

## 路面圧雪処理に関する研究

田中康之・野原以佐武・岡崎治義・小山博司

建設省土木研究所

### On the Removal of Compressed Snow from Road Surface

By

Yasuyuki Tanaka, Isamu Nohara, Haruyoshi Okazaki and Hiroshi Koyama  
*Chiba Branch, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Chiba*

#### Abstract

In winter snow falls heavily. In order to remove the compressed snow from the road surface, the authors tried to make efficient machines and developed the following four types of attachments to the motorcar for the removal of compressed snow.

1. Attachment of the type of plow-like notching and cutting:
  - (a) cutter of quadrilateral blade,
  - (b) cutter of triangular blade,
  - (c) cutter of flat blade.
2. Attachment of the rotary tine type.
3. Attachment of the vibratory cutter type.
4. Attachment of the impact-giving cutter type.

Making use of these four-typed attachments, the authors tried many experiments of removing the compressed snow from the road (National Road, Route 17) at Echigoyuzawa in 1970-1971.

Experiments were performed by changing the running speed of testing car, the vertical force due to hydraulic pressure and the frequency (for vibrating cutter type), and revolutions per minute of the crank shaft (for impact-giving type).

Measurements were made for depths of compressed snow cutting, snow cutting efficiency, snow temperature, snow hardness, and for atmospheric temperature. At the same time, the authors discussed the methods of compressed snow sampling and the measuring methods of the hardness of compressed snow, and the experiments *in situ* were carried out. Many useful data were obtained by these experiments, as follows:

1. Plow cutting type.
  - (a) Depth of snow cutting is increased at a remarkable rate, when the compression at the road is over 8 kg per cm of the blade length, and has a maximum value between 12 and 16 kg/cm.
  - (b) Cutters of quadrilateral and triangular blades cut the compressed snow at depths larger than that of flat blade.
2. Rotary tine type.
  - (a) Depth of snow cutting showed a constant increase in the cycle of rotary tine pitch.
  - (b) Removal efficiency of compressed snow was about 2-10 ton/(PS·h).  
These values of compressed snow removal are similar to those of ordinary snow plow and rotary snow removal machine.
3. Vibrating type.
  - (a) Any good effect of vibrating force for cutting the compressed snow cannot be recognized, but decrease of running resistance is recognized.
  - (b) Running efficiency is increased by the effect of vibration.

4. Impact-giving type.

- (a) Snow cutting depth is increased by revolution of crank shaft, because the force of hydraulic pressure is added to the attachment.
- (b) Snow cutting efficiency has a constant value (3 t/h) by dint of the above revolution of shaft.

The four cutting types of snow removal were compared with each other for their efficiency and capacity.

Among these cutters, that of the type of notched cutting blade (cutting of quadrilateral type) showed the best result. After that, for the purpose of application to machines in practice in future the authors calculated the snow cutting capacity of the quadrilateral cutter by attaching it to the motor grader.

Consequently, if the depth of snowfall were 30 cm/day, and if the machine had operated 7 hours a day, it will be about 16 km of road length that this machine must have disposed of.

要 旨

冬季、路面上に発生する圧雪を取り除くため、4種類の有効なる圧雪処理機を試作開発した。

- 1. 普通のブラウタイプの装置。
- 2. ロータータインタイプの装置。
- 3. 振動式圧雪切削装置。
- 4. 衝撃式圧雪切削装置。

これらの各装置を装着した試験機(三菱2W-400型特殊作業車)を使って、圧雪切削実験を越後湯沢町国道17号線上で行なった。実験は、車速、油圧による鉛直力(押付力)、毎分振動数、クランク軸回転速度等を変化させて行なった。そして、圧雪切削深、除雪能率、雪温、硬度、外気温を測定し、同時に圧雪サンプリング方法および硬度測定方法の検討ならびに現場実験を行なった。

その結果、次のことが明らかになった。

- 1. ブラウ式
    - (1) 線圧を8 kg/cm以上にすると急激に切削深が増加し、12 kg/cm~16 kg/cmで最大となる。
    - (2) 切刃を三角、四角に切欠いた形状の刃を使用すると切削性が増す。
  - 2. ロータータイン式
    - (1) 打撃ピッチを大きくすると切削深が増す。
    - (2) 除雪能率は2~10 ton/PSH程度であり、普通の積雪のブラウ又はロータリー車と類似している。
  - 3. 振動式
    - (1) 起振力が切削深に及ぼす効果はあまり認められないが、押腕抵抗を減少させる効果がでてる。
    - (2) 毎分振動数の増加は走行に使われる馬力の減少に寄与している。
  - 4. 衝撃式
    - (1) 圧雪切削深さは、切刃クランク軸の回転速度の増加に比例して増加しているが、高回転速度になると、油圧シリンダによる押付力を加えなければならない。
    - (2) 除雪能率は、軸回転速度120 rpm以上では一定、3 t/PSHになる。
- 各種の圧雪処理装置は、それぞれの特徴を有しているが、性能比較結果および機構的な面からみて、四角刃付ブラウ型が最も適しているとみられる。そこ

で、実用機への応用として、モータグレーダに四角刃を装着した場合の処理試算を行なった。

その結果、日当り降雪深を30cm、日当り稼働時間を7時間とすると、この機械1台のもつ道路延長は16kmになる。

目 次

1. まえがき	7	5.2	ロータリータイプの実験結果	34
1.1 路面に発生する圧雪	7	5.2.1	除雪速度と除雪能率	34
1.2 圧雪の処理方法	8	5.2.2	除雪能率と打撃ピッチの関係	34
2. 試験機械	8	5.2.3	ロータリー式における押付力および推力	36
2.1 試験用トラクタおよびブラウ式切削装置	8	5.2.4	雪質の影響	37
2.2 ロータリー式切削装置	11	5.3	振動式圧雪切削試験	37
2.3 振動式圧雪切削装置	13	5.3.1	総線圧と切削深さ	37
2.4 衝撃式圧雪切削装置	14	5.3.2	圧雪切削に及ぼす起振力の影響	37
3. 試験方法	14	5.3.3	除雪能率と線圧	39
3.1 実験日程	14	5.3.4	毎分振動数と除雪能率	42
3.2 実験場所	14	5.3.5	切削比抵抗と毎分振動数	43
3.3 実験の概要	14	5.4	衝撃式圧雪切削装置	43
3.4 実験方法	14	5.4.1	切削深さと軸回転速度	43
4. 解析方法	15	5.4.2	押付力の効果	44
4.1 振動式圧雪切削装置の解析方法	16	5.4.3	切削深さと打撃ピッチの関係	44
4.1.1 切削比抵抗	16	5.4.4	切刃速度と切削深さ	44
4.1.2 線 圧	16	5.4.5	軸回転速度と除雪能率	44
4.1.3 除雪能率	17	5.4.6	打撃ピッチと除雪能率	44
4.2 衝撃式圧雪切削装置の解析方法	17	5.4.7	軸回転速度と切削比抵抗	49
4.2.1 切刃速度	17	5.5	各種圧雪試験の性能比較	49
4.2.2 除雪能率	23	5.6	実用機への応用	49
5. 試験結果	23	5.6.1	けん引力	49
5.1 ブラウ型の試験結果	23	5.6.2	圧雪切削量の算出	51
5.1.1 線圧・切削深さ	23	5.6.3	1台のうけもつ道路延長	51
5.1.2 線圧・除雪能率	26	6.	結 論	51
5.1.3 除雪速度・除雪能率	27	7.	あとがき	54
5.1.4 除雪比抵抗・除雪速度	32	8.	写 真	54
5.1.5 雪質の影響	32	9.	参考文献	54

1. まえがき

1.1 路面に発生する圧雪

圧雪は道路面上にだけ発生する特殊な雪で、自然に降り積もった新雪が、ひんぱんに通過する自動車のタイヤで踏み固められた堅い雪をいう。通常密度は0.45～0.75g/cm<sup>3</sup>、硬度は20～170kg/cm<sup>2</sup>（木下式硬度計による）の範囲にある。密度・硬度は降雪量・交通量・気温などに影響さ

れるが、まだその生成過程の研究が進んでいないので、それらの関係は明確ではない。圧雪は、湿度が低い間は強度が高く、一般通行車両の輪荷重に耐えうる。しかし、この場合、路面のすべり摩擦係数は雪のない場合に比べてかなり低下し、リブタイヤで0.20～0.34と、一般の乾燥路面の半分以下の値となる。したがってスノータイヤ・タイヤチェーン類の装着が必須となり、また高速

走行ができなくなる。気温の上昇や日照によって、圧雪の温度が $0^{\circ}\text{C}$ 近傍に上昇するとその強度が急激に低下し、交通車両によって局部的な切削や融解が起こり、いわゆるわだち掘れの現象を来す。わだち掘れは車両から操向の自由を奪い、凹凸による走行速度の低下を招き、車両を傾け、腹をするなど多くの障害をもたらす。ふつう、圧雪の厚さが5 cm があると、わだち掘れはかなりの交通障害となり、10 cm 以上では往々マヒ状態に陥るとされている。したがって、圧雪は5 cm 以下に押えておくことが必要とされている。

### 1.2 圧雪の処理方法

圧雪を5 cm 以下に保つためには、圧雪の発生が防止できれば良いが、発生条件すら明解でなく、したがって、その方法は確立されたものが少ない。(1)散水する、(2)路面を加熱する、(3)薬剤を散布する、等の工法が知られている。

(1)散水は、いわゆる消雪パイプとして知られている方法で、温水(井戸水)を路面に放水して降雪を直ちに融解するものである。設備費、運転経費共に比較的安価で勝れた方法であるが、大量の地下水が必要な点が短所である。

(2)路面加熱は、舗装版の中に電熱線を入れて加熱する方法が最も一般的であるが、設備費、運転経費のいずれも除雪工法の中では群を抜いて高く、一般的ではないので、トンネル出入口、切り通し、交差点、踏切、歩道など特殊な個所に限って用いられている。

(3)薬剤散布は、塩化カルシウム等を主成分とした融点降下剤を路面にまく方法である。降雪の前又は降雪中に散布すると、圧雪の発生を抑制できることが知られているが、散布時期が限定され、かつ、大量の薬剤を必要とするのでこの方法はあまり用いられず、専ら圧雪の発生後の処理対策として広く行なわれ始めている。

発生した圧雪を処理する方法としては、(1)人力で削る、(2)機械力で削る、(3)薬剤を散布する、等の方法が知られている。

(1)人力切削は、つるはしで圧雪を削る方法で、かつては広く行なわれていたが、次第に少なくなってきた。交差点、歩道など特殊な場所で行なわれていない。

(2)最も一般的に行なわれている方法で、いろいろの機械が用いられている。一番多く行なわれているのは、モータグレーダによる切削で、路面の

凹凸の修正を兼ねて行なっている。しかし、モータグレーダによる切削は、線圧(切刃長1 cm 当たりの押しつけ力。ブレード荷重を切刃長さで除した値。単位は $\text{kg}/\text{cm}$ )がやや不足気味で、1回当たりの切削量は $\text{mm}$ オーダーの値であるため、1日に5 cm 程度の速さで増加する圧雪層の成長を止めることはむずかしい。

ブルドーザやトラックショベルの切刃を用いる場合もあるが、これも能率が低い。ただ、この方法は比較的機械の入手が借上げなどの方法で容易であるため、応急的方法として多数の機械による大量処理としてよく用いられる。現在唯一の圧雪処理専用機械にアイスバーン処理機がある。これは多くの爪を持つ回転刃(ロータリータイン)を圧雪に当て、切削する方法で、モータグレーダのアタッチメントとして作られたものがよく用いられている。この機械は効果的ではあるが、作業速度が遅いため、施工能力の小さい点が難点とされている。

以上のように、圧雪処理に関してはまだ一般的といえる方法が確立されておらず、したがって、毎年圧雪による交通障害が何らかの形で発生している現況である。例えばある調査によれば、雪氷道路で車速の確保ができなかった障害件数のうち、圧雪によるものが47%、氷盤を含めると約70%に及んでいる。そこで、この研究では、切刃による圧雪層の切削、ロータリータインによる圧雪層の切削、切刃に衝撃、振動を与えることによる切削の4方法について研究し、最も能率的な工法を確立しようとするものである。この研究は3カ年計画となっており初年度(昭和43年度)はブラウ式試験機械の製作、第2年度(昭和44年度)はロータリータイン式、アタッチメントの製作及びブラウ式、ロータリータイン式の実験、第3年度(昭和45年度)は振動式、衝撃式のアタッチメントの製作及び実験を行なった。

この報告書は、第1年度、第2年度、第3年度に製作した試験機の概要及び第2年度、第3年度に実施した試験結果をとりまとめたものである。

## 2. 試験機械

### 2.1 試験用トラクタおよびブラウ式切削装置

昭和43年度は試験機械としてトラクタおよびそれに付属させるブラウ式切削装置を製作した。その概略仕様を次に述べ、外観を図1、写真1、

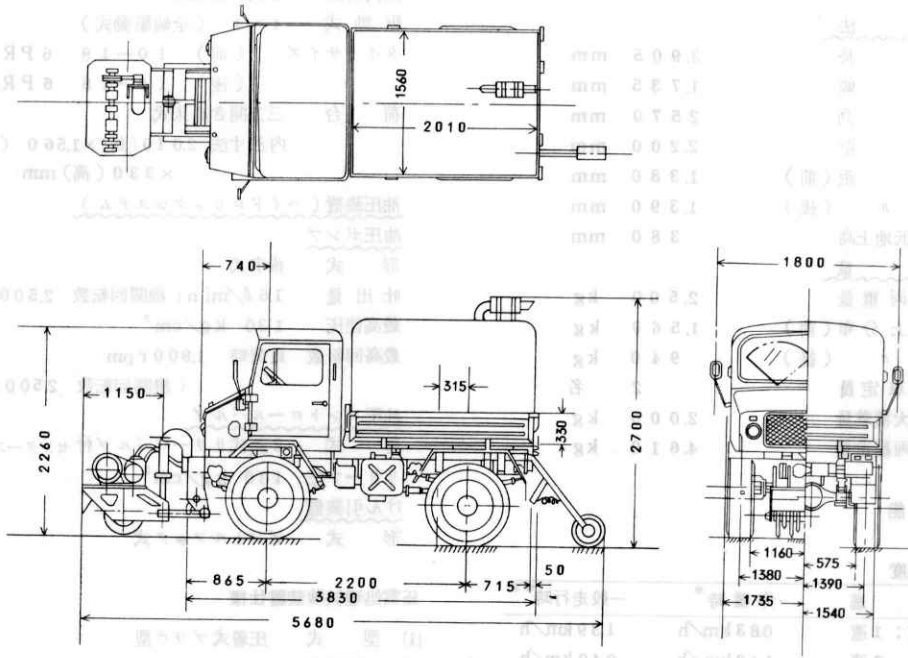


図1. ロータリー式圧雪処理試験車

(Fig. 1. Compressed-snow cutting test machine.)



写真1. プラウ型圧雪処理試験装置

Photo 1. Plow-type attachment (general appearance).



写真2. プラウ型実験装置

Photo 2. Plow-type attachment (detail view).

写真2に示す。

トラクタ仕様

(1) 形式

三菱2W400型 特殊作業車

(2) 主要諸元

寸法		
全長	3.905 mm	
全幅	1.735 mm	
全高	2.570 mm	
軸距	2.200 mm	
輪距(前)	1.380 mm	
"(後)	1.390 mm	
最低地上高	380 mm	
重量		
車両重量	2.500 kg	
同上分布(前)	1.560 kg	
"(後)	940 kg	
乗車定員	2 名	
最大積載量	2.000 kg	
車両総重量	4.610 kg	

(8) 性能

走行速度

前進	作業時*	一般走行時**
低速: 1速	0.83 km/h	1.39 km/h
2速	1.43 km/h	2.40 km/h
3速	2.54 km/h	4.27 km/h
4速	4.13 km/h	6.93 km/h
高速: 1速	8.32 km/h	14.0 km/h
2速	14.4 km/h	24.2 km/h
3速	25.6 km/h	43.0 km/h
4速	41.5 km/h	70.0 km/h
後進	作業時*	一般走行時**
低速	0.83 km/h	1.39 km/h
高速	8.32 km/h	14.0 km/h

\* 機関回転速度 2500 rpm } マキシムスピード  
 \*\* " 4200 rpm } セッティングレバーにて切換

最小回転半径 5.2 m  
 登坂能力 (sinθ) 0.574 (2 ton積載時)

(4) 各部要目および構造

機関

名称	三菱4 DQ型ディーゼルエンジン
最大出力	一般走行時 60 PS/4000rpm (最高回転数 4200rpm)
作業時	38 PS/2500rpm
最大トルク	13 kg·m/2400rpm
クラッチ	機械操作乾燥単板式
変速機	ハス歯平歯車2・3・4速等速噛合式
副変速機	平歯車選択摺動式
減速機	マガリ歯カサ歯車式
差動機	直歯平歯車式

操向装置 形式 油圧式パワーステアリング  
 駆動式 4×4 (全輪駆動式)  
 タイヤサイズ (前) 10-18 6PR  
 " (後) 10-18 6PR  
 荷台 三方開き高床式  
 内法寸法 2.010(長)×1.560(幅)  
 ×330(高)mm

油圧装置(ハイドロリックシステム)

油圧ポンプ

形式 歯車式  
 吐出量 16 l/min (機関回転数 2500rpm)  
 最高使圧 130 kg/cm<sup>2</sup>  
 最高回転数 負荷時 1800rpm  
 (機関回転数 2500rpm)

油圧コントロールバルブ

形式 2連式リリーフバルブ付センタースプリング式  
 リリーフ圧 130 kg/cm<sup>2</sup>

けん引装置

形式 ピントルフック式

圧雪処理試験装置仕様

(1) 型式 圧着式ブラウ型

(2) 主要諸元

ブラウ

寸法(幅×高) 500×300mm  
 形状 円筒型 半径250mm  
 進行角 90度  
 切削角 25度~65度連続可変  
 種類 固定刃形一切刃3種類  
 振動刃形一切刃1種類

押付機構

型式 油圧シリンダ  
 ストローク 250mm (ブレード切刃先端にて)  
 油圧 最高 60 kg/cm<sup>2</sup>

除雪深調整機構

型式 円板シュー型  
 調整幅 0~50mm (切削角25度)連続可変

(3) 性能

除雪速度 最高 10 km/h  
 除雪幅 500mm  
 ブラウ 推力 最大 1.250kg  
 押付線圧 最高 20kg/cm  
 最低地上高 (トラックに架装した状態)

この試験機は切刃による圧雪処理効果を研究する目的で特殊な4輪駆動式トラクタ(三菱2W400)の前に切削幅50cmの切刃を取り付け、油圧シリンダでこれを地面に押しつけて、その時の水平切削反力をワイヤストレインゲージ式のロードセルで検出できるようにしたものである。切

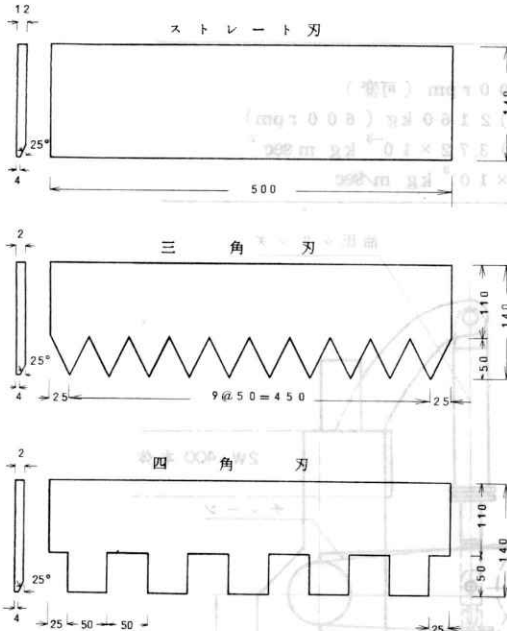


図2 プラウ型切刃図

Fig.2. Plow cutter-type attachment.

刃は一般に使用されている平らな刃のほかに、これを三角形および四角形に切り欠いた三角刃および四角刃を製作した。(図2, 写真3)

## 2.2 ロータリー式切削装置

昭和43年度のトラクタの前部にロータリータイン式(幅50cm)の回転爪を設け、その荷台に駆動用の原動機を積載したもので、昭和44年度に製作した。その仕様を次に述べ、外観を写真4に示す。この機械はすでにアイスバーン処理機として建設省東北地方建設局仙台技術事務所が開発した機械に似せて製作したもので、駆動は油圧ポンプ・モータを使用し、タインの回転速度を無段階に変速できるようにした。タインの回転力は油圧モータタイン間にワイヤストレインゲージ式のトルクメータをそう入した。この場合も押付力は油圧シリンダの圧力で、水平力はロードセルで検出できる。

ロータリータイン型圧雪処理試験装置

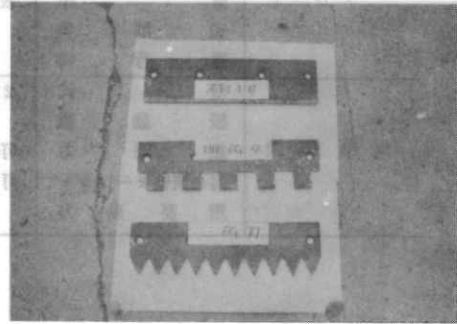


写真3 プラウ型切刃

Photo 3. Plow cutting-type attachment.



写真4 ロータリータイン型圧雪処理試験装置

Photo 4. Rotary tine-type attachment.

### 主要諸元

ロータリータイン 寸法	直径×幅=500×500mm
回転数	200~800 rpm連続可変
タイン形状	先端角錐型
上下調整量	路面より ±20 cm
駆動方式	閉回路油圧駆動
油圧ポンプ	可変容量型プランジャポンプ
入力軸トルク	(15.5kg・m/130kg/cm <sup>2</sup> ~ 250kg・m/210kg/cm <sup>2</sup> )
軸圧モータ	定容量型プランジャモータ
出力軸トルク(ポンプ入力軸に同じ)	
作業用機関	KE65 三菱重工業株式会社製
定格出力	57.5PS/2600rpm
最大トルク	16.7kg・m/2000rpm

表1 振動式圧雪切削装置

ブレード	切削幅	80 mm
	刃圧	耐摩耗性肉盛溶接 最大 27 kg/cm (静圧)
起振機	切削角	30°
	進行角	90°
起振機	型式	2軸偏心式
	振動数	0~600 rpm (可変)
	起振力	可変(最大) 2160 kg (600 rpm)
	偏心慣性モーメント	可変(最大) $3.72 \times 10^{-3}$ kg m sec <sup>2</sup>
所要動力	180 × 10 <sup>3</sup> kg m/sec	

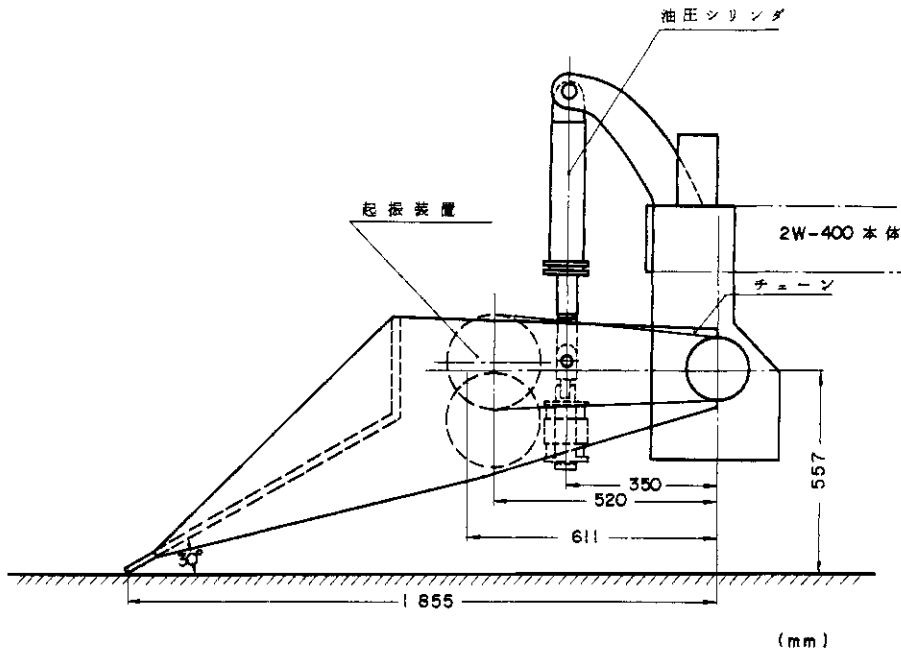


図3 振動式圧雪切削機  
Fig. 3. Vibratory cutter-type attachment.

