

木材切削における被削材面に現れる節の切削 に関する基礎的研究 (I)^{*1}

節の切削面・切削方向に基づく節の切削の分類

杉 山 滋

長崎大学教育学部工業技術教室

(平成3年2月28日受理)

Fundamental Studies on Cutting of the Knot on the Cutting Surface
of the Workpiece in Wood Cutting (I)^{*1}

Classification of Cutting of the Knot Based on the Cutting Surface of
the Knot and the Cutting Direction of the Knife

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology, Faculty of Education,

Nagasaki University, Nagasaki 852

(Received Feb. 28, 1991)

Abstract

Knots and the grain deviation around knots affect machinability and surface properties. Therefore, it is necessary to make clear the relation of three-dimensional grain orientation surrounding knots to machinability and surface properties. However, it is very difficult to measure three-dimensional grain angle of knots, machinability of knots and the area having the grain deviation around knots, and surface properties. And thus the major objective of this study is to obtain several basic information on machinability of knots. In this paper, cutting types of knots based on the cutting surface of knots and the cutting direction of the knife is classified. And using its classification, the effects of the grain orientation of knots upon the cutting characteristics of knots are discussed.

*1 本研究を「木材の切削機構および切削抵抗の力学的解析に関する基礎的研究(その11) Fundamental Studies on Analysis of Cutting Mechanics and Cutting Force in Wood Cutting, XI.」とする。前報(その10)は、長崎大学教育学部自然科学研究報告 第45号 57~78 (1991)に掲載。

1. 緒 言

樹木は、その樹冠に絶えず1～2個の芽をつけているが、これが活動しはじめると、枝として生育する。生長期の枝は、枝の組織と枝の周囲の樹幹の組織とは互に類似し、それらは互に密接な関係を保っている。樹幹の肥大生長により、枝が樹幹の材中に含包された部分を節という。また、節の周囲、即ち樹幹に包含されている枝の周囲に存在する組織は、樹幹の肥大生長に伴って積み重なって互に交錯し、節の周辺で三次元的な繊維走向を形成する。このような節の周辺における繊維走向の乱れ（即ち、繊維走向の複雑な交錯）を節ばかまというが、節の加工性の低下には、節そのものとともに、このような節の周辺の繊維走向の乱れも大きく影響すると考えられる。

木材加工のいろいろな工程で、刃物による加工（即ち、切削加工）は避けられず必要不可欠となっているから、樹幹に包含されている節を切削する場合が少なからずあり得る。このような有節材を切削加工する場合には、切削機械側から考えれば、節の切削性が問題となるが、被削材（この場合は節を包含した有節材）側から考えれば、節そのものの被削性のほかに、節の周辺の節ばかまの被削性が問題となるばかりでなく、節と節ばかまの被削性とそれ以外（即ち、有節材における無節材部）の被削性との関係が問題となる。

樹幹からの木材の木取りの仕方や木材の加工方法などによって当然異なるが、材中に包含された節はいろいろな角度から切削される。したがって、節の切削を研究するには、節そのものの材質に基づいた分類を行うことが必要であると同時に、材中に包含されている節の走向（節を構成する要素の走向のことで、以下では、節の繊維走向ともいう）と、節の切断面および刃物の切削方向との関係を明らかにし、これに基づいた節の切削の分類を行うことが必要となる。分類の結果に基づいて、節の切削を一つひとつ行い、節の切削についての基礎資料を収集することが、有節材を切削加工する切削機械側からの切削性を向上するうえでも、また、有節材側の被削性を向上するうえでも必要なことと考えられる。

そこで本研究では、実際の有節材を用いて切削実験を行うに先だち、節の繊維走向と節の切断面および刃物の切削方向との関係から節の切削の分類を、ある一つの限定した立場から明らかにすることを試みた。

2. 節とそれの切削について

樹木は、生長するにつれ枝を生じ、樹冠を繁茂させて生育するが、樹齢の若いうちは樹幹の全長にわたり生枝を有するため、この枝の包含された樹幹内における節は生節となる。しかし、樹幹の生長が進むにつれ、下方の枝は次第に枯死し、これに伴い樹幹内における節はやがて死節と化してゆく。生節の生じる材部を樹冠材といい、死節の生じる材部を枝下材という。枝下材の外側に生長する材部は、枝下材でも無節材部となる（図1(a)および図1(b)）。図より明らかなように、樹幹からの木材の木取りの仕方により、採取された木材中には、生節が含まれる場合、死節が含まれる場合、それらの混在する場合、または無節となる場合があることになる。

樹幹の生長過程、即ち枝の生長過程を考えれば、節には、単節（1個の節のみで材中に

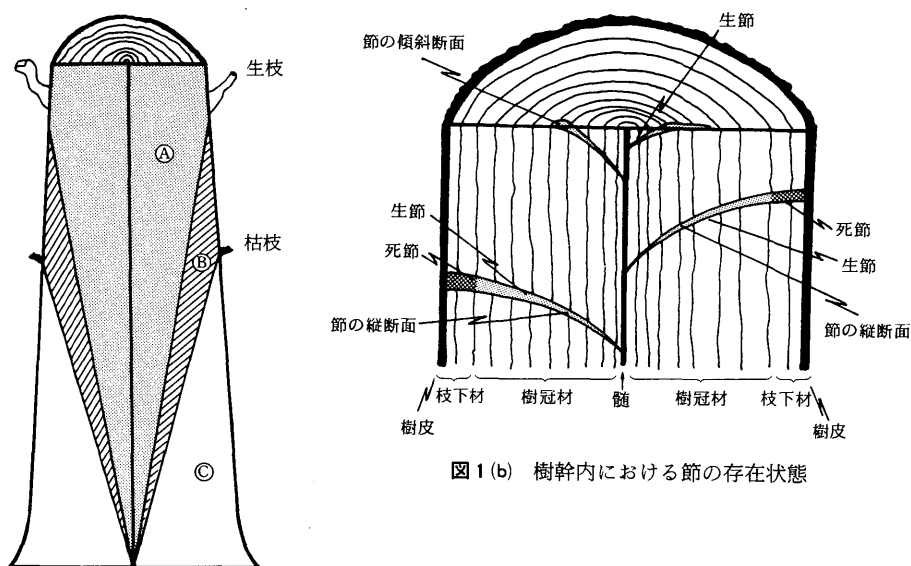


図 1 (a) 樹幹内における幹の生長、枝の枯れる経過および節の存在状態

Ⓐ：樹冠材（生節の部分）；Ⓑ：枝下材（死節の部分）；Ⓒ：枝下材（無節の部分）

走向する場合)や、群節(2個以上の節が集合して走向する場合)、さらには、分岐節(2個以上の節が共通の中心から分岐して走向する場合)、などがある。これらには、上記のような生節、死節のほか、抜節や腐れ節などがある。一方、材面における節の現れ方から考えれば、節には、小節、大節、丸節、楕円節、流れ節、隠れ節などがある。材中における節はこれらの数々の組み合わせで出現するほか、同じ種類、同じ形状の節であっても、節の物理的・化学的性質が一つひとつ異なるし、節の切削位置によっても上記のような節の性質や形状などが変化してくる。

