

支川合流を考慮したアイスジャム発生に関する 実験的研究

鳥谷部 寿人¹・吉川 泰弘²・岡部 博一³・田中 忠彦⁴

¹正会員 土木研究所 寒地土木研究所 道東支所(〒085-0014 北海道釧路市末広町 10 丁目 1-6)

E-mail: t-toyabe@ceri.go.jp

²正会員 博(工) 北見工業大学助教 社会環境工学科(〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

E-mail: yoshi@mail.kitami-it.ac.jp

³正会員 土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1-3)

E-mail: okabe-h29n@ceri.go.jp

⁴非会員 土木研究所 寒地土木研究所 道北支所(〒070-0031 旭川市一条通 9 丁目 50-3)

E-mail: tanaka-t22ah@ceri.go.jp

本研究は結氷河川におけるアイスジャム発生と河道形状の関係を明らかにすることを目的としている。水理模型実験を用いた既往研究では、河氷の速度、幅、厚さ、長さ、川幅の拡張割合を用いてアイスジャムの規模を表し、アイスジャムによる河氷の速度の減衰割合を評価している。しかしながら、既往研究では支川合流の影響を考慮していない。本研究では支川合流を考慮した水理模型実験を行ない、アイスジャムの規模を表す値の適用性について検討した。さらに平面 2 次元不等流計算で算出したアイスジャムの規模を表す値から河氷速度の減衰割合を推定し、縦断的な河道変化に伴うアイスジャムの発生危険箇所を抽出した。

Key Words: Ice jam, Hydraulic experiments, Branch river junction, Attenuation ratio of the velocity of assembling ice pieces

1. はじめに

結氷河川では、冬期間に河道内に形成された河氷が春先に解氷する。解氷した河氷が下流へと流れ、狭窄部や蛇行部などで滞留、閉塞してアイスジャムが発生する。アイスジャムにより、流れは堰き止められ、急激な水位上昇を引き起こし災害に至る危険性がある。

北海道オホーツク地方に位置する渚滑川では、2010 年 2 月にアイスジャムが発生した。このアイスジャムの発端となる解氷現象は、上流域の融雪によって、河川の流量が増加し、水位が上昇したことにより、流水が河氷の上を乗り上げ、また、河氷全体が持ち上げられたため、解氷に至ったことが、既往研究¹⁾によって明らかにされている。さらに、北海道道東に位置するオソベツ川では、2014 年 12 月に吹雪による晶氷増加に起因したアイスジャムが発生した。なお、本研究では、硬い氷板ならびに軟らかい晶氷を総じて河氷と呼ぶこととする。この河氷由来のアイスジャム発生メカニズムを解明するため、水理模型実験²⁾を実施し、水路幅が狭い箇所の上流となる

水深が深く流速の遅い箇所において、アイスジャムが発生しやすいことを確認している。さらに、実験から河氷の速度の減衰割合に関して、河氷に働く力のモーメントのつり合いから河氷のフルード数を定義しており、河氷のフルード数が小さくなると、河氷の速度が減衰して滞留しやすくなることを示している。また著者ら³⁾はオソベツ川で生じたアイスジャム発生危険箇所を抽出するため、水理模型実験で得られた河氷のフルード数を現地に適用し、河氷のフルード数が小さいほどアイスジャムが発生しやすい場所であることを明らかにした。さらに著者ら⁴⁾は川幅の急縮によって生じるアイスジャム現象に着目した水理模型実験を行い、河氷のフルード数の関数であるアイスジャムの規模を表す値（以下、アイスジャムスケールと呼ぶ）が大きくなる時、アイスジャムが発生しやすくなることを示している。

渚滑川の 2010 年 2 月の現地調査では、河口から約 16km 地点で河氷が河道内に滞留して閉塞していることが確認されており、その直下流では鴻輝（こうき）川（流路延長 4.5km）が合流していた。一方で既往研究²⁾⁴⁾

の実験水路は、支川の影響を考慮していない。また、実験水路の幅は縦断的に矩形で接続しているため、死水域が発生し実際の河道と一致しないという問題があった。支川の影響については、R.Ettema, M.Muste⁵⁾による合流河道における小型のアイスジャム水理模型実験があり、支川合流部における氷板の合流、並びに合流する流れの衝撃から生じる流れの圧力によってアイスジャムが引き起こされることを指摘している。本研究では支川合流部がアイスジャム発生に与える影響を明らかにするために、川幅の拡張部に擦り付け区間を設けることで死水域の影響を除去した水理模型実験を行い、アイスジャム発生における支川合流部の影響について検討した。

