

土 木 研 究 所 資 料

第 417 号

高速除雪方法に関する研究
プラウ除雪実験〔第3報〕

昭和 43 年 12 月

建設省土木研究所

高速除雪方法に関する研究

ブラウ除雪実験（第 3 報）

機械研究室

沢 田 茂 良
岩 崎 政 明
佐 々 木 輝 夫

目 次

1. ま え が き	1
2. 実 験 の 概 要	1
2. 1 試 験 機 械	1
2. 2 実 験 方 法	5
2. 3 実験場所および日程	10
3. 実 験 結 果	10
3. 1 除雪トラックに要求される駆動力についての理論的考察	10
3. 2 実験結果についての考察	14
3. 2. 1 腕 荷 重	14
3. 2. 2 横 荷 重	21
3. 2. 3 除 雪 能 率	22
3. 2. 4 ブ ラ ウ 効 率	24
3. 2. 5 雪 の 流 れ	26
3. 2. 6 高速化の問題について	27
4. ま と め	29
5. む す び	30

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域における道路交通を確保し、これら地域の民生安定と経済活動を維持する必要が増大し、このため交通路の選定、高速除雪方法の研究等新技術開発に対する要望が強くなってきた。

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なってきた。昭和38年の北陸地方の豪雪を契機として、これらに対する要望はますます強まり、雪害防災研究はわが国の重要研究課題の一つとしてとりあげられ、これに対処し、機械研究室は、昭和40年から3ヶ年計画でスノーブラウによる「高速除雪方法に関する研究」を実施してきた。この報告書は昭和42年度の実験結果をとりまとめたものである。

この研究の目的は、高速除雪用スノーブラウおよびブラウ装着用トラックについて、ブラウ形状の除雪性能におよぼす影響およびトラックに要求される諸性能を研究し、ブラウ除雪車改良の資料を入手し、さらに、積雪地域の冬期交通の雪害防止施策に役立てようとするものである。

2. 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ヶ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ヶ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。

2.1 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度から60度まで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。これらのブラウは銅製棒に取付けられ、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-1-1、図-1-2に組立図、動力伝達系統図およびビックアップ配置説明図を、表-1、表-2にブラウおよび試験車の主な仕様を示す。また、試験車を写真-1に示す。

図-1-1 アラブ試験車(アンダリングアラブ付き)

