

振動工具を採用した自動切断加工機の開発研究

—有効刃物角と切断抵抗の解析—

石井信義・斎藤雅樹・鬼鞍宏猷*・栗山保士**

材料開発部・九州大学*・(有)栗山機工作所**

Development of Automatic Cutting Machine Using Vibration Blade

—An Analysis of Effective Edged Tool Angle and Cutting Resistance—

Nobuyoshi ISHII・Masaki SAITO・Hiromichi ONIKURA *・Yasushi KURIYAMA**

Material Development Division・Kyushu University*・Kuriyama Machine Maneuvering Inc.**

要旨

本研究の切断加工は、被加工物の切断送り方向に対してダウン方向に低周波領域の回転振動を付加して行うものである。本報告においては、有効刃物角と切断抵抗の理論解析について報告する。

- (1) 有効刃物角と切断抵抗の理論解析については、実験に使用した数値で、回転1周期における刃物ピッチ2.5mmと4.85mmの切断抵抗の変化を把握した。切断抵抗の変化は、回転1周期を100等分し計算した。ピッチ2.5mmのときは、切断開始後1/4周期目から切断抵抗が刃物に作用し、1/2周期後には抵抗が見られなくなった。また、4.85mmのときは、切断開始後3/4周期目から切断抵抗が刃物に作用し、1/2周期後には抵抗が見られなくなった。
- (2) 回転振動切断加工の最適加工条件を導く為の、実験値と理論値の検討を今後進めることが可能となった。

1. はじめに

本県地場産業の一つである木材加工工場では、木材を切断分割する際に発生する切り屑と騒音の問題があり、これらの問題を解決するために取り組んだ研究開発である。¹⁾²⁾³⁾

これは、NSSを低周波によって回転振動させ、その振動で木材を切断分割（以下切断という）する方法である。この研究開発は、有効刃物角と切断抵抗の解析、振動切断機構、騒音、加工精度・粗さ等について研究を進め技術の蓄積を図ることと、開発技術は木材のみならず軟質材等の切断にも利用の可能性を拡大することにある。

本年度は、理論式を使用して実際に切断実験の数値で解析を行った。

この研究の目的は、木材加工工場において、木材を切断分割する際に、切り屑の発生と騒音を抑さえ快適作業環境を提供することを目標とした、木材の切断加工技術の開発にある。

2. 研究方法

2.1 実験方法

2.1.1 実験機

切断実験には、当センターにて開発した切断加工機を使用した。実験機の動力源は、汎用モーター（電源周波数60Hz、電力2,200W、回転数1,800rpm）を使用した。

使用した工具刃物（以下刃物という）は、ABCDの4タイプとした。刃物ピッチは2.5mmと4.85mmを使用した。送り速度

は、30, 48, 75, 65, 78 (mm/s) で切断を行った。

Table -1には、使用した刃物の仕様を表わした。

Fig-1には、刃物ABCDを表した。

Table -1 刃物仕様

タイプ	段差	ピッチ	刃先角 θ	材質
 A	有 0.05	2.5	56	SKH-2
 B	無	2.5	48	SKH-2
 C	有 0.05 (mm)	4.85	34	SKH-2
 D	無	4.85 (mm)	36	SKH-2

