流雪溝の流雪能力について

著者	田中 康之，高橋 修平，小林 俊市
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	3
ページ	55-68
発行年	1969-08
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000675

624.144.532:551.578.46

流雪溝の流雪能力について

田中康之*・高橋修平・小林俊市
国立防災科学技術センター雪害実験研究所第3研究室

Snow-Removal Capacity of Gutter Systems

By

Y. Tanaka*, S. Takahashi and T. Kobayashi

Institute of Snow and Ice Studies, Nagaoka

Abstract

Gutter systems for snow removal are usually used at many places and they are of a large utility. Therefore, recently in some districts of insufficient water supply, gutters which rely on the water pumped from wells or on the surface water are being constructed. Because the water is expensive, it is necessary to know clearly the maximum snow-removal capacity of such gutters and to make good use of the water.

We measured the snow-removal capacity under some conditions, by using a model of wooden gutter which is 50 cm in width and depth. The results of measurement are shown in the following conclusions.

1. Maximum snow-removal capacity of the gutter is influenced by the quality of snow thrown into it. Granular snow is carried away by a volume of about one and a half times as large as settled snow.
2. Blocking of the flow of snow in the gutter is apt to occur at the flow velocities under about 0.7 m/s in the gutter 50 cm wide.
3. Bending strength and the coefficient of sliding friction of the snow-containing water are various, depending upon the quality of snow, but these are not estimated as definite factors that influence the capacity of the gutter.
4. Diagrams of capacity at the mean flow velocity of 0.7 m/s are shown in figures of the present paper.

1. まえがき

積雪処理の一方法としての流雪溝は古くより利用されているが，いずれも自然流水によっており，その利用も地形的に制約され狭い範囲に限られていた．近年その有用性が再確認され，ポンプ取水による流雪溝が建設されるようになり，限られた水量を効率よく利用するための研究が必要となってきた．ここではポンプ取水によるような比較的水量の少ない，断面形状の小さい流雪溝について，流雪溝の流雪能力の限界や，流水量に対する雪の投入量の比を計測した．雪混入率とつまりの関係についての調査結果は雪害実験研究所報告（昭和42年）に報告

* 現在建設省土木研究所千葉支所勤務 (Present post of this author: Chiba Branch, Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

してあるが，この報告書では雪質を変えて同様な実験を行ない，雪質の差異による流雪能力の変化を求めるとともに，曲り部分における形状の問題に関連して，水潤した雪の強度試験および水潤雪の摩擦について実験調査した結果をまとめた．

2. 調査方法

2.1 概　　要

この調査は主として次の3種の実験より成り立っている．

(1) 模型流雪溝による流雪能力試験

この試験は本調査の主体をなすもので，断面内法 500 mm 幅×500 mm 深の木製溝に通水し，雪を人力投入して，流水量，勾配，雪投入量等を変えて流雪状態を計測した．また，この試験に付随して流雪溝の曲り部分の流雪状況を調べた．

(2) 水潤雪の曲げ強度試験

水潤した各種の雪の曲げ強度を計測した．

(3) 水潤雪のすべり摩擦係数測定

水潤した各種の雪の木材面に対するすべり摩擦の状態を比較した．

2.2 模型流雪溝による流雪能力試験

実施期日：昭和43年2月3日～4日（天候：雪）．

実施場所：新潟県長岡市雲出町火振坂．

雪投入方法：人力（最大20名）によるスコップ投入，ポータブル電動コンベヤおよび雪とい各1本使用．

投入雪質：しまり雪，平均密度 0.235 g/cm³，平均含水率 1.9%．

使用流雪溝：鋼製骨組で補強したすぎ板製（内面機械カンナ仕上げ）．

全長 14,670 mm (3,660 mm×4本)，内法幅 500 mm，有効深 500 mm．

設置方法　水路をせき止め，水路内に基礎くいを打ってその上に設置した．

水量調整：ダムアップした水面の水位を変えるとともに溝内にセキを設けて調節した．

水路勾配：0.5/1,000，2/1,000，6/1,000，10/1,000 を目標に基礎くい上でクサビを用いて調節した．

計測器

水　位：5か所の位置の水位を透明ビニール管で引き出し，インク着色して，電動カメラで撮影した．（写真2）

使用カメラ：オリンパスペン EM（撮影間隔10秒）およびボレックス 16 mm カメラ（撮影間隔1秒）．

水位用スケール：竹尺（最小目盛 2 mm）．

なお，ストップウォッチは流速計の記録との同期をとるためのものである．

流　速：塩水式流速計を使用した．溝の中に流水の電気抵抗を計測するような形で，対をなす電極を置き，流水中に間ケツ的に少量の塩水を混入すると，対をなす電極間の電気抵抗が塩水の通過時に変化する．各電極対の抵抗変化の時差を読むことによって，水の平均流速が得られる．塩水は塩化カルシウム飽和水溶液を使用し，1回の使用量は 100～200 cc である．

