

## プラウ形状と除雪能率に関する研究

沢田茂良・岩崎政明・佐々木輝夫  
建設省土木研究所

### On Performance of Snow Removal by Blade Snow Plough

By

Shigeyoshi Sawada, Masaaki Iwasaki and Teruo Sasaki

Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo

#### Abstract

The prevention of snow disaster is one of the major projects in Japan, and from 1961 we have made study of snow removal machine.

Physical properties of snow are well-known, but we have unsolved problems in the field of engineering of snow removal machine.

Since starting in 1965, we have studied the relationships of working performance, working speed, and mold board shapes, i. e. curvatures of circular cone and circular cylinder.

The results are as follows.

(1) Required tractive force  $F$  of trucks is obtained by the following formula:  $F = F_w + F_c + F_a$ ,  $F_w = W_1(0.045 + 0.00106u)$ ,  $F_c = W_2(0.374 + 0.00542u) + F'_c$ , in case of bare pavement,  $F_a = \gamma \cdot S(0.521 + 0.0151u + 0.00186u^2)$ , in case of circular cylinder, where  $F_w$ : rolling resistance of truck, in kg;  $F_c$ : cutting resistance of snow (including friction force between steel plate and pavement), in kg;  $F_a$ : accelerative resistance of cutting snow, in kg;  $W_1$ : weight of truck, in kg;  $W_2$ : weight of snow plough, in kg;  $\gamma$ : density of snow, in kg/cm<sup>3</sup>;  $S$ : area of transverse section of removed snow, in cm<sup>2</sup>;  $u$ : working speed of truck, in km/h.

(2) A snow removal performance (t/PS·h) is much influenced by the working speed, and ploughs with curvature of circular cone are of larger performance than those with curvature of circular cylinder.

目 次

1. まえがき	56	(1) ブラウ押付力と除雪量	64
2. 第1年度研究	57	(2) 腕荷重	64
2.1 試験機械	57	4. 第3年度研究	66
2.2 実験方法	57	4.1 実験の概要	66
2.3 実験場所および日程	58	4.2 試験機械	66
2.4 実験結果および考察	58	4.3 実験方法	66
2.4.1 実験および計算結果	58	4.4 実験場所および日程	66
2.4.2 腕荷重	58	4.5 考 察	66
2.5 次年度改良すべき点	58	4.5.1 除雪トラックに要求されるけん 引力についての理論的考察	67
3. 第2年度研究	60	(1) タイヤのころがり抵抗	67
3.1 実験の概要	60	(2) 切削抵抗	67
3.2 試験機械	60	(3) 加速抵抗	70
3.3 実験方法	61	4.5.2 実験結果の考察	71
3.4 実験場所および日程	61	(1) 腕荷重	71
3.5 実験結果および考察	61	(2) 横荷重	74
3.5.1 アングリングブラウ, ワンウ ェイブラウについて	61	(3) 除雪能率	75
(1) 腕荷重	61	(4) ブラウ効率	76
(2) 除雪能率	62	(5) 雪の流れ	77
(3) ブラウ効率	63	(6) 高速化の問題について	77
(4) 切削雪の形状	63	4.6 ま と め	78
3.5.2 圧着式ブラウについて	64	5. む す び	79

1. ま え が き

わが国の経済社会活動が活発化し道路交通需要が伸びるにつれて、積雪地帯の冬期交通の確保は重要な問題となり、このため交通路の選定、高速除雪方法等新技術開発の要望が強くなってきた。

わが国でも、戦前において道路除雪に一部機械が使用された例はあるが、スピードの点から高速除雪にはほど速い。

また、研究面においても雪質、降雪、積雪等については多少研究がなされその成果も発表されてきたが、除雪機械については、最近になり国鉄、北海道開発局等の一部で研究されているのが現状で、雪の動的特性の研究不足により除雪機械の進歩も遅れがちである。

機械研究室では、昭和36年より除雪機械について調査研究を行ってきた。一方、雪害防災研究は、わが国にとって重要研究課題の一つであり、その重要性を考え、昭和40年度から3カ年計画で科学技術庁が推進する雪害防災総合研究の一部

を分担し、「高速除雪方法に関する研究」を実施することとなった。

この研究は、道路上の積雪を短時間で除去し、交通路および通交車両の安全性を確保しようとするもので、除雪速度は40～50km/hを目標とした。

40～50km/hの除雪速度は、ロータリ除雪車の場合、除雪装置部の容量的制約等から高速化は困難と考え、ブラウ系除雪車により高速化の研究を行なうこととした。

現在、スノーブラウの使用方法は一次除雪として路面の雪を路側部に排除することが多く、路肩部の雪はロータリ除雪車で道路外へ投雪する工法をとっている。したがって、一次除雪で雪を速くに排除しておけば工費のかさむ二次除雪を軽減することができる。

このため、ブラウ形状およびブラウ進行角、除雪速度等の機械条件を変えた場合のブラウにかかる力および除雪能率等を調査研究し、除雪トラッ

クに要求される諸性能について研究することとした。

2. 第1年度研究

40年度は試験機械の製作に時間を要し、多くの実験は望めず、(1)スノーブラウにかかる力(押腕荷重)の測定、(2)トラクターの走行所要動力の測定、(3)実験方法の検討、を行なった程度で終わった。

2.1 試験機械

実験はブラウ曲面に、円錐の1部を使用したワンウェイブラウと円筒曲面を使用したアングリングブラウの2種類について行なった。これらのブラウは荷重測定用油圧シリンダーに接続され、鋼製枠により試験車のシャシフレームにピンで取付られている。

試験車には日野ZH10D(59年式)4輪駆動ダンプトラックを使用した。実験のための主な改造点は次のとおりである。

(a) ブラウ押腕荷重測定用ブッシュパーステアアセンブリの取付および配管。

表1 試験ブラウ仕様  
Specifications of the snow ploughs.

形 式	アングリングブラウ	ワンウェイブラウ
除 雪 幅	3,350 mm(進行角80°)	2,550 mm(進行角58°)
	3,190 mm( # 70°)	—
	2,940 mm( # 60°)	—
	2,600 mm( # 50°)	—
ブラウ右端高さ	1,080 mm	600 mm
ブラウ左端高さ	1,080 mm	1,150 mm
ブラウ切削角	30°~70°の5段可変	50°
切 削 刃	硬着剤付鋼板	硬着剤付鋼板
ブラウ重量	638 kg	450 kg
昇 降 形 式	油圧シリンダによるチェーン吊下げ式	

表2 ブラウ試験車本体仕様  
Specifications of the truck.

項 目	諸 元	項 目	諸 元
形 式	日野 ZH10D (クレーン付き)	機 関	—
全 長	8,010 mm	形 式	DS30形水冷 ディーゼル機関
全 幅	2,450 mm	総排気量	7.98ℓ
全 高	3,200 mm	最高出力	150PS/2,400rpm
車両重量	8,330 kg	最大トルク	50 kg·m/1,600rpm
車両総重量	10,440 kg	変速機速度段数	前進4段、後進1段
最大積載量	2,000 kg	副変速機速度段数	高低2段
乗車定員	2人	駆動方式	全輪駆動
最高速度	69 km/h	タイヤ	10.00-20-14PL 後複輪
最小回転半径	9.7 m		

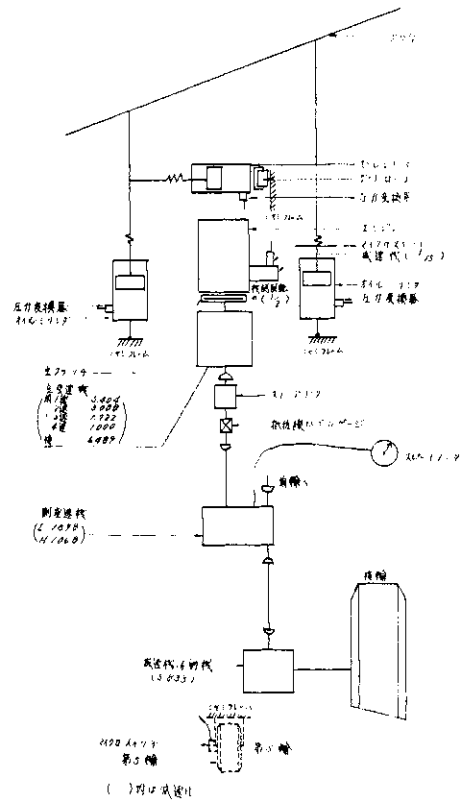


図1 動力伝達系統およびピックアップ配置説明図

Block diagram of pick-up setting and transmission.

(b) トラック走行動力測定用抵抗線歪ゲージ、スリップリングの取付(主変速機と副変速機の間)。

(c) 簡易クレーンの取付。

ブラウおよびトラックの仕様を表1, 2に三面図および動力伝達系統およびピックアップ配置説明図を図1に示す。

2.2 実験方法

(1) 測定項目および測定方法

実験は一定区間を所定の速度で走行したときのブラウにかかる力とトラックの所要動力および除雪量を計測した。

(2) 試験区間

測定は安定した状態で行なうため、測定区間を20~30mとり、その前に補助区間を設けた。また路側に堆積した雪を使用して実験を行なう場合雪密度が一般にスノーブラウが対象としている

新雪と異なるため、除雪幅、深さを調整して実験を行なった。

### 2.3 実験場所および日程

実験は41年3月9日、11日の2日間、新潟

県南魚沼郡六日町付近の国道17号線で行なった。

### 2.4 実験結果および考察

#### 2.4.1 実験および計算結果

実験および計算結果を表3に示す。

表3 実験結果および計算結果(第1年度)  
Data of experiment and results of calculation(the first year).

実験番号	ブラウ種類	進行角度		平均雪密度 ( $g/cm^3$ )	除雪速度 ( $km/h$ )	機関回転速度 ( $rpm$ )	機関トルク ( $kg \cdot m$ )	機関出力 ( $PS$ )	ホイール駆動力 ( $kg$ )	左押腕荷重 ( $kg$ )	右押腕荷重 ( $kg$ )	横荷重 ( $kg$ )	時間当り除雪量 ( $t/h$ )
		主	副										
1	アングリング	70	3 L	0.515	256	1811	1490	377	4185	3195	4830	2308	25882
2	"	60	" "	0.532	206	1521	1967	418	5524	1728	4686	2219	24716
3	"	50	" "	0.523	208	1570	2226	488	6251	785	3338	1890	24284
4	"	70	" "	0.545	115	1096	2007	30.7	563.6	346.1	2880	92.3	13859
5	"	70	2 "	0.580	121	1782	1759	43.8	884.6	405.9	362.1	101.8	16397
6	"	60	" "	0.567	133	2000	1261	35.2	633.9	180.4	269.6	130.7	16931
7	"	50	" "	0.557	125	1902	844	22.4	424.5	61.5	193.3	60.2	13956
8	"	70	3 H	0.538	255	1568	3653	799	991.1	440.5	546.7	276.5	26685
9	"	60	" "	0.539	272	1634	3080	70.1	658.3	376.3	432.2	304.9	25620
10	"	50	" "	0.592	274	1513	3576	75.6	764.3	350.4	412.1	346.6	30664
11	ワンウェイ	58	2 L	0.572	124	1783	944	23.5	474.4	254.2	140	210	14516
12	"	58	3 "	0.522	234	1975	1694	46.7	475.7	307.7	229.9	178.2	22989
13	"	58	" H	0.587	314	1754	4523	110.6	966.8	564.3	293.4	163.7	39632

#### 2.4.2 腕荷重

一般に腕荷重(左右押腕荷重の和)は除雪トラックの推進力に関係するもので機関トルク、トラック重量、タイヤのスベリ摩擦係数などによって最大値は決定される。横荷重は除雪トラック重心に対して回転力として働き、タイヤの横すべりを起し操向性を悪化させる。この横すべりを解決する方法としてVブラウおよびサイドウィングの使用が考えられる。

測定結果では腕荷重はブラウ進行角(ブラウと進行方向との角度)70°, 除雪速度25.5 km/h(除雪量2.669 t/h)で989 kg, ブラウ進行角60°, 除雪速度27.2 km/h(除雪量2.562 t/h)で809 kgである。進行角50°の場合除雪速度27.4 km/h(除雪量3.066 t/h)で763 kg, 20.8 km/h(除雪量2.428 t/h)で412 kg, 12.5 km/h(除雪量1.396 t/h)で255 kgと除雪速度が速くなるにしたがい腕荷重は大きくなる。また速度一定と仮定すると進行角度の小さい方がトラック推進力(機関出力)

からみて有利なようであるが、横荷重が大きくなりハンドルをとられる危険が増大する。

横荷重については測定装置に多少問題点があるが、腕荷重同様除雪速度が速くなるにしたがい大きくなる傾向を示し、ブラウ進行角度が小さくなるにしたがい増大することは前に述べたとおりである。

ブラウ曲面の相違による影響としてはワンウェイブラウの方がアングリングブラウに比べ横荷重が小さいことがわかる。

#### 2.5 次年度改良すべき点

実験を行なうにあたり、41年度以降改良すべき点として次のことがあげられる。

(a) 試験区間は計測上問題はないが、所定の速度を得るまでの助走区間を延長し、除雪速度の安定をはかる。

(b) 腕荷重測定用油圧シリンダーのピストンストロークを、10 m/m から20 m/m 程度に大きくする。また圧力変換器を計測範囲-1~20 kg/cm<sup>2</sup>から-1~10 kg/cm<sup>2</sup>のものに変える

表4 アングリリング、ワンウェイプラウ実験結果および計算結果(第2年度)  
Data of experiment and results of calculation on circular-  
cylinder-type and circular-cone-type ploughs(the second year).

