

単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXIII)*

フリッチの断続ロータリーカット方式における単板高速切削現象の変化に及ぼす切削速度の影響を解明するための高速切削実験装置の試作

杉 山 滋

長崎大学教育学部技術教育講座

(平成14年10月31日受理)

Studies on Veneer Cutting Machine (XXIII)*

Cutting Apparatus for Studies upon Effects of Cutting Velocity on Cutting Phenomena in Rotary Veneer Cutting of Flich

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology, Faculty of Education,

Nagasaki University, Nagasaki 852-8521

(Received Oct. 31, 2002)

Abstract

Experiments have been performed by many researchers^{1)~8)} on the effects of cutting velocity on the process of wood machining, and it is known that these results differ from each other according to the kind of wood-working machines used, in the experiments. For instance, some results show practically no effect on cutting force^{2),6)}, whereas others show a curve with a minimum value of cutting force at some velocities⁵⁾, or a gradual decrease with an increase in cutting velocity^{1),4),7),8)}. In order to obtain fundamental data on the effects of cutting velocity on chip formation, cutting force and frictional coefficient, an experimental apparatus was designed for cutting tests (Fig. 1). The range of cutting velocity (V) employed in these tests were from 0.0023 to 52.53 m/sec. The depth of cut (feed of tool per revolution of a steel disk) was varied from 0.3 to 0.7 mm by varying the speed of the feed carriage in combination with two variable-speed motors and some pulleys (Fig. 1).

1. 緒 言

木材の機械加工工程では、切削速度は、切削能率ならびに切削加工面や単板の品質に影響を及ぼす重要な因子の一つとされている。近年のように、未利用輸入外国産素材（原木）の一次加工に加えて硬質木質材料の二次加工も盛んに行われ、しかもそれらを機械加工する切削機械の精度が向上してくると、つぎには、切削速度の増加が要求されてくる。

* 前報「単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXII) Studies on Veneer Cutting Machine (XXII)」は、長崎大学教育学部紀要 - 自然科学 - 第67号 45~51 (2002. 6)に掲載。

このような切削速度の問題については、切削現象や切削抵抗との関連で、古くから多くの研究者によって検討が重ねられてきた。これらの研究は、比較的低速度域（0～10 m/sec）^{1)~4)} と比較的に広い速度域（0～50 m/sec）^{5)~8)} の実験に大別される。このような切削速度の範囲の相量に加えて、実験条件の違いなどにより、切削速度の影響についての定説が得られるまでに到っていない。例えば、切削抵抗は切削速度の増加に伴い減少する^{1),4),7),8)}、一定である^{2),6)}、あるいはそれ以外（減少・増加の両過程をたどる）⁵⁾ などの実験結果が報じられている。一方、切削抵抗から算出される摩擦係数は、切削現象に重要な係わりがあると考えられるが、これらの切削速度依存性については、全く追究されていない。

ところで、木材の破壊の進行速度は1,000 m/sec前後である⁹⁾ から、これと同程度あるいはそれ以上の切削速度が得られるならば、木材の切削機構を検討するうえで興味深いが、現実的には、切削速度は一般的な実用機械の剛性を考慮すれば、60～70 m/sec程度であり、この速度までの切削現象の解明がまずなされなければならない。そこで本研究では、低速度域から高速度域までの比較的に広い切削速度の範囲で、木材（フリッチ）の断続的なロータリーカット方式による単板の高速切削現象を実験的に検討し得る高速切削実験装置を試作することとした。

2. 実験装置の試作および切削実験方法の検討

試作した高速切削実験装置を Fig. 1 に示す。同装置は回転するスチールディスク①と、切削抵抗を測定するための八角形弾性リング荷重装置⑤を装備した工具送り装置⑥とから構成されている。試験片②は、スチールディスクの外周中に固定され、また、工具③は、八角形弾性リング荷重装置上に取付けられた工具保持台④に一定の逃げ角 α を保つように固定されている。スチールディスク①、工具送り装置⑥は、それぞれ3馬力、2馬力の無段変速機⑬、⑭の回転によりウエッジベルト⑭、⑮を介して駆動する。したがって、この装置による切削では、切込量 t (mm) はスチールディスクの回転数 n (r.p.s.) と工具の送り速度 f (mm/sec) によって、次式のように決定される。

$$t = f / n \quad (1)$$

切削実験は、つぎの手順で行う。工具送り装置前後移動ハンドル⑩および左右移動ハンドル⑪を用いて、試験片と工具の位置を定め、さらに、工具送りのための無段変速機⑬の電源遮断スイッチ⑧および工具送り瞬間停止装置⑨の調整により、試験片の最終切削位置を確かめた。そのうち、所定の t が得られるように、両無段変速機⑬、⑭の回転数を調整したのち、それらの回転により、数回のならし切削ののちに、切削実験を開始できる。

