

機 械	39-11
部 費 ・ 特 別 研 究	

ブロー型ロータリ除雪車の研究

昭 和 40 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

ブロー型ロータリ除雪車の研究 正 誤 表

ページ	行	誤	正	ページ	行	誤	正
1	27	# 円すい底角	ブレード取付円板円すい底角	20	4	車速	車速
2	13	105	106	"	15	関係	開発
"	25	Kgmm	Kg-m	"	30	車速	車速
3	2	変える。	変えて、	21	1	車速	車速
5	28	付着しやす欠点	付着しやす欠点	"	14	計最	計算
6	22	知ることがあったが	知ることであったが	"	14~15	作業速度度	作業速度
7	3	車速	車速	"	27	使用状態	使用状態
10	16	横方向力	横方向分力	22	16	数值的	数值的
11	13	オンログラム	オンシログラム	"	18	北陸地方建設	北陸地方建設局
"	16	XOY	XOY	"	"	高山機械事務所	高山機械事務所
"	17	XOY	XOY				
13	図-5	欠	中心線上右端 0				
"	2~3	走行行抵抗	走行抵抗				
14	図-7	欠	切断部分ハツチング				
18	23	特殊特殊	特殊				
19	図-8	効力効力効率	動力効率				
"	"	m/sec	省く				

プロア型ロータリ除雪車の研究

1. まえがき

プロア型ロータリ除雪車の性能を研究するため、昭和38年度に自重650 Kg, 出力30 PSの小型四輪全輪駆動式の除雪試験機を作り、38, 39両年度にわたり、各種の試験を実施したのでここにに取りまとめて報告したい。この研究は、本州、日本海沿岸に多い湿雪を高速度で除雪するという立場から行なわれており、時期的な制約、試験機の能力、雪質選択の困難さなどから十分な結果が得られたとは思われないが、プロア形ロータリ除雪機械の湿雪への応用、その高速化に関する2〜3のデータが得られたので報告する。なお湿雪という言葉は必ずしも学問的なものではなく、日中気温が0℃を上回る時間が2〜3時間以上ある地方又は時期の雪を考えれば良いと思う。

2. 試験機の概要

この試験に使用した試験機は特別注文により製作したもので

- (1) プロア型除雪装置が数種類互換的に取り付けうること
- (2) 4輪全輪駆動とし、最低地上高を高くして悪路走行性を良くしたこと
- (3) 車体をできるだけ小さくまとめるとともに、軽量にして輪荷重を減じて雪上走行が可能のようにしたこと

などの特長をもたせた。(各種仕様値は巻末参照、写真-1.2)

試験に使用したプロアは次の3種類で、いずれも実用機に本試験機に合うような多少の変形を加えたものである。

A型 西独シュミット社製、ダブルプロアをスケッチしたもので、ブレードが曲面であるものの代表として採用した。ブレカッタ付きである。(写真-3)

直径 830 mm ϕ

奥行 347 mm

ブレード形状 円すい弧

枚数 4枚

ブレード取付円板形状 円すい

円すい底角 32°

ブレード切羽面 平面

B 型 鉄道技術研究所の開発したもので、新潟鉄工が製作しているハンドロータリ NBR 2 型のものを原形とした。ブレイカッタは付けない。(写真-4)

直径	830 mm ϕ
奥行	345 mm
ブレード形状	平面(先端のみ折曲げ)
枚数	4 枚
ブレード取付板形状	円すい板
ブレード取付板円すい底角	12°
ブレード切羽面	放物線回転体

C 型 東京フレキ産業が開発した形式で、A 型を単純化した形式である。

ブレイカッタ付きで、直径が大きい。(写真-5)

直径	980 mm ϕ
奥行	105 mm
ブレード形状	円筒弧
ブレード取付板形状	円板
ブレード切羽面	平面

3. 試験の内容

試験は、昭和39年2月25～28日 同3月10～13日 40年2月26～28日にわたり、土木研究所、新潟試験所(新潟県新井市)付近及び妙高小学校赤倉分校(新潟県中頸城郡妙高村)校庭において実施した。

3種のブローについて異なる雪質で、それぞれ数種の作業速度で除雪を行ないブロー軸トルク、走行軸トルク、機関回転数、時間等を計測し、ペン書きオシログラフに記録した。

これらの結果と、アト坪で測量した除雪量からブロー所要動力 PS 、走行トルク $Kgmm$ 、走行所要動力 PS 、除雪能力 t/h 、除雪能率 $t/ps \cdot h$ 、ブロー動力効率などを求め、比較を行なった。こゝに除雪能率 $t/ps \cdot h$ とは除雪能力 t/h をブロー所要動力 PS で除したものであり、ブロー動力効率とは、除雪能力 t/h とブロー周速から求めた理論的に雪に与えられたエネルギーと、ブロー所要動力 PS との比をもって示すもので、ブローに食われたエネルギーのうち何%が雪を飛ばすのに用いられたかの目安である。

このほか、プロア型除雪機械にとって重要と思われるシュートについては、その開口度を数種に変える。つまりの生ずる原因の調査を行なった。又プロア型ロータリ除雪機では円形のプロアの左右下端が切り残しになるのを防ぐため通常こゝに三角形のブラウ（カッティグエッジ）を取り付けるが、その形状、角度を変えて、その望ましい形状について調査した。

4. 試験結果

計測値及び計算結果を表一1および2に示す。又これらのうち比較的條件が似ていて比較できると思われるデータを各プロア形式ごとに、シャリ雪に対するもの4、ザラメ雪に対するもの3を選んで分散分析および平均した値を表一3に示す。これに採用したデータは表一1の番号に米印を付した。

5. 試験結果の説明及び考察

5.1 除雪性能の表示

機械の除雪性能をいずれをもって表わすかは議論の多いところで、カタログ等では、1時間当りの除雪量を体積 m^3 又は重量 t で表わした m^3/h , t/h が多く用いられている。又性能試験結果などでは、 $t/ps \cdot h$ を用いていることが多い。いずれも一長一短ある数字で、 m^3/h は出来高予想等には便利な数字であるが、一般に重い雪に対する場合、公称能力を大幅に下回るのが普通であり、逆に t/h 表示では軽い雪に対する表示が不充分となる。しかし m^3/h と t/h を比べる場合は m^3/h が機械の中を通過できる限度すなわちシュートなどのつまりによる限度を示しているのに対し、 t/h はエネルギー的な限度すなわちエンストによる限度を示しているので、我国のように（特に内地のように）雪が湿っていて重いためエネルギー的な限度の方が大きく影響する場合は、後者の表示の方がより適切であると考えられる。但しいずれをとるにせよ施工する雪の比重を添書すべきである。 m^3/h 又は t/h のみの表示では機械の大きさによる差の影響が大きいため、これを考慮に入れたのが、 $t/ps \cdot h$ で、この場合の出力 PS はその機械の作業用機関の出力をとるが、一般に出力を測定できない場合はその機関の定格出力を用いている。我々が行なった試験では、出力も計測しているので前者の正味出力に対する値を考えているが、多くの実験の結果では、定格出力に対する正味出力の割合は最大80-90%で、よほど努力して施工条件を良くしないと、この値にすることは、困難である。

従って定格出力で $t/ps \cdot h$ を考える場合は、その施工条件をよく知っておくことが大切である。

$t/ps \cdot h$ はデイメンジョンとしては $[L^{-1}]$ となるので、この値が機械の性能を示す値とは考えられない。すなわち投雪距離（従ってプロア又はカッタの周速）に差があれば当然 $t/ps \cdot h$ に影響すると考えられ、 $t/ps \cdot h$ を最大にするためには投雪距離をできるだけ短かくした方が好ましい。この欠点を補なうためには次式によると良い。

$$\text{理論効率} = \frac{1}{5.4} \times \frac{\text{除雪能力}(t/h) \times \text{投雪距離}(m)}{\text{機関出力}(PS)} \quad (1)$$

