

嶮淵川におけるアイスジャムと 河道狭窄の影響に関して

INFLUENCE OF ICE JAM AND RIVER NARROWING IN KENUFUCHI RIVER

伊波友生¹・横山洋²・吉川泰弘³・矢部浩規²・前田俊一¹・鳥谷部寿人⁴
Yu INAMI, Hiroshi YOKOYAMA, Yasuhiro YOSHIKAWA,
Shun-ichi MAEDA and Toshihito TOYABE

¹正会員 工修 国立研究開発法人 土木研究所寒地土木研究所
(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

²正会員 工博 国立研究開発法人 土木研究所寒地土木研究所
(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

³正会員 工博 北見工業大学 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

⁴非会員 北海道開発局千歳川河川事務所 (〒066-0026 北海道千歳市住吉1丁目1-1)

On 9th March, 2018, due to unusual rainfall and temperature rise, ice jam occurred in the Kenufuchi River which has never been seen before. In the future, it is foreseen that water disaster will become more frequent with climate change, and rivers where ice jam occurs in Hokkaido will increase. However, ice jam has few observation cases, and its mechanism is not sufficiently elucidated. In order to clarify the occurrence factors of ice jam for the Kenufuchi River, the authors conducted a calculation of river ice variation. As a result, it was found that ice jam occurred due to increase in temperature and increase in discharge. Furthermore, river ice is easily formed because the flow velocity decreases in floor stop installed in the KP 7.1, and ice jam occurs meandering section. In consideration of the influence of river narrowing, it was found that river ice was formed thicker and the scale of ice jam increased.

Key Words : Ice jam, Ice-covered river, Numerical simulation

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、河水 (river ice) の流下が生じる。このとき、河水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、水位の上昇を引き起こすケースがある。また、河水が堤防へ衝突し損傷を引き起こし、河水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。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。

嶮淵川は石狩川水系千歳川のおよそKP 28.6において合流する支流の1つである (図-1)。平時における水

面幅は10 m程度の小さな川である。直轄区間のKP 0.2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、2018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が発生したり。今後の長期的な気候変動の影響を踏まえると、水災害が激甚化・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可能性がある。

寒地土木研究所では、2018年3月9日の全道的なアイスジャムの発生に際し緊急の現地調査を実施した。河水サイズ測定やUAVを用いた動画撮影を行うことで各河川のアイスジャム発生後の状況を把握するとともにアイスジャム発生メカニズムを考察している。本論文はその現地調査内容を報告するとともに、河水変動計算を用いてアイスジャムを再現することで、その発生機構について考察するものである。



図-1 嶮淵川の位置（地理院地図より作成）

2. 現地調査の概要

2018年3月12日に行った現地調査の内容を示すとともに、嶮淵川で発生したアイスジャムの要因と課題を示す。

(1) アイスジャム発生時の概要

2018年3月8日から9日にかけて温帯低気圧が北海道に発達しながら接近し、季節外れの降雨と気温の上昇をもたらした。降雨による河川流量の増加や気温の上昇による解氷はアイスジャムの直接の要因となり得る。流量のピークは9日13時のおよそ $85 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、平水時流量の $1 \text{ m}^3/\text{s}$ に対してきわめて大きな出水があったことが分かる（図-2）。嶮淵川を管理する千歳川河川事務所によれば、9日13時に湾曲部KP 5.0～KP 6.2において河氷が詰まっている様子を確認しており、出水時にアイスジャムが発生していたことが推察される。

(2) 現地調査の結果と考察

現地調査はアイスジャム発生の日である3月12日に行った。調査範囲は高水敷に河氷の存在を確認できたKP 6.8からKP 7.2である。現地調査を行った12日の時点で、嶮淵川の高水敷には長辺が最大で3.0 m、厚さが0.1 m～0.5 mの河氷が何層にも重なり合っており、アイスジャム発生時にはこれよりも大きな河氷が流下していたことがわかる（写真-1, 2, 3）。

