

中小河川を対象とした簡易流量推定に関する検討

長岡技術科学大学 非会員 鎌田 幹広
長岡技術科学大学 正会員 陸 旻皎

1. はじめに

県が管理する中小河川では予算の都合上、流量観測体制が十分に整備されていないため、流量の推定が課題となっている。

そこで本研究では、簡易流量推定を行う手法として川幅と水位、流量の関係を紐づけることを目的とする。そこで簡易的な計算が可能であるマンニング式と無償で公開されている河川シミュレーションソフト「iRIC Nays2D Flood」を利用した推定を行った。

条件項目	設定内容
河川名	五十嵐川
2次元氾濫解析モデル	iRICソフトウェア Nays2DFlood ver5.0
メッシュサイズ	概ね1×1m(181×121)
地盤高	五十嵐川横断面データ(KP1.6及びKP1.8)を設定
粗度係数	0.033
流量	2011/07/28~31日時における流量
下流端境界条件	自由流出
流入河川の勾配	0.001897
計算時間間隔(Δt)	0.05
格子幅	120 m

図-2 iRIC 設定

2. 対象地点の概要

対象地点を図-1 に示す。今回は平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨で氾濫が発生し堤防が決壊したため、同年に改修され測量データが存在する信濃川水系の五十嵐川に架かる一心橋周辺 (KP1.6, KP1.8) を対象とし、線形補間を行うことで平面 2 次元地形データとして使用した。



図-1 五十嵐川位置図

3. 使用ソフトの概要

iRIC Nays2D Flood とは一般曲線座標で境界適合座標を用いた非定常平面 2 次元流れと河床変動計算を行うことが可能な計算ソルバである。上流端および左右側方の任意の複数の箇所からの非定常流量の流入条件を容易に設定でき、中小河川流域における氾濫流解析に適用可能であるため、今回の推定に使用した。設定を図-2 に示す。

4. 計算手法

川幅と水位、流量を紐づけるためにマンニング式を用いる際、係数として粗度係数、径深、水面勾配が必要である。粗度係数は川ごとに定められており、径深は計算で得られる。径深の係数と水位の関係を図-4 から図-6 に示した。水面勾配は常時変化する為、数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 つの異なる方法でそれぞれの流量の精度を検証した。以下にその方法を示す。

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求める。これを計算流量①とし、基準となる流量とした。

$$Q = Av \tag{1}$$

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

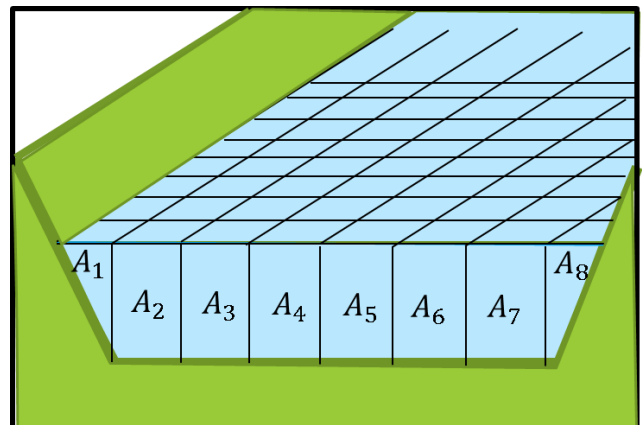


図-3 計算流量①模式図

②：いかなる河川にも存在する河床勾配を水面勾配と仮定し，マニング式から得られる流速を用いて流量を求める．これを計算流量②とした．

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i_0^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

v ：流速[m/s]， n ：マニング粗度係数， i_0 ：水面勾配， R ：径深[m]， Q ：流量[m³/s]， A ：流積[m²]である．本研究では，五十嵐川下流であるこの地点のマニングの粗度係数の値を 0.033 とする．

③：50 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た． h ：水位差[m]， L ：2 点間距離[m]である．マニング式に水面勾配 3 を代入することで得られた流速を用いて流量を求める．これを計算流量③とした．

④：井垣らの研究から，一地点において水位は時間で変化することからそれを利用し繰り返し計算を行うことで水面勾配を求め，マニング式から得られる流速を用いて流量を求める．これを計算流量④とした．

$$v_1 = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I_0^{\frac{1}{2}}$$

$$I_1 = I_0 + \frac{1}{c} * \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$v_2 = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I_1^{\frac{1}{2}}$$

⋮

$$I_x = I_0 + \frac{1}{c} * \frac{\partial H}{\partial t} \quad (3)$$

v_x ：流速[m²/s]， I_x ：水面勾配， I_0 ：河床勾配， c ：洪水伝播速度[m/s]， H ：水位[m]， t ：時間[s]である．

⑤：iRIC の流入条件に 0 から 3000 トンまでの間で 250 トン毎に異なる定常流を使用することで水位と水面勾配の近似式を作成する．これを図-7 に示した．図-7 から得られる水面勾配を基に流量の計算を行う．これを計算流量⑤とした．

