

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870023

研究課題名(和文) 寒冷地河川管理のための河氷閉塞メカニズムを考慮した河氷変動計算モデルの開発

研究課題名(英文) A river ice calculation model development in consideration of ice-jam mechanism for ice-covered river management

研究代表者

吉川 泰弘 (yoshikawa, yasuhiro)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：50414149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、冬期の気温の低下により河川内に氷が形成される寒冷地の河川を対象に、急激な水位の上昇を引き起こす河氷の閉塞メカニズムについて、水理実験データの解析から現象を解明し、河氷閉塞メカニズムの物理モデルを構築し、河氷変動を再現可能な数値計算モデルを開発することが目的である。本研究成果として、河川縦断方向のアイスジャム発生危険箇所の場所と規模についてアイスジャムスケール S_{ij} を用いて推定する手法を示した。本研究で開発した河氷変動計算モデルにより上下流の結氷現象を把握できることを示した。本研究成果は、寒冷地河川を管理する上で強力なツールとなる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to clarify the ice-jam mechanism associated with the water level rise of ice-covered rivers. We performed hydraulic experiments that replicated an ice-covered river. On the basis of experimental data, ice-sheet thickness and ice-sheet velocity were measured continuously. In the analysis results, the attenuation ratio of the river ice velocity during an ice jam can be estimated from the ice-jam scale S_{ij} , which is a function of the densimetric Froude number of the river ice and the river-width-reduction ratio at the ice-jam location. A river ice calculation model was developed to determine the dynamics of frazil slush generation, transport, and accumulation. Field observations of frazil slush transport, ice sheet and frazil slush cross sections were performed. In the value of ice sheet area and frazil slush area, this calculated value agree approximately with observed value. Appropriateness of the usefulness of this river ice calculation model was showed.

研究分野：河川工学，河氷工学

キーワード：寒冷地河川 結氷河川 アイスジャム 河氷閉塞 河川管理 数値計算 冬期の取水障害

1. 研究開始当初の背景

日本の国土の約 60%は積雪寒冷特別地域であり、積雪および寒冷に関する知見は社会的な要請が高い。寒冷地の河川では、冬期の気温の低下によって河川内に氷が形成される。北海道の河川では、氷の厚さが数十 cm となり人が乗れる厚さとなる。この硬い河水は、気温の上昇などにより融解および破壊されると下流へと流下する。蛇行部や橋脚箇所、狭窄部で河水が堆積すると、河道を閉塞させるため、水位を急激に上昇させる。この現象はアイスジャムと言われ、寒冷地域特有の災害を引き起こす。アイスジャム災害により、日本では床上床下浸水や死者が出ている。日本のみならずアメリカ、カナダ、ロシア、中国などの気温が零下になる諸外国でも災害が起こっている。

寒冷地河川の管理を行う上で、アイスジャムは、どのような気象条件で、いつ、どの場所で発生するかに関する知見が求められており、これらの河川上下流の現象を網羅的に把握するための一手法として数値計算モデルが有効である。

2. 研究の目的

本研究は、冬期の気温の低下により河川内に氷が形成される寒冷地の河川を対象に、急激な水位の上昇を引き起こす河水の閉塞メカニズムについて、水理実験データの解析から現象を解明し、河水閉塞メカニズムの物理モデルを構築し、河水変動を再現可能な数値計算モデルを開発することが目的である。整理すると、本研究の目的は以下の 3 つである。

(1)水理実験による河水閉塞メカニズムの現象解明、(2)河水閉塞メカニズムの物理モデルの構築、(3)河水変動計算モデルの開発。

本計算モデルは、どのような気象条件で、いつ、どの場所で河水閉塞が発生するかを計算できるため、寒冷地河川を管理する上で強力なツールとなる。さらに、気候変動の影響を検討できるため、将来起こりうる現象を予測することが可能となる。

3. 研究の方法

(1) 水理実験による河水閉塞メカニズムの現象解明

川幅が狭い河道、水深が浅い河道、勾配が緩い河道における河水閉塞の発生条件を明らかにすることを目的に、2010年2月に渚滑川で発生した河水閉塞現象を対象とした水理実験を実施した。河道形状として川幅と河床勾配に着目し、氷板サイズ、氷板量、河川流量を水理条件として実験を実施した。

