

プラウ模型による雪の切削試験研究

長田忠良・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

Experiment on Cutting of Snow with Miniature Model of Snow Plough

By

T. Osada, S. Takahashi and T. Kobayashi

Institute of Snow and Ice Studies, Nagasaki

Abstract

Working performance of snow ploughs which are usually used for snow - removal of road was not made clear, and we began the study of it in cooperation with the Public Works Research Institute, Ministry of Construction, in 1965. At first, we made the experiments on oneway ploughs and angling ploughs for practical use which were equipped on a seven-ton truck of all wheel drive.

It was very difficult to obtain detailed data by these experiments. Therefore, in 1966 we made the test facilities for measurement of cutting resistance force of snow by miniature models of approximately 1/10 scale.

These facilities are able to measure the three components of cutting resistance force. We measured the cutting resistance forces in case of cutting with flat edge.

The results of our experiments are as follows:

- 1) Cutting resistance force increases in proportion to cutting speed.
- 2) Cutting energy is much less than throwing one.
- 3) Cutting angle that indicates the maximum vertical component is estimated at about 45°. Moreover, we discussed theoretically on suitable throwing angle of snow plough.

目 次

1. ま え が き	82	3.2 切削角と切削抵抗	84
2. 試験機の概要	82	4. ブラウの投出し角度	84
3. 切 削 抵 抗	82	5. む す び	86
3.1 切削速度と切削抵抗	83		

1. ま え が き

雪害実験研究所では、昭和40年度に、建設省土木研究所と共同で、ブラウ除雪車を用いての高速除雪についての研究に着手した。これは実用機を用いて実験を行なうものであり、試験機が大きいため、(1)整地または舗装された広大な実験場所が必要である。(2)比較的均質な雪についての一連の実験を行なうことができない。(3)雪量の調節がむずかしい。(4)異なる形状のブラウの製作費が高価であり、各種形状ブラウについての実験は困難である。(5)同一条件における実験回数を多く行なうことができないなど、実験を行なうに当たっていろいろの制約があった。したがって、実用機による実験を推進する一方、これらの制約をできるだけ少なくし、精度の高い計測を行なってブラウの基本的な性能を追求する必要が生じ、ブラウ模型による実験研究を昭和41年、42年の2か年にわたって行なったものである。

この研究の目的は、各種施工条件における各種ブラウの除雪性能を把握し、それぞれに適合したブラウ形状を研究しようとするもので、模型ブラウを用いての研究では、雪の切削抵抗の測定および切削された雪塊の流動について、単純な平面ブラウを用いて実験した。

2. 試験機の概要

切削方法は、雪固定ブラウ移動型とし、実物の約1/10の模型ブラウの装着を想定して諸元を決定した。

形鋼で作ったガイドレールにトロリーを懸架し、トロリーに取付けられた計測箱の計測腕に模型ブラウを取付けた。計測腕支持リンクに抵抗線式ひずみゲージを貼り付け、ブラウにかかる切削抵抗の3分力を測定できるものとした。トロリー駆動用の動力は、電動機より電磁クラッチ、無段変速機、歯車減速機、ウインチドラムを経てワイヤロープによって伝えられる。ガイドレール上にマイクロスイッチ数個を固定してタイムマークを記録

させ、切削速度の測定を行なった。また、ガイドレール上の両端近くにマイクロスイッチを設け、非常の場合のクラッチの解放、制動ブレーキの作動に用いた。主な仕様は次のとおりであり、その全容を写真1に示す。

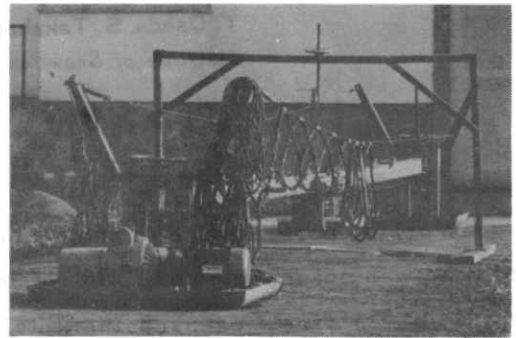


写真1 試験機
 Test facilities.