節についての研究は、これまでに数多く着手されている。とくに、節による強度の低下については数多くの研究成果が報じられているが、切削性の低下については若干の研究例はあるが、具体的な資料などの蓄積も乏しく、これについては詳細に論じられるまでには至っていない。節の切削性についての究明が未着手の状態が続いているが、その原因の一つとして節の切削実験の困難さが考えられる。その主なものを挙げると、(1) 刃物(ナイフ)切れ刃刃先の損耗を伴い易く、ナイフ切れ刃の切れ味を一定の状態に保って実験を行うことが難しい。(2) 節を含んだ試験片を作成し難い。(3) 節を切削するにあたり、切削基準面を作成し難い。(4) 無節材部の切削実験では、ほぼ同程度の材質の試験片が多数作成できるが、節では同じ材質のものが存在しない。したがって、実験条件を変化させての切削実験に相当する試験片を作成できない。(5) 無節材部の切削よりも節の切削では、一回一回の切削で切削現象の変化が著しい。(6) 節の種類が多く、同種同材質の節は存在しない。(7) 節のみならず、節ばかまも切削が難しい。(8) 節自体の切削力の測定が難しい。(9) 材面に現れる節が同じ形状・種類のものであっても、節一つひとつは材質が異なる場合が殆どであり、その周囲の節ばかまも異なる。(10) 一つの節の切削でも、毎回毎

回の切削で、節の材質や形状、および切削面や切削方向が刻々と変化する。

以上のように、節の切削実験は種々の困難を極めているが、このような状況の下で、節自体の切削性を究明することには大きな意味はなく、むしろ、節、節ばかまおよびそれらを包含している材（即ち、無節材部）との切削性の相異を明らかにすることが重要であり、それらと、切削面や切削方向、さらには、種類、形状や材質との関係を明らかにすることが、木材を加工するうえで大きな意味をもつ。

そこで本研究では、単節で、節の形状や材質が変化せず一定であると仮定し、このような限定した条件下で節の繊維走向と切削面・切削方向との関係により、節の切削にはどのような場合があるかを明らかにし、同時に、節の切削の分類を行ってみる。

3. 切削面・切削方向に基づく節の切削の分類

節の切削実験を行うには、その被削材中に包含される節の種類、形状、寸法、材質を明らかにしておく必要があるが、それとともに節が包含される被削材（無節材部）との位置関係、即ち被削材中における節の繊維走向と切削面・切削方向との関係をも明らかにして

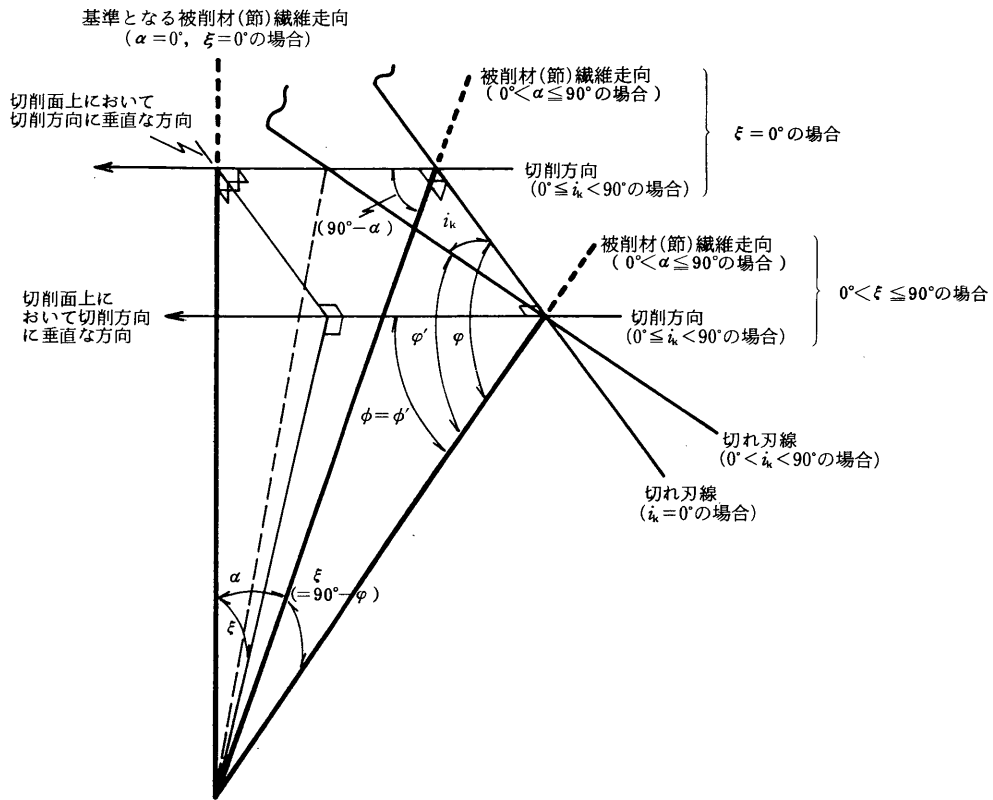


図2 被削材(節)の基準となる繊維走向 ($\alpha = 0^\circ$ および $\xi = 0^\circ$ の場合) に対する被削材(節)の実際の繊維走向とその切削

おくことが必要となる。とくに、被削材中に包含される節の走向は複雑であり、節の切削はいろいろな場合があるから、節の繊維走向と切削面・切削方向との関係から節の切削を明確な表示方法で分類・整理しておくことが、この種の研究を行うにあたり、まず最初に着手しなければならない課題である。本研究では、被削材として節をとりあげ、節の切削を切削面・切削方向を基準として、つぎのようなある限定した立場から分類を試みる。

いま、被削材中に包含されている節が単節であり、その形状や材質などの違いを考慮に入れず、節の繊維走向のみがある一つの基準とする節の繊維走向からずれを生じている場合の切削を考えることとする。即ち、基準となる節の繊維走向の基部を中心として、いろいろな角度でずれを生じている場合を想定し、そのような節の切削を考えてみる。基準

