

625.76

ロータリ除雪機の基礎的研究*

(第1報, 積雪の切削抵抗に関する研究)

下田 茂**, 千木良 暁司***, 石橋 達弥**

1. 緒 言

日本海沿岸を主とする降雪地域においては, 道路・鉄道路などの冬期間における交通路確保が, 生活・産業の面から最重要項目としてあげられている. このため除雪機の果たす役割は大きい. たとえば, 道路除雪においては, 積雪を道路の側方へ押しやるためのV形またはI形プラウ除雪機と, 道路側方へできた雪の壁を切りくずし所定の場所へ投出するためのロータリ除雪機を併用するのが望ましい. これらの除雪機的设计・製作にあたっては, 除雪作業を能率的に行なうための種々の基礎的研究が必要である.

本報は, 除雪機の動力性能⁽¹⁾に関与する積雪の切削抵抗を(プロペラ形状のプレカッタをもつバイルハック形除雪機と, 円筒フライスカッタ形状のカッテングロータをもつロバ形除雪機を主眼において)二次元, 三次元的に理論解析し, 積雪の比切削抵抗理論式を導いた. また, あわせて切削実験を行ない, 導出した理論式の有用性を検討した.

2. 積雪切削抵抗理論

積雪の切削機構は雪質, 切削条件によって異なり複雑なものであるが, 切りくずはだいたい連続した流れ形のものである. そこで理論式を導出する過程では, 実用を考慮して切削機構を最も単純化した次の仮定を用いた. (1) 切削は連続した流れ形であり(図1), 切りくずの幅は試験片の幅に等しい. (2) 切りくずの変形はせん断面のみで起こり, その方向は切削抵抗の方向と45°をなす.

2・1 二次元比切削抵抗理論 図2は, 二次元切削機構におけるすくい面とせん断面にかこまれた部分の力のつりあいを示す. ここで, R : 切削抵抗, F_o : 主分力, F_T : 背分力, F : すくい面に沿う摩擦力, N : すくい面に垂直な力, S : せん断面に沿う力, λ : せん

断方向と切削抵抗 R とのなす角, α : すくい角, β : 摩擦角, ϕ : せん断角, t_1 : 切込深さ, t_2 : 切りくず厚さ とする. 図2より

$$\left. \begin{aligned} F_o &= \frac{S \cos(\alpha - \beta)}{\cos \lambda} \\ F_T &= \frac{S \sin(\alpha - \beta)}{\cos \lambda} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここで, b_1 : 試験片の幅, τ_s : せん断応力とするとせん断力 F_s は

$$F_s = \frac{\tau_s b_1 t_1}{\sin \phi} \dots\dots\dots(2)$$

また V : 削り速度, V_o : 切りくず速度, V_s : せん断速度, ρ_1 : 試験片の密度, ρ_2 : 切りくずの密度, b_2 : 切りくずの幅, g : 重力加速度 とすると, 切りくずの流れの連続性より質量流量は切削の前後で変化しないから

$$\frac{\rho_1 b_1 t_1 V}{g} = \frac{\rho_2 b_2 t_2 V_o}{g} \dots\dots\dots(3)$$

仮定(1)および式(3)より, 切りくずに対してせん断方向に継続して0からせん断速度 V_s を与える

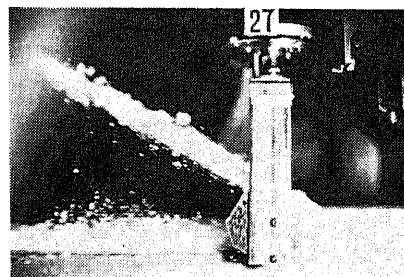


図1 二次元切削

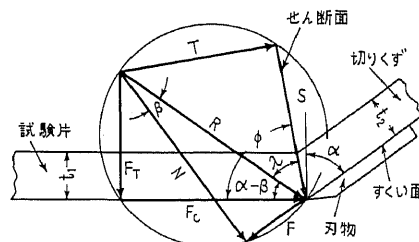


図2 二次元切削における力と角度の関係

* 昭和42年10月24日 諏訪地方講演会において講演, 原稿受付昭和45年11月16日.
** 正員, 新潟大学工学部(長岡市学校町1).
*** 正員, 日立造船会社.

