ロータリー除雪車の高速化に関する研究

著者	長田 忠良, 三日月 晋一, 小林 俊市
雑誌名	防災科学技術総合研究報告
号	33
ページ	55-72
発行年	1974-02-28
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002696/

防災科学技術総合研究報告　第３３号　１９７４年２月

624.144.5:625.7

ロータリー除雪車の高速化に関する研究

長田忠良・三日月晋一・小林俊市

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

On the Performance of a Car with Rotary Snow Plough in High-Speed Snow Removal

By

Tadayoshi Osada, Shin'ichi Mikazuki and Toshiichi Kobayashi

Institute of Snow and Ice Studies (Nagaoka),

National Research Center for Disaster Prevention

Abstract

Snow removing speeds of the rotary-type snow ploughs, which are used generally for snow removal from the road surface, are so slow that the development of a car with rotary snow plough for high-speed snow removal is eagerly desired.

The amount of snow to be removed in unit time increases according to the working speed, so that the snow removing capacity of the rotary snow plough attached to the car must be enlarged, and accordingly the increase in the resistance due to traction of the tractor is naturally presumed in high-speed work.

In order to obtain the data concerning high-speed snow removal, experiments were carried out using two types of test machines, one being of stationary type, and the other of mobile type. Both of these test machines are of one-stage blower type, but they were tested by equipping them with three kinds of blowers by turns which differ from each other in their axial length.

The results of the test are as follows:–

(1) Rotating speed and axial length of the blower are related to the volumetric efficiency of the rotary blower in negative correlation and to the amount of snow to be removed in positive correlation.

(2) Entering distance l (m) of snow into the rotary blower is considerably affected by the working speed V (km/h). In the case of cutting snow at the tip of blower blade, the relation of l and V is as follows:

$$l = 0.474 \times 0.013\ V.$$

(3) Required engine power of blower for snow collecting work can be expressed by the following formula: $L_S = L_1 + cW$, where L_S: required engine power; W: amount of snow to be removed; c and L_1: coefficients. The values of these coefficients increase in proportion to the rotating speed of the blower.

(4) Rolling resistance F_r(kg) of the tractor and the frontal part resistance F_S(kg) of the snow removing equipment are obtained by the following formulas: $F_r = G\ (0.0721 + 0.00042V)$, and $F_S = S\ (0.0419 + 0.0041V + 0.00045V^2)$, where G: weight of rotary snow plough in kg; V: working speed in km/h; S: area of transverse section of snow in cm^2.

要　旨

一般に使用されているロータリー除雪車の作業速度があまりにもおそいので，高速除雪車の開発が望まれている．

高速除雪車による単位時間の除雪量を増加するため，除雪能力は大きくしなければならない．そして高速作業では当然トラクタのけん引抵抗の増加が見込

まれる．

そこで，定置式と自走式の二つの試験機を用いて，高速除雪に必要な資料を得るための実験を行なった．試験機はいずれもワンステージ式ブロア型で，それぞれの試験機に，軸長の異なる種類のブロアをつけて実験した．実験結果は次のとおりである．

(1)　ブロアの回転速度と軸長は，体積的な効率とは負の相関を有し，除雪量とは正の相関関係にある．

(2)　ブロアへの進入距離 l (m)は，除雪速度 V（km／h）によって大きく影響される．ブロアブレード先端で雪を切削した場合では　$l = 0.474 \times 0.013 V$ であった．

(3)　ブロア除雪動力は，$L_S = L_1 + cW$ で表わされ，ここで L_S はブロア動力，W は除雪量，c，L_1 は係数である．

係数の値は，ブロア回転速度に比例して増大する．

(4)　自走抵抗 F_T（kg）と除雪装置の前面抵抗 F_S（kg）は次のとおりである．

$$F_T = G(0.0721 + 0.00042V),$$

$$F_S = S(0.0419 + 0.0041V + 0.00045V^2).$$

ここで，G はロータリー除雪車の重量（kg），V は除雪速度（km／h），S は除雪断面積（cm^2）である．

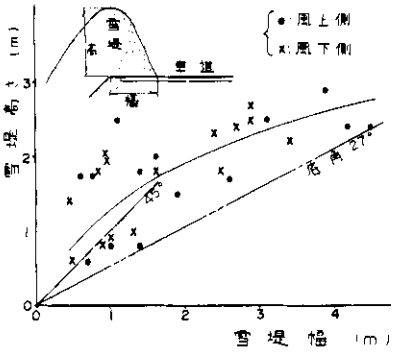


図１　雪堤の幅と高さ
Fig. 1. Height and width of snow banks.

1.　まえがき

道路除雪において，速度のおそいロータリー除雪作業は，激増する交通に対して障害になるばかりでなく，台数的にも多くの機械を必要とするので，省力化の面においても問題となり，高速ロータリー除雪車開発の要望が大きい．

ロータリー除雪車の主作業は拡幅除雪であり，最近では車両通行幅を大きくするために除雪回数を多くして，１回の除雪断面積は小さくなっているとはいえ，高速作業によって処理雪量は多くなり，大きな処理能力を有するロータリー除雪車が要求される．

ロータリー除雪作業を高速化するには，走行抵抗の増加に対して十分な出力を有する走行用機関の採用とともに，除雪装置自体の処理能力の増大を図らなければならない．

除雪装置の処理能力は，装置の体積的な能力と雪を加速投出するために必要な動力的な能力の二つによってきまる．大能力化についての現在までの一般的傾向としては，寸法的に在来機種の大型化によるものが多く，重量的にもこれ以上の大型化は問題であり，実用上からも限界がある．

現在，最も能力の大きいとみられる除雪車をみると，比較的密度の小さい雪では装置自体の体積的な能力の不足がみられ，その解決方法が問題となってきた．装置の体積的な能力には，投雪機構の直径，軸長および回転速度が関係し，これらを大きくすることによって，能力の増大は期待できるが，直径および回転速度の増大は，投雪機構の円周速度を速め，雪を必要以上に加速して投げ出すことになって，動力的な損失が大きいことになる．この中で軸長は投雪エネルギーに直接影響することがないので，軸長が体積的処理能力の向上とどのような関係を有するものであるか究明する必要がある．

したがって，今回の総合研究の一項としてとり

あげられたロータリー除雪車の高速化に関する研究では，高速時における走行抵抗の把握および投雪機構の軸長を変えたときの処理能力の変化を求めることを主に，実験研究を進めた．

研究方法としては，固定して実験ができる定置試験機によって基礎的な実験観察を行ない，次に実用的な規模の大型試験機を用いて除雪実験を行ない，動力的な得失および処理能力の増大について考察を行なった．

2. 拡幅除雪断面

ロータリー除雪車の主作業は前述のように拡幅除雪作業であり，一般の拡幅除雪では除雪断面の形状がどのようなものであるか知ることが必要であり，この形状によってロータリー除雪機構が当然変化してくる．

雪堤断面形状調査資料（日本建設機械化協会，1968）のうち，ガードレールまたはケーブル等の設置してある盛土部分で，雪堤の切落しをしていない個所について，雪堤幅と雪堤高さを示したのが図1である．ここで，雪堤の最高所から底面の端まで雪面が直線的に結ばれるものとして，雪堤の底角をみると最低は27°，平均的な値はほぼ45°程度とみられる．

これとは別に，大型ロータリー除雪車性能試験結果（長田ほか，1968）での拡幅除雪断面積の平均は約0.6 m² であり，したがって底角45° で0.6 m² の除雪断面積とすると，幅1.1 m，高さ1.1 mの三角断面が平均的な拡幅除雪断面と考えられる．

これらのことから，拡幅除雪作業では，除雪装置の回転部分全部が除雪断面でおおわれることは少なく，除雪装置の大型化によって，その割合はさらに小さくなるといえる．また，プラウ等の一次除雪によって乱されているため，雪堤の雪質は一様でなく，除雪装置の先端が接触してくずれ落ちることが多くなり，投雪機構中空部への積雪の進入はあまり期待できない．したがって，拡幅除雪作業では，投雪機構先端部で雪をかき込む割合がきわめて多くなるといえる．

3. 定置試験機による実験

この実験では，投雪ブロア軸方向への雪の進入状況，除雪能率，投出口における雪速度等の測定観察を行ない，ブロア型除雪装置の特性を知ることを目的とした．

3.1 試験機および実験方法

除雪装置内部における雪の動きの測定観察を行なうには，除雪車が移動しては困難である．そのため除雪試験装置を定置化し，走行台車で雪を供給する方法で実験を行なうことにした．除雪試験装置の大きさは，実用的な大規模のものが望ましいが，処理能力が大きくなるので，台車の供給能力を考慮して，中規模のものとした．

表1 ブロアの仕様
Table 1. Specifications of the blowers.

