

# 中小河川の水理現象把握のための地形情報の取得手法に関する研究

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. 序論

近年、日本において豪雨の発生回数が増加傾向にあり、大河川だけでなく中小河川においても洪水被害が相次いでいる。例として、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。国が管轄する大規模河川(一級河川系)では河川管理が比較的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。大河川だけでなく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。しかし、新潟県内だけでも中小河川の河川延長は4000km以上にも及び、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)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。

本研究では、中小河川を対象に数値標高モデル(DEM)と別途測量で得た河床標高データを活用して数値解析のための河川縦横断測量データを安価で簡易的に作成し、その問題点や課題を明確にすると共に数値解析により中小河川の水理特性を把握することを目的とする。さらに、2019年の10月に生じた台風13号による信濃川水系の太田川(長岡市)を対象とし、地形情報を取得し河川水理計算の総合的プラットフォームであるIRICによる



図-1 宮内水位観測所

Google Earth <https://www.google.co.jp/earth/>

水理水文計算も実施した。

## 2. 河川縦横断測量データ作成手法の検討

本研究対象河川の新潟県長岡市太田川で1次元解析を行う為、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)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や写真測量などの各種測量法で得た標高データを入れた3次元座標の地形標高データである。

DEMは種類によって解像度や整備範囲が大きく異なるため、著しく解像度が低くて縦横断測量データの作成に適していない場合がある。そのため、解析方法・目的に合致したDEMを選択し補助的に自作する必要がある。

河川縦横断測量データの作成には、国土地理院からDVD版で公開している2mDEMと基盤地図情報ダウンロードサービス<sup>3)</sup>から公開している5mDEM、10mDEM、日本域表面流向マップが公開しているDEM(解像度1秒およそ30m程度)を使用した(以降J-FlwDirと略記)。

### 2.2. 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、河道

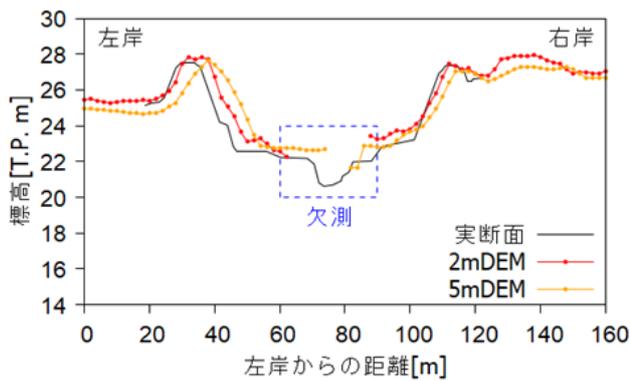


図-2 宮内観測所の横断面図（補完前）

の中心座標を任意で指定し、内挿により等間隔距離になるように調整を行い、中心座標を基に直角方向に横断座標を作成した。その後、DEMと横断座標を基に最近隣法と内挿法を用いて堤防・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。

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は用いることは極めて難しい。仮に、これらで精度良く測量しても豪雨のたびに河床形状が変化するため精度よく測量しても長期間有効ではない。そのため、安価で簡易的に測量できるレーザー距離計（名称：TruPulse）により別途測量を行い、横断測量データ

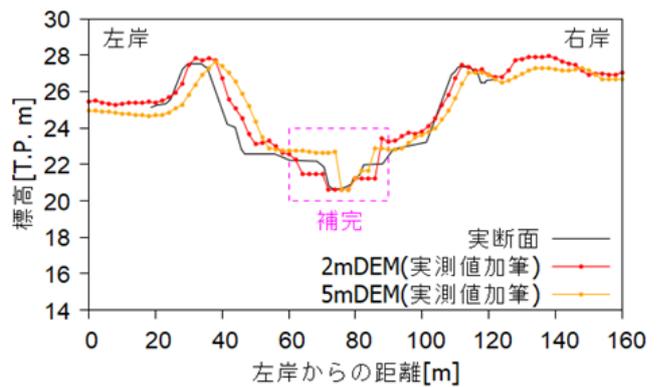


図-3 宮内観測所の横断面図（補完後）

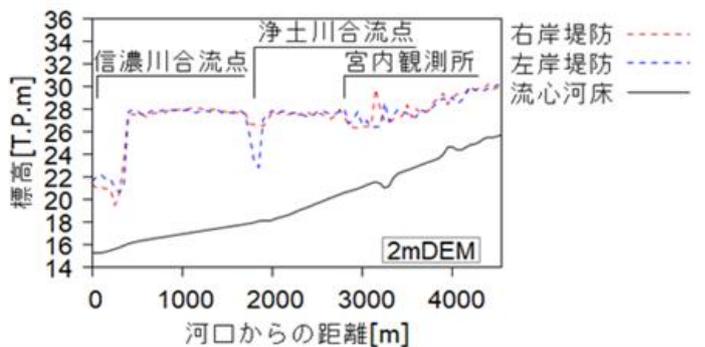


図-4 2mDEMでの太田川の縦断面図

の欠測部分を補完した。例として、2mDEM、5mDEM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1）の横断面で欠測部分の補完前を図2に補完後を図3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。

