

2010年2月に渚滑川で発生したアイスジャムの現地観測

Field Observation of Shokotsu River Ice-Jam in February 2010

寒地土木研究所 ○正会員 吉川 泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
 北見工業大学 正会員 渡邊 康玄 (Yasuharu Watanabe)
 北見工業大学 正会員 早川 博 (Hiroshi Hayakawa)
 寒地土木研究所 正会員 平井 康幸 (Yasuyuki Hirai)

1. はじめに

寒冷地に位置する河川は、冬期の気温の低下によって河道内に河水が形成される。河道内の河水が流量の増加によって破壊され下流へと流下し、下流の蛇行部や橋脚箇所、狭窄部において滞留する場合には、河道は閉塞され水位の急激な上昇を引き起こすアイスジャムが発生し災害となる。

アイスジャムの対策を講ずるためには、現象を理解した上での検討が必要であり、実現象を理解するためには、現地観測を行うことが望ましい。アイスジャムの現地観測は、滞留している河水がいつ流下するか分からないため、観測自体が非常に危険であり、また、どの場所でアイスジャムが発生するかを事前に予測することは困難である。近年、Beltaosら¹⁾によって、アイスジャムの縦断方向の厚さを連続的に測定することに成功している事例はあるが、今だ現地観測に成功した事例は少ない。

本研究は、2010年2月26日に北海道東部に位置する渚滑川で発生したアイスジャムにおいて、縦断的な水位測定、カメラ撮影、河水面積の観測に成功したので、これらの観測データを基に、アイスジャムに関する現象の解明を試みた。

2. 現地観測

渚滑川において、河口より2.0km地点から19.8km地点の区間を対象に、水位測定、カメラ撮影、アイスジャム発生後の河水面積観測を図-1に示す箇所で実施した。また、河口より2.0km地点から24.6km地点の区間を対象に、河川結氷時の2010年1月19日、2月14日、アイスジャム発生後の3月4日、その約2週間後の3月19日の計4回、実施した。

本観測で用いた水位計 (Mc-1100, 光進電気工業製) の測定値について記述する。河床に設置した水位計は、河床における圧力 P [N/m²] を測定している。測定される圧力 P は、雪、氷板、晶氷、流水による各圧力の合計であるため、静水圧と仮定すると、図-2の記号を用いて式(1)で表わされる。

$$P = \rho_s g H_s + \rho_i g H_i + \rho_f g H_f + \rho_w g H_w \quad (1)$$

一方、浮力 ($\rho_w g d$) と浮体の空気中での重量 ($\rho_s g H_s + \rho_i g H_i + \rho_f g H_f$) は等しいため、喫水 d で整理すると式(2)となる。喫水 d は $d = H - H_w$ であり、式(2)に代入すると式(3)となる。よって、式(1)と式(3)から水

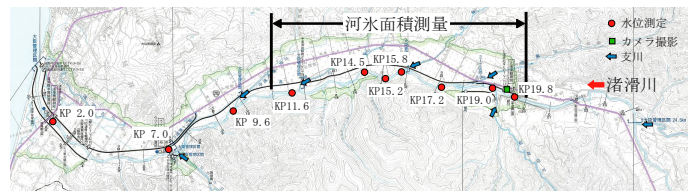


図-1 渚滑川における現地観測 (KP: 河口からの距離 km)

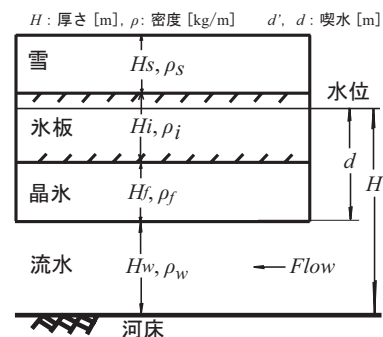


図-2 河川結氷時における鉛直方向の概略図

深 H で整理すると式(4)が導かれる。

$$d = \frac{\rho_s}{\rho_w} H_s + \frac{\rho_i}{\rho_w} H_i + \frac{\rho_f}{\rho_w} H_f \quad (2)$$

$$\rho_w H = \rho_s H_s + \rho_i H_i + \rho_f H_f + \rho_w H_w \quad (3)$$

$$H = \frac{P}{\rho_w g} \quad (4)$$

水位計は圧力 P を測定し、 ρ_w は機器の設定により 1,000kg/m³ で与えられ、重力加速度 g は 9.8m/s² であるため、式(4)より水深 H を算出でき、水位は水深 H と大気圧および河床高から算出できる。

