ベルト・サンダーによる木材の研削(I) 研削条件と研削量・所要動力および 研削抵抗の関係について

中村源一(1)

1. はしがき

木材の用途はきわめて広範囲にわたるが、その大部分は骨格材料としての機能をもつとともに、表面材 料として使用されることもいたつて多い。また最近は接着工法の発達により、集成材または合成樹脂・金 属などと木材の組合せ構成による複合材料が実用化されるにおよんで、接着面としての仕上げ加工も重要 度を認識されるようになつた。また、木材および木質材料は、単なる素材として従来の加工度の域を 脱 し、そのまま使用目的に応じて組み立てられる完成部材として、たとえば合板の場合工場製品がそのまま 組立住宅などに使用できるため工場内塗装が行なわれるようになつてきつつあるように、従来の工場生産 工程において仕上げ加工技術の占める重要度はいちじるしく高くなつてきている。とくに製品 寸 度 の う ち、面積が比較的大きい合板・ランパーコア合板やパーティクルボードの表面仕上げには生産能率ととも に良好な仕上げ面の要求度が高いため、最終工程の一つとして研削加工は欠くことのできない工程になつ ている。一般に双物による切削は、木材のもつ特性として異方性と局所的不均質性、たとえば繊維の不整 ・春秋材の密度差や各種欠点などは程度の差はあつても不可避であるから、良好な仕上げ面をうるために は双物による切込量をできるかぎり小さくするほど有効であり、このことからも多数の砥粒により微細切 削が行なわれる研削加工が、仕上げ加工のなかでもつとも適切な方法といえよう。

研摩帯による研削加工はその機能上,製品表面の平坦度と厚さをそろえることに重点をおく場合と,表 面の粗さをこまかくすることに主目的をおく場合とあるが,いずれの場合も最適研削条件の選択について は現場作業上の経験に依存するにとどまり,研摩帯の粒度を適宜選ぶことにより研削作業が進められてい ることが多い。また一方,研摩帯自体の改良も漸進的に行なわれつつあるけれども,さらに木材に適する 高性能・高寿命の研摩帯が要望されている現状である。なお仕上げ程度,すなわち表面粗さの管理が問題 になつてきているが,木材関係では技術的資料も乏しく,今後普遍性のある数量的表示が望まれている。 要するに,仕上げ加工技術としての研削加工はいまだ体系化された知識を基盤とする段階には達していな いと認められるが,その重要性は加速度的に増してきている現状といえよう。

また従来,研削加工に関する研究のうち,わが国で行なわれた研究はきわめて小さい寸度の試験片と特 定の樹種を対象とした実験室的研究が主体であるため,研削条件または因子間の相互の傾向や関係は実用 機械の場合に適用しうるかどうかは疑問である。この実験はこのような背景のもとに実用機械を使用し, わが国の有用樹種を対象とし研削条件と研削量の関係,所要動力・研削抵抗について一連の系統的実験を 行ない,研削加工に関する基礎的知見をうる目的で行なつたものである。この実験の実行・取りまとめに ついてご配慮をいただいた小倉木材部長,京都大学工学博士杉原教授および木材部の各位に衷心より謝意 を表する。

2. 研削実験装置

研削実験に使用したベルト・サンダーは汎用手動式で、研摩帯駆動部分と被削材をのせるテーブルから なる。前者は研摩帯を駆動するゴム・タイヤ張り駆動プーリー、遊びプーリーおよび研摩帯に適当な張力 を与える張りプーリーの4個のプーリからなり、駆動プーリーは電動機から V ベルトで連結する替えプ ーリーに直結し、研摩帯の走行速度は 6.1, 7.9, 9.8 および 11.7m/s の4段に変速することができる。 このベルト・サンダーに、実験上必要な測定装置を Fig. 1 に示すようにとりつけた。研削時研摩帯に対 する負荷は、研摩帯の上にはられた合成樹脂上張り布の上に重錘をのせた木製荷重台をおくことにより与 えうるようにした。可動テーブル上にはジュラルミン板を上張りした木製支持台を固定し、その上に試験 片をのせたジュラルミン板を張力計に連結した。なお、テーブルの高さは、試験片の厚さにより研削時研 摩帯がなるべく水平になるように調節した。この張力計により研削時試験片が研削方向に引張られる力、 すなわち研削抵抗を測定することとした。張力計には、さきに筆者⁹⁾が木材の切削抵抗を測定したときに 用いた磁歪方式のものを本実験に適合するよう部分的に若干改造した。所要動力を測定するため電動機の 入力側に直読式電力計をとりつけ研削時の所要動力を測定し、なお、監視用に交流電流計を同時にとりつ



真荷部分詳細 図

Fig. 1 試験用ベルト・サンダーと測定装置 Belt sander used and measuring apparatus.

3. 供試材料

3.1 研 摩 帯

研摩帯は日本工業規格 (JIS R 6251, 6252) に規定する適格品を使用し、その寸度は幅 205mm,長さ 6,890mm で、実験目的により砥粒粒度・材質などを異にするものを適宜供試した。なお予備実験により 研摩帯の接合方法は研削時の研摩帯の安定性・振れおよび接合部の不適当な研削などについて検討した結 果、スカーフ接合とし接合部約 10mm は砥粒を除去したものを供試した。研摩帯の砥粒材質は溶融アル ミナ (WA)と炭化硅素 (C)の2種類で、粒度は 40~240 メッシュの範囲内で8種類、基材は綾織綿布 またはクラフト紙で、いずれも膠を結合剤としたもので、外観検査・引張試験・柔軟性試験に合格したも のである。供試研摩帯について、主として研削量を考察する場合の前提として砥粒分布密度および連続切 れ双間隔についてつぎに述べる。

一般に1個の砥粒による平均切り込み深さ 4d は、鋸断の場合における1歯あたりの平均切り込み深さ と全く同様の考え方から、単位時間に対して研削された厚さの減量を研削切り込み量dとすれば、次式で 示される²⁾。

A:連続切れ双間隔, v:研削速度(研摩帯の走行速度),すなわち単一砥粒による平均切り込み深さ 4d は鋸断の場合における材の送り速度に相当する研削切り込み量 d(換言すれば単位時間あたり研摩帯によ る被削材の厚さ方向の mm 単位の研削量)と, 鋸歯のビッチに相当する連続切れ双間隔 A に関係し, 前者は研摩帯による研削の機構上, 鋸や研削砥石の場合と異なり, あらかじめ任意に規制することはでき ないので,主として研削荷重により制御することができるだけである。後者は砥粒粒度ごとの直径と, そ の分布密度と切れ双間隔により求められる。

砥粒分布密度の測定については研削砥石の場合砥石に印刷用インクをゴム・ローラーでうすく塗布し、 上質煙草用紙に転写し、また研摩帯については朱肉を塗布し、同様に紙に転写し、拡大測定した実験例が ある³⁾¹⁶⁾。本実験では簡単に各粒度の研摩帯上にセロファン紙を約 10 枚程度かさねて圧締し、砥粒先端 により点状に破損したセロファン紙を透過光線により約 20 倍に拡大投影機により拡大し、1cm² につい ての砥粒の切れ双数を5ヵ所について測定し、その平均値でその粒度の切れ双数とした。また各粒度の研 摩帯でセルロイド板をきわめて低速に研削し、これを拡大投影機による拡大像から平均条痕幅 B を測定 した。これらの結果の数例は Fig. 2, 3 に示すようである。砥粒分布密度は Fig. 2 からもわかるように 局所的にはかなりの差がみられ、また砥粒の凹痕の大きさにもむらがあるため、拡大して明りように判定 できる凹痕の数を2人の測定者により測定したものである。なお使用したセロファン紙は平均厚さ 0.02 mm であるが、かさねあわせたセロファン紙のなかで砥粒の凹痕が判定できる枚数は、この実験では#100 以下のあらい粒度で5~7枚、#240 のこまかい粒度で2枚程度であつた。また、セルロイド板による砥 粒条痕は Fig. 3 のように、均等な縞模様としてあらわれるものではなく、部分的にむらがかなりみられ るが、これは研摩帯の砥粒直径の不そろいだけではなく、基質と砥粒の接着の状態などに偏差があるから である。

 $1mm^2$ あたり平均切れ双数 N, 平均条痕幅 Bmm と粒度 G (メッシュ)の関係をプロットすれば Fig. 4 に示されるようで、前者は粒度が大きくなるにしたがつて、その数は増加し、条痕幅は小さくなる傾向



a. #60 b. #80 c. #100 d. #120 e. #150 f. #240 Fig. 2 砥粒の分布密度 Distribution of grits.

を示す。この関係はつぎの実験式で近似させることができる。

 $\begin{array}{c} N = 0.1G - 2.0 \\ BG^{0.8} = 1.2 \end{array} \right\} \dots \dots \dots \dots (2)$

したがつて,各粒度に対する平均切れ双間隔は,各砥粒が平等に分布していると仮定すれば $1/\sqrt{N}$ であるから,式(2)より $1/\sqrt{0.1G-2.0}$ (mm) であり,また Fig.5 に示すように平均切れ双間隔 $1/\sqrt{N}$ に

ベルト・サンダーによる木材の研削(I)(中村)

- 39 -



Fig. 3 砥粒による条痕 Scratches by grit.

ふくまれる条痕数は $1/B\sqrt{N}$ で示される。1 個の砥粒が切削した点をつぎの砥粒が切削するまでの長さ, 換言すれば、1 個の砥粒により切削される長さ、すなわち連続切れ双間隔 A は幾何学的関係から平均切 れ双間隔 $1/\sqrt{N}$ と、それに対する条痕数 $1/B\sqrt{N}$ の積になるはずであるから式(2)より



Fig. 4 粒度 G と平均切れ双数 N および平均条痕幅 B の関係 Relation between grit-size G and average number of grits per mm^2 N, average interval of scratches B.



Fig. 5 砥粒排列の模式図 Schematic diagramm of grits-arrangement.