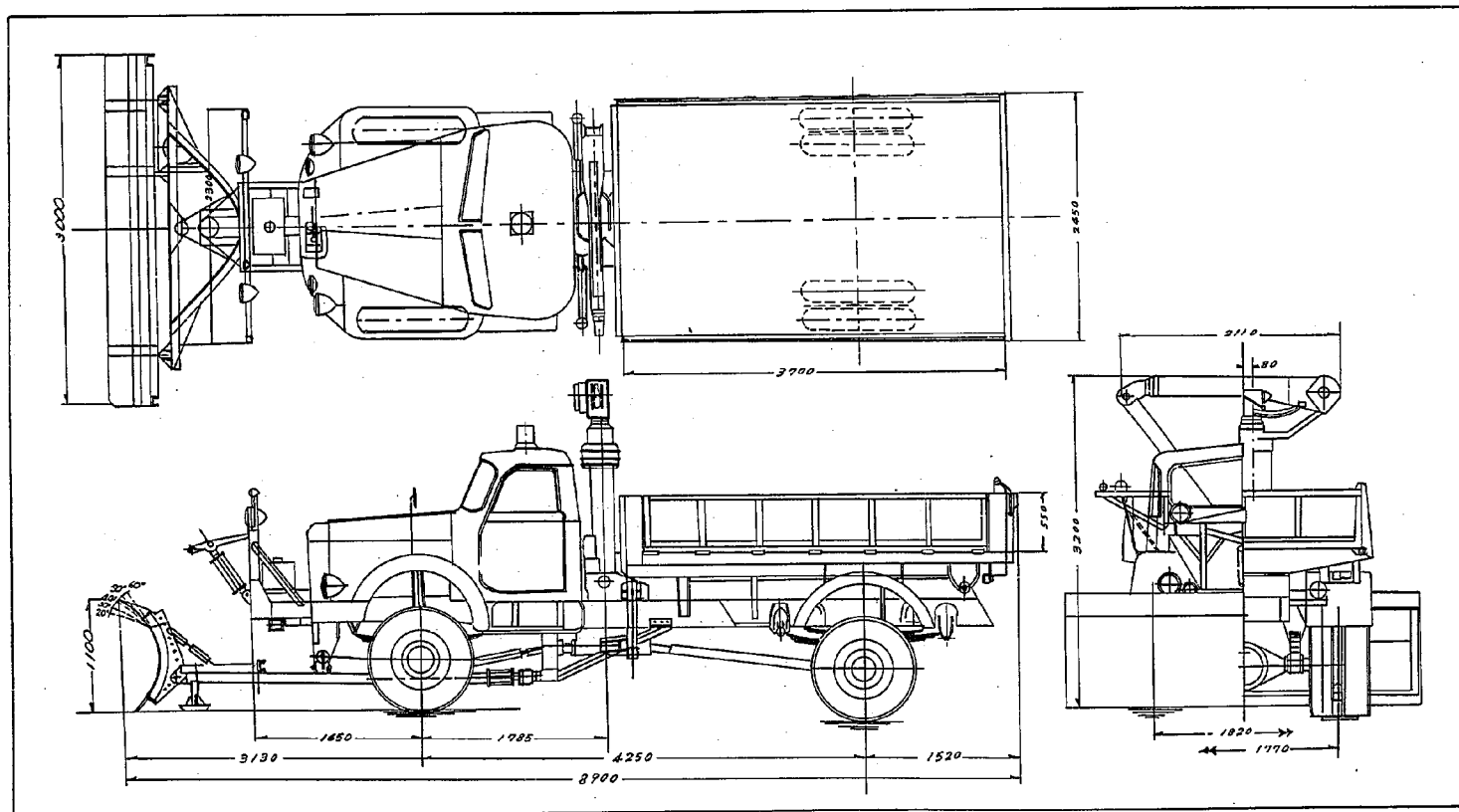


図-1-2 動力伝達系統およびヒックアップ配置説明図

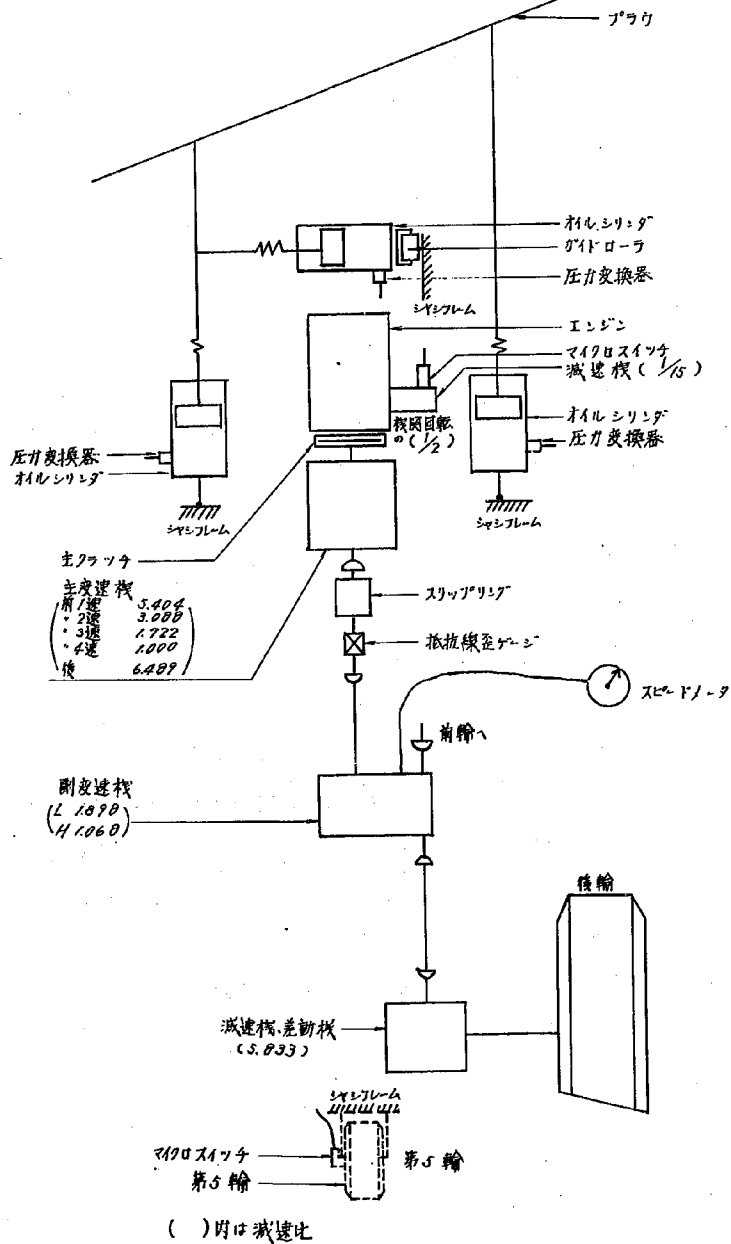


表-1 試験ブラウ仕様

項 目	種 類	ワンウェイブラウ	アングリングブラウ
除 雪 幅		2,550 mm	2,300 mm (進行角 5°) 2,600 mm (" 60°) 2,800 mm (" 70°)
ブラウ高さ	(右端)	600 mm	1,100 mm (投雪角 50°)
	(左端)	1,150 mm	1,100 mm
切 削 角		5°	45°
ブラウ本体重量		約 450 Kg	約 400 mm
昇 降 装 置 形 式		油圧シリンダによるチエン吊下げ式	油圧シリンダによるチエン吊下げ式

備考 アングリングブラウは高さ 65 cm の位置からブラウ曲面が前傾し、投雪角が 20°～60° の範囲で 5 段階に調整可能である。

表-2 ブラウ試験車本体仕様

項 目	諸 元	項 目	諸 元
形 式	日野 ZH10D (1 ton クレーン付)	機 関	
全 長	8,010 mm	形 式	日野 D830 形水冷ディーゼル機関
全 幅	2,450 mm	総 排 気 量	7,982 l
全 高	3,200 mm	最 高 出 力	150 PS / 2,400 rpm
軸 距	4,250 mm	最 大 ト ル ク	50 Kg・m / 1,600 rpm
車 両 重 両	8,330 Kg	変 速 機	前進 4 段、後進 1 段
車 両 総 重 量	10,440 Kg	副 変 速 機	高低 2 段
最 大 積 載 量	2,000 Kg	駆 動 方 式	全輪駆動
乗 者 定 員	2 名	タ イ ヤ	10.00-20-14 PL 後複輪
最 高 速 度	69 Km/h		
最 小 回 転 半 径	9.7 m		

2.2 実験方法

(1) 実験コース

長さ約300m、幅8m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1.5mを除雪して作成したためコースの整正作業は難しく、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つて異なる原因ともなつた。測定区間は除雪速度により20、30、40m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つた。

(2) 雪 質

42年度は降雪回数に恵まれ、密度 0.1 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、大半がシャリ雪であつた。

(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° ）で、アングリングブラウについては、 60° のほか 50° 、 70° の3種類について実験を行なつた。

ブラウ投雪角は、 50° 、 30° を主とし、 40° 、 20° についても行なつた。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° となる。

なお、ブラウ進行角は13頁の図(a)に示すとおり、トラツク進行方向とブラウ切刃の角 θ を、ブラウ投雪角には同じく13頁の図(b)に示すとおりブラウ上端での接線と水平方向の角 β を採用した。

除雪速度は 50 km/h までを目的とし助走距離を長くしつつが試験車の出力不足などにより 37 km/h が最高であつた。

(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一3に示す。

表-3 測定項目および使用計測器

測定項目	使用計測器	備考
押腕荷重 (右)	圧力変換器 (共和PHA・1A)	各荷重をシリンダによつて、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い。
" (左)	(")	
横方向荷重	(")	
試験車走行用トルク	抵抗線トルクメータ (新興スリツプリングSR3)	
機関回転速度	カム・マイクロスイッチ	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動でパルスを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。
除雪速度	マイクロスイッチ	
除雪深	竹 尺	
除雪幅	巻 尺	
投雪距離	巻 尺	雪軌に1ヶ所インクで着色し、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	100cc、300ccサンブラ、 台秤側刃付円筒サンブラ (災害実験研究所試作)	
気温	アルコール寒暖計	

表-4 実験日程表

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	雪 投 雪 角		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	C o	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	A s 狂雪	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	"	"	晴曇	+2.7	0	
42	" " 11.15	"	"	"	"	"	+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-5 アンダリングおよびワンウェイブラウ実験結果および計算結果

