

河氷変動計算モデルを用いた嶮淵川におけるアイスジャム現象の研究

Study of Ice Jam Phenomenon in Kenufuchi River by River Ice Calculation Model

(国研) 土木研究所寒地土木研究所	○正 員	伊波友生 (Yu Inami)
(国研) 土木研究所寒地土木研究所	正 員	横山洋 (Hiroshi Yokoyama)
北見工業大学	正 員	吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
札幌開発建設部 千歳川河川事務所 計画課	正 員	鳥谷部寿人 (Toshihito Toyabe)

1. はじめに

厳寒期において寒冷地河川では多くの河川が結氷し、河川の全面結氷 (ice cover) や河氷 (ice sheet, anchor ice) の流下が生じる。このとき、河氷が河川の狭窄部や蛇行部、橋脚や樋門などの河川構造物が設置されている箇所ですまり、流下の阻害や水位の上昇を引き起こすケースがある。また、河氷が堤防へ衝突し劣化を進行させる、河氷が取水施設近傍で集積し取水障害を生じさせる、といった現象も報告されている。これらの現象は総じてアイスジャムと呼ばれ、北海道の河川でもしばしば発生している。このように、アイスジャムは治水と利水の両面に大きな影響を与える。しかしながら、アイスジャムは観測事例に限られており、実現象が十分に把握されていない。従って、アイスジャムに関する知識や知見は未だ乏しい実情にある。

嶮淵川は千歳川のおよそ KP 28.6 において合流する支流の 1 つである (図-1)。平水時における水面幅は最大で 10 m 程度の小さな川である。直轄区間の KP 0.0 から KP 7.2 において樋門を 9 つ、橋梁を 8 つ、水路橋を 1 つ、排水門を 1 つと多くの河川構造物を有している。例年、嶮淵川ではアイスジャムは生じていなかったが、平成 30 年 3 月 9 日の全道的な降雨と気温上昇により嶮淵川を含む多くの河川でアイスジャム現象が発生した¹⁾。今後の長期的な気候変動の影響を踏まえると、気象現象が激甚化・頻発化すると予見され、道内においてもアイスジャムが発生する河川は増加すると考えられる。

本論文は河氷変動計算モデルを用いて嶮淵川で発生したアイスジャム現象を再現することで、その発生要因を示すものである。

2. アイスジャムの再現計算

(1) 計算条件について

嶮淵川を対象にアイスジャム現象の再現計算を行った。再現計算には iRIC 搭載ソルバーである CERI1D を用いた。CERI1D は河川水の流れ、氷板の流れ、氷板の形成融解、氷板の破壊、アイスジャム発生条件に関する計算式で構成されている。河氷は大別すると硬い氷板とその下に存在する柔らかい晶氷に分けられるが、CERI1D では、固定された硬い氷板と流下する河氷 (破壊された氷板を含む) に区分している。なお、気温低下および降雪による晶氷の発生、晶氷の氷化および融解、河道内の橋

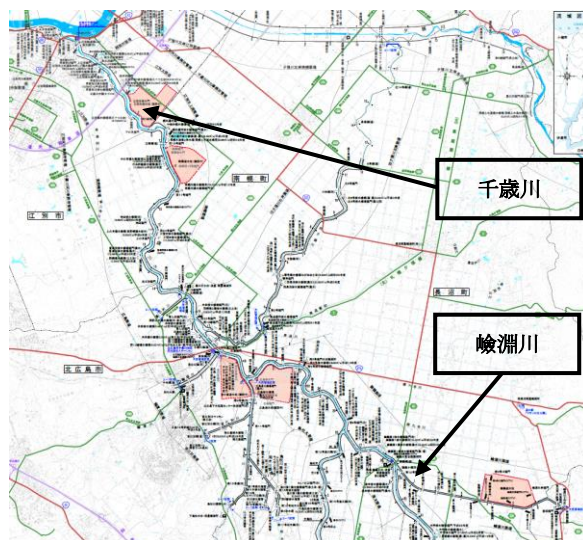


図-1 (a) 嶮淵川の位置 (遠景)