切削中の切削抵抗の変化は、八角形弾性リング荷重装置に貼付されたストレインゲージによって、同リングの微小な相対変位として検出される (Fig. 2)。後述するように、それらを直流増幅器を介してフォトコーダまたはシンクロスコープに描かせた。

このような切削方式では、Fig. 3 に示すように、工具切れ刃刃先に対して、試験片の切削面が円弧を描くため、1回の切削中に試験片の繊維傾斜角 φ_1 が変化する（1試験片の切削長さにおいて、切削の初め、終りおよび中央部における繊維傾斜角の変化を $\varphi_{1(a)}$ 、 $\varphi_{1(c)}$ および $\varphi_{1(b)}$ とする）。一例として、Fig. 3 のように、試験片の中央部における φ_1 の変化（即ち、 $\varphi_{1(b)}$ ）が 0° の切削（切削方向と繊維走向が平行する場合、即ち、縦切削）を

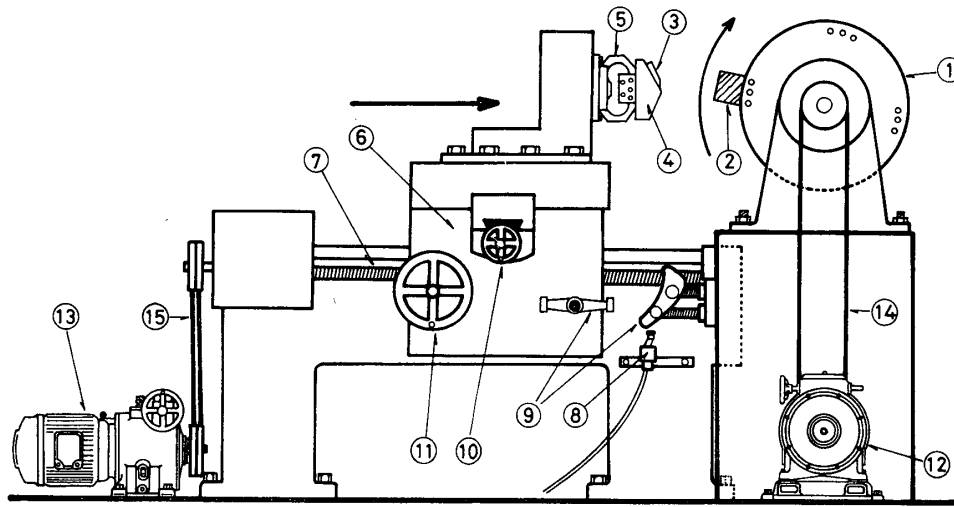


Fig. 1. Experimental apparatus for orthogonal wood cutting test in this study (side view).

①: steel disk; ②: test specimen; ③: tool; ④: base for fixing tool ③; ⑤: octagonal elastic-ring dynamometer for measuring cutting force components; ⑥: feed carriage; ⑦: lead screw; ⑧: circuit breaker for cutting off electric power source; ⑨: equipment for interrupting revolution of lead screw ⑦; ⑩ and ⑪: handles for cross feed of tool ③ and traverse feed of feed carriage ⑥; ⑫ and ⑬: variable speed motors; ⑭ and ⑮: wedge belts.

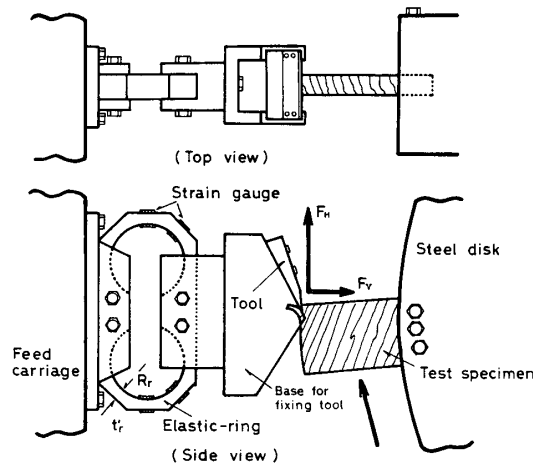


Fig. 2. Close-up view of experimental apparatus and method for measuring cutting force components.

F_H and F_V : horizontal and vertical components of cutting force; R_r and t_r' : radius and thickness of elastic-ring.