2. 支川合流を考慮したアイスジャム模型実験

本研究では、既設の模型水路²⁾に改良を加えて実験を行っている。以下に、模型水路の諸元を示す。

(1) 実験方法

実験水路を図-1に示す。渚滑川で発生したアイスジャム現象を対象とした既往研究¹⁾より、渚滑川の KP10～KP20 の横断測量データと上渚滑水位観測所 (KP19.3) の河川結氷前の流量 $14\text{m}^3/\text{s}$ を用い、不等流計算から水面幅 $21.3\text{m}\sim 82.0\text{m}$ 、河床勾配の最小 $-1/769$ 、最大 $1/125$ を求めた。ポンプや実験施設の規模を考慮して模型縮尺は $1/100$ とし、現地の横断測量間隔 (200m) を基準に水路長を 2.0m とし、下流から site2, site3, site4 とした。水路幅は $0.2\text{m}\sim 0.8\text{m}$ (可変)、勾配は、区間ごとに $1/120$ 、LEVEL, $-1/120$ の実験水路を用いた。なお、本研究では実験区間の急拡張部、急縮部は河川砂防技術基準 (調査編)⁶⁾ による 1 次元水理計算の死水域除去の考え方に基き改良を加えており site1 と site3 に擦り付け区間を設けた。このため site1 のみ水路長 3.429m としている。また、支川は site2 の中央で合流させ、合流角度は渚滑川の KP10～KP20 で合流している支川の角度 35° とした。

実験水路の側面は透明なアクリル板で作成し、底面は防水加工を施し着色した木製の合板とした。流量は、貯水槽の水をポンプにより導水パイプを通して実験水路へと供給し、導水パイプに設置したバルブの調整によって、実験水路への流量を制御した。氷板模型の材質は、氷と同等の比重 (0.92) の平坦なポリプロピレン板を用いた。基準とする流量については渚滑川のアイスジャム発生時の上渚滑水位観測所 (KP19.3) の最大流量 $286\text{m}^3/\text{s}$ (実験流量 2.8L/s) をもとに変化させた。氷板量ならびに氷板径については渚滑川のアイスジャムに関する既往研究¹⁾を参考にした。すなわち、氷板量 $60\text{m}^3/\text{s}$ をもとに 0.6L/s とし変化させた。氷板径は現地の氷板厚の最大が 0.6m 、長さが 3.98m だったことから、これを基準に厚さ

表-1 測定機器の仕様

測定項目	仕様
水位	圧力センサー(光進, ATM1ST), 精度 $\pm 0.25\%$ / fs ロガー(株式会社キーエンス, NR-600 スタンドアロン計測ユニット)
水温	水銀温度計, 目盛単位 1°C
垂直動画	1 眼レフデジタルカメラ(Canon, Mark II), 24mm 単焦点レンズ 1920 × 1080 ピクセル
側面動画	デジタルビデオカメラ(JVCケンウッド, GZ-EX350), 1920 × 1080 ピクセル

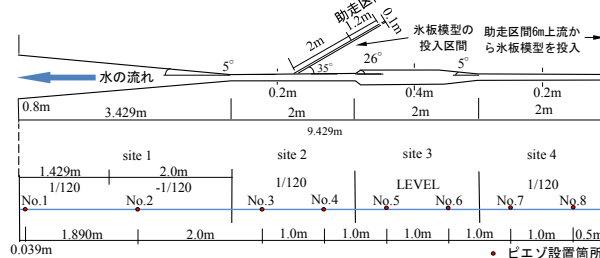


図-1 実験水路形状

0.6cm 、長さ 4cm とした。長さについては氷板サイズが大きいとアイスジャム発生時期が早まるという知見²⁾を基に 8cm も作成した。なお実河川では大小様々なサイズの河氷が存在しているが、本実験ではアイスジャムの発端となる水理量と河氷の基礎的な関係を明らかにするため、単一サイズの氷板模型を用いた。また支川からの氷板模型の供給は本川を流下する氷板模型が site3 の上流端に到達するのと同時に開始した。