ための慣性力 F_v は

$$F_v = \frac{\rho_1}{g} b_1 t_1 V V_s = \frac{\rho_2}{g} b_1 t_1 V^2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \frac{\cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \dots\dots\dots(4)$$

さらに、せん断面に沿う力 S はせん断力 F_s と切りくずの慣性力 F_v の和であるから、式(2)~(4)より

$$S = F_s + F_v = b_1 t_1 \left\{ \frac{\tau_s}{\sin \phi} + \frac{\rho_1}{g} V^2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \frac{\cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

したがって、仮定(2)および式(1)、(5)から、比切削抵抗主分力 P_C ・背分力 P_T は次の形で求められる。

$$P_C = \frac{F_c}{b_1 t_1} = \left\{ \tau_s + \frac{\rho_1}{g} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \frac{V^2}{\tan \alpha + \cot \phi} \right\} \times (1 + \cot \phi) \dots\dots\dots(6)$$

$$P_T = \frac{F_T}{b_1 t_1} = \left\{ \tau_s + \frac{\rho_1}{g} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \frac{V^2}{\tan \alpha + \cot \phi} \right\} \times (1 - \cot \phi) \dots\dots\dots(7)$$

ただし

$$\phi = 45^\circ + \alpha - \beta \dots\dots\dots(8)$$

2.2 三次元比切削抵抗理論 理論解析の方法として

は、測定方向(3分力の方向)、刃物のすくい面およびせん断面についての座標系の間の関係を求め、せん断面に沿う力として積雪のせん断力と慣性力を考え、この力の成分およびせん断面に垂直な力を測定方向の成分に変換して、三次元比切削抵抗理論式を得た。この場合、せん断角はすくい面とせん断面に作用する力のつりあいと、切りくずの変形との関係から求めた。また、三次元切削機構を有するロータリ除雪機のリボンカッタは、そのすくい角がほぼ 90° 近いので、理論解析ではこの点を考慮して終局的にはすくい角が 0° の場合について行なった。

図3に各座標系を示す。ここで X, Y, Z : 測定方向についての座標系, X', Y', Z' : すくい面についての座標系, X'', Y'', Z'' : せん断面についての座標系, α_n : 切刃に垂直な平面についてのすくい角, ϕ_n : 切刃に垂直な平面についてのせん断角, i : 傾斜角とすると、各座標系には次の関係がある。

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_n & \sin \alpha_n \\ 0 & -\sin \alpha_n & \cos \alpha_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos i & -\sin i & 0 \\ \sin i & \cos i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos i & -\sin i & 0 \\ \cos \alpha_n \sin i & \cos \alpha_n \cos i & \sin \alpha_n \\ -\sin \alpha_n \sin i & -\sin \alpha_n \cos i & \cos \alpha_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \dots\dots\dots(9)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos i & \sin i & 0 \\ -\sin i & \cos i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \phi_n & \cos \phi_n \\ 0 & -\cos \phi_n & \sin \phi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos i & \sin \phi_n \sin i & \cos \phi_n \sin i \\ -\sin i & \sin \phi_n \cos i & \cos \phi_n \cos i \\ 0 & -\cos \phi_n & \sin \phi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} \dots\dots\dots(10)$$

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin(\phi_n - \alpha_n) & \cos(\phi_n - \alpha_n) \\ 0 & -\cos(\phi_n - \alpha_n) & \sin(\phi_n - \alpha_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} \dots\dots\dots(11)$$

