

前原秀明* 上田英滋***
口 倫裕** 平 謙二†
鈴木利久**

AIを活用した画像式河川水位計測装置

AI Digital Water Gauge Using Video Camera Image

Hideaki Maehara, Michihiro Kuchi, Toshihisa Suzuki, Eiji Ueda, Kenji Taira

要 旨

近年、集中豪雨の頻発・激甚化が懸念される中、水災害に対して河川堤防整備などのハードウェア面の対策に加え、早期避難の実現に向けた正確で即時性に優れた河川水位情報の提供といった、ソフトウェア面の対策も求められている。水位観測に関しては、災害に強く設置の容易な非接触型の水位計測によって観測地点数を増やすことが期待されている。

三菱電機と三菱電機エンジニアリング株(MEE)は、これまでに水位標を被写体とした画像相関法による画像式水位計測装置を開発・納入している。今回、水位標の非設置箇所でも水位観測を可能にして観測の多地点化を促進することを目的として、三菱電機のAI(Artificial Intelligence)技術“Maisart”を活用した画像式河川水位計測装置“フィールドエッジ”を開発した。この装置は、河川映像を

用いて“水面”を学習させたディープニューラルネットワーク(DNN)を備え、DNNの機能によって映像中の水域と非水域を分離することで水際位置を特定し、あらかじめ計測した河川構造物の三次元情報を参照して水位高を算定する。水面の画像特徴から直接的に映像中の水際を特定できるようにしたことによって、次のような特長を持った水位標を必要としない水位計測を実現した。

- (1) 水位計測単位 1 cm(画像分解能 6 ピクセル/cm以上)
- (2) 入力情報として、夜間等の低照度環境で取得される低フレームレート動画～静止画までを処理可能
- (3) 水位計として自立動作可能なエッジ型AI処理
- (4) 水位だけでなくリアルタイム画像との組合せによる情報提供が可能



画像式河川水位計測装置“フィールドエッジ”の構成

この装置は検知センサと画像処理ユニットで構成している。検知センサはフルHD(High Definition)解像度の映像データを取得し、シーン内の指定領域の照度に応じて感度を最適設定するエリア測光機能を搭載している。多地点型検知センサは、プログラム化された旋回・合焦動作による複数箇所の巡回計測、水位上昇に追従するワイドレンジ計測等を可能にする。画像処理ユニットは、大量の河川映像から“水面”を学習したDNNを内蔵し、安定した河川水位計測を実現する。この装置は、“2018 R&D100 Awards”を受賞した。

1. ま え が き

近年、記録的な大雨や集中豪雨による甚大な水災害が頻発しており、治水・災害対策を強化して被害を最小限に抑える上で、より多地点での河川水位の把握が重要になっている。しかしながら、従来の水位観測では、フロート式や水圧式等の水に接触して計測する接触型の方式が多く用いられてきたが、洪水時に破損したり、一定の水位を超えると計測できなかつたりする等の課題があった。

そこで、三菱電機とMEEは、非接触型の画像式河川水位計測装置として、水位標を被写体とし画像相関法によって水位計測を行うWDIC(Water-level Digital Image Correlation)方式の装置を開発・納入している。今回、さらに、水位標の非設置箇所でも水位計測を可能にするために、橋脚や堤防等の河川構造物を被写体とし、三菱電機のAI技術“Maisart”を活用して映像中の水域と非水域を識別し、水際位置を特定して水位計測を行う⁽¹⁾ WDL(Water-level Deep Learning)方式の画像式河川水位計測装置を開発した。

本稿では、この装置“フィールドエッジ”のWDL方式の機能と特長、DNNを用いた水位計測方法について述べる。

2. AIを活用した画像式河川水位計測装置

2.1 機 能

画像式河川水位計測装置は、検知センサと画像処理ユニットで構成している。この装置が提供する機能は、河川水位の計測と記録及び水位データの外部出力である。図1に装置構成と機能及び水位計測処理の流れを示す。

(1) HD撮像機能(高精細フルHD, 高感度)

検知センサは、図2に示すように、橋梁(きょうりょう)