表2 衝撃式圧雪切削装置  
Table 2. Specification of impact-giving cutter-type.

ブレード	有効切削幅	800 mm
	可動部切削幅	150 mm × 4個
	ストローク	50 mm
緩衝バネ	バネ定数	10 kg/mm
	取付荷重	380 kg
	最大荷重	885 kg (50 mm圧縮)
クランク軸	クランク個数	4個
	クランク角度	2個ずつ180度偏位
	クランク偏心量	50 mm
	クランク回転数	max 150 rpm
	所要トルク	540 kgm (緩衝バネ圧縮)
所要出力	最大 847 kgm/sec	



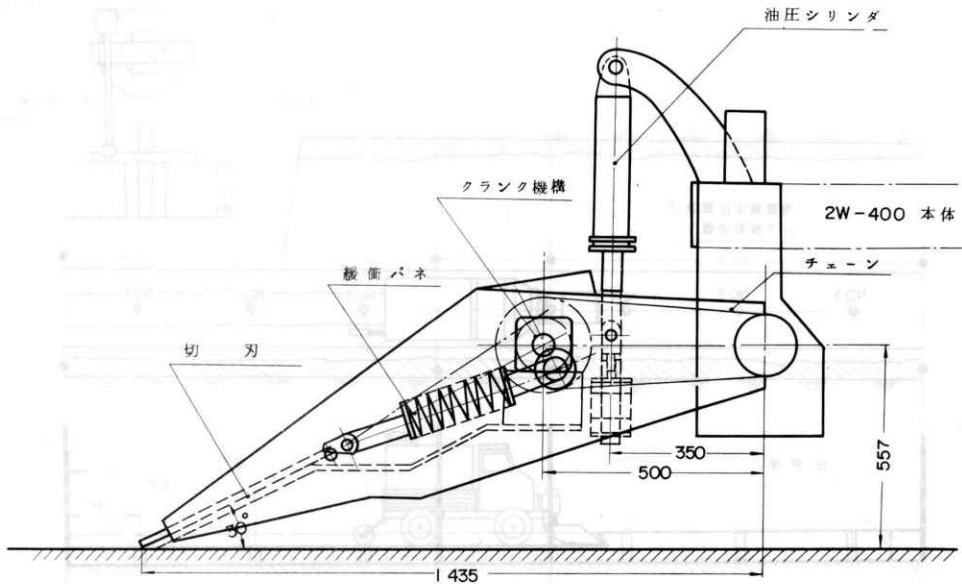


図4 衝撃式圧雪切削機

Fig.4. Impact-giving cutter-type attachment.

### 2.3 振動式圧雪切削装置

振動式圧雪切削装置は、トラクタ(三菱2W400)の前方に切刃へ振動を与えるための起振装置を設け、トラクタの荷台に起振駆動用の原動機を積載

したもので、仕様を表1に、寸法を図3に示す。起振機の駆動は油圧ポンプ、油圧モータを使用し、アンバランスマスの回転速度は無段変速できるようにした。起振装置は2軸偏心式で、振動方向は

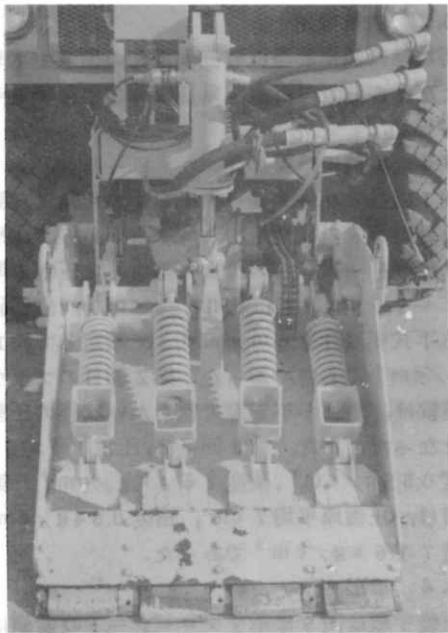


写真5 衝撃式圧雪切削機

Photo 5. Impact-giving cutter-type attachment.

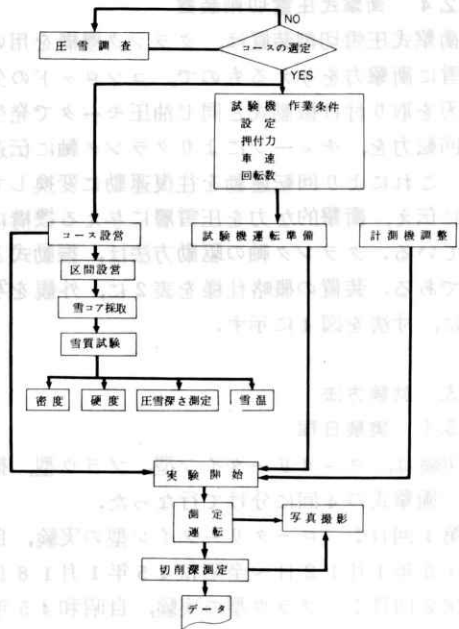


図5 実験方法の流れのシート

Fig.5. Flow sheet of experiment.

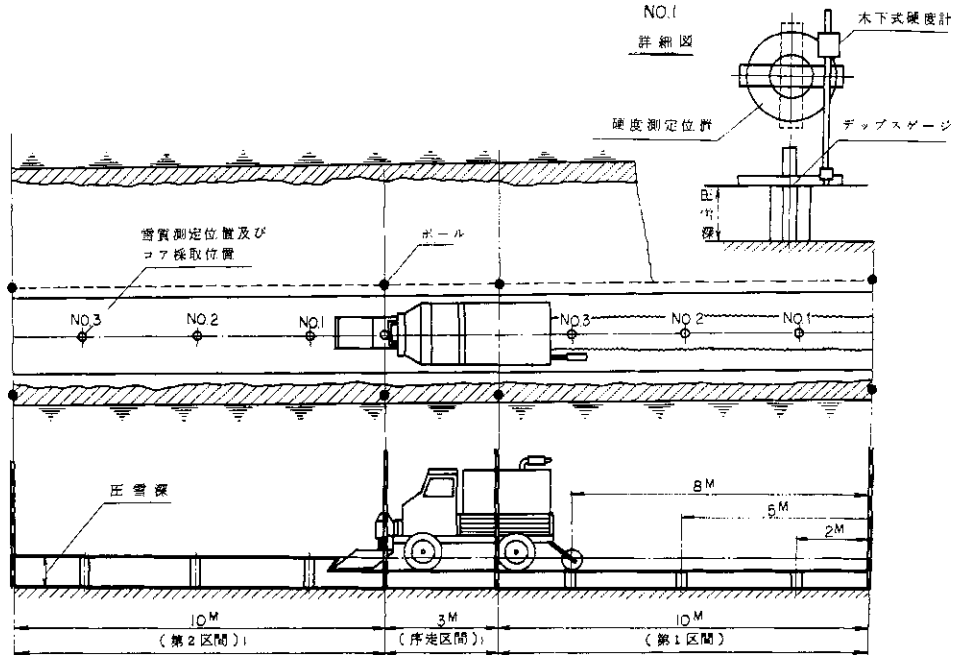


図6 1コース距離および測定位置

Fig.6. Test course and measuring position.

鉛直とした。

なお、装置の上から油圧シリンダで押付力を加えて、切刃の線圧を増している。切刃は一般に使用されている平刃とした。

#### 2.4 衝撃式圧雪切削装置

衝撃式圧雪切削装置は、クランク機構を用いて圧雪に衝撃力を与えるもので、コンロッドの先に切刃を取り付け振動式と同じ油圧モータで発生した回転力を、チェーンによりクランク軸に伝達させ、これにより回転運動を往復運動に変換して切刃に伝え、衝撃的な力を圧雪層に与える機構になっている。クランク軸の駆動方法は、振動式と同一である。装置の概略仕様を表2に、外観を写真5に、寸法を図4に示す。

### 3. 試験方法

#### 3.1 実験日程

実験は、ロータリータイプ型、ブラウ型、振動式、衝撃式の4回に分けて行なった。

第1回目：ロータリータイプ型の実験，自昭和45年1月12日～至昭和45年1月18日。

第2回目：ブラウ型の実験，自昭和45年1月26日～至昭和45年2月4日。

第3回目：自昭和46年1月26日～至昭和

46年1月28日。（振動式，衝撃式圧雪切削実験）

第4回目：自昭和46年2月9日～至昭和46年2月13日。（振動式，衝撃式圧雪切削実験）

#### 3.2 実験場所

新潟県西魚沼郡湯沢町三俣地先の国道17号線、およびその付近の町道、県道ならびに苗場スキー場駐車場。

#### 3.3 実験の概要

第1回目のロータリータイプ型の実験は、実験地付近の積雪の深さも約1mぐらいあって、平均的に気温も $-4^{\circ}\text{C}$ 、国道上に発生した圧雪も厚さ約8～10cm、密度約 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 、表面硬度は木下式硬度計（ $6\text{m}/\text{m}\phi$ ）で測定して約 $110\text{kg}/\text{cm}^2$ ぐらいであった。第2回目のブラウ型の実験は、雪質が不安定で軟らかい状態の圧雪実験となった。また、第3回目は、圧雪厚平均6cm、密度 $0.55\text{g}/\text{cm}^3$ 、硬度 $76.4\text{kg}/\text{cm}^2$ 。第4回目は、圧雪厚平均7cm、密度 $0.64\text{g}/\text{cm}^3$ 、硬度 $71.6\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。

#### 3.4 実験方法

実験手順は図5に示すフローシートの要領に従って行なった。実験コースは、圧雪が40mm以上、直線で見通しのきく平坦路面で50～70m

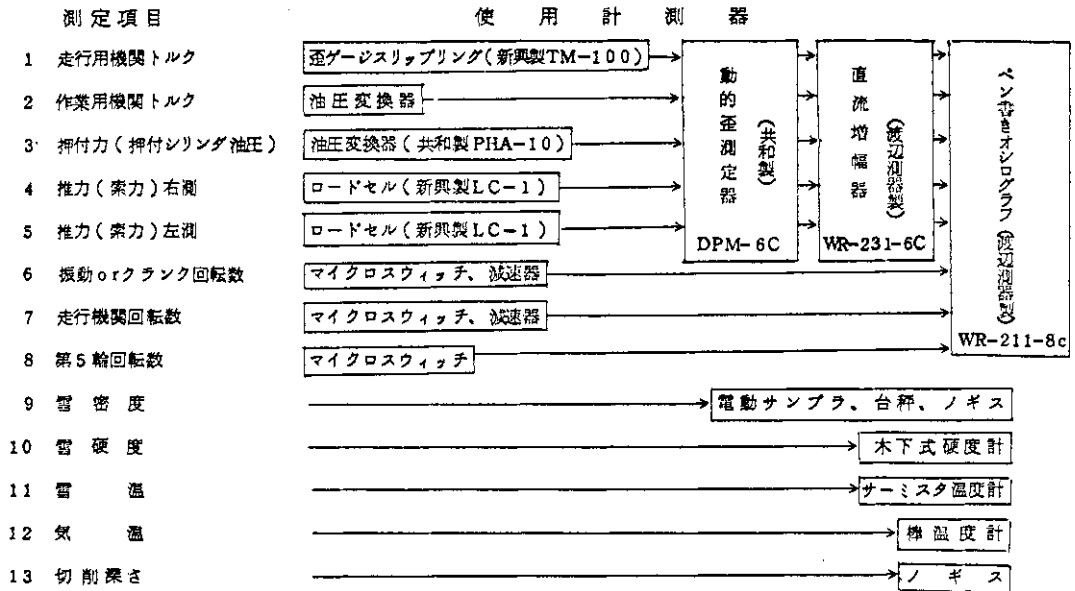


図7 測定項目および使用計測器

Fig.7. Measurement items and meters.

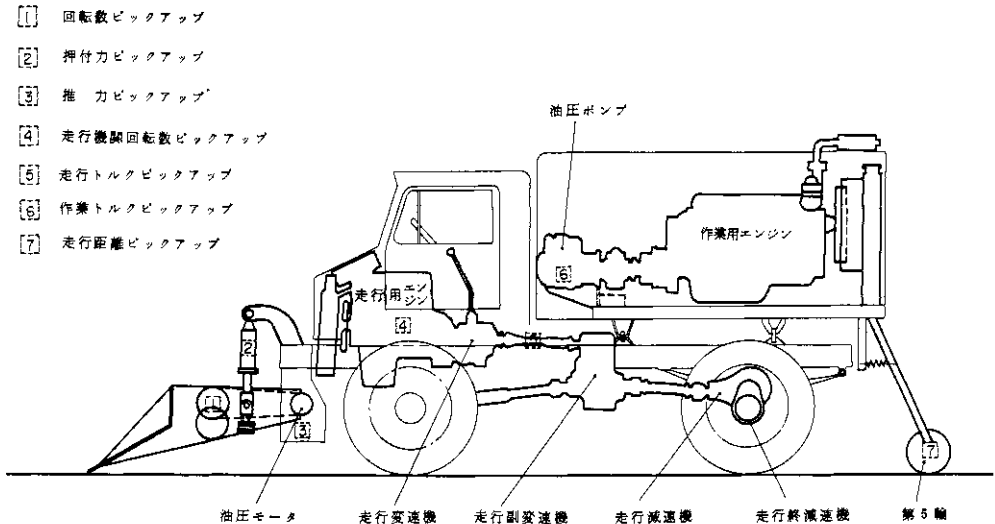


図8 測定対象および検出部

Fig.8. Pickup and measurement items.

を選んで1実験コースとし、切削実験は路側の雪堤から約1m 50cm 道路中央寄りの位置で行なった。雪堤には、標点を示す数本のポールを立てて試験区間を標示し、隣接するポール間で実験条件の一部を変化させた。(図6)

試験車には、計測機器を積み込み、計測および記録の要領は図7に示すブロックダイアグラムに、

測定対象及び検出部を図8に示す。また、雪質の測定は、圧雪深さ、雪温、雪密度および圧雪の表面硬度についてそれぞれ測定した。

#### 4. 解析方法

振動式、衝撃式圧雪切削装置で圧雪を切削している際にアタッチメントにかかる力の平衡について

- $M_g$  : アタッチメント重力
- $P$  : 油圧シリンダからの押付力
- $T \sin \omega t$  : 振動力
- $F_1$  : 機械本体からの反力の鉛直成分
- $F_2$  : 推力
- $S_1$  : 圧雪からの鉛直方向反力
- $S_2$  : 圧雪からの水平方向反力

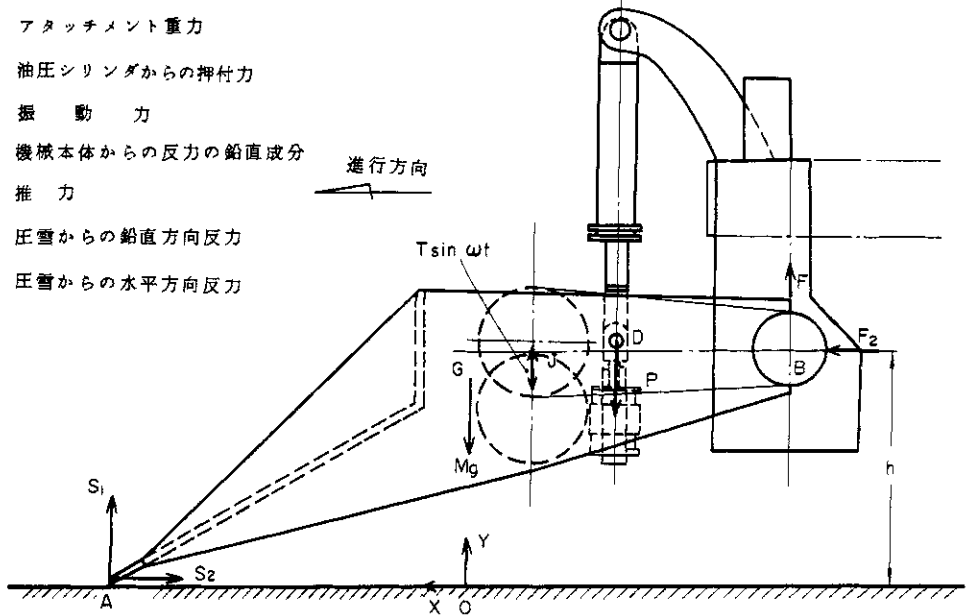


図9 アタッチメントにかかる力(振動力)

Fig.9. Force analysis of vibratory cutter-type attachment.

て考えてみることにより、圧雪切削に使われる力を算出する。

#### 4.1 振動式圧雪切削装置の解析方法

振動式圧雪破壊機構は、アンバランスマスによる振動を切刃に与えて、圧雪を破碎するものである。このアタッチメントにかかる外力について説明する。図9より重心Gでアタッチメント重力 $M_g$ が働き、油圧シリンダからの押付力 $P$ 、起振装置からの起振力 $T$ 、B点において、機械本体からの反力 $F_1$ 、推力 $F_2$ 、他端Aでは、圧雪からの鉛直方向反力 $S_1$ 、進行方向 $S_2$ の下に平衡が成立する。

$$F_2 - S_2 = 0, \quad (1)$$

$$S_1 - M_g - P - T + F_2 = 0. \quad (2)$$

##### 4.1.1 切削比抵抗

切削比抵抗(単位  $\text{kg}/\text{cm}^2$ )とは、切刃が圧雪に食い込んでいる部分の断面積を考えた場合、単位断面積当りの抵抗と定義されるから、

$$\text{切削比抵抗} = S_2 / \text{断面積}.$$

(1)式より、切削比抵抗 =  $F_2$  / 断面積 となる。

##### 4.1.2 線圧

線圧(単位  $\text{kg}/\text{cm}$ )はブラウ刃先に作用する力の大きさをいうもので、ブラウに作用する鉛直方向の力をブラウ除雪有効幅で除した値である。振動式圧雪切削装置のブラウ刃先に作用する力は、ブラウ押付力とアンバランスマスの回転による偏

心モーメントで発生する起振力が作用するものであるから、これを除雪有効幅で除した値が次式で求められる。(2)式より、

$$S_1 = M_g + P - F_2 + T. \quad (3)$$

一方、A点でのモーメントは零であるから、

$$F_1 = \{ M_g (l_1 - l) + P (l_1 - l_2) + T (l_1 - l_2) - F_2 h \} / l_1. \quad (4)$$

$$\therefore S_1 = P + M_g + T$$

$$\frac{M_g (l_1 - l) + P (l_1 - l_2) + T (l_1 - l_2) - F_2 h}{l_1} = \frac{M_g l + P l_2 + T l_3 + F_2 h}{l_1}. \quad (5)$$

$$\text{線圧}(S) = S_1 / b (\text{kg}/\text{cm}),$$

$b$  : 除雪有効幅 (cm) = 80 cm,

$$S = \frac{M_g l + P l_2 + T l_3 + F_2 h}{b l_1}. \quad (6)$$

起振力 $T$ は次の式から求める。まず、アンバランスマスによる振動エネルギー( $E_v$ ) ( $\text{kg} \cdot \text{m}$ )は

$$E_v = \frac{1}{2} m a^2 \omega^2, \quad (7)$$

$m$  : 質量 ( $\text{kgs}^2/\text{m}$ ),  $a$  : 振幅 (cm),

$\omega$  = 角速度 (rad/s).

アンバランスマス(2個)の回転エネルギー( $E_r$ ) ( $\text{kg cm}$ )は

$$E_r = 2 \times (I \times \omega^2), \quad (8)$$

$I$  : 慣性モーメント ( $\text{kgs}^2 \text{cm}$ ).

そして、振動エネルギー ( $E_v$ ) = 回転エネルギー ( $E_r$ ) より

$$2I\omega^2 = \frac{1}{2}ma^2\omega^2.$$

$$\therefore a = \sqrt{4I/m}. \quad (9)$$

最大起振力  $T$  (kg) は

$$T = ma\omega^2. \quad (10)$$

ここで各記号の実測値を示すと

$$m = 263.1/9.8 = 26.85 \text{ (kgs}^2/\text{m)},$$

$$a = 2.68 \text{ (cm)} = 0.0268 \text{ (m)},$$

$$\omega = 2\pi n/60 \text{ (rad/s)}, \quad n: \text{偏心軸回転速度 (rpm)}.$$

(10) 式に代入して

$$T = ma\omega^2 = 26.85 \times 0.0268 \times (2 \times 3.14/60)^2 \times n^2 = 0.00788n^2 \text{ (kg)}.$$

一方  $l = 61.1$  (cm),  $l_2 = 35.0$  (cm),

$$h = 55.7 \text{ (cm)}, \quad l_3 = 52.0 \text{ (cm)},$$

$$l_1 = 185.5 \text{ (cm)}, \quad b = 80 \text{ (cm)}.$$

(6) 式より線圧  $S$  (kg) は

$$S = \frac{M_g l + P l_2 + F_2 h + T l_3}{b l_1}$$

$$= \frac{263.1 \times 61.1 + 35P + 55.7F_2 + 52T}{80 \times 185.5}$$

$$= 1.083 + 0.0024P + 0.0038F_2 + 0.000276 \times n^2. \quad (11)$$

### 4.1.3 除雪能率

除雪能率には除雪機械の性能を把握するために種々の表現方法があるが、ここでは時間当りの除雪重量  $t/h$  をその時に必要とした動力 (PS) で割った値 ( $t/PS_h$ ) を採用した。各部の性能別に分けると次の3種類の除雪能率が考えられる。

(1) 除雪能率 (作) = (除雪重量/時間) / 作用馬力 ( $t/PS_h$ ),

(2) 除雪能率 (振) = (除雪重量/時間) / 振動馬力 ( $t/PS_h$ ),

(3) 除雪能率 (全) = (除雪重量/時間) / 全馬力 ( $t/PS_h$ ) .

## 4.2 衝撃式圧雪切削装置の解析方法

### 4.2.1 切刃速度

衝撃式圧雪切削装置の圧雪破碎機構は、クランク軸を介して、作業回転動力を切刃の直進往復運動に変換させ、この切刃の衝撃によって圧雪を破碎させる効果をねらったものである。軸回転速度が増加すれば、走行速度に対して切刃の速度が大きくなり、抵抗力  $s_1$  は衝撃力的挙動を示す。したがって1枚の切刃の絶対速度を計算してみると切刃の速度は

$$V = V_x i + V_y j. \quad (12)$$

今  $V_x$ ,  $V_y$  は切刃のそれぞれ  $x$  方向,  $y$  方向の速度成分で、切刃の角度は、30度固定されて

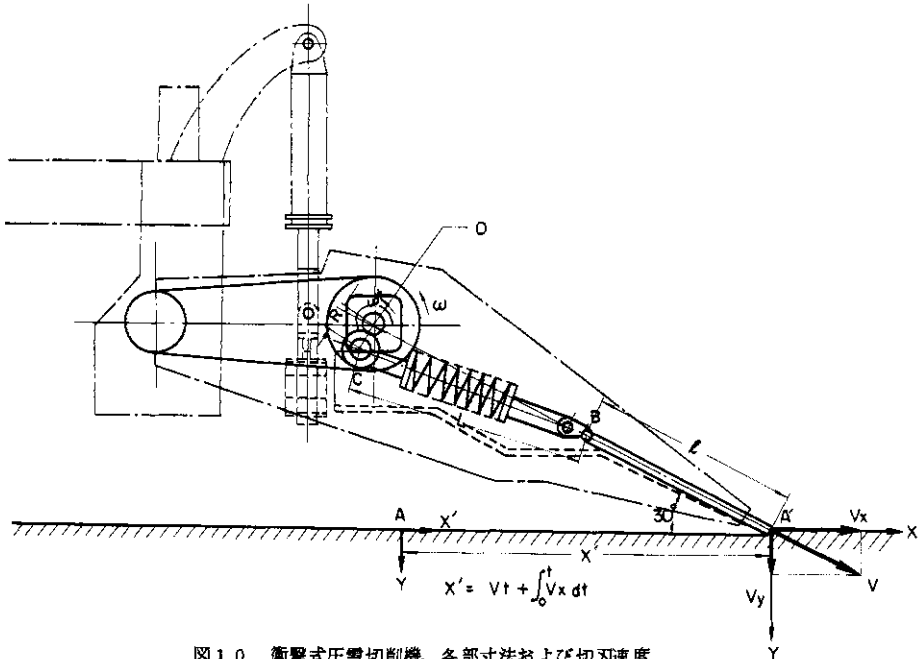


図10 衝撃式圧雪切削機、各部寸法および切刃速度

Fig.10. Cutter speed and size of impact-giving cutter-type attachment.

