

河川結氷災害の現象の解明及び災害対策技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地河川チーム

研究担当者：伊藤 丹、吉川泰弘、阿部孝章、
安田裕一

【要旨】

アイスジャムの発端となる解氷現象を明らかにすることを目的に、解氷を引き起こす一つの要因として、上流の水位の変動速度に着目した実験を実施した。実験の結果、アイスジャムの発端となる解氷を引き起こす要因の一つとして、水位の急激な上昇が推定された。水位が急激に上昇することにより、流水が氷の上を流れ氷が不安定となり、氷が分断されて解氷に至り、解氷した氷が狭窄部で滞留し、アイスジャムが発生した。また、2011年3月の東北地方太平洋沖地震による津波の結氷河川への影響を把握するために、水位において実験値と計算値の比較を行い、計算モデルを用いて、河川津波に伴い発生した北海道鶴川のアイスジャムの水位変動の再現計算を行い、アイスジャム現象の解明を試みた。

キーワード：結氷河川、河氷、アイスジャム、津波、現地観測

1. はじめに

河川結氷現象の解明のために、水理実験を実施し、実験結果を用いて検討を行った。河川結氷災害として、春先の解氷に伴うアイスジャム現象と河川結氷時の河川津波に伴うアイスジャム現象に着目した。

結氷河川は、春先になると河道内に形成された河氷が解氷する。解氷した河氷が、狭窄部や蛇行部などで滞留して河道を閉塞させると、アイスジャムが発生する。アイスジャムにより、流れはせき止められ、河川水位は急激に上昇するため、治水上の問題となる。北海道東部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ている。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、気象データおよび解氷直前の連続写真から示唆されている¹⁾。

本研究は、アイスジャムの発端となる解氷現象を明らかにすることを目的に、解氷を引き起こす一つの要因として、上流の水位の変動速度に着目し、水位が緩やかに上昇する実験と、水位が急激に上昇する実験を実施した。さらに、水理実験におけるアイスジャム発生時の Manning の粗度係数の時間変化を算出した。

2011年3月東北地方太平洋沖地震による津波は、陸上および河川を遡上し、多量の漂流物を発生させた。津波自体の流体力に加えて、漂流物の輸送による衝突

力の増大によって、今次津波による被害は拡大した。一方で、積雪寒冷地に位置する河川では、主に気温の低下に伴い河川内に河氷が形成される。北海道においては、12月下旬頃から4月上旬頃までの年間の約100日間、河川は結氷する。河川結氷時に津波が来襲した場合、津波により被害が拡大することが想定される。今次津波は、河川結氷期間の3月に発生している。阿部ら²⁾は、今次津波来襲後に北海道の鶴川において現地調査を実施している。現地調査において、津波により破壊されたと考えられる河氷が、河川内に堆積しており、さらに、河口から2.55kmの水位をみると、津波来襲前には0.91mの水位だったものが、来襲後には1.75mまで上昇し、その後、水位はすぐには下がらずに高水位を持続し、来襲前の水位に戻るまで約4日間かかった。現地状況および水位データから、津波により破壊された河氷が、上流へと輸送され、ある場所で河氷が堆積し流れを堰き止めたため、アイスジャムが発生し、水位が上昇したと予見される。結氷河川の津波対策を立案する際には、このような河氷の破壊・輸送・堆積、水位の変動のメカニズムを解明する必要がある。

本研究は、東北地方太平洋沖地震津波によって鶴川で発生したアイスジャムの現象解明を目的に、河氷の破壊・輸送・堆積を考慮した河氷変動計算モデルを構築した。本計算モデルの妥当性を確認するために、アイスジャムの水理実験において実験値と計算値の比較

を行った。さらに、本計算モデルを用いて、河川津波に伴い発生した北海道鶴川のアイスジャムの水位変動の再現計算を行い、アイスジャム現象の解明を試みた。

2. アイスジャムの発端に関する水理実験

2.1 研究方法

実験水路の底面と側面は透明なアクリル板で構成され、水路長 9.0m、水路幅 0.2m、水路勾配 1/500 である。実験水路の下流端から 3.0m の位置から上流へ 0.2m の区間に、水路幅の半分の幅 0.1m の狭窄部を設置した。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。