実験 番号	ブラウ 種類	進 行 角 (度)	投 雪 角 (度)	変速段 主 副 変速機	雪 密 度 (g/cm ³)	除 雪 速 度 (km/h)	機 速 回 転 度 (rpm)	機 関 トル ク (kg·m)	機 関 出 力 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)	時 間 当 り 量 (t/h)	備 考
1	アンダリング	60	30	2 L	0.115	13.8	1,837	14.6	37.6	736	-27	360	0	274	
2	"	"	"	2 L	0.108	18.2	2,432	16.3	55.6	820	-56	482	0	352	
3	"	"	"	3 L	0.105	30.8	2,293	37.1	119.0	1,561	-30	937	199	1,045	
4	"	"	"	3 H	0.101	32.4	1,484	43.0	111.1	922	-10	623	41	563	
5	"	"	20	2 L	0.240	18.0	2,400	21.8	103.8	1,096	-26	833	58	1,143	
6	"	"	"	2 H	0.290	23.1	2,353	37.4	123.2	1,436	-16	1,164	464	1,760	
7	"	"	"	3 L	0.190	31.0	2,308	41.4	133.0	1,155	-15	884	150	1,080	
8	"	"	"	3 H	0.230	27.7	1,579	41.8	92.5	896	-30	636	112	837	
9	"	"	50	1 H	0.350	13.7	2,449	13.5	46.4	912	-6	577	0	900	
10	"	"	"	2 L	0.320	18.2	2,433	22.9	78.0	1,151	-11	771	105	1,199	
11	"	"	"	2 H	0.250	24.4	2,490	28.3	95.6	1,086	-46	722	100	1,040	
12	"	"	"	3 L	0.255	30.2	2,251	38.1	120.0	1,070	15	989	115	1,525	
13	"	"	"	3 H	0.250	33.2	1,890	45.9	121.5	989	40	880	80	1,320	
14	"	"	30	2 L	0.360	16.3	2,169	18.9	57.4	949	-46	994	61	1,350	
15	"	"	"	2 H	0.380	22.0	2,250	41.1	129.6	1,580	-5	1,494	135	2,550	
16	"	"	"	3 L	0.410	26.0	1,935	44.6	120.8	1,252	25	1,703	164	2,759	
17	"	"	"	3 L	0.450	28.4	2,118	40.4	120.0	1,137	-16	1,670	188	2,499	
18	"	"	"	3 L	0.280	31.2	2,323	40.7	132.4	1,143	-5	970	51	1,395	
19	"	"	40	2 L	0.290	18.2	2,432	18.1	61.6	909	-16	829	66	1,187	
20	"	"	"	2 H	0.280	23.6	2,408	25.5	86.0	978	5	943	101	1,455	
21	"	"	50	2 H	0.061	23.7	2,416	23.5	79.4	901	17	356	3	301	
22	"	"	"	3 L	0.081	31.8	2,368	37.3	123.8	1,049	29	619	21	645	
23	"	"	"	3 H	0.079	32.3	1,837	42.4	109.1	1,192	67	404	5	455	
24	ワンウェイ	60	58	2 L	0.073	18.4	2,455	13.1	44.9	656	103	44	0	274	
25	"	"	"	2 H	0.094	23.7	2,416	20.7	70.0	795	7	329	2	408	
26	"	"	"	3 L	0.074	32.1	2,394	26.6	89.2	749	0	315	5	362	
27	"	"	"	3 H	0.080	37.3	2,124	38.2	113.6	820	2	594	5	654	
28	"	"	"	4 L	0.076	33.8	1,463	42.3	86.5	345	18	355	0	429	
29	"	"	"	2 H	0.076	23.8	2,435	19.4	65.6	745	9	257	0	244	
30	"	"	"	2 L	0.345	18.1	2,416	20.9	70.5	1,049	-45	741	22	1,180	
31	"	"	"	2 H	0.300	23.6	2,408	26.5	89.5	1,019	-7	894	38	1,464	
32	"	"	"	3 L	0.260	31.8	2,368	35.3	117.1	992	0	909	25	1,476	
33	"	"	"	3 H	0.220	35.1	2,000	41.9	117.3	900	0	943	65	1,297	

34	ワンウェイ	60	58	2	L	0.375	12.4	1,645	16.8	38.7	843	0	588	13	860
35	"	"	"	2	H	0.345	20.7	2,111	31.8	94.0	1,221	22	994	106	1,773
36	"	"	"	3	L	0.355	27.4	2,045	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	1,978	31.2	86.4	1,199	-16	1,252	155	1,899
38	"	"	"	3	L	0.370	25.8	1,926	46.7	125.9	1,311	-19	1,459	166	2,105
39	"	"	30	3	L	0.300	28.4	2,118	46.7	138.4	1,311	-9	1,285	266	1,405
40	"	"	"	2	H	0.310	23.1	2,353	26.9	88.7	1,034	-69	1,080	180	1,505
41	"	60	50	2	L	0.110	18.1	2,416	16.9	57.2	850	-18	405	0	544
42	"	"	"	2	H	0.100	23.5	2,400	26.9	90.5	1,034	32	522	14	672
43	"	"	"	3	L	0.100	30.0	2,236	39.4	123.4	1,107	0	716	46	858
44	"	"	"	3	L	0.110	31.4	2,338	39.4	129.0	1,107	-28	792	96	905
45	"	"	30	3	H	0.110	27.4	1,558	43.0	93.9	923	-21	672	91	765
46	"	"	"	2	H	0.120	23.7	2,416	23.2	78.4	890	8	623	18	710
47	"	50	50	2	H	0.140	19.0	1,934	38.5	104.2	1,480	22	329	18	489
48	"	"	30	2	H	0.135	23.9	2,432	22.0	75.0	846	65	407	20	594
49	"	70	"	3	L	0.137	28.6	2,130	41.5	123.7	1,165	116	687	23	875
50	"	"	50	3	L	0.149	30.6	2,278	41.6	132.5	1,168	88	784	87	1,019
51	"	60	"	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	2,442	17.1	58.4	654	2	327	-9	365
58	"	"	"	2	H	0.185	20.0	2,050	16.2	51.8	624	118	363	-5	456
59	"	"	"	2	H	0.190	16.0	1,636	20.4	46.8	785	64	570	20	370
60	"	"	"	2	L		17.1	2,290	8.1	26.0	408	61	139	0	
61	"	"	"	2	L		18.5	2,450	7.5	25.7	376	-4	-168	19	
62	"	"	"	1	L		7.9	1,840	5.7	14.5	498	32	136	-16	
63	"	"	"	3	L		25.5	1,900				64	141	0	
64	"	"	"	2	L		18.2	2,430	9.2	31.4	464	74	147	-3	
65	"	"	"	3	L		26.8	1,990	18.4	51.2	926	67	141	-5	
66	"	"	"	3	L		28.0	2,120	33.3	98.8	936	114	127	-7	
67	"	"	"	2	H		23.5	2,400	11.6	39.0	444	69	134	-2	
68	"	"	"	2	L		16.4	2,190	13.5	41.4	728	42	179	1	
69	"	"	"	3	H		24.3	1,380	40.4	78.1	867	80	146	-12	
70	"	"	"	3	L		26.5	1,990	35.0	96.5	982	41	118	-9	

2.3 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-4に示す。

3. 実験結果

実験計算結果を表-5に示す。実験番号51～70番は科学技術庁国立防災科学技術センター雪害実験研究所試験路で行なった予備実験の結果である。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ったが、新雪除雪の資料が多く得られた。

3.1 除雪トラックに要求される駆動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) ブラウ切刃での剪断抵抗と摩擦抵抗、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 F_w

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つ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号線越後湯沢町附近で計測した結果、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8.3Km/hで577Kg、13Km/hで633Kg、19.2Km/hで702Kg、コロガリ抵抗係数で0.053、0.059、0.065であつた。車速 u とコロガリ抵抗係数 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。

