

中小河川を対象とした簡易流量推定法の提案

水文気象研究室 鎌田 幹広

1. はじめに

洪水対策として流況解析を行うため、水位・流量等の水文データや河道縦横断図の空間情報等の地形データが必要となる。しかし、県管理中小河川は数も多く、河川延長が長いことから予算的、時間的制約により整備が遅れている。そこで本研究では、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 Flood を利用し水位、流量の関係式を構築し、簡易流量推定が可能な手法を提案することを目的とする。

2. 入力データ概要

本研究では、中小河川である五十嵐川の下流地点で河道改修時に実施された横断測量データを補間することで地形データとした。また、五十嵐川の上流にある荒沢観測所で観測された 2011 年 7 月 29 日の流量を水文データとした。対象地点を図-1 に示す。



図-1 五十嵐川位置図

3. 計算手法

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為、値を得るためにはシミュレーションを行う必要がある。そこで、流量推定のために iRIC を用いて 5 つの異なる方法で水面勾配並びに流量を求め、真値と比較することで 5 つの流量推定法の精度を検証する。推定に必要な水位と潤辺、面積、径深の関係を図-2 に示す。

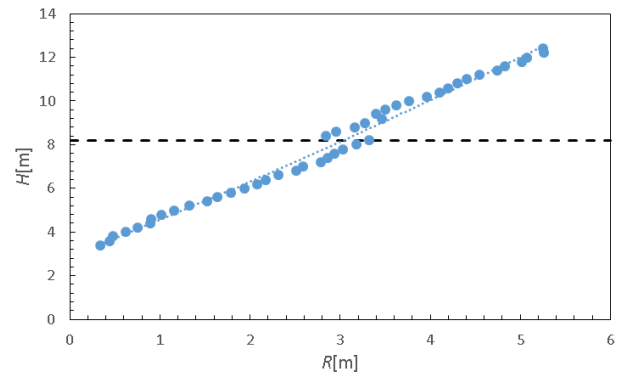
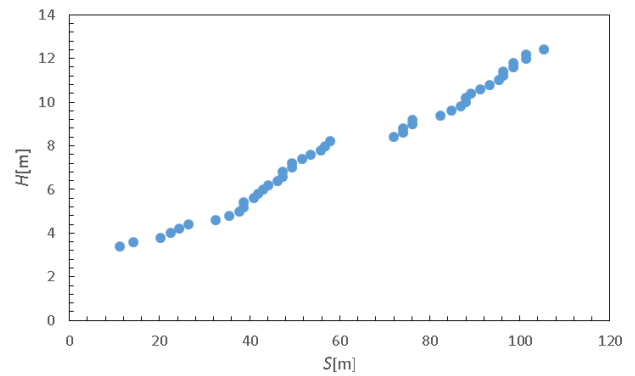
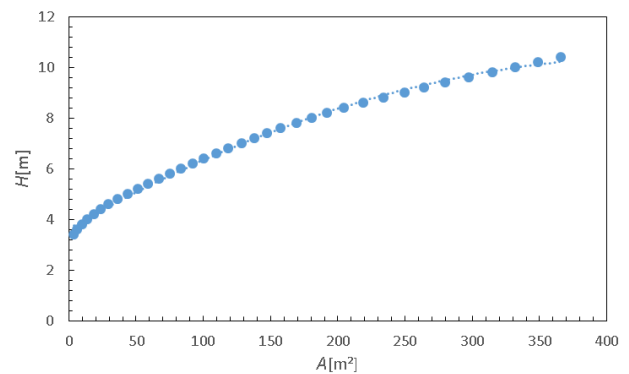


図-2 水位-面積(左)、水位-潤辺(中)水位-径深(右)