3. アイスジャムの現象に関する検討

2010年2月に発生したアイスジャムについて、現場では河川管理のためのリアルタイム水位において急激な変動があったことにより、その発生が確認された。時系列でみると、河川結氷期間中の2010年2月26日19時40分に、河口から39km地点で10分間で水位が68cm上昇し、その20分後の20時00分にはさらに24cm上昇した。その20分後の20時20分には水位が121cm急激に低下している。この地点の下流の河口から19.3km地点では、同日21時30分に10分間で水位が73cm上昇し水防団待機水位を超過している。その後の2010年3月1日の河口から約16km地点での現地調査では、河水が河道内に滞留して閉塞していることが確認されている。

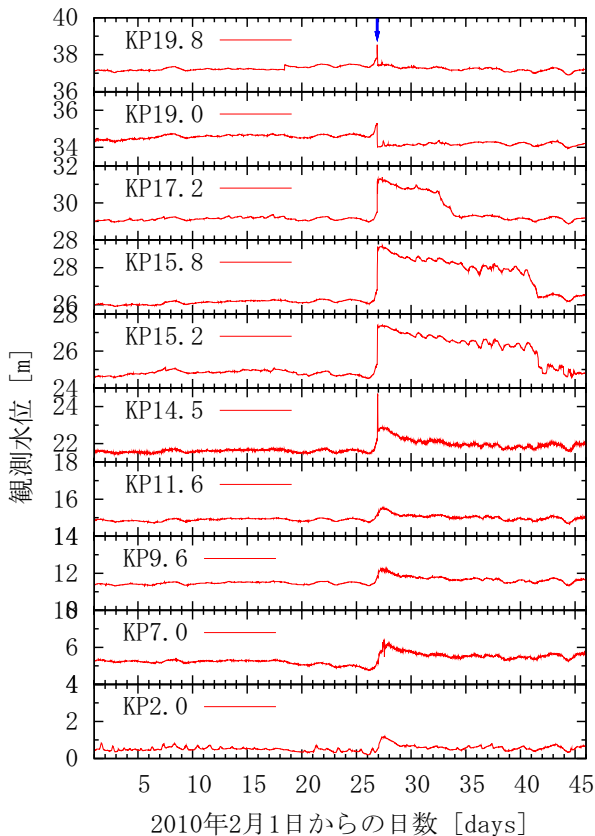


図-3 渚滑川におけるアイスジャム発生前後の観測水位

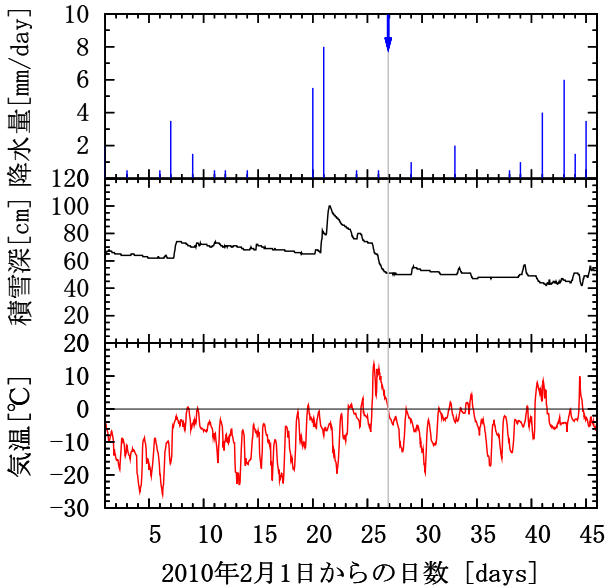


図-4 アイスジャム発生前後の気温、積雪深、降水量（気象庁：滝上地点）

(1) アイスジャム発生前後の観測水位

河川管理のための水位計は渚滑川4箇所、立牛川1箇所であるが、本観測では渚滑川10箇所、水位計を設置している。本観測において、河川縦断的に並べた10分毎の観測水位を図-3に示す。図-3より、上流のKP19.8で2月26日21時30分に水位が急激に上昇しており（図中の矢印）、その後、水位は下がっている。この急激な水位上昇の下流への影響について、KP19.0では水位が急激に上昇し、その後、水位は下がっている。KP17.2, KP15.8, KP15.2では、水位は約2.4m,

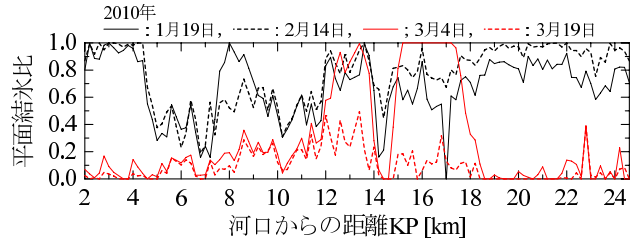


図-5 2010年渚滑川の平面結氷比

約3.1m, 約2.9mと急激に上昇し、その後、なだらかに水位が下降している。KP14.5では、水位は約3.2mと急激に上昇するが、その後、直ぐに水位が下降している。これより下流の地点は、水位は上昇するが、上流の地点ほど水位は急激に上昇しない。今回の観測により、アイスジャム発生時の水位は、河川縦断的にその変動が異なることが明らかとなった。