水理実験の模型縮尺は 1/100 とした。水路幅は、最小値 20cm、平均値 40cm、最大値 80cm とした。水路勾配は、最小値 LEVEL、最大値 1/120 とした。この設定値を基に、水路幅と河床勾配を組み合わせて、実験水路の形状を決定した。実験水路を図-1 に示す。

実験水路は、下流から site1(水路幅 80cm、

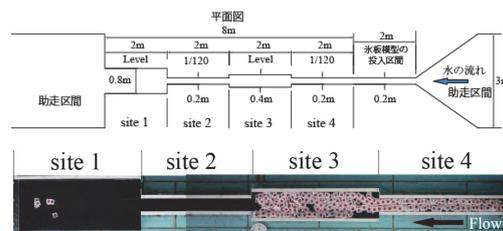


図-1 実験水路と河水閉塞状況

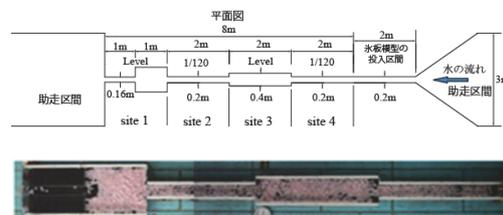


図-2 実験水路と河水閉塞状況

勾配 LEVEL), site2(水路幅 20cm, 勾配 1/120), site3(水路幅 40cm, 勾配 LEVEL), site4(水路幅 20cm, 勾配 1/120), 1 区間長 2m として 4 区間を設定した。さらに、この実験水路を改造して、site1 の下流区間 1m において、急激に川幅が狭くなる狭窄部を設けた。具体的には、川幅を 80cm から 16cm に狭くした。実験水路を図-2 に示す。実験は、図-1 の実験水路と図-2 の実験水路の 2 ケースを設定した。実験では、平面および側面より動画撮影を実施した。流量は、2.8L/s, 3.5L/s, 4.2L/s の計 3 ケースを設定した。氷板量は、0.6L/s, 0.3L/s の計 2 ケースを設定した。氷板サイズは、4cm×4cm, 8cm×8cm の計 2 ケースを設定した。厚さ 0.6cm は同一とした。氷板模型の材料は、実河川の氷板と同等の比重である白色のポリプロピレンを用いた。

狭窄部 2 ケース×河川流量 3 ケース×氷板量 2 ケース×氷板サイズ 2 ケースとして、計 24 ケースの実験を実施した。

実験の結果から、河水閉塞現象は、上流から流下する氷板が、河水閉塞発生地点において減速して、この地点で堆積および河道を閉塞させて流積を狭める。下流の流積が狭められるため、上流の水位は上昇することが推定された。このため、本研究では、氷板の堆積枚数と氷板速度に着目して検討を行った。

(2) 河水閉塞メカニズムの物理モデルの構築

氷板の堆積枚数と氷板速度に着目して検討を進めるために、河水閉塞発生地点から上流 50cm の範囲を対象として、平面および側面の映像を基にして、氷板模型の枚数を目測で計測し、平面動画を基にして、PTV 解析から平均の氷板模型速度を求めた。氷板枚数と氷板速度を図-3 に示す。図より、どのケースにおいても、氷板模型の枚数が増加すると、氷板模型の速度が減速することが分かる。ここで、河川内に形成される河水は、硬い氷板と軟らかい晶氷、氷板および晶氷上に堆積する積雪

