

レーザー測量を用いた簡易流量推定法の開発と検証

長岡技術科学大学大学院 非会員 ○佐藤 翔太郎
長岡技術科学大学 正会員 陸 旻皎
正会員 高橋 一義
正会員 坂田 健太
正会員 楊 宏選

1. 研究の背景と目的

洪水対策として流況解析を行うためには、水位・流量等の水文データや河道縦横断面等の地形データが必要となるが、予算的、時間的制約により水文・地形データの整備が遅れている河川が存在する。先行研究では、簡易に流速推定が可能であるマンニング式とフリーソフトである河川シミュレーションソフト iRIC Nays2D Flood¹⁾ を利用し、水位・流量の関係式を構築し、マンニング式により簡易流量推定が可能手法²⁾が提案されている。本研究では、この簡易流量推定法と、レーザー測量による LP データを用いて、十分な河道データがない地点においても空間情報を補うことで流量推定が可能か検証することを目的とする。

2. 手法

2.1. レーザー測量

本研究では、新潟県三条市の五十嵐川下流にある一新橋(図1)にて「Laser Mirror Scanner LMS-Z210, 以下 LMS」を用いてレーザー測量を行い、河道情報の抽出を試みた。レーザースキャナーでは、レーザー光が水面で鏡面反射するため水面下の形状を把握することが困難である³⁾。よって本研究で使用する LP データも河床の標高は取得されていないため、水面下の形状については過去の横断測量データを用いて補間を行った。

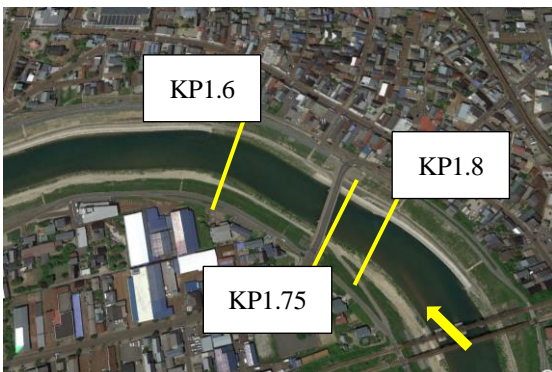


図1 五十嵐川一新橋位置図

2.2. モデル

川幅と水位、流量の関係式を構築するためにマンニング式を用いる際、粗度係数、径深、水面勾配が必要となる。粗度係数は河道状況によって決まり、径深は潤辺と面積から計算されるため、水位を定めれば地形データから求めることが可能である。しかし、水面勾配は常時変化しているため、シミュレーションにより値を得る必要がある。そこで流量推定のために iRIC にレーザー測量により作成した KP1.6 と KP1.755, KP1.8 の地形データを入力し、線形補間することでモデルを作成した。

2.3. 簡易流量推定法

iRIC で作成したモデルを用いて2つの方法で水面勾配並びに流量を求めて比較を行い、簡易流量推定法の精度を検証した。

①: iRIC でシミュレーションを行うことで、格子毎の水位と流速のデータを得ることができる(図2)。それを利用し以下の式から得た流量を真値とする。

$$Q = A_1 v_1 + A_2 v_2 + A_3 v_3 \cdots + A_n v_n \\ = \sum A_n v_n \quad (1)$$

ここで Q を流量 (m^3/s)、 A_n を n 番目における断面積 (m^2)、 v_n を n 番目における流速 (m/s) とする。

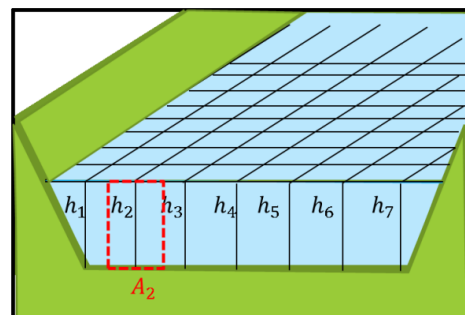


図2 計算格子模式図

② : iRIC を用いて定常流を入力条件に設定して計算を行い、水位と面積、潤辺、径深、水面勾配の近似式を作成した。ここではまず 250 m³/s から 250 m³/s ずつ流量を加算し、2500 m³/s までの定常流を計算条件に入力して2時間の計算を行い、このときの各定常流における水位と面積 A 、潤辺 S 、径深 R 、水面勾配 I の関係から近似式を作成した。 I は、各定常流を流した際の A 、 S 、 R の値を用いてマンニング式から算出した。作成した近似式とマンニング式を用いた簡易流量推定法により流量を推定した。

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} I^{1/2} \quad (2)$$

3. 結果

定常流から作成した水位と面積、潤辺、径深、水面勾配の関係図を図3から図6に示す。平成23年の新潟福島豪雨による流量を用いてシミュレーションを行って得た計算流量①と、その時の水位を用いて簡易流量推定法により推定した計算流量②を図7に示す。