図4に、三次元切削機構におけるすくい面とせん断面にかこまれた部分の力のつりあいを示す。すくい面に作用

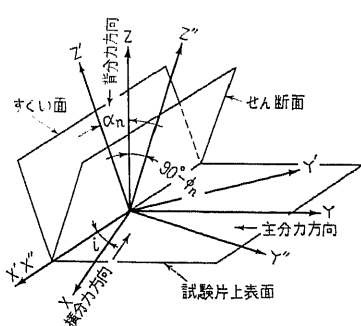


図3 測定方向、すくい面、せん断面についての座標系

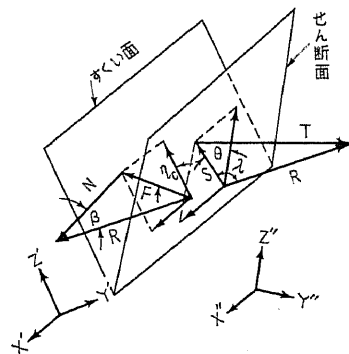


図4 三次元切削における力のつりあい

する力 R とせん断面に作用する力 R' を各座標系についての成分で表わすと

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} \sin \eta_c \\ -\cot \beta \\ \cos \eta_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(12)$$

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \sin \theta \\ \tan \lambda \\ \cos \theta \end{bmatrix} \dots\dots\dots(13)$$

これらの力はつりあっているから、式(11)~(13)を用いて

$$\tan \theta = \frac{\sin \eta_c}{\cos \eta_c \sin(\phi_n - \alpha_n) - \cot \beta \cos(\phi_n - \alpha_n)} \dots\dots\dots(14)$$

を得る。

図5に、三次元切削機構および切りくずのせん断変形状況を示す。ここで b_1 : 試験片の幅、 b_2 : 切りくずの幅、 t_1 : 切込深さ、 t_2 : 切りくず厚さとし、切削断面と想像断面はせん断面に平行な同一平面上にあり、点C, L, M, Nは切刃に垂直な平面上にあることから

$$\tan \theta = \frac{\tan \eta_c \sin \phi_n - \tan i \cos(\phi_n - \alpha_n)}{\cos \alpha_n} \dots\dots\dots(15)$$

また、 $b_1 / \cos i = b_2 / \cos \eta_c$ であり、仮定(1)から $\eta_c = i$ ……(16)

前に述べたように、終局的にはすくい角が 0° の場合を考えるので、ここですくい角 $\alpha_n = 0^\circ$ とし、式(14)~(16)から切刃に垂直な平面におけるせん断角 ϕ_n は

$$\phi_n = \tan^{-1} \frac{\cot \beta - \cos i}{\cot \beta + \cos i} \dots\dots\dots(17)$$

また、式(15)、(16)からせん断面におけるせん断角は

$$\theta = \tan^{-1} \{ \tan i (\sin \phi_n - \cos \phi_n) \} \dots\dots\dots(18)$$

次に、せん断面に沿う力 S について考える。せん断応力を τ_s とすればせん断力 F_s は

$$F_s = \frac{b_1 t_1 \tau_s}{\cos i \sin \phi_n} \dots\dots\dots(19)$$

さらに、切りくずの慣性力 F_v を求めるため図6に切削による密度変化を考慮しての諸速度の関係を示

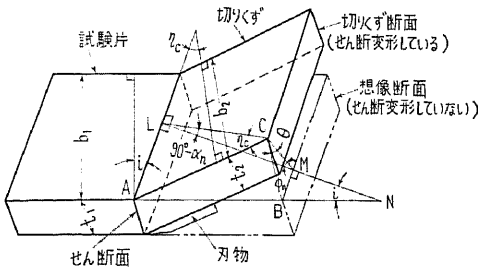


図5 三次元切削機構および切りくずのせん断変形

す。ここで V : 削り速度、 V_c : 切りくず速度、 V_s : せん断速度、 V' : V_c の水平成分、 g : 重力加速度として式(3)、(4)を導いたと同様にして

$$\frac{\rho_1}{g} t_1 b_1 V = \frac{\rho_2}{g} t_2 b_2 V_c \dots\dots\dots(20)$$

切りくずに対してせん断方向に継続して0からせん断速度 V_s を与えるための慣性力 F_v は

$$F_v = \frac{\rho_1}{g} t_1 b_1 V V_s = \frac{\rho_1}{g} t_1 b_1 V^2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \frac{\cos i}{\cos \theta \cos \phi_n} \dots\dots\dots(21)$$

せん断面に沿う力 S は、せん断力 F_s と切りくずの慣性力 F_v の和であるから

$$S = F_s + F_v = b_1 t_1 \left\{ \frac{\tau_s}{\cos i \sin \phi_n} + \frac{\rho_1}{g} V^2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \frac{\cos i}{\cos \theta \cos \phi_n} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