アイスジャム発生要因である2月26日21時30分の水位の急激な上昇について検討を行う。アイスジャム発生前後の気温、積雪深、降水量を図-4に示す。急激な水位上昇があった時期は矢印で示した。図-4の気象庁のアメダスデータである降水量は、ある時間内に降った雨や雪などの量であり、雪などの固形降水の場合は溶かして水にした時の量となるため、降水量が雨か雪かを明らかにする必要がある。本研究では、積雪深が増加している場合は雪とし、2月7日、20日、21日の降水量は雨ではなく雪であると判断した。

図-4の急激な水位上昇が起きる前において、降雨はなく、気温はプラス10℃を超えて積雪深が減少していることから、融雪が促されたと考えられる。このため、急激な水位上昇は、融雪水が河川へと供給され流量が急激に増加したことが原因と推察できる。なお、急激な水位上昇が起きた後について、気温は零下になっていることから、アイスジャムにより滞留した河水は融解しづらい状況下であったと推察できる。

(2) アイスジャム発生前後の河水の挙動

上空撮影写真を基にして、下記で定義した平面結氷比を算出した。平面結氷比は大きいほど平面に占める結氷の割合が大きくなる値である。

$$\text{平面結氷比} = \frac{\text{結氷平面積}}{\text{低水路平面積}}$$

本検討では、河川縦断を200mの区間に区分して解析を行い、結氷平面積は低水路内における白色箇所を結氷と仮定して算出した。横軸に河口からの距離を取り、平面結氷比を図-5に示す。図より、河水形成時の1月19日、2月14日を河川縦断的に見ると、上流及び下流で平面結氷比が大きく、河口より約4kmから約12kmは平面結氷比が小さい。この期間において、いくつかの地点で水温を測定しているが、河口から15.2km地点の観測平均水温は0.00℃であり、支川合流後の河口から11.6km地点の観測平均水温は1.06℃である。このため、支川から温かい流水が本川に流入し、河口より約4kmから約12kmの本川の河水は融解されたと推察できる。