氷の製作は、シリコン製ゴムで型枠を作り、型枠内を水道水で満たした状態で冷蔵庫(ハイアール電気冷蔵庫家庭用 JF-NC205A)に入れて、冷却度 1、急冷モードとして、冷蔵庫内の温度約-16℃の中で、氷を製作した。製作に要する時間は、小さいもので 8 時間、大きいもので 20 時間程度であった。製作した氷は、小型のこぎりで整形した。製作した氷のサイズおよび個数は、2010 年 2 月の渚滑川の現地調査¹⁾の結果を参考にして、大(20.0cm × 9.9cm × 3.0cm、4 個)、中(10.0cm × 9.9cm × 1.5 cm、20 個)、小(5.0cm × 4.9cm × 0.8cm、24 個)に区分して決定した。氷の配置は、解氷時の河水は、互いに衝突し融解されながら小さくなり流下すると考えられることから、下流から上流に向かって氷のサイズを小さくして配置した。なお、実験開始前に狭窄部から氷が流下しないように、狭窄部の上流に位置する大きい氷のみ、幅を 10.2cm とした。実験水路内の狭窄部の位置と氷の配置を図-2.1 に示す。

水位は、水路の下流端から 2.00m、3.05m、4.00m の 3 箇所、箇所毎に水路底面から 1.5cm の位置にピエゾ管を設置した。ピエゾ管と圧力センサー(ATM.1ST 型圧力計発信器、STS Sensor Technik Sirmach AG)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(NR-600 スタンドアロン計測ユニット、株式会社キーエンス)を介して値を得た。電圧と水位の関係式を事前に導くことにより、1 秒毎の水位を測定した。

水理実験は、上流の水位が緩やかに上昇する実験 case1 と、上流の水位が急激に上昇する実験 case 2 の計 2 回、実施した。水理実験の下流端から 4m 地点における氷がない場合の水位と水位の変動速度を図-2.2 に示す。図-2.2 から、水位のピーク値は同程度であり、

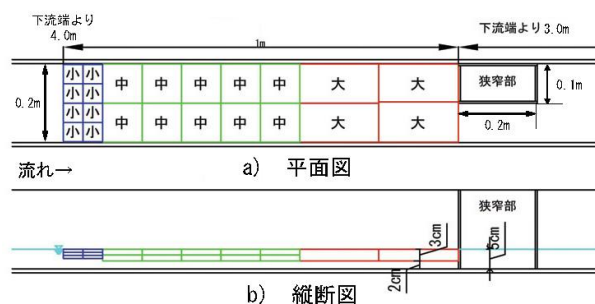


図-2.1 実験水路内の狭窄部の位置と氷の配置

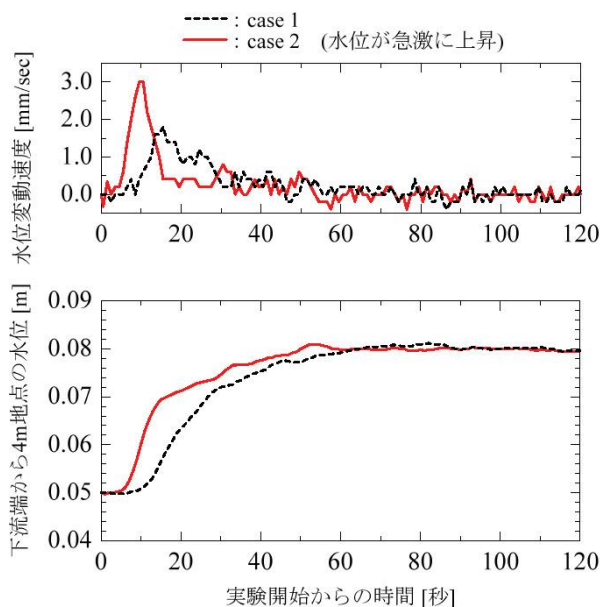


図-2.2 実験の境界条件となる上流の水位と水位変動速度

最大の水位変動速度は、case 1 は 1.8mm/sec で、case 2 は 3.0mm/sec であり、case 2 の方が、水位が急激に上昇する実験条件であることが分かる。

気温は下流端から 2m と 6m の計 2 箇所、水温は上流端に 2 箇所と下流端に 2 箇所の計 4 箇所に、温度計(テイドビット v2、UTBI-001、米国オンセットコンピュータ社、精度 ± 0.02℃)を設置し測定した。case 1 は、平均気温は 10.89℃、上流端の平均水温は 0.49℃、下流端の平均水温は 0.54℃であった。case 2 は、平均気温は 11.25℃、上流端の平均水温は 0.48℃、下流端の平均水温は 0.58℃であった。

