

## 河川結氷時の流量推定について ～河川砂防技術基準：調査編の改訂に関連して～

柿沼 孝治\* 吉川 泰弘\*\* 井上 和哉\*\*\*

### 1. はじめに

積雪寒冷地に位置する河川の特徴の一つとして、冬期間の低温や降雪による河川水面の結氷(写真-1)があげられる。平成24年6月に改訂された河川砂防技術基準：調査編<sup>1)</sup>(図-1)において、寒地土木研究所の研究成果を参考に結氷河川の流量観測手法に関する内容が掲載された。同基準によると、結氷河川における流量観測にあたっては観測機材や観測方法等に留意が必要であるとして、流速分布や氷板厚の計測等について記載されている。

寒地土木研究所寒地河川チームでは、高い精度で河川結氷時の流量を推定できる手法を開発し、平成24年3月にマニュアルを作成した。本報では、寒地土木研究所で公開している「河川結氷時の流量推定手法マニュアル(案)」<sup>2)</sup>について概説するとともに、平成24年度に実施した一級河川常呂川及び留萌川の観測結果への適用事例を紹介するものである。

### 2. 河川結氷時の流量推定手法マニュアル(案)について

北海道の多くの河川は、冬期間の気温の低下や降雪によって、12月下旬から4月上旬にかけて結氷し、その期間内に年間の渇水流量を記録することが多いため、その間の流量は、各水系の水資源計画における正常流量を決定するための重要な基礎資料となり、また今後、気候変動により冬期間の流量が変動する場合には、より一層河川結氷時の流量を精度よく推定することが望まれている<sup>3)</sup>。しかし、河川結氷時は、図-2に示すように河氷の影響によって開水時で得られる水位と流量の関係(HQ式)は成立しない。更に、河水が流水へ与える影響については十分には解明されておらず、従来の河川結氷時の流量を推定する手法は、この影響を考慮できていないため、推定精度が低いという問題があった。そこで、寒地土木研究所寒地河川チームでは、図-3に示すように、河川結氷時の流量を連



写真-1 結氷河川の様子(浦幌十勝川浦幌大橋下流  
平成24年3月12日)

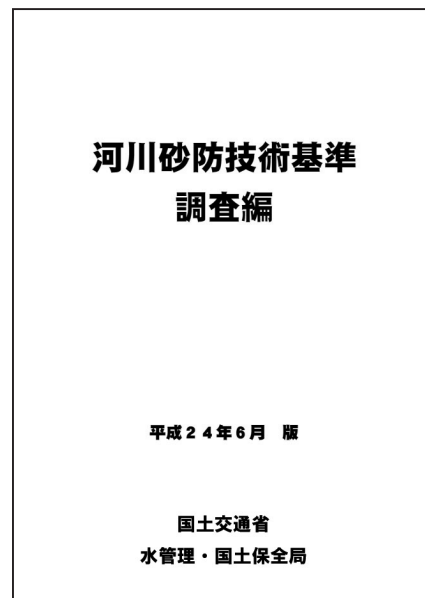


図-1 河川砂防技術基準：調査編

続的に推定する手法についてマニュアル化を行った。

河川結氷時の流量推定式は、流量  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )、河水底面粗度を表す  $C$  ( $\text{m}^{3/4}/\text{s}$ )、川幅  $B_w$  (m)、流下断面積  $A_o$  ( $\text{m}^2$ )とする以下の(1)式で表される。

$$Q = CB_w^{-\frac{1}{4}} A_o^{\frac{5}{4}} \quad (1)$$

そして、(1)式を用いた流量推定方法は、

1) 開水時の HA 式(水位 H と流積 A の関係式)を流量観測データまたは横断測量データから導出する。

2) 結氷時の流量観測データから、喫水  $d$  (m)、 $C$  値、川幅  $B_w$  を得る。観測を実施していない日の  $d$ 、 $C$ 、 $B_w$  は、その日を挟む観測日の値を用い線形補完により求める。

