# 堰におけるアイスジャム発生条件に関する実験的研究

Experimental study on ice jam occurrence condition in weir

北見工業大学工学部	学生員	山田隆司(Ryuji Yamada)
北見工業大学工学部	学生員	小池太郎(Taro Koike)
北見工業大学工学部	正 員	吉川泰弘(Yasuhiro Yoshikawa)
寒地土木研究所	正 員	横山洋 (Hiroshi Yokoyama)

## 1. はじめに

寒冷地河川では,解氷した河氷が下流へと流れ河道内 で閉鎖することによりアイスジャムが発生し,水位が急 激に上昇して災害が発生する.

北海道ではアイスジャムによる急激な水位の上昇やア イスジャムの決壊などによる人的被害
<sup>1)</sup>が報告されてい る. 近年では2018年3月8日~9日にかけて北海道全域 で、温帯低気圧が発達しながら接近し、降雨と気温の上 昇をもたらしアイスジャムが発生2した. 道内では3月 としては異例の大雪に見舞われていた. その直後の大雨 と暖気の影響による雪解けにより川の水位が急激に上昇 し、道内各地でアイスジャム被害が多く発生した. 北海 道旭川市から上川郡美瑛町を流れる辺別川では、護岸工 事を行っていた作業員が雪に埋もれて死亡するアイスジ ャム被害 3が発生した.現場に居合わせた方によると 「気づいたら雪に覆われていた」と話すほどの速さであ った. 事故当日の辺別川の上流域では午前 0 時から 12 時間もの間で平年の3月の1か月分を超える122mmの 大量の雨が降った.大雨により雪泥流が発生しやすい状 況になっていたと現地観測から分かった.事故後の現地 調査より推測された発生現象は、堰より上流約 200m 付 近に存在する砂州により狭窄された河道内に河氷が停滞 し、大雨と暖気により河氷が流下し、堰上部に多くの河 氷が停滞し、それ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.辺別川の堰付近である事故 現場の衛星画像を図-1に示す.

アイスジャム発生に関する既往研究としては、アイス ジャム発生要因である流速が遅くなる箇所を対象に、支 川合流点<sup>4)</sup>、橋脚部<sup>500</sup>、津波を伴う発生<sup>7)</sup>のアイスジャ ムに関する実験がなされている.しかし、堰を有するア イスジャム実験については実施されておらず、堰による アイスジャムの現象は十分には解明されていない.

本研究では、堰におけるアイスジャム発生現象の解明 を目的に、辺別川の事例を基に実験を実施した.

### 2.堰におけるアイスジャム実験

アイスジャム発生前の越流水深と氷模型厚に着目して 実験を実施した.流量を7ケース,氷模型を4種類,実 氷1種類,氷模型体積2ケースとして,アイスジャム発 生時の水位変化,氷模型速度を計測して検討した.

### 2.1 実験条件

実験の水路形状,流量,氷量,氷サイズは,現地調査



図-1 事故現場の衛星画像(Google Earth)

による詳細なデータが存在する 2018 年 3 月に辺別川で 発生したアイスジャムを参考に設定した.

実験水路の平面図を図-2, 下流端から 6.5m の断面図 を図-3 に示す.水路延長 14.5m,水路幅 0.3m とし,水 路下流端は段落ちを設けた.実験ケースは,実河川の氷 と同等の比重 0.92 であるポリプロピレン製の氷模型を 用いて氷模型の体積 48cm<sup>3</sup> とした Case1,上記の氷模型 の体積 720cm<sup>3</sup> および実氷の体積 724cm<sup>3</sup> とした Case2 の 2 ケースを基準とした.

