

2018年3月北海道アイスジャム洪水における危険箇所の抽出に関する検討

Extraction of the risk place at the March 2018 ice jam flood in Hokkaido

北見工業大学 ○学生員 小池太郎 (Taro Koike)
 北見工業大学 正員 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
 寒地土木研究所 正員 横山洋 (Hiroshi Yokoyama)

1. はじめに

寒冷地河川では、解氷した河水が下流へと流れ河道内で閉鎖することによりアイスジャムが発生し、水位が急激に上昇し、災害が発生する。アイスジャムによる災害は気温が零下となる諸外国でも発生しており、北海道でもアイスジャムによる急激な水位の上昇やアイスジャムの決壊などによる人的被害が報告されている。

過去には、琴似発寒川において作業員やショベルドーザーが流される事故が発生¹⁾している。1994年2月22日午前9時45分ごろ、河道内でショベルドーザーを使って魚道工事をしていた作業員が急激な増水によってショベルドーザーごと流される事故が発生した。ショベルドーザーは約600m下流に流され、作業員は工事現場の下流約2kmにて遺体で発見されている。事故前日の21日から22日にかけて台風なみに発達した低気圧が日本列島を北上し、北海道に2月としては大量の雨が降った。現地調査の結果、工事現場上流の橋付近でアイスジャムが発生し、流下する水や雪氷をせき止め、その後、決壊した可能性が高いことが報告されている。

2018年3月8日～9日にかけて北海道全域で、温帯低気圧が発達しながら接近し、降雨と気温の上昇をもたらした。道内においてアイスジャムが発生^{2),3)}した。道内では3月としては異例の大雪に見舞われていた。その直後の大雨と暖気の影響による雪解けにより川の水位が急激に上昇し、道内各地でアイスジャム被害が多く発生した。美瑛町では3月9日、辺別川にかかる九線橋から約160m上流にて、アイスジャムが発生し、決壊による死亡事故⁴⁾が起きている。護岸工事をしていた男性が川の上流から雨とともに流れてきた大きな雪の塊に巻き込まれ死亡した。現場は長さ約60m、深さ約2mにわたってシャーベット状の雪や氷塊におおわれ、男性は雪に埋もれた状態で見つかった。現場に居合わせた方によると「気づいたら雪に覆われていた」と話すほどの速さであった。

また、各地で住宅の浸水被害や道路冠水が相次いだ。富良野市では3月9日、布礼別川に雨水や雪解け水が流れ込み、下流に運ばれた河水が橋桁に堆積し、水の流れを妨げ、午前10時頃に氾濫した。周辺地区の南扇山では床下浸水1件が報告⁵⁾された。日高町では3月9日、沙流川にて増水によりアイスジャムが発生し取水堰付近で作業していた作業員の車が流される事故が発生⁶⁾した。

これらの事故を受け現場の方々にアンケート調査を実施した結果、「各河川でのアイスジャム現象の発生個所が判明できるのであれば明示等をお願いしたい」「河水の流下・破壊と堆積(アイスジャム)を把握できるソフト

が利用できたらよい」などの意見を聞くことができた。アイスジャム現象は、発生時期、場所等に関する知見が明らかになっていないことから、現場では事前にアイスジャム発生を予測できなかったことが課題である。

本研究では、川幅、勾配、流量、水位の簡易データを用いて、事前にアイスジャム発生危険箇所を抽出することを目的に、2018年3月に発生したアイスジャムを対象に、既往研究⁷⁾で提案されているアイスジャムスケール S_{ij} を用いて、アイスジャム発生危険箇所の抽出を試みた。なお、 S_{ij} は、任意の河川においてアイスジャムの発生場所を少ない情報量で把握できるため、現場において早急に適応できると考えている。