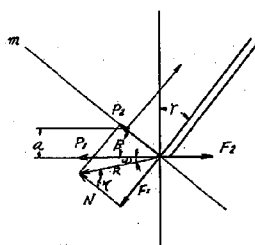
圧雪上を走行するトラックのころがり抵抗係数 F_w は

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

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広く、物理的性質も大きく異なるため難しい点が多い。



今、左図のとおり、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 F_1 となる。また、積雪は最大接線応力方向 $m-m$ で剪断されると仮定すると、

剪断面に作用する力は合力 R の剪断面 $m-m$ への投影長さ P_τ となる。

このほか、路面との摩擦力 F_2 が切刃に作用する。

剪断力 P_τ は接線応力を $(C + P \tan \phi)$ とすると、

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

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

c : 雪の粘着力

ϕ : 雪の内部摩擦力

P: 剪断面に対する垂直荷重

となり、雪質および剪断面積 $a \cdot b / \sin \beta_1$ によつて影響される。

進行方向の力 P_1 は、

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

となる。

摩擦力 F_1 は

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

となり、雪質によるほか剪断面積、すくい角等によつて影響され、塑性金属の場合 P_T 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剪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 g/cm^3 の場合、抗せん断力は 0.01 Kg/cm^2 程度で除雪幅 260 cm 、除雪深さ 10 cm と仮定すると切削力は 26 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 g/cm^3 となると抗せん断力は 0.05 Kg/cm^2 となり切削力も 130 Kg 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 によつて影響され、

$$F_2 = f_2 \cdot W_2 + f'_2 \cdot V \cdot W_2 \quad (6)$$

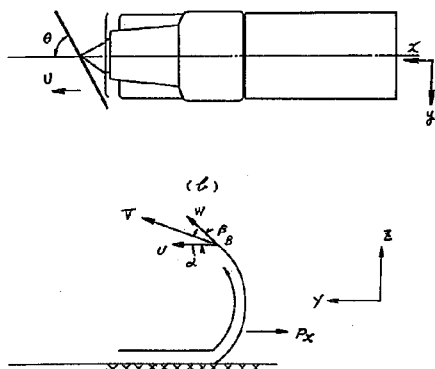
ここで、 f_2 、 f'_2 ：路面とのすべり摩擦係数

u ：車速

で示される。

1) 新潟大学工学部・下田茂「ロータリ除雪車の構造と雪質の関連に関する研究」ほか。

(3) 加速抵抗



今、左図(b)のように速度 u でスノーブラウが、 x 方向に雪中を進行をする場合(a)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 β 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 α 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

$$W = (1 - n) u \quad (7)$$

で示される。

ここで 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ラウにかかる力 P_x は雪を除雪速度 u まで加速するのに必要な力 F_a となり、除雪量を Q (m^3/sec)、雪密度を γ (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、雪がスノーブラウにおよぼす x の方向の力 $P_x = F_a$ は運動量の変化に等しいから、

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

で示される。

また、除雪断面積を S (m^2) とすると、(11) は、

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

となり、加速抵抗 F_a は雪密度、除雪断面積、除雪速度の2乗に比例するほか投雪角 β によつて影響され、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

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

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

で示される。

(12) 式をさらに

$$\frac{F_a}{S} = \frac{\gamma}{g} u^2 (1 + \cos \beta) \quad (15)$$

と変形すると、左辺は加速比抵抗を示す。

3.2 実験結果についての考察

3.2.1 腕荷重

ブラウ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係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つ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ブラウおよび側面ブラウ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—ブラウ走行抵抗—は、路面状況およびブラウ重量などによつて影響されることは、前に述べたとおりで、図—2は科学技術庁雪害実験研究所試験路（湿つたコンクリート路面）でのブラウ走行抵抗 F_2 と車速 u につい

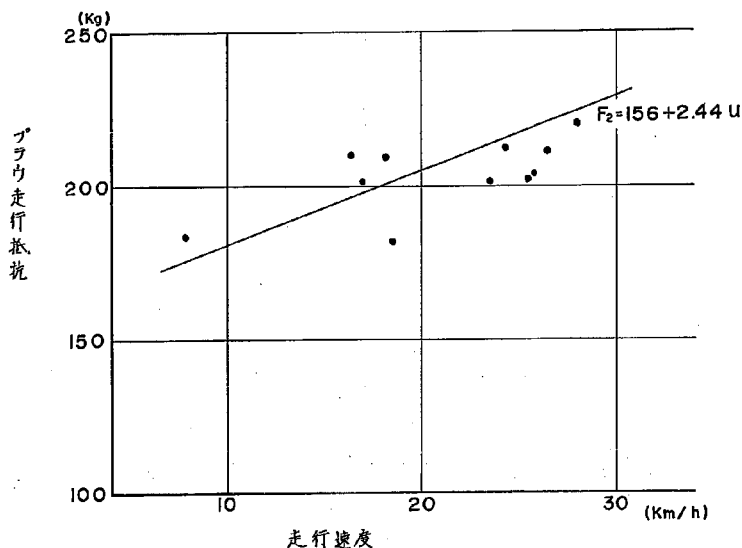


図-2 ブラウ走行抵抗—走行速度

での実験結果である。測定点は多少バラツ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、ブラウ切刃にかける荷重 W_2 を 450 Kg とし、摩擦係数を f とすると、

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

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-3は青森空港(圧雪路面)の実験結果で、15、50、100、160、230および300m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-3でわかるとおり、値は実験日によつ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つて大きく異なる。

気温が低い場合、ブラウ走行抵抗は $100 \sim 150 \text{ Kg}$ 、すべり摩擦係数で $0.25 \sim 0.37$ 程度で、この値は以前、雪ソリによる摩擦抵抗測定結果²⁾と大差のない

2) 村上永一・土木試験所報告第68号「除雪自動車の運行機能に関する試験報告」

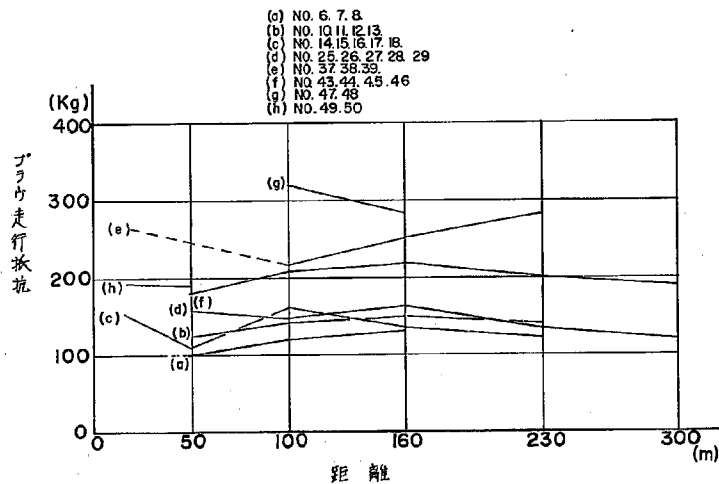


図-3 ブラウ走行抵抗一測定箇所

値である。しかし、気温が上昇し路面が柔かくなると路面の切削が入り、ブラウ走行抵抗は200Kg以上になる。表-4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、

$$P_2 = W_2 (0.113 + 0.00542 \cdot u) \quad (18)$$

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なわず、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 $0.16g/cm^3$ 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-4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