測定機器の仕様を表-1に示す。水路内の縦断的な水位と時間変化を記録するため下流端より No.1 から No.8 の 8 箇所で、箇所ごとに水路底にピエゾ管を設置した。ピエゾ管と圧力センサーを導水管で接続し、圧力センサーからの電圧は、データロガーを介して値を得た。電圧と水位の関係係を事前に導くことにより、 0.01 秒ごとに水位を測定した。水路内の氷板模型速度および氷板模型枚数を記録するため水路上方に設置した 2 台のデジタルカメラを用いて、実験開始と同時に動画撮影を行った。また、水路側面にビデオカメラを設置し、アイスジャム発生地点から上流側 0.5m の範囲の滞留現象を確認するため実験開始とともにビデオ撮影を行った。氷板模型速度の PTV 解析には Dipp Flow (Ditect 製)を用いた。

(2) 実験結果

実験条件とアイスジャム発生の有無について表-2に示す。ケース A は支川の合流がない場合、ケース D は支川の合流がある場合を想定した実験で、合計 16 ケー

表-2 実験条件とアイスジャム発生の有無

ケース	付加条件	本川			支川			アイスジャム
		氷板径 [cm2]	氷板量 [L/s]	流量 [L/s]	氷板径 [cm2]	氷板量 [L/s]	流量 [L/s]	
A1	—	4×4	0.05	1.4	—	—	—	非発生
A2	—	4×4	0.1	2.8	—	—	—	非発生
A3	—	4×4	0.3	1.4	—	—	—	発生 (site3 下流)
A4*	—	4×4	0.6	2.8	—	—	—	発生 (site3 下流)
A5	—	8×8	0.05	1.4	—	—	—	非発生
A6	—	8×8	0.1	2.8	—	—	—	非発生
A7	—	8×8	0.3	1.4	—	—	—	発生 (site3 下流)
A8	—	8×8	0.6	2.8	—	—	—	発生 (site3 下流)
D1	支川合流	4×4	0.05	1.4	4×4	0.025	0.7	非発生
D2	支川合流	4×4	0.1	2.8	4×4	0.05	1.4	非発生
D3	支川合流	4×4	0.3	1.4	4×4	0.15	0.7	発生 (site3 下流)
D4	支川合流	4×4	0.6	2.8	4×4	0.3	1.4	発生 (site3 下流)
D5	支川合流	8×8	0.05	1.4	4×4	0.025	0.7	発生 (site3 下流)
D6	支川合流	8×8	0.1	2.8	4×4	0.05	1.4	非発生
D7	支川合流	8×8	0.3	1.4	4×4	0.15	0.7	発生 (site3 下流)
D8	支川合流	8×8	0.6	2.8	4×4	0.3	1.4	発生 (site3 下流)

※2010年2月渚滑川のアイスジャム発生時の条件

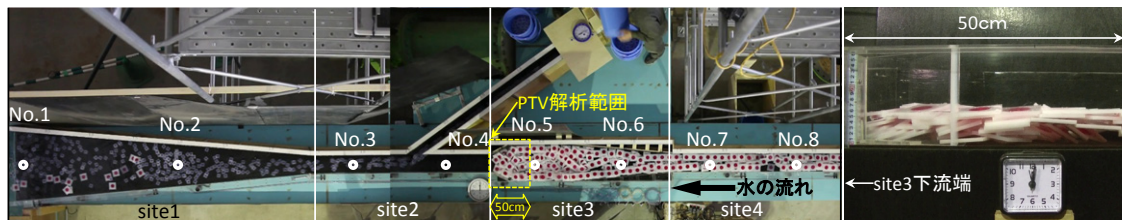


図-2 アイスジャム発生時の状況（左：上方 右：側面）
 (D8 支川あり氷板大 site3 下流でアイスジャム発生：氷板模型投入開始からの経過時間：50 秒後)