3) 測定される結氷時の連続水位 H から、喫水  $d$  を差し引いた値 H' を、HA 式に代入し  $A_o$  を求め、式(1)に  $C$ 、 $B_w$ 、 $A_o$  を代入し流量  $Q$  を求める。

という3つのステージを踏む。吉川ら<sup>5)</sup>によれば、本手法は従来行われてきた推定手法よりも精度が高いことが実証されている。

詳細については「河川結氷時の流量推定手法マニュアル(案)」<sup>2)</sup>及び吉川ら<sup>3)</sup>の論文を参照されたい。

### 3. 河川結氷時の流量計算プログラムについて

上記のマニュアル(案)に基づき実際に計算を行うためのツールとして、Microsoft Office Excel 上で動作するプログラムを開発した。このプログラムを「河川結氷時の流量計算プログラム」と呼ぶ。このプログラムは、あらかじめ定期流量観測で得た観測情報を読み込むことで、「水文水質データベース」<sup>6)</sup>から取得したリアルタイムの水位データを用いてリアルタイムの流量を推定するものである。なお、本プログラムは、寒地土木研究所寒地河川チームが所有しており、関心をお持ちの方は下記までお問い合わせされたい。

<http://river.ceri.go.jp/contents/contact.html>

図-4にこのプログラムの利用フローを示し、簡単な計算例を示す。

#### 3. 1 計算の手順

##### 3. 1. 1 基本情報を設定する

「河川結氷時の流量計算プログラム」が入っているファイルを開き、図-5に示す「設定」シートに、水系、河川、観測所名を選択する。水密度、晶氷密度、氷板密度、積雪密度については、標準的な値が入力されている。