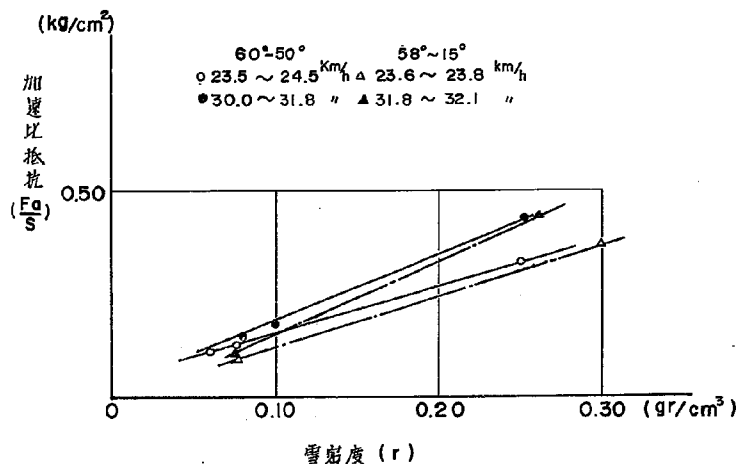


図-4 加速比抵抗—雪密度

抗 F_a/S と雪密度 r の関係である。雪密度 0.18 g/cm^3 附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）(15)式より、その関係は直線と仮定して線を引いた。

図-4より加速抵抗は雪密度によるほか除雪速度によつて大きく異なり、雪密度が小さい場合、除雪速度の相違による抵抗の差は少ない（雪密度 0.1 g/cm^3 で比抵抗は 0.01 g/cm^3 ）が、雪密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 g/cm^3 で比抵抗 0.11 g/cm^3 ）なる。

加速比抵抗 F_a/S と除雪速度 u の関係を図-5（アングリングブラウ進行角 60° ）、図-6（アングリングブラウ進行角 50° および 70° ）、図-7（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、ブラウ投雪角によつて影響されるため、雪密度については、 0.15 g/cm^3 以下、 $0.16 \sim 0.32 \text{ g/cm}^3$ 、 0.33 g/cm^3 以上の3区分に、ブラウ投雪角については 50° 、 40° 、 30° 、 20° の4条件に分けて図に示した。雪密度 0.15 g/cm^3 以下および 0.33 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つた傾向を示すが、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 g/cm^3 附近と 0.30 g/cm^3 附近の2グループに大別され、そのためのパラッキが大きかつた。

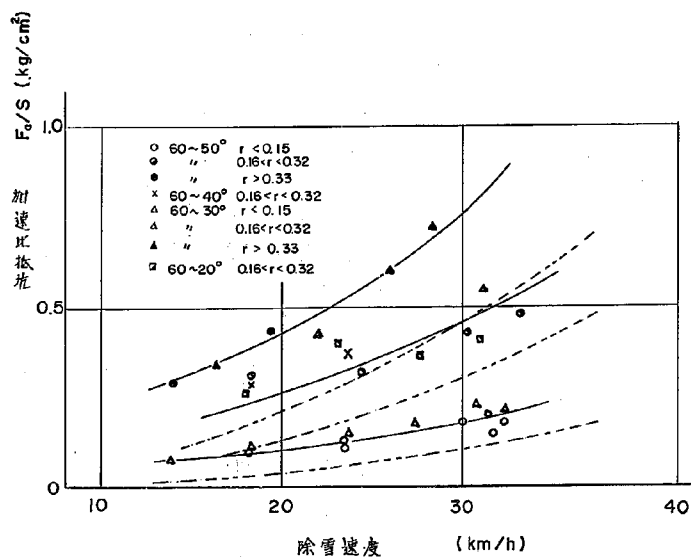


図-5 進行角 60°の加速比抵抗-除雪速度

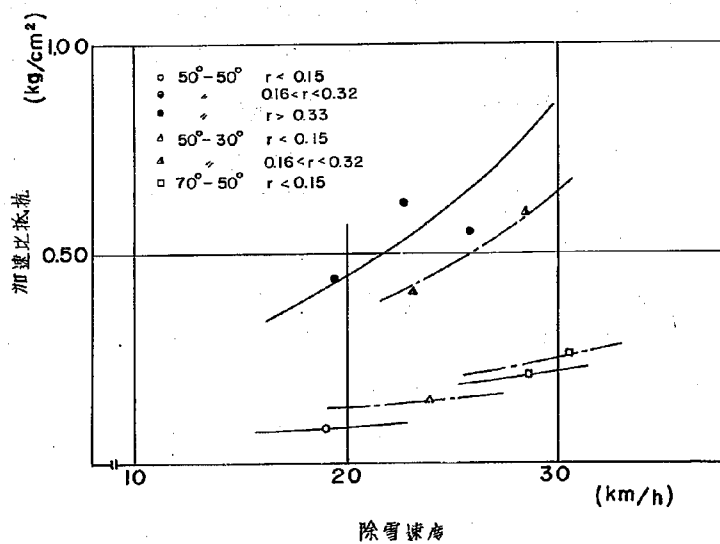


図-6 進行角 50°および 70°の場合の加速比抵抗-除雪速度

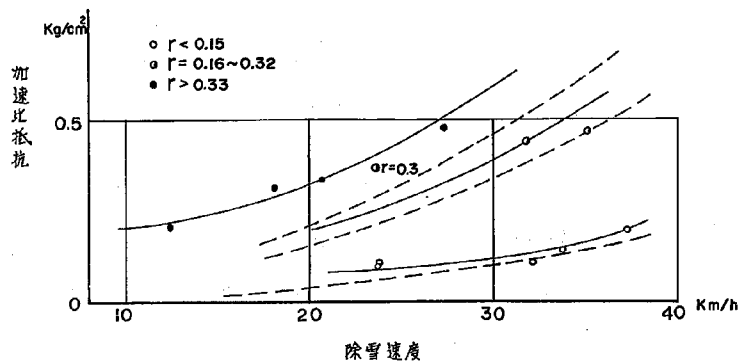


図-7 ワンウエイブラウの加速比抵抗—除雪速度

なお、資料数の多い進行角 60° 、ブラウ投雪角 50° およびワンウエイブラウについて、(11) 式のブラウ投雪角 β 、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-5、図-7 に記入した。実験条件の良い密度 0.15 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。

雪質（密度）による影響を確認するため、(15) 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° およびワンウエ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-5、図-7 と同様に各ブラウ投雪角、密度区分毎に分類して図-8、図-9 に示す。