投入雪量：コンベヤおよび雪とい上をすべる雪の量を目測で1スコップ単位に数えた．

温　度：流入水温をサーミスタ温度計（最小目盛 1°C）で，気温を水銀棒状温度計（最小目盛 0.2°C）で随時計測した．

雪　質：雪密度　500 cc (86 mm ϕ) のサンプラを使用．

含水率　古田式含水率計を使用．



写真 1　流雪溝実験



写真 2　水位カメラ

実験は各勾配ごとに水量を 3～4 段階に変化させて雪を投入し，つまりの発生しない限り 3～5 分間の定常状態を保つようにした．写真1に実験風景を示す．

なお，結果は雪混入率 K と粗度係数 n を指標にとりまとめた．

雪重量混入率：$K_W=\dfrac{S_W}{Q_0}\times 100.$　(1)

ここに　S_W：時間当りの雪投入重量 (kg/s)，

Q_0：流水量 (l/s)．

雪体積混入率：$K_V=\dfrac{S_V}{Q_0}\times 100.$　(2)

ここに　S_V：時間当りの雪投入体積 (l/s)，

$$K_W=\rho K_V,\qquad (3)$$

ρ：雪密度 (kg/l)．

n：粗度係数，ガンギレー・クッタ (Ganguillet-Kutter) の式[1]

$$C=\frac{23+\dfrac{1}{n}+\dfrac{0.00155}{i}}{1+\dfrac{n}{\sqrt{m}}\left(23+\dfrac{0.00155}{i}\right)},\qquad (4)$$

$$v=C\sqrt{mi}. \tag{5}$$

ここに　C：Chezy の流速係数，m：流体平均深さ (m)，i：水面勾配，v：平均流速 (m/s).

$$m=\frac{BH}{B+2H}. \qquad \text{(長方形断面水路について)} \tag{6}$$

ここに　B：水路幅 (m)，H：水深 (m).

2.3　水潤雪の曲げ強度測定

図1に示すような可動翼をもった水槽内に 0°C の水を満たし，各種の雪を投入して雪柱を作り，5分程度放置した後，可動翼を折り曲げて雪柱を折るのに必要なトルクを測定した．(写真3)

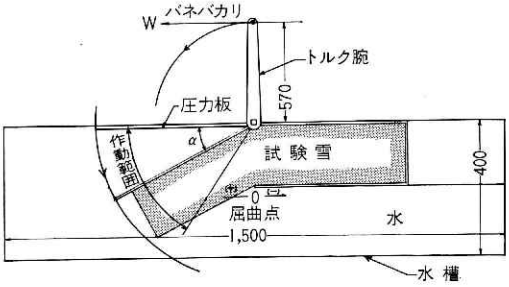


図 1　水潤雪の曲げ強度測定用水槽

雪柱寸法：幅 170 mm (曲げ方向厚さ)，
厚さ 240～260 mm，長さ 1,000 mm，折曲長　全長の 1/2，折曲支点　可動．

トルク測定：トルク腕による．腕長 570 mm，荷重測定　1 kg，2 kg，10 kg のバネバカリ．

投入雪質：新雪 (密度 0.12 g/cm³)，しまり雪 (密度 0.38 g/cm³)，ざらめ雪 (新雪のざらめ化したもの) (密度 0.44 g/cm³，粒径 0.1～0.2 mm)，ざらめ雪 (密度 0.39 g/cm³，粒径 0.2～0.4 mm)．

実験期日：昭和43年3月4日～9日．

2.4　水潤雪のすべり摩擦測定

勾配をつけた木製といに円筒型サンプラで採取した雪を水潤させてすべらせ，その速度からすべり摩擦係数を測定した．(写真4)