2.2 研究結果

水理実験の結果は、case 1 はアイスジャム非発生、case 2 はアイスジャム発生であった。狭窄部上流の下流端から 4m 地点において、水位および Manning の粗度係数の時間変化について、case 1 を図-2.3 に、case 2 を図-2.4 に示す。図中には、事前に実施した氷がない場合の実験の水位変化を黒破線で示している。

図-2.3 の case 1 の水位は、氷による粗度の増加により、氷なしに比べて水位は上昇している。水理実験の状況は、流水が氷の上を流れることなく、水位の上昇に呼応して初期の氷の配置を変えることなく氷も上昇したため、アイスジャムは発生しなかった。このため、後述する case 2 に比べて水位の変動は小さい。

図-2.4 の case 2 の水位は、case 1 に比べて急激に上昇している。この水位上昇期間の実験状況を図-2.5 に示す。図-2.5 から、実験開始 17 秒後に、流水が氷の上を流れ、氷が不安定になっていることが分かり、実験開始 43 秒後には、氷が分断されて流下している。さらに、実験開始 71 秒後には、氷が狭窄部上流で滞留しアイスジャムが発生していることが分かる。その後、氷は、流水の影響により融解され形を変えながら、狭窄部を通り抜けて全て下流へと流下した。このため、図-2.4 の case2 の水位変動要因は、アイスジャムの発生によるものと推定できる。

狭窄部の上流区間である下流端から 3.05m 地点から 4.00m 地点までの 1m の区間における Manning の粗度係数を式(1) から算出した。

$$n = \frac{1}{u} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

n [s/m^{1/3}]:Manning の粗度係数、 u [m/s]:平均流速、 R [m]:径深、 i [無次元]:エネルギー勾配である。

平均流速は、氷の影響のない下流端から 2.00m において、事前に求めた水位流量曲線から 1 秒毎に流量を算出し、流れ場を不等流と仮定して、計算された流量と狭窄部上流の流量は等しいとした。下流端から 3.05m と 4.00m の水位から、この区間の平均水深を算出し、5 秒移動平均の平均流速を求めた。径深は、下流端から 3.05m と 4.00m の水位から、この区間の平均水深を算出し、水路底面、水路側面、河氷底面を考慮して、5 秒移動平均の径深を算出した。エネルギー勾配は、下流端から 3.05m と 4.00m の水面勾配と等しいと仮定して、5 秒移動平均のエネルギー勾配を求めた。

アイスジャム非発生の case 1 の Manning の粗度係数は、実験開始直後には値が大きくなるが、その後、実験開始後の 100 秒後からの平均値は 0.023 となり、変動は小さい。アイスジャム発生時の case 2 の Manning の粗度係数は、最大で 0.145 と大きな値となった。また、アイスジャム発生時の特徴として、逆勾配となる場合があり、Manning の粗度係数を算出できない期間があった。

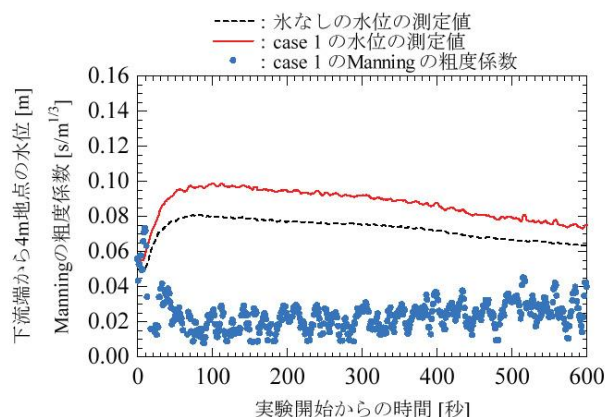


図-2.3 水位と Manning の粗度係数の時間変化 (case 1 : 水位が緩やかに上昇、アイスジャム非発生)

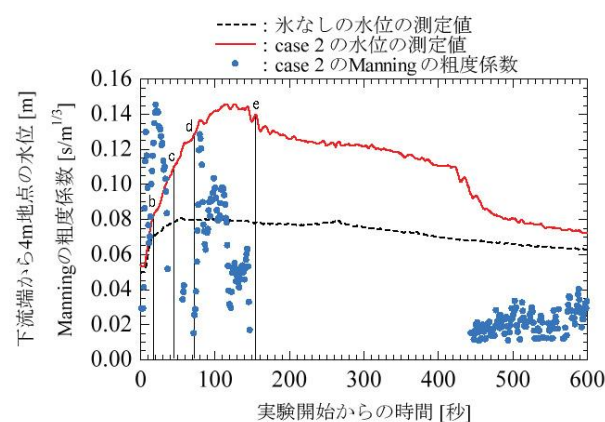


図-2.4 水位と Manning の粗度係数の時間変化 (case 2 : 水位が急激に上昇、アイスジャム発生)