区　　分	A	B	C
直　径（cm）	50	50	50
軸　長（cm）	25	37.5	50
ブレード形状	平　面	平　面	平　面
ブレード数（枚）	4	4	4
ブレード取付板形状	円　板	円　板	円　板

A, *B*, *C* ともブレード先端に，すくい角60°，幅7 cm，長さ5 cmの切刃付き．

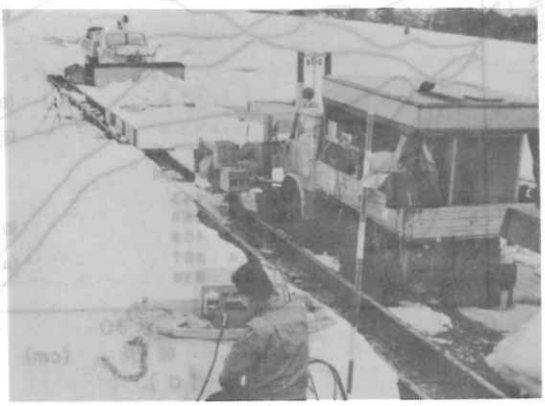


写真1 定置試験装置
Photo 1. General view of stationary snow removal equipment for experiment.

除雪試験装置はブロア型で，2W400型特殊作業用トラクタの左前方に装着した．ブロア部分は，走行台車上につり下げて実験を行なうため，車体側方に出して取付け，地上面から50 cmの範囲の任意の高さに設定できるように，トラクタ前方の支持フレームに，昇降マストを有している．ブロアは，トラクタ荷台に積載したディーゼル機関によって駆動する．

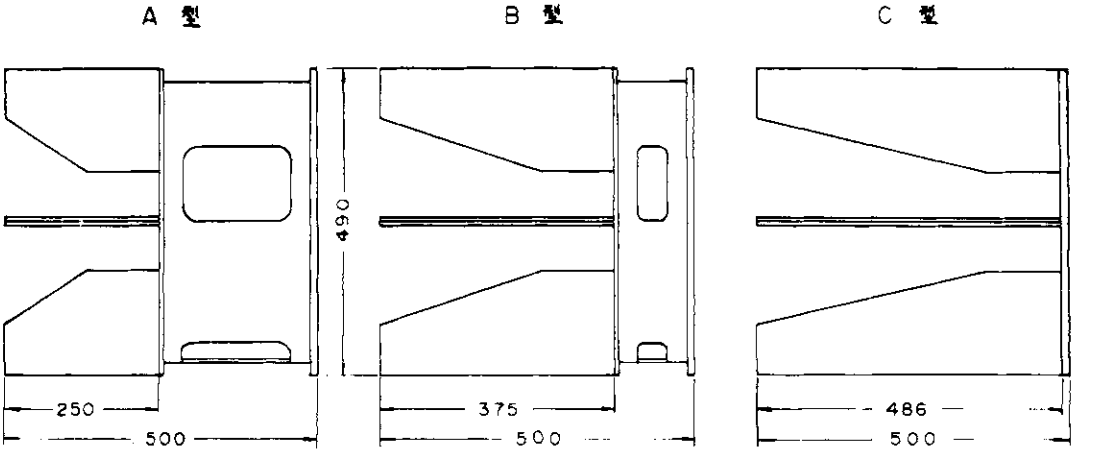


図２　実験用ブロア

Fig.2.　Three kinds of blowers for experiments on snow removal.

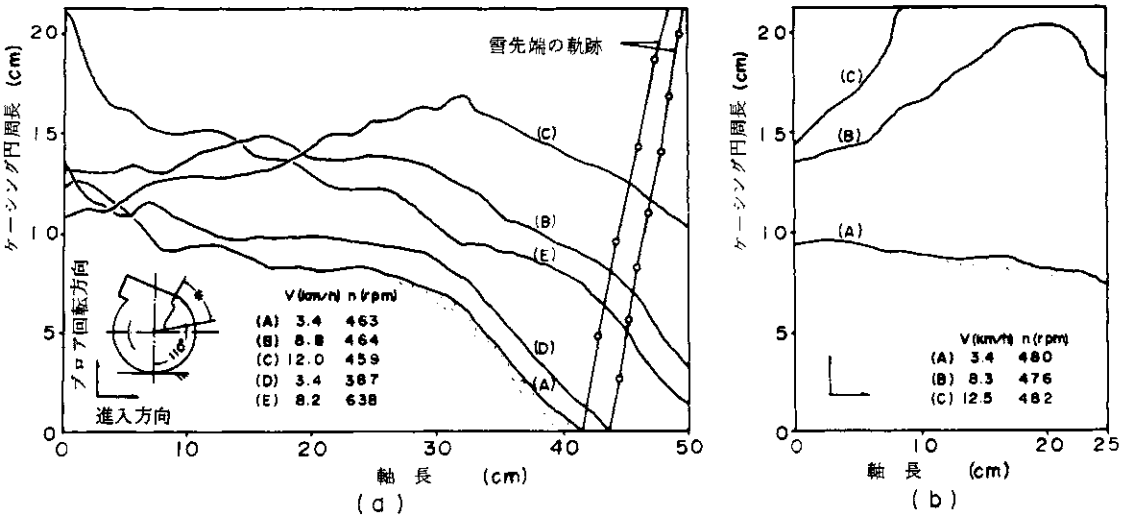


図３　ブロアへの雪の進入状況

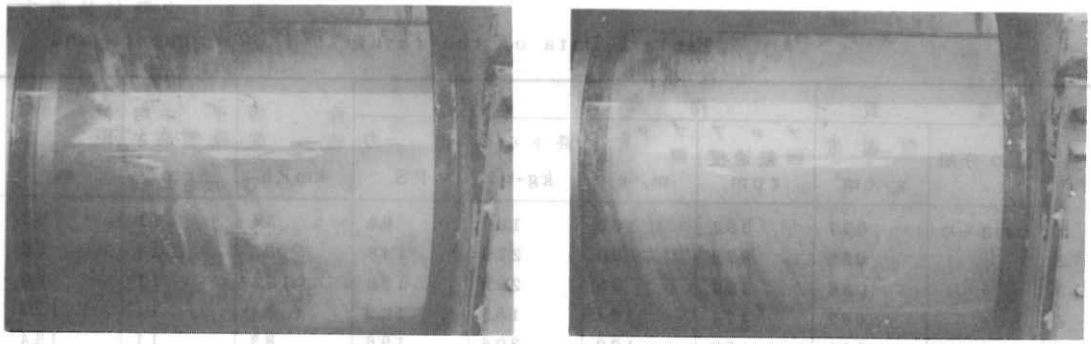
Fig.3.　Entered state of snow into the blower.

ブロアケーシングの大きさは直径50cm，軸長すなわち奥行き長さが最大50 cmのブロアまで装着が可能なものとし，ブロアは表１および図２に示すような，軸長の異なる３種類を用いた．除雪能率を求める実験などでは，鋼板製ブロアケーシングを用いたが，雪の進入状況を観察する実験では，厚さ10mmの透明塩化ビニール板製のケーシングを使用した．

雪供給用の走行台車は長さ５m，幅１mで，リップ付溝形鋼のリップ部分をガイドとして作った長さ40mのレール上を走行するもので，レール端に設置したエンドレスウインチによってロープでけん引されるものである．

ウインチ用動力源として，5.5 kWの電磁ブレーキ付き電動機を使用した．

ブロア所要動力を求めるために，機関からブロアに至る伝導軸にひずみ計式トルクメータを組込み，また回転速度は，機関の弁軸調時歯車（tim-



(a)
除雪速度：3.4 km/h
ブロア回転速度：467 rpm

(b)
除雪速度：8.2 km/h
ブロア回転速度：464 rpm

写真2　雪の進入状況
Photo 2. Entered state of snow into the blower.

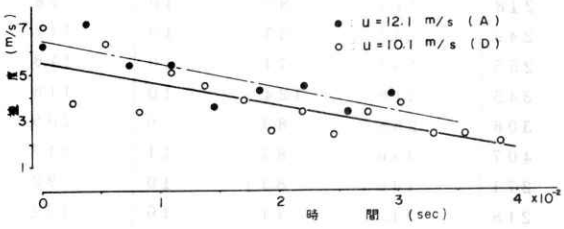


図4　雪の進入速度
Fig. 4. Entering velocity of snow into the blower.