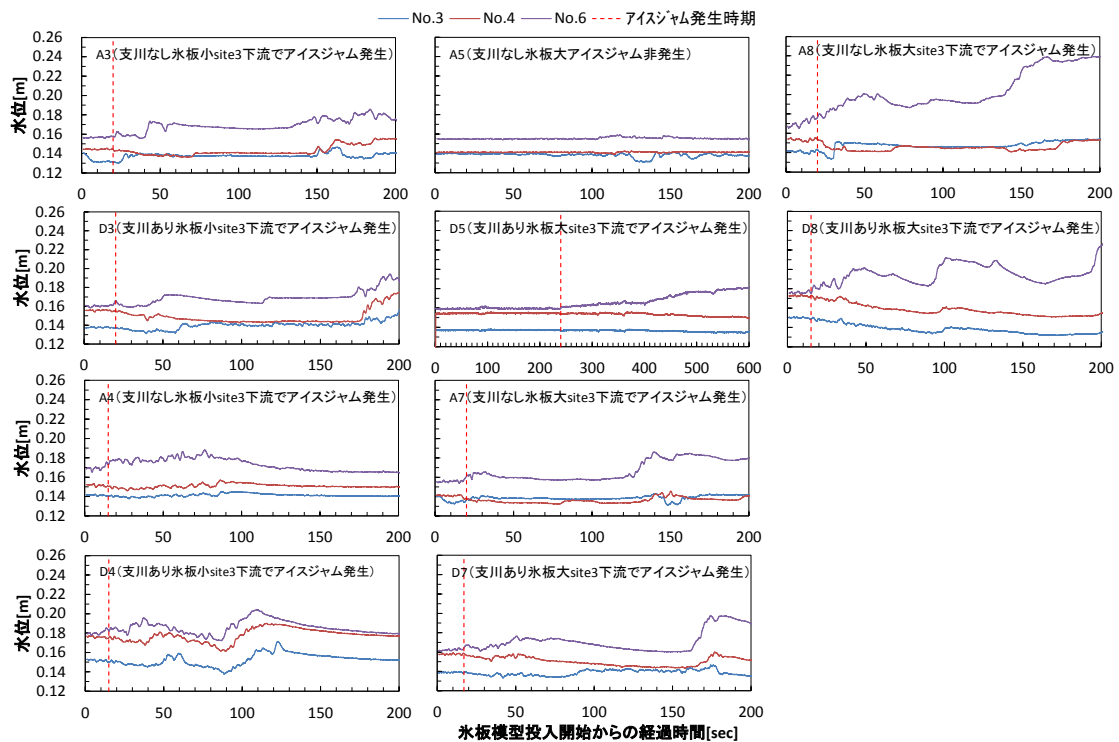


図-3 アイスジャム実験時の水位

スの実験を行った。ケース番号は本川の水量が共通していることを示す。図-2 にアイスジャムが発生した D8 の状況を例示した。アイスジャムが発生したすべてのケースで site3 の下流に河水が堆積した。図-3 にアイスジャムが発生したケースの site2 下流(No.3)，site2 上流(No.4)，site3 上流(No.6)の水位を示す。なお、水位は 0.01 秒ごとの観測値を 1 秒ごとの移動平均値で示した。赤破線はアイスジャム発生時期を表す。

A1, D1, A2, D2 はアイスジャムが発生しなかった。A3, D3 はいずれも氷板模型投入開始から 20 秒後にアイスジャムが発生した。その後、アイスジャムは解消されて、氷板模型は流下した。A4, D4 はいずれも氷板模型投入開始から 15 秒後にアイスジャムが発生したが、アイスジャム発生による氷板模型の滞留時間が他のケースと比べて 1 秒未満と短かった。支川合流ありなしで違いがみられたケースとしては氷板径が大きく、氷板量が最少のケースの場合において、A5 はアイスジャムが発生せず、D5 は通水開始から 240 秒後にアイスジャムが発生した。その後、アイスジャムは 14 分後に解消されて、氷板模型は流下した。A6, D6 はともにアイスジャムが発生しなかった。A7, D7 は氷板模型投入開始からそれ

ぞれ 20 秒後、17 秒後にアイスジャムが発生した。その後、アイスジャムは、どのケースも 30 分以上解消されずに持続したため実験を終了した。A8, D8 は氷板模型投入開始からそれぞれ 20 秒後、15 秒後にアイスジャムが発生した。その後、アイスジャムは、どのケースも 30 分以上解消されずに持続したため実験を終了した。当初、支川合流部がアイスジャムの起点となると考えていたが、今回の実験条件では支川合流部はアイスジャムの起点とはならなかった。

(3) アイスジャム発生前の流況

図-3 よりアイスジャムが発生しているケースにおいて、site3 上流(No.6)の水位が上昇している。支川合流の有無に着目すると、ケース A では site2 下流(No.3)および site2 上流(No.4)の水位はほぼ同じであるのに対し、ケース D では氷板模型投入開始から site2 上流(No.4)の水位が高く、支川合流による堰上げの影響を受けていたことが分かる。

アイスジャム発生直前の流況を把握するため、iRIC の平面二次元ソルバー Nays2DH⁸⁾を用いて支川合流部を含む不等流計算を行った。Manning の粗度係数 n ($\text{s/m}^{1/3}$) はア