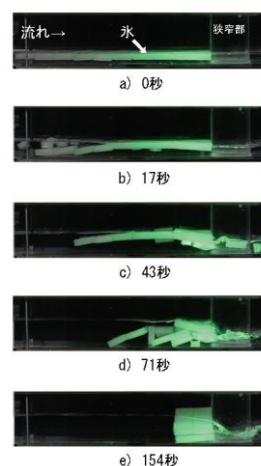


図-2.5 解氷からアイスジャム発生までの実験状況 (case 2)

2. 3 本章のまとめ

アイスジャムの発端となる解氷を引き起こす要因の一つとして、水位の急激な上昇が推定された。水位が急激に上昇することにより、流水が氷の上を流れ氷が

不安定となり、氷が分断されて解氷に至り、解氷した氷が狭窄部で滞留し、アイスジャムが発生した。ピーク水位が同じでも、水位の変動速度が異なると、アイスジャムの発生と非発生の現象の違いが現れた。アイスジャム発生時の Manning の粗度係数の時間変化について、逆勾配となるため、Manning の粗度係数を算出できない期間があることが分かった。

3. 鶴川のアイスジャム再現計算

3.1 研究方法

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した。河氷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、アイスジャムの主な構成材料と考えられる固定された硬い氷板と破壊されて流下する氷板を対象にした。流れの計算は、一般断面 1 次元不定流計算モデルとし、連続の式と運動方程式を用いた。氷板の破壊条件は、流水および流下する氷板による応力と氷板の許容曲げ応力との比較から氷板の破壊を判定した。アイスジャム発生条件は、川幅と氷板厚の関係から判断した。

3.1.1 流れの計算

流れの計算は、連続の式と運動の方程式を用いた。氷板の形成融解による河川流量の増減、氷板の破壊による流下する氷板の増減については連続の式で考慮した。計算方法は、従属変数を空間的に千鳥状に配置して、時間的に蛙飛び (leap-frog) に進める陽的な差分式で行った。河川水における連続の式は式 (2)、運動の方程式は式 (3)、氷板における連続の式は式 (4)、運動の方程式は式 (5) で表した。

$$\frac{\partial A_w}{\partial t} + \frac{\partial Q_w}{\partial x} + \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{\partial A_{is}}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_w^2}{A_w} \right) + g A_w \frac{\partial}{\partial x} \left(z + h_w + \frac{\rho_i}{\rho_w} (h_{is} + h_{if}) \right) \\ + \frac{g n_b^2 u_w^2 S_w}{R_w^{1/3}} + \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{g n_i^2 u_i^2 S_i}{R_i^{1/3}} + g A_w I_r = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial A_{if}}{\partial t} + \frac{\partial Q_{if}}{\partial x} - \frac{\partial A_{is}}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{if}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_{if}^2}{A_{if}} \right) + g A_{if} \frac{\partial}{\partial x} (z + h_w + h_{is} + h_{if}) \\ - \frac{g n_i^2 u_i^2 S_i}{R_i^{1/3}} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$A[\text{m}^2]$: 河川水の流積、流れている河氷面積および氷板面積、 $Q[\text{m}^3/\text{s}]$: 流量および河氷流量、 $z[\text{m}]$: 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_r [無次元]: 氷板の抵抗項、 $\rho_w [\text{kg}/\text{m}^3]$: 水の密度で 1000 を与え、 $\rho_i [\text{kg}/\text{m}^3]$: 氷の密度で 920 を与えた。 $t[\text{sec}]$: 時間、 $x[\text{m}]$: 距離、 $g[\text{m}/\text{s}^2]$: 重力加速度で 9.8 である。添え字 w (water)は河川水に関する値、 is (ice sheet)は氷板に関する値、 if (ice flow)は流れている河氷に関する値であり、 i (ice)は河氷に関する値である。

本研究では、氷板の河川水への抵抗について、河川水と氷板の境界面における粗度に加えて、氷板が厚くなるほど抵抗が大きくなる影響について、河川水の運動の方程式に、次式の氷板の抵抗項を加えることで考慮した。

$$I_r = \frac{\gamma C_D u_w^2}{2gdx} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{h_{if}}{h_{if} + h_w} \quad (7)$$

C_D : 氷板の抵抗係数、 $dx[\text{m}]$: 計算断面間隔、 γ : 氷板厚の割合である。 C_D はアイスジャム水理実験の実験値と計算値の比較により、 $C_D = 2 \times 10^{-5}$ の値を得た。