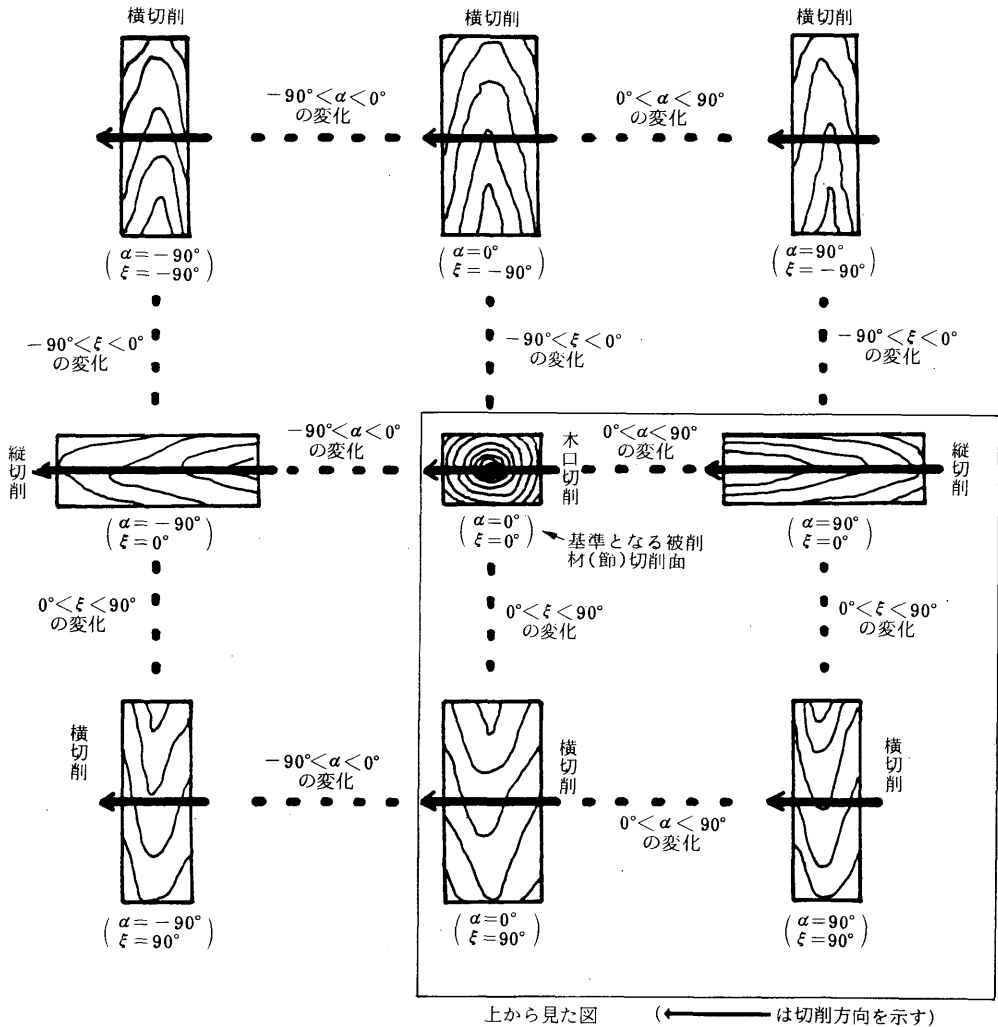


図3 基準となる被削材(節)繊維走向($\alpha=0^\circ$ および $\xi=0^\circ$ の場合)に対する被削材(節)繊維走向傾斜角 α および ξ の変化に伴う被削材(節)切削面の変化の様子

基準となる節の横断面(木口面)は丸い断面形状で表すのが一般的と考えられるが、節の断面の変化ならびにそれと切削方向との関係などを明確にするため、この研究では、節の横断面を矩形で表現した。

となる節の繊維走向に垂直な切削，即ち節の横断面（木口）切削を基準として，上記のように節の繊維走向が基準となる節の繊維走向よりずれを生じた場合に，節の切削面や切削方向に対する節の繊維走向がどのように変化するか，を明らかにする。

図2に示すように，基部を共有し，基準となる節の繊維走向に対する節の繊維走向のずれの角度を繊維走向傾斜角とする。繊維走向傾斜角は，基準となる節の繊維走向に垂直な切削（即ち，横断面（木口）切削）を基準とし，そのときの基準となる節の繊維走向と，今回対象としているずれを生じた節の繊維走向との交差角度であり，切削方向に平行方向の傾斜角を α ，切削方向に垂直方向の傾斜角を ξ とする。繊維走向傾斜角 α および ξ を用いると，基準となる節の繊維走向に垂直となる節の横断面（木口）切削は， $\alpha=0^\circ$ および $\xi=0^\circ$ の場合をいう。実際の被削材中に包含される節の切削は， $\alpha=0^\circ$ および $\xi=0^\circ$ の場合（即ち，節の横断面（木口）切削の場合）を基準として， $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ および $-90^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲の α および ξ のいろいろな組み合わせで，節の全ての切削を表すことができる。

樹幹内における節の存在状態（図1(b)参照）から考えれば，容易に理解できるように，被削材面に現れた節の切削には，いろいろな場合があるが，概ね図3*2に示すように表し得る。図3は，切削方向を一定にし， $\alpha=0^\circ$ および $\xi=0^\circ$ の場合（節の横断面（木口）切削の場合）を基準として， α および ξ がそれぞれ $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ および $-90^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲で変化する場合を図解したものであるが，節の切削はこれらのいずれかの場合に該当する。

なお，本研究では，切削方向を基準として α ， ξ および i_k （三次元切削におけるバイアス

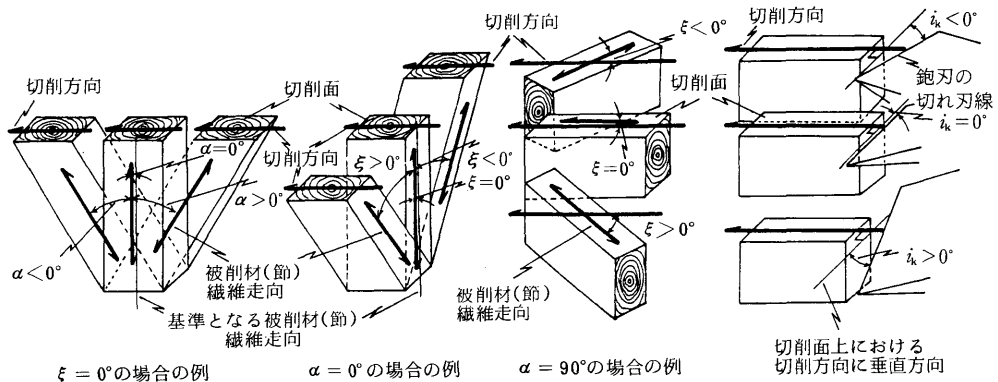


図4 被削材(節)繊維走向傾斜角(α および ξ)およびバイアス角 i_k の詳解模式図

α および ξ : 図2および図3参照。 i_k : 切削面上における切削方向に垂直な方向を基準として，その方向と鉋刃の切れ刃線との交差角度がバイアス角であり，鉋刃の切れ刃線が切削面上の切削方向に垂直な方向を基準として左回りに傾斜している場合を $0^\circ < i_k < 90^\circ$ とし，右回りに傾斜している場合を $-90^\circ < i_k < 0^\circ$ とする。