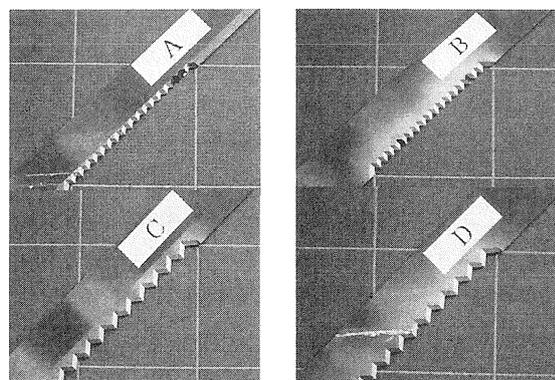


Fig. 1 刃物ABCD

g. 2は、切断状況を表した。

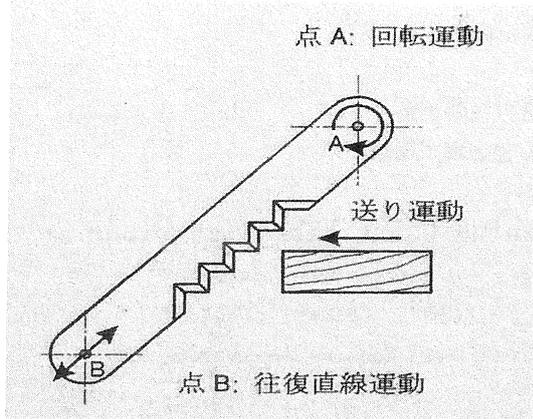


Fig. 2 切断状況

Table-2には、実験に使用した切断条件・刃物・供試材を表した。

Table-2 実験条件

項目	内容
切断条件	<ul style="list-style-type: none"> ・繊維方向に平行 ・刃物取り付け角度 42度 ・刃物の回転半径 2.5(mm) ・回転数 2,280rpm
刃物	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法 420×25×1.25(mm)
供試材	<ul style="list-style-type: none"> ・杉板目材 ・寸法 100(T)×300(L)×10(R)(mm) ・含水率 8~12(%) ・密度 0.35~0.41

2.1.2 切断抵抗の解析

木材の切断時における切断抵抗については、下記の計算式を使用して数値を求めた。

切刃上のある局所領域内の点の速度は

$$\dot{x} = F + 2\pi a f \cos 2\pi f t \quad \dot{y} = -2\pi a f \sin 2\pi f t$$

水平刃および垂直刃の有効刃物角の計算式は

$$\tan(\phi_{ho}/2) = \tan(\phi_h/2) \cdot \cos \theta_h \quad (\dot{y} < 0 \text{ の場合のみ存在})$$

$$\tan(\phi_{vo}/2) = \tan(\phi_v/2) \cdot \cos \theta_v \quad (\dot{x} > 0 \text{ の場合のみ存在})$$

ここで $\tan \theta_h = -\dot{x} / \dot{y}$ ($\dot{y} < 0$ の場合のみ存在)

$$\tan \theta_v = \dot{y} / \dot{x} \quad (\dot{x} > 0 \text{ の場合のみ存在})$$

の関係が存在する。

(1) 回転半径は2.5mmでピッチは4.85mmのときの計算式 (a < p)

(i) $n/f \leq t \leq n/f + t_0$ において、

水平刃も垂直刃も作用しない。

(ii) $n/f + t_0 \leq t \leq (n+1/4)/f$ において、

$$t' = t - n/f \quad (t_0 \leq t' \leq 1/(4/f)) \text{ とし、}$$

水平刃: 作用幅 $B_h = a(\sin 2\pi f t' - 1) + F\{t' + 3/(4f)\}$

$$\text{水平分力 } K_{hh} \doteq m \cdot HB \cdot B_h^2 \cdot \mu \cdot \sin \theta_h$$

$$\text{垂直分力 } K_{hv} \doteq m \cdot HB \cdot B_h^2 \cdot \{\mu \cdot \cos \theta_h + \sin(\phi_h/2)\}$$

垂直刃: 作用幅 $B_v = a(1 - \cos 2\pi f t')$

$$\text{水平分力 } K_{vh} \doteq 2 \cdot m \cdot HB \cdot B_v \cdot \ell \cdot \{\mu \cdot \cos \theta_v + \sin(\phi_v/2)\}$$

$$\text{垂直分力 } K_{vv} \doteq 2 \cdot m \cdot HB \cdot B_v \cdot \ell \cdot \mu \cdot \sin \theta_v$$

$$\therefore K_h = K_{hh} + K_{vh}$$

$$K_v = K_{hv} + K_{vv}$$

(iii) $(n+1/4)/f \leq t \leq (n+1/2)/f$

水平刃: 作用幅 $B_h = b$ (一定)

$$\text{水平分力 } K_h \doteq 2 \cdot m \cdot HB \cdot b \cdot \ell \cdot \mu \cdot \sin \theta_h$$

$$\text{垂直分力 } K_v \doteq 2 \cdot m \cdot HB \cdot b \cdot \ell \cdot \{\mu \cdot \cos \theta_h + \sin(\phi_h/2)\}$$

(iv) $(n+1/2)/f \leq t \leq (n+1)/f$ において、

水平刃も垂直刃も作用しない。

(2) 回転半径は2.5mmでピッチは2.5mmのときの計算式 (a ≥ p)