実験 番号	プラウ 種類	進 行 角 (度)	速 度		密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	除 雪 速 度 (km/h)	機 関 回 転 速 度 (rpm)	機 関 ト ル ク (kg·m)	機 関 出 力 (PS)	ホ イ ル 駆 動 力 (リムプル) (kg)	左 押 腕 荷 重 (kg)	右 押 腕 荷 重 (kg)	横 荷 重 (kg)	時 間 当 り 除 雪 量 (t/h)
			主 変 速 機	副 変 速 機										
1	ワンウェイ	58	2	L	0.50	7.3	1.679	11.65	7.38	1028	276.7	476.8	172.6	1.160
2	"	"	2	L	0.53	1.69	2.248	20.48	44.5	1030	182.2	590.9	289.8	2.500
3	"	"	2	H	0.61	2.25	2.329	30.83	60.5	1180	247.2	95.2	502.1	4.068
4	"	"	2	L	0.60	1.34	1.780	1.769	44.8	889	15.4	54.5	18.7	2.026
5	アングリリング	50	2	L	0.50	1.96	2.553	2.270	8.11	1141	2.2	7.52	4.15	2.489
6	"	55	2	L	0.53	1.91	2.547	20.96	7.47	1054	0	7.26	3.87	2.260
7	"	60	2	L	0.60	1.94	2.574	20.50	8.11	1132	1.33	5.54	3.06	2.512
8	"	50	1	L	0.50	1.08	2.505	9.68	3.66	854	0	4.29	3.06	2.067
9	"	55	1	L	0.47	1.10	2.545	1.120	3.99	988	0	5.99	2.87	1.810
10	"	55	3	H	0.21	2.12	1.218	3.576	6.10	764	0	1.05	8.3	4.34
11	"	60	1	L	0.50	1.07	2.477	8.06	2.79	711	0	1.54	3.05	1.307
12	"	70	1	L	0.68	1.10	2.545	1.179	4.20	1040	6.82	6.02	2.91	2.371
13	"	70	2	L	0.74	1.91	2.566	2.392	8.59	1210	9.0	9.03	4.28	2.748
14	"	50	3	H	0.56	2.67	1.579	3.940	8.70	850	0	8.11	4.88	2.620
15	"	60	3	H	0.68	2.37	1.305	4.230	5.93	906	0	9.24	6.000	3.480
16	"	70	3	H	0.73	2.21	1.377	3.970	7.62	850	1.33	9.97	5.230	2.820
17	"	55	3	H	0.63	2.55	1.417	4.230	8.39	904	0	10.45	5.600	2.870
18	"	50	3	H	0.45	3.00	1.695	4.219	100.1	902	0	8.19	3.67	1.839
19	"	60	3	H	0.58	3.00	1.680	3.934	9.25	841	0	7.43	3.91	2.103
20	"	70	3	H	0.66	2.86	1.600	4.534	10.16	907	1.11	8.82	4.17	2.203
21	"	50	2	L	0.15	2.04	2.610	1.640	6.00	826	2.59	1.17	0	7.89
22	"	50	3	L	0.15	3.37	2.420	3.660	12.40	1030	1.34	4.33	1.131	1.300
23	"	50	2	L	0.38	1.98	2.590	1.550	5.62	780	8.7	4.71	2.20	1.367
24	"	50	1	H	0.46	6.8	1.220	8.94	1.53	600	1.07	3.06	3.1	4.80
25	"	60	2	L	0.64	1.82	2.390	1.270	4.25	692	2.21	1.61	4.2	1.791
26	"	60	1	L	0.51	4.3	9.30	6.55	8.5	578	3.19	6.2	0	3.97
27	"	70	2	L	0.48	1.57	1.945	1.640	4.46	824	3.60	3.65	1.110	1.480
28	"	70	1	L	0.58	4.6	1.030	9.15	1.32	806	3.290	4.04	3.2	4.00
29	"	60	3	L	0.09	2.22	1.610	4.000	8.00	1.122	4.700	3.34	4.1	6.05
30	"	60	3	L	0.11	1.46	1.030	2.460	3.54	6.90	1.51	1.63	2.0	4.38
31	"	60	3	L	0.11	3.46	2.470	3.850	13.30	1.080	1.83	4.44	4.1	1.083
32	"	50	3	H	0.49	2.79	1.520	4.02	8.55	8.60	1.01	7.56	1.12	2.092
33	"	50	3	H	0.44	3.17	1.720	4.63	11.20	9.90	6.1	1.256	0	2.643
34	"	60	3	H	0.55	3.22	1.780	3.99	9.95	8.52	1.19	1.93	0	1.340
35	"	60	4	L	0.61	3.71	—	—	—	—	4.83	8.28	1.88	3.121
36	"	50	4	L	0.52	3.71	—	—	—	—	1.15	1.167	4.34	3.038
37	"	60	4	H	0.56	4.12	—	—	—	—	8.50	1.450	5.16	3.316
38	"	70	4	L	0.53	3.95	—	—	—	—	6.58	2.012	3.89	3.110

実験番号10, 21, 22, 29, 30, 31はプラウ全幅除雪実験

表5 圧着式ブラウ実験結果および計算結果(第2年度)  
Data of experiment and results of calculation  
on press-type snow plough (the second year).

実験 番号	ブ切 ラ刃 ウ線 圧 (kg/cm)	変 速 機		密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	除 雪 速 度 (km/h)	機 関 回 転 速 度 (rpm)	機 関 ト ル ク (kg·m)	機 関 出 力 (PS)	ホ イ ル 駆 動 力 (kg)	左 押 腕 荷 重 (kg)	右 押 腕 荷 重 (kg)	横 荷 重 (kg)	除 雪 深 さ (cm)
		主 変 速 機	副 変 速 機										
1	4.0	2	L	0.49	18.5	2520	23.7	835	596	20.1	491	250	2.5
2	2.8	2	L	0.40	18.4	2575	222	794	516	22.0	339	273	3.5
3	4.0	3	L	0.72	12.4	955	—	—	—	5.02	97.4	0	0
4	5.2	3	L	0.72	11.6	825	—	—	—	80.1	130	0	0
5	9.8	3	L	0.74	33.0	2433	—	—	—	44.7	149	23.2	0
6	9.3	3	L	0.74	19.1	1529	—	—	—	44.7	86	10.8	0
7	9.3	3	L	0.74	11.0	860	—	—	—	44.7	80	10.8	0
8	9.5	3	L	0.54	20.0	1480	4.24	87.9	1192	23.6	452	12.6	1.0
9	7.8	3	L	0.64	21.8	1570	41.1	90.3	1154	87.9	366	67.5	0.2
10	7.8	3	L	0.64	11.6	840	32.1	37.9	902	70.7	336	17.3	0.2
11	2.8	3	L	0.64	19.6	1190	36.1	60.0	1016	56.5	259	20.4	0.18
12	2.8	3	L	0.64	13.6	990	32.6	49.0	914	37.7	267	0	0.13
13	9.5	3	L	0.64	20.0	2600	17.1	62.4	853	69.1	374	69.1	0.55
14	9.5	2	L	0.64	11.3	1490	18.1	36.3	853	69.1	342	48.7	0.60
15	2.8	2	L	0.59	18.7	2460	19.2	65.1	966	-47.1	874	—	0.55
16	2.8	2	L	0.59	10.5	1360	16.7	32.1	838	15.7	848	47.1	0.60
23	2.8	2	L	0.66	18.9	2560	37.0	13.2	1860	-53.4	※ 1110	83.1	1.4
17	5.2	2	L	0.59	17.5	2200	26.7	82.1	1342	-22.1	930	44.5	0.50
18	5.2	2	L	0.59	19.0	2460	27.5	94.9	1385	-39.2	1461	83.9	0.55
24	5.0	1	L	0.66	10.5	2520	25.4	89.6	2340	0	※ 1346	85.8	1.75
27	5.2	2	L	0.67	19.0	2520	33.7	12.1	1646	58.7	962	30.5	2.15
19	7.7	2	L	0.59	19.9	2590	28.8	10.4	1448	0	※ 1445	86.4	0.37
20	7.7	2	L	0.59	13.8	1850	26.8	69.4	1346	0	※ 1445	86.2	0.50
25	7.7	2	L	0.66	19.0	2520	32.8	11.7	1648	65.9	1838	98.2	1.7
28	7.4	2	L	0.67	19.2	2590	19.8	72.0	1000	25.9	1020	53.6	1.6
21	9.2	2	L	0.59	19.2	2580	26.8	96.8	1344	-15.7	※ 1183	86.4	0.9
22	9.2	2	L	0.59	10.9	1310	24.7	45.3	1242	-23.6	※ 1445	84.2	1.0
26	9.8	2	L	0.66	17.8	2400	30.4	94.0	1530	—	1550	77.0	1.75

実験番号1~14は硬質ゴム切刃, 15~28は鋼製切刃使用

方が良い。

(c) 機械回転数を正確に検出する計測装置を採用する。

### 3. 第2年度研究

#### 3.1 実験の概要

40年度に確立した実験方法により、アングリングブラウ、ワンウェイブラウおよび圧着式ブラウの3種類について実験範囲を広げ10 km/h以下および30 km/h以上の車速についても実験を実施した。また、ブラウ効率を算出するため投雪距離の測定を実施した。

圧着式ブラウについてはブラウ押付力と除雪量の関係について実験した。

#### 3.2 試験機械

実験は、40年度に使用した2種類のブラウのほか、道路の完全除雪を考慮して、ブラウ自重以外に除雪車重量をブラウに加重できるアングリング圧着式ブラウについて実験した。

圧着式ブラウは、試験車の制動用空気圧縮機を利用して空気シリンダによりブラウを路面に押付け、またブラウおよびトラクタ本体の相対的な変位によってブラウ押付力が変動するのを防ぐため、

加圧側空気回路にリリースバルブをとりつけ、常時一定圧力で押付けよう試験車を一部改造した。このほか、除雪速度を正確に計測するため、測定輪（第5輪）を製作し、車体後部に装着した。

### 3.3 実験方法

#### (1) 実験コースの設定

41年度も実験期間中の降雪回数が少く、かつ、広い実験場を得ることがむずかしく、大半は40年度同様路肩に堆積した雪を路上に搬出し、幅1.0～1.5m、深さ0.2m以下の雪敷をつくり全測定区間を一定速度で走行して実験することが多かった。

圧着式ブローについて、一般路上に長さ20mで3～4区間連続した測定区間を設け、ブロー押付力を一定にして各区間毎に車速が変るように順次変速して実験を実施した。

#### (2) 雪質

アングリングブロー、ワンウェイブローについて実験番号21, 22, 29, 30, 31以外は路肩に堆積した雪を路上に搬出して実験コースを設定したため測定密度は約0.4～0.7g/cm<sup>3</sup>と一般のブロー除雪で対象としている0.2g/cm<sup>3</sup>程度の雪よりかなり重く、雪質はザラメ雪またはヌレザラメ雪であった。

圧着式ブローについて、一般路上で通交車両により踏み固められた密度0.58～0.74g/cm<sup>3</sup>、厚さ6～11cmの硬い圧雪層が実験対象となり、気温によっては表面がやわらかく含水率の大きいと思われるものもあった。

#### (3) 試験機械の条件

(a) ブロー進行角度；ワンウェイブローでは構造上58°のみであり、アングリングブローは50°、55°、60°および70°の4種類を選び、圧着式ブローは一般的と考えられる60°のみについて実験を実施した。なお、ブロー進行角度 $\theta$ は、車進行方向とブローとの鋭角側の角度を採用した。

(b) 除雪速度；上記ブロー進行角度のそれぞれについて最高50km/hを目標としたが、試験車の出力不足等の問題もあり、アングリングブローで約40km/h、圧着式ブローの鋼製切刃で20km/hが最高であった。

ワンウェイブローについては種々の事情から4回の実験で終わってしまった。

(c) ブロー押付力；アングリングブローおよびワンウェイブローは自重のみであるが、圧着式ブローについては切刃線圧2.8（自重のみ）、4.0、

5.0、8.0および9.8kg/cmの5種類について実験を実施した。

#### (4) 測定項目および測定方法

測定項目および測定方法はほとんど40年度と同じであるが圧着式ブローの実験等により追加されたものは次のとおりである。

(a) 除雪速度は40年度は一定区間を手動パルスを押して算出したが、不正確であり測定輪をあらたに製作しこれにより計測することとした。

(b) ブロー効率を算出するために、雪重心移動距離（投雪距離）を測定することとした。

(c) 圧着式ブローの押付荷重の測定。

### 3.4 実験場所および日程

実験は昭和42年1月20日から2月27日まで3回に分けて、アングリングブローおよびワンウェイブローは国立防災科学技術センター雪害実験研究所（新潟県長岡市）構内の試験路上およびその周辺で、圧着式ブローは新潟県越後湯沢町付近の国道17号線で実施した。

### 3.5 実験結果および考察

実験結果および計算結果を表4, 5に示す。

#### 3.5.1 アングリングブロー、ワンウェイブローについて

##### (1) 腕荷重

除雪断面積によりブロー押腕にかかる力は異なる

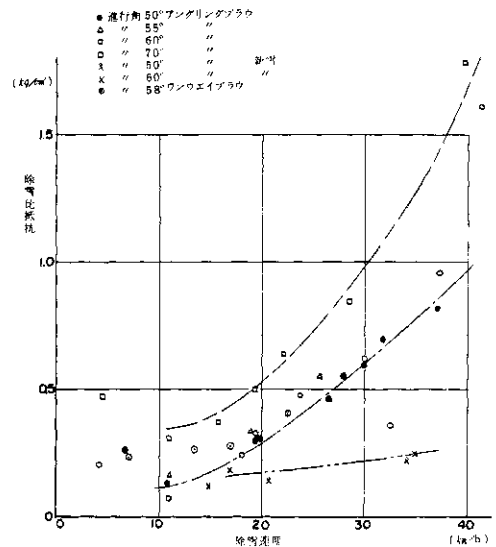


図2 除雪速度と除雪比抵抗  
Relation between thrust and working speed.