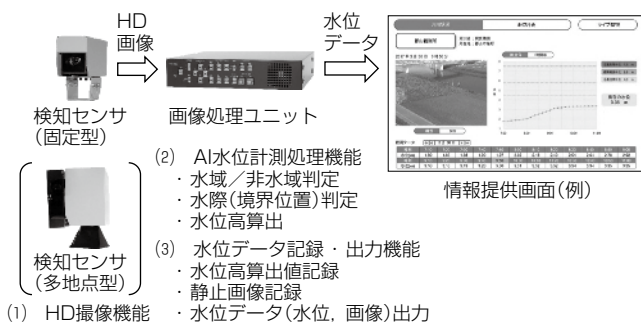


図1. 装置構成と機能及び水位計測処理の流れ

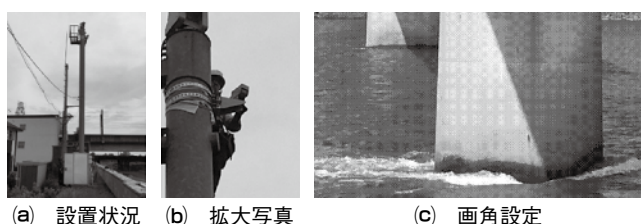


図2. 検知センサの設置と画角設定の例

近くの堤防上の支柱等に設置し、河川に喫水する箇所を持つ橋脚等の河川構造物が視野に入るよう画角設定を行う。この喫水箇所のある河川構造物を含むシーンを撮像し、映像データを画像処理ユニットに伝送する。

また、検知センサは、高精細フルHD及び高感度(最低被写体照度0.03 lx)を採用し、夜間での計測を実現している。

(2) AI水位計測処理機能

画像処理ユニットは、WDL方式によるDNNを実装したAI水位計測処理で、まず、画像内の水域と非水域を分離し、次に、この境界を水際として位置を特定する。この位置を基に、あらかじめ別途三次元レーザ計測ユニットによって計測した河川構造物の三次元計測情報(図3)を参照して水位高を算出する。

(3) 水位データ記録・出力機能

水位データとして、時刻と算出した水位高を統計処理した水位値、及び当該時刻の画像を画像処理ユニット内蔵の記憶媒体に保存する。また、上位装置や監視モニタ等に向けて水位データを外部出力する。

2.2 特 長

映像を用いた水位計測では、天候や日照変化、河川の流況等、多様な環境・条件で頑強な画像解析を行う必要がある。特に水位標等の被写体がない場合、従来技術では、その性能が限定的であったため普及が進んでいなかった。

この装置は、DNNを利用することでこの問題を解決した。DNNに対して“水とは何か(水面は検知センサでどのように撮像されるか)”を、多様な屋外環境で取得した映像に基づいて学習させ、任意の対象画像で水域と非水域に高精度で分離することを可能にした。この高い識別能力を利用することで、多様な屋外環境下で安定した水位計測を提供できる。この装置の主要な特長を、次に挙げる。

- (1) AI水位計測技術によって、非接触での河川構造物を被写体とした安定した連続観測、画像上での空間分解能6ピクセル/cm以上で水位計測単位1cmを実現
- (2) 高感度フルHDセンサによって、昼夜を問わず高精細な画像を取得して目視と同等の水位計測を実現
- (3) 水位計として自立して動作可能な現場端末側でのリアルタイムによるエッジ型AI処理を実現