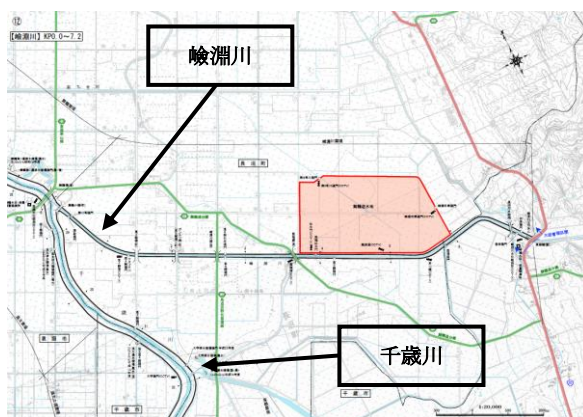


図-1 (b) 嶮淵川の位置 (近景)

脚は考慮していない²⁾。

本計算において、下流端での境界条件は舞鶴水位・流量観測所における水位を用いた。上流端での境界条件は嶮淵水位・流量観測所における水位を HQ 式を用いて流量に換算したものをを用いた (図-2)。計算領域は KP 0.2 から KP 11.2 とした。このうち直轄区間である KP 0.2 から KP 7.2 までの河道横断データは、千歳川河川事務所が 2015 年 11 月に計測したデータを用いた。KP 7.2 より上流の範囲は、横断データがないこと、現地調査時点であ

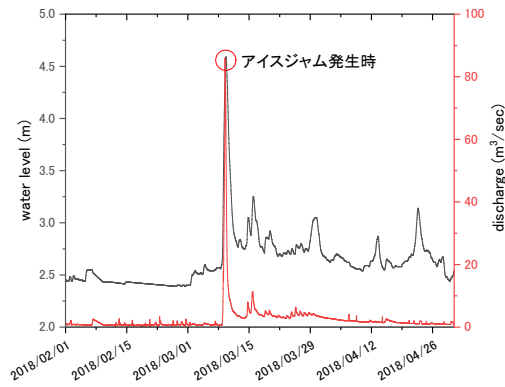


図-2 計算期間における流量と水位

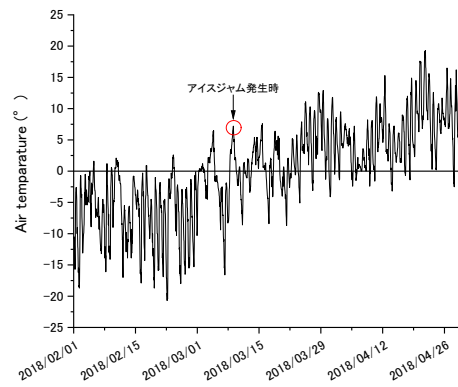
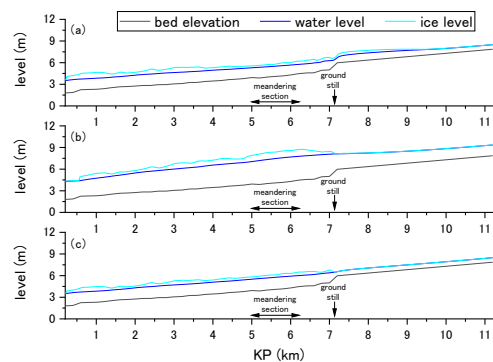


図-3 計算期間における千歳市の気温

写真-1 高水敷に打ち上がっていた河水
(2018年3月12日 12:30頃撮影)図-4 河床高、水位、河氷高の縦断面図
(a) アイスジャム発生前
(b) アイスジャム発生時
(c) アイスジャム発生後