表3 ロータリータイン式圧雪切削試験計測結果  
Table 3. Results of compressed snow cutting tests (Rotary tine-type cutter).

整理番号	1 速度段	2 走行機関回転速度 r.p.m	3 除雪速度 km/h	4 走行機関トルク kg·m	5 走行機関出力 PS	6 ロータ回転速度 rpm	7 ロータ周速度 m/s	8 ロータトルク kg·m	9 作業機関出力 PS	10 除雪幅 cm	11 除雪深 cm	12 除雪量 t/h	13 除雪能率 t/PS-h	14 打撃ピッチ cm	15 推力 kg	16 押付力 kg
3-2	L-4	1515	2.54	1.29	2.73	473	12.37	11.57	7.64	50	1.8	13.7	1.80	1.49	-48	0
3-3	H-1	1680	5.71	7.54	3.54	453	11.86	18.30	11.58	50	1.7	29.0	2.51	3.50	-80	0
3-5	H-2	2063	11.90	10.02	9.98	438	11.47	22.79	13.94	50	1.8	64.3	4.61	7.54	-2	-
4-3	L-2	1398	0.81	1.67	1.13	378	9.88	6.21	3.27	50	3.0	5.7	1.74	0.60	87	0
4-4	L-4	1378	2.31	1.86	3.58	358	9.36	10.93	5.46	50	2.3	14.9	2.73	1.79	133	0
4-5	H-1	1619	5.51	21.06	9.54	347	9.09	15.40	7.47	50	2.9	48.7	6.52	4.41	96	0
4-6	H-2	1094	6.42	20.78	10.98	338	8.33	19.07	8.99	50	3.0	58.7	6.53	5.28	135	26
4-8	H-1	2527	8.60	18.38	12.97	358	9.37	10.23	5.11	50	1.0	25.8	5.05	6.67	39	70
5-1	L-2	1563	0.91	1.75	1.28	206	5.38	13.30	3.82	50	5.0	13.4	3.51	1.23	178	746
5-2	L-4	1500	2.52	2.68	5.61	197	5.15	21.96	6.03	50	5.4	4.01	6.65	3.56	236	1914
5-3	H-1	1566	5.67	23.00	10.72	178	4.66	20.73	5.15	50	3.6	60.2	11.69	8.85	182	1335
5-4	H-2	570	3.34	23.28	6.41	187	4.88	22.13	5.76	50	4.4	4.19	7.27	4.97	227	966
5-5	H-2	684	4.02	22.98	7.59	185	4.84	23.09	5.96	50	4.7	5.76	9.66	6.04	214	1062
6-1	L-2	1458	0.85	11.49	8.09	328	8.57	10.50	4.80	50	4.9	12.3	2.56	0.72	142	878
6-2	L-4	1403	2.36	2.76	5.41	295	7.73	20.91	8.62	50	6.5	45.3	5.25	2.22	145	3725
6-3	H-1	1212	4.12	27.39	9.29	268	7.01	26.16	9.78	50	5.2	6.32	6.40	4.27	158	3725
6-4	H-2	689	4.05	21.14	7.04	315	8.23	17.93	7.88	50	4.2	48.5	6.15	3.57	100	0
6-5	H-2	669	3.93	22.79	7.36	285	7.44	21.87	8.67	50	5.1	62.1	7.15	3.84	154	2751
7-1	L-2	1339	0.78	1.39	0.90	411	10.75	8.35	4.79	50	4.0	8.89	1.86	0.53	137	281
7-2	L-4	1400	2.35	1.85	3.56	385	10.07	16.70	8.98	50	4.7	31.5	3.51	1.70	173	351
7-3	H-1	1653	5.63	14.49	6.70	396	10.36	23.74	13.12	50	4.8	71.6	5.46	3.95	148	527
7-4	H-2	1226	7.21	16.75	9.92	359	9.38	23.82	11.92	50	3.1	50.3	4.22	5.59	144	694
7-5	H-2	1742	10.24	21.45	180.5	303	7.93	25.50	10.77	50	4.1	119.7	10.91	9.39	164	869
9-1	H-1	1966	6.69	28.31	15.57	339	8.88	25.41	12.04	50	3.8	71.2	5.91	5.48	254	495
9-3	L-2	1416	0.82	2.67	1.83	510	13.35	7.56	5.38	50	5.2	12.2	2.26	0.45	166	0
9-4	L-4	1393	2.35	3.05	1.48	494	12.91	15.82	10.90	50	5.0	35.3	3.23	1.32	317	0
9-5	H-1	1643	5.58	21.81	100.5	468	12.25	21.19	13.84	50	3.0	50.2	3.63	3.31	240	0
10-1	L-2	1483	0.86	1.65	1.18	307	8.02	8.05	3.45	50	4.1	10.1	2.91	0.78	127	252
10-2	L-4	1438	2.42	1.47	2.95	294	7.70	14.00	5.75	50	2.8	19.3	3.36	2.28	134	252
10-3	H-1	1623	5.53	16.54	7.51	269	7.04	21.52	8.08	50	3.8	57.8	7.15	5.71	143	522
10-4	H-2	1032	6.06	17.28	24.90	269	7.03	21.52	8.07	50	3.8	61.0	7.56	6.27	161	382
10-5	H-2	1475	8.76	20.77	42.78	264	6.89	22.48	8.27	50	2.0	47.3	5.72	9.24	132	565
11-1	L-2	1474	0.86	1.29	2.65	411	10.76	11.93	6.85	50	3.8	11.4	1.67	0.58	159	530
11-2	L-4	1474	2.48	1.29	2.65	394	10.30	20.85	11.46	50	6.2	5.77	5.03	1.75	129	669
11-3	H-1	1682	5.72	17.46	48.32	307	8.03	25.27	10.83	50	5.0	101.5	9.37	5.18	82	739
11-4	H-2	1015	5.96	19.85	28.13	271	7.09	25.54	9.66	50	4.5	95.2	9.86	6.11	113	782
11-5	H-2	1154	6.78	20.59	33.18	265	6.93	25.54	9.44	50	5.0	111.9	11.85	7.11	134	834

いるから、

$$V = |V| = V_x / \cos 30^\circ = V_y / \sin 30^\circ$$

$$= 2V_x / 3 = 2V_y \quad (13)$$

図10で、クランク軸Oと切刃AB、コンロッドBCの系を考え、試験機の進行方向をx軸、鉛直方向をy軸とし、車速v、クランク軸の角速度ωで回転させたとき、時間tでの刃先A'の変位

をx、yとすると、

$$x = \frac{\sqrt{3}}{2} (R \sin \omega t + \sqrt{L^2 + R^2 \cos^2 \omega t} + \ell) \quad (14)$$

$$y = \frac{1}{2} (R \sin \omega t + \sqrt{L^2 - R^2 \cos^2 \omega t} - \sqrt{L^2 - R^2}) \quad (15)$$

$$X = \frac{\sqrt{3}}{2} (R \sin \omega t + \sqrt{L^2 + R^2 \cos^2 \omega t} + \ell) + Vt$$

$$Y = \frac{1}{2} (R \sin \omega t + \sqrt{L^2 + R^2 \cos^2 \omega t} - \sqrt{L^2 - R^2})$$

d: 最大圧雪切削深 Y<sub>max</sub>

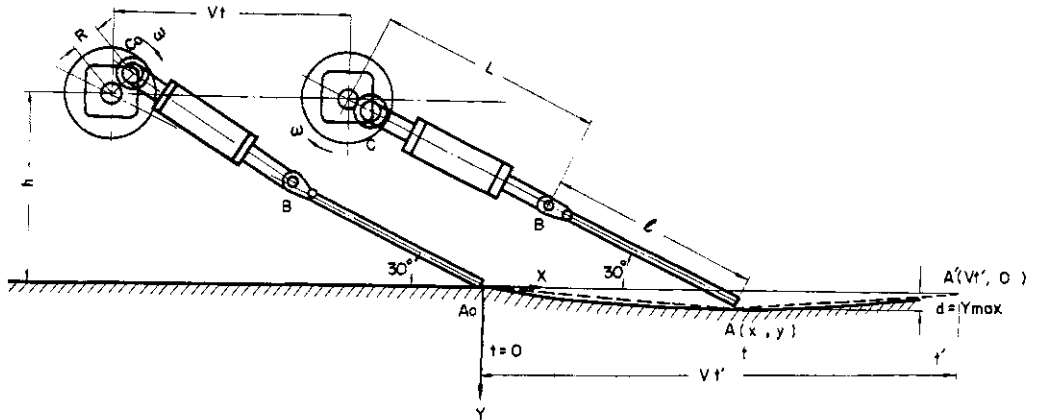


図11 切刃の圧雪切削プロフィール(衝撃式)

Fig.11. Traces of cutter.

表4 ブラウ式圧雪切削試験計測結果

Table 4. Results of compressed snow cutting tests (Plow-type cutter).

整理番号	1 速度段	2 走行機関回転速度 rpm	3 除雪速度 km/h	4 走行機関トルク kg·m	5 走行機関出力 PS	6 線圧 kg/cm	7 推力 kg	8 作業馬力 PS	9 除雪幅 cm	10 除雪深 cm	11 除雪量 t/h	12 除雪能率 t/PS-h	13 切削角	14 ブラウ刃形
1-2	H-1	2423	824	274	186	3.5	103	3.15	50	0.2	3.8	1.20	45°	ストレート
1-3	"	2394	815	333	223	6.9	245	7.40	"	0.6	11.5	1.56	"	"
1-4	"	2286	778	422	269	10.7	403	11.62	"	2.6	44.7	3.84	"	"
1-5	"	2319	789	439	285	14.5	433	12.52	"	2.9	50.3	4.02	"	"
1-6	"	2293	780	435	279	18.4	432	12.47	"	3.4	54.8	4.39	"	"
1-7	"	2301	783	437	281	21.9	443	12.86	"	2.9	48.7	3.79	"	"
1-8	"	2323	791	433	281	25.8	423	12.40	"	3.0	50.9	4.10	"	"
1-9	"	2325	791	424	276	29.9	447	13.09	"	3.4	57.5	4.39	"	"
1-10	"	2297	782	426	274	33.4	457	13.23	"	2.7	45.2	3.42	"	"
2-1	H-1	2570	875	183	131	4.6	150	4.87	50	0.5	10.3	2.11	45	ストレート
2-2	"	2390	813	203	136	7.2	204	6.14	"	0.8	15.7	2.56	"	"
2-3	"	2250	766	230	145	10.2	269	8.40	"	1.3	25.6	3.05	"	"
2-4	"	2337	795	256	168	13.0	299	8.81	"	1.3	25.8	2.93	"	"
2-5	"	2370	807	336	223	15.3	500	14.93	"	3.8	71.9	4.82	"	"
2-6	"	2328	792	352	229	18.0	483	14.17	"	3.1	58.7	4.14	"	"
2-7	"	2365	806	350	232	20.6	470	14.02	"	3.1	57.1	4.07	"	"
2-8	"	2344	798	349	229	22.9	480	14.17	"	3.2	56.8	4.01	"	"
2-9	"	2352	800	363	239	26.0	485	14.36	"	3.2	55.5	3.86	"	"
4-1	L-4	823	138	0.9	1.0	3.8	122	0.62	50	0.3	1.6	2.64	50	ストレート
4-2	"	1576	265	1.3	2.9	5.7	172	1.68	"	0.5	4.3	2.59	"	"
4-3	"	1585	267	1.7	3.8	7.3	202	1.99	"	0.9	7.7	3.85	"	"
4-4	"	1595	268	1.9	4.1	8.9	233	2.32	"	1.4	12.0	5.17	"	"

整理番号	1 速度段	2 走行機関回転速度 rpm	3 除雪速度 km/h	4 走行機関トルク kg·m	5 走行機関出力 PS	6 線圧 kg/cm	7 推力 kg	8 作業馬力 PS	9 除雪幅 cm	10 除雪深さ cm	11 除雪量 t/h	12 除雪能率 t/PSh	13 切削角	14 ブラウ刃形
4-5	L-4	1619	2.72	2.7	6.1	11.0	383	3.86	50	1.0	8.1	2.11	50	ストレート
4-6	"	1573	2.65	3.0	6.6	13.0	433	4.25	"	3.4	27.5	6.47	"	"
4-7	"	1574	2.65	2.5	5.6	14.8	318	3.13	"	3.0	2.44	7.81	"	"
4-8	"	1604	2.70	2.9	6.5	16.8	287	2.87	"	1.5	1.28	4.39	"	"
4-9	"	1590	2.68	2.8	6.3	18.6	302	2.99	"	1.8	1.52	5.10	"	"
4-10	"	1592	2.68	2.9	6.5	20.6	283	2.81	"	1.4	1.18	4.19	"	"
8-1	H-1	2369	8.06	8.3	5.5	2.9	128	3.83	50	0.7	1.34	3.50	60	ストレート
8-2	"	2388	8.13	9.2	6.1	5.3	165	4.97	"	0.9	1.91	3.84	"	"
8-3	"	2396	8.16	10.0	6.7	6.8	200	6.04	"	0.7	1.48	2.45	"	"
8-4	"	2396	8.16	11.0	7.4	8.8	232	7.00	"	1.1	2.33	3.32	"	"
8-5	"	2277	7.75	2.00	12.8	10.7	550	15.79	"	4.5	85.0	5.39	"	"
8-6	"	2216	7.54	2.38	14.6	12.	533	14.89	"	5.6	94.1	6.32	"	"
8-7	"	2338	7.96	1.93	12.6	14.	467	13.75	"	4.3	7.67	5.57	"	"
8-8	"	2335	7.96	1.98	12.9	15.	530	15.61	"	4.3	7.61	4.87	"	"
8-9	"	2312	7.87	2.09	13.5	18.	467	13.60	"	4.6	80.9	5.95	"	"
1-1	H-1	2353	8.01	14.3	9.4	3.	130	3.86	50	1.0	18.00	4.66	45	四角刃
1-2	"	2335	7.95	22.1	14.4	5.	287	8.44	"	2.5	45.17	5.35	"	"
1-3	"	2354	8.01	27.7	18.2	6.	390	11.57	"	3.9	63.21	5.46	"	"
1-4	"	2335	7.95	31.2	20.4	8.	363	10.71	"	4.7	73.80	6.89	"	"
1-5	"	2361	8.04	29.3	19.4	10.	347	10.32	"	4.4	67.77	6.57	"	"
1-6	"	2346	7.98	29.7	19.5	12.	337	9.95	"	3.4	56.46	5.67	"	"
1-7	"	2354	8.01	32.3	21.3	14.	402	11.92	"	4.2	64.36	5.40	"	"
1-8	"	2346	7.98	32.1	21.1	16.	397	11.72	"	4.9	75.22	6.42	"	"
2-1	H-1	1380	4.70	11.2	4.3	2.	127	2.20	50	1.5	16.9	7.69	50	四角刃
2-2	"	1409	4.80	16.4	6.5	3.	210	3.73	"	3.2	40.7	10.90	"	"
2-3	"	1461	4.97	13.4	5.5	5.	245	4.51	"	2.3	27.1	6.01	"	"
2-4	"	1420	4.83	20.3	8.1	7.	378	6.77	"	2.4	28.6	4.22	"	"
2-5	"	1400	4.77	25.7	10.1	9.	307	5.42	"	5.5	61.3	11.30	"	"
2-6	"	1441	4.90	22.2	9.0	11.	450	8.17	"	7.0	79.9	9.78	"	"
2-7	"	1453	4.95	20.6	8.7	13.	335	6.14	"	2.3	27.3	4.45	"	"
2-8	"	1446	4.92	18.6	7.5	14.	367	6.68	"	3.8	44.3	6.64	"	"
2-9	"	1486	5.06	20.9	8.7	16.	317	5.93	"	3.2	39.01	6.58	"	"
2-10	"	1481	5.04	22.2	9.2	18.	337	6.29	"	3.6	44.04	7.00	"	"
2-11	"	1449	4.93	19.2	7.8	20.	377	6.88	"	2.9	34.33	4.99	"	"
3-1	L-4	1571	2.64	1.0	2.2	1.	938	0.92	50	0.3	2.18	2.37	50	四角刃
3-2	"	1571	2.64	0.8	1.8	3.	106	1.04	"	2.3	16.75	16.10	"	"
3-3	"	1550	2.61	1.8	4.0	5.	344	3.32	"	5.0	35.48	10.69	"	"
3-4	"	1591	2.68	2.9	6.5	7.	312	3.09	"	4.1	29.00	9.39	"	"
3-5	"	1544	2.60	1.8	3.8	9.	335	3.23	"	4.6	32.11	9.94	"	"
3-6	"	1538	2.59	2.3	4.9	11.	317	3.04	"	3.1	21.28	7.00	"	"
3-7	"	1542	2.60	2.3	5.0	12.	323	3.11	"	4.6	32.79	10.54	"	"
3-8	"	1554	2.62	1.9	4.2	14.	376	3.64	"	4.5	30.49	8.38	"	"
3-9	"	1564	2.63	1.8	4.0	16.	338	3.30	"	3.4	23.65	7.17	"	"
3-10	"	1547	2.60	2.1	4.6	18.	352	3.39	"	4.0	27.87	8.22	"	"
3-11	"	1518	2.55	2.2	4.7	20.	322	3.04	"	2.6	18.37	6.04	"	"
4-1	H-1	2328	7.92	13.7	8.9	3.	133	6.84	50	1.2	25.94	3.79	50	四角刃
4-2	"	2267	7.72	23.8	15.1	7.	300	8.58	"	4.0	76.47	8.91	"	"



路面圧雪処理に関する研究 - 田中・野原・岡崎・小山

整理 番号	I 速 度 段	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 切 削 角	14 ブ ラ ウ 刃 形
		走行 機 関 回 転 速 度 rpm	除 雪 速 度 km/h	走 行 機 関 トル ク kg·m	走 行 機 関 出力 PS	6 線 圧 kg/cm	推 力 kg	作 業 力 PS	除 雪 幅 cm	除 雪 深 さ cm	除 雪 量 t/h	除 雪 能 率 t/PSh		
4-3	H-1	2246	7.64	20.3	12.8	10.	317	8.96	50	2.6	494.6	5.52	50	四角刃
4-4	"	2307	7.85	20.1	13.0	14.	343	9.98	"	2.5	451.1	4.52	"	"
4-5	"	2315	7.88	21.9	14.2	18.7	352	10.26	"	3.5	62.20	6.06	"	"
4-6	"	2281	7.76	22.7	14.5	22.2	392	11.25	"	3.6	668.4	5.94	"	"
4-7	"	2267	7.72	20.3	12.9	26.3	277	7.91	"	1.8	321.8	4.07	"	"
5-1	H-2	1695	9.96	12.9	10.5	3.2	105	3.87	50	1.0	24.6	6.35	50	四角刃
5-2	"	1324	7.78	17.8	11.4	7.5	233	6.72	"	4.1	75.0	11.16	"	"
5-4	"	1096	6.44	19.5	10.3	10.8	272	6.48	"	4.0	56.5	8.71	"	"
5-5	"	1060	6.23	21.3	10.9	14.7	287	6.62	"	2.3	33.1	5.00	"	"
5-6	"	1012	5.94	22.4	11.0	18.3	308	6.78	"	3.7	46.4	6.85	"	"
5-7	"	1104	6.49	21.9	11.7	21.9	377	9.00	"	3.2	43.8	4.87	"	"
5-8	"	1081	6.35	20.6	10.8	27.0	307	7.21	"	2.5	35.1	4.87	"	"
6-1	H-2	2372	13.94	14.5	16.2	3.1	72	3.70	50	0.5	20.3	5.48	50	四角刃
6-2	"	2316	13.61	20.2	22.6	8.1	255	12.85	"	2.6	94.9	7.39	"	"
6-3	"	2640	15.51	22.8	29.1	11.1	298	17.14	"	3.1	125.6	7.33	"	"
6-4	"	2278	13.39	23.7	26.1	14.5	292	14.42	"	2.3	73.5	5.09	"	"
6-5	"	2280	13.40	23.9	26.3	16.1	318	15.78	"	2.5	84.4	5.35	"	"
6-6	"	2280	13.40	23.9	26.3	18.0	315	15.63	"	2.1	70.9	4.54	"	"
6-7	"	2304	13.54	23.9	26.6	22.6	293	14.71	"	3.2	108.0	6.52	"	"
8-2	H-1	2326	7.92	26.4	17.1	4.4	251	7.36	50	1.9	34.5	4.69	60	四角刃
8-3	"	2258	7.69	41.0	26.0	7.5	502	14.30	"	4.0	71.9	5.03	"	"
8-4	"	2293	7.80	40.9	26.2	11.1	514	14.84	"	5.6	101.9	6.87	"	"
8-5	"	2279	7.76	42.3	27.0	14.8	486	13.95	"	5.6	96.5	6.92	"	"
8-6	"	2351	8.00	36.6	24.1	18.3	487	14.43	"	4.7	90.1	6.24	"	"
8-7	"	2478	8.43	36.1	25.0	22.3	452	14.12	"	4.5	91.9	6.51	"	"
8-8	"	2521	8.58	40.1	28.3	26.4	515	16.37	"	5.6	116.4	7.11	"	"
8-9	"	2372	8.07	31.0	20.5	29.9	381	11.37	"	3.6	70.4	6.20	"	"
8-10	"	2370	8.07	33.2	22.0	33.9	429	12.82	"	4.4	81.9	6.38	"	"
9-1	H-1	2372	8.07	13.1	8.7	2.8	118	3.51	50	0.7	128.4	3.66	60	四角刃
9-2	"	2330	7.93	14.5	9.5	3.9	144	4.23	"	0.9	167.7	3.96	"	"
9-3	"	2239	7.62	29.4	18.4	5.8	410	11.57	"	4.0	60.78	5.25	"	"
9-4	"	2232	7.60	34.7	21.7	7.9	447	12.57	"	4.7	71.24	5.67	"	"
9-5	"	2143	7.29	36.8	22.0	8.5	458	12.37	"	4.2	62.91	5.09	"	"
9-6	"	2197	7.48	41.5	25.5	10.7	480	13.29	"	5.3	78.45	5.09	"	"
9-7	"	2250	7.66	42.8	27.0	12.7	490	13.89	"	4.5	67.40	4.85	"	"
9-8	"	2277	7.75	43.9	28.0	14.6	472	13.55	"	5.7	85.38	5.85	"	"
1-1	H-2	1342	7.89	17.7	11.5	3.7	99	2.28	50	0.1	2.1	0.73	30	三角刃
1-2	"	1259	7.40	18.6	11.3	7.4	154	4.22	"	2.2	43.2	10.25	"	"
1-3	"	1159	6.81	20.7	11.6	10.9	188	4.73	"	2.0	35.5	7.51	"	"
1-4	"	1131	6.65	20.9	11.4	14.7	188	4.62	"	2.0	35.5	7.68	"	"
1-5	"	1163	6.83	20.0	11.2	18.3	189	4.77	"	1.6	30.3	6.34	"	"
1-6	"	1159	6.81	19.8	11.1	21.8	184	4.65	"	1.5	27.8	5.97	"	"
1-7	"	1164	6.83	20.0	11.2	25.8	186	4.70	"	1.4	27.2	5.80	"	"
1-8	"	1147	6.74	19.2	10.6	29.7	184	4.60	"	2.0	35.4	7.69	"	"
1-9	"	1148	6.75	18.6	10.3	33.6	188	4.69	"	1.6	30.0	6.40	"	"
2-1	H-1	2407	8.19	26.6	17.9	2.3	142	4.30	50	1.0	19.1	4.45	45	三角刃

