

〈特集〉

非接触型画像式水位計

本田 吉 朋¹⁾, 加 藤 純 雄²⁾, 前 原 秀 明³⁾上 田 英 滋⁴⁾, 金 原 盛 人⁵⁾¹⁾三菱電機(株) コミュニケーション・ネットワーク製作所
(〒 963-8872 郡山市栄町 2-25 E-mail: Honda.Yoshitomo@bk.MitsubishiElectric.co.jp)²⁾三菱電機エンジニアリング(株) メディアシステム事業所 郡山支所
(〒 963-8872 郡山市栄町 2-25 E-mail: Kato.Sumio@zf.MitsubishiElectric.co.jp)³⁾三菱電機(株) 情報技術総合研究所
(〒 247-6501 鎌倉市大船 5-1-1 E-mail: Maehara.Hideaki@eb.MitsubishiElectric.co.jp)⁴⁾三菱電機(株) スマートコミュニティ・グローバル事業推進部
(〒 100-8310 千代田区丸の内 2-7-3 E-mail: Ueda.Eiji@cs.MitsubishiElectric.co.jp)⁵⁾三菱電機(株) 社会システム第一部
(〒 100-8310 千代田区丸の内 2-7-3 E-mail: Kimbara.Morihito@bc.MitsubishiElectric.co.jp)

概 要

近年、記録的な大雨や集中豪雨等により、河川や内水の氾濫に伴う甚大な浸水被害が多発しており、水位観測の強化と迅速な現場把握が求められている。一方、従来のフロート式や水圧式等の水位計では、設備能力を上回る洪水等による破損や流出、計測上限超過による欠測等の事例が発生しており、また、計測値だけでは現場の実態把握が困難である等の課題があった。そこで、堤防上等の離れた箇所から水位を計測でき、同時に画像による現場確認も可能とするべく、非接触型画像式水位計を開発・製品化した。本稿では当技術について紹介する。

キーワード：水位計、画像解析、浸水対策

原稿受付 2018.4.20

EICA: 23(1) 22-26

1. はじめに

近年、記録的な大雨や集中豪雨による甚大な水災害の頻発化により、河川水位等の把握の強化が重要となっている。河川や水路によっては水位標や水位計が設置され、観測員による水位観測や、水位計の値をテレメータで伝送することによる遠隔監視が実施されている。

しかしながら、河川や水路に近づく巡視においては、特に悪天候や高水発生時等では危険が伴うことになる。また、既存の水位計では、フロート式や水圧式等の水に接触して計測する方式（接触型）が多く用いられており、施設能力を上回る洪水等により、水位計自体の破損や流失、計測範囲の上限を水面が超過する等で計測ができなくなるといった事態が発生している。このような状況から、より安全かつ確実な水位観測の技術および現場把握の手段が求められている。

水防法の一部改正（H27.5, H29.6）では、近年の浸水被害を受け、洪水対策、内水氾濫対策の推進が強化された。洪水予報河川や水位周知河川のリアルタイムの予報又は水位周知は元より、下水道・海岸の水位により浸水被害の危険を周知する制度も創設されている。

河川管理においては、水文観測業務規程細則（H29.3.31 改定）に、水位標を用いた観測方法として目視観測に加え画像解析による観測が追加された。これにより、現場での水位観測作業を遠隔地から観測可能となり、観測員の安全確保、負担軽減が見込まれる。

これらに適応するため、施設能力を超える洪水時等においても、欠測なく、正確かつ連続的に計測可能な非接触型画像式水位計を開発・製品化した¹⁾。

2. 非接触型画像式水位計

2.1 概要

画像式水位計は、主に、現場の画像を取得する撮像機能と、その画像から水位解析を行う計測処理機能から構成される。特に河川水位の観測においては水位標の読み値が基本となっていることから、河道や水路内、橋脚、護岸堤防等に設置された水位標を高感度かつ高精細な HD (High Definition) 検知センサで撮像し、計測処理装置による水位画像解析 WDIC (Water-level Digital Image Correlation) でリアルタイムに水位を計測する水位計を実現した (Fig. 1)。以降に、当技術について述べる。