水位との関係式を用いて算出した計算流量②の精度検証のため、計算流量①との相対誤差、平均相対誤差、RMSEによる誤差検証を行った結果を表1に示す。 $Q_{i,1}$ は計算流量①、 Q_i は計算流量②である。

○ 相対誤差

あるタイミングにおける真値に対する誤差の割合を示すため、以下の式を用いて増水前の36000 s、ピーク時の43200 s、減水後の82800 sを対象として計算を行った。

$$\text{相対誤差} = \frac{|Q_i - Q_{i,1}|}{Q_{i,1}} \quad (3)$$

○ 平均相対誤差

ある特定の地点ではなく全体を見た際の誤差を調べるため、以下の式を用いて計算を行った。

$$\text{平均相対誤差} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Q_i - Q_{i,1}|}{Q_{i,1}} \quad (4)$$

○ RMSE

数値予測問題における精度評価指標であり、モデルの予測値が真値からどの程度乖離しているかを表す。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{i,1})^2} \quad (5)$$

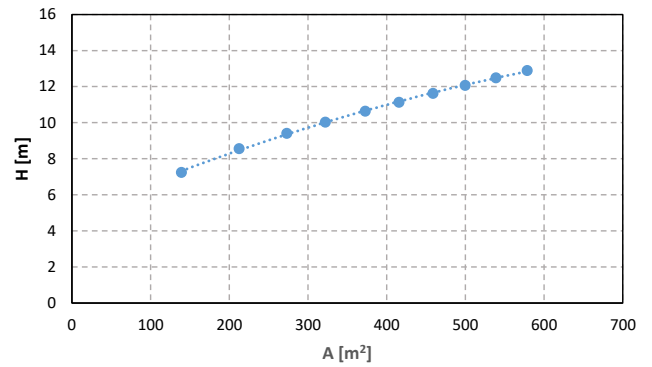


図3 水位 - 面積関係図 (五十嵐川)

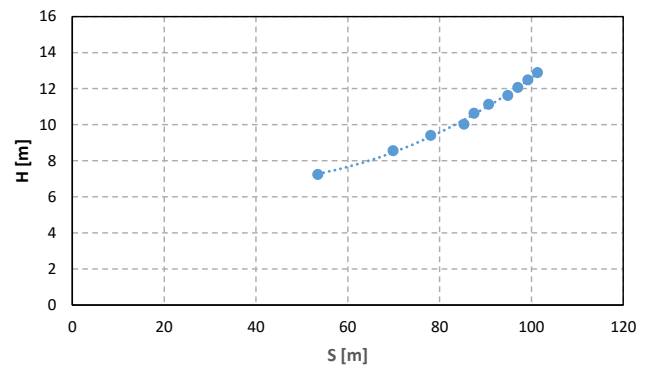


図4 水位 - 潤辺関係図 (五十嵐川)

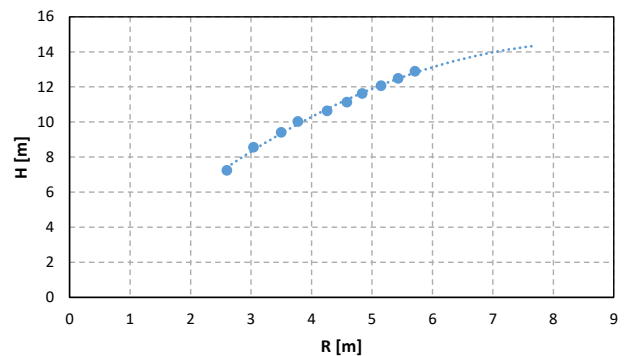


図5 水位 - 径深関係図 (五十嵐川)

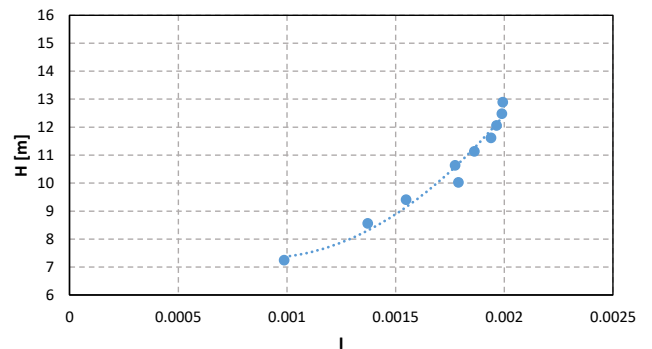


図6 水位 - 水面勾配関係図 (五十嵐川)