といの寸法 (材質：すぎ)：内法 200 mm×200 mm，全長 1,800 mm (内面カンナ仕上げ)．

雪 寸 法：外径 86 mmφ，高さ 86 mm．



写真 3　水潤雪の曲げ強度測定



写真 4　水潤雪のすべり摩擦測定

表 1　試 験 結 果

番号	溝勾配	雪投入前 流速 m/s	雪投入前 水位 cm	雪投入前 流量 l/s	雪投入前 水面勾配	雪投入前 粗度係数	雪投入後 流速 m/s	雪投入後 水位 cm	雪投入後 流量 l/s	雪投入後 水面勾配	雪投入後 粗度係数	雪投入後 雪※※投入量 kg/s	雪投入後 雪重混入率 %	雪投入後 雪体積混入率 %	雪密度 g/cm³	質 含水率 %	温度 流入水温 °C	温度 気温 °C	つまりの発生
1	0.008	1.62	4.7	40.0	0.0113	0.0080	0.9	9.2	45.5	0.0071	0.0132	(10.8) 9.5	26.4	112.3	0.20	2.4	1.6	0.4	あり
3	〃	1.91	6.9	65.7	0.0113	0.0084	1.29	12.8	82.6	0.0075	0.0144	9.9	13.6	57.9	0.20		1.6	0.0	
4	〃	1.79	8.2	73.7	0.0083	0.0084	0.88	15.3	67.3	0.0124	0.0222	9.4	16.2	68.9	0.23				あり
5	〃	1.81	8.0	72.6	0.0116	0.0095	1.28	11.8	75.5	0.0067	0.0118	10.5	16.2	68.9			0.5		
6	0.006	1.43	7.6	54.3	0.0128	0.0107						(13.0)			0.24				あり(すぐつまる)
7	〃	1.47	6.7	49.5	0.0128	0.0106	0.93	7.4	34.4	0.0139	0.0162	4.5	15.0	63.8					
8	〃	1.38	6.0	41.5	0.0129	0.0107						(12.0)					0.5	−0.5	あり(すぐつまる)
9	〃	1.40	6.5	45.6	0.0107	0.0102	0.59	13.5	39.8	0.0039	0.0184	7.5	23.2	98.7					あり
10	〃	1.39	5.0	34.5	0.0123	0.0095	0.52	11.5	29.9	0.0058	0.0220	9.8	48.8	207.7	0.31	0	0.4	0.2	〃
11	0.002	1.55	14.9	115.4	0.0078	0.0118	1.23	14.2	87.3	0.0027	0.0090	11.5	15.2	64.7	0.25		0.8	1.8	
12	〃	1.38	12.7	87.8	0.0075	0.0119	0.90	18.2	81.9	0.0132	0.0238	14.3	21.2	90.2			0.5	1.6	あり
13	〃	1.37	11.9	81.8	0.0071	0.0114	0.64	17.1	37.5	0.0113	0.0286	12.8	51.8	220.4					〃
14	〃	1.36	10.1	68.4	0.0035	0.0081	0.98	15.4	75.5	0.0078	0.0170	12.8	20.4	86.8			1.0	1.1	〃
15	〃	1.43	8.6	61.2	0.0027	0.0065	0.93	12.3	57.2	0.0050	0.0137	(16.3) 9.3	19.4	82.6		1.76			〃
16	0.0006	1.31	14.7	96.4	0.0035	0.0097	1.12	16.4	91.8	0.0036	0.0116	13.1	16.6	70.6	0.22		1.2	2.5	
17	〃	1.37	13.5	92.3	0.0032	0.0086	0.86	17.8	76.5	0.0109	0.0227	12.0	18.6	79.1					
18	〃	1.43	13.3	95.2	0.0006*	0.0041	1.06	19.9	105.5	0.0046	0.0142	12.2	13.1	55.7			1.8	2.8	
20	〃	1.50	11.5	86.5	0.0006*	0.0038	0.87	17.9	77.9	0.0103	0.0220	13.3	20.6	87.7	0.26		1.5	2.6	
21	〃	1.54	—	—	—	—	0.81	19.1	77.4	0.0110	0.0194	11.0	16.6	70.6			1.0	2.3	
22	〃	1.30	7.7	49.7	0.0006*	0.0047						(9.8)				3.4			あり(すぐつまる)
23	0.01	1.81	10.3	93.0	0.0116	0.0095	1.43	13.0	93.0	0.0115	0.0138	13.0	16.3	69.4	0.23		1.4	2.0	
24	〃	1.76	8.1	71.6	0.0106	0.0094	1.08	13.2	71.3	0.0164	0.0199	12.8	21.9	93.2					
25	〃	1.75	6.9	60.1	0.0106	0.0078						(14.0)							あり(すぐつまる)
26	〃	1.74	6.4	55.5	0.0105	0.0085	0.86	11.0	47.3	0.0133	0.0202	(12.5) 8.2	21.0	89.4					あり
27	〃	1.73	7.8	67.2	0.0113	0.0095	1.05	12.9	67.7	0.0162	0.0200	12.5	22.6	96.2	0.21		1.2	2.0	

