カメラの多目的利用や河川カメラ局に水位計測用の画像センサを設置して、画像式水位計測を行うことで、水位把握の多地点化が図られる。

本稿では、このニーズに対応するため新たに開発した画像式水位計測アルゴリズムである“量水板画像を用いた水位計測技術”⁽¹⁾⁽²⁾、及びこのアルゴリズムによる水位計測画像処理モジュールを搭載した“画像式水位計測サーバ”について述べる。

2. 画像式水位計測サーバ

画像式水位計測サーバは、河川監視CCTVシステムで、複数カメラ映像に対応可能なサーバ装置に実装され、河川管理の現場に適した次の特長を持つ。

- (1) 量水板を被写体とし昼夜間に強い静止画を対象とした画像相関法による水位計測画像処理(夜間の低フレームレート電子蓄積映像に対応)
- (2) 画像式水位計測アルゴリズムにはカメラの画角ずれに頑健な対策を具備
- (3) 河川監視CCTVシステムとの高い親和性(国交省適用H.264/MPEG-2映像符号ストリーム(直接取り込み)及びCCTVカメラ制御コマンド準拠, 最大100地点対応(計測周期10分間の場合))

さらに、この画像式水位計測アルゴリズムは、蓄光量水板を被写体とした画像処理にも対応している。これによって、夜間で照明光や環境光が全く得られない状況でも、カメラ設定・制御と量水板の自発光によって、水位計測の継

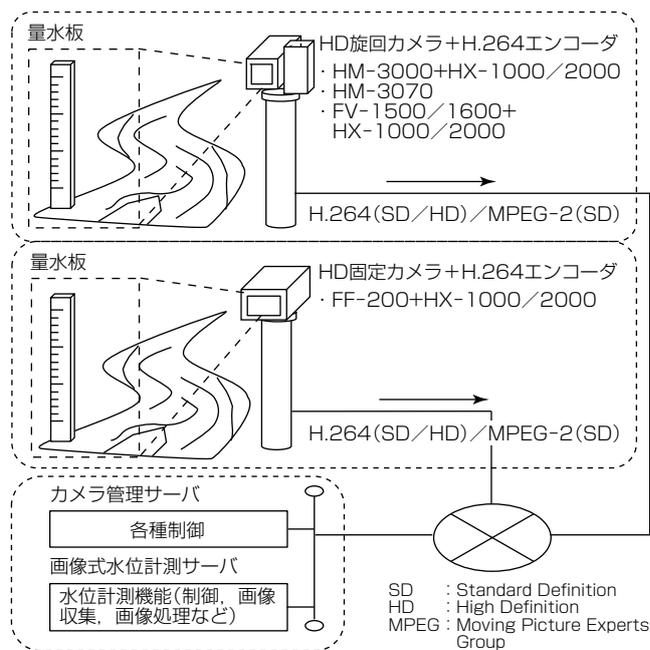


図1. 画像式水位計測サーバの構成

表1. 画像式水位計測サーバの仕様

項目	仕様
基準画像設定	1画角に1量水板を基準画像として設定
水位計測機能	10分ごとに、各画角の水位計測処理を並列実行
カメラ制御	プリセット制御し設定画角へ移動 プリセット制御によるカメラ位置ずれに対応可能
画像収集種別	H.264(SD/HD)/MPEG-2(SD)
画像収集最大数	最大100ストリーム
画像蓄積	JPEG画像を画角ごとに時刻情報と関連付けて蓄積
計測結果分析	各画角の計測時刻と計測結果(平均)を専用データベースへ記録
計測結果管理	画角ごとに属性情報、計測時刻、計測結果を専用データベースに最長5年間保存
計測結果出力	CSVファイル出力可能
計測データ閲覧機能	画像式水位計測サーバで閲覧可 遠隔パソコンからブラウザで閲覧可
蓄積静止画像再生	計測結果にひも付された計測時のJPEG画像を表示

JPEG : Joint Photographic Experts Group
CSV : Comma Separated Values

続が可能である。

図1に画像式水位計測サーバの構成を、表1に画像式水位計測サーバの仕様を示す。

このサーバは、国交省の既設河川監視CCTVシステムと親和性の高いシステムであり、既設システムに追加設置することによって、従来実施していた映像確認による監視業務と並行して水位計測を行うことが可能となる。

3. 量水板画像を用いた水位計測技術

河川を撮影したCCTVカメラ映像から水位を計測することを目的として、従来水面が構造物に対して生ずる境界線(エッジ)等を検出する方法が提案されている。

今回、CCTVカメラ映像を用いて従来手法である動画による差分検出に対し、より安定した計測を可能とするため、静止画を用いて、最低水位時に撮影した量水板画像(基準画像)と水位計測対象画像との画像相関によって水面