アイスジャムが生じていなかったと判断したこと、河道形状からもアイスジャムが生じにくいと考えられることから、KP 7.2 の断面を一樣に与えるとともに、河床勾配は KP 0.2 から KP 7.2 における平均勾配とした。これにより計算領域の上流端を擬似的に河川の源頭部と見なして、上流端での河水供給量を $0 \text{ m}^3/\text{sec}$ として計算している。なお、橋脚や樋門といった河川構造物の影響は考慮していない。下流端での河氷面積は計測データが無いため、現地調査結果(写真-1)を参考に河氷面積 $h_i = 0 \text{ m}^2$ 、 4 m^2 、 9 m^2 と設定した3ケースを事前に計算し検討した。その結果、河氷面積によらず縦断的な河氷厚は同値であることが分かった。これは河氷の形成融解は主に気温と水温との熱交換によって決定し、ある定常状態に収束したためと考えられる。よって、以降は千歳川との合流部では結氷していなかったものとし、下流端での河氷面積 $h_i = 0 \text{ m}^2$ と設定した。計算期間は結氷が生じていると考えられる2018年2月1日からアイスジャム現象が収束し解氷しつつある2018年4月30日までの3か月間とした。計算期間における千歳市の気温(気象庁より取得)を図-3に示す。図-3より、アイスジャムの生じた3月9日(図-3赤丸)において急激な気温の上昇があったことがわかる。

(2) 再現計算の結果と考察

アイスジャム発生前における河床高、水位、河氷高の縦断面図を示す(図-4(a))。アイスジャムが3月9日に発生したことを踏まえ、ここではアイスジャム発生前として3月7日での値を用いた。流量はおよそ $1.00 \text{ m}^3/\text{sec}$ 前後で推移しており、定常状態にあったといえる。図-4(a)から嶮淵川二号床止の設置されている KP 7.132 地点よりもその下流部のほうが河氷厚が大きいことがわかる。これは流れが滞留する床止の地点で河水が形成されたのち、流下する過程で河氷厚が増加したためと考えられる。平面図を見ると流れや河氷は低水路内にあり、また、顕著な水位上昇も見られないことからアイスジャムはまだ発生していないと判断した。

アイスジャム発生時における河床高、水位、河氷高の縦断面図を示す(図-4(b))。ここではアイスジャム発生時を実際にアイスジャムが発生した3月9日と定義する(図-2)。ピーク流量はHQ式からおよそ $85.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ と見込まれている。また、高水位は長くは続かず一時期的なものであった。と同時に3月8日から気温が上昇しはじめ、氷点下から最高で 7.2°C (3月9日 04:00) まで上昇した。したがって河氷が融解、破壊されるとともに

赤線：計画時の河岸



図-5 嶮淵川 KP 6.88 (長沼用水路橋)
より下流の狭窄部
(2018年3月15日撮影)

流下したものと考えられる。図-4 (b) から嶮淵川二号床止の設置されている KP 7.132 地点より上流では河氷厚が 0 m となっており、出水によって河氷が下流へフラッシュされたことを示している。KP 7.132 地点を境に下流側では河氷厚が増加し、蛇行部 KP 5.0～KP 6.22 で最大となっている。このことから、フラッシュされた河氷が蛇行部で閉塞しアイスジャムが生じていることが示唆される。この時、平面図を見ると流れや河氷は高水敷まで上昇していることから、減水する過程で河氷が高水敷に打ちあがったと推察される。

アイスジャム発生後における河床高、水位、河氷高の縦断面図を示す (図-4 (c))。ここではアイスジャムが収束し解氷が始まりつつある4月30日での値を用いた。流量はおよそ $1.00 \text{ m}^3 / \text{sec}$ 前後で推移しており、定常状態にあったといえる。図-4 (c) から嶮淵川二号床止より上流では河氷が形成されていないことがわかる。これは上流端において河氷の供給がないことに加え、気温が上昇しつつあるためと考えられる。一方で嶮淵川二号床止より下流では薄氷が張っている状況であり解氷には至っていない。このことから、床止によって流れが滞留している地点から河氷が形成されて下流側へ供給されていることが示唆される。