* 水路勾配

※※(　　)内はつまった時の値

時間測定：ストップウォッチ（1/10秒）．標点：始動点から 500 mm および 1,500 mm．とい角度：15°～45°（5° きざみ）．

なお，摩擦係数 μ は，次式により求めた．

$$\mu=\tan\theta-\frac{2(\sqrt{x_2}-\sqrt{x_1})^2}{g\cdot t^2\cos\theta}=\tan\theta-\frac{0.0547}{t^2\cos\theta}. \tag{7}$$

ここに θ：とい角度，x_1：始点から第1標点までの距離 50 cm，x_2：始点から第2標点迄の距離 150 cm，g：重力加速度，t：雪が第1標点～第2標点間を通過するのに要する時間（sec）．

3. 実験結果

3.1 模型流雪溝実験結果

木製の模型流雪溝における実験は27種類実施したが，うち2回（No. 2, No. 19）は欠測値があり，また他の4回（No. 6, No. 8, No. 22, No. 25）は実験開始後すぐつまりが発生して実用性のあるデータが得られず，結局有効なデータは 21 種であった．そのうちつまりの発生等の障害がなく，長時間安定した値を示した 15 種のデータを主として解析に利用した．これらの結果をまとめて表1に示す．

3.2 水潤雪の曲げ試験結果

この結果を図 2～6 に示す．図は横軸に折曲げ角度 $\alpha°$，縦軸にその時に要したトルク T kg·cm を示している．各折れ線につけてあるサフィックスは支点移動量（cm）で正は進み側，負は後退側を示す．