この式は運動のエネルギーの式

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2)$$

m : 雪の質量 $Kg \cdot S^2/m$

v : 雪の放出速度 m/s

と投雪距離の式

$$L = \frac{v^2}{g} \sin 2\phi \quad (3)$$

g : 重力加速度

ϕ : 放出角度

の $\phi = 4.5^\circ$

$$L = \frac{v^2}{g} \quad (4)$$

から求められるもので、我国ではまだ用いられていない。この試験で用いたプロア型ロータリ除雪装置のように、雪の放出角度を、放出口の角度を変更するのではなくて、シュートを用いて調節するものにあっては、この値はシュートの構造に左右されるので正確な値を得難い。従ってここでは(1)式の効率の代りに(2)式の v にプロア周速を代入して得られる理論エネルギーにもとずく動力効率を用いた。

$$\text{動力効率} = 2.07 \times 10^{-4} \frac{t/h \times R^2 \times N^2}{PS} \quad (5)$$

ここに t/h : 作業能力 (t/h)

R : プロア半径 (m)

N : プロア回転数 (rpm)

PS : 機関出力 (ps)

5.2 m^3/h および t/h

時間当りの除雪量 m^3/h は各機種とも、車速に正比例している。これはほぼ除雪高さを均一にして作業しているためで、 t/h も全く同じ傾向である。 m^3/h を最大にするためには一般に除雪高さを高くとる。車速を上げる雪比重の小さいものを選ぶという事が考えられるが、試験した結果から考えると、プロア型除雪機械では、車速を上げることが最も効果的のようで、そのためには、高速で走行できる施工条件を求める必要がある。例えば路面は路肩まで舗装する（路肩に土道部分があるとよく締固めてあっても雪だけ水のため含水率が大きくなって支持力が低下する）排水溝は盲ブタをする、障害物、砂利、土の堆積等を路上におかないようにする等オペレータが安心して高速走行できるような条件を作る必要がある。除雪高さは多くの場合自然条件から決まるので任意な値を得ることが困難であるが、この試験に用いた機械のように雪上走行作業の可能なものにあつては、その選択が可能になる。しかし雪上走行で $2Km/h$ 以上の車速を出すことは困難で、多くは $1Km/h$ 前後又はそれ以下であるから、 m^3/h を最大にすることは困難となる。本機の場合プロア直径の $0.7 \sim 0.9$ (A,B型) 又は $0.6 \sim 0.8$ (C型) が最も効果的のようであつたので、 $0.6 \sim 0.7m$ の深さを目標に除雪を行なつた。雪比重も自然条件で決まるもので、その選択のためには場所、時を変える必要がある。もし自由な選択が許されるならば、湿雪の場合、作業用機関の回転数が低下しない範囲で大きい比重の雪を選べば良い。そのおよその値は $0.15 \sim 0.3$ 、多くの場合 $0.2 \sim 0.25$ が最も良いと考えられる。勿論一般的には小さな比重の雪の方が好ましいはずであるが、湿雪の場合 $0.1 \sim 0.2$ の雪はプロアへの飲み込みが不良になることが多く、又シュートに付着しやす欠点をもつものがあるからである。前日まで降り続いた雪が、当日晴れて気温も $5^\circ C$ 前後に上がったというような施工条件の時が最も良い結果を得た。

t/h を最大にする施工条件も雪比重を除けばほぼ s/h と同じと考えてよい。雪比重については0.35~0.4のものが最も良いようで、0.45以上の雪になると雪の粒子が密になるので、切削のための負荷が増加して好ましくなくなる。最大 t/h を得ようとする場合、注意する必要があるのは機関回転速度で、機関はトルク不足のため回転速度が定格回転速度より下り勝ちの傾向となり、プロア回転が下がって雪の速度が遅くなり、シュートのつまりを生じ易くなる。これを防ぐためにはオペレータはたえず機関タコメータ又は機関の音に注意して車速をコントロールする必要がある。プロア回転速度が可変速のものにあっては、シュートのつまりを生じない限り低速度段にする方が好ましい。

t/h についてABC3形式のプロアについて分散分析した所、有意差は認められなかった。特にシマリ雪についてはF値が非常に小さく、平均値も大差ないが、ザラメ雪については $F=0.53$ でやや大きく $C>A>B$ の順で能力が大きい。C型はザラメ雪では最も大きい値を示しているのに、シマリ雪ではその値が他機種より小さく雪質に対する選択性が大きい。この試験は最大 t/h を求めるために行ったのではなく又有意差もないのであるからこの結果のみから結論を出すのは早計かも知れないが、C型のようにプロアの奥行きが浅くて、翼のキャバンティの小さい形式では、比重の大きい雪には効果的であるが、小さい比重の雪には能力が低下するようである。

5.3 t/psh

この試験の目的の1つに、各形式のプロアが雪質別に t/psh においてどのような差異を示すかを知ることがあったが、結果的には大差ないことが判明した。平均値のみをとり上げた比較では、ザラメ雪では $B>C>A$ の順によく $B=100$ とすると $C=93$ $A=71$ とAが特におとり、シマリ雪では $A>B>C$ の順に勝れていて $A=100$ とすると $B=94$ $C=77$ となつてかなりな差があるが、個々のデータのバラツキが大きいため分散分析の結果では有意差は見られない。又これらの結果は試験周速にかなりの差をもっているので、単純に比較することは危険である。

t/h を機関定格出力で除した名目的な t/psh の場合は、もちろん t/h を大きくするようにした方が t/psh が大きくなって有利であるが、実際

の出力で除した t/psh と t/h の間にも正の相関があって t/h の大きい方が t/psh も大きくなる (相関係数 = 0.76 資料数 = 37)。従って t/psh と車速とも相関があり (相関係数 = 0.48 資料数 = 37 危険率 1% で有意) できるだけ車速を上げた方が t/psh の上から有利になる。

この試験機の出力は公称連続定格 30 ps で、走行動力その他のロスを減じて考えるとほぼ 26 ps 前後が作業動力に使用できると想定される。実測の結果は 22.8 ps が最大値で平均は約 13 ps であった。この試験では前のべたように t/h を最大にするよう作業したのではなく、考えうる施工条件に最も効果的と思われる方法で作業したものであるが、その結果は可能出力のほぼ半分の出力しか使用していない結果となった。この値はこの試験と別な実験においてもほぼ同様な値を示しているので一般的な値とみなして良いと思う。

5.4 動力効率

動力効率は前述の(5)式で求められるが、理論的には無名数の効率となり、費やされた動力のうち何%が雪を飛ばすエネルギーになったかを示していて、施工条件の影響が少ないものと考えられる。100%からこの値を減じた値は、それだけプロアが雪を切るエネルギー又は雪を乱すためのエネルギー及び風損、摩擦、損失等に費やされていると考えられる。

動力効率をプロアの3形式について比較すると、 $A > B = C$ の順に優れていて、 $A = 100$ とすると $B = 91$ 、 $C = 91$ で約 10% の差がある。分散分析の結果 F 値は有意水準にはないが、かなり大きな値 ($F^2 = 2.71$) を示している。これを更に雪質別に分析すると、ザラメ雪では $A > C > B$ の順で、 $A = 100$ とすると $C = 86$ $B = 74$ シマリ雪では $A > B > C$ の順で $A = 100$ とすると $B = 90$ 、 $C = 80$ となっている。従って A はどの雪質にも優れている。B はザラメ雪よりシマリ雪に対して遠している (シマリ雪 = 100 とするとザラメ雪 = 80) などのことがいえる。このことから、定性的にプロア形状の比較論をもち出すのはやや結論を急ぎすぎるキライがあるが、一つの推論を呈すると次のようである。すなわちこの試験においてブレード形状の比較を考えると、A、C 型のような曲面をもつ翼と B 型のような

平面形の翼とでは、前者の方が優れている。特にザラメ雪に対してこの傾向が著しい。翼の大きさについてはシマリ雪のように比重の小さい軽い雪に対してはその影響が考えられ、奥行きのある翼の前面の雪の乗るスペースの大きいものが勝っている。