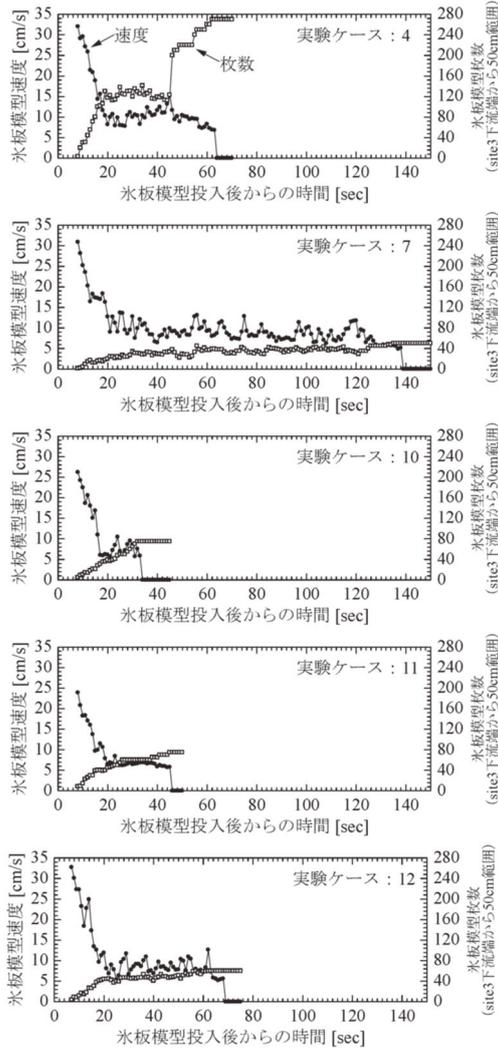


図-3 河氷閉塞時の氷板枚数と氷板速度

に大別できる。河氷閉塞現象をより広範囲に適用することを念頭に、本実験の氷板を河氷として扱い検討を進めた。

河氷閉塞（以後、アイスジャム）による河氷速度の減速は、次式の減衰割合 λ で評価した。

$$\lambda = \frac{u_i}{u_{w0}} = \frac{1}{1 + S_{ij}} \quad [1]$$

u_i (m/s)：アイスジャム発生後の河氷速度、 u_{w0} (m/s)：アイスジャム発生直前の流速。アイスジャム発生直前の河氷の速度は、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、集積した河氷を群体として扱い、河氷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} は次式となる。なお、 S_{ij} は、本研究で得られた成果である。

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

河氷の速度と厚さで表される河氷のフルード数 Fr_i は次式となる。

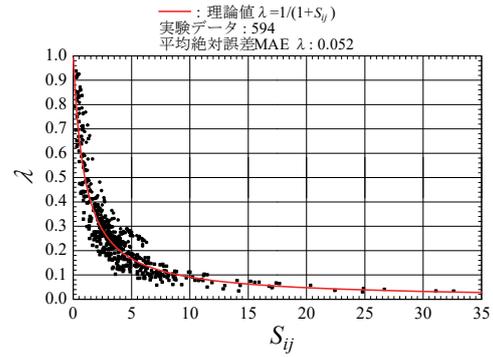


図-4 アイスジャムスケール S_{ij} と河氷速度の減衰割合 λ

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

B_i (m)：河氷群の幅、 B_1 (m)：アイスジャム発生箇所の平均水路幅、 B_2 (m)：アイスジャム下流の水路幅、 L_i (m)：集積した河氷群の長さ、 h_i (m)：集積した河氷群の平均的な厚さ、 u_i (m/s)：平均河氷移動速度、 ρ_i (kg/m³)：氷の密度、 ρ_w (kg/m³)：水の密度、 C_D ：河氷群の形状抵抗係数、 C_f ：河氷群の表面摩擦係数、 C_L ：河氷群の揚力係数、 g (m/s²)：重力加速度。

本実験データを用いて、アイスジャムスケール S_{ij} と河氷速度の減衰割合 λ 、 λ の理論値を図-4に示す。 λ の実験値と理論値の平均絶対誤差MAEは0.052である。図より、アイスジャムスケール S_{ij} が増加するほど、河氷閉塞発生前に比べて、河氷速度は減速することが分かる。アイスジャムスケール S_{ij} が増加すると河氷速度の減衰割合 λ が減少することが示され、実験を再現できたことで河氷速度の減衰割合 λ でアイスジャムを評価できることが示された。

なお、式[1]を展開すると、流速、河道形状、河氷の大きさが既知であれば、河氷速度が求められる次式が得られる。

$$u_i = u_w - \frac{\frac{B_i}{B_2} \Delta \epsilon g h_i}{\sqrt{\frac{C_D}{2} \left(\frac{h_i}{L_i}\right)^2 + C_f \left(\frac{h_i}{L_i}\right) + \frac{C_L}{2}}} \quad [4]$$

さらに、本研究成果を支川合流部におけるアイスジャムに着目した水理実験を実施した。実験データの解析の結果、以下のことが明らかとなった。①支川合流部の本川上流側において、水位は支川合流による堰上げの影響を受けて上昇し、流速は減速するため、河氷の量が少なくてもアイスジャムが発生する可能性が高くなる。②アイスジャムスケール S_{ij} を用いることにより、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することが可能となる。