3.3 水潤雪のすべり摩擦測定結果

表2にその結果を示す．摩擦係数は各角度の値を平均したものである．

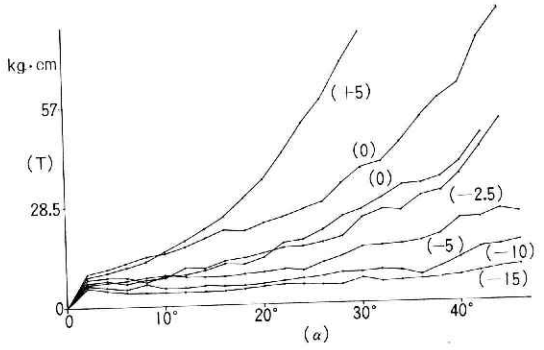


図 2　折曲げ角度 α とトルク T
（水潤雪の曲げ試験結果—1）
新雪　密度=0.12 g/cm³

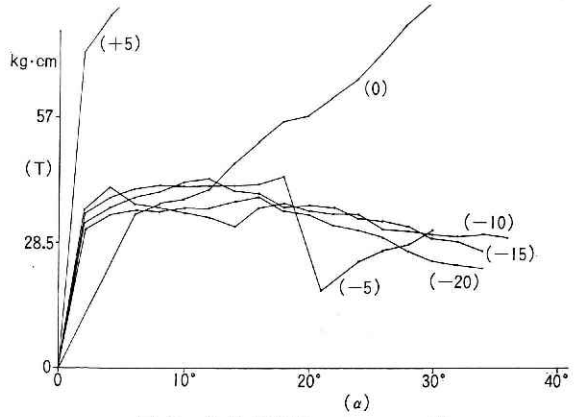


図 3 折曲げ角度 α とトルク T
(水潤雪の曲げ試験結果—2)
しまり雪　密度=0.38 g/cm³

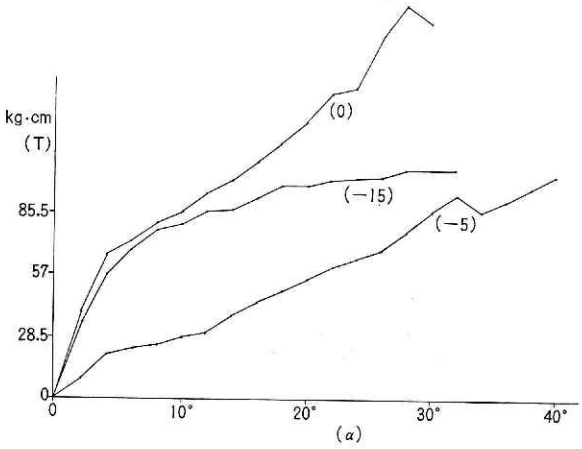


図 4 折曲げ角度 α とトルク T
(水潤雪の曲げ試験結果—3)
しまり雪（乱さない試料）　密度=0.38 g/cm³

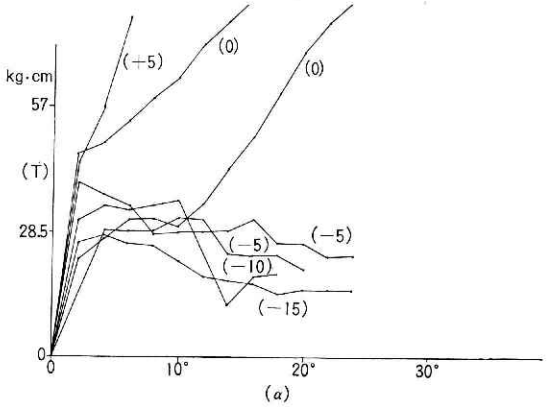


図 5 折曲げ角度 α とトルク T
(水潤雪の曲げ試験結果—4)
ざらめ雪　密度=0.39 g/cm³

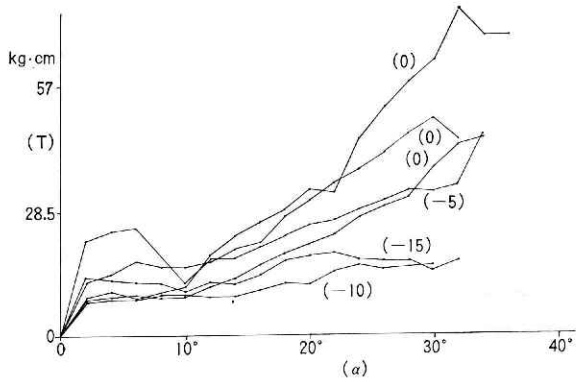


図 6　折曲げ角度 α とトルク T
（水潤雪の曲げ試験結果—5）
ざらめ雪（新雪の変化したもの）　密度＝0.44 g/cm³

表 2　水潤雪のすべり摩擦係数

	新雪	しまり雪	ざらめ雪	
			粒径 1～2 mm	粒径 2～4 mm
密度 g/cm³	0.14	0.38	0.54	0.59
水潤状態での密度 g/cm³	0.65	0.93	0.89	0.80
摩擦係数	0.12	0.13	0.15	0.09

4. 考　　察

4.1 粗度係数と雪混入率

粗度係数 n と雪重量混入率 K_W の関係を図示すると図7のようになり，バラツキは多いがおおむね比例関係は成り立つようである．今回は水位計測点の数を増したので水面勾配が把握でき，これに基づいて粗度係数を求めたため，勾配の差による差異は判然としなかった．全体を一次の関係として回帰方程式を求めると

$$n=0.00088\,K_W+0.00081 \qquad (8)$$

となる．

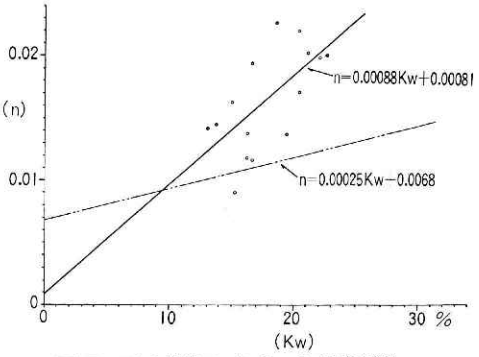


図 7　雪重量混入率 K_W と粗度係数 n
実線：しまり雪，鎖線：ざらめ雪

いま，平均密度 $\bar{\rho}=0.235$ kg/l を使うと，(3)式から雪体積混入率 K_V については次式が得られる．

$$n=0.00021\,K_V+0.00081. \qquad (9)$$

4.2 最低流速について

流雪溝の流雪能力を考える場合，雪を投入した後の流速はどの程度まで下げうるかが重要な点となる．雪の混入した水が流雪溝中を流れる速さをできる限り遅く保つ方が，全体の流雪量を増すことができる．しかし，遅すぎるとつまりの発生原因となるので，これを適当な範囲内にとどめておく必要がある．今回の実験でつまりの発生した場合と発生しなかった場合を個々に調べてその時の流速を一覧表にすると表3のようになる．