図-5、図-7 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-8、図-9 では雪密度が 0.08 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、 $\frac{\cos \beta_1 - \cos \beta_2}{1 + \cos \beta_1}$ で示され、 50° と 30° 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2乗で増大するほか、除雪断面積、雪密度、

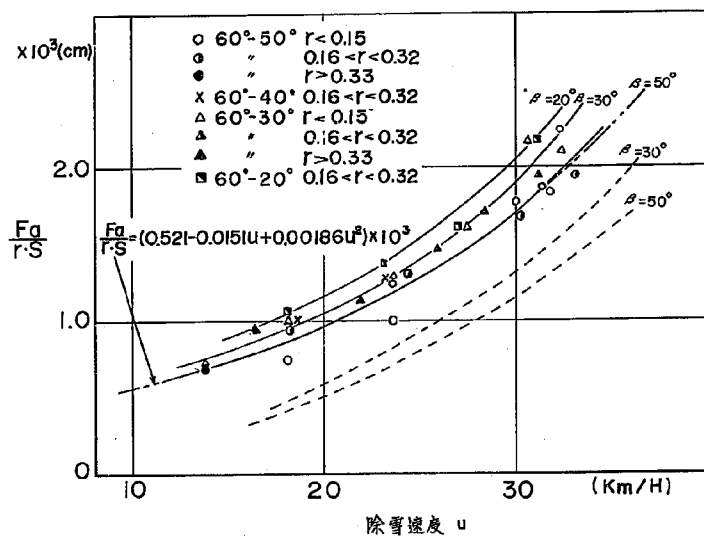


図-8 アングリングブラウの $F_a/r \cdot S$ — 除雪速度

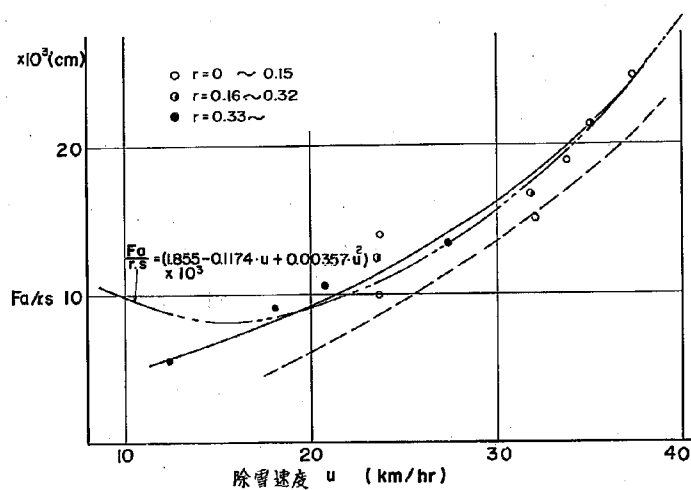


図-9 ワンウェイブラウの $F_a/r \cdot S$ — 除雪速度

ブラウ投雪角によつ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° 、 70° の資料数が少なくブラウ進行角による影響は見

出せなかつた。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° 、投雪角 50° ）、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

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

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

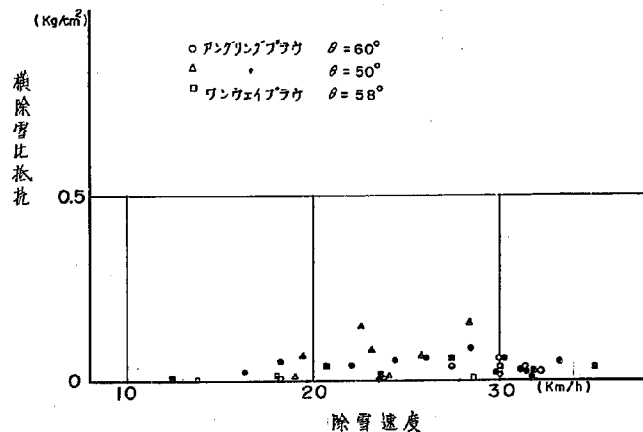
となり、この結果を図-8、図-9に2点鎖線で記入した。アングリングブラウの場合よく一致するが、ワンウェイブラウの場合測定誤差（ブラウ走行抵抗の算出による誤差が多い）等もあり 18 km/h 以上では比較的一致するが、 18 km/h 以下では、逆の傾向を示し、(21)式と実験結果は一致しない。ただし、 20 km/h 以上の高速除雪を考えるならば(20)式はそのまま使用して問題は少ないものと思われる。

3.2.2 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、ブラウ進行角によつて大きく影響される。

図-10は横荷重を除雪断面積で割つ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^2 と小さく、この程度では操作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 ton 級トラックを使用した場合、タイヤの横すべり摩擦係数¹⁾前



図—10 横除雪比抵抗—除雪速度

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わることにより、ハンドルがトラレ、除雪速度が決められることが多い。ブラウにかかる力は路面状況、対象雪密度によつ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。

3.2.3 除雪能率

除雪能率は時間当り処理量をそれに要する動力で割つた値で示され、その表示には $\text{m}^3/\text{PS}\cdot\text{h}$ 、 $\text{t}/\text{PS}\cdot\text{h}$ があるがここでは除雪量 t/h をブラウ作用馬力で割つた $\text{t}/\text{PS}\cdot\text{h}$ 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。したがつて、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つた。

除雪速度一定の場合の除雪能率と密度の関係を図—11に示す。

除雪能率は除雪速度約 24 Km/h で $20 \sim 22 \text{ t}/\text{PS}\cdot\text{h}$ 、 31 Km/h で $15 \sim 16 \text{ t}/\text{PS}\cdot\text{h}$ と除雪速度によつて大きく影響され、密度 0.1 g/cm^3 以上の雪に対しては

