



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	針葉樹材の原木材質がロータリー単板切削性に及ぼす影響
Author(s)	高野, 勉
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第4762号
Issue Date	1995-03-24
DOI	https://doi.org/10.11501/3082707
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51275
Type	doctoral thesis
File Information	000000285220.pdf



針葉樹材の原木材質が
ロータリー単板切削性に及ぼす影響

高野勉

4762

1 序 論	1
1.1 針葉樹材の歴史と現状	1
1.2 針葉樹材の用途と需要	1
1.3 海外における針葉樹材の生産と消費	1
1.4 国内における針葉樹材の生産と消費	1
針葉樹材の原木材質がロータリー単板切削性に及ぼす影響	
2 針葉樹材の原木材質と単板切削性	10
2.1 はじめに	10
2.2 単板切削性の評価方法	11
2.3 針葉樹材の原木材質	11
2.3.1 針葉樹材の種類	11
2.3.2 針葉樹材の成長	11
2.3.3 針葉樹材の乾燥	11
2.3.4 針葉樹材の腐朽	11
2.3.5 針葉樹材の虫害	11
2.3.6 針葉樹材の加工	11
2.3.7 針葉樹材の用途	11
2.3.8 針葉樹材の消費	11
2.3.9 針葉樹材の生産	11
2.3.10 針葉樹材の貿易	11
2.3.11 針葉樹材の環境	11
2.3.12 針葉樹材の社会	11
2.3.13 針葉樹材の文化	11
2.3.14 針葉樹材の芸術	11
2.3.15 針葉樹材の科学	11
2.3.16 針葉樹材の技術	11
2.3.17 針葉樹材の経済	11
2.3.18 針葉樹材の政治	11
2.3.19 針葉樹材の法律	11
2.3.20 針葉樹材の倫理	11
2.3.21 針葉樹材の道徳	11
2.3.22 針葉樹材の宗教	11
2.3.23 針葉樹材の哲学	11
2.3.24 針葉樹材の美学	11
2.3.25 針葉樹材の文学	11
2.3.26 針葉樹材の音楽	11
2.3.27 針葉樹材の美術	11
2.3.28 針葉樹材の建築	11
2.3.29 針葉樹材の工業	11
2.3.30 針葉樹材の農業	11
2.3.31 針葉樹材の漁業	11
2.3.32 針葉樹材の林業	11
2.3.33 針葉樹材の鉱業	11
2.3.34 針葉樹材のエネルギー	11
2.3.35 針葉樹材の環境保護	11
2.3.36 針葉樹材の持続可能な開発	11
2.3.37 針葉樹材の社会正義	11
2.3.38 針葉樹材の人権	11
2.3.39 針葉樹材の労働	11
2.3.40 針葉樹材の健康	11
2.3.41 針葉樹材の安全	11
2.3.42 針葉樹材の福祉	11
2.3.43 針葉樹材の教育	11
2.3.44 針葉樹材の文化遺産	11
2.3.45 針葉樹材の自然遺産	11
2.3.46 針葉樹材の生物多様性	11
2.3.47 針葉樹材の生態系	11
2.3.48 針葉樹材の気候変動	11
2.3.49 針葉樹材の海洋資源	11
2.3.50 針葉樹材の淡水資源	11
2.3.51 針葉樹材の土地利用	11
2.3.52 針葉樹材の資源管理	11
2.3.53 針葉樹材の政策	11
2.3.54 針葉樹材の制度	11
2.3.55 針葉樹材のガバナンス	11
2.3.56 針葉樹材の透明性	11
2.3.57 針葉樹材の責任	11
2.3.58 針葉樹材の誠実さ	11
2.3.59 針葉樹材の信頼	11
2.3.60 針葉樹材の結束	11
2.3.61 針葉樹材の協力	11
2.3.62 針葉樹材のパートナーシップ	11
2.3.63 針葉樹材の多様な関係者	11
2.3.64 針葉樹材の相互利益	11
2.3.65 針葉樹材の共同価値	11
2.3.66 針葉樹材の持続可能な未来	11
2.3.67 針葉樹材の希望	11
2.3.68 針葉樹材の夢	11
2.3.69 針葉樹材の未来	11
2.3.70 針葉樹材の未来	11
2.3.71 針葉樹材の未来	11
2.3.72 針葉樹材の未来	11
2.3.73 針葉樹材の未来	11
2.3.74 針葉樹材の未来	11
2.3.75 針葉樹材の未来	11
2.3.76 針葉樹材の未来	11
2.3.77 針葉樹材の未来	11
2.3.78 針葉樹材の未来	11
2.3.79 針葉樹材の未来	11
2.3.80 針葉樹材の未来	11
2.3.81 針葉樹材の未来	11
2.3.82 針葉樹材の未来	11
2.3.83 針葉樹材の未来	11
2.3.84 針葉樹材の未来	11
2.3.85 針葉樹材の未来	11
2.3.86 針葉樹材の未来	11
2.3.87 針葉樹材の未来	11
2.3.88 針葉樹材の未来	11
2.3.89 針葉樹材の未来	11
2.3.90 針葉樹材の未来	11
2.3.91 針葉樹材の未来	11
2.3.92 針葉樹材の未来	11
2.3.93 針葉樹材の未来	11
2.3.94 針葉樹材の未来	11
2.3.95 針葉樹材の未来	11
2.3.96 針葉樹材の未来	11
2.3.97 針葉樹材の未来	11
2.3.98 針葉樹材の未来	11
2.3.99 針葉樹材の未来	11
2.3.100 針葉樹材の未来	11

高 野 勉

目 次

第 1 章 緒言	1
1.1 日本の合板工業史における原木事情	1
1.2 針葉樹単板切削の問題点	1
1.3 国外における針葉樹単板切削の研究史	4
1.4 国内における針葉樹単板切削の研究	6
1.5 研究の目的と概要	7
1.6 本研究の意義とその重要性	8
第 2 章 国産針葉樹材のロータリー単板切削性	10
2.1 はじめに	10
2.2 実験装置および方法	11
2.2.1 ベニヤレース	11
2.2.2 供試原木	13
2.2.3 実験条件	15
2.2.4 測定方法	16
2.3 単板歩留まり	19
2.3.1 スギ	19
2.3.2 アカマツ	21
2.4 単板品質の評価	22
2.4.1 単板面粗さによるスギ単板の評価	22
2.4.2 節によるアカマツ単板の評価	25
2.5 切削条件による単板品質の変化	26
2.5.1 スギ	26
2.5.2 アカマツ	30
2.5.3 ヒノキ	31
2.6 刃先の研削方法と刃物の寿命	33
2.7 外周駆動ロールおよびローラーディスクの効果	38
2.8 摘要	39
第 3 章 単板品質に及ぼす原木材質の影響	41
3.1 はじめに	41

3.2	実験方法	45
3.2.1	装置および切削条件	45
3.2.2	測定方法	48
3.2.3	レーザー変位計による単板面粗さの測定	49
3.2.4	仮道管径および細胞壁厚の測定	54
3.3	含水率による影響	55
3.3.1	単板面粗さの変化	55
3.3.2	裏割れ深さの変化	58
3.4	年輪幅による影響	59
3.5	年輪傾斜角による影響	61
3.5.1	単板面粗さの変化	61
3.5.2	裏割れ深さの変化	65
3.5.3	裏割れ間隔の変化	68
3.6	単板内における晩材の影響	70
3.6.1	単板面粗さの変化	70
3.6.2	裏割れ深さの変化	72
3.7	繊維接触角による影響	74
3.8	仮道管径と細胞壁厚による影響	78
3.8.1	早材仮道管径および細胞壁厚の半径方向における変化	78
3.8.2	単板面粗さに対する早材仮道管のルーメン径の影響	80
3.8.3	単板面粗さに対する早材仮道管の壁厚の影響	83
3.8.4	単板面粗さと仮道管径および細胞壁厚との相関関係に対する考察	85
3.8.5	年輪傾斜角との相互作用	86
3.8.6	樹幹内の半径方向における単板面粗さの変化	87
3.9	摘要	89
第4章 アカマツ原木の加熱処理による単板品質の向上		91
4.1	はじめに	91
4.2	実験方法	92
4.3	単板面粗さの変化	93
4.4	裏割れ深さの変化	98
4.5	裏割れ間隔の変化	100
4.6	表割れの発生	102

4.7	加熱処理による材の変色	104
4.8	摘要	104
第5章 針葉樹材の低周波横振動ロータリー単板切削		106
5.1	はじめに	106
5.2	実験方法	107
5.2.1	実験装置	107
5.2.2	実験条件	108
5.2.3	測定方法	113
5.3	切削速度に対する刃物の横方向速度の比($\tan \theta$)による影響	114
5.3.1	単板面粗さの変化	114
5.3.2	裏割れ深さおよび裏割れ間隔の変化	115
5.4	刃口条件による影響	116
5.4.1	単板面粗さの変化	116
5.4.2	裏割れ深さおよび裏割れ間隔の変化	119
5.5	含水率による単板面粗さへの影響	120
5.6	年輪傾斜角による影響	120
5.6.1	単板面粗さの変化	120
5.6.2	裏割れ深さおよび裏割れ間隔の変化	122
5.7	単板内における晩材の位置による裏割れ深さへの影響	123
5.8	仮道管径および細胞壁厚による単板面粗さへの影響	125
5.9	裏割れの変化に対する考察	126
5.10	摘要	129
第6章 総合考察		130
6.1	スギ単板面粗さ	131
6.2	ヒノキおよびアカマツの単板面粗さ	133
6.3	裏割れ深さと裏割れ間隔	134
第7章 結論		137
謝辞		140
文献		141

第1章 緒言

1.1 日本の合板工業史における原木事情

日本における合板の製造は、明治40年に名古屋の浅野木工所の浅野吉次郎によって始められた。初期の合板用原木には、北海道産の広葉樹材が使われていたが、昭和初期より東南アジアからラワン材が輸入されるようになり、その後、南洋材利用の伸びとともに合板工業も成長してきた（岩田：1979-1980, 野村：1978）。このように、長年にわたり合板用原木として使われ、わが国の合板工業を支えてきた、一般に日本でラワン材と総称される南洋材は、大径、無節、無欠点、中庸な比重そして安価と、合板用原木としては理想的な条件を備えていた。しかし、資源の枯渇、丸太産地国における資源に対するナショナリズムの台頭、環境保護を目的とした熱帯林の保護運動の高まりなど、今までのように合板用原木として良質な南洋材を利用することは困難になってきている。このような情勢のなか、日本の合板業界がこれからの原材料として注目しているのは、ニュージーランド産のラジアータマツ（*Pinus radiata* D. Don）、ロシア産の北洋材そして国産針葉樹造林木と、いずれも針葉樹材である。すでに、コンクリート型枠用の合板に針葉樹単板を用いた製品が流通し始めており、また、北海道を中心として、住宅建築用の下地材としても針葉樹合板の使用量が増加しつつある。

ところで、わが国では戦後、積極的な針葉樹の造林が行われ、森林面積の約40%に相当する1000万haがすでに人工林化している。そして、今後これらが主伐期を迎えようとしており、供給可能量の増加が見込まれている。しかし、国産材の木材の需給量は年々減少してきており、特に間伐材をも含めた比較的低質の中小径木の需要開発を図ることが重要な課題とされている。したがって、これらを合板用原木として利用できるような技術開発を進めることは、林業政策上も好ましいといえる。

1.2 針葉樹単板切削の問題点

合板用原木をこれまでの南洋材から針葉樹材へと転換していく際になにが問題となるのか、ここでは単板の切削工程に限定して考えてみたい。まず、針葉樹材の単板切削に関して次の3つの一般

的な問題点をあげることができる。

①単板面が粗い。

②節が多いために刃先が欠けやすく、単板品質を低下させ、またこれが原因で刃詰まり（木材の小片がノーズバー*と刃先の間に詰まる現象）が起きて切削が中断され、製造能率を低下させる。

③原木径が小さいため、単板歩留まりや製造能率が低下する。

これらの問題点を克服するためには、まずハード面、すなわちベニヤレースやベニヤナイフの改良が必要となる。たとえば、高速・高精度の原木の芯出し（木口面におけるチャッキング位置の決定）を行うチャージャーの開発、歩留まり低下を招くスピンドル・チャックの空回りを防ぐための原木の外周駆動方式の採用（佐々木：1984）、刃詰まりの原因となる木材小片の排出のためのローラーバーやローラーディスクの採用、耐衝撃性に優れた刃物の開発、などをあげることができる。これらについては、合板機械メーカーおよび刃物メーカーより、中小径木用ベニヤレースあるいは針葉樹単板切削用ベニヤナイフとしてすでに商品化されている。一方ソフト面として、異なる樹種あるいは材質に応じた適切な切削条件を知る必要がある。このように、ハードとソフトの両面からのアプローチがあって、はじめて効率的な単板切削と良質な単板の製造が可能となる。

一般に、単板切削における切削条件としては、切削角、刃物角、刃口間隔（刃先とノーズバー先端との間隔）、原木の前処理としての加熱条件などが多く取り上げられ、実用機械による実験や小試験片を用いた基礎研究が行われている（木下：1991）。わが国では、長らく合板用原木として南洋材が用いられてきたため、これらの試験研究の供試材として南洋材や他の広葉樹の散孔材が用いられてきた。Photo 1-1 に針葉樹材の例としてスギを、そして広葉樹材の例としてフィリピン産のレッドラワン（*Shorea negrosensis* Foxw.）の材面の写真を示す。針葉樹材と広葉樹材を比較した場合、針葉樹材では年輪を構成する早材と晩材との比重の差が大きく、広葉樹の散孔材とは対照

*単板切削では、その切削機構上、単板裏面に裏割れが生じることが避けられないが、これを防ぐ（あるいは浅くする）ために原木表面から刃物に向かって刃先近傍の木材に圧縮応力を発生させるためのノーズバーがロータリーレースの鉋^{かんない}台に刃物（ベニヤナイフ）とともに固定されている。

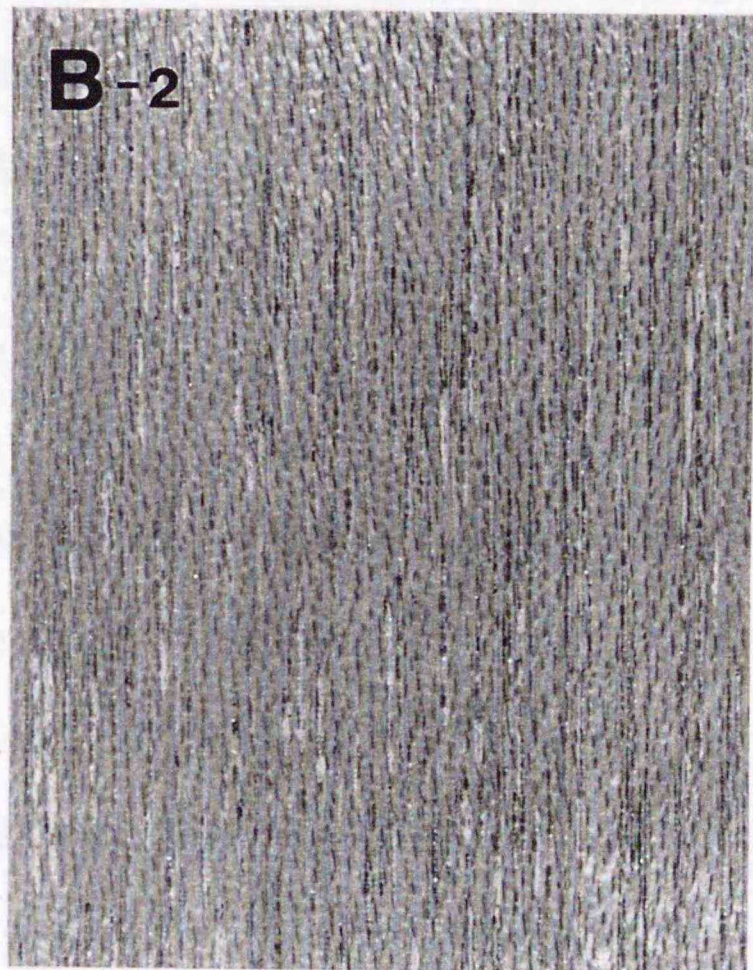
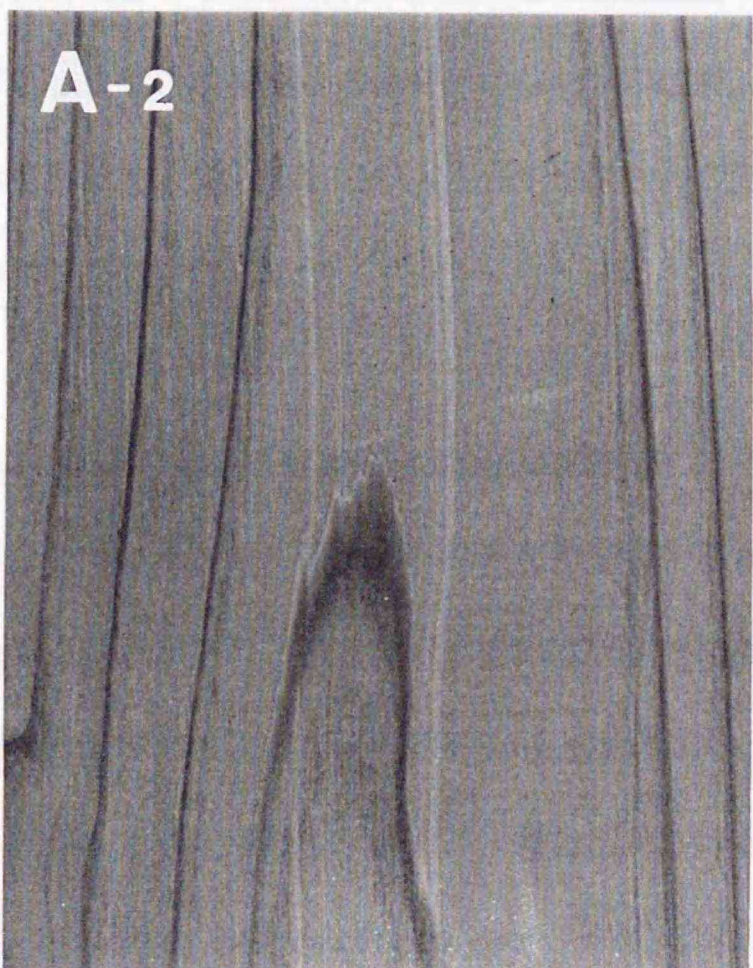
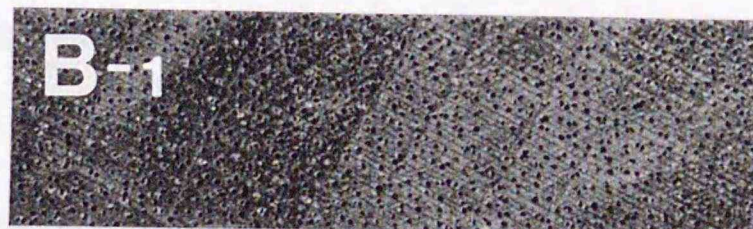
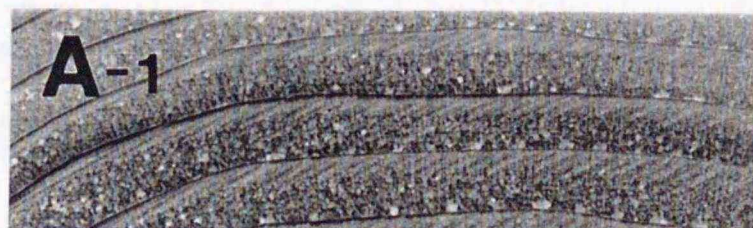


Photo 1-1. 針葉樹材と広葉樹材（南洋材）の材面の例

A-1: スギ木口面, A-2: スギ板目面, B-1: レッドラウン木口面, B-2: レッドラウン板目面。

スギでは早材部と晩材部の比重の差が大きいですが、レッドラウンでは材が均質で、材内の比重の変動が小さい。

的である。また、針葉樹材は広葉樹材に比較して組織構造が単純で、構成要素の約95%が仮道管であり、これが比較的規則正しく配列している。そのため、単板品質をあらわす主な指標である単板面粗さや裏割れへの組織構造の影響が、針葉樹材と広葉樹材で異なることが予想できる。さらに、単板品質に影響を及ぼすと予想できる繊維に対して直角方向（接線方向および放射方向）の強度について、割裂強度と引張り強度に関する異方性の傾向が針葉樹材と広葉樹材で異なるとされている（北原：1967）。このように、広葉樹材を対象として行われてきたこれまでの研究成果を、そのまま針葉樹材の単板切削に適用することは難しい。針葉樹材の単板切削性を解明するためには、原木のさまざまな材質上の条件、すなわち年輪幅、晩材率、比重などの基本的な指標のみならず、木材を構成する個々の細胞の大きさや形状とその配列様式にいたるまで、幅広い視野を持って研究にあたる必要がある。

1.3 国外における針葉樹単板切削の研究史

合板用原木としての針葉樹材の利用を考える場合には、まず、針葉樹合板の先進国であるアメリカおよびカナダの合板工業史あるいは研究史を振り返ってみる必要がある。なお、これらの国以外では針葉樹単板切削に関する研究報告はほとんどみることができない。

アメリカ合衆国では合板用原木は当初から針葉樹であり、1960～70年頃まではダグラスファー（*Pseudotsuga menziesii* Franco）が、それ以降はいわゆるサザンパインが主に利用されていた。この間には天然の優良大径木から低質の中小径木への原料転換が行われ、製品についても高級な装飾用から表面の粗い構造用へとシフトしてきた（岩田：1979-1980）。針葉樹材の単板切削に関する研究も数多く行われており、特に1960年代の原料転換期に数多くの報告がみられる。

Lutz（1956）は切削方向に対する年輪の角度、すなわち年輪に対する逆目切削条件および順目切削条件によって単板面粗さが異なることを初めて指摘しており、レッドウッド（*Sequoia sempervirens* Endl.）単板の面粗さを実測し、面粗さの値が順目切削条件に比べて逆目切削条件では約2倍になることを示した。また、Leney（1960a, b）は小試験片を用いた低速の平削り横切

削*試験を行い、切削時における細胞レベルでの木材の変形に注目し、刃先周辺の細胞の変形を実体顕微鏡により観察した。その報告の中で3樹種の供試材が用いられているが、そのうち針葉樹材としてはシュガーパイン (*Pinus lambertiana* Dougl.) が用いられていた。そこでは、刃先近傍に生じる木材の破壊が細胞の変形の様式(引張, 圧縮, せん断)によって分類され、さらに、切削した木材表面の微視的な形態(細胞壁の破断あるいは細胞間層での剥離)と切削面の良否との関係が検討された。そのほか、ダグラスファー (Lutz: 1964, Palka: 1973), サザンパイン (Lutz: 1964, Cade: 1969), レッドウッド (Cumming: 1969, 1970) あるいはロブローパイン (*Pinus taeda* L.) (Koch: 1965, Woodson: 1970) を供試材として、年輪幅, 晩材幅あるいは比重などによる単板内の裏割れの深さや間隔への影響について触れた報告もある。

これらは、針葉樹単板の品質に影響する要因として原木側の因子に触れている研究報告をあげたものである。しかし、これらの研究の主たる目的は、いずれも単板品質に及ぼす切削条件(刃口間隔や切削角など)の影響を明らかにすることであった。北米地域に限ったことではないが、木材切削の分野においては工学的な観点からの研究が主体であり、ここにあげた報告も木材の材質あるいは組織構造学的な観点からみた場合、不備な点を指摘することができる。たとえば、切削方向に対する年輪の角度が単板面粗さに影響することがいくつか報告されているが (Cumming: 1970, Lutz: 1956, Palka: 1973), これについて細かな条件を設定した実験は行われていない。また、針葉樹材と広葉樹材の切削性の相違点について言及した報告はあるが (Lutz: 1956, 1966, McMillin: 1958), 木材の材質の個体間あるいは樹幹内における変動についてはもちろんのこと、針葉樹の樹種間の材質による切削性の違いについて触れた例もない。サザンパインの研究では供試樹種の学名さえ書かれておらず、樹種を特定することができない。