アイスジャム発生前の計測水位を基準に 0.01 とした。アイスジャム発生直前の水位を図-4 に、流速を図-5、図-6 に示す。ケース D の水位はケース A と比べて合流点より上流は高い。流速は合流点より上流が遅く、下流は速い。支川が流入することで上流の水位が堰き上がり流速が低下し、堰上げによる水位上昇によって水面勾配が大きくなり、下流の流速は増加した。アイスジャム発生直前の氷板速度は流速に依存しており堰き上げにより氷板速度が減衰したと考えられる。特に D5 は氷板量が 0.05L/s で最も少なく河水が滞留するか否かの狭間の条件であり、支川合流による氷板速度の減衰がアイスジャムの発生に影響を与えたと推察された。一方で他のケースは支川よりも本川の河道条件（川幅、縦断勾配）と氷板条件（量、サイズ）の関係により氷板の速度が変化し、アイスジャムの発生に影響を及ぼしたと考えられる。

3. 支川合流部がアイスジャム発生に与える影響

アイスジャムが発生すると河水の流下速度が遅くなる。本研究では、河水の速度の変化に着目してアイスジャム現象を定量的に把握する。

(1) 氷板模型速度と氷板模型枚数

アイスジャムが発生するまでの現象を解明するためにアイスジャムが発生したケースのうち、本川の流量が等しいケースを用いて、A3, A7 の 2 ケースと D3, D5, D7 の 3 ケースについて氷板模型速度と氷板模型枚数を調べた。計測時間は河水が流れにのって自由に流下している状態からの単位時間当たりの氷板模型速度と氷板模型枚数とした。図-2 に示したように氷板模型枚数の算出にはアイスジャムの下流端から 0.5m 上流までの平面画像を用いて 1 秒間隔で判読した。ただし、氷板模型が鉛直方向に重なっている場合は側面画像から水路側壁に接している氷板模型の枚数を計測し、氷板模型 1 枚当たりの側面積を乗じて側面における全面積を求めた。この値に水路幅を乗じて氷板模型の全体積を求め、氷板模型 1 枚当たりの体積で割戻し枚数とした。

氷板模型速度はアイスジャムの下流端から 0.5m 上流までの平面画像（フレーム間隔 33.3msec）に写っている氷板模型を対象として PTV 解析により求めた。図-7 に氷板模型枚数と氷板模型速度を示す。どのケースも氷板模型枚数が増加すると氷板模型速度が減少した。氷板模型速度が 0 の時にアイスジャムが発生したと仮定し支川合流条件の違いによる氷板模型速度に着目すると、A3 は氷板模型速度が減少後、模型投入から約 40 秒で 0.15m/s、約 50 秒で 0.20m/s の 2 回動きが観測されている。一方で D3 は模型投入から約 50 秒後に 0.10m/s の 1 回のみ動きが観測されており、氷板模型速度が減少した後の動きが少

なかった。氷板径が大きいケースのうちで氷板量が最少の A5, D5 のうち、D5 のみアイスジャムが発生しており、支川合流ありの場合、氷板量が少なくてもアイスジャムが発生することが分った。

