

高度河川管理システム

小池敏恭*
飯田祥文*

Advanced River Management System

Toshiyasu Koike, Yoshifumi Iida

要旨

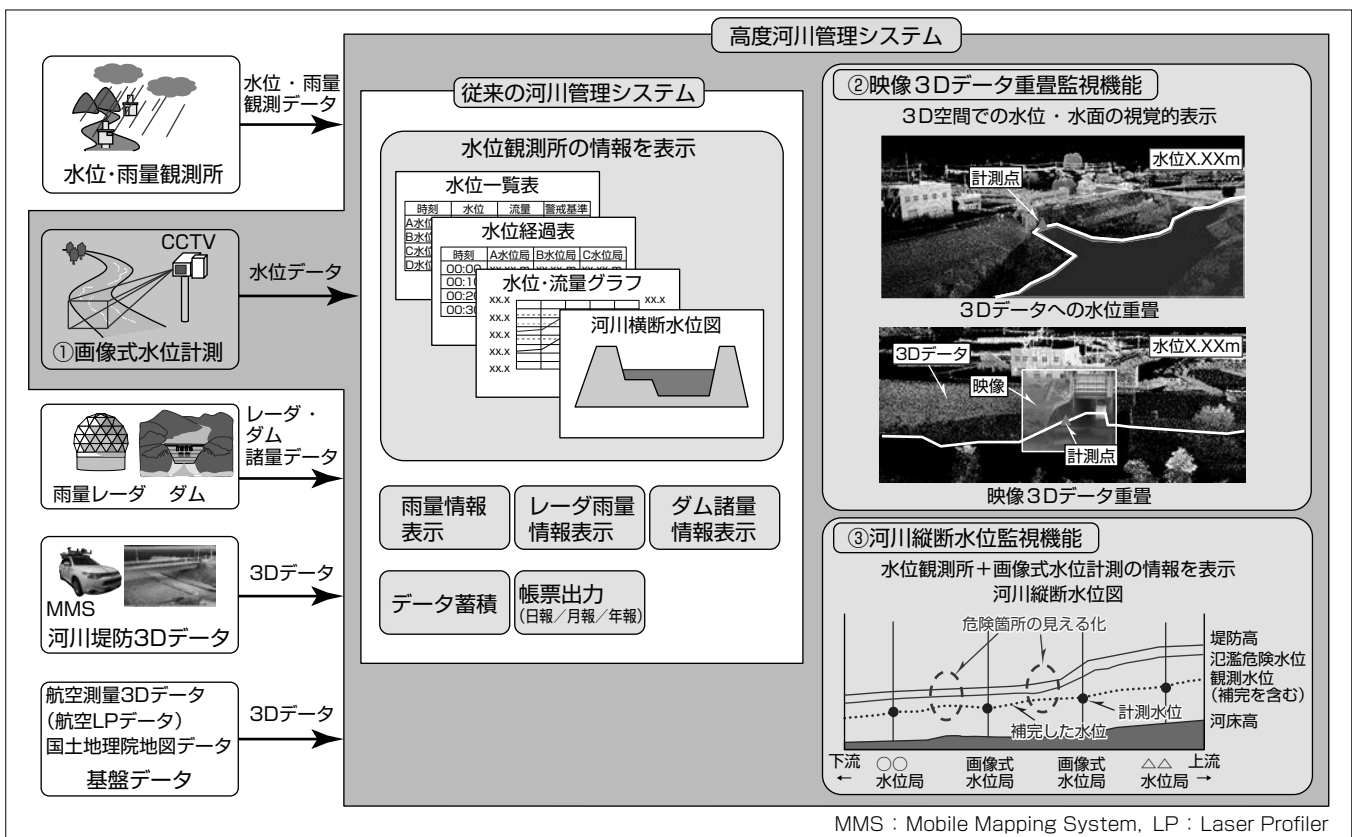
近年、豪雨発生による河川堤防の越流・決壊と洪水被害が多発している。洪水被害は、多大な経済的損失だけでなく、深刻な人的被害をもたらすので、特に高齢者など社会的弱者の避難誘導・保護は重要な課題となっている。

