

II-16

急流河川における雪混じり流れについて

北海道開発コンサルタント株式会社 ○ 正会員 澤口 雄介
 正会員 黒沢 弘行
 小杉 卓哉
 石村 正一

1 はじめに

道内の雪対策施設として数多くの実績のある流雪溝や消流雪河川は、常流域（フルード数 $fr < 1$ ）において計画されており、投雪時の流況や限界投雪量などの基礎データが既往実験で確認されている。

一方、縦断勾配が急になると射流（フルード数 $fr > 1$ ）また、それに近い流況となり、雪塊の下部を水のみが流下し、雪を運流する機能が失われるといったことが一般的に言われてきた。つまり、流況が射流に近くなると流雪溝や消流雪河川の適用性が制限されると考えられてきた。

本報文は、河床勾配が 1/40 の急流河川において投雪実験を行い、射流に近い流況における雪混じり流れの性質を把握し、常流域の既往実験も合わせて、フルード数が雪混じり流れの流況にどのような影響を与えるかを検証したものである。

2 実験概要

2.1 実験項目

(1) 投雪後の流況確認

投雪後の流況について水深変化、流速等の水理量を観測する。

(2) 限界投雪量の算出

雪塊の流下過程において、停滞・閉塞を起こすことのない、投雪時の限界投雪量を算定する。

2.2 実験要領

実験地である急流河川は、両岸が高さ 4～5 m の積ブロック護岸となっており、河道幅は約 20m となっている。以下のような要領にて実験水路を造成した。

(1) 河川水の集積

図-1 に示すように、実験水路上流側に土堤を造成し、流水を右岸側に集積させた。

(2) 水路の造成

麻袋により幅 50 cm、高さ 60 cm の水路を造成した。実験時の水路内流量は $Q \approx 0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、水深は平均 16 cm、水路（河床）勾配は 1/40 程度であった。

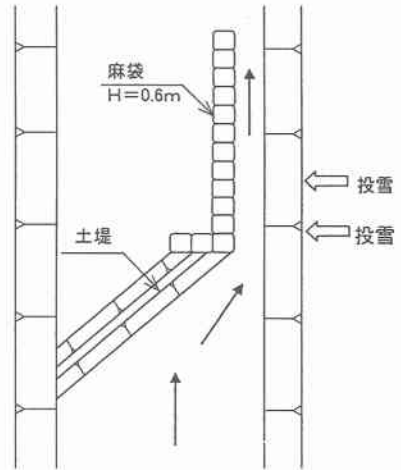


図-1 平面図

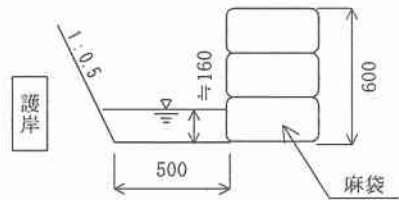


図-2 実験水路標準断面

A report of the snow mixed flow on the rapid river.

by Yusuke SAWAGUCHI, Hiroyuki KUROSAWA, Takuya KOSUGI, Syoichi ISHIMURA

(3) 投雪方法

投雪は、水路を造成した右岸側の護岸天端よりスノーダンプを用いて人力投雪を行った。投雪区間28mの間で同時に投雪できる最大人数は、15人（作業スペース2m間隔）が限界と考えられた。



写真-1 実験水路外観

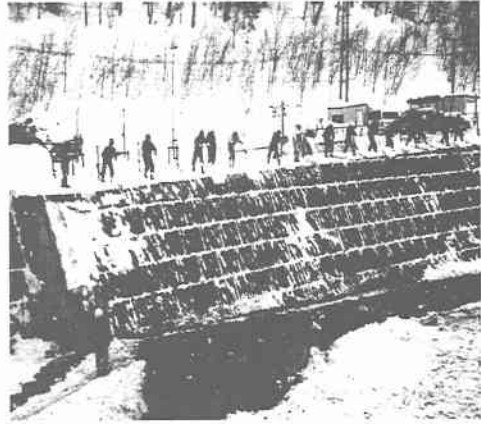


写真-2 投雪方法

2.3 投雪量の算出法

既往実験結果から、消流雪河川の限界投雪比（水量と投雪量の重量比）は15%程度である。限界投雪比を求めるに際し、実験水路流量が毎秒あたりの水量（ m^3/s ）であるのに対して、投雪量は投雪1回あたりの重量である。したがって、投雪量を毎秒あたりの重量（ t/s ）に換算するために、雪塊運流速度 V （ m/s ）を求め、その延長における投雪量を毎秒あたりの重量として考えることとする。