(3) 植生による河道狭窄の影響

ドローンを用いた空中からの動画撮影より、KP 6.6～KP 7.0 の低水路において植生が繁茂しているため川幅が狭まっていることが確認できた (図-5)。川幅が狭いと河氷が集積・閉塞しやすいためアイスジャムはより起こりやすくなる。そこでこの区間において低水路幅を半分にしたケースを計算し河道狭窄が河氷の形成融解やアイスジャムに与える影響を考察する。

図-6 に河道狭窄の影響を考慮したアイスジャム発生前、アイスジャム発生時、アイスジャム発生後それぞれの河氷高、水位、河床高の縦断面図を示す。また、図-7 にアイスジャム発生前、アイスジャム発生時、アイスジャム発生後それぞれの氷厚の縦断面図を示す。なお、アイスジャム発生前、アイスジャム発生時、アイスジャム発生

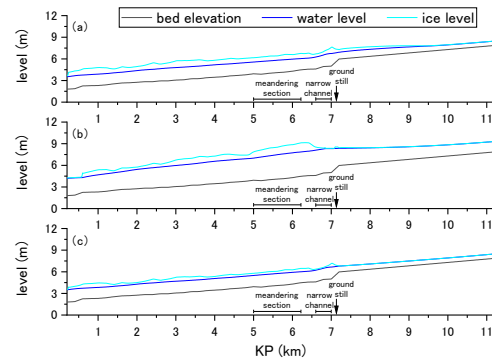


図-6 河床高、水位、河氷高の縦断面図
(植生による河道掘削の影響を考慮)
(a) アイスジャム発生前
(b) アイスジャム発生時
(c) アイスジャム発生後

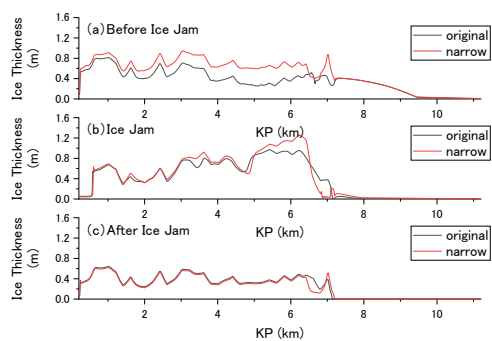


図-7 氷厚の縦断面図
(a) アイスジャム発生前
(b) アイスジャム発生時
(c) アイスジャム発生後

生後の定義は2. (2) 再現計算の結果と考察と同様である。

アイスジャム発生前における河道狭窄の影響を考察する。図-6 (a), 7 (a) より床止の直下流 KP 7.02 で河氷厚が大きくなっていることがわかる。これは床止の地点 KP 7.132 で形成された河氷が、狭窄部の入り口 KP 7.0 で閉塞し1つ上流側の断面で堆積したためと考えられる。狭窄部の KP 6.6～KP 7.0 では河氷の形成や堆積は生じていないが、狭窄部の出口 KP 6.6 から下流の領域では河氷厚が大きくなっていることがわかる。これは、計算モデルの観点から考察すると、狭窄部の出口において川幅の増加に伴い相対的に流速が低下し、河氷の形成が進んだためと考えられる。実現象をベースに考察すると、狭窄部の出口で河道断面が急拡し死水域が生じ、そこで河氷が形成と滞留を繰り返しながら河氷厚を増していったためと考えられる。

アイスジャム発生時における河道狭窄の影響を考察する。図-6 (b), 7 (b) より蛇行部 KP 5.0～KP 6.22 で河氷厚が大きくなっていることがわかる。一方でアイスジ

ヤム発生前において河氷が発達していた KP 7.02 など床止周辺で河氷厚が低下している。したがって河道狭窄の影響でより大きく形成された河氷が出水時にフラッシュされ蛇行部で閉塞したことが推察される。と同時に狭窄部ではアイスジャムが生じなかったことが分かる。蛇行部より下流側では川幅の小さい地点で多少河氷厚が増加しているものの、顕著に変化してはおらず、河道狭窄の影響は蛇行部での河氷厚の増加とアイスジャムの規模の拡大が主といえる。