るため、腕荷重を除雪断面積で除した除雪比抵抗 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) を算出し、除雪速度との関係を図2に示す。なお、腕荷重として左右押腕荷重の和をとった。

ブロー除雪に必要な力 ( $F$ ) は  $F = F_c + F_a$ 、 $F_c$  : 雪の切削抵抗、 $F_a$  : 雪の加速抵抗に大別して考えることができ、切削抵抗は更に(a)雪の圧縮せん断抵抗と(b)雪とブローとの摩擦抵抗に分けられる。圧縮抵抗は速度が遅くなると増大するといわれているが、<sup>1)</sup>雪の切削抵抗そのものについての研究が不十分であり不明な点が多い。加速抵抗は、質量  $m$  の雪を速度  $v$  まで加速するために必要なエネルギーは  $(1/2)mv^2$  で示されることから、速度の自乗で増加するものと考えられる。また、ブローから排出される雪の速度 ( $v$ ) は車速を ( $V$ ) とすると  $2V > v > V$  であるので、除雪比抵抗は  $(\alpha \times V)^2$  (ここで  $2 > \alpha > 1$ ) で示されるものと推察される。ブロー進行角  $50^\circ$ 、 $70^\circ$  の場合について、除雪速度  $10 \text{ km/h}$  以上のデータを使用し、分割階差表を作成しその傾向を検討した結果、第2分割階差 $\delta^2$ がほぼ一定となることから除雪比抵抗は車速の自乗で増加すると考えて良いことがこの実験からも分った。

実験結果では、除雪速度が速くなるにしたがい除雪比抵抗は増加するが、約  $10 \text{ km/h}$  以下の速度では逆に減少している。これは速度の速い場合は加速抵抗の値が大きく、その影響が大きく現れ

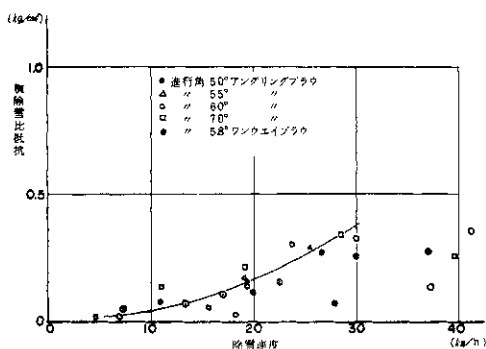


図3 除雪速度と横除雪比抵抗  
Relation between transverse thrust and working speed.

逆に、速度  $10 \text{ km/h}$  以下では雪は前に押出すことが多く雪を圧縮し、このための切削抵抗の影響が大きく現れたものと考えられる。

ブロー進行角度による影響は、 $50^\circ$ 、 $60^\circ$  ではその差が少ないが  $50^\circ$  と  $70^\circ$  ではかなり差が大きい。ワンウェイブローはアングリングブローに比べ速度の変化による影響が少ない。

横荷重についても横除雪比抵抗 (横荷重を除雪断面積で除した値) を算出しその結果を図3に示す。実験では速度が速くなるにしたがい比抵抗も増加するが、その割合は次第に減少し、 $25 \text{ km/h}$  以上ではほぼ一定となり頭打ちの現象を示した。これは、とくに意味のある現象ではなく、車速が上り横荷重が大きくなり、横荷重測定部の変位が大きくなると変換器を取付けてある鋼製棒が横荷重に抵抗するために生ずる現象であり、速度の速いところでは実際の荷重よりも小さい値が検出される結果となった。

試験車を使用し、一般的な密度  $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、除雪深さ約  $10 \text{ cm}$  の全幅除雪 ( $294 \text{ cm}$ ) について検討すると、連続除雪作業に使用できる出力を機関最大出力の  $80\%$  ( $120 \text{ PS}$ )、除雪比抵抗を図より  $0.2 \sim 0.25 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、車両の走行のための抵抗を自重の  $5\%$  と仮定し、この時に発揮し得る最大速度を計算すると  $29.6 \sim 26 \text{ km/h}$  となり、この辺が最も多く使用されている  $7 \text{ t}$  級トラックに円筒曲面ブローを装着した場合の限界と思われる。

#### (2) 除雪能率

除雪能率の表示にはいろいろな方法があり、その採用にも議論が多いが、ここでは  $\text{t}/\text{PSh}$  を採用する。

今回の実験では、測定密度が  $0.38 \sim 0.74 \text{ g}/\text{cm}^3$  と範囲が大きく、また、同一実験日でもかなりバラツキがみられ、密度測定の際のサンプリング方法等にも多少問題があったものと推察される。ここで、除雪能率として  $\text{m}^3/\text{PSh}$  を採用し検討する方法もあるが、湿った重い雪の場合には、重さを考慮した  $\text{t}/\text{h}$ 、 $\text{t}/\text{PSh}$  について検討するのが適切と考え、各測定値の  $\text{m}^3/\text{h}$  に  $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$  および  $70^\circ$  の進行角毎に平均した密度を乗じて算出し、 $\text{t}/\text{PSh}$  と車速との関係を図4に示す。ブロー進行角  $70^\circ$  の場合には雪を前方に押出すことが多く、あまり能率は良くない。ブロー進行角  $50^\circ \sim 60^\circ$  ではその差が少く除雪速度  $20 \text{ km/h}$  で  $40 \sim 50 \text{ t}/\text{PSh}$  となる。除雪速度  $30 \text{ km/h}$  以上ではブロー進行角度による差は少なく  $20 \sim 25 \text{ t}/\text{PSh}$  となる。



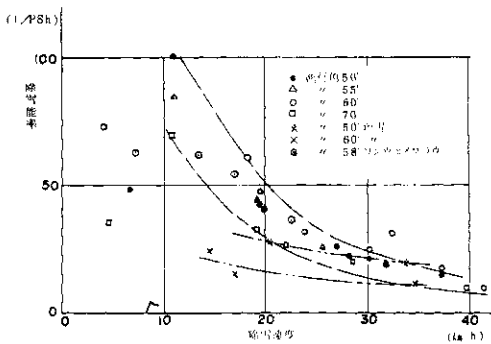


図4 除雪速度と除雪能率  
Relation between snow removal performance and working speed.

軽い新雪の場合、除雪速度の変化による能率 (t/PS h) の変化は少なく、除雪速度 20 km/h では 15 ~ 20 t/PS h と湿った雪との差は大きく、高速になるにしたがい湿った重い雪との差が少くなり、速度 30 km/h で 10 ~ 15 t/PS h である。

(3) ブラウ効率

上述の除雪能率には、雪の投雪移動距離が考慮されていない。ロータリ除雪車の場合この欠点を補う式<sup>2)</sup>が提案されている。雪の移動距離の測定には排出前後の雪の分布状況、すなわち雪の重心位置、2度ばね、現場的にはコース両側の雪堤の存在等いろいろ問題となることが多いが、今回の実験では雪面にインクで着色し、大まかではあるが雪の移動距離(ブラウ進行方向と直角な横方向の距離)を測定した。

比較的問題が少ないと思われるものについて、前述のロータリ除雪車の式を使用し下記の式によりブラウ効率を算出し、その結果を図5に示す。なお、この式は速度が速い場合に観測される流れ形の排雪の場合に適用できるもので、速度の遅いせん断形の排雪に適用することはできない。

$$\eta_p = \frac{G \cdot l}{PS_s \times 150} \times 100$$

- $\eta_p$  : ブラウ効率 (%)
- G : 除雪量 (kg/sec)
- l : 雪重心の移動距離 (m)
- $PS_s$  : ブラウ作用馬力 (PS)

ただし、 $PS_s$  は押腕荷重および車速より算出

したものであって、トラクタ自体の走行抵抗分は含まれていない。したがって走行用機関出力よりみた除雪効率は、この式で算出したものよりも小さい値となる。

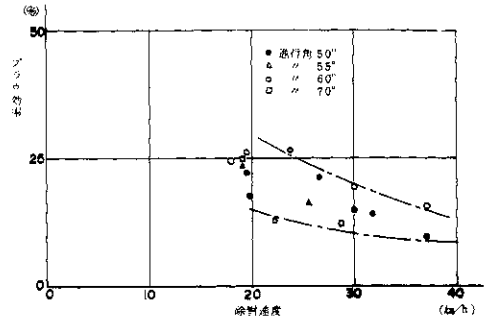


図5 除雪速度とブラウ効率  
Relation between plough efficiency and working speed.

参考までに図5の点の上限下限を線で囲むと、上限の線にはブラウ進行角 60° の場合の値が、下限の線には 70° の場合の値が近接し、60° の場合が一番効率が良さそうである。

42年度は、ブラウから排出される雪の速度を測定し、雪のエネルギーからブラウ効率の算出を試みたい。

(4) 切削雪の形状

ブラウより排出される雪の流れの形状には、(a) 切刃から連続的に雪がすくい上げられブラウ上端からある速度で斜め前方に排雪される流れ形、(b) 切刃からすくい上げられた雪が、ブラウ曲面に沿ってそのまま側方に押出されるせん断形に大別される。一般的には速度が速くなるにしたがい排出される雪は(b)から(a)に変わり、ブラウ進行角度が小さい方が遅い速度で流れ形が観測された。今回の実験記録および16mm撮影フィルムより次のことが分った。

ブラウ進行角 50° の場合、除雪速度 20 km/h で流れ形が観測され、この場合約 80% は一度でブラウ外側に排雪され、除雪速度 28 km/h では 100% ブラウ外側に排出されている。

ブラウ進行角 60° の場合、除雪速度 28 km/h では 80% の雪がブラウ外側に排雪され、20 km/h では流れ形が観測されるが2度ばねされる雪がかなり多い。

ブラウ進行角 70° の場合、除雪速度 20 km/h では、まだせん断形の流れを示し、約 28 km/h になると流れ形が観測されたが2度ばねされる雪が多い。

### 3.5.2 圧差式ブラウについて

路上に形成された圧雪は、気温が上昇してくると通行車両により表面が破壊されやわらかい雪が堆積し、これが車両の走行性を妨げ交通事故の原因の一つとなっている。

圧差式ブラウは、路上に堆積されたある程度の硬さの雪を完全に除去することを目標として製作されたが、今回の実験では当初想定したものより条件の悪い圧雪試験となった。

#### (1) ブラウ押付力と除雪量

硬質ゴム切刃の場合、前もって融雪剤を散布し、その後通交車両により圧雪が破壊されやわらかくなった場合は一般のブラウ除雪と何ぞ変らない。ブラウ押付力と除雪量の関係を図6に示す。密度 $0.64 \text{ g/cm}^3$ の圧雪に対して切刃線圧（ブラウ刃先荷重をブラウ幅で除した値）をブラウ自重のみの $2.8 \text{ kg/cm}$ から $7.8 \text{ kg/cm}$ までブラウを加圧したが、除雪深さは $2 \text{ mm}$ 程度で、ブラウ加圧の効果は判明しない。切刃線圧が $9.8 \text{ kg/cm}$ になると $6 \text{ mm}$ 程度の切削深さが期待でき、ほぼ同じ密度でも表面含水率が大きいと思われる圧雪に対しては、深さ $10 \text{ mm}$ まで除雪することができた。ただし、気温がマイナスの場合には $9.8 \text{ kg/cm}$ にブラウを加圧しても圧雪をほとんど切削することができなかった。

鋼製切刃の場合、密度約 $0.6 \text{ g/cm}^3$ の圧雪に対してブラウ切刃線圧 $7.8 \text{ kg/cm}$ までは除雪深さ $5 \sim 6 \text{ mm}$ で、硬質ゴム切刃同様切刃線圧を増大したことによる除雪深さの増大はみられなかったが、切刃線圧が $9.2 \text{ kg/cm}$ まで加圧されると、除雪深さは約 $10 \text{ mm}$ と急に増大した。同一場所の圧雪に対して、第1回の除雪後塩化カルシウム（約 $100 \text{ g/m}^2$ 手撒き）を散布し、約1時間後第2回目の除雪を実施した場合（密度は $0.59$ から $0.67 \text{ g/cm}^3$ に増加）、除雪深さは線圧 $2.8 \text{ kg/cm}$ で $14 \text{ mm}$ 、 $5.0 \text{ kg/cm}$ 以上では約 $17 \text{ mm}$ と一定の値を示した。この関係を図6に示す。以上より圧雪除雪については、密度よりも硬度、粘性（抗せん力等）との関係が大きいものと考えられる。今後検討すべき問題は多いが（例えば次に述べる機関出力との関係）、融雪剤の使用は、圧雪除去に有効な方法の一つであることが確認できた。

#### (2) 腕 荷 重

圧雪除雪は、雪がブラウ切刃で円滑にすくい上

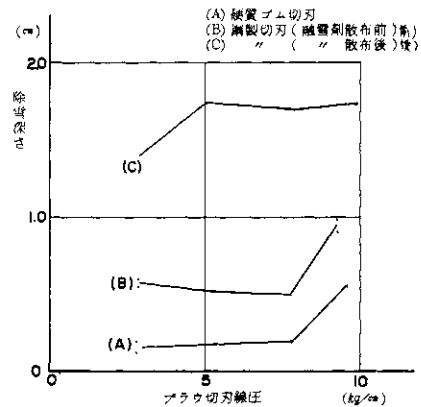


図6 ブラウ切刃線圧と除雪深さ  
 Relation between depth of cutting snow and load on the plough edge.