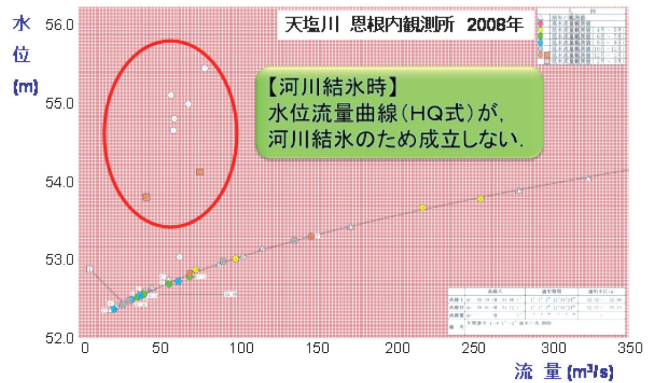


図-2 寒冷地河川における水位と流量の関係

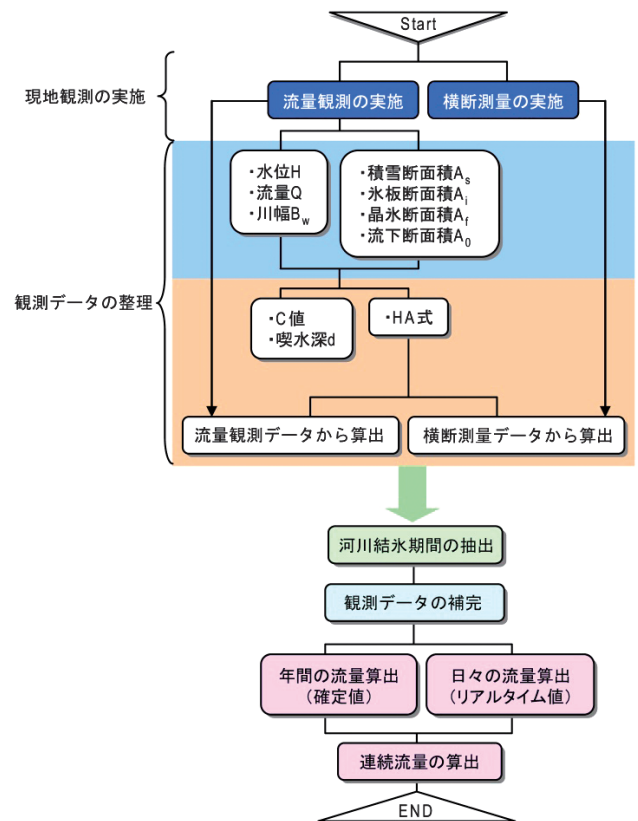


図-3 流量推定手法のフロー

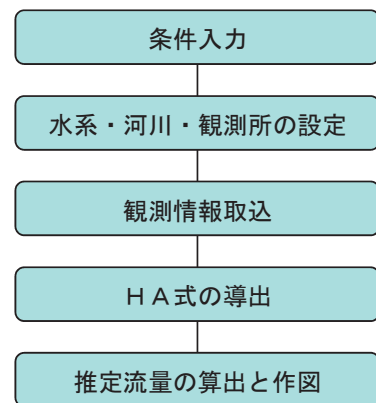


図-4 流量推定プログラムの利用フロー

### 3. 1. 2 観測情報の読み込み

基本情報を設定後、「水位・流量」シートに戻り、別途、表-1に示す様式に整理した観測情報ファイルを観測情報取込ボタンで選択し、データを取り込む。結果を図-6に示した。

### 3. 1. 3 HA式の導出

HA式を導出するには「横断情報から求める」「流量観測データから求める」の2つ方法があり、本システムで簡単に求められるように設計されている。

#### a) 流量観測データから求める

流量観測データからHA式を求めるには、「HA式検討」シートを選択する。ここでは3. 1. 2で読み込んだ観測値をボタン1つでコピーすることができるほか、別途手入力することも可能になっている(図-7)。

求められた係数a~cの結果を確認できるよう右側のグラフに表示される。結果に問題がないようであれば水位流量シートのHA式係数へ値を転送する。

#### b) 横断情報から求める

横断情報からHA式を求めるには、「横断図」シートを選択し、「距離」「標高」にそれぞれ値を入力する。入力すると随時、画面に横断形状が描かれるので、使用者はこれを確認しながら作業を行うことができる。

### 3. 1. 4 推定流量の算出と作図

次に、流量を推定する際に行う作業を、順を追って解説を行う。

図-6に示す「水位・流量」シートで現在から過去2週間分の水位情報を「水位自動取得」ボタンでインターネット上の「水文水質データベース」<sup>6)</sup>から取得し、シートの行へ追加する。

その後「再計算」ボタンを押すことで観測情報から得られた値が計算され、結氷時のリアルタイムの河川流量が得られる。

計算結果についてはエクセルのデータで表されており、流量推定結果を河水厚推定計算等の別な用途に活用することが期待できるほか、計算された推定値と実測値は図-8に示す「水位・流量グラフ」シートに表示されるので、視覚的にとらえることができる。

さらに推定流量と実測流量の差が表示されるので、推定結果のチェックが容易である。グラフの初期設定では、横軸と縦軸の目盛りについて自動で調整されるが、ユーザーが任意に表示したいサイズや目盛りを設定することができる。