以上より、比切削抵抗3分力(横分力 P_x 、主分力 P_y 、背分力 P_z)は、式(10)、(13)、(22)を用いて

$$P_x = (\cos i \sin \theta + \sin i \sin \phi_n + \sin i \cos \theta \cos \phi_n) \times P_s \dots\dots\dots(23)$$

$$P_y = (-\sin i \sin \theta + \cos i \sin \phi_n + \cos i \cos \theta \cos \phi_n) \times P_s \dots\dots\dots(24)$$

$$P_z = (-\cos \phi_n + \cos \theta \sin \phi_n) \times P_s \dots\dots\dots(25)$$

を得る。ここで

$$P_s = \frac{S}{t_1 b_1} = \frac{\tau_s}{\cos i \sin \phi_n} + \frac{\rho_1}{g} V^2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \frac{\cos i}{\cos \theta \cos \phi_n} \dots\dots\dots(26)$$

なお、 ϕ_n は式(17)により、 θ は式(18)により与えられる。ただし P_x, P_y, P_z は座標系 X, Y, Z と逆方向を正とする。

3. 実験

3.1 実験装置 図7に装置の概略を示す。本装置はレール上を所定の速度で走行する台車上の積雪試験片を、固定した刃物で切削し、切削抵抗3分力と削り速度を検出するものであって、以下各部の説明にうつる。

①刃物: 二次元切削用刃物は、すくい角 α を 0° から 75° まで 15° おきに変化させることができる。三次元切削用刃物は、すくい角 α_n は 0° で一定とし、傾斜角 i を 0° から 60° まで連続的に変えうるように

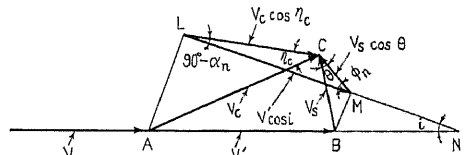


図6 諸速度の関係

なっている。

②切削抵抗検出装置：切削工具動力計を用い、切削抵抗 3 分力を検出する。

③削り速度検出装置：台車の走行速度（すなわち削り速度）検出装置で、3 個のマイクロスイッチを 0.6 m おきに並べて、削り速度およびその定常性を検出する。

④台車：4 個の車輪を有し、切削試験片を所定の切込深さにセットできるようにになっている。

⑤走行用レール：全長は 10 m あり、助走部 6 m、切削部 1 m、制動部 3 m となっており、切削部における最大定常速度 6 m/s が得られるよう設計してある。

⑥駆動装置：無段変速機付三相モータを動力源とし、Vベルトを通じてクラッチプレーキ付四段変速機に伝達され、さらにVベルト、プーリ、平ベルトを通じて台車を駆動させる。

⑦計測装置：電源、ひずみ計、電磁オシロより構成されており、切削抵抗 3 分力と、マイクロスイッチからのタイムマークを記録する。

3.2 積雪試験片 試験片作製において問題になるのは、雪そのものの性質を明確な因子を用いて決定できないという点にあるが、主たる因子として考えられるのは、雪質・かたさ・せん断抗力・密度・気温がある。そこで

[A]雪質：雪質は、新雪（降ったばかりの雪で、密度が 100 kg/m³ 程度のもの）、しまり雪（新雪がたい積されて締まった状態の雪で、密度が 150~300 kg/m³ 程度のもの）、ざらめ雪（しまり雪から移行した粒子のあらい雪で、密度が 400 kg/m³ 程度のもの）の三つに大別した。

[B]せん断抗力：測定にあたっては、スイス規格によるはしご状のせん断わく（ステンレス製、面積 A = 0.01 m²）を積雪におしこみ、ばねばかりで静かに引張ることから、せん断破壊時の力 F kg を読みとりせん断抗力 $\tau = F/A = 100 \times F \text{ kg/m}^2$ を得た。

[C]かたさ：積雪のかたさ測定には、黒田式かたさ計を用いた。これは円すい形のおもり (W=1.0 kg)