整理番号	I 速度段	2 走行機関回転速度	3 除雪速度	4 走行機関トルク	5 走行機関出力	6 線圧	7 推力	8 作業馬力	9 除雪幅	10 除雪深さ	11 除雪量	12 除雪能率	13 切削角	14 ブラウウ刃形
		r pm	km/h	kg·m	PS	kg/cm	kg	力 PS	cm	cm	t/h	t/PSh	角	
2-2	H-1	2351	8.00	34.3	22.6	3.5	297	8.79	50	2.6	47.0	5.5	45	三角刃
2-3	"	2227	7.72	45.6	28.4	5.1	433	12.39	"	4.6	76.0	6.13	"	"
2-4	"	2115	7.20	48.0	28.4	6.6	407	10.85	"	4.9	76.5	7.05	"	"
2-5	"	1838	6.26	48.0	24.7	8.4	488	11.32	"	4.7	62.7	5.54	"	"
3-1	H-2	1422	8.36	17.8	12.3	3.6	138	7.27	50	2.0	42.3	5.81	50	三角刃
3-2	"	1705	10.02	21.0	17.3	7.4	241	8.95	"	1.7	45.1	5.04	"	"
3-3	"	1706	10.03	20.4	16.8	10.5	256	9.51	"	1.9	49.7	5.23	"	"
3-4	"	1605	9.43	20.4	15.8	14.5	306	10.68	"	2.1	52.2	4.88	"	"
3-5	"	1004	5.90	21.1	10.3	18.8	278	6.07	"	2.8	41.3	6.81	"	"
3-6	"	1021	6.00	21.0	10.3	22.3	261	5.80	"	2.1	30.2	5.20	"	"
3-7	"	1023	6.01	21.1	10.5	26.2	309	6.88	"	2.6	39.1	5.69	"	"
5-1	H-1	2405	8.19	21.3	14.3	3.4	63	1.92	50	1.2	254.2	132.4	50	三角刃
5-2	"	2341	7.97	32.9	21.6	7.3	290	8.56	"	3.0	56.00	6.54	"	"
5-3	"	2345	7.98	33.1	21.7	10.4	305	9.01	"	2.3	38.42	4.26	"	"
5-4	"	2345	7.98	34.0	22.3	14.0	318	9.41	"	3.2	52.93	5.62	"	"
5-5	"	2362	8.04	34.2	22.6	18.2	302	8.98	"	3.2	56.12	6.25	"	"
5-6	"	2347	7.99	34.2	22.6	21.7	340	10.06	"	3.6	63.85	6.35	"	"
5-7	"	2342	7.97	34.6	22.6	25.5	318	9.40	"	3.1	54.77	5.83	"	"
5-8	"	2336	7.95	32.9	21.5	29.6	307	9.03	"	3.3	59.45	6.58	"	"
5-9	"	2346	7.98	34.6	22.7	33.4	327	9.66	"	3.4	99.11	5.95	"	"
6-1	H-1	2337	7.95	35.9	23.5	3.1	408	12.00	50	4.6	86.0	7.17	60	三角刃
6-2	"	2325	7.91	42.0	27.3	7.5	483	14.16	"	6.5	125.4	8.85	"	"
6-3	"	2278	7.75	45.2	28.8	10.4	497	14.26	"	6.2	118.1	8.28	"	"
6-4	"	2274	7.74	46.5	29.6	13.9	460	13.20	"	6.1	109.7	8.31	"	"
6-5	"	2313	7.87	36.1	23.4	17.8	418	12.18	"	4.7	89.3	7.33	"	"
6-6	"	2404	8.18	35.2	23.7	21.5	430	13.04	"	5.0	104.3	8.00	"	"
6-7	"	2352	8.01	37.6	24.7	25.8	436	12.94	"	5.0	98.2	7.59	"	"
6-8	"	2340	7.96	40.0	26.2	29.6	463	13.64	"	5.2	97.2	7.13	"	"
6-9	"	2290	7.79	45.5	29.2	33.0	457	13.17	"	6.2	108.09	8.21	"	"

表5 振動式圧雪  
Table 5. Results of compressed snow

月日	除雪速度	走行機関トルク	走行機関出力	押付力	振動速度	線圧	推力	作業馬力
	km/h	kg·m	PS	kg	cpm	kg/cm	kg	PS
46	3.75	280	—	1517	3436	9.0	270	3.75
1	3.60	185	—	1614	4485	11.4	224	2.99
24	3.87	317	—	1628	580.1	15.4	295	4.23
	3.80	186	—	883	0	3.8	167	2.35
	3.88	1.67	—	926	317.7	6.8	189	2.71

速度は、(14)、(15)の両式を  $t$  で微分して、

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \frac{\sqrt{3}}{2} R\omega \cos \omega t + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{R^2 \omega \sin 2\omega t}{\sqrt{L^2 - R^2 \cos^2 \omega t}} \quad (16)$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} R\omega \cos \omega t + \frac{1}{4} \frac{R^2 \omega \sin^2 \omega t}{\sqrt{L^2 - R^2 \cos^2 \omega t}} \quad (17)$$

$$\therefore V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (18)$$

一方、切刃を含む試験機の系全体は車速  $v$  で前進(相対速度)しているから、 $x$  方向速度は、 $V_x + v$  になる。

#### 4.2.2 除雪能率

振動式と同様に時間当りの除雪重量  $t/h$  をその時に必要とした作用馬力  $PSh$  で除した値  $t/PSh$  を採用した。除雪重量は図 1.1 に示したような断面になり、ここでは一応断面を三角形と近似して計算した。

### 5. 試験結果

おもな計測値および計算結果を表 3、表 4、表 5、表 6 に示す。

#### 5.1 ブラウ型の試験結果

##### 5.1.1 線圧・切削深さ

線圧はブラウにかかる押付荷重 (kg) をブラウ

の除雪有効幅 (cm) で除した値 (kg/cm) で、実験では油圧弁の操作によって線圧を 0 kg/cm から順次変化させて、切削深さとの関係を調べた。

線圧と切削深さとの関係を図 1.2.1.3.1.4 に示す。これで見ると、線圧と切削深さの間には一定の関係があって、ある線圧までは切削深さも比例して増加するが、その線圧より大きい線圧では、切削深さの増加は期待できないことがわかる。ストレート刃の場合、約 12~16 kg/cm で、四角刃の場合 6~10 kg/cm で、三角刃の場合 4~8 kg/cm で最大の切削深さが得られ、それ以上に増加させても切削の増加は期待できず、ほぼ横ばいに近い状態になる傾向を示した。

刃の形状による効果は、線圧の低い値のところで極めて顕著である。四角刃はストレート刃で最大切削深さの得られた線圧のほぼ 1/2 に近い線圧で、三角刃の場合もほぼ同程度の線圧ですでに最大切削深さに到達している。これは刃の形状からみて、四角刃の場合、5 cm ごとに切欠きが入れているのでストレート刃に比べて約 2 倍の線圧が、三角刃の場合は点接触として極圧がそれぞれ作用したと考えられる。最大切削深さを得るためには、刃先形状を加工したときの方がより効果的であることが知られる。

切刃の作業スクイ角(切刃と水平面のなす角度)の影響は、図 1.2.1.3.1.4.において 45°と 55°~60°を比較すると、同じ線圧では 45°の方が切削深さが大きく出ているので、大きいスクイ角の方が好ましいようである。

切削試験計測結果  
cutting tests (Vibratory cutter-type).

振動トルク kg·m	振動出力 PS	切削深さ cm	雪密度 g/cm <sup>3</sup>	硬度 kg/cm <sup>2</sup>	時間当除雪量 t/h	除雪能率			除雪比抵抗 kg/cm <sup>2</sup>
						除雪量/作用馬力 t/PSh	除雪量/振動出力 t/PSh	除雪量/作用馬出力 t/PSh	
—	—	0.50	0.46	64.0	7.3	1.80	—	—	7.14
—	—	0.80	0.61	51.3	13.9	4.66	—	—	3.50
—	—	0.83	0.50	56.3	12.7	2.99	—	—	5.38
—	—	0.73	0.53	63.0	11.7	4.97	—	—	2.90
—	—	0.52	0.53	58.4	8.4	3.10	—	—	4.89

月 日	除 雪 速 度 km/h	走行 機 関 トルク kg·m	走行 機 関 出力 P S	押 付 力 kg	振 動 速 度 c pm	線 圧 kg/cm	推 力 kg	作 用 馬 力 P S
46 ・ 1 ・ 24	3.89	1.84	—	889	485.3	10.4	169	2.44
	3.24	5.26	—	2840	0	9.5	417	5.00
	3.05	5.82	—	2756	412.5	14.0	421	4.76
	3.47	4.66	—	2773	469.3	15.3	377	4.84
	3.60	4.66	—	2773	596.6	19.0	386	5.15
	3.63	4.55	—	4528	0	13.3	364	4.90
	3.39	4.55	—	4382	380.2	16.9	374	4.69
	3.46	4.53	—	4428	531.2	20.9	358	4.58
	3.75	4.71	—	4428	620.7	23.8	389	5.41
	3.46	4.92	—	4424	402.1	17.7	392	5.02
3.56	3.25	—	767	591.5	13.7	291	3.84	
46 ・ 2 ・ 11	3.50	2.40	—	2755	0	8.9	330	4.28
	3.38	2.59	—	984	335.0	7.7	320	3.97
	3.42	4.60	—	1465	245.5	8.5	581	7.36
	3.15	4.60	—	4384	224.5	15.2	571	6.66
	3.46	2.55	—	835	567.3	12.8	230	2.00
	3.68	4.53	—	818	233.0	5.3	208	6.50
	6.38	4.131	—	4342	271.4	15.3	475	11.22
	3.50	2.79	—	2682	276.2	11.3	448	5.81
	5.50	4.453	—	4231	373.5	16.9	487	9.92
2.67	3.568	—	4132	546.6	20.2	247	2.44	
46 ・ 2 ・ 12	3.85	1.32	—	793	81.2	4.2	261	3.72
	3.61	3.77	—	1405	79.5	6.9	607	8.12
	3.35	3.33	—	2658	86.1	9.8	557	6.91
	3.39	4.35	—	4313	87.9	13.7	550	6.91
	3.28	3.14	—	738	119.1	4.5	321	3.90
	2.84	5.35	—	1429	113.4	7.1	590	6.21
46 ・ ・ ・ 13	3.34	2.94	9.99	419	129.6	4.1	394	4.87
	3.28	3.68	12.11	419	334.7	7.2	541	6.58
	3.58	12.27	30.49	419	138.5	3.6	251	3.33
	2.79	4.60	15.41	419	—	—	605	6.25
	3.40	2.96	10.08	419	385.3	7.8	424	5.35

振動トルク kg·m	振動出力 PS	切削深さ cm	雪密度 g/cm <sup>3</sup>	硬度 kg/cm <sup>2</sup>	時間当除雪量 t/h	除雪能率			除雪比抵抗 kg/cm <sup>2</sup>
						除雪量 / 作用馬力 t / PSh	除雪量 / 振動出力 t / PSh	除雪量 / 作用馬力 + 振動出力 t / PSh	
—	—	0.53	0.56	733	9.1	3.73	—	—	4.28
—	—	—	0.59	898	—	—	—	—	—
—	—	—	0.59	703	—	—	—	—	—
—	—	0.97	0.56	831	17.5	35.9	—	—	4.22
—	—	0.58	0.56	897	9.2	1.78	—	—	8.27
—	—	1.10	0.61	1066	19.5	3.98	—	—	4.14
—	—	0.72	0.61	818	11.9	2.16	—	—	6.52
—	—	1.00	0.61	709	16.9	3.68	—	—	4.47
—	—	1.12	0.57	863	19.1	3.52	—	—	4.36
—	—	0.85	0.57	893	13.5	2.68	—	—	5.76
—	—	0.67	0.57	882	10.8	2.81	—	—	5.46
—	—	3.35	0.63	60.9	5.86	13.7	—	—	1.23
2.17	4.36	4.5	0.62	92.4	73.5	18.5	16.9	8.9	0.93
1.16	1.75	50.7	0.61	84.8	84.9	11.4	11.4	9.2	1.38
1.82	2.53	5.77	0.60	93.8	87.7	13.2	34.7	9.5	1.19
2.49	8.23	2.07	0.59	100.0	33.7	1.68	4.1	3.3	1.45
1.21	1.74	5.6	0.62	—	99.8	15.4	57.4	12.1	0.49
2.17	3.59	46.5	0.61	64.3	145.6	13.0	33.2	8.0	1.25
1.93	3.24	3.82	0.57	87.7	61.3	12.8	18.9	6.7	1.21
2.62	5.83	4.15	0.65	83.5	119.0	12.0	20.4	7.5	1.48
2.86	9.12	4.77	0.57	93.0	57.8	23.7	6.3	5.0	0.64
0.63	0.37	0.31	0.62	85.2	5.9	1.6	15.9	1.4	10.61
0.47	0.27	4.5	0.57	85.0	72.8	9.0	26.9	—	1.75
—	—	24.3	0.62	82.0	21.9	5.8	—	—	5.72
—	—	4.20	0.69	43.5	78.6	11.4	—	—	1.65
—	—	1.78	0.61	49.8	28.5	7.3	—	—	2.27
—	—	2.57	0.61	49.8	35.8	5.8	—	—	3.52
—	—	3.05	0.68	36.5	57.2	11.8	—	—	1.65
—	—	1.75	0.68	41.8	31.0	4.9	—	—	4.08
—	—	1.23	0.68	68.2	16.8	7.1	—	—	2.62
—	—	0.58	0.68	85.2	8.8	—	—	—	—
—	—	9.3	0.58	35.7	13.16	24.6	—	—	0.59

表6 衝撃式圧雪  
Table 6. Results of compressed snow

月 日	除 雪 速 度 km/h	走行 機 関 トルク kg·m	走行 機 関 出力 PS	押 付 力 kg	回 転 速 度 rpm	打 撃 ビ ッ チ cm/回	推 力 kg	作 用 馬 力 PS
123	387	32.97	112.6	0	186.6	35	353.2	4.9
126	3.71	1.15	3.95	0	155.4	40	101.3	1.4
	2.49	3.31	6.94	417.6	64.7	64	192.6	1.8
	3.72	1.66	5.67	0	142.2	44	208.6	2.9
	3.60	1.63	5.70	0	101.0	59	107.7	1.4
	3.76	1.86	6.48	0	109.3	57	92.2	1.3
	3.69	2.00	7.02	0	65.2	94	132.6	1.8
	5.72	1.93	1.20	0	146.7	65	169.5	2.5
	6.52	6.60	2.20	0	133.8	81	127.2	3.1
	6.86	1.38	8.93	0	136.9	84	168.5	4.3
	7.11	1.38	9.15	0	78.4	151	148.0	3.9
	7.23	2.558	18.39	0	136.0	88	112.9	3.0
	7.39	6.26	4.40	0	67.6	182	106.8	2.9
	10.73	2.961	31.92	111.3	130.9	137	221.0	8.8
11.73	2.797	31.57	0	117.2	167	606.9	26.4	
127	13.62	18.58	22.48	0	132.9	171	148.0	7.5
	13.98	19.50	22.89	0	97.7	239	129.4	6.7
	8.01	17.44	12.44	582.3	74.7	179	201.4	8.0
	10.94	15.69	14.81	0	51.4	355	81.5	3.3
	7.78	18.83	13.17	463.7	66.0	196	289.0	8.3
128	3.37	—	—	616.4	230.0	24	416.4	5.2
	3.37	—	—	616.2	169.5	33	356.0	4.4
	1.96	2.76	—	640.1	397.6	8	460.0	3.3
	5.21	40.3	—	596.5	342.0	25	447.4	8.6
	6.35	36.8	—	576.4	262.0	40	395.4	9.3
	4.14	36.8	—	834.9	361.2	19	486.2	7.5
2.10	3.49	2.6	—	714.6	259.5	22	531.7	6.9

5.1.2 線圧・除雪能率

除雪能率には種々の表現の方法があるが、ここでは単位時間における除雪量  $t/h$  を、それを除雪するに要した動力  $PS$  にて除した値  $t/PS \cdot h$  を採用した。線圧の変化に対する除雪能率の関係を図15.16.17に示す。

線圧と除雪能率との関係は図12.13.14に示した線圧・切削深さの関係に類似して、ある線圧までは線圧の増加とともに除雪能率も比例し

て増加する傾向を示した。その値は、ストレート刃では  $12 \sim 14 \text{ kg/cm}$ 、三角刃で  $4 \sim 6 \text{ kg/cm}$ 、四角刃で  $4 \sim 6 \text{ kg/cm}$  付近でそれぞれ最大の除雪量を持つことが示されている。

切刃種類による優劣では、ストレート刃 < 四角刃  $\approx$  三角刃の傾向が見られる。

除雪能率の絶対値としては  $2 \sim 10 \text{ t/PS} \cdot h$  という値が多く、これらはロータリー除雪車やスノーブラウ除雪車が、新雪や堆積した雪を除雪する能

切削試験計測結果  
cutting tests (Impact-giving cutter-type).

軸 トルク kg·m	軸 出力 PS	切 削 深 さ cm	雪 密 度 g/cm <sup>3</sup>	硬 度 kg/cm <sup>2</sup>	時 間 当 除 雪 量 t/h	除 雪 能 率 t/PSH	除 雪 比 抵 抗 kg/cm <sup>2</sup>	切 刃 水 平 速 度 cm/s
—	—	1.90	0.624	—	8.94	1.81	9.31	20.92
5.96	12.92	0.48	0.52	70.8	1.86	1.34	10.79	18.77
7.70	3.86	1.80	0.52	82.3	4.66	2.62	5.82	10.38
7.70	7.19	1.27	0.52	73.7	4.90	1.71	9.49	18.04
7.44	5.23	0.92	0.52	78.3	3.10	2.39	8.49	15.42
6.70	5.02	0.97	0.52	72.0	3.79	2.94	5.65	16.31
7.73	3.89	0.63	0.52	80.7	24.30	1.34	12.54	13.70
7.17	6.87	1.32	0.52	74.8	7.84	3.09	6.81	23.72
6.61	5.86	0.47	0.52	84.5	3.17	1.03	15.86	25.21
7.44	6.73	0.87	0.52	90.7	6.19	1.44	11.29	26.31
6.95	4.01	0.40	0.52	72.2	2.96	0.76	19.33	23.84
6.29	5.69	1.47	0.52	105.8	11.02	3.65	4.00	7.28
7.27	3.76	0.85	0.52	103.0	6.54	2.24	6.80	24.05
7.79	6.87	1.22	0.52	100.8	13.58	1.55	9.31	36.65
7.41	5.88	0.93	0.52	113.3	11.39	0.43	35.25	38.69
8.21	7.23	0.58	0.68	118.7	10.93	1.47	13.50	44.75
7.14	4.89	0.15	0.68	135.2	2.85	0.42	51.76	43.89
9.92	5.51	0.55	0.68	101.8	5.99	0.75	21.26	26.14
2.71	1.16	0.27	0.68	121.3	3.97	1.21	10.16	33.04
9.50	4.82	0.35	0.615	121.3	3.97	0.48	51.92	25.04
15.10	21.34	3.83	0.59	76.5	15.93	3.06	5.49	22.04
11.29	12.16	2.07	0.59	72.8	8.21	1.85	19.42	18.65
15.18	35.60	4.30	0.59	75.7	4.96	2.98	5.51	27.95
12.41	25.27	2.65	—	90.3	20.51	2.37	8.93	33.33
3.57	5.80	2.45	0.528	77.0	16.31	1.75	8.40	22.30
17.35	37.13	3.42	0.68	91.5	19.25	2.58	5.82	22.46
10.03	15.88	4.80	—	60.1	18.62	2.71	5.61	24.03

力とほぼ同じオーダの値となっていて、予想以上に少ない動力で切削できることが判明した。ただし、この値は雪を圧雪層から切り離すだけの動力であり、したがってこれを路側又は道路敷外に除雪するには、切削した時とほぼ同じ程度の動力が更に必要となるわけである。

### 5.1.3 除雪速度・除雪能率

除雪速度と除雪能率の関係を図1 8.1 9.2 0に示す。これらの図中、5.1.1で述べた最大切削深

さの得られた線圧に対する除雪能率は特に大きく記入して表示した。

ストレート刃、四角刃においてみられるように、除雪能率は除雪速度の低速域で高く、除雪速度が高速になるに従って下降してゆく傾向が示された。この逡減の傾向は、刃型によっても影響されると考えられ、ストレート刃および四角刃の双方を比較してみても、四角刃の逡減傾向は比較的緩やかであるが、ストレート刃のそれは四角刃に比べて

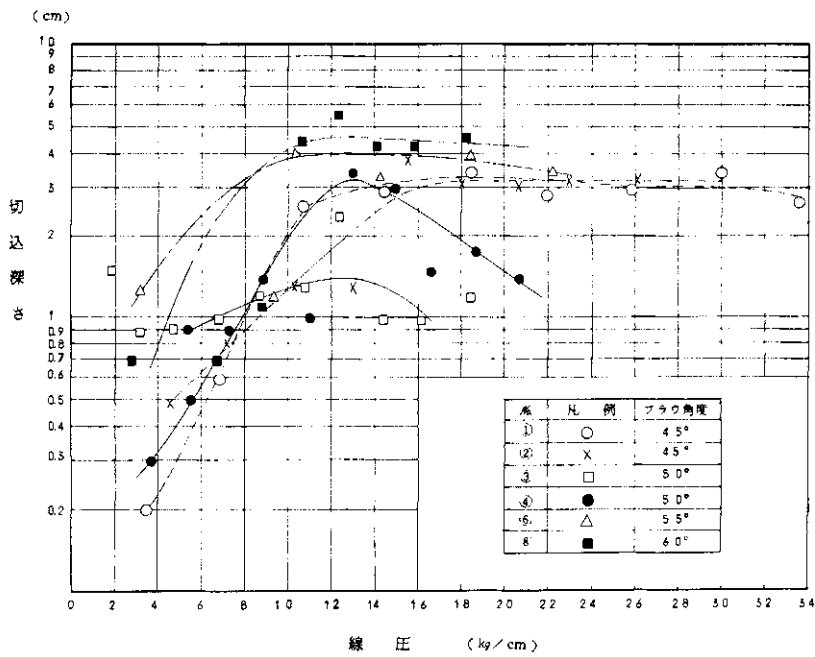


図12 線圧と切込深さの関係(ストレート刃)

Fig. 12. Relation between the depth of snow cutting and the load per blade width (straight blade cutter).

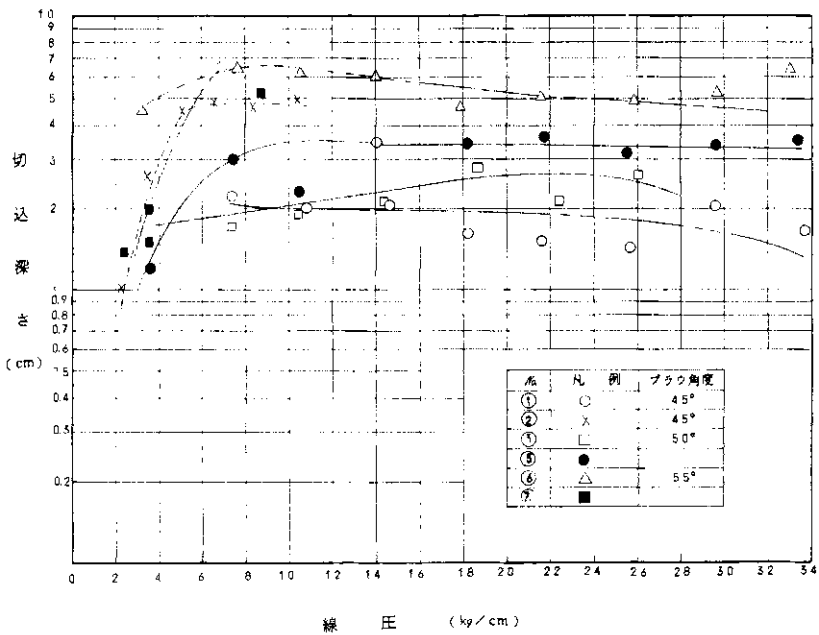


図13 線圧と切込深さの関係(三角刃)

Fig. 13. Relation between the depth of snow cutting and the load per blade width (trihedral blade cutter).