試験機仕様		
本体寸法	長さ	12000mm
	幅	980mm
	高さ	1045mm
ガイドレール長さ		10000mm
切削速度		0.8~7.5m/sec
		(無段変速)
電動機		1.5kW

3. 切削抵抗

積雪の切削は、機械除雪には終始伴うもので重要なものであるが、雪質および切削条件などによってその機構は複雑であり、この面の研究はあまりなされていないのが実状である。ここでは、切削角および切削速度を変化させて切削実験を行なった。

切削に用いた切刃は、刃幅すなわち切屑が流れるすくい面の長さが30mmの平型鋼製切刃で、この切刃の取付け角度を変えて切削角を変化させ

また、特殊な切削として厚さ1mm、刃幅10mmの鋼製切刃を用いて、切削面に平行に切刃を取付けた薄刃による積雪の切離し切削を行なった。いずれもブラウ後退角が0°の場合の2次元切削で、このときの前後分力および垂直分力を測定した。

表1 実験結果
Data of experiments.

No.	切削角	前後分力 kg/cm	垂直分力 kg/cm	切削速度 m/sec	摘 要
1	0°	0.29	—	0.98	○ 切削幅…12cm ○ 切削深さ…12mm ○ 進行角…0° ○ 雪質…ざらめ雪 ○ 密度…0.40~ 0.42g/cm ³ ○ 雪温…-3°C
2	"	0.38	—	0.98	
3	"	0.43	—	1.97	
4	"	0.50	—	2.00	
5	"	0.58	—	3.61	
6	"	0.62	—	3.52	
7	"	0.72	—	4.35	
8	"	0.69	—	4.31	
9	"	0.79	—	5.54	
10	"	0.92	—	5.46	
11	"	0.85	—	5.62	
12	"	0.58	—	3.51	
13	"	0.61	—	3.75	
14	"	0.67	—	5.38	
15	"	0.76	—	5.45	
16	15°	0.48	0.22	1.01	
17	"	0.57	0.23	1.99	
18	"	0.68	0.26	3.54	
19	"	0.71	0.33	4.40	
20	"	0.73	0.40	4.89	
21	"	0.50	0.22	1.00	
22	"	0.60	0.23	2.02	
23	"	0.53	0.29	3.62	
24	"	0.60	0.28	3.67	
25	"	0.67	0.34	4.55	
26	"	0.71	0.33	4.53	
27	"	0.67	0.31	3.94	
28	"	0.71	0.33	4.43	
29	"	0.73	0.38	4.72	
30	30°	0.52	0.32	1.01	
31	"	0.53	0.30	1.00	
32	"	0.65	0.37	2.00	
33	"	0.58	0.34	1.49	
34	"	0.65	0.35	2.00	
35	"	0.76	0.42	3.67	
36	"	0.79	0.47	3.64	
37	"	0.83	0.47	4.54	
38	"	0.82	0.46	4.51	
39	"	0.93	0.53	4.82	
40	"	0.93	0.53	4.68	
41	45°	0.53	0.28	1.00	
42	"	0.48	0.29	1.03	
43	"	0.59	0.35	2.02	
44	"	0.69	0.38	2.02	
45	"	0.84	0.48	3.65	
46	"	0.78	0.45	3.64	
47	"	1.01	0.51	4.52	
48	"	0.94	0.48	4.51	
49	"	0.98	0.51	4.72	
50	"	1.01	0.54	4.67	

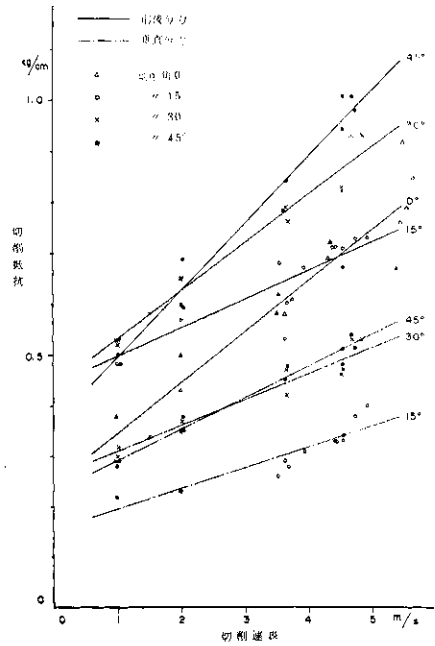


図1 切削速度と切削抵抗
Relation between cutting speed and cutting resistance force.