水路形状の設定方法について述べる.現地の川幅は対 象区間で約30mであったため模型縮尺を1/100とし水路 幅を30cmとした.辺別川の堰から上流へ9km,下流へ 14kmの縦断勾配の平均値が1/60より水路勾配を1/60と した.アイスジャム発生要因とする堰模型は,辺別川の 9線橋より上流約180mの2018年3月の事故発生要因と される堰を対象にして,高さを8cmに設定した.堰模型 の底部及び側部はシリコーンコーキングを施し,上部以 外の流路を断っている.水路側壁は現象を把握するため, 透明なガラス素材とした.ただし,撮影環境維持のため 堰付近の右側面には外側から白色の板を張りつけた.水 路底面部は無塗装のアルミ素材の板を敷き詰めている. 実験水路のマニングの粗度係数は1次元不定流計算から n=0.008であった.

Casel の上流端流量は7ケースとした. 基準となる値 はアイスジャム発生前の流量 18.49m<sup>3</sup>/s をフルード相似 則より 1.899L/s とした. それ以外の値は堰模型地点の 限界水深を氷模型の厚さと同等になるように1次元不定 流計算を用いて設定した. 順に 0.844L/s, 0.656L/s, 0.496L/s, 0.361L/s, 0.252L/s, 0.165L/s とした. Case2の 上流端流量は0.496L/s とした. なお,実験水路の下流端 から 4.5mの位置に水温計を設置している.

氷模型サイズはアイスジャム発生後に河道に堆積して いた河氷の最大サイズ3.7mより、4cm×4cmとした.氷 模型の厚さは現地の最大の厚さ0.4mより0.5cmとし、



図-2 実験水路(平面図)

さらに、1cm、0.3cm、0.1cm を追加して計4種類の氷模型を用いた.実氷は4cm×4cm×0.58cm とした. Casel の氷模型の投入方法は、堰模型より上流1mの位置に金網で氷模型を停滞させ、金網を外すことによって同時に流下させる方法とした.現地調査より推測された現象である砂州に河氷が堆積したのちに再流下したことを想定している. Case2の氷模型の投入方法は、堰模型より上流1mと上流1.3mの間の位置に金網2枚で氷模型を停滞させ、金網を外すことによって同時に流下させる方法とした.流下する体積を統一させるためである.

#### 2.2 測定方法

水位と氷模型の挙動を測定するために、ハンドヘルド カメラ (DJI 社製 Osmo Pocket)を図-2 に示す 3 か所に 設置した. 障害物である堰とそれより 1m 上流の氷模型 投入位置の上部より平面画像を 2 か所撮影した. もう 1 か所は堰付近の横断画像を撮影した. 水位の測定方法は、 図-4に示す堰付近を撮影した横断画像内に収まるように 堰より上流 0.4m にスケールを設置し、映像より水位を 判読した. 判読間隔は 10 秒とした.

### 2.3 氷模型速度

Case2 において氷板模型速度の経時変化を計測した. なお、氷模型厚 0.1cm は欠測のため計測していない.速 度計測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 PIV 解析により求めた.解析 格子サイズは15×15pxiel,氷模型厚 1cm では x 軸, y 軸 とも 1 格子を 10.8104mm,氷模型厚 0.5cm では 10.6053mm,氷模型厚 0.3cm では10.5069mm,実氷模型 では 10.6314mm とした.解析の範囲と速度の算出方法 は、解析のしやすさを考慮し,堰から上流 185mm 地点 を対象とし、流心部である水路中央の速度(Point 速度 と呼称)と、断面平均速度(Line速度と呼称)を求めた. なお、氷模型の動きがほぼなく、アイスジャムが発生し 安定したと判断した時間以降は解析を行っていない.