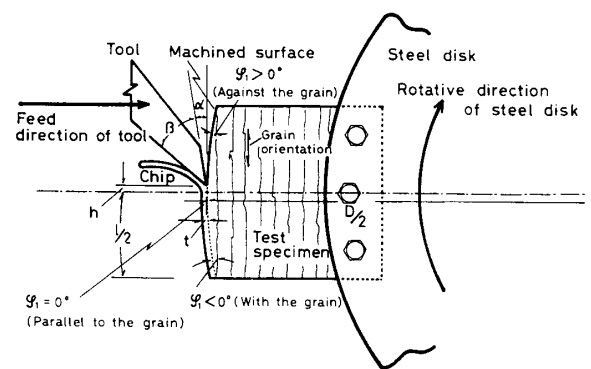


Fig. 3. Relative grain orientation of test specimen to cutting direction.

φ_1 : angle of grain orientation to machined surface (grain angle); $D/2$: radius from axis of rotation of steel disk to machined surface of workpiece; l : cutting length; h : distance between tool edge and center line of steel disk; α and β : clearance and sharpness angles of tool; t : depth of cut.

考えてみた場合、切削の初めと終りにおける φ_1 の変化（即ち、 $\varphi_{1(a)}$ と $\varphi_{1(c)}$ ）は、次式で表し得る（順目切削となる場合を $\varphi_1 < 0^\circ$ 、逆目切削となる場合を $\varphi_1 > 0^\circ$ とする）。即ち、スチールディスクの回転軸から円弧を描く試験片の切削面までの距離を $D/2$ (mm)、切削長さを l (mm) とすると、切削の初めと終りにおける φ_1 の変化 ($^\circ$) は、添字を除いて示すと、

$$\varphi_1 = \pm (180 l) / (\pi D) \quad (2)$$

となり、 D と l とに左右されることになる。また、この切削方式は、いわゆる衝撃的断続切削であるから、最初の切込み時における切削抵抗のために、試験片の繊維走向に沿った割れが発生し得る。このような切削長さに現れる φ_1 の変化と切削初期の割れを防止するため、試験片の形状をつぎのように工夫した。 $\varphi_{1(b)} > 0^\circ$ 、あるいは $\varphi_{1(b)} = 0^\circ$ の切削で

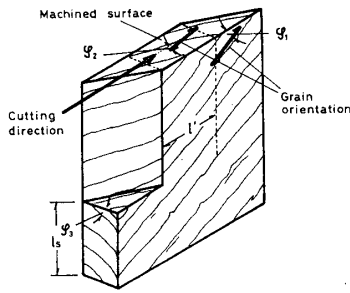


Fig. 4. Shape of test specimen used for this study.

φ_1 : grain angle (refer to Fig. 3); φ_2 : inclination of diagonal grain in machined surface to cutting direction; φ_3 : angle of annual rings to machined surface; l' : cutting length for measuring cutting force; l_s : part of test specimen fixed in steel disk.

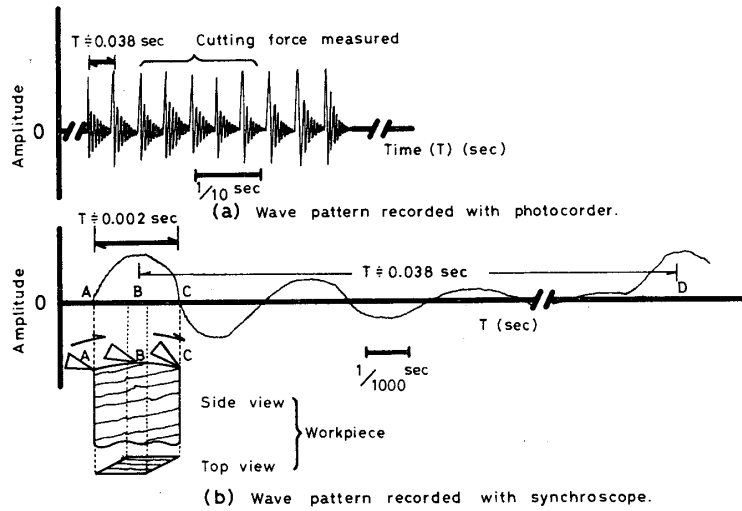


Fig. 5. Examples of wave patterns of horizontal component of cutting force recorded.

Cutting conditions: V (cutting velocity) = 40.5 m/sec; n (revolution of steel disk) = 25 r.p.s.; t (depth of cut) = 0.7 mm; φ_1 (grain angle) = -10° (with the grain); workpiece: air-dried hinoki wood.