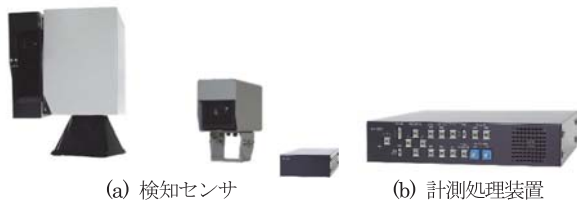


Fig. 1 画像式水位計

2.2 画像式水位計測技術

従来の画像式水位計は、動画像から水面の揺らぎ(動き)や水面とその上部との濃淡分布、水面により形成されるエッジ等を特徴量として検出し、境界抽出等を行うことで水面を特定して水位を算定していた。しかし、自然環境下では、日照変化や降雨等の外乱の発生、夜間の視認性低下、強風時の映像揺れ等により、このような特徴量は水面以外の領域にも発生する可能性がある等から、実用に耐え得る安定した連続計測は困難であった。また、動画像内の動きを利用する場合には、高いフレームレートが必要であり、照度が確保できない夜間等では更に制約が大きかった。

そこで、従来手法である動画像による計測に対し、より安定かつ高分解能、高精度な計測を可能とするため、水位標を被写体とした静止画を用いて、画像相関法により水面の位置を検出し、水位を算定する新たな画像式水位計測アルゴリズムを開発した^{1,2)}。

まず、河川等には水位を観測するための水位標が設置されている点、かつ水位標には目視での読み取りを容易にするため明瞭な目盛が記されている量水板が有りテクスチャとして利用できる点に着目した。この水位標を被写体として、予め登録した水位標全体が露出している画像 (Fig. 2(a) 基準画像) と各時刻に取得された画像 (Fig. 2(b) 計測画像) とを、テクスチャの類似度の評価尺度となる画像相関により比較することで、水位標の上に見える水面の位置を検出して水位を算定する水位画像解析 WDIC を考案した。この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影響を受け難く、環境の変化に頑強な水位計測の実現が可能となる。



Fig. 2 画像式水位計 画像例

2.3 画像式水位計測アルゴリズム

水位画像解析 WDIC は、主として、基準画像登録処理と水位計測処理から構成される (Fig. 3)。この

アルゴリズムを以降に示す。

(1) 基準画像登録処理

水位計測処理の前処理として、予め基準画像の登録を行う (Fig. 3(a) (b))。

(1-1) 基準画像における量水板領域の定義

水位標が全て水面上に露出している画像を取得し、量水板領域 (量水板テンプレート) を定義する。

(1-2) 量水板領域における水位高の定義

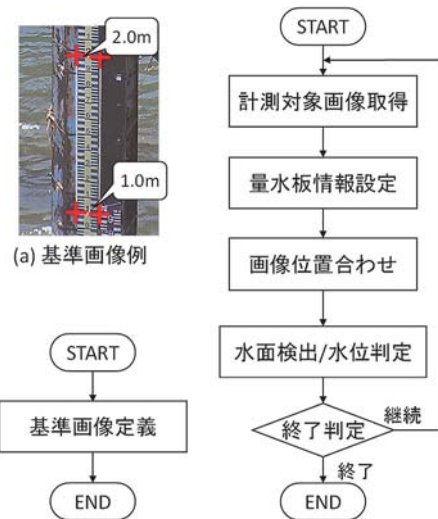
量水板領域の上端および下端に対応する水位値 (量水板テンプレート上の水位高) を定義する。

(2) 水位計測処理

定義された基準画像を用いて、各時刻の計測画像に対する水位計測処理を行う (Fig. 3 (c))。以降の(2-1)~(2-4)の処理例を Fig. 4 に示す。

(2-1) 計測画像の取り込み

検知センサからの信号を、秒1コマ程度の静止画として取り込み、水位計測処理の入力とする。



(b) 基準画像定義処理フロー (c) 水位計測処理フロー

Fig. 3 画像式水位計測アルゴリズム

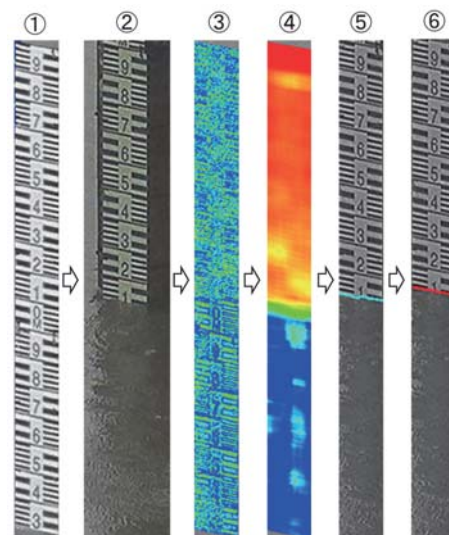


Fig. 4 水位計測処理の様子

(2-2) 画像位置合わせ

基準画像と計測画像の間には、検知センサ設置ポールの揺れや変形、プリセット停止精度等による影響で、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、計測画像中の量水板領域と量水板テンプレートがサブピクセルレベルで一致するように位置合わせを行う。

