

# 結氷河川における融雪出水時の水位予測に関する研究

Study on the Water Surface Prediction by Snow Melt Runoff during the River Ice Breakup Period

北見工業大学工学部 正員 早川 博 (Hiroshi Hayakawa)  
 北見工業大学大学院 ○学生員 沼山大輔 (Daisuke Numayama)  
 北見工業大学工学部 正員 内島邦秀 (Kunihide Uchijima)

## 1. 緒言

2004年1月13日夜から16日早朝にかけて全道的に暴風雪や大雪となり、特にオホーツク海側の北見地方では、記録的な大雪となった。北見市では生起確率が100年を超える171cm(北見アメダス地点)の積雪を記録し、観測以来最高の記録であった。そのために市街地から排雪される大量の雪を捨てる場所が不足し、市内を流れる常呂川高水敷には常設以外に数箇所の臨時の雪捨て場が増設された。従来から雪捨て場は融雪時期の処理も考慮して河川の高水敷に設置されてきたが、常呂川では今回のような大量の雪が河道内に持ち込まれたことはなかった。また、大量の積雪量は春先の融雪出水規模を増大させ、最悪の場合、融雪出水時の水位が高水敷に達し、雪捨て場が流れの障害物となることも予想される。

本研究は、河道水理解析ソフト HEC-RAS を用いて融雪出水期の水位計算を行い、河川の結氷や高水敷の雪捨て場が水位に及ぼす影響を考察する。

## 2. 河道流解析方法

本研究で河道流の解析に用いた HEC-RAS<sup>1)</sup>はアメリカ陸軍工兵隊が開発した統合水理流出解析ソフトで、Hydrologic Engineering Center-River Analysis System(通称 HEC-RAS)は、河道の一次元定常流あるいは非定常流解析をベースとしている。付随して合流・分流点を含む河

表-1 雪捨て場の設置場所

常呂川		
NO.1	KP 37.8~38.0	右岸
NO.2	KP 42.6~43.4	左岸
NO.3	KP 46.2~46.6	左岸
NO.4	KP 47.4~47.6	右岸
NO.5	KP 47.6~47.9	左岸
NO.6	KP 47.9~48.5	右岸
NO.7	KP 54.5~55.1	左岸
無加川		
NO.1	KP 3.4~3.9	左岸
NO.2	KP 5.2~5.4	左岸

道網計算や、河川構造物や橋脚周りの洗掘、結氷河川などの各種の水理計算ができ、河道断面データ入力(図-1)や計算結果の表示に優れた GUI インタフェースを有している。

本研究の解析対象区間は図-2 に示すように、常呂川本川は忠志観測所(KP33.2)を下流端として上流端の上常呂観測所(KP58.4)までとし、北見市中の島地点で合流する無加川は直轄区間の KP7.2 までである。解析に用いた河道断面データは北海道開発局の200m 間隔の横断測量成果を参照し、合流部の中の島付近には、本学の水文学研究室で測量した50m 間隔の細部測量成果を追加している。2004年に設置されたこの区間内にある雪捨て場は表-1 に示す9箇所で、その位置を図-2の赤印で示す。

融雪出水期の水位計算に入る前に、HEC-RAS のパラメータ、低水路や高水敷の粗度係数等を降雨出水時の洪水痕跡水位と対比して同定する必要がある。図-3 は1998年9月16日から19日にかけての台風5号による