を所定の落下高 (H=20 cm) より落下させてできた積雪上の円すいみぞの直径 (D cm) を測定し、かたさに換算するものである。

[D]密度：試験片に必要な密度を与えるためにジッキを利用した圧縮機で静かに均一に圧縮した。その結果、試験片の重量を測定しわくの容積で割って密度とした。

3.3 切削条件の設定 切削条件としては、試験片幅： $b_1=100 \text{ mm}$ 、切込深さ： $t_1=5 \times 10^{-3} \sim 30 \times 10^{-3} \text{ m}$ として、削り速度を 1~6 m/s まで 1 m/s おきに設定した。二次元切削においては、すくい角 α を 0° から 15° おきに 75° まで、三次元切削においては、すくい角 α_n を 0° とし、傾斜角 i を 0° から 60° まで 15° おきに変えて切削実験を行なった。

4. 理論値と実験値の比較および考察

4.1 二次元切削について 切削における積雪の切りくずと刃物のすくい面との間の摩擦角 β は、式(6)~(8)より $\beta = \alpha - \tan^{-1} P_T/P_C$ この式に実験値 P_C , P_T を代入して得られる。この摩擦角 β は、削り速度およびすくい角によって変化するが、実験における削り速度 (1~6 m/s) の範囲では、速度の変化をうけるよりもはるかに大きくすくい角の変化をうけた。この点を考慮して削り速度 V についての摩擦角 β の平均値を求めて直線で近似させると、すくい角 α と摩擦角 β の関係を示す図 8 を得る。図 8 における α と β の関係は、①すくい角 α を増すと切りくずの一部がすくい面上に付着することが実験から確かめられた。このことから、切削時においては切りくずはすくい面上の雪の上を流れることになり、そのためすくい角 α の増加が摩擦角 β の増加をひきおこすものと考えられる。②理論式を導くについては、試験片の幅と切りくずの幅と

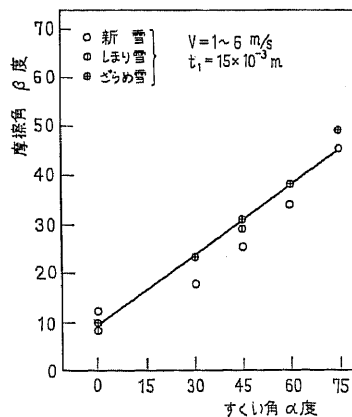


図 8 摩擦角とすくい角との関係

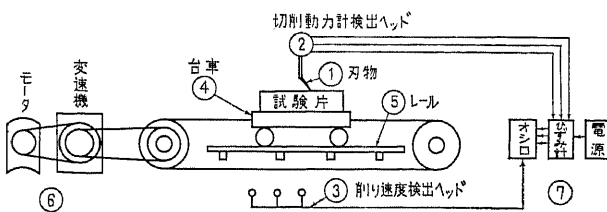


図 7 積雪切削実験装置

が等しいと仮定したが, 実験的にみるとすくい角 α が小さくなると (刃物が垂直になるに従い), 切りくずの末広がりの割合が大きくなる. そのため摩擦力の合力が減少し摩擦角も小さくなるものと考えられる.

しかし, 切りくずの末広がりの原因は試験片幅が小さいため端の効果として生ずるものであって (そのため, すくい角 α が小さい部分では, 理論値と実験値にかなりの不一致がみられる), 導出した理論式を除雪機の所要馬力の計算などに適用する際には除雪機のカッタの長い連続した形状から無視しうると考えられる. また, 理論計算を行なうにあたり, 切削後の切りくずの密度 ρ_2 は測定不可能なため, 試験片密度 $\rho_1 =$ 切りくずの密度 ρ_2 とした.

図 9 に, 二次元比切削抵抗と切込深さとの関係を示す. 理論式 (6), (7) の示すように, 両式とも切込深さによらないが, 実験の範囲 (切込深さ $t_1 = 5 \times 10^{-3} \sim 30 \times 10^{-3} \text{ m}$) でも比切削抵抗主成分・背成分の値は切込深さによらずほぼ一定となった.

図 10 に, 各雪質のせん断抗力と密度の関係を示す. これは試験片の密度 ρ_1 に対するせん断抗力の測定値 τ を直線近似したものであり, 計算におけるせん断応力 τ_c を定める場合については, 図 10 から読みとって用いた.