(2-3) 画像相関計算

位置合わせ後の計測画像中の量水板領域と量水板テンプレートの間で、小領域毎の相関係数を求めてマップ化する。相関係数は、基準画像と計測画像のテクスチャ類似度を意味する。量水板領域の中で、水面上に露出している部分は高い相関係数が得られ、水面下となる部分は低い相関係数が得られることとなる。

(2-4) 水面位置検出/水位算定

相関係数マップを縦方向にスキャンして勾配を求め、水面上と水面下の部分の境界、すなわち水面位置の座標として検出する。次に、検出した水面位置の座標から量水板目盛に対する平均位置を決定し、量水板テンプレート登録時に定義した画像座標と水位高との関係を用いて水位に換算する。

水位計測処理は1秒毎に実施（1分あたり30画像）し、各算出値を平均化し、1分毎水位を出力する。

2.4 システム構成

画像式水位計は Fig. 5 に示すように、最小構成においては検知センサと計測処理装置のみで構成され、光ネットワークやインターネット等の IP (Internet Protocol) 網を介して遠隔地から水位および画像を確認できる。

既存の河川監視用 CCTV の支柱や機側装置を活用すれば、施工を大幅に簡素化でき、光ネットワーク経由で容易にリアルタイム水位観測が可能となる。



Fig. 5 画像式水位計 システム構成例

また、既存の水位観測所等に適用する場合、テレメータ装置に計測データを渡す手段として、BCD (Binary-Coded Decimal) デジタル出力も I/F (Interface) 変換装置を追加することで可能である。

2.5 機能・性能

(1) 高精度化

検知センサにフル HD 高精細センサを採用し、水位



Fig. 6 HD/SD 解像度比較

観測に必要な計測分解能 ± 1 cm を実現した (Fig. 6)。

(2) 高感度化

検知センサは電子感度アップ機能、カラー白黒機能にも対応し高感度化（最低被写体照度 0.0002 ルクス、感度アップ時）を実現することにより、夜間の水位標観測における視認性を大幅に向上した (Fig. 7)。また、無照明環境においても、蓄光型量水板を併用することで、残光のみで夜間を通して安定した計測が可能である。

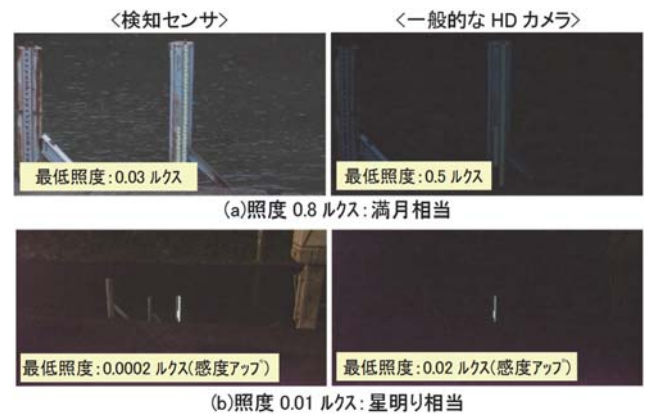


Fig. 7 検知センサと一般的な HD カメラとの画像比較

(3) ロバスト性向上

水位標観測において、天候や太陽光反射等の様々な環境変化に対し影響を軽減できる検知センサのフレキシブルエリア測光制御機能や、強風等による画像揺れや夜間・降雨・降雪等での視認性低下時でも計測可能な水位計測アルゴリズムを搭載し、安定した連続計測を実現した。Fig. 8 に対応事例を示す。