Point 速度を図-5, Line 速度を図-6 に示す.速度が0 に 近い場合は氷模型が解析範囲に存在しない,または氷模 型の動きがない状態である.氷模型厚 1cm で 20 秒,氷 模型厚 0.5cm で 35 秒,氷模型厚 0.3cm で 15 秒,実氷で 6 秒が速度の最大となり,氷模型厚 1cm で 3.05cm/s,氷 模型厚 0.5cm で 2.68cm/s,氷模型厚 0.3cm で 2.83cm/s, 実氷で 3.87cm/s となり,氷模型厚が薄いほど速度は遅い. 要因として氷模型厚さによって流水から受ける抗力が異



図-3 実験水路の断面図(下流端から 6.5m 地点)



図-4 堰模型の側壁から見た図 (下流端から 6.5m 地点付近)

表-1 Casel 実験条件

	流量	限界水深	氷量	氷のサイズ	アイスジャム
	Q(L/s)	Hc(cm)	Qi(cm3/s)	cm	非発生:× 発生:〇
No,1	1.899	1.60	48.00	1	×
No,2	1.899	1.60	48.00	0.5	×
No,3	1.899	1.60	12.00	0.3	×
No,4	1.899	1.60	6.86	0.1	×
No,5	0.844	0.80	12.00	1	×
No,6	0.844	0.80	8.00	0.5	×
No,7	0.844	0.80	6.00	0.3	×
No,8	0.844	0.80	4.80	0.1	×
No,9	0.656	0.76	12.00	1	0
No,10	0.656	0.76	12.00	0.5	×
No,11	0.656	0.76	4.00	0.3	×
No,12	0.656	0.76	1.23	0.1	×
No,13	0.496	0.76	16.00	1	0
No,14	0.496	0.76	12.00	0.5	×
No,15	0.496	0.76	3.00	0.3	×
No,16	0.496	0.76	1.85	0.1	×
No,17	0.361	0.52	8.00	1	0
No,18	0.361	0.52	6.86	0.5	×
No,19	0.361	0.52	2.53	0.3	×
No,20	0.361	0.52	1.50	0.1	×
No,21	0.252	0.43	4.36	1	0
No,22	0.252	0.43	6.86	0.5	0
No,23	0.252	0.43	1.92	0.3	0
No,24	0.252	0.43	1.23	0.1	0
No,25	0.165	0.40	3.20	1	0
No,26	0.165	0.40	4.80	0.5	0
No,27	0.165	0.40	1.26	0.3	0
No,28	0.165	0.40	0.56	0.1	0

表-2 Case2 実験条件

	流量	限界水深	氷量	氷のサイズ	アイスジャム
	Q(L/s)	Hc(cm)	Qi(cm3/s)	cm	非発生:× 発生:〇
No,29	0.496	0.76	45.00	1	0
No,30	0.496	0.76	7.66	0.5	0
No,31	0.496	0.76	2.44	0.3	0
No,32	0.496	0.76	0.95	0.1	0
No,33	0.496	0.76	22.62	0.58	0

# 令和元年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第76号



図-5 Point 速度 (上から氷模型厚 1cm, 0.5cm, 0.3cm, 実氷)

なり,氷模型厚が厚いほど流水から効力を受けて,氷模型速度が速くなることが推察される.実氷については, 融解により氷模型厚が薄くなるため受ける抗力は変動すると考えられる.

氷模型厚 1cmの Point 速度と Line 速度のピークは同程 度であり、横断方向に一列で流下している.氷模型厚 0.5cm,氷模型厚 0.3cm において、Point 速度が最大とな る時間の Point 速度と Line 速度を比べると、Line 速度が 遅くなっており、Line 速度の解析断面全体には氷模型が 流下していない.実験方法の都合上、堰より上流 1m よ り流下させた氷模型は一気に流れることはなく流水の影 響を最も受けやすい流心部に存在する氷模型が早く流下 する.このような氷模型は、氷模型厚 0.5cm では 35 秒 に現れ、氷模型厚 0.3cm では 15 秒、133 秒、223 秒に現 れ、氷模型厚 0.3cm では 15 秒、133 秒、223 秒に現 れている.実氷模型では 6 秒に現れた.氷模型の速度が 遅くなり氷が集積して流下する時間は、1cm が 25 秒、 0.5cm が 160 秒、0.3cm が 276 秒、実氷が 20 秒であった.