これらの研究以後、単板品質に及ぼす原木材質の影響について述べた報告はなく、また、単板歩留まりなどの生産工程上の問題について取り上げた論文を除けば、単板切削自体をテーマとした報

*一般に木材の研究分野では繊維方向を縦方向、繊維に直角方向を横方向と呼び、これにしたがって、木材切削の分野では繊維方向の切削を縦切削、繊維に直角方向の切削を横切削、繊維を断ち切る方向の切削を木口切削、と呼ぶ。

告もほとんどない。これは、実用上十分な品質の単板が生産できるようになり、研究に対する社会的な要請がなくなったためと考えることができる。しかし、針葉樹材の単板が持つ欠点である面の粗さなどが完全に克服されたわけではなく、アメリカでは合板の主な用途が建築用の下地材で、強度性能を満たせば表面性状が悪くても問題がないため、この分野の研究が行われなくなったと解釈できる。

これに対して、日本における合板の用途はこれとは異なっており、コンクリート型枠やオーバーレイ加工用の台板など、表面性状の良好な製品を求められることが多く、針葉樹材を単板に加工して利用していくためには、良質の単板を製造するためのよりいっそうの研究が必要である。

1.4 国内における針葉樹単板切削の研究

日本では第二次世界大戦前後に南洋材の輸入が途絶えた時期があり、この期間には国産針葉樹材も合板用に用いられた（岩田：1979-1980）。しかし、この時期に針葉樹を対象とした試験研究の報告は見あたらない。

北海道立林産試験場および富山県木材試験場では1970年代前半から北洋材あるいは道産針葉樹材のロータリー単板切削試験が実大サイズで行われており、実験データの蓄積も多い（たとえば森泉：1990, 福田：1972a, b）。しかし、単板品質に影響を及ぼす因子として原木の前処理条件や刃口間隔などの切削条件の検討に力点が置かれることが多く、原木材質と単板品質との関係については晩材部と裏割れ深さとの関係についてわずかに触れた例があるのみである（吉田：1974）。そのほか、原木の未成熟・成熟材とそれぞれの部分から得た単板を原料として製造された合板の強度との関係について検討した報告があり（森泉：1984）、これは合板の製造工程および製品の品質管理の面では重要な研究である。しかし、この場合の単板強度のばらつきは単板切削によって生じた2次的な性質ではなく、原木の未成熟・成熟材そのものが持つ1次的な性質の反映である。

他の国産針葉樹を供試樹種としたロータリー単板切削試験は少なく、筆者が実験を手がける以前には、天野（1984a, b）によるスギ材の切削条件（刃口条件と原木の前処理条件）の検討例と中村等（1984）によるスギ材の予備的実験の報告があるのみであった。スギ材の需要拡大が地方自

治体においても最大の課題であるため、その後、県の試験場におけるスギ材の単板切削試験の結果がいくつか報告されてきている（坂下：1990, 杉本：1989, 1990, 1992, 中田：1992）。坂下（1990）は小型（刃物長さ 55 cm）のレースを用いて実験を行い、単板歩留まり、裏割れ率、裏割れ密度、単板厚さ、比重、曲げヤング係数などを測定した。杉本（1992）および中田（1992）は外周駆動方式の中小径木用のロータリーレースを用い、前処理条件の検討、単板歩留まり、裏割れ率、裏割れ密度、単板厚さの測定を行った。杉本はこのほかに、同じ装置を用いてスギおよびヒノキのロータリー単板からの化粧用合板の製造試験を行っており、そのなかで単板品質の概要を示した（杉本：1989, 1990）。しかし、これらの報文には原木材質と単板品質との関係についての記述はない。このほか、スギの小試験片を供試材料とした基礎実験の研究報告もいくつかある（長井：1993b, c）。合板工場や機械メーカーにおいても製造試験が試みられているようであるが、これらの結果については外部には公表されていない。

これらの情報の中から、スギ原木を用いてロータリー単板切削を行う場合には、良質な単板は得難いことが明らかになってきた。中村等（1984）の報告にあるように、他の樹種に比べて著しい早材部の剥離が生じ、そのため単板面は非常に粗くなり、また、剥離した小片が刃口（刃先とノーズバー先端との間）に詰まることによって、製造能率の低下を引き起こす。このような他の樹種と異なるスギの単板切削性をもたらす原因は、樹種間の材質特性の相違である可能性があり、この点からも、単板品質におよぼす木材の材質の影響を、特にスギについて詳しく検討する必要があると考える。

また、他の樹種についても同様な観点から研究を進め、材質と単板品質との関係を明らかにすることにより、両者の樹種ごとのいわば特殊解を求めるだけでなく、針葉樹材に共通した一般的な両者の関係を求めることも期待できる。

1.5 研究の目的と概要

以上のような観点から、筆者等は、豊富かつ容易に入手できる理由より国産針葉樹の造林木を研究対象として選び、木材の材質が単板品質に及ぼす影響を明らかにすることを主たる目的として研

究を進めてきた（木下，高野：1985，高野，木下：1991a, 1991b, 1992a, b, 1993, 1995, 投稿中論文1編）。供試樹種としては，需要拡大が求められているうえに単板切削が難しいスギを主として，それに加えて国産針葉樹造林木の中からスギに次いで蓄積が多く，また，スギとは異なる材質特性を持つヒノキおよびアカマツを取り上げ，針葉樹材に共通した単板切削性を求めようと試みてきた。本論文は，これらの一連の研究結果をとりまとめたものである。

第1章「緒言」に引き続き，第2章では上記3樹種のロータリー単板切削試験の結果を従来からの視点である切削条件（刃物角や刃口条件）から検討し，各樹種の切削性を明らかにした。また，年輪に対して順目切削および逆目切削の条件別に単板品質を比較し，定性的な観察結果と併せて次章の「単板品質と材質」の関係について予備的な検討を行なった。

第3章では，前章の結果を受けて，これまで単板切削の分野でほとんど省みられることのなかった原木の材質と単板品質（表面粗さと裏割れ）との関係について詳細に検討した。単板品質に影響を及ぼす原木側の因子として，含水率，年輪（幅，角度など），単板内における繊維の角度および仮道管の横断面形状（直径と細胞壁厚）についてとりあげた。

第4章では，一般に単板品質の向上などを目的として行われている熱水による原木加熱の単板品質への影響について，アカマツを供試材料として用いた結果を検討した。特に，前2章の検討結果をふまえて，アカマツ材の単板品質に最も影響を及ぼすと予想できる年輪の影響に注目し，さらに，木材の組織構造と加熱による物性変化に関連させて単板品質の変化について考察した。

第5章では，品質の劣るスギ単板の品質向上を目的として低周波の横振動単板切削を行った。供試樹種はスギのほかに比較対象としてヒノキを用い，単板品質の変化を通して振動の効果を評価した。

1.6 本研究の意義とその重要性

本研究では，スギ，ヒノキおよびアカマツの切削性や適性刃物条件，あるいは単板品質を向上させる原木加熱条件や横振動切削の有効性を明らかにした。また，これまで知見の少なかった単板品質に及ぼす原木材質の影響について，次のような概要を解明することができた。すなわち，スギ単

板の表面粗さを大きくする原因は早材部の比重の低さであったが、含水率が高い場合にも単板面粗さが小さくなった。他の樹種の単板面粗さに影響する主要因は単板面に対する年輪の角度であった。単板の裏割れ深さとその間隔に最も影響を及ぼしているのは年輪幅であった。

このように材質と単板品質との一般的な関係が解明できたことにより、スギのような品種あるいは地域ごとに材質の異なる樹種や、これまで利用されたことのない地域の造林木などに対して、材質試験のデータからある程度の単板切削性が予想できる。また、造林木に対して単板切削性に優れた材質を付与するような施業や選抜を行うことも可能であり、材質育種の面からも成果の活用が期待できる。

第2章 国産針葉樹材のロータリー単板切削性

2.1 はじめに

これまでに国産針葉樹材を用いたロータリー単板切削試験は、北海道立林産試験場における道産材を対象とした一連の研究（たとえば森泉：1990）を除けばあまり行われてきていない。最も造林面積および蓄積量の多いスギを対象とした試験研究の成果が報告され始めたのは、スライスト単板についての報告（田中：1960）を除けば最近のことで（中村：1984, 天野：1984a, b, 杉本：1989, 1990, 1992, 坂下：1990, 中田：1992），筆者等による最初の報告（木下：1985）以前のものは少ない（これらの報告の概要については、「緒言」ですでに述べた）。

このほか、単板切削を想定した実験室規模の横切削試験において針葉樹材、特にスギ材を用いた例はきわめて少ない（杉山：1984, 1986, 長井：1993b, c）。杉山（1984, 1986）は供試材として気乾材を用いて実験を行い、また、横切削条件では連続した切り屑が得られていないため、実際のロータリー単板切削と同じ状況を再現しているかどうか疑問がある。また、長井等（1993b, c）による実験は未成熟材を用いた結果で、一般的なスギ材の被削性を示したと考えることは難しい。このほか、長井等（1991, 1993a）は節に見立てたスギの枝材の木口切削を行い、適切な刃先形状の検討を行った。

筆者の所属する森林総合研究所機械加工研究室では、ベニヤレースによる針葉樹材の単板切削性を明らかにするために一連の実験を行ってきており、外国産材についてはこれまでに北洋材および北米材（木下：1982, 1983a），ニュージーランド産ラジアータマツ（木下：1989），フィジー産カリビアマツ（*Pinus caribaea* Morelet），インドネシア産メルクシマツ（*Pinus merkusii* Jungh. et De Vr.）およびカシヤマツ（*Pinus kesiya* Gordon）（高野：1989）について報告し、適正切削条件を求めてきた。しかし、国産針葉樹材については未公表の予備的な実験しか行っていない。

ところで、国産針葉樹のなかでも特にスギについては、他の樹種と比較して良質の単板を得ることが難しい。すなわち、著しい早材部の剥離による単板面粗さの増大と、剥離した小片による刃詰まり（剥離した小片が刃物とノーズバーの間に詰まる現象）の発生のためである（中村：1984）。したがって、スギ材を単板の形に加工して需要拡大を図るためには、この欠点が発生する原因を明

らかにする必要がある。また、単板切削を対象とした研究報告がない他の国産針葉樹材についても、その切削性を明らかにする必要がある。

本章では国産針葉樹造林木としてスギ、アカマツおよびヒノキについて、そのなかでもとりわけ用途拡大が求められているスギ中小径木を主体とし、中小径木用に開発されたスピンドル径の小さい原木外周駆動方式のベニヤレースを用いて単板切削試験を行った結果について述べる（一部は従来型のベニヤレースを使用）。本章の実験では、各樹種における単板歩留まりや単板品質を調べて適性切削条件（刃物条件や刃口間隔条件）を検討するとともに、単板切削工程における問題点とその解決方法を明らかにすること、あるいはその糸口を探ることを目的とした。

2.2 実験装置および方法

2.2.1 ベニヤレース

実験に使用したベニヤレースはウロコ製作所製で、中小径木用に開発されたスピンドル径の小さい外周駆動方式のものと、既報（たとえば木下：1984）で使用してきた従来型の2台である。

外周駆動方式のベニヤレースの主な仕様は次のとおりである。切削できる原木の最大長さ1 m、切削できる原木の最大径400 mm、単板厚さの範囲0.6～4.0 mm、最大切削速度35 m/min、油圧ダブルスピンドル方式で大スピンドル径100 mm、小スピンドル径50 mm、原木外周駆動兼ベンディング防止ロール（以下外周駆動ロール）およびローラーディスク付き。Photo 2-1に、外周駆動ロールおよびローラーディスクを示す。外周駆動ロールの回転速度および原木に対する押しつけ圧は、原木の周速と径に応じて微調整が可能である。主要な電動機の出力は、主電動機22 kW、油圧ポンプ用30 kWである。原木木口面のチャッキング位置決めはチャージャーによって行い、切削した単板はロータリークリッパーによって所定の長さに切断した。

原木の径が35 cmを越えるものおよび単板歩出し厚さ（単板の設定厚さ）が5 mmの場合については、従来型のベニヤレースを用いた。切削可能な原木長さ10～100 cm、原木直径10～80 cm、ダブルスピンドル方式のもので大スピンドル径が160 mm、小スピンドル径が90 mm、主軸回転数は0～80 rpmの範囲で可変で、設定可能な単板歩出し厚さは0.5～25 mmである。また、主な

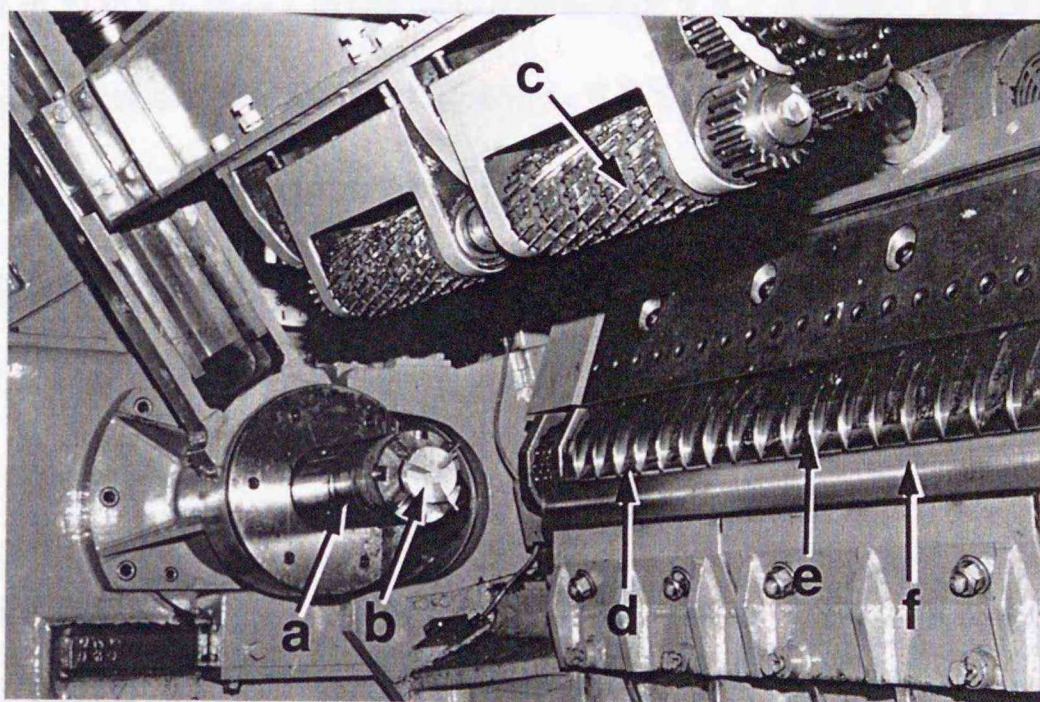


Photo 2-1. 外周駆動方式のベニヤレース

a: 大スピンドル（径 10 cm ）， b: 小スピ
ンドル（径 5 cm ）， c: 外周駆動ロール，
d: ノーズバー， e: ローラーディスク， f:
ナイフ。

電動機の出力は主電動機が 30 kW，油圧ポンプ用が 11 kW（2 台），3.7 kW（2 台），5.5 kW である。

2.2.2 供試原木

使用した樹種はスギ（*Cryptomeria japonica* D.Don），アカマツ（*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.）およびヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Endl.）で，スギは茨城県内の品質の異なる 3 産地，アカマツは福島県産，ヒノキは茨城県産である。

スギは長さ約 4 m の丸太について直径および年輪幅を測定し，その後，末口径 22 cm 以下を小径木，24 ～ 28 cm を中径木，それ以上を大径木として 3 つのグループに分け，剥皮した後に長さ 95 cm に玉切りした。総原木数は 410 本であった。スギ平均年輪幅の測定結果の一部を Table 2-1 に，玉切り後の原木径を径級別に Table 2-2 に示す（以後，単板切削用に玉切りした材を原木と呼び，玉切り前の丸太と区別する）。

Table 2-1. 供試丸太^{a)}の年輪幅（スギ）

丸太 産地	丸太 径級 ^{b)}	心材				辺材			
		測定 原木数	平均 (mm)	最小 (mm)	最大 (mm)	測定 原木数	平均 (mm)	最小 (mm)	最大 (mm)
M ^{c)}	小径	35	2.7	1.7	3.6	30	2.0	0.2	2.8
	中径	24	3.6	2.4	5.0	24	1.7	1.1	2.9
D ^{c)}	小径	31	3.4	2.3	4.8	29	1.0	0.2	1.9
	中径	26	4.8	3.8	5.9	26	1.7	0.9	2.7
T ^{c)}	小径	34	2.7	1.8	3.8	28	1.4	0.6	3.8
	中径	25	4.1	2.9	6.3	25	1.5	0.9	2.5

^{a)} 長さ 4 m。

^{b)} 小径：末口径 22 cm 以下，中径：末口径 24 ～ 28 cm。

^{c)} 茨城県内の異なる 3 産地（M, D, T と書き表す）のものを供試した。

Table 2-2. 供試原木^{a)}の直径（スギ）

丸太径級 ^{b)}	原木数	原木径 (cm)					
		長径			短径		
		平均	最小	最大	平均	最小	最大
小径	196	23.7	19.0	30.0	22.4	18.0	28.5
中径	154	29.1	24.5	36.0	27.5	24.0	33.0
大径	60	37.1	32.0	46.0	34.9	29.0	42.0

^{a)} 原木長：95 cm。

^{b)} 小径：末口径 22 cm 以下，中径：末口径 24 ～ 28 cm，大径：末口径 30 cm 以上（原木長 4 m）。

ヒノキは長さ4 mの丸太を4本用意し、長さ95 cmに玉切りして16本の単板切削用原木を用意した。玉切り後の原木の平均径は25.7 cmであった。

アカマツの丸太は長さが2 mあるいは4 mで、直径を測定した後に長さ95 cmあるいは90 cmに玉切りした。任意の12本について平均年輪幅を測定したところ、平均値は2.5 mmであった。玉切りした原木は、本実験に先立ち木口断面がほぼ円形になるまで剥皮をかねて従来型のベニヤレースで荒むきした。ところで、アカマツではスギに比べて丸太の細りや曲がりなどが大きく、これが単板歩留まりに影響すると考えたので、細りと曲がりを測定した（Fig. 2-1, Table 2-3）。ベニヤレースの鉋台は、スピンドルが1回転する間に所定の厚さ（単板歩出し厚さ）ずつ移動するので、荒剥き時に刃物が原木に触れてから連続した単板が切削されるまでの鉋台の移動量を、スピンドルの回転数をカウントすることによって測定し、この値を原木の細りあるいは曲がりとした。

外周駆動方式のベニヤレースで切削した玉切り後のスギとアカマツの原木本数を、原木径級別にTable 2-4に示す。これらの原木は単板歩出し厚さ3 mmの条件で切削し、単板歩留まりの測定に供試した。なお、単板歩留まりや単板品質に及ぼす原木木口断面の形状および辺・心材の比率の影響を調べるため、切削試験を行う前に各原木ごとに長径・短径および辺材幅を測定した。

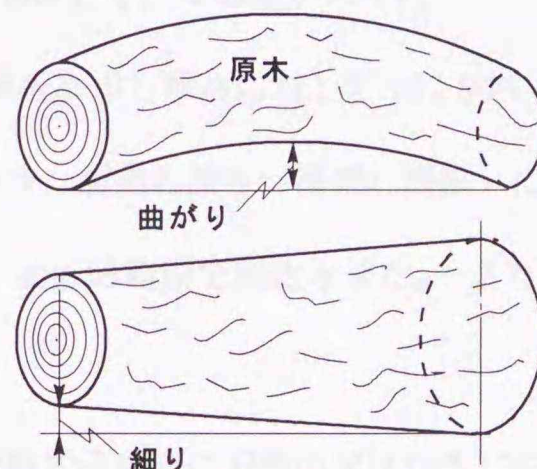


Fig. 2-1 原木形状の測定

Table 2-3. アカマツ原木の形状

原木径 ^{b)} (cm)	細り ^{a)} (cm)				曲がり ^{a)} (cm)			
	測定数	平均	最小	最大	測定数	平均	最小	最大
16~18	1	0.8	0.8	0.8	2	1.3	1.0	1.5
~20	9	1.8	0.8	3.8	26	1.4	0.5	4.3
~22	19	1.9	0.8	5.5	42	1.3	0.5	4.5
~24	20	1.8	0.5	4.5	44	1.5	0.5	4.3
~26	39	1.4	0.5	3.3	32	1.3	0.5	3.0
~28	19	2.1	0.8	4.3	14	1.4	0.5	4.8
~30	12	2.3	1.3	3.8	4	1.3	1.0	1.5
~32	6	2.1	1.3	3.0	2	1.0	0.8	1.3
~34	3	2.3	1.5	3.5	1	1.8	1.8	1.8

^{a)} 長さ95 cm材の荒剥きに要したベニヤレースの鉋台の移動量により測定。

^{b)} 荒むき前の直径。

注) 単板歩出し厚さ3 mmで切削。

Table 2-4. 供試原木の径級別本数

原木径 (cm)	スギ原木数				アカマツ 原木数
	産地M	産地D	産地T	合計	
16~18	0	0	0	0	3
~20	7	2	5	14	35
~22	15	23	16	54	61
~24	43	27	14	84	65
~26	18	28	20	66	72
~28	20	18	25	63	33
~30	28	13	10	51	16
~32	7	9	3	19	8
~34	0	2	0	2	4
計	138	122	93	353	297

注) 原木長さは 95 cm で、径 35 cm 以上のものを除く。

2.2.3 実験条件

切削条件として単板歩出し厚さ（単板の設定厚さ）と刃口間隔（刃先とノーズバー先端の距離：D, Fig. 2-2 参照）*を変化させた。単板歩出し厚さは主に 3 mm とし、そのほかスギについては 1, 2, 4, 5 mm についても実験を行った。刃口水平方向開きは単板歩出し厚さに対して主に 90% の条件で実験したが、一部については単板品質（厚さむら、面粗さ、裏割れ深さ、裏割れ間隔）に対する刃口条件の影響を調べるため、刃口水平方向開きを 100 ~ 80% の範囲で変化させた。また、切削速度は 20 m/min 一定とし、むき芯径 6 cm まで切削した。

ところで、スギ材の節は他の樹種と比較しても硬く、単板切削する場合に刃物の欠けが生じやすいことを予備実験で確認した。工場における単板切削工程では、節による刃先の欠けを防ぎ、安定した品質の単板を切削することが必要である。そこで、スギの切削試験では、適正な刃物条件を調

* 単板品質に影響を及ぼす重要な切削条件のひとつに刃口間隔（刃先とノーズバー先端の距離：D）があり、さらに、ベニヤレースの構造上、水平方向（H）と垂直方向（V）の2種類の刃口間隔の条件がある（Fig. 2-1 参照）。市販のベニヤレースでは、プレッシャーバー全体がある一定の傾斜角（ ϕ , Fig. 2-1）を持った滑り面上を移動する構造になっており、水平方向と垂直方向を独立して設定することができない。本研究で使用したウロコ製作所の製品は、刃口を開くにしがってノーズバーが 12° の角度で引き上げられる構造となっている。なお、刃口の間隔を単板歩出し厚さに対する百分率であらわす場合には、「刃口開き」と書き表す。