は、先割れがそれぞれ母材内部へ、あるいは切削方向と平行した方向へ侵入するため、試験片の一部の飛散が起る。これをも防止するため、実験に際しては、 $\varphi_{1(b)} < 0^\circ$ の切削を行うことが望ましく、そのための試験片の形状を、Fig. 4 に示すような特異な形状とした。即ち、試験片の初めと終りの部位を鋭角のV字形に切り落とし、中央の平行部分の長さ l' (切削抵抗の測定長さ) を短く (例えば、20 mm程度に) した。これにより、切削の初めと終りの不安定な切削状態での切削抵抗が極めて小さくなるから、試験片中央部分の安定した切削状態における切削抵抗の測定が容易となる。しかも、切削抵抗を測定する小さい l' の範囲における φ_1 の変化は、予め D を特定の大きさと、しかも狭い範囲に限定しておけば、極めて僅少となる。例えば、 $D = 520$ mm, $l' = 20$ mm の場合では、 l' の範囲における φ_1 の変化は $\pm 2.2^\circ$ である。

切削速度 V (m/sec) は、 n (r.p.s.) および D (mm) を用いて、近似的に次式で表される¹⁰⁾。

$$V = \pi \cdot n \cdot D \quad (3)$$

(3)式から明らかなように、この切削方式では、毎回の切削で D が減少し、それに伴って V の変化が起る。 V の変化を僅少に保つため、 D を特定の狭い範囲に限定し、その範囲での切削から切削現象の観察・測定を行えばよいことになる。例えば、 $D = 620 \sim 606$ mm の範囲に限定し、その中央の $D = 613$ mm での V を平均切削速度とすれば、上記の D の範囲における平均切削速度の誤差は $\pm 0.85\%$ 以内となる。

また、この切削方式では、スチールディスクの回転軸を通る水平線に対する工具切れ刃刃先のセット位置 h が問題となる。Fig. 1, Fig. 2 に示したように、工具はその保持台に一定の逃げ角 α となるように固定されているが、切削の進行に伴い、 h と D の関係によって α の変化 α' が起る¹¹⁾。また、 α' に関連して、 t に対する切屑 (単板) の厚さの変化 t' も起る¹¹⁾。 α' および t' を僅少に保つためには、 h は $t / (2\pi)$ だけ水平線より離れた位置 (Fig. 3 に示すように、水平線より上側の位置) にセットする必要がある^{10), 11)}。しか

し、 t の大きさが比較的小さく（例えば、 $t=0.7$ mm程度）、1 試験片当りの切削抵抗などの測定回数も極めて少なく（即ち、 D の変化が小さい）、しかも、切削抵抗などの測定長さ l' も小さいときには、 $h \approx 0$ mmに工具切れ刃刃先をセットすればよいことになる。

つぎに、切削抵抗を測定するための八角形弾性リング荷重装置の特性について検討してみる。切削抵抗を測定するための荷重装置には、種々の項目が要求されている¹²⁾が、それらの中で、切削抵抗に対する追従性が充分大きいこと、即ち、高感度であると同時に高剛性であることが要求される。前記したように、この切削方式では、衝撃的断続切削であるため、切削初期の切削抵抗が強制的な加振力となって工具の振動をひき起す。工具は、Fig. 2に示すように、その両端がボルトで締めつけられ、かつ全体が工具保持台に支えられ、しかも工具の切れ刃線長さが試験片の切削幅に対して充分大きいから、このような工具による切削抵抗の大きさから考えて、工具は比較的高剛性であると考えられる。したがって、このような切削では、工具の振動は八角形弾性リング荷重装置の振動と考えられるから、同装置の振動が毎回の切削抵抗の測定にいかなる影響を及ぼすかを究明することが必要となる。そこで、同装置の固有振動数の測定とその振動波形の検討を行ってみた。

強制的な加振力（切削抵抗）を与えたときの八角形弾性リング荷重装置*1の振動波形の一例（比較的激しい切削条件、即ち、 $n=25$ r.p.s., $V=40.5$ m/sec, $t=0.7$ mm, ヒノキ気乾材を $\varphi_1 = -10^\circ$ で切削したときの例）をFig. 5に示す。図は、フォトコーダとシンクロスコープを使用して測定した振動波形の模式図である。両波形から明らかなように、試験片の切削面の両端が鋭角なV字形に切り落されているため、切削面の中央部での切削抵抗が極めて大きく記録されている。また、振動波形は、切削時に最大の振れを示したのちは自由減衰振動を呈する。シンクロスコープに描かれた振動波形から、切削方向と平行および垂直な方向（Fig. 2の F_H , F_V の方向）の固有振動数を求めると、いずれの方向も約260 Hzであった。切削抵抗の測定には、データ処理の便利さから直流増幅器およびフォトコーダを使用するが、同増幅器およびフォトコーダのガルバノメータの応答周波数はそれぞれ2,000 Hz, 400 Hzであるから、切削抵抗の各測定値は八角形弾性リング荷重装置の固有振動数に制限されることになる。