(i) $n/f \leq t \leq n/f + t_0$ において、

水平刃も垂直刃も作用しない。

(ii) $n/f + t_0 \leq t \leq (n+1/4)/f$ において、

水平刃: 作用幅 $B_h = b$ (一定)

$$\text{水平分力 } K_h \doteq 2 \cdot m \cdot HB \cdot b \cdot \ell \cdot \mu \cdot \sin \theta_h$$

$$\text{垂直分力 } K_v \doteq 2 \cdot m \cdot HB \cdot b \cdot \ell \cdot \{\mu \cdot \cos \theta_h + \sin(\phi_h/2)\}$$

垂直刃: 作用しない。

(iii) $(n+1/4)/f \leq t \leq (n+1/2)/f$ において、

水平刃も垂直刃も作用しない。

(iv) $(n+1/2)/f \leq t \leq (n+1)/f$ において、

水平刃も垂直刃も作用しない。

3. 結果及び考察

3.1 切断抵抗の解析

3.1.1 刃物ピッチと切断抵抗

ピッチ2.5mmの切断抵抗は、1/4回転時から切断抵抗が見られ、1/2回転時で切断抵抗の減少を把握した。

そのときは、水平刃にかかる切断抵抗が大きく作用し、垂直刃は負の状態であった。これは切断抵抗ではなく、刃の側面に切断面が接触している部分の摩擦抵抗と考える。

ピッチ4.85mmでは、送り速度が0.078と0.065(m/s)のときは、切断抵抗が3/4周期頃から水平刃、垂直刃とも切れ刃に抵抗が表れた。しかし、0.04875と0.03(m/s)では、1/4周期から抵抗が表れ、ピッチ2.5mmと同様な傾向を示した。

また、ピッチ4.85mmの方がピッチ2.5mmより相対的に小さ

い値を把握した。

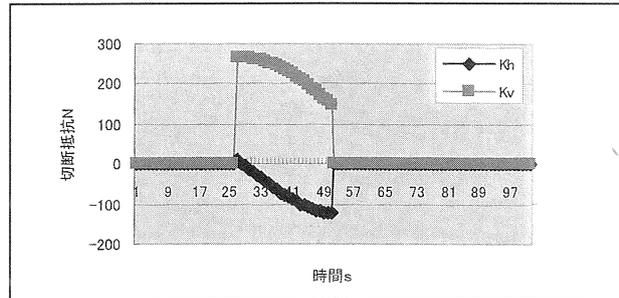
3.1.2 送り速度と切断抵抗

Aタイプでは0.03(m/s)のとき最大値で100Nを示し、0.078(m/s)では280Nを示した。BCDタイプについても同様な傾向を示し、送り速度が速くなるにつれて、切断抵抗は増加の傾向を示した。

3.1.3 刃物形状と切断抵抗(段差の有無)

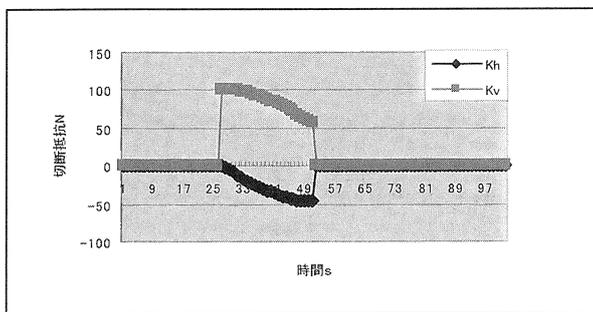
切れ刃部分に段差を施したACタイプと段差のないBDタイプでは、ACタイプはBDタイプより小さい数値を示した。例えば、Aタイプでは送り速度0.03(m/s)の時には最大値100Nであったが、Bタイプでは160Nの数値を把握した。

Fig. 3~Fig. 19まで回転1周期の切断抵抗の変化を表わした。



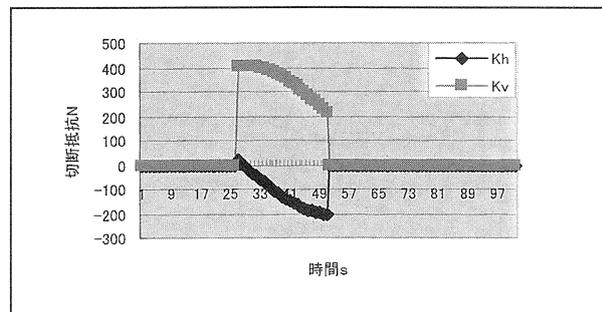
a=0.0025m $\pi=3.14159$ f=38/s m=2.8 F=0.078m/s
HB=20000000N/m2 $\mu=0.4$ $l=0.00132$ $\theta h \cdot \theta v=56deg$