各形式を平均して考えるとザラメ雪に対する効率よりシマリ雪に対する効率の方が良くシマリ = 100 とするとザラメ = 94 である。

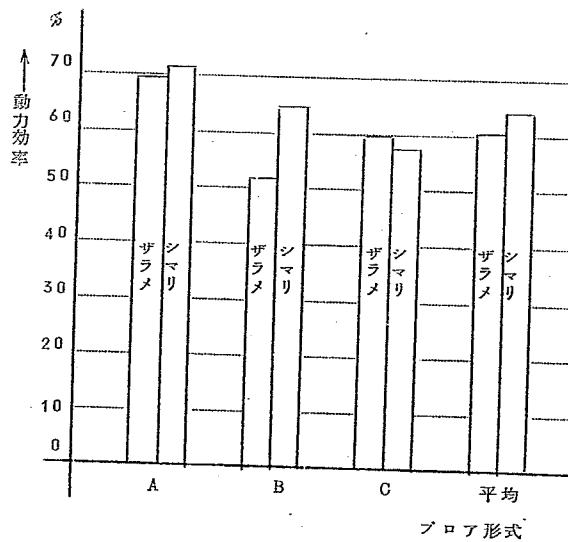


図-1 プロア形式と動力効率

5.5 走行トルク

プロア形式の差が走行トルクに影響する度合いは比較的大きく、分散分析の結果では高度に有意差があった。 $C > A > B$ の順に優れていて $C = 100$ とすると $A = 118$ 、 $B = 125$ と所要トルクが大きくなっている。この原因は明確で、まずCが最も走行トルクが少なくすむのは、その前面の形状が良いからである。3種類とも除雪幅は1mであるが、プロア直径はA Bが830mmで、Cが約1,000mmで、A, B両型は $1,000 - 830 = 170$ mmの不足分をプロアハウジングから円スライ状に張り出したカッティングエッジで補っている。このエッジは進行方向に 30° の切削角をもつよう取り付けられているが、この部分で雪を押すことによる抵抗が相当大きいものであることが実験中予測された。こういうカッティングエッジを持たないC型が走行抵抗

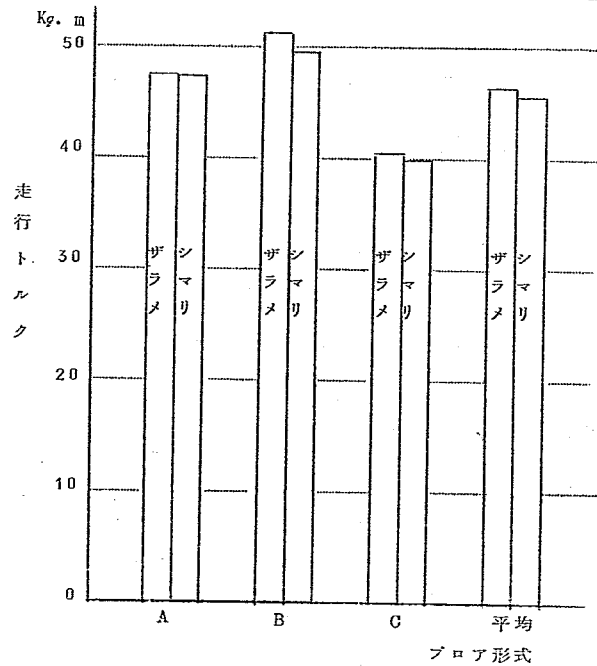


図-2 プロア形式と走行トルク

の少ないのは当然である。このフランジ状のカッティングエッジ部分の雪を押し
のける抵抗を有効に減しているのにブレカッタがある。ブレカッタはプロップ
の前で回転する棒状の翼のことで、A,C型に取り付けた。ブレカッタの本来の
目的は硬い雪の破砕にあるのではなくて、前に述べたフランジ状のカッティング
エッジ及びプロップ下部左右に取り付けられるブラウ状のカッティングエッジの部
分で押されて圧縮された雪を破砕することにあるようである。試みにブレカッ
タを取り外して運転したところ、ブラウ状のカッティングエッジ部及びフランジ
状のカッティングエッジ部に硬い雪の層ができ進行不能となった。

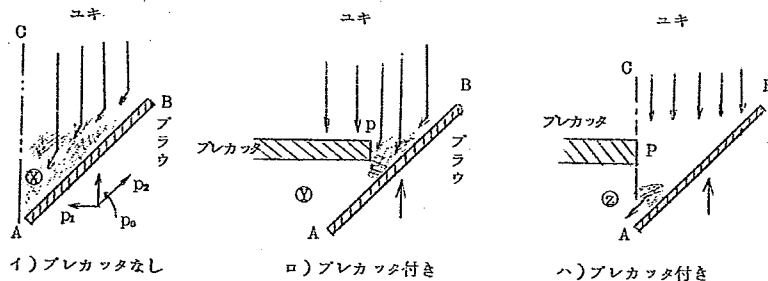


図-3 ブレカッタの働き

ブレカッタの効果は特に三角形のブラウ状のカッティングエッジ部において著
しい。一般に雪を板で押すと、雪はそれ自体圧縮されながら強度が上がり、つ
いにはその力に対抗しうる強度をもつようになる。今図-3イ)ブレカッタな
しにおいて、ある長さの斜板A Bを雪の中に押し込むと雪はB A方向に流され
ようとするが、A C線の左側にある雪が抵抗を示すので、側方に流れるよりむ
しろそれ自身圧縮されてA Bの表面特に②部に硬い雪の層を作る。この硬い雪
の層は図-3イ)のように三角形のくさび形をしているが、鉛筆も通らない程の硬
さで、板A Bを押す力P。の横方向力 P_1 に十分抗しうるもので、 P_1 によ
って破壊されないで、A Bは前進をはさまれ、 P_2 の方向にしか進めなくなる。
A Bの長さが比較的短い場合(おおよそ150cm以下)は②部の圧縮の度合
が少なく、かつ P_1 が雪の硬化層の幅の割合に大きくなることのため雪の硬化
したくさび状の層は破壊されてA C線の左方へ押し出され、A Bは進行を続け
ることができる。A Bを長くする必要がある場合は、図-3ロ)のようにその中
間にブレカッタの先端Pがくるようにすれば、雪の硬化層が破壊され、②部は

薄い硬化層のみとなって、ABの進行を可能とする。なおブレカッタの先端PがAのよりにAC線の上に来る場合もZ部分に空隙を生じ、硬化した雪の層を左方へ押しやるのを容易にしているため効果がある。ブレカッタとエッジの相対位置についてはまだ定量的な試験をしておらず今後の問題である。

ブレカッタの働きがこのようなことであるとブレカッタの有効な部分はその先端のみで中心部についてはむしろプロアトルクを増大させるおそれがある。しかしブレカッタを取り付けた場合とこれを外した場合について比較すると（取り外した場合はほとんど進行できないので正確な試験結果は得られていないが）ほかの施工条件の差の方が大きく響くため、ほとんど差が認められなかった。B型のプロアはブレカッタの代りにプロア翼の一部を延長して図-5のP部に当る部分の働きをもたせている。この方法も有効であるが、走行トルクの中ではB型プロアが最大値を示していることからブレカッタの働きよりはむしろ劣ると考えられる。なおB型プロアには図-4のオンログラムに示すように時々プロアトルクが異常に上昇する現象があった。これはプロア翼の断面が図-5に示すようにパラボラで構成されるくぼみを有し、除雪の進行に伴って雪はXOYのバラボラ回転体として残された形になっている。このXOYの部分重力その他によりXYの面あたりで剪断されると一時に大量の雪がプロア翼に当たるため、プロアトルクの一時的増大を招くのではないかと想定される。このような現象はブレカッタがあれば防止できるものである。

走行トルクはシマリ雪とザラメ雪とではわずかであるが、ザラメ雪の方が大きく出ている。（平均でシマリ=100とするとザラメ=102）この傾向はプロア種類を問わず同様であって、雪の圧縮抵抗の一つの表示と考えられる。