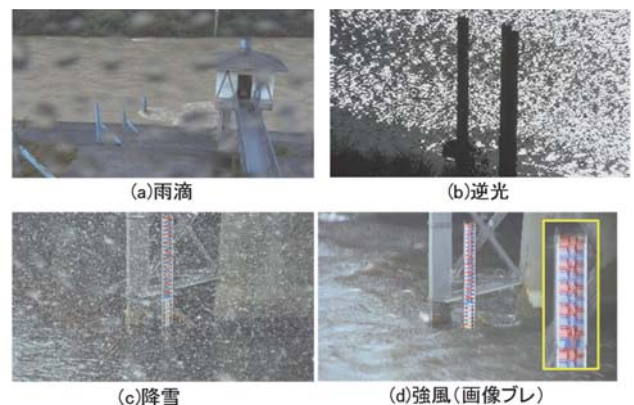


Fig. 8 環境変化の事例

(4) リアルタイム計測

水位標観測における現場状況把握のため、計測処理装置にWWW（World Wide Web）サーバ機能を搭載し、水位、画像を同時に確認できる水位観測画面を提供可能とした（Fig. 9）。急激な水位変動を迅速に把握できるよう、データ更新間隔は1分間としている。

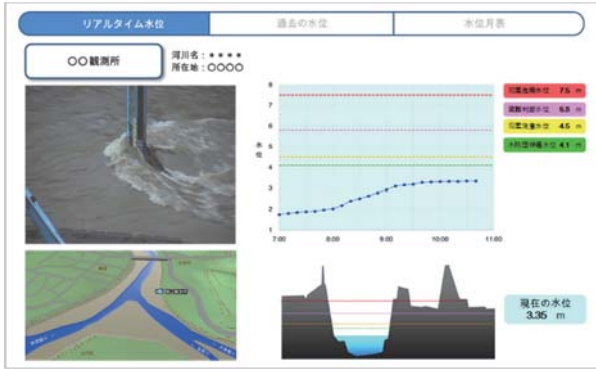


Fig. 9 水位観測画面例

3. フィールド検証結果

3.1 河川の検証事例

遠賀川勘六橋付近（福岡県直方市）にて、画像式水位計のフィールド検証を実施した。高所に検知センサを設置し、約120 m先の2つの水位標の蓄光型量水板（低水位：0～3 m/中水位：2～6 m）を計測対象とした（Fig. 10）。

2017年7月4日から7月10日（7日間）における画像式水位計の計測結果と目視水位、テレメータ水位、時間雨量を Fig. 11 に示す。昼夜、天候等の環境変化を通して、データ欠測することなく、目視水位、テレメータ水位同等の計測結果が得られた。検証期間内の目視水位と計測水位の誤差 RMSE（Root Mean Square Error：二乗平均平方根誤差）は約8 mmであり、水位観測に求められる精度でリアルタイム計測が可能であることを確認した。

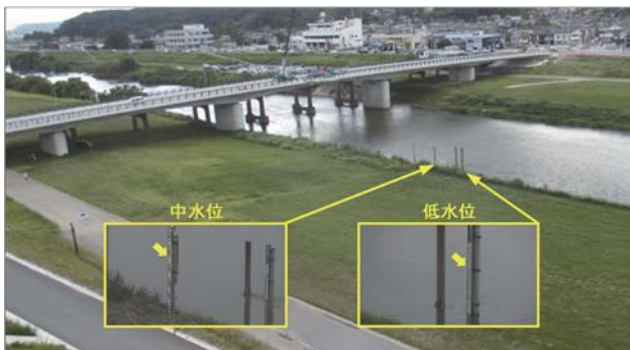


Fig. 10 フィールド検証箇所

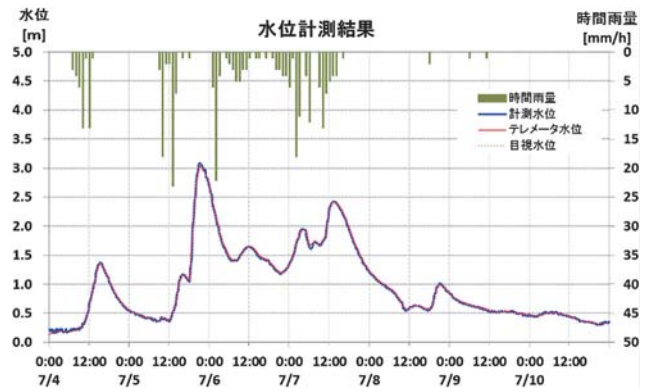


Fig. 11 水位計測結果

3.2 下水開渠の検証事例

都市部の下水道開渠（神奈川県厚木市）にて、画像式水位計のフィールド検証を実施した³⁾。開渠側のポールに検知センサを設置し、水位標の蓄光型量水板を計測対象とした（Fig. 12）。