の位置を検出し、水位を算定する画像式水位計測アルゴリズムを開発した。

この章では、開発したアルゴリズムの内容、及び実際の河川映像を用いて性能を評価した結果を示す。

3.1 方式

従来の河川水位の画像計測では、水面で生じる画像の揺らぎ、水面の動きや水上部分と水面との濃度の違い、水面によって形成されるエッジを特徴量として検出することで水面の位置を特定していた。しかし、日照変化・降雨等の外乱が発生する自然環境下では、このような特徴は水面以外の領域にも発生する可能性があり、河川管理の現場で連続的な常時計測の実用に耐える安定的な計測は困難であった。また、特に照度が十分に確保できない夜間等では、継続した計測が困難であった。画像の揺らぎ等を利用する場合にはフレームレートの高い動画が必要であり、更に制約が大きかった。

そこで、河川や下水道等には、水位の目視計測を目的とした量水板が設置されている点、かつ量水板には目視読み取りを容易にするため明瞭なテクスチャとしての目盛りが記されている点に着目した。この量水板を被写体として、あらかじめ取得する量水板全体が水面上に露出した画像(基準画像)と各時刻に取得された計測対象画像とを、テクスチャの類似度の評価尺度である画像相関によって比較することで、量水板上の水面の位置を検出して水位を算定する静止画を対象とした画像式水位計測アルゴリズムを開発した。画像相関法による画像の比較は、明度やコントラストの違い、局所的な不一致などに対して頑健であるため、環境の変化に頑健な水位計測が実現可能となる。

3.2 画像式水位計測アルゴリズム

図2の処理フローに基づき、3.1節の方式を用いて水位を算定するアルゴリズムを述べる。

3.2.1 基準画像定義処理フロー

水位計測処理の前処理として、あらかじめ基準画像の定義を行う(図2(a))。

(1) 基準画像での量水板領域の定義

最低水位時の水面上に露出している量水板のCCTV映像を取得し、量水板領域(量水板テンプレート)を示す画像座標4点を入力する。

(2) 基準画像での水位高の定義

量水板領域の上端/下端に対応する水位高を入力する(図2(b))。

定義した基準画像の例を図2(b)に示す。

3.2.2 水位計測処理フロー

定義された基準画像を用いて、各時刻の計測対象画像に対して水位計測を行う(図2(c))。図3に処理結果例を示す。

(1) 計測対象画像の取得

CCTV映像信号を、秒1コマ程度の静止画として取り

込み、水位計測処理への入力とする(図3(b))。

(2) 画像位置合わせ

基準画像と計測対象画像の間には、PTZ(Pan-Tilt-Zoom)方式のCCTVカメラでのプリセットポイント時の画角ずれや、カメラ設置ポールの揺れや変形等の影響で、最大で数十ピクセル程度の位置ずれが生じる。そこでテンプレートマッチングに基づき変換係数を算定し、計測対象画像中の量水板と量水板テンプレートをサブピクセルレベルで一致するように、計測対象画像の位置合わせを行う(図3(c))。

(3) 画像相関計算

位置合わせ後の計測対象画像中の量水板と量水板テンプレートの間で小領域ごとの相関係数を求め、マップ化する(図3(d))。相関係数は基準画像と計測対象画像のテクスチャ類似度を意味する。量水板が水面上に露出している領域は高い相関係数(白色表示)が得られ、量水板が水面下となる領域は低い相関係数(黒色表示)が得られることとなる。

(4) 水面位置検出・水位算定

相関係数マップを列ごとに縦方向にスキャンして勾配を求め(図3(e))、勾配が最大となる位置を、水面上領域と水面下領域の境界、すなわち水面の座標として検出する(図3(f))。次に、検出した水面の座標から量水板目盛りに対する平均