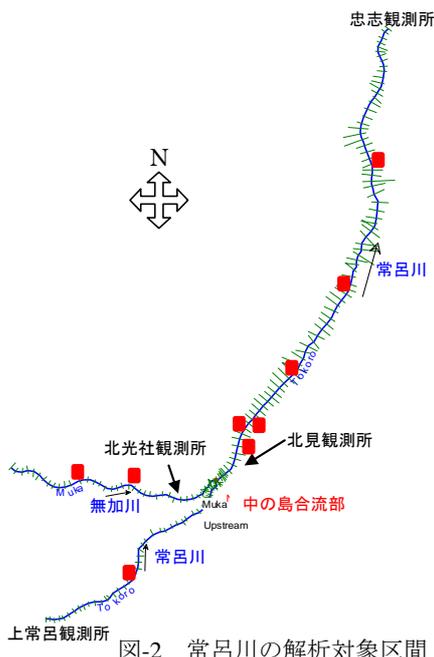


図-2 常呂川の解析対象区間

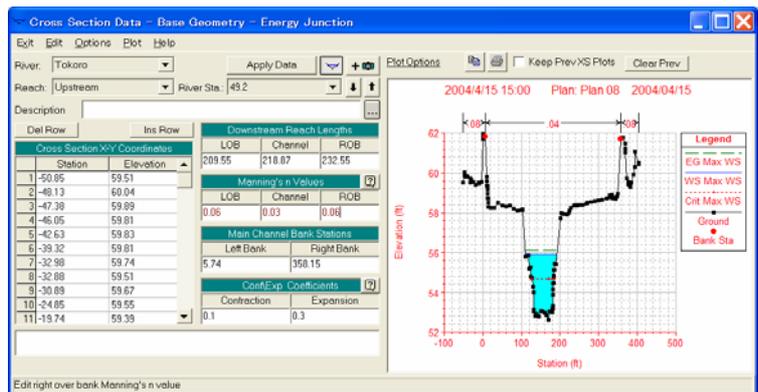


図-1 河道横断面データの入力画面 (HEC-RAS)

表-2 融雪出水・夏期出水における最高流量一覧

順位	融雪出水			夏期出水		
	流量	水位	年月日時	流量	水位	年月日時
1位	502.84	57.14	平成12年04月11日 18時	931.97	57.88	平成13年09月12日 04時
2位	411.19	58.18	昭和50年05月18日 14時	898.01	58.36	平成10年09月16日 24時
3位	342.75	57.92	昭和49年04月22日 09時	670.83	58.02	平成4年09月12日 01時
4位	298.91	56.94	平成1年06月30日 20時	661.94	58.86	昭和50年08月24日 09時
5位	289.46	56.73	平成11年05月05日 17時	628.58	57.32	平成15年08月10日 06時
6位	219.74	57.57	昭和47年04月16日 20時	627.10	57.71	平成6年09月21日 02時
7位	217.10	56.78	昭和63年05月13日 19時	585.76	58.44	昭和54年10月20日 05時
8位	203.66	57.25	昭和54年04月09日 17時	578.66	57.17	平成14年10月02日 10時
9位	201.42	57.46	昭和48年04月20日 24時	389.06	57.55	昭和56年08月06日 08時
10位	185.04	56.60	平成6年04月13日 17時	279.72	57.72	昭和49年08月27日 06時

洪水の痕跡水位 (OWS) と非定常流計算による最大水位 (WS) とを比較した河道縦断面図である。ここで、横軸の河道追加距離は下流端を 0 km として描いているので、この場合の下流端は忠志観測所である。上流端の境界条件は、常呂川本川が上常呂観測所の流量を、無加川は KP1.4 の北光社観測所の流量を上流端に与えた。一方、下流端の境界条件は忠志観測所の河床勾配に等しい水面勾配を与えた。また、合流部の水位計算は支流の合流角度に応じてエネルギーあるいは運動量の釣合い方程式の何れかを選択する。

解析したこの洪水はそれまでの常呂川の既往最大出水 (表-2 参照) を記録し、忠志観測所でピーク流量が約 1,000(m<sup>3</sup>/s) に達した。このとき洪水痕跡水位が高水敷を越えた区間は KP41 より下流区間(図中 0 km ~ 9 km) と中の島合流地点から上流 KP58 までの区間(16 km ~ 23 km)、無加川では合流点から KP3 の区間(0 ~ 3 km) であった。計算結果はこの痕跡水位をよく再現していることがわかる。このときの低水路、高水敷の Manning の粗度係数は解析区間の平均値で各々 0.03 と 0.06 となった。したがって、融雪出水期の水位計算にはこの粗度係数の値を適用して解析を行なう。

### 3. 融雪出水期の水位

北海道東部、北部に位置する河川は冬季間に全面的に結水する。流速の遅い常呂川上川沿観測所前後の蛇行区間は氷厚が 1m にも達する。一方、春先に寒さが緩み融雪が始まると、結氷河川の一部が開き、氷片を伴う融雪出水が本格的に始まる。したがって、融雪出水期の水位変動を推定する際には、河川結氷の影響を考慮する必要がある。