① : iRIC を用いる事で得られる河道断面の水深・流速を計算し流量を得た。これを計算流量①とし、真値となる流量とする。

$$Q = Av \quad (1)$$

$$Q = A_1v_1 + A_2v_2 + A_3v_3 + \dots + A_nv_n \\ = \sum A_nv_n$$

ここで、 Q を流量 (m^3/s)、 A を流積 (m^2) とする。

② : 河床勾配を水面勾配と仮定し、 Manning式から得られる流速を用いて流量を得た。これを計算流量②とする。

$$v = \frac{1}{n_m} R^{\frac{2}{3}} I_0^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで、 v を流速 (m/s)、 n_m を Manning粗度係数、 I_0 を河床勾配、 R を径深 (m) とする。 Manning粗度係数の値は 0.033 とした。

③ : iRIC 上のモデルの中で 50 m 離れた 2 地点間の水位差から $I=h/L$ の式を用いて水面勾配を求め流量を得た。これを計算流量③とする。ここで、 h を水位差 (m)、 L を 2 地点距離 (m) とする。

④ : 井垣らの研究から、一地点において水位は時間に変化することから I_1 を求め、繰り返し計算を行うことにより収束させ I_x を求め流量を得た。これを計算流量④とする。

$$v_1 = \frac{1}{n_m} R^{\frac{2}{3}} I_0^{\frac{1}{2}}, \quad I_1 = I_0 + \frac{3}{5v_1} * \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$v_2 = \frac{1}{n_m} R^{\frac{2}{3}} I_1^{\frac{1}{2}}, \quad I_2 = I_0 + \frac{3}{5v_2} * \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$\vdots$$

$$I_x = I_0 + \frac{3}{5v_x} * \frac{\partial H}{\partial t} \quad (3)$$

ここで、 v_x を流速 (m^2/s)、 I_x を水面勾配、 I_0 を河床勾配、 H を水位 (m)、 t を時間 (s) とする。

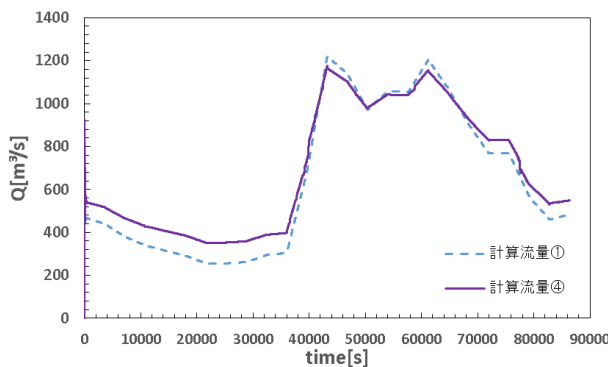
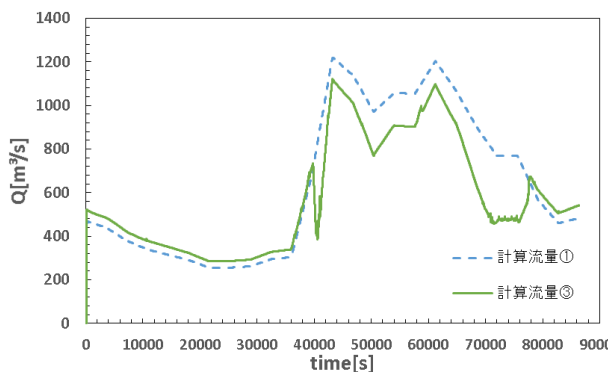
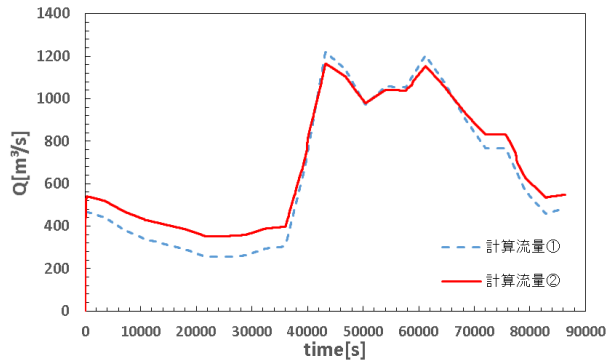
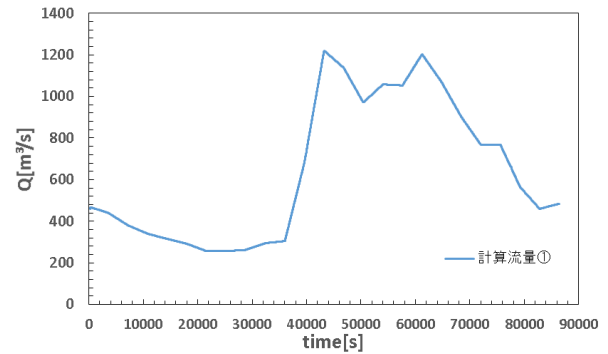