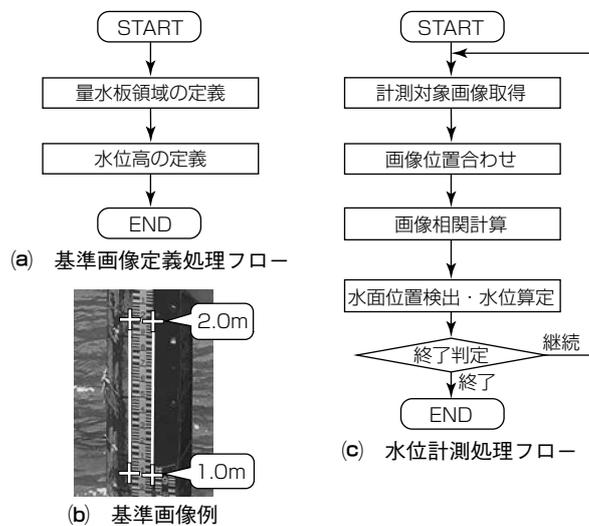


図2. 処理フロー

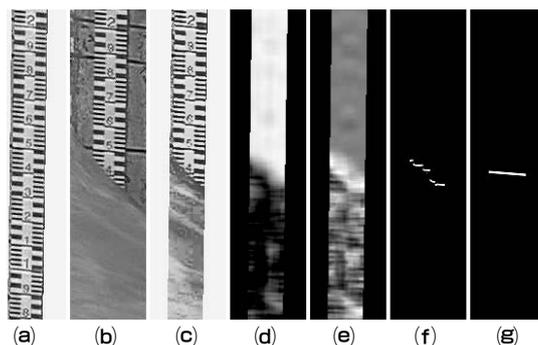


図3. アルゴリズムの処理結果の例



図4. 計測地点の撮影映像例

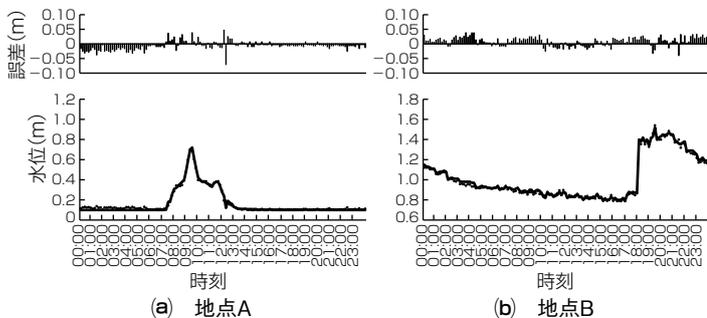


図5. 計測結果

位置を決定し(図3(g)), 量水板テンプレート定義時に入力した画像座標と水位高値を用いて水位に換算する。

3.3 評価実験

CCTVカメラによって記録された河川撮影映像を入力とした評価実験によってアルゴリズムの有効性の確認を行った。計測対象映像はフルHD(縦1920×横1080ピクセル)であり、量水板の3m分の長さが画像の縦方向に収まるようにカメラの向き及び画角を設定した。2地点の量水板によって、設置条件や天候の異なる24時間の映像を実験対象とした。2地点の撮影画像例を図4に示す。

画像ごとの水位計測結果と目視による水位読み取り値とを比較したグラフを図5に示す。目視読み取り値を真値とした場合の処理結果のRMSE(二乗平均平方根誤差)は地点Aでは1.6cm, 地点Bでは1.7cmであった。

どちらの地点でも夜間は畜光式量水板の自発光によって欠測(水位の記録が存在しない時間帯が生じること)は発生せず、24時間の計測が可能であった。また、夜間を除いた時間帯のRMSEはおよそ1cmに収まっている。このことから、このアルゴリズムは多様な天候・照明条件でも安定的に水位計測が可能であることが確認できた。

4. むすび

今回、水位計測強化のニーズに対応するため、新たな画像式水位計測アルゴリズムを開発し、河川監視CCTVシステムへの適用を踏まえた画像式水位計測サーバ(SD/HD映像, 最大100地点対応)を開発した。これに先立ち、このアルゴリズム搭載の河川カメラ局や画像センサ機側盤等

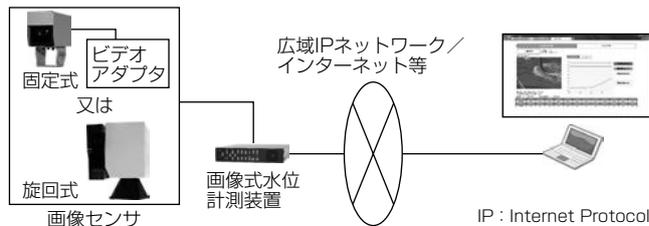


図6. 機側盤等に設置可能な画像式水位計測装置

に設置可能な小型の画像式水位計測装置(HD映像, 基本1地点対応)も製品化済みである。

画像式水位計測サーバは、主に、河川カメラ映像が常時集約される事務所等に設置し、カメラ管理サーバと連携して複数カメラ映像を対象に水位計測画像処理を行うことを想定している。これによって、河川監視CCTVシステムに対する水位計測機能の効率的な整備が可能となる。また、既存設備の多目的利用が図れるものである。

一方、画像式水位計測装置は、小規模からの水位計測機能の整備への適用や、水位観測所で従来センサとは別に画像式による計測でバックアップする現地設備としての設置が想定される。また、自治体の管轄する河川等、通信回線の細い環境で、現地で水位計測画像処理を行い、水位データを上位伝送するのに適している。図6に画像式水位計測装置のシステム構成イメージを示す。

これまで、三菱電機は河川管理の現場向けに河川監視CCTVシステムの製品群を提供してきた⁽³⁾。さらに、今回の画像式水位計測技術を適用した製品を加えることで、従来の水位計測設備の被災による計測不具合の補完や、よりきめ細かな河川縦断間隔での水位計測(計測地点の増強)に対するソリューションを提供し、類発化している水災害への防災・減災や更なる河川管理の高度化に貢献する。

今後、水位計測画像処理の対象とする被写体の範囲を拡張することで、より柔軟な現場適用が可能な画像式水位計測の実現も検討していく。

参考文献

- (1) 前原秀明, ほか: 濁水位時の量水板画像を利用したCCTVカメラ映像からの水位計測方法, 写真測量とリモートセンシング, 55, No. 1, 66~68 (2016)
- (2) 前原秀明, ほか: 濁水位時の量水板画像を利用したカメラ映像からの水位計測方法の検証, 日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会 (2016)
- (3) 田村 聡, ほか: HD対応広域CCTV監視システム, 三菱電機技報, 89, No. 6, 353~357 (2015)