目視水位と計測水位との比較検証を行った結果、環境変動（昼夜、天候、その他外乱等）に関わらず、目視水位とほぼ同じ結果が得られ、1 cm 単位での水位計測ができることを確認した（Fig. 13）。この結果をもって、当システムは「下水道管きょ等における水位等観測を推進する手引き（案）」（2016年4月国土交通省公表）において、有効な水位観測技術の一つとして紹介されている。

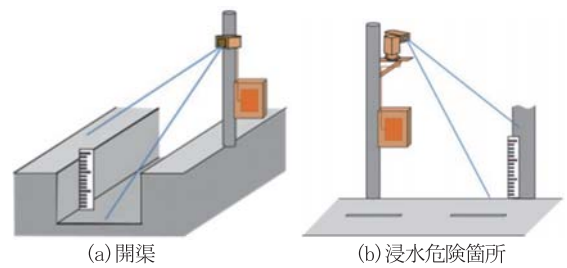


Fig. 12 画像式水位計測システム 設置イメージ

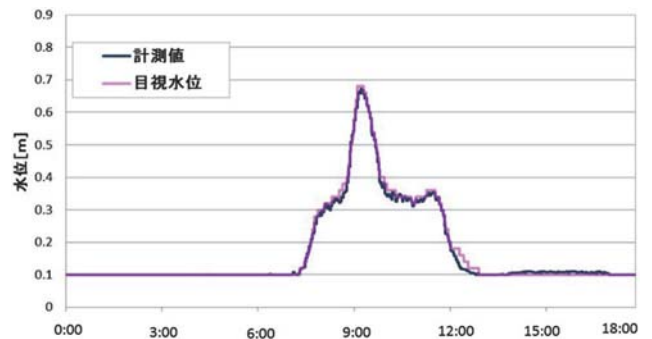


Fig. 13 水位計測結果

4. おわりに

当技術を適用した製品の現地適用が進むことにより、従来の水位計が被災して欠測するような事例の解消や、より木目細かな水位観測が実現されることで、頻発化している水災害への防災・減災や、更なる河川や下水道の管理の高度化に貢献できることを願う。

また、今後、AI技術を搭載することで、計測対象箇所等における適用範囲を拡大した装置の製品リリースを予定している⁴⁾。これにより、非接触型画像式水位計の導入の更なる容易化を図ると共に普及を促したい。

謝辞

本検証の一部は、国土交通省 河川砂防技術研究開発公募河川技術分野（研究代表者：東京理科大学 二瓶教授）と、国土交通省 下水道による浸水対策に適用可能な水位等観測機器のモデル検討調査（対象場所：厚木市）により行われた。ここに記して関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 前原秀明, 長瀬百代, 平謙二: 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, VOL. 55, No. 1, pp. 66-68, 2016
- 2) 前原秀明, 服部亮史, 長瀬百代, 平謙二: 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) 三菱電機株式会社: 昼夜・気象条件に影響されずにハイビジョン映像から水位計測が可能「画像式水位計測システム」実証結果のお知らせ, ニュースリリース 2016 年 7 月 20 日 社会 No. 1611, 2016.
- 4) 三菱電機エンジニアリング株式会社: AI 技術, 画像解析技術, 高感度センサーにより, 昼夜・気象条件を問わず水位計測を実現 画像式水位計測装置「フィールドエッジ[®]」新製品の受注開始, プレスリリース 2018 年 5 月 30 日, 2018.
- 5) 磯部修一: 画像・レーザーを活用した非接触型水位計について, 平成 29 年度 建設電気技術研究発表会, 2017.
- 6) 服部亮史, 新房健一, 池上俊之, 上田英滋, 平謙二: 画像処理を活用した水位観測システムの実現, 三菱電機技報, Vol. 91, No. 6, pp. 23-27, 2017.
- 7) 平謙二: 観測技術 (レーザ技術による水面形抽出技術) (画像解析による水面把握), 平成 28 年度土木学会全国大会 研究討論会「水工情報システムの発展」, 2016.
- 8) 三菱電機エンジニアリング株式会社: 河川における現場状況把握の高度化への貢献 (フィールドビューア[®]), 土木学会水工学委員会流量観測技術高度化研究小委員会「第五回流量観測の高度化に関する勉強会」, 2016.