

中小都市河川の堰上げ背水現象の水利特性について

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 非会員○ 杉本匠
 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 細山田得三

1. はじめに

近年、日本では豪雨の発生回数は増加傾向にあり(図-1)、毎年のように発生する洪水によって河川の被害が続いている。令和元年10月台風19号による信濃川の増水で太田川と太田川に続く浄土川の流下が困難となり、浄土川が越水した。頻発する洪水により大河川の氾濫だけでなく本川の水位上昇に伴う中小都市河川の堰上げ背水による被害が顕著である。こうした支川の堰上げ背水による氾濫を防止するため中小河川の水利特性を把握することは今後の水害対策を考える上で重要となる。しかし、太田川のような中小河川は大河川の信濃川と比較して氾濫しても直ちに人命に危険が及ぶ可能性が低く、全ての支川を管理することは現実的ではない。また、水位計や流速計などの計測器の設置が少なく、一級河川に例年実施されている定期縦横断測量等の管理が行われていないため、数値解析に必要なデータが存在しないことが多い。本研究では、中小河川である太田川の背水計算を行うため、QGIS(地理情報システム)から太田川周辺の地形データの入手・疑似河床高を作成し、背水現象を解析できる1次元解析により太田川の水利特性を把握することを目的とする。

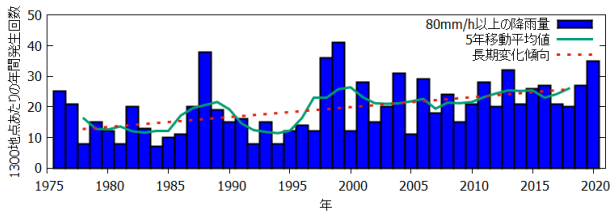


図-1 1時間降雨量80mm以上の年間発生回数

2. 地形と流量データの作成

太田川を対象とした計算をするには地形と流量データが不足しているためこれらを作成する必要がある。地形データの作成はDEM(数値標高モデル)をQGIS上に読み込み、xyz座標をCSVで出力するdal2xyzという機能を用いた。本研究で用いたDEMは水部が欠測し、河床高が不明である。そこで周囲の標高値(低水路)から1m低い位置を河床高としたCase1と諸所の逆勾配を考慮するため近似したCase2を計算に用いた。この河床高を図-2に示す。

図-3に2019年10月の台風19号時の信濃川と千曲川の雨量を示す。千曲川流域の集中的な豪雨により信濃川が増水したが、長岡市は12日午前5時に雨が降り始め、午後8時から10時に止んだ後再び降り出した。図-4に信濃川と太田川の水位を示す。12日午後8時から信濃川の水位が上昇し、13日午前6時に一度水が引き始めたが午前8時に再び水位が上昇した。午前9時には浄土川の水位も再び上昇し、午前9時半には越水した。水位がほぼ同値なので太田川は背水現象の影響を受けていることがわかる。

以上から信濃川の降水量が少なく、太田川の流量は比較的定常と考えられるので平常時を推定した10m³/s、15m³/sを用いて計算を行った。

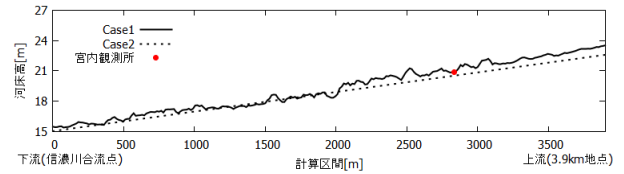


図-2 計算に用いた河床高

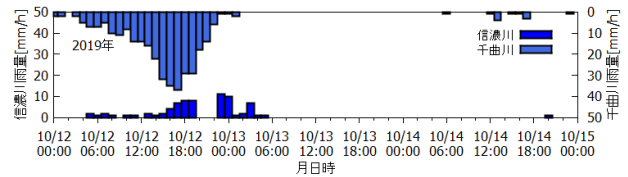


図-3 令和元年降雨量

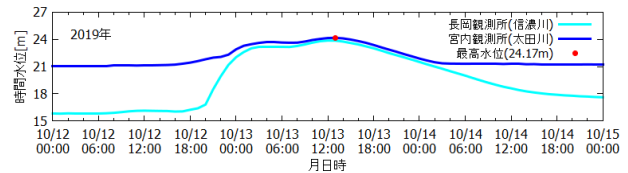


図-4 背水現象による水位上昇(実測データ)

3. 計算方法

(1) 計算モデルの概要

計算モデルに用いた基礎方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial m}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v^2}{2g} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial(zb+h)}{\partial x} + \frac{v}{gA} \frac{\partial A}{\partial t} \left(\frac{\beta}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) = -\frac{n^2 v |v|}{R^3} \quad (2)$$

ここで、式(1)、(2)はそれぞれ連続式とx方向の運動方程式である。また、 t : 時間、 x : 1次元の座標、 zb : 河床高、 h : 水深、 m : 線流量、 g : 重力加速度、 α : 係数、 β : 係数、 v : 断面平均流速、 H : 水位、 n : マニングの粗度係数、 R : 径深である。さらに、線流量と Manning 式を用いた等流水深の計算を式(3)、(4)のように定義する。基礎方程式を集中格子に基づいて離散化したプログラムで計算を行った。なお、信濃川の水位上昇による背水計算は太田川下流端に堰上げを設けて表現する。その縦断面を図-5に示す。

$$m = \int_{zb}^{zb+h} u(z) dz = hv \quad (3)$$

$$Q = Bh \times \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{Qn}{B\sqrt{I}} = R^{\frac{2}{3}}h = \left(\frac{Bh}{2h+B}\right)^{\frac{2}{3}}h = \beta^{\frac{1}{3}}$$

$$h = \left(\frac{\beta(2h+B)^2}{B^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