べるために刃物角 (β_1) および刃先角 (β_2) を変化させた (Fig. 2-3)。刃物角は 20° および 22° の2条件で、すくい面側 (Fig. 2-3 (a) の条件) あるいは逃げ面側 (Fig. 2-3 (b) の条件) をランド幅 (l) 1 mm の条件で手仕上げにより研磨し、刃先角を 24° , 25° , 26° および 28° とした。なお、アカマツおよびヒノキの場合には、スギの実験において良い結果を得ることのできた刃物角 22° および刃先角 28° (すくい面側をランド幅 1 mm で研磨) の条件で実験を行った。逃げ角 (α) は $40'$ に設定した。ところで、スピンドル中心線から刃先の位置までの距離 (h , Fig. 2-2) の設定条件によっては、原木径の変化 (原木表面の曲率の変化) にともなって実際の逃げ角は変化し、これを一定の値に保つためには刃先の高さを $h = t / 2\pi$ (t : 単板歩出し厚さ) に設定すればよいことが明らかにされている (林: 1962, 1977b, 黄: 1971)。本研究でも、 $h = t / 2\pi$ となるよう刃先位置を設定し、逃げ角を一定になるようにした。

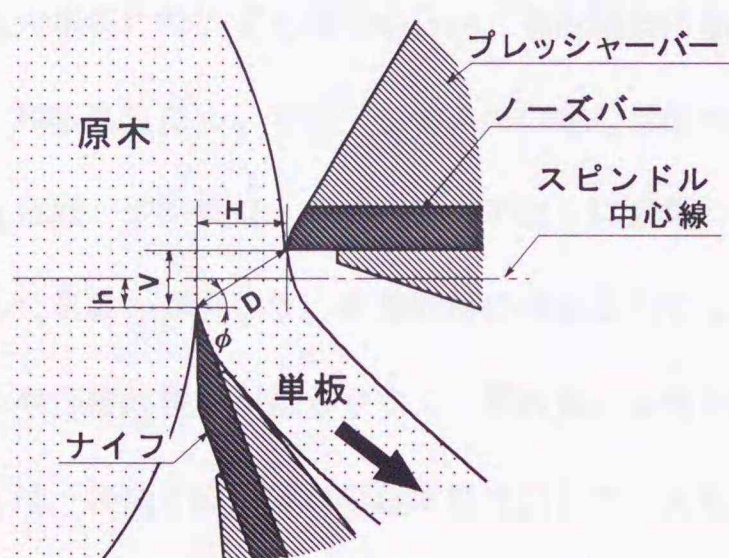


Fig. 2-2. ベニヤレス刃口付近の断面概略図

D: 刃口間隔, H: 刃口水平方向間隔, V: 刃口垂直方向間隔, h: スピンドル中心線から刃先の位置までの距離, ϕ : ノーズバー引上げ角。

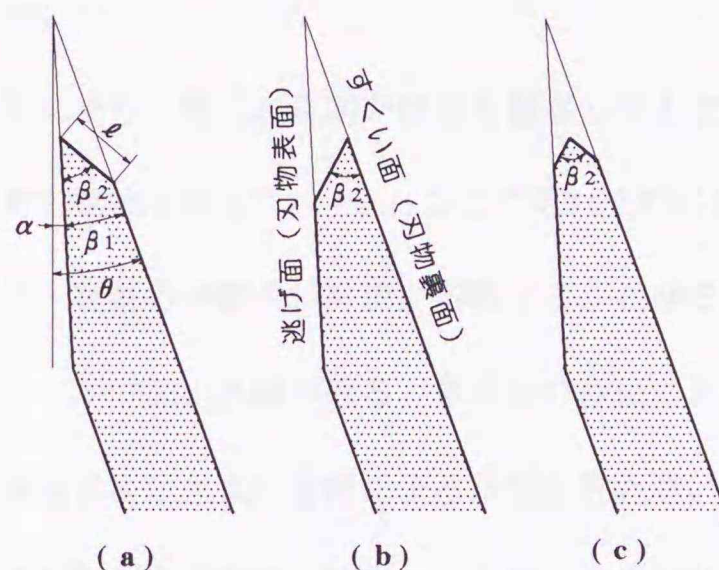


Fig. 2-3. 刃先の研磨仕上げ方法

α : 逃げ角, β_1 : 刃物角, β_2 : 刃先角, θ : 切削角, l : ランド幅。

2.2.4 測定方法

この章では次の項目について測定・観察を行った。

1. 単板歩留まりの測定 (スギ, アカマツ)
2. 切削時に発生するトラブルの種類 (スギ)

3. 単板品質の評価

① 表面の粗さによる評価（スギ）

② 表面に現れた節の程度による評価（アカマツ）

4. 切削条件による単板品質の変化（スギ，アカマツ，ヒノキ）

5. 刃先の研削方法と刃物の寿命およびそれに伴う単板品質の変化（スギ）

6. 外周駆動ロールおよびローラーディスクの効果（スギ）

切削した単板は、定尺および乱尺単板に分けて枚数を数え、原木体積に対する単板体積の割合を単板歩留まりとした。ここで、定尺単板とは、クリッパーによって切断した長さ 70 ～ 90 cm の単板で、それよりも短く 5 cm 以上のものを乱尺単板としている。また、乱尺単板の材積は、長さ 30 cm を境界に 2 種類に分けてその枚数を数えて算出した。なお、アカマツでは荒むき時に切削した乱尺単板についても測定を行い、集計結果に加えた。

単板品質については、まずスギの定尺単板を肉眼により、特に単板面の粗さを観察して 4 段階（良好、やや良好、やや不良、不良）に分類し、その枚数を数えた。Photo 2-2 にそれぞれに分類した単板の例を示す。針葉樹材の単板切削では、早・晩材の分離や早材部が剥落するいわゆる目離れや目ぼれ現象が起きやすく、単板面には幅が広く、かつ深い痕跡が残る。単板面の評価にあたっては、特にこの目ぼれの程度に注目した。また、産地および丸太の径級による単板品質の違いを調べる目的で、刃先摩耗の影響を避けるため、原木の切削順序に産地や径級による偏りが生じないように留意した。

アカマツではスギに比較して単板面がはるかに平滑で、特に実用上支障はないと判断した。そこで、アカマツでは単板面の節に注目し、126 本の原木について定尺単板面に現れた節の大きさと数によって単板品質を肉眼で 4 段階（無節、少ない、やや多い、多い）に分類して枚数を数えた。

ヒノキについては原木形状はスギと同等あるいはそれ以上で、また、用意した原木本数も少なかったため、歩留まりの測定および目視による単板品質の分類は行わず、切削条件による単板品質の変化だけを測定した。

各樹種から一部の供試原木を選び出し、切削条件を変化させて①単板厚さ（スギ）、②単板面粗

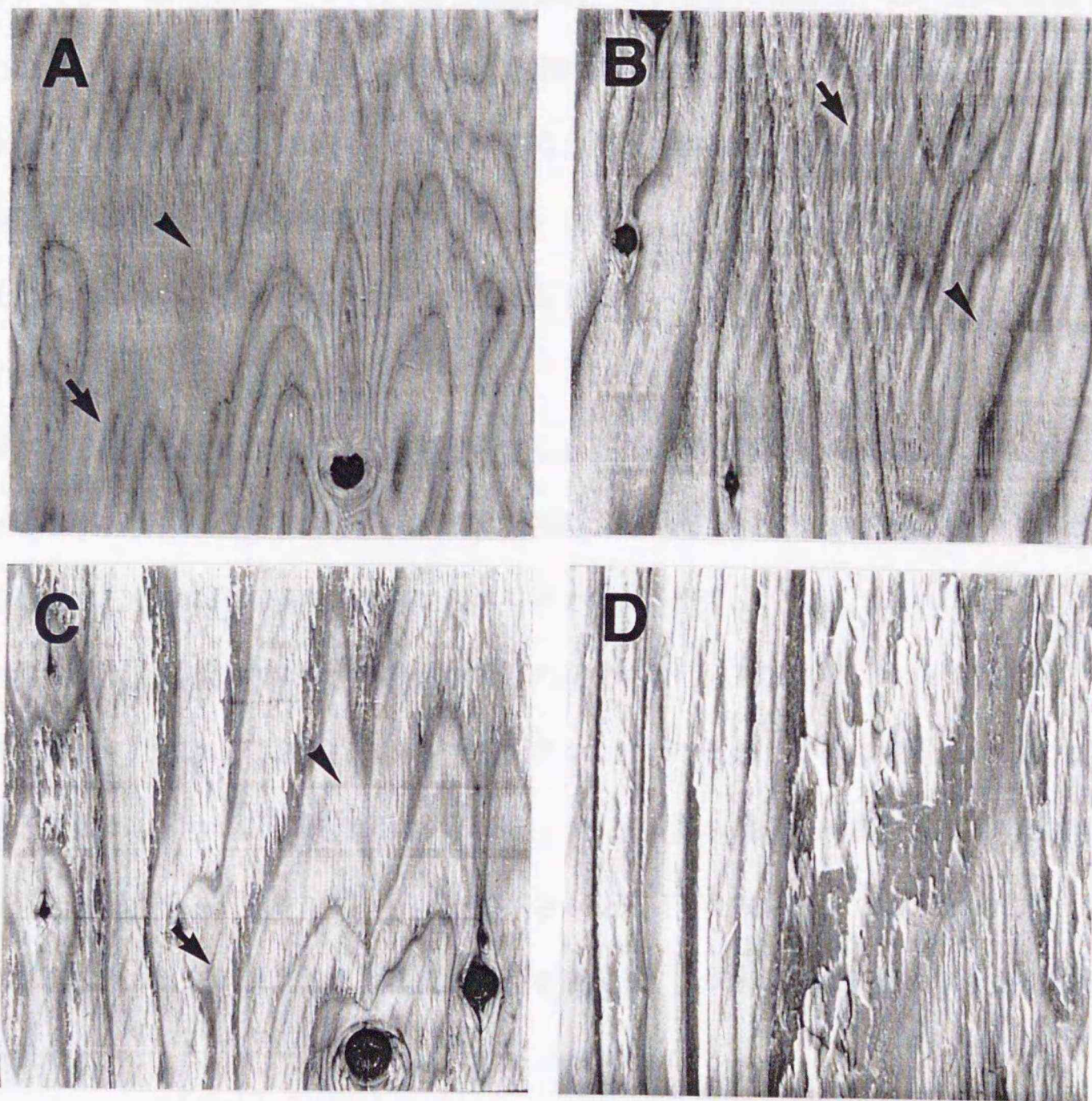


Photo 2-2. スギ単板面粗さを肉眼によって4段階に評価した場合の例

A: 良好, B: やや良好, C: やや不良, D: 不良。

単板表面に外周駆動ロールの跡（たとえば矢印の部分）と
ローラーディスクの跡（たとえば矢頭の部分）が見える。

さ（全樹種），③裏割れ深さ（スギ，ヒノキ）および裏割れ間隔（スギ）を測定した。

単板厚さはクリッパーによって切断した定尺単板について測定した。面粗さおよび裏割れは小さな測定用の試験片を定尺単板から切り出して測定した。測定用の試験片は，定尺単板の木口面側の端部を除いて10（繊維方向）×6～8 cm（接線方向）の大きさに切断し，そのなかから節や年輪の乱れのないものを選んで用いた。面粗さ，裏割れ深さおよび裏割れ間隔の測定および算出法は，既報（木下：1984, 1989, 高野：1989）と同様である。以下，各測定の詳細について述べる。

①単板厚さの測定は，単板歩出し厚さを2.0, 3.0, 4.0 mm，そして刃口水平方向開きを85, 90, 95%のそれぞれ3水準に変化させて切削した定尺単板について，精度1/100 mmのダイヤルゲージで行った。

②単板面粗さは，触針式粗さ計（小坂製作所SE-4A，低倍率型検出器を使用）によって切削方向における基準長さ5 cmのプロフィールカーブを得た後，その山と谷との差の大きいものから5点ずつを選び，それらの平均値で十点平均粗さを求めた。

③裏割れ深さは，単板厚さに対する裏割れ深さの比，すなわち裏割れ率（%）で表した。面粗さの測定が終わった試験片の裏面にスタンプインクを塗布して乾燥した後に切断し，その木口断面を万能投影機によって20倍（単板厚さ2, 3, 4 mm）あるいは10倍（単板厚さ5 mm）に拡大して，単板の輪郭と裏割れをトレーシングペーパーに長さ60 cm（万能投影機上）にわたって写しとり，それより単板厚さ，裏割れ深さおよび裏割れ間隔を測定して，単板ごとに裏割れ率と裏割れ間隔の平均値を求めた。

2.3 単板歩留まり

2.3.1 スギ

Table 2-5 にスギ単板歩留まりの集計結果を示す。定尺と乱尺をあわせた総単板歩留まりの全原木の平均は72%で，原木径が大きくなるほど定尺単板および総単板歩留まりは増加し，乱尺単板歩留まりは減少した。乱尺単板のほとんどは連続した単板を得ることができる前に切削されるため，その総量の原木径による変化は定尺単板の変化に比べて小さかった。連続した単板から切り出され

る定尺単板の量は、幾何学的にはおおむね原木径の2乗に比例して増加するため、乱尺単板の占める割合は相対的に減少する。

単板歩留まりを低下させる原木径以外の最も大きな原因は、単板切削時に起きる原木の割れの発生あるいはチャックの空回りであった。いずれも刃物から切削方向に原木が受ける切削力とチャックから原木が受けるトルクに対して原木が抗しきれなくなるために生じる。原木の割れは繊維に平行な割れが原木横断面でほぼ半径方向に発生するもので、またチャックの空回りは、Feihl（1967）が図示しているように、原木木口面におけるチャックの圧入部の付近の繊維が、繊維に対して直角方向にせん断破壊を起こしてドリルで穴をあけたような状態になる現象である。定尺単板の歩留まりの最小値が0%となったのは、定尺単板を得る以前に原木の割れやチャックの空回りが生じたため、チャックの空転が生じた時点で切削を中止したため、径の大きなむき芯が残った。このことは、切削中のトラブルによって原木材積に対するむき芯材積の比率が大きくなったことから明らかである（Table 2-6 中のむき芯率最大値）。スギ349本を切削したときの切削時におけるトラブルの発生状況を見ると（Table 2-7）、全体の約13%に原木の割れが生じ、約9%の原木にチャックの空転現象が起きた。特にチャックの空転は大径のチャック（大スピンドル）が後退して原木駆動の主体が小スピンドルに切り替わった直後に起きやすく、単板歩留まりの大きな低下をもたらしていた。

Table 2-5. スギ単板歩留まり

原木径 (cm)	原木 本数	定尺 ^{a)} 単板歩留まり(%)				乱尺 ^{b)} 単板歩留まり(%)				総尺単板歩留まり(%)			
		平均	最小	最大	標準偏差	平均	最小	最大	標準偏差	平均	最小	最大	標準偏差
18~20	14	50.1	0.0	61.5	15.1	20.7	7.0	42.4	9.1	70.8	17.5	91.0	24.5
~22	54	51.7	8.4	71.7	13.2	18.9	3.9	50.3	9.0	70.6	24.7	94.9	16.6
~24	84	55.5	0.0	67.1	10.0	16.3	2.3	36.3	6.2	71.8	16.0	88.2	13.4
~26	66	54.3	13.5	69.0	11.4	15.8	6.8	30.2	5.6	70.1	32.3	81.4	15.3
~28	63	58.9	16.0	80.8	9.9	15.4	3.6	34.6	6.4	74.3	50.6	88.8	8.3
~30	51	59.3	27.4	69.6	8.4	14.1	5.5	27.9	5.3	73.4	45.0	84.9	11.0
~32	19	56.0	34.5	68.8	9.9	16.4	5.4	27.0	5.9	72.4	47.3	85.5	15.2
~34	2	62.7	60.9	64.5	2.5	13.9	12.9	14.9	1.4	76.6	75.9	77.4	1.1

注) 単板厚さ: 3 mm, 原木長: 95 cm。

^{a)} 定尺単板サイズ: 95 × 70 ~ 90 cm。

^{b)} 乱尺単板サイズ: 95 × 5 ~ 90 cm。

乱尺単板の歩留まりは、一般に原木形状あるいは原木のチャッキングの位置のずれによって影響を受ける。しかし、乱尺歩留まりと原木の長径と短径の比との間の相関を調べてみたところ、両者の間に明らかな相関関係はなかった。また、スギ原木には歩留まり低下をもたらす他の原木形状に関する要因である、著しい曲がりや細りもほとんどなかった。したがって、長径と短径の比を含めた原木形状に関する諸要因による影響は、チャージャーによるチャッキングのずれから生じるばらつきに包含されたと考える。

Table 2-6. 原木体積に対するむき芯の比率

原木径 (cm)	スギ				アカマツ			
	原木数	むき芯率 (%)			原木数	むき芯率 (%)		
		平均	最小	最大		平均	最小	最大
16~18	0	—	—	—	3	21.7	11.1	39.1
~20	14	16.1	9.0	84.8	35	13.9	8.4	39.6
~22	54	12.4	6.8	66.3	61	12.2	6.8	54.5
~24	84	9.3	6.5	60.5	65	11.0	5.7	52.5
~26	66	10.5	4.8	53.2	72	10.5	4.6	41.7
~28	63	6.7	4.3	45.3	33	6.5	4.1	35.6
~30	51	7.5	4.0	39.1	16	6.1	3.6	18.3
~32	19	8.9	3.7	36.0	8	7.4	3.1	26.7
~34	2	3.8	3.3	4.4	4	3.4	2.9	4.2

Table 2-7. スギ切削時におけるトラブル

原木数	トラブル無し	原木の割れ	チャックの空転
349	275 (78.8%)	44 (12.6%)	30 (8.6%)

2.3.2 アカマツ

アカマツの単板歩留まりの集計結果を Table 2-8 に示す。総単板歩留まりの全原木平均は 64% であった。スギと同様に原木径が大きくなるほど定尺単板および総単板歩留まりは増加し、乱尺単板歩留まりは減少した。また、その変化量には、スギとの大きな違いはなかった。しかし、同一原木径における総単板歩留まりと定尺単板歩留まりは常にスギの場合 (Table 2-5) で大きく、逆に、アカマツの乱尺単板歩留まりは、スギに比較してやや大きくなる傾向があった。これは原木形状の差によるもので、原木の曲がりや細り (Table 2-3)、原木外周の凹凸ともにスギよりもアカマツの方がかなり大きかったことに原因がある。しかし、スギの場合と同様に、単板歩留まりと原木の

形状（長径と短径の比，曲がり，細り）との間に有為な相関関係はなかった。

Table 2-8. アカマツ単板歩留まり

原木径 (cm)	原木 本数	定尺 ^{a)} 単板歩留まり(%)				乱尺 ^{b)} 単板歩留まり(%)				総尺単板歩留まり (%)			
		平均	最小	最大	標準偏差	平均	最小	最大	標準偏差	平均	最小	最大	標準偏差
16~18	3	27.8	0.0	43.0	24.1	22.7	16.2	33.7	9.6	50.5	33.7	61.2	14.8
~20	35	40.0	10.8	54.0	11.2	21.6	7.8	31.9	6.1	61.5	36.5	73.8	10.2
~22	61	42.9	4.4	58.5	10.8	20.9	9.7	45.4	7.1	63.8	3.37	87.6	9.5
~24	65	45.9	4.0	60.4	11.8	18.4	5.4	41.2	6.3	64.3	22.3	86.1	11.5
~26	72	45.6	10.2	71.1	12.9	17.9	7.4	38.3	6.3	63.5	31.1	85.7	11.2
~28	33	49.6	21.4	64.2	9.2	18.2	9.1	29.8	4.8	67.8	44.8	78.5	7.5
~30	16	53.7	41.7	72.1	7.9	14.5	8.5	23.1	4.2	68.3	58.2	82.9	7.1
~32	8	53.3	36.5	60.7	7.6	14.5	12.0	20.5	2.7	67.7	51.2	77.3	8.1
~34	4	55.4	47.6	66.7	9.1	13.4	11.6	16.9	2.5	68.8	60.1	78.3	8.1

注) 単板厚さ：3 mm, 原木長：95 cm。

^{a)} 定尺単板サイズ：95 × 70 ~ 90 cm。

^{b)} 乱尺単板サイズ：95 × 5 ~ 90 cm。

2.4 単板品質の評価

2.4.1 単板面粗さによるスギ単板の評価

Fig. 2-4 および 2-5 にスギにおける辺・心材別の単板面の評価結果を丸太径級および産地別に示す。丸太の径によらず辺材単板の品質ははるかによく（天野：1984b），辺材単板の 90% 以上が「やや良好」以上の品質に分類できたのに対して，心材単板の場合には 50% 以下であった。原木材積に占める辺材材積の比率を見ると（Table 2-9），径の小さい原木からより高い割合で辺材単板を得ることができたことがわかる。これは，一般に辺材幅は樹幹の径によらず一定であり，辺材材積の割合が原木径の減少にしたがって増加するためである。また，単板品質は原木産地によっても差があり，産地 M に対して D および T では品質が悪かった（Fig. 2-5）。

単板品質に影響を与える原木材質の因子として，通常は含水率，年輪幅，比重などが考えられるが，現在までのところ，これらの影響については明らかにされた例は少ない（第 3 章参照）。しかし，辺・心材間の単板品質の違いからは含水率の，そして，産地間における単板品質の違いと年輪幅の相違（Table 2-1）からは年輪幅の影響の大きいことがそれぞれ推察できる。両者の影響について以下に議論していく。