A=1/B・N=G^{0.8}/(0.12G-2.4) ・・・・・(3) 以上砥粒分布密度と平均条痕幅は実際上かなりの分散がみ られるが,巨視的に研削作用を考察する場合必要なデーター と考えられ,このことは後に論及することにする。

3.2. 被削材

被削材として供試した木材について,共通的事項をあげる と Table 1 のようである。このなかには産地がつまびらか でないものもふくまれている。条件試験に用いた樹種はマカ ンパ,エゾマツを主とし,ブナ,タモ,ナラをも供試し,樹 種相互の比較試験においては針葉樹材6種,環孔材5種,散

孔材9種および輻射孔材1種を供試した。試験片の寸度は挽き板からの木取りおよび実験目的などの都合上,幅 100mm,長さ 150 mm,厚さ 15mm を標準としたが、最小寸度は幅 50mm,長さ 75mm のものも使用した。研削面はなるべく柾目面になるように考慮したが、実際木取作業上厳密にすることは困難であつたので、板目面もいくらかふくまれているものもある。試験片はすべて気乾材で、含水率は 12~

和 Common r	名 name	学名 Scientific name			比 重 Specific gravity	平均年輪幅 Average width of annual ring (mm)
1. エ ゾ - 2. ト ド - 3. ア カ - 4. カ ラ - 5. ス	マツツツギ	Picea jezoensis Abies Mayriana Pinus densiflora Larix Kaempferi Cryptomeria japonica	北北広長(不	海 道 道 島 野 詳)	$\begin{array}{c} 0.39 (0.35 \sim 0.43 \\ 0.40 (0.38 \sim 0.45 \\ 0.50 (0.43 \sim 0.56 \\ 0.52 (0.50 \sim 0.57 \\ 0.37 (0.35 \sim 0.40 \end{array}$	$ \begin{array}{c} 1.6(1.1\sim2.2) \\ 2.0(1.8\sim2.5) \\ 3.2(2.4\sim5.0) \\ 3.0(2.5\sim3.3) \\ 3.1(2.8\sim4.0) \end{array} $
6. ヒ ノ 7. キ 8. シ 9. ニ 10. カ ツ	キリナレラ	Chamaecyparis obtusa Paulownia tomentosa Tilia japonica Ulmus davidiana var. Cerciphyllum japonicum	長関北 北北北	野東道道道	$\begin{array}{c} 0.46 (0.44 \sim 0.48 \\ 0.24 (0.23 \sim 0.25 \\ 0.43 (0.40 \sim 0.47 \\ 0.43 (0.41 \sim 0.45 \\ 0.49 (0.45 \sim 0.53 \end{array})$	$ \begin{array}{c} 2.0(1.6\sim2.1) \\ 9.0(8.0\sim11.0) \\ 0.8(0.7\sim1.8) \\ 0.8(0.7\sim1.0) \\ 1.4(1.2\sim2.0) \end{array} $
11. ハンノ 12. セ 13. ヤチタ 14. ブ 15. ミズナ	/ キンモナラ	Alnus japonica var. Kalopanax pictum var. Fraxinus excelsissima Fagus crenata Querqus crispula	北 北 北 北 北 海 道 北 米	海 毎 毎 毎 毎 毎 毎 年 「 年 」 道 北 道	$\begin{array}{c} 0.61 (0.58 \sim 0.63 \\ 0.52 (0.51 \sim 0.55 \\ 0.50 (0.49 \sim 0.65 \\ 0.63 (0.60 \sim 0.70 \\ 0.63 (0.64 \sim 0.71 \\ \end{array}$) $1.1(1.0\sim2.2)$) $1.6(1.3\sim2.0)$) $0.9(0.8\sim2.5)$) $1.7(0.7\sim2.2)$) $1.1(0.9\sim1.8)$
16. マカン 17. アサ 18. イタヤカ 19. ケヤ 20. シラス 21. イス、	/ ダデキシキ	Betula Maximowicsiana Ostrya japonica Acer mono Maxim var. Zelkowa serrata Quercus myrsinaefolia Distylium racemosum	北北北関九九	道道道東州州	$\begin{array}{c} 0.71 \left(0.66 \sim 0.75 \right. \\ 0.70 \left(0.68 \sim 0.74 \right. \\ 0.65 \left(0.63 \sim 0.68 \right. \\ 0.70 \left(0.69 \sim 0.73 \right. \\ 0.85 \left(0.83 \sim 0.87 \right. \\ 0.79 \left(0.78 \sim 0.82 \right. \end{array}\right)$) $1.1(0.8 \sim 4.1)$) $1.6(1.1 \sim 2.3)$) $1.2(1.0 \sim 2.0)$) $2.5(1.8 \sim 3.5)$) $0.6(0.5 \sim 0.8)$) $0.5(0.4 \sim 0.7)$

Table 1. 供試材 Materials tested.

種 類 Kind	厚さ Thickness (mm)	構 成 Construction	接 着 剤 Adhesive	比重 Specific gravity
 Lauan plywood Sen plywood Yachidamo plywood Makamba plywood 	3 5 5 5	1 : 1 : 1 1 : 3 : 1 1 : 3 : 1 1 : 3 : 1 1 : 3 : 1 1 : 3 : 1	urea resin	0.50 0.54 0.56 0.72

- 40 -

15% の範囲内であつた。

なお被削材として供試した合板は原木から一貫して木材部で試作した 3×6 尺板から幅 100mm, 長 さ 150mm の試験片を採材したもので, 厚さ・構成その他必要事項は Table 1 に示すとおりである。ま たパーティクル・ボードは3層構造, 表層シラカンバ削片を用いた工場製品から合板と同様の寸度の試験 片を採取した。

なおこの実験の内容について補足すれば、被削材と研摩帯の各種類について研削条件として研削荷重と 研削速度を変量とし、研削量・研削所要動力・研削抵抗および研削面の温度上昇を測定した。この場合木 材を対象とする実験に共通的にいえることではあるが、試験片自体の材質的むらに加えて研摩帯の品質上 の偏差,基質と砥粒の結合剤が膠を主剤とするため湿度による影響、研削時間によるその性能の低下など が考えられるため、得られる実験値もある程度のばらつきはまぬがれがたい。このため、見いだすべき諸 要因を適宜組み合わせた条件実験をくりかえし、これら各実験から変量・要因の関係を抽出して考察し、 さらに必要があれば、この得られた結果を他の実験で再検討し、敷延できるかどうかを確かめることとし た。なお、各実験の主要条件を総括すれば Table 2 に示すようである。

Test	砥粒材質と粒度 Material of grit and grit-size (mesh)	被 削 材 Material sanded	研削速度 Running speed of abrasive belt (m/s)	研削荷重 Sanding load applied (kg)
A	C# 40, 80, 100, 120, 150, 180	ヤチダモ、マカンバ	6.1,7.9,9.8,11.7	1.5, 5.5
В	C# 80, 100, 120, 180, 240	マカンバ,ヤチダモ,ラワン, セン合板	9.8, 11.7	1,2,3,4
с	C#40, 60, WA#80.100, 120, 150, 180	アカマツ,エゾマツ,ヤチダ モ,ナラ,ブナ,マカンバ	6.1	1.5,3.5,5.5
D	C# 60, 80, 150, 240	エゾマツ,シナ,ニレ,カツ ラ,ハンノキ,セン,カエデ, ヤチダモ,プナ,ミズナラ, マカンバ,アサダ	6.1	3.0
Е	C#80, 150, 240	エゾマツ, マカンバ	7.9, 11.7	1,2,3,4,5
F	C# 80, 150, 240	エゾマツ,マカンバ,ミズナ ラ,ヤチダモ,ブナ	11.7	1.5,3.5,5.5
G	C# 80, 150, 240	エゾマツ, マカンバ	7.9, 11.7	1.5,2.5,3.5 4.5,5.5
н	C# 40, 60, 100, 150, 240	キリ, トドマツ, スギ, ヒノ キ, カラマツ, ヤチダモ, ミ ズナラ, ブナ, シラカシ, ケ ヤキ, イスノキ	6.1	3.0, 5.5
I	C# 80, 120, 180	パーティクル・ボード	6.1, 11.7	5.5

Table 2. 各実験の主要条件 Main conditions for each sanding test.

4. 研削条件と研削量

4.1 概 説

研摩帯加工による研削量は加工目的が被削材の平坦化,または製品の厚さをそろえることに力点がおか れる場合,加工能率上最適条件の選択に対し最も重要な事項である。研削量におよぼす諸条件・要因は相 互に関連をもちながら複雑な関係を示すことが予想されるが,以下実験結果を基にして研削量と諸因子の 関係について述べる。

一般に金属材料の仕上げ加工に普遍的に採用されている研削砥石による研削加工は、砥石を構成する個 々の砥粒が切れ双となり、その自生作用により常に新しい切れ双と切屑空隙を新生しつつ多数の切れ双に よる切削作用の集成として研削作用が行なわれるものである。しかし、研摩帯による研削は基材である紙 または布に理想的には砥粒が単列に排列するよう接着されており、研削砥石のように被削材により間断な くドレッシングされて砥粒・結合剤の破砕がおこる自生作用はそれほど期待できない。しかも金属に比べ て木材は硬さが低く、細胞構造にもとづく異方性と多孔性のため切屑の発生状態もおのずと異なると考え られるから、金属を対象として発展した研削理論⁰¹³⁾がただちに木材の場合においても適合すると仮定 することは困難と考えられるが、基本的考え方としてとりあげながら実験結果を考察する。

研削量は一定面積について(1)単位時間あたり研削前後の被削材の重量差,(2)単位時間あたりの 研削前後の被削材の厚さ寸度の差,(3)単位時間あたり研削前後の被削材の容積の差で表現する場合と, 一定時間あたりについてこれらと同じ諸元で表現することが考えられる。また目的によつては,単位また は一定所要動力,研摩帯の単位走行距離あたりのこれらの諸元で表現し,あるいは実用的見地から,たと えば規格寸法がきめられている合板の場合は時間あたり枚数などで表示することも現場作業の場合行なわ



Fig. 6 各樹種について粒度 G と研削量の関係 Relation between grit-size G

and abrasion amount for each species.

れる。この実験では、実験技術上測定の正確さと簡便さの点より研 削前後の被削材の重量差をもつて研削量を表示する方法を採用し、 単位時間として、研摩帯は長時間研削によるいわゆる切れ味の低下 をきたすから、なるべく諸測定が迅速にできる範囲の短時間とする ため $30sec \sim 1 min$ 間の研削を行ない、10sec あたりとして表示す ることとした。また試験片の大きさは付属電動機の容量に制約され るため前述したように幅と長さを $50 \times 70 \sim 100 \times 150 mm$ の範囲に 変化させたが、この範囲の研削面積の差異は異なる研削条件相互の 研削量の比較には予備実験の結果ほとんど支障が認められないの で、単位研削面積 $100cm^2$ あたりに換算してあらわすこととした。 すなわち、研削量 g の表示は研削面積 $100cm^2$, 研削時間 10sec あ たりの被削材の研削前後の重量差をもつて定義し、必要ある場合、 研削切り込み量 d、研削容積 m は被削材の研削時の比重を r (gr / cm^3) とすれば次式により実験値から求めることができる。

$$\begin{array}{c}
m = g/r \\
d = g/10r
\end{array}$$
.....(4)

4.2 砥粒粒度 G と研削量 g

species. 一般に研摩帯の砥粒粒度が大きいほど、すなわち砥粒直径がこま かいものほど研削量も小さいことは常識的にも実際作業上よりも知られる経験的事実である。各樹種につ いて粒度 60~240 メッシュの研摩帯を用いて研削した実験 D について砥粒粒度と研削量の関係を抽出し て図示すれば Fig. 6 に示すようである。この結果から定性的につぎのことがいえる。

(1) 砥粒粒度が大きくなれば常識的に知られるように研削量は急激に減少する。

(2) この傾向は他の研削条件が同じであれば比重の小さい材ほど顕著である。

ここに示される研削量 g は重量単位であるが比較する場合は単位時間あたりの研削による切込み量と考 えて差し支えないし、また一方前述したように研削切込み量 d は同一研削速度の場合は式(1)より1 個の 砥粒による切込み量 dd に比例し、連続切れ双間隔 A に逆比例するはずである。前者は砥粒が被削材に くいこんで微小切削をする量であるから、研削時研摩帯に与えられる荷重 P と被削材の硬さにより異な るはずで、単純には1 個の砥粒には砥粒の分布密度数 N に逆比例する切込み量が与えられ、したがつて