河川管理者である国土交通省の洪水対策では水位計による水位観測情報を現況把握に利用しているが、河川管理システムで扱う水位情報は、約5~20km間隔の片岸の水位計による観測という離散的な情報であり、水位観測所の間で発生した危険箇所をリアルタイムに収集・伝達することが難しい。地域住民にとって居住地から離れた場所の水位情報では、危険性が十分に伝わらない場合もあり、避難行動の遅れが被害を拡大するおそれがある。また、河

川管理者と気象台が共同発表する洪水予報の水位危険度の対象地点も水位観測所に限られている。

高度河川管理システムでは、居住地に近接した水位情報を提供して氾濫の切迫性を強く伝えることを目的として、従来の水位観測所の上に河川監視用に設置されているCCTV(Closed-Circuit TeleVision：防災用映像監視システム)カメラを利用し、画像処理技術を用いた水位計測を行う。画像処理で得られた水際検出位置から水位(標高値)への変換には、三次元レーザ計測データを用いる。

また、画像式水位計測の導入によって数倍に増加する水位情報を効果的に表現する技法として、映像3Dデータ重畳監視機能と河川縦断水位監視機能を開発した。



MMS：Mobile Mapping System, LP：Laser Profiler

高度河川管理システムの構成

高度河川管理システムは、従来の河川管理システムにCCTVカメラと三次元レーザ計測データを用いた①画像式水位計測機能、②映像3Dデータ重畳監視機能及び③河川縦断水位監視機能を加えて構成される。従来の水位観測所の観測情報等に画像式水位計測情報を加えた、地単単位(ピンポイント)のきめ細かな水位情報は、河川管理者の水防業務としての危険箇所の監視に有効であり、また、住民へのタイムリーな情報提供に活用できる。

1. ま え が き

近年、国内では激甚な洪水被害が発生しており、特に“平成27年9月関東・東北豪雨”の鬼怒川堤防決壊と常総市浸水被害、“平成28年台風第10号”の岩手県今泉町高齢者施設浸水による死亡事故では洪水の危険性が住民に十分伝わらず深刻な被害を招き、河川の危険性を周知する重要性を強く認識させた。

河川管理者である国土交通省では、早期避難や的確な水防活動のために、住民の居住地に近い地先単位のきめ細かな水位観測を目指しており、国土交通省水管理・国土保全局の“河川砂防技術研究開発”での“従来の水位観測地点間の地先単位の水位・氾濫危険度の把握のための解析・観測”をテーマとした取組み(2016年度)や、国土技術政策総合研究所等での“CCTV画像からの水位計測”などの取組みが行われている。

国土交通省が定める水文観測業務規程細則⁽¹⁾の2017年5月改定では、水位標の観測方法として従来の目視観測に画像解析による観測が追加され、今後はCCTVカメラ画像を用いた水位計測⁽²⁾(以下“画像式水位計測”という。)が増加すると予想される。

本稿ではCCTVカメラ画像と3D(3Dimensions:三次元)地形データを用いた水位計測によって、危険性をリアルタイムかつ地先単位に伝えることを実現する高度河川管理システムについて述べる。

2. 高度河川管理システム

2.1 目 的

洪水対策として河川の状態を知る一次情報は河川水位であるが、一級河川(国土交通省が管理する河川)の場合、水位観測所の間隔は約5~20kmと広いため、河川堤防の全てについて越流・決壊の危険度を知ることができない。住民は居住地から数km離れた地点の水位情報を受けても危険性を認識するのが難しく、避難行動の遅れにつながるおそれがある。避難行動を適時に促すには、居住地に近い地先単位の危険度の情報提供が有効である。

現在の水位情報収集・計測には、フロート式・水圧式などの接触型水位計を使用しており、その設置には増水時の水流に耐える強固な施設が必要なため、多数の設置には膨大な費用を要する。一方で一級河川には、河川流況監視用及び水門等施設監視用のCCTVカメラが全国で約1万台設置されており、このカメラを水位計測に活用できれば危険度の指標となる水位情報を増やすことができる。

三菱電機は、河川管理者や住民に水位上昇や氾濫の切迫性をリアルタイムかつ地先単位に伝え、避難行動を適時に促して洪水被害を軽減することを目的として、画像式水位計測とその情報を収集・蓄積・提供する“高度河川管理システム”を開発した。