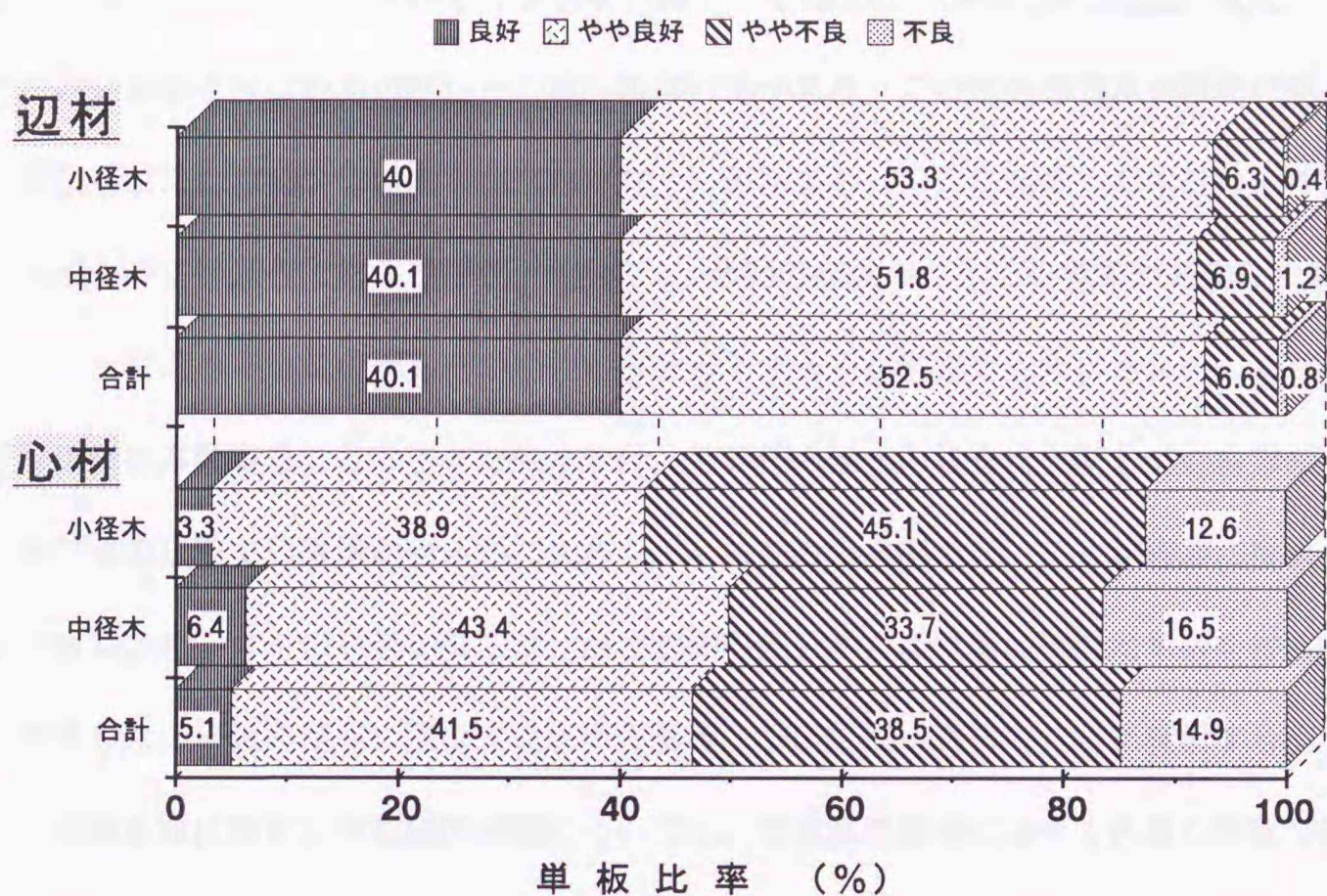


Fig. 2-4. 目視によるスギ単板の表面品質別の枚数比率（丸太径級別）
小径木：末口径22 cm 以下，中径木：末口径24～28 cm（丸太長さ4 m）。

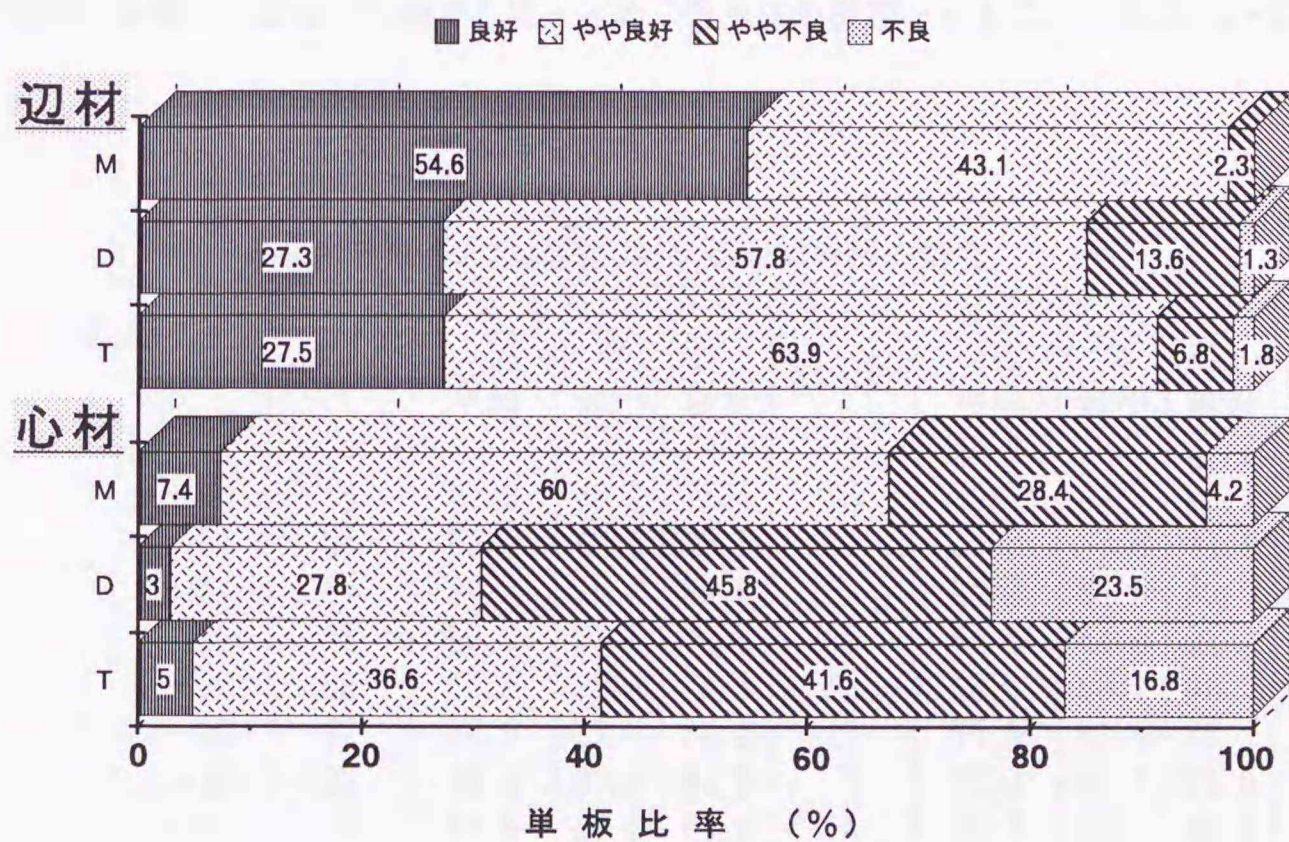


Fig. 2-5. 目視によるスギ単板の表面品質別の枚数比率（原木産地別）

一般に辺材部では心材部に比較して含水率が高く、それは辺・心材境界で急激に変化する。スギの場合には白線帯と呼ばれる辺材から心材への移行部があり、この部分の含水率は特に低くなっている。単板切削を行う場合には最も面が粗くなり、刃詰まり（刃口に剥離した木材の小片が詰まる現象）も起きやすい部分である（中村：1984）。今回の実験中にもこの現象が発生し、同時に、切削中の刃先付近から早材の剥落部の小片が多数落下するのが観察できた。さらに、心材部から面の良好な単板を多数得ることのできた原木では、その他の原木の場合に比較して心材単板およびむき芯ともに生の状態では重量が明らかに大きく、心材部の含水率の高いことが容易に推察できた。これらの事実より、スギの単板切削では、高含水率の部分からより面の平滑な単板を得ることができると推察した。単板面粗さに及ぼす含水率の影響については、次章でさらに検討する。

一方、単板品質に対する年輪幅の影響については、含水率の場合に比べてあまり明確ではない。Table 2-1 に示したように M 産の原木は他の産地に比べて年輪幅が狭く、年輪幅の狭いことが単板品質に関して有利であることを示唆している。しかし、節の大きさやその数、またはスギにしばしば現れる高い含水率の心材をもつ原木の頻度などの不確定な要因があるため、ここでは単板品質に対する年輪幅の影響の可能性を指摘するにとどめ、含水率の影響とともに、次章において詳細な検討を進める。

Table 2-9. 原木材積に対する辺材材積の割合

原木径 (cm)	スギ				アカマツ			
	原木数	辺材率 (%)			原木数	辺材率 (%)		
		平均	最小	最大		平均	最小	最大
16~18	0	—	—	—	3	80.6	76.5	87.5
~20	14	57.3	44.7	72.3	35	80.7	62.7	95.1
~22	54	58.4	42.0	82.8	61	81.3	57.8	91.8
~24	84	58.4	36.0	84.7	65	81.2	59.5	89.9
~26	66	52.9	38.5	69.6	72	80.6	64.0	92.2
~28	63	54.0	28.4	73.1	33	78.0	62.1	90.5
~30	52	52.5	32.5	86.9	16	75.0	61.5	88.1
~32	25	48.4	37.0	64.0	8	72.3	45.0	91.6
~34	19	47.5	31.0	68.4	4	76.7	52.7	90.2
~36	14	41.7	28.6	63.6	0	—	—	—
~38	11	44.2	34.3	57.4	0	—	—	—
~40	9	39.6	32.7	49.5	0	—	—	—
~42	1	39.9	39.9	39.9	0	—	—	—
~44	1	30.6	30.6	30.6	0	—	—	—

2.4.2 節によるアカマツ単板の評価

アカマツの単板面はスギに比較して滑らかで、スギ材の場合にみることできた早材部の剥落や辺・心材間における単板品質の差は観察できなかった。しかし、アカマツでは原木表面に現れた大きな節が目についたため、単板面に現れた節の大きさと数によって単板品質を肉眼で4段階に分類した。なお、アカマツでは辺材の占める割合が大きく、原木径に対する心材径の割合は約45%、原木材積に占める辺材の比率は約80%にもおよんでおり（Table 2-9, 前出）、得られた単板のほとんどが辺材部であった。

Fig. 2-6 に示したように、原木径の大きなものから節の少ない単板をより多く得ることができた。特に径が28 cm を越える原木からの単板は、その約半数が無節であった。原木径が大きくなれば原木外側の節の少ない単板の割合が増加するため、大径の原木からより多くの無節単板を得ることができる。なお、原木径16-18 cm では無節単板が50% と高い値となったが、この径級の原木数が3本と少なかったため（Table 2-4）、これがこの径級における平均的な値であるかどうか疑わしい。

ところで、マツでは何本かの枝が幹の同一高から出ている（輪生）ため、単板面での節の現れ方

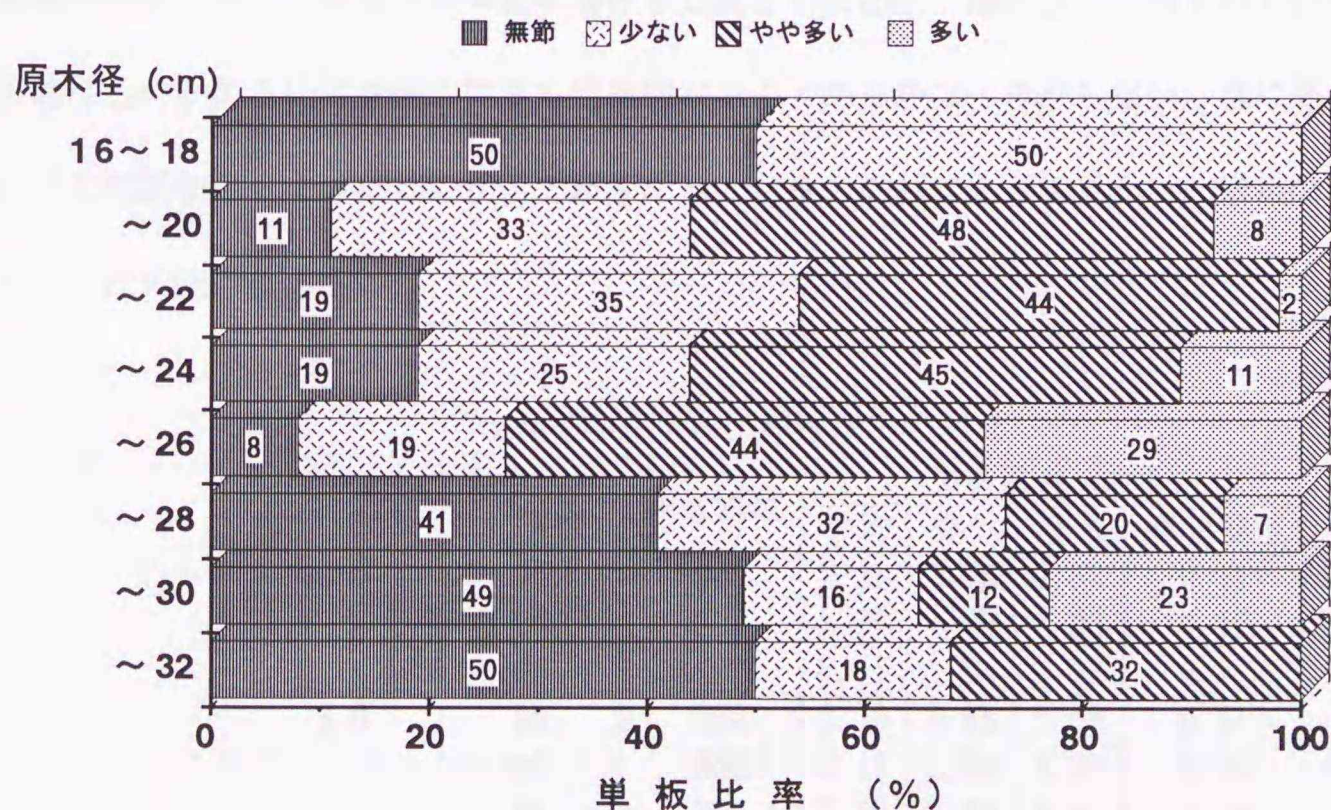


Fig. 2-6. 単板面に現れる節による単板品質の評価（アカマツ）

もスギやヒノキなどと異なり1箇所に集中して現れる傾向があり、その部分を除けば節による年輪の乱れが少なくなる。しかし、アカマツ原木はスギに比較して形状面で劣っており（Table 2-3），単板面に対する年輪の角度の大きな部分が現れやすく，極端な場合には柾目の単板もあった。年輪に対して逆目方向に切削した場合には逆目ぼれの発生によって切削面は粗くなるため（たとえば木下：1989），原木はなるべく断面が真円に近く通直であることが望ましい。なお，逆目切削部分の単板面の粗さについては次節で少し詳しく述べる。

2.5 切削条件による単板品質の変化

2.5.1 スギ

単板歩出し厚さおよび刃口水平方向開きの単板品質に及ぼす影響を調べるため，スギの一部の原木について切削条件を変化させて単板厚さ，面粗さ，裏割れ率および裏割れ間隔を測定した。

単板歩出し厚さおよび刃口開きを変化させた場合の単板厚さの測定結果を Table 2-10 に示す。供試原木は各刃口条件に対して1本であった。刃口開きが大きくなると標準偏差が増加する，すなわち厚さむらが増加する傾向があった。外国産のマツの場合（木下：1989, 高野：1989）に比較して変動が大きい，これはスギ単板の面粗さが大きいため，厚さむらに対する刃口開きの影響も直接的なものかあるいは面粗さによる間接的なものであるかはっきりしない。後に述べるが，単板面は刃口間隔を広くするにしたがって粗くなっており，これによって見かけの単板の厚さむらが大きくなった可能性もある。

Table 2-10. スギ単板厚さの変化

単板歩出し 厚さ(mm)	刃口開き (%)	測定値数	単板厚さ (mm)			
			平均	最小	最大	標準偏差
2.0	85	300	2.23	1.96	2.62	0.11
	90	317	2.26	1.95	2.57	0.12
	95	167	2.11	1.64	2.41	0.12
3.0	85	264	3.19	2.95	3.58	0.11
	90	348	3.18	2.90	3.59	0.12
	95	342	3.29	2.92	3.81	0.16
4.0	85	168	4.16	3.82	4.54	0.12
	90	150	4.20	3.87	4.55	0.13
	95	138	4.26	3.77	4.76	0.17

単板歩出し厚さおよび刃口開きを変化させた場合の辺・心材別の単板面粗さ、裏割れ率および裏割れ間隔の測定結果を、Fig. 2-7 ~ 2-9 および Table 2-11, 2-12 に示す。実験に用いた原木本数は面粗さの測定では単板歩出し厚さ 3 mm および 5 mm で 1 本、裏割れの測定では単板歩出し厚さ 5 mm で 1 本、2 mm で 2 本、3 mm および 4 mm で 3 本で、辺・心材それぞれから 3 から 5 枚の測定用試験片を採った。各歩出し厚さの条件内では産地および径級に偏りがないように供試原木を準備し、刃口開きによる変化を辺・心材別に調べた。したがって、異なる歩出し厚さ条件下の結果を比較する場合には、刃物の摩耗状態や供試原木の条件（産地や丸太の径級など）が各歩出し厚さ条件で必ずしも同じではないので、注意が必要である。

単板面粗さは表面に比べて裏面で大きくなる傾向があった。辺材部と心材部の結果を比較したところ、単板面を肉眼で評価した結果と同様に、辺材部の単板面が心材部に比較して滑らかになる傾向があった。また、既往の報告（天野：1984a, 中田：1992）と同様に、心材部に比べて辺材部で裏割れ深さがやや浅く、かつ、間隔が小さくなる傾向があった。辺材と心材との違いは本質的には心材成分の有無であり、大きな物理的性質の違いは寸法安定性および浸透性を除いては報告がない（日本木材学会、1980）。このような辺・心材間にみられる単板品質の差を引き起こす要因については、むしろ成熟材と未成熟材との物性の違いを考慮する必要があると考える。これを明らかにするため、次章では単板品質と単板の含水率、比重（特に早材部）、年輪幅などとの関係をさらに細かく調べていく。

刃口開きの影響については、他の樹種による既往の成果（たとえば木下：1984）と同様に、刃口を狭くするにしたがって面粗さが低下し、裏割れ率と裏割れ間隔が減少する傾向があった。しかし、実験条件によってはこの傾向がはっきりしない場合もあり、刃口開きの単板品質に及ぼす影響をより精密に検討するためには、辺・心材間の相違の場合と同様に、原木材質に関連する諸因子の影響を明らかにしていく必要があると考える。

このほか、単板歩出し厚さ 1 mm についても実験を試みたが、研磨直後の鋭利な刃物を使用しても刃詰まりが起きやすく、連続した単板を得ることは難しかった。スギの早材部は、他の樹種のそれに比較して比重が低く柔らかい。そのため、早材部の仮道管は切断されずに刃先によって圧縮・

変形されやすく（Leney: 1960a, b），単板厚さが1 mmのように薄い場合には，この変形・破壊部が単板表面にまでおよび，刃詰まりを起こしたと推察する。また，すでに述べたようにスギでは早材部の剥離が激しく，スギ単板（3 mm 厚）の面粗さは，後に示すようにアカマツおよびヒノキ（Fig. 2-10, 2-11, Table 2-13, 2-14）に比べて大きかった。この剥離現象についても，早材部の仮道管の圧縮・変形によって生じたものと推察する。

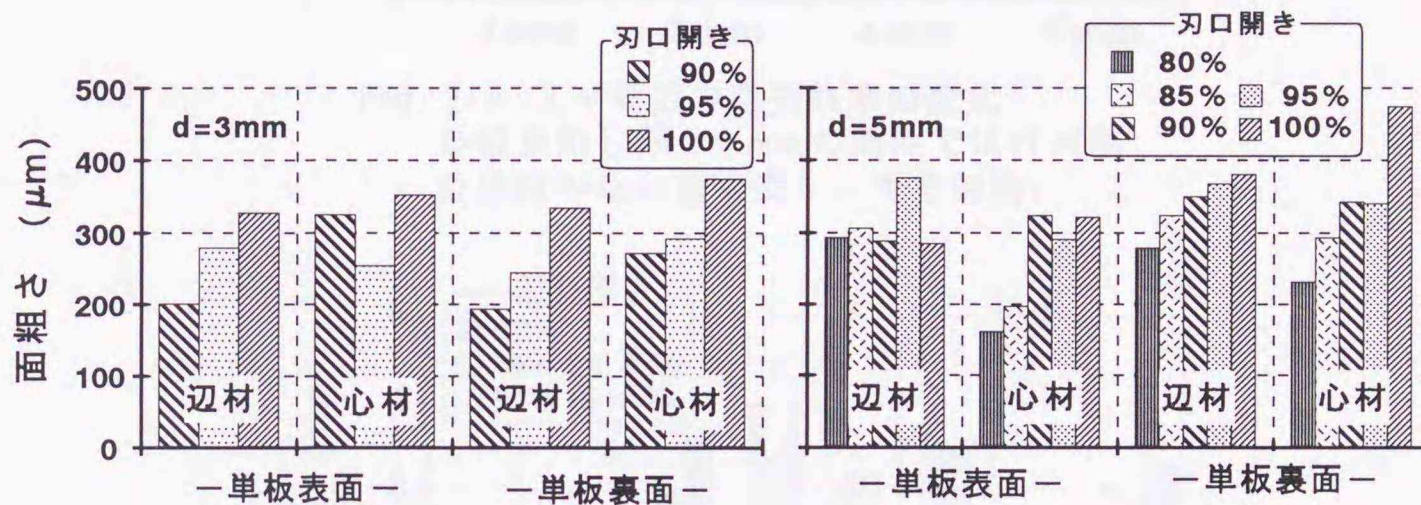


Fig. 2-7. スギ単板面粗さの変化
単板歩出し厚さ (d) 5 mm の条件では外周駆動装置のない通常型レースで切削。

Table 2-11. スギ単板面粗さの変化

単板歩出し 厚さ(mm)		単板面	単板面粗さ (μm)				
			H80%	H85%	H90%	H95%	H100%
3	辺材	表	-	-	200	279	327
	心材	表	-	-	325	254	352
	辺材	裏	-	-	193	244	334
	心材	裏	-	-	271	291	374
5 ^{a)}	辺材	表	292	305	288	375	-
	心材	表	161	197	323	290	-
	辺材	裏	278	323	350	367	-
	心材	裏	231	293	342	340	-

H: 刃口水平方向開き

^{a)} 外周駆動装置のない通常型レースで切削。

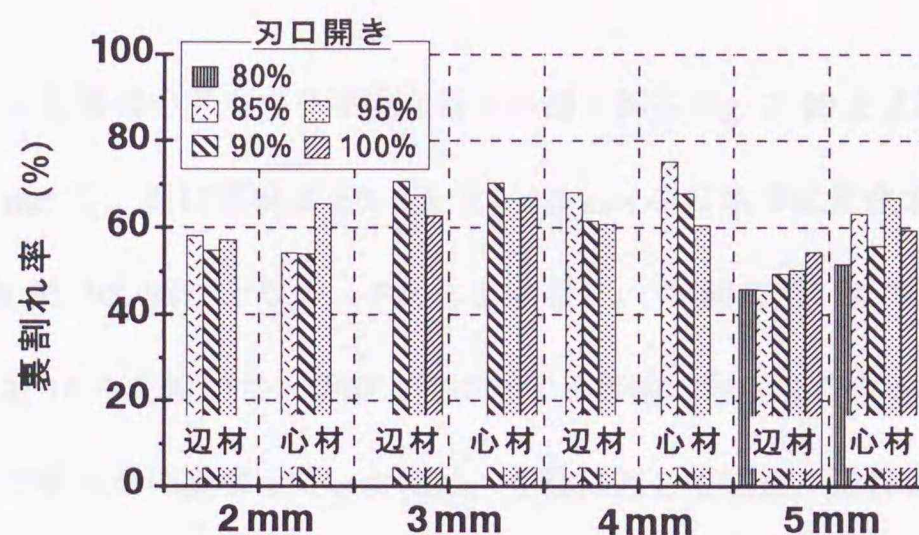


Fig. 2-8. スギ単板の裏割れ率の変化
単板歩出し厚さ5 mm の条件では外周駆
動装置のない通常型レースで切削。

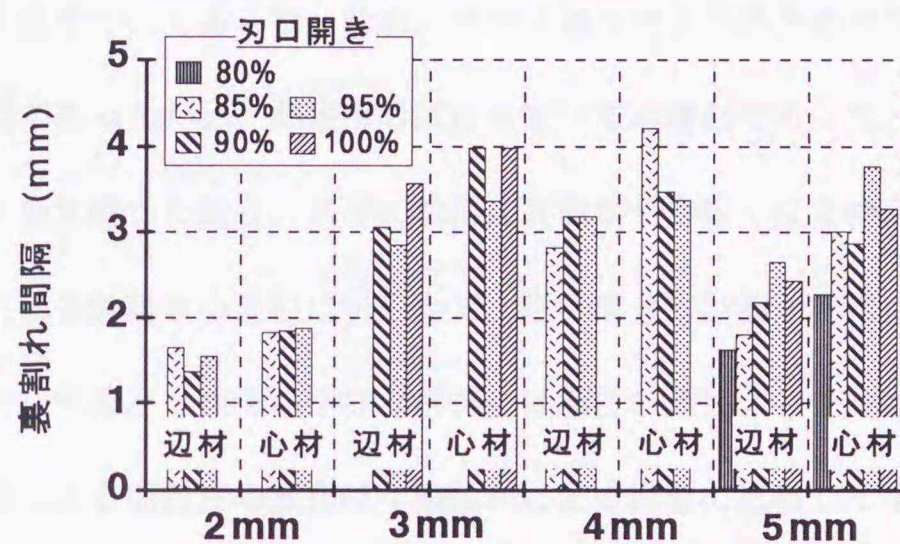


Fig. 2-9. スギ単板の裏割れ間隔の変化
単板歩出し厚さ5 mm の条件では外周駆
動装置のない通常型レースで切削。

Table 2-12. スギ単板の裏割れ率および裏割れ間隔の変化

単板歩出し 厚さ(mm)		裏割れ率 (%)					裏割れ間隔 (mm)				
		H80%	H85%	H90%	H95%	H100%	H80%	H85%	H90%	H95%	H100%
2	辺材	-	58	55	57	-	-	1.6	1.4	1.5	-
	心材	-	54	54	65	-	-	1.8	1.8	1.9	-
3	辺材	-	-	70	67	63	-	-	3.0	2.8	3.6
	心材	-	-	70	67	67	-	-	4.0	3.4	4.0
4	辺材	-	68	62	61	-	-	2.8	3.2	3.2	-
	心材	-	75	68	60	-	-	4.2	3.5	3.4	-
5 ^{a)}	辺材	46	46	49	50	54	1.6	1.8	2.2	2.6	2.4
	心材	51	63	56	67	59	2.3	3.0	2.9	3.8	3.3

