

川幅漸縮部のアイスジャム実験における氷模型厚と水深変動に関する検討

A study on ice model thickness and water depth variation in ice jam experiments in a gradual river width reduction area

北見工業大学工学部 ○学生員 堀純斗 (Junto Hori)
 北見工業大学工学部 正 員 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
 北見工業大学工学部 学生員 山田隆司 (Ryuji Yamada)

1. はじめに

寒冷地河川では、アイスジャムという現象が発生する。アイスジャムとは、解氷した河氷が下流へと流れ、河道内で詰まる現象である。アイスジャムにより、水位が急激に上昇して災害を引き起こす。北海道では、アイスジャムによる人的被害の実例がある。2018年3月に、北海道旭川市から上川郡美瑛町を流れる辺別川で、工事を実施していた社員が雪と氷に埋もれて死亡する事故が発生した。事故後の現地調査より、事故発生箇所の上流の堰よりさらに上流に存在する砂州において、砂州により川幅が漸縮された箇所河氷が堆積し、また、その下流の堰上部に河氷が堆積し、これらの河氷が一気に決壊したことで予期せぬ事故につながったとされている。堰上流に関する現象については、既往研究により、限界水深より氷模型厚が厚い場合にアイスジャムが発生し、限界水深よりも氷模型厚が薄い場合にアイスジャムは発生しないことが推察されるということが分かっている。

本研究では、砂州により川幅が漸縮された箇所におけるアイスジャム現象を対象に、川幅漸縮部の漸縮角度および氷模型厚とアイスジャムによる水深変動の関係を明らかにすることを目的として、辺別川の事例を基にアイスジャム実験を実施した。

2. アイスジャム実験の条件

実験条件は、辺別川のアイスジャム現象を対象に、現地調査データを基に設定した。実験はcaseA, caseB, caseCの3つに分けた。各実験水路の平面図をcaseA(漸縮角度 90°)は図-1, caseB(漸縮角度 60°)は図-2, caseC(漸縮角度 30°)は図-3に示す。氷模型は、4cm×4cm×1cmを120枚(以後パターン1と呼称)、4cm×4cm×2cmを60枚(以後パターン2と呼称)のポリプロピレンを用いた。パターン3は、パターン1と2の体積半量である90枚の混合とした。パターン1, パターン2, パターン3を各3回実施した。

模型縮尺は1/50、水路勾配はゼロ、流量は2018年3月にアイスジャム現象が発生した現地調査データを基にフルード相似測によって0.001m³/sとした。なお、水路勾配は本水路で調整が出来ないためゼロとなっている。水路延長は12.0mとし、水路幅は0.6mである。水路幅を変更するために、氷模型の投入位置から3.5m下流に50cm×50cm×50cmのスタイロフォームで作製した砂州

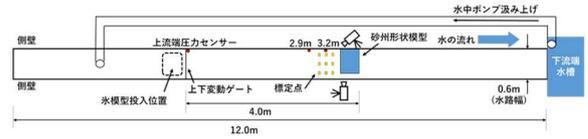


図-1 実験水路の平面図 (caseA 漸縮角度 90°)

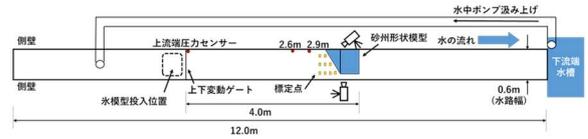


図-2 実験水路の平面図 (caseB 漸縮角度 60°)

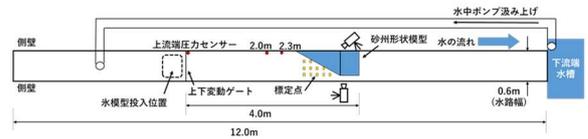


図-3 実験水路の平面図 (caseC 漸縮角度 30°)