この表のうち左側欄の値はいずれもつまりの発生する前の値で，速度が急激に低下している時に読みとれた最低の値を示している．右側欄の値は流速が変動している中の最低の値を示したものである．これからみると，流速はおおむね 0.7 m/s を割るとつまりの発生が多くなり，それ以上であれば二，三の例外はあるが安定した流水が得られている．

この値は，流雪溝の一点に集中的に雪を投入し，かつ人力で流速低下を補なわない状態でのもので，実際の流雪溝では，人力で流動を促進する等の手段もあるので，さらに低い流速でも

表 3 最低流速 (m/s)

試験 No.	つまり寸前の流速		定常流の場合の最低流速	
	m/s	摘要	m/s	摘要
1	0.46		0.65	速度低下中
3			1.22	
4			0.71	
5			0.51	ピーク値（直ちに上昇）
6		よめず		
7			0.77	
8		よめず		
9	0.54			
10	0.6			
11			1.01	
12	0.84			
13	0.43			
14	0.72			
15	0.66		0.9	
16			1.01	
17			0.71	
18			1.00	
20			0.74	
21			0.73	
22	0.66			
23			1.24	
24			0.91	
25	0.53			
26			0.59	ピーク値（直ちに上昇）
27			0.98	

使用可能のようである．またこの値は溝幅にも関係することが予想され，この実験の溝幅（50 cm）より広い場合，さらに低い速度とすることが可能であろう．

4.3　流雪溝の流雪能力

流雪溝の流雪能力を示す図 8, 9, 10 は次のようにして求めた．すなわち最低流速を 0.7 m/s と仮定し，各勾配ごとに異なる水量についての仮定粗度係数 n を(4)，(5)式から逆算し，求められた粗度係数 n から(8)，(9)式を用いて雪混入率 K を算出し，これらから流水量 Q l/s と投入雪量 S_W kg/s，または S_V m³/h に換算した．図中 S，G はそれぞれしまり雪，ざらめ雪を表わし，i は勾配である．しかし実験によって求められた粗度係数 n と雪混入率 K の関係を示す式(8)，(9)はかなりの誤差を含むものと考えられるので，この図を利用するに当ってはその点に留意する必要がある．またたとえば図 9 において水量が 200 l/s の場合，投入雪量は 1,000～1,500 m³/h とかなり大きな値となるが，計算によればこの場合水位が 1 m 近くなるので特殊