2. アイスジャム発生危険箇所の抽出

アイスジャムによる被害を防ぐための一つの方法として、事前にアイスジャム発生危険箇所を把握した上で、気象データを注視しながら現場状況を監視する方法が考えられる。2018年3月で発生したアイスジャムを対象に、次式のアイスジャムの規模を表す値 S_{ij} ：アイスジャムスケール⁸⁾を算出し、アイスジャム発生危険箇所に関する検討を行った。

$$S_{ij} = \frac{1}{F_{ri} \sqrt{\frac{B_d}{B_i}} \sqrt{\frac{C_D}{2} \left(\frac{H_i}{L_i}\right)^2 + C_f \left(\frac{H_i}{L_i}\right) + \frac{C_L}{2}}} \quad (1)$$

$$F_{ri} = \frac{U_i}{\sqrt{\frac{\rho_w - \rho_i}{\rho_w} g H_i}}$$

S_{ij} は、値が大きいほどアイスジャムの規模が大きくなることを示す値であり、この値が大きいほどアイスジャムが発生しやすい。ここで、 U_i (m/s)：氷塊の速度、 ρ_w (kg/m³)：水の密度で1000、 ρ_i (kg/m³)：氷の密度で917、 g (m/s²)：重力加速度で9.8、 H_i (m)：氷塊の厚さ、 B_i (m)：氷塊の幅、 L_i (m)：氷塊の河川縦断方向の長さ、 B_d (m)：下流の川幅である。既往研究⁸⁾と同様に、 C_D ：形状抵抗係数は0.4を与え、 C_f ：摩擦抵抗係数は1.0を与え、 C_L ：揚力係数は0.4を与えた。なお、 H_i が大きき U_i が小さいほど、 S_{ij} は大きくなりアイスジャム規模は大きくなる。

本検討では、以下の手順で値を得た。上流端で流量を与え、下流端で水位を与えて、不定流計算を行い、各断面の流速 U_w と水深 H_w を算出した。氷塊の速度 U_i は最大で流速 U_w になるため $U_i = U_w$ とし、氷塊の厚さ H_i は、水

深が深いほど氷塊は堆積できる可能性が高いため、算出した水深を堆積可能な氷塊の厚さと仮定して $H_i = H_w$ とした。 B_i は、最大で川幅になるため、この断面 (B_d の一つ上流の断面) の川幅を与えた。 L_i は、任意に 10m を与えた。

3. アイスジャムスケールの現地への適応

アイスジャムスケールを実河川に適用し、アイスジャムスケールの値と実際にアイスジャムが発生した場所の関係について検討を行った。実河川における川幅と勾配は、早急な情報を求める現場を想定し、簡易に誰でも利用できる Google Earth を用いて河川データを収集した。

対象とする実河川は、2018年3月8日～9日にかけてアイスジャムが発生した辺別川、布礼別川、沙流川の3つの河川とした。図-1 に示す辺別川では、2014年6月24日衛星データを用いて、辺別川の九線橋から下流0.5km、九線橋から上流1.5kmを対象に河床高と川幅を読み取った。図-2 に示す布礼別川では、2014年6月25日衛星データを用いて、布礼別川の扇山橋から下流0.74km、扇山橋から上流1.79kmを対象に河床高と川幅を読み取った。図-3 に示す沙流川では、2014年7月29日衛星データを用いて、沙流川の日高発電所取水堰から上流2.24kmを対象に河床高と川幅を読み取った。

河床高と川幅は、AutoCAD を用いて計測した。その方法を記す。川幅の計測は、まず、AutoCAD 上の長さの基準を示すため、Google Earth 上で測りたい河川の近くに任意の直線を引く。その際に引いた直線の長さを明らかにしておく。垂直上空から見た測定したい河川の範囲と、その任意の線が一枚に収まる画像を保存する。AutoCAD での作業の際、写真を拡大することを考慮して解像度は最大とする。AutoCAD に保存した画像データをペーパーで任意の場所にアタッチする。スプライン制御点を用いて、写真の河川の中心に点を打ちながら河川の中央を通る縦断線を引く。Google Earth 上で引いた直線を計測し、AutoCAD 上の長さを把握する。Google Earth 上と AutoCAD 上での直線の表示される長さの比を出し作業の基準にする。縦断線を任意の距離で分割するため、AutoCAD の機能 MEASURE を用い、比より算出した距離ごとに縦断線に点を打つ。その点から河川の岸まで直線を引いたものを横断線とする。各横断線の距離を測り、比を利用して実河川の川幅を算出する。図-4 に作業時の画面を示す。次に、勾配の計測は、Google Earth でマウスマウスカーソルを合わせて表示される標高を用いて計測した。Google Earth で河川の川幅の中央で任意の場所を選び、その点を高さ 0m の基準点とする。河川の中央に沿ってカーソルを移動させ、1m ごとに標高が変わるため、変化点を記録してゆく。その際に川幅を計測した AutoCAD のデータも参考にするとよい。標高の変化量 1m 間の勾配の変化量は等しいものとし、各点の勾配の変化量を求めた。