当初、プロア左右下部につける三角形のブラウ形カッティングエッジの切削角度が重要であるとの判断から、切削角度が20°のもの、25°のものと30°のものの3種類を作って比較した。しかし試験の結果3種類ともそのまゝでは走行抵抗が大きくて進行不能となった。数回のテストの結果図-3のロXにおいてブレカッタ先端Pとエッジ先端Bとの間に硬い雪の層が生じて抵抗を増大していることが判明し、ABの長さ（又はPBの長さ）が長すぎることが考えられた。この場合ABの長さは20°のもので480mm、25°で400mm、

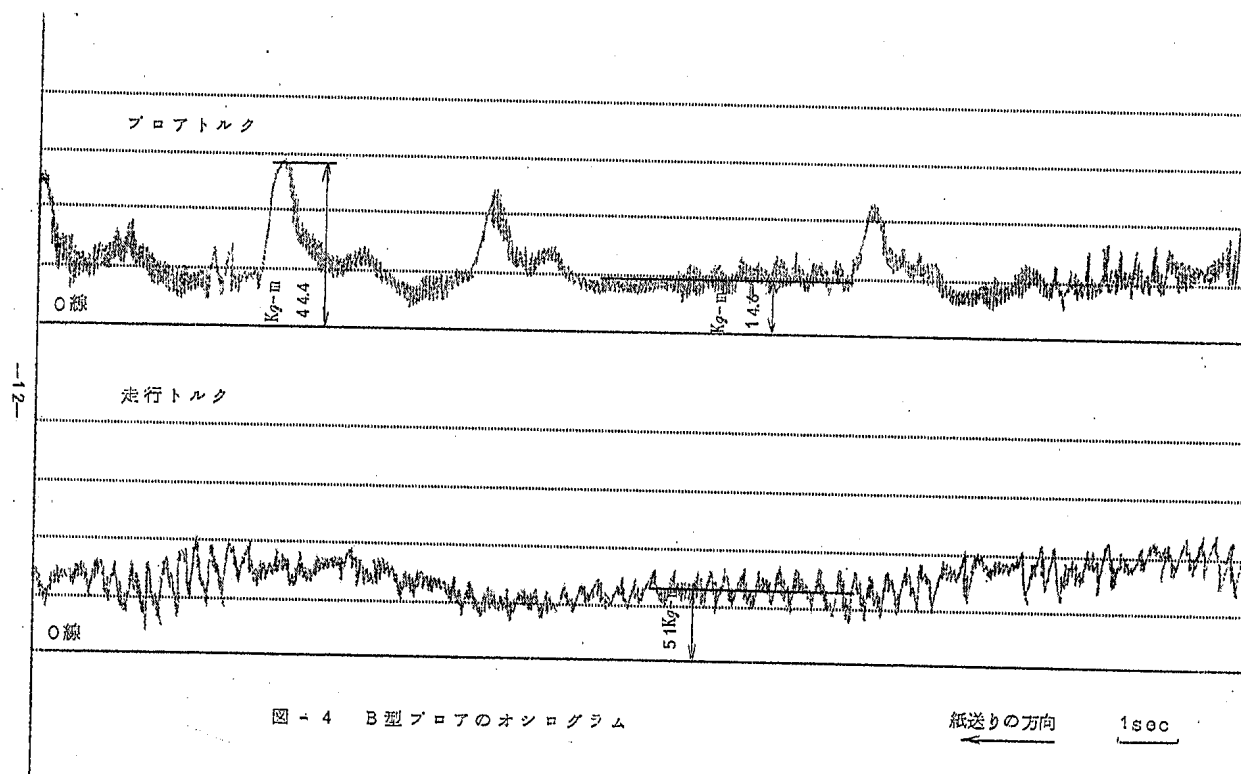


図 - 4 B型プロアのオシログラム

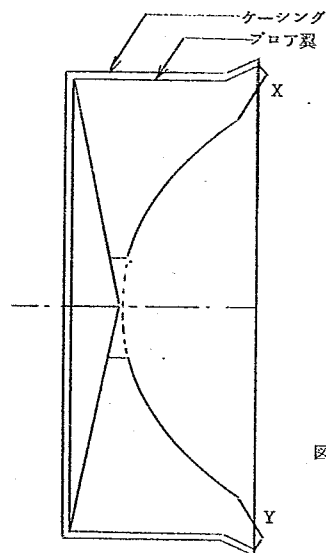


図-5 B型プロア

30°で340mmで、APはいずれも約130mmであった。ブラウ長さABが長すぎるとい判断は試験結果が当初の予想に反して角度の小さいもの程走行抵抗が大きい様子からなされた。このため、ブラウの長さをすべて240mmに切りつめた。(図-6及び写真-6,7) 最初のエッジの形状は先端にわずかの丸みをもたせたものの非常に尖った形のものであったが、これを切りつめた結果先端の丸いものとなった。従って図-7に示すように通過断面の形状が隅部のやゝ丸まったものになった。この断面形状はこの試験機では切り残しのA部をタイヤが踏むため必ずしも好ましくないが、舗装路面を作業する以外は特に問題とならなかった。なおエッジ切断後の形状はバイルハック又はシュミットプロアのエッジの形状に似た形となった。また切断後25°と30°で比較を行なったところ、その差がわずかで、ほかの原因による偶差が多くて結論づけることが困難であった。しかし、しいて結論づけるならば走行トルクの上からは25°の方が優れているが、ブラウにかゝる横方向の反力および図-7のA部の切り残しの量などから総合的には30°の方が好ましいと思われる。外国機も30°前後のものが多いようである。

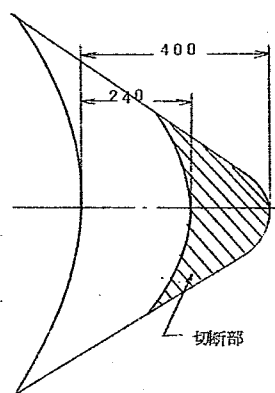


図-6 カッテングエッジ

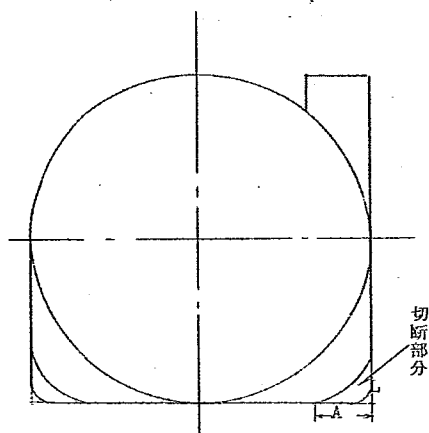


図-7 カッテングエッジの切りつめ

走行トルクの平均値は $44.7 \text{ Kg}\cdot\text{m}$ で最大値は $62.1 \text{ Kg}\cdot\text{m}$ である。タイヤ荷重半径は 380 mm であるから、走行抵抗を含むけん引力にすると平均 118 Kg 、最大 163 Kg である。この機械の重量はアタッチメント形式によって多少異なるが約 700 Kg であるから、タイヤの粘着係数は雪上で最大 0.23 、平均 0.17 となる。この値はスノータイヤチェーン付きのものであるが、このような 1 Km/h 以下の低速走行の場合はスノータイヤよりも大柄のパターンをもつラグタイヤの方が優れているようである。これは低速走行の場合は雪を踏みかためながら雪のせん断抵抗を高めることによって駆動力を得ており、したがって細かいパターンのスノータイヤよりも大柄なラグタイヤの方が、パターンの谷間に雪が入って締固められる結果、ラックビニオンの関係が生ずるためである。この試験機の雪上自走の場合の所要トルクは約 $125 \text{ Kg}\cdot\text{m}$ であり、したがって有効な外部に対するけん引力は最大で約 130 Kg 、平均で 85 Kg この意味でのタイヤを粘着係数は最大 0.19 、平均 0.12 である。

5.6 シュートのつまり

プロア型ロータリ除雪車の大きい欠点の一つにシュートがよくつまるといことが上げられている。実際につまりを生ずるのはいわゆるシュートの部分ではなくて、その下のプロア排出口（チムニー）の部分であるが、こゝでは一般の例にならってシュートと呼んでおく。