*2 図3は，節の切削の場合に限定することなく，一般の被削材の切削の場合にも適用できる。一般の切削の場合には，図3における矩形的被削材を一つの材料あるいは一個の試験片（無節材部の試験片）と考えると，基準となる $\alpha=0^\circ$ および $\xi=0^\circ$ の場合（即ち，被削材の横断面（木口）切削の場合）から， $-360^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ および $-360^\circ \leq \xi \leq 360^\circ$ の範囲内での α および ξ の組み合わせで決定されるいろいろな切削を全て表現できることになる。しかし，切削現象および切削力の変化の傾向，変化の程度などから考えれば，このような被削材の切削は $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ および $-90^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲での α および ξ の組み合わせで充分決定し得る。なお，被削材中に包含された節の切削の場合には，実際の節の存在状態から考えて， $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ および $-90^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲内での α および ξ の組み合わせで節の全ての切削を表現できる。

角)の符号は、便宜上、**図4**のように定義している。**図3**における枠で囲んだ範囲、即ち $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ および $0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲における α および ξ の変化に伴う節の繊維走向の変化の例を、**図5**に示した。

このような α および ξ のいろいろな組み合わせにより、基準となる節の繊維走向に対して、今回、対象としている節の繊維走向の三次元的なずれの程度を表すことができる。いま、**図2**、**図3**および**図5**において、基準となる節の繊維走向から、その繊維走向が三次元的にずれた節の切削を考えるとき、鉋刃の切れ刃線に対する節の繊維走向交差角を、三次元切削の場合(特別な場合を除いて、煩雑になることを防ぐため、 i_k は、 $0^\circ < i_k < 90^\circ$ の場合を対象とし、特記しない限り $-90^\circ < i_k < 0^\circ$ の場合は考えないこととする)を φ' 、二次元切削の場合($i_k = 0^\circ$ の場合)を φ とし、鉋刃の切削方向に対する節の繊維走向交差角を、三次元切削の場合($0^\circ < i_k < 90^\circ$ の場合)を ϕ' 、二次元切削の場合($i_k = 0^\circ$ の場合)を ϕ とすれば、節の切削は、三次元切削の場合には φ' と ϕ' の組み合わせにより、また、二次元切削の

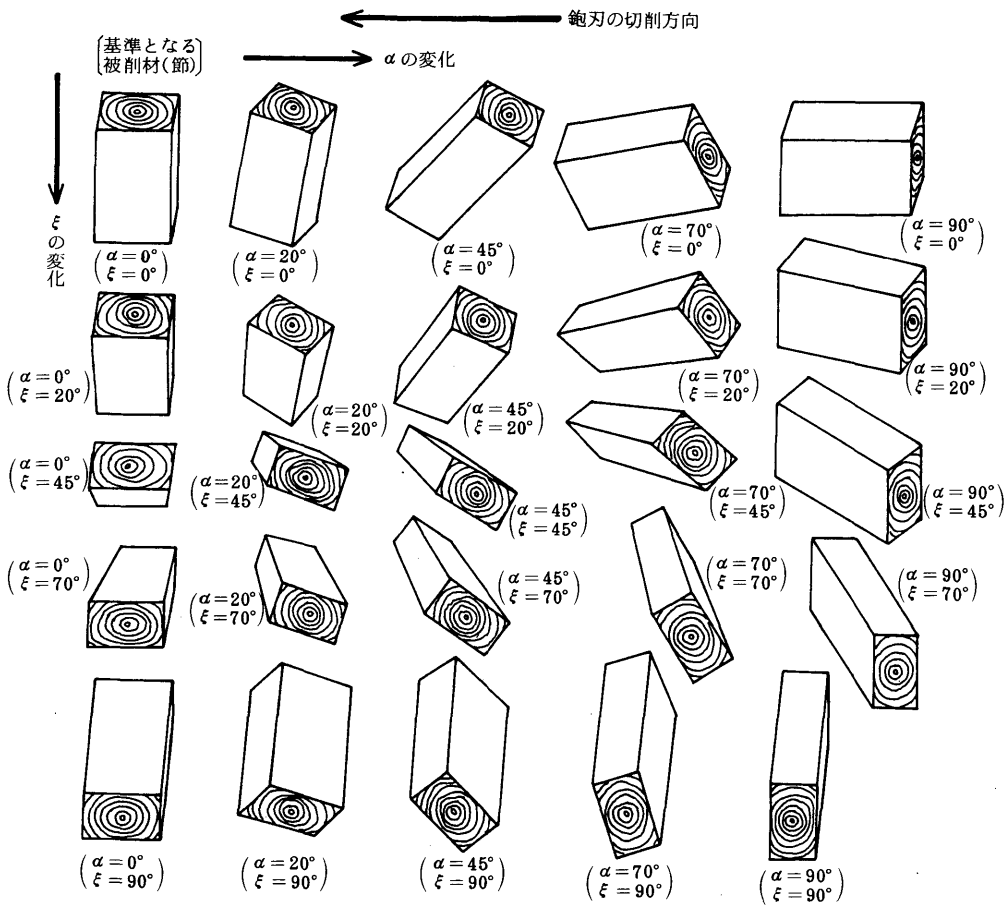


図5 基準となる被削材(節)繊維走向 ($\alpha = 0^\circ$ および $\xi = 0^\circ$ の場合) に対する被削材(節)繊維走向傾斜角 α ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲の場合) および ξ ($0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の場合) の変化に伴う被削材(節)繊維走向ならびに切削面の変化の詳解模式図

場合には φ と ϕ の組み合わせにより、それぞれ表現することができる。

図2に図解した節の繊維走向と鉋刃の切削面・切削方向などから、三次元切削の場合 ($0^\circ < i_k < 90^\circ$ の場合) の φ' および ϕ' 、および二次元切削の場合 ($i_k = 0^\circ$ の場合) の φ および ϕ を、それぞれ求めると、二次元切削の場合では、

$$\varphi = 90^\circ - \xi \quad (1)$$

$$\phi = \cos^{-1}(\sin \alpha \cos \xi) \quad (2)$$

$$\phi = \cos^{-1}(\sin \alpha \sin \varphi) \quad (2)$$

三次元切削の場合では、

$$\phi' = \phi \quad (3)$$

$$\varphi' = \cos^{-1}(\cos i_k \sin \xi + \sin i_k \cos \xi \sin \alpha) \quad (4)$$

$$\varphi' = \cos^{-1}(\cos i_k \cos \varphi + \sin i_k \sin \varphi \sin \alpha) \quad (4)$$