(3) 河氷変動計算モデルの開発

河川上下流の現象を網羅的に把握するために、河氷を氷板、晶氷、積雪に区分して考え

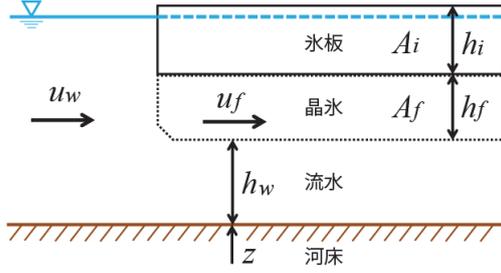


図-5 河水変動計算モデルの概念図

て、流水の流れ、水温変化、氷板の形成・融解、晶氷の発生・輸送・堆積を考慮した河水変動計算モデルを構築した。図-5 にモデルの概念図を、以下に計算モデル式を示す。

① 河川水の流れの計算

河川水における連続の式は式[5]、運動の方程式は式[6]で表した。

$$\frac{\partial A_w}{\partial t} + \frac{\partial Q_w}{\partial x} + \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{A_i}{\partial t} = 0 \quad [5]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_w^2}{A_w} \right) + g A_w \frac{\partial}{\partial x} \left(z + h_w + \frac{\rho_i}{\rho_w} (h_i + h_f) \right) \\ + \frac{g n_b^2 u_w |u_w| S_w}{R_w^{1/3}} + \frac{\rho_i g n_i^2 (u_w - u_f) |u_w - u_f| S_i}{R_i^{1/3}} \\ + g A_w I_{rw} = 0 \end{aligned} \quad [6]$$

$A(\text{m}^2)$: 河川水の流積, 氷板の断面積, 晶氷の断面積, $Q(\text{m}^3/\text{s})$: 河川流量, 晶氷輸送量, $z(\text{m})$: 河床高, $h(\text{m})$: 厚さ, $n(\text{s}/\text{m}^{1/3})$: Manning の粗度係数, $u(\text{m}/\text{s})$: 河川縦断方向の速さ, $S(\text{m})$: 潤辺, $R(\text{m})$: 径深, I_{rw} : 河川水が受ける晶氷の形状抵抗項, $\rho_w(\text{kg}/\text{m}^3)$: 水の密度, $\rho_i(\text{kg}/\text{m}^3)$: 氷の密度. $t(\text{sec})$: 時間, $x(\text{m})$: 距離, $g(\text{m}/\text{s}^2)$: 重力加速度. 添え字 w(water) は河川水に関する値, i(ice) は氷板に関する値であり, f(frazil) は晶氷に関する値である。

② 晶氷発生の計算

水面において点的な発生晶氷厚を計算する晶氷発生計算モデルは次式とした。

$$\begin{aligned} \frac{dh_f}{dt} = \frac{-\phi_s + \phi_b}{\rho_i L_i (1 - \lambda_f)} + \frac{\phi_e + \phi_c}{\rho_i L_i (1 - \lambda_f)} + \frac{(1 - \lambda_a) dh_a}{(1 - \lambda_f) dt} \\ + \frac{\rho_s}{\rho_i (1 - \lambda_f)} \frac{dh_s}{dt} + \frac{-\phi_w}{\rho_i L_i (1 - \lambda_f)} \end{aligned} \quad [7]$$

$h_a(\text{m})$: アンカーアイス厚, $h_s(\text{m})$: 降雪深. $\rho_s(\text{kg}/\text{m}^3)$: 雪の密度. λ_a : アンカーアイスの空隙率, λ_f : 晶氷の空隙率. $L_i(\text{J}/\text{kg})$: 氷の潜熱. $\phi(\text{W}/\text{m}^2)$: 熱フラックスであり, ϕ_s : 短波放射量, ϕ_b : 長波放射量, ϕ_e : 潜熱フラックス, ϕ_c : 顕熱フラックス, ϕ_w : 流水から河水への熱フラックス.