げられず、切刃により雪が圧縮され、ついにせん断分離する金属切削機構と同様に考えることができ、この間の急激な圧縮抵抗の増大、分離による抵抗の減少がブラウの取付状態によっては外部に振動となり、路面不陸の発生まで発展する。今回の実験でも、(a)ブラウの加圧が空気シリンダ式である。(b)ブラウの取付けがピンジョイントである等の試験装置の原因により試験番号22, 24, 25, 26, 27, 28では路面の不陸が観測され、とくに25, 26でピッチ約 $130 \text{ cm}$ 、深さ $4 \sim 5 \text{ cm}$ に及ぶ凹凸が測定された。

除雪比抵抗は、約 $4.6 \sim 6.0 \text{ kg/cm}^2$ と非常に大きく、塩化カルシウム散布後は、 $2.4 \sim 3.4 \text{ kg/cm}^2$ と約半分以下にはいるが、一般に実施されるブラウ除雪の場合より1桁大きな値を示す。

融雪剤を併用した場合の除雪速度について検討すると、融雪剤を散布すると、除雪深さはブラウ自重のみで（切刃線圧約 $2.8 \text{ kg/cm}$ ） $14 \text{ mm}$ となり、使用可能な機関出力を最大出力の $80\%$ （ $120 \text{ P S}$ ）、車両の走行抵抗を自重の $5\%$ 、除雪比抵抗を $3.4 \text{ kg/cm}^2$ とすると最大作業速度は $17 \text{ km/h}$ となる。したがって $7 \text{ t}$ 級のトラクタを圧雪除去に使用した場合、機関出力不足、操縦性の低下により高速除雪はむずかしい。

今回の実験では、雪質の測定は密度のみであったが、圧雪試験の場合、これのみでは不十分であり雪の硬度、雪温、粘性（抗せん力）等の測定の必要性が感じられた。

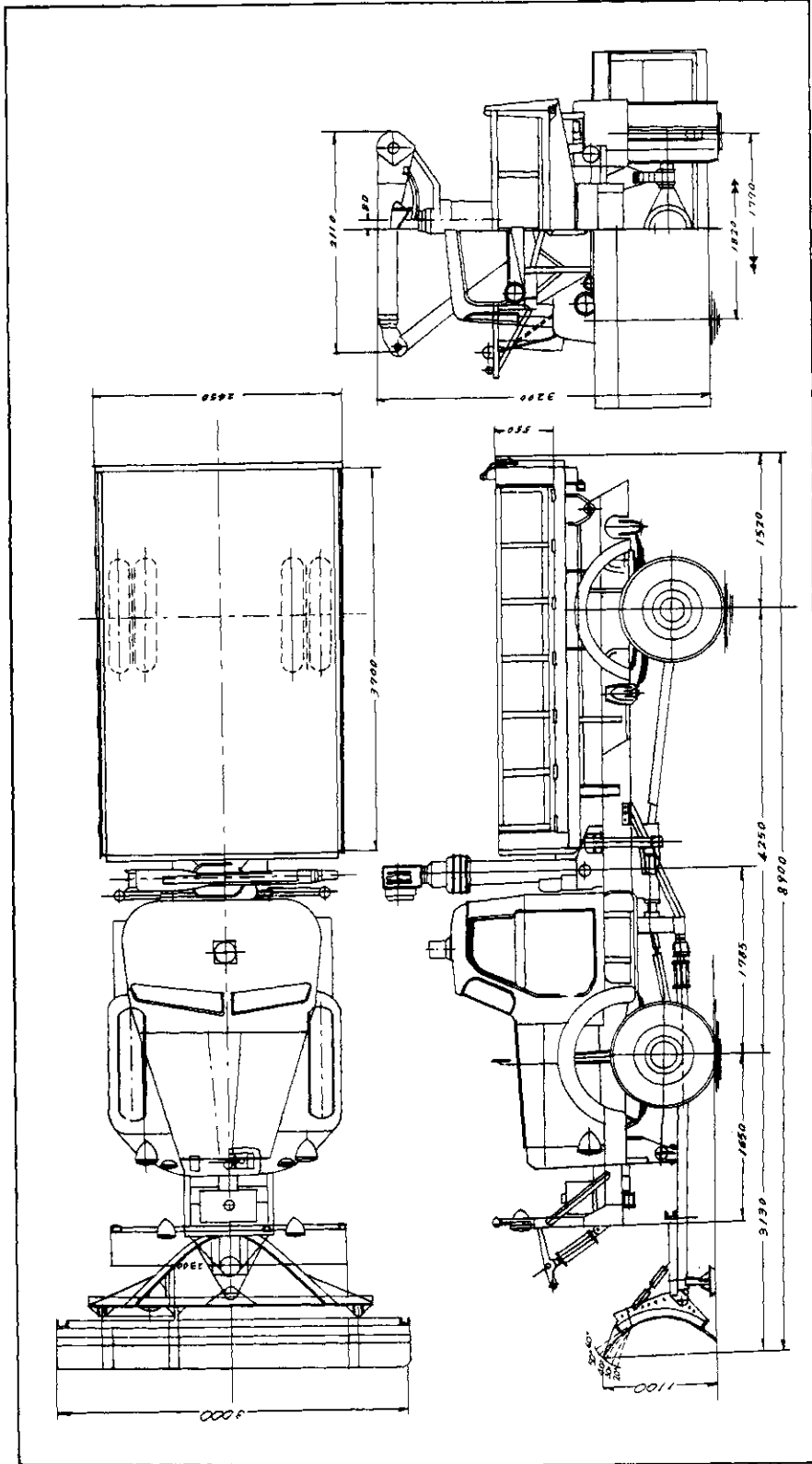


図7 ブロー試験車(アングリングブロー付)  
Truck for experiment on snow plough (with circular-  
cylinder-type plough).

#### 4. 第3年度研究

##### 4.1 実験の概要

42年度は、ブラウ投雪角が腕荷重および除雪能率におよぼす影響を調査するため、ブラウ投雪角の調整可能なブラウを製作し、これについて実験を行なったほか、42年度は3カ年計画の最終年にあたるため除雪速度等について過去2カ年の補足実験を行なった。実験方法は前年度と同じである。

##### 4.2 試験機械

実験は40年度に使用したワンウェイブラウ(円すい曲面)のほか、ブラウ投雪角が $20^{\circ}$ から $60^{\circ}$ まで5段階に調整可能なアングリングブラウ(円筒曲面)の2種類について実施した。これらのブラウは鋼製枠に取付けられ、腕荷重測定用油圧シリンダを介し、試験車シャシフレームにピンで取付けられている。図7に組立図、表6にブラウの仕様を示す。ワンウェイブラウおよび試験車の仕様は表1、2に示したとおりである。また、試験車を写真1に示す。

##### 4.3 実験方法

表6 試験ブラウ仕様  
Specifications of the snow plough.

項目	諸元
除雪幅	2,300 mm (進行角 $50^{\circ}$ )
	2,600 mm ( " $60^{\circ}$ )
	2,800 mm ( " $70^{\circ}$ )
ブラウ高さ(右端)	1,100 mm (投雪角 $50^{\circ}$ )
	1,100 mm ( " " )
" (左端)	
切削角	$45^{\circ}$
ブラウ本体重量	約400 kg
昇降装置形式	油圧シリンダによるチェン吊下げ式

備考 ブラウは高さ65 cmの位置からブラウ曲面が前傾し、投雪角が $20^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ の範囲で5段階に調整可能。



写真1 除雪試験車 (アングリングブラウ装着)  
Truck for experiment (with circular-cylinder-type plough).

##### (1) 実験コース

長さ約300 m、幅8 mを除雪して実験コースを作成した。なお、コースは積雪深さ約1.5 mを除雪して作成したためコースの整正作業は難かしく、路面を完全に露出させることができず後で述べるようにブラウ走行抵抗が測定場所によって異なる原因ともなった。測定区間は除雪速度により20, 30, 40 mを採用した。

降雪のない場合は、コース両側の積雪をコース上に搬出し、除雪幅および除雪深さを実作業と同じ条件になるように調整して実験を行なった。

##### (2) 雪質

42年度は降雪回数に恵まれ、密度 $0.1 \text{ g/cm}^3$ 程度の新雪が多く、また、コース両側から搬出した雪は $0.2 \sim 0.43 \text{ g/cm}^3$ とバラツキが多いが、大半がシマリ雪であった。

##### (3) 試験機械の条件

ブラウ進行角: ワンウェイブラウは構造上、進行角は一定(実験に使用したブラウは $58^{\circ}$ )で、アングリングブラウについては、 $60^{\circ}$ のほか $50^{\circ}$ 、 $70^{\circ}$ の3種類について実験を行なった。

ブラウ投雪角は、 $50^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ を主とし、 $40^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$ についても行なった。ワンウェイブラウは上端にデフレクタがスプリングを介して取付けられ除雪時は $15^{\circ}$ となる。

なお、ブラウ進行角は、トラック進行方向とブラウ切刃の鋭角側の角 $\theta$ を、ブラウ投雪角にはブラウ上端での接線と水平方向の角 $\beta$ を採用した。

除雪速度は $50 \text{ km/h}$ までを目的とし助走距離を長くとしたが、試験車の出力不足などにより $37 \text{ km/h}$ が最高であった。

##### (4) 測定項目および測定方法

測定項目、測定方法および計測器類を表7に示す。

##### 4.4 実験場所および日程

実験は昭和43年2月15日から2月21日まで、青森空港(青森市大字大谷)で主に実施し、43年1月18日および24日の両日科学技術庁国立防災科学技術センター雪害実験研究所(新潟県長岡市)試験路でブラウ走行抵抗等の予備実験を行なった。

実験日程を表8に示す。

##### 4.5 考察

実験計算結果を表9に示す。実験番号51~70番は、雪害実験研究所の試験路で行なった予備実

表 7 測定項目および使用計測器  
Items of measurement and the instruments for experiment.

測定項目	使用計測器	備考
押腕荷重 (kg)	圧力変換器 (共和 PHA・1A)	各荷重をシリンダによって、油圧に変換し、圧力の変化を圧力変換器で検出する機構とした。
" (kg)	"	
横方向荷重	"	
試験車走行用トルク	抵抗線トルクメータ (新興スリップリングSR3)	
機関回転速度	カム・マイクロスイッチ	主変速機と副変速機との間の推進軸に装着した。
除雪速度	マイクロスイッチ	
除雪深	竹 尺	速度計用回転取出軸より 1/15 の減速機を介してマイクロスイッチを作動させパルスが発生させた。 予め距離が測定された各標点ごとに手でパルスが発生させる方法と第 5 輪方式の 2 方法を実施したが計算には後者を使用した。
除雪幅	巻 尺	
投雪距離	巻 尺	雪敷に 1 か所インクで着色し、除雪後の中心部の着色された雪の移動距離を巻尺で測定した。
雪密度	100 cc, 300 cc サンプラ, 台ばかり側刃付円筒サンプラ (雪害実験研究所試作)	
気温	アルコール温度計	

験の結果である。ブラウ曲面の状況が異なるため、青森空港の実験資料とは分けて考えるのが適当と考えられる。

実験後半に試験装置に故障が生じブラウ進行角 50°, 70° についての実験資料が少なかつたが、新雪除雪の資料が多く得られた。

#### 4.5.1 除雪トラックに要求されるけん引力についての理論的考察

除雪トラックに必要なけん引力  $F$  は

$$F = F_w + F_c + F_a$$

ここで、 $F_w$  : タイヤと路面のころがり抵抗

$F_c$  : 雪の切削抵抗

$F_a$  : 雪の加速抵抗

に分けられ、このうち切削抵抗と加速抵抗がブラウにかかる力としてブラウ押腕に作用する。雪の切削抵抗はさらに a) ブラウ切刃でのせん断抵抗と摩擦抵抗, b) 圧縮抵抗, c) ブラウ切刃と路面のすべり摩擦抵抗 — ブラウ走行抵抗 — に分けられる。なお、ブラウ曲面の摩擦抵抗は加速抵抗に含める。

(1) タイヤのころがり抵抗

タイヤと路面のころがり抵抗  $F_w$  は、路面状況

とタイヤ荷重によって異なるとされているが、このほか走行速度にも関係があり一般に

$$F_w = f_1 W_1 + f_1' u W_1 \quad (1)$$

ここで、 $f_1, f_1'$  : ころがり抵抗係数

$W_1$  : トラック重量

$u$  : 車 速

で表わされる。

1 月中旬、国道 17 号線越後湯沢町付近で計測した結果、圧雪路面上を走行するトラック(タイヤチェーン付)の走行抵抗は車速 8.3 km/h で 577 kg, 13 km/h で 633 kg, 19.2 km/h で 702 kg, ころがり抵抗係数で 0.053, 0.059, 0.065 であった。車速  $u$  ところがり抵抗係数  $f$  との関係を直線と仮定し、回帰直線を求めると、 $f = 0.00106 \cdot u + 0.045$  となり、平滑なコンクリート路面と比べかなり大きな値となる。

圧雪上を走行するトラックのころがり抵抗係数  $F_w$  は

$$F_w = W_1 (0.00106 \cdot u + 0.045) \quad (2)$$

で示される。

(2) 切削抵抗

我々が除雪作業で対象とする雪質はその範囲が

表8 実験日程表(第3年度)  
 The program of experiment (the third year).