図 11 (a)~(c) に, 二次元比切削抵抗と削り速度との関係を示す. 実験条件 (すくい角 $\alpha = 45^\circ$, 切込深さ $t_1 = 15 \times 10^{-3} \text{ m}$) は, (a)新雪 $\rho_1 = 83.5 \text{ kg/m}^3$, $\tau_c = 30 \text{ kg/m}^2$, (b)しまり雪 $\rho_1 = 250 \text{ kg/m}^3$, $\tau_c = 750 \text{ kg/m}^2$, (c)ざらめ雪 $\rho_1 = 375 \text{ kg/m}^3$, $\tau_c = 220 \text{ kg/m}^2$ である. 図 11 にみられるように, 比切削抵抗主成分・背成分の実験値は削り速度 V にもなって二次曲線的に増加しているが, この増加の割合は新雪・しまり雪・ざらめ雪の順序, すなわち密度 ρ_1 の大きさの順序にしたがって大きくなっている. したがって, この増加傾向は切りくずの慣性力に起因すると考えられる. 計算値と実験値を比較した場合, しまり雪・ざらめ雪にはかなりの一致がみられるが, 新雪は削り速度の増加につれて不一致の割合が大きくなっている. この原因としては, しまり雪・ざらめ雪に比べて, 新雪は切削による圧縮が大きいと計算値との間にこのような結果が出たものと考ええる.

図 12 (a)~(c) に, 二次元比切

削抵抗とすくい角 α との関係を示す. 実験条件 (削り速度 $V = 5 \text{ m/s}$, 切込深さ $t_1 = 15 \times 10^{-3} \text{ m}$) は, (a)新雪, (b)しまり雪, (c)ざらめ雪であり, 他の条件

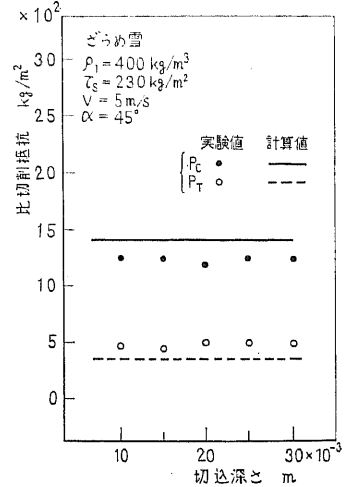


図 9 二次元比切削抵抗と切込深さの関係

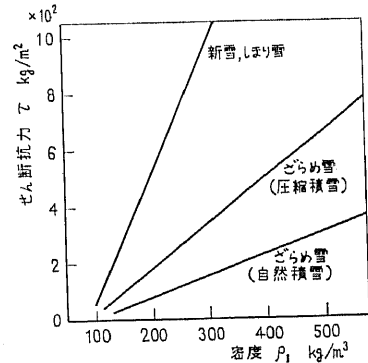


図 10 せん断抗力と密度の関係

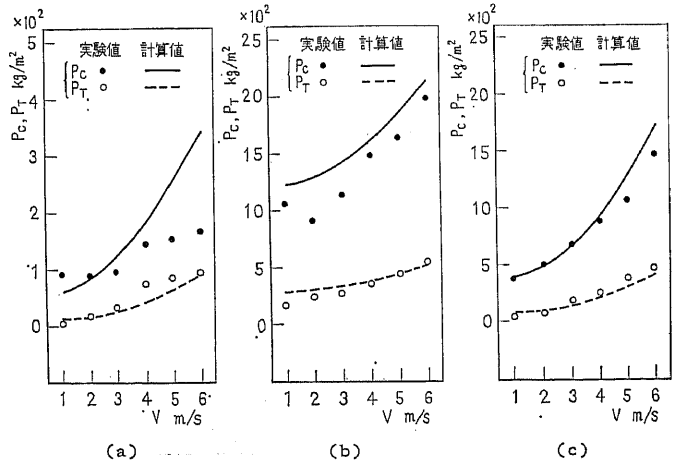


図 11 二次元比切削抵抗と削り速度の関係

は図 11 の各場合と同じものである。図 12 において、実験値はすくい角 α が増すと主分力は減少し、また背分力は刃物の切込深さの増す方向を正と定めると、負から正へと増加し、すくい角 α が 60° の近辺で最大値をとることがわかるが、計算値も同様な傾向を示している。