HEC-RAS は河道横断面毎に Ice Cover (完全結氷) あるいは Ice Jam の有無を考慮した水位計算が可能である。例えば、次式は Ice Jam に作用する力の釣合い方程式で、流れの運動方程式と連立させ、繰り返し計算によって Ice Jam の氷厚  $t$  の場所的な変化と水位を算定する<sup>1)</sup>。

$$\frac{d(\bar{\sigma}_x t)}{dx} + \frac{2\tau_b t}{B} = \rho' g S_w t + \tau_i \quad (1)$$

ここで、 $t$  : Ice Jam の氷厚、 $\bar{\sigma}_x$  : 流下方向に Ice Jam に作用する軸応力、 $\tau_b$  : 側岸の摩擦抵抗、 $B$  : 川幅、 $\rho'$  : Ice Jam の密度、 $g$  : 重力加速度、 $S_w$  : 水面勾配、 $\tau_i$  : Ice Jam の下面に作用する流水によるせん断応力である。ただし、Ice Cover あるいは Ice Jam の計算は流れが射流になるところでは計算できないので、常・射流が

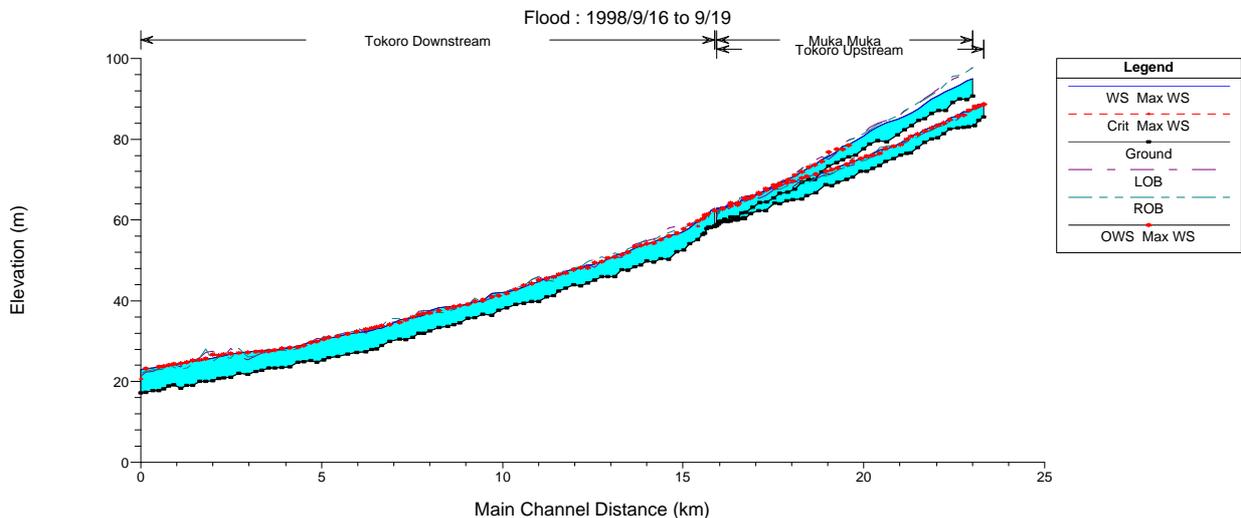


図-3 洪水痕跡水位と計算値との比較(1998年9月16日~19日洪水)