本実験の投雪区間は28mであり、合計0.5 t/回の投雪が行われ、雪塊運流速度 V が $1.2m/s$ だった。毎秒あたりの重量 Q_s は以下ようになる。

$$Q_s = 0.5 \text{ t/回} \div 28\text{m} \times 1.2\text{m/s} \\ \approx 0.02 \text{ t/s/回}$$

2.4 投雪パターン

実験における投雪パターンは、以下に示す2種類のパターンとした。

(1) 投雪パターン1

投雪パターン1では、15人同時投雪で投雪を行う。このパターンでは、雪塊混入による流速・水深変化、雪塊の水路流下状況（雪塊の流下、閉塞、停滞）等を検証した。

(2) 投雪パターン2

投雪パターン2では、15人を複数のブロックに分けて投雪を行う。上流側のブロックから投雪していき、下流側のブロックはその上にかぶせるように投雪する。以上により、出来るだけ多くの雪量が投雪されるように方法を定め限界投雪量の検証を行った。

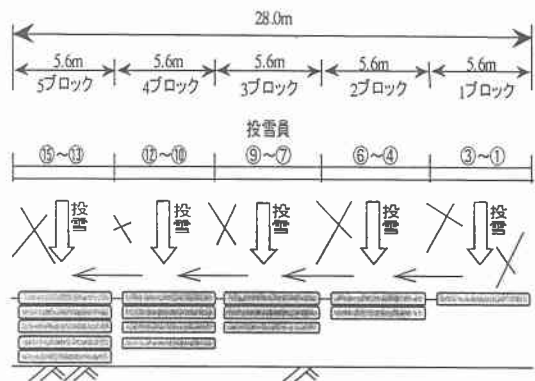


図-3 投雪パターン2 (5ブロックの例)

3 実験結果

3.1 雪密度・雪温および外気温

雪密度・雪温および外気温調査は、投雪実験前に行った結果、表-1のとおりであった。雪密度は投雪区間に堆積された投雪用雪山から試料を採取し、平均して $\rho = 0.53 \text{ tf/m}^3$ と測定された。

表-1 雪密度・雪温・外気温測定結果

測定時刻	外気温	雪温	雪密度 (3回平均)
	℃	℃	tf/m^3
11:25	5.4	0.4	0.530

3.2 雪塊運流速度

写真-3は、実験水路における雪塊の流下状況を示したものである。

雪塊運流速度は各実験毎、水路へ投雪してから雪塊が実験水路末端を通過するまでの所要時間と距離により算出し、表-2にまとめた。雪塊流下時の運流速度は $0.52 \sim 1.33 \text{ m/s}$ であったが、閉塞・停滞のほとんど見られなかった運流速度は平均して 1.14 m/s であった。

一方、閉塞・停滞を起こしている運流速度はすべて流速 1 m/s 以下のものであった。したがって、この消流雪水路における必要流速は、雪塊混入時に 1 m/s 程度以上と考えられる。

なお、道内の流雪溝で経験的に望ましいとされている流速も 1 m/s 程度以上であるが、雪塊混入前のものであり、雪塊混入後の流速は 1 m/s 以下となる。

表-2 雪塊運流速度測定結果一覧

実験番号	運流速度	備考
	m/s	
1-1-1	1.27	流下状況良好 (平均 1.14 m/s)
1-1-3	1.22	
1-1-4	1.27	
2-1-1	1.33	
2-1-3	1.05	
3-2-1	0.98	
3-2-2	0.97	
3-2-3	1.03	
3-3-1	0.91	
3-3-2	0.67	
4-4-1	0.74	閉塞・溢水
4-4-2	0.68	
4-5-1	0.69	
4-4-3	0.63	
4-5-2	0.59	
4-5-3	0.52	