4.2 三次元切削について 理論計算を行なうにあたり、試験片の密度 ρ_1 は測定値を用い、切削による積雪の圧縮を無視して (切りくずの密度 ρ_2 が測定不可能なため) $\rho_1 = \rho_2$ とした。せん断応力 τ_s はせん断抗力 τ の測定値を用いた。また、すくい角 $\alpha_n = 0^\circ$ であるので、摩擦角 β は二次元切削時におけるすくい角 $\alpha = 0^\circ$ のときのものを考慮して、 $\beta = 11.1^\circ$ (すなわち摩擦係数 $\tan \beta = 0.2$) と仮定して用いた。

図 13 に、三次元比切削抵抗と切込深さ t_1 との関係を示す。実験値は切込深さ t_1 ($5 \times 10^{-3} \sim 30 \times 10^{-3}$ m)

の範囲ではほぼ一定となり、理論式(23), (24)からも比切削抵抗が切込深さによらないことがわかる。

図 14 に、三次元比切削抵抗と削り速度との関係を示す。実験条件 (傾斜角 $i = 60^\circ$, 切込深さ $t_1 = 15 \times 10^{-3}$ m) は、ざらめ雪 $\rho_1 = 400 \text{ kg/m}^3$, $\tau_s = 240 \text{ kg/m}^2$ の場合のものである。実験値と計算値の傾向は一致している。

図 15 に、三次元比切削抵抗と傾斜角 i との関係を示す。実験値と計算値との間にかんがりの不一致がみられるが、両者ともにその傾向は一致している。

さて、図 14, 15 にみられる実験値と計算値との不一致の原因としては、まず計算に必要な変数の値の内、切りくずの密度 ρ_2 が測定不可能なため試験片の密度 ρ_1 をそのまま使っている点。試験片内部の厳密な意味での不均一性。理論式導出の過程における、試験片の幅が切りくずの幅に等しいとした仮定が、実験の切削時には切りくずが末広りの現象を示したためあてはまらなかった (図 16) ことなどである。