で表し得る。例えば、二次元切削の場合では、(1)式、(2)式および(2)式*³を用いて φ および ϕ を求め、具体的数値をあてはめた二次元の φ - ϕ 切削により、節の二次元切削のいろいろな場合を表現できる。三次元切削の場合では、(3)式、(4)式および(4)式を用いて φ' および ϕ' を求め、具体的数値をあてはめた三次元の φ' - ϕ' 切削により、節の三次元切削のいろいろな場合を表現できる。

ここで、二次元切削の場合 ($i_k = 0^\circ$ の場合) における ϕ を(2)式または(2)式を用いて求め、 α ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲) および ξ ($0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲) の変化に伴う ϕ の変化を図6(a)に示した。また、三次元切削の場合 ($0^\circ < i_k < 90^\circ$ の場合) における ϕ' は、 $\phi' = \phi$ で表し得るが(図6(a)参照)、 φ' は、 α 、 ξ 、 i_k のいろいろな組み合わせで変化する。(4)式または(4)式を

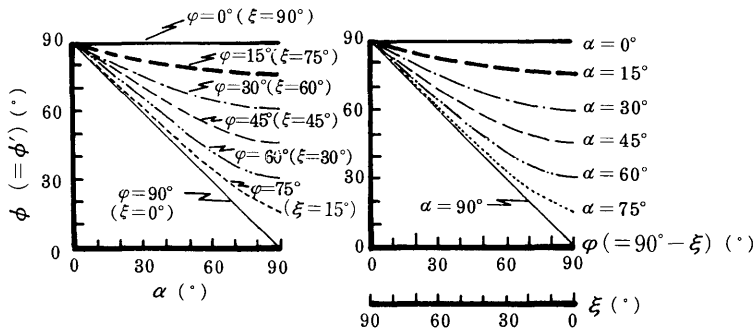


図6(a) α および $\varphi (=90^\circ - \xi)$ の変化に伴う $\phi (= \phi')$ の変化

$\phi (= \phi')$ は、(2)式からの計算値である。 α 、 ξ 、 φ 、 ϕ および ϕ' : 図2および図3参照

*³ 本研究では、 $0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲の場合で、しかも $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲の場合で ϕ および ϕ' を表した(節の切削では、 $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲を考える必要があるが、 $-90^\circ \leq \alpha \leq 0^\circ$ の範囲における切削は $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲における切削の反対現象であると考えられるから、便宜上、本研究では、 $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲で ϕ を表している)。節の切削では、 $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲を考える必要があるから、この場合には、(2)式および(2)式は、上記のような α に対して次式のように表すことができる。

$$\phi = \pm \cos^{-1}(\sin |\alpha| \cos \xi) \quad (2)$$

$$\phi = \pm \cos^{-1}(\sin |\alpha| \sin \varphi) \quad (2)$$

ただし、 $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ のときは、逆目切削であるから ϕ は $0^\circ < \phi < 90^\circ$ の範囲の大きさとなるが、 $-90^\circ < \alpha < 0^\circ$ のときは、順目切削であるから ϕ は $-90^\circ < \phi < 0^\circ$ の範囲の大きさとなる。

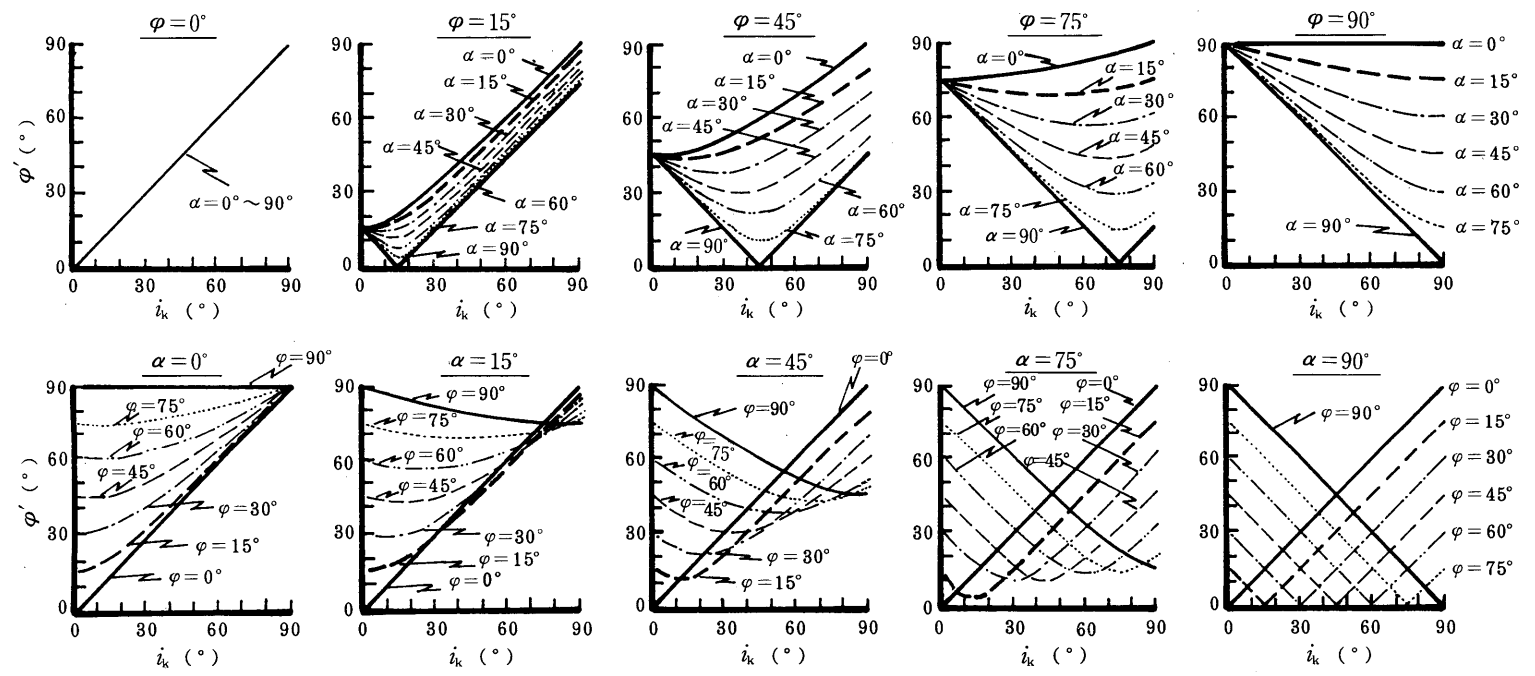


図 6(b) 種々の α および φ ($=90^\circ - \xi$) の場合における i_k の変化に伴う φ' の変化 φ' は、(4)式からの計算値である。 α , ξ , φ , φ' および i_k : 図 2 ~ 4 参照