砥粒分布密度数の少ない小さい粒度の研摩帯ほど同 じ研削荷重であれば切込み量は大きいはずである。 すなわち、 $dd \propto P/N$, また平均連続切れ双間隔は式 (2)より粒度との関係が求められているから, 研 削量 gは粒度 G の 0.8 乗に逆比例して小さくなる ことが予想される。

 $d = 4d \cdot v/A \propto P \cdot B \propto G^{-0 \cdot 8} \cdots \cdots (5)$ すなわち、 $g \ge G$ の関係は $gG^n = \text{const.}$ の形の 実験式が設定できると考えられる。

以上の考察は単純な仮定によるものであるから, 実際研削の場合においては研摩帯の砥粒分布・砥粒 の形量・切れ双先端の不ぞろい,研削時の砥粒の目 づまりや脱落などによる変化や被削材の材質的偏差 により,粒度と研削量の関係はかなり異なるであろ うと考えられるので,定量的関係を明らかにするた め他の実験結果についても考察することとする。





実験 A においてはヤチダモ・マカンバを被削材とし研削速度を変化させて行なつた実験であるが、マ





カンバについて $G \ge g$ の関係を抽出して図示すれば Fig.7に示すようである。また実験 C においては 粒度 80~180 メッシュの範囲で,エゾマツほか4 樹種を被削材とした実験であつて,研削量の平均値と粒



Fig. 9 研削荷重ごとの粒度 G と研削量の関係 Relation between grit-size and abrasion amount on *Picea*, *Betula* for each applied load.



Fig. 10 合板の樹種別, 粒度と研削量の関係 Relation between grit-size and abrasion amount on each kind of plywood.

Fig.11 合板研削における研削圧力 p, 研削 速度 v 別の粒度 G と研削量 g の関係 Relation between grit-size and abrasion amount on plywood for each applied pressure p (g/cm^2).

- 45 -

度の関係を抽出して研削荷重ごとに図示すれば Fig. 8 に示すようである。 この 結果はおおむね *gGⁿ*= const. の実験式があてはまる。 粒度 40 メッシュの研削量が, この式で示される直線上にのらないのは, #40 のような粗粒の研摩帯は砥粒の脱落が多く, 砥粒分布密度が小となることと, 研削荷重が, この程度 では小さすぎて被削材へのくいこみが小さすぎるからと考えられる。

実験 E,G はエゾマツ,マカンバを被削材とし,研削荷重を変化させて実験した結果であるが,研削速度・荷重ごとに $G \ge g$ の関係を抽出して図示すれば Fig. 9のように同様の関係が成りたつことが知られる。また実験 B について $G \ge g$ の関係を示す一例を被削材の合板の樹種を補変数として図示すれば Fig. 10 のようであり, 各研削速度 ご との各樹種の平均値を研削圧力ごとに示すと Fig. 11 のようで, $gG^n = k$ の式が適合するから実験常数 n, k を求めると Table 3 に示すようである。

研削圧力	v = 7	.9 m/s	v = 11.7 m/s	
$p (gr/cm^2)$	n	k	n	k
		× 104		× 10
39.2	2.1	0.97	2.1	2.87
32.6	2.0	0.69	2.1	2.04
26.0	1.9	0.30	2.0	1.04
19.3	1.8	0.13	2.0	0.63
12.6	1.7	0.04	1.9	0.19

Table 3. $gG^n = k$ の実験常数 n, k の値 The values of n, k in $gG^n = k$.

以上各実験結果から $g \geq G$ の関係を抽出して述べたが、いずれの場合も G が 80~240 メッシュの 範囲では、 $gG^n = k$ の実験公式が適合する。実験常数 n は樹種・研削速度・研削荷重などの因子には比 較的影響をうけないようで、おおむね 1.5~2.1 の値を示し、実験常数 k はこれらの因子をふくむ研削 の初期条件により支配される。

4.3 研摩帯の走行速度と研削量

研削量は研摩帯の研削回数に比例することは常識的にも知られることで,研削量と研摩帯の走行速度の 間には比例的関係が成りたつことは予想される。従来の実験においては,研削速度の範囲は賀勢²⁾ による デスク・サンダー方式の実験では最大 5 m/s,木方³⁾ による小型ベルト・サンダーでは 6.2~12.3m/s, HAYER¹⁾ による大型ベルト・サンダーでは 15~30m/s, PAHLITZSCH¹²⁾ による大型ベルト・サンダーで は 10~40m/s の範囲で行なわれているが,この実験では 6.1~11.7m/s の範囲で4 段階に変化させて, この関係を明らかにしようとした。

実験 A において供試研摩帯は C#40~80, WA #100~180 の6 種類, 被削材としてマカンパ・ヤチダ モの2 樹種について研摩帯の走行速度(研削速度) v(m/s) と研削量 g(gr) の関係を抽出して図示すれ ば Fig.12(1)(2) のようである。この結果によれば研削速度 6.1~11.7m/s の範囲内においては, 研 削量 g と研削速度 v を直線的関係であらわすよりは, 前者の対数 log $g \ge v$ を直線的関係としてあら わす方が実験値との適合性がさらに良好のようである。 $g \ge v$ の関係はいままで公表された研究におい ても直線的関係と認めがたいようであるが, 本実験結果から両者の関係は定性的につぎのことがいえる。

(1) 前述したように $\log g \ge v$ は直線的関係で近似させることができる。

(2) この直線の傾斜は #180 の場合やや異なる傾向が認められたが、 粒度の影響はほとんど認めが



Fig. 12 (1) 研削速度 v と研削量 g の関係 (研削荷重 1.5kg の場合) Relation between running speed of abrasive belt v and abrasion amount for each grit-size in the case of applied load 1.5 kg.

たい。

(3) この直線の傾斜はマカンバ、ヤチダモの場合、同じ傾向とみなしてよい。

(4) また、この直線の傾斜は荷重の影響がほとんど認めがたい。

以上のことから、 g と v の関係についてつぎの形の実験式を設定することができる。

 $g = Ae^{Cv}$ $\pm tct$, $\log g = a + cv \cdots (6)$

A, C, a, c は実験常数

式(6)の実験常数 a, c を,研削条件ごとに示せば Table 4 のようである。

実験常数 aは研削荷重または圧力・粒度などの研削の初期条件と被削材の材質によりきまる常数と考え られ、この実験の a の計算値は研摩帯の品質的偏差や使用経歴による切れ味低下に起因する差異などのた め、ばらつきはあるがおおむね一定荷重に対し粒度が大きくなると減少する傾向が明らかにう か が わ れ る。ただし #40 の場合は他の実験目的に供試したときに認められたことであるが、砥粒の脱落が比較的多 く、またこの実験条件では研削能力を十分発揮できがたいことなどの理由から a の値はむしろ小さくなつ ていると考えられる。したがつて #40 を除いて $#80 \sim 180$ について $a \geq G$ の関係を図上にプロットすれ



Fig. 12(2) 研削速度 v と研削量の関係 (研削荷重 5.5kg の場合)

Relation between running speed of abrasive belt v and abrasion amount for each grit-size in the case of applied load 5.5kg.



ば Fig. 12 (3) に示すようで, 各研削圧力ごとに 次式で近似させることができる。

研削荷重 5.5kg の場合

ヤチダモに対し $aG^{1.71}=1135$ マカンバに対し $aG^{1.72}=960$ 研削荷重 1.5kg の場合 ヤチダモに対し $aG^{1.97}=683$ マカンバに対し $aG^{1.97}=584$

実験常数 c は表から知られるように被削材また は研削荷重・粒度により一定の傾向が認められない

+ Fraxinus ヤチ ダ バ Betula マカ ン 粒度 G p = 1.5 kgp = 5.5kgp = 1.5kgp = 5.5kg(mesh) a С a с a С a С 40 0.04 0.09 0.34 0.03 0.07 0.09 0.29 0.07 80 0.10 0.07 0.53 0.08 0.07 0.07 0.40 0.08 100 0.11 0.06 0.53 0.07 0.09 0.05 0.40 0.06 120 0.06 0.32 0.08 0.07 0.07 0.05 0.07 0.26 150 0.04 0.08 0.20 0.09 0.03 0.08 0.16 0.08 180 0.03 0.10 0.14 0.09 0.02 0.10 0.09 0.10

Table. 4 (6) 式で示される実験式の実験常数 a, c の値 The values of a, c in empirical formula of equ (6).



Fig. 12(3) gと v の関係式の実験常数 a と粒度 G の関係 の例 Relation between grit-size and costant value a in formula shown g-v relation.

ので、すべての条件の場合の平均値を とれば 0.08 をうる。したがつて、g と vの関係を示す実験式として次式を 設定することができる。

研削荷重 5.5 kg の場合

ヤチダモに対し

 $g = e^{(1135/G^{1.71})+0.08v}$



研削荷重 1.5kg の場合





amount per unit running distance of abrasive belt.

ヤチダモに対し $g = e^{(688/G^{1.97})+0.08 v}$ マカンバに対し $g = e^{(588/G^{1.97})+0.08 v}$

研摩帯の単位走行距離あたり研削量は式(6)から $dg/dv \propto e^{cv}$ となるから $g \geq v$ の関係と全く同様に $v \geq v \leq 1 km$ とすれば研削量 $g \geq v/1000$ (km/s) で除した値が研摩帯の単位走行距離あたり研削量である。よつて実験 A の各条件について、こ の数値を求め図上にプロットすれば Fig. 13 に示すようである。PAHLITZSCH¹²⁾の実験結果によれば研 摩帯の走行速度 v が $10\sim30m/s$ の範囲で $v \geq 3$ 倍大きくした場合単位走行距離あたり研削量の増加は $10\sim15\%$ であり、長時間研削に用いた研摩帯ほど単位走行距離あたり研削量の増加は少なくなつている。 本実験において v が約2 倍に大きくなつた場合、単位走行距離あたり研削量が $30\sim50\%$ 程度増加する

林業試験場研究報告 第 136 号

ことを認めた。

4.4 研削荷重 P または研削圧力 p と研削量 g

研摩帯を用いる研削においては前述したように各砥粒が被削材にくいこんでゆく力は荷重によつて与え られる。荷重をませば砥粒のくいこみ量, すなわち切り込み深さが大きくなるため, 研削量もしたがつて 大きくなることは考えられる。また, 研摩帯に与えうる荷重は研摩帯の抗張力により, その限界があり, 研削時の安全をみこんで最大荷重は次式で与えられる。

 $P_{\max} \leq \eta \sigma b \cdots \cdots (9)$

 P_{max} :研削時最大荷重 (kg), η : 安全係数, σ : 研摩帯の抗張力 (kg/cm), b: 研摩帯の幅 (cm) η については定説がないが, 研摩帯の接手効率・研削時摩擦係数などに関係し, σ は JIS によれば単 位幅 2.5cm あたり基質布の場合 45kg, 紙で 10kg であるから, かなり大きい荷重を与えうるが, 本実 験では駆動原動機の容量に制約されるため予備実験の結果最大荷重 6 kg にとどめた。なお, 本実験では 研削面積の大小にかかわらず, 研削時試験片に与えられる重錘重量をもつて荷重 P (kg) であらわし, 単位研削面積に与えられる重量は研削圧力 p (gr/cm^2) であらわすこととする。工業用ベルト・サンダ ーに与えられる p の値は負荷様式により異なり, 明らかではないが, おおむね 100gr/cm² 程度以下と推







- 49 --



Fig. 15 研削圧力 p と研削量 g の関係 Relation between applied pressure p and abrasion amount g.