登坂樋門（KP 7.0, 左岸）と松原樋門（KP 7.0, 右岸）の取水口のそばに河氷が進入していたが、取水障害や河氷の衝突による樋門の損傷は見受けられなかった。嶮淵川は川幅が狭くひとたびアイスジャムが生じれば川幅いっぱいには河氷が流下するため、潜在的なアイスジャムの発生リスクは高いと考えられる。なお、これらより下流に位置する樋門に関しては未調査である。

3. アイスジャムの再現計算



写真-1 高水敷に打ち上がっていた河氷（全景）
（2018年3月12日 12:30頃撮影）



写真-2 高水敷に打ち上がっていた河氷（平面写真）
（2018年3月12日 12:30頃撮影）

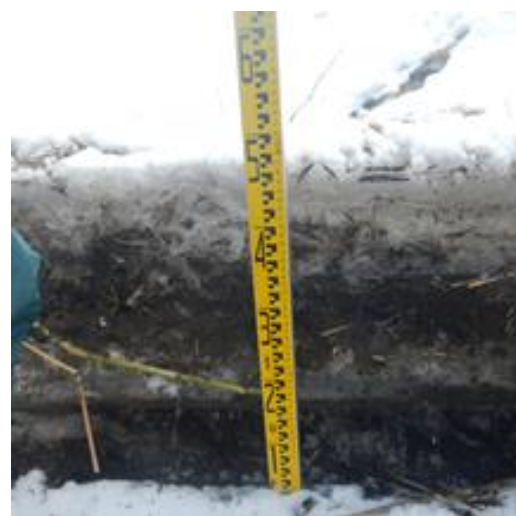


写真-3 高水敷に打ち上がっていた河氷（断面写真）
（2018年3月12日 12:30頃撮影）

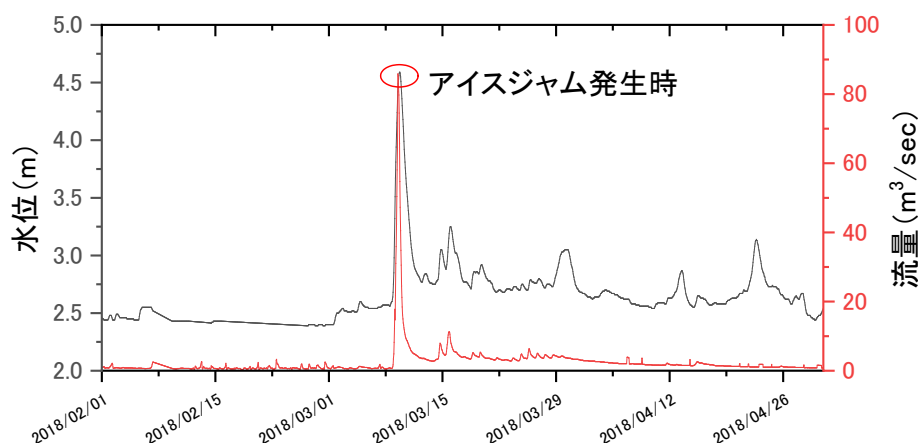


図-2 計算期間における嶮淵川の水位と流量

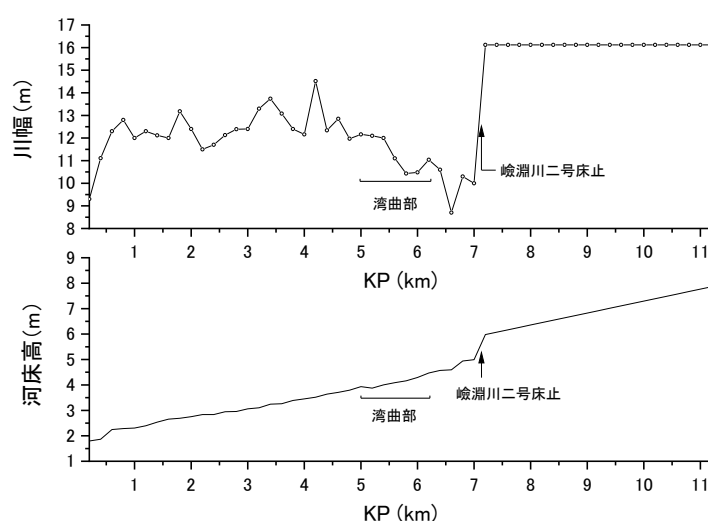


図-3 嶮淵川の平水時における川幅と河床高

現地調査によって実際に流下した河水のサイズやアイスジャムが生じた範囲の概要が把握できた。しかし、調査は嶮淵川の一部にとどまり、河水の供給源である上流区間や嶮淵川全域における河水流下状況、他のアイスジャム発生地点などは把握できていない。そこで、上流からの河水供給の影響や嶮淵川での時空間的な河水流下状況を把握する目的で、iRIC搭載の1次元不定流ソルバーであるCERI1D²⁾を用いて流況と河水の形成融解の再現計算を実施した。

本計算モデルは、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。河水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、本計算モデルでは、固定された硬い氷板と流下する河水（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、晶氷の水化および融解、河道内の橋脚は考慮していない。

