

中小・都市河川の水理現象把握のための微地形情報取得法の検討

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 ○ 竹田 直仁
長岡技術科学大学 環境社会基盤工学 正会員 細山田 得三

1. はじめに

近年、日本において施設整備レベルを超えるような豪雨の発生回数が増加傾向にあり、河川整備が不十分な中小河川において特に洪水被害が相次いでいる¹⁾。平成30年7月に発生した東日本豪雨では、岡山県内を流れる高梁川の支流である小田川で堤防が決壊し、倉敷市真備町を中心に大規模な浸水被害が発生した。北陸地域においては、令和元年東日本台風(台風19号)により信濃川の水位が上昇し、新潟県長岡市内を流れる信濃川水系太田川、浄土川において下流から堰上げ背水が上流に伝播するバックウォーター現象²⁾が発生し、浄土川の堤防を越水して周辺地域で浸水被害が生じた³⁾。国が管轄する大規模河川(一級河川)では、定期横断測量など比較的河川管理体制が整っているが、河川延長距離の大部分を占める二級河川ではその膨大な延長距離のために体制が不十分と言わざるを得ない。これら中小河川は、住宅近隣を横断し生活空間に近いところに位置しているため、水害の影響が社会に及び易い。中小河川の水理特性を把握することは今後の水害対策を考える上で必要不可欠である。新潟県内では中小河川の河川延長は4000km以上であり、氾濫解析に必要な水位、河川流量等の水文データや河川断面積等の測量データを全河川において計測・管理することは莫大な費用と時間を要する。

一方、近年においてはこのような問題に対する対策として日本全域を被覆するDEM(日本域表面流向マップ⁴⁾)などが整備され、かつ、点群データ等によるデジタルツインの技術が急速に導入されつつあり、河川水理への適用も進展している。しかしながら、これらのデータには水面下部の河床標高は欠測となっており、その使用には工夫が必要である。

本研究では、水理計算(断面データを用いた1次元計算および平面2次元計算)に必要な河川横断面分布形状の作成を目指して中小河川を対象に欠測

地点を含む数値標高モデル(DEM)から河川縦横断測量データを簡易的に作成する手法を検討した。具体的な対象は2019年の台風19号でバックウォーターが生じた長岡市太田川とした。

2. 河川縦横断測量データ作成手法の検討

本研究の対象河川の新潟県長岡市太田川での水理計算に使用するための河川縦横断測量データの取得および作成を行った。

2.1. 数値標高モデル(DEM)

数値標高モデル(DEM)⁵⁾は、地表面を格子状(メッシュ)に分割し、それぞれの格子の中心点に航空レーザー測量、写真測量、水準測量などの各種測量法で得た標高値を対応させた2次元空間のデータセットである。

DEMは使用目的に応じて解像度や整備範囲が大きく異なり、著しく解像度が低くて水理計算に適さない場合がある。例えば、日本全国を被覆している50mメッシュデータでは堤防や高水敷の形状を表現することができない。そのため、目的に合致したDEMを選択しGISソフトやツールを用いて変換する必要がある。本研究では、基盤地図情報ダウンロードサービス⁶⁾が公開している5mDEMを使用した。