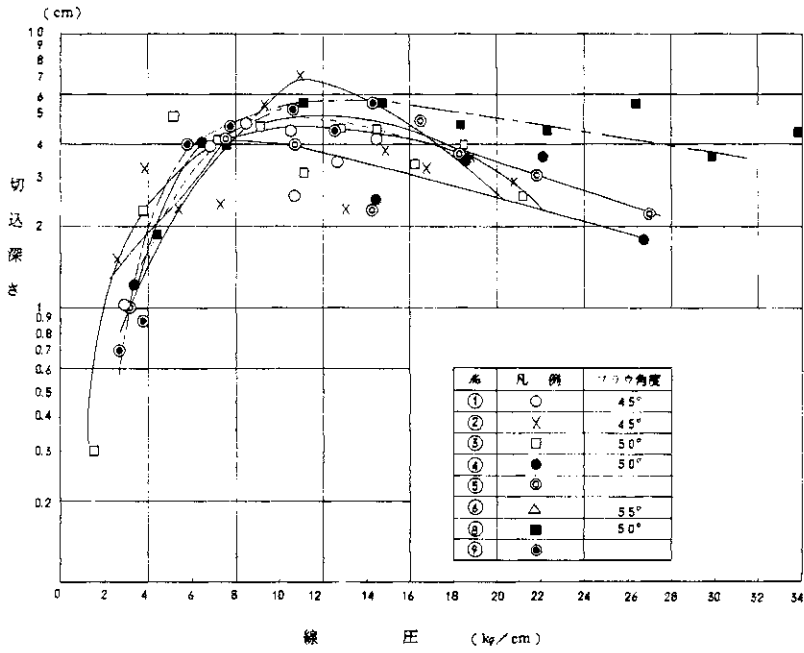


図14 線圧と切込深さの関係(四角刃)

Fig. 14. Relation between the depth of snow cutting and the load per blade width (quadrilateral blade cutter).

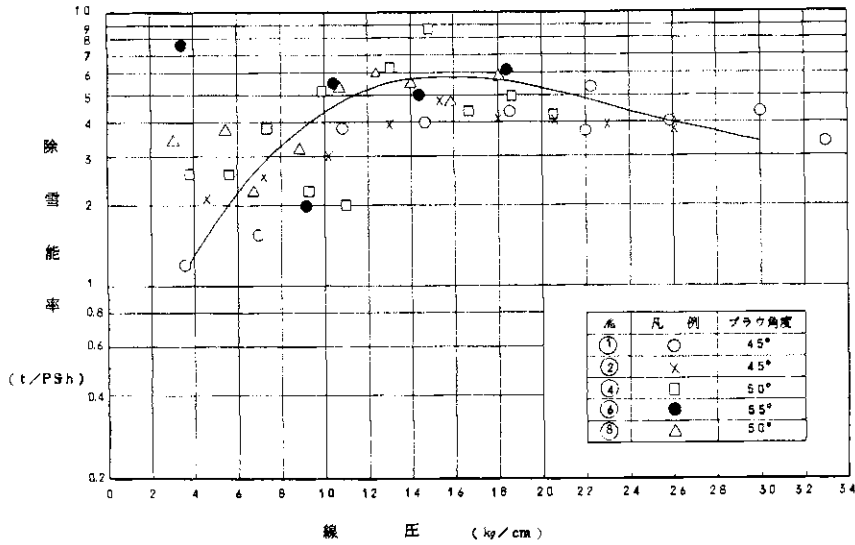


図15 線圧と除雪能率の関係(ストレート刃)

Fig. 15. Relation between the snow cutting efficiency and the load per blade width (straight blade cutter).

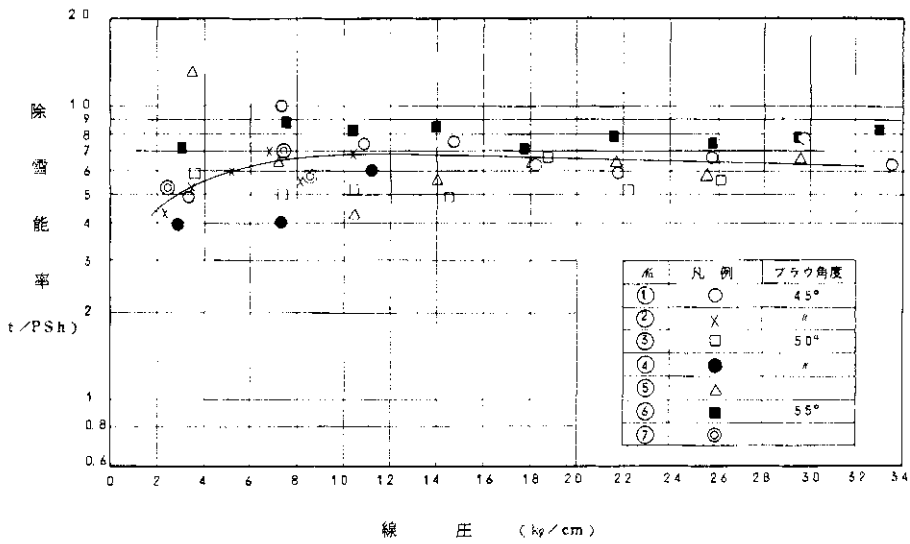


図16 線圧と除雪能率の関係(三角刃)

Fig.16. Relation between the snow cutting efficiency and the load per blade width (trihedral blade cutter).

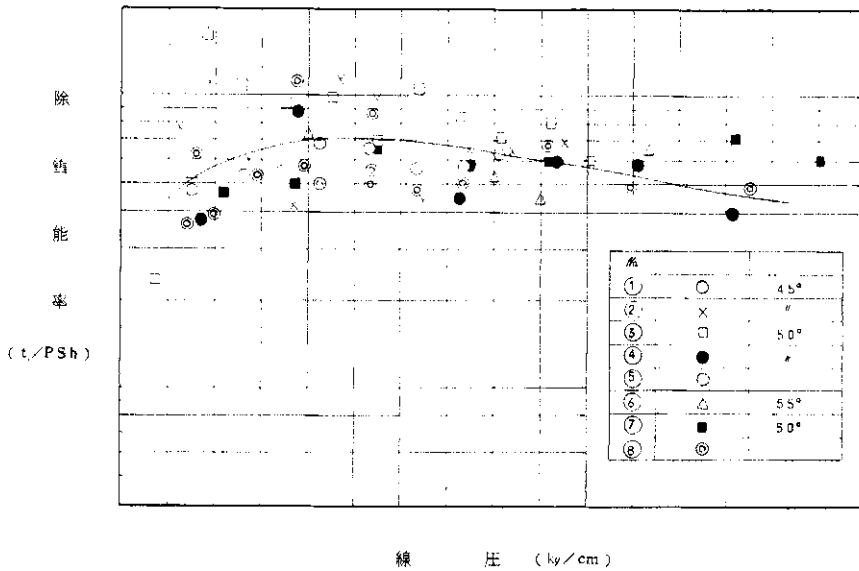


図17 線圧と除雪能率の関係(四角刃)

Fig.17. Relation between the snow cutting efficiency and the load per blade width (quadrilateral blade cutter).

急激な下降線をたどっている。車速と共に除雪能率が低下する傾向は、スノーブラウトラック(高速除雪車)の除雪や、周速を車速に相等すと考えたロータリー除雪車の場合に顕著に見られるもので、理論的にも理解されている所であるが、圧

雪処理ではバラツキの多いせいもあってそれ程明確でない。理論的にも、切削速度がこの範囲内では、その上昇に伴う能率低下はあまりないと考えられる。したがって作業能率の向上の面から、作業速度を上げることによるエネルギーロスの心配

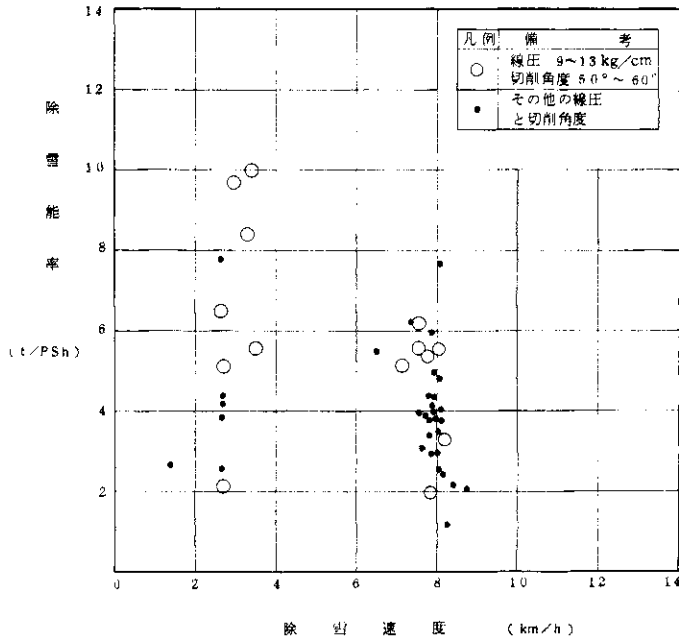


図18 除雪速度と除雪能率の関係(ストレート刃)

Fig.18. Relation between the snow removing speed and the snow cutting efficiency (straight blade cutter).

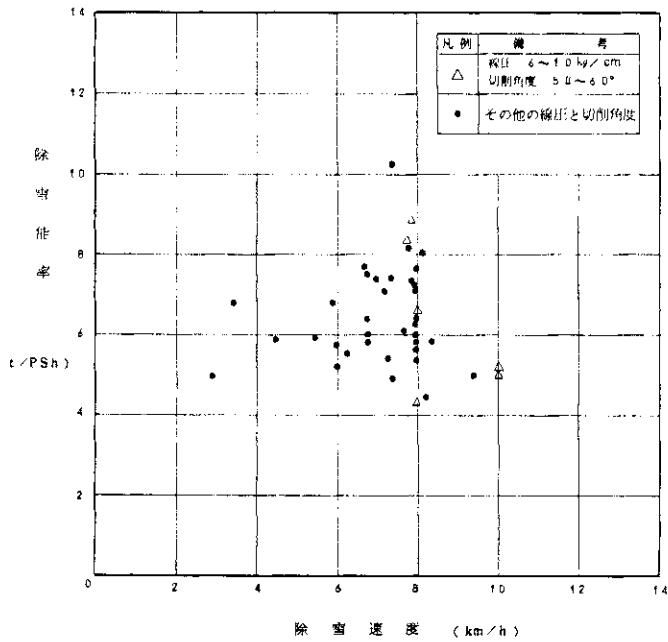


図19 除雪速度と除雪能率の関係(三角刃)

Fig.19. Relation between the snow removing speed and the snow cutting efficiency (trihedral blade cutter).

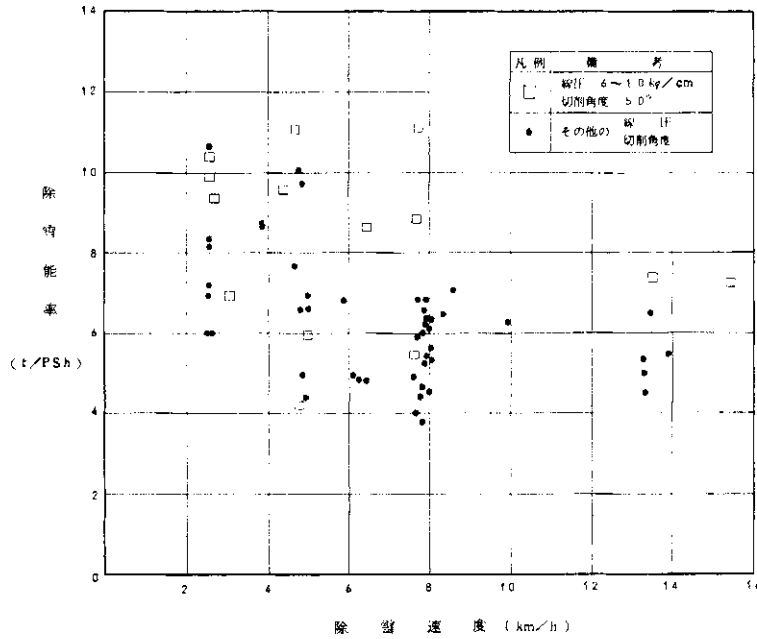


図20 除雪速度と除雪能率の関係(四角刃)

Fig. 20. Relation between the snow removing speed and the snow cutting efficiency (quadrilateral blade cutter).

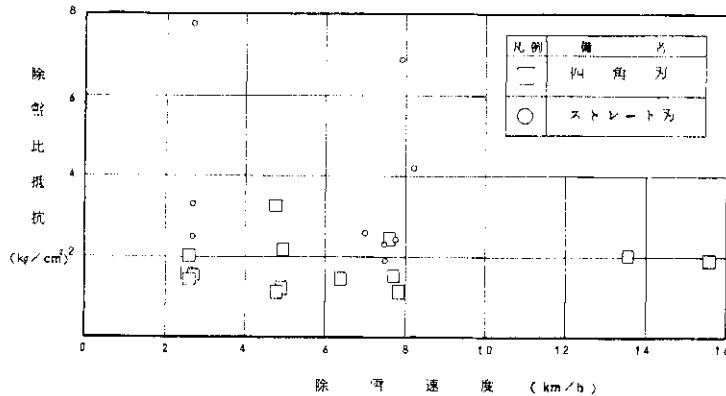


図21 除雪比抵抗と除雪速度

Fig.21. Relation between the specific snow cutting resistance and the snow removing speed.

はあまりないと考えてよい。

5.1.4 除雪比抵抗・除雪速度

除雪比抵抗は、単位除雪面積あたりに必要とする推力(けん引力)で  $kg/cm^2$  であるが、これと除雪速度との関係を図21に示す。この図に用いた点は、最大除雪深を期待できる線圧付近のものに限った。除雪比抵抗は、この場合、車速に無関係と考えるとよく、スノーブラウによる積雪の高速除雪がその影響を強く受けるのと比べ差異が見られ

た。また、その絶対値もスノーブラウの場合より1けた高く、どちらかという土を削る場合の値に近い。

また、ストレート刃と四角刃の場合を比べてみると、四角刃よりストレート刃の方が除雪比抵抗がやや大きく出る傾向があり、加工刃による有利性が認められる。

5.1.5 雪質の影響

図22は除雪比抵抗  $R$  と雪密度  $\rho$  の関係を示す。

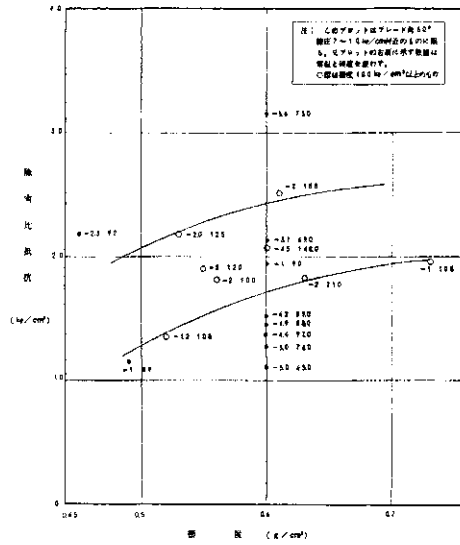


図22 除雪比抵抗と雪密度の関係(四角刃)

Fig.22. Relation between the specific snow cutting resistance and the snow density (quadrilateral blade cutter).

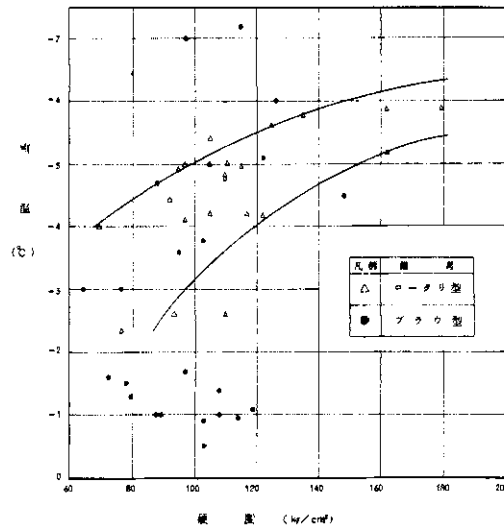


図23 雪温と硬度の関係

Fig.23. Relation between snow temperature and snow hardness.

プロットした点は、大分ばらついていてRとρとの間の相関性は見出せない。しかし、これを硬度で目印をつけてゆくと、100 kg/cm<sup>2</sup>以上のものでは、図に見られるように、ある範囲内に落ちる傾向が見られる。雪密度よりも雪の硬度による影

響が強いことを示している。

圧雪は、その雪温により固結の状態が著しく左右される。常識的な考え方でみても、雪温が低い程圧雪の固結の状態は強いものと推察される。

図23は圧雪の性質を決定する物理的な要因、

雪温  $\theta$  と雪の硬度  $H$  の関係を示したもので、ロータリータイプおよびブラウ型の両方の実験で得られたデータをプロットした。

このグラフでは、ブラウ型の実験の際のデータには雪温  $\theta$  と雪の硬度  $H$  との相関はみられなかったが、ロータリータイプの実験の際のデータでは、雪温  $\theta$  が低くなるにつれて雪の硬度  $H$  が次第に高くなる傾向をきたした。これは、ロータリータイプの実験を行なった時の気象条件は、比較的気温が低くかつ曇あるいは吹雪の日が多く、試験条件が安定しており、ブラウ型の実験の際の気象条件は、日中の気温が高い時や日照のよい日などがあって、試験条件が不安定であったことが原因と推察される。従って、圧雪の硬度  $H$  は気象条件のほか気温が比較的一定で低く変化のない時は、雪温  $\theta$  による影響が大きく効いていることがわかった。

## 5.2 ロータリータイプの実験結果

### 5.2.1 除雪速度と除雪能率

ロータリータイプの実験結果のうち、ブラウ型との対比をしやすくするため、除雪速度と除雪能率についての関係を図24に示す。この図では、ロータの周速度による差が見られたので、周速度をある範囲ごとに区分してプロットした。その結果、図で見られるように、周速度が低い方が能率が良いという事が判明した。周速度が一定範囲内にあるグループごとに見ると、除雪速度の増大と共に能率も向上しているが、速い周速度（8 m/s 以上）については車速が5～6 km/h で頭打ちの傾向を示している。したがって、一般的に遅い周速度で、速い作業速度で作業することが得策であるという結果になった。このことからロータリー型ではタイヤの取付け角をも考慮に入れた打撃ピッチ（一つのタイヤが圧雪をたたいたあと同じ線上を次のタイヤがたたくまでの距離）が重要な値になることが判明した。

### 5.2.2 除雪能率と打撃ピッチの関係

除雪能率と打撃ピッチの関係を図25に示す。ここで打撃ピッチは次の式で計算した。

$$\text{打撃ピッチ (cm)} = \frac{\text{除雪速度 (km/h)}}{\text{ロータ周速度 (m/s)}} \times 2.777. \quad (19)$$

定数項は、換算のための定数である。図25は除雪速度で仮分けしてプロットをし、傾向線をひい

たものである。この図によれば打撃ピッチを細かくし、かつ低速度で作業しても、除雪能率は低いが、打撃ピッチを次第に荒くし、かつ除雪速度も大きくすれば、次第に除雪能率は増加する。すなわち、打撃ピッチを大きくとればとる程除雪能率は大きくなるが、それぞれの打撃ピッチについてロータ回転速度と走行速度の最高の組み合わせが存在する。したがって、ロータリータイプ式機械にあっては幅広いロータ回転速度と車速が選択できるような機械を作る必要がある。

打撃ピッチ増大に伴う路面仕上がり悪化は、実験結果を見るとそれ程大きくはないので、できるだけ打撃ピッチを大きくとるよう施工することが望ましい。

一般にロータリータイプにおける除雪能率を  $I_E$  とし、

$$Q_t/h = \rho \cdot V \cdot A \cdot k_1 \quad (20)$$

とおく。ここに  $\rho$  : 雪密度,  $V$  : 除雪速度,  $A$  : 除雪断面積,  $k_1$  : 換算定数, また、

$$P_s = T \cdot n \cdot k_2 \quad (21)$$

とおく。  $P_s$  : 馬力,  $T$  : トルク,  $n$  : 回転数,  $k_2$  : 定数。よって  $I_E$  は

$$I_E = Q/P_s. \quad (22)$$

(22)式に(20), (21)式を代入すれば

$$I_E = \frac{V \cdot A \cdot k_1 \cdot \rho}{n \cdot T \cdot k_2}. \quad (23)$$

また

$$P_2 = V \cdot k_3 / n \quad (24)$$

とおけば、(5)式に(6)式を代入して

$$I_E = \frac{P_2}{T} \cdot A \cdot \frac{k_1}{k_2} \cdot \rho \cdot k_3 \quad (25)$$

である。ここで  $P_2$  は打撃ピッチをあらわす。この式を見ると、除雪能率  $I_E$  は打撃ピッチに比例し、ロータトルクに反比例する性格を有している。従って、実作業においては、  $P_2$  を増加させる割合と  $T$  の増加の割合との相対的な関係で、最良の除雪能率が決まると考えることができる。

図26は除雪能率  $I_E$  と打撃ピッチ  $P_2$  (cm) の関係を示したもので、プロットした点の傍の数字はトルク  $T$  をあらわしている。割合とバラツキがあり範囲も広いが、トルクが比較的一定なので、  $P_2$  の増加により  $I_E$  も増加する傾向を示している。

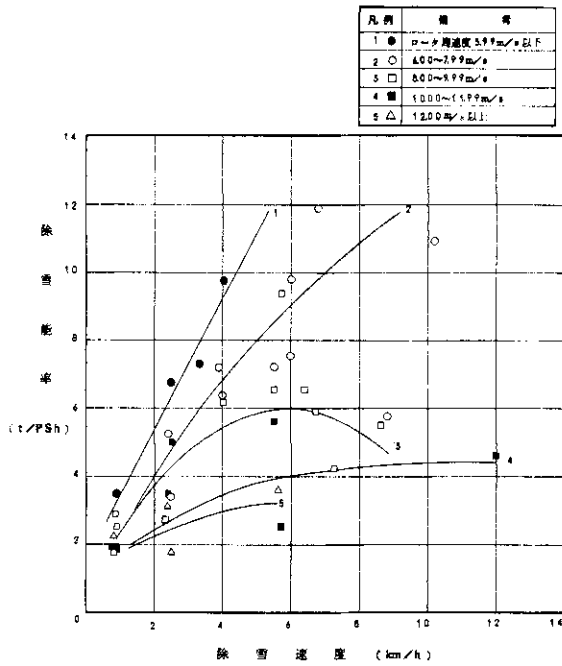


図24 除雪速度と除雪能率の関係

Fig.24. Relation between the snow cutting efficiency and the snow removing speed.

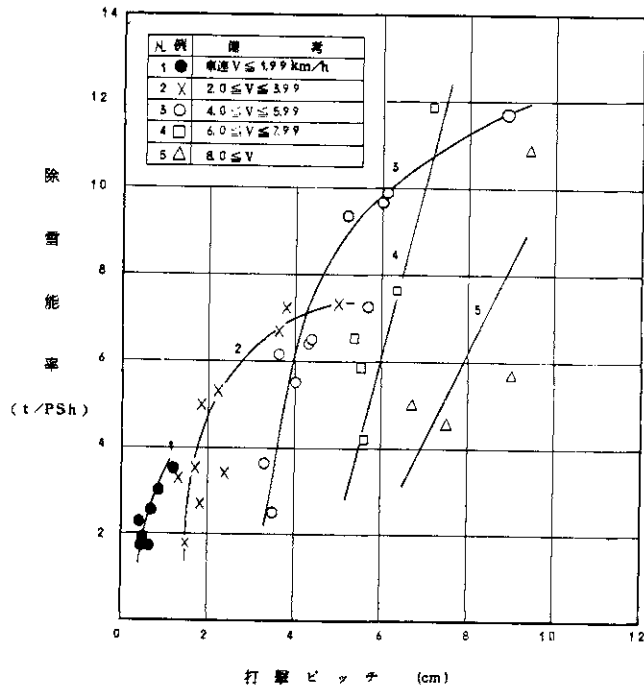


図25 除雪能率と打撃ピッチの関係

Fig.25. Relation between snow cutting efficiency and impact pitch.