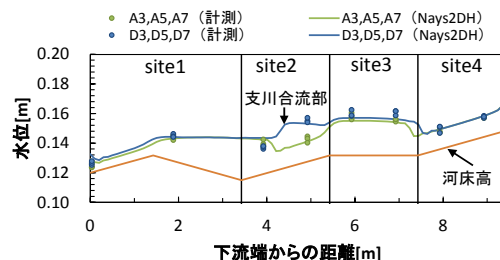


図-4 アイスジャム発生前の水位縦断面図（計測、Nays2DH）

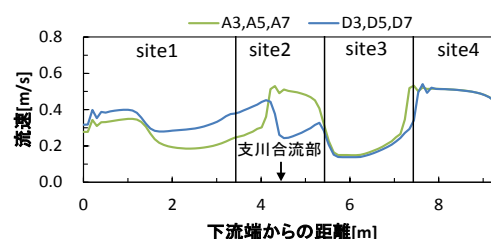


図-5 Nays2DH により得られた断面平均流速

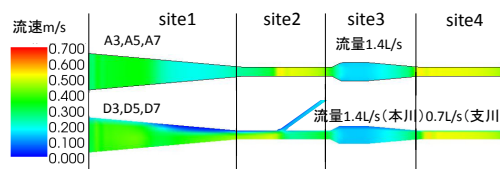


図-6 Nays2DH により得られた流速分布図

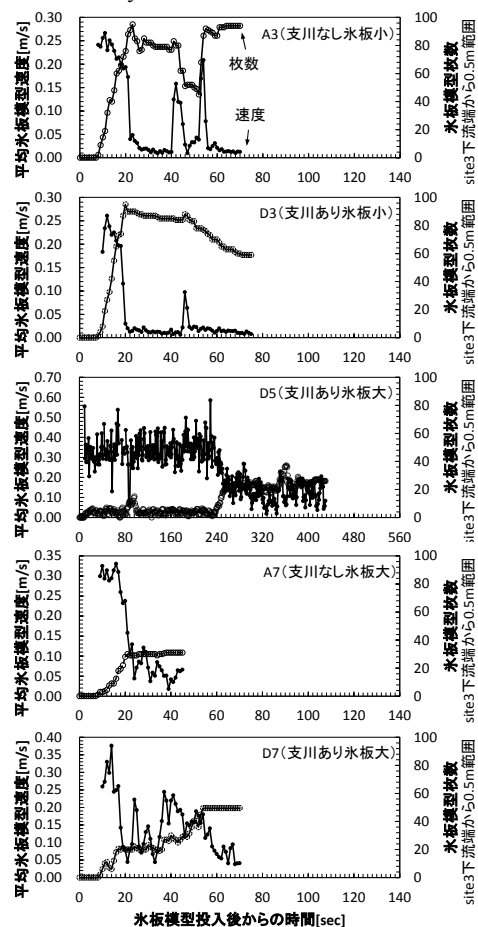


図-7 氷板模型枚数と氷板模型速度

(2) アイスジャムの評価

著者ら⁴⁾は、アイスジャムの発生によって、氷板の速度が遅くなることに着目し、アイスジャムの評価方法として、式(1)の氷板速度の減衰割合 λ を提案している。

$$\lambda = \frac{u_i}{u_{w0}} = \frac{1}{1+S_{ij}} \quad (1)$$

ここで、 u_i (m/s)はアイスジャム発生後の氷板速度、 u_{w0} (m/s)はアイスジャム発生直前の流速である。アイスジャム発生直前の氷板の速度は流速と等しく自由に流下しており $u_i=u_{w0}$ となり $\lambda=1$ 、完全なアイスジャムに至る時 $u_i=0$ となり $\lambda=0$ となる。次に、集積した氷板を群体として扱い、氷板群に働く力のつり合いから得たアイスジャムの規模を表す値であるアイスジャムスケール S_{ij} は以下ようになる。

$$S_{ij} = \frac{1}{Fr_i \sqrt{\frac{B_2}{B_i}} \sqrt{\frac{C_D}{2} \left(\frac{h_i}{L_i}\right)^2 + C_f \left(\frac{h_i}{L_i}\right) + \frac{C_L}{2}}} \quad (2)$$

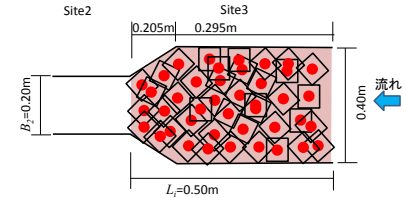
氷板の速度と氷板の厚さで表される河水のフルード数 Fr_i は以下となる。

$$Fr_i = \frac{u_i}{\sqrt{\frac{(\rho_w - \rho_i)}{\rho_w} g h_i}} \quad (3)$$

ここで、 B_i (m)は氷板群の幅、 B_1 (m)はアイスジャム発生箇所の平均水路幅、 B_2 (m)はアイスジャム下流の水路幅、 L_i (m)は集積した氷板群の長さ、 h_i (m)は集積した氷板群の平均的な厚さ、 u_i (m/s)は平均氷板移動速度、 ρ_i (kg/m³)は氷の密度、 ρ_w (kg/m³)は水の密度、 C_D は氷板群の形状抵抗係数、 C_f は氷板群の表面摩擦係数、 C_L は氷板群の揚力係数、 g (m/s²)は重力加速度である。図-8 に集積した氷板群の模式図を示す。本研究では既往研究⁴⁾に習い、 $g=9.8\text{m/s}^2$ 、 $C_D=0.4$ 、 $C_f=1.0$ 、 $C_L=0.4$ 、 $\rho_i=917\text{kg/m}^3$ 、 $\rho_w=1000\text{kg/m}^3$ 、 $B_i=B_1$ とし、図-8 より、 $B_1=0.359\text{m}$ とした。また、 $L_i=0.50\text{m}$ とした。式(1)の入力変数は本実験で得られた h_i (m)と u_i (m/s)である。 u_{w0} は Nays2DH で求めた L_i 区間の断面平均流速の最大値を与えた。図-9 に実験から得られた時系列の氷板速度の減衰割合 λ 、アイスジャムスケール S_{ij} と既往研究における λ の理論値の重ね図を示す。 λ の実験値と理論値の平均絶対誤差 MAE は 0.152 である。図-9 と式(1)より、支川の合流の影響を考慮した場合においても、アイスジャムスケール S_{ij} が増加すると氷板速度の減衰割合 λ が減少することが示され、実験を再現できたことで氷板速度の減衰割合 λ でアイスジャムを評価できることが分った。