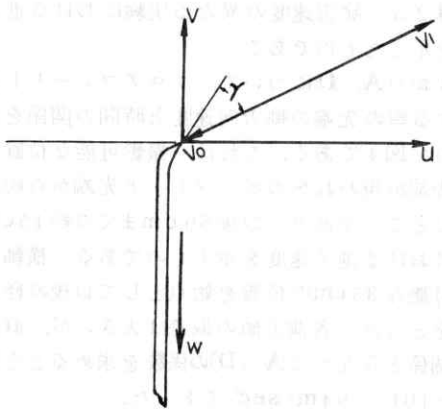


図5　速度線図
Fig. 5. Diagram of velocity of blower blade and snow.

ing gear）の軸より回転を取出し，カム・マイクロスイッチ装置によってパルス信号を発生させ，これらのひずみ量およびパルス出力を記録計に記録させた．

除雪速度に相当する台車走行速度は，台車にカムを，またレールに1m間隔で5個のマイクロスイッチを取付けたパルス発生機構による信号を，同じく記録計に記録させて求めた．除雪量は，走行台車の前後および中央の3個所で測定した雪の厚さ，密度と除雪幅および台車速度から算出した．試験装置の全景を写真1に示す．

3.2　実験場所および日程

実験は昭和45年2月23日から3月31日までのうちの11日間に雪害実験研究所構内で実施した．

3.3　実験結果および考察

3.3.1　雪の進入状況

ブロア先端部で切削加速された雪は，ブロアブレード面に沿ってブロア軸方向にどのように進入しているか．

ブレードがシュート出口まで回転する間に進入した雪がブレード取付板に到達するときは，次の雪の進入に影響を及ぼすことになる．

ブロアブレード面における雪の進入の測定例を示したのが図3である．これは，ブロアケーシングを透明塩ビ板に変えて，除雪装置の側面すなわちブロア軸と直角な方向から高速度撮影機で撮影し（撮影速度250～300 pps，時間マーカ1／100 sec），ブロアブレードが最下端から約110°回転した位置におけるかきあげた雪とブロアケーシング内面との接触面を展開したものである．

表2　定置試験機実

Table 2. Data of the results of experiments and

整理番号	雪質		作業機				除雪速度	平均除雪高さ	投雪距離
	雪の分類	雪密度 g/cm³	ブロア回転速度 rpm	ブロア周速 m/s	終トルク kg·m	出力 PS	km/h	cm	m
1	ぬれざらめ	0.57	382	10.0	16.9	9.0	3.4	11	9.3
2	〃	0.56	379	9.9	27.9	14.8	8.3	11	9.6
3	〃	0.56	380	9.9	29.8	15.8	11.3	11	9.6
4	〃	0.62	474	12.4	18.5	12.3	3.4	11	12.5
5	〃	0.61	458	12.0	30.6	19.6	8.3	11	13.4
6	〃	0.57	465	12.2	34.3	22.3	11.3	11	12.1
7	〃	0.59	633	16.6	21.0	18.5	3.3	11	15.4
8	〃	0.58	630	16.5	34.5	30.4	7.6	11	17.7
9	〃	0.57	636	16.6	43.9	39.0	11.3	11	16.0
10	〃	0.61	708	18.5	24.4	24.1	3.4	11	15.5
11	〃	0.64	703	18.4	41.9	41.2	8.5	11	19.7
12	〃	0.64	724	18.9	52.7	53.2	11.3	11	23.0
13	〃	0.54	381	10.0	21.8	11.6	8.0	10	7.8
14	〃	0.64	467	12.2	24.9	16.2	3.3	10	11.2
15	〃	0.54	458	12.0	25.5	16.3	7.4	10	11.8
16	〃	0.57	454	11.9	34.5	21.8	12.4	10	11.8
17	〃	0.56	628	16.4	30.6	26.8	8.3	9	20.5
18	〃	0.60	644	16.9	40.7	36.6	8.3	11	21.7
19	〃	0.61	385	10.1	27.1	14.6	8.3	10	9.2
20	〃	0.61	467	12.2	21.8	14.2	3.4	10	12.2
21	〃	0.65	464	12.1	30.6	19.9	8.2	10	12.7
22	〃	0.60	464	12.1	39.5	25.6	12.4	11	12.3

図3(a)は，軸長50cm，(b)は25cmのブロアのものである．図中の白点は，ブロアブレードがチムニーに達するまでの進入雪の先端の軌跡を示す．

(a)において，除雪速度3.4 km/hの2例は，ブロアブレードが最下端から135°回転し，チムニー取付部でようやくブレード取付板に達する状態であったが，除雪速度8km/h以上では撮影範囲（最下端から80°回転以上の部分）にはいる時点ですでにブレード取付板に達している．

軸長25cmブロアは，除雪速度8.3 km/hの場合ブロア取付板に衝突後圧縮されて，ブレード上の雪の盛り上がりがみられ，軸長50cmのブロアでは，除雪速度12km/hでその傾向が現われている．

図3から，雪の進入距離はブロア回転速度よりも除雪速度に大きく影響されることがわかる．除雪速度に比例して進入距離が大きくなることは，ロータリー除雪車の高速化にとってきわめて有利なことである．

写真2は，除雪速度の異なる実験における進入状況を示したものである．

図3(a)の(A)，(D)について，ブロアブレード上を移動する雪の先端の軸方向速度と時間の関係を示したのが図4である．これは，撮影可能な位置に雪の先端が現われたのが，ブレード先端から約35cmのところであり，以後50cmまでの約15cmの間における進入速度を示すものである．横軸は，解析可能な35cmの位置を始点として以後の経過時間をとった．各測定値の偏差は大きいが，直線的な関係とみなして(A)，(D)の係数を求めるとそれぞれ−101，−94m/sec² であった．

雪の進入距離についての考察を行なうために図5のように除雪速度v，ブロア周速度uで積雪を切削するブレード面における雪の流れを考える．

験および計算結果
calculations for the stationary-type test machine.

除雪量		作業能率		動力効率	除雪効率	体積効率	ブロア型式
m^3/h	t/h	$m^3/PS\cdot h$	t/PS・h	%	%	%	
203	115	22.6	12.8	24.1	22.0	18.9	A
488	274	33.0	18.5	34.4	32.9	45.8	〃
663	371	42.0	23.5	43.9	41.7	62.0	〃
202	125	16.4	10.2	29.5	23.5	15.1	〃
490	297	25.0	15.2	41.1	37.6	38.0	〃
663	381	29.7	17.1	47.8	38.2	50.7	〃
193	115	10.4	6.2	32.2	17.7	10.8	〃
446	257	14.7	8.5	43.4	27.7	25.2	〃
663	375	17.0	9.6	50.3	28.5	37.0	〃
202	122	8.4	5.1	32.8	14.5	10.1	〃
499	318	12.1	7.7	49.4	28.1	25.2	〃
663	421	12.5	7.9	53.7	33.7	32.5	〃
449	244	38.7	21.0	39.5	30.4	21.4	C
183	117	11.3	7.2	20.4	15.0	7.1	〃
392	211	24.0	12.9	35.1	28.3	15.5	〃
661	377	30.3	17.3	46.1	37.8	26.4	〃
395	222	14.7	8.3	42.2	31.4	11.4	〃
511	308	14.0	8.4	45.2	33.8	18.7	B
465	285	31.8	19.5	37.4	33.2	28.4	〃
190	115	13.4	8.1	22.8	18.3	9.6	〃
459	298	23.1	15.0	41.7	35.2	23.3	〃
731	440	28.6	17.2	47.9	39.1	37.1	〃

ブレード先端の積雪に対する相対速度は$V_1=\sqrt{v^2+w^2}$であり，先端部分における減速率をλ，ブレード面の雪の減速割合を一定のαと仮定する．切削開始からt時間後の切削雪の進入距離l_bは一般に

$$l_b=\sqrt{v^2+w^2}\,\lambda t+\frac{\alpha t^2}{2}. \qquad (1)$$

tはブレードが切削を開始してからチムニーに達するまでに要する時間で，その間のブレードの回転角度δと単位時間当りのブロア回転数nから$t=\delta/360n$であり，さらにブロア径をDとすると$w=\pi Dn$であるので(1)式は

$$l_b=\frac{\delta}{360n}\left\{\sqrt{v^2+(\pi Dn)^2}\,\lambda+\frac{\alpha\delta}{720}\right\} \qquad (2)$$

実験は，密度が0.5 g/cm³のざらめ雪の場合だけだったので，雪質とλ，αとの関係は不明であるが，いずれにしても，除雪速度をあげることによって進入距離が大きくなる．

図4における減速割合αの値を用いて，(A), (D)について(2)式によってλを逆算してみると0.84，0.98となりブレード先端部における雪の進入速度は除雪速度およびブロア周速度の合成速度に比較的近かったことが推定される．

vとl_bの関係についての観察結果からいえることは，vが大きくなることによって，装置前面に雪の盛り上がりがみられ，事実上の除雪高さが大となりδが大きくなること，そしてブロア中空部分で軸方向に積雪がはいり込んだところで切削されるために，進入距離が大きくなるとみられることである．したがって，ブロアの体積的処理能力を向上させるには，除雪高さが小さい場合にはブロア前面における実際の除雪高さを高めることも重要なことといえる．

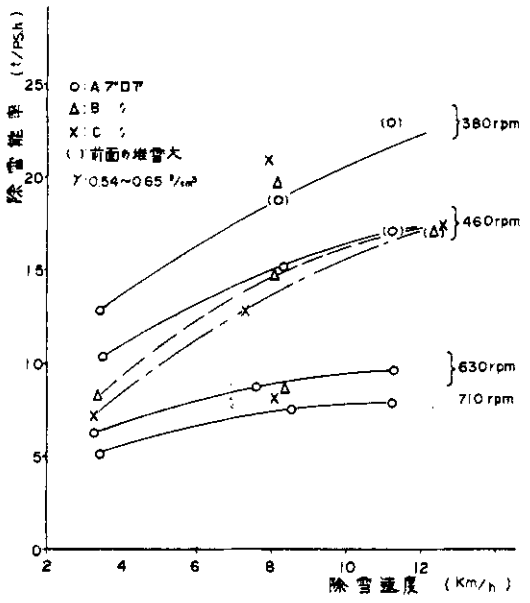


図６　除雪速度と除雪能率

Fig.6. Relation between working speed and snow removal performance.