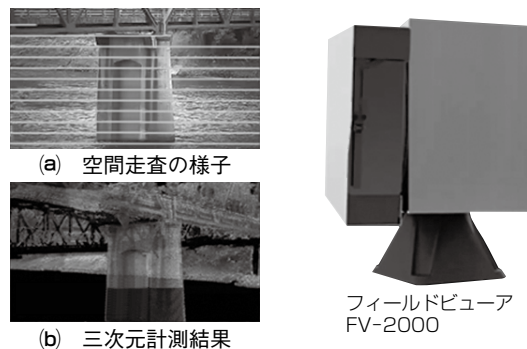


図3. 三次元レーザ計測ユニットによる計測

(4) 現場状況を水位と画像でリアルタイム監視が可能、画像を含む水位データ(水位, 画像)の記録で状況検証を支援, 現場画像を合わせた情報提供にも活用可能

3. DNNに基づく水位計測方法

3.1 水際の特定

DNNに水位観測地点の河川構造物の外見変化とともに、水域の流れや反射などの特徴を教師データとして学習させ、水域と非水域を識別させることによって、従来方式の課題を克服でき、水際の位置を特定することが可能であると考えた。水位計測に用いるDNNは、画像の小領域が水域(河川水面)か、非水域(河川水面以外)かを判定する分類型DNNと、水際が存在する画像の小領域で、上部から何ピクセル目が水際かを判定する回帰型DNNの2種類を使用して、2段階によってピクセル単位で水際位置を特定する。

図4に基づいて具体的な実装について述べる。映像中で水位計測箇所を決め、あらかじめ検知センサから取得したフレーム画像から当該計測箇所を含む四辺形領域を観測枠として設定する。観測枠のサイズは、次のDNNへ入力するブロック画像の分割サイズに合わせて、縦640ピクセル×横64ピクセルサイズに正規化している。

第1段階(図4①)は、隣同士のブロックが32ピクセルのオーバーラップを持つよう観測枠の上部から64ピクセル×64ピクセルのブロックを取り出して19個のブロックに分割し、分類型DNNを用いて上部ブロックから順に水域・非水域の判定を行い、判定が非水域から水域に変化した箇所のブロックを切り出す。ブロック間に32ピクセルのオーバーラップを持たせることによって、上部から25~75%の間に水際が存在するブロックを選択できる。

第2段階(図4②)は、この選択したブロックを回帰型DNNに入力することで、ブロック上部からのピクセル数として水際位置を特定する。第1段階で選択したブロック

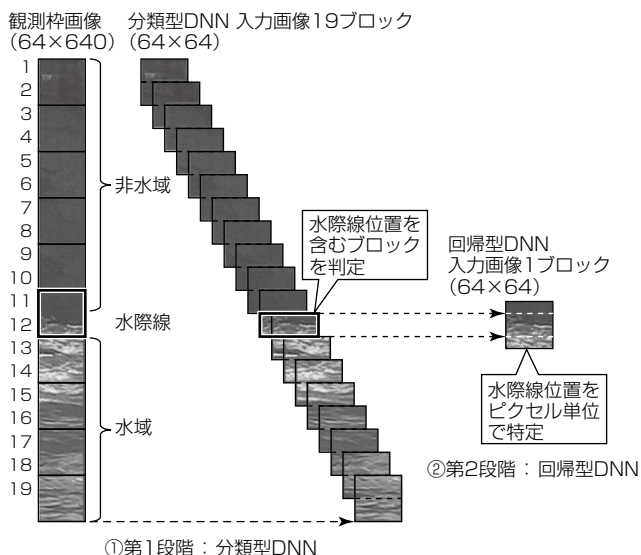


図4. 水際位置の特定方法

位置と第2段階で特定した水際位置のピクセル数を用いて、あらかじめ設定した三次元情報に基づく観測枠の座標を逆変換することで、映像中の水際位置の座標が得られる。

3.2 水際特定用DNNの構造

図5は、分類型DNNの構造であり、3段階の畳み込みを行うResNet⁽²⁾を採用した。ResNetは各段階で、層の入力から出力へ結ぶルートを用意することで、畳み込みを行う前と後の情報の残差を学習させる仕組みによって、各層で高効率の学習が実現できるネットワークである。回帰型DNNの構造もおおむね同様である。

3.3 水際特定用分類型DNNの学習

分類型DNNの学習の例について述べる。図6は学習に使用した教師データの例である。実際の河川を検知センサで撮像した映像から取り出されたフレーム画像を小画像に分割し、人手によって水域・非水域のラベル付け、及び水