定され、この実験の試験片の寸度では最大荷重約 6kg 以下が p の実用範囲に一致すると考えられる。

実験 C は被削材としてアカマツほか5 樹種、供試研摩帯は砥粒材質 C, WA, 粒度 #40~180 の7 種類について行なつた実験であるが、 $p \ge g$ の関係を抽出すると Fig.14(1)(2)に示されるようで、この結果より定性的に概括してつぎのことがいえる。

(1) pの増加にともない gは指数的に増加する。

(2) 粒度が大きいほど g に対する p の影響は少ない傾向がみられる。

(3) 比重が大きく硬い材ほど g に対する p の影響は少ない傾向がみられる。

p の範囲をさらに大きくした場合の g に対する p の影響をみるため, 試験片の研削面積を小さくし て行なつた実験 E, G について, この関係だけを抽出してつぎに考察することとする。一般に試験片を 小さくした場合は負荷に対して研削時安定性を欠くため, いわゆる edge effect を生じやすいが, 予備 実験の結果では試験片の幅 50mm, 長さ 75mm (研削方向) 程度までは研削面に edge effect はみられ ず, このための誤差はきわめて僅少で無視できることが認められた。Fig. 15 に示されるように研削速度 の影響もみられるが g-p の関係は, 同一研削速度の場合次式で近似させることができる。

 k_1 , n_1 は被削材の樹種・粒度により異なる実験常数で、支配的因子としては粒度である。 k_1 , n_1 の値を計数すれば Table 5のようである。

この結果によれば g に対する p の影響は微細砥粒 #240 の場合, ほぼ正比例または p に対する g の 増加率は低減する傾向を示すが、 #150, 80 の場合は g は p の 1.2~1.6 乗に比例して増加し、この場 合樹種による差よりも研削速度の影響が大きいといえる。

合板を被削材とした実験 B について各樹種合板の g の平均値を p ことに図上にプロットすれば Fig.

ペルト・サンダーによる木材の研削(I)(中村)



Fig. 16 研削圧力 p と研削量 g の関係 Relation between applied pressure p and abrasion amount g.

17 に示すようである。この結果も全く同様の傾向がみとめられ、 p-g 曲線は粒度と研削速度に影響され るが、後者の影響が大きい。したがつてこの場合も、 $g=k_1p^{n_1}$ の実験式が成りたち、 k_1 、 n_1 ともに粒度 が大きいほど小さくなる傾向も明らかにみられ, n1 はほぼ 1.0~1.3 の範囲の数値を示す。

なお、パーティクル・ボードを被削材として実験した場合の研削量 g と研削荷重 P(kg)の関係の一 例を示すと Fig. 18 のようで、前述の合板・素材の場合と全く同様のことがいえる。



V-11.7 m/s 3 02 6 KS ĸq P Þ

V-79 MG

Fig. 18 研削荷重 P と研削量 g の関係 (パーティクル・ボード) Relation between applied load P and abrasion amount g for particle-board.

Fig. 17 研削圧力 p と研削量 g の関係(合板) Relation between applied pressure pand abrasion amount g for plywood.

- 51 -

被削材	粒。度	v=7.9m/s		v = 11.7 m/s	
Species	G (mesh)	k_1 (×10 ⁻³)	n_1	$k_1(\times 10^{-3})$. <i>n</i> 1
エッジマッ Picea 、	80 150 240	12 7 1	1.38 1.33 0.82	8 3 1	1.59 1.17 1.10
マカンバ Betula	80 150 240	13 4 1	1.34 1.36 0.73	6 6 1	1.58 1.43 1.02

Table 5. 式(10)で示される実験式の実験常数 k_1 , n_1 The values of k_1 , n_1 in empirical formula (10).

4.5 G, v, p および g の関係をあらわす実験公式の関連性

前節においては、各実験結果より研削量 g に影響をおよぼす主要因子として粒度 G, 研摩帯の走行速

度 v および研削荷重 P, または圧力 p をとりあげ, これらの因子と研削量の関係を実験値にできるだけ 忠実に近似させるように個々に 実 験 公 式を設定し た。したがつて、実験常数として取り扱つた数値も 他の因子との関数関係が存在することもあり、前節 までに個別的には言及したが、ここではさらに総合 的に、これら因子の関連性について実験結果を例示 しながら述べる。

研削量 g は単一砥粒が被削材にくいこんで行な われる微小切削の集成された結果 と 考え られるか ら, 砥粒の被削材に対するくいこみがまず必要で, このことは他の切削の場合は被削材または切削工具 の相対的送り力として与えられるが, 研摩帯加工に





Fig. 19 (1) 研削圧力 p と研削量 g の関係 Relationbetween p and g.

おいては研削圧力が支配的因子となる。g と p の関係については前述したように

で近似させることができる。被削材としてヤチダモおよびマカンパを対象とした実験について前節では gと v の関係を抽出して考察したが、ここでは g と pの関係を図示すれば Fig. 19 (1)のようである。こ れから $\log k_1$ 、 n_1 の数値をきめると Table 6 のようである。

 $k_1 \ge n_1$ の計算値にはばらつきはみられるけれども、 k_1 は G とはほとんど無関係であるが v には比例的であり、 n_1 は vにはほとんど無関係であるが G の大小に関係する。そこで $\log k_1 = f(v)$ 、 $n_1 = f(G)$ の関係をそれぞれの平均値を標準として Fig. 19(2) から求めるとつぎの関係式が得られる。

ヤチダモに対し

 $\log k_1 = 0.0025 + 0.077 v$

マカンバに対し $\log k_1 = 0.0022 + 0.073 v$

n₁ は両樹種間にほとんど差 がみとめられないので両樹 種に対し

 $n_1 = 3.23 - 0.90 \log G \cdots (12)$

log k₁, n₁ を式 (10) に代入すれば, g, v, p および G の関係を示すつぎの式を設定することができる。

ヤチダモに対し

g = p 3.23-0.90 *log G*. e 0.0025+0.077 v マカンバに対し

g = p 3.23-0.90 log G. e 0.0022+0.073 v)

式 (13) より研削量の対数 log g は研摩帯の走行速度 v に関係する項と研削圧力 p および粒度 G に関係する項 の和として示され、したがつて p お よび G を一定にす れば logg = a+cv, v, G を一定にすれば $g=k_1p^{n_1}$ およ び p を一定にすれば gG^n = const. の形となり、前節ま





Fig. 19 (2) $g = k_1 P^{n_1}$ の実験常数 k_1 と研削速度 v, n_1 と粒度 Gの関係 Relation of grit-size to constant value n_1 , running speed to constant value k_1 .

Table	6-1.	(10)	式の)実	験式の	実験	常数	n_1	の値
The	value	es of	n_1	in	empir	ical	forn	nula	(10)

被削材	v		粒	度	G (mesh)		
Species	(<i>m</i> / <i>s</i>)	40	80	100	120	150	180
ヤチダモ Fraxinus	11.7 9.8 7.9 6.1 平均	1.32 1.39 1.39 1.42 1.38	1.56 1.56 1.52 1.45 1.52	1.46 1.46 1.38 1.41 1.43	1.29 1.26 1.26 1.29 1.27	1.25 1.27 1.26 1.28 1.26	1.22 1.22 1.20 1.21 1.21
マカンパ Betula	11.7 9.8 7.9 6.1 平均	1.39 1.35 1.43 1.51 1.42	1.56 1.51 1.43 1.53 1.51	1.31 1.36 1.33 1.32 1.33	1.20 1.25 1.27 1.20 1.23	1.24 1.17 1.33 1.16 1.23	1.23 1.16 1.26 1.19 1.21

林業試験場研究報告 第 136 号

被 削 材	v		粒	度 G (me	esh)	,	平均
Species	(m/s)	80	100	120	150	180	mean
マカンバ Betula	11.7 9.8 7.9 6.1	12 10 10 5	16 12 12 8	21 15 12 10	17 14 8 7	15 13 5 4	16 13 9 7
ヤチダモ Fraxinus	11.7 9.8 7.9 6.1	16 11 6 8	16 12 11 9	22 17 13 9	22 14 10 6	19 13 10 5	19 13 10 7





Fig. 20 粒度 G, 研削圧力 p および研削速度 v より研削量 g を求めるノモグラフ Nomogram of abrasion amount g related grit-size G, sanding pressure pand running speed v.

でに各因子と研削量の関係をそれぞれこれらの簡単な実験関数として個々に近似的解析を行なつたことと むじゆんなく、したがつて統一的実験関数の公式として

 $g = p^{f(G)} \cdot e^{f(v)} \cdot \cdots \cdot (14)$

の形は妥当と考えられる。

式(14)をもととして諸因子間の関係を示すノモグラフを作製すると Fig. 20 に示すようである。この

ノモグラフは式 (14) の v の関係を右側に示し, 左側に G, p の関係を示し、これらの数値から 研削量 g を3平行線型共線図表であらわしたも のである。

4.6 各樹種の研削量(研削特性)

砥粒により取り除かれる研削量は砥粒が被削材 にめりこむ量に比例すると考えられ、めりこみ量 は圧力が等しいときは被削材の硬さに反比例する と考えられる。一般に諸材料の硬さについての物 理的意義は十分なお明らかにされていないが、ク サビによる押し込み硬さが研削量を類推する場合 もつとも好都合と考えられる。しかし木材の場合 硬さの表示として、このような硬さを測定した実 験例はほとんどみあたらず、多くはブリネル硬さ で表示されている。木材のブリネル硬さはほぼ材 の比重と比例的関係にあることはすでに報告され ており14)、このことから研削量は比重にほぼ反比 例することが推察できる。そこで実験 D の結果 から比重 r と研削量 g の関係を抽出して図示す れば Fig. 21 のようである。 この実験の被削材









Fig. 21 各樹種の比重 r と研削量 g の関係 Relation of abrasion amount g to specific gravity r for each species.



Relation of abrasion to specific gravity r.

- 55 --

Table 7. 比重rと研削量gとの関係を示す実験式 The empirical formula showing the relation of abrasive amount g to specific gravity rfor each grit-size, load applied.