実験 番号	実 験 日 時	ブ ラ ウ 条 件			路 面 状 況	気 象			
		ブ ラ ウ 種 類	ブ ラ ウ 投 雪 角 度	雪 投 雪 角 度		天 候	気 温 °C	風 速 m/s	風 向
1	昭和43年 2月15日 14.50	アングリングブラウ	60	30	Co	曇	-2.4	1	
2	" " 15.15	"	"	"	"	"	-2.6		
3	" " 15.35	"	"	"	"	"	-3.2		
4	" " 15.50	"	"	"	"	"	-4.4		
5	2月16日 11.00	"	"	20	As 圧 雪	晴	-2.6	2	
6	" " 11.40	"	"	"	"	"	-3.3		
7	" " 12.05	"	"	"	"	"	-2.2		
8	" " 12.30	"	"	"	"	"	-2.0		
9	" " 14.05	"	"	50	"	"	-1.8	0	
10	" " 14.45	"	"	"	"	"	-3.5		
11	" " 15.05	"	"	"	"	"	-3.5	3	
12	" " 15.40	"	"	"	"	"	-4.2		
13	" " 16.00	"	"	"	"	"	-4.2		
14	2月17日 11.10	"	"	30	"	小 雪	-2.4		
15	" " 11.55	"	"	"	"	曇	-1.8		
16	" " 12.15	"	"	"	"	小 雪	-2.4	4	
17	" " 12.40	"	"	"	"	"	-3.3	6	
18	" " 15.20	"	"	"	"	"	-4.4		
19	" " 16.00	"	"	40	"	曇	-4.1		
20	" " 16.30	"	"	"	"	"	-3.8	6	
21	2月18日 10.30	"	"	50	"	"	-1.6		
22	" " 10.40	"	"	"	"	"	-1.3		
23	" " 10.55	"	"	"	"	"	-2.3	3	
24	" " 13.35	ワンウェイブラウ	"	"	"	晴	-1.0	3	
25	" " 14.00	"	"	"	"	"	-1.2		
26	" " 14.10	"	"	"	"	"	-1.8	3	
27	" " 14.25	"	"	"	"	"			
28	" " 14.35	"	"	"	"	"	-1.0		
29	" " 15.00	"	"	"	"	"			
30	" " 15.35	"	"	"	"	"	-2.6		
31	" " 15.50	"	"	"	"	"	-2.3	2	
32	" " 16.05	"	"	"	"	"	-3.3	2	
33	" " 16.25	"	"	"	"	"	-4.2	2	
34	2月19日 10.30	"	"	"	"	"	+1.4	0	
35	" " 10.45	"	"	"	"	"	+1.8	1	
36	" " 11.05	"	"	"	"	"	+1.7	0	
37	" " 13.35	アングリングブラウ	50	50	"	"	+5.1	0	
38	" " 14.20	"	"	"	"	"	+4.4		
39	" " 15.20	"	"	"	"	曇	+2.9	0	
40	" " 16.20	"	"	"	"	"	+2.4	0	
41	2月20日 11.00	"	60	50	"	晴	+2.7	0	
42	" " 11.15	"	"	"	"	曇	+2.5	1	
43	" " 11.30	"	"	"	"	"	+1.0		
44	" " 11.40	"	"	"	"	"	+1.9	2	
45	" " 11.55	"	"	30	"	"	+1.1		
46	" " 12.15	"	"	"	"	"	+0.4	1	
47	" " 13.55	"	50	50	"	"	0		
48	" " 14.15	"	"	30	"	"	+1.0		
49	" " 14.25	"	70	"	"	"	+1.0	2	
50	" " 14.40	"	"	50	"	"	+0.5		

表 9 実験結果および計算結果(第3年度)  
Data of experiment and results of calculation(the third year).

実験番号	ブラウ種類	進行角(度)	投雪角(度)	変速段		雪密度(g/cm <sup>3</sup> )	除雪速度(km/h)	機関回転速度(rpm)	機関トルク(kg·m)	機関出力(PS)	ホイール駆動力(kg)	左押腕荷重(kg)	右押腕荷重(kg)	横荷重(kg)	時間当り除雪量(t/h)	
				主変速機	副変速機											
1	アングリング	60	30	2	L	0.115	13.8	1837	14.6	3.76	736	-27	360	0	274	
2	"	"	"	2	L	0.108	182	2432	16.3	5.56	820	-56	482	0	352	
3	"	"	"	3	H	0.105	30.8	2293	37.1	119.0	1561	-30	937	199	1,045	
4	"	"	"	3	H	0.101	32.4	1484	43.0	111.1	922	-10	623	41	563	
5	"	"	20	2	L	0.240	18.0	2400	21.8	103.8	1096	-26	833	58	1,143	
6	"	"	"	2	H	0.290	23.1	2353	37.4	123.2	1436	-16	1,164	464	1,760	
7	"	"	"	3	L	0.190	31.0	2308	41.4	133.0	1,155	-15	884	150	1,080	
8	"	"	"	3	H	0.230	27.7	1579	41.8	92.5	896	-30	636	112	837	
9	"	"	50	1	H	0.350	13.7	2449	13.5	46.4	912	-6	577	0	900	
10	"	"	"	2	L	0.320	18.2	2433	22.9	78.0	1,151	-11	771	105	1,199	
11	"	"	"	2	H	0.250	24.4	2490	28.3	95.6	1,086	-46	722	100	1,040	
12	"	"	"	3	L	0.255	30.2	2251	38.1	120.0	1,070	15	989	115	1,525	
13	"	"	"	3	H	0.250	33.2	1890	45.9	121.5	989	40	880	80	1,320	
14	"	"	30	2	L	0.360	16.3	2169	18.9	57.4	949	-46	994	61	1,350	
15	"	"	"	2	H	0.380	22.0	2250	41.1	129.6	1580	-5	1,494	135	2,550	
16	"	"	"	3	L	0.410	26.0	1935	44.6	120.8	1252	25	1,703	164	2,759	
17	"	"	"	3	L	0.430	28.4	2118	40.4	120.0	1,137	-16	1,670	188	2,499	
18	"	"	"	3	L	0.280	31.2	2323	40.7	132.4	1,143	-5	970	51	1,395	
19	"	"	40	2	L	0.290	18.2	2432	18.1	61.6	909	-16	829	66	1,187	
20	"	"	"	2	H	0.280	23.6	2408	25.5	86.0	978	5	943	101	1,455	
21	"	"	50	2	H	0.061	23.7	2416	23.5	79.4	901	17	356	3	301	
22	"	"	"	3	L	0.081	31.8	2368	37.3	123.8	1,049	29	619	21	645	
23	"	"	"	3	H	0.079	32.3	1837	42.4	109.1	1,192	67	404	5	455	
24	ワンウェイ	60	58	2	L	0.073	18.4	2455	13.1	44.9	656	103	44	0	274	
25	"	"	"	2	H	0.094	23.7	2416	20.7	70.0	795	7	329	2	408	
26	"	"	"	3	L	0.074	32.1	2394	26.6	89.2	749	0	315	5	362	
27	"	"	"	3	H	0.080	37.3	2124	38.2	113.6	820	2	594	5	654	
28	"	"	"	4	L	0.076	33.8	1463	42.3	86.5	345	18	355	0	429	
29	"	"	"	2	H	0.076	23.8	2435	19.4	65.6	745	9	257	0	244	
30	"	"	"	2	L	0.345	18.1	2416	20.9	70.5	1,049	-45	741	22	1,180	
31	"	"	"	2	H	0.300	23.6	2408	26.5	89.5	1,019	-7	894	38	1,464	
32	"	"	"	3	L	0.260	31.8	2368	35.3	117.1	992	0	909	25	1,476	
33	"	"	"	3	H	0.220	35.1	2000	41.9	117.3	900	0	943	65	1,297	
34	"	"	"	2	L	0.375	12.4	1645	16.8	38.7	843	0	588	13	860	
35	"	"	"	2	H	0.345	20.7	2111	31.8	94.0	1,221	22	994	106	1,773	
36	"	"	"	3	L	0.355	27.4	2045	44.8	128.1	1,257	-41	1,027	94	1,497	
37	アングリング	50	50	2	H	0.445	19.4	1978	31.2	86.4	1,199	-16	1,252	155	1,899	
38	"	"	"	3	L	0.370	25.8	1926	46.7	125.9	1,311	-19	1,459	166	2,105	
39	"	"	30	3	L	0.300	28.4	2118	46.7	138.4	1,311	-9	1,285	266	1,405	
40	"	"	"	2	H	0.310	23.1	2353	26.9	88.7	1,034	-69	1,080	180	1,505	
41	"	"	60	50	2	L	0.110	18.1	2416	16.9	57.2	850	-18	405	0	544
42	"	"	"	2	H	0.100	23.5	2400	26.9	90.5	1,034	32	522	14	672	
43	"	"	"	3	L	0.100	30.0	2236	39.4	123.4	1,107	0	716	46	858	
44	"	"	"	3	L	0.110	31.4	2338	39.4	129.0	1,107	-28	792	96	905	
45	"	"	30	3	H	0.110	27.4	1558	43.0	93.9	923	-21	672	91	765	
46	"	"	"	2	H	0.120	23.7	2416	23.2	78.4	890	8	623	18	710	
47	"	"	50	50	2	H	0.140	19.0	1934	38.5	104.2	1,480	22	329	18	489
48	"	"	"	30	2	H	0.135	23.9	2432	22.0	75.0	846	65	407	20	594
49	"	"	70	3	L	0.137	28.6	2130	41.5	123.7	1,165	116	687	23	875	
50	"	"	50	3	L	0.149	30.6	2278	41.6	132.5	1,168	88	784	87	1,019	
51	"	"	"	3	L	0.076	19.3					2	397	155	763	
52	"	"	"	3	L	0.073	21.0					2	443	189	837	
53	"	"	"	3	L	0.067	21.6					-9	472	220	809	
54	"	"	"	3	L	0.066	23.2					-2	511	217	856	
55	"	"	"	3	L	0.063	24.5					0	540	213	883	
56	"	"	"	3	L	0.060	26.5					2	565	222	922	
57	"	"	"	2	H	0.203	24.0	2442	17.1	58.4	654	2	327	-9	365	
58	"	"	"	2	H	0.185	20.0	2050	16.2	51.8	624	118	363	-5	456	
59	"	"	"	2	H	0.190	16.0	1636	20.4	46.8	785	64	570	20	370	
60	"	"	"	2	L		17.1	2290	8.1	26.0	408	61	139	0		
61	"	"	"	2	L		18.5	2450	7.5	25.7	376	-4	-168	19		
62	"	"	"	1	L		7.9	1840	5.7	14.5	498	32	136	-16		
63	"	"	"	3	L		25.5	1900				64	141	0		
64	"	"	"	2	L		18.2	2430	9.2	31.4	464	74	147	-3		
65	"	"	"	3	L		26.8	1990	18.4	51.2	926	67	141	-5		
66	"	"	"	3	L		28.0	2120	33.3	98.8	936	114	127	-7		
67	"	"	"	2	H		23.5	2400	11.6	39.0	444	69	134	-2		
68	"	"	"	2	L		16.4	2190	13.5	41.4	728	42	179	1		
69	"	"	"	3	H		24.3	1380	40.4	78.1	867	80	146	-12		
70	"	"	"	3	L		26.5	1990	35.0	96.5	982	41	118	-9		

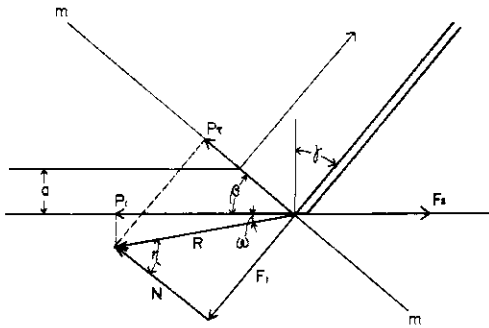


図8 切削力線図  
 Diagram of snow cutting force.