③ 晶氷の流れの計算

氷板下における晶氷の流れの計算は、式[8]の連続の式と、式[9]の Shen の晶氷輸送量式 (Shen et al., 1995) を用いた。

$$(1 - \lambda_f) \frac{dA_f}{dt} + \frac{\partial Q_f}{\partial x} = 0 \quad [8]$$

$$\Phi = 5.487(\Theta - 0.041)^{1.5} \quad [9]$$

$$\Phi = \frac{q_f}{F \sqrt{\Delta g d_f^3}} \quad [10]$$

$$\Theta = \frac{U_*^2}{F^2 \Delta g d_f} \quad [11]$$

Φ : 無次元晶氷輸送量, Θ : 無次元せん断力, $q_f(\text{m}^2/\text{s})$: 単位幅晶氷輸送量, $d_f(\text{m})$: 晶氷粒径, $U_*(\text{m}/\text{s})$: 摩擦速度, Δ : 水中比重で $(\rho_w - \rho_i)/\rho_w$, $Q_f(\text{m}^3/\text{s})$: 晶氷輸送量. F : 沈降速度係数.

④ 氷板の形成融解の計算

氷板の形成融解の計算は、熱フラックスから導出した次式を用いた。

$$h_i = h_i' - \left(\frac{65.2}{10^5} \right) \alpha \frac{T_a}{h_i'} - \left(\frac{45.8}{10^2} \right) \beta^4 T_w h_i'^{\frac{1}{3}} \quad [12]$$

$h_i'(\text{m})$ は Δt 前の氷板厚, $T_a(^{\circ}\text{C})$: 気温, $T_w(^{\circ}\text{C})$: 水温である。

⑤ 河川水温の計算

河川水温の計算は次式を用いた。

$$\begin{aligned} \frac{\partial (A_w \rho_w C_p T_w)}{\partial t} + \frac{\partial (Q_w \rho_w C_p T_w)}{\partial x} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_w E_x \rho_w C_p \frac{T_w}{\partial x} \right) - (1 - N) B \phi_{wa} - N B \phi_w \end{aligned} \quad [13]$$

$$\phi_{wa} = h_{wa} (T_w' - T_a) \quad [14]$$

$$\phi_w = C_{wi} \frac{u_w^{0.8}}{h_w^{0.2}} (T_w' - T_f) \quad [15]$$

$C_p(\text{kJ}/\text{kg}/^{\circ}\text{C})$: 水の比熱, $E_x(\text{m}^2/\text{s})$: 拡散係数. N : 横断結氷比で水面幅に対する河氷幅の割合. $\phi_{wa}(\text{W}/\text{m}^2)$: 大気と河川水との間における熱フラックス, $h_{wa}(\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C})$: 水面の熱交換係数, $C_{wi}(\text{WS}^{0.8}/^{\circ}\text{C}/\text{m}^{2.6})$ は 1622 を, $T_f(^{\circ}\text{C})$: 河氷底面の温度であり 0 を与えた. $T_w'(^{\circ}\text{C})$: Δt 後の水温で未知数として扱った。

(4) 河水変動計算モデルの妥当性の確認

計算値の妥当性を確認するために、過去に河氷閉塞により冬期の取水障害が発生している実河川において、氷板・晶氷断面積の観測を実施し、観測値と計算値の比較を行った。

観測地点は図-6 の天塩川水系名寄川の合流点から上流 7.05km(以下, KP7.05)地点の取水堰を有する真勲別頭首工周辺とした. KP とはキロポストの略で、天塩川との合流点からの距離 km である。

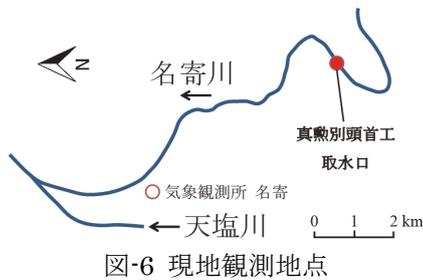


図-6 現地観測地点

真敷別頭首工から上流の地点の KP7.2, KP7.6, KP8.0 において、晶氷と氷板の断面積測量を1地点につき計6回実施した。河川結氷時の横断測線上に設けた四辺形の観測穴にL型ポールを入れて、手に伝わる感覚を基に晶氷厚と氷板厚を測定し、四辺の平均値を測定値とした。これらの測定値から横断面における晶氷面積と氷板面積を求めた。