G mesh	P =2.5 kg	<i>P</i> =5.5 <i>kg</i>
40 60 100 150 240	$ \begin{array}{c} g = 0.54r^{-0.62} \\ g = 0.39r^{-0.77} \\ g = 0.36r^{-0.77} \\ g = 0.11r^{-1.15} \end{array} $	$g = 0.80r^{-0.89}$ $g = 0.96r^{-0.84}$ $g = 0.51r^{-0.93}$ $g = 0.14r^{-1.24}$

の比重は 0.4~0.7 の範囲であるが, おおむね 比重が大きい樹種ほど研削条 件が 同 じであれ ば,研削量もしたがつて小さくなる傾向は明ら かにうかがわれる。この場合実験値のばらつき もあるが, *r-g* の関係は一応直線式として近似 させることができる。つぎに実験 D に比べ比 重階がさらに広範囲にわたる樹種を対象として 行なつた実験 H について,同様の関係を抽出 して図示すれば Fig. 22 (1) (2) のようであ る。すなわち,この場合の比重範囲は 0.25~

0.85 におよび, ほとんど本邦産材の各比重階をふくんでいるが, このように比重範囲が大きくなると実 験 D において一応比重と研削量の関係を直線式として適合させることが無理になつてくる。このことは 比重が 0.4 以下の低比重材ほど研削量は指数的に増大し, 高比重材ほど指数的に減少する傾向のあるこ とを意味し, したがつてこのような広範囲の比重 r と研削量 g の関係についてはつぎの実験式が適合す ると考えられる。

 $g = k_2 r^{-n_2}$ (15)

各研削条件ごとに実験常数 k2, n2 をきめてこの関係を示すと, Table 7 のようである。

すなわち,被削材より考察すれば、logg・logrの直線の傾斜を示す実験常数 n₂の値から 粒度が大き くなり, 砥粒が微粉の研摩帯による研削の場合ほど被削材の比重が研削量におよぼす影響が大きいことが





- 56 -

うかがわれる。とくに #240 の場合この傾向が著しく, 研削量は比重の 1.1~1.2 乗に逆比例し, #40~150 の範囲ではほぼ 0.8 乗に逆比例して少なくなることが知られた。以上被削材を比重におきかえて全体的 に考察したのであるが, 同じ比重階に属する樹種においても組織・構造が異なるから砥粒による微小切削 においても樹種固有の特性が影響するはずである。もちろん, 研削量自体の数値も樹種の一つの研削特性 とみなすことができるが, 研削量を比重で除した値を樹種の研削特性をあらわす index と考え, 各樹種 ごとに研削条件別に示すと Fig. 23 のようである。この値はまた研削量の表示法の項で述べたように, 単位研削時間あたりの研削による切り込み量と一致する数値である。

5. 研削条件と研削所要動力・研削抵抗

5.1 概 説

研摩帯による研削全所要動力 \overline{K} はベルト・サンダーの空転時動力 K_0 と研削の仕事に対してなされる 純所要動力 K の和であつて、 K_0 は研摩帯の種類(基質・粒度および砥粒材質) により大差がなく、 研 摩帯の走行速度(駆動プーリーの回転数) により異なる。本実験に使用したベルト・サンダーについて、 これを示せば Table 8 のようである。

以下各条件で切削した場合の研削に要する純仕事動力 K (以下単に所要動力という) は,次式より算出 した数値で示すこととする。

$K = \overline{K} - K_0$(16)

また研削に対する被削材の抵抗については、前述したように研摩帯の走行方向に対し被削物が引張られ る力を直接測定し、これを被削物の研削に対する主研削力とみなし研削抵抗 T(kg) と定義することとす る。木材の研削において T を直接測定した実験的研究は PAHLITZSCH¹²) により行なわれただけであつ て、この研究によれば主研削力 T は個々の砥粒が木材質を切削作用により母材から分離するに要する力 (分離力) T_r と、分離された切り屑が研摩帯と被削材の間で変形されるに要する力 (変形力) T_v 、および 被削材・切り屑と研摩帯間の摩擦力 T_r の和であるとし、被削材の研削面積を $F(cm^2)$ 、研削圧力を p(kg/cm^2) および被削材と研摩帯間の摩擦係数を μ とすれば次式であらわすことができる。

しかし, T をこれらの各力に分離することは実験技術上現状ではできないことであつて、単に推測する

駆動プーリー 回転数 n (r.p.m.)	研摩帯の走行速度 (研削速度) v (m/s)	空転時所要動力 <i>K</i> ₀ (<i>kw</i>)
550	6.05	0.145
725	7.92	0.170
895	9.84	0.200
1065	11.71	0.225

Table 8. 試験用ペルト・サンダーの回転数・研削速度および空転時動力

Number of rotation of driving pulley, running speed of abrasive belt and power required in no load.

 (注) 1. 駆動プーリー直径 D=350mm, v=πDn の値と回転計による研摩帯の走行速度の測定値 とはほぼ一致した。

2. K₀ は本機が電動機より V ベルト連結で集塵用ファンも同時に回転させる機構であるか ら、これに要する動力 0.09kw をふくみ、電動機単独の所要動力は 0.06kw。

- 57 -

にすぎないことを述べている。この考え方は木材の双物による切削研究においても同様に成りたつとし、 実験的に木材切削の特性として分離力が変形力に対し大きい割合を占めているといわれる。研削の場合は 摩擦力の割合が比較的大きいことが推定されるが、μを直接測定することは実験上困難であるから、本実 験では研摩帯により被削材が引張られる力 T を張力計により読みとり、所要動力との関係から μを概算 して実験値の当否を検討することとした。また小林⁷¹ は砥粒による研削抵抗は研削砥石の場合被削材との 間の摩擦抵抗とし、これはみかけの研削方向の切線研削抵抗と砥粒が被削材を掘りおこしてゆくときに受 ける抵抗との和であるとし、摩擦抵抗は砥粒の切れ双の先端形状および砥粒・砥石・被削材および砥粒と 結合剤間の摩擦係数の関数としてあらわし、砥粒の目づまり、目つぶれなどの研削加工上おこる現象を定 性的に説明できることを報告している。



Fig. 24 研摩帯の走行速度 v と所要動力 K の関係 Relation between power required K and running speed of abrasive belt v.

以下研削所要動力および研削抵抗についての関 係諸因子の影響を実験結果より解明し,また両者 の関係についても検討することとする。

5.2 所要動力 K と研削速度 v の関係

ヤチダモ、マカンバを被削材として行なつた実 験 A について、 $K \ge v$ の関係を抽出して図示 すればFig. 24 のようであり、各研削速度ごとの Kの平均値と最大・最小値を示せば Table 9の ようである。

粒度 G が大きい研摩帯による研削ほど K は 小さくなる傾向がみられるが、いずれの粒度の場 合も研摩帯の走行速度(研削速度) v を増せば所 要動力 K もしたがつて増加する傾向は明らかに みられる。また研削荷重 P を増せば K も 増加 するが、同じ荷重条件では v が大きいほど Kもしたがつて増加する傾向がみられる。よつて図 から K-v の関係を、原点をとおる直線式として 実験式を設定すればつぎのようである。

Table 9. 研削速度 v (m/s) と所要動力 K (kw)の関係 Relation between running speed of abrasive belt and power required K.

P kg	v m/s	K (kw)				
		ヤチダモ Fraxinus	マカンバ Betula			
1.5	11.7 9.8 7.9 6.1	$\begin{array}{c} 0.11 (0.09 \sim 0.12) \\ 0.09 (0.08 \sim 0.11) \\ 0.08 (0.07 \sim 0.09) \\ 0.07 (0.05 \sim 0.08) \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.11 (0.09 \sim 0.13) \\ 0.09 (0.08 \sim 0.11) \\ 0.08 (0.07 \sim 0.10) \\ 0.06 (0.04 \sim 0.08) \end{array}$			
5.5	11.7 9.8 7.9 6.1	$\begin{array}{c} 0.57 (0.52 \sim 0.63) \\ 0.44 (0.35 \sim 0.56) \\ 0.37 (0.31 \sim 0.42) \\ 0.28 (0.25 \cdots 0.32) \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.56 \left(0.48 \sim 0.62 \right) \\ 0.44 \left(0.37 \sim 0.54 \right) \\ 0.37 \left(0.33 \sim 0.42 \right) \\ 0.26 \left(0.22 \sim 0.32 \right) \end{array}$			

<i>P=5.5Kg</i> に対し	K = 0.05 v	
<i>P</i> =1.5 <i>Kg</i> に対し	K = 0.01 v	(15)

この実験結果からも研削時の所要動力 K は研摩帯の走行速度 v とともに研削荷重 P が支配的因子 であつて, $K \ge v$ の関係は P の影響とともに考察する必要がある。

5.3 所要動力 K と研削荷重 P の関係

エゾマツ・マカンパを被削材とし粒度 #80, 150 および 240 の研摩帯により研削荷重 $P \ge 1.0 \sim 5.5$ kg の範囲に変化させて実験した結果について、各 P(kg) に対する所要動力 K(kw) を研削速度ごと に図上にプロットすれば Fig. 25 に示すようである。研削時の所要動力 K の支配的因子は v とともに P であつて、被削材の樹種および研摩帯の粒度 G (mesh) は、この2因子に比べると K に対する影響 はきわめて小さいことは前節でもふれたとおりである。

Fig. 25 から K と P の関係を示す実験式としてつぎに示す式を設定し、 その実験常数のそれぞれの



Fig. 25 研削荷重 P と所要動力 K の関係 Relation between load applied P and power required K on Picea, Betula.

T	able 1).式	(19)) k	$X = aP^n \sigma$)実験常数(の値
The	values	s of	a, n	in	empirica	l formula	(19)

G	v=11.7	m/s	v=7.9	9m/s
(mesh)	a	n	a	n
80 150 240	0.081 0.074 0.060	1.21 1.20 1.27	0.057 0.054 0.044	1.11 1.08 1.06

- 59 -





Fig. 26 (2) K=cv の実験常数 c と研削荷重 P の関係 Relation between load applied P and constant value of c.

とは各粒度について同様の結果が得られた。



Fig. 26(3) $K=bP^n$ の実験常数 $b, n \ge$ 粒度 G の関係 Relation between grit-size G and constant value of b, n.

値を示せば Table 10 に示すとおりである。

この結果によれば研削時の所要動力は研削荷重の約 1.1~1.2 乗に比例して増加し、この傾向は研削速度が 大きいほど研削荷重の影響もしたがつて大きく、このこ

- 60 -

さらに K に対する P の影響ととも に v お よび G が どのように影響する かを知るため、実験結果をつぎのように 解析する。 すなわち、実験 $E \cdot G$ は研 摩帯の走行速度 v を 7.9、11.7m/s の 2つの場合についてのみ実験した結果で あるが、前節で述べた よ うに K と v の関係は K=cv であらわされることは 同様に成立するはずであるから K-v 直 線を各粒度ごとに P を補変数として図 上にプロットすれば Fig. 26(1) に示さ れるようである。また、 K-v 直線の傾

240

180 150 120 100 80 60 G muesh

e	cach 1, 0:				
Р		G (mesh)			
kg	80	150	240		
5.5 5.0 4.5 4.0 3.5	0.051 0.046 0.041 0.037 0.031	0.047 0.042 0.038 0.033 0.028	0.043 0.038 0.034 0.028 0.025		
3.0 2.5 2.0 1.5 1.0	0.026 0.021 0.017 0.012 0.007	0.023 0.018 0.014 0.010 0.006	0.021 0.017 0.013 0.009 0.005		

Table 11. 実験式 K=cv の実験常数 c の値 The values of c in empirical formula K=cv for each P, G.