2.2 従来の河川管理システムとの比較

従来の河川管理システムと今回開発した高度河川管理システムの機能比較は表1のとおりである。

従来の河川管理システムでの水位観測(河川砂防技術基準⁽³⁾に定める水文・水理観測カテゴリー1)は、河川堤防や水門等の河川施設の整備計画の基礎となる統計や流量演算又は水門等の河川施設の操作基準に用いられており、±1cmの精度が要求されている。それに対して高度河川管理システムとして追加した画像式水位計測機能は、増水時の危険性の把握のため、計測精度に加えて計測箇所の高密度化や、危険性を分かりやすく伝えるための表示を備えた。

2.3 機 能

高度河川管理システムでは従来の河川管理システムの機能に加え、河川管理者が河川水位の状況を空間的・連続的に把握するために次の機能を持つ。なお、各機能は、CCTVカメラ映像データと対象地域を別システムで測量したMMSデータ^(注1)、航空LPデータ^(注2)等の3D点群データを合わせて活用することによって実現している点の特徴である。

- (注1) MMS(モバイルマッピングシステム)データは、車載レーザー計測器によって測量した三次元座標データである。
- (注2) 航空LP(レーザープロファイラ)測量データは、航空機からレーザー光を照射して測量した三次元座標データである。

2.3.1 映像3Dデータ重畳監視機能

映像3Dデータ重畳監視機能は、CCTVカメラの視野範囲だけでなく視野範囲外の水位状況を視覚的に把握するための機能である。河川周辺の3D点群データを3D表示ソフトウェア(3Dビューア)で表示し、3D空間にCCTVカメラ映像と水位及び3D点群データを重ね合わせることで次の方式で実現した。

まず、カメラ情報(カメラ位置座標、視点、画角)を基に、3D空間に河川管理用のCCTVカメラ映像を表示し、3D点群データと重畳表示させる。さらに、CCTVカメラ映像を画像処理することによって水面と空間の境(水際線)を検出し、

表1. 河川管理システムの比較

機能項目	従来の河川管理システム	高度河川管理システム
水位計測方法	接触型水位計 (フロート式、水圧式など)	・画像処理方式 ・レーザー計測方式 ^(注3)
水位計測間隔	5~20km	1~5km
水位計測精度	±1cm	・画像式(高精度): 約±1cm目標 ・画像式(概略) ^(注4) : 約±30cm目標 ・レーザー式: 約±10cm目標
水位の表示方法	・水位一覧表 ・河川横断水位図 (観測点だけ)	・水位一覧表 ・河川横断水位図 (観測点+画像式計測点) ・河川縦断水位図 ・3D水位表示
CCTV映像の利用	・河川流況監視 ・河川施設監視 (映像監視だけ)	・河川流況監視 ・河川施設監視 ・3Dデータと映像の重畳表示 (標高表示、距離計測、高さ計測)
住民への情報提供	水位観測所の水位	地先単位の水位と危険度