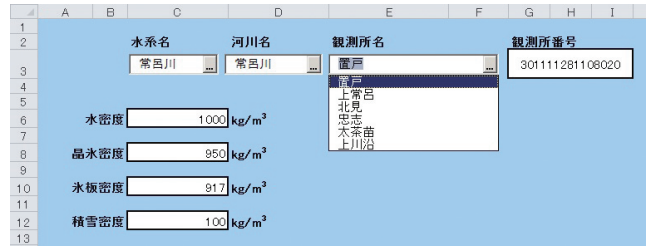


図-5 設定画面

表-1 観測情報ファイル

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	日時	水位H m	流量Q m <sup>3</sup> /s	流積A m <sup>2</sup>	川幅B m	氷水深 m	氷水面積 m <sup>2</sup>	積雪面積 m <sup>2</sup>
2	2012/4/10 13:26	210.64	5.88	7.56	20.00	0.00	0.00	0.00
3	2012/5/15 11:29	210.85	13.93	12.32	20.00	0.00	0.00	0.00
4	2012/5/22 10:43	210.79	11.90	11.31	20.00	0.00	0.00	0.00
5	2012/5/30 9:43	210.79	11.47	11.01	20.00	0.00	0.00	0.00
6	2012/6/5 14:05	210.76	10.62	10.69	20.00	0.00	0.00	0.00
7	2012/6/11 9:30	210.77	10.07	10.32	20.00	0.00	0.00	0.00