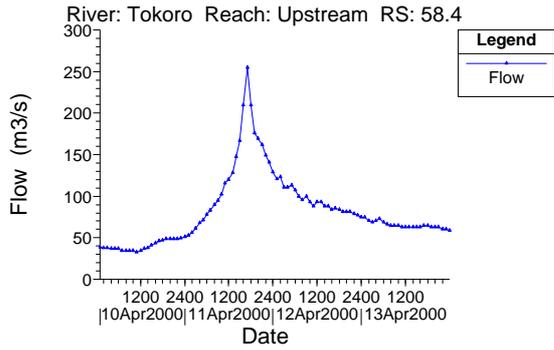


図-4(a) 上常呂観測所の流入ハイドログラフ

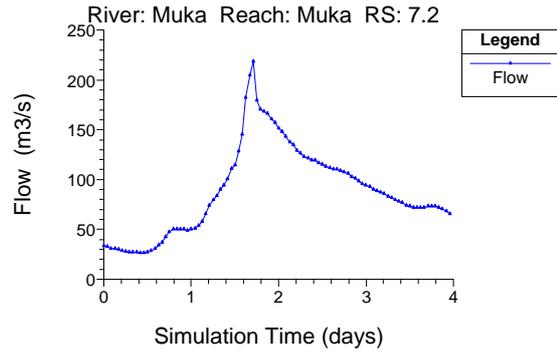


図-4(b) 北光社観測所の流入ハイドログラフ

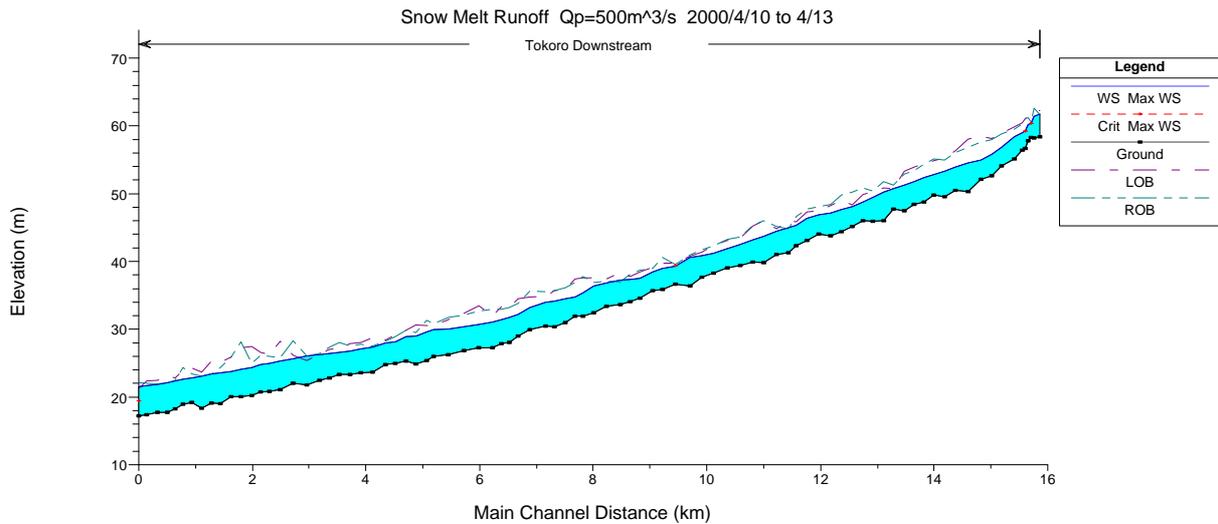


図-5 2000年4月11日融雪出水時の最大水位の縦断面図 (Ice Jam 無し)

混在するような河道区間には適用できない点に注意が必要である。

では、実際に融雪出水期の水位変動の検討を試みる。表-2にあるように2000年4月11日の融雪出水が既往最大であり、このときの上流端境界条件となる上常呂と北光社観測所のハイドログラフが図-4である。両方も流量のピークが約250(m³/s)で、北見観測所で約500(m³/s)規模の出水である。この出水例は降雨を伴った場合の融雪出水であり、通常の融雪出水だけでこの規模の出水を引き起こすことは稀であろう。2004年の北見豪雪においても融雪以外に降雨などを伴わなければ、この出水規模を超えることは難しいと推測される。なお、2004年の融雪出水は現在解析中であり、詳細については別の機会に発表する予定である。

図-5は1998年洪水で同定したモデルパラメータを用いて計算した最大水位の縦断面図である。ただし、河川の結氷は無視し、表示範囲は下流端の忠志から北見観測所の区間である。図中の1点鎖線(LOB)と2点鎖線(ROB)が左右岸の高水敷の標高で、数箇所水位が高水敷まで達しており、ほぼ低水路満杯流量と考えられる。次に、低水路にIce Jam(初期の氷厚20cm)が存在していると仮定して計算を行った。Ice Coverは水面が完全結氷する場合を想定しているため、今回は割れた氷片が集団化