広く、物理的性質も大きく異なるため難かしい点が多い。

今、図8のとおり、深さ  $a$ 、幅  $b$  の積雪を切削する場合のブラウにかかる力を考えると、切刃に直角な力  $N$  と切削した雪と切刃の摩擦力  $F_1$  が作用し、その合力は  $R$  となり進行方向の力は  $P_1$  となる。また、積雪は最大接線応力方向  $m-m$  でせん断されると仮定するとせん断面に作用する力は、合力  $R$  のせん断面  $m-m$  への投影長さ  $P_\tau$  となる。

このほか、路面との摩擦力  $F_2$  が切刃に作用する。

せん断力  $P_\tau$  は接線応力を  $(c + P \tan \phi)$  とすると、

$$P_\tau = \frac{(c + P \tan \phi) a \cdot b}{\sin \beta_1} = R \cos(\omega + \beta_1) \quad (3)$$

ここで、 $\omega = \gamma - \gamma', \tan \gamma = \frac{F_1}{N} = \mu$  (摩擦係数)

$c$ : 雪の粘着力

$\phi$ : 雪の内部摩擦力

$P$ : せん断面に対する垂直荷重

となり、雪質およびせん断面積  $a \cdot b / \sin \beta_1$  によって影響される。

進行方向の力  $P_1$  は

$$P_1 = \frac{(c + P \tan \phi) \cos \omega}{\cos(\beta_1 + \omega)} \cdot \frac{a \cdot b}{\sin \beta_1} \quad (4)$$

となる。

摩擦力  $F_1$  は、

$$F_1 = R \sin \gamma = P_1 \frac{\sin \gamma}{\cos \omega} \\ = \frac{(c + P \tan \phi) \sin \gamma}{\cos(\beta_1 + \omega)} \cdot \frac{a \cdot b}{\sin \beta_1} \quad (5)$$

となり、雪質によるほかせん断面積、すくい角等によって影響され、塑性金属の場合の  $P_\tau$  より  $F_1$  の方が数倍大きいとされているが、雪の場合、基礎的研究がなく、すくい角の影響など今後研究すべき問題が多い。

圧縮抵抗：雪のように可塑性で、クリープの性状の著しいものは前に述べたせん断変形のほかに圧縮による変形が併せて起る。

圧縮抵抗は、変形量のほかに変形速度（変形速度が速いと圧縮抵抗は大きくなる）も問題になる。

積雪の変形については、二、三研究報告があり、今、それらの報告結果を用いて切削力（路面との摩擦抵抗は含まず）を計算すると、密度  $0.1 \text{g/cm}^3$  の場合、抗せん断力は  $0.01 \text{kg/cm}^2$  程度<sup>3)</sup> で除雪幅  $260 \text{cm}$ 、除雪深さ  $10 \text{cm}$  と仮定すると切削力は  $26 \text{kg}$  とほとんど問題にならないほど小さい。ただし、密度が2倍の  $0.2 \text{g/cm}^3$  となると抗せん断力は  $0.05 \text{kg/cm}^2$  となり切削力も  $130 \text{kg/cm}^2$  と5倍となり密度による影響が大きい。

切刃と路面の摩擦力：切刃と路面の摩擦力  $F_2$  はブラウ重量  $W_2$ （正確にはブラウ切刃での重量）のほか路面状況および車速  $u$  によって影響され、

$$F_2 = f_2 \cdot W_2 + f_2' \cdot V \cdot W_2 \quad (6)$$

ここで、 $f_2, f_2'$ : 路面とのすべり摩擦係数  
 $u$ : 車速

で示される。

### (3) 加速抵抗

今、図9のように速度  $u$  でスノーブラウが、 $x$  方向に雪中を進行する場合(向)のように雪を垂直平面の2次元の流れと仮定すると、雪はA点で切削され、加速されてスノーブラウ曲面に沿って上昇し、上端(B点)から  $\beta$  の角度—ブラウ投雪角度—で速度（相対速度） $W$  で投雪され、この間、スノーブラウに力  $P_x$  をあたえる。

スノーブラウは速度  $u$  で移動しているため、雪は地面に対して角度  $\alpha$  の方向に速度（絶対速度） $V$  で投雪される。

相対速度  $W$  はブラウ曲面での摩擦抵抗等のため、  
 $W = (1 - n) u$  (7)

で示される。

ここでは  $n$  は1より小さく、摩擦抵抗と雪の粘着力による減速率と考える。

絶対速度  $V$  の  $x$  方向成分  $V_x$  は速度図より

$$V_x = u + W \cos \beta = u + (1 - n) u \cos \beta \quad (8)$$

となり、ブラウ曲面上での摩擦損失等がないとす



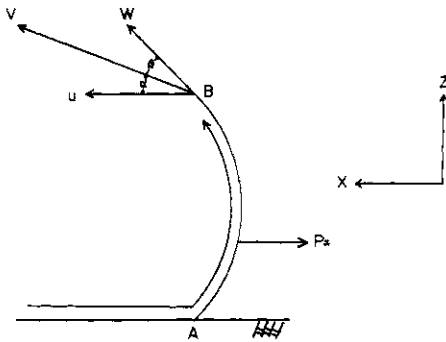


図9 速度線図  
Diagram of velocity of plough and cutting snow.

ると  $n=0$ ,  $\alpha = \frac{1}{2}\beta$  となり, (7), (8)式は

$$W = u \quad (9)$$

$$V_x = u(1 + \cos \beta) \quad (10)$$

となる。

今, 切刃の摩擦を除いて考えると, ブローにかかる力  $P_x$  は雪を除雪速度  $u$  まで加速するに必要な力  $F_a$  となり, 除雪量を  $Q$  ( $m^3/sec$ ), 雪密度を  $\tau$  ( $kg/m^3$ ), 重力の加速度を  $g$  ( $m/sec^2$ ), 除雪速度を  $u$  ( $m/sec$ ) とすると, 雪がスノーブローにおよぼす  $x$  の方向の力  $P_x = F_a$  は運動量の変化に等しいから

$$F_a = \frac{\tau \cdot Q}{g} u(1 + \cos \beta) \quad (11)$$

で示される。

また, 除雪断面積を  $S$  ( $m^2$ ) とすると, (11)式は

$$F_a = \frac{\tau \cdot S}{g} u^2(1 + \cos \beta) \quad (12)$$

となり, 加速抵抗  $F_a$  は雪密度, 除雪断面積, 除雪速度の二乗に比例するほか投雪角  $\beta$  によって影響され, 角度が小さいほど大きな値を示す。

この場合, 所要動力  $L$  は

$$L = F_a \cdot u = \frac{\tau \cdot S}{g} u^3(1 + \cos \beta) \quad (13)$$

$$L(PS) = \frac{1}{75} \cdot \frac{\tau \cdot S}{g} u^3(1 + \cos \beta) \quad (14)$$

で示される。

$$(12)式をさらに \frac{F_a}{S} = \frac{\tau}{g} u^2(1 + \cos \beta) \quad (15)$$

と変形すると, 左辺は加速比抵抗を示す。

#### 4.5.2 実験結果の考察

##### (1) 腕荷重

ブローにかかる力は, 切削抵抗と加速抵抗の和で表わされることは前に述べたとおりであり, 力は進行方向の力(腕荷重—左右押腕荷重の和)と進行方向と直角な方向の力(横荷重)に分けて計測した。腕荷重はトラックのけん引力に関するもので機関トルク, トラック重量, タイヤのすべり摩擦係数などによって最大値は決定される。横荷重は除雪トラック重心に対して回転力として働き, 大きくなるとタイヤの横すべりを起し走行性を悪化させる。横すべりを解決する方法としてVブローおよび側面ブローの使用が一般に考えられている。

##### 1) 切刃と路面の摩擦力

切刃と路面の摩擦力 — ブロー走行抵抗 — は, 路面状況およびブロー重量などによって影響されることは, 前に述べたとおりで, 図10は雪害実

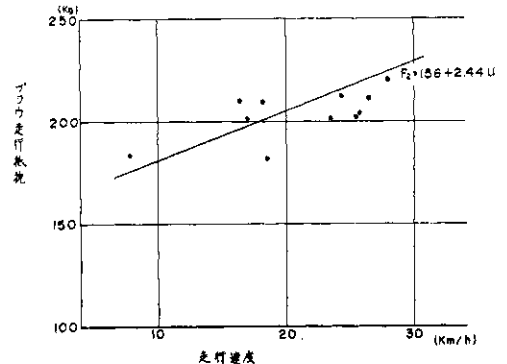


図10 ブロー走行抵抗 — 走行速度  
Relation between friction of cutting edge of snow plough and speed of vehicle in case of concrete pavement.

験研究所試験路(湿ったコンクリート路面)でのブロー走行抵抗  $F_2$  と車速  $u$  についての実験結果である。測定点は多少バラッキがあるが相関係数  $r$  を計算した結果  $r = 0.64$  (資料数  $n = 11$ ) と危険率  $0.05$  で有意である。この関係を一次式と考え回帰直線を求めた結果,  $F_2 = 156 + 2.44 \cdot u$  となり, ブロー切刃における荷重  $W_2$  を  $450$  kg とし, 摩擦係数を  $f$  とすると,

$$f = 0.347 + 0.00542 \cdot u \quad (16)$$

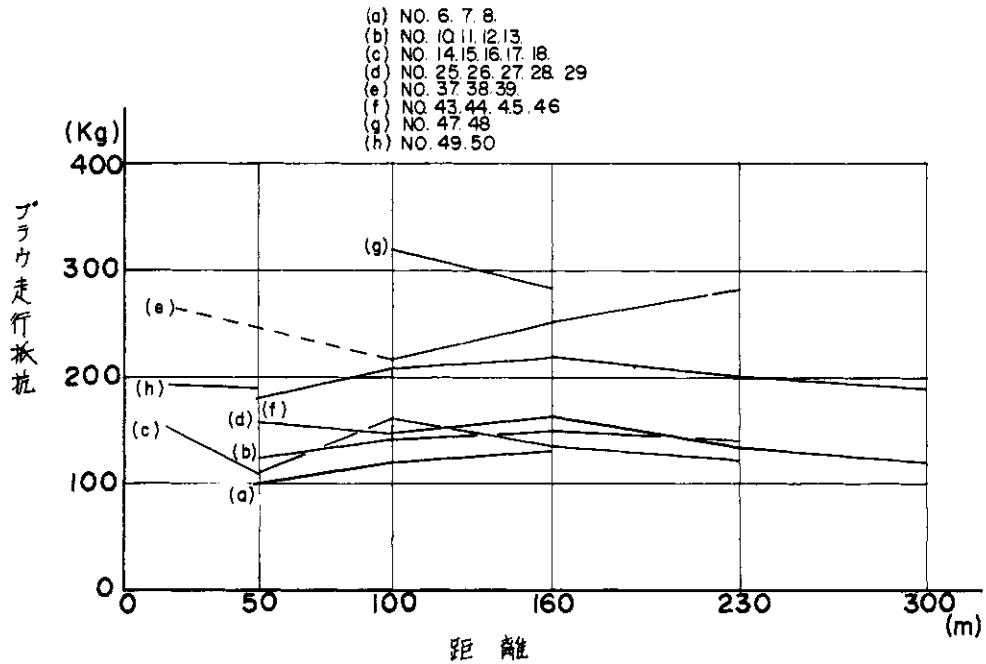


図 1 1 ブラウ走行抵抗 — 測定箇所  
 Change of friction of cutting edge of snow plough at  
 different points and times in Aomori.

となり、ブラウ走行抵抗  $F_2$  は

$$F_2 = W_2 (0.347 + 0.00542 \cdot u) \quad (17)$$

となる。

図 1 1 は青森空港（圧雪路面）の実験結果で、15、50、100、160、230および300 m地点のブラウ走行抵抗を実験日時、順番を考慮して各点を結んだものである。図 1 1 でわかるとおり、値は実験日によって大きく異なるほか、同一日の一連の実験でも測定場所によって大きく異なる。

気温が低い場合、ブラウ走行抵抗は100~150 kg、すべり摩擦係数で0.25~0.37程度で、この値は以前、雪ソリによる摩擦抵抗測定結果<sup>4)</sup>と大差のない値である。しかし、気温が上昇し路面が柔くなると路面の切削が入り、ブラウ走行抵抗は200 kg以上になる。表 8 の実験日程表を参照するとこのことはより明らかである。

気温が低い場合（-2~-4℃）の圧雪路面上のブラウ走行抵抗は

$$F_2 = W_2 (0.113 + 0.00542 \cdot u) \quad (18)$$

と推定される。

なお、青森空港ではブラウ走行抵抗の測定につ

いては、とくにそのための実験は行わず、各実験毎の助走区間における腕荷重をブラウ走行抵抗として採用した。

## 2) 加速抵抗

密度が小さい新雪では、圧縮抵抗はほかの力に比べ小さいであろうことは前にも述べたとおりである。したがって、腕荷重からブラウ走行抵抗を引いた値は加速抵抗  $F_a$  と考えられる。また、雪密度  $0.16 \text{ g/cm}^3$  以上の資料も雪質（自然積雪と異なり、スコップにより乱されているため切削抵抗は小さいと考えてよい）より新雪と同様に考えてよい。

図 1 2 は除雪速度一定な場合の加速抵抗  $F_a$  を除雪断面積  $S$  で割った加速比抵抗  $F_a/S$  と、雪密度  $\gamma$  の関係である。雪密度  $0.18 \text{ g/cm}^3$  付近の資料が不足しているが（雪質を要因とした実験は非常に難しい）<sup>10)</sup>式によりその関係は直線と仮定して線を引いた。

図 1 2 より加速抵抗は雪密度によるほか除雪速度によって大きく異なり、雪密度が小さい場合、除雪速度の相異による抵抗の差は少ない（雪密度  $0.1 \text{ g/cm}^3$  で比抵抗は  $0.01 \text{ g/cm}^2$ ）が、雪密

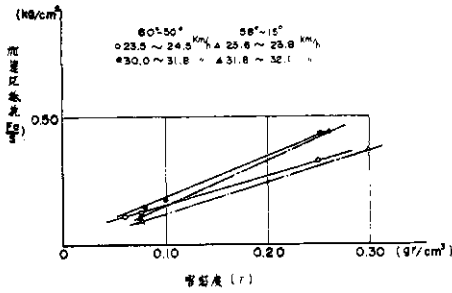


図 12 加速比抵抗 — 雪密度  
Relation between accelerative resistance  $F_a/S$  and density of snow  $r$ .

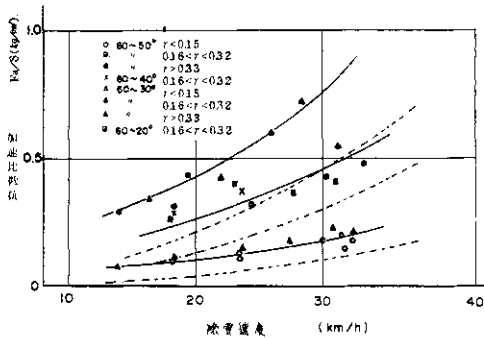


図 13 進行角  $60^\circ$  の加速比抵抗 — 除雪速度  
Relation between accelerative resistance  $F_a/S$  and working speed, circular-cylinder-type,  $\theta = 60^\circ$ .