図-3 各計算流量比較

②~④の計算流量の精度は思わしくなかった。一地点で流量を推定できる点で、最も期待していた手法②とほぼ同じ結果であった。これらの結果から、増水時と平常時の流量の違いによる

水面勾配の変化に問題があると考えられる。そこで、定常流を流した際の水面勾配を確認した。すると、定常流ごとに水面勾配が変化していることが判明した。これを基に手法⑤を提案する。

⑤:iRIC を用いて定常流を入力条件に設定し計算を行った。はじめに 250 m³/s の定常流を計算条件に入力し、2 時間の計算をする。そこから 250 m³/s ずつ流量を加算しそれを 3000 m³/s の定常流量まで行う。このときの各定常流量における水位と水面勾配の関係をプロットし近似式をとった。プロットしたものを図-3 に示す。この近似式から得られる水面勾配を基に流量を得た。これを計算流量⑤とする。

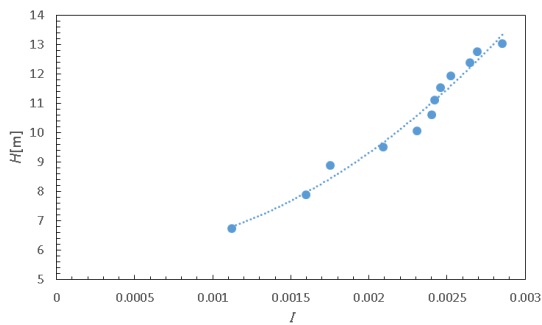


図-4 水位-水面勾配プロット (定常流)

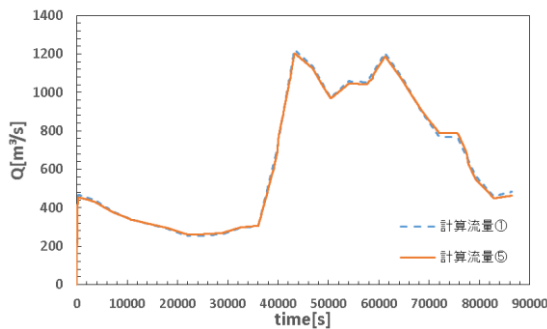


図-5 計算流量⑤

4. 結果

これらの精度を検証するため、以下の 3 つの誤差検証法を用いて計算流量①と計算流量②~⑤の比較を行った。精度検証の結果を表-1 に示す。

○相対誤差

ある特定の地点での誤差を調べるため、以下の式を用いて増水前の 36000 s・ピーク時の 43210 s、増水後の 75000 s を対象とし計算を行った。

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

Q_i : 測定値, $Q_{i,1}$: 計算流量① である。

○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。

$$\text{平均相対誤差} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Q_i - Q_{i,1}|}{Q_{i,1}} \quad (5)$$

○RMSE (Root Mean Square Error)

数値予測問題における精度評価の指標であり、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している。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{i,1})^2} \quad (6)$$