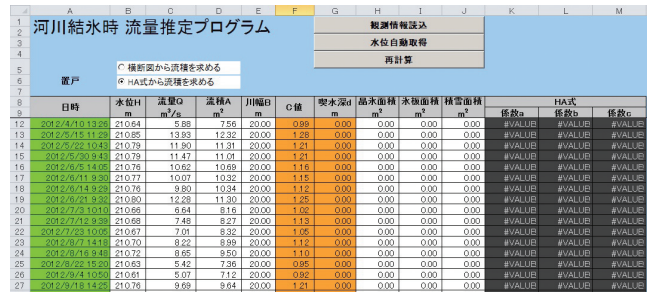


図-6 観測情報の読み込み

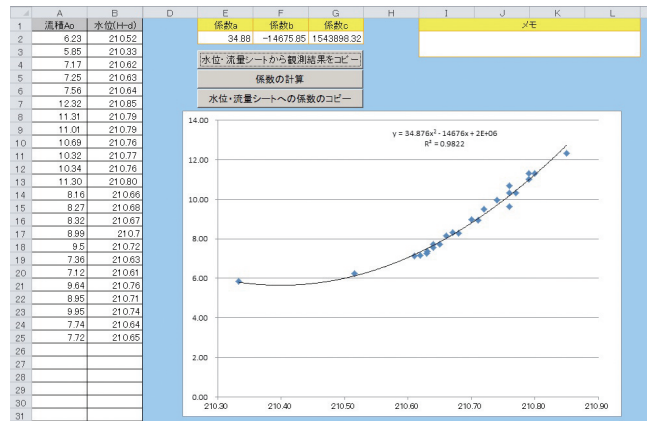


図-7 HA式検討シート画面イメージ

## 4. 適用事例

各河川では流水の正常な機能の維持に関する目標として河川整備計画に基準地点において確保する流量の値を定め、この値を確保することが求められている。

今回、網走開発建設部北見河川事務所鹿ノ子ダム管理支所と留萌開発建設部留萌開発事務所留萌ダム管理

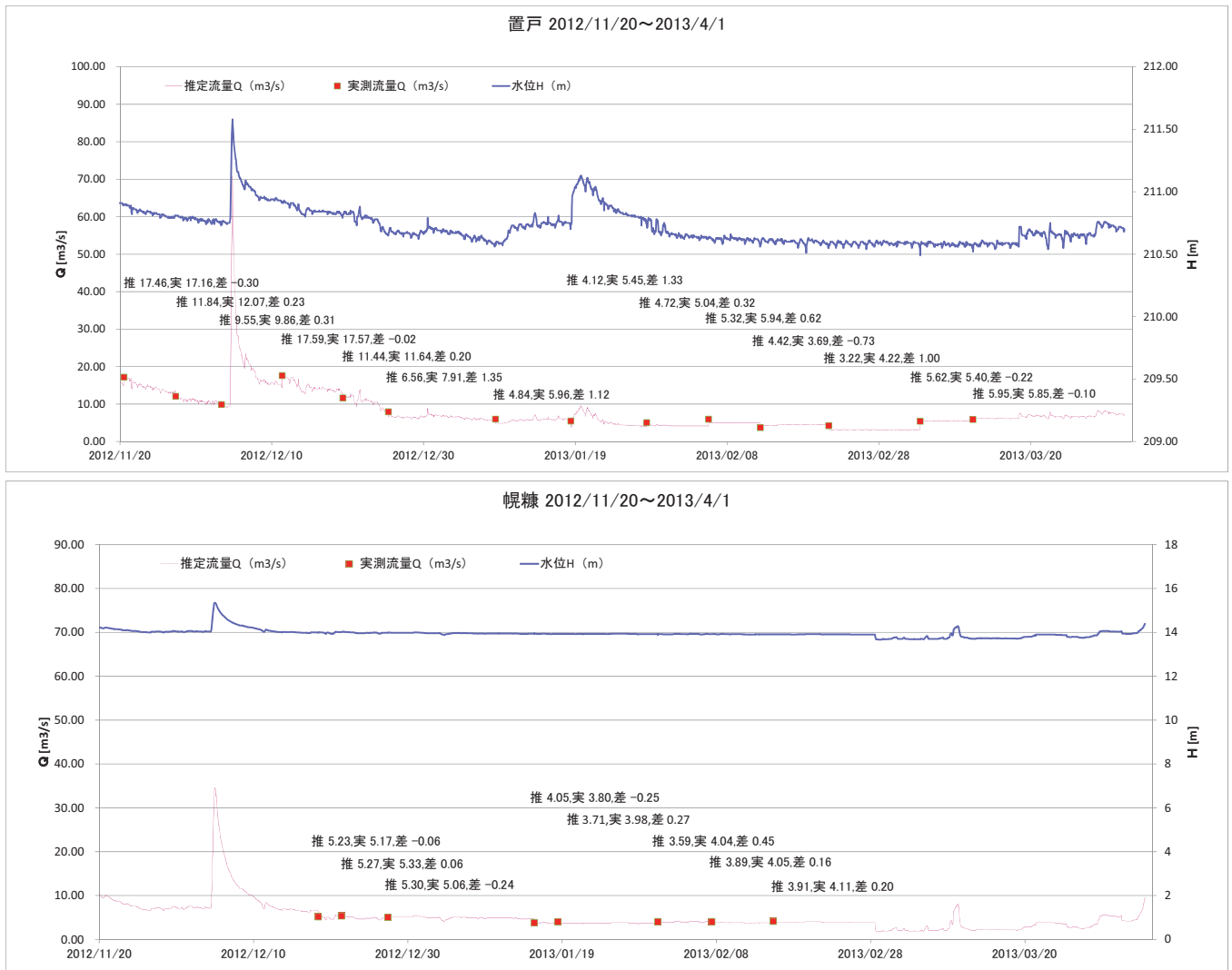


図-8 水位観測地点における平成24年11月20日から平成25年4月1日までの水位・流量グラフ  
(上：常呂川置戸観測所，下：留萌川幌糠観測所)

支所の協力により本プログラムを先行して運用した。

鹿ノ子ダムでは常呂川の置戸水位観測所(KP82.3)、留萌ダムでは留萌川の幌糠水位観測所(KP18.6)で計算を実施した。

図-9に推定流量ならびに通常のHQ式の観測流量に対する誤差ヒストグラムを示す。誤差評価に用いた観測流量は定期的な流量観測で河川が結氷している期間として21データを用いた。

図-9の±10%の誤差内で見ると、本推定手法は全21データの内71%の15データが入り、通常のHQ式では全21データの内52%の11データが入っている。±20%の誤差内で見ると本推定手法は全21データの内19%の4データが入り、通常のHQ式では全21データの内10%の3データが入る。±30%の誤差内で見ると本推定手法は全21データの内10%の2データが入り、通常のHQ式では全21データの内5%の1