シュート部の雪の流れが最もなめらかな C 型プロアを使用し、シュートの一部を締切って投雪作業を行なわせ、つまりの生ずる限界のシュート断面積を求める試験を行なった。直径 200 mm のシュートを 75 mm 、 100 mm 、 125 mm 、 150 mm と締切って、除雪作業を行なったが、シュートのつまりは生ぜず、更にシュートを 150 mm だけ締切った状態で除雪能力を $200 \text{ m}^3/\text{h}$ から $600 \text{ m}^3/\text{h}$ に順次増加させたが、シュートのつまりは起きなかった。たゞ車速を順次上げて m^3/h を増した時 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上になるとプロア排出口から雪を排出し切れずにプロア前方に大量にはき出す現象が見られた。以上の点と各機械の観察結果からシュートのつまりの原因については次のようなものが考えられる。

(1) プロア翼の容量

つまりの最も大きい原因はプロア翼の容量の大きすぎである。プロア翼の容量とはプロアが一回転してシュートの所に来た時翼の前面にためうる雪の

量のことで、プロア型のロータリ車は他の形式のものに比べ一般にこの値が大きい。容量が大きすぎると雪は十分に加速されず、雪に与えるエネルギーが比較的少なくなる。このためプロアの回転速度（又は機関回転速度）と所要トルクの関係から機関回転速度の低下が起り易くなっており、つまりを生ずるのではないかと推定される。これらの点についてはまだ十分解明されておらず今後更に研究を行なう必要がある。

(2) シュート断面積

シュートの断面積はプロア翼の容量に見合った値を持つ必要がある。この値が過小であると、プロア周速が低下した時、つまりの原因となる。しかし一般にいて、この断面積が小さいと、排出口における雪のはき出しが完全に行なわれないためプロア内に雪が充満し、もし隙間があれば雪はプロア前方に噴出する。前述のシュート断面積を減じて除雪を行なった試験でも雪が除雪前の体積のまゝシュートをプロアの周速と同じ速度で連続的に通過したと仮定した場合の通過断面積とシュート断面積の比が0.5~0.6を超したあたりから前方への噴出が多くなり、1を越すと非常に目立つようになった。この比は施工条件によって差はあるが、一応0.6前後を目標にしたらいと考える。シュートのつまりとこの比の関係はまだ十分研究していないが、恐らくシュートの形状その他との関連もあって単純には表明できないと思われる。

(3) シュートの形状

シュートの形状も重要な因子である。シュートがつまるのは雪がそこで大幅に減速されるため、従って第1に雪に対する抵抗の多い形状は許されない。例えば層流となっている雪の一部のみを方向変換させるような部分的な曲線の異常、断面積変化を与えるような絞り、鋭角をもつような隅角等がそれである。ゆるやかな曲線による進路変更もシュートの縦断方向の曲線半径を1m以下にすることは好ましくない。この場合シュートの腹部に当たる所は空けておいて、速度が遅くなって落下する雪はシュート外に落ちるようにする。

第2にプロアの排出口とプロア翼の形状の問題がある。プロア排出口の形状を変えて試験した所、プロア翼を円周方向から見た時の周面における形状と排出口の形状をなるべく似た形にした方が良いことが判明した。前者が直

線の場合は後者を長方形に、前者が円に近ければ後者も丸くしてできるだけ寸法も同一にした方がよい。この形状に大きい差があると雪はシュート内で屑流とならないようである。

第三にシュート内面の仕上げである。雪は銅板との間にかんりの抵抗をもつようで、表面に硬質のなめらかな仕上の塗装をするが、パラフィン、ワックス、タール等の減摩剤を塗布する必要がある。これは長期間使用すると自然滑らかな表面をもつようになるので、使用開始初期の問題であるが夏期休止中のさいも影響がある。なおこの摩擦による減速は雪質とも関連があり、降雪後間もない雪の方がつまり易いのは、このためと自分自身の内部摩擦が大きいことによると考えられる。

第4にシュートの角度がある。雪は粒子の集団でシュート内を通過する場合も個の粒子間の相対速度が多少あり、特に壁面に沿って動く雪は減速され易い。低速度で通過する雪が減速されて落下する場合、シュートが直立していると次に上昇してくる雪に当たってつまりの原因をなす。プロア駆動開始時にプロア内に雪があるとつまりを起すのは、主として駆動開始時の低速度転によって雪が上記の行動をするためである。これを防ぐためにはシュートの直立部をできるだけ少なく（できれば最初から傾けておく）する必要がある。

5.7 雪質とプロア型除雪機

プロア型除雪機はほかの機種に比べ雪質の適応範囲が狭いといわれている。実験の結果もそれを裏付けており、シマリ雪とザラメ雪（ともに硬く氷結していない）に対しては、かなり優れた性能を示したが、その他の雪についてはあまり効果的ではなかった。

降雪後約8時間以内のヌレ雪（試験前夜降った雪を翌朝9～10時頃除雪、その時の気温 $0^{\circ}\text{C}\sim+1^{\circ}\text{C}$ 、比重 $=0.01$ ）に対してはシュートのつまり及びプロアへの飲み込み不能により施工できなかった。飲み込みの不良は雪が内部摩擦が大きい割に自重がないため、プロア前部でアーチングを生じ、プロア内に入らないでブルドーサに似た形で押されてしまうためで、他のロータリ車でも、その前面がすべて回転面で形成されていないような機種では同様な現象となると考えられる。

ブルドーサで押して氷結している雪（コオリザラメ雪 推定比重 $0.4\sim0.5$ ）に対しても施工不能であった。これはもっぱら走行けん引力の不足にもとづ

くものでトラクタ自重が十分あればある程度は施工可能と思われる。

アイスバーン状の雪に対してはカッティングエッジの食い込みができないので作業不能であった。これを人力で少し掘り起したものについては一部可能であった。

6. 高速ロータリ除雪

6.1 高速ロータリ除雪車の条件

ロータリ除雪車の高速化が要望されているのを聞いてから久しいが、鉄道関係で相当研究が進んでいる割に道路除雪用としては、はかばかしくないようである。鉄道と道路の立地条件の差もあるが、研究機関の熱意の差という声もあり、高速化の最も可能性の大きいプロア型ロータリ除雪機のデータが得られた所で高速化に対する検討を行なってみたい。

どの程度の速度をロータリ車で高速と考えるかは問題であるが、現用のロータリ車の速度は実用で 2 Km/h であり、国鉄では 40 Km/h を目標にすることであるが、一応 10 Km/h 以上の車速と考えてよいのではなからうか。現在のロータリ車の使用はブラウ除雪で狭くなった道幅の拡張のため、路肩の雪を除雪するのと、冬期閉鎖した山間道路を春先、除雪する2種類がおもなものである。高速ロータリ車の要望には、拡張を高速で行ないたいという意見と、ブラウ除雪の代りにこれを用いたいとの2種類があるが、こゝでは施工条件が仮定しやすい後者について考える。従って次の条件を仮定する。

雪質	新雪又はシマリ雪	比重 = 0.15
深さ	30 cm	
降雪幅	2 m	
使用トラクタ	特殊 特殊4輪全輪駆動トラック	機関出力 35 PS
除雪装置動力	トラック荷台に150PS機関を積む	
ロータリ形式	プロア型(比重=0.15の雪を処理可能とする)	

6.2 作業動力の検討

動力の検討に対して問題になるのは投雪距離である。もちろんその短い方が有利になる。過去のデータから考えると連続して作業できた投雪距離は3mであるが、一般道路幅員から考えてもこの値が施工可能な最も短い値と考えて良いと思う。この場合の周速は 6.9 m/sec であった。

今(5)式で効率を15%、プロア半径 $R=0.5\text{ m}$ $PS=70\text{ PS}$ とすると v/h
 $=1170$ となる。(効率15%はこの試験で得られた効率の平均62%に
 比べ可なり小さい値と考えられるが、実は(5)式の効率はプロア周速 $2\pi N$
 R によって変化するようで、周速と効率をプロットした図-8から推定した。