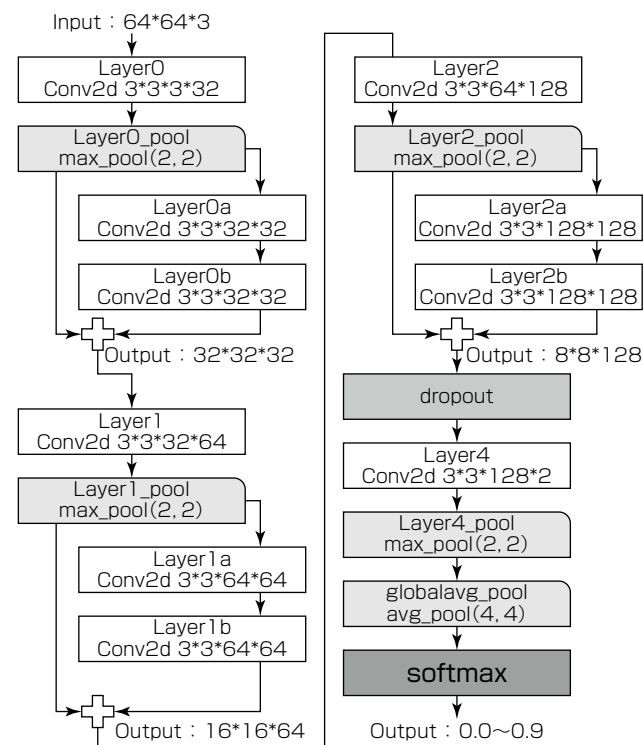


図5. 水際位置を特定するDNNの基本構造

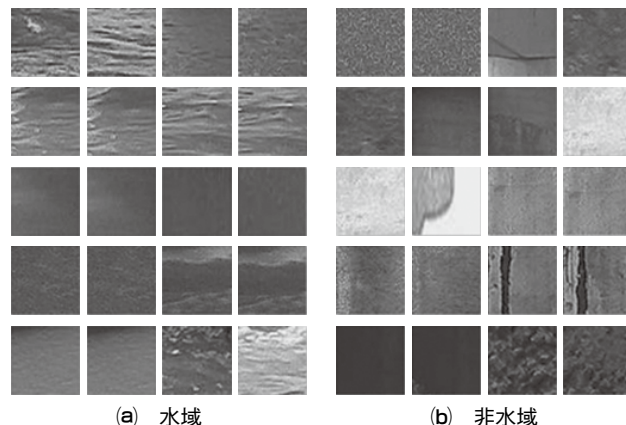


図6. 分類型DNN用教師データの例

表1. 分類型DNNの教師データ仕様

河川	球磨川, 遠賀川, 信濃川, 釧路川, 広瀬川, 那珂川, 阿武隈川, 七瀬川
フレーム画像枚数	711枚
画像サイズ	縦64ピクセル×横64ピクセル
教師データ数	13,986枚