(1) 境界条件

本研究において、下流端での境界条件は舞鶴水位・流量観測所（千歳川KP 28.5、図-1）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（嶮淵川KP 7.2、図-1）における水位をHQ式を用いて流量に換算したものを用いた（図-2）。計算領域はKP 0.2からKP 11.2とした（図-3）。このうち直轄区間であるKP 0.2からKP 7.2までの河川横断データは、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、管轄する事務所の報告から現地調査時点で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 $0 \text{ m}^3/\text{s}$

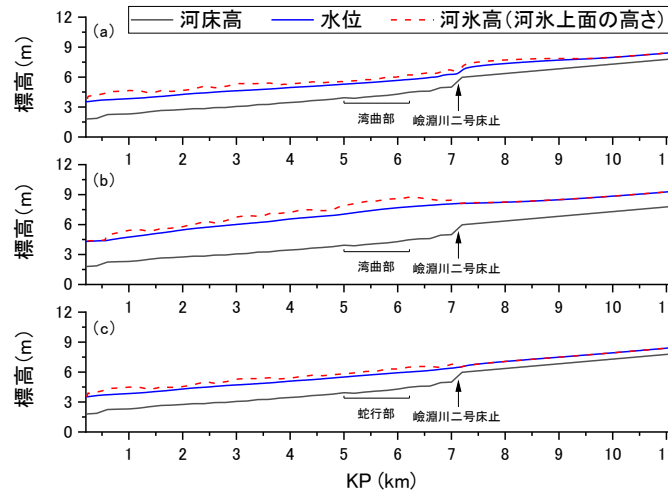


図-4 河床高，水位，河水高の縦断面図

(a) アイスジャム発生前（3月7日），(b) アイスジャム発生時（3月9日），(c) アイスジャム発生後（4月30日）

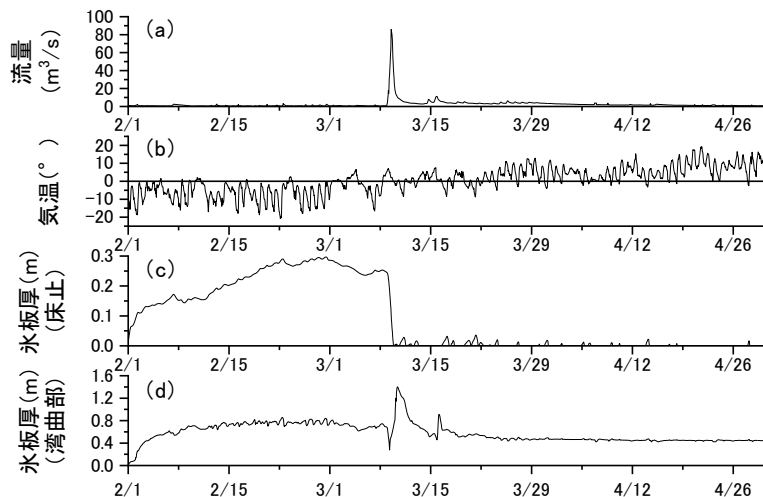


図-5 流量，気温，氷板厚の時系列変化

(a) 流量，(b) 気温（AMEDAS 恵庭島松）

(c) 床止上流（KP 8.6）での氷板厚，(d) 湾曲部（KP 6.22）での氷板厚

として計算している。下流端での河氷面積は北海道開発局が設置しているCCTV動画より千歳川合流点が結氷していないことを確認し、 $h_i = 0 \text{ m}^2$ 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。