表-1 アイスジャム実験の条件と各箇所の最大水深比

case	氷模型厚	漸縮角度	上流端からの距離(m),ch		
			3.2 ch4	2.9 ch3	0.0 ch2
caseA					
caseA-1-1	1cm	90°	1.012	1.011	1.013
1-2			1.015	1.015	1.013
1-3			1.044	1.047	1.047
2-1	2cm		1.198	1.199	1.200
2-2			1.297	1.299	1.302
2-3			1.181	1.182	1.186
3-1	1cm		1.009	1.007	1.016
3-2	+		1.086	1.082	1.092
3-3	2cm		1.059	1.063	1.061
caseB					
caseB					
caseB-1-1	1cm	60°	1.037	1.036	1.032
1-2			1.025	1.028	1.035
1-3			1.114	1.112	1.118
2-1	2cm		1.296	1.298	1.304
2-2			1.285	1.281	1.293
2-3			1.385	1.379	1.393
3-1	1cm		1.222	1.222	1.232
3-2	+		1.692	1.687	1.709
3-3	2cm		1.443	1.433	1.454
caseC					
caseC					
caseC-1-1	1cm	30°	1.188	1.200	1.194
1-2			1.071	1.078	1.078
1-3			1.048	1.047	1.048
2-1	2cm		1.376	1.381	1.400
2-2			1.377	1.386	1.393
2-3			1.140	1.142	1.142
3-1	1cm		1.306	1.310	1.315
3-2	+		1.418	1.430	1.435
3-3	2cm		1.449	1.462	1.473