事故発生後、アイスジャム現象に関する現地調査を実施した。調査内容は、各河川のアイスジャムが発生したと想定される地点を中心に、前後約 2 km において任意



図-1 辺別川(衛星画像 Google Earth:2014年6月24日)



図-2 布礼別(衛星画像 Google Earth:2014年6月25日)



図-3 沙流川(衛星画像 Google Earth:2014年7月29日)



図-4 AutoCAD で長さを読むために線を引いた画面 (Google Earth 参照)

の場所を数か所抽出し、痕跡水位の測定、河水を大中小3つの大きさに分類し、それぞれ2つ以上抽出して、長径、短径、厚さを測定した。さらに UAV による観測も実施した。各河川において、調査データおよび UAV 画像を基に、アイスジャムが発生した場所を推測した。

(1) 辺別川

辺別川の痕跡水位を図-5 に示す。縦軸は痕跡標高(m)、横軸は九線橋を 0m、上流方向を正とした距離(m)である。河水サイズを図-6,7 に示す。図-6 は縦軸が短径(m)、横軸が長径(m)である。図-7 は縦軸が厚さ(m)、横軸が長径と短径の平均径(m)である。図-5 より、300m 付近で、左右岸の痕跡水位差が最大となっている。図-6,7 より、300m 地点で河水サイズが大きい。現地観測結果から、九線橋より上流の 300m 地点でアイスジャムの影響を受けた可能性がある。

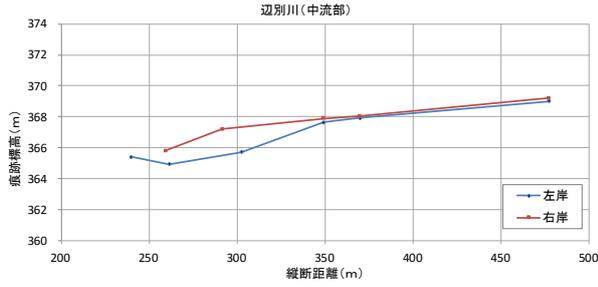


図-5 アイスジャム発生後の痕跡水位 (辺別川)

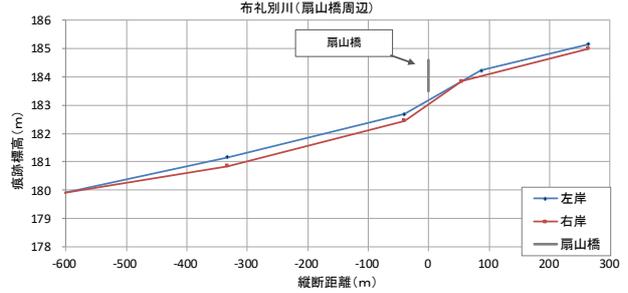


図-10 アイスジャム発生後の痕跡水位 (布礼別川)

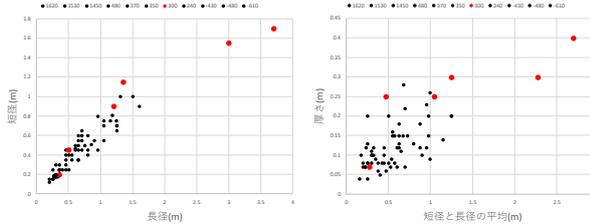


図-6 河水の長径と短径 図-7 河水の厚さと平均径

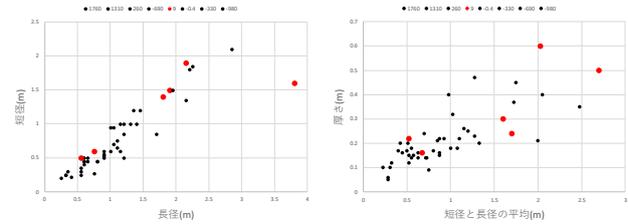


図-11 河水の長径と短径 図-12 河水の厚さと平均径



図-8 河床高と川幅 (辺別川)



図-13 河床高と川幅 (布礼別川)