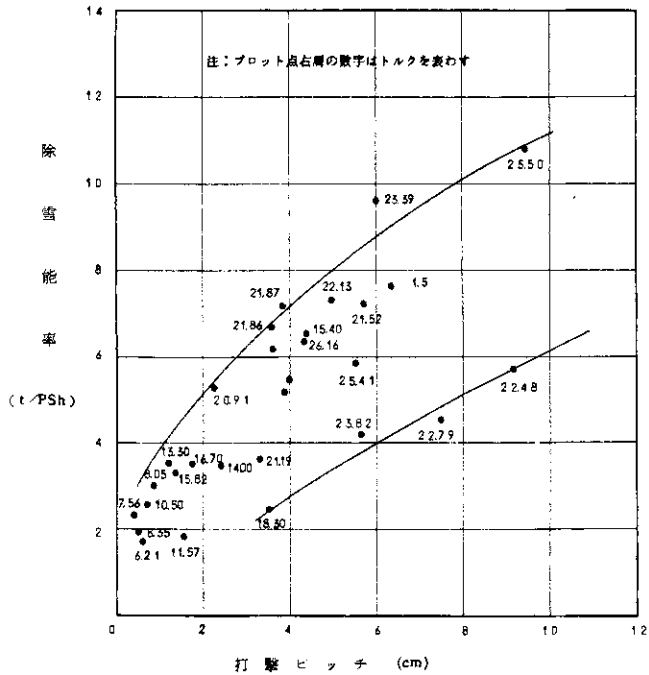


図26 除雪能率と打撃ピッチの関係

Fig.26. Relation between snow cutting efficiency and impact pitch.

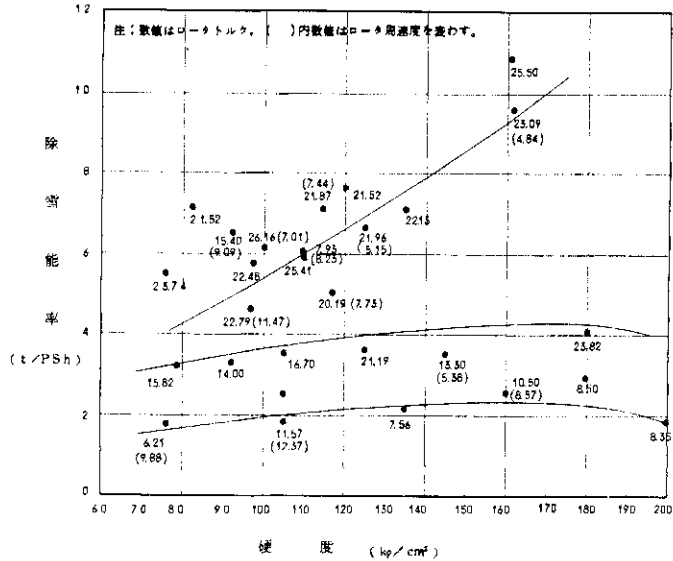


図27 硬度と除雪能率の関係(ロータリータイン型)

Fig.27. Relation between snow cutting efficiency and snow hardness (rotary tine-type).

5.2.3 ローター式における押付力および推力

切削に要する回転力の反力は、当然ロータの支持機構を通じて車体に伝えられるはずで、これを垂直、水平両成分に分けて計測した。実際にロー

タに加わる回転力は最大で25kg・m程度であり、これをロータ半径0.25mで除すとロータの切線力としては100kgとなる。この反力として、推力および押付力を見ると、それらはずか値となることが予想されるが、計測された値は推力で



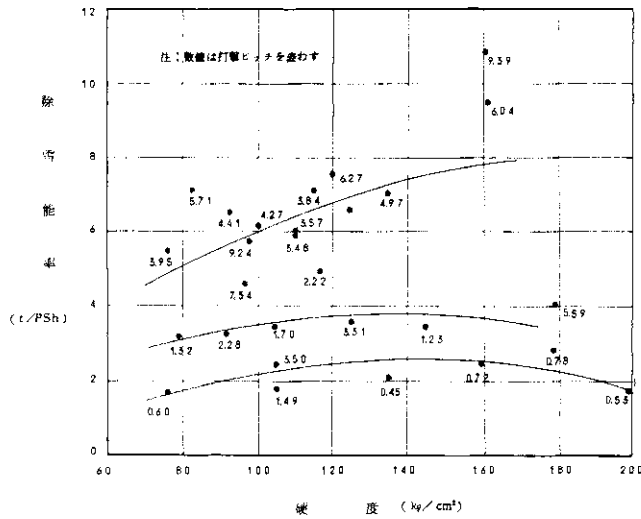


図 28 硬度と除雪能率の関係

Fig.28. Relation between snow cutting efficiency and snow hardness.

最高317 kg, 押付力では最高3700 kgとなった。推力はトルク反力と考えるとマイナスに働くはずで、マイナスに出ているデータもある。したがって、これらはいずれも掘削反力よりはタイヤの形状から来る問題のように考えられる。したがって、ここに加えられた力は有効に切削に費やされているとは考えがたい。

#### 5.2.4 雪質の影響

雪質と除雪能率との関係を求めたのが図27, 図28であるが, 前述のように, ロータリータイヤ型の実験の際には雪質も比較的安定していたので, 雪の硬度を横軸にとった。

この図においても見られるように, 打撃ピッチ  $P_i$  とトルク  $T$  との間には, 先に述べた関係が見られる。

しかし, 雪の硬度と除雪能率の関係は比較的平坦で, 硬度の差による除雪能率の差があまり見られない。

### 5.3 振動式圧雪切削試験

#### 5.3.1 総線圧と切削深さ

圧雪切削装置に自重, 押付力, 起振力を加えた総線圧の大きさがどの程度切削深に影響するかを調べるために, 総線圧と切削深との関係を図29に示す。この図から, 一般に圧雪切削深は線圧の増加するにつれて大きくなる。しかし, 同じ試験条件で行なったにもかかわらず, これら

の各点は大きく二つの傾向に分かれていることがわかる。一方は1月行なった実験で図中の白丸の点で, 黒丸は2月のデータである。これを見ると, 2月に実験した方が1月に比べて, 同線圧でも良く切削されていることがわかる。この理由の一つとして, 1月と2月の雪質の差異が影響しているものと思われる。ここで1月と2月の雪質の測定結果を表7に示す。なお, このデータは各回行なった雪質試験の平均値を示したものである。

雪質については, 1月の圧雪は2月に比べて, 雪温で約0.6 deg 低く, 硬度で4.8 kg/cm<sup>2</sup> 強く, また平均圧雪厚も10.9 mm 薄く, やや切削しにくい状態を呈していると思われるが, ほとんど雪質については差異が認められない。これに関しては雪質の表示に問題があるろうが, この振動式圧雪切削装置は, 圧雪による選択性が大きいものと考えられる。

#### 5.3.2 圧雪切削に及ぼす起振力の影響

振動式圧雪切削装置の起振力によってどれだけ圧雪切削に効果を及ぼすか, その影響を見るために図30に油圧シリンダから圧雪切削機へ与える押付力と圧雪切削深の関係をグラフに示す。この関係も前章で述べた総線圧と圧雪切削深との関係とはほぼ同じ傾向にあり, ( ) 内に示した毎分振動数(又は起振力)の差異もほとんど圧雪切削深には影響せず, 主に線圧のみで切削しており, 起

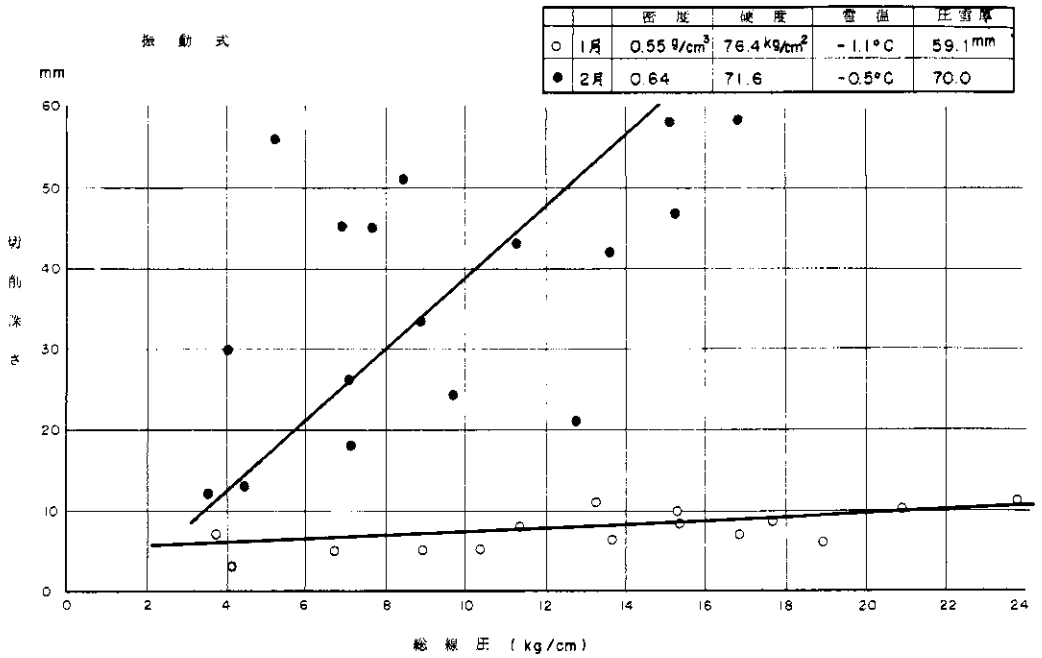


図29 総線圧が切削深さに及ぼす影響

Fig.29. Effect of load per blade width on snow cutting depth.

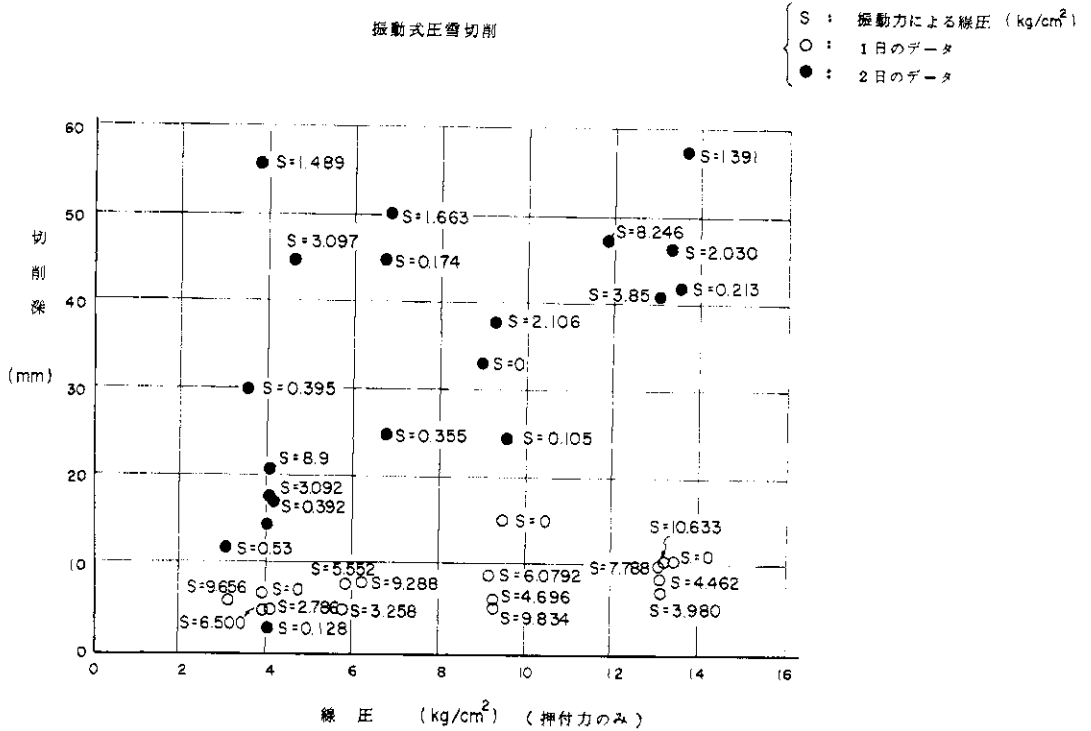


図30 押付力が切削深さに及ぼす影響

Fig.30. Relation between push force and snow cutting depth.

表 7 雪質試験結果

Table 7. Results of measurements of compressed snow nature.

	密度	硬度	雪温	圧雪厚
1 月	0.55 g/cm <sup>3</sup>	76.4 kg/cm <sup>2</sup>	-1.1 °C	59.1 mm
2 月	0.64 g/cm <sup>3</sup>	71.6 kg/cm <sup>2</sup>	-0.5 °C	70.0 mm

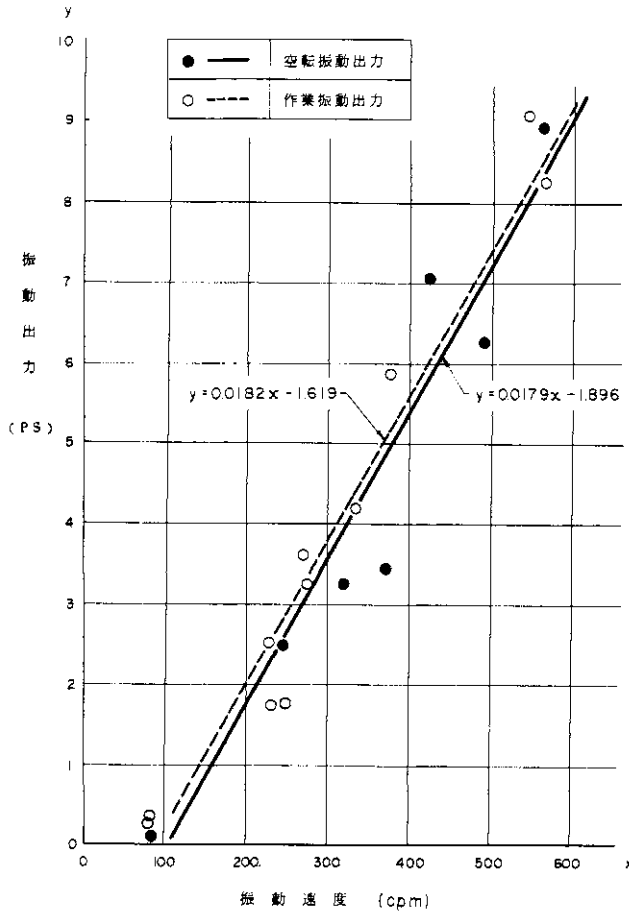


図 31 空転および作業時の振動出力の比較

Fig.31. Comparison of the vibrating power in non-load condition with the vibrating power at load.

振力の差による切削深の差が明確にでていない。

更に又、これを裏づけるものとして、毎分振動数 (cpm) と振動出力 (PS), 空転振動の場合と作業中の振動の場合の関係を図 31 のグラフに示す。

一般に同一振動速度における空転時 (無負荷時) の振動出力と作業時 (負荷時) の振動出力は非常に大きな差が出てくるものであるが、この図からも判断できるように空転時、作業時、ほとんど振動出力に差が生じていない。すなわちこの差が生じない現象は、動力が圧電切削に有効に使われて

いないためであると考えられる。この理由は振動式圧雪切削機の機構上に問題点があるからで、すなわち、起振部がアンバランスマスによる二軸偏心振動機構であるので、切刃の先端が圧雪に深く食い込み、刃先の振動が止まってしまってもアンバランスマスの 2 軸には負荷がかからず空転と同じ状態になってしまうためである。

### 5.3.3 除雪能率と線圧

一般に圧雪切削する際の機械の能率を定義するものとして、単位時間馬力当り除雪量 (除雪能率) をとってみる。前述したように除雪能率として次

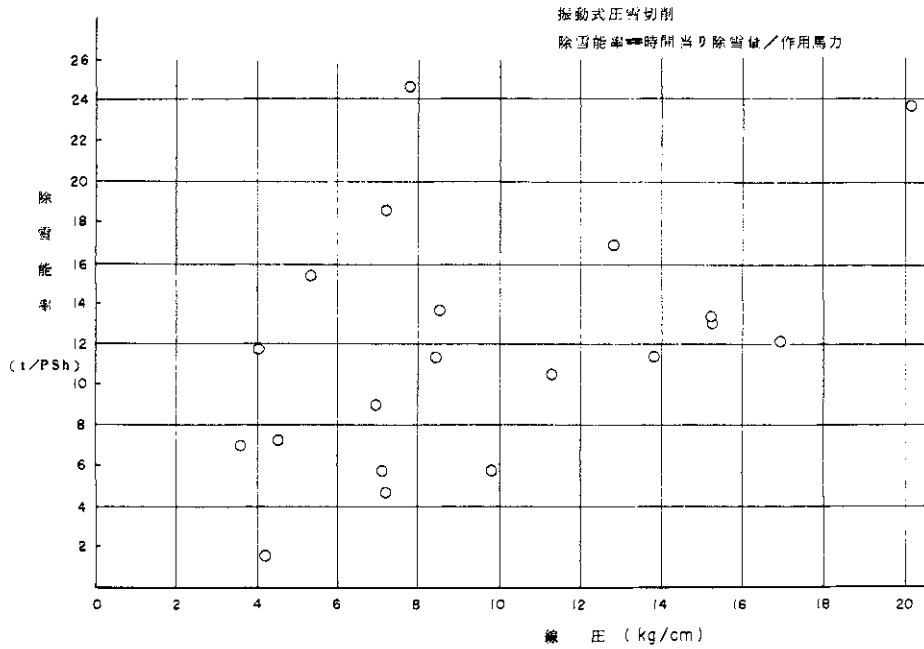


図32 線圧の除雪能率(走行性)に及ぼす影響  
Fig.32. Effect of the load per blade width on the snow cutting efficiency.

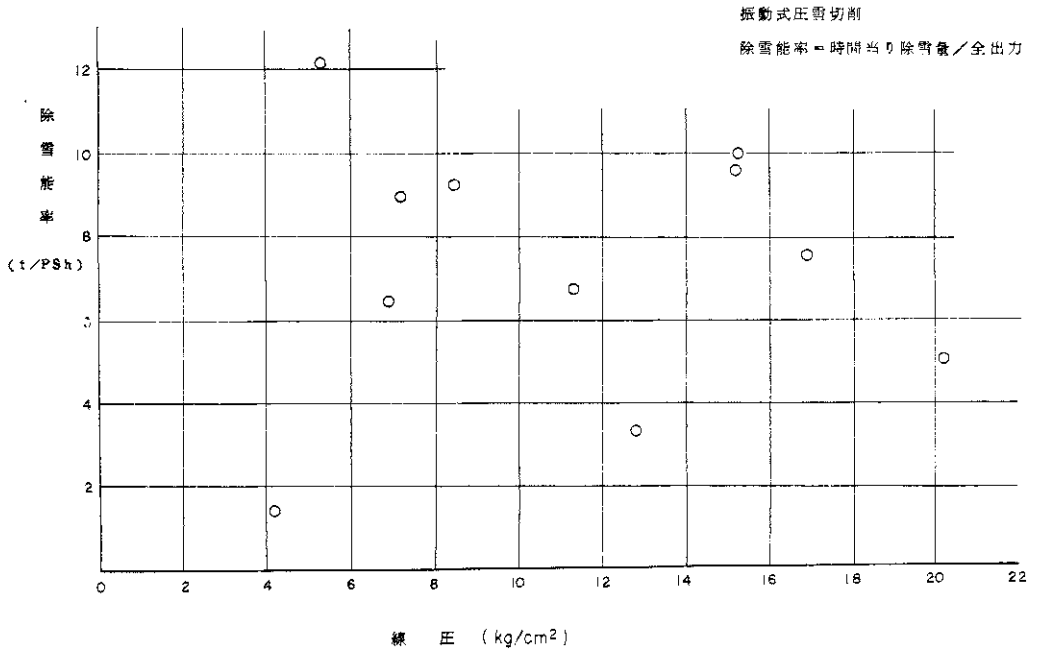


図33 線圧と除雪能率(全能率)の関係  
Fig.33. Relation between the snow cutting efficiency and the load per blade width.

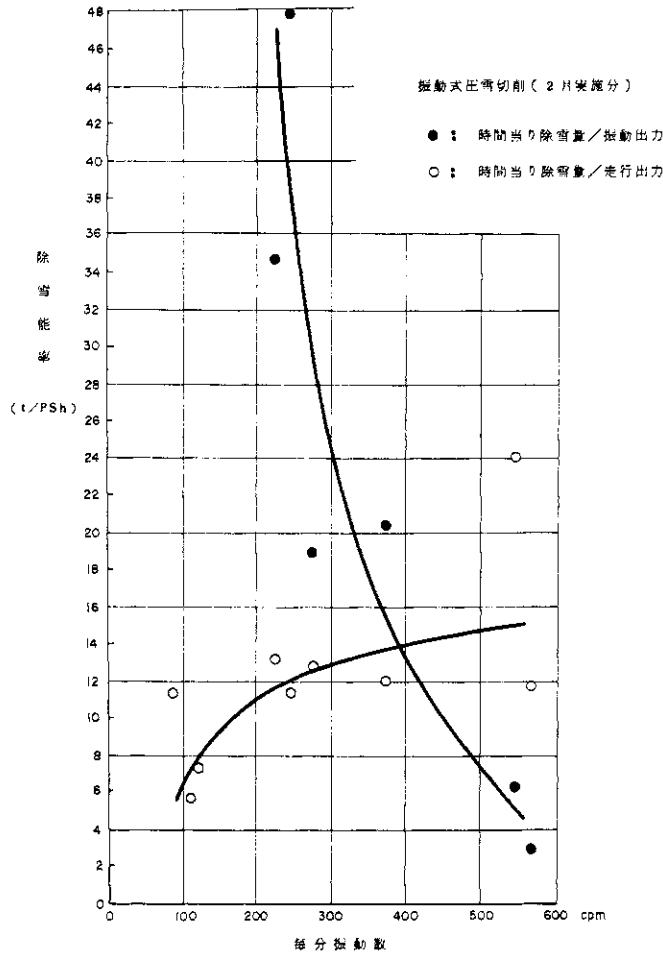


図3.4 毎分振動数と除雪能率

Fig.3.4. Relation between the snow cutting efficiency and the frequency per minute.

の三つが考えられる。

- (1) 除雪能率 =  $\frac{\text{除雪量}}{\text{作用馬力} \times \text{時間}}$  = 除雪能率(作),
- (2) 除雪能率 =  $\frac{\text{除雪量}}{\text{振動馬力} \times \text{時間}}$  = 除雪能率(振),
- (3) 除雪能率 =  $\frac{\text{除雪量}}{(\text{振動馬力} + \text{作用馬力}) \times \text{時間}}$   
= 除雪能率(全).