斜 c の計算値を各粒度・荷重ごとに示せば Table 11 のようである。

cの計算値は Pの増加とともに大きくなる傾向がみられるので、両対数方眼紙上に c と Pの関係を各粒度ごとにプロットすれば Fig. 26 (2) に示すようにほぼ直線となるから、これらの関係は次式で近似させることができる。

 $\alpha = f(G)$ r $\beta = f(Q,P)$ K (KW) P= 5.5 Kg ν т i.00 (m/s) 0.80 -2.15 15 0.60 14 1.0 1.3-0.40 -2.20 12 0.30 11 -225 -0.20 10 0.15 - 2.30 9 2.5 ÷¢ 0.10 8 -2.35 0.08 2.0 0.06 0.04 Loos 実線はG=120メッシュ、P=5.5 Kg ひー10 mysのt易合のPft 雲動刀の 求め方を示す.



- 61 -

林業試験場研究報告 第 136 号

80に対し $c = 0.0071 P^{1.17}$ #150に対し $c = 0.0058 P^{1.21}$ #240に対し $c = 0.0050 P^{1.24}$ (21)

したがつて $K \ge P, v$ の関係式として次式をうる。

80に対し K=0.0071P^{1.17}·v

#150に対し $K=0.0058P^{1.21}\cdot v$ (22)

#240に対し $K=0.0050P^{1.24}\cdot v/$

また式 (22) にさらに粒度 G の関係を導入するため、各粒度に対するそれぞれの実験常数と G の関係を図上にプロットすれば、 Fig. 26 (3) に示されるように両者を直線的関係とみなすことができるから 次式を設定しうる。

 $\begin{array}{c} b = 0.008 - 0.00013G \\ n = 1.13 + 0.00046 G \end{array}$ (23)

したがつて, $K \ge P$, v の関係をあらわす一般式としてみちびかれた式

に、このようにして帰納したGの関係を導入すれば、次式に示す $K \ge P$ 、vおよびGの関係式をうる。

 $K = (0.008 - 0.000013G) P^{(1.13+0.00046G)} \cdot v \cdots (25)$

要するに研削時所要動力 K は研削荷重 P の影響がもつとも大きく, おおむね P の 1.1~1.2 乗に比 例し, 研摩帯の走行速度に正比例して増加し, 粒度が大きくなれば所要動力はやや小さくなるが, この影 響は P, v に比較すればきわめて少ない。式 (25) はやや繁雑であるから, K に関係する諸因子の影響の 程度を明らかにするとともに実用的に簡便に, これらの関係を知るノモグラフを作ると Fig. 27 に示され るようである。すなわち式 (25) の両辺の対数をとれば

 $\log K = \log(0.008 - 0.000013G) + (1.13 + 0.00046G) \log P + \log v = \alpha + \beta + \log v \cdots (26)$ 第1項の α は G のみに関係し、第2項 β は G と P, 第3項は v のみに関係するから、 $\alpha = f(G)$ 、 $\beta = f(G, P)$ および logv をそれぞれ平行線型共線図表であらわしたものである。 すなわち、 所要の G および P がきまれば $\alpha = f(G)$ 、 $\beta = f(G, P)$ から Fig.27に示される補助軸 γ 上の点がきまり、 研摩帯 の所要の走行速度 v と γ 軸上の点から、これら諸条件に対する所要動力を簡単に決定することができる。

5.4 *K*=*f*(*P*, *v*, *G*)の関係式の適合性

実験 E, G の実験値を基礎として導いた式 (25) は他の樹種・粒度・走行速度などに対しても適用で きるかどうかを検定するため、他の実験結果より別途に考察する。すなわち、実験 A はヤチダモ・マカ ンパを被削材とし、研削速度を4段階に変化させて行なつた実験であるが、この実験値をまず前節で述 べたように $K \propto P^n$ の関係が成りたつことを前提として P=1.5, 5.5kg に対する K の値を Fig. 28 (1) のように両対数方眼紙上にプロットし、 $K=aP^n$ の実験常数 a, n を各粒度・研削速度別に求めてみ た。

Table 12-1, 12-2 によれば n の計算値にばらつきはあるが, 樹種が研削速度におよぼす影響はほと んどみられないから, 両樹種の n の平均値と粒度の関係をみると後者が大きくなるほど n は増加する 傾向が明らかにみられる。この関係は Fig. 26 (3) に示される実験 A より 求めた $K=aP^n$ の指数 n と G の関係を示す次式を適用しても差しつかえないと考えられる(Fig. 28 (2))。 ペルト・サンダーによる木材の研削(I)(中村)







Fig. 28 (2) $K=bP^{n}.v$ の実験常数 $b, n \geq G$ の関係 Relation between grit-size and values of constant b, n.

 $n = 1.13 + 0.00046G \dots (27)$

また実験常数 a は研削の初期条件によりきまる係数であるから、当然研削速度をませば大となり、粒度が大きい場合は小さくなることが考えられ、実験結果もこの傾向を明らかに示している。また式(24)と

— 63 —

林業試験場研究報告 第 136 号

	1 : Fraxmus K : Beima								
v (m/	v (m/s) 11.7		9.8		7.9		6.1		
Specie	s	Т	к	Т	K	Т	К	T	К
Grit-size (mesh)	80 100 120 150 180	1.28 1.19 1.26 1.22 1.33	1.44 1.19 1.14 1.16 1.27	1.23 1.11 1.22 1.18 1.22	1.14 1.08 1.19 1.19 1.18	1.17 1.11 1.22 1.14 1.21	1.24 1.04 1.14 1.15 1.18	1.05 1.03 1.19 1.13 1.22	1.13 1.10 1.16 1.02 1.14
Mean		1.	20	1.	16 :	1.	15	· 1.	08

Table 12-1. $K=aP^n$ の実験式の実験常数 n の値 The values of n in empirical formula $K=aP^n$ for each grit-size and sanding speed. T: Fraxinus K: Betula

Table 12-2. $K=aP^n$ の実験式の実験常数 a の値 The values of a in empirical formula $K=aP^n$ for each grit-size and sanding seed.

Species	es T						K			
v (m/s))	11.7	9.8	7.9	6.1	11.7	9.8	7.9	6.1	
Grit-size (mesh)	80 100 120 150 180	0.071 0.075 0.066 0.066 0.052	0.065 0.065 0.055 0.054 0.047	0.056 0.053 0.044 0.044 0.038	0.052 0.048 0.037 0.038 0.031	0.087 0.075 0.066 0.068 0.054	0.069 0.070 0.054 0.051 0.050	0.049 0.064 0.043 0.045 0.044	0.044 0.045 0.037 0.041 0.032	

Table 13. a/v (=b) \mathcal{O} for each grit-size, running speed of abrasive belt.

v (m/s)		11	.7	9.	.8	7.	9	6.	1	Mean
Species		Т	К	Т	К	Т	К	Т	К	Wiean
Grit-size (mesh)	80 100 120 150 180	61 65 56 56 44	74 64 56 58 46	66 66 56 55 48	70 71 55 52 51	71 67 56 56 48	62 81 55 57 56	85 79 61 62 51	72 74 61 67 52	70 70 57 58 50

対比すれば a=bv の関係が成り立つはずであるから、a/v(=b) の値を求めると Table 13 に示すよう である。

Table 13 にみられるように a/v(=b) の値にばらつきはあるが、実験 A をもとにして粒度 G の関係 を導入した b=0.008-0.000013G (式 23) を適用しても平均的にみて、まず差しつかえないように考え られる (Fig. 28 (2))。

したがつて $K \propto P^n (K = a P^n)$ より出発してみちびいた場合においても, $K \propto v (K = cv)$ よりみちびい た場合の実験公式 $K = f(G) P^{f(G)} \cdot v$ が樹種・研削条件が異なる場合においても同様に成りたつことを明 らかにすることができた。

— 64 —

-5.5 研削抵抗と粒度・研削速度および 研削荷重の関係

すでに知られるように、双物による切削におい ては双物が被削材に楔のようにくいこんでゆくと き,被削材は双物の進行方向とそれに直角方向に いわゆる cutting force の各分力をうける。単一 砥粒による切削は切削角がきわめて大きい双物で 切削する場合に相当するわけで,これらの関係は いまだ実験的には明らかにされていない。この実 験では研削時研削方向に砥粒が被削材にくいこん でゆくために被削材を引張る力を直接測定し、こ の張力であらわされる値を研削抵抗 T(kg)と定 義した。各実験結果より、Tに影響をおよぼす各 種因子との関係を述べるとつぎのようである。

(1) 粒度 G と T の関係

実験 A, C について G と T の関係を抽出し て図示すれば Fig. 29 のようである。すなわち同 じ研削荷重の場合,いずれも 80 mesh を頂点と して粒度が大または小となるにしたがつ て,T は漸減する傾向がみられる。この 傾向は前述したように研削量および所要 40動力も同じような傾向を示したことと一 14

(2) 研削速度 v と T の関係

致する。

実験 A について $T \ge v$ の関係を抽 出して図示すれば Fig. 30 のようで, Tは v とほとんど無関係といえる。

(3) 研削荷重 P と T の関係

実験 E, G についてエゾマツ, マカ ンバの T の 平均値と P の関係を図上 にプロットすれば, Fig. 31 に示される ように両者はほぼ直線的関係とみなして 差しつかえないようで, この関係を示す 直線の傾斜は粒度 G が大きいほど小さ い。

(4) 所要動力 K と T の関係



Fig. 29 粒度 G と研削抵抗 T の関係 Relation between grit-size G and cutting force T.



Fig. 30 研削速度 v と研削抵抗 T の関係 Relation between running speed v and cutting force T.



- 66 -

Fig. 31 研削荷重 P と研削抵抗 T の関係 Relation between load P applied and cutting force T.



Fig. 32 研削抵抗 Tと所要動力 K の関係 Relation between power required K and cutting force T.

 $T \ge K$ の関係を実験 E, G について図示すると Fig. 32 に示すように直線的関係として近似させる ことができる。

以上述べたように研削抵抗と各因子の関係を整理すると,研摩帯の粒度が研削抵抗におよぼす影響は比較的少なく,研削速度とは無関係とみなすことができ,支配的因子は研削荷重である。研削抵抗 T と研 削荷重 P の比(T/P)は研削時の研摩帯の動的摩擦係数に相当すると考えられ,木下4)が研摩帯の砥粒

G		mean		
(mesh)	1.5	3.5	5.5	incan .
30 60 80 100	0.53 0.58 0.68 0.64	0.61 0.64 0.67 0.62	0.56 0.58 0.65 0.62	0.57 0.60 0.68 0.63
120 150 180	0.63 0.54 0.41	0.57 0.53 0.42	0.60 0.57 0.43	0.60
mean	0.01	0.00	0.57	0.07

Table 14-1. 実験 C の場合の (T/P)の値 The values of (T/P) on Test C.