アイスジャムが発生した2月26日以後の3月4日の平面結氷比を見ると、河口から約18km地点より上流の平面結氷比は小さくなっている。この期間の河口か

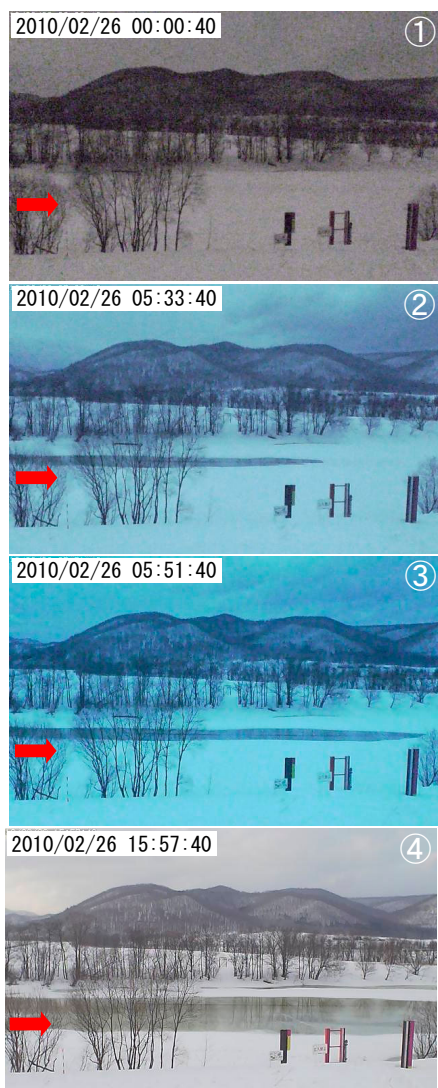


図-6 アイスジャム発生前の河道内の状況

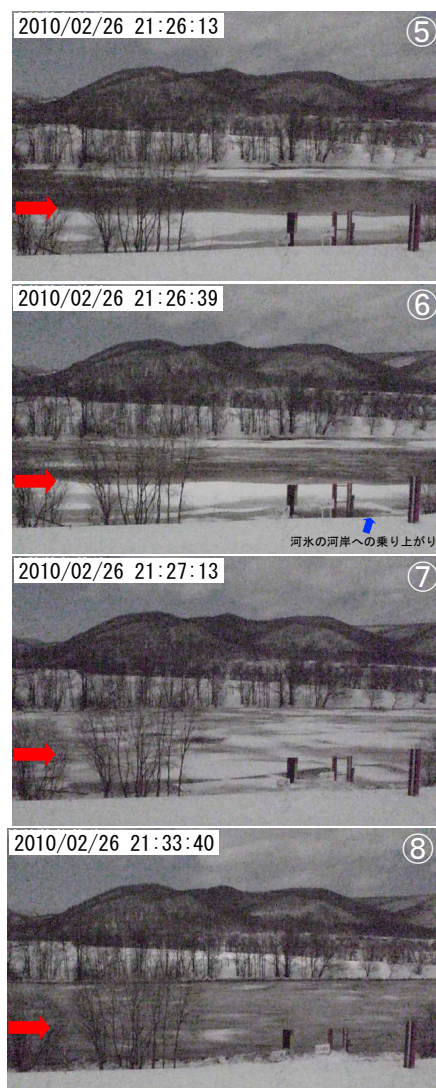


図-7 アイスジャム発生時の河道内の状況

ら 22.4km 地点の観測平均水温は 0.20℃ と水温は低いことから、河水は融解されていないと推察できる。

カメラ撮影 (KP19.3) によるアイスジャム発生前と後の河道内の状況を図-6,7 に示す。図-6 より、上流からの流水が、河水で覆われて真っ白であった河水上面を流れ、河水上面が流水で浸されている状況が分かる。図-7 より、上流からの流水の増加によって、河水上面を流水が流れており、その後、河水自体が流水により持ち上げられて、河岸へと乗り上がっている状況が画像で確認できる。なお、21時26分39秒の次に撮影された10秒後の画像では、河水が流下している状況であった。21時27分13秒では、量水標付近で、河水が割れて流れている様子が分かる。その後、河水の流下はカメラ撮影画像から22時20分頃まで続いたと推察された。