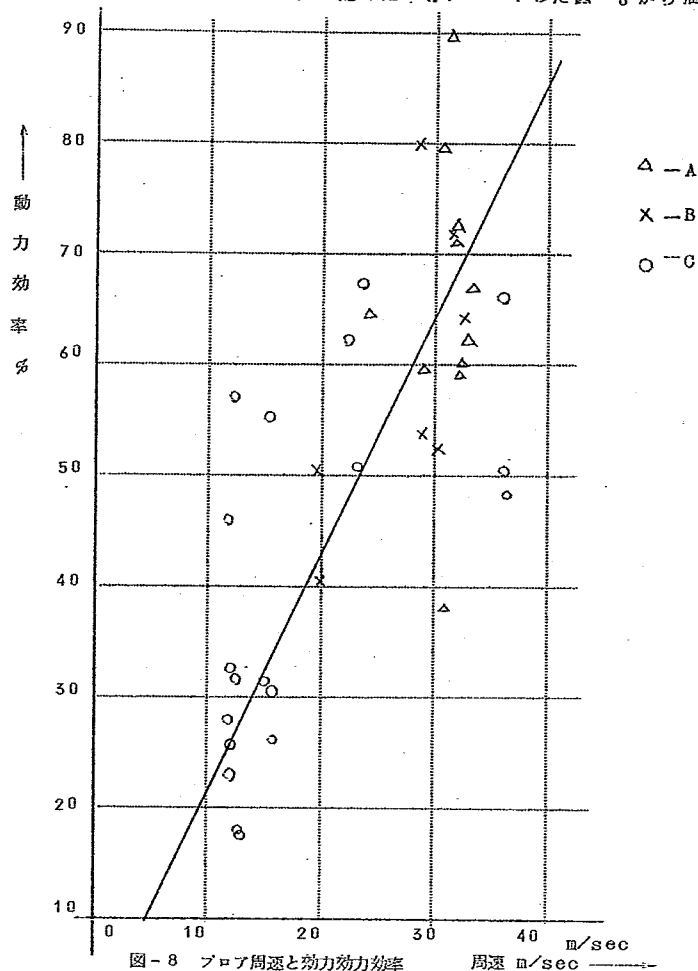


図-8 プロア周速と効力効力効率

又 $PS = 150$ としない理由については、 5.3 t/psh の項で述べたように有効な動力 $150 PS \times 0.9 = 135 PS$ のほ $\frac{1}{2}$ の $70 PS$ が常時使用される動力と考えた。) 1170 t/h は、比重 0.15 とすると、 $7780 \text{ m}^3/\text{h}$ となり、幅 2 m 、除雪高さ 0.3 m とすると車速は 13.0 Km/h となる。なおこの時のプロア回転速度は 131.8 rpm である。

6.3 m^3/h の検討

今プロアの構造をできるだけ大容量とするため直径 1 m 奥行 0.5 m 6枚翼のもの2組を使用すると仮定すると、プロア翼1枚当たりの容量は最大 0.04 m^3 と考えられる。従ってプロア1回転当たりの容量とプロア回転速度から1プロア当りの能力を出すと $1900 \text{ m}^3/\text{h}$ 2台で $3800 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。この値は 6.2 で PS から計算した $7780 \text{ m}^3/\text{h}$ の能力の約 $\frac{1}{2}$ で、このまゝでは雪がプロア内で $\frac{1}{2}$ 容積にすなわち倍の比重に変化することを仮定しなければ作業ができない。尚 $3800 \text{ m}^3/\text{h}$ の場合シュートは 0.13 m^2 の断面積を必要とし、長方形にすると $50 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$ の大きな口となる。大きい m^3/h を処理できるプロアの関係が必要となるが、現状では上記大きさのプロアすら作られていない。

6.4 走行動力と車速

同種のトラックでタイヤチェーンを装着し雪のある舗装路上を全輪駆動で走行した場合の走行抵抗は 500 Kg である。この抵抗で 13 Km/h で走行すると所要出力は $24 PS$ となって $35 PS$ に対し余裕を持つが、雪の切削抵抗を 100 Kg と考えると約 $29 PS$ を必要とし動力効率をも考えると、 13 Km/h が作業しながら走行できる限度であろう。このほか 13 Km/h で走行するためにはブレーキ、操向、除雪装置の操作等について動力化、自動化を考慮する必要がある。

6.5 高速ロータリ車可能性

以上述べたロータリ除雪車の高速化に関する問題点をまとめると

- (1) 作業動力については、 10 Km/h 以上の速度で走行しうる能力をもつが、雪比重を 0.15 とした場合のことで、この値が 0.3 前後になると不可能となる。
- (2) 道路上で使用しうる最大の大きさのプロアを考えた場合でも車速を 6.5 Km/h

以上にすることは困難である。車速を上げるためには除雪高さを30 cmより小さくする必要があるが、そのためには薄い層をなす軽い雪をうまく飲み込む機械を開発しなければならない。

(3) トラクタについては出力は一応満足できるが、実用上はもう少し余裕出力が必要となるであろう。運転操作についても改善が必要となる。

ロータリ除雪車の高速化の問題は一般に考えられているように、出力の大きい機械を作れば可能であるとはいいい切れない面がある。より大量の雪を処理するための最も望ましい形式を考えると結局ブラウ式の除雪機械に近い形になるのではなからうか。なお以上の推算是比較的データの整っている t/h と PS の関係を基礎に考えたが、もし6.3で考えたような構造のプロアが現実に使用可能と仮定するならば、プロア周速を $6.9 m/S$ より上げて、 m^3/h を増加させ、 PS から計算した t/h 又は m^3/h と見合うように車速を決めることができる。この場合は周速 $10 m/S$ (投雪距離 $7 m$) で作業を行い、動力効率22%で計最すると $5500 m^3/h$ ($820 t/h$) で作業速度 $9.1 Km/h$ となる。

7 結言

以上を要約すると次のようになる。

- (1) 除雪機械の能力の表示には m^3/h t/h t/ps 理論効率、動力効率など多くの表現があるが、いずれも一長一短があって目的に応じた使い分けが必要である。
- (2) m^3/h 、 t/h を大きく出すためには、なるべく車速を上げることが好ましい。なおそれぞれに最も適した雪比重がある。
- (3) t/ps と t/h の間には正の相関がある。
- (4) 3種のプロア形式には、それぞれ特徴があり、各雪質に対する適応性及び能力には多少の差はあるが、全般的にいて大きい差はなく、優劣をつけ難い。
- (5) 多くの使用状態を平均すると、作業動力は機関定格の $\frac{1}{2}$ しか使われてない。
- (6) プロア型ロータリ車の走行抵抗の大きいのは、プロア左右下側にある三角形のブラウ状カッティングエッジによるもので、エッジはその切削よりエッ

ジ長さの方が走行抵抗に大きい影響を与えている。

- (7) プレカッタは、カッティングエッジで圧雪して走行抵抗を増大するのを防ぐのに有力な働きをしており、従ってプロア翼の一部でその働きを兼ねさせるのも有効である。
- (8) この試験機のタイヤ粘着係数は雪上で平均0.17（自身の走行抵抗を除いた外部けん引力に対しては0.12）最大0.23（同0.19）であった。
- (9) シュートがつまる原因にはプロア翼の過大なこと、シュートの形状の不適切なこと、内面の抵抗の大きいこと、角度が不良なことなどがある。
- (10) プロア型ロータリ車は雪質の適応範囲が狭く、新しく降った雪、凍結した雪には不適切であった。
- (11) ロータリ車の高速化には、機関出力から来る制限とプロアの大きさからくる m^3/h の上での制限があり、 10 Km/h 以上の作業速度にすることは困難と考えられる。その改善のためにはプロア形状の改良が必要である。

2シーズンにわたりプロア型ロータリ車について試験を行なったが、限られた場所で、限られた時期に、限られた人員で行なわれなければならなかったので、数直的な詰めが足らず、決定的な結論があまり得られていないのは遺憾であり、今後も主として開発的な面で研究を続けて行きたいと思う。終りにこの試験に多くの協力を戴いた北陸地方建設機被課、高山機械事務所、高田工事事務所、関東地方建設局、長野国道工事事務所、土木研究所新潟試験所、鉄道技術研究所、梁瀬、新潟鉄工所、東京フレキシブルシャフト製作所の方々に厚く御礼申し上げたい。