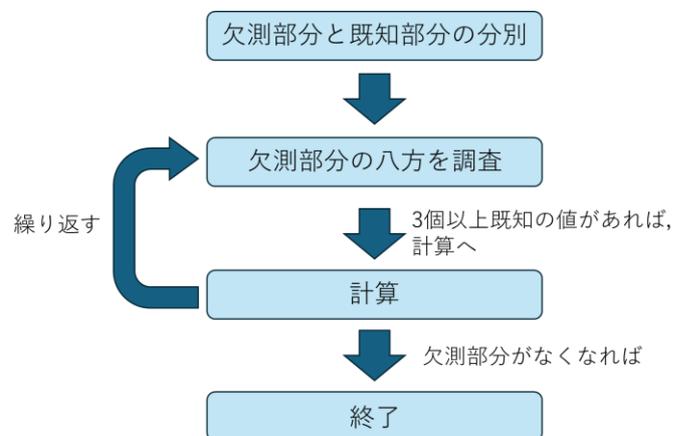


図-1 欠測値補完プロセス

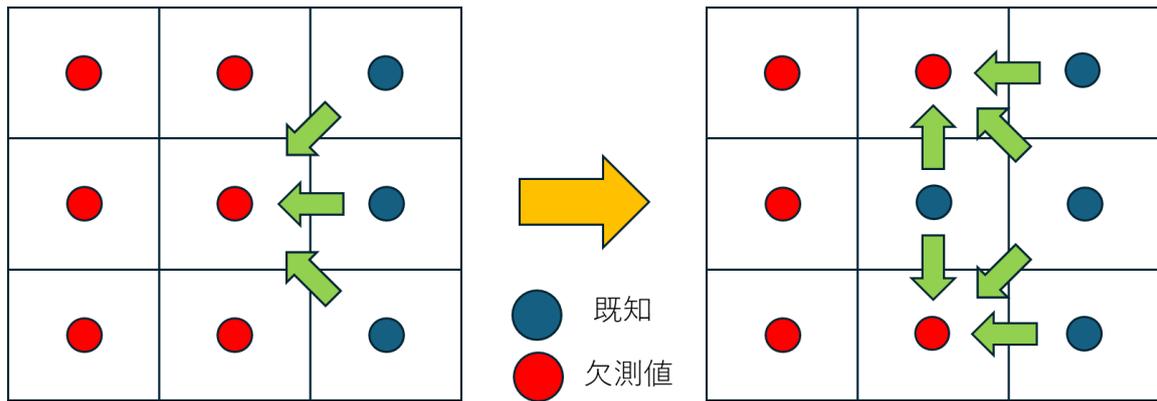


図-2 DEMの欠測部分がなくなる過程

2.2. 欠測部分の補完

本研究で用いたDEMの中には、常時水面下の河床標高を航空レーザー測量で計測できなかった部分がある為、別途測量で補完する必要がある。その手法としてグリーンレーザー測量やマルチビーム測深があるが、これらは多くの費用を要する為、新潟県内だけでも河川延長が4000kmもあり年間管理費用が限られている中小河川に用いることは極めて難しい。また仮に、これらで精度良く測量しても日々の河川流の作用や豪雨のたびに河床形状が変化するため高精度測量の価値が時々刻々と低下する。そのため、公開された標高値から横断測量データの欠測部分を補完するアルゴリズムを適用した。その内容を次節で述べる。

2.2.1 補完方法

補完方法⁷⁾のプロセスを図1に示す。まず、欠測部分と既知部分を区別し、欠測部分を認識させる。DEMの欠測値はGISソフトを使用することで-9999と表示でき、容易に区別することが可能である。次に、図2に示すように欠測部分の周囲(タテ、ヨコ、ナナメ)の値を確認し、3個以上値が存在すればそれらの値を基に計算を行う。3個以上とした理由は、用いる値が少ないとそれらの値に依存してしまう可能性があるためである。計算は周囲の値の距離で重みづけ平均であり、反復計算の回数に応じて、標高を低くするものとした。重みづけは、距離に依存しているためタテヨコの重みを大きくなり、ナナメの重みがやや小さくなる。これは、ナナメ方向の値がタテヨコ方向の値と比べて物理的に遠いからである。これを欠測値がなくなるまで反復的に行った。



図-3 宮内水位観測所

出典:Google Earth

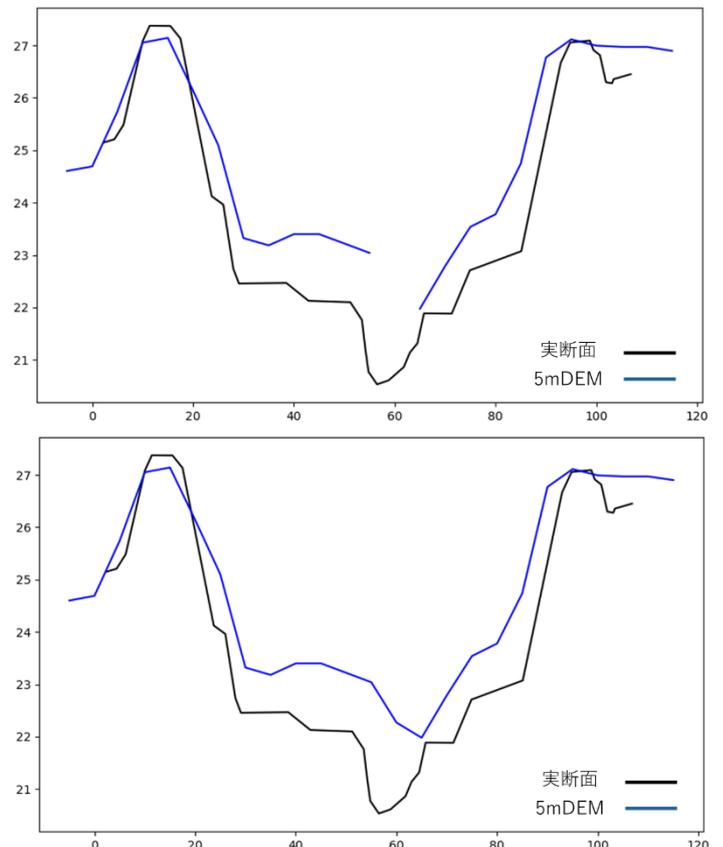


図-4 宮内観測所の横断図(補完前：上，補完後：下)