アイスジャム発生後における河道狭窄の影響を考察する。図-6 (c) , 7 (c) より狭窄部の KP 6.6~KP 7.0 を除いて河氷厚はほぼ同値であった。これは融雪期において河氷が融解し始めており、広域スケールで捉えたと河道狭窄の影響が小さいと考えられる。一方で狭窄部は流速が速く河氷の形成が促進されにくいため、狭窄部にのみ影響が生じていることがわかる。

3. 結論

嶮淵川を対象に河氷変動計算モデルを用いて河氷の形成からアイスジャム現象の発生そして収束までを考察した。また河道狭窄がアイスジャムに与える影響を河氷変動計算モデルにおいて再現し検討した。以下に主要な結論を示す。

- ・ 気温の上昇と流量の増加が同時に起きたことでアイスジャムが生じた
- ・ 下流端での河氷面積は嶮淵川での河氷の形成融解にはほぼ寄与しないと考えられる
- ・ 床止の直下流は流速が低下し流れが滞留するので、河氷が形成されやすい
- ・ 蛇行部は河氷が閉塞しやすくアイスジャムを引き起こす地形的な原因となりうる
- ・ 狭窄部の出口は死水域となるため河氷が形成されやすい
- ・ 嶮淵川においては狭窄部の影響でアイスジャムが発生したとは考えにくい

参考文献

1) 横山洋, 吉川泰弘, 伊波友生, 前田俊一, 矢部浩規:2018 年 3 月北海道アイスジャム洪水による被害の現

象解明と今後の課題, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.5, I_1039-I_1044, 2018.

2) CERIID ソルバーマニュアル

[<http://i-ric.org/ja/download/get/mTmjY5>] (最終検索日 : 2018 年 12 月 6 日)

3) Bray,D. : Estimating Average Velocity In Gravel-Bed Rivers, Journal of the Hydraulics Division, Vol.105, No.HY9, pp.1103-1122, 1979.

4) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 河川結氷時の観測流量影響要因と新たな流量推定手法, 土木学会, 水工学論文集, 第 54 巻, pp.1075-1080, 2010.

5) Shen,H.T., Shen,H., Tsai,S.M. : Dynamic transport of river ice, Journal of Hydraulic Research 28, pp.659-671, 1990.

6) 吉川泰弘, 渡邊康玄 : 渚滑川と湧別川における晶氷の氷化を考慮した氷厚変動計算の一考察, 寒地土木研究所月報, No.668, 2009.

7) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 河川結氷時の 1 次元水温計算に関する一考察, 土木学会, 年次学術講演会講演概要集, 第 65 回, 2010.

8) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 結氷河川における実用的な氷板厚計算式の開発, 土木学会, 年次学術講演会講演概要集, 第 64 回, 2009.

9) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博 : 結氷河川における河氷形成と河道特性の関係に関する考察, 寒地技術シンポジウム, 第 25 回, pp.190-195, 2009.

10) 久保義光 : 氷工学序説, 氷工学刊行会, pp.40, 1980.

11) 構造力学公式集 : 土木学会, 構造工学委員会, pp.127-149, pp.180-184, 1986.

12) 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, 21-34, 2012.

13) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸 : 河川解氷時の河氷の破壊と流下に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.67, No.4, I_1075-I_1080, 2011.

14) Liu L, Li H and Shen H. T. (2006). A Two-Dimensional Comprehensive River Ice Model, *Proceedings of the 18th IAHR International Symposium on Ice*.

15) Yoshikawa Y., Kuroda Y., Abe T., Toyabe T., Park H. and Oshima K. (2016). Study on the ice-jam occurrence based on hydraulic experimentation, *Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice*.