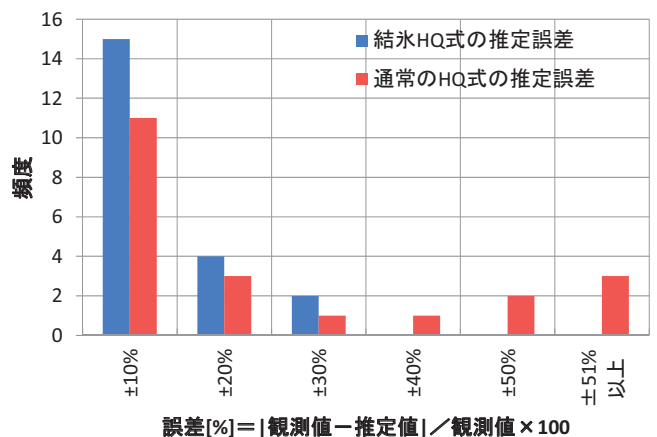


図-9 推定流量ならびに通常のHQ式と観測流量の誤差ヒストグラム(置戸観測所ならびに幌糠観測所)

データが入る。±40%の誤差以上では本推定手法のデータは0%である。

本報告の新たな流量推定手法は上記の精度で観測流量を推定することが可能であり、今回の検討において、本手法は従来手法よりも推定精度が高い。

## 5. まとめ

平成24年6月に改訂された河川砂防技術基準：調査編(国土交通省水管理・保全局)に、寒地土木研究所の研究成果を参考に結氷河川の具体的な流量観測手法が取り入れられた。これまで懸案とされてきた冬期間の流量観測の精度向上に寄与するものであり、河川の低水流量管理に貢献する意義は大きい。

また、汎用ソフト(Microsoft Office Excel)上で動作する結氷HQプログラムを開発したことで、すべての結氷河川において、これまでの観測データを用い、簡単に従来よりも精度の高い結氷期の流量の推定が可能となった。

今後の課題として、現在、結氷初期と解氷期についてリアルタイムでの判断ができず、本プログラムに用いた流量推定式の適用期間について検討が必要である。将来的には、開発された結氷補正HQ式が水文水質データベース<sup>5)</sup>へ組み込まれ、自動で補正されるプログラムとなるよう、開発モデルや研究成果の普及を図ることを予定している。

最後に、本報の作成にあたり、北海道開発局網走開

発建設部北見河川事務所鹿ノ子ダム管理支所、留萌開発建設部留萌開発事務所留萌ダム管理支所には先行して運用していただき、貴重なアドバイスをいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

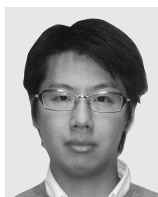
## 参考文献

- 1) 河川砂防技術基準 調査編：国土交通省水管理・国土保全局、第2章 第4節、pp.28-31、2012.
- 2) (独)土木研究所寒地土木研究所寒地河川チーム：河川結氷時の流量推定手法マニュアル(案)、<http://river.ceri.go.jp/contents/tool/index.html>
- 3) 吉川泰弘、渡邊康玄、早川博、平井康幸：結氷河川における解氷現象と実用的な氷板厚計算式の開発、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.68、No.1、pp.21-34、2012.
- 4) 吉川泰弘、鳥谷部寿人：雪国における積雪量と結氷河川の流量に関する研究、河川66(12)、pp.10-15、2010.
- 5) YOSHIKAWA Yasuhiro, WATANABE Yasuharu, HAYAKAWA Hiroshi, HIRAI Yasuyuki: Development of a Discharge Estimation Method for Frozen Rivers, *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, 29, 1, pp.81-105, 2011.
- 6) 国土交通省：水文水質データベース、<http://www1.river.go.jp/>



柿沼 孝治\*  
KAKINUMA Takaharu

寒地土木研究所  
寒地水圏研究グループ  
寒地河川チーム  
総括主任研究員



吉川 泰弘\*\*  
YOSHIKAWA Yasuhiro

北見工業大学  
社会環境工学科  
助教  
博士(工学)



井上 和哉\*\*\*  
INOUE Kazuya

(株)北開水工コンサルタント  
網走支店  
河川調査計画グループ  
主任技師