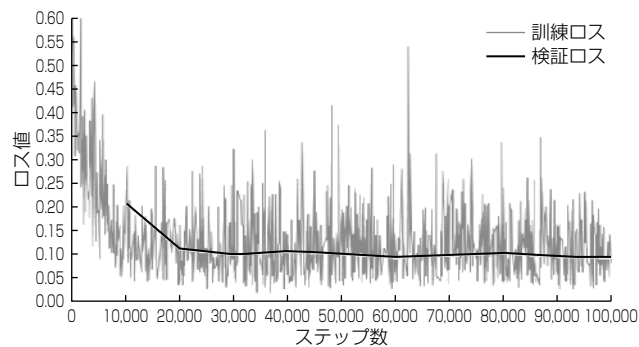


図7. 分類型DNNのロス値の推移

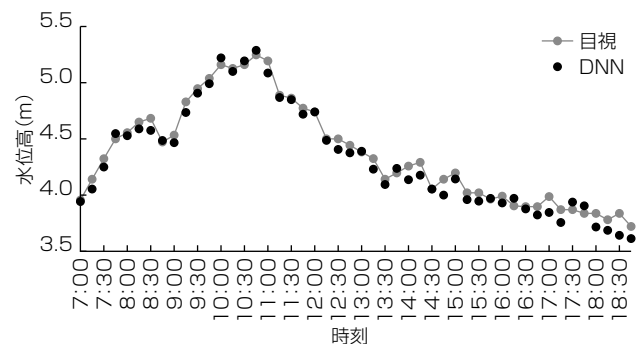


図8. 水位計測結果

際位置の指定を行ったものを用いた。この教師データの仕様を表1に、学習の進み具合を示すロス関数の出力結果を図7に示す。縦軸はロス値、横軸は学習回数を示すステップ数である。教師データをランダムに学習用データと検証用データに7：3で振り分け、訓練ロスは、学習した学習用データのロス値であり、検証ロスは、学習をしていない検証用データのロス値である。訓練ロスと検証ロスの収束する傾向や値は一致しており、30,000ステップ程度で減少が停止していることから、学習は妥当に推移したと考えてよい。

3.4 水位計測実験

球磨川の河岸に仮設のCCTV(Closed Circuit Television)カメラで撮影した増水期間を含む映像(2015年8月25日7：00～18：45)から、15分間隔で取り出した計48枚のフレーム画像を対象に、DNNを用いた水位計測評価を行った。

フレーム画像での水際位置の画像座標から水位高への換算は、観測枠の下端を0.0m・上端を9.0mと定めた上で線形補間を用いて算出した。計測精度の評価のため、目視によって取得した水際の画像座標に基づく水位高との比較を行った結果を図8に示す。目視による水位高を真値とした場合の水位計測のRMSE(二乗平均平方根誤差)は、7.6cmの精度であった。評価に使用した映像の空間分解能は1cm＝

0.8ピクセルであったので、1cm当たり6ピクセル以上の空間分解能の映像を使用すれば、国土交通省が求める“水位の最小読み取り単位1/100m”⁽³⁾を満足する水位計測が可能になる。

4. むすび

AI技術を活用した画像式河川水位計測装置(WDL方式)の実現によって、水位標が設置されていない箇所でも橋脚や堤防等の構造物を被写体とした非接触型の画像式河川水位計測を可能にした。これによって、水位把握の多地点化に対して、容易かつ幅広く観測点を増やせることで、より木目細かな洪水対策に寄与できるものとする。

また、河川水位の観測方法を定める水文観測業務規程細則⁽⁴⁾では、水位標観測で目視に加えて画像解析による観測方法が追加された(H29.3.31改定)。当社の画像式河川水位計測装置では、水位標を被写体として画像解析を行い水位算出するWDIC方式の選択も可能にしている。これを利用することで、水位標観測を現地に入らず機械的に行うことにより、常時観測の実現や観測員の安全確保・負担軽減等が期待される。

水防法の一部改正(H27.5, H29.6)では、近年の浸水被害の多発を受け、洪水対策、内水氾濫対策の推進が強化された。また、河川水位に加え、下水道や海岸の水位によって浸水被害の危険を周知する制度も新設されている。画像式河川水位計測装置は、適切な被写体の設定やシステム構築によって、下水開渠(かいきょ)や海岸堤防等での水位計測ニーズや現場画像と合わせて臨場感のある情報提供を行うニーズ等にも応えることができる。

当社は、画像式河川水位計測装置に加えて、レーダ雨量計測、水位・雨量等のテレメータ、ダム・堰(せき)制御、CCTV映像監視等のシステム構築・製品提供、河川の縦断水位把握や三次元状況把握の技術開発にも取り組んでいる。さらに、現場状況把握やデータ解析、及び運用支援向けAI技術も開発中である。今後、これらの製品・技術を組み合わせることで、最適管理・運用を可能にする総合河川管理システムの実現を目指すとともに、社会実装によって水災害に強い国土づくりに貢献していく。

参考文献

- (1) 前原秀明, ほか: デープラーニングに基づく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, 58, No.1, 28～33 (2019)
- (2) He, K., et al.: Deep Residual Learning for Image Recognition, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (2016)
- (3) 国土交通省: 河川砂防技術基準 調査編 (2014)
- (4) 国土交通省: 水文観測業務規程細則 (2017)