切削幅は予め12cm幅に整形した試料を切削したもので、切削速度は1~5.5m/sec、切削深さは12mmである。この実験に用いた雪は、低温貯蔵室に長期にわたって保存されていたざらめ雪で、密度が0.40~0.42g/cm³、雪温が-3°C、せん断強さが約210g/cm²のきわめてかたい雪である。

実験結果を表1に示す。この結果にもとづいて単位切削幅当りの前後分力および垂直分力を表わしたものが図1である。

3.1 切削速度と切削抵抗

図1の横軸は切削速度、たて軸は切削幅1cm当りの切削抵抗分力である。理論的には、切削抵抗は、主として積雪のせん断抵抗と雪塊を加速するための慣性の反力より成るもので、慣性の反力は切削速度の二乗に比例することは明白であるが、この実験では切削された雪の質量が小さく、また切削速度も低い限られた範囲であることと、せん断抵抗に比べて慣性の反力の絶対値が小さく、図1ではほぼ直線的な関係を示している。特に切削速度の小さい範囲では、雪質の変動等による影響が多いためか切削角の相違による前後分力の大小関係の差異は認められない程である。

雪塊のせん断，加速を極力少なくするために行なった薄刃による積雪の切離し実験結果を図1中に示した。この実験では，切離された積雪は1枚の板状で切削面上に残り，切削面上，下のきわめてせまい範囲の雪層を破壊しながら切削が行なわれたものとみられる。切削角をもたせた場合の切削抵抗に比べて勾配係数が大きいことは，理論的には0でなければならぬ垂直分力が実際には正，負に変動し，この変動が切削速度に比例して大きくなり切刃の両面に働く摩擦力が大きくなったためとみられる。

垂直分力も切削速度に比例して増大するが，切削角 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲ではその絶対値は前後分力のほぼ $1/2$ 程度となっている。

実用ブラウによる除雪抵抗の実測値¹⁾について切削抵抗が占める割合を推定すると次のようになる。

雪密度 0.48 g/cm^3 ，除雪幅 120 cm ，除雪深さ 16 cm ，除雪速度 4.4 m/sec における除雪抵抗を一例にとると 725 kg と測定されている。一方，切削角 45° の平面ブラウによる切削抵抗 R を図1におけるように直線とみなして求めると， $R = 0.056v + 0.44$ で表わされる。これより切削抵抗を算定すると 83 kg となり，その比率は $11/100$ で，除雪抵抗全体に占める切削抵抗の割合は切較的小さく，ブラウ面における雪の変形加速等に多くのエネルギーが消費されていてこれに関連のあるブラウ形状の研究の重要性が解る。

3.2 切削角と切削抵抗

図2は，切削速度 5 m/sec における切削角（切削面と切刃のなす角）と切削抵抗の関係を示したものである。前後分力は切削角が大きくなるにしたがって増大するが，垂直分力は切削角が 30° ， 45° ではほとんど差異はみられない程である。

この垂直分力はブラウ切刃のくいこみに関係するものであって，雪質による相違も当然考えられることであるが，今回の実験より軟かい雪密度 0.375 g/cm^3 ，せん断強さ 22 g/cm^2 のざらめ雪についての他の実験結果²⁾では，切削角が 30° 付近が最大となっている。垂直分力は，一般に切削角がある程度大きくなると負になって，切刃に対して上向きの力を及ぼすものである。垂直分力が最大となる切削角は雪質によって変化することが考えられ，さらにブラウ面における加速に関係