により被削材が掘り起こされるときの抵抗から 静的ひつかき抵抗を実験した例によれば,静的 ひつかき抵抗 F は垂直荷重 R と比例的関係 にあり,この場合の摩擦係数 $\mu_s(=F/R)$ は研 摩帯の新しい面で 0.8,研削が進行するにつれ て切屑が砥粒間隙にはさまり,いわゆる目づま りの状態となり同時に砥粒先端の摩耗のため, いわゆる目つぶれをおこした終極的段階では被 削材相互の摩擦係数 0.44 に一致するだろうと 述べている。この各実験より (T/P) の値を求 めると Table 14 -1, -2; -3 に示すようであ ペルト・サンダーによる木材の研削(I)(中村)

Speci Load (<i>k</i>	es g)	Fraxinus	Betula 1.5	Fraxinus 5.5	Betula 5.5	mean
Grit-size (mesh)	40 0.57 0.53 -size 80 0.81 0.77 100 0.74 0.69 sh) 120 0.78 0.70 150 0.53 0.53 1053 180 0.40 0.40 0.40		0.58 0.69 0.66 0.67 0.58 0.45	0.57 0.68 0.66 0.65 0.55 0.45	0.56 0.74 0.69 0.70 0.53 0.42	
mean		0.64	0.60	0.61	0.59	0.61

Table 14-2. 実験 A の場合の (T/P) の値

The values of (T/P) on Test A.

る。

5.6 所要動力と研削抵抗の関係

Table 14-3. 実験 D の場合の (T/P)の値 The mean values of (T/P)

MERKIN⁸⁾ によれば、研摩帯による所要動力は次式で概略を推定 _ できることを報告している。

K.~ =	$P_0F(\mu+\mu_1)v_{\approx}$	0.66 Pv	
теп. —	102	102	(20)

 $K_{\text{eff.}}$:研削正味所要動力 (kw), P_0 :研削圧力 (belt sander の場合 20~60 gr/cm² の範囲), F: 研削面積したがつて PoF = P(kg), μ: 研摩帯の砥粒の粘着係数で約 0.3, μ1: 砥粒と 被削材間の摩擦係数で $P_0=12\sim 28 gr/cm^2$ の範囲で平均値 0.36,

v:研摩帯の走行速度(m/s)

本実験の場合は被削材の研削抵抗 T(kg) を直接測定しているので, T を考慮すれば所要動力 K と 研削抵抗 T の関係は研削荷重 P,研摩帯の走行速度 v から次式で示される。

K:研削正味所要動力(kw), P:研削荷重(kg), v:研削速度(研摩帯の走行速度)(m/s), μ:研摩 帯の裏面と荷重面の摩擦係数,T:研削抵抗 (kg), 1kw=102 kg・m/s

前節により K=f(P, v, G) の関係をあらわす実験式は式(24)であらわされるので,式(29)と等置し 両辺を Pv で除せば,

Table 15.	式(30)の計算値
The calculated	values of formula (30).

Grit-size		I	load P	(<i>Kg</i>)	
(mesh)	1	2	3	4	5
60 80 100 150 240	0.74 0.71 0.68 0.62 0.50	0.82 0.80 0.77 0.71 0.59	0.88 0.85 0.83 0.77 0.65	0.92 0.90 0.87 0.81 0.69	0.97 0.93 0.91 0.85 0.73

on Test D.

Grit-size (mesh)	(<i>T</i> / <i>P</i>)
60 80 150 245	$\begin{array}{c} 0.54 (0.49 \sim 0.60) \\ 0.60 (0.58 \sim 0.62) \\ 0.49 (0.43 \sim 0.50) \\ 0.35 (0.33 \sim 0.40) \end{array}$
mean	0.50(0.33~0.62)

- 68 -

 μ + (T/P) = (0.82-0.0013G) P^{(0.18+0.0005G})(30)

右辺を計算すれば Table 15 に示すようである。

 μ は実験技術上直接測定することは困難であるが、研摩帯裏面と合成樹脂上張り布の 摩擦係数は概略 0.2~0.3 と推定され、また PAHLITZSCH の実験より研摩紙と sander pad cover またはフェルトとの 摩擦係数は v=16.3m/s で 0.1~0.3 程度と推定される。また、 Table 15 より概略 ($\mu+T/P$) \approx 0.5 ~0.9 の範囲であり、また (T/P) の値は前節で言及したように、おおむね 0.3~0.7 の範囲にあるから μ は本実験より $\mu \approx$ 0.2~0.3と推定される。この値は前述の摩擦係数とほぼ一致する。

また式 (29) の左辺の K は K≈ Pv/102 の形であらわせるから両辺を変形すれば

 $\zeta = \mu + (T/P) \cdots (31)$

また $\zeta = K / \left(\frac{Pv}{102} \right)$ の値は式 (30) の右辺で示される Table 15 に相当する。 すなわち,換言すれ ば $\zeta = 0.5 \sim 0.9$ の範囲であり、したがつて簡単に所要動力を求めるときは ζ の平均値をとつて次式で求 めることができる。

5.7 研削量 g と所要動力 K または研削仕事量 K/g の関係

マカンバ・ヤチダモを被削材とし粒度は 40~180 メッシュの範囲で6 種類, 走行速度は 6.1~11.7m/sの範囲で4 段階, 研削荷重は 1.5, 3.5 および 5.5kg の 3 段階に変化させて行なつた実験 A について研削量 gと所要動力K の実験値を図上にプロットすれば Fig. 33 のようである。gと K の関係はもちろん研削



Fig. 33 研削量 $g \geq$ 所要動力 Kの関係 Relation between abrasion amounnt g and power required K.

条件により、その傾向と量的関係が異なるはずで あるが、Fig. 33 から平均的にみてつぎの形式の





Fig. 34 (1) 研削量 g と所要動力 K の関係 Relation between abrasion amount g and power required K.

ペルト・サンダーによる木材の研削(I)(中村)



Fig. 34 (2) 研削量 g と所要動力Kの関係

実験式で近似させることができる。

式(33)の実験常数 a_1 , n_1 を求めると両樹種の 平均値として $a_1=0.28$, $n_1=0.73$ となるから, つぎの実験式を設定することができる。

したがつて,研削時の仕事量はマカンバ・ヤチダ モの場合,上式から

 $K/g = 0.28g^{-0.27}$(35)

をうるから,研削仕事量は研削量のおおむね 0.3 乗に逆比例することがわかる。

研削量と所要動力・研削仕事量の関係を研削諸 因子との関連で整理するため、他の実験結果から *K* と *g* の関係のみを抽出してつぎに考察するこ ととする。

まず, 実験 E, G はマカンバ・エゾマツを被





Fig. 35 研削量 $g \geq$ 所要動力 K の関係 Relation between abrasion amount gand power required K.



削材とし、 荷重を 1.0~5.5 kg の範囲に変化させて粒度 80, 150, 240 メッシュの研摩帯を用いて研削 実験を行なつたのであるが、 $K \ge g$ の関係を抽出して図示すれば Fig. 34 (1), (2), (3) のようで ある。このことからつぎのことが知られる。

(1) 前述したように、この場合も $K \propto g^{n_1}$ の関係が成りたち、 n_1 の値は研削速度が小さいほど、粒度が大きいほど大きくなる傾向がみられ、おおむね研削速度 7.9、11.7m/s に対しエゾマツ・マカンバの 場合 K は g の 0.7~0.9 乗に比例し、#240 の場合は 1.0~1.4 乗に比例するといえる。

(2) Fig. 34 (1), (2), (3) で明らかなように, *K-g* 曲線中 *P* の等しい点をつないでみると, ほぼ両対数座標で直線となる傾向がみられ,しかも各研削速度ごとのエゾマツ・マカンパともに各研削荷 重の直線の傾斜はほぼひとしい。このことから,同じ研削荷重の場合,研削量が増加すれば,研削動力も わずかに増加することがわかる。

実験 F はマカンバ・ミズナラ・ヤチダモ・アカマツおよびエゾマツを被削材とした実験であるが,研 摩帯の粒度別にみれば,いずれの樹種も粒度が大きくなれば K-g 曲線の傾斜が大きくなる傾向がみられ る(Fig. 35)。また樹種別にみればエゾマツのような軟材に属するものが logK・logg 直線の傾斜が大き く,硬い材ほどその傾斜が小さくなる傾向もうかがわれる。このことは硬い材ほど研削量を大きくしよう とすれば,所要動力もまた著しく増加することを示している。

つぎに比重と研削における仕事量 K/g (kw・s) の関係を明らかにするため, 実験 D, H について各樹

種の仕事量 K/g を計算し比重との関係を図にプロットすれば Fig. 36 (1), (2) に示されるようであ る。両者の値にはばらつきはかなりみられるが,研削条件――粒度・研削荷重にかかわらず,おおむね両 者は直線的関係として近似させることができる。このことから,一般的に高比重を研削する場合ほど,研 削の仕事量は比重に比例して大きくなることが明らかに知られる。

6.要約

この実験の結果の主要事項について要約すれば、つぎのようである。研摩帯による研削加工の技術的目 的の一つである厚さの規制・平坦化などいわゆる砥粒による切削作用を行なう場合、直接研削能率に関係 する研削量について研削条件との関係を実験計測し、これらの関係を系統的にまず明らかにした。すなわ ち、研摩帯の研削加工を砥粒による微小切削の集成と考え、供試研摩帯について切れ双を形成する個々の砥 粒分布密度、切れ双間隔を測定し研削加工上考慮すべき研摩帯の品質上の実態とその性能向上の重点を知 る端緒を得た。研削条件としては主として粒度 $G(x_y \rightarrow z_y)$ 、研削圧力 $p(gr/cm^2)$ 、または研削荷重 P(kg)、研削速度 v(m/s) をとりあげ、これらと研削量 g(gr)の関係について、それぞれつぎの実験 公式を得た。

 $gG^n = \text{const.}$

 $g = Ae^{cv}$

 $g=k_1p^{n_1}$ または $g=k_2P^{n_2}$

また、これらの諸因子を総合して、つぎの形式の実験公式の妥当性を確認した。

 $q = P^{f(G)} \cdot e^{f(v)}$

また,同じ研削条件で異なる各種の樹種の研削量について実験した結果,研削量は比重が高くなるにし たがい減少する傾向を明らかにし、本邦産材の比重範囲において研削量の大小で樹種の研削性を代表すれ ば、高比重材ほど研削性が困難になることを確かめた。

つぎに、各条件について正味研削動力と研削抵抗の測定結果を分析し、各因子がこれら諸元におよぼす 影響と傾向を明らかにした。すなわち、研削動力 K(kw) に 影響 を お よぼす支配的因子は研削荷重 P(kg) と研削速度 v (m/s) であつて、研摩帯の粒度 G (mesh)、樹種などの影響は比較的小さい。所要 動力は G, P, v の関数としてつぎの実験公式で示されることを確かめた。