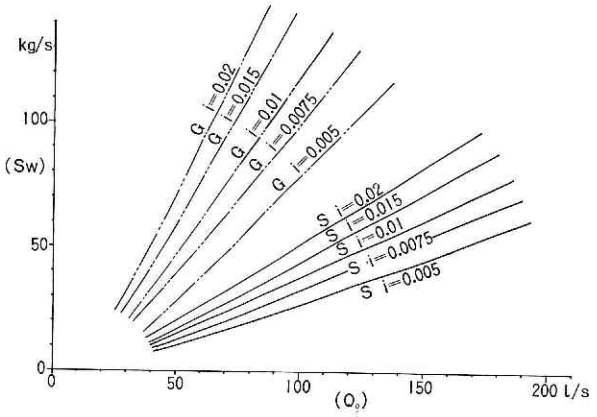


図 8　流水量 Q_0 と投入雪量 S_W
実線：しまり雪，鎖線：ざらめ雪

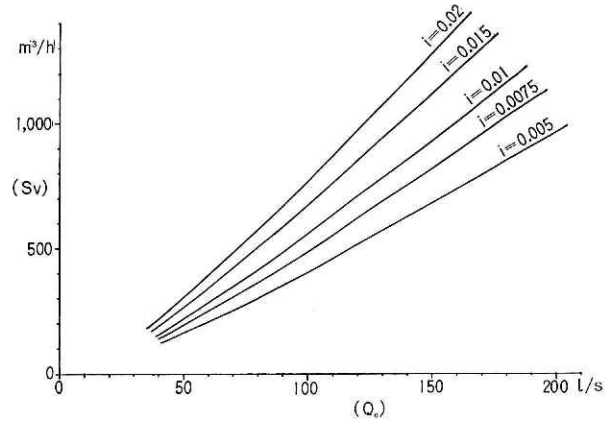


図 9　流水量 Q_0 と投入雪量 S_V
しまり雪　密度＝0.24 g/cm³

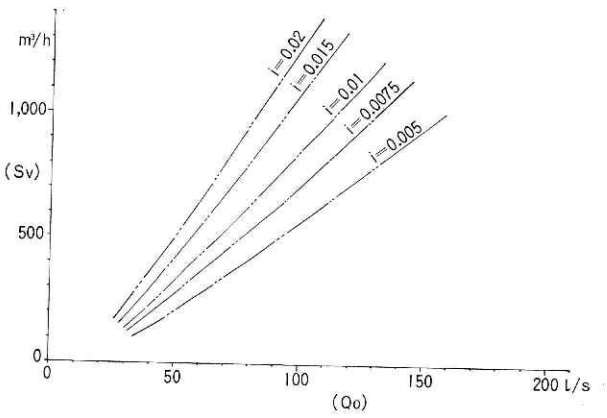


図 10 流水量 Q_0 と投入雪量 S_V
ざらめ雪　密度＝0.51 g/cm³

な場合以外は利用できない．

多くの流雪溝は（特にポンプアップした水源によるものでは）流水量は 50～100 l/s 程度であり，また自然水源を使用する場合も 100 l/s 程度のものが多いようである．しまり雪に対しては 100 l/s の流水量に対し 500 m³/h 前後の投入が可能であるが（勾配 i=0.0075），50 l/s の流水量では，200 m³/h の投入雪量となり一般に水量を多くした方がより効果的となることがわかる．

いま 1 日の新積雪深を 40 cm，1 本の流雪溝の受け持ち幅を 15 m と仮定すると，投入時には雪はほぼ 1/2 の体積になるので 1 時間当り 200 m³ の雪を処理しうる場合，その受け持ち延長は 67 m となる．1 日 7 時間動くと考えると約 470 m が 1 本の流雪溝の有効な延長となる．

実際にはその区域内のすべての雪が毎日処理されるとは限らないので，雪の降らない日も考慮すると，この場合ほぼ 1 km 程度が望ましい延長になると考えられる．

4.4 雪質の差による能力の差

雪の量の表わし方には重量 t と容積 m³ の二通りがあるが，流雪溝を使用する場合は感覚的に体積でとらえられることが多いようである．重量的にとらえた場合図 8 によればしまり雪に対しざらめ雪は 3.3 倍も多く雪が流せるが，体積的にみると図 9，10 によりその倍率は 1.5 倍とかなり低くなる．玉井，鈴木[2]によれば，新雪とざらめ雪の同一容積を流すのに必要な水量は 4：3 とされている．この表わし方によれば，図 9，10 の場合 1.4：1 となり，上記の値に近い値となる．

これらの点から温暖地で流雪溝を利用する場合は，できるだけ雪を放置しておいて，ざらめ化させてから投入することが望ましい．この差異の原因を追求する目的で，水潤雪の強度や摩擦を測定したが，後述するようにそれらは多少の差はあっても決定的なものではないようで，やはり雪を水潤し，これを浮上させるに要する水量の差，したがって雪の空げき率の差が主要な因子であろう．

4.5　屈曲部における雪の流れ

流雪溝のつまりは屈曲部に多く発生する．これは溝中に投入された雪が直線水路を通過しているうちに一体化してヨウカン状になり，屈曲部に達した時折れ曲がらないことが多いからである．

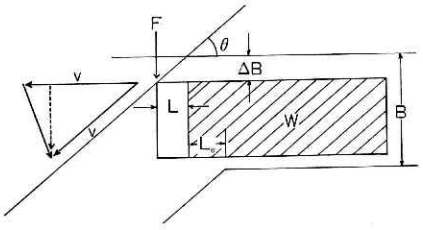


図 11　流雪溝屈曲部における曲げ

いま W なる重量の雪塊が，v なる速度で屈曲部に達したとする．衝突時の損失を無視すれば，雪は v なる速度で曲がって通過しようとする．この時，壁面が雪におよぼす直角方向の反力 F は

$$F=\frac{W}{2g}v^2\sin^2\theta \tag{10}$$

（g は重力加速度）

となる．F は L なるレバー長さでモーメントとなり雪を曲げる．

ΔB を溝に対する雪塊の余裕幅とすると

$$L=\frac{\Delta B}{\tan\theta}. \tag{11}$$

したがってモーメント M は，

$$M=\frac{W\cdot\Delta B}{2g}\cdot v^2\cdot\frac{\sin^2\theta}{\tan\theta}=\frac{W\cdot\Delta B}{4g}v^2\sin^2\theta. \tag{12}$$

(12)式によると M は $\theta=45°$ で最大となる．しかし実際にはレバー長さは $L+L_0$ または $L+L_0/2$ と考えられ，また衝突時の損失も無視できないのでこの値は多少ずれ，もう少し小さい値になると想定される．