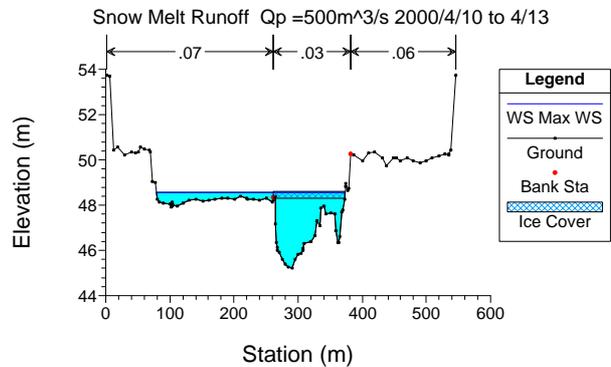


図-6 低水路にIce Jamがある場合の河床横断面図

するIce Jamを想定した。Ice Jamの計算は常・射流が混在する区間では解が得られない可能性が高いので、北見観測所付近(図中13kmから合流部)の低水路にはIce Jamを設定していない。図-6は、低水路にIce Jam(ハッチング部)が存在する場合の河床横断面図、また、図-7が最大水位の縦断面図である。各断面でIce Jamの氷厚が変化しており、Ice Jamの無い場合(図-5)と比較すると、実際には氷厚程度だけ水位が上昇している。したがって、2000年4月11日の融雪出水規模では、Ice Jamの影響はそれほど大きくないことがわかる。

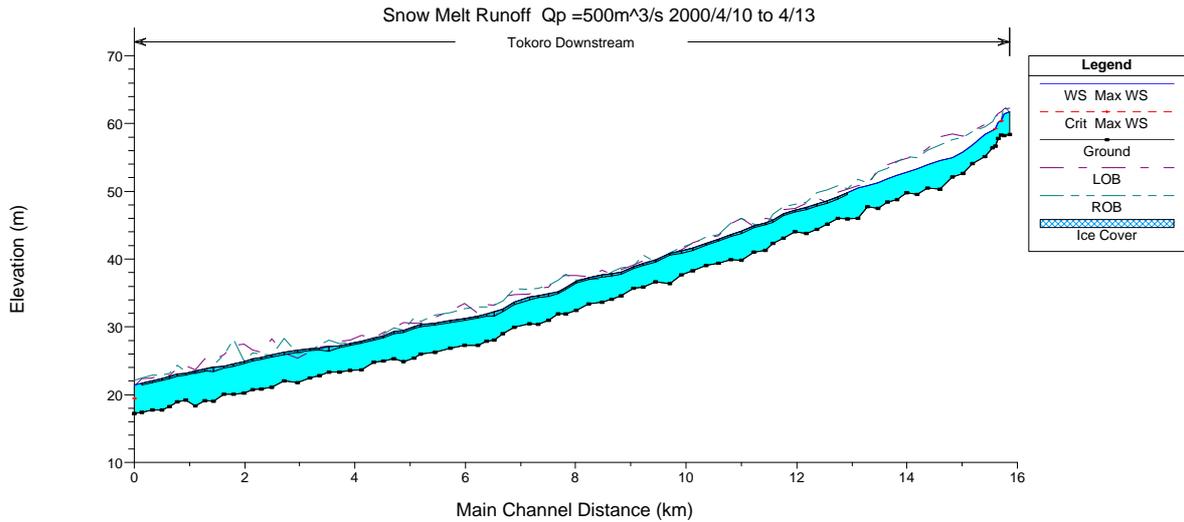


図-7 2000年4月11日融雪出水時の最大水位の縦断面図(Ice Jam 有り)