(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，河水高の縦断面図を示す（図-4 (a)）。ここで河水高とは水面に浮かぶ河氷上面の高さを指す。アイスジャム発生前の時点における河氷の形成状況を把握するため、3月7日での値を用いた。図-4 (a) から峻淵川二号床止の設置され

ているKP 7.1地点より下流部において顕著に河氷が形成されていることがわかる。流量は $1 \text{ m}^3/\text{s}$ と少なく（図-5 (a)），気温は 0°C を概ね下回っている（図-5 (b)）。図-5 (c)，(d) より、この期間に河氷が時々刻々と形成されたことが分かる。

アイスジャム発生時における河床高，水位，河水高の縦断面図を示す（図-4 (b)）。3月12日 12:30 KP 7.0での氷板厚は 0.32 m と計算されており、実測値が $0.1 \text{ m} \sim 0.5 \text{ m}$ であることから計算結果は良好であると考えられる。図-4 (b) から床止より上流側で氷板厚が減少するとともに、一方で下流側の特に湾曲部において氷板厚が増加していることが分かる。図-5 (a) よりピーク流量はHQ式からおおよそ $85 \text{ m}^3/\text{s}$ と見込まれる。気温は 0°C を上回る

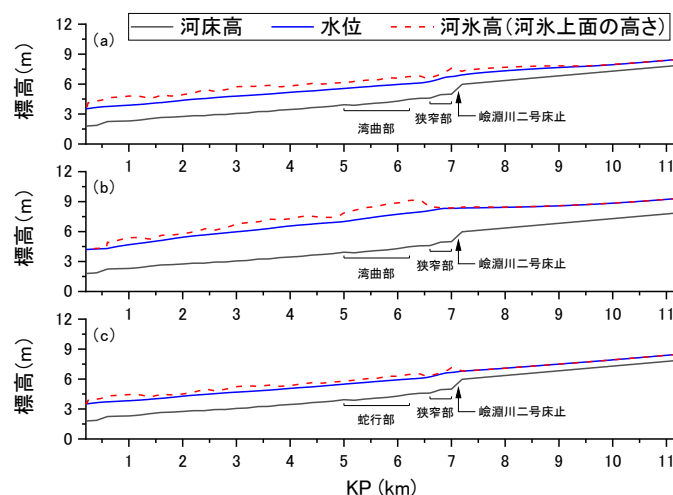


図-6 河床高、水位、河水高の縦断面図（河道狭窄の影響を考慮）

(a) アイスジャム発生前（3月7日）、(b) アイスジャム発生時（3月9日）、(c) アイスジャム発生後（4月30日）

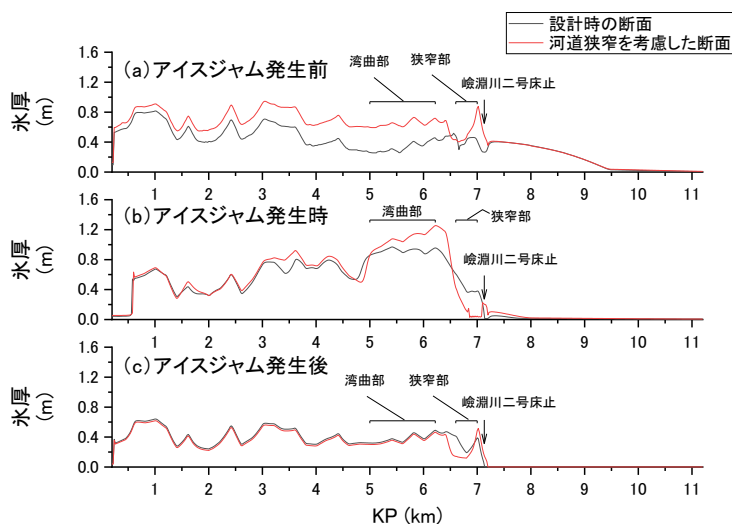


図-7 氷板厚の縦断面図

(a) アイスジャム発生前（3月7日）、(b) アイスジャム発生時（3月9日）、(c) アイスジャム発生後（4月30日）

日もあり（図-5 (b)）河水の融解が進みつつあることが分かる。図-5 (c) より、床止の上流側では氷板厚が減少したことが分かる。これは、気温の上昇による河水の融解と流量の増加による流下のためと考えられる。一方で図-5 (d) より、湾曲部においては氷板厚が増加している。したがって、フラッシュされた河水が湾曲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。

アイスジャム発生後における河床高、水位、河水高の縦断面図を示す（図-4 (c)）。図-4 (c) より床止より下流において薄氷が張っていることが分かる。流量は $1 \text{ m}^3/\text{s}$ と少なく（図-5 (a)）、気温は 0°C を上回っている（図-5 (b)）が河水は融解しきっていない。図-4 (c) より嶮淵川二号床止より上流では河水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水の供給がな

いことに加え、気温が上昇しつつあるためと考えられる。一方で図-5 (d) より、床止の下流側では前述の通り薄氷が張っている。これはアイスジャム発生時に生じた河水が残存しているためと考えられる。

(3) 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半分程度に狭まっていることが確認できた。アイスジャム発生の際点においては、川幅が狭いと河水が集積・閉塞しやすいため一般的にアイスジャムはより起こりやすくなる。一方で河水形成の際点では、川幅が狭いと流速が増加するため一般的に河水は形成されにくい。こうした相互の作用を勘案し、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水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床高、水位、河水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板厚の縦断面図を示す。