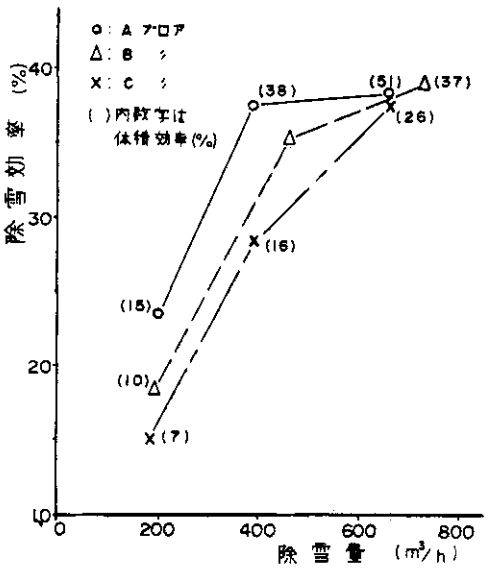


図７　除雪量と除雪効率

Fig.7. Relation between the amount of removed snow and the snow removal efficiency.

3.3.2　除雪能率

動力的な特性を求めるために行なった実験結果を表２に示す．

動力的特性の表現として１馬力１時間当りの除雪重量すなわち除雪能率（ t／PSh ）が適切と考えられるので，この表示によって検討することとし，馬力としては計測した実除雪馬力を使用した．

図６は除雪速度と除雪能率を示したものである．このときの除雪高さは９～１１ｃｍであったので，横軸は除雪量（ m^3／h ）におきかえて考えることができるものである．

ブロア回転速度によって除雪能率は異なるが，これはブロア周速度の差によって雪の加速エネルギーが異なるためであることは明確であるが，同一回転速度においては除雪速度を上げて雪の供給量を増すことが，除雪能率を上げることになる．今回の実験では走行台車に雪をのせて供給する方式をとっているため，除雪試験装置前面の切削刃（cutting edge）における抵抗が，走行台車上面と雪の摩擦抵抗より大きくなり，雪を前方へ押すことになって，供給量の多いときの実験が不十分であったが，さらに供給量を増した場合には，ブロア内における圧縮およびブロアブレードやケーシング内面との摩擦抵抗の増大による損失のため，除雪能率が低下するものとみられる．

ブロア回転速度460ｒｐｍ で，除雪量の少ないときには，軸長の長いブロアの方が除雪能率は小さく，３種のブロアの差は大きいが，除雪量を増していった場合に，その差は小さくなり，時速12 km／h でA，B，Cともほぼ同じ値となった．この時点でAブロアではいったんブロア内にはいった雪が前方に吐き出され，ブロアブレード面で雪を多くかかえ込むことができなかったことが認められた．これはブレードの形状が単純な平面板であったこと，奥行きが小さいことが原因しているものと考えられる．

3.3.3　除雪効率

除雪量と除雪効率の関係を示したのが図７である．ブロア回転速度460ｒｐｍのもので，添え字は体積効率（後述）である．

除雪能率は投雪距離の要素が含まれていないので，機械の性能を示すものとはいえない．したがって投雪距離の要素を含めた効率として，実際に測定された投雪距離だけ投てきするに必要な理論的な動力と実際に要した動力の比率を除雪効率としたものである．投げ出された雪は広がりをもっているので，投雪距離の測定はむずかしいが，た

またま定置式の試験機であったので，投雪場を平たんにならし，投げ出された雪の最大落下場所をとらえることができた．

除雪効率は除雪量を増加することによって上昇するが，体積効率がある程度大きくなると増加率は小さくなる傾向がみられる．図6にもみられるように，除雪能率は除雪量に比例して大きくなるが，ある程度大きくなると増加の割合は小さくなってくる．それと同じように，除雪量が多くなると投雪距離の低下がみられ，この二つの原因によって除雪効率の増加率を小さくしている．投雪距離低下の一つの原因として，1枚のブレードですくう雪の厚さが厚くなると，十分に加速されずに投げ出される雪粒子が多くなることが考えられ，すくい面の広い軸長の長いブロアが効果的であると思われる．

3.3.4 投雪速度

ブロアより投げ出される雪の速度の写真解析を試みた．速度測定範囲は，チムニー出口から50cmの間で，その間の平均速度を求めたものである．雪の速度とブロア回転速度から求めたブロア周速度との比と，ブロア周速度の関係を図8に示す．

ブロア周速度12m／sec以上の実用的な範囲では，雪の速度はブロア周速度とほとんど同じであるが，10m／secでは急激に低下する傾向がみられ，チムニー内部の摩擦抵抗いかんでは，つまりが急激に生じやすくなるものとみられる．

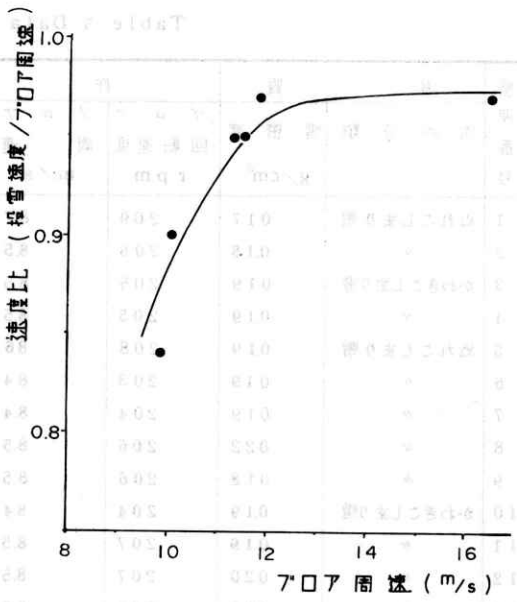


図8 雪とブロアの周速比

Fig. 8. Ratio of snow casting speed and circumferential speed of the blower.

4. 大型試験機による実験

定置試験機の実験で，ブロアへの雪の進入，除雪能率などからブロア軸長を大きくすることが，体積的動力的処理能力の向上に効果的であることがほぼ確認されたが，装置の大きさを実用機に近いものにした場合について，研究する必要があり，大型試験機を試作し現場除雪実験を行なった．

4.1 試験機および実験方法

除雪装置は，ブロアブレード4枚，先端にはすくい角60度の切刃を有する直径が80cmのブロアで，有効軸長はセパレータで40，60，80cmの3段階に調節できるものである．ブロア数は1個で，トラクタの前部左側に装着し，定置試験機と同じくトラクタ荷台に積載したディーゼル機関で駆動するものである．ブロア右側には残雪によってトラクタの走行が不安定になるのを防ぐため，進行角約55度の円錐型ブラウを取付けた．

試験機を図9および写真3に，トラクタ仕様を下に示す．

トラクタ 仕様

形　　式：三菱2W400型特殊作業車，
走行形式：総輪駆動，
走行速度：0.86～41.5km/h，
走行用機関：作業時最大出力38PS／2,500rpm，
　　走行時最大出力60PS／4,000rpm，
除雪用機関：連続定格出力135PS／1,800rpm，
　　作業時最大出力152PS．



写真3 大型試験機

Photo 3. A mobile-type test machine.