- (注3) レーザ光による水位計測。
- (注4) 水位標を用いず、橋脚・護岸堤防を背景とする画像式水位計測。

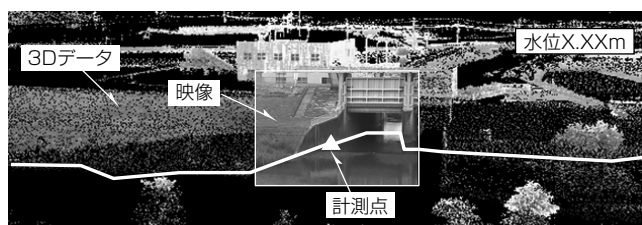


図1. 映像3Dデータ重畳

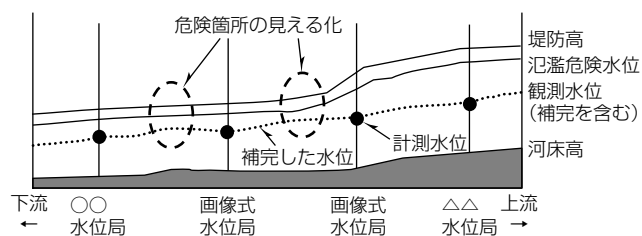


図2. 河川縦断水位のモデル図

検出した水際線に対応する3D点群データの標高から水位を算出して、CCTVカメラ視野範囲外を含む3D空間に連続する水際線を描写する(図1)。

その他、2点間の距離計測、高さ計測などの計測機能や、水位観測所のポイント表示、観測水位データ表示など、河川管理に必要な機能を提供する。

2.3.2 河川縦断水位監視機能

河川縦断水位監視機能は、河川両岸の上流から下流までの水位状況を高密度でリアルタイムに把握するために、河川水位、河床高、堤防高の関係を図形式で表示する機能である。上流から下流までの河川縦断水位を連続表示することによって、観測水位と堤防高の高低差の接近箇所を氾濫の危険箇所としてリアルタイムに把握することができる。

堤防高データは、あらかじめ3D点群データを基に両岸堤防位置の標高座標データを抽出しておくことによって、両岸の堤防高を縦断方向に連続的に把握することを可能にした。

水位情報は、従来の水位観測所のデータに加え、CCTVカメラ映像による画像式水位計測データを利用することによって、データを高密度化し、地先単位の危険箇所の把握(見える化)を可能にした(図2)。

3. 課題と対応方式

3.1 映像3Dデータ重畳

CCTVカメラを用いて河川の様子を撮影した映像は、色の情報は持つが、奥行きや高さといった空間的な情報を含んでいない。今回活用した地形や構造物の形状といった空間的な情報に関する3D点群データは、緯度・経度・標高などの三次元情報を持つ複数の点から構成されているため、CCTVカメラ映像と3D点群データとを重ね合わせることによって、色の情報と空間的な情報の両方を用いて河川の状況をより正確に把握することができる。

CCTVカメラ映像と3D点群データの重畳は、映像の各

画素に対して、3D点群データの点を正確に対応付ける必要があり、映像と3D点群データのそれぞれで形状に特徴のある点(例：構造物の鋭角など)を抽出し、それらの特徴を手がかりに、映像と3D点群データの間で対応する画素と点を見つけ、更にこの対応関係を基に、ほかの部分での対応関係を推定する。

これによって、指定した地点の高さ(標高)の計測やCCTVカメラ映像から画像処理によって抽出した水際線の水位を計測することを可能とした。

3.2 水位の3D空間への描写

3Dビューアを用いて3D空間に水際線、基準水位線(氾濫注意水位、氾濫危険水位など)を表示する際、3D点群データから同一標高の点群を着色表示する方法では、3D点群データがない箇所、又は3D点群データが少ない領域については水位線表示ができない。

そこで、堤防面の3D点群間を線で結んで堤防面に水位線を描画する方式を検討したが、特定の高さの点群を抽出した場合、堤防面とそれを覆う草木などの表面との判別が難しく、どの点群間に描画するのがよいか判断する技術の確立が課題であった。これについては、水位線を引く3D点群の範囲と方向を指定することによって対応した。また、点群データが少ない領域については、描画した線を滑らかにしつつ補正処理を加えることによって課題を解決した。

3.3 河川縦断水位図

河川縦断水位図の作成には、連続的な堤防高データ、水位データが必要となる。両岸の堤防高データは3D点群データを利用することによって、高精度に把握することが可能であるが、河川堤防は蛇行しているため、3D点群データから連続的に堤防位置を抽出する技術の確立が課題であった。これについては、河口からの距離を示す河川距離標間を結んだ方向に沿って、最高標高点を滑らかにしつつ処理を設けることによって対応した。