ここで、第1の場合は除雪能率を考える際に主として走行性能のみに着目したものであり、第2の場合は振動性能を対象としたもの、第3はこの

圧雪切削機全体の性能を対象としたものである。ここで線圧が除雪能率に及ぼす効果をみるために、線圧と除雪能率(作)及び除雪能率(全)のグラフを図3.2.3.3に示す。図3.2でデータはかなりのバラツキがあるが、一応線圧が増せば除雪能率は大きくなるのがわかる。一方、図3.3におけるこの装置全体機能を対象にした除雪能率は線圧の大きさによる効果がほとんどなく、ほぼ5~10 t/PSHの値を示している。このことから一般に、線圧が大きければ、走行性能があがるが、振動馬力も含めた装置全体の性能に関しては、線圧には無関係である。

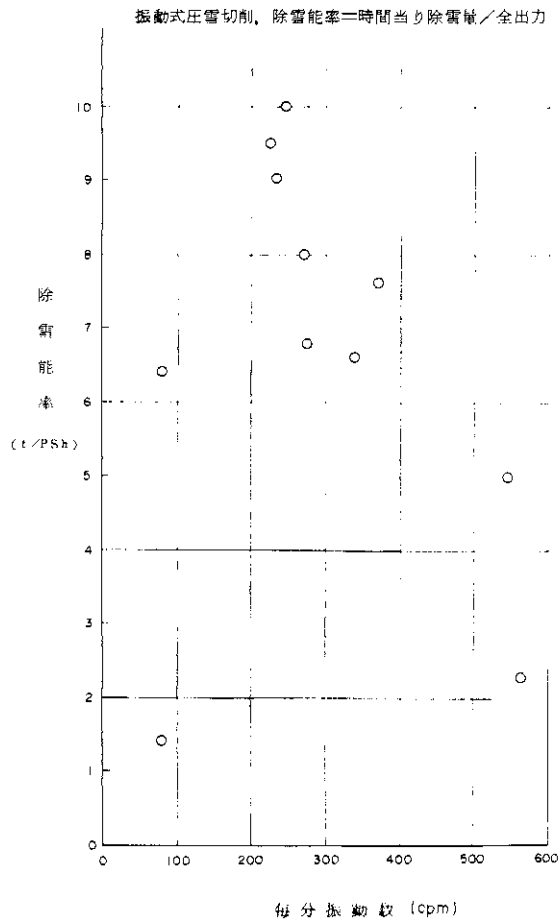


図35 毎分振動数と除雪能率(全出力)  
Fig.35. Relation between the snow cutting efficiency and the frequency per minute.

### 5.3.4 毎分振動数と除雪能率

毎分振動数の大きさにより除雪能率がいかに変わるか、前述した3種類の除雪能率について、それぞれの関係を図示すると、図34、図35のようなグラフになる。図34においては、作用馬力から計算した除雪能率(図中黒丸印)及び振動馬力から計算した除雪能率(図中白丸印)が同じグラフ上にのせてあり、これらを比較すると次のようなことが言える。ただしこのデータは2月中に行なった実験のみをしるす。

(1) 作用馬力による除雪能率は毎分振動数の増加に対してわずかながら上昇している。

(2) 振動馬力による除雪能率は(1)とは対照的に毎分振動数の上昇に対して急激に減少している。

(3) 毎分振動数450rpm以下では振動に使用されるエネルギーより走行に使用されるエネルギーが大きい。450rpm以上になると振動に使われるエネルギーが大きくなる。又更に、全機関出力から計算した除雪能率は、図34に示すように、毎分振動数の増加に従い減少している。

以上のことより、この振動式圧雪切削機は、振動をかけることによって作用馬力に対する除雪能率を上昇させるという長所を持っているが、振動馬力を含めた全体の馬力に対する除雪能率には全

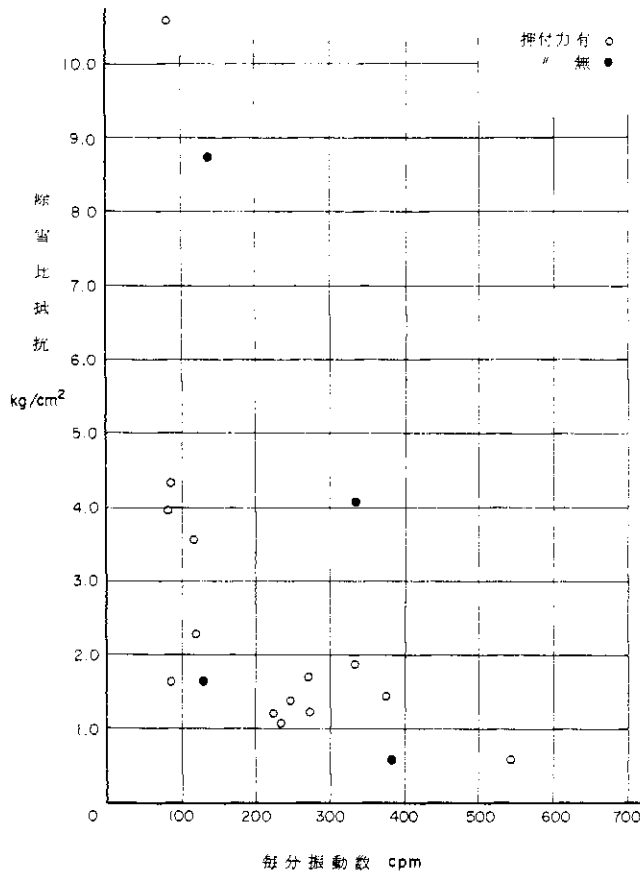


図36 毎分振動数の除雪比抵抗に及ぼす影響  
Fig.36. Effect of frequency per minute on snow cutting resistance.

く効果がなく、かえって低下の傾向にある。

### 5.3.5 切削比抵抗と毎分振動数

毎分振動数が切削比抵抗にいかに関与するか、又切削比抵抗を3 (kg/cm<sup>2</sup>)以下におさえるための限界毎分振動数を求めるために切削比抵抗と毎分振動数の関係を図36に示す。ここでは、2月中のデータのみをのせた。その結果、一般に切削比抵抗  $R$  (kg/cm<sup>2</sup>) は毎分振動数  $f$  (cpm) の増加に伴い減少している傾向にあり、その相関式は、 $R = 1.346 f^{0.032} \nu = 20$ 。ここで、切削比抵抗3 (kg/cm<sup>2</sup>)のときの毎分振動数は150 (cpm)であり、 $f \geq 150$  cpmの範囲で振動を与えると切削比抵抗が減少し、より切削性が良くなることがわかる。

### 5.4 衝撃式圧雪切削装置

#### 5.4.1 切削深さと軸回転速度

衝撃式圧雪切削機の切刃が圧雪に食い込む回数はクランク軸の回転速度に比例しておりこの軸回転速度の切削深さの関係を示したのが図37である。本実験においては、軸回転速度は最低50 rpmとして押付力を加えた場合と、押付力を0にした場合は、本機の機構上軸回転速度が200 rpm以上になると、本体との連結軸を中心にして、アタッチメント全体がはねあがってしまい、切刃が圧雪に食い込まなくなる。従って、軸回転速度170 rpm以上の範囲では油圧シリンダからの押付力を加えて圧雪切削を行なった。ここで軸回転速度  $N$  (rpm) と切削深さ  $d$  (mm) の相関を調べると  $d = 0.11N - 2.17$  で相関係数  $r = 0.93$  である。この式からも分かるように、衝撃式の場

合、軸回転速度を増せば切削深さは直線的に増加している。更に軸回転速度が170rpm以上になると、押付力の効果が現われ20mm以上の厚層圧雪も切削可能である。

なお又、このデータは1月・2月両期間行なったものであり、この圧雪切削機は比較的雪質に影響されにくく、安定した圧雪切削を行なっている。

#### 5.4.2 押付力の効果

衝撃式圧雪切削機の押付力と切削深の関係を図38に示す。ここで( )内は軸回転速度をのせてある。この図からも明らかなように、衝撃式の場合でも押付力の効果はかなり出ており、又同じ押付力でも軸回転速度の大きさに影響される。この影響を見るために前項でのべた軸回転速度  $N$  rpm と切削深  $d$  mm の関係(押付力0の場合と600kgの場合)を図39のグラフに示す。押付力0kgの場合、

$$d = 0.079N - 0.71, (N > 50 \text{ rpm})$$

押付力600kgの場合は、

$$d = 0.086N + 5.27.$$

このグラフから一般に軸回転速度が増すと切削深が増大し、又同時に押付力の影響も大きくきいてくることが分かる。

#### 5.4.3 切削深さと打撃ピッチの関係

第5.4.1項で述べたように、衝撃式圧雪切削装置の場合、圧雪切削深は、クランク回転速度に影響されることがわかった。更に切刃が圧雪面にどれだけ打撃を与えるか、軸回転速度のほかに切刃の相対速度車速を考慮した打撃ピッチと、切削深さの関係を図40のグラフに示す。ここで打撃ピッチとは、次式で表わされたもので、切刃が一回打撃する間にアタッチメントが移動した距離と定義される。

打撃ピッチ (cm/回)

$$= \frac{\text{除雪速度 (km/h)}}{\text{クランク軸回転速度 (rpm)}} \times 166.7.$$

切削深さ  $d$  (mm) と打撃ピッチ (cm/回) との相関は  $d = 281 \times P^{-0.778}$ 、ただし、 $P \approx 0. \nu = 27$  で相関係数は0.851であり、打撃ピッチが小さいほど圧雪切削がよくできることがわかる。又打撃ピッチが35cm以下の場合、アタッチメントが浮き上がってしまうので、この範囲では押付力をかけなければならない。又打撃ピッチ40cm以上、切削深18mm以上の場合には衝撃力の

効果、押付力の効果もほとんどなく、圧雪切削にあまり効果的でない。従って打撃ピッチは高々40cmぐらい、それ以下にする必要がある。

#### 5.4.4 切刃速度と切削深さ

衝撃式圧雪切削機において、切刃の  $\alpha$  方向速度成分  $V_x$  に対して相対的に車速  $v$  が大きくなると、切刃の  $\alpha$  方向速度  $V_x + v = U$  が増加し、ますます衝撃的挙動を呈する。ここで切刃水平速度  $U$  cm/s が圧雪切削深  $d$  mm にいかなる影響を与えるか、その傾向を見るために図41にグラフを描く。このグラフで( )内はアタッチメントに加えた押付力  $k$  g を呈している。切削深と切刃速度との関係は、相関係数は0.69で回帰直線は  $d = -0.021 \times U + 2.031$  である。これから明らかなように切刃の水平方向速度成分は、圧雪切削に対してあまり影響を与えていない。

#### 5.4.5 軸回転速度と除雪能率

図37で切削深さは軸回転速度が大きいほど良く削れることがわかったが、除雪能率に対する効果をみるために図42にそのグラフを示す。

軸回転速度120rpm以下では除雪能率はかなりのバラツキが見出されるが、120rpm以上になると、ほぼ一定の値2~3 t/PSHに落ちついている。これは本試験機の機構上に問題があると思われる。すなわち、軸回転速度が大きくなると、切刃の衝撃力が増大し、油圧シリンダからアタッチメントに及ぼす押付力が相対的に少なくなる。このためアタッチメント、並びに試験機本体がこの衝撃力の反力をまともに受け、激しく上下動を行ない、余分の衝撃力は試験機本体に消散してしまうように考えられる。従って、衝撃式圧雪切削機の軸回転速度は120rpm前後で行なうと能率が良いことがわかる。

#### 5.4.6 打撃ピッチと除雪能率

第5.4.1項と第5.4.2項において切削深さを論じてきたが、押付力を増加し打撃ピッチを小さくさせ軸回転速度を増せば、良く切削できることがわかった。ここで次に問題となるのはその効率である。圧雪切削の作業効力を現わすために1時間1馬力当り除雪量である除雪能率をとってみる。図43に打撃ピッチ  $p$  と除雪能率  $e$  の関係を図示すると、除雪能率  $e$  (t/PSH) は打撃ピッチ  $p$  (cm/回) の減少関数になっており、その関係式は  $e = 71.7P^{-0.88}$ 、打撃ピッチ40cmで除雪能率約2 t/PSH、2mで約1 t/PSHである。衝撃



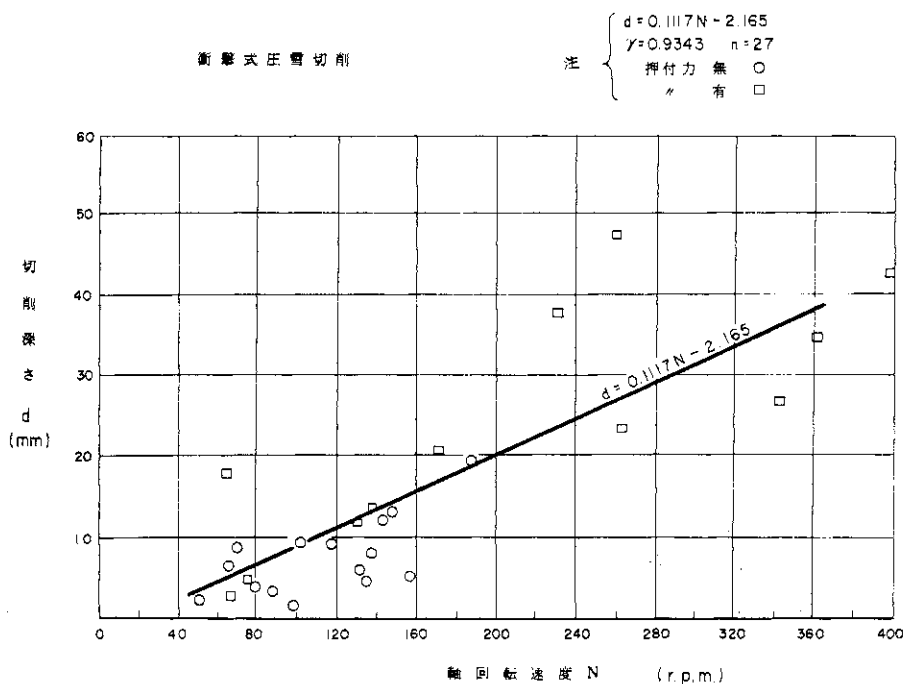


図37 軸回転速度と切削深さの関係

Fig.37. Relation between the snow cutting depth and the revolutions per minute.

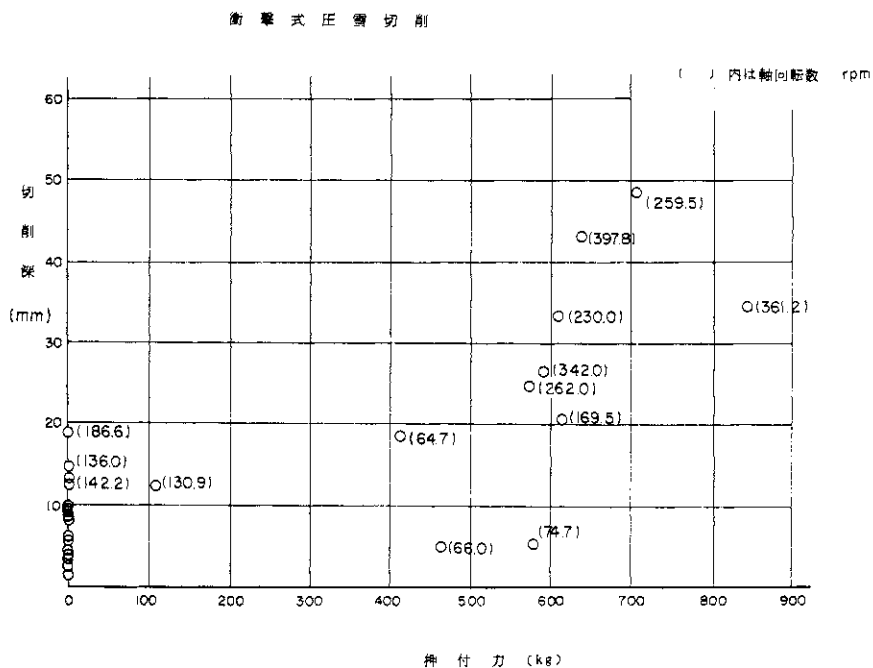


図38 押付力が切削深さに及ぼす影響

Fig.38. Effect of push force at the attachment on snow cutting depth.

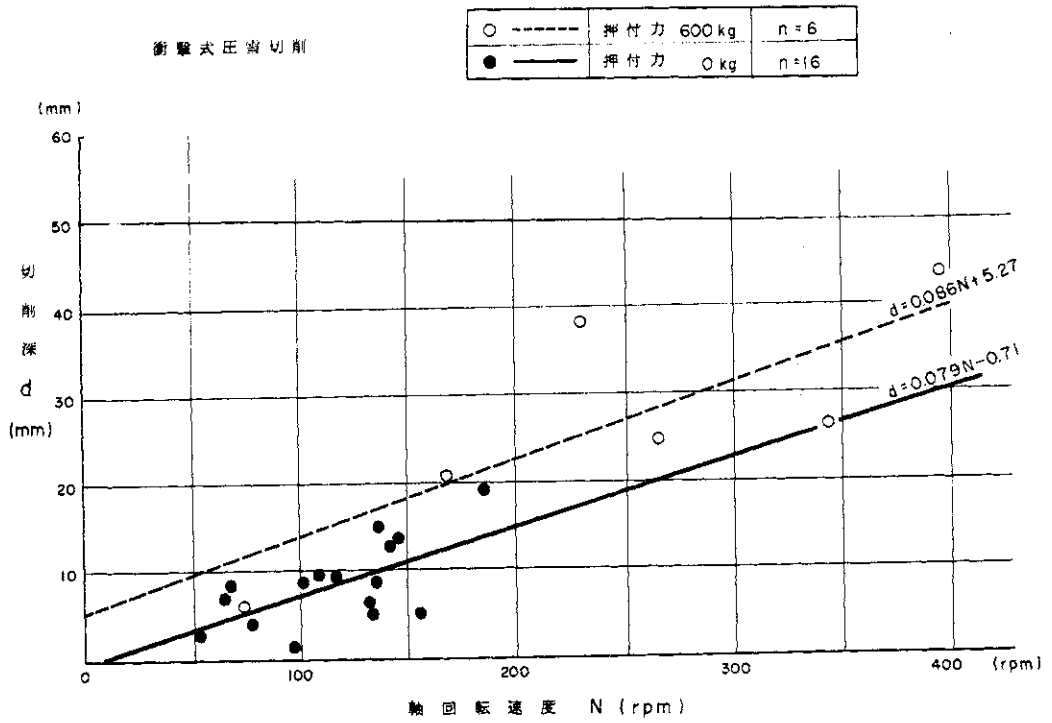


図39 押付力の効果(衝撃式)  
Fig.39. Effect of push load at the attachment.

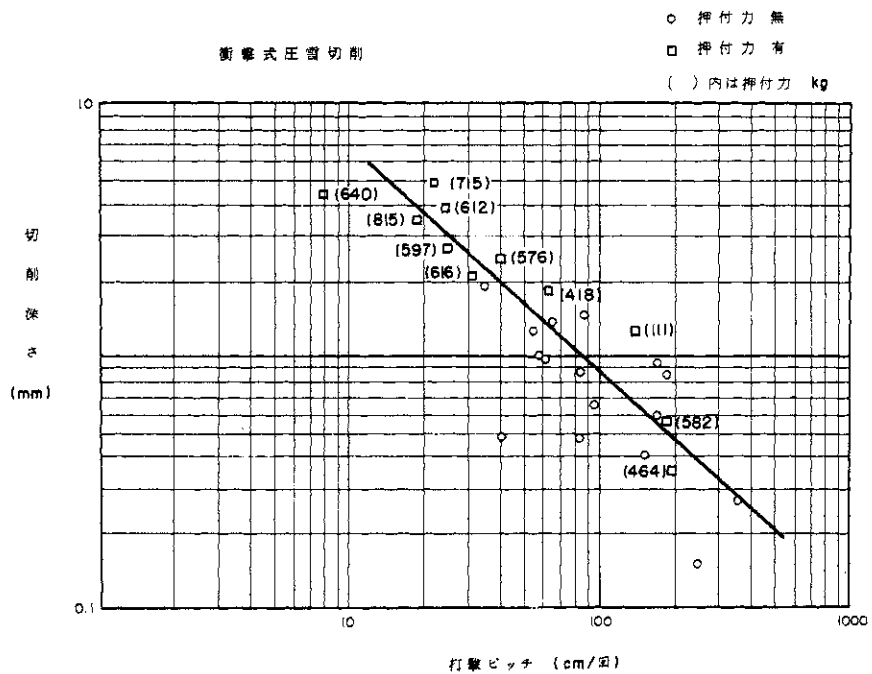


図40 打撃ピッチと切削深さの関係  
Fig.40. Relation between the impact pitch and the depth of snow cutting.

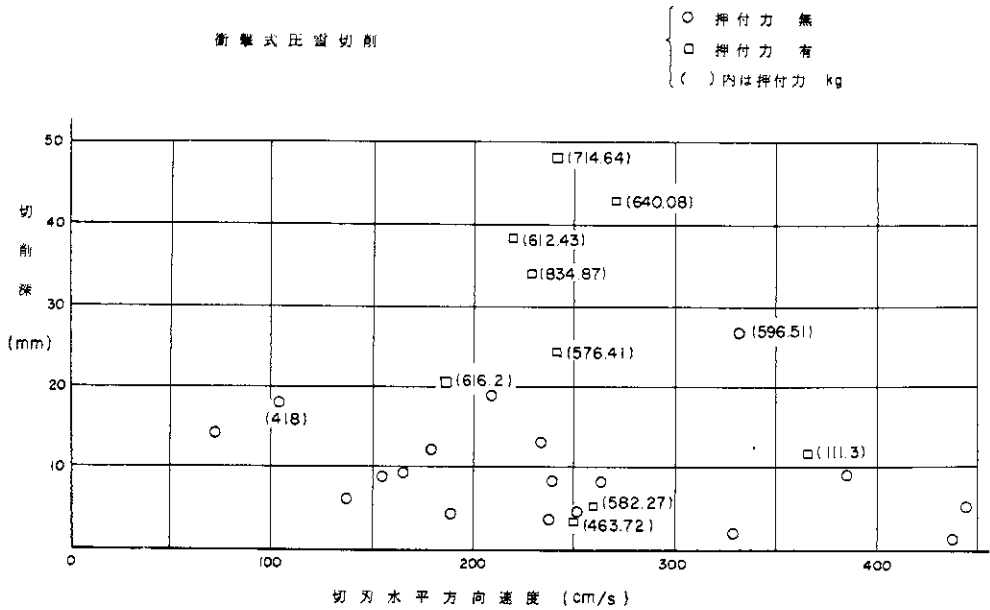


図41 切刃水平方向速度と切削深さの関係  
 Fig. 41. Relation between the horizontal cutter speed and the depth of snow cutting.

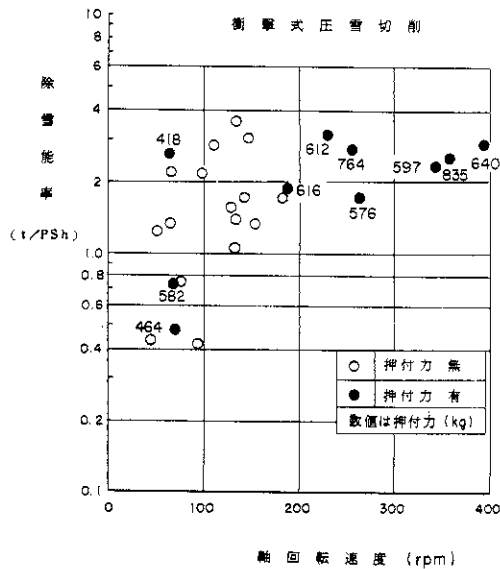


図42 軸回転速度と除雪能率の関係  
 Fig. 42. Relation between the revolutions per minute and the snow cutting efficiency.

式の除雪能率は、振動式と比べて小さい値になっているが、これは切刃がクランク軸1回転360°の内180°の半分しか作用していないためで、写真6でもわかるようにとびとびの切口を呈してい

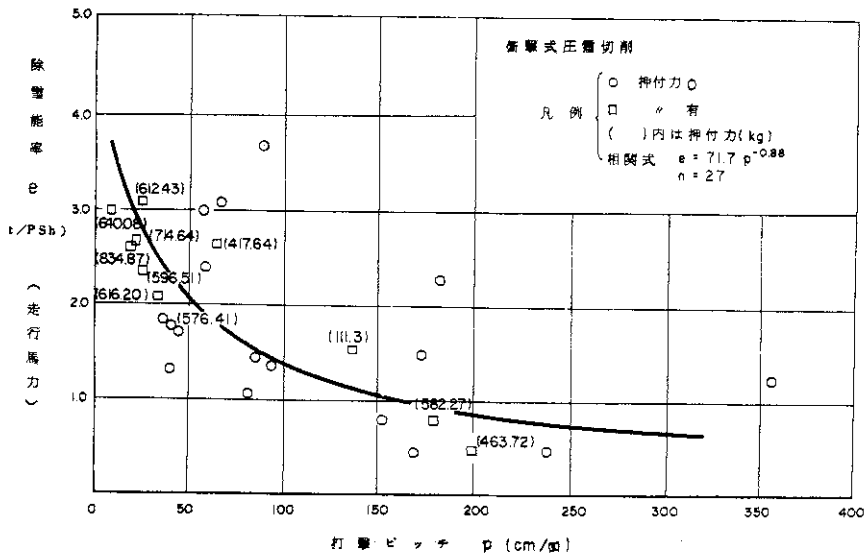


図4.3 打撃ピッチと除雪能率の関係  
 Fig.4.3. Relation between the compact pitch and the snow cutting efficiency.