表３　大型試験機実

Table 3. Data of the results of experiments and

整理番号	雪質		作業機				走行		
	雪の分類	雪密度 g/cm³	プロア回転速度 rpm	プロア周速 m/s	終トルク kg·m	出力 PS	速度 km/h	除雪比抵抗 kg/cm²	出力 PS
1	ぬれこしまり雪	0.17	209	8.7	31.0	9.1	1.0	0.056	2.6
2	〃	0.18	206	8.5	95.9	27.6	3.1	0.077	10.4
3	かわきこしまり雪	0.19	205	8.5	102.1	29.2	8.5	0.127	24.9
4	〃	0.19	205	8.5	125.3	35.9	10.7	0.049	25.4
5	ぬれこしまり雪	0.19	208	8.6	28.1	8.2	1.1	0.050	2.5
6	〃	0.19	203	8.4	57.7	16.4	2.2	0.045	5.3
7	〃	0.19	204	8.4	119.2	34.0	4.1	0.100	15.3
8	〃	0.22	206	8.5	150.5	43.2	7.4	0.129	26.1
9	〃	0.18	206	8.5	50.2	14.4	1.1	0.064	3.1
10	かわきこしまり雪	0.19	204	8.4	49.9	14.2	2.1	0.028	5.0
11	〃	0.19	207	8.5	65.5	18.9	3.0	0.055	8.1
12	〃	0.20	207	8.5	94.1	27.2	4.3	0.059	12.7
13	〃	0.20	208	8.6	111.9	32.4	4.2	−	−
14	〃	0.19	204	8.4	125.1	40.5	8.3	0.085	25.1
15	〃	0.18	209	8.7	70.9	20.7	4.4	0.060	12.4
16	〃	0.19	210	8.7	116.7	34.2	9.9	0.111	27.4
17	〃	0.19	209	8.6	114.0	32.6	11.4	0.051	25.8
18	ぬれざらめ雪	0.41	211	8.7	42.0	12.4	4.0	0.028	7.7
19	〃	0.41	211	8.7	80.1	23.6	8.4	0.105	17.6
20	〃	0.41	208	8.6	114.8	33.3	12.1	0.091	27.6
21	〃	0.42	208	8.6	103.5	30.1	12.5	0.154	27.0
22	〃	0.39	208	8.6	74.9	21.8	8.5	0.116	16.5
23	〃	0.39	212	8.8	47.1	14.0	4.1	0.061	7.7
24	ぬれしまり雪	0.25	297	12.4	116.8	48.7	3.6	0.041	9.4
25	〃	0.26	302	12.5	76.2	32.2	3.8	0.079	7.8
26	〃	0.27	302	12.5	118.6	49.9	8.1	0.116	18.0
27	〃	0.27	298	12.3	154.0	64.0	13.7	0.087	29.3
28	ぬれこしまり雪	0.17	302	12.5	55.8	23.5	4.2	−	8.7
29	〃	0.17	301	12.4	86.0	36.1	8.8	0.100	17.2
30	〃	0.17	291	12.0	135.8	55.2	15.1	0.034	28.1
31	かわきこしまり雪	0.19	358	14.8	102.8	51.4	4.0	0.038	9.9
32	〃	0.19	353	14.6	176.3	86.9	9.8	0.130	26.1
33	〃	0.19	355	14.7	213.0	105.5	11.3	0.039	26.6
34	〃	0.18	370	15.3	90.7	46.9	4.1	0.070	10.8
35	〃	0.18	351	14.5	175.8	86.1	8.5	0.136	25.8
36	〃	0.18	346	14.3	203.7	98.5	14.6	0.074	32.5
37	ぬれざらめ雪	0.42	366	15.2	65.8	33.6	4.3	0.076	9.2
38	〃	0.40	360	14.9	121.1	60.7	8.2	0.096	17.2
39	〃	0.40	359	14.8	160.8	83.6	11.3	0.081	22.8

験および計算結果

calculations for the mobile-type test machine.

平均除雪高さ	投雪距離	除雪量		作業能率		動力効率	除雪効率	体積効率	ブロア寸法比
cm	m	m^3/h	t/h	m^3/PS・h	t/PS・h	%	%	%	
70	7.5	524	89	57.9	9.8	13.8	13.6	21.4	0.5
71	6.7	1,620	293	60.2	10.9	14.8	13.6	67.0	〃
35	6.2	1,790	331	61.5	11.4	15.4	13.0	74.4	〃
39	5.6	2,287	423	63.6	11.8	16.0	12.2	95.1	〃
55	7.4	498	94	60.9	11.5	16.1	15.8	13.6	0.75
56	7.1	1,066	207	65.0	12.6	16.9	16.6	29.8	〃
63	6.6	2,346	441	69.7	13.1	17.6	16.0	65.3	〃
63	6.5	2,751	615	63.7	14.2	19.5	17.1	75.9	〃
75	6.8	658	119	45.7	8.3	11.3	10.4	13.7	1.0
55	7.2	992	190	69.9	13.4	18.0	17.9	20.9	〃
55	7.2	1,354	259	71.6	13.7	18.9	18.2	28.2	〃
55	7.0	2,239	441	82.5	16.2	22.4	20.9	46.6	〃
66	6.7	2,456	479	75.7	14.8	20.6	18.2	58.8	〃
53	6.6	3,733	700	92.3	17.3	23.1	21.0	78.8	〃
44	5.9	1,367	250	66.4	12.2	17.2	13.1	28.2	〃
33	5.7	2,577	500	75.6	14.7	20.9	15.5	52.8	〃
37	5.9	2,909	564	88.7	17.2	24.2	18.9	59.9	〃
18	7.0	610	249	49.2	20.1	28.9	26.0	24.6	0.5
19	6.7	1,233	500	52.5	21.3	30.5	26.3	49.8	〃
18	5.5	1,849	747	55.5	22.4	32.3	22.8	75.7	〃
16	6.4	1,499	634	49.7	21.0	29.4	24.9	31.0	1.0
18	7.1	1,140	442	52.4	20.4	28.3	26.6	23.6	〃
18	6.9	590	227	42.4	16.3	23.5	20.7	12.0	〃
40	14.4	1,201	303	25.4	6.4	17.7	16.6	34.5	0.5
40	14.3	708	187	22.0	5.8	17.1	15.4	20.0	〃
40	13.4	1,530	409	30.7	8.2	24.1	20.3	43.2	〃
39	12.8	1,769	479	27.6	7.5	21.5	17.7	50.6	〃
24	11.7	659	109	28.5	4.7	13.7	10.0	9.4	1.0
23	11.2	1,583	263	43.8	7.3	21.3	15.1	22.6	〃
23	11.1	2,709	450	48.9	8.1	22.3	16.7	40.1	〃
33	17.6	973	187	19.0	3.6	15.1	11.8	23.2	0.5
37	17.9	2,153	413	25.5	4.9	19.1	15.7	52.0	〃
39	16.5	3,050	586	28.9	5.5	22.6	16.9	73.2	〃
33	18.1	959	175	20.4	3.7	16.6	12.5	11.2	1.0
37	16.2	2,227	408	25.9	4.7	18.8	14.2	27.3	〃
35	16.1	3,383	619	34.4	6.3	24.3	18.7	42.1	〃
16	16.5	493	207	14.7	6.2	26.7	18.8	11.5	0.5
18	19.2	1,126	450	18.6	7.4	31.0	26.3	26.6	〃
19	19.1	1,690	669	20.2	8.0	33.3	28.3	40.1	〃

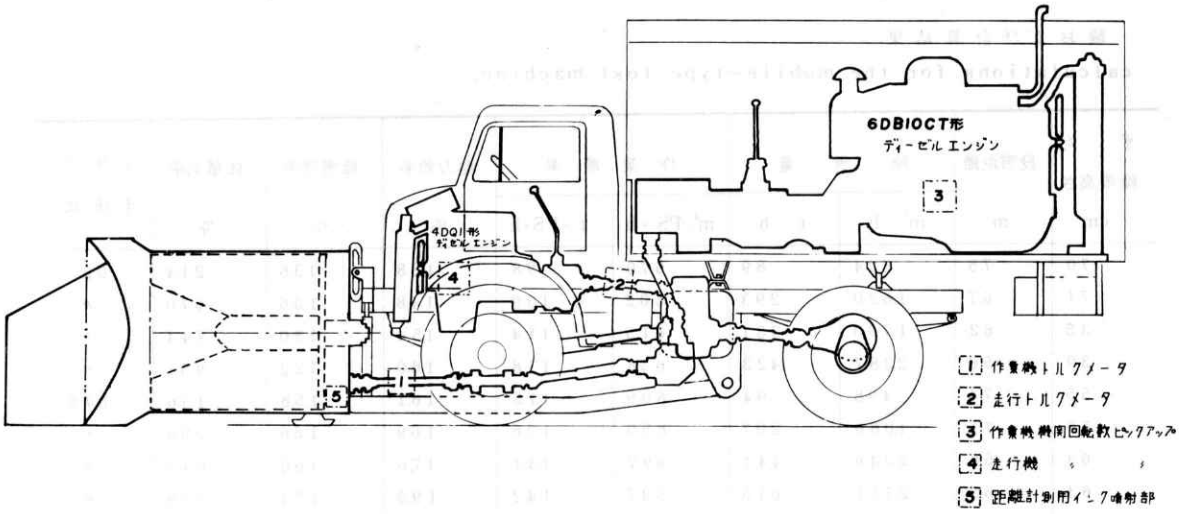


図9　大型試験機
Fig.9. A mobile-type test machine.

走行およびブロア駆動用動力伝達系統に抵抗線ひずみ計式トルクメータを組込んでトルク測定を行ない回転速度は各機関の弁軸調時歯車(timing gear) ケースより回転を取り出し，パルス信号で，トラクタ荷台に積載したペンオシロに記録した．除雪速度は，加圧したインク水を電磁弁操作によってノズルから側雪に噴射させると同時に，ペンオシロに同期信号を記録し，除雪実験後の側雪のインクマーク間の距離から算出した．各センサーの組込み個所を図9中に示した．



写真4　実験状況
Photo4. View of the experiment by a mobile-type test machine.