表-1 精度検証結果

		計算流量②	計算流量③	計算流量④	計算流量⑤
相対誤差(%)	36000 s	30.581	11.572	30.672	0.662
	43210 s	4.686	8.217	3.539	1.671
	75000 s	8.267	37.912	8.267	2.549
平均相対誤差(%)	0 - 36000 s	29.675	11.285	29.576	1.510
	36000 - 86400 s	6.079	17.615	6.158	1.736
	0 - 86400 s	15.880	14.985	15.886	1.642
RMSE	0 - 36000 s	91.273	36.493	90.942	5.702
	36000 - 86400 s	47.497	180.231	48.037	14.430
	0 - 86400 s	69.133	139.796	69.170	11.629

計算流量 2 は水面勾配に河床勾配を利用して、水面勾配が実数となっている。しかし、実際は流量の増加や減少で水位が変化するとそれに伴い水面勾配も変化するため、水面勾配の値を実数とする計算流量 2 では誤差が大きくなり精度が落ちたと考えられる。計算流量 3 では 2 地点の水位を利用して水面勾配を算出しそれを利用している。誤差はピーク時で 8%、平均相対誤差は約 15 % と精度に難のある結果だった。地点間距離が 50 m では距離が近すぎたため、増水減水時の水位の変化が影響したと

考えられる。計算流量4は水面の流下方向の水深の時間変化を利用し水面勾配を算出している。精度検討の結果、計算流量とほぼ同じ値となった。急流河川において時間変化による水位の変化は無視できるほど小さい値となると考えられる。計算流量5は定常流で得られた水位と水面勾配の近似曲線を使用し、シミュレーションの水位から水面勾配を算出している。精度を評価すると平均相対誤差率は2%未満であり、ピーク時の流量も約1.6%と精度の高い再現ができた。以上のことから、本研究では定常流を用いた流量推定法を最も優れた推定法とし、この推定法を簡易流量推定法とする。

5. 簡易流量推定法の検証

勾配が急な地点でも適用が可能か、ならびに実際の河川での使用が可能かを判別するために五十嵐川中上流部に位置する荒沢観測所で観測された実水位と定常流を用いた流量推定法から推定流量を求め、実際に観測された流量と比較することで実用性を検証した。

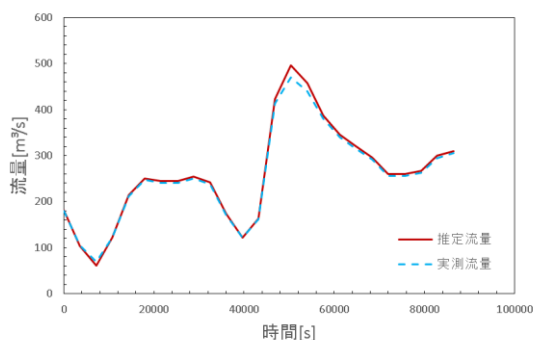


図-6 流量比較（荒沢）

表-2 精度検証結果

		推定流量
相対誤差(%)	20000 s	1.156
	50000 s	3.282
	75000 s	5.057
平均相対誤差(%)	0 - 40000 s	1.566
	40000 - 86400 s	3.375
	0 - 86400 s	2.540
RMSE	0 - 40000 s	2.550
	40000 - 86400 s	11.273
	0 - 86400 s	8.450

推定流量の精度を評価すると増水前の相対誤差は約1.2%，ピーク時は3.3%，最も誤差の生じた増水後でも約5%と相対誤差の値は小さかった。また、一日間の平均相対誤差率は約2.5%で、RMSEもとても小さい値であった為、精度の高い再現が出来たといえる。このことから、実際の中小河川においてもこの手法が適用可能であると考えられる。

6. まとめ

今回提案した定常流を用いた流量推定法は中小河川である五十嵐川の下流部、並びに中上流部で適用可能であり、実測された水位からの推定も可能であることを確認した。水面勾配の異なる上流部、下流部で適用できたことを確認した。