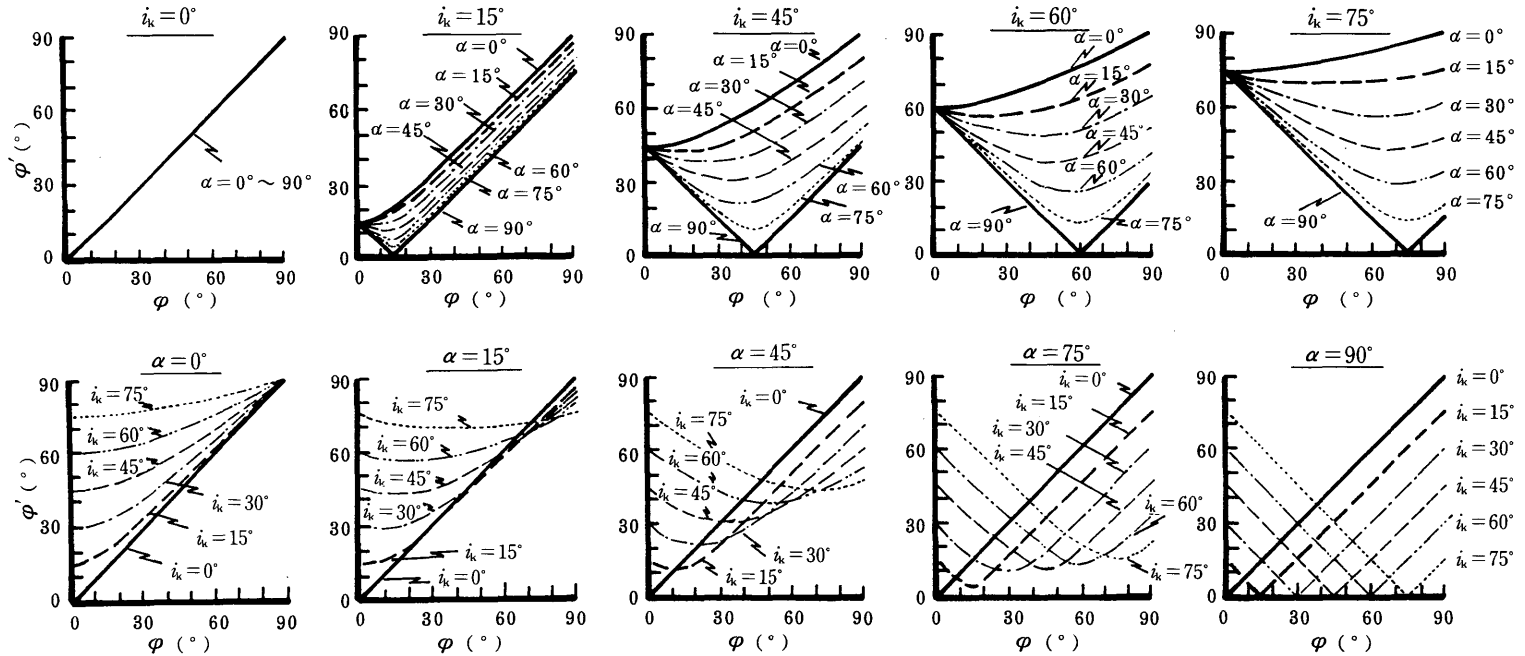


図 6(c) 種々の α および i_k の場合における $\varphi (=90^\circ - \xi)$ の変化に伴う φ' の変化
 φ' は, (4') 式からの計算値である。 i_k , α , ξ , φ および φ' : 図 2~4 参照

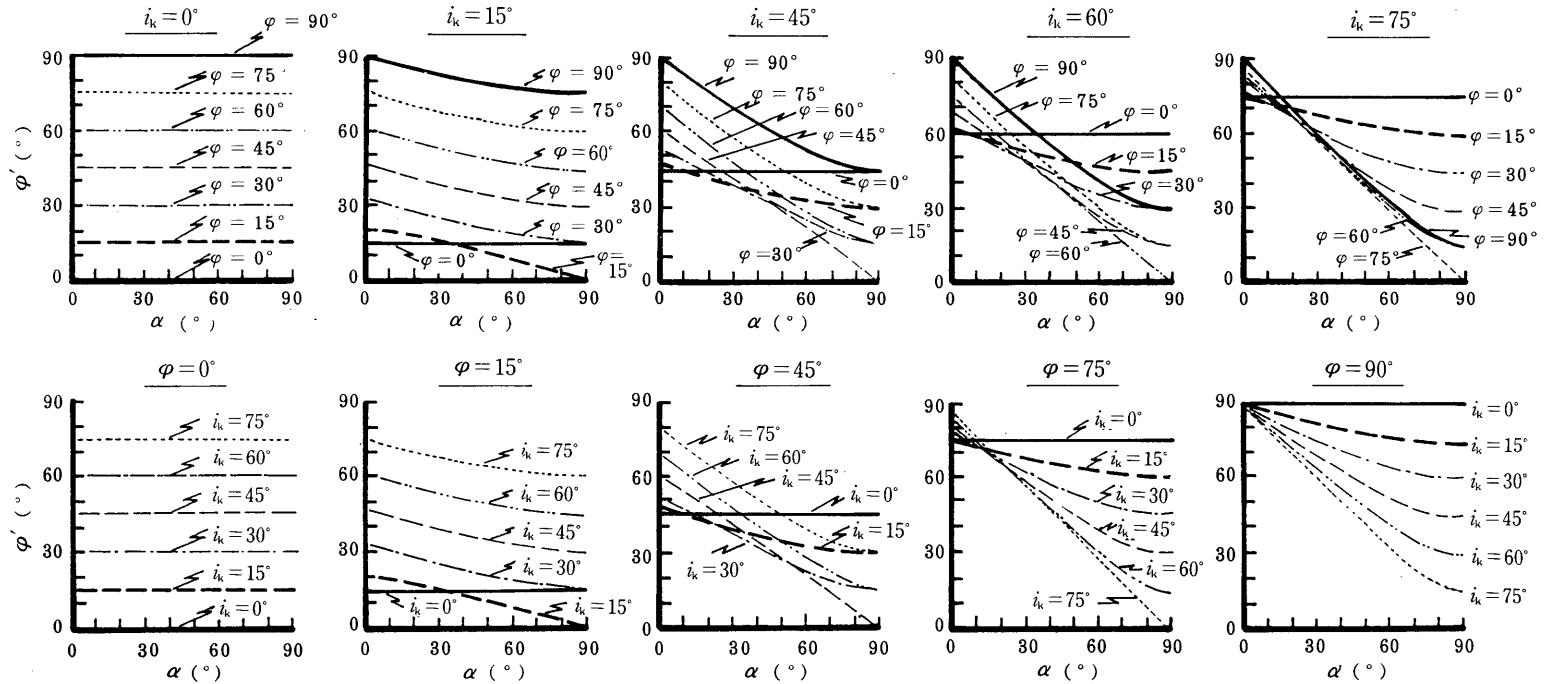


図6(d) 種々の i_k および $\varphi (=90^\circ - \xi)$ の場合における α の変化に伴う φ' の変化
 φ' は、(4')式からの計算値である。 i_k , ξ , φ , φ' および α : 図2~4参照