また、連続的な水位データは、従来の水位計による水位観測に加え、CCTVカメラ映像を用いた画像式水位計測による水位計測地点数の増加によって把握することができる。

将来的には、水位観測地点間の水位を推定する処理を設けることによって、更に高密度で連続した水位データの把握ができる。

4. 現在の取組み

高度河川管理システムは3D河川管理サーバ、河川氾濫予測・避難情報提供サーバから構成される。図3に高度河川管理システムのシステム構成を示す。

4.1 映像3Dデータ重畳

3D空間にCCTVカメラ映像を表示する機能に関して、現在、映像オブジェクトと3D点群データを重畳するための位置合わせを、視点位置、注視点位置、画角情報から自

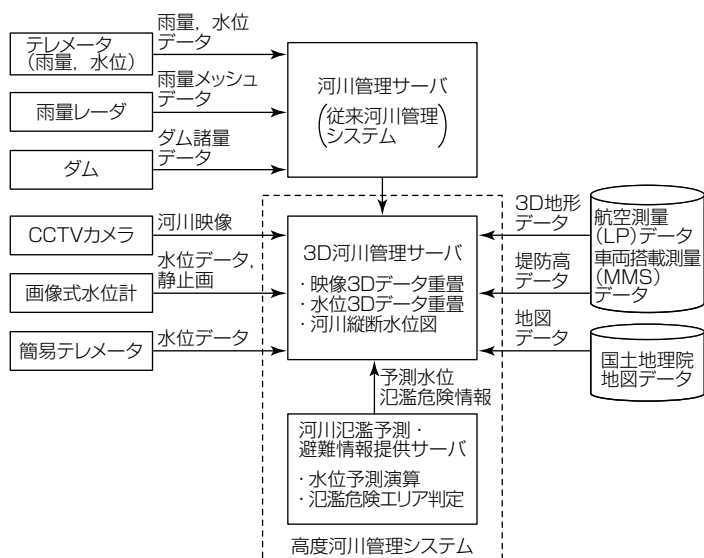


図3. 高度河川管理システムの構成

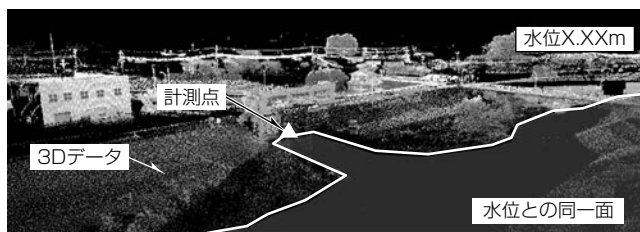


図4. 3Dデータへの水位重畳

動的に処理する追加機能を開発中である。

4.2 水位3Dデータ重畳

3D空間に水際線、基準水位線を表示するための3D点群データから同一標高の点群を着色表示する機能に関して、3D点群データがない箇所について水位線表示ができない課題に対応するため、現在3Dビューア上にベクトル線を生成する機能を開発中である。図4に3Dデータへの水位重畳機能の表示例を示す。

4.3 河川縦断水位図

河川縦断水位図に堤防高を連続的に表示する機能に関して、現在、3D点群データから河川兩岸の堤防高データを

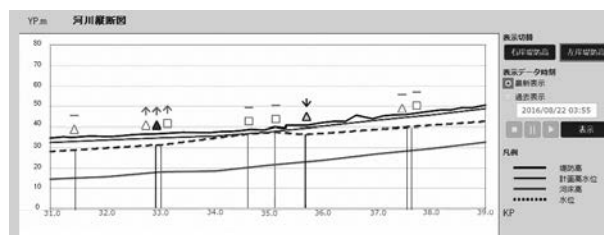


図5. 河川縦断水位図

自動抽出する追加機能を開発中である。図5に河川縦断水位図の表示例を示す。

5. むすび

画像式水位計測と水位情報の効果的な表示を行う高度河川管理システムについて述べた。従来の水位観測が離散的な点情報だけであったのに対し、画像式水位計測と計測地点間の補完処理によって、点情報から連続的な情報への拡張を目指している。これによって現在は水位観測点だけで作成している河川横断水位を、河川沿いの任意の地点で表示可能となる。また、CCTVカメラ設置地点以外の区域で3D空間上に現況水位をグラフィック表示することも可能である。

さらに、将来は、流域の予測雨量を基に河川流入による水位変化予測機能を拡張するとともに、越水時の浸水シミュレーションと連携することによって、住民の避難行動の早期化と安全・安心の向上への貢献を目指す。

参考文献

- (1) 国土交通省 水管理・国土保全局：水文観測業務規程細則 (2017)
- (2) 服部亮史, ほか：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, 91, No.6, 333~336 (2017)
- (3) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準調査編 (2014)