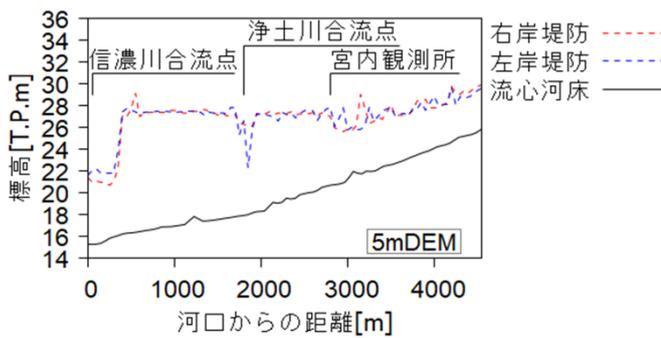


図-5 太田川の縦断図(5mDEM)

2.3. 河川縦横断測量データ作成

横断測量データの作成位置を決定する為、GISソフトを使用して河道中心線を作成し、プログラムにより等間隔に点を打ち、中心線と点を基に直角方向に横断座標を作成した。その後、DEMと横断座標を基に堤防・高水敷・低水路の位置や形状を把握できる横断測量データを作成した。

例として、5mDEMと実断面を基に作成した宮内観測所（太田川における新潟県の自動水位観測点、図3）の横断面で欠測部分の補完前と補完後の比較を図4に示す。この横断面図より都市の中小河川においても複断面的な形状となっていることがわかる。5mDEMでは氾濫解析や洪水追跡で重要な堤防・高水敷・低水路・河床の形状を表現できてはいるが、実断面と比較すると横断面積が小さいことが分かる。これでは、水理計算を行う際に過小評価されてしまう可能性があるため取り扱いには注意を要する。

また、1次元解析で重要となる河川縦断方向の堤防高の標高差と河床勾配を把握する為に縦断測量データを作成した。堤防高は横断測量データの左右岸堤防の最大標高値、河床勾配は横断測量データの流心の河床標高を用いた。例として5mDEMの縦断面を図5に示す。実線は河床標高であり、青及び赤の点線は左右岸の堤防天端標高である。これらの図によると、4000mの水平距離に対して河床標高は8m程度変化しており、平均河床勾配は1/500程度である。また、堤防天端高は下流の信濃川合流点および浄土川合流点において低下している。堤防高は下流から中央の水位観測点までほぼ水平であり、それよりも上流では上下に変動しながら河床と平行して上昇している。

3. 更新されたDEMを用いた平面2次元計算事例⁸⁾

DEMにおける欠測の補完の効果は、平面的な広がりを持っており、その効果については2次元計算における水理計算においても反映される。ここではその一部を示すにとどめるが、太田川を含んだ周辺地形における修正されたDEMを用いた計算結果を示す。格子間隔は5mであり、南北方向、東西方向それぞれ、3.07km、1.295kmの範囲とした。この領域に、10mm/hの降雨を2日間与え、表面を流出する流れによる内水の挙動を調べた。

図6には左から、標高欠測点の分布を黒で表示し、次いで、修正を適用して作成したDEMの区間分布であり、左から3つ目および4つ目はそれぞれ冠水位および線流量ベクトルである。太田川の沿川には農業用水露である福島江があり、両水面は交叉している。生成された地形は概ね良好と判断されるが、河川全域での妥当性についてはさらに実計測が必要と思われる。計算結果では領域内部の低地に水が滞留しており、河川・水路内部では河床標高に応じた流れが生成されている。

4. 考察

本研究により、欠測領域を補完する1つの方法を提案した。この方法は周囲の既知の領域から外挿するため、基本的には新しい情報を付加しているわけではなく、河床標高を推測しているに過ぎないが、簡便で自動化されている。欠測域が広範囲でない場合は処理が短時間であり、周囲の情報が含まれているため、実断面標高値から大きく外れることはないことが確認された。今後は、1次元の非定常の長波方程式（ダイナミックウェーブ）への適用を試みる。

なお、今後の展開としては、5mDEMよりさらに格子が小さい2mDEMでの補完や今回実施した補完法のように情報量による制約を超えた新しい手法であるAI技術の導入を検討している。具体的には、デジタル写真における障害物の除去と背景の描出の技法である、敵対的ネットワーク⁹⁾(GANs: Generative adversarial networks)を沖積平野地形形状の特徴抽出に適用する方法である。