度が大きくなるにしたがい、その差は次第に大きく（雪密度  $0.25 \text{ g/cm}^3$  で比抵抗  $0.11 \text{ kg/cm}^2$ ）なる。

加速比抵抗  $F_a/S$  と除雪速度  $u$  の関係を図13（アングリングブラウ進行角  $60^\circ$ ）、図 14（アングリングブラウ進行角  $50^\circ$  および  $70^\circ$ ）、図15（ワンウェイブラウ）に示す。

加速比抵抗は除雪速度以外に、雪密度、ブラウ投雪角によって影響されるため、雪密度については、 $0.15 \text{ g/cm}^3$  以下、 $0.16 \sim 0.32 \text{ g/cm}^3$ 、 $0.33 \text{ g/cm}^3$  以上の3区分に、ブラウ投雪角については  $50^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $20^\circ$  の4条件に分けて図に示した。雪密度  $0.15 \text{ g/cm}^3$  以下および  $0.33 \text{ g/cm}^3$  以上については測定のパラッキも少なくある程度まとまった傾向を示すが、雪密度  $0.16 \sim 0.32 \text{ g/cm}^3$  の場合、投雪角度による影響のほ

か、密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近と  $0.30 \text{ g/cm}^3$  付近の2グループに大別され、そのためのバラッキが大きかった。

なお、資料数の多い進行角  $60^\circ$ 、ブラウ投雪角  $50^\circ$  およびワンウェイブラウについて、(1)式のブラウ投雪角  $\beta$ 、雪密度  $r$  に実験条件（雪密度については3区分のそれぞれの平均値を使用）を代入した値を点線で図13、図15に記入した。実験条件の良い密度  $0.15 \text{ g/cm}^3$  以下の自然積雪の場合、実線と点線の平行度は高い。

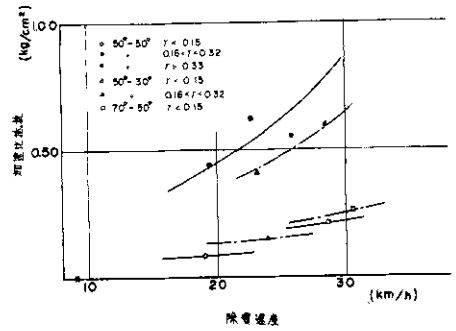


図 14 進行角  $50^\circ$  および  $70^\circ$  の場合の加速比抵抗 — 除雪速度  
Relation between accelerative resistance  $F_a/S$  and working speed, circular-cylinder-type,  $\theta = 50^\circ$  and  $\theta = 70^\circ$ .

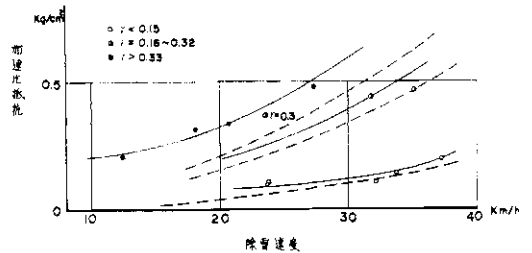


図 15 ワンウェイブラウの加速比抵抗 — 除雪速度  
Relation between accelerative resistance  $F_a/S$  and working speed, curvature of circular-cone-type.

雪質（密度）による影響を確認するため、(1)式を更に雪密度  $r$  で両辺を割って

$$\frac{F_a}{r \cdot S} = \frac{1}{g} u^2 (1 + \cos \beta) \quad (19)$$

と変形し、アングリングブラウの進行角 $60^\circ$ およびワンウェイブラウについて測定値の $F_a/r \cdot S$  (実線)および(19)式に実験条件を代入したときの値(点線)を図13, 図15と同様に各ブラウ投雪角, 密度区分毎に分類して図16, 図17に示す。

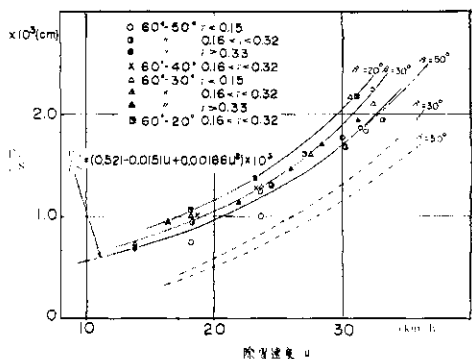


図16 アングリングブラウの $F_a/r \cdot S$  - 除雪速度  $u$   
 Relation between accelerative resistance  $F_a/r \cdot S$  and working speed, at different angle  $\beta$  of throwing snow/curvature of circular cylinder.

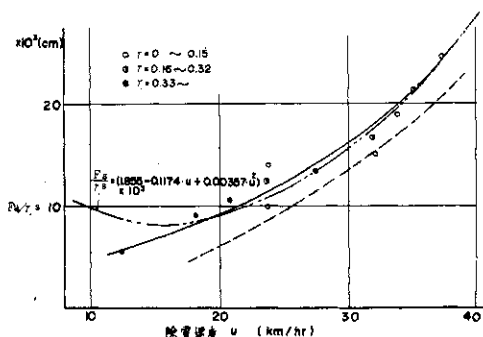


図17 ワンウェイブラウの $F_a/r \cdot S$  - 除雪速度  $u$   
 Relation between accelerative resistance  $F_a/r \cdot S$  and working speed, curvature of circular cone.

図13, 図15では, ブラウ投雪角度より密度によるバラツキが大きかったが, 図16, 図17では雪密度が $0.08 \text{ g/cm}^3$ 以下の資料で離れた値があるが, その他では密度による差は無く, ブラウ投雪角による差がみられた。しかし, 投雪角に

よる影響は理論的には,  $(\cos\beta_1 - \cos\beta_2) / (1 + \cos\beta_1)$ で示され,  $50^\circ$ と $30^\circ$ の場合12%程度で, 実験結果では8% ( $0.1 \times 10^3 \text{ cm}$ )程度とその差は小さい。

以上より, 加速抵抗は除雪速度の二乗で増大するほか, 除雪断面積, 雪密度, ブラウ投雪角によって影響されることが実験的にも確認することができた。

なお, ブラウ進行角 $50^\circ$ ,  $70^\circ$ の資料数が少なくブラウ進行角による影響は見出せなかった。また, アングリングブラウとワンウェイを比較すると後者の方が有利な傾向がみられた。

アングリングブラウ(ブラウ進行角 $60^\circ$ , 投雪角 $50^\circ$ ), ワンウェイブラウについて $F_a/r \cdot S$ と除雪速度 $u$ の関係を前に述べたとおり $F_a/r \cdot S = A + B \cdot u + C \cdot u^2$ の二次式において最小二乗法により係数 $A, B, C$ を求めると,

アングリングブラウの場合

$$F_a/r \cdot S = (0.521 - 0.0151 \cdot u + 0.00186 \cdot u^2) \times 10^3 \quad (20)$$

ワンウェイブラウの場合

$$F_a/r \cdot S = (1.855 - 0.1174 \cdot u + 0.00357 \cdot u^2) \times 10^3 \quad (21)$$

加速抵抗は

$$F_a = r \cdot S (0.521 - 0.0151 \cdot u + 0.00186 \cdot u^2) \times 10^3 \quad (22)$$

$$F_a = r \cdot S (1.855 - 0.1174 \cdot u + 0.00357 \cdot u^2) \times 10^3 \quad (23)$$

となり, この結果を図16, 図17に2点鎖線で記入した。アングリングブラウの場合よく一致するが, ワンウェイブラウの場合測定誤差(ブラウ走行抵抗の算出による誤差が多い)等もあり $18 \text{ km/h}$ 以上では比較的一致するが,  $18 \text{ km/h}$ 以下では, 逆の傾向を示し, (2)式と実験結果は一致しない。ただし,  $20 \text{ km/h}$ 以上の高速除雪を考えるならば(2)式はそのまま使用して問題は少ないものと思われる。

## (2) 横荷重

横荷重はトラックの横すべりに対して重要であり, 腕荷重同様, 除雪速度が速く, 雪密度, 除雪断面積が大きくなるにしたがい増大するほか, ブラウ進行角によって大きく影響される。

図18は横荷重を除雪断面積で割った横除雪比抵抗と除雪速度 $u$ の関係を示したものである。横荷重の検出は計測機構に荷重が大きくなると正確

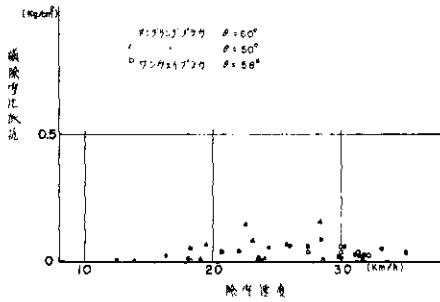


図18 横除雪比抵抗 — 除雪速度  
Relation between transverse thrust and working speed.

な値を示さない(実際より低い値を示す)欠点があるが、自然積雪を対象とした場合、15 km/hまでは横荷重はほとんど検出されない。除雪速度30 km/h位で、横除雪比抵抗は0.05 kg/cm<sup>2</sup>と小さく、この程度では操向性は大きな問題とはならないものと思われる。

今、一般的な7 t級トラックを使用した場合、タイヤの横すべり摩擦係数<sup>1)</sup>(前輪は $\mu=0.35$ 、後輪はタイヤチェーン付 $\mu=0.414$ 、回転はトラックの重心を中心として起ると仮定)より、トラックの操向性を検討すると、タイヤが完全に横すべりを起す時のブラウ横荷重は1,000 kg以上となる。しかし、実際には横荷重が急に変ることにより、ハンドルがとられ、除雪速度が決まることが多い。ブラウにかかる力は路面状況、対象雪密度によって異なるため除雪速度何 km/hまでは安全と一方的に決めることはできない。

(3) 除雪能率

除雪能率は時間当たり処理量をそれに要する動力で割った値で示され、その表示にはm<sup>3</sup>/PSH、t/PSHがあるがここでは除雪量 t/hをブラウ作用馬力で割った t/PSH を使用することとした。なお、ブラウ走行抵抗が、実験日時、測定場所により大きく変化し、このための測定値のバラツキが大きいため、腕荷重からブラウ走行抵抗を引いた加速抵抗と車速から求めた作用馬力をブラウ作用馬力に代えて使用した。したがって、全除雪抵抗、または、トラック機関出力よりみた除雪能率よりも値は大きく、曲線も急な勾配を示す結果となった。

除雪速度一定の場合の除雪能率と密度の関係を図19に示す。

除雪能率は除雪速度約24 km/hで20~22

t/PSH, 31 km/hで15~16 t/PSH と除雪速度によって大きく影響され、密度0.1 g/cm<sup>3</sup>以上の雪に対しては密度による影響はほとんどない。密度0.09 g/cm<sup>3</sup>以下では、除雪能率は低下する傾向を示すが、これは、ブラウ切刃での圧縮変形のために余分な力を必要とし、除雪能率を低下させたものと推察される。

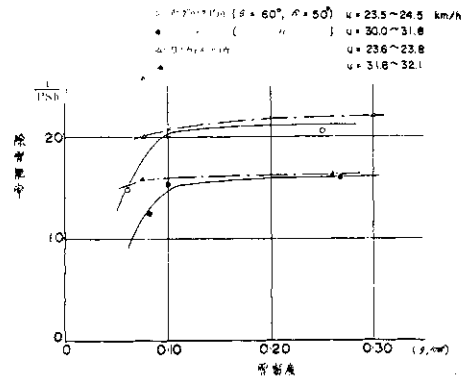


図19 除雪能率 — 雪密度

図19 除雪能率 — 雪密度  
Relation between snow removal performance (t/PSH) and density of snow  $\rho$ .

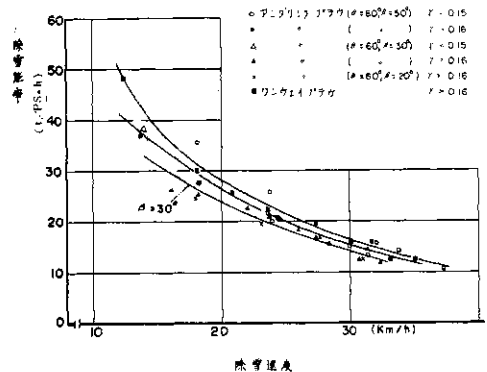


図20 除雪能率 — 除雪速度  
Relation between snow removal performance (t/PSH) and working speed  $u$ .

資料数の多いブラウ進行角60°およびワンウェイブラウについて密度0.1 g/cm<sup>3</sup>以上の資料について除雪能率と除雪速度との関係を、ブラウ投雪角毎に区分して図20に示す。

密度によるバラツキはみられずブラウ投雪角50°

の方が30°より僅かではあるが良さそうである。  
 また、アングリングブラウとワンウェイブラウを比較すると腕荷重同様後の方が能率がよいといえる。

今、除雪能率  $t/PS_h$  の作用馬力  $PS$  の代わりに、4.5.1で述べた雪を速度  $u$  まで加速するのに必要な理論動力(4式を代入すると、 $t/PS_h$  は  $g/\{(1+\cos\beta) \times u^2\}$  となり、除雪能率  $t/PS_h$  は除雪速度  $u$  に大きく影響されるほかブラウ投雪角により影響される。

腕荷重の大半は雪を加速するためのものであることを考えれば、除雪能率(ブラウ走行抵抗も含めた)  $t/PS_h$  は除雪速度が速くなるにしたがい低下し、その傾向は大略  $u^{-2}$  の双曲線で示される。



写真2 ワンウェイブラウ，進行角58°，除雪速度37.3km/h  
 Circular-cone-type plough, plough angle 58°, working speed 37.3km/h.