H: 刃口水平方向開き

^{a)} 外周駆動装置のない通常型レースで切削。

2.5.2 アカマツ

刃口間隔を変化させた場合のアカマツ単板面粗さの測定例を Fig. 2-10 および Table 2-13 に示す。単板歩出し厚さは 3 mm で、刃口間隔は 2.7, 2.8, 2.9, 3.0 mm の 4 水準に変化させた（刃口水平方向開きはそれぞれ 88, 91, 95, 98% となる, Fig. 2-2 参照）。実験に用いた原木本数は各刃口条件について 4 本で、合計 16 本を用いた。切削方向に対する年輪の角度（この章では年輪傾斜と呼ぶ）によって単板面粗さが明らかに異なっていたため、年輪に対して順目、逆目およびそれらの中間となる年輪と単板面（あるいは切削方向）が平行な場合の 3 種類の試験片を用意し（第 3 章 Fig. 3-1, p. 45 参照）、面粗さの測定を行った。測定用の試験片の枚数は各原木につき 6 枚（順目、逆目、平行の各条件につき 2 枚ずつ）であった。なお、すでに述べたようにアカマツでは辺材幅が広くほとんどの単板が辺材部であったため、測定用の試片もすべて辺材部であった。

単板の表面と裏面とを比較した場合、スギと同様に裏面がやや粗くなる傾向があった。切削方向に対する年輪の角度による面粗さの違いは明らかで、逆目部分では面が非常に粗く、順目部分では滑らかであった。また、年輪と単板面が平行な場合には順目の条件よりやや面粗さが大きくなっていた。一方、刃口間隔による面粗さの変化は年輪傾斜による影響に比較して小さく、逆目条件の結果では刃口間隔が 2.9 mm の条件で面粗さが最小となる傾向があったが、順目および平行の条件ではほとんど差がなかった。

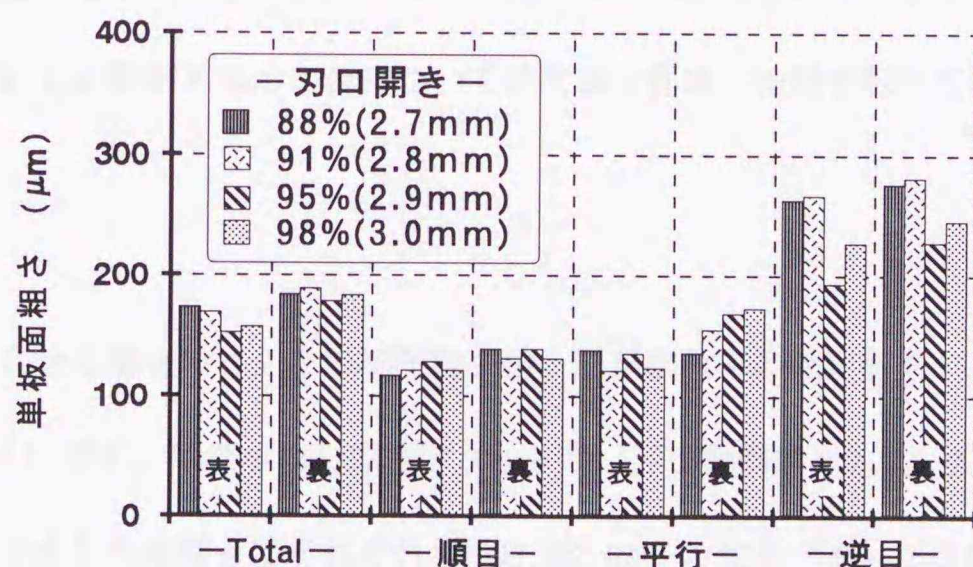


Fig. 2-10. アカマツ単板面粗さの変化
刃口条件は刃口水平方向開き(%)と刃口間隔(mm)を表示。単板歩出し厚さ 3 mm。

Table 2-13. アカマツ単板面粗さの変化

年輪傾斜	単板面	単板面粗さ (μm)			
		H88%	H91%	H95%	H98%
Total	表	173	169	152	157
	裏	184	189	178	183
順目	表	117	121	128	121
	裏	139	131	139	131
平行	表	138	121	135	123
	裏	136	155	168	172
逆目	表	263	266	193	227
	裏	276	281	228	245

H: 刃口水平方向開き, 単板歩出し厚さ 3 mm。

従来の単板切削試験では, 適性切削条件を求めるための単板品質の評価は, 本章におけるスギおよびアカマツの場合も含めて, 人間の主観的な判断によることが多い。人間の識別能力は各種の測定装置に比べても, その総合性や処理速度などの点では勝っている一方で, 評価の基準が相対的で再現性に欠ける欠点を持っている。各種の試験結果を客観的に比較・評価するためには, 限られたサンプルを選び出す標準的な方法を定め, 測定値の比較・検討を難しくしている実験条件以外の要因(この場合には年輪傾斜)の影響を取り除く必要がある。これまでの報告(木下: 1989, 高野: 1989)あるいはここで採用したように, 測定用の試験片は年輪傾斜の違いによって少なくとも順目と逆目に大別しなければならないと考える。さらには, 順目や逆目などのそれぞれのグループ内でも年輪の角度は様々な値をとるため, グループ内における面粗さに及ぼす年輪傾斜の影響力の変化を明らかにしていく必要がある。これについては次章で詳細な検討を行っていく。

2.5.3 ヒノキ

刃口間隔を変化させた場合のヒノキ単板面粗さおよび裏割れ率の測定例を Fig. 2-11, 2-12 および Table 2-14, 2-15 に示す。単板歩出し厚さは 3 mm で, 刃口間隔は 2.7, 2.8, 2.9, 3.0 mm の 4 水準に変化させた(刃口水平方向開きはそれぞれ 88, 91, 95, 98% となる, Fig. 2-2 参照)。実験に用いた原木本数は各刃口条件について 4 本で, 合計 16 本を用いた。アカマツの場合と同様に, 年輪に対して順目, 逆目およびそれらの中間となる年輪と単板面(あるいは切削方向)が平行な場合の

3種類の試験片を用意し、面粗さおよび裏割れ率を測定した。測定用の試験片の枚数は各原木につき6枚であった。

面粗さの測定結果はアカマツの場合と同様で、表面<裏面、順目<平行<逆目となった。刃口間隔による影響は、やはり年輪角度による影響に比較して小さい。面粗さが最も小さくなる刃口条件は、刃口間隔が2.8 mmの条件であった。

裏割れ率は他の樹種における既往の成果（たとえば木下：1989）と同様に、順目切削に比較して逆目切削条件でやや大きくなる傾向があった。また、面粗さと同様に刃口間隔による影響よりも順目切削と逆目切削との差が大きい。裏割れ率が最も小さくなる刃口条件は刃口間隔が2.9 mmの条件で、面粗さが最小となる条件とは一致しなかった。

アカマツの場合と同様に、ヒノキの場合にも単板面粗さは年輪傾斜の影響を強く受けており、これが樹種に固有の現象ではないことは既往の報告（Lutz: 1956, 木下：1989, 高野：1989）からも明らかである。しかし、その影響の強さは樹種による年輪構造（晩材幅や早・晩材それぞれの密度など）の違いによって変化すると予想できるため、先に述べたように、年輪の角度の値による面粗さの変化を単板面の形成過程に関連させながら検討していく必要がある。また、裏割れ深さについても面粗さと同様の理由から、裏割れの発生および単板内への進入過程を考慮した詳細な検討が必要である。樹種による最適な刃口条件は、これらの検討結果を参考にして決定すべきであると考える。

Table 2-14. ヒノキ単板面粗さの変化

年輪 傾斜	単板面	単板面粗さ (μm)			
		H88%	H91%	H95%	H98%
Total	表	201	169	232	222
	裏	241	217	258	241
順目	表	136	103	145	156
	裏	171	152	168	179
平行	表	183	173	195	193
	裏	212	210	232	232
逆目	表	285	271	357	317
	裏	341	296	374	311

H: 刃口水平方向開き，単板歩出し厚さ 3 mm。

Table 2-15. ヒノキ単板裏割れ率の変化

年輪 傾斜	裏割れ率 (%)			
	H88%	H91%	H95%	H98%
Total	57	55	47	53
順目	47	45	37	45
平行	65	61	55	60
逆目	62	64	55	58

H: 刃口水平方向開き，単板歩出し厚さ 3 mm。

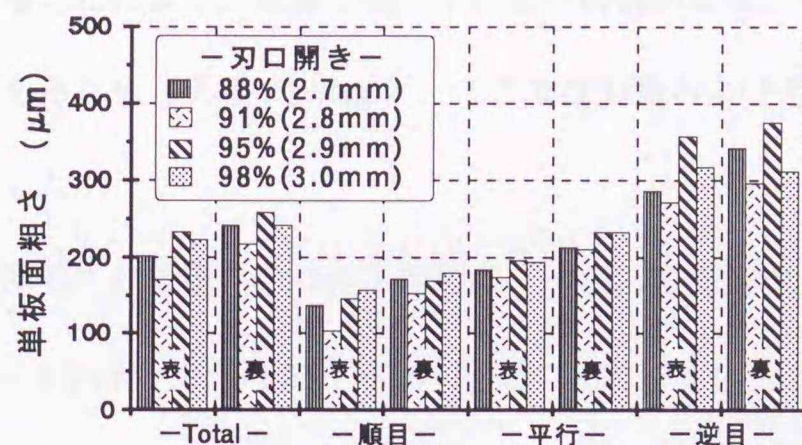


Fig. 2-11. ヒノキ単板面粗さの変化
刃口条件は刃口水平方向開き(%)と刃口間隔(mm)を表示。単板歩出し厚さ3 mm。

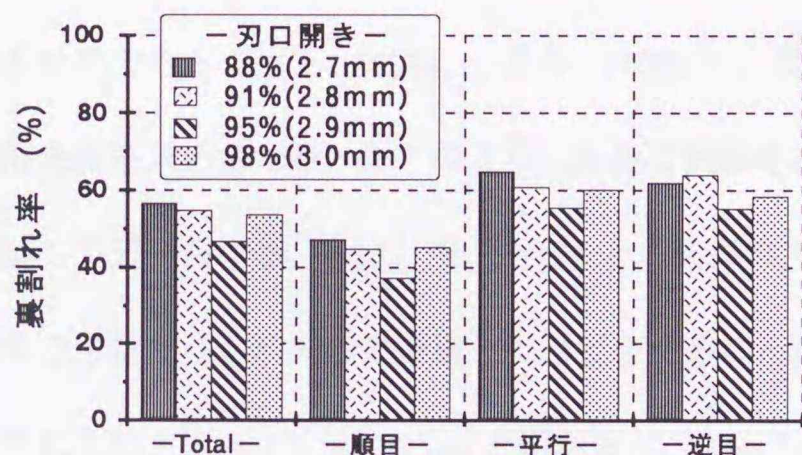


Fig. 2-12. ヒノキ裏割れ率の変化
刃口条件は刃口水平方向開き(%)と刃口間隔(mm)を表示。単板歩出し厚さ3 mm。

2.6 刃先の研削方法と刃物の寿命

刃先の寿命を左右する因子として、摩耗による刃先の鋭さの低下と、節を切削することによる刃先の欠けをあげることができる。摩耗以前に欠けが生じては、それが刃詰まりの原因となるため、まず刃先の欠けにくい刃物条件を明らかにする必要がある。特にスギの場合には節の比重がアカマツに比べて高いため、節による刃先の欠けは大きな問題となる。刃先の寿命をのばす方法として、切削前の原木を加熱することにより節を軟化させる方法と、刃物角を大きくとる、あるいはマイクロベベル*をつけて刃先角を大きくする方法が考えられるが、原木の加熱法は製造工程が複雑になり、

*刃先角を刃物角より大きくするために、すくい面あるいは逃げ面につけるある角度をもつ傾斜。

Fig. 2-3 参照。

また、スギ材を加熱することにより、比重の低い早材部の切削が困難になって単板品質面からみると逆効果になる場合もあるため（天野：1984a），ここでは刃物および刃先角と刃先の研磨方法について検討することとした。

熱帯産広葉樹材を利用している国内の合板工場では、一般に刃物角 $20^{\circ} \sim 22^{\circ}$ に研削した後、刃先の逃げ面側を幅 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ ，刃先角 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 程度に研磨してマイクロベベルをつける方法がとられている（Fig. 2-3 (b)）。逃げ面側にマイクロベベルをつけるのは、マイクロベベルのない状態では、刃物は原木側に押し込められる方向の力（切削抵抗の背分力）を受けるが、逃げ面側にマイクロベベルをつけることによって新たにこれと逆方向の力が生じ、両者が打ち消しあう結果として背分力が小さくなるためである（木下：1979a, b, 長井：1993a）。本研究では、スギ単板切削における刃物の適正研削条件を求めるため、以下のような条件で実験を行った。まず、刃物角 20° の刃物の逃げ面側を研磨して刃先角を 24° ， 25° ， 26° とした。この条件ではいずれも刃先が欠けやすく、刃先が欠けた部分で刃詰まりが頻発して連続した単板を得ることができなくなったため、切削できた単板切削長はそれぞれ 105 m ， 175 m ， 205 m と短かった（Fig. 2-13）。また、刃物の欠けの深さも大きく（Photo 2-3），刃物の交換および研磨による作業時間のロスを考えれば、実用条件に程遠いものであった。

次に、刃物角は同じ 20° で刃物のすくい面側を研磨（Fig. 2-3 (a)）して刃先角を 26° としたところ、切削可能な単板長は約 600 m となった（Fig. 2-14）。さらに刃物角を 22° ，同じくすくい面側を研磨して刃先角を 28° としたところ、切削長が 1500 m に達しても依然として切削可能な状態であり、実用に耐えうる刃物条件であった（Fig. 2-15）。なお、刃物角および刃先角の増加によって単板品質が明らかに悪化することはなかった。

刃先角を大きくすることによって刃先の曲げ剛性は増加し、欠けが生じにくくなる。しかし、以下の理由から、硬い節を持つ針葉樹材の単板切削の場合には、逃げ面側を研磨する方法は刃先の欠けを防ぐうえで得策ではない。一般に、単板切削中に刃先はすくい面側から原木に押し込まれる方向に力を受けるが、逃げ面側を研磨することによって逆方向の力が生じる（木下：1979a, b, 長井：1993a）。後者の刃物を押し上げる方向の力は刃物逃げ面と原木との接触状態によってその大きさ