小型除雪試験機仕様

1. 寸 法

全 長	1 9 0 0 mm (プロア部分を除く)
全 幅	1 0 0 0 mm
輪 距	7 6 5 mm
軸 距	8 0 0 mm
最低地上高	1 8 5 mm (駆動スプロケット下部)
重 量	約 6 5 0 Kg

2. 形 式

2.1 機 関

名 称	新三菱 ME-18P-2 ガソリン機関
シリンダー内径×行程—数	95φ×105mm—2
連続定格出力	30ps/2400rpm
作業時最大トルク	10.2Kg-m/2300rpm

2.2 走行 装 置

ク ラ ッ チ	乾燥単板式
変 速 機	
主 変 速	すべりかみ合い 前進3段 後進1段
副 変 速	高低の2段切換
終 減 速 機	チェーン sprocket 式 10段変速 (sprocket 交換による)
操 向 方 式	遊星歯車クラッチ—車輪制動式
ブ レ ー キ	油圧手動式
タ イ ヤ	6.00-16 6PL 雪上用 4本 (タイヤチェーン付)
走 行 速 度	(機関定格出力にて) 0.132Km/h ~ 11.2Km/h

2.3 作 業 装 置

ク ラ ッ チ	乾燥単板式 手動操作
変 速 機	すべりかみ合い 4段変速
減 速 機	遊星歯車式 (3.3 : 1)
伝 動 軸	フック式ジョイント及びインポリユートスプライン
プ ロ ア	3種類交換

カッテングエッジ

3 種類交換

角 度

30° 25° 20°

プロア回転数(機関定格回転数にて)

143rpm 238rpm 424rpm 720rpm

シ ョ ー ト

3 6 0 度回転(手動式)

2.4 計 測 装 置

走行トルク測定

機関—変速機関 抵抗線歪計式トルクメータ

プロアトルク測定

変速機—プロア間、抵抗線歪計式トルクメータ

機関回転速度測定

パルスによる

表-1 試験結果(その1) プロア性能テスト

雪質記号 Z:ザラメ雪

S:シマリ雪

N:スレ雪

番号	プロア種類	雪質区分	雪温度 ℃	比重	機関回転数 r.p.m	走行			プロア			除雪深サ m	除雪能力		プロア能率 t/psh	投雪エネルギー ps	投雪効率 %	投雪距離 m
						車速 km/h	トルク kg·m	出力 ps	回転速度 r.p.m	トルク kg·m	出力 ps		m ³ /h	t/h				
*1	A	Z	-0.2	0.42	2548	0.11	54.36	0.33	764.5	7.66	8.17	0.563	62	26.18	3.18	5.46	66.83	右 5.0
*2	"	"	-0.1	0.31	2482	0.27	47.00	0.47	744.7	18.37	19.10	0.692	188	58.22	3.05	11.52	60.31	—
*3	"	"	-0.3	0.35	2508	0.28	48.59	0.48	752.5	17.98	18.89	0.586	166	58.24	3.07	11.77	62.31	—
*4	"	"	-0.2	0.42	2345	0.39	39.48	0.71	703.6	21.91	21.53	0.599	230	96.46	4.94	17.04	79.61	右 5.0
*5	B	"	-0.1	0.42	2548	0.11	50.18	0.30	449.6	6.73	4.24	0.507	56	23.66	5.55	1.71	40.33	右 6.5
*6	"	"	-0.1	0.42	2534	0.24	54.18	0.79	447.2	11.49	7.19	0.491	121	50.61	7.06	3.61	50.21	右 6.5
*7	"	"	—	0.36	2474	0.25	16.213	0.61	742.3	13.62	14.11	0.508	128	46.08	3.26	9.06	64.21	—
*8	C	N	-0.2	0.40	2539	0.12	43.21	0.25	448.0	9.51	5.96	0.612	76	30.27	5.10	3.02	50.67	右 7.0
*9	"	Z	-0.3	0.37	2324	0.25	44.60	0.42	697.3	22.65	22.06	0.652	162	60.09	2.72	14.54	65.91	—
*10	"	N	-0.2	0.40	2442	0.40	33.11	0.61	430.9	24.03	14.50	0.604	244	92.47	6.73	9.00	62.07	右 7.0
*11	"	Z	0	0.38	2267	0.92	50.97	1.78	225.2	39.07	12.31	0.644	590	224.26	18.22	5.66	45.98	—
*12	A	S	-0.3	0.18	2438	0.11	47.39	0.26	701.5	5.94	6.07	0.646	74	13.23	2.19	2.32	38.22	—
*13	"	SZ	-0.1	0.26	2444	0.12	39.03	0.28	733.3	6.34	6.49	0.672	77	20.02	3.08	3.84	59.17	右 2.0

番号	プロア種類	雪質区分	雪温 ℃	比 重	機 関 回 転 数 r.p.m	走 行			プ ロ ア			除 雪 深 サ m	除雪能力		プ ロ ア 能 率 t/ps	投 雪 エ ネ ル ギ ps	投 雪 エ ネ ル ギ 率 %	投 雪 距 離 m
						車 速 Km/h	トル ク Kg.m	出 力 ps	回 転 速 度 r.p.m	トル ク Kg.m	出 力 ps		m ³ /h	t/h				
14	A	S	-0.1	0.18	2437	0.19	50.18	0.48	731.2	6.74	6.89	0.774	146	26.19	3.82	5.00	72.57	左 4.0
*15	"	SZ	-0.1	0.26	2424	0.18	54.96	0.54	727.2	7.92	8.93	0.775	130	33.80	3.79	6.38	71.44	右 3.0
*16	"	"	-0.1	0.26	2416	0.36	41.60	0.69	724.8	11.88	12.03	0.615	221	57.46	4.78	10.78	89.61	右 2.0
*17	"	"	-0.1	0.26	1850	0.49	53.61	1.31	555.1	23.23	18.00	0.826	408	106.08	5.89	11.67	64.83	右 3.0
18	"	S	-0.1	0.18	2206	0.62	28.63	1.18	661.9	22.18	22.77	0.778	483	86.94	4.67	13.59	59.70	左 4.0
*19	B	"	-0.5	0.23	2309	0.11	54.36	0.32		7.13	6.89	0.857	92	21.15	3.07	3.60	52.25	右 6.0
*20	"	"	-0.5	0.23	2401	0.20	47.00	0.45	720.4	6.74	6.78	0.598	120	26.29	4.07	4.07	71.83	右 3.0
*21	"	"	-0.5	0.23	2196	0.36	53.06	0.88	658.9	20.60	18.95	0.840	307	70.61	3.73	10.94	53.73	右 6.0
*22	"	"	-0.5	0.23	2180	0.60	43.67	1.25	654.1	20.33	18.59	0.707	423	97.37	5.24	14.87	79.90	右 3.0
*23	C	"	-0.6	0.26	2360	0.13	46.00	0.26	708.1	11.49	11.34	0.680	85	21.97	1.95	5.48	48.32	左 9.5
*24	"	"	-0.6	0.26	2334	0.21	35.06	0.33	700.3	19.01	18.59	0.727	149	38.66	2.08	9.43	50.73	左 9.0
*25	"	"	-0.6	0.26	2269	0.35	39.05	0.67	680.8	12.28	20.90	0.623	216	56.16	2.69	12.95	61.95	左 9.5
*26	"	"	-0.6	0.26	1524	0.43	39.06	0.78	457.2	18.00	11.51	0.671	287	74.53	6.48	7.75	67.33	左 9.0