また、ブラウ投雪角  $\beta$  が小さくなるにしたがい除雪能率は低下する。

アングリングブラウについては腕荷重、除雪能率ともブラウ投雪角の大きな方が有利であるが、運転員の視界の面からみると、投雪角度が大きい場合、高速になると、運転席窓に当たる雪の量が多くなり、高速除雪は困難となる。写真2、3にワンウェイおよびアングリングブラウによる飛雪状況を示す。

(4) ブラウ効率

前述の除雪能率  $t/PS_h$  は投雪距離が考慮されておらず、雪を速くに飛ばさず、ブラウ近辺に投雪した方が能率が良いという欠点がある。42年度はブラウ上端から投雪される雪の速度を高速カメラ(16m/m)を使用して計測を試みたが失敗し、41年度同様運動のエネルギーと投雪距離



写真3 アングリングブラウ，進行角60°，投雪角50°，投雪速度33.2km/h  
 Circular-cylinder-type plough, plough angle 60°, throwing angle 50°, working speed 33.2 km/h.

の式より導かれた下の(4)式を用いて問題の少ないものについてブラウ効率を算出した。その結果を図21に示す。

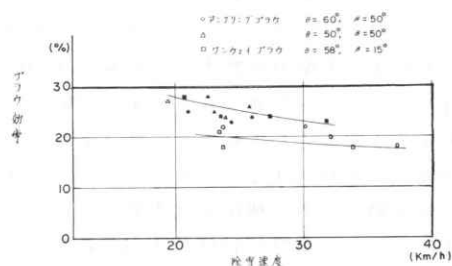


図21 ブラウ効率 — 除雪速度  
 Relation between plough efficiency and working speed.

投雪距離は除雪幅の中心にインクで着色し、除雪後の着色された雪の位置から投雪方向を見つけ、投雪された雪畝の一番高い個所との交点と最初にインクで着色した点との距離を測定した。

$$\eta_p = \frac{G \cdot l}{PS_s \times 150} \times 100 \quad (24)$$

ここで、 $\eta_p$  : ブラウ効率 (%)  
 $G$  : 除雪量 (kg/sec)  
 $l$  : 雪重心の横方向の移動距離(m)  
 $PS_s$  : 作用馬力 (PS)

作用馬力は除雪能率  $t/PS_h$  同様加速抵抗と除雪速度から算出したものであって、ブラウ走行抵抗および除雪トラックの走行抵抗は含まれていない。したがって、これらを含めた除雪効率の値はこれより小さな値となる。

実験コース幅の関係から雪が雪堤に当ることが多く、ブラウ効率 $t/PSh$ は20~30%の間で、雪密度による差がみられたが、効率を算出できる資料数も少なく、投雪距離の測定にも精度的に多少問題があり、十分に結論は得られなかった。ただ、雪の横方向の移動距離は、ブラウ進行角、除雪速度、雪質により影響されることから、ブラウ進行角の小さい方がブラウ効率は良くなるといえる。

ただし、この場合、横荷重も大きくなり、ハンドルがとられ、操向性が悪くなり危険が増大するので十分注意する必要がある。

(5) 雪の流れ

切削した雪の流れは、a) 切刃から連続的に雪がすくい上げられてブラウ上端から投雪される流れ形と、b) すくい上げられた雪がブラウ曲面に沿ってそのまま側方に押出されるせん断形に大別される。

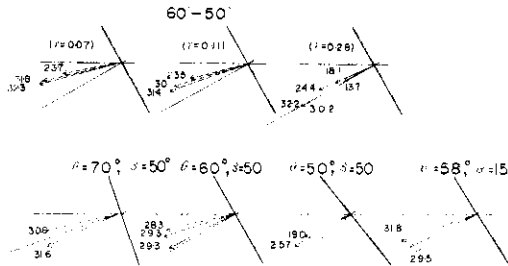


図2 2 ブラウ進行角、除雪速度 — 投雪角  
Relation between  $\theta$ ,  $u$  and  $\gamma$ .

切削した雪のブラウ曲面上の二次元流れについては、最近、理論的な検討が試みられ「雪塊は二次曲線に従って束縛運動をする」との報告もあるが、除雪速度(加速される雪速度)、雪質とブラウ曲面上のすべり摩擦係数の関係、ブラウ進行角による影響など実際面で不明な点が多い。これらの点を明確にするためにはより詳細な実験が必要である。

図2 2はブラウ進行角、雪質、除雪速度と雪投雪角の関係を示したもので、図中の数字は除雪速度 km/h、( )書きの数字は雪密度を示す。図より雪投雪角はブラウ進行角が小さいほど大きく、密度が大きいほどブラウ切刃と直角な方向に近ずき、除雪速度については僅かではあるが、速度が速くなると雪投雪角は大きくなる傾向がみられた。これは雪質による影響と考えられる。

雪投雪角の相具による腕荷重、除雪能率の影響はブラウ進行角 50° および 70° についての実験資

料不足などにより傾向を見出すことはできなかった。

ブラウ曲面の摩擦係数が腕荷重および除雪能率に与える影響も大きいものと考えられる。今回、とくに、このための実験を行っていないが、試験番号 5 7 ~ 5 9 はブラウ曲面にサビ止め用の塗料を塗布したときの値で 5 1 ~ 5 6 番はその後ワックスを塗布したときの値である。

参考までに  $F_a/\gamma \cdot S$  および除雪能率  $t/PSh$  と除雪速度  $u$  の関係を図 2 3 に示す。

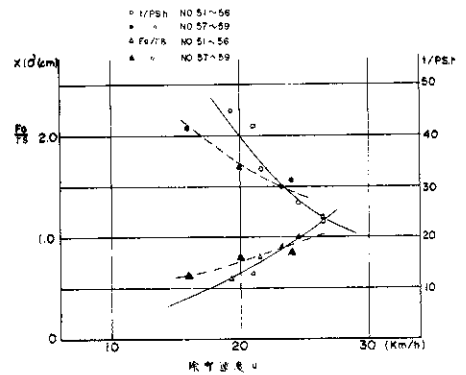


図 2 3 予備実験における  $F_a/\gamma \cdot S$  — 除雪速度  $u$   
Relation between  $F_a/\gamma \cdot S$  and  $u$ , in Nagaoka.

除雪速度 20 km/h 以下では雪の流れが悪く、雪を前に押し出し(圧縮)腕荷重も大きく除雪能率も除雪速度 20 km/h 以下ではその差が  $8t/PSh$  と大きい。しかし、除雪速度 24 km/h 以上になり切削した雪がせん断形になると差はほとんどみられない。このことは、ブラウ曲面の摩擦による雪層に対する影響範囲が小さいためと考えられる。

(6) 高速化の問題について

最後に、これまでの実験結果を用いて 7 t 級トラック(総重量約 10,500 kg)を使用した場合の最高除雪速度を検討することにする。

スノーブラウには腕荷重および除雪能率  $t/PSh$  の面から有利であるワンウェイブラウを使用することとし、次の仮定を設けた。

雪質	新雪 (0.1 g/cm <sup>3</sup> )
除雪深	10 cm
除雪幅	260 cm
ブラウ重量	800 kg
路面は舗装面が露出しているものとする。	

コロガリ抵抗は(2)式(圧雪上の走行)の $\frac{1}{2}$ , 加速抵抗は(9)式より, ブラウ走行抵抗は(10)式より各抵抗を求め, 速度を掛けて除雪動力を算出し, その結果を図24に示す。

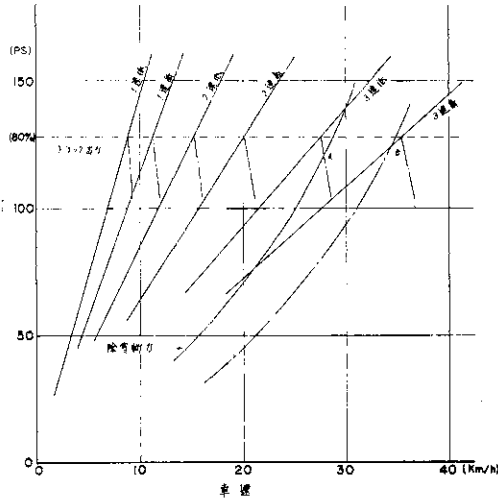


図24 所要出力 — 車速

Relation between tractor horsepower and working speed in case of  $r=0.1\text{ g/cm}^3$ ,  $S=2,600\text{ cm}^2$ .

除雪トラックのけん引力は機関出力160PSの80%を連続に使用可能な出力とし, 各速度段毎の出力を計算し, 同じく図24に記入した。

図24より, 上記の条件のもとでは, トラックの出力線と除雪動力線との交点約28km/hが最高速度となる。実際には, 新雪除雪を行なう場合は, 路面温度も低く, ブラウ走行抵抗は200~300kg程度と予想され, この場合は32km/hくらいが限度となる。

図中の1点鎖線はブラウ懸架方法を改良し, ブラウ走行抵抗を0(ブラウ切刃を浮した状態)としたときの除雪動力線で, トラック出力線との交点B(約34km/h)はスノーブラウを軽量化した場合の極限速度といえる。

高速化の大きな問題点の一つは除雪動力が, 大略, 除雪速度の3乗で増加することであり, これを解決するためにはスノーブラウの軽量化, トラック機関出力の増大(場合によっては専用トラックの開発)と併せて加速抵抗が小さくてすむ一例えば横流れの大きな一ブラウ曲面の開発が必要で

ある。

横荷重の面からは, 除雪速度40km/hになると上に述べた条件では横荷重が200kg以上になり操向装置等の改良が必要である。

#### 4.6 まとめ

以上の結果を要約すると次のとおりとなる。

(1) 除雪トラックに必要な駆動力Fは

$$F = F_w + F_c + F_a$$

で示され, タイヤのコロガリ抵抗  $F_w$  は次の式で示される。

$$F_w = W_1(0.045 + 0.00106 \cdot u) \quad (2)$$

切削抵抗  $F_c$  のうちせん断形圧縮抵抗は除雪断面積, 密度などによって異なり, 密度  $0.1\text{ g/cm}^3$  の場合, 約30kg以下と推測され, ブラウ除雪で対象とする雪質ではほとんど問題とならない。切刃と路面の摩擦抵抗  $F_2$  は路面状況により大きく異なり, コンクリート路面で

$$F_2 = W_2(0.347 + 0.00542 \cdot u) \quad (3)$$

圧雪路面(気温が約 $-2 \sim -4^\circ\text{C}$ の場合)で

$$F_2 = W_2(0.113 + 0.00542 \cdot u) \quad (4)$$

となる。

加速抵抗  $F_a$  はブラウにかかる力の大半を占め, 除雪速度の二乗で増加するほか, ブラウ投雪角, 密度, 除雪断面積によって異なる。

アングリングブラウ(ブラウ進行角 $60^\circ$ , ブラウ投雪角 $50^\circ$ )の場合, 加速抵抗  $F_a$  は

$$F_a = r \cdot S(0.521 - 0.0151 \cdot u + 0.00186 \cdot u^2) \quad (5)$$

で示される。ここで,

- $W_1$ : トラック重量      kg
- $W_2$ : ブラウ重量        kg
- $r$ : 密度                kg/cm<sup>3</sup>
- $S$ : 除雪断面積        cm<sup>2</sup>
- $u$ : 除雪速度            km/h

(2) 除雪能率( $t/\text{PS}\cdot\text{h}$ )は除雪速度に大きく影響され, 除雪速度  $u$  が速くなるにしたがい減少し, その傾向は  $u^{-2}$  で示される。

密度  $0.1\text{ g/cm}^3$  以上の雪については除雪能率の密度による差はないが, 約  $0.09\text{ g/cm}^3$  以下になると低下する。

(3) ブラウ効率については実験コース幅の関係から, 雪重心移動量の測定および資料不足から結論をうることはできなかった。ただ, ブラウ効率は横方向の雪移動量に関係するので, ブラウ進行角の小さい方が効率は良くなるものと推察される。

(4) ブラウ曲面の影響については, ワンウェイ



ブラウ(円すい曲面)の方が腕荷重も小さく除雪能率も良い。

#### 5. む す び

42年度は降雪回数に恵まれ一般のブラウ除雪で対象とするような雪質についての資料が多く、内容は有意義なものが多かった。3年間、スノーブラウによる高速除雪実験を行なったが、判明した点は少なく、今後なお、ブラウ効率算出のための雪重心移動量および投雪速度の計測方法の検討、切削した雪の変形量の測定、圧縮抵抗の計測など残された問題も多い。

実験は、機械研究室、長田忠良(元)主任研究員、渡辺勝男、吉田六三、斉藤栄一郎技官の参加を得て実施した。

おわりに試験車の提供等共同研究として実験に協力していただいた雪害実験研究所高橋、小林技官および青森空港管理事務所、東北地建青森工事事務所、鍍金鋼製作所の方々に協力をいただいたほか、田中機械研究室長には実験当初から何かと指導していただいたことを記して、お礼を申上げる次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 星野謙三, 長野敏己(1964): 雪切削力(第1報)・鉄道技術研究所報告, №425.
- 2) 建設省土木研究所(1964): プロア型ロータリ除雪車の研究. 機械, 39-11.
- 3) 下田茂, 千木良暁司, 石田勝彦(1967): ロータリ除雪車の構造と雪質の関連に関する研究. 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.
- 4) 村上永一: 除雪自動車の運行機能に関する試験報告. 土木試験所報告, 第68号.

#### その他の文献

松本容吉: 水力学例題演習, 興学館.

ア・エム・ローゼンベルグ, ア・エヌ・エレミン(1955): 金属切削理論, 長谷川一郎訳. 東京図書.

権平長四郎(1968): スノーブラウの軽量化. 建設省大臣官房建設機械課, 除雪研究会資料その2, p.28~47.7.