Fig. 6 切断抵抗の変化A-4



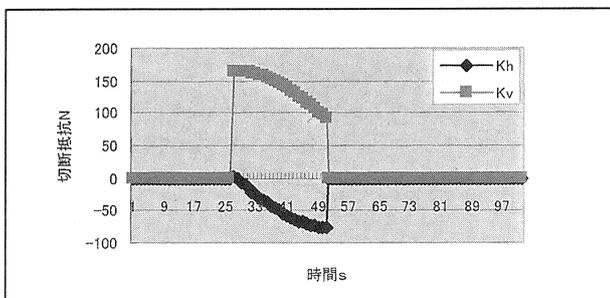
a=0.0025m $\pi=3.14159$ f=38/s m=2.8 F=0.03m/s
HB=20000000N/m2 $\mu=0.4$ $l=0.00132$ $\theta h \cdot \theta v=56deg$

Fig. 3 切断抵抗の変化A-1



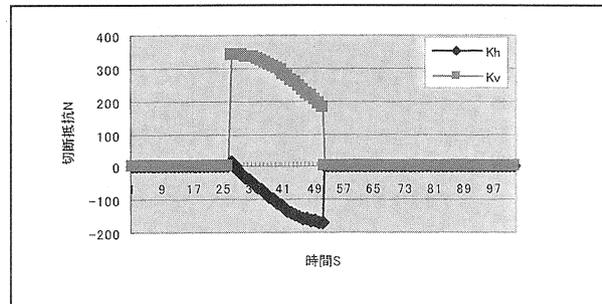
a=0.0025m $\pi=3.14159$ f=38/s m=2.8 F=0.078m/s
HB=20000000N/m2 $\mu=0.4$ $l=0.0022$ $\theta h \cdot \theta v=48deg$

Fig. 7 切断抵抗の変化B-1



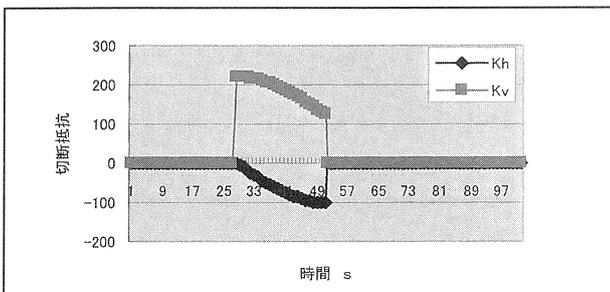
a=0.0025m $\pi=3.14159$ f=38/s m=2.8 F=0.04875m/s
HB=20000000N/m2 $\mu=0.4$ $l=0.00132$ $\theta h \cdot \theta v=56deg$

Fig. 4 切断抵抗の変化A-2



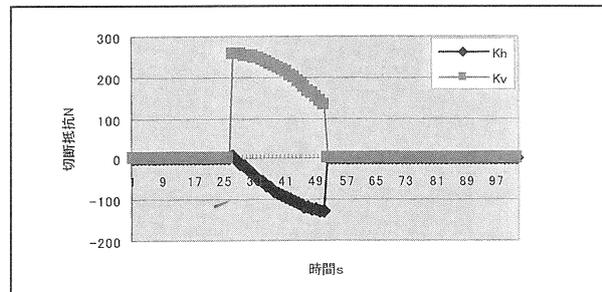
a=0.0025m $\pi=3.14159$ f=38/s m=2.8 F=0.065m/s
HB=20000000N/m2 $\mu=0.4$ $l=0.0022$ $\theta h \cdot \theta v=48deg$

Fig. 8 切断抵抗の変化B-2



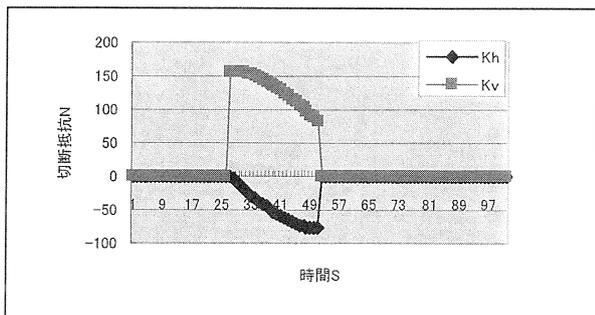
a=0.0025m $\pi=3.14159$ f=38/s m=2.8 F=0.065m/s
HB=20000000N/m2 $\mu=0.4$ $l=0.00132$ $\theta h \cdot \theta v=56deg$