表-2 試験結果(その2) カッティングエッジテスト及びシュートテスト

番 号		シュート		カッ テ ン グ エ ジ 度	雷 質	比 重	機 関 回 転 数 r. p. m	プ ロ ア 周 速 m/s	車 速 km/h	プ ロ ア 出 力 ps	走 行 出 力 ps	除 雪 能 力		プ ロ ア 能 率 t/ps h	投 雷 距 離 m
		開 度 mm	断 面 積 cm ²									m ³ /h	t/h		
27	カッ テ ン グ エ ジ ス テ ス ト			30	S	0.25	2454		0.21	4.41	0.46	151	37.75	8.56	
28				"	S	0.25	2319		0.67	10.88	1.37	545	136.25	13.58	
29				25	S	0.26	2458		0.21	4.33	0.43	138	35.75	8.26	
30				"	S	0.26	2380		0.60	3.14	1.42	348	90.48	28.82	
31	シ ュ ー ト テ ス ト	200	314		Z	0.42	2385	13.18	0.41	8.25	0.59	254	106.47	12.90	左 3.5
32		"	"		S	0.25	2533	12.91	1.34	9.40	2.09	881	237.87	24.49	左 4.6
33		125	207		Z	0.42	2473	12.61	0.41	6.26	0.69	217	90.93	14.51	左 3.8
34		100	157		Z	0.42	2593	13.22	0.46	7.99	0.74	242	101.64	12.72	左 3.7
35		75	107		Z	0.42	2593	13.22	0.39	8.56	0.59	227	95.13	11.14	左 3.5
36		"	"		S	0.25	2318	11.82	0.90	14.02	2.04	631	170.46	12.72	左 2.8
37		50	614		Z	0.42	2337	11.91	0.40	7.13	0.69	202	84.84	11.90	左 3.0
38		"	"		Z	0.42	2369	12.08	0.67	9.82	1.12	307	128.94	13.12	左 3.4
39		"	"		Z	0.42	2314	11.80	0.87	12.71	0.83	428	179.76	14.18	左 3.6
40		"	"		S	0.27	2403	12.55	0.92	14.29	2.26	598	161.46	11.30	左 4.5

表-3 試験結果(その3) 平均値

機種質別		A	B	C	F 値
ザ ラ メ	除雪能力 (t/h)	60.29	40.12	62.61	0.534
	除雪能率 (t/psh)	3.73	5.29	4.89	0.660
	動力効率 (%)	69.58	51.58	59.55	3.085
	走行トルク (Kg-m)	47.48	51.16	40.31	1.331
シ マ リ	除雪能力 (t/h)	54.34	53.83	47.83	0.0883
	除雪能率 (t/psh)	4.39	4.03	3.30	0.530
	動力効率 (%)	71.26	64.43	57.08	1.364
	走行トルク (Kg-m)	47.30	49.52	39.79	1.145
F 値	除雪能力 (t/h)	0.0060	0.364	0.492	
	除雪能率 (t/psh)	0.551	1.394	0.939	
	動力効率 (%)	0.0353	1.674	0.149	
	走行トルク (Kg-m)	0.00086	0.076	0.161	

機種別		A	B	C	F 値
	除雪能力 (t/h)	56.89	47.95	54.16	0.446
	除雪能率 (t/psh)	4.10	4.57	3.96	0.219
	動力効率 (%)	70.54	58.92	58.14	2.708
	走行トルク (Kg-m)	47.37	50.23	40.01	4.634

質別		ザラメ	シマリ	総平均	F 値
	除雪能力 (t/h)	54.34	52.00	53.00	0.0090
	除雪能率 (t/psh)	4.62	3.90	4.21	1.130
	動力効率 (%)	60.24	64.26	62.54	0.565
	走行トルク (Kg-m)	46.32	45.54	45.87	0.0517

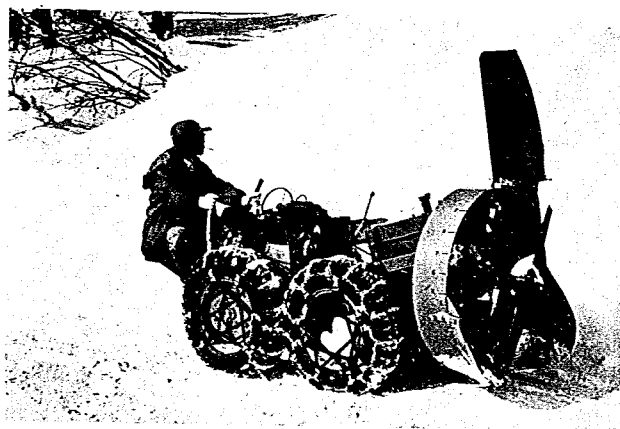


写真-1 C型プロアを装着した試験機



写真-2 作業中の試験機

写真-3 A 型プロア

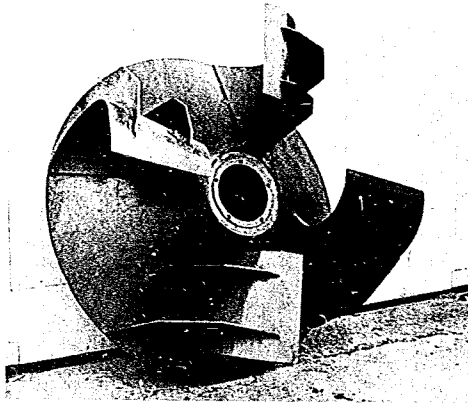


写真-4 B 型プロア

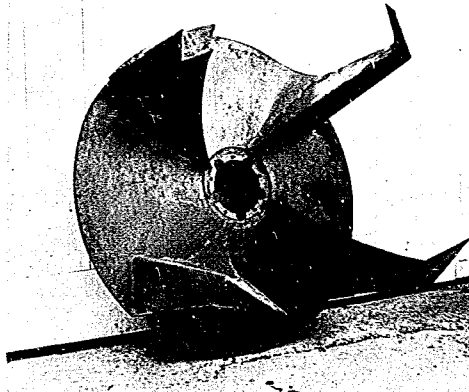
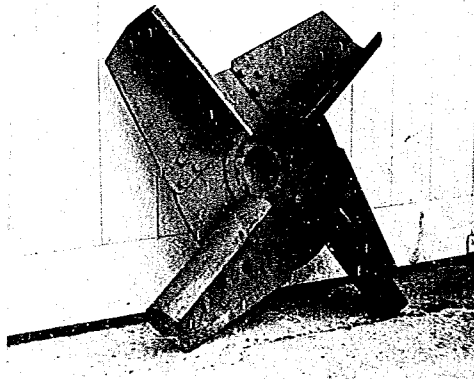


写真-5 C 型プロア



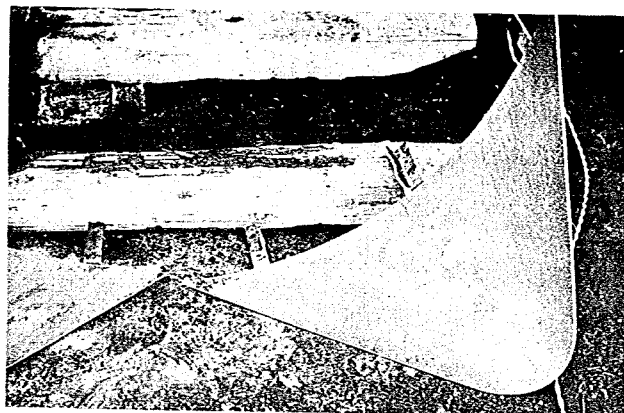


写真-6 切断前のプラウ

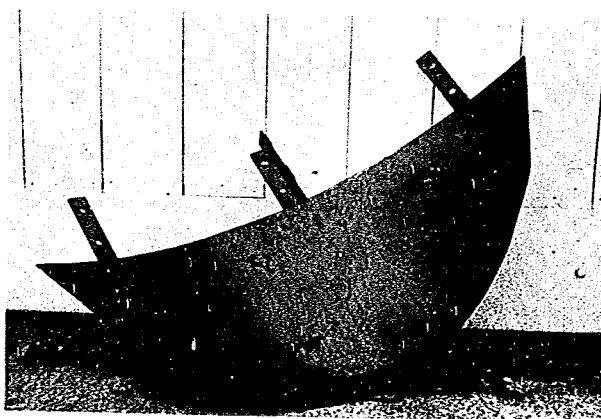


写真-7 切断後のプラウ