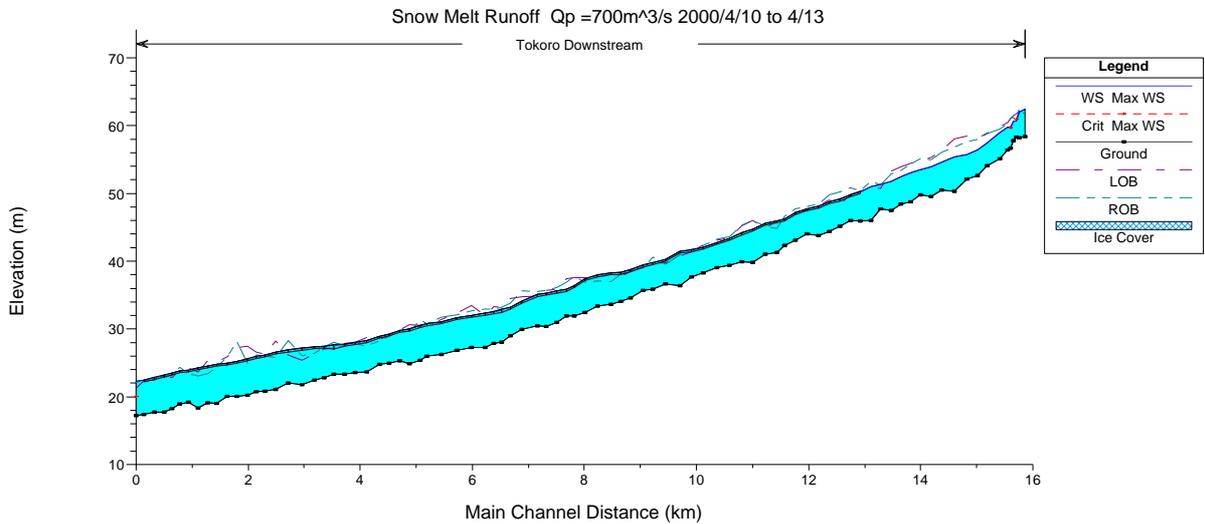


図-9 2000年4月11日融雪出水流量ピークを700(m³/s)に引き伸ばした場合の最大水位の縦断面図 (Ice Jam 有り)

最後に、高水敷に設置された雪捨て場が水位に与える影響を検討する。上記の検討結果から、融雪出水期に高水敷を越えるような出水規模は500(m³/s)を超える必要がある。しかし、そのような出水データはないので、前述の2000年4月11日の融雪出水を引き伸ばし、流量ピークを700(m³/s)とした場合の計算を試みた。高水敷の雪捨て場の雪塊を図-8に示すようにIce Coverと置き換え、雪捨て場が設置されていない断面は、低水路のみにIce Jamを設定した。図-9の最大水位縦断面図から、この出水規模においても高水敷を大幅に超える区間は見られない。雪捨て場がある5km(NO.1)、10km(NO.2)付近も高水敷程度まで水位は上昇しているので、仮にこれ以上の規模の出水がある場合は、水位への影響は無視できないものと考えられる。

**結 語**

本研究は2004年の北見豪雪を契機として、既往最大を上回る融雪出水が生じた際に、高水敷を雪捨て場と利用する場合の河道水位への影響を検討した。その結果、現在の河道断面で特に問題が無いことが示された。今後は、2004年の融雪出水の解析結果と突き合わせた解析を進めていく予定である。

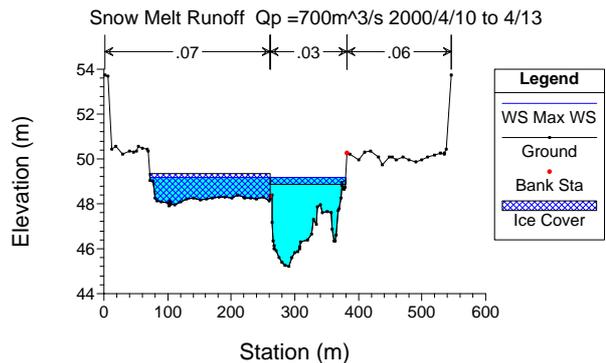


図-8 高水敷に雪捨て場 (Ice Cover に置換) があるとした場合の河床横断面図

謝辞：本研究の一部は(財)北海道河川防災研究センター平成16年度研究助成の補助を受けた。また、北海道開発局網走開発建設部治水課には常呂川の水文資料と河道データの提供並びに横断測量の際にご配慮戴いた。記して感謝を表す。

参考論文 1) Gary W. Brunner: HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC), 2002.