河床の粗度係数 n_b は、固定値を与えた。氷板の粗度係数 n_i は、河床と氷板の合成粗度係数 n_0 と河床の粗度係数 n_b から、Sabaneev の式 (8) を用いて算出した。

$$n_i = \left(2n_0^{\frac{3}{2}} - n_b^{\frac{3}{2}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (8)$$

河床と氷板の合成粗度係数 n_0 の計算式、河床の影響を受ける径深 R_w と氷板の影響を受ける径深 R_i の計算式は、吉川ら³⁾の計算手法に準じた。

3.1.2 氷板の形成融解式

氷板の形成融解の計算式は、入力値が気温、水温、有効水深およびその地点固有の係数 α 、 β であり、氷板の形成から融解までを計算することが可能である熱フラックス式から導出された吉川ら⁴⁾の式 (9) を用いた。

$$h_{is} = h'_{is} - \left(\frac{65.2}{10^5}\right) \alpha \frac{T_a}{h'_{is}} - \left(\frac{45.8}{10^2}\right) \beta^{4/5} T_w h_w^{1/3} \quad (9)$$

$$\alpha = 0.906 - 2.770 \frac{I_b B}{h_w} \quad (10)$$

$$\beta = \frac{u_w}{h_w^{2/3}} \quad (11)$$

h'_{is} [m]: Δt 前の氷板厚、 T_a [°C]: 気温、 T_w [°C]: 水温、 I_b [無次元]: 河床勾配、 B [m]: 川幅である。

3.1.3 氷板破壊条件

本研究における破壊される氷板は以下のように扱った。氷板が受ける荷重については、流水による鉛直上向きの等分布荷重と流下する氷板の衝突による荷重とした。破壊の形態については、これらの荷重による曲げ破壊とした。鉛直方向の荷重によるせん断破壊については、曲げ破壊に比べて頻度が少ないと考えて対象としていない。梁の種類については、氷板は水位変動に応じて上下に変動するため氷板と河岸は自由条件であり、氷板は河川縦断方向に形成されるため氷板相互間は固定条件であるため、氷板相互間では上下水平方向の移動、回転が出来ない固定支点と考えて片持梁および両持梁とした。なお、破壊される氷板の縦断方向の単位長さは計算格子間隔とした。

氷板の破壊条件は、流水および氷板により加えられる応力 σ_{max} と氷板の許容応力 σ_a を用いて、式 (12) の条件時に氷板は破壊すると判定した。なお、本研究での氷板の許容応力 σ_a [MPa]は、後述する鶴川アイスジャム再現計算において再現性が高い値であった 1×10^4 とした。

$$\sigma_{max} > \sigma_a \quad (12)$$

a) 流水による曲げ応力

流水が氷板に与える力は、等分布荷重を集中荷重に換算して考慮した。流水による曲げ応力 σ_{max} は、氷板が片持梁の場合を式 (13) とし、両持梁の場合を式 (14) とした。ここで、 I_w [無次元]: 河床勾配である。

$$\sigma_{max} = 3\rho_w \left(\frac{dxu_w I_w}{h_{is}} \right)^2 \quad (13)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\rho_w}{4} \left(\frac{dxu_w I_w}{h_{is}} \right)^2 \quad (14)$$

b) 流水および氷板による曲げ応力

流水および氷板により曲げ応力 σ_{max} は、氷板が片持

梁の場合を式 (15) とし、両持梁の場合を式 (17) とした。ここで、 E [MPa]: 曲げ弾性係数であり、久保⁵⁾の既往研究を参考に 3470.8MPa を与えた。

$$\sigma_{max} = 6\rho_w \left(\frac{u_w I_w}{h_{is} k} \right)^2 \left| kdx \frac{\sin(kdx)}{\cos(kdx)} + \frac{1}{\sin(kdx)} - 1 \right| \quad (15)$$

$$k = \sqrt{\frac{12\rho_i h_{if} u_{if}^2}{E h_{is}^3}} \quad (16)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\rho_i h_{if} dx I_w}{4} \left(\frac{u_i}{h_{is}} \right)^2 \quad (17)$$