Fig. 5 切断抵抗の変化A-3



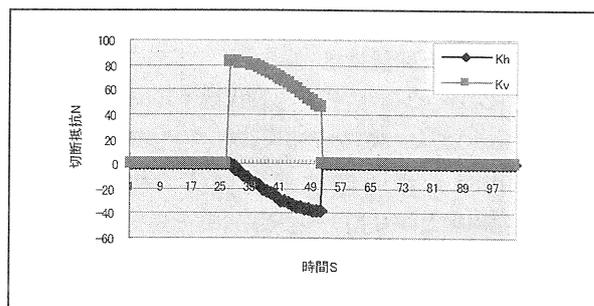
a=0.0025m $\pi=3.14159$ f=38/s m=2.8 F=0.04875m/s
HB=20000000N/m2 $\mu=0.4$ $l=0.0022$ $\theta h \cdot \theta v=48deg$

Fig. 9 切断抵抗の変化B-3



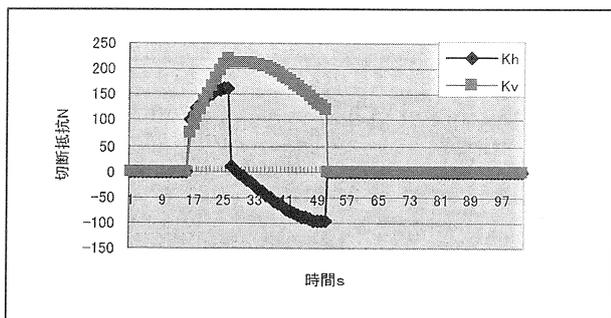
$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=2.8$ $F=0.03m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.0022$ $\theta_h \cdot \theta_v=48deg$

Fig. 10 切斷抵抗の變化B-4



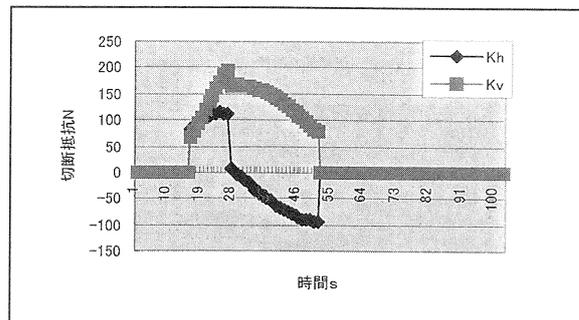
$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.03m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00208$ $\theta_h \cdot \theta_v=34deg$

Fig. 14 切斷抵抗の變化C-4



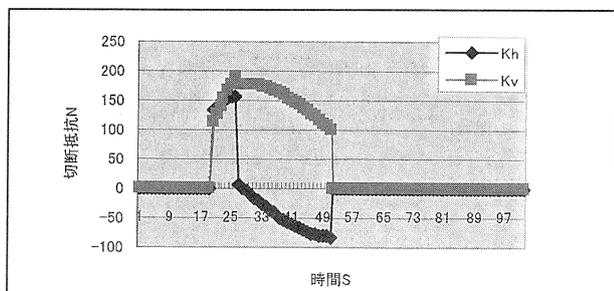
$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.078m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00208$ $\theta_h \cdot \theta_v=34deg$

Fig. 11 切斷抵抗の變化C-1



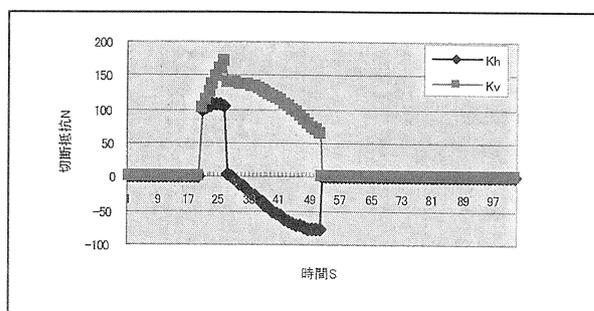
$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.078m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00198$ $\theta_h \cdot \theta_v=36deg$