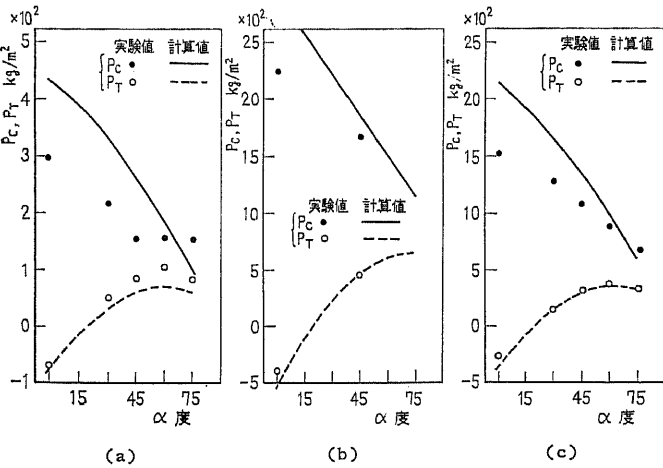


図 12 二次元比切削抵抗とすくい角の関係

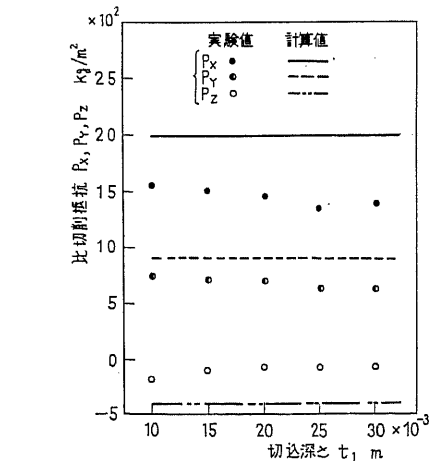


図 13 三次元比切削抵抗と切込深さの関係

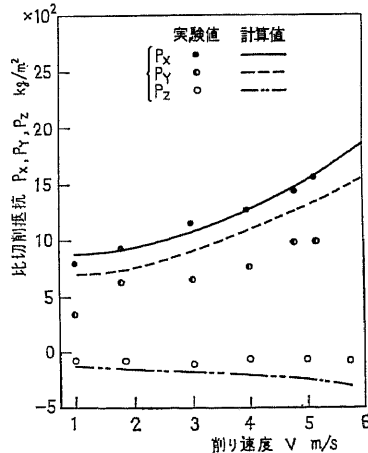


図 14 三次元比切削抵抗と削り速度の関係

以上のようなことが原因として考えられるが、さらに雪の性質の不均一性、時間とともに変化しやすい性質などが原因して計算値と実験値との不一致を生じたものと考えられる。

しかし、実際の除雪機にこの理論式を適用するに際しては、たとえば切りくずの末広りの現象は、その連続したカッタ形状よりして考慮する必要はなく、むしろ実際の切削状態に近い形で、このような実用機に

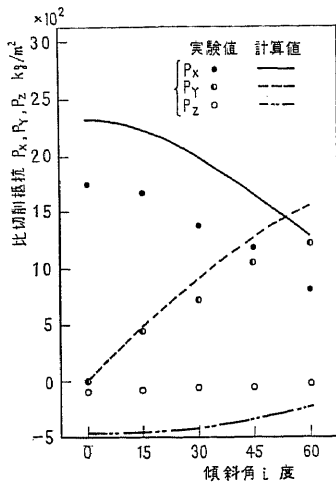


図 15 三次元比切削抵抗と傾斜角の関係

関する理論計算に応用することができるものと考え
る。

5. 結 論

まず、積雪の二次元切削についての理論的および実験的研究の結果を要約すれば

- (1) 切込深さによらず、比切削抵抗の主分力および背分力成分はほぼ一定となった。
- (2) 試験片の密度の増加に応じて、主分力および背分力成分は増加した。
- (3) 削り速度の二乗に比例して、主分力および背分力成分は増加した。
- (4) すくい角の増加にともない主分力成分は減少し、背分力成分は負から正へと力の方向を変えて増加し、すくい角が 60° の近辺において最大となった。

次に、三次元切削についての結果をまとめると

- (1) 切込深さによらず、比切削抵抗の主分力・背分力・横分力成分はほぼ一定となった。

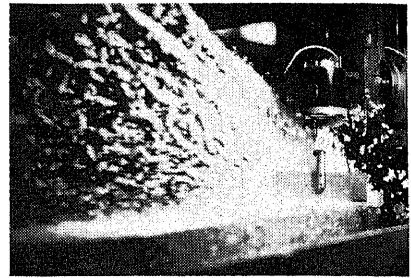


図 16 三次元切削

(2) 削り速度を変えた場合に、3分力成分は二次元切削時における2分力成分と同じ傾向を示した。

(3) 傾斜角を増加すると、主分力成分は減少し、一方横分力成分は増加して、傾斜角が $45^\circ \sim 60^\circ$ のとき両者の値は同じくなった。また、このとき背分力成分の絶対値は減少した。

以上の結果から、導出した理論式による計算値と実験値とは、積雪の有する性質上雪質によってはかなりの不一致をみせてはいるものの、その傾向は一致しており、たとえば図 11 の二次元切削では理論値に対する実験値偏差量の絶対値平均は、比切削抵抗主分力成分に関して、新雪 30.8%、しまり雪 14.5% とやや大きいがざらめ雪 8.0%、また図 14 の三次元切削ではざらめ雪 3.5% 程度で、ざらめ雪の場合には比較的少ない。したがって実際のロータリ除雪機の処理積雪はざらめ雪の場合が多いことを考慮すれば、この理論式を除雪機の切削所要馬力のはあくなどに用いることは、実用上十分有用であると考えられる。なお、本報で導出した理論式を除雪機の切削所要馬力の計算に適用した場合についての理論解析および実験との比較は、次報で報告する予定である。

文 献

- (1) 下田・佐藤, 雪氷, 31-4 (昭 44-7), 85.