除雪量は，除雪実験に先だって計測しておいた積雪深さ，除雪後の残雪深さおよび除雪幅，除雪速度から算出した．雪密度は，鉛直方向に全層密度を測定した．

実験コースは，1実験につき長さ10m区間を2～3区間連続除雪し，雪質等は10mごとに測定し各区間の測定値の平均で表示した．

実験の対象とした雪は自然積雪で，ブロア部分でカバーできる幅に近い0.8～1mの長方形断面での除雪姿勢とした．路面は，セメントコンクリート舗装版である．

4.2　実験場所および日程

実験は，昭和46年2月2日から3月17日までのうち9日間に，雪害実験研究所構内の除雪試験道路上で実施した．

4.3　実験結果および考察

主な計測結果および計算結果を表3に，実験状況を写真4に示す．

高速域においてブロア体積効率が大きくなるような実験を行なうことが望ましいが，トラクタの駆動力が小さいため，大きい負荷をかけての高速走行は不可能なので，ブロア回転速度を小さくし除雪断面積を大きくした低速域における実験が主となった．以後，ブロアの三つの状態を寸法比（軸長／直径）D_rで表わすことにする．

4.3.1　動力的処理特性

図10は，除雪量と除雪動力を示したものであり，同一ブロア回転速度において，除雪動力は除雪量の増加につれて増大し，直線的な関係を有するものとみなされる．

したがって除雪動力L_sと除雪量Wとは

$$L_s = L_1 + cW \qquad (3)$$

で示される．ここでL_1は除雪量が0のときの所要動力であって，ブロア空転動力と同じ値でなければならないはずであるが，別に計測したブロア空転動力は，軸長による差はほとんどなく，ブロア回転速度205，300，360 rpmに対してそれぞれ2，3，5 PSであって，L_1と相当の開きを生じている．これは，わずかに雪が入った時点でも大きな動力を必要としていることを示しているもので，ブロアケーシング内面と雪の摩擦抵抗によるものとみられる．軸長によってもわずかではあるがL_1の差がみられ，軸長の差によって接触面が増大するためと考えられる．

回転速度をブロア周速度uに換算し，図10の各直線から求めた係数cとuの関係を示したのが図11で，同じ密度の雪についてuとcはほぼ直線的な関係となった．

同様にL_1とuを示したのが図12である．図12には，ブロア空転動力L_0を示したが，高速回転時に大きな差がみられ，また雪質ではざらめの場合がやや小さい傾向がみられる．

一方，除雪能率E_cはW/L_sで表わされるものであり，(3)式より次のとおりになる．

$$E_c = \frac{1}{c + L_1/W}. \qquad (4)$$

図10で求めたL_s，Wを(4)式に入れて求めたE_cとWの関係を示したのが図13である．雪質および機械条件が同じならば，除雪量の増加によって除雪能率は増大し，$1/c$に近づく．

ブロア軸長を変えた場合の動力的な処理特性は，図10，13でわかるように，雪質によって異なり，密度0.19のこしまり雪では，軸長の長いブロアの方が除雪量が大きくなると除雪能率がよい．密度0.41のざらめ雪では，今回の実験範囲では，軸長の長いブロアが逆に能率が悪く，この傾向は定置試験機での実験においてもみられたものである．実験用トラクタの駆動力不足から，除雪量の大きい範囲の資料が得られなかったが，ブロア回転速度205 rpmにおける除雪動力と除雪量の回帰式から計算すると，約1,050 t/hの除雪量で軸長40 cmと80 cmのブロアの除雪能率は等しくなり，以後はこの大小関係は逆になるものとみられる．しかし，ざらめ雪の圧縮性から考えて，大きな差は生じないものと思われる．

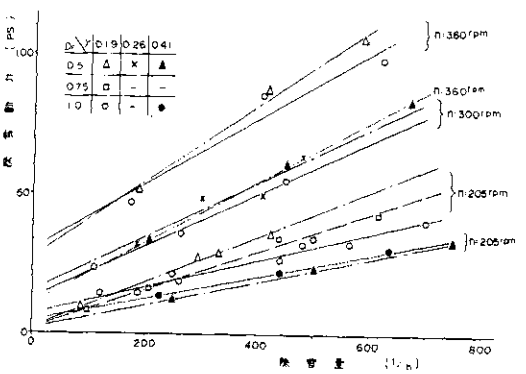


図10 除雪量と除雪動力

Fig. 10. Relation between the amount of removed snow and the blower's horsepower.

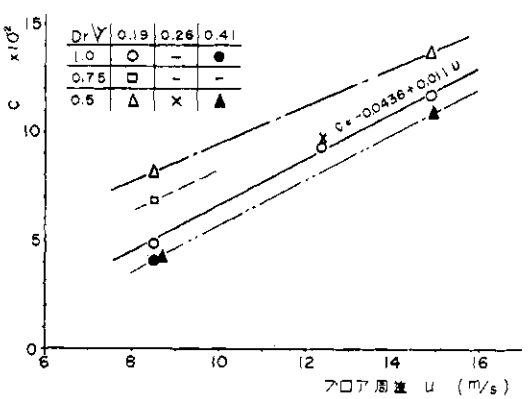


図11 ブロア周速度と係数c

Fig. 11. Relation between the circumferential speed of the blower and the coefficient c.

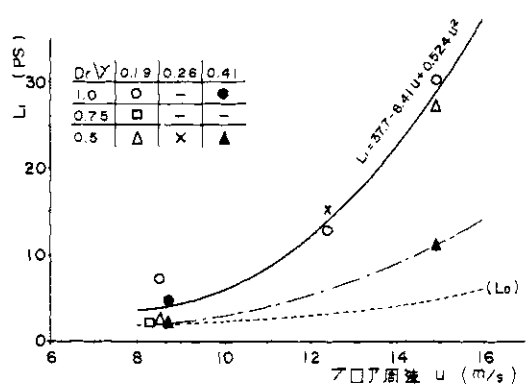


図12 ブロア周速度と係数L_1

Fig. 12 Relation between the circumferential speed of the blower and the coefficient L_1.

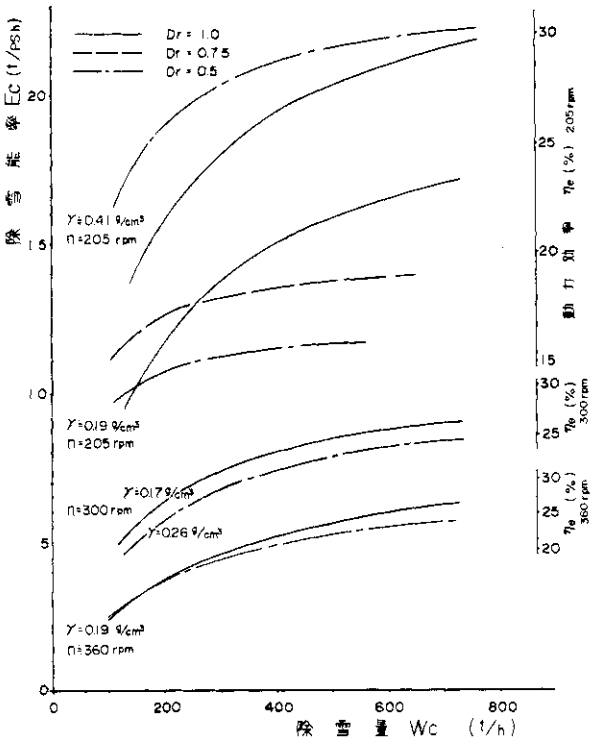


図13　除雪量と除雪能率

Fig.13. Relation between the amount of removed snow and the snow removal performance.

ざらめ雪では，いったんブロアブレードでかきあげられた雪が，ブロア回転面と積雪との空隙部分から前方へ吐き出され，装置前方に堆積する割合が多かったが，こしまり雪では前方への吐き出しが少なかった．とくにこの場合はぬれこしまり雪で粘着力が大きかったため，吐き出しが少なかったと思われるが，ブロア内で圧縮変形され，そのために動力的能率が著しく低下したものとみられる．

これらの状況から，ブロアブレード形状としては，１枚のブレードでかき上げうる雪の量，すなわちブレード容量の大きいものが望ましく，とくにざらめ雪では進行方向に対して後退角をもたせることが効果的といえる．

図13の右に付した尺度は，雪をすべて周速まで加速して投げ出すに必要な理論動力と実際に要した動力との比率で，内部動力効率といわれるものであり，次のように表わされる．

$$\eta_e = 2.07 \times 10^{-4} \times \frac{r^2 n^2 W}{L_s} \qquad (5)$$

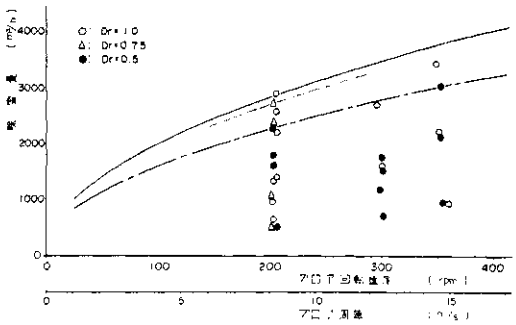


図14　ブロア周速度と除雪量

Fig.14. Relation between the circumferential speed of the blower and the amount of removed snow.