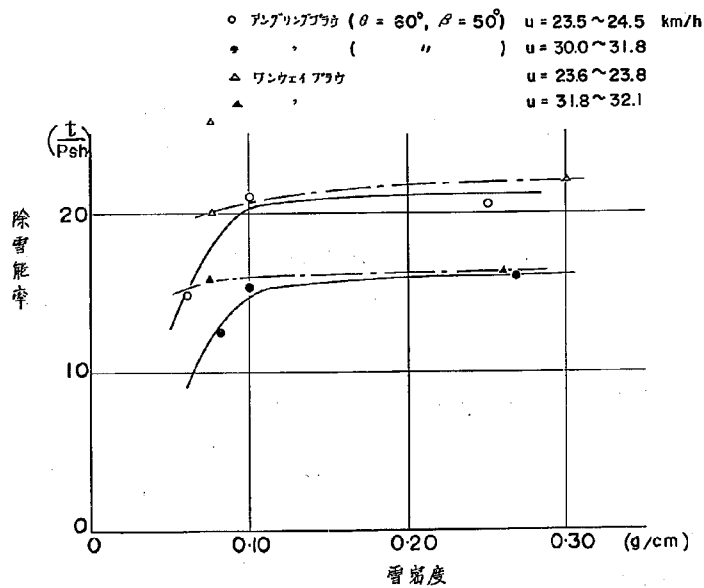


図-11 除雪能率—雪密度

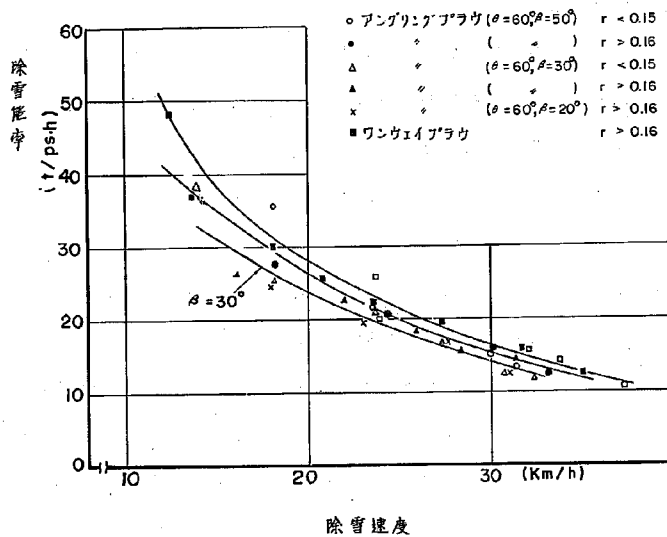


図-12 除雪能率—除雪速度

密度による影響はほとんどない。密度 0.09 g/cm^3 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。

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^3 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-12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 $t/PS \cdot h$ の作用馬力 PS の代りに、3.1で述べた雪を速度 u まで加速するに必要な理論動力(14)式を代入すると、 $t/PS \cdot h$ は $\frac{g}{(1+\cos\beta)u^2}$ となり、除雪能率 $t/PS \cdot h$ 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) $t/PS \cdot h$ 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。また、ブラウ投雪角 β 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。

3.2.4 ブラウ効率

前述の除雪能率 $t/PS \cdot h$ 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(16 m/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の式より導かれた下の(24)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-13に示す。

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

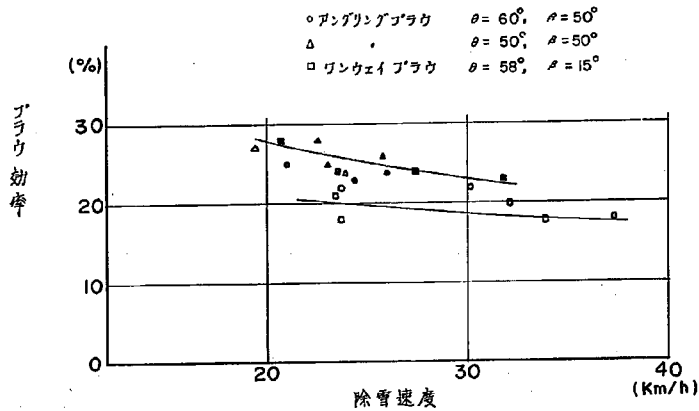


図-13 ブラウ効率-除雪速度

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、 η_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 $t/PS \cdot h$ 同様加速抵抗と除雪速度から算出したものであつて、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。したがつて、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提に当たることが多く、ブラウ効率は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、十分な結論は得られなかつた。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、ハンドルがトラレ、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。

3.2.5 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つてそのまま側方に押出されるせん断形に大別される。

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つて束縛運動をする」との報告もあるが、除雪速度（加速される雪速度）、雪質に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験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-1.4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づき、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。

雪投雪角の相異による腕荷重、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より傾向を見い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

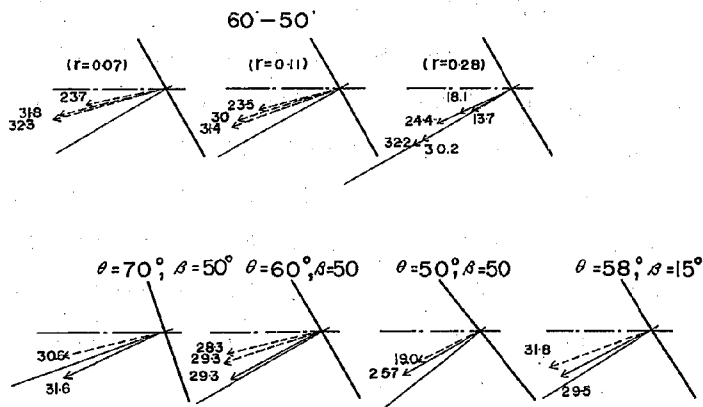


図-1.4 ブラウ進行角、除雪速度-投雪角

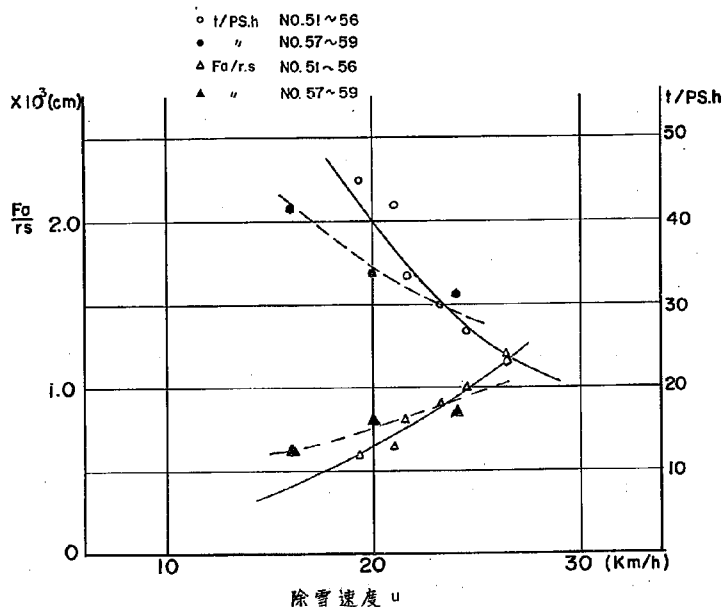


図-15 予備実験における $F_a/r \cdot s$ —除雪速度

られる。今回とくにこのための実験を行なっていないが、試験番号57~59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51~56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 $F_a/r \cdot s$ および除雪能率 $t/PS \cdot h$ と除雪速度 u の関係を図-15に示す。

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 $t/PS \cdot h$ 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。

3.2.6 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7ton級トラック（総重量約10,500kg）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 $t/PS \cdot h$ の面から有利であるワンウェイ

ブ라우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^3)
除雪深	10 cm
除雪幅	260 cm
ブ라우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(23)式より、ブ라우走行抵抗は(17)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-16に示す。