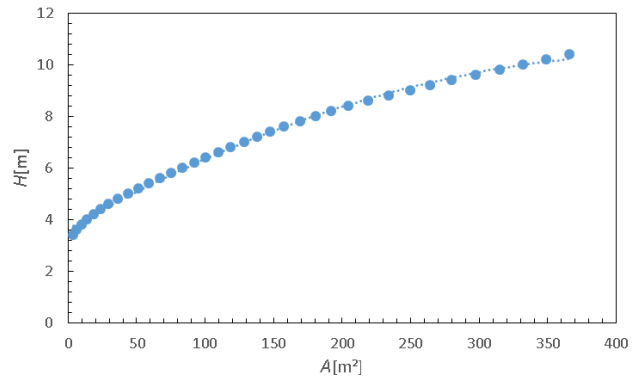


図-4 水位-面積曲線

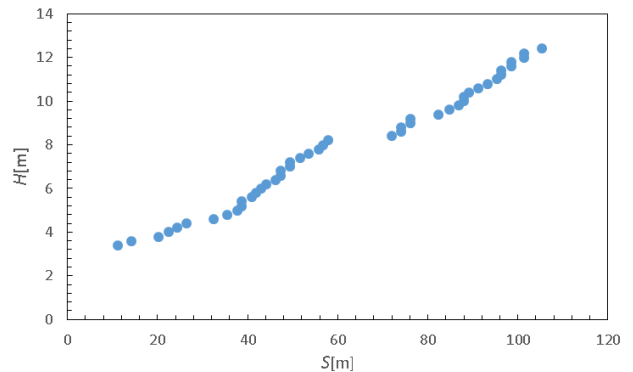


図-5 水位-潤辺曲線

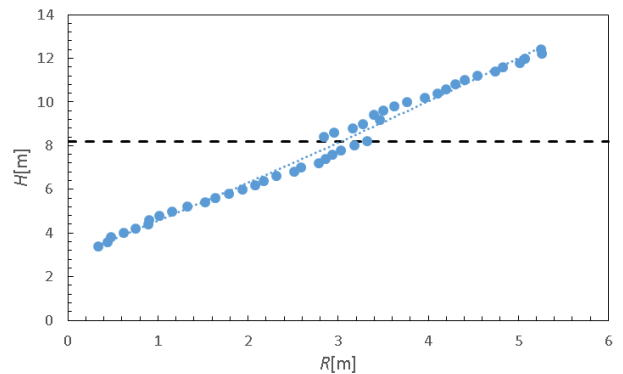


図-6 水位-径深曲線

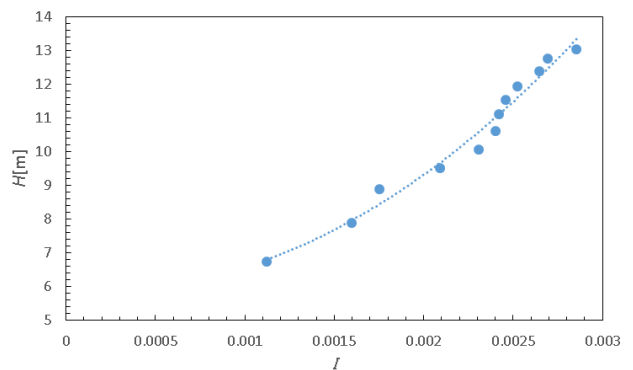


図-7 水位-水面勾配曲線

5. 結果

5-1 計算流量の精度検証

図-8 に本研究において計算された結果を示した。計算流量①と 4 つの方法で得られた水面勾配を用いて算出された流量をそれぞれ比較している。また、それらの精度を確認するために、以下の 3 つの手法を用いて増水前・増水後の 2 段階に分けて計算流量①と比較することで精度の検証を行い、それを表-1 に示した。

・ 相対誤差

ある地点での誤差を調べるため、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

ある地点ではなく全体を見た際の精度を検証する為以下の式を用いて計算を行った。

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

n : データ数 である。

・ 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。予測精度の悪さを表すため 0 に近い値であるほど優れているとみなすことが出来る。