(3) 縦断的なアイスジャムの発生危険箇所の評価手法

次に、アイスジャムスケール S_{ij} と氷板速度の減衰割合 λ の関係を用いて、縦断的なアイスジャム発生危険箇所を評価する。式(2)、式(3)の h_i は h_w を与え、式(3)の u_i



($B_1=((0.2+0.4) \times 0.205 \div 2 + 0.4 \times 0.295) \div 0.5=0.359$ となる。)

図-8 集積した氷板群の模式図

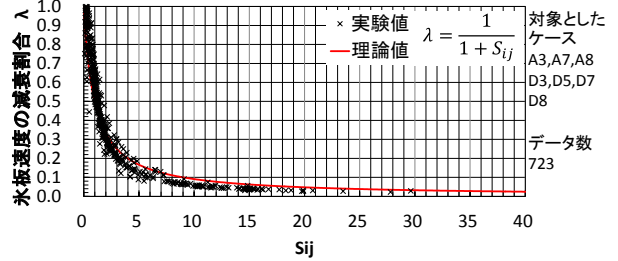


図-9 アイスジャムスケール S_{ij} と氷板速度の減衰割合 λ

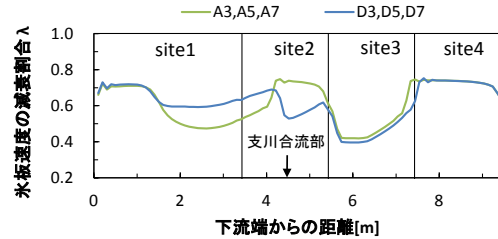


図-10 支川の有無による氷板速度の減衰割合 λ の違い

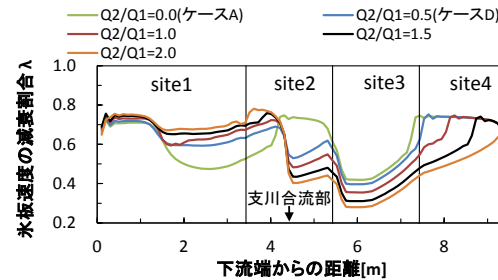


図-11 氷板速度の減衰割合 λ の感度分析

は u_w を与えた。式(2)より求まる S_{ij} を式(1)に代入することにより氷板速度の減衰割合 λ を算出した。ここでは h_w (m)は断面平均水深、 u_w (m/s)は断面平均流速とした。なお、水路縦断的に与える h_w 、 u_w は Nays2DH より求めた。計算格子間隔は 0.1m とし、式(1)に値を代入して求めた。図-10 に支川の有無による氷板速度の減衰割合 λ を示す。いずれの場合も λ の値は site3 の下流端で最も減衰した。さらに、支川有りの場合は支川合流部においても λ の値は減衰しており、支川合流部で λ の値がさらに小さくなれば、支川合流部においてもアイスジャムが発生する可能性を示唆している。

(4) 支川合流による河水速度の減衰割合の感度分析

式(1)を用いて本川と支川の流量配分量を変えて支川合流の影響によるアイスジャム発生について氷板速度の減衰割合 λ の感度分析を行った。実験条件より、本川流量を $Q1=1.4$ (L/s)、支川流量を $Q2=0.7$ (L/s)とし、ケース A を $Q2/Q1=0.0$ 、ケース D を $Q2/Q1=0.5$ 、さらに $Q2/Q1=1.0, 1.5, 2.0$ の合計 5 つのパターンで変化させ