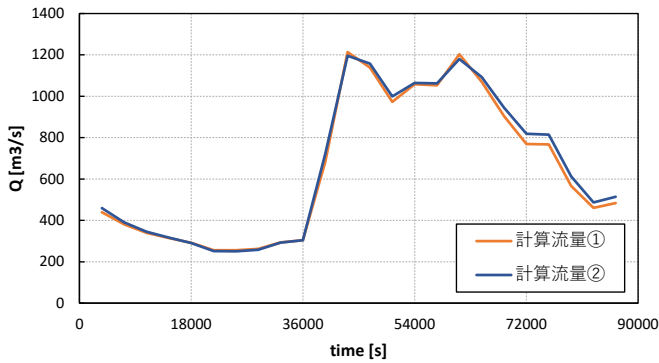


図7 計算流量の比較 (五十嵐川)

表1 精度検証結果 (五十嵐川)

		計算流量②
相対誤差 (%)	36000s	0.004
	43200s	1.505
	82800s	5.571
平均相対誤差 (%)	0-36000s	1.557
	36000-86400s	3.636
	0-86400s	2.921
RMSE	0-36000s	5.357
	36000-86400s	19.232
	0-86400s	19.169

簡易流量推定法により算出した結果の真値に対する誤差を検証した結果、相対誤差は増水前とピーク時、減水後でおおよそ5%を下回る結果となった。平均相対誤差は計算開始から増水前までが1.6%、増水から減水後までが3.6%、全体で2.9%であった。RMSEは減水時に20 m³/s程流量を過大評価しているが、全体的に再現性のある結果となった。

4. 大規模河川への適用

簡易流量推定法の大規模河川への適用可能性の検証として、信濃川を対象にモデルを作成した。

4.1. 地形データ

新潟県小千谷市旭橋にてLMSを用いた地上レーザ測量を行い河道情報の抽出を図ったが、LMSの反射率が200mであるのに対し川幅が400m程あることや、橋上から斜めの放射では植生の影響により地形データの取得が困難であることから、今回は平成23の航空レーザ測量によるDEMデータを用いてモデルを作成した。

4.2. モデル

iRICで航空レーザ測量によって得られたLPデータと横断測量データからKP34.5~KP35のモデルを作成し(図9)、定常流を計算条件に設定することで水位・流量の関係式を構築した。

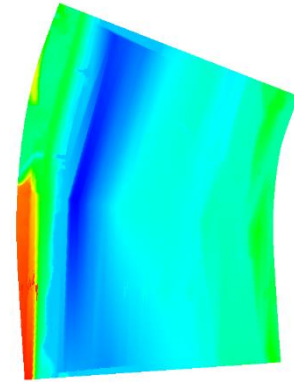


図8 信濃川地形データ

4.3. 結果と考察

モデルの横断図を図9、水位との関係図を図10から図13に示す。横断図から、作成した流域は複断面であり水位44.5m付近で低水路から高水敷に切り替わっている。また、それぞれの水位との関係図にも低水路と高水敷で傾向が変化していることから、水位によって低水路と高水敷の2パターンの近似式を使用して流量を算出した。水面勾配*I*は、iRIC上のモデルの中で30m離れた2地点間の水位差から算出した。

令和元年台風19号による出水を用いて実測水位から流量を算出し(図14)、実測流量と計算流量の比較を行った(表2)。流量が小さい洪水前の期間において過大評価しており、平均相対誤差は126%と非常に誤差が大きくなっているが、ピーク時の相対誤差は1.2%、増水から減水後までの期間の平均相対誤差は5.1%と再現性のある結果と言える。

今回検証した簡易流量推定法について、中小河川である五十嵐川では再現性のある結果が得られた。信濃川においても、概ね再現性のある結果であったため適用可能と考えられるが、低水位時に流量を過大評価している点や、複断面における計算方法について課題が残っている。今後の展望として、今回は単断面河道と仮定して径深を算出したが、準二次元断面と仮定して径深の算出や場所ごとに粗度を変えて計算を行う予定である。

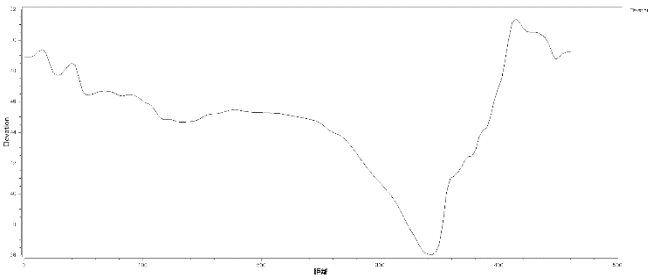


図9 信濃川横断面

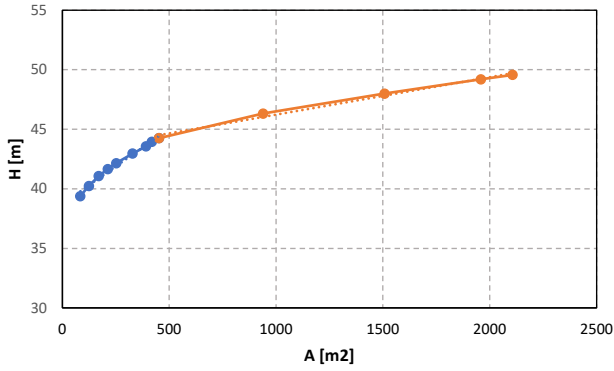


図10 水位 - 面積関係図 (信濃川)