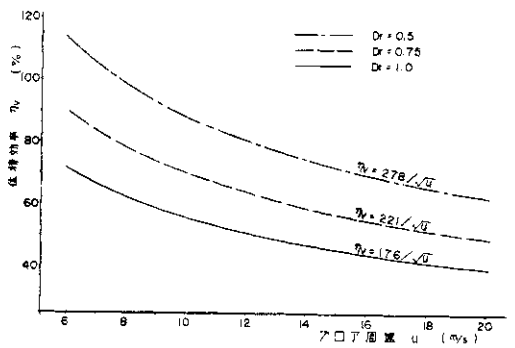


図15　ブロア周速度と最大体積効率

Fig.15. Relation between the circumferential speed of the blower and the maximum volumetric efficiency of the blower.

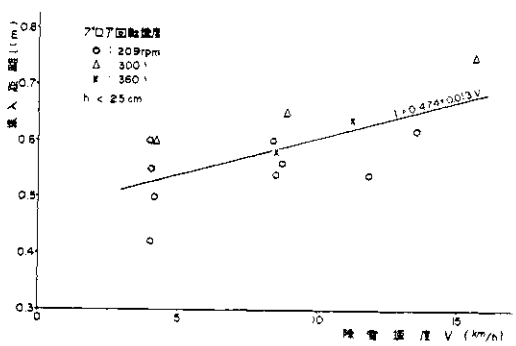


図16　除雪速度と進入距離

Fig.16. Relation between the working speed and the entering distance of snow into the blower.

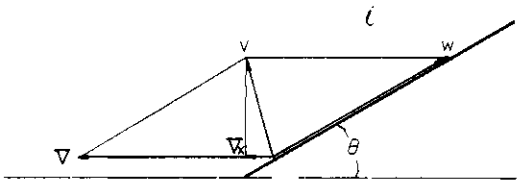


図17 速度線図

Fig. 17. Diagram of the velocity of cutting snow and the fixed edge in front of the blower casing.

ここで，η_e は内部動力効率(%)，rはブロア半径(m)，nはブロア回転速度(rpm)，Wは除雪量(t/h)，L_sは所要動力(PS)であり，この実験に用いた大型試験機では，除雪能率E_cと$\eta_e = 3.312\times10^{-5}n^2\ E_c$の関係にある．

4.3.2 体積効率と雪の進入距離

(1) 体積効率

除雪装置の処理能力として，4.3.1のような動力的な能力のほかに，体積的な能力によって最大処理能力が決定される場合があり，密度の小さい雪の処理では，雪をのみこみきれずに体積的な能力によって最大能力が決定されるものとされている．

体積的な処理能力の考察に体積効率を用いることとする．体積効率η_v(%)は次のように表わされるものである．

$$\eta_v = \frac{100Q}{60V_B\ n}. \qquad (6)$$

ここで，Qは時間当り処理雪の除雪前の体積(m^3/h)，V_Bはブロア回転体の体積(m^3)，nはブロア回転速度(rpm)である．

体積効率は除雪量およびブロア設定回転速度によって種々の値をとりうるものであるが，一定ブロア回転速度で処理できる最大の除雪量があり，このときの体積効率が最大体積効率$\eta_{V\max}$である．$\eta_{V\max}$は雪質，ブロア形状によって大きく変化するものであるが，ブロア回転速度によっても変化するようである．実験結果のうち，密度が0.17～0.26の範囲の雪についての除雪量とブロア周速度との関係を示したのが図14である．$\eta_{V\max}$が一定ならば最大除雪量とブロア周速度の関係は原点を通る直線で表わされるわけであるが，実験結果では，ブロア周速度とは直線的な関係とみなすことは無理があるようでブロア周速度をあげることによって除雪量の増大割合は小さくなり$\eta_{V\max}$が小さくなったことになる．このことは，ブロア先端部分のすくい面における摩擦抵抗の変化が大きく影響しているものと考えられ，ツーステージ型除雪装置における体積効率と異なって，ブロアの前方にかき込み装置をもたないブロア型では，この傾向が強いものと思われる．

除雪量とブロア周速度が，原点を頂点とする2次式で示されるものとして，実験値の最大点を通る線をひいたのが図中の曲線であり，実用的なブロア周速度範囲ではほぼこの曲線に近い値をとるものと推定される．図14において，$D_r=0.5$に対する$D_r=0.75$および1.0のブロアの最大除雪量の比はそれぞれ1.17，1.24であり，除雪量としては$D_r=1.0$のブロアが有利であるが，軸長に対する増加率は$D_r=0.75$のブロアが良いといえる．図14および(6)式から求めた$\eta_{V\max}$とブロア周速度との関係を図示したのが図15である．

(2) 雪の進入距離

除雪高さが大きいときはブロア中空部分へ積雪が円錐状にはいり込み，ブレードの途中から切削がはじまることになり，結果としてブロアの奥まで進入したことになるが，除雪高さが小さくほとんどがブレード先端で切削されていたとみられる除雪高さ25cm以下の実験のときの軸方向の進入距離と除雪速度の関係を示したのが図16である．このときの投雪方向は進行方向右側45度で，ブレード面外周部分における雪の付着状態から，この雪の付着している部分と雪のすべりのこん跡の境で測定したものである．

4.3.3 除雪走行抵抗

除雪時の車両走行抵抗は次のように考えることができる．

$$F = F_r + F_s. \qquad (7)$$

ここでFは除雪走行抵抗(kg)，F_rは自走抵抗(kg)，E_sは前面抵抗(kg)である．

自走抵抗F_rは，路面および残雪状況などによっても異なるが，一般に次のように表わされる．

$$F_r = G\mu. \qquad (8)$$

ここでGは車両重量(kg)，μは走行抵抗係数である．

前面抵抗F_sは，雪が装置前面にかかるための抵抗で，除雪断面積に関係するものである．F_sは次のように表わされる．

$$F_s = SR. \qquad (9)$$

ここでSは除雪断面積（cm^2），Rは単位除雪断面積当りの抵抗（kg/cm^2）で除雪比抵抗ということにする．

ここで前面抵抗F_Sは，ブロアケーシング前方に取付けられた固定刃による雪の加速が関係するものなので，図17のように，進行角θで進行する固定刃上の２次元の雪の流れを考える．Vは除雪速度，wは切刃面と雪の相対速度，vは雪の絶対速度である．切刃面上における摩擦抵抗がないものと仮定すると，$V=w$であるので，vの除雪方向成分V_Xは図１７の速度線図から$V_X=V(1-\cos\theta)$となり，進行方向の加速抵抗は次のとおりになる．

$$F_S=\frac{\gamma SV^2}{g}(1-\cos\theta). \qquad (10)$$

ここでγは雪密度，Sは除雪断面積，gは重力の加速度である．

(10)式は

$$\frac{F_S}{S}=\frac{\gamma V^2}{g}(1-\cos\theta) \qquad (11)$$

と変形され，除雪比抵抗は除雪速度の２乗に比例することになる．

また除雪走行動力は次のように表わせる．

$$Lr=\frac{FV}{270\eta_t}. \qquad (12)$$

ここでL_rは除雪走行動力（ＰＳ），Fは除雪走行抵抗（kg），Vは除雪速度（km/h），η_tは内部伝動効率である．

次に実験結果について考察することにする．

除雪時の走行抵抗は図９に示したように，変速機・副変速機間に装備したトルクメータでトルクを検出し，動力伝達系統の減速比，タイヤの有効回転半径より算出したものである．トラクタは４輪ともタイヤチェーンを装着し，４輪駆動で実験した．除雪後の路面残雪の厚さは，２～３ cm であった．

自走抵抗F_rは，除雪実験区間突入直前のトルクより求めたものであり，除雪装置支持用のソリを接地した状態での抵抗である．F_rと除雪速度Vの関係を示したのが図18で，雪質との関係は明確でないが，Vとの関係がみられるので回帰式を求めると次のとおりである．

$$F_r=454+2.65V. \qquad (13)$$

この実験に用いた試験機の重量Gは約6,300kgであり，(8)式から走行抵抗係数μを求めると次のとおりになり，速度による影響は小さいが，かなり大きな値となっている．

$$\mu=0.0721+0.00042V. \qquad (14)$$

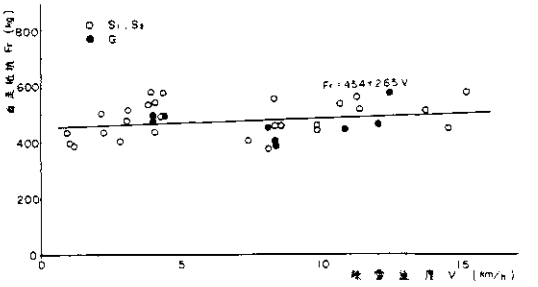


図18　除雪速度と自走抵抗

Fig. 18. Relation between the working speed of snow removal and the rolling resistance force.