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

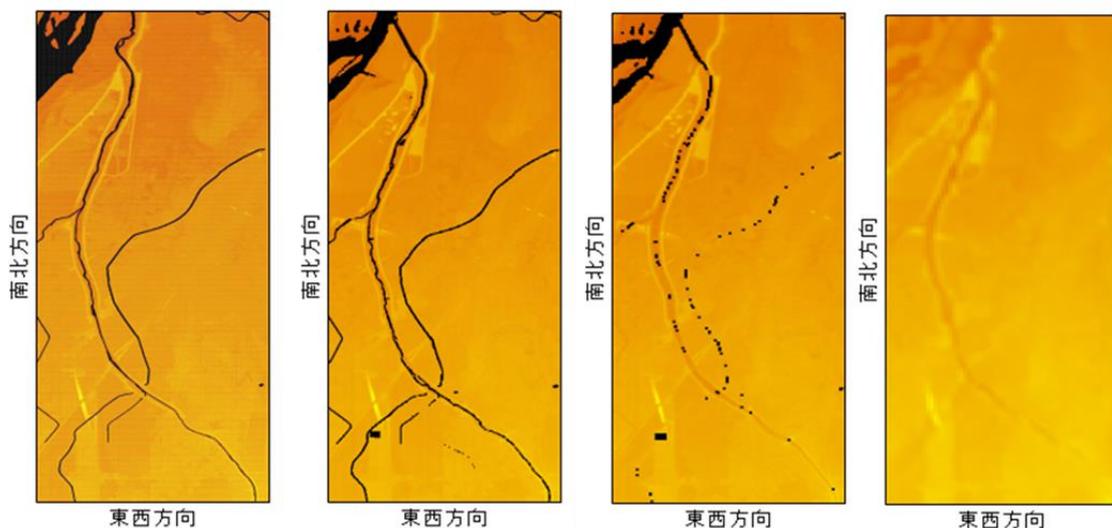


図-5 太田川下流流域の地形標高（DEM）の分布  
左から：解像度2m, 5m, 10m, J-FlwDir

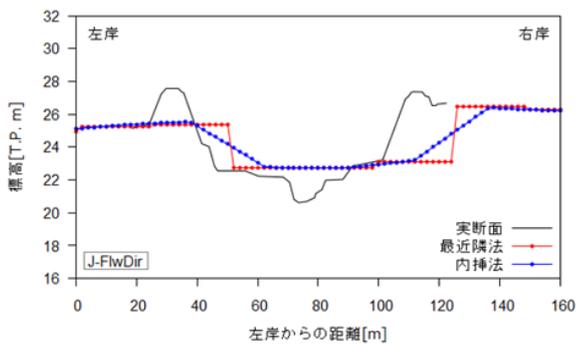


図-6 J-FlwDirを用いた宮内観測所の横断図

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2mDEMの縦断面を図4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。また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。

### 2.3. 河川縦横断測量データ作成結果

本研究対象河川である太田川を含む下流流域全体の地盤標高データ (DEM) について4種類の分布を図5に示し解像度の違いを比較している。2mDEM、5mDEMでは氾濫解析や洪水追跡で重要な堤防・高水敷・低水路・河床標高の位置や形状を表現でき、計算に利用できる。一方、図6に示した10mDEMおよびJ-FlwDirでは、これら地物の表現が曖昧であり、氾濫解析に用いる縦横断測量データには適していない。特にJ-FlwDirは、堤防などの詳細な構造物を表示することは不十分であるため、洪水追跡計算の際は注意を要する。

## 3. 台風19号通過時の再現計算

令和元年10月台風19号通過時、太田川で発生したバックウォーターについて河川水理系で広く使用されている数値シミュレーションソフトiRIC-Nays1D<sup>4)</sup>を用いて再現計算を行い、その計算結果と観測水位を比較した。太田川が流下する信濃川が信濃川上流(長野県)の大水害による急激な水位上昇の影響を受ける現象を再現した。なお、この



図-7 計算対象区間

時に信濃川の流量は既往最大であり、長野市において堤防の決壊が生じ、最下流の大河津分水路においては水面が鉄道橋に達するという記録的な洪水災害となっている。

### 3.1. 計算条件

計算対象区間は図7に示す。太田川の信濃川合流点から上流へ約4.5kmまでを計算対象領域とした。1次元の計算格子は横断方向に50分割、縦断方向は50m間隔で91分割とした。上流端流量は、台風19号通過時の2019年10月12日13時から14日12時までの太田川流域の雨量を基にiRIC-SRMによる流出解析で推定した流量を与えた。下流端水位は、国土交通省信濃川河川事務所の定期観測水位を与えた。計算時間は、2019年10月12日13時から14日12時までの48時間とした。マンニングの粗度係数は計算領域全体で $0.03s/m^{1/3}$ とした。なお、今回の計算では河川の合流や分岐等の実状を考慮していない。太田川の場合は浄土川の合流を無視しており、植生や粗度係数の分布などの流水抵抗を考慮していないため実際とはやや異なる結果が予想される。