3.1.4 アイスジャム発生条件

本計算モデル、固体である氷板の移動を河川水と同様に運動方程式を用いて計算している。アイスジャム現象の一つとして、氷板の量に対して川幅が狭い場合に、氷板が物理的に通過できないため、氷板の移動速度が遅くなり河道内に堆積する現象が考えられる。本計算モデルでは、この現象を再現するために、川幅に対して氷板厚がある一定の厚さになった時にアイスジャムが発生し、氷板の移動速度が減速すると仮定し、式 (18) よりアイスジャム現象の再現を試みた。

$$u'_i = \lambda u_i \quad \text{when} \quad IJ \geq \frac{B}{h_{if}} \quad (18)$$

u'_i [m/s]: アイスジャム発生時の氷板速度、 IJ [無次元]: 川幅氷板厚比、 λ [無次元]: アイスジャム発生時の氷板速度の減速率である。本研究における実験および実河川の再現計算の結果より、実験の IJ は 5、実河川の IJ は 300、 λ は実験および実河川ともに 0.5 の値を得た。また、アイスジャム発生時における合成粗度係数は、吉川ら⁶⁾によって得られた実河川の値 $n_0=0.058$ を与えた。

3. 2 研究結果

3.2.1 水位の実験値と計算値の比較

構築した河氷変動計算モデルの妥当性を確認するために、2章のアイスジャムの水理実験における水位の実験値と計算値の比較を行った。

計算時間間隔はクーラン数 0.005、水路および氷の粗度係数は 0.02 とした。計算における氷の破壊については、実験における氷はすでに個々に分断されているため、計算上の氷の破壊は、実験状況を参考にして実験開始 0 秒から 100 秒にかけて上流から順に破壊させる条件とした。

実験水路下流端から 4m 地点 (狭窄部上流) の水位

における実験水位と計算水位を図-3.1 に示す。図には、事前に実施した氷がない場合の実験水位と計算水位を合わせて示した。図-3.1 の氷なしの場合において、計算水位は時系列に実験水位を良く再現しているのが分かる。図-3.1 の氷ありの場合は、実験開始直後において、計算水位は実験水位よりも早く上昇している。この原因の一つとして、計算上、上流から強制的に氷を破壊させているため、このことが実現象と一致していないと考えられる。一方、水位のピーク値をみると、計算水位は実験開始 27 秒後に 15.0cm、実験水位は実験開始 114 秒後に 14.6cm であり、その差は 4mm であり良く一致している。実験開始 425 秒後においては、計算水位と実験水位が一致していない。アイスジャム発生時の実験状況は、堆積した氷が流速および水温の影響を受けて融解され形を変えて下流へと流れる状況が確認されている。計算上の水温は、上流端の平均水温 0.48℃を一定値として与えているため、氷の融解が進まずに、氷が堆積し続けたと考えられる。

本研究モデルは上記の課題を有しているが、アイス発生による水位上昇およびその後の水位の減少について定性的にみると、計算水位は実験水位を良く再現していると言える。

3.2.2 鵜川のアイスジャム再現計算

a) 計算条件

計算期間は 2011 年 3 月 11 日から 16 日の 6 日間、計算区間は河口から 0.6km から 9.0km の区間とした。計算時間間隔はクーラン数 0.02、河床の粗度係数 0.035、氷板の粗度係数 0.020 とした。津波来襲前の縦断的な氷板厚は、阿部ら F) の計算結果を与えた。上流の境界条件は流量 5.0m³/s を一定値として与え、下流の境界条件は 1 分毎の水位を与えた。横断形状は一般断面とした。参考までに津波来襲前の平均河床高と川幅を図-3.2 に示す。

下流の水位データについて、鵜川河口より一番近い潮位観測所は、河口から西へ約 10km の苦小牧東港であるが、津波来襲前は欠測であったため、河口から西へ約 25km の位置にある苦小牧西港の潮位データを用いた。このため、本研究ではアイスジャムの再現を目的としているため、下流の水位データの調整を行った。具体的には、苦小牧西港の潮位に 0.8 を乗じた値を鵜川河口水位とした。さらに、2011 年 3 月 12 日の 4:22 から 4:27 の期間において、河川津波によりアイスジャムが解消され、水位が下降する計算結果となった。アイスジャムの再現性を高めるために、この期間の水位データのみ最大で 31cm 減じた。また、河川水温とし