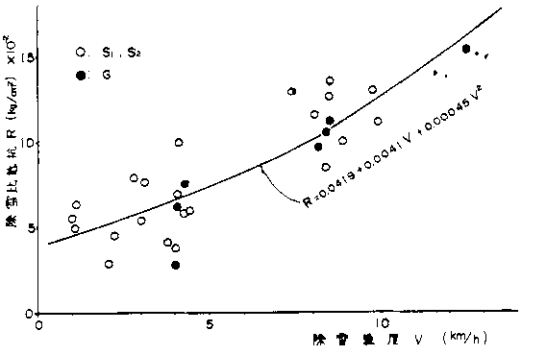


図19.　除雪速度と除雪比抵抗

Fig. 19. Relation between the working speed and the resistance force in unit area of transverse section of snow.

一方，除雪速度Vと除雪比抵抗$R=F_S/S$を示したのが図19である．表３のうち整理番号が４，17，20，27，30，33，36，39は除雪断面積が大きく，助走区間で予定の速度まであげて除雪区間にはいっても，トラクタの駆動力不足のため速度が低下し，試験機の慣性によってようやく除雪できたもので，このように実験中に速度低下が生じたものでは，トラクタの推進軸のトルクから求めた抵抗と実際の前面抵抗とが異なることは明ら

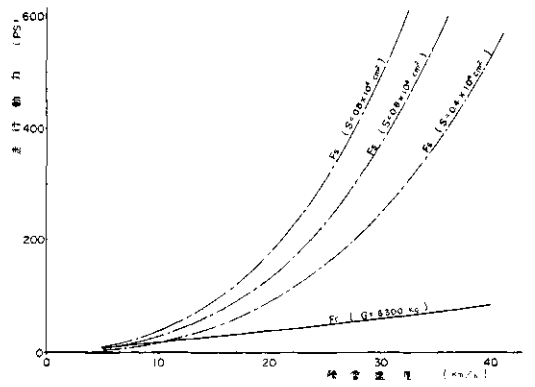


図 20. 除雪速度と走行動力

Fig. 20. Relation between the working speed and the required traction power.

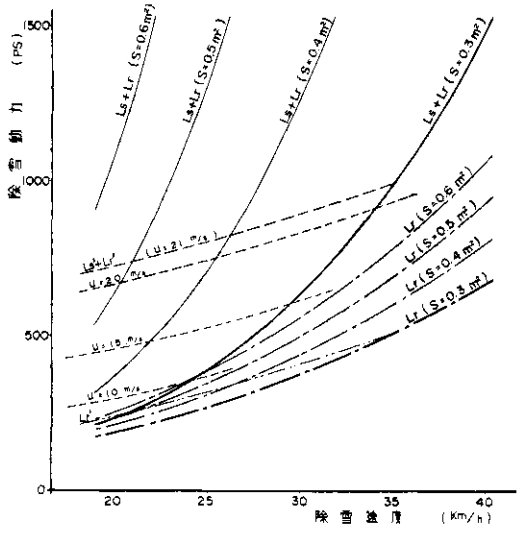


図 21. 除雪速度と除雪動力の計算例

Fig. 21. Relation between the working speed and the total snow removal power calculated in case of $\gamma = 0.2\ g/cm^3$, $S = 3{,}000\ cm^2$.

かであるので，図19から除いてある．

各測定値の偏差は大きく雪質およびブロア種類との関係は明らかでないが，(11)式から除雪比抵抗は除雪速度の2乗に比例するとみて，これらの点について回帰式を求めると次のとおりである．

$$R = 0.0419 + 0.00041V + 0.000045V^2, \quad (15)$$

今回の実験速度以上でも同じ傾向を示すものと仮定して，以上の結果から，除雪装置を路面に接地して走行するに必要な動力を$G\mu V/270\eta_t$，除雪装置前面にかかる雪のために必要な動力を同様に$SRV/270\eta_t$とそれぞれ別々に，Gを今回の実験に用いた試験機重量の6,300kg, Sを0.4～$0.8\times10^4\ cm^2$, η_tを1として計算したのが図20である．したがって除雪走行動力はこの二つの値の和ということになる．

除雪車の大型化による大重量のため，自走動力はまだ大きくなることは明白で，高速化においては，除雪車の走行動力の面で大きな制約が生じてくる．

5. 高速除雪の検討

以上除雪時の所要動力，ブロアの体積的な処理能力の考察を行なってきたが，いずれも比較的低速域における実験結果であるので，危険はあるが，求められた諸数値および傾向から，ロータリー除雪車の高速化について検討する．

図21は高速域における所要動力計算結果の1例である．降雪直後のプラウによる高速除雪と並行して行なう拡幅除雪作業とし，除雪条件として雪密度を0.2 g／cm³，除雪断面積を0.3 m²，最高除雪速度は40 km／hを目標とし，機械条件としてはブロア径1.2 m，軸長は図16とブロア中空部への進入を考え1.2 m，車両重量は現在の大型除雪車程度の20,000 kg と仮定して計算したのが図中の太線である．

走行動力L_rは自走抵抗を(8)，(14)式，前面抵抗を(9)，(15)式から求め，(12)式で$\eta_t = 1$として計算したもので，ブロア動力L_sは図15の$D_r = 1.0$のブロア周速度と体積効率の関係を用いて，40 km／hまでの除雪速度に対応する所要ブロア回転速度を求め，また図11，12中に示す式からブロア動力算出に必要な係数cおよびL_iを求めて，(3)式から算出したものである．L_iはこの場合ブロア寸法比による違いを明確にできなかったので，こしまり雪の全資料から求めた式によった．除雪体積に見合う最低ブロア回転速度で動力を算出しているので，除雪速度の低い範囲では，ブロア動力は小さいが，高速になるにしたがってふえる除雪体積に対してブロア回転速度が大きくなるためブロア動力は急激に大きくなる．

車両の駆動力としては，40 km/h における前面抵抗が約2,700 kg となるが，雪上路面におけ

るすべり摩擦係数を普通の雪における値の0.25（市原薫，1970）としても，重量20,000kgの車両では5,000kg となり，すべりによって走行不能になることは考えられない．

内燃機関積載の道路除雪車としては1,000PS級がせいぜいで，これ以上の大出力の車両の出現を望むことは現状では無理で，このような除雪条件では最高除雪速度は35km／h 程度が限度と考えられる．

走行およびブロア用にそれぞれ別個の機関を有する除雪車で，除雪断面積が0.3 m²，除雪速度が35km／h で必要な大きさの出力を有するブロア用機関の出力をそのまま速度の低い範囲で最大に使用する場合の動力曲線が，$L_S' + L_r'$である．速度の低下にしたがって除雪断面積を大きくとるようにしたもので，除雪断面積の増加によって走行動力L_r'は大きくなる．

6. まとめ

以上の結果を要約すると次のとおりである．

(1) ブロア回転速度および軸長は，ブロア体積効率と負の相関を有するが，除雪量とは正の相関関係がある．

(2) ブロア軸方向への雪の進入距離は，除雪速度によって大きく影響される．ブロア先端部分だけで切削したとみられる実験結果では，進入距離l (m)と除雪速度V（km/h）は$l = 0.474 + 0.013V$で示される．除雪高さが大きくなるとブロア中空部分への積雪の進入があり，これ以上の進入距離が期待できる．

(3) 除雪量W（t/h）のときのブロア動力L_S（PS）は，$L_S = L_1 + cW$で表わされ，cおよびL_1はブロア回転速度に比例して大きくなる．

(4) 除雪走行抵抗のうち，自走抵抗F_r（kg）は，除雪車の重量をG（kg），除雪速度をV（km／h）とすると

$$F_r = G(0.0721 + 0.00042V)$$

となり，速度による影響は少ないが，その値はかなり大きい．

前面抵抗F_S（kg）は，除雪断面積をS（cm²）とすると，除雪速度の2乗に比例し

$$F_S = S(0.0419 + 0.0041V + 0.00045V^2)$$

で表わされる．

降雪直後の雪の高速処理を目的として，実験研究を行なったが，試験車本体の関係で実験速度に限度があり，また雪質もせまい範囲のものだけであったので，普遍的な結果をうるまでに至らなかった．しかし，高速化についての問題点が明らかとなり，なかでも除雪走行抵抗を小さくするための装置の形状改良の研究は，今後行なわれなければならない大きな課題と思われる．

参考文献

1) 市原薫（1970）：路面のすべり抵抗に関する研究(2) ―― 雪氷路面のすべりについて．土木研究所報告，138号，p. 2，3．

2) 日本建設機械化協会（1968）：積雪地域における高速道路の計画基準作成のための調査報告書，p. 12．

3) 長田・吉崎・渡辺（1968）：SR－300型高速ロータリー除雪車の性能について（第1報）．土木研究所資料，第407号，p. 5，15．

その他の文献

建設省土木研究所（1965）：ブロア型ロータリー除雪車の研究．

日本機械学会：機械工学便覧．