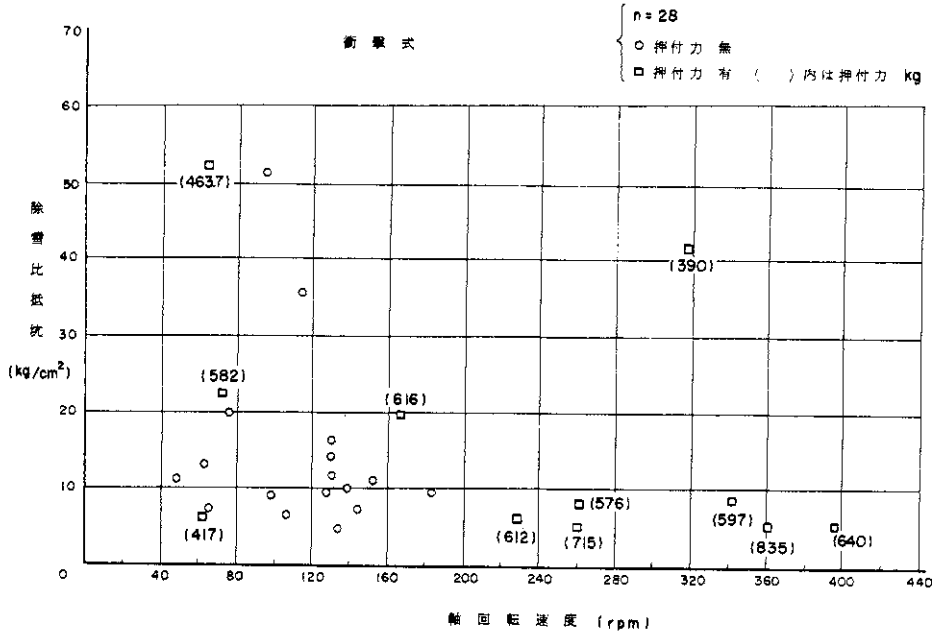


図4.4 軸回転速度と除雪比抵抗の関係  
 Fig.4.4. Relation between the revolutions per minute and the snow cutting resistance.

て、除雪体積が小さいからである。しかし1回の切込深さは図3.9からも判断できるように、打撃ピッチ、40cm以下では衝撃の効果がかなりで

ており切削深さ2cm以上になっている。このような切削の場合、残った圧雪部分の車両等のタイヤチェーンにより破壊し、圧雪がくずれやすくな

るため、このようなとびとびの切削もかなり圧雪処理に対して効果がでてくる。

#### 5.4.7 軸回転速度と切削比抵抗

軸回転速度と除雪比抵抗の関係を図44に示す。除雪比抵抗は軸回転速度の増加に対して減少している。除雪比抵抗とは、単位除雪断面面積あたりの推力(切削抵抗+加速抵抗)であり一般にこれが小さい程切削に対して有利である。従って切削深さと同様、軸回転速度を上げた方がよいことがわかる。

#### 5.5 各種圧雪試験の性能比較

昭和44年度に製作、実験を行なったブラウ式圧雪処理装置(ストレート刃、四角刃、三角刃)、ロータリータイプ式圧雪処理装置並びに昭和45年度に製作、実験を行なった振動式圧雪処理装置、衝撃式圧雪処理装置の各々についてその性能を比較したものを表8に示す。なお、この表内の、a, b, c, d欄の各データは、次に示すもののデータである。

A: 切込み深さの中央値をとった場合の各データ

B: 切込み深さの最大値をとった場合の各データ

C: 除雪能率の中央値をとった場合の各データ、

D: 除雪能率の最大値をとった場合の各データ。

この表から切込深さを最大にする圧雪装置型式は、ブラウ式で四角刃を使用した型式で、次に同じくブラウ式で三角刃、又はロータリータイプ式である。

一方、各機種の平均的な切削深からいうと、ロータリータイプ式、ブラウ式四角刃と続く。次に除雪能率最大のもの、ブラウ式四角刃、ブラウ式三角刃の順である。

平均除雪能率からいうと、やはりブラウ式の三角刃、ブラウ式四角刃の順になっている。

以上から、圧雪切削に関しては、汎用機としてブラウ式の四角刃を装置した装置が最適である。特に、除雪能率及び機械の稼働率等をそれ程問題にしない場合には、ロータリータイプ式、及び衝撃式圧雪処理機が有効であると思われる。この2機種についてはかなり硬度の高い圧雪でも切削可能である。

ブラウ式の場合は、1ユニットとしてとりはずし可能であるため汎用機としてグレーダ、及びトラックに装着できる。一方、ロータリータイプ式

及び衝撃式圧雪処理装置については、専用機が必要となる。

#### 5.6 実用機への応用

各種圧雪試験機の性能を比較した結果、一応ブラウ式圧雪処理機(四角刃)のものが最適であることがわかった。ここでのブラウを実際にグレーダに取り付けた場合を想定して、グレーダのもつ作業能力でいくらの深さの、また走行速度何km/hの圧雪切削が可能か、特にけん引力、所用馬力について考察する。一方、この実用機を稼働した場合の圧雪除去量の試算も行なう。実験結果をもとにしてモータグレーダGD40、HT-2に刃先形状を四角刃を装置したものとして考える。ここでGD-40、HT-2の寸法を図45に示す。また仕様は次のとおりである。

車両総重量	14500 kg
前輪荷重	4200 kg
後輪荷重	10300 kg
けん引力(リムプル)	8240 kg
ブレード幅	3970 mm
全出力	165 PS

##### 5.6.1 けん引力

今、1回のグレーダ切削でとる圧雪切削深を、2.5 cm、4.0 cmとした場合について計算を行なうと、図46の線圧と切削深さの関係(四角刃)より、

圧雪切削深が2.5mmのとき線圧は5 kg/cm、

圧雪切削深が4.0mmのとき線圧は10 kg/cm

である。

一方、切削比抵抗を3 kg/cm<sup>2</sup>、車輪と圧雪との摩擦係数 $\mu$ を0.3(車速10 km/h)とすると各線圧別、前後輪荷重及び切削抵抗力、けん引力は図45のとおりである。ここで切削深2.5 cmでは、けん引力が2825 kg、切削抵抗力が2600 kgで225 kg余裕があるが、切削深さ4 cmでは1573 kgけん引力が不足する\*。そのためには更に、後輪荷重を2542 kg増加させなければならない。

次に、走行速度はオペレータの操作条件及び道路条件からたかだか10 km/hが適当であるといわれており、この速度で作業をした場合の出力を計算してみる。なお、このグレーダの機構上の全損失を7%と見なす。

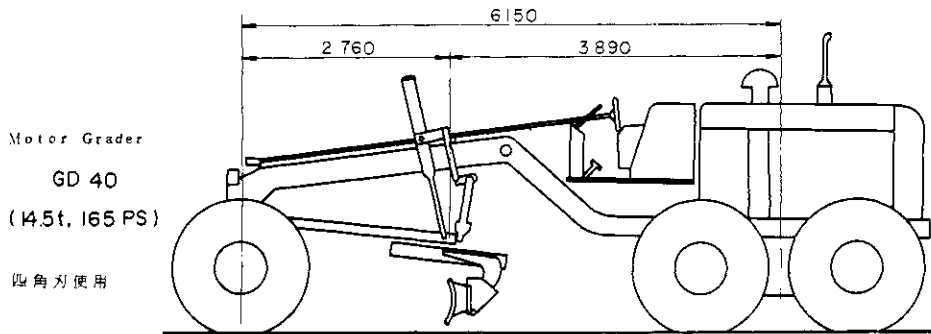
\*実際のけん引力(リムプル)は8240 kgと余裕があるが、圧雪路面上では著しく摩擦係数が小さくなる。

表8 各種圧雪処理機性能比較表  
Table 8. Capacities of machines of various types.

圧雪処理装置型式		切込深さ mm	除雪能率 t/PS h	除雪比抵抗 kg/cm <sup>2</sup>	線 圧 kg/cm	振動速度軸回 転速度 rpm	走行速度 km/h	備 考
ブラウ式 ストレート刃	A*	(1) 13.0	2.93	4.60	13.0	—	7.95	切削角 45°
	B*	56.0	6.32	1.90	120	—	7.54	切削角 60°
	C*	29.0	3.79	3.06	21.9	—	7.83	切削角 45°
	D*	30.0	7.81	2.12	14.8	—	2.65	切削角 50°
ブラウ式 四角刃	A	36.0	7.00	1.87	18.0	—	5.04	切削角 50°
	B	70.0	9.78	1.29	11.0	—	4.90	切削角 50°
	C	36.0	6.20	2.38	29.9	—	80.7	切削角 60°
	D	23.0	16.10	0.92	3.0	—	2.64	切削角 50°
ブラウ式 三角刃	A	28.0	6.21	1.99	18.8	—	5.90	切削角 50°
	B	65.0	8.85	1.49	7.5	—	7.91	切削角 60°
	C	16.0	6.40	2.35	33.6	—	6.75	切削角 30°
	D	12.0	132.4	1.05	3.4	—	8.19	切削角 50°
振 動 式	A	17.8	—	2.27	4.5	119.1	3.28	切削角 30°
	B	57.7	9.5	1.19	15.2	224.5	3.15	除雪能率は全出力を対象
	C	46.5	8.0	1.25	15.3	271.4	6.38	#
	D	56.0	12.1	0.49	5.3	233.0	3.68	#
ロータリータイン式	A	38.0	7.15	0.753	—	269.0	5.53	打撃ピッチ (cm) 5.71
	B	65.0	5.25	0.446	—	295.0	2.36	# 2.22
	C	30.0	3.63	1.60	—	468.0	5.58	# 3.31
	D	50.0	11.85	0.536	—	265.0	6.78	# 7.11
衝 撃 式	A	9.7	2.94 (5.88)	5.65	—	109.3	3.76	# 57.0
	B	48.0	2.71 (5.42)	5.61	—	259.5	3.49	# 22.0
	C	2.45	1.75 (3.50)	8.40	—	262.0	6.35	# 40.0
	D	14.7	3.65 (7.30)	4.00	—	136.0	7.23	# 88.0

注1 A: 切込深さの中央値をとった場合の各データ  
B: 切込深さの最大値をとった場合の各データ  
C: 除雪能率の中央値をとった場合の各データ  
D: 除雪能率の最大値をとった場合の各データ

注2 ( )内は4枚の切刃が連続して作用したものと計算した場合



Motor Grader  
GD 40  
(14.5t, 165 PS)  
四角刃使用

線 圧	切込深	↓	3 kg/cm <sup>2</sup>	↓	μ=0.3	↓
kg/cm	cm	kg	kg	kg	kg	kg
0	0	4200	0	0	3090	10300
10	4	2012	4128	3970	2555	8518*
5	2.5	3115	2600	1985	2825	9417

\* 5242 kg 不足

図45 モータグレーダ主要寸法および前・後輪荷重, 切削抵抗, けん引力  
Fig.45. Main size, front and rear wheels load and cutting resistance of the motor grader.

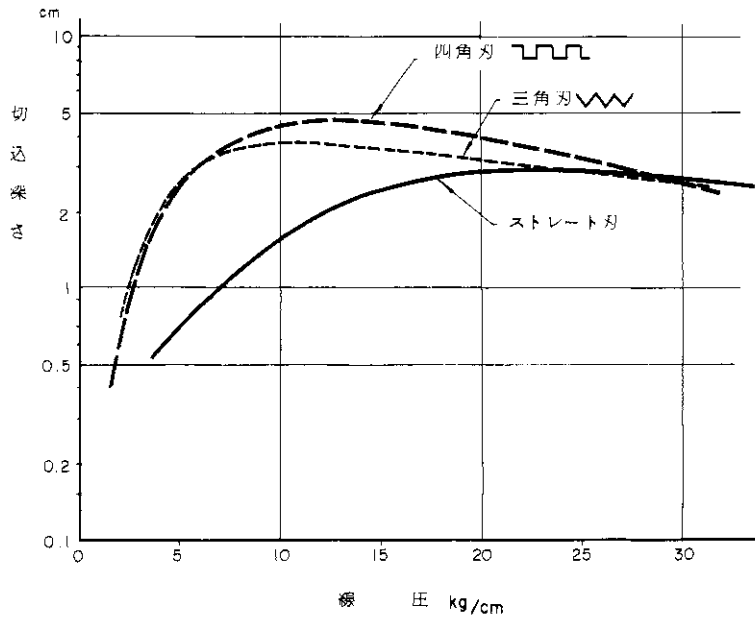


図4.6 プラウ式各刃形別線圧と切込深さの関係  
Fig.4.6. Relation between the load per blade width and the snow cutting depth.

切削深4 cmで最大切削抵抗力4128 kgであるから、所要馬力は次の様になる。

$$4,128(\text{kg}) \times \frac{1.0(\text{km/h}) \times 1,000(\text{m/km})}{3,600(\text{S/h}) \times 75(\frac{\text{kgm/s}}{\text{PS}})}$$

$$= 152.9 \text{ PS.}$$

一方、このグレーダの最大動力は165 PSだから、とり出せる最大動力は165 × 0.93 = 153 PSでほぼ間に合う。なお、切削深2.5 cmの場合は更に充分である。

### 5.6.2 圧雪切削量の算出

以上の結果よりモータグレーダGD40HT-2に四角刃を装着した場合の圧雪切削量を算定する。切削条件は下記のとおりである。

一回の圧雪切削深 2.5 cm = 0.025 m,  
ブレード幅 3.970 mm = 3.97 m,  
走行速度 10 km/h = 10,000 m/h,  
圧雪密度 0.6 g/cm<sup>3</sup> = 0.6 ton/m<sup>3</sup>

1時間当りの圧雪処理量 Q ton/h は

$$Q = 0.025 \times 3.97 \times 10,000 \times 0.6$$

$$= 595.2 \text{ ton/h.}$$

### 5.6.3 1台のうけもつ道路延長

このグレーダ1台1日うけもつ道路延長 L km

と日当り運転時間も t hr/日の関係を図4.7に示す。ただし、降雪量は平均30 cm/日とし、この時の雪密度を0.1とすると、圧雪は平均5 cm/日発生することになる。

今、日当り降雪深を30 cm、1台のうけもつ道路延長10 kmとした場合、この機械の日当り稼働時間は4.2時間、一方、同じく日当り降雪深を30 cm、日当り稼働時間7時間とすると、この機械1台のうけもつ道路延長は16 kmになる。

## 6. 結 論

4形式の圧雪処理装置について実験した結果、次の結論が得られた。

- (1) プラウ式の処理機構では、線圧(単位切刃長さ当たりに加える垂直荷重)が重要な値であるが、これを8 kg/cm以上にすると急激に切削深さが増すが、12~16 kg/cmで最大となり、それ以上あげても切削深さは増加しない。(図1.2, 図1.3, 図1.4)
- (2) 切刃の一部を三角又は四角に切欠いた形状の刃を用いると、見掛上の線圧は切欠かない場合の半分で同じ様な切削深さが得られる。(図1.2, 図1.3, 図1.4)

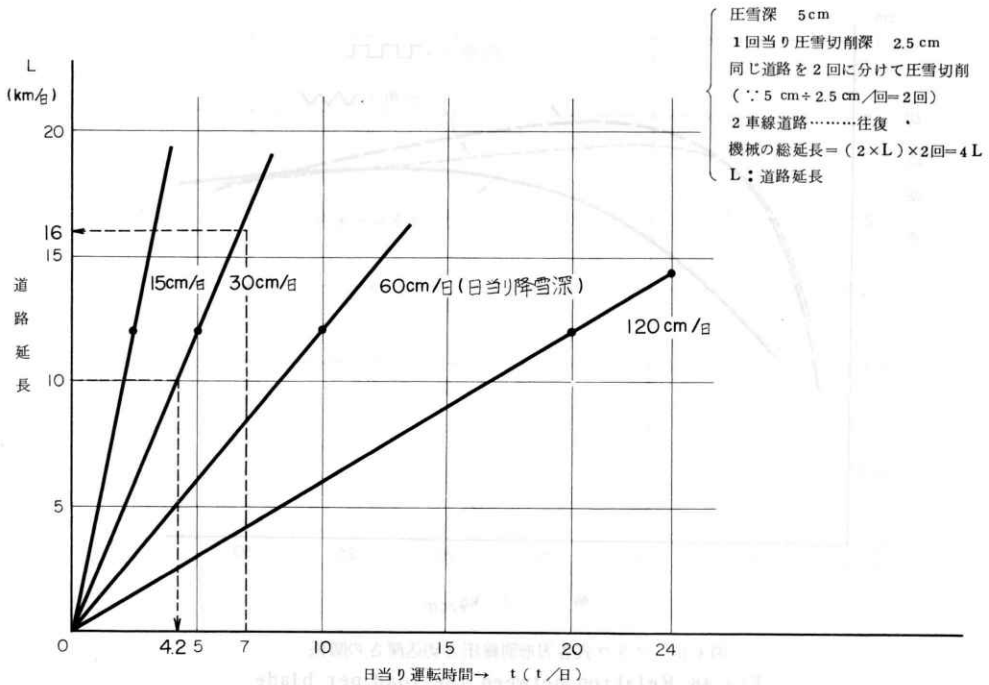


図47 機械1台の受け持つ道路延長と日当り運転時間

Fig.47. Relation between the road length and the driving time per day of one snow cutting machine.

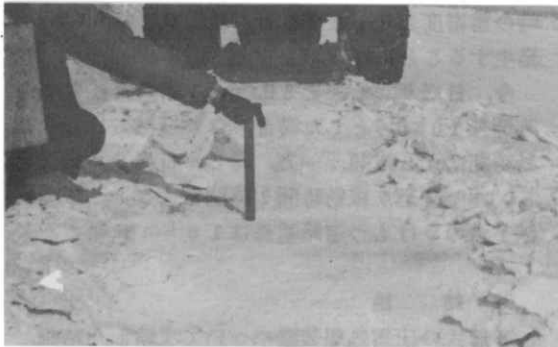


写真6 圧雪切削跡

Photo 6. Traces of cutting.

- (3) 切刃の切削比抵抗(単位切削断面積当り必要な推力)は、普通の雪より1けた高く、土を削る場合の値に近い。(図15, 図16, 図17, 図21, 図22)
- (4) ロータリー式の場合はタイヤの打撃ピッチが重要で、一般に打撃ピッチを大きくとることが望ましいが、特定の打撃ピッチについて考えると、最良の車速とロータ回転速度の組み合わせがある。(図25)



写真7 圧雪切削実験の全体風景

Photo 7. General view of an experiment of compressed snow cutting.



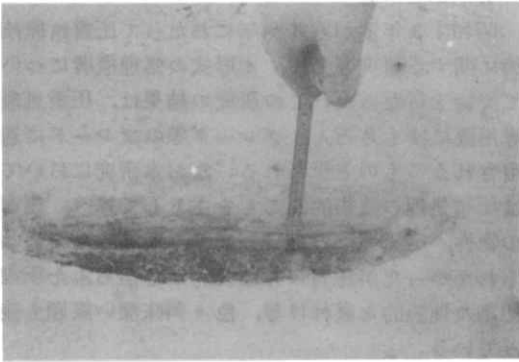


写真8 圧雪深および圧雪層  
Photo 8. View of compressed snow layer on the road surface.



写真9 圧雪コアサンブラ  
Photo 9. A compressed snow core sampler.

- (5) 除雪能率 ( $t/PS_h$ ) はブラス式の場合も、ロータリー式の場合も  $2 \sim 10 t/PS_h$  程度で、普通の積雪を除雪ブラス又はロータリー車で処理する場合と類似している。(図26)
- (6) 雪質の影響は明確ではないが、ブラス式の場合は雪硬度による影響が見られ、ロータリー式の場合は硬度による能率への影響が見られない。(図22, 図27)



写真10 木下式硬度試験  
Photo 10. Hardness test of compressed snow (Dr. Kinoshita's type).



写真11 圧雪深の測定  
Photo 11. Measurement of compressed snow depth.

振動式圧雪切削試験

- (1) 圧雪切削深を増加させるには、切刃の線圧を大きくすることが必要である。このために振動式でもシリンダからの押付力を加えると有効である。(図29, 図30)
- (2) 振動式圧雪切削の場合、雪質によって切削深は微妙に変わる。(図29, 表7)
- (3) 二軸偏心マスによる起振力が、切削深に及ぼ

す効果はこの装置の機構ではあまり認められない。(図31)

- (4) 毎分振動数の増加に伴い、押腕抵抗力(推力)が減少する。(図36)
- (5) 作用馬力に対する除雪能率は毎分振動数の増加にしたがって上昇しており、振動が走行抵抗の低減に寄与している。(図34)
- (6) 作用馬力、振動馬力の全機関出力に対する除雪能率は毎分振動数の増加に伴い減少する。このことから振動は切削にあまり寄与していない。(図35)

#### 衝撃式圧雪切削試験

- (1) 衝撃式圧雪切削の場合、圧雪切削深さは衝撃を与える切刃の時間当たり衝撃回数すなわちクランク軸回転速度の増加に従って大きくなる。更に軸回転速度が大きくなると、油圧シリンダからの押付力を加える必要がある。(図37, 図38, 図39)
- (2) 切刃の打撃ピッチは小さい程圧雪切削深が大きくなるが、35cm以下になると押付力をかけないとアタッチメント本体がとびはねてしまう。又打撃ピッチは最高で40cmにおさえなければならぬ。(図40)
- (3) 圧雪切削深に対する切刃の絶対速度(車速も含めた)の影響は認められない。(図41)
- (4) 除雪能率は軸回転速度120rpm以上では軸回転速度にほとんど関係なくほぼ一定の値 $3t/PSh$ になっている。(図42)
- (5) 除雪能率は打撃ピッチが小さい程大きな値となっており $2t/PSh$ の除雪能率を得るには打撃ピッチ40cm程度又はそれ以下にするとよい。(図43)

以上から、圧雪切削に関しては、汎用機としてブラウ式の四角刃を装着した装置が最適である。

#### 7. あとがき

昭和43年度から3か年にわたって圧雪処理技術に関する研究として、4形式の処理機構について実験を行なった。この研究の結果は、圧雪処理専用機にはもちろん、グレーダ等のブレードに適用されうるものと思われる。なお本研究においては圧雪処理の技術的なことを主として述べ、圧雪の物性、圧雪切削の破碎機構等、理論的な検討はふれなかったが圧雪の弾塑性的な目からみた圧雪切削の理論的な裏付け等、色々興味深い課題も残っている。

#### 8. 写真

写真6～写真11に圧雪切削跡、圧雪切削実験風景、その他を示す。

#### 9. 参考文献

1. 土木研究所資料, 第667号, 路面圧雪処理方法に関する研究(田中, 野原, 小山)
2. 日本建設機械要覧(1971), 日本建設機械化協会編。
3. 工業振動学(益田, 室田)
4. 土木研究所資料, 第310号, 高速除雪方法に関する研究, ブラウ除雪実験(第2報)(長田, 沢田, 岩崎)
5. 土木研究所資料, 第417号, 高速除雪方法に関する研究, ブラウ除雪実験(第3報)(沢田, 岩崎, 佐々木)
6. 機械工学便覧
7. 機械振動入門(小堀与一著)
8. 防雪工学ハンドブック, 日本建設機械化協会編
9. 理論応用統計学(岸根卓郎著)