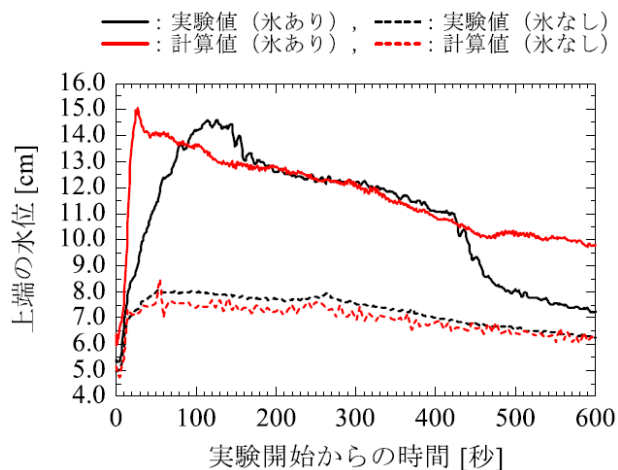


図-3.1 アイスジャム実験における水位の実測値と計算値の比較（水路下流端から 4m 地点）

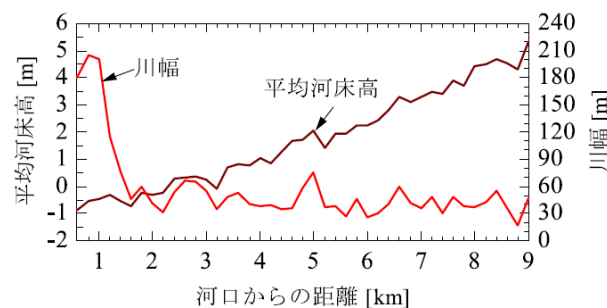


図-3.2 鵜川の平均河床高と川幅

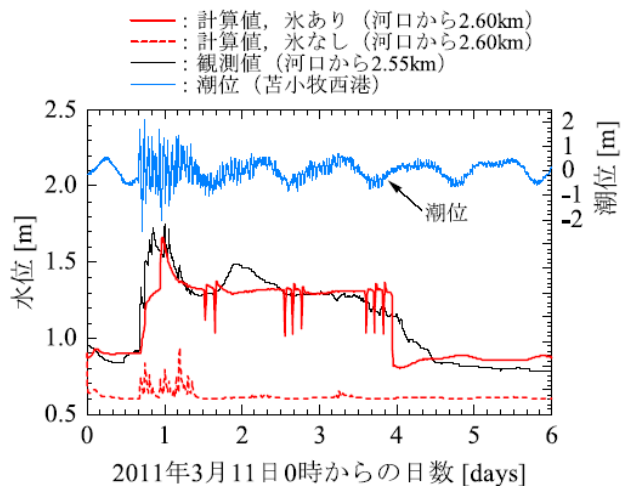


図-3.3 河川津波に伴い発生した鵜川アイスジャムにおける水位の観測値と計算値の比較

て 0.09℃を与えた。

b) 水位の観測値と計算値の比較

図-3.3 に水位の観測値と計算値を示す。図には氷なしの計算値も合わせて示した。図-3.3 より、氷ありの計算水位は観測水位の上昇および下降を良く再現している。計算 1.5 日後から計算 4.0 日後の期間では、短期間のアイスジャムの解消および発生により計算水位が

変動している。

c) アイスジャム現象に関する考察

図-3.4 に河川縦断の氷板厚の変化を示す。図-3.4 より、アイスジャムが発生したと推定される地点は、河口から 1.6km、2.0km、2.2km の地点である。これらの地点は、図-3.2 より川幅が狭い地点である。図-3.4 の計算結果から河川津波に伴う鶴川のアイスジャム現象として、以下の現象が推定できる。津波が河川を遡上する押し波時に、氷板は破壊されながら上流へと輸送され、氷板が下流へと流下する引き波時に、氷板は川幅が狭い河道において堆積した。このため、河積が狭められアイスジャムが発生し、流れが止められ水位が上昇した。アイスジャム発生地点は、一箇所に留まらず、津波が河川を遡上するタイミングで下流から上流へと移動した。その後、氷板は流速および水温の影響により融解され下流へと移動した。

3. 3 本章のまとめ

河氷変動計算モデルを構築し、実験値および観測値との比較から計算値の妥当性を確認した。本計算モデルは、アイスジャム発生条件、氷板の許容応力を適切に与えることが重要であるとわかった。河川津波に伴い発生した北海道鶴川のアイスジャムの水位変動の再現計算を行い、アイスジャムの発生箇所およびその挙動を明らかにした。

4. まとめ

河川結氷現象の解明のために、水理実験を実施し、実験結果を用いて検討を行った。河川結氷災害として、春先の解氷に伴うアイスジャム現象と河川結氷時の河川津波に伴うアイスジャム現象に着目した。

水理実験からアイスジャムの発端となる解氷を引き起こす要因の一つとして、水位の急激な上昇が推定された。また、水位が急激に上昇することにより、流水が氷の上を流れ氷が不安定となり、氷が分断されて解氷に至り、解氷した氷が狭窄部で滞留し、アイスジャムが発生することを確認した。