表1 種々の i_k ($0^\circ \leq i_k < 90^\circ$ の範囲の場合), α ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲の場合), ξ ($0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲の場合) の組み合わせにおける被削材(節)の切削の分類 — φ' と ϕ' を用いた切削の分類 ($\varphi'-\phi'$ 切削による分類) における φ' と ϕ' の大きさの変化—

		α							
		0° $\varphi' - \phi'$	15° $\varphi' - \phi'$	30° $\varphi' - \phi'$	45° $\varphi' - \phi'$	60° $\varphi' - \phi'$	75° $\varphi' - \phi'$	90° $\varphi' - \phi'$	
0°	i_k	0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
		30°	90°	82.6°	75.5°	69.3°	64.3°	61.1°	60°
15°	i_k	0°	75°	75°	75°	75°	75°	75°	75°
		30°	77.1°	69.6°	62.3°	55.6°	50°	46.3°	45°
30°	i_k	0°	60°	57°	49.5°	42.3°	36.1°	31.7°	30°
		30°	64.3°	59.2°	48.7°	38.1°	27.9°	19.1°	15°
ξ	i_k	0°	45°	45.3°	45°	45°	45°	45°	45°
		30°	52.2°	51°	41.4°	31.4°	21.1°	10.6°	0°
60°	i_k	0°	30°	35.4°	29°	22.1°	14.9°	10.5°	0°
		30°	41.4°	45.3°	37.9°	30.4°	23.3°	19.6°	15°
75°	i_k	0°	15°	29.5°	25.7°	21.9°	18.5°	16°	15°
		30°	33.2°	43.1°	39.2°	35.7°	32.7°	30.7°	30°
90°	i_k	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
		30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°
		45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°
		60°	60°	60°	60°	60°	60°	60°	60°

(注) 1. $0^\circ \leq i_k < 90^\circ$ の i_k の各場合で $\varphi'-\phi'$ 切削で表現できるが, $i_k=0^\circ$ の場合 (二次元切削の場合) には, とくに, $\varphi'-\phi'$ 切削を $\varphi-\phi$ 切削とも表現する。

2. φ' と φ , ϕ' と ϕ , α と ξ , および i_k : 図2~4 参照

用いて φ' を求め、 α ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲)、 ξ ($0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲)、 i_k ($0^\circ \leq i_k < 90^\circ$ の範囲) の変化に伴う φ' の変化をとりまとめ、その結果を図 6 (b)~(d) に示した。

α および ξ の変化に伴う三次元の φ' - ϕ' 切削の具体的な表示例を表 1 に示した (表中における $i_k = 0^\circ$ の場合は二次元切削の場合を意味し、この場合には、 φ' - ϕ' 切削は φ - ϕ 切削を意味する)。このような φ' - ϕ' 切削 (とくに、二次元切削の場合には φ - ϕ 切削) の表示を用いると、切削面・切削方向に対する節のこまかな角度の変化による節の切削の違いを的確に表現できる。なお、従来では、一般の被削材の切削を表現するのに、木口切削のときには 90° - 90° 切削を、縦切削のときには 90° - 0° 切削を、また、横切削のときには 0° - 90° 切削を、それぞれ用いていた。節の切削の場合には、一般の被削材の切削の場合のように、木口切削、縦切削、横切削と表現できるような特殊な節の角度の切削は極く稀れであるから、いろいろな角度の変化や微小な角度の変化をも的確に表現できるような表し方が適当であると考えられる。この意味では、 φ' - ϕ' 切削という表示は、一般的表現としてのなじみは少ないが、節の切削の分類には好都合といえる。

φ' - ϕ' 切削 (二次元切削の場合には、とくに φ - ϕ 切削の表示をも用いる) の表示方法と対応させて、節の切削の表示法を考えてみた。 α および ξ の変化に伴う節の切削の表示法を表 2 に示した。同表より明らかなように、 φ' - ϕ' 切削の表示を用いないと、 α および ξ のこまかい変化に対しての節の切削を的確に表現できないばかりでなく、 α および ξ の広い範囲にわたって節の切削を分類・整理できない場合が多い。

なお、表 2 に示すように、 α および ξ の特定の角度の組み合わせのときは、比較的なじみの深い切削の表現となる。例えば、 $\alpha = 0^\circ$ の場合には、 $\xi = 0^\circ$ のときに二次元または三次元の横断面 (木口) 切削となり、 $\xi = 90^\circ$ のときに二次元または三次元の縦断面切削で切削方向が横切削となるが、 $0^\circ < \xi < 90^\circ$ の広い範囲で二次元または三次元の傾斜断面切削となる。

表 2 種々の α ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲の場合)、 ξ ($0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲の場合) の組み合わせにおける被削材 (節) の切削の分類
— φ' - ϕ' 切削以外の表し方—

	α			
	0°	~	45°	~
0°	横断面 (木口) 切削； 二次元または三次元切削	傾斜断面切削； 二次元または三次元切削；逆目切削		縦断面切削； 二次元または三次元切削
ξ	傾斜断面切削； 二次元または三次元切削	傾斜断面切削； 傾斜二次元または傾斜三次元切削； 逆目切削	縦断面切削； 傾斜二次元または 傾斜三次元縦切削	縦断面切削； 傾斜二次元または 斜三次元縦-横切削
			縦断面切削； 傾斜二次元または 傾斜三次元横切削	
90°	縦断面切削； 二次元または三次元横切削	縦断面切削； 二次元または三次元横切削		縦断面切削； 二次元または三次元横切削

(注) 1. 表 2 は、表 1 の φ' - ϕ' 切削と対応させている。
2. α および ξ : 図 2~4 参照

$\alpha = 90^\circ$ の場合には、いずれの ξ の場合も縦断面切削となるが、 $\xi = 0^\circ$ のときに二次元または三次元の縦切削となり、 $0^\circ < \xi < 45^\circ$ のときに傾斜二次元または傾斜三次元の縦切削となり、 $\xi = 45^\circ$ のときに傾斜二次元または傾斜三次元の縦-横切削となり、 $45^\circ < \xi < 90^\circ$ のときに傾斜二次元または傾斜三次元の横切削となり、 $\xi = 90^\circ$ のときに二次元または三次元の横切削となる。 $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ の広い範囲の場合には、 $\xi = 0^\circ$ のときに二次元または三次元の傾斜断面切削となり、 $0^\circ < \xi < 90^\circ$ のときに傾斜二次元または傾斜三次元の傾斜断面切削となり、 $\xi = 90^\circ$ のときに二次元または三次元の縦断面切削となる。