河口から約18km地点より上流の平面結氷比は小さくなっている原因として、カメラ撮影の結果から、河水が下流へと流下したためと推定できる。また、河口から約16kmの地点においては、3月4日は2月14日より平面結氷比が大きくなっていることから、上流から流下した河水がこの地点で滞留したことが推察で

きる。

3月19日には、河川縦断的に平面結氷比が小さくなっており、河水が流下および融解されたと推察できる。

(3) アイスジャム発生箇所と河道特性

アイスジャム発生後の河水測量は、KP11からKP20の区間で200毎に46断面で、3月28日から3月31日の期間で実施した。一例を図-8に示す。測量方法は、GPSおよびトータルステーションを用いて、堆積している河水の変化点、積雪の変化点を測量し、その他は河川深淺測量に準じて実施した。測量した河水は、堆積している河水のみであるため、本研究のアイスジャム発生時の河水面積 A_{ob} は、堆積している左岸と右岸の河水を基にして、左右岸を直線で結び、囲われた面積を推定河水面積とし、この推定河水面積と測量河水面積を足した値を A_{ob} とした。なお、アイスジャム発生後から測量日までの期間において、滞留した河水が全て流下した場合は、測量河水面積はゼロとなるため、推定河水面積は、この誤差を含むこととなる。一方、アイスジャム発生前の河水面積については、1次元河水変動計算から得た²⁾。

アイスジャム発生箇所と河道特性について検討を行

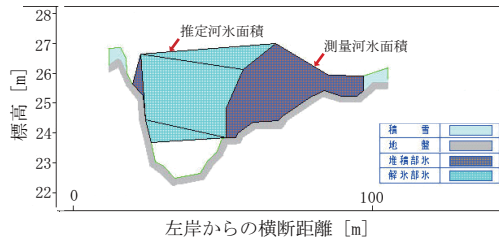


図-8 アイスクラム発生箇所河水面積測量の一例 (KP15.2), 2010年3月28日~3月31日

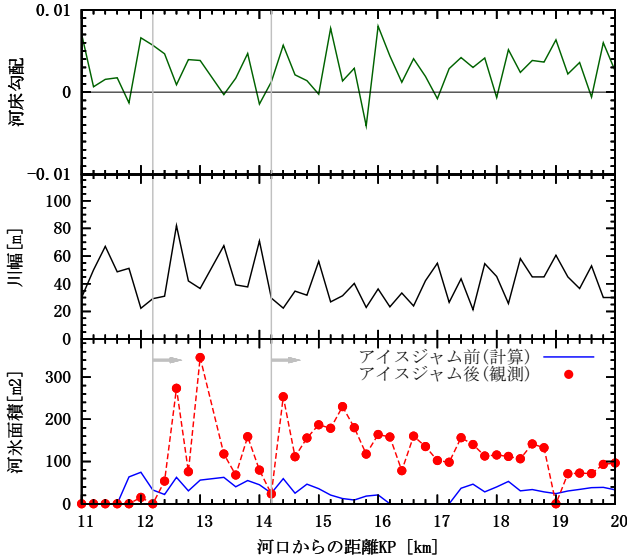


図-9 アイスクラム発生区間の河水面積, 川幅, 河床勾配。横軸にアイスジャム発生区間の縦断距離を取り, 縦軸に河水面積, 川幅, 河床勾配を取ったものを図-9に示す。川幅と河床勾配は, 横断測量データと河川結氷前の流量 $14.16\text{m}^3/\text{s}$ を用いて, 一般断面不等流計算を行い, 計算された水面幅を川幅とし, 計算された流積と水面幅から平均水深を算出して, 水位から平均水深を引くことにより河床高を求めて 200m 区間の河床勾配を算出した。