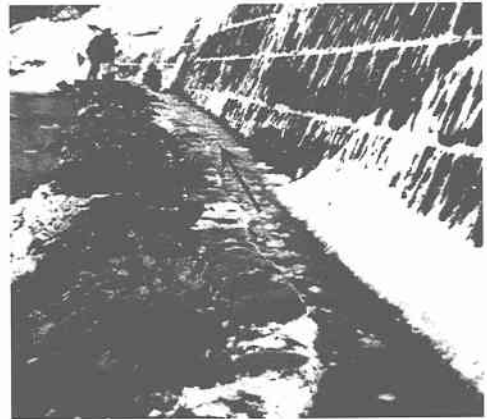


写真-3 雪塊流下状況

3.3 水深

投雪前後の水深の変化については、表-3に示す3ケースで測定がなされた。他の投雪回でも雪塊停滞による溢水はみられたが、停滞から雪塊除去に至るまでの時間は1分に満たなかったことから、水位計の測定間隔の都合上、水深上昇過程を記録できない部分があった。

実験番号4-4-1において、雪塊が停滞せずスムーズに流下した箇所では水深変化が測定されたが、 5 cm の上昇にとどまり変化はほとんどなかった。しかし、雪塊が停滞さざりであった実験番号4-5-1は、約2倍に水深が上昇し、雪塊が閉塞した実験番号2-1-10においては約3倍まで水深が上昇した。

一般的に限界状態で雪塊が流下する場合、水深は雪塊混入前の2倍前後まで上昇するとされている。

この実験の水深変化もその傾向をあらわしており、実際に消流雪水路を使用する場合に、2倍の水深を水路高さの設定や溢水管理の目安として良いものと考えられる。

表-3 投雪前後の水深変化

実験番号	投雪前水深	投雪後水深	雪塊流下状況
4-4-1	0.29m	0.34m	停滞状況なし
4-5-1	0.10m	0.21m	雪塊停滞み
2-1-10	0.18m	0.52m	雪塊閉塞

3.4 限界投雪量の算出

投雪パターン1、2により限界投雪量の検証を行った。写真-4および写真-5は、パターン2の投雪で雪塊が実験水路内で閉塞、溢水した状況を示したものである。



写真-4 雪塊閉塞状況

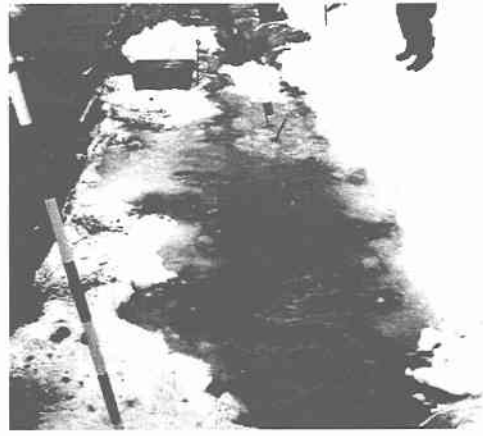


写真-5 水路溢水状況

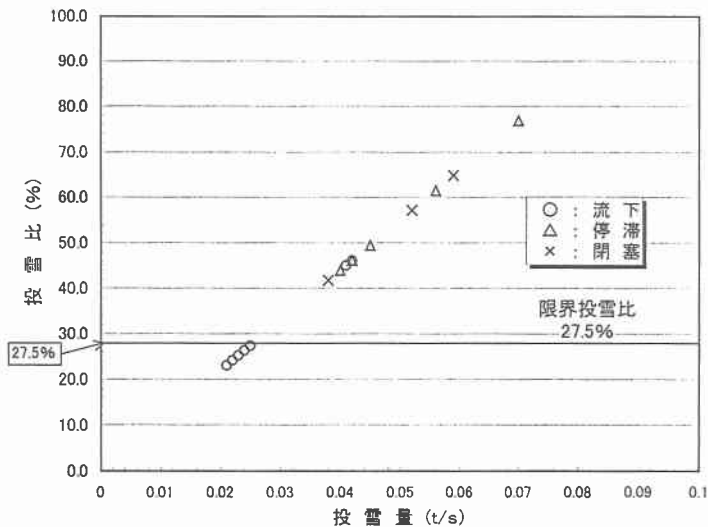


図-4 投雪量と投雪比の関係

図-4は、投雪量と投雪比（投雪量と流量の重量比）の関係と流下状況を示している。○が流下、△が停滞、×が閉塞した実験回である。これにより限界投雪量がどのくらいになるかを求めた。