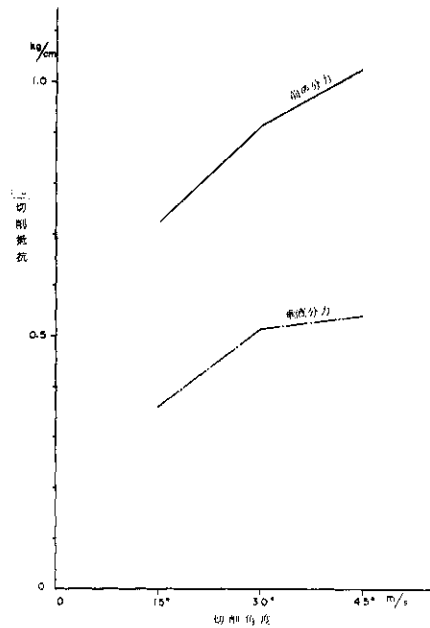


図2 切削角度と切削抵抗 (5 m/sec)

Relation between cutting angle and cutting resistance force (at 5 m/sec).

する流入角度等を考えると一概にはいえないが，ブラウ切刃のみについてみると，あまり圧密されていない雪の切削においては切削角が 45° 近辺が適当と推定される。

4. ブラウの投出し角度

ブラウによる除雪作業では，雪を高く，しかも横方向に対する移動量を大きくすることが望ましいことである。

そこで，壁面に衝突する流体の工率の理論を用いてブラウの投出し角度について考察する。³⁾

進行方向に直角にとりつけられた除雪幅の大きいブラウで，一様の厚さの雪を除雪する時にブラウ上端より投げ出される雪塊の動きを考える。

図3にブラウの投げ出し部分における速度線図を示す。

ここで，ブラウ面上におけるエネルギー損失を $(V^2/2g) \cdot \epsilon$ とおくと， $V^2/2g = w^2/2g + V^2 \cdot \epsilon/2g$ および図3より，雪塊の絶対速度 v は次のように表わすことができる。

$$v^2 = V^2 + W^2 + 2VW \cos B \\ = 2V^2 \left(1 + \sqrt{1 - \epsilon} \cos B - \frac{\epsilon}{2} \right)$$

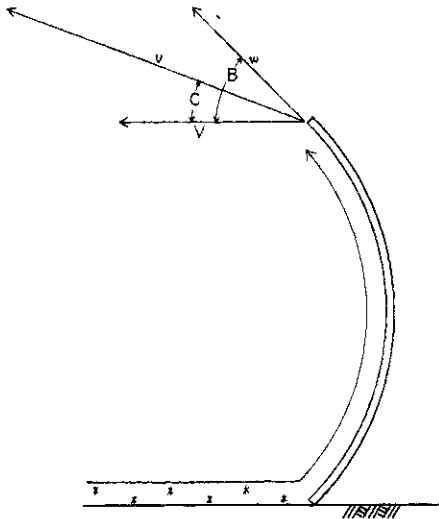


図3 速度線図(上端部分)
Diagram of velocity
(the upper part).

したがって、雪を速度 v まで加速するために必要な工率 L は

$$L = \frac{\rho S}{g} v^3 \left(1 + \sqrt{1 - e} \cos B - \frac{e}{2} \right)$$

- ただし ρ : 雪の密度
- S : 除雪断面積
- V : 除雪速度
- e : 損失率
- B : 投出し角度

で表わすことができる。

ここに $V = w$ と仮定すると $C = B/2$ となり、 $e = 0$ とおいて v の垂直成分の最大の時の C を求めると 45° となり、したがって B は 90° となる。すなわちブローの投げ出し部の角度は 90° がよいということになる。

一方、投げ出し角が A で垂直に立てられた平板による雪の横方向への移動について前と同様に考えると、静止している雪塊を v_1 なる速度にするための工率 L_1 は

$$L_1 = \frac{\rho S}{g} v^3 \left(1 - \sqrt{1 - e} \cos A - \frac{e}{2} \right) \quad (2)$$