図-9 アイスジャムスケール S_{ij} (辺別川)

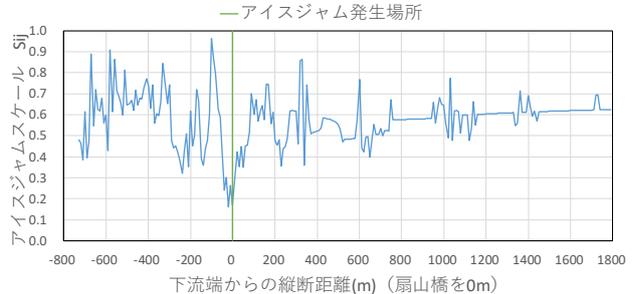


図-14 アイスジャムスケール S_{ij} (布礼別川)

Google Earth より取得した川幅、勾配を図-8 に示す。縦軸は川幅と勾配(m), 横軸は九線橋を 0m, 上流方向を正とした距離(m)である。なお, 事故発生場所を緑色で示している。これらのデータを用いて算出したアイスジャムスケールを図-9 に示す。縦軸は算出した各地点のアイスジャムスケール, 横軸は九線橋を 0m, 上流方向を正とした距離(m)である。なお, 上流端の流量は $19.76\text{m}^3/\text{s}$, 下流端の水深は等流水深 0.59m を与えた。図-9 より, アイスジャムスケールが大きい地点が 2 地点ある。1 つは事故発生場所であり, アイスジャムスケールが大きい地点と一致している。また, 直上流で河床勾配が急になっていることから, 河水が急激に流れてきたことが推察される。もう 1 つは縦断距離 370m であり, この地点は, 川幅が狭くなっている。一方で, 直上流では川幅が広がっているため, 大きな河水が形成され, 解

氷後に流下して堆積したことが推察される。本検討により, アイスジャムスケールを用いてアイスジャム発生危険箇所を抽出することが出来た。

現地調査およびアイスジャムスケールの検討により, 気温上昇に起因して河水が解氷し, 上流から大量の河水が流下し, 事故現場の上流の川幅が狭い地点でアイスジャムが発生し, 一時的に河水が堆積されて, さらに, 水位の上昇により, 堆積した河水が決壊し, 一気に下流の事故現場へと流れたと推察できる。

(2) 布礼別川

辺別川と同様に痕跡水位, 河水サイズ, 河床高と川幅, アイスジャムスケールを図-10,11,12,13,14 に示す。なお, 距離の基準は扇山橋を 0m とし, 上流端の流量は $50\text{m}^3/\text{s}$, 下流端の水深は等流水深 1m を与えた。

図-10 より、水位が上昇している区間は、扇山橋より上流の区間で水位が上昇している。図-11,12 より、扇山橋付近で、河氷サイズが大きい。現地観測結果から、扇山橋付近でアイスジャムが発生した可能性がある。

図-14 より、アイスジャムスケールが大きい地点は、アイスジャム発生場所の扇山橋より下流 100m である。現場状況とアイスジャムスケールが一致しない要因として、実際の現象は扇山橋の橋脚に上流から流れてきた河氷が堆積したことにより、アイスジャムが発生し、水位が上昇し河川が氾濫しており、橋脚の影響が大きかったものと推測される。一方で、本検討では、橋脚の影響を考慮していないため、アイスジャムスケールが小さい値となったと推察できる。なお、扇山橋よりも下流では、川幅が狭く勾配が緩やかなため、アイスジャムスケールは大きくなっており、橋脚の影響以外にも河道的に危険個所であることが推察できる。

(3) 沙流川

辺別川と同様に痕跡水位、河氷サイズ、河床高と川幅、アイスジャムスケールを図-15,16,17 に示す。なお、距離の基準は日高発電所取水堰を 0m とし、上流端の流量は $50\text{m}^3/\text{s}$ 、下流端の水深は等流水深 1m を与えた。

河氷測定は、1116m の 1 地点のみで実施できた。大きいサイズの氷は、長径×短径×厚さでみると、 $2.50\text{m} \times 1.70\text{m} \times 0.25\text{m}$ 、 $1.90\text{m} \times 1.10\text{m} \times 0.30\text{m}$ 。中の氷は、 $1.20\text{m} \times 0.50\text{m} \times 0.30\text{m}$ 、 $0.80\text{m} \times 1.70\text{m} \times 0.25\text{m}$ 。小の氷は $0.50\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.15\text{m}$ 、 $0.50\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.15\text{m}$ 。