### 3.堰におけるアイスジャム発生条件

### 3.1 限界水深と氷模型厚の関係

Casel において、アイスジャム発生と非発生時における限界水深と氷模型厚を図-7 に示す.28 ケース中23 ケースは、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が発生していない.しかし、限界水深 0.76cm





で氷模型厚 1cm, 限界水深 0.43 cm で氷模型厚 0.3cm, 限界水深 0.40cm で氷模型厚 0.3cm, 限界水深 0.43cm で 氷模型厚 0.1cm, 限界水深 0.40cm で氷模型厚 0.1cm, の 5 ケースでは,上記の逆の結果となっている.要因とし て氷模型厚 1cmの場合は,流水が堰模型と衝突して滞留 し氷模型の下流側が持ち上がり堰模型を通過したと推察 できる.氷模型厚 0.3cm と氷模型厚 0.1cm は,氷模型が 堰模型に乗りあがり氷模型と堰模型との間で摩擦が生じ たためと推察できる.

### 3.2 アイスジャム発生時の水深と氷模型の関係

Casel においてアイスジャム発生時の水深を10秒毎に 計測した.結果を図-8から図-12に示す.

図-8の氷模型厚1cmの水深は,40秒後から60秒後に

かけて水位が上昇している.40秒後はアイスジャムが 発生し,60秒後はアイスジャムが再流下しており最大 水位となる.図-9の氷模型厚0.5cmの水深は,110秒後 に最大水位を計測している.この時間にアイスジャムが 発生している.図-10の氷模型厚0.3cmの水深は,80秒 後に水位が上昇しており,アイスジャム発生時である. 図-11の氷模型厚0.1cmの水深は,60秒後は水位が上昇 しており,アイスジャム発生時である.図-12の実氷 0.58cmの水深は,50秒後から水位が低下しており,要 因として実氷投入時の人為的な影響と考えられる.100 秒後に水位が上昇しており,アイスジャム発生時である. その後,実氷は融解して再流下している.この時の水温 は14℃であった.

### 4.まとめ

堰におけるアイスジャム発生現象の解明を目的に,辺 別川の事例を基に実験を実施した.実験の手法を確立し, 氷模型速度,水深変化,限界水深と氷模型厚の関係を検 討した.本実験結果により,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 れた.

謝辞:本研究は,北海道河川財団の研究助成,JSPS 科 研費 JP18K04361 の助成を受けたものである.ここに記 して謝意を表する.

参考文献

- 原文宏,河合孝治,佐伯浩,山口甲:琴似発寒川 でのアイスジャム発生による流量の急変,北海道 地区自然災害科学資料センター報告 Vol.12 pp.35-57, 1997.
- 横山洋,吉川泰弘,伊波友生,前田俊一,矢部浩 規:2018年3月北海道アイスジャム洪水による被害 の現象解明と今後の課題,土木学会論文集B1(水工 学), Vol.74, No.5, pp.I 1039-I 1044, 2018.
- 3) 北海道新聞 2018 年 3 月 10 日朝刊
- 4) 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, N o.4, pp.I 1339-I 1344, 2017.
- 5) 原文宏, 榎国夫, 佐伯浩:橋脚形状が氷盤のアー チ形成に及ぼす効果に関する研究, 土木学会, 水 工学論文集, 第39巻, pp.607-612, 1995.
- Jun Wang, Jian Hua, Jueyi Sui, Peng Wu, Tao L iu and Pangpang Chen : The impact of bridge pier on ice jam evolution – an experimental study, J. Hydrol. Hydromech., Vol. 64, pp.75–82, 2016.
- 佐藤好茂,阿部孝章,吉川泰弘,伊藤丹:河川津 波による漂流氷板の閉塞現象に関する水理実験, 土木学会,水工学論文集B1(水工学),Vol.70,N o.4, pp.I\_733-I\_738, 2014.