氷板面積の観測値と計算値について、上流から図-7,8,9に示す。絶対誤差の平均値は、KP8.0は5.1m²、KP7.6は6.7m²、KP7.2は10.5m²であり、計算値は観測値を上記の精度で再現した。上下流の氷板面積を比較してみると、下流のKP7.2は上流に比べて、氷板面積が大きい。河川縦断方向の結氷および氷板に関して、結氷は取水堰から上流へと進み、下流は上流に比べて氷板面積が大きいことが分かる。晶氷面積の観測値と計算値について、上流から図-10,11,12に示す。絶対誤差の平均値は、KP8.0は6.0m²、KP7.6は5.1m²、KP7.2は12.5m²であり、計算値は観測値を上記の精度で再現した。計算値は、氷板面積、晶氷面積の観測値を良く再現した。

観測値と計算値に基づいて堰上流の晶氷変動現象を推定した。結氷は、気温低下に伴い水温が0℃となり始まり、時間の経過とともに堰から上流へと進む。結氷していない河道の水面で発生する晶氷は、下流の結氷している氷板の下に堆積する。その後、水流が強くなるに伴い氷板の下に堆積している晶氷がさらに下流へと流れて、下流において晶氷が急激に増加してアイスジャムが発生する。

4. 研究成果

本研究成果により得られたアイスジャムスケール S_{ij} を用いて河川縦断方向のアイスジャム発生危険箇所の場所と規模を推定することが可能となり、河水変動計算モデルにより上下流の結氷現象を把握することが可能となる。本研究成果は、寒冷地河川を管理する上で強力なツールとなる。

<引用文献>

- ① Hung Tao Shen, De Sheng Wang: Under Cover Transport and Accumulation of Frazil Granules, *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(2), pp.184-195, 1995.

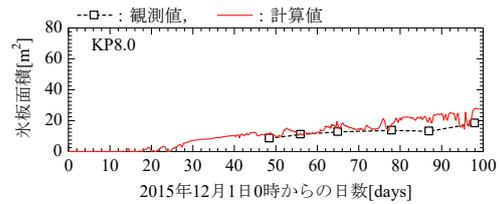


図-7 氷板面積の観測値と計算値(KP8.0)

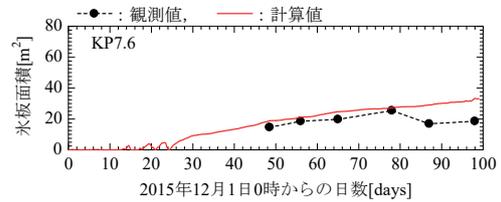


図-8 氷板面積の観測値と計算値(KP7.6)

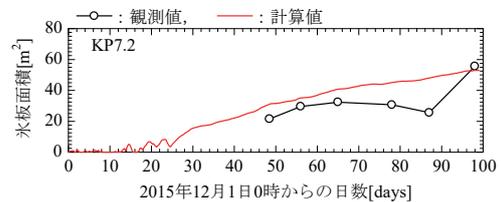


図-9 氷板面積の観測値と計算値(KP7.2)

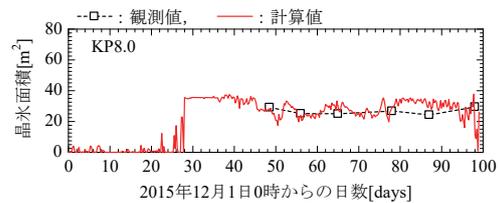


図-10 晶氷面積の観測値と計算値(KP8.0)

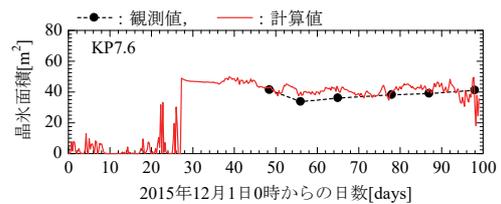


図-11 晶氷面積の観測値と計算値(KP7.6)

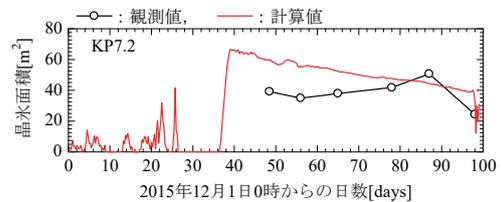


図-12 晶氷面積の観測値と計算値(KP7.2)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件)