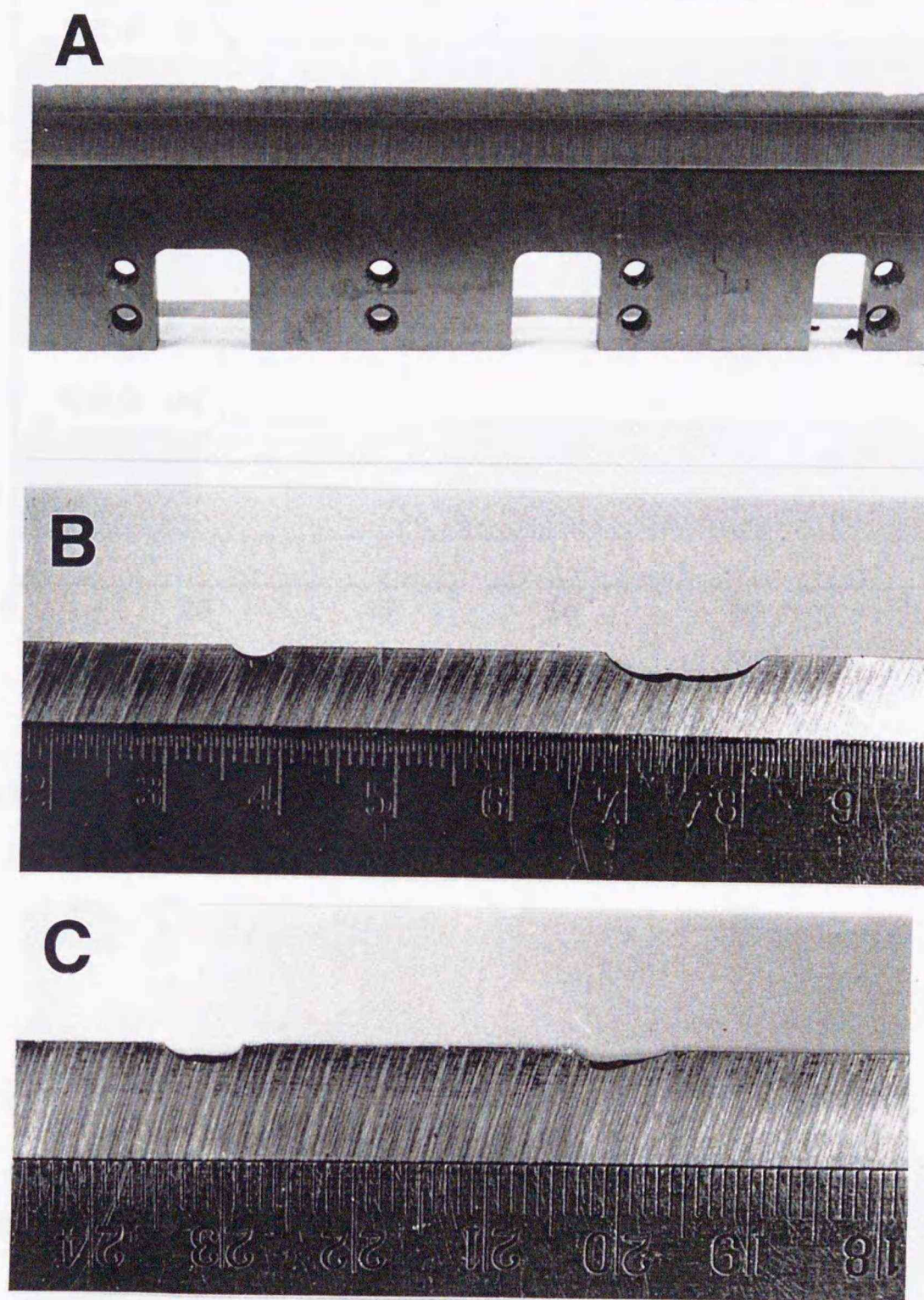


Photo 2-3. 刃物の欠けの例

刃物角 : 20° , 逃げ面側を研磨した場合。

A: 刃先角 25° , B: A の刃物の欠けのク

ローズアップ, C: 刃先角 26° 。

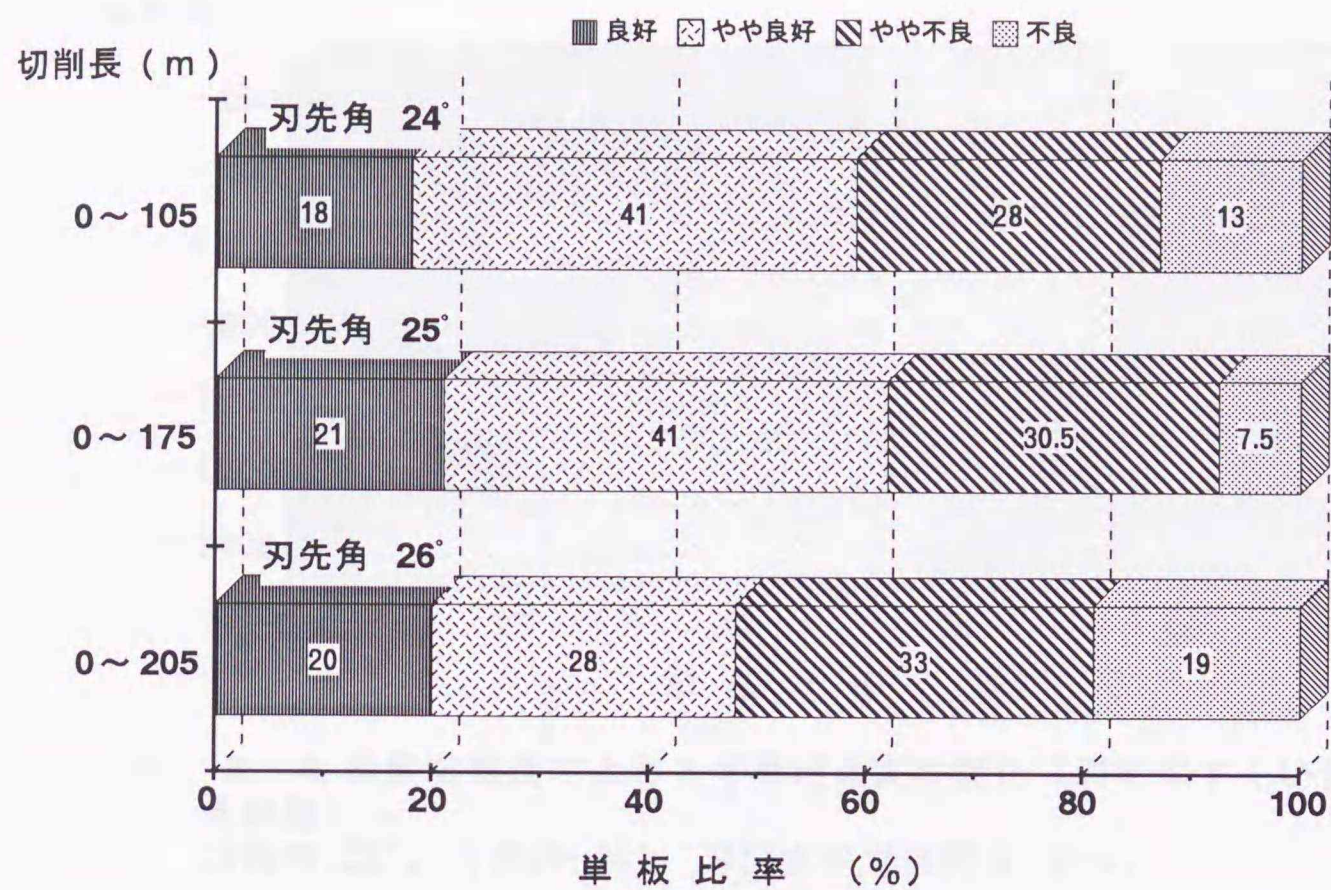


Fig. 2-13. 単板切削長によるスギ単板品質の変化 (刃物の逃げ面側を研磨)
刃物角: 20°, 刃口水平方向開き: 90%。

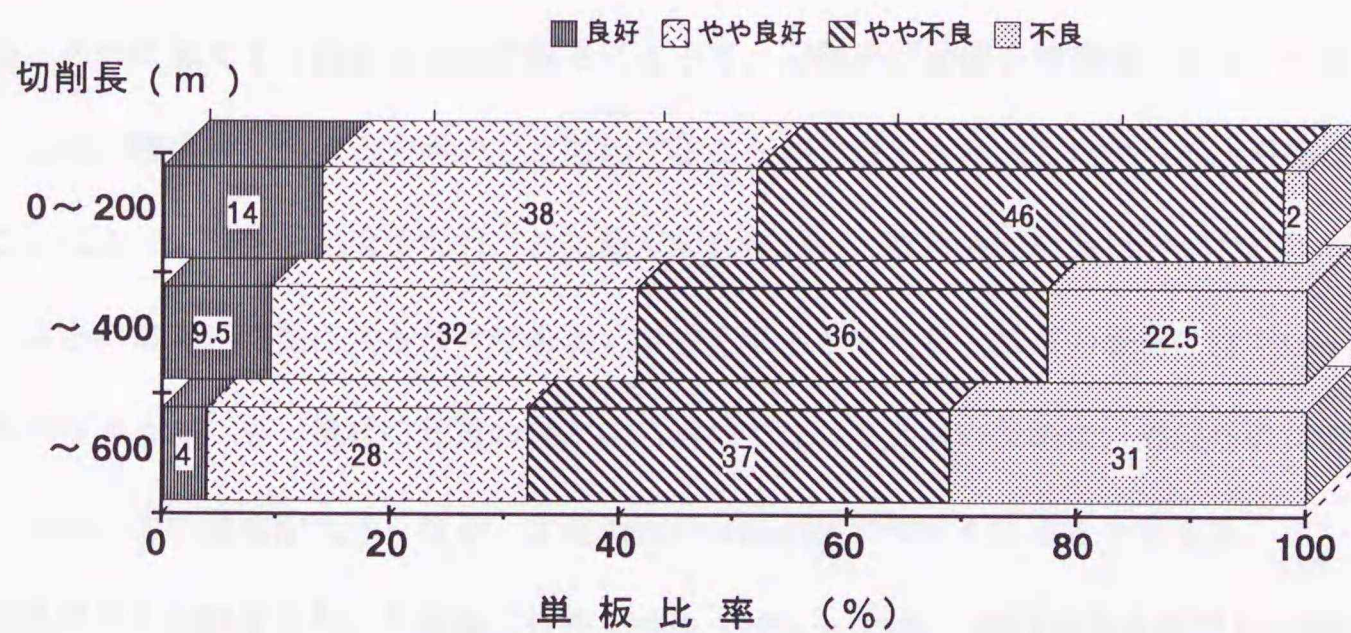


Fig. 2-14. 単板切削長によるスギ単板品質の変化 (刃物のすくい面側を研磨)
刃物角: 20°, 刃先角: 26°, 刃口水平方向開き: 90%。

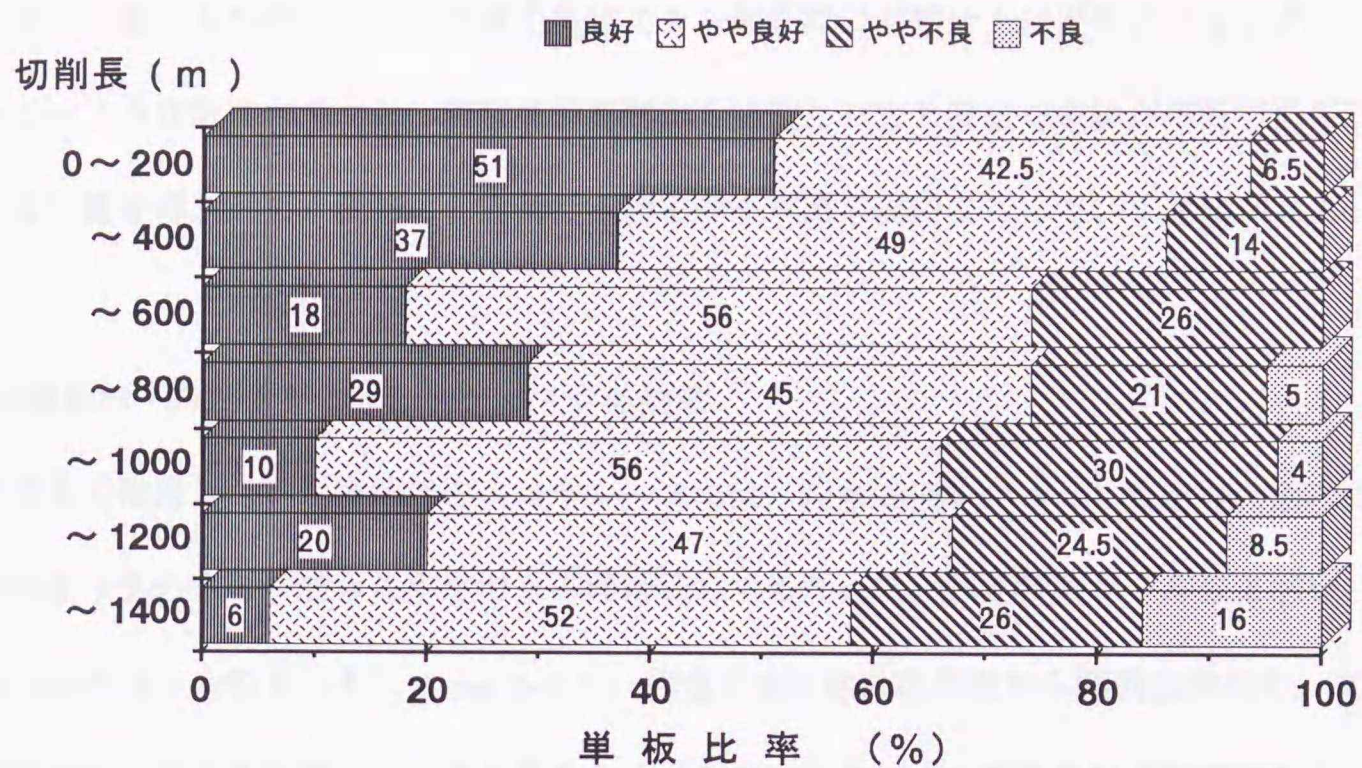


Fig. 2-15. 単板切削長によるスギ単板品質の変化（刃物のすくい面側を研磨）
刃物角: 22°, 刃先角: 28°, 刃口水平方向開き: 90%。

が変化し、木下（1979a）によれば、この力の大きさは刃物逃げ面側の被削材（原木）への圧入量に比例して増加する。節の部分はまわりの通常の材部より比重が高く、また、ロータリー単板切削では節の部分のみ繊維を直角に切断する木口切削（まわりの材部では刃先と繊維が平行な状態で切断する横切削）となるため、節を切削した場合には急激な切削抵抗（刃物が受ける力）の増加が予想できる。それに加えて、節の木口面の硬さによって、刃物逃げ面側の被削材（原木）への圧入によって生じる刃物を押し上げる方向の力も増加することが予想できる。したがって、刃物は節を切削することによって局部的に大きな力（特に原木表面に対して直角方向の力（背分力））を繰り返し受けることになり、刃先に大きな欠けを生じやすくなると考える。スギの場合には Photo 1-1 から明らかなように、早・晩材の比重の差が他の樹種に比べて大きいために、節以外の材部を切削する際にも背分力の変化が大きくなり、より刃物の欠けが生じやすくなると予想する。

スギの枝材の小試験片を用いた実験（長井：1991, 1993a）では、逃げ面側を研削した場合にもランド幅（Fig. 2-3 参照）が 0.1 mm であれば刃物の欠けは小さく、欠けの程度はすくい面側を研削した場合と同等であることが示された（本実験を実施した当時（1984）は、合板工場で一般に採用されていたランド幅 1 mm の条件に設定）。また、現在では、刃物のすくい面側あるいは逃げ

面側のいずれの面にも多段階に研削角度を設定できる最新鋭の刃物仕上げ用のグラインダーが合板機械メーカーより市販されており、実験条件を細かく設定したより詳細な実験が可能である。今後、このような装置を導入して、樹種による適性刃物条件を求める実験を行っていく必要がある。

2.7 外周駆動ロールおよびローラーディスクの効果

本研究で主に使用した中小径木用のベニヤレースには、むき芯径を小さくした場合に原木の割れあるいはチャックの空転が起きる率をできるだけ低くするために、外周駆動ロールおよびローラーディスクが取り付けられている（Photo 2-1）。両者ともに原木の外周から駆動力を与え、スピンドルの駆動力の一部を負担することによりチャックの空回りや原木の割れを防ぐ装置である。また、外周駆動ロールはベンディング防止機能も受け持っており、切削中の原木のたわみを防ぐ。一方、ローラーディスクは刃先とノーズバーの間からの切削中に生じる木屑の円滑な排出を促し、刃詰まりを防止する働きを合わせ持っている。

これらの装置の効果をみるため、両者とも作用させた場合と1つの装置だけ作用させた場合の切削時におけるトラブルの発生状況をスギの場合について調べたので、その結果をTable 2-16に示す。両者とも作用させた場合には原木12本中1本だけチャックの空転が起きたが、外周駆動ロールあるいはローラーディスクを作用させずに切削すると、22本中19本の原木にトラブルが生じた。残りの3本についても、切削中の原木のたわみによってむき芯は中央部がやや太い樽型となり、むき終わりに近い単板も中央部がふくらみ大きく波打っていた。以上の結果より、本機のような小径のスピンドルを採用したベニヤレースで切削を円滑に行うためには、これらの装置あるいはバック

Table 2-16. 原木ベンディング防止ロールおよびローラーディスクの効果（スギ）

原木ベンディング防止ロール	ローラーディスク	原木数	切削時にトラブルを起こした原木数
作用させる	作用させる	12	1（チャックの空転）
作用させる	作用させない	11	11（チャックの空転、原木の割れ）
作用させない	作用させる	11	8 ^{a)} （チャックの空転、原木の割れ）

^{a)} 他の3本は、むき芯径約6 cmまで切削できたが、むき芯は樽型となり、むき終わりの単板は大きく波打った。

アップロールなどの外周駆動装置を作用させることが必要であることがわかる。

2.8 摘要

スギ、アカマツおよびヒノキ中小径木を対象として、スピンドル径の小さい原木外周駆動方式のベニヤレースを主に用いて単板切削を行い、それらの単板切削性や最適な切削条件を求める目的で単板面の観察および単板品質の測定を行なった。

1) 単板歩留まりの平均はスギで72%、アカマツで64%であり、定尺(95×90～70 cm)に満たない乱尺単板の量がアカマツで多かった。これは原木形状の影響によるものであり、原木の曲がり、細りや表面の凹凸がアカマツに多いことに原因があった。

2) 単板切削時に原木の割れあるいはチャックの空回りが起きたが、スギでは全原木(349本)の13%に原木の割れが、また、9%にチャックの空間りが発生し、単板歩留まりが低下する大きな原因となっていた。

3) スギでは、辺材部の単板は心材部の単板に比較して面が平滑であり、含水率の高い部分からより平滑な単板を得ることができると推察した。また、産地間にも単板品質の相違があり、年輪幅の狭い産地の原木では表面の良好な単板が多かった。しかし、節の数や原木の含水率など単板面粗さに影響を及ぼす不確定な要因があったため、年輪幅の影響を明らかにすることができなかった。

4) アカマツでは、スギに比較して単板面は滑らかで、実用上支障のない程度であったが、曲がりなどの原木形状上の欠点に起因する逆目ぼれの発生が多かった。また、単板面に現れた節については、原木径の大きなものから節の少ない単板をより多く得ることができた。

5) スギ単板の厚さむらは刃口間隔の広い条件で大きかったが、単板面粗さも大きく影響していると考えた。

6) スギの裏割れは心材部に比べて辺材部で浅く、また、その間隔が小さくなる傾向があった。

7) 単板厚さ1 mmの条件でスギを切削したところ、刃先による早材部仮道管の圧縮・変形のため刃詰まりが起きやすく、連続した単板を得ることが難しかった。また、早材部仮道管が圧縮・変形する現象は早材部の剥離を生じる原因となり、このためにスギ単板は他の樹種に比較して面が粗

くなると推察した。

8) アカマツおよびヒノキでは単板品質に及ぼす切削方向に対する年輪の角度の影響が大きく、両樹種における面粗さは順目<平行<逆目で、ヒノキの裏割れ深さも順目<平行<逆目となっていた。また、これらの変化は刃口間隔の違いによる影響よりも大きかった。

9) スギ単板切削では、刃物の逃げ面側を研磨してマイクロベベルをつけた条件では節による刃先の欠けが生じやすく、切削可能な単板長が最大でも 205 m と短く、実用的ではなかった。一方、すくい面側を研磨した条件では刃先の欠けが小さく、刃物角 22° で刃先角が 28° の条件では、切削可能な単板長は 1500 m 以上で、実用上じゅうぶんな耐久性があった。

10) 外周駆動ロールあるいはローラーディスクを作用させないでスギ原木を切削したところ、22 本中 19 本にトラブルが生じており、切削を円滑に行うためにはこれらの装置を作用させる必要があることが明らかになった。

第3章 単板品質に及ぼす原木材質の影響

3.1 はじめに

原木の単板切削に対する難易を判定する指標として、比重があげられることが多い。しかし、針葉樹材の場合には、これまでわが国で主に利用されてきた熱帯産広葉樹材とは違い、一般に比重の異なる早材と晩材が交互に層をなして年輪を形作っているため、材全体の比重だけではなく、早・晩材それぞれの比重や年輪幅などが、単板切削性に影響することが予想できる。しかし、これまでに単板品質に及ぼすこれらの影響について、詳しく検討した例は少ない。

前章では国産針葉樹造林木の単板切削における特性を明らかにする目的で、スギ、アカマツおよびヒノキの単板切削の実験結果について述べた。その中で、単板品質に及ぼす原木側の因子の影響として、スギでは含水率の影響が最も大きく、また、年輪幅も影響する可能性のあることを指摘した。そのほか、スギでは刃先によって早材部がつぶれて単板面から剥離することにより、単板面が粗くなる傾向のあることを示した。一方、アカマツおよびヒノキでは、切削方向に対する年輪の角度（以下、年輪傾斜角*と呼ぶ）によって単板面の粗さが大きく変化し、裏割れの深さも年輪傾斜角の影響を受けることを明らかにした。

このように樹種によって異なる単板切削性は、どのような原木側の要因によってもたらされるのだろうか。次に、針葉樹材の単板切削を考える上で重要と予想する要因として含水率、年輪幅、年輪傾斜、繊維接触角（定義については後述（p. 43））そして仮道管の横断面の形状について説明を加え、それぞれの既往の成果を概観してみる。

含水率

単板切削を行う際、一般に供試原木は生材あるいはそれと同等の含水率をもつため、木材を構成する繊維の内腔に存在する自由水の影響が問題となる。しかし、木材切削の主たる分野は2次加工

*「単板木口面において単板裏面と年輪とのなす角」と定義する。詳細は「実験方法」の p. 49 および Fig. 3-1（p. 45）を参照のこと。

であるために、木材切削の分野における試験研究では気乾材を実験材料とすることが多く、木材の切削性に及ぼす含水率の影響については一般に繊維飽和点以下の水分が注目され、それ以上の自由水についてはほとんど影響がないとされている（杉原：1972）。もちろん、自由水が切削性に及ぼす影響についてふれた例が全くないわけではない。単板切削では、自由水は切削抵抗の増加（Hoadley: 1963）と単板厚さの減少（Bryant: 1965, Hoadley: 1963, Lutz: 1966, 1967a）をもたらす。また、高含水率下でノーズバーの圧力を高くした場合には繊維が破裂状態になり、単板の繊維に直角方向の強度が低下する（Hoadley: 1963, Lutz: 1966, 1967a）。そのほか、単板面粗さはほとんど変化しない（Lutz: 1966, 1967a）との報告もある。単板切削以外に生の状態の材を用いる切削加工法で含水率の影響について報告があるのは、パーティクルボードなどの原料をつくるフレーカーの場合で、自由水を多く含む原料を用いる場合の切削面の粗さの増加が報告されている（Maloney: 1977）。しかし、前章で予想したような、自由水の存在による切削面の向上を報告した例はこれまでにない。

年輪幅

年輪幅については、その幅が狭くなるにしたがって裏割れが浅く、また、裏割れ間隔が小さくなる傾向があるとされている（Koch: 1965, Lutz: 1964, Palka: 1973）。これらのほかに、針葉樹材において単板裏面から侵入したの裏割れが晩材部の周辺で止まることが多いことを指摘した報告もいくつあり（Cumming: 1969, 中村：1984, 吉田：1974）、この観察結果は、年輪幅が狭い場合に裏割れが浅くなる可能性を示唆している。

年輪傾斜

木材の縦切削（繊維方向の切削）においては、切削方向に対する繊維の傾斜角度の違いにより逆目および順目方向の2つの条件があり、逆目条件において逆目ぼれが発生して面が粗くなりやすいことが、広く知られている。これは、刃先の前方に繊維に平行な割れ（先割れ）が発生し、逆目条件の場合には母材側（被削材の側）に割れが侵入して加工面がえぐられるためである。ロータリー

単板切削のような横切削（木材の接線方向の切削）においても逆目および順目方向があるが、縦切削の場合とは異なって年輪あるいは放射組織の傾斜角度に対して定義される（Lutz: 1956）。これは、木材の横引張り強度は接線方向および半径方向で最も小さく、これらの方向に割れが侵入しやすいためである。針葉樹単板切削において、切削方向に対する年輪の角度（年輪傾斜角）の違いによる単板面粗さの変化について報告された例はいくつかある（Cumming: 1970, 木下: 1989, Lutz: 1956, Palka: 1973, 田中: 1960）。しかし、より詳細に年輪傾斜角と単板品質との関係を調べ、それを定量化したものは筆者が実験を行う以前にはない。最近、長井等（1993b, c）によってスギの横切削を行った場合の年輪あるいは放射組織の角度による切削抵抗、面粗さ、裏割れなどの変化が実験室レベルで系統的に検討された。しかし、供試材料は20年生で直径がわずか15 cmのスギ材で、さらに、その外周から髄近辺まで、ほとんど材質変動の著しい未成熟材部と思われる部分を切削しているにもかかわらず、供試材の半径方向の材質の変動に関連した実験結果の考察が全く行われていない（一般に、スギ早材部の比重は、樹心に向かって半径方向に増加する）。前章で述べたように、スギ早材部は他の樹種に比べて比重が低いために切削が難しいと推察できるので、未成熟材部を、そのなかでも樹幹の半径方向で最も比重の高くなる髄近辺を供試材として用いることは適切ではない。

繊維接触角

ロータリー単板切削の場合、理想的には木材の繊維が刃先に対して平行となる方向に切削が行われる。しかし、実際の切削工程においては、樹幹内における木理の傾斜角の変化や節による繊維の配列の乱れなどにより、通常は繊維が刃先とある角度（以下、本論文では繊維接触角と呼ぶ、Fig. 3-2（p. 50）参照）を持った状態になる。したがって、年輪あるいは放射組織の傾斜角の場合と同様に、切削によって刃先の前方の被削材内に発生する先割れの深さや侵入角度が繊維接触角によって影響を受ける可能性がある。しかし、ロータリー単板切削において、これまでに割れの発生に対する繊維接触角の影響力についてふれた報告は全くない。

仮道管の横断面の形状

スギ材の単板面粗さは他の針葉樹材に比べて大きい。前章で述べたように、この大きな原因は早材部の剥離現象にある。スギの早材部の比重が一般に低い。ため鋭利に切断されにくく、早材部が刃先によってつぶされてその一部が単板面から剥離する。このような刃先による圧縮現象は、ロータリー単板切削のように木材を接線方向に切断する場合、木材を構成する繊維、この場合には早材仮道管の直径や壁厚など、横断面の形状の影響を強く受けると予想する。Leney (1960a, b) は単板切削を想定した手法および条件で低速の2次元切削試験を行い、切削過程を細胞レベルで調べ、刃先が早材部を圧縮・破壊する現象 (compression tearing) をシュガーパイン (*Pinus lambertiana* Dougl.) およびコットンウッド (*Populus deltoides* Bartr., 容積密度 0.43 g/cm^3) で詳しく観察している。この現象が針葉樹の早材部であられることは他の樹種でも観察されており (Collins: 1960, Lutz: 1967a, Woodson: 1970), また、中村 (1960) がシナノキ (気乾比重 0.43 g/cm^3) およびドロノキ (気乾比重 0.34 g/cm^3) で観察した目ぼれもこの compression tearing にあたると判断する。これらの報告において、compression tearing は針葉樹材の早材部を切削中に、また、広葉樹においては比較的比重の低い樹種で観察されていることから、スギ材における早材部のつぶれと同一の現象であることは間違いないと考える。しかし、この現象と仮道管の横断面形状との関係についてはどの論文でもふれられていない。また、これまでに単板面粗さと木材の繊維の形状との関係を調べた報告もみあたらない。横切削以外では、唯一、木口切削において木材の切削性に細胞壁の厚さが刃先の丸みの大きさと関連して影響することを指摘した報告があるのみである (McKenzie: 1962)。

樹種ごとの適正切削条件あるいは単板切削に適した原木の材質を求めるためには、このような原木側の要因の影響力を定性的あるいは定量的に評価する必要がある。そこで、本章ではスギ、アカマツおよびヒノキを供試樹種として用い、単板品質 (面粗さ、裏割れ深さ、裏割れ間隔) に影響を及ぼす因子として前章でふれた含水率、年輪幅、年輪傾斜角のほか、単板内の年輪界位置 (単板木口面における)、繊維接触角、仮道管の直径と細胞壁厚についてもとりあげ、単板品質に対する各因子の影響力を詳しく検討した。なお、ここでは木材の比重について特に検討しなかったが、こ

でとりあげた仮道管の直径と壁厚の変化は比重の変化として現れる。また、樹種による切削性の違いからも比重を指標とした場合の切削性の評価の可能性を明らかにすることができると考える。

3.2 実験方法

3.2.1 装置および切削条件

実験に用いたベニヤレーズは、前章と同じウロコ製作所製の中小径木用の外周駆動方式の機種および従来型の機種の2台である。切削速度は 20 m/min （一部は 15 m/min ）であった。

ナイフは研削盤で $20^\circ \sim 22^\circ$ に研磨したのち、手仕上げによってすくい面側に刃先角 28° 、幅約 1 mm のマイクロベベルをつけた。逃げ角は $30'$ とした。

供試原木はスギ、ヒノキおよびアカマツで、単板歩出し厚さは 3 mm としたが、アカマツでは一部 2 mm 厚の条件で切削した。

切断した単板より、節や年輪の乱れが大きいものおよび単板表面を晩材部が占めるものを避けて単板裏面と年輪が平行、切削方向に対して年輪が順目、逆目（以下、平行、順目、逆目と略す、Fig. 3-1 参照）となる3種類の測定用の試験片を採った。この試験片の大きさは 10 cm （繊維方向） $\times 6 \sim 8 \text{ cm}$ （切削方向）とした。

詳細な実験条件および方法を、以下に各実験ごとに述べていく。

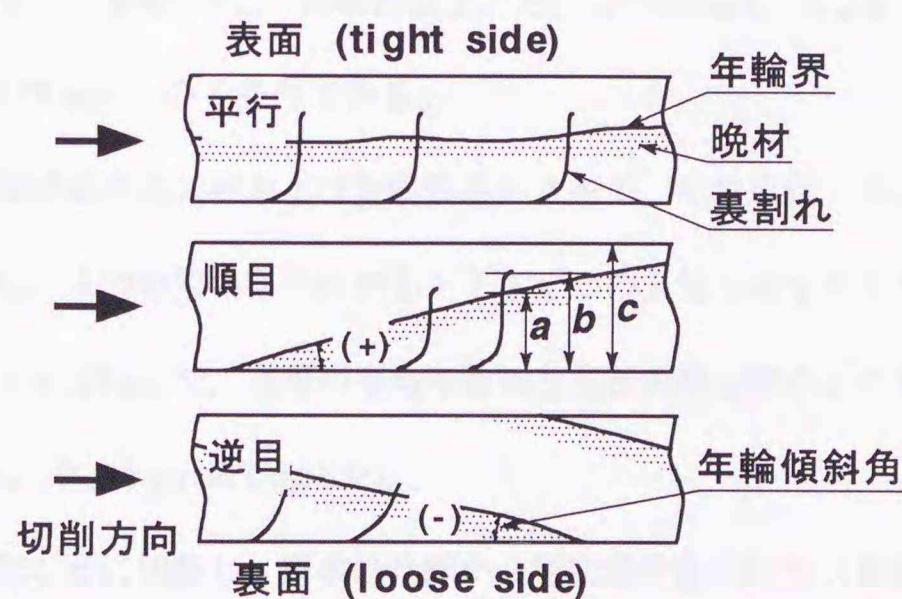


Fig. 3-1. 3種類の測定用単板試験片の木口断面
a: 年輪界の単板裏面からの距離（年輪界位置），
b: 裏割れ深さ， c: 単板厚さ。

実験①（含水率，年輪幅，年輪傾斜角，および晩材位置の影響-1）

中小径木用の外周駆動方式のベニヤレースを使用した。刃物角は 22° であった。刃先とノーズバー先端の距離（刃口間隔）は，3.0, 2.9, 2.8, 2.7 mm の4条件とした。使用したベニヤレースのノーズバー引き上げ角は 12° であるので，刃口水平方向間隔は，刃口間隔に $\cos 12^\circ$ を掛けた値，すなわち 2.93, 2.84, 2.74, 2.64 mm となる（Fig. 2-2 参照）。