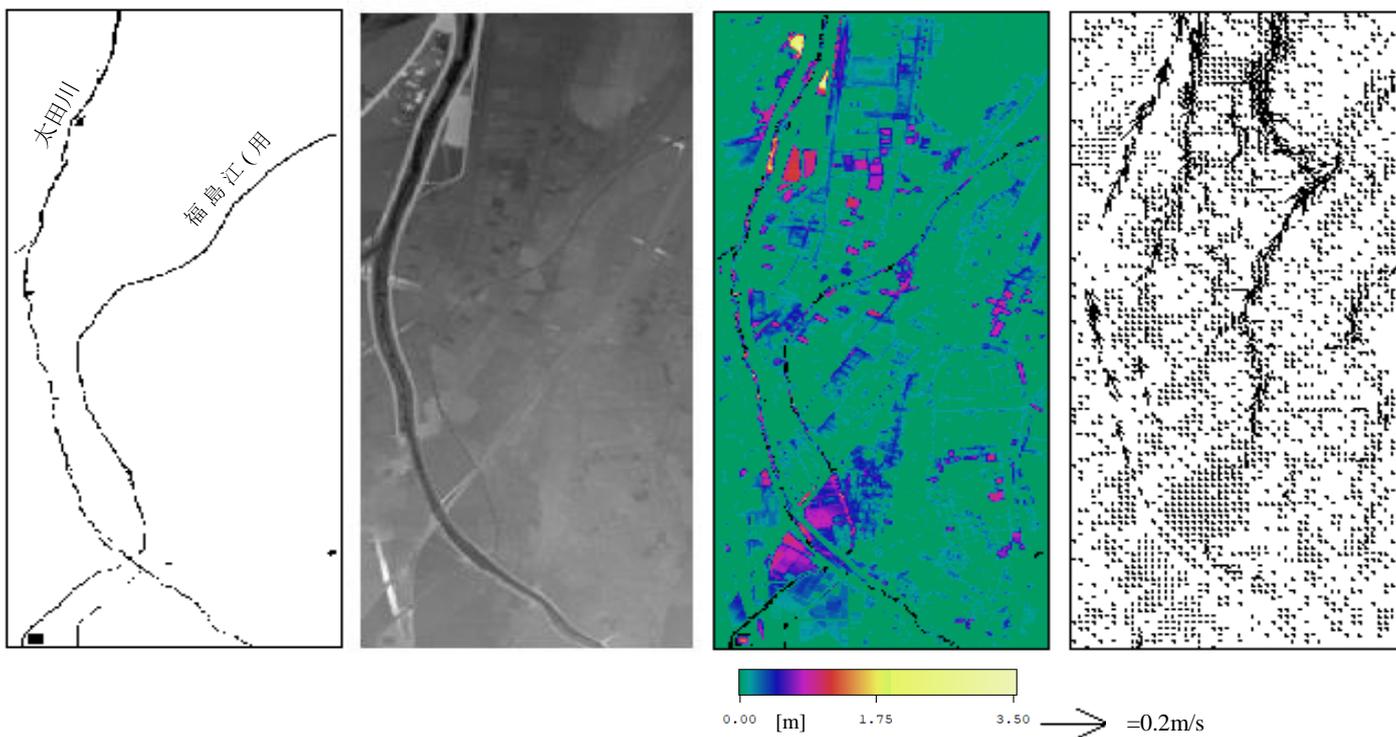


図-6 長岡市内太田川周に適用した結果 降雨2日目

左より，標高欠測点（黒），修正した地形標高，修正標高を利用した内水氾濫結果（水面，流速ベクトル）

参考文献

- 1) 気象庁 大雨や猛暑日(極端現象)などのこれまでの変化
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- 2) 日経 xTECH：台風 19 号，水難の教訓
<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ncr/18/00074/110100008/>
- 3) 令和元年台風19号 被害等の概要
<https://www.bousai.city.nagaoka.niigata.jp/plan-pamphlet/r01-19.pdf>
- 4) 日本域表面流向マップ / Japan Flow Direction Map (J-FlwDir)
<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/JapanDir/index.html>
- 5) 国土地理院 DEM(数値標高モデル)
<https://www.gsi.go.jp/top.html>
- 6) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 7) メッシュ単位の交流圏の計
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0574pdf/ks057408.pdf>
- 8) 小規模河川の氾濫推定図作成の手引き
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/syokibo_tebiki.pdf
- 9) Generative Adversarial Networksの基礎と応用
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasj/74/4/74_208/_pdf