1回の切削が終り、つぎの切削が開始されるまでの間に、八角形弾性リング荷重装置の減衰振動が十分に収束していることが望まれる。そこで、Fig. 5の振動波形から対数減衰率 λ を求め、その値に基づいて切削抵抗の大きさに及ぼす同装置の減衰の程度の影響を明らかにした。減衰振動の波形において、最初の振れを a_1 , i 回目の振れを a_i とすると、 λ は、

$$\lambda = (\ln a_1 - \ln a_i) / (i - 1) \quad (4)$$

で与えられる。 λ は、切削方向と平行・垂直いずれの方向とも0.29であった。 a_i の a_1 に対する割合 r は、

$$r = a_i / a_1 = e^{-(i-1)\lambda} \quad (5)$$

で求められ、Fig. 5の切削条件の場合、 $i=19$ と仮定すると（実際は、 $i=19$ に到る中間でつぎの切削が起っている）、切削方向と平行・垂直いずれの方向も $r=0.005$ となる。即ち、

*1 八角形弾性リング荷重装置の剛性および感度は、リングの内径 R_i と肉厚 t_i' に直接左右される。この研究では、 $R_i=25$ mm一定として $t_i' = 3, 5, 6$ および8 mmの各リング（材質はいずれも機械構造用炭素鋼S45C）を用意し、予め荷重計としての剛性、感度について調べた。その結果、 $t_i' = 8$ mmのリングは比較的低感度であるが、他のリングに比べて高剛性であることが判ったので、同リングにストレーンゲージを貼付し、8ゲージ法にて結線し、感度を増加させた。以下、このリングを用いることとする。

1回切削したのち、つぎの切削には最大で0.5%程度の切削抵抗の増加または減少の誤差があることを意味する。したがって、この切削速度 ($V=40.5$ m/sec) より早い速度では、誤差が0.5%より大きくなることが予想されるが、遅い速度では、誤差は極めて僅少であり無視できる。

一方、スチールディスクに取付けられた試験片側の切削に伴う振動も自由減衰振動を呈するが、その固有振動数は、切削方向と水平・垂直方向ともに約300 Hz、 λ は水平・垂直方向ともに0.30であった。したがって、試験片側の固有振動数と λ などの大きさから考えて、1回目の切削が終了したのち、つぎの切削が開始されるまでの間に、試験片側の自由減衰振動は、殆ど影響を与えない程度に減衰していると考えられる。

3. 結 言

高速切削実験装置を試作し、同装置による切削実験の方法を検討した。同装置による切削条件の変動を僅少に保つ方法を考案し、また、切削抵抗測定装置の剛性と感度の実測結果を考慮して、この試作した高速切削実験装置で使用可能な切削速度 (V) の範囲を決定した。これらの結果に基づいて、フリッチの断続的なロータリーカット方式による単板の高速切削実験を行うことができ、切削現象、切削抵抗およびすくい面の摩擦係数 (μ) の変化に及ぼす V の影響を検討することが可能となった。

文 献

- 1) W. Jacobsohn: *Maschinenbau Der Betrieb*, 8, 657 (1929).
- 2) 坂井秀春: “木工刃物”, 日刊工業, p. 55 (1958).
- 3) 林 大九郎, ほか2名: 第27回日本木材学会大会研究発表要旨, p. 233 (1977).
- 4) H. Inoue and M. Mori: *Mokuzai Gakkaishi*, 25, 22 (1979).
- 5) B. Thunell: *Holz als Roh- u. Werk.*, 9, 11 (1951).
- 6) E. Kivimaa: *ibid.*, 10, 94 (1952).
- 7) G. Pahlitzsch und K. Schulz: *ibid.*, 15, 159 (1957).
- 8) 林 大九郎, ほか2名: 第26回日本木材学会大会研究発表要旨, p. 129 (1976).
- 9) 梶田 茂: “木材工学”, 養賢堂, p. 346 (1961).
- 10) 林 大九郎: 東教大農学部紀要, 8, 179 (1962).
- 11) 黄 彦三: 木材工業, 26, 213 (1971).
- 12) 白井英治: “切削・研削加工学(上)”, 共立出版, p. 245~249 (1978).