供試丸太はスギ（山形県産），ヒノキ（茨城県産）の4 m 材で，末口径は 25 ～ 30 cm であった。両樹種とも剥皮した後に長さ 95 cm に玉切りし，実験に供試した。実験に用いたスギ原木（玉切りした材）は6本で，平均年輪幅は 4.0 ～ 6.7 mm の範囲（平均 5.1 mm），ヒノキ原木は5本で，平均年輪幅は 2.3 ～ 2.9 mm の範囲であった。

単板はロータリークリッパーで長さ約 90 cm に切断し，スギでは各原木あたり 2 ～ 4 枚，ヒノキでは2枚を辺・心材同枚数となるよう抜き取った。測定用試験片の枚数は各原木につきスギで6～9枚，ヒノキで6枚である。ただし，ヒノキの刃口間隔 2.9 mm の条件のうちの1原木については，年輪傾斜角などの影響を詳しく調べるために辺・心材あわせて6枚の単板を抜き取り，合計して辺材 27 枚と心材 43 枚の測定用試験片を採った。

実験②（含水率，年輪傾斜角，および晩材位置の影響-2，仮道管径および細胞壁厚の影響-2）

従来型のベニヤレースを用いた。刃物角は 21° で，刃口間隔は 3.0, 2.9, 2.8 mm（刃口水平方向間隔は 2.93, 2.84, 2.74 mm）の3条件である。

供試丸太は福島県棚倉産のスギおよび愛媛県産ヒノキで，それぞれ1本の長さ4 m の丸太を長さ 30 cm に玉切りし，3つの刃口条件に対して1本ずつの玉切り材をあてた。玉切り後の原木径はスギ 34 cm，ヒノキ 27 cm で，スギの平均年輪幅と容積密度は樹心から半径 5 cm の部分を除いてそれぞれ 3.9 mm， 0.282 g/cm^3 であった。

単板は原木1回転ごとに切断し，原木の外側から順に番号をつけた（単板番号）。測定用の試験片の枚数は各条件につき平行，順目，逆目がそれぞれ 7 ～ 23（平均 19）枚であった。

実験③（年輪傾斜角，晩材位置，および繊維接触角の影響）

従来型のベニヤレースを用いた。刃物角は 22° で，刃口水平方向開きを単板歩出し厚さに対して 100, 95, 90%（刃口間隔は 3.07, 2.91, 2.76 mm）となるように変化させた。

供試丸太は長さ 2 m の福島県産アカマツで，長さ約 90 cm に玉切りした後，本実験に先立ち木口断面がほぼ円形になるまで剥皮をかねてベニヤレースで荒むきした。原木本数（長さ 90 cm）は 3 本で，荒むき前後の直径（末口短径）は 27 ～ 29 cm および 25 ～ 27 cm であった。

単板はロータリークリッパーで長さ約 90 cm に切断し，およそ 5 枚おきに各条件につき 4 ～ 6 枚の単板を抜き取った。単板はネット式のドライヤーで乾燥した後，測定用試験片を採るために切断した。

実験④（年輪傾斜角の影響）

外周駆動方式のベニヤレースを用い，この実験のみ単板歩出し厚さを 2 mm とした。刃物角は 22° で，刃口間隔を 2.1, 2.0, 1.9, 1.8, 1.7, 1.6 mm の 6 条件とした。

供試丸太は長さ 4 m の福島県産アカマツで，長さ約 90 cm に玉切りした後，本実験に先立ち木口断面がほぼ円形になるまで剥皮をかねてベニヤレースで荒むきした。原木本数（長さ 90 cm）は 6 本で，荒むき前後の直径（末口短径）は 23 ～ 37 cm および 22 ～ 32 cm であった。

単板はロータリークリッパーで長さ約 90 cm に切断し，およそ 5 枚おきに各条件につき 4 ～ 6 枚を抜き取った。単板はネット式のドライヤーで乾燥した後，測定用試験片を採るために切断した。

実験⑤（仮道管径および細胞壁厚の影響-1）

従来型のベニヤレースを用い，この実験のみ切削速度を 15 m/min とした。刃物角は 21° で，刃口間隔は 3 mm（刃口水平方向間隔 2.93 mm）の 1 条件である。

ところで，前章で指摘したように，スギでは含水率が単板面粗さに強く影響すると予想できるため，単板品質に及ぼす仮道管径および細胞壁厚の影響を調べるにあたり，含水率の影響を考慮する必要がある。スギの仮道管径は樹心から外側（樹皮側）に向かって増加するため（藤原：1984，太

田：1972），辺材には仮道管径の大きい部分が通常含まれることになる。生材の辺材部は常に含水率が高いため，たとえ含水率別に面粗さと仮道管径との関係を調べたとしても仮道管径の変動範囲が狭くなるため，面粗さと仮道管径の関係をとらえることが難しくなる。そこで，原木を気乾程度に乾燥して使うことにより含水率の影響を取り除いた。

長さ4 mの茨城県産スギ丸太を長さ30 cmに玉切りして，このうちの玉切り材の1本（長径が30.0 cm，短径は28.5 cm）を供試原木とした。玉切りの際，丸太の中央部より円盤を採取し，年輪幅，含水率および容積密度の半径方向の変化を調べた。樹心から半径5 cmの部分を除いた部分の平均値は，年輪幅2.3 mm，容積密度0.327 g/cm³であった。玉切りした原木は急激な乾燥を防ぐため木口面をコーティングし，雨のかからない屋外に約6カ月放置して乾燥させた。

単板は原木1回転ごとに切断し，原木の外側から順に番号をつけた（単板番号）。これより切り出した測定用の試験片の枚数は，平行が32枚，順目が37枚，逆目が40枚で，合計107枚であった。

3.2.2 測定方法

測定用の試験片は，まず含水率を測定した後（アカマツを除く），単板表面の面粗さを測定した。次に，裏面にスタンプインクを塗布して裏割れに十分にしみこませ，乾燥後に切断し，木口断面を万能投影機によって20倍に拡大し，単板の輪郭，裏割れおよび年輪をトレーシングペーパーに長さ60 cm（実寸法3 cm）にわたって写しとり，単板厚さ，裏割れ深さ，裏割れ間隔，年輪傾斜角そして単板内の年輪界位置を測定した。

面粗さは，触針式粗さ計（小坂製作所製SE-4A，低倍型検出器を使用）あるいはレーザー変位計（キーエンス製LC-2210）によって切削方向に基準長さ5 cmのプロフィールカーブを得た後，その山と谷との差の大きいものから5点を測定し，それらの平均値で十点平均粗さを求めた。なお，レーザー変位計による面粗さの測定は，本研究において初めて導入した方法であるので，その測定精度についての検討結果をあらためて「3.2.3」で詳しく述べる。

単板厚さ，裏割れ深さ，裏割れ間隔および年輪傾斜角は各試験片の平均値，単板内の年輪界位置

は各裏割れごとに求めた。裏割れ深さは裏割れ率（%）で表した。年輪傾斜角は単板裏面と年輪とのなす角度で、単板面と年輪が平行な場合を 0° とし、順目切削の場合をプラス、逆目切削の場合をマイナスとして表した（Fig. 3-1）。年輪界位置は、各裏割れごとにその位置における年輪界の単板裏面からの距離を測定し（a）、同時に裏割れの先端位置（b）、すなわち裏割れ深さを測定し、両者をその位置における単板厚さ（c）との比で表して比較した（a, b, cについては、Fig. 3-1 参照）。なお、単板内に晩材が2つ以上含まれる場合には、最も裏面に近い年輪界を測定対象とした。

繊維接触角の測定については、サンプリング上、単板の比較的広い範囲にわたって繊維の局所的な乱れが少なく、適度な繊維接触角の範囲があることが望ましい。そこで、節が集中して現れる傾向があり、また、他の樹種より偏心や曲がりの多いアカマツ単板を供試樹種として用いた。ところで、単板品質に及ぼす繊維接触角の影響を調べるにあたっては、年輪傾斜角との相互作用に考慮する必要がある。なぜなら、木材の割れは繊維あるいは年輪に沿って進む傾向が強いからである。実際に単板を観察したところ、Fig. 3-2 および Photo 3-1 に示すように、刃先に対して次のような4種類の年輪傾斜角と繊維接触角が存在することがわかった。単板表面における刃先と年輪（年輪界）とのなす角：A1、単板表面における刃先と繊維とのなす角：A2、単板木口面における単板裏面と年輪とのなす角：A3、単板側面における単板裏面と年輪あるいは繊維とのなす角：A4（この場合、年輪と繊維の角度は常に平行）。そこで、これら4つの年輪傾斜角および繊維接触角を測定し、その結果を統計的に検討することとした。

3.2.3 レーザー変位計による単板面粗さの測定

木材の加工表面の面粗さを測定する方法としては、触針を加工面上で移動させ、その凹凸を触針の上下動として検出・拡大して表面の凹凸を測定する触針法が一般に用いられている。この方法には、触針の移動速度が遅く（ここで用いた粗さ計では 0.1 mm/sec ）、また、スギの早材部のような軟らかい材料では表面に傷をつけるという欠点がある。さらに、針葉樹の単板のように面の粗い加工面上では、凹凸の激しい部分での触針の引っかかりがしばしば起きるため、面粗さを測定する

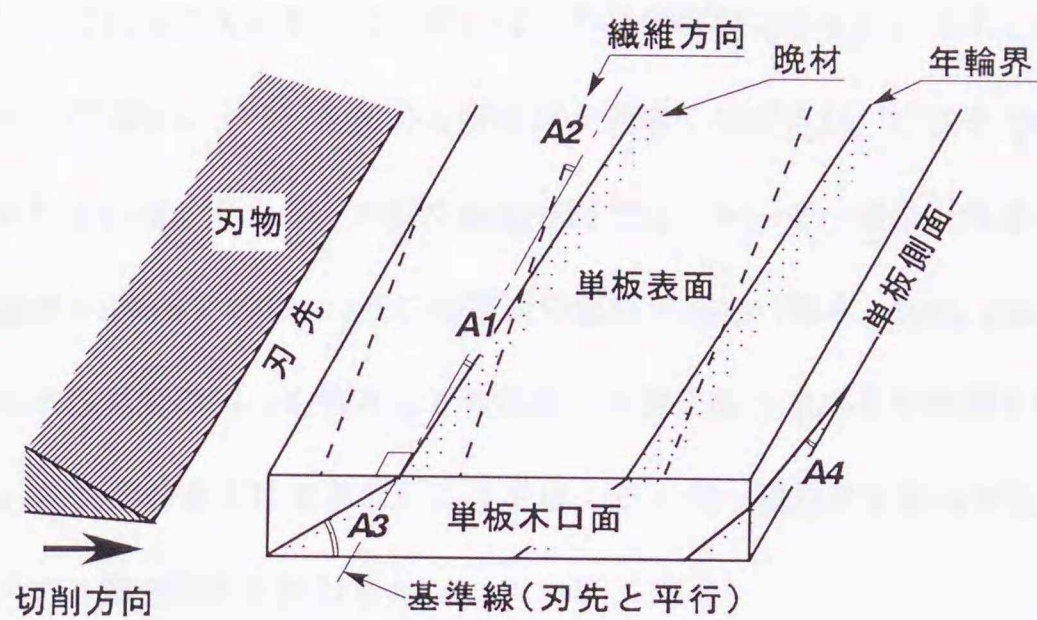


Fig. 3-2. 刃先に対する繊維傾斜角および年輪傾斜角

A1: 单板表面における刃先と年輪(年輪界)とのなす角, A2: 单板表面における刃先と繊維とのなす角, A3: 单板木口面における单板裏面と年輪とのなす角, A4: 单板側面における单板裏面と年輪あるいは繊維とのなす角。

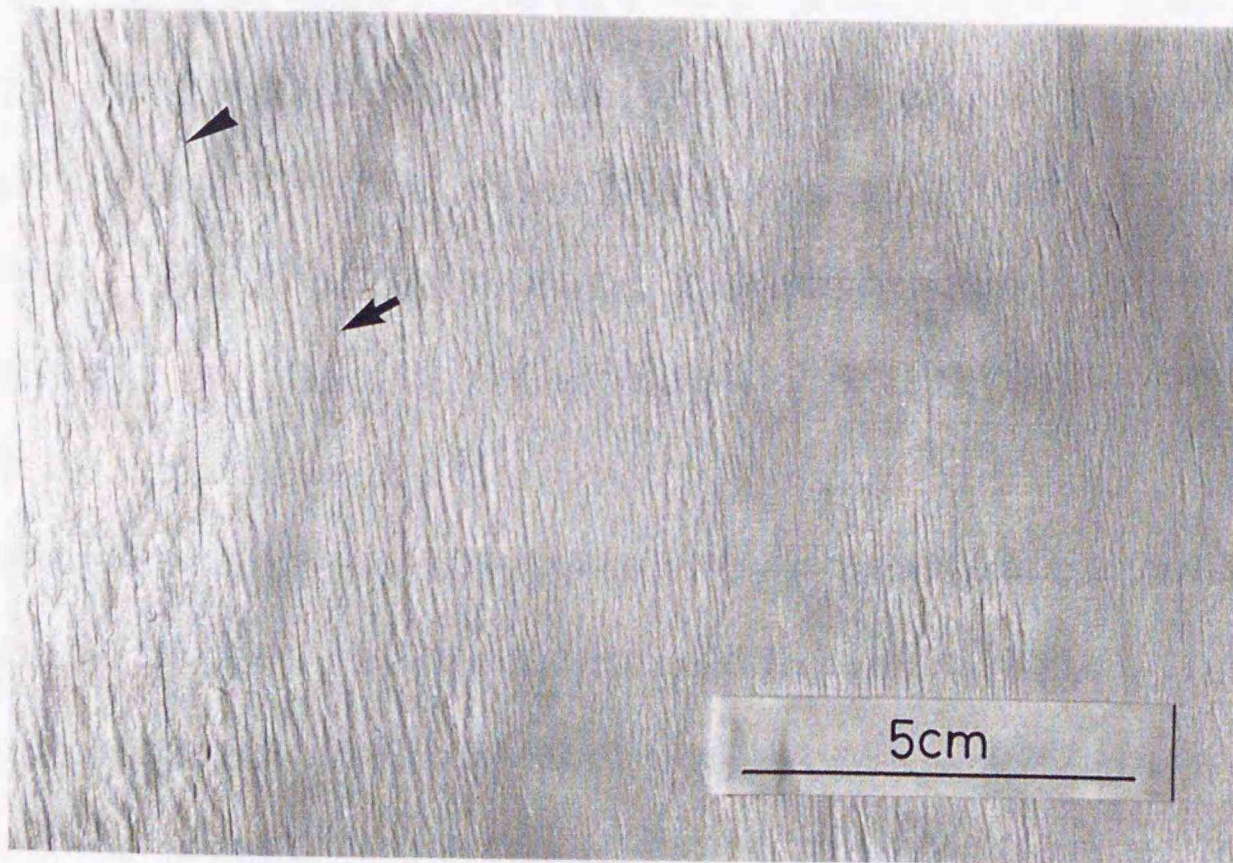


Photo 3-1. アカマツ单板表面の例

单板面上にみえる割れ(たとえば矢頭の部分)の方向は繊維方向を示している。通常、木材の繊維は樹幹軸に対してある角度を持っているため(旋回木理), 刃先と繊維方向は平行とならず, また, 板目面に現れる年輪界(あるいは晩材部(矢印))の角度と繊維の角度も一致しない。

ことは容易でない。これらの欠点を防ぐためには、非接触の測定法を用いることが望ましい。

ところで、近年、半導体レーザーを用いた変位計が数多く市販され、寸法や形状の測定用センサーとして広く利用されている。しかし、木材の研究分野では、レーザー変位計を用いた実験は筆者による研究発表（高野：1991b）の後、MDF切断面の面粗さ測定（鈴木：1993, 1994）、あるいは、ブラスト加工した木口表面の凹凸を測定して年輪内の比重変動を求める年輪構造解析（Lesnino: 1994）に用いられた例があるだけである。ここでは、レーザー変位計を単板面粗さの測定に用いることを計画し、その測定精度を検討した。

レーザー変位計は、レーザービームを対象物に照射し、その表面からの散乱光の一部を受光レンズを通して光位置検出素子上にビームスポットを結像させるもので、センサーと対象物との距離の変位を光位置検出素子上の変位としてとらえ、演算処理によって対象物の変位を算出する装置である。表面粗さ測定用にはビームスポットの径は小さいほどよいと考えたので、実験を行った時点で最もスポット径の小さい機種の一つであったキーエンス製 LC-2210 を選び、実験に用いた。主な仕様は次のとおりである。ビームスポット径：直径 $70 \sim 90 \times 130 \mu\text{m}$ （Fig. 3-3 参照）、測定範囲： 6 mm （ $\pm 3 \text{ mm}$ ）、作動距離： 30 mm 、変位表示： $0.2 \mu\text{m}$ ステップ、受光角度： 35° 、応答時間： 0.1 msec 、サンプリング周波数： 40 kHz 。測定結果は RS232C をとおしてパソコンに入力した。測定速度（試料送り速度）は、安定した測定結果を得ることのできる条件で最も早い条件を予備実験により求め、 7 mm/sec とした。

測定精度を検討するため、同一試料（スギおよびヒノキ単板）を対象として触針式粗さ計および切断法によって測定を行い、レーザー変位計による結果と比較した。参考として、レーザービームの形状と触針先端の形状の概略図（同一縮尺）を Fig. 3-3 に示す。触針先端丸みは $10 \mu\text{m}$ であった。レーザービームは測定可能な範囲（ 6 mm ）の中央部で最小径（径 $70 \mu\text{m}$ ）となるが、Fig. 3-3 ではその半分のみを図示した。切断法による測定は以下の手順で行った。レーザー変位計と触針式粗さ計によって試験片の断面曲線を得た後、一部の試験片について測定部位を含む単板表面をエポキシ樹脂で被い、硬化後に測定部位を丸鋸で鋭利に切断した。そして、測定部位の断面を万能投影機により 50 または 100 倍に拡大してトレーシングペーパーに表面の輪郭を写しとり、それを

デジタイザーによってパソコンに入力し、適当な倍率（縦および横方向）で変換してX-Yプロッターに断面曲線を出力した。測定値の比較は基準長さ5 cmの十点平均粗さと、断面曲線中の同一ピークの高さの比較の2つの方法で行った。

スギ単板の測定結果の1例をFig. 3-4に示す。レーザー変位計による断面曲線では細かな凹凸が少なく比較的滑らかな線となった。これは十点平均粗さの測定を目的としたために大きなピークが正確に測定できる最低条件（最も送りの速い条件）を選択したためであり、送り速度を小さく設定すれば細かな凹凸も測定できる。各測定値の比較結果をFig. 3-5に、また、各方法間の相関係数をTable 3-1に示す。測定は、理想的には完全に同一の箇所で行うことが望ましい。しかし、試料の位置合わせ、特に測定ラインと試料の送り方向あるいは切断線を完全に一致させることは難しく、測定方法によって若干の位置のずれは避けることができなかった。各方法による断面曲線の部分的な差異はこれによって生じたものと判断する。レーザー変位計による結果は他の方法に比べてやや