除雪トラックのけん引力は機関出力160 PSの80%を連続に使用可能な出力と

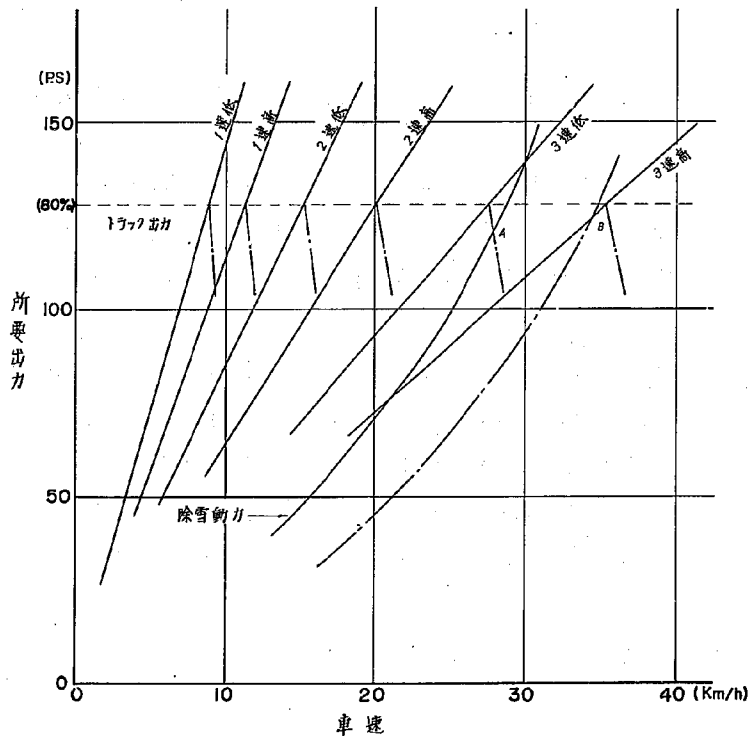


図-16 所要出力-車速

し、各速度段毎の出力を計算し同じく図-16に記入した。

図-16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2~300kg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すむ一例えば、横流れの大きな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. 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

$$F = F_W + F_0 + F_a$$

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。

$$F_W = W_1 (0.045 + 0.00106 \cdot u) \quad (25)$$

切削抵抗 F_0 のうち剪断圧縮抵抗は除雪断面積、密度などによつて異なり、密度0.1g/cm³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、

$$F_2 = W_2 (0.347 + 0.00542 \cdot u) \quad (26)$$

圧雪路面(気温が約-2~-4°Cの場合)で

$$F_2 = W_2 (0.113 + 0.00542 \cdot u) \quad (27)$$

となる。

し、各速度段毎の出力を計算し同じく図-16に記入した。

図-16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2~300kg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すむ一例えば、横流れの大きな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. 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

$$F = F_W + F_0 + F_a$$

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。

$$F_W = W_1 (0.045 + 0.00106 \cdot u) \quad (25)$$

切削抵抗 F_0 のうち剪断圧縮抵抗は除雪断面積、密度などによつて異なり、密度0.1g/cm³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、

$$F_2 = W_2 (0.347 + 0.00542 \cdot u) \quad (26)$$

圧雪路面(気温が約-2~-4°Cの場合)で

$$F_2 = W_2 (0.113 + 0.00542 \cdot u) \quad (27)$$

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 2 乗で増加するほか、ブラウ投雪角、密度、除雪断面積によつて異なる。

アングリングブラウ（ブラウ進行角 60° 、ブラウ投雪角 50° ）の場合、加速抵抗 F_a は、

$$F_a = r \cdot S (0.521 - 0.0151 \cdot u + 0.00186 \cdot u^2) \quad (28)$$

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^3
 S : 除雪断面積 cm^2
 u : 除雪速度 Km/h

- 2) 除雪能率 ($t/PS \cdot h$) 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 $0.1g/cm^3$ 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 $0.09g/cm^3$ 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距離に関係するので、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. ま と め

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距離および投雪速度の計測方法の検討、切削した雪の変形量を測定し、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、斎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科学技術庁国立防災科学技術センター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、(株)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、お礼を申し上げる次第です。

参 考 文 献

- 1) 「雪切削力第1報」 鉄道技術研究所報告 625. 245. 91
- 2) 「水力学例題演習」 松本容吉 興学館
- 3) 「金属切削理論」 エム・ローゼンベルグ著 長谷川一郎訳 東京図書(株)
- 4) 「スノーブラウの軽量化」 昭和42年度除雪研究会(於、福島県猪苗代町)資料、弘前大学 椎平長四郎

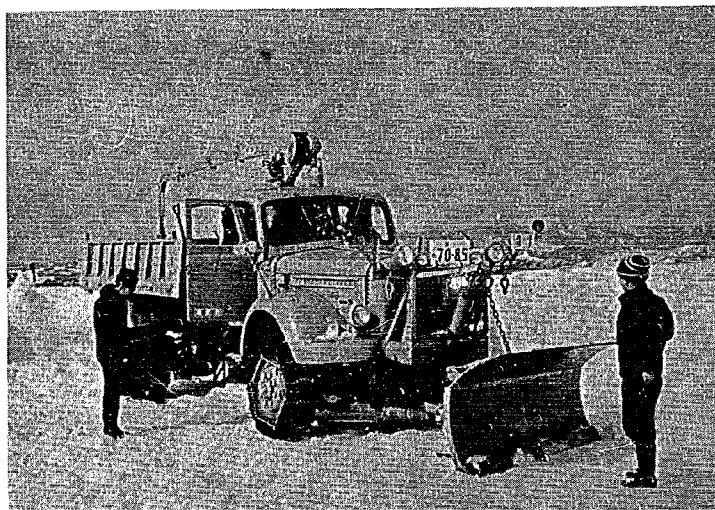


写真-1 除雪試験車（アングリングブラウ装着）

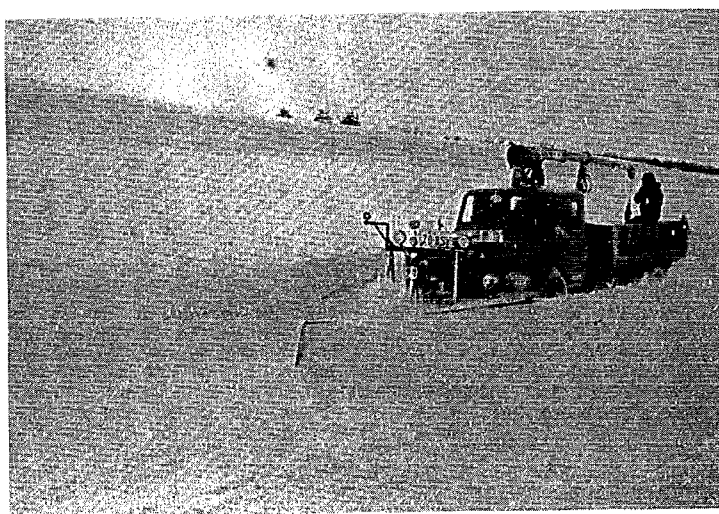


写真-2 ワンウェイブラウ（進行角 58° ）除雪速度 37.8km/h



写真-3 アングリングブラウ, 進行角 60° 投雪角 50° ,
除雪速度 83.2km/h