 $K = f(G) \cdot P^{f(G)} \cdot v$

研削抵抗 T(kg) と研削動力 K(kw) との間には, 理論上研摩帯の裏面と荷重面との摩擦係数を μ とすれば理論上,

$$K = \frac{\mu P v}{102} + \frac{T v}{102}$$

の関係が成立するはずであるが、 T の実測値から研摩帯加工の所要動力は実用的に

K = 0.75 Pv/102

として計算しても、その適合性は十分であることがわかつた。

なお,各樹種の研削性を研削仕事量 *K/g*(*kw・s/gr*)としてあらわす場合,高比重材ほどこの値は比重 に比例して大きくなる傾向が認められ,高比重材ほど研削性が困難になることを明らかにした。

- 71 -

文 献

- 1) HAYER, E. T. : Effect of speed and pressure on cutting rate of coated abrasive products. Trans. Amer. Soc. Mech. Eng., 60, 1, (1938) p. 51
- 2) 賀勢 晋・市原敬司: 木材の研削に関する研究, 木材工業, 8,1 (1953) p. 27; 8, 8, (1953) µ. 362
- 3) 木方洋二:木材の研削について,木材誌, 2, 2, (1956) p. 79
- 4) 木下直治:木材の精密加工法の研究,理化学研究所報告,36,5,(1960) p.486
- 5) 木下直治: 木材研摩における表面アラサと研削性について, 木材工業, 11, 11, (1956) p. 15
- 6) 研削加工専門委員会: 砥粒加工に関する文献調査, 精密機械, 14, 11, (1958)
- 7) 小林 昭:研削抵抗の定性的説明,精密機械, 24, 2, (1958) p. 84
- 8) MERKIN, I. K. : Modernising belt sanders. Indust. wood processing, 7, (1959) p. 4
- 9) 中村源一・青山経雄: 木材の削り抵抗について, 林試研報, 93, (1957) p. 69
- 10) NORMAN, C. F., HINKIN, E. W. : Machining wood with coated abrasives. F. P. J. 4, 5, (1954)
- 11) 小野浩二:研削仕上の研究(研削力について),日本機械学会論文集,18,17,(1952) p.15
- 12) PAHLITZSCH, G., DZIOBEK, K. : Untersuchungen über das Bandschleifen von Holz mit geradliniger Schnittbewegung. Holz als R.u.W., 17, 4, (1959) p. 121
- 13) 佐藤健児: 砥削理論, 精密機械, 16, 4-5, (1950) p. 117
- 14) 沢田 稔・辻 完司・近藤孝一: 木材のカタサと圧縮強度の関係, 林試研報, 78, (1955) p. 149
- 15) SCHMUTZLER, W. : Leistungsschaubild für Hobelmaschinen u. Zylinderschleif-maschinen.
- Holz als R.u.W., 15, 6, (1957) p. 263
- 16) 塩崎 進:研削砥石の砥粒分布の分布密度と切残量および面仕上の関係について、日本機械学会論 文集, 18, 74, (1952) p. 10

Studies on Wood Sanding by Belt-Sander (I). Effect of several sanding conditions to abrasion amount, net power required and cutting force.

Gen-ichi NAKAMURA

(Résumé)

Method of experiments

Sanding machine used in this experiment is the hand block belt sander with four driving pulley for abrasive belt and table for sanding material, which is the most commonly used in wood-working. Running speed of abrasive belt is possible at 4 steps—6.1, 7.9, 9.8 and 11.7 m/s by means of changeable pulley connected with driving pulley. Applied load in sanding is given by dead load which is placed on the wooden loading equipment. The tension meter applying magnetostriction was provided on table of sander to measure cutting force in sanding and the watt-meter was used to measure power required in sanding, these apparatuses being arranged as shown in Fig. 1. All samples were measured for weight before and after sanding by the precise balance.

Experiments on sanding were carried out as Test $A \sim I$ shown in Table 2, using abrasive belts with various grit-sizes for various running speeds and applied load for abrasive belt.

Materials

(1) Abrasive belt. Abrasive belts used in this experiment were the endless belts 205 mm wide and 6,890 mm long qualified by the Japanese industrial standard. The kinds of belt used had two kinds of artificial abrasives, namely, aluminum dioxide (WA) and silicon carbide (C), and eight kinds of 40~240 mesh in grit-size.

It is most important to know the distributing density of grits and average interval of scratch caused by grits in sanding in order to discuss abrasion amount. Distributing density of grits was determined by measuring the number of cut-holes corresponding to the grits of abrasive belt per $1 mm^2$ area in cellophane paper, and average interval of scratch was determined by measuring the scratches which appeared on celluloid plate sanded by various grit-sizes of abrasion belt. Fig. 2, 3 show the distributing density and cut-interval of grits respectively for several grit-sizes. The relation of the number of grits per $1 mm^2$ area N and average scratch-interval B (mm) of grits to grit-size G (mesh) is shown in Fig. 4 and is given as the following empirical formula.

$$N=0.1G-2.0$$

 $BG^{0.8}=1.2$

(2) Materials sanded. Materials used for sanding experiments were Japanese wood of 21 species, 4 kinds of plywood produced in the pilot plant of our station and particleboard made in some factory. The related properties on these materials are described in Table 1. These materials were cut into standard test specimens of 100 mm wide, 150 mm long and 15 mm thick.

Consideration of results

1. Abrasion amount g and grit-size G

In this report abrasion amount or abrasion loss g (gr) is defined as the weight difference before and after sanding per $100 \, cm^2$ in sanding area, $10 \, sec$. in sanding time. The results between abrasion amount and grit-size under other similar sanding conditions are shown in Fig. 6, 7, 8, abrasion amount g becoming smaller as grit-size G (mesh) of abrasive belt used is increased. This relation is represented by the following formula:

 $gG^n = k$

The calculated value of n indicates $1.5 \sim 2.1$ and may be considered that it is almost uneffected by species of wood sanded, running speed and load applied on abrasive belt. The calculated value of k is varied by species, sanding conditions and these values n, k are shown in Table 3.

2. Abrasion amount g and running speed of abrasive belt v.

The relation between abrasion amount g(gr) and running speed of abrasive belt v(m/s) is shown in Fig. 12 and is presented in the following formula:

$g = Ae^{cv}$ or $\log g = a + cv$

The calculated values of a, c are shown in Table 4. The values of a vary chiefly gritsize G, the values of c are almost similar for grit-size, species and load applied on abrasive belt. It is considered that the abrasion amount per unit running distance of belt increases with the increase of running speed, because $dg/dv \propto e^{ov}$ from the formula above mentioned. The relation between abrasion amount per 1km running distance of belt and running speed v (m/s) is shown in Fig. 13.

3. Abrasion amount and applied load or pressure.

The maximum load applied on abrasive belt $P_{max}(kg)$ is given as follows :

$P_{\max} \leq \eta \sigma b$

where; η : safety factor, σ : tensile strength of abrasive belt (kg/cm), b: width of abrasive belt (cm).

In this experiment, maximum load was given within 6 kg, because of the capacity of driving motor. The relations between applied load P(kg) or applied pressure $p(gr/cm^2)$ on abrasive belt and abrasion amount are shown in Fig. 14, 15, 16 and they are presented

- 74 -

in the following formula :

 $g = k_1 p^{n_1}$

The calculated values of k_1, n_1 are shown in Table 5 for *Picea* and *Betula* under several sanding conditions. This formula may be similarly applied in the case of sanding on plywood or particle board.

4. The relation of abrasion amount to grit-size, running velocity and applied pressure of abrasive belt.

As above mentioned, factors such as grit-size, running speed and load applied of abrasive belt affecting abrasion amount were individually considered and these relations presented as an empirical formula calculated as faithfully as possible for experimental measured values. Resulting systematic discussion on these relations of each factor, the relation between abrasion amount g (gr) and grit-size G (mesh), running speed v (m/s), applied, pressure p(gr/cm²) of abrasive belt is represented by the following formula:

$g = p^{f(G)} \cdot e^{f(v)}$

Fig. 20 shows this relation as alignment monogram.

5. Sandability of each species.

Abrasion amount decreases with the increase of specific gravity of wood sanded. This relation under similar sanding condition can be expressed approximately as linear within limits of a small range in specific gravity or as hyperbola for a wider range in specific gravity. Fig. 21, 22 show these relations. The values of ratio of abrasion amount to specific gravity for each species are considered an index of sandability for wood, so they are indicated as Fig. 23.

6. Power required and running speed of abrasive belt.

Net power required in sanding increases with the increase of running speed of abrasive belt as shown in Fig. 24.

7. Power required and applied load.

As power required K(kw) in sanding increases with the increase of load applied P(kg) on abrasive belt seen in Fig. 25, this relation connecting running speed can be presented in the following formula.

$K = aP^n.v$

The calculated values of a, n are functions of grit-size resulting from experimental data, so the following formula will give the relation of power required to main sanding factors.

$$K = f(G)P^{f(G)}.v$$

Fig. 27 shows this relation as alinement monograph.

8. Cutting force of sanding.

As in the case of cutting by tools, a specimen sanded is given pulling force by cutting operation of grits in abrasive belt. This pulling force was measured by tension meter and defined as cutting force of sanding in this paper. As the relation between cutting force and grit-size shows in Fig. 29, the cutting force decreases with the increase of grit-size, but in the case of 40, 60 mesh, cutting force decreases more than in the case of 80 mesh. This may be due to the fact that grits such as 40, 60 mesh tend to drop in sanding and can not exhibit their maximum ability within the range of conditions in this experiment. Running speed does not have any noticeable effect on cutting force, as shown in Fig. 30, but cutting force increases linealy with the increase of load applied, and also power required in sanding tends to increase with the increase of cutting force. The ratio of cutting force T'(kg) and load applied P(kg) on sanding surface is considered dynamic friction coefficient in sanding. The values of (T/P) shown in Table 14(1)(2)(3).

9. The relation between power required and cutting force. Power required K(kw) in sanding can be theoretically calculated by the following equation:

$$K = \frac{\mu P v}{102} + \frac{T v}{102}$$

Here μ : coefficient of friction between back face of abrasive belt and surface of loading equipment, P: load applied (kg), T: cutting force (kg), v: running speed of abrasive belt (m/s), $1 kw = 102 kg \cdot m/s$

As previously mentioned, power required in sanding is determined on the basis of ex-

periment as the function of P, v and grit-size, so we can obtain the following value, equaling and transforming both equations.

$\mu + (T/P) \approx 0.5 \sim 0.9$

The value of (T/P) is approximately 0.3~0.7, as previously stated, so we can obtain 0.2~0.3 as the calculated value of μ . The calculated value of μ is assumed a proper value as coefficient of friction in sanding.

As power required K can be expressed as $K = \zeta P v / 102$, the following equation is obtained.

$$\zeta = \mu + (T/P) \approx 0.5 \sim 0.9$$

Therefore we can approximately estimate power required from the following formula: $K{\doteq}0.75Pv/102$

10. The relation between abrasion amount and power required.

The relation between abrasion amount and power required is shown in Fig. 33 and presented in the following formula for betula and fraxinus under running speed $6.1 \sim 11.7 \ m/s$, applied load $1.5 \sim 5.5 \ kg$.

$K = 0.28g^{0.73}$

This tendency shows similarly in the case of another test. The value of (K/g) increase with the increase in specific gravity as shown in Fig. 36 (1)(2).