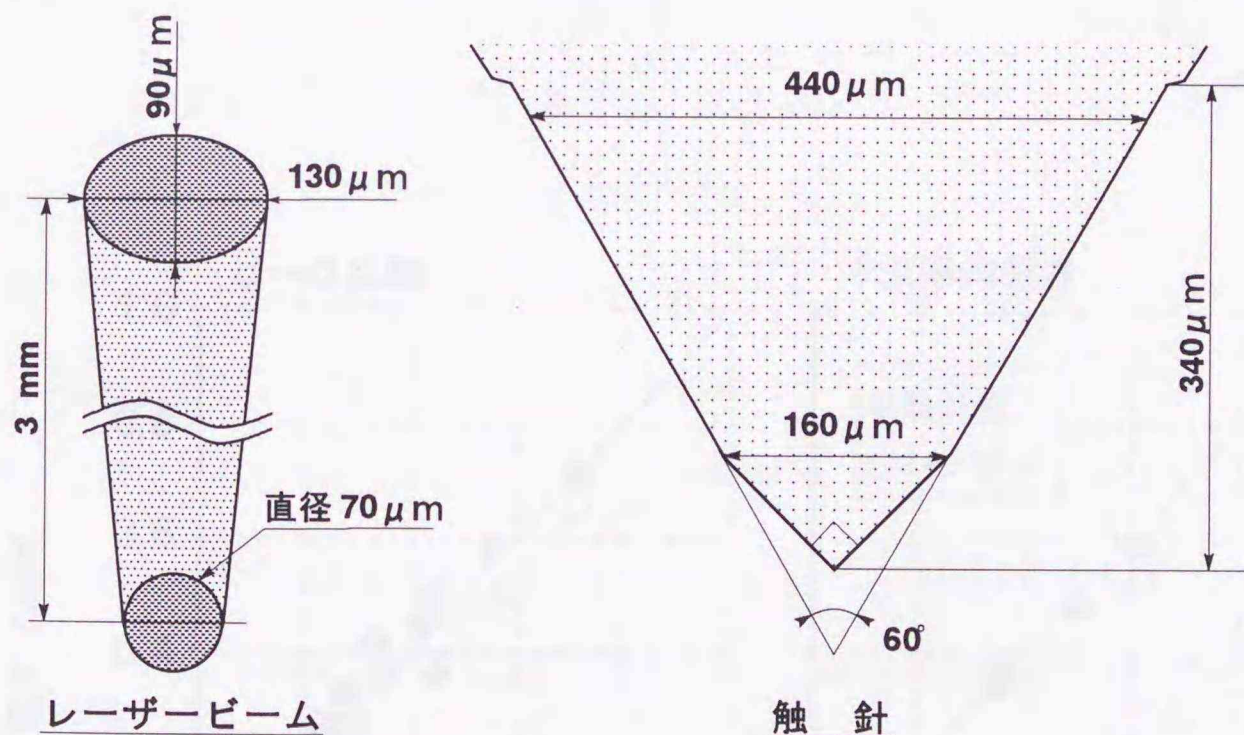


Fig. 3-3. レーザービームおよび触針先端の形状

Table 3-1. 各測定方法の間の相関係数

十点平均粗さ

	切断法	触針法	レーザー
切断法	—		
触針法	0.991	—	
レーザー	0.978	0.973	—

ピーク比較

	切断法	触針法	レーザー
切断法	—		
触針法	0.996	—	
レーザー	0.960	0.949	—

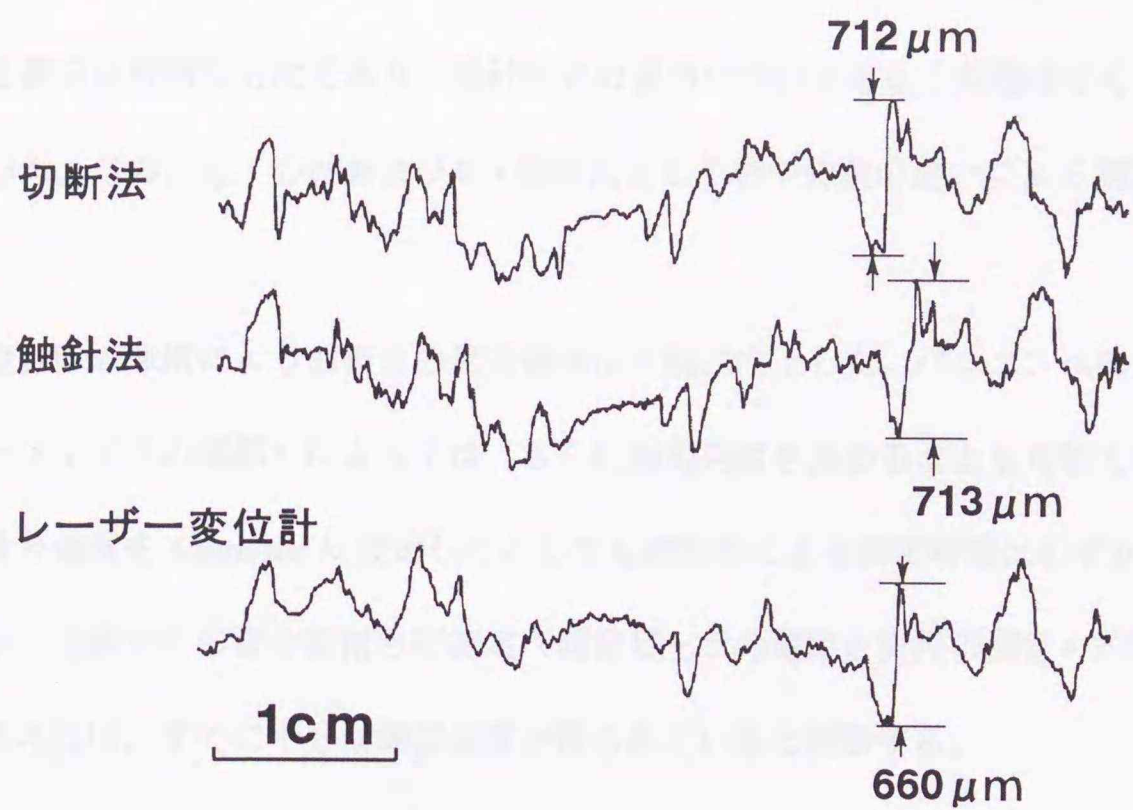


Fig. 3-4. スギ単板表面における断面曲線の測定

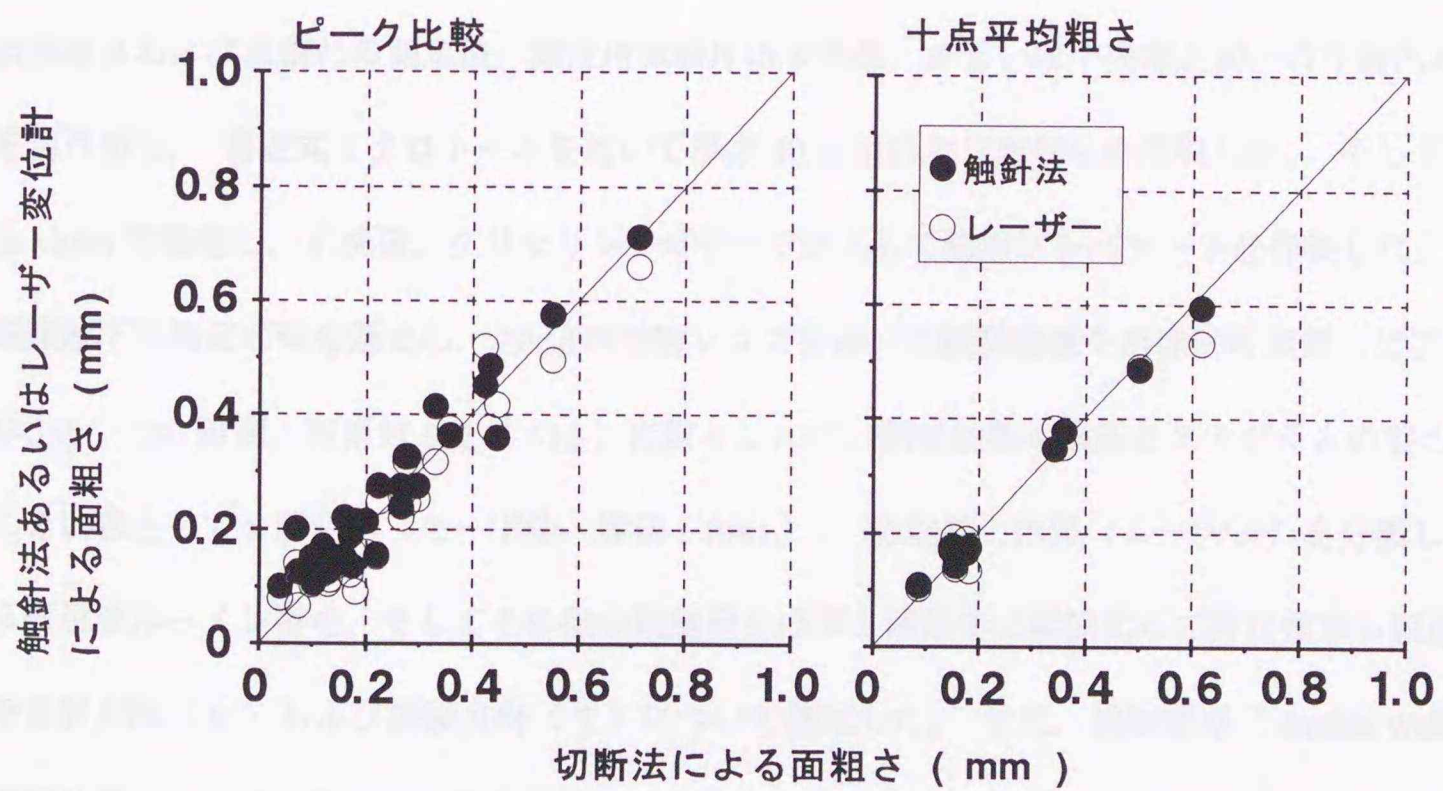


Fig. 3-5. 測定法による単板面粗さの比較

ばらつきが大きいですが、統計的には各方法の測定結果の間に有意差はなかった。したがって、レーザー変位計による測定は有効な方法であり、触針法との併用についても全く問題はなく、補正の必要もないと結論した。なお、辺・心材および早・晩材による色彩や光沢の違いによる測定結果への影響はなかった。

レーザー変位計の採用により面粗さの測定能率は大幅に向上した。パソコンへの入力方法（使用するインターフェイスの種類）によっては、さらに測定速度を高めることも可能である。しかし、仮に試料の送り速度を 5 mm/sec に設定したとしても測定器による測定時間はわずか 10 秒であり、試料のセット・交換やその後の面粗さの測定（測定ピークの選定と実際の測定・平均値算出）に要する時間を考えれば、すでに十分な測定速度が得られていると判断する。

3.2.4 仮道管径および細胞壁厚の測定

仮道管の横断面の形状を表す指標として放射方向および接線方向の直径と細胞壁厚を測定した。測定には画像解析装置を用い、測定個数を多くすることにより測定精度を高め、また、測定とその後のパソコンを使った集計および解析の能率の向上を図った。

単板面粗さおよび裏割れの測定後、測定用試験片の中央部、あるいは中央部と同一の年輪内から小片を切り出し、滑走式ミクロトームを用いて厚さ 10 μm の木口面切片を作製した。そして、gentian violet で染色し、水洗後、グリセリン・ゼリーで封入して簡易プレパラートを作製した。まず、顕微鏡下で測定部位を選定し、10 倍の対物レンズを用いて顕微鏡像を画像解析装置（ピアス製 LA-555, 256 階調, 画素数 512×512 ）に取りこんだ。顕微鏡像を濃淡ヒストグラム valleys の部分をしきい値として 2 値化し（モード法, 廣田: 1984）、細胞壁と内腔（ルーメン）を分離した像から仮道管ルーメン径を、そしてその像の細胞壁をほぼ 1 画素まで細線化して得た像から仮道管外径を放射方向（R）および接線方向（T）について測定した。また、細胞壁厚（double wall）は仮道管外径とルーメン径との差に 1 画素分の大きさとして 1.29 μm を加えた値とした。これは、画像処理による測定では細線化した最後の 1 画素の間隔を対象とするため、この 1 画素分を補う必要があるためである。解析した画像の 1 画素の大きさは $1.29 \times 1.29 \mu\text{m}$ で、1 画面の測定範囲は

およそ $630\text{ (R)} \times 580\text{ (T)}\text{ }\mu\text{m}$ であった。測定方法の概要を Fig. 3-6 に示す。測定は各試験片につき早材部の年輪界寄りの部分で3画面ずつ行い、測定対象とした細胞数は1試験片当たり599～1095個となった。

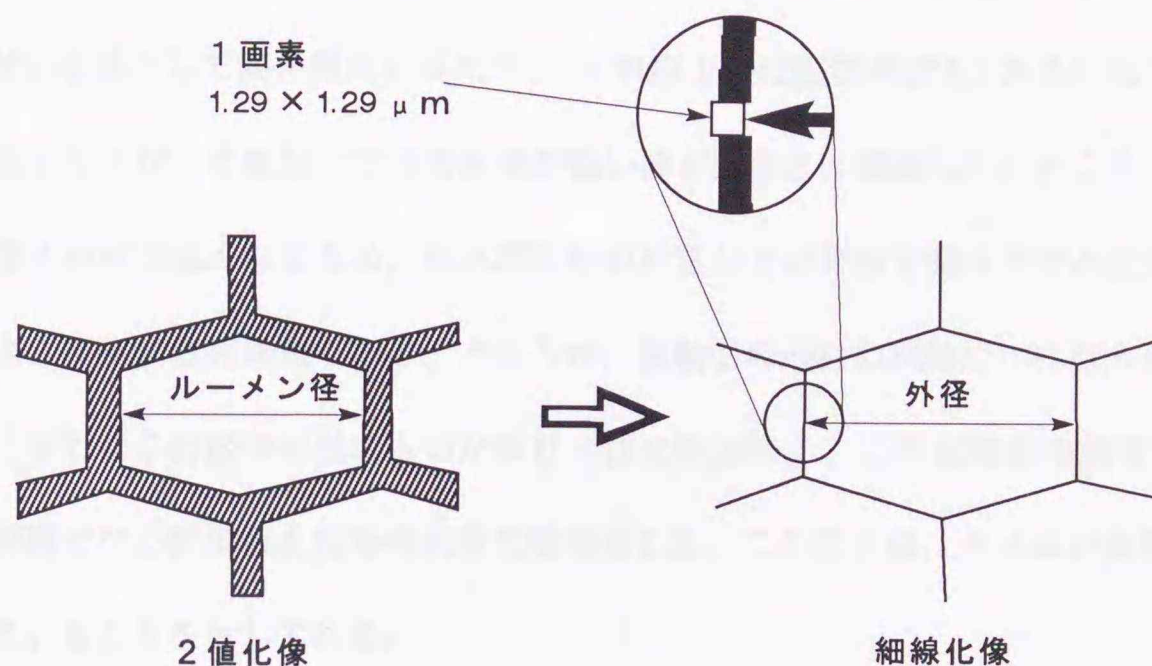


Fig. 3-6. 画像解析による仮道管径の測定

3.3 含水率による影響

3.3.1 単板面粗さの変化

単板含水率と面粗さの関係の測定例を年輪傾斜角別（平行，順目，逆目）に Fig. 3-7 に示す。図中の左側は実験①（原木長 95 cm，外周駆動レース）の刃口間隔が 2.9 mm の結果で，右側は実験②（原木長 30 cm，通常型レース）の刃口間隔が 3.0 mm の結果である。実験①のヒノキでは，年輪が平行な場合についてのみ含水率の測定を行った。スギでは心材内の含水率は比較的広範囲にわたってばらついた（45～144%）。一方，ヒノキでは心材含水率のばらつきが小さく，ほぼ一定の値であった。なお，アカマツでは前章で述べたように心材径が小さいために，実験によって得ることのできた単板のほとんどが辺材部であったので，含水率の測定は行わなかった。

前章では，含水率が常に高い辺材部から滑らかな単板を多く得ることができたことから，含水率が高いほど単板面が滑らかになると予想した。この指摘どおりに，スギの面粗さは含水率が高いほ

ど小さくなる傾向を示し、この傾向は年輪が単板面に平行な場合に明らかであった。順目切削条件では実験条件によって結果が異なり、実験①では含水率と面粗さの間に関係はなかったが、実験②では平行の場合と同様に含水率が低いほど単板面が粗くなっていた。一方、逆目切削条件ではいずれの実験条件においても両者の間に相関関係はなかった。面粗さが変化する場合には含水率がおおよそ100%付近を境として変化傾向が異なり、それ以上では面粗さが0.2あるいは0.3 mm前後の一定した値を示したが、それ以下では含水率が低いほど面粗さは増加した。ところで、含水率は一般に辺材で高く心材で低くなるため、含水率以外の材質などの半径方向における変動によって心材単板の面粗さが変化する可能性もある。ところが、実験①の辺材の試験片中に原木の貯木時の散水むらによると思われる含水率の低いものがあり（含水率35%）、この試験片の面粗さは0.397 mmと実験①の範囲では心材単板と同等の大きな値を示した。このことは、含水率が面粗さに対して大きく影響していることを示している。

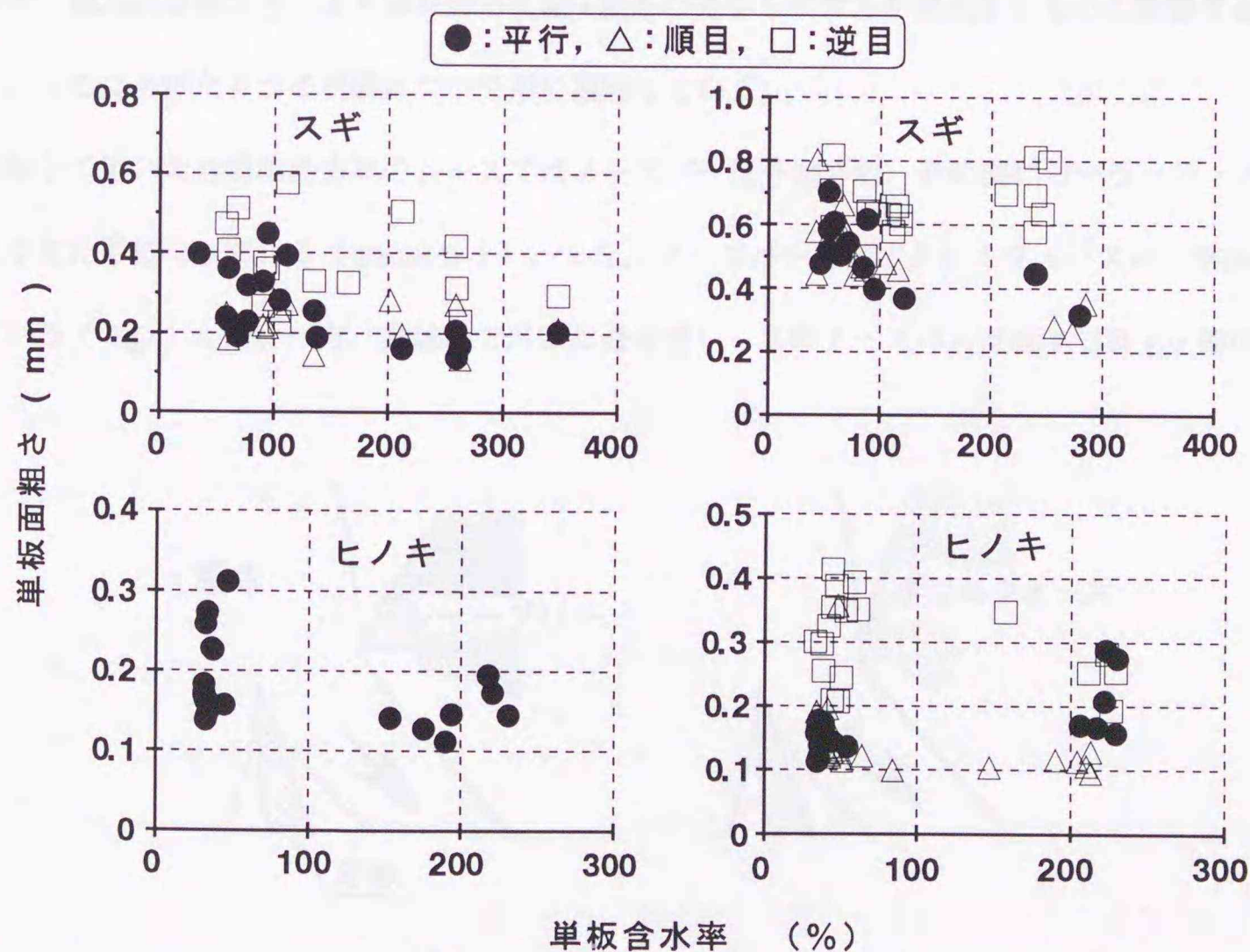


Fig. 3-7. 含水率による単板面粗さの変化

左側：実験①による刃口間隔 2.9 mmの結果、右側：実験②による刃口間隔 3.0 mmの結果。

一方、ヒノキの場合には、面粗さは辺材でばらつきが小さく、心材では辺材に比べて面はやや粗くばらつきも大くなる傾向があった。しかし、スギの場合のような明確な含水率の影響はなかった。

含水率が面粗さに影響を及ぼす理由については、次のように考える。スギ早材部のように比重の低い材部では、仮道管の細胞壁が薄いため横方向の力に対して非常に変形しやすく、早材部は刃先によって切断されずに圧縮・変形されて compression tearing が発生し (Leney: 1960a, b), その部分が単板面から剥離して面が粗くなる。含水率が高い場合には、木材繊維 (この場合には仮道管) の内腔に自由水が多量に存在するため、繊維が横方向の力を受けたときにはその変形が妨げられるため (Hoadley: 1963), 刃物によって容易に切断され、面粗さは向上する。逆目条件において含水率と面粗さの間に相関がないことは、逆目条件では早材部の圧縮・変形があまり発生しないことを示唆している。一方、順目切削条件では実験条件によって含水率による面粗さの変化傾向が異なることから (たとえば実験①と②のように), ベニヤレース (特にノーズバー) の種類, 刃物の摩耗条件, 原木の材質などにより早材部の圧縮・変形の発生しやすさが変化するものと推察する。以下に, ここにあげた3つの要因について順に議論していく。

実験①で用いた外周駆動方式のレースではノーズバーは分割され, その間にローラーディスクが挿入された形になっている (Photo 2-1)。また, ノーズバーとしてダブルフェースバーが採用されている (Fig. 3-8)。一方, 実験②で用いた通常型レースのノーズバーは日本で最も一般的な

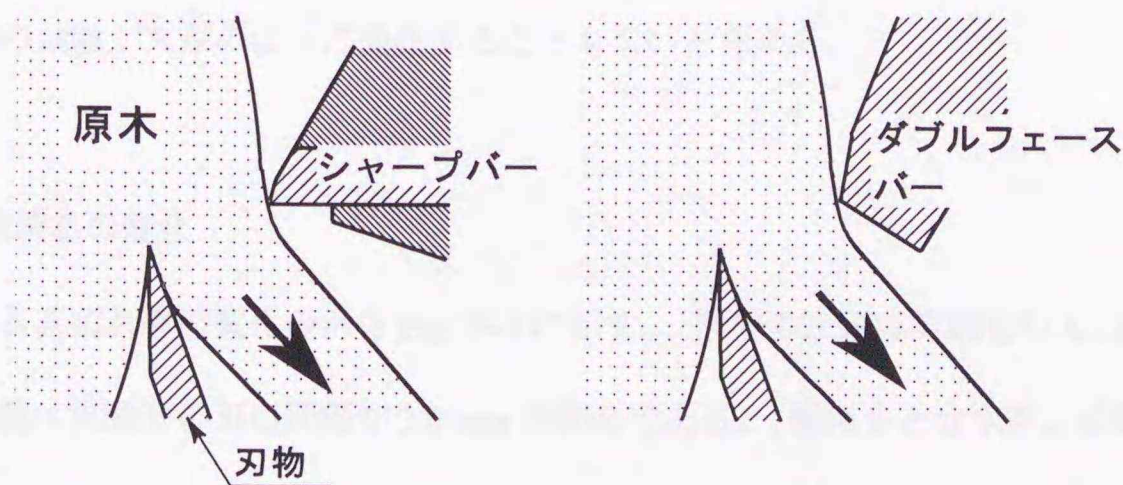


Fig. 3-8. ノーズバーのタイプによる断面形状の違い

シャープバーと呼ばれるものである (Fig. 3-8)。ノーズバーのタイプの違いについては、バーの先端の角度などがこれまでに報告されている実験結果 (林: 1968, 1977a) と全く異なるため、今回の実験結果における単板品質に及ぼすノーズバーの影響を正確に予測することはできない。しかし、ノーズバーのタイプの違いによって切削中の原木表面付近の応力分布が変化することが明らかにされており (杉山: 1974b)、それによって単板品質も当然変化するものと推察する。

摩耗した刃物の刃先の丸身半径は大きく、これを使用した場合には、刃物摩耗による切れ味の低下のため早材部の圧縮・変形が起きやすくなることが予想できる。実験②の結果は第5章で述べる振動切削の対照実験の無振動切削として行った結果であり、切削原木数がやや多かったために、刃物の摩耗が実験①の状態よりもやや進行していた可能性がある。このため、順目部分でも含水率が低下するにしたがって早材部の圧縮・変形が起きやすくなったとも考えることができる。

原木材質の違いについては、容積密度の測定結果が実験②についてだけあるが、実験②で用いた原木の容積密度は 0.282 g/cm^3 と比較的低いことから、刃先による早材部の圧縮・変形が起きやすいことが予想できる。このため、順目部分においても含水率が低い場合にこの現象が生じ、単板面が粗くなった可能性が高いと考える。

ヒノキの場合には早材部の仮道管 (厚さ $2 \mu\text{m}$, 径 $30 \sim 50 \times 25 \sim 35 \mu\text{m}$ (「日本の木材」: 1966)) はスギのそれ (厚さ $1 \sim 3 \mu\text{m}$, 径 $30 \sim 50 \times 30 \sim 45 \mu\text{m}$ (「日本の木材」: 1966)) に比較して径が小さく壁も厚いため、スギほど含水率に左右されず、刃先による圧縮現象によって生じる早材部の剥離がスギのように発生することもないと考える。

3.3.2 裏割れ深さの変化

含水率による裏割れ率の変化の例を Fig. 3-9 に示す。図中の左側は実験①の刃口間隔が 2.9 mm の結果で、右側は実験②の刃口間隔が 3.0 mm の結果である。面粗さと含水率との検討結果から、ヒノキにおける裏割れ率に及ぼす含水率の影響は存在したとしても非常に小さい、あるいは含水率のばらつきがないため検出が難しいと判断したので、スギについてのみ検討を行った。

実験①では面粗さとの関係と同様に、含水率の低い場合に裏割れ率が高くなる傾向を示した。し

かし、実験②の結果では含水率による裏割れ率の変化はなく、また、全体のばらつきもほとんどなかった。

実験①の含水率が低い場合に裏割れ率が高くなるという結果は、第2章で示した心材部（含水率が低い）に比べて辺材部（含水率が高い）で裏割れがやや浅くなる傾向と一致していた。これは、含水率が低いために心材部において頻発する刃先による早材部の圧縮現象が、裏割れの深さに影響を及ぼした結果であるとも推察できる。刃先による早材部の圧縮・変形により、裏割れが押し広げられて裏割れの深さが増加する可能性があるためである。しかし、Fig. 3-7で示したスギの面粗さと含水率の検討結果から、実験②では実験①に比較してより激しい早材部の圧縮現象が予想できるにもかかわらず、実験②の裏割れ率は含水率によってほとんど変化しなかった。したがって、早材部の圧縮現象によって裏割れ率の増加が起きるとはいえない。実験①の結果については、含水率の影響よりも辺・心材間における材質（たとえば年輪幅）の影響が強いものと判断する。