### 3.2. 計算結果

令和元年台風19号通過時における太田川の再現計算の結果について考察する。図8に各横断面の位置(91断面中、10断面間隔)による水位と流量の時間変化、図9に河川水位・堤防高・河床勾配の縦断分布及び図7で示した各横断面番号に対応した位置を示す。図7について、12日20時から13日12時30分の期間で1断面から約60断面(下流側)に注目すると、水位が上昇している間に流量は上流側よりも減少しており、13日12時30分以降は水位が低下すると流量が一時的に増加する傾向にある。以上のことから、12日20時から13日12時30分までの約16時間30分間、太田川でバックウォーターが発生

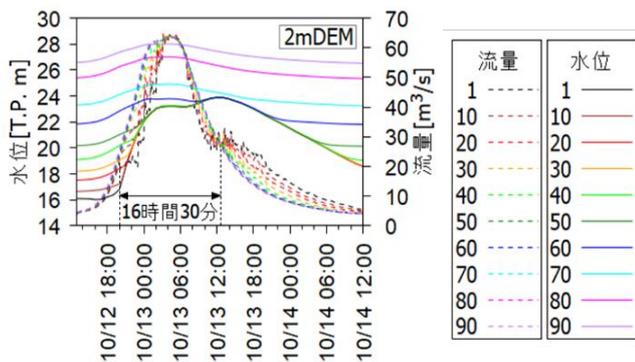


図-8 各横断面による水位と流量の変化

して下流側の河川水が流れにくい状態であった。また、13日12時30分以降は水位が低下したことによって堰上げが減少し、下流側で滞っていた河川水が通常通りに流れ始めた。図8について、13日12時頃に新潟県宮内観測所の水位がピークに至った際、下流端から宮内観測所までの区間で堤防高と水位の標高差は約4mの余裕があり、堤防から越水する計算結果にはならなかった。台風19号において太田川は氾濫しなかった事実と合致している。

表1に示す計算結果からバックウォーターにより信濃川の水位変動が太田川1断面（信濃川合流点）から宮内観測所に伝わるのは約10分後になる。しかし、今回の再現計算では、前述したように浄土川合流点の流れの計算を考慮しておらず、実際は浄土川にも水位変動が伝わる為、太田川の水面が上昇しやすい条件となっており、宮内観測所まで水位上昇が伝わる時間は計算結果よりも遅くなると考えられる。

#### 4. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

- ①縦横断測量データの作成は解像度の高い2mDEMが最も適しているが、整備範囲・更新頻度が限定的なので、データが整備されていない場合や現在の河道形状と異なる箇所は5mDEMで作成する必要がある。一方、10mDEM・J-FlwDirは縦横断測量データの作成は不向きである。
- ③横断測量データをiRICに適合させて再現計算をした結果、台風19号通過時に太田川で発生したバックウォーターの特徴を把握することができた。よって、独自の手法で作成した縦横断測量データは実河川の数値解析に有用である。

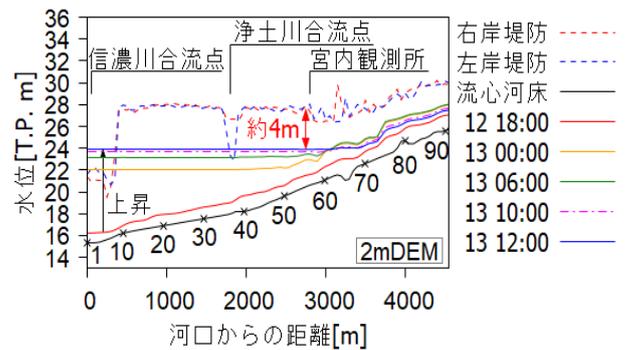


図-9 台風19号が最接近した時の太田川の水位及び縦断面

表-1 ピーク水位と時刻

	ピーク水位[T.P. m]	時刻
信濃川河川事務所 (観測値)	23.87	10月13日 12:00
太田川1断面 (2mDEM)	23.87	10月13日 12:00
太田川宮内観測所56断面 (2mDEM)	23.90	10月13日 12:10

④台風19号通過時の太田川は、12日20時から13日12時30分までの約16時間30分にバックウォーターが発生して下流側の河川水が流れにくい状態になっていた。また、信濃川合流点から宮内観測所までの約2.7kmの区間では信濃川の水位変動が宮内観測所に伝わるのは約10分後である。

今回の計算では信濃川に合流する支川の太田川の洪水時の水理現象について十分な精度で再現することができたが、使用したDEMは今回用意したものの中で最も解像度が高いものであり、DVDによって提供されたものだけでは不十分で現地測量による補完作業を行う必要があった。このように人手による補完を要しないDEMの作成法の開発やデータセットの作成を望みたい。

#### 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](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html)
- 2) 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>
- 3) 国土地理院 DEM(数値標高モデル)  
<https://www.gsi.go.jp/top.html>
- 4) iRIC 河川の流れ・河床変動解析ソフトウェア  
<https://i-ric.org/ja/>