以上のように、 $\alpha = 90^\circ$ および $\xi = 90^\circ$ の特殊な組み合わせ以外が殆ど傾斜断面切削であるが、 α および ξ の組み合わせによっては、傾斜断面切削は横断面（木口）切削や縦断面の縦切削や縦断面の横切削などのいずれかに極めて近い場合があり、傾斜断面切削という表現では、節の三次元的な走向に対する的確な切削を表していない。表2の α および ξ の組み合わせを、表1の α および ξ の組み合わせと対応させると、傾斜断面切削のより詳細な様子がよく理解できる。

ここで、表2における $\xi = 0^\circ$ の場合で α ($-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲) の変化に伴う切削の変化の様子の例を図7(a)に、また、 $\alpha = 90^\circ$ の場合で ξ ($0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲) の変化および i_k ($-90^\circ < i_k < 90^\circ$ の範囲) の変化に伴う切削の変化の様子を図7(b)に、それぞれ示した。

図7(b)における切削の変化の様子は、丁度、ベニヤスライサによる二次元または三次元切削における被削材(この場合には、フリッチ)の取り付けと鉋刃のピアス角 i_k の設定の関係¹⁾を図解したものと類似している。図に示すように、二次元切削、三次元切削のほかに傾斜二次元切削、傾斜三次元切削の場合があり、さらに縦切削、横切削、縦-横切削など、今もなお行われている切削法であるが、これらの切削の表示も全て $\phi' - \phi'$ 切削で表すことができる。鉋刃の切れ刃線方向、鉋刃の切削方向、被削材の取り付け角度、被削材の繊維走向などのこまかい変化を的確に表現するには、 $\phi' - \phi'$ 切削の表示を用いると好都合である。

筆者は、これまでにベニヤレースを対象としたロータリー単板切削またはハーフラウンド単板切削を対象とした基礎実験を行ってきた²⁾。これら研究の中では、原木中に包含された節の切削を想定して、無節材部と同じ材質で $\alpha = 0^\circ$ の場合に限定して ξ のみを $0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲で変化させた実験を行ってきた²⁾。長尺のベニヤナイフによる切削では、ナイフの切削幅あたりに現れる被削材は無節材部であっても同一の繊維走向となる場合は極めて稀れであるが、節の存在により節および節ばかまの繊維走向は複雑である。これらの繊維走向の変化を的確に表現するには、 $\phi' - \phi'$ 切削の表示を用いると、こまかい繊維走向の変化

	$\alpha = -90^\circ$	$-90^\circ < \alpha < 0^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$
$0.60 < i_k < 0.66$					
	縦断面縦切削	傾斜断面切削 (順目切削の場合)	横断面(木口)切削	傾斜断面切削 (逆目切削の場合)	縦断面縦切削

図7(a) α ($-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ の範囲) の変化に伴う切削の変化の様子
図は、 $\xi = 0^\circ$ の場合について示している。

		$\xi = 0^\circ$	$0^\circ < \xi < 45^\circ$	$\xi = 45^\circ$	$45^\circ < \xi < 90^\circ$	$\xi = 90^\circ$
二次元切削	$i_k = 0^\circ$					
	$0^\circ < i_k < 90^\circ$					
三次元切削	$-90^\circ < i_k < 0^\circ$					
		二次元または 三次元縦切削	傾斜二次元または 傾斜三次元縦切削	傾斜二次元または 傾斜三次元縦-横切削	傾斜二次元または 傾斜三次元横切削	二次元または 三次元横切削

図7(b) 被削材(節)の縦断面切削 ($\alpha = 90^\circ$ の場合) における ξ および i_k の変化に伴う切削の変化の様子

図は、 ξ が $0^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ の範囲で変化する場合について示している。この範囲内の ξ の変化と i_k の変化の組み合わせにより、鉋刃の切れ刃線と被削材(節)繊維走向との交差角度(切れ刃線傾斜角)が変化する。

も的確に表すことができる。

以上述べてきたように、節の切削では、被削材中に含まれる節の走向状態は複雑であるから、節の繊維走向のこまかい変化と切削面・切削方向との関係を的確に表現し得る φ' と ϕ' を用いると、節の切削は表示し易く、また、切削の分類・整理が行い易くなる。

4. 結 言

樹幹からの木材の木取りの仕方や木材の加工方法などによって異なるが、被削材中に含まれた節はいろいろな角度から切削される。節そのものを一つの被削材と考えても、節の切削は、従来用いられているような横断面（木口）切削、縦切削、横切削のみでは充分に表現し得ない場合が殆どである。切削面・切削方向に対して複雑に走向する節の切削を、鉋刃の切れ刃線に対する節の繊維走向交差角 φ' （バイアス角 i_k が 0° の場合、即ち二次元切削の場合には φ' を φ でも表現する）および鉋刃の切削方向に対する節の繊維走向交差角 ϕ' （二次元切削の場合には ϕ' を ϕ でも表現する）を用いて表示することを試みた。

φ' と ϕ' を用いた切削、即ち $\varphi'-\phi'$ 切削（二次元切削の場合には、 $\varphi-\phi$ 切削）で節の全ての切削が分類できる。 $\varphi'-\phi'$ 切削の表示を用いると、従来、用いられているような横断面（木口）切削、縦切削、横切削などの特殊な場合のみならず、それ以外の全ての節の繊維走向に対する切削を表現できる（図1～図5）。

なお、 φ' および ϕ' （二次元切削の場合には、 φ および ϕ ）は、基準となる節の繊維走向に対する節の繊維走向傾斜角 α および ξ （切削面に垂直方向に走向する節の切削、即ち横断面（木口）切削を基準として、その節の繊維走向と、今回、対象としている節の繊維走向との交差角度を意味し、そのうち、切削方向に平行方向の傾斜角を α 、切削方向に垂直方向の傾斜角を ξ とする）を用いて、(1)式～(4)式により求められる。 $\varphi'-\phi'$ 切削における φ' および ϕ' の α 、 ξ 、 i_k に伴う変化を図6(a)～(d)および表1にとりまとめた。また、 $\varphi'-\phi'$ 切削に対応して、節の切削についての別の表現の仕方を表2にとりまとめ、その二、三の例を図7(a)および図7(b)に示した。

文 献

- 1) 杉山 滋：単板切削における工具-切屑（単板）接触境界面に働く応力および摩擦に関する基礎的研究（第8報） 単板の傾斜二次元切削における切削力および摩擦係数に及ぼす被削材の傾斜角と切込量の影響，木材学会誌，29（10），670～678（1983）。
- 2) 杉山 滋：木材の引き切り切削における切削力の変化に及ぼすナイフ引き切り速度及び被削材繊維走向の影響，木材学会誌，36（1），7～14（1990）。