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

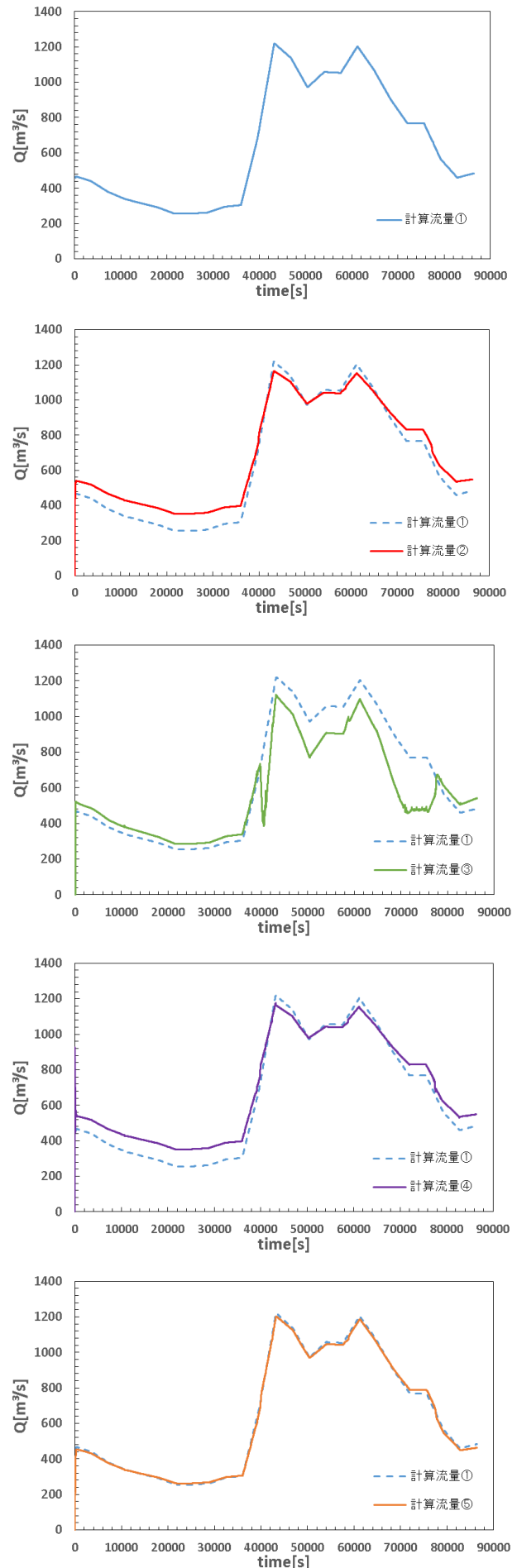


図-8 計算流量①,②,③,④,⑤

表-1 計算流量精度検証

		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	30.5806727	11.5715	30.671807	0.66234793
	43210 s	4.68633929	8.216694	3.5389834	1.67114557
	75000 s	8.26663666	37.911905	8.2667459	2.54870749
平均相対誤差(%)	0 - 36000 s	29.6745036	11.285274	29.576475	1.50965259
	36000 - 86000 s	6.07880319	17.614671	6.158119	1.73614964
	0 - 86000 s	15.8803679	14.985402	15.885993	1.64216087
RMSE	0 - 36000 s	91.2731377	36.493293	90.94156	5.70157682
	36000 - 86000 s	47.4967424	180.23144	48.037074	14.4298777
	0 - 86000 s	69.1331801	139.79621	69.169811	11.6289814

計算結果を計算流量②から順に評価していく。計算流量②は水面勾配に河床勾配を利用しているため、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、水面勾配の値が実数である計算流量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50m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。この結果と(3)式より、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。

5-2 HQ 曲線の作成

今後の研究では河川画像から川幅の情報を抜き出しそれを流量推定に利用することを考えている。そのため川幅の情報から水位、流量を特定するための近似曲線を作成する必要がある。そこで今回、流量推定における精度が高いと判断された方法⑤を使用したHQ曲線を作成した。

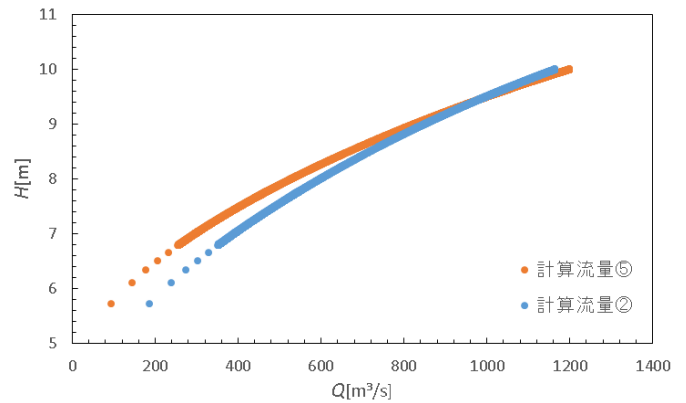


図-9 水位-流量曲線比較

6. まとめと今後の課題

本研究は河川の測量データから水位、流量と川幅を紐づける方法を開発した。まず測量データから地形データを作成しiRIC Nays2D Floodとマニング式を用いる事で流量の推定を行った。また、定常流を用いた検証から流量推定の計算方法を提案し、有用性を検証した。今後は入力条件の定常流をより細分化し精度の高い計算方法の作成を行っていきたい。

参考文献

- 1) iRIC HP : <http://i-ric.org/ja/software/21/>
- 2) 黄光偉, 金子智士: 五十嵐川の流下能力に関する研究, 新潟シンポジウム, 2004, 2-013
- 3) 井垣友考, 高木宏郎, 山田正, Quimpo Maritess : 水面勾配を用いた流量算出手法の提案, 第36回土木学会関東支部技術研究発表会, 2009