

アイスジャムの発端となる解氷現象と 水位変動速度に関する水理実験

土木研究所	寒地土木研究所	正会員	吉川 泰弘
土木研究所	寒地土木研究所	正会員	阿部 孝章
土木研究所	寒地土木研究所	正会員	平井 康幸

1. はじめに

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。

2. 実験条件

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、シリコー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×1.5cm、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、解氷時の河氷は、互いに衝突し融解されながら小さくなり下流下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

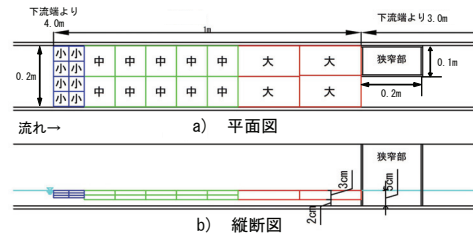


図-1 実験水路内の狭窄部の位置と氷の配置

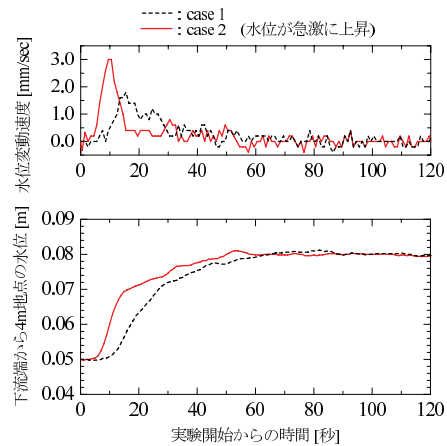


図-2 実験の境界条件となる上流の水位と水位変動速度

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-1に示す。

水位は、水路の下流端から2.00m、3.05m、4.00mの3箇所で、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 case 1 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に示す。図-2から、水位のピーク値は同程度であり、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箇所に、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(ティドビット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。

Key Words: 結氷河川, アイスジャム, 解氷, 水位, 水理実験

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 TEL011-841-1639

case 1 は、平均気温は 10.89 °C、上流端の平均水温は 0.49 °C、下流端の平均水温は 0.54 °Cであった。case 2 は、平均気温は 11.25 °C、上流端の平均水温は 0.48 °C、下流端の平均水温は 0.58 °Cであった。

3. 実験結果

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-3 に、case 2 を図-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-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-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-5 に示す。図-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、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-4 の case 2 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 of 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 of 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

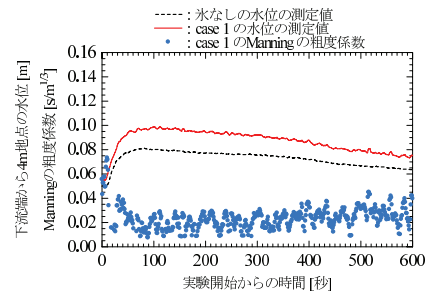


図-3 水位と Manning の粗度係数の時間変化 (case 1 : 水位が緩やかに上昇, アイスジャム非発生)

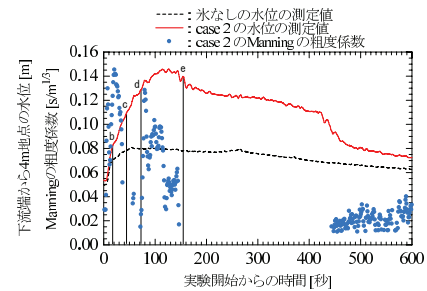


図-4 水位と Manning の粗度係数の時間変化 (case 2 : 水位が急激に上昇, アイスジャム発生)

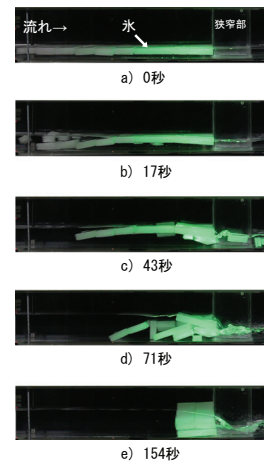


図-5 解氷からアイスジャム発生までの実験状況 (case 2)

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。

4. 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。

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.