た場合について計算した。計算結果を図-11 に示す。実験条件である緑線と青線の site3 下流地点ではアイスジャムが発生しており、 λ の値は 0.4 である。橙線の支川合流部の λ の値も 0.4 となり一致しており、支川流量が大きいと支川合流部においてもアイスジャムが発生する危険性が示された。

4. まとめ

アイスジャム発生における支川合流部の影響に着目した水理模型実験を行ない、アイスジャムの発生要因について整理・分析した結果、以下のことが明らかとなった。

1) 支川合流部の影響

本実験において、支川合流有りの場合、本川上流側の水位は支川合流による堰上げの影響を受けて上昇しており、流速の減少を招くことから、氷板量が少なくてもアイスジャムが発生することが分った。

2) アイスジャムスケールの適用性

氷板模型速度ならびに氷板模型枚数の計測を行い、氷板速度の減衰割合を求めた。結果は、理論値を十分再現し適用性があることを示唆した。さらに平面 2 次元不等流計算で算出したアイスジャムスケールから河氷速度の減衰割合を推定し、縦断的な河道変化に伴うアイスジャムの発生危険箇所を評価した。さらに、支川合流の有無による河氷速度の減衰割合の違いを明らかにした。

3) アイスジャムの簡易的な推定手法

河氷速度の減衰割合の感度分析を行った結果、支川からの流量が大きくなるほど氷板速度の減衰割合は減衰する結果となり、本川と支川の流量配分量の違いにより支川合流部においてもアイスジャムが発生する可能性を示した。水理計算では λ の値が小さくなると支川合流部でアイスジャムが発生する可能性を示しており、実験的にも明らかにすべきと考える。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費若手研究(B)26870023 の助成を受けた。(株)水工リサーチの佐々木寿史氏、サムナー圭希氏には実験結果の考察、実験水路のモデル化について貴重な助言を頂いた。査読者の方には拙稿の改良に有益な助言を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸: 2010年2月に渚滑川で発生したアイスジャムに関する研究, 河川技術論文集第17巻, pp.353-358, 2011.
- 2) 吉川泰弘, 黒田保孝, 伊藤丹, 渡邊康玄: 結氷河川における河道形状を考慮したアイスジャム発生条件に関する研究, 河川技術論文集第20巻, pp.241-246, 2014.
- 3) 鳥谷部寿人, 吉川泰弘, 阿部孝章, 黒田保孝, 船木淳悟, 佐藤好茂, 津村喜武: オソベツ川における吹雪による晶氷増加とアイスジャム発生危険箇所の抽出に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学)Vol.72, No.4, pp.I_601-I_606, 2016.
- 4) Yasuhiro Yoshikawa, Yasutaka Kuroda, Takaaki Abe, Toshihito Toyabe, Hotaek Park, Kazuhiro Oshima: Study on the ice-jam occurrence based on hydraulic experimentation, *Proceedings of The 23th International Symposium on Ice*, 2016.
- 5) R.Ettema, M.Muste: Laboratory Observations of Ice Jams in Channel Confluences, *Journal of Cold Regions Engineering*, pp.34-58, 2001.
- 6) 建設省河川局: 河川砂防技術基準 (案) 同解説調査編, pp.123, 2006.
- 7) 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, 水工学論文集, 第55巻, pp.S_1075-S_1080, 2011.
- 8) 河川シミュレーションソフトiRIC, URL: <http://i-ric.org/ja/> (参照日2016年7月7日)

(2016.9.30 受付)

HYDRAULIC MODEL EXPERIMENTS ON ICE JAM OCCURRENCE CONSIDERING THE EFFECTS OF BRANCH RIVER JUNCTION

Toshihito TOYABE, Yasuhiro YOSHIKAWA, Hirokazu OKABE
and Tadahiko TANAKA

This study aims to clarify a relationship between the ice jam occurrence and the cross-sectional profile of the ice-covered river. On previous studies using a hydraulic model experiment, we have expressed the ice-jam-scale using the river ice velocity, width, thickness and length, and the river-width-reduction ratio and evaluate the attenuation ratio of the velocity of river ice with ice jam. However, no previous study has taken into account the effects of branch river junction. In this study we carried out hydraulic experiments considering the effects of branch river junction and examined applicability of the ice-jam-scale. Furthermore, we estimated the attenuation ratio of the velocity of river ice using the ice-jam-scale that we found by the two-dimensional non-uniform flow calculation and extracted the potential ice-jam locations with the longitudinal variation of the cross-sectional profile.