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) より主に床止の下流側で河水が形成されたことが分かる。これは河道狭窄の影響を考慮していないケースと同様の傾向である。図-7 (a) より狭窄部のKP 6.6～KP 7.0では河水の形成や堆積は顕著には生じていないが、狭窄部の出口KP 6.6から下流の領域では氷板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、河水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大し死水域が生じ、そこで河水が形成と滞留を繰り返しながら氷板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) より河道狭窄の影響を考慮していないケースと同様に湾曲部において氷板厚が増加し最大になっていることが分かる。図-7 (b) より湾曲部KP 5.0～KP 6.22において河道狭窄の影響を考慮していないケースより氷板厚が大きくなっていることがわかる。したがって河道狭窄の影響でより大きく形成された河水が出水時にフラッシュされ湾曲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。

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を除いて氷板厚はほぼ同値であった。一方で狭窄部は流速が速く河水の形成が促進されにくいいため、狭窄部のみ氷板厚が小さくなっていることがわかる。

4. 結論

嶮淵川を対象に現地調査と河水変動計算モデルを用いて河水の形成からアイスジャム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水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。

- ・ 嶮淵川においては、主に床止の下流側で河水が形成され気温上昇時・流量増加時にそれらがフラッシュされることが分かった。フラッシュされた河水は床止より下流側にある湾曲部で詰まり、アイスジャムが生じた。この河水の形成からアイスジャム発生までのプロセスは河道狭窄に影響を考慮していないケース、考慮したケースともに同様であった。
- ・ 河道狭窄部KP 6.6～KP 7.0ではアイスジャムは生じなかった。一方で狭窄部では河水が形成されるため、アイスジャムの規模を大きくする要因となることが分かった。

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), Vol74, No5, I_1039-I_1044, 2018.
- 2) CER1D solver manual [<http://i-ric.org/ja/download/get/mTmjY5>] (最終確認日 : 2019年3月14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水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.

(2019. 4. 2受付)