こうした論議には定量的なデータが必要であるが，ΔB，W などのとり方，衝突時の損失等についての正確な値などが得られず，M を定量的に求めて水潤雪の曲げ強度測定のデータと結びつけるまでには至らなかった．

4.6　水潤雪の曲げ強度およびすべり摩擦

水に浸した状態の雪を曲げる場合，折れ曲げ角の増加につれて，必要モーメントが急上昇する場合と，折れ曲げ角に関係なくほぼ一定のモーメントで終始する場合の二通りがある．後者は支点の位置を 5cm 以上後方（支持側）にずらせた場合で，ずらせ量が 5cm 未満または逆に前方（折れ曲げ側）にずらせた場合は前者の型になる．これは支点位置の移動によって，雪が圧縮をうけるか否かによるもので，ずらせ量が後方に 5cm 未満の場合は支点付近の雪がかなり圧縮され，その圧縮にトルクが必要となるわけである．この 5cm という値は雪質によらずほぼ一定であるが，しまり雪を乱さない状態のまま水潤した場合のみは，支点移動量を 15cm にしてもなお圧縮が起こっている．この場合は雪の外面にクラックの発生するのが遅く，雪は

きれいに曲げられる.

乱さないしまり雪を水潤しない状態で曲げると，ほとんど塑性変形をしないまま破断してしまう．しかしその強度の差はかなり大きく，水潤した場合の引張強度に対し，水潤しない場合はほぼ4.5倍の強度をもっている.(表4) また乱さないしまり雪を水潤した場合，曲げの方向によっても多少強度の差がみられ，降り積もった状態で上下方向に曲げた場合の方が，水平方向に曲げた場合よりかなり強度が小さい．しまり雪でもくだいた状態で曲げた場合は他の雪質と定性的に大きい差は示さない.

雪質による強度の差はかなり大きく，平均値は表4のような値となる.

表 4 水潤状態での曲げ強度

	新雪	しまり雪	しまり雪		ざらめ雪 小粒径	ざらめ雪 大粒径
			水潤	水潤せず		
平均密度 g/cm³	0.095	0.37	0.37	0.37	0.44	0.39
引張強度 g/cm²	4.7	30.8	120	540	9.5	26.0

(曲げの中立軸は柱の中心にとった.)

表2および表4の結果を対比すると，いずれもざらめ雪に比べしまり雪の方が不利な値を示しているが，前記したような大きい流雪能力の差の原因となるとは考えられない.

この実験結果から，一般に水潤した雪は（水潤しない場合もそうであるが）圧縮に強く，引張りに弱いことが判明した．流雪溝の屈曲部は多くの場合直角曲りをさけて 45°×2 または大きい曲率半径の円弧を用いている．屈曲部の内側折点をできるだけ上流側にずらし，雪塊に加わる曲げモーメントを大きくしてやるとともに，屈曲部に流れ込む雪塊の流速ができるだけ変化しないような配慮が必要である.

5. 要　　約

以上の結果を要約すると次のようになる.

(1) しまり雪についても雪の投入割合を増せば見掛け上の粗度係数は増加する.

(2) 50cm 幅の流雪溝では，平均流速が 0.7m/s を割るとつまりの発生が多くなる.

(3) 平均流速を 0.7m/s と仮定した場合の流雪溝の流雪能力を表わすグラフを作成した.(図 8, 9, 10)

(4) 雪質の違いによって流雪能力にはかなり差が出て，しまり雪に比べざらめ雪の方が体積で1.5倍も多く雪を流せる.

(5) 水潤雪の曲げ強度，すべり摩擦係数は共に雪質によって差はあるが，これが決定的因子で(4)に述べた差異が生じているとは考えられない.

6. 結　び

この一連の実験で，きわめて大づかみながら流雪溝の流雪能力に関する定量的な解析ができた．しかし計画していた調査内容のうち，小さい勾配の問題は，実験に使用した水路が短すぎたために，水路勾配は小さくしても，水面勾配が急になって目的を果たさなかった．また屈曲部の試験は大量の水が得られ，かつかなり広い面積を要する実験場が得られなかったために中止せざるを得なかった．改めて別の機会に実施したいと考えている．

参考文献

1)　日本機械学会（1960）：機械工学便覧．第8編，第2章，p. 8-15—8-37．
2)　玉井健吉・鈴木松太郎（1948）：流雪溝に関する一考察．雪氷，**10**，No. 1，p. 13—19．

（1969年2月28日原稿受理）