Fig. 14 切斷抵抗の變化D-1



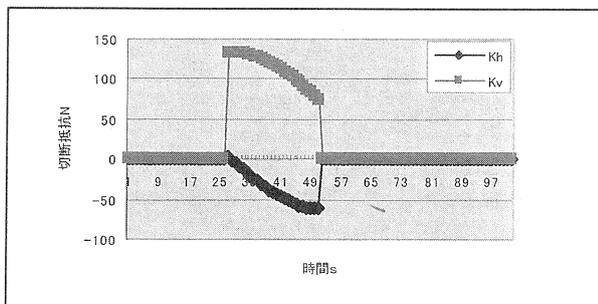
$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.065m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00208$ $\theta_h \cdot \theta_v=34deg$

Fig. 12 切斷抵抗の變化C-2



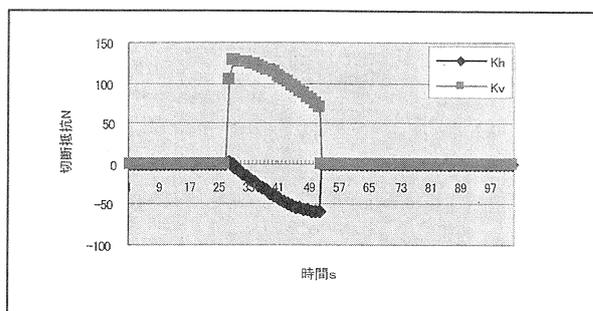
$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.065m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00198$ $\theta_h \cdot \theta_v=36deg$

Fig. 15 切斷抵抗の變化D-2



$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.04875m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00208$ $\theta_h \cdot \theta_v=34deg$

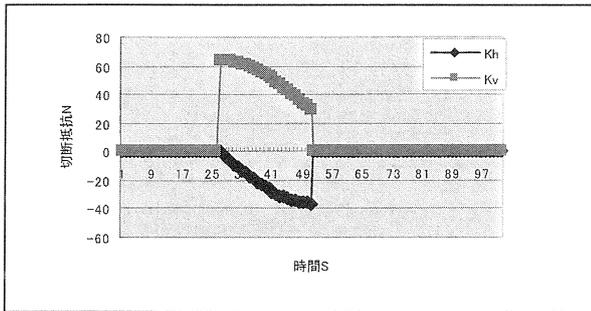
Fig. 13 切斷抵抗の變化C-3



$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.04875m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00198$ $\theta_h \cdot \theta_v=36deg$

Fig. 16 切斷抵抗の變化D-3

7). チップソー：横書店，2-91



$a=0.0025m$ $\pi=3.14159$ $f=38/s$ $m=1.44$ $F=0.03m/s$
 $HB=20000000N/m^2$ $\mu=0.4$ $l=0.00198$ $\theta_h \cdot \theta_v=36deg$

Fig. 17 切断抵抗の変化D-4

記号の説明

a : 回転半径 π : 3.14159 f : 振動周波数
 (Hz=1/s) m : 作用刃の枚数 F : 送り速度 μ : 摩擦係数

HB : プリネル硬さ (Pa=N/m²) l : 刃のテーパ部の幅

θ_h : 水平刃の刃先角 θ_v : 垂直刃の刃先角

Kh : 水平刃 Kv : 垂直刃

4. おわりに

今回は、切断抵抗の理論式に、実験で使用した数値をあてはめ計算によるデータを整備した。この結果から理論を基礎とした実験データとの整合性等技術ノートの作成が可能となった。

次年度には、最適加工条件の理論解析と切断抵抗との関連性を明確にして、プロトタイプを使った切断実験を行い、回転振動切断技術の確立を図る計画である。

5. 謝辞

本研究の遂行にあたり、工具刃物の開発試作に関して貴重なご意見アドバイス頂きました、天龍製鋸（株）竹村増吉取締役技術部長に対し感謝の意を表します。

参考文献

- 1). 石井信義，山本幸雄：平成9年度研究報告大分県産業科学技術センター，160-163
- 2). 石井信義，大内成司：平成10年度研究報告大分県産業科学技術センター，109-113
- 3). 石井信義，斎藤雅樹：平成11年度研究報告大分県産業科学技術センター，93-96
- 4). 石井信義，斎藤雅樹：平成12年度研究報告大分県産業科学技術センター，70-75
- 5). 木材加工機械の騒音測定方法：日本規格協会
JIS B 6521
- 6). 切削加工：海青社，106-112