計算格子における差分スキームは跳水現象などの不連続点を含む流れを簡単に計算できるMacCormack法を用いた。MacCormack法は空間軸および時間軸方向を2次精度の差分スキームで解く方法で格子点上の値だけでスキームを表現できる利点があり、式(5)で予測計算したものを式(6)で修正することで計算誤差を減らすことができる。

予測子段階

$$h_{yi}^{t+1} = h_{yi}^t - \frac{dt}{dx}(h_{xi}^t - h_{xi-1}^t) \quad (5)$$

修正子段階

$$h_{yi}^t = \frac{1}{2}\left\{h_{yi}^t + h_{yi}^{t+1} - \frac{dt}{dx}(h_{xi+1}^t - h_{xi}^t)\right\} \quad (6)$$

ここで、式(5)、(6)においてxはx軸方向の格子点番号でyは時間軸方向の格子点番号である。Δxはx軸方向の距離刻み幅、Δtは時間刻み幅、 h_{yi}^{t+1} と h_{xi+1}^t はそれぞれ予測子段階の時間軸方向とx軸方向のhの値である。

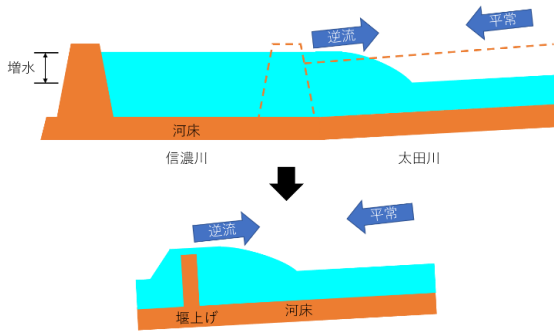


図-5 堰上げ背水の概要図

(2) 計算区間と条件

計算区間は信濃川合流点から上流～3.9km地点とする。図-6は計算区間と浄土川越水による浸水範囲をGoogle earth proに示したものである。計算に用いる横断は矩形とし、河川縦断方向に260分割(15m間隔)、Δtは0.01、nは0.03、Jamesonの人工粘性係数は0.01に設定した。計算における下流端流出の条件は0とする。

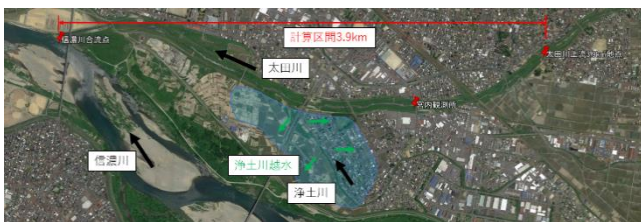


図-6 計算区間

4. 計算結果と考察

計算モデルで太田川の背水計算を行った。図-2のデータに流量を与え、堰上げ背水の開始から宮内観測所にお

ける急激な水位上昇終了までの時間と水位、実測値を表-1にまとめ、図-7に宮内観測所の水位の実測値と計算値の挙動を示す。表-1と図-7より、太田川の河床高と流量の検討を行う。図-7の実測値は1時間刻みにあるが、計算値は1秒刻みで出力しているため実測値は最高水位のみ示す。2019年10月13日の背水時に信濃川の水位が上昇してから1時間程で太田川の宮内観測所にその水位変化が伝達している。表-1より、最も精度の高い組合せは河床高がCase1と流量10m³/sである。流量毎に着目すると10m³/sでは実際の伝達時間よりも遅く、15m³/sでは早い特徴がある。

また、Case1とCase2の15m³/sを実測値と比較すると時間は10分程早く、水位はCase2の方が精度が高い。10m³/sの時間は4～6分遅く、水位はCase1の方が精度が高い。このことからCase1と10m³/sの組合せが最も再現性が良いと考えられる。

以上から堰上げ背水による水位上昇を1次元解析で再現することができた。実測値との誤差の原因は、植生や粗度係数の分布など詳細には計算に考慮しきれていない流水抵抗、太田川の既往流量データが無いため推定値を計算に用いたことが考えられる。再現計算の妥当性を良好とするためにより良好な粗度係数や流量、地形、初期水深の設定を検討する必要がある。

表-1 宮内観測所の実測値・計算値

	流量[m³/s]	時間[min]	水位[m]
Case1	10	64.0	24.31
	15	50.4	24.83
Case2	10	66.0	23.39
	15	50.5	24.10
実測値	-	60.0	24.17

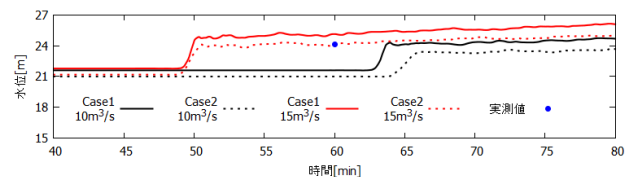


図-7 宮内観測所の水位の挙動(計算結果)

参考文献

- 1) 宗田 成彦, 清水 康行, 渡辺 康玄, MacCormack法を用いた常・射流計算, 開発土木研究所月報, 1990
- 2) 中根 嶺, 上米良 秀行, 松田 曜子, コミュニティデータとパブリックデータを活用した太田川の出水特性の調査, 土木学会関東支部新潟会, 2020
- 3) 気象庁: 大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, (2021.10.1閲覧)