図-4より、限界投雪比は27.5%となることがわかった。初めに述べたように、流雪溝や消流雪河川は主に常流域において計画されており、流況が射流に近くなると流雪溝や消流雪河川の適用は困難であるとされてきた。しかし、今回の実験を見る限りでは、フルード数は約1.0と射流域に近づいているが、限界投雪比は27.5%と一般的な消流雪河川の15%を上回る値となっている。

したがって、射流域でも流雪溝や消流雪河川を計画できる可能性が示されたと考えられる。

次に、今回実験を行った急流河川を含め、他の消流雪河川、水路、流雪溝における限界投雪比とフルード数との関係を図-5により示した。雪塊の流下に影響する外的要因としては、水路幅、水深、流速等さまざまなものがあると考えられる。しかし、流速と水深によって定まるフルード数と限界投雪比の関係がおおよそわかれば、将来的に消流雪河川や流雪溝を計画する際、概略的な水路形状や投雪可能量の目安となりうる。

しかし、図-5のグラフに示される一点鎖線（- · - · - ·）のように、フルード数が大きくなればなるほど限界投雪比が大きくなるとは一概には判断出来ない。

あるフルード数を超えてしまうと、前述のように雪塊の下部を水のみが流下し運搬能力が低下するかも知れず、検証するには複数の射流域データが必要である。

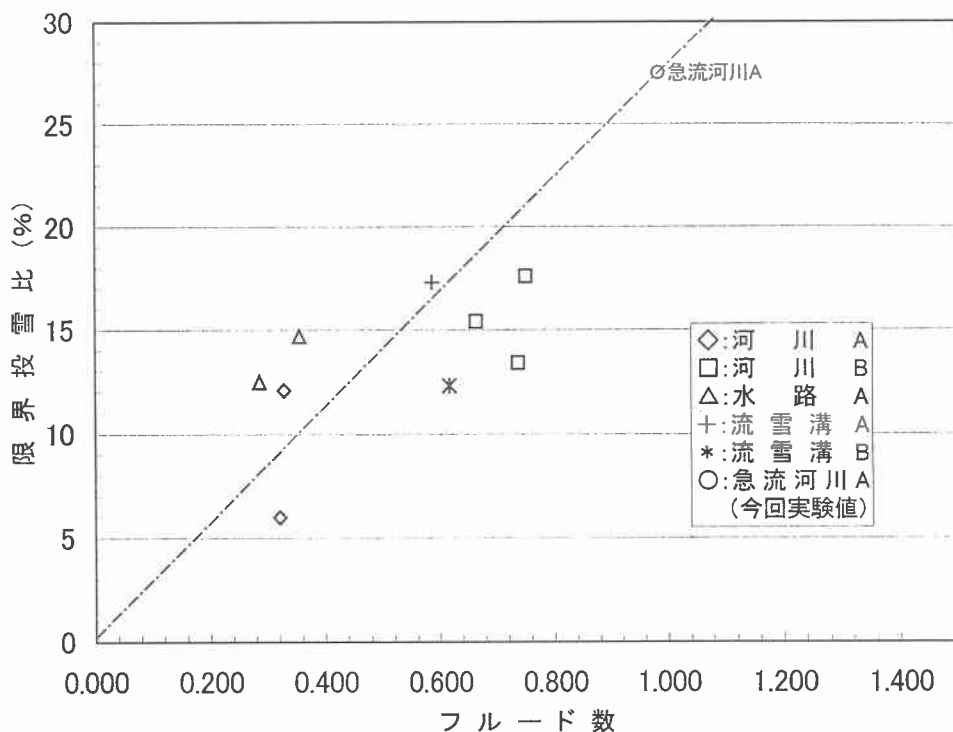


図-5 フルード数と限界投雪比の関係

4 おわりに

射流域に近い条件で投雪実験を行い、流速、水深、限界投雪比を求め、一般的な雪混り流れの性質や常流域の既往実験とどのような違いがあるかを検証した。

その結果、射流域に近くても雪混り流れの流況は常流域とほぼ同じ傾向であることが判明した。

ただし、フルード数と限界投雪比の関係をつかむためには、水深、水路形状等の明確な条件設定を与えた上でより多くの実験を行いデータを蓄積することが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）；（社）北海道開発技術センター、平成2年2月
- 2) 新防雪工学ハンドブック；（社）日本建設機械化協会、昭和52年12月