- ① 吉川 泰弘, 岡部 博一, 橋場 雅弘, 森田 共胤: 寒冷地河川における取水堰上流の晶氷変動現象に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.73, No.4, pp.I_1321-I_1326, 2017. 査読有.
- ② 鳥谷部 寿人, 吉川 泰弘, 岡部 博一, 田中 忠彦: 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, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.73, No.4, pp.I_1339-I_1344, 2017. 査読有.
- ③ 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 23rd IAHR International Symposium on Ice*, ISSN:2414-6331, 2016. 査読有.
- ④ 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. 査読有. DOI:10.2208/jscejhe.72.I_601
- ⑤ Hotaek Park, Yasuhiro YOSHIKAWA, Kazuhiro Oshima, Youngwook Kim, Thanh Ngo-Duc, John S. Kimball, Daqing Yang: Quantification of Warming Climate-Induced Changes in Terrestrial Arctic River Ice Thickness and Phenology, *Journal of Climate*, Vol.29, No. 5, pp.1733-1754, 2016. 査読有. DOI:10.1175/JCLI-D-15-0569.1
- ⑥ 吉川 泰弘, 黒田 保孝, 橋場 雅弘: 寒冷地河川の取水施設における晶氷変動量の推定手法, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.72, No.4, pp.I_307-I_312, 2016. 査読有. DOI: 10.2208/jscejhe.72.I_307
- ⑦ 吉川 泰弘, 阿部 孝章, 中津川 誠, 船木 淳悟: 河川津波による塩水遡上現象に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I_403-I_408, 2015. 査読有. DOI: 10.2208/kaigan.71.I_403
- ⑧ 鈴木 広卓, 橋場 雅弘, 吉川 泰弘, 黒田 保孝: アンカーアイスが結氷河川の物質循環に与える影響, 土木学会, 河川技術論文集, 第 21 巻, pp.49-54, 2015. 査読有. <http://hdl.handle.net/10213/2627>
- ⑨ 吉川 泰弘, 黒田 保孝, 橋場 雅弘, 入交 泰文: 寒冷地河川における晶氷発生計算モデルの開発と取水障害の発生条件, 土木学会論文集 B1 (水工学),

Vol.71, No.4, pp.I_1327-I_1332, 2015. 査読有.

DOI:10.2208/jscejhe.71.I_1327

- ⑩ 佐藤 好茂, 阿部 孝章, 吉川 泰弘, 伊藤 丹: 氷板混合津波が橋桁に及ぼす波力特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.I_851-I_855, 2014. 査読有. DOI:10.2208/kaigan.70.I_851
- ⑪ Yasuhiro YOSHIKAWA, Yasuharu WATANABE, Akashi ITOH: A SIMPLE EQUATION FOR ICE SHEET THICKNESS AND ICE FORMATION/BREAKUP PREDICTION, *Journal of JSCE*, Vol.2, pp.203-213, 2014. 査読有. DOI:10.2208/journalofjsce.2.1_203
- ⑫ Yasuhiro YOSHIKAWA, Yasuharu WATANABE, Akashi ITOH: Study of Frazil Particle Distribution and Frazil Transport Capacity, *Proceedings of The 22th IAHR International Symposium on Ice*, pp.679-686, ISBN: 978-981-09-0750-1, DOI:10.3850/978-981-09-0750-1_1198, 2014. 査読有.
- ⑬ 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, 土木学会, 河川技術論文集, 第 20 巻, pp.241-246, 2014. 査読有. <http://hdl.handle.net/10213/2066>

[学会発表] (計 2 件)

- ① 吉川 泰弘, 阿部 孝章, 中津川 誠, 船木 淳悟: 鉛直 2 次元計算モデルを用いた河川津波による塩水遡上現象に関する数値実験, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表会論文報告集, 第 71 号, B-33, 室蘭工業大学 (北海道・室蘭市), 1 月 31 日, 2015.
- ② 北島 笙子, 吉川 泰弘, 黒田 保孝: 河道狭窄部がアイスジャム発生現象に与える影響, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表会論文報告集, 第 71 号, B-37, 室蘭工業大学 (北海道・室蘭市), 1 月 31 日, 2015.

[図書] (計 1 件)

- ① Editors names: Tetsuya Hiyama and Hiroki Takakura, Springer Nature, *Global Warming and Human -Nature Dimension in Northern Eurasia-*, 2017. (分担執筆)

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉川 泰弘 (YOSHIKAWA, Yasuhiro)
北見工業大学・工学部・助教
研究者番号: 5 0 4 1 4 1 4 9