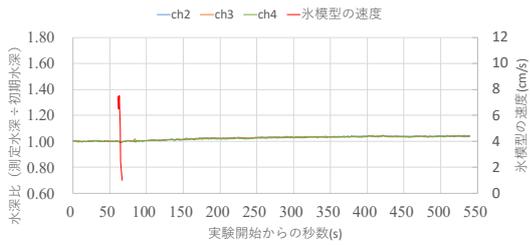


図-4 caseA-1-3における水深比と氷模型速度
漸縮角度 90°

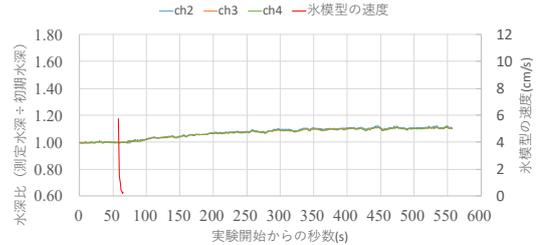


図-7 caseB-1-3における水深比と氷模型速度
漸縮角度 60°

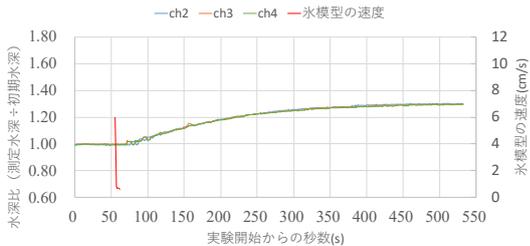


図-5 caseA-2-2における水深比と氷模型速度
漸縮角度 90°

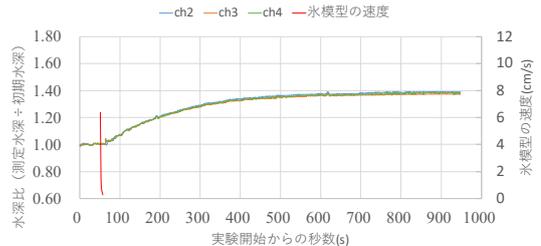


図-8 caseB-2-3における水深比と氷模型速度
漸縮角度 60°

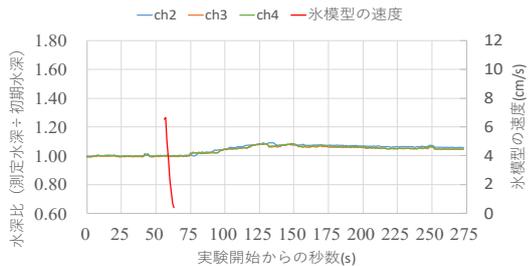


図-6 caseA-3-2における水深比と氷模型速度
漸縮角度 90°

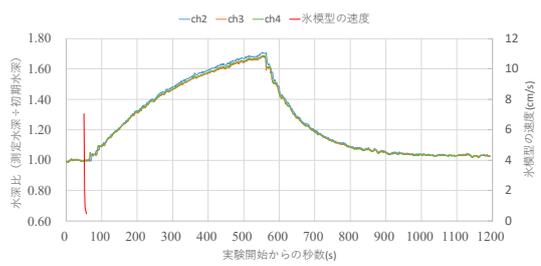


図-9 caseB-3-2における水深比と氷模型速度
漸縮角度 60°

形状模型を設置した。加えて、図-2には50cm×30cm×50cmの三角柱、図-3には50cm×89cm×50cmの三角柱を水路に設置した。砂州形状模型の接水面にはプラスチック製の板を付着させた。図-1, 2, 3の氷模型投入位置に氷模型を投入し、上流の上下変動可能なゲートで停止させて、実験開始時にゲートを上げて氷模型を流下させた。水深測定は、圧力センサー(STS社製 ATM.1ST)を水路に3箇所設置し、測定した圧力を水深に換算して測定した。圧力センサーは図-1, 2, 3の赤い点で示した。水位は caseA では上流端 0m, 上流から 2.9m, 3.2m, caseB では上流端 0m, 上流から 2.6m, 2.9m, caseC では、上流端 0m, 上流から 2.0m, 2.3m で測定を行った。測定間隔は1秒とした。実験状況を把握するためにハンドヘルドカメラ (DJI 社製 Osmo Pocket) を2か所に設置した。速度把握のため砂州形状模型の上部に平面撮影として1台、水深上昇把握のため側面撮影として1台を設置した。アイスジャム実験は caseA, caseB, caseC の3 case にパターン1, パターン2, パターン3の3パターンを各3回ずつの計27回の実験を行った。計27回の実験条件と最大水深比の結果を表-1に示す。

3. アイスジャム実験の結果

27回の実験で全てアイスジャムが発生した。アイスジャムにより、初期水深より水深が上昇し、上昇量を水深比で評価した。水深比の算出方法は、圧力センサー毎に測定水深を初期水深で割り求めた。初期水深の測定方法は、氷模型を投入する前の流量や圧力センサーが安定しているタイミングで30秒間測定し、その平均水深を初期水深とした。各 case, 各パターンの3回の実験(計27回)の中で、最も水深比が大きい実験を抽出し、計9回の実験の水深比と氷模型速度の結果を図-5~12に示す。

氷板模型速度は、市販のソフトウェア(カトウ光研株式会社製 FlowExpert2D2C)を用いてカメラ画像のPIV解析により算出した。解析格子サイズは、caseA, B, Cともに52×52pixelとした。流水を計測する可能性を加味し、検査領域内の相関係数0.9よりも小さいものを過誤ベクトルとして算出し、ベクトルを除去した。解析の範囲は、上流から3.5m地点における水路幅0.1mの箇所を基準に、この箇所から上流0.01mの3.49m地点から3.39m地点の10cmの範囲である。速度の算出方法は、計算間隔の時間を30FPSで行ったため、30データを平

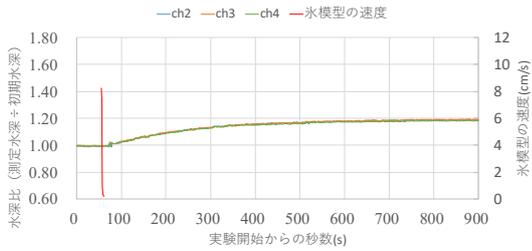


図-10 caseC-1-1における水深比と氷模型速度
漸縮角度 30°

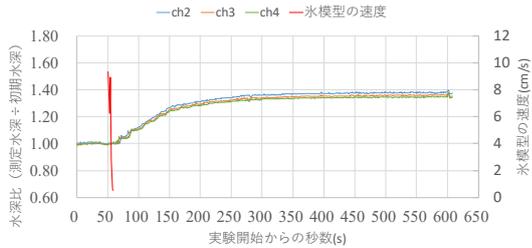


図-11 caseC-2-1における水深比と氷模型速度
漸縮角度 30°

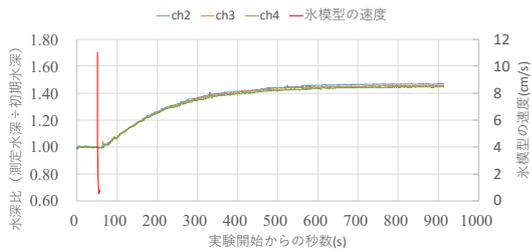


図-12 caseC-3-3における水深比と氷模型速度
漸縮角度 30°

均化させて速度を算出した。図-5~12のグラフの赤い線が氷模型の速度である。図-5~12には、氷模型が解析範囲に流下してから、アイスジャムが発生し、氷模型の速度が0に近くなるまでの解析結果を示した。図-5~12から、氷模型の速度が0に近づくと、水深比が上昇することが分かる。