図-15 より左右岸の痕跡水位差が発生している区間は 800m から 1150m である。河氷が堆積しており、河氷測定ができた観測地点が 1116m であることから、1116m 付近でアイスジャムが発生した可能性がある。

図-17 より、アイスジャムスケールが大きい地点は 1030m で、次に大きい地点は 660m であり、その下流の 110m~450m の区間でも値が大きい。現地調査によると取水堰より上流の大きな湾曲部に左右岸の痕跡水位差が確認されており、アイスジャムが発生した可能性がある。アイスジャムスケールが大きい 1030m 付近と湾曲部付近で河氷が堆積した後に決壊し、流下した河氷が取水堰に到達した可能性が考えられる。

4. まとめ

現地観測とアイスジャムスケールにより、アイスジャムは砂州、勾配変化点、緩勾配、河川構造物、湾曲部に発生しやすいことが確認された。

辺別川、布礼別川、沙流川を対象にアイスジャムスケールによるアイスジャム発生危険箇所の検証を行った。事故発生箇所、アイスジャム発生箇所、及びその付近や上流においてアイスジャムスケールは大きい値を示した。アイスジャム発生危険箇所を、アイスジャムスケールを用いて抽出することができた。

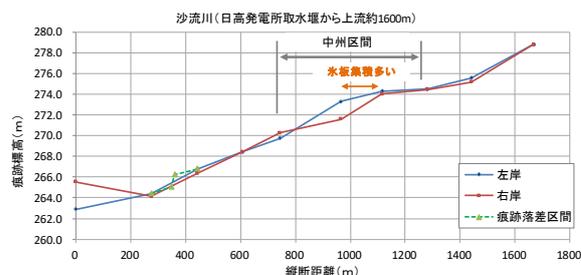


図-15 アイスジャム発生後の痕跡水位 (沙流川)

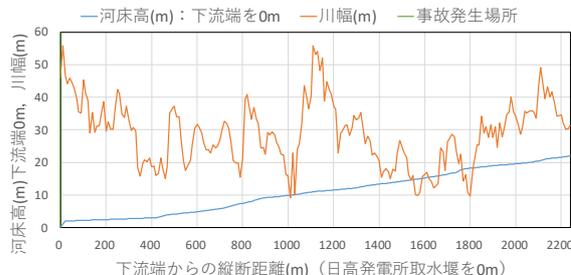


図-16 河床高と川幅 (沙流川)

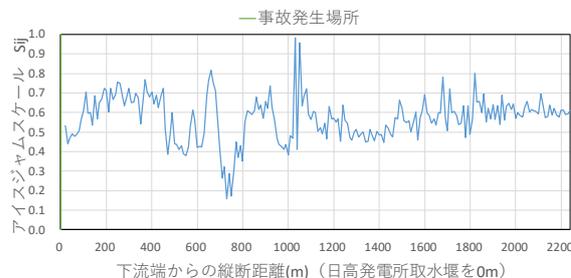


図-17 アイスジャムスケール S_{ii} (沙流川)

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP18K04361, JP17H01870 の助成を受けたものである。関係機関の方には、アイスジャム発生に関する現場情報提供のほか、調査実施時に様々なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 原文宏, 河合孝治, 佐伯浩, 山口甲: 琴似発寒川でのアイスジャム発生による流量の急変, 北海道地区自然災害科学資料センター報告 Vol.12 pp.35-57, 1997.
- 2) 北海道危機対策課: 3月8日から9日にかけての大雨と融雪等による被害状況等(第2報), http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/higaiho2_20180308_ooame.pdf (閲覧日: 2018年5月13日)
- 3) 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, pp.1_1039-I_1044, 2018.
- 4) 北海道新聞 2018年3月10日朝刊
- 5) 北海道新聞 2018年3月9日(電子版)
- 6) 北海道新聞 2018年3月9日夕刊(苫小牧版)
- 7) 吉川泰弘, 朴昊澤, 大島和裕, 横山洋: 寒冷地河川における簡易的なアイスジャム計算モデルに関する検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.1_351-I_356, 2018.