で表わすことができる。

(2)式において、 $e = 0$ と仮定すると

$$L_1 = \frac{\rho S}{g} v^3 (1 - \cos A)$$

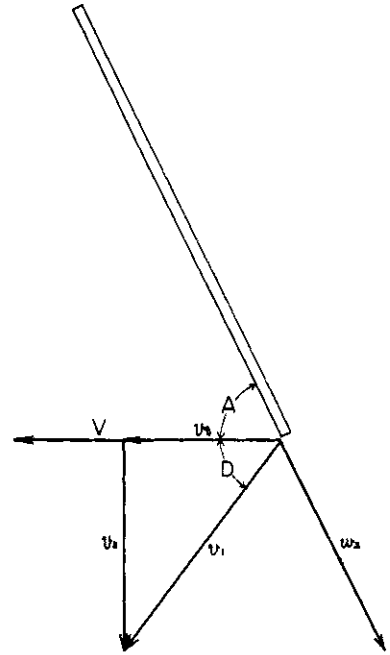


図4 速度線図(側部)
Diagram of velocity
(the side part).

となる。この場合、雪の移動方向は平板の進行方向に対して角度 D であり、 D は

$$D = \frac{\pi - A}{2} \quad (3)$$

となる。

また、 v_1 を v_t 、 v_s の速度成分に分けて考えると、

$$v_t = V - w_2 \cos A$$

$$v_s = w_2 \sin A$$

の関係より v_1 は

$$v_1 = \sqrt{V^2 - 2Vw_2 \cos A + w_2^2 \cos^2 A + w_2^2 \sin^2 A}$$

で表わすことができる。

ここに $V = w_2$ と仮定すると

$$v_1 = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sqrt{1 - \cos A} \quad (4)$$

となる。

(3)、(4)式の A に数値を与えて求めた v_1 を示したのが図5である。

除雪においては横方向成分が大きいことが必要とされ、そのためには A が 90° に近いところが適当であるが、この場合垂直方向にも同じ流れが

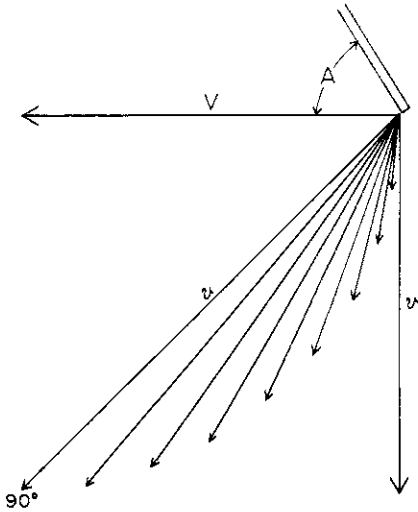


図5 投出し角と方向・速度の関係
Relation between the throwing angle and the velocity and direction of throwing.

生じ視界確保上問題となることを考えると、横方向成分の減少が比較的小さく、横方向に雪を導きやすい 60° 近辺が適切と考えられる。

5. むすび

積雪の切削については、切削速度、角度の切削

抵抗に及ぼす影響を求めたが、雪質が特殊であったことと各種雪質についての資料を得ることができなかったことから、普遍的な結果を求めることができなかった。しかしブラウ除雪においては、投雪エネルギーに比べて切削エネルギーはきわめて小さいことがわかった。そのため、ブラウ面および投げ出した後の雪の流動および所要エネルギーを求めるべく実験を行なったが、実験器材の不備もあって十分な資料が得られず、この報告にまとめるまでに至らなかった。この総合研究は42年度で終了したが、別の研究によって、エネルギー的に効果的なブラウ曲面形状とブラウ前方に飛散して操縦性を悪化させている雪片の飛散の少ない曲面形状について研究を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 長田忠良・沢田茂良・岩崎政明(1967): 高速除雪方法に関する研究 — ブラウ除雪実験〔第2報〕 —, 土木研究所資料, 第310号.
- 2) 下田茂・千木良暁司・石田勝彦(1967): 積雪の切削抵抗について, 日本機械学会北陸信越支部・精機学会共催, 諏訪地方講演会論文集, p.13-16.
- 3) 石井安男: 水車とポンプ, 電気書院, p.33-35.