図-5~12から、氷模型の流速が0に近づくと、氷模型が堆積しアイスジャムが発生して、約400秒で水深がピークに達し、その後の水深変動は小さくなり、水深上昇の勾配は緩やかになる。実験では水深変動が小さくなってから、約120秒経過するまで水深を測定した。ただしcaseB-3-2の場合は、実験開始553秒でアイスジャムが崩壊し、氷模型が再流下したため、水深が下がり始めて変動が小さくなるまでの120秒後までを測定した。

図-5~12の氷模型の速度の初期の速度を見ると、漸縮角度が小さいほど、caseAよりもcaseCの方が、速度が速い。図-5~12の氷模型速度は、解析範囲の平均値を示しているが、詳細に解析値を見ると狭窄部において、氷模型の速度が速い。

漸縮角度と氷模型厚における水深比を図-13に示す。図中の水深比は3回の実験の平均値である。

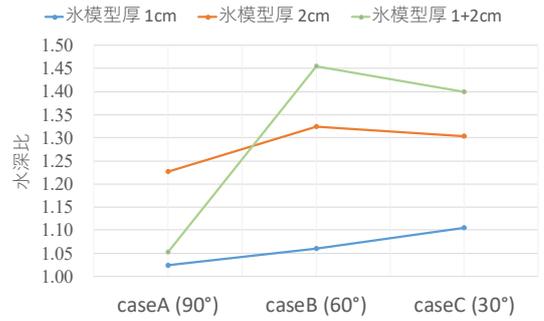


図-13 漸縮角度と氷模型厚における水深比

図-13のcaseAでは、パターン2(2cm厚)で水深比が大きい。パターン2のアイスジャム発生時を見ると、氷模型は、流れ方向に傾いて詰まっており、流れを遮る面は氷模型の側面と底面となっていた。この通水面積を小さくする詰まり方により水深比が大きくなったと考えられる。パターン1(1cm厚)、パターン3(混合)では、水面を流れる氷模型は、水面のみで堆積し、鉛直方向での堆積は見られなかった。

図-13のパターン1(1cm厚)を見ると、漸縮角度が小さくなるほど、水深比は大きい。caseAでは狭窄部に氷模型が詰まると上流から流下してきた氷模型が上流3.5mの左側の横断方向へと滞留する。一方で、caseB、Cでは、砂州形状模型により、氷模型が詰まった後に上流から流下してくる氷模型は、流下方向へと流れて、氷模型同士の空隙率を小さくさせて集積されるため、通水面積が小さくなり水深比が大きくなることが推察される。caseCは流速が速いため、より集積されると推察できる。

図-13のパターン2(2cm厚)を見ると、パターン1よりも氷模型厚が厚いため、より通水面積は小さくなり水深比が大きくなったと推察される。

図-13のパターン3(混合)のcaseB、Cを見ると、パターンの中で最も水深比が大きい。氷模型が混合されているため、詰まった氷模型の下の潜り込むような状況などにより、より密に集積されて通水面積を小さくなり、パターン2よりも水深比が大きくなったと推察される。となった。

4. まとめ

川幅漸縮部のアイスジャム実験における氷模型厚と水深変動について検討を行った。今回の実験では、漸縮角度が小さいほど水深は上昇し、氷模型厚が厚い条件や氷模型同士が密集するような条件の場合は、水深が上昇しやすいことが分かった。

参考文献

- 1) 山田隆司, 小池太郎, 吉川泰弘, 横山洋: 堰におけるアイスジャム発生条件に関する実験的研究, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表会論文報告集, 第76号, 2020.