河川結氷時の河川津波を伴うアイスジャム現象については、河氷変動計算モデルを構築し、河川津波に伴い発生した北海道鶴川のアイスジャムの水位変動の再現計算を行い、アイスジャムの発生箇所およびその挙動を明らかにした。

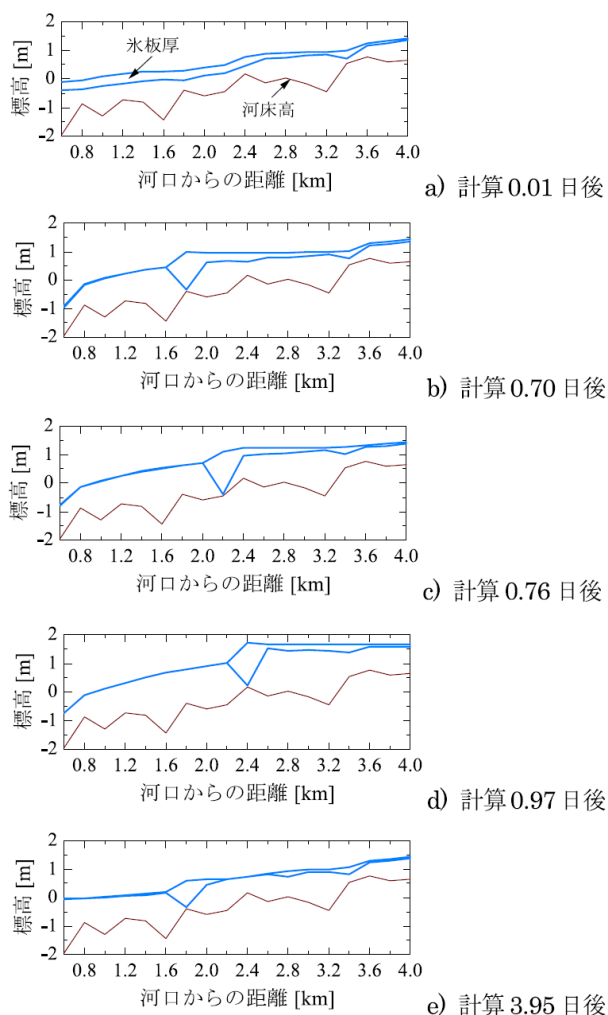


図-3.4 河川津波時の縦断的な氷板厚の変化

参考文献

- 1) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸: 渚滑川のアイスジャムに関する現地観測, 寒地土木研究所月報, No.701, pp.2-9, 2011.
- 2) 阿部孝章, 吉川泰弘, 安田浩保, 平井康幸: 2011年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波の北海道内における河川遡上, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I_1525-I_1530, 2012.
- 3) 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, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67, No.4, pp.I_1075-I_1080, 2011.
- 4) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸: 結氷河川における解氷現象と実用的な氷板厚計算式の開発, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.1, pp.21-34, 2012.
- 5) 久保義光: 水工学序説, 水工学刊行会, pp.40, 1980.
- 6) 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, 土木学会, 河川技術論文集, 第17巻, pp.353-358, 2011.

- 7) 阿部孝章, 吉川泰弘, 平井康幸: 結氷時河川津波による漂流水板の衝突力評価に関する研究, 土木学会, 河川技術論文集, 第 18 巻, pp.411-416, 2012.

ELUCIDATION OF RIVER-ICE HAZARD AND DEVELOPMENT OF THEIR COUNTERMEASURES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : 2011-2015

Research Team : River Engineering Research Team

Author : ITO Akashi

YOSHIKAWA Yasuhiro

ABE Takaaki

YASUDA Yuuichi

Abstract : The tsunami of 2011 Tohoku Pacific-Coast Earthquake broke river-ice, and generated ice jam in Hokkaido, Japan. This study aimed to clarify the phenomenon of ice jam generated by tsunami in ice covered river. We built the river-ice calculation model. In order to check the accuracy of this calculation model, we conducted ice jam experiment and a calculation value reproduced an experiment value. We understood that it was important to set up “the conditions to generate of ice jam” and “the allowable stress of river-ice” appropriately in this calculation model. This following phenomenon was found by Simulation of Ice Jam. At the time of tsunami intrusion to ice-covered river, River-ice was destroyed and moved to the upstream. River-ice was deposited in narrow river-width. Ice jam was generated at this point.

Key words : Ice covered river, River ice, Ice jams, Tsunami, Field observation