図-9より, アイスクラム発生後の河水面積は縦断的に異なっている。アイスジャムは上流からの河水がある箇所滞り, この箇所を起点として上流へと河水の滞りが進行することから, アイスクラム発生箇所より下流では河水は滞りしないと考えられる。本検討では, このような箇所として KP12.2 と KP14.2 を抽出した。KP12.2 と KP14.2 の川幅については相対的に狭い。河床勾配については, KP12.2 の急勾配で KP14.2 は緩勾配である。一方, 河水面積測量区間において, 河水面積と川幅, 河床勾配の相関関係について検討を実施したが有意な相関はなかった。今回の検討においては, アイスクラム発生箇所と川幅, 河床勾配の明確な関係を得るには至らなかった。アイスジャム発生箇所を推定するためには, これらの河道特性に加えて, 河水がゆっくりと滞りする場合と急激に滞りする場合で現象が異なると考えられることから, 河川を流下する河水の量と水の量との関係を今後, 検討する必要がある。

(4) アイスクラムによる河水面積の増加量と水位上昇

図-10 は, 上流から流れてくる河水が, ある地点で滞りおよび閉塞し, 水の流れる面積が小さくなり, こ

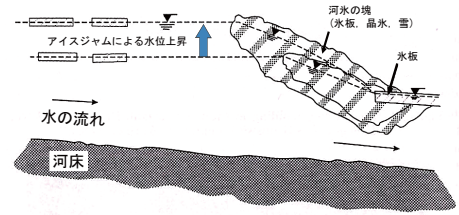


図-10 アイスクラムの概念図

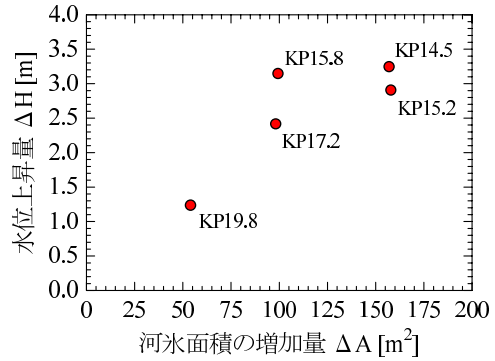


図-11 アイスクラム発生前後における河水面積の増加量と水位上昇量

の地点より上流の水位が上昇する現象を表わしている。河水がどの程度滞りすると, 水位がどの程度上昇するのかについて検討を行う。アイスジャムによる河水面積の増加量 ΔA は, アイスクラム発生後の現地観測から得られた推定河水面積 A_{ob} とアイスジャム発生前 (2月26日1時) の1次元河氷変動計算から得られた²⁾ 計算河水面積 A_{cal} から, $\Delta A = A_{ob} - A_{cal}$ として求めた。水位上昇量 ΔH は, アイスクラム発生を挟む2月26日1時から2月27日24時の観測水位において, 最大値 H_{max} と最小値 H_{min} から $\Delta H = H_{max} - H_{min}$ として求めた。 ΔA と ΔH を図-11に示す。現地観測データが少ないため, 一概に判断できないが, 河水面積が約 50m^2 増加すると水位が約 1m 上昇し, 河水面積が約 150m^2 増加すると水位が約 3m 上昇している。河水面積が増加すると水位が上昇する現象について, 今回の現地観測データにより定量的に示した。

4. まとめ

2010年2月26日に渚滑川で発生したアイスジャムの現地観測を実施し, アイスクラム発生時の河川縦断水位の変動を明らかにした。アイスジャム発生の要因である急激な水位上昇は, 融雪が促されて融雪水が河川へと供給されたためと推察された。アイスジャム発生時の河水の流下現象をカメラ撮影により明らかにした。アイスジャムにより滞りした河水の面積と水位上昇の関係を定量的に示した。

謝辞: 本研究は, 北海道開発局 網走開発建設部より資料提供のご協力, (株) 福田水文センターより現地観測のご尽力を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Beltaos, S., Burrell, B.C. : Ice-jam model testing: Matapedia River caqse studies, 1994 and 1995, Cold Regions Science and Technology 60, pp.29-39, 2010.
- 2) 吉川 泰弘, 渡邊 康玄, 早川 博, 平井 康幸: 河川解氷時の河水の破壊と流下に関する研究, 土木学会, 水工学論文集, 第55巻, 2011.(投稿中)