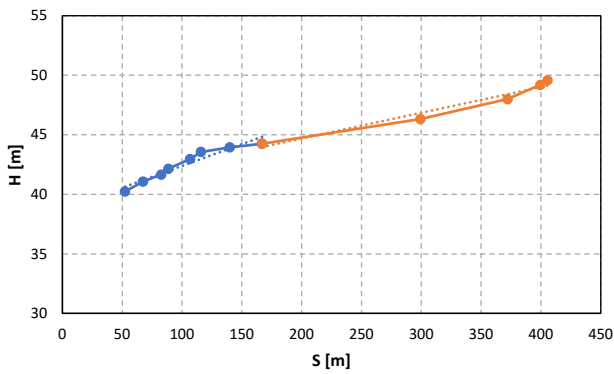


図11 水位 - 潤辺関係図 (信濃川)

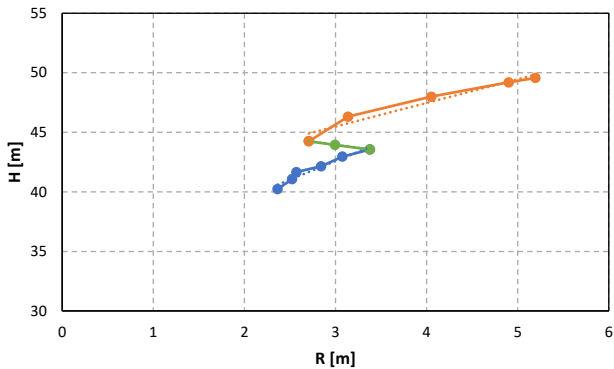


図12 水位 - 径深関係図 (信濃川)

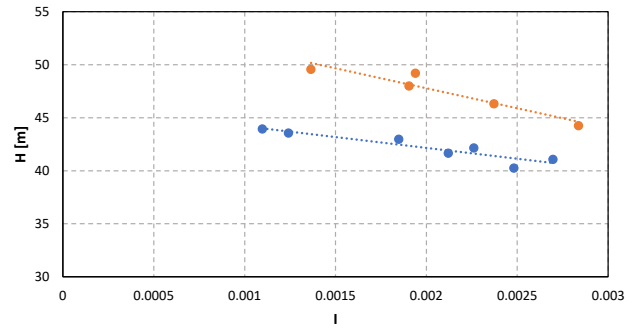


図13 水位 - 水面勾配関係図 (信濃川)

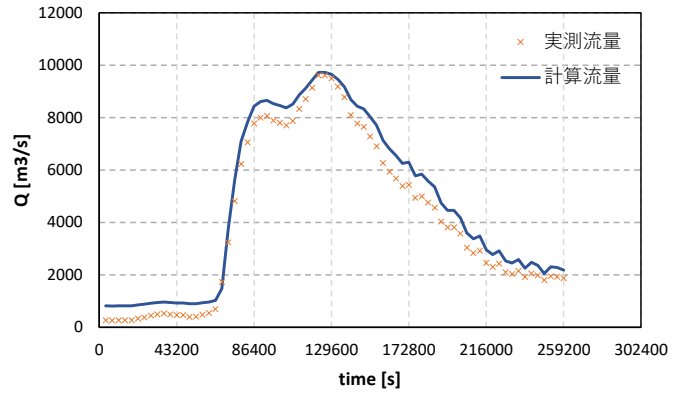


図14 計算流量の比較

表1 精度検証結果 (信濃川)

		計算流量
相対誤差 (%)	68400s	14.800
	126000s	1.200
	226800s	20.610
平均相対誤差 (%)	0-68400s	125.550
	68400-259200s	5.145
	0-259200s	44.399
RMSE	0-68400s	56.257
	68400-259200s	571.519
	0-259200s	545.642

5. 参考文献

- 1) iRIC-UC : iRIC Software Changing River Science (<https://i-ric.org/>), 2020-10-14, 最終閲覧
- 2) 鎌田幹広 中小河川を対象とした簡易流量推定法の提案, 長岡技術科学大学修士論文 2019
- 3) 川本一喜 レーザースキャナデータを用いた中小河川河道モデルの作成手法に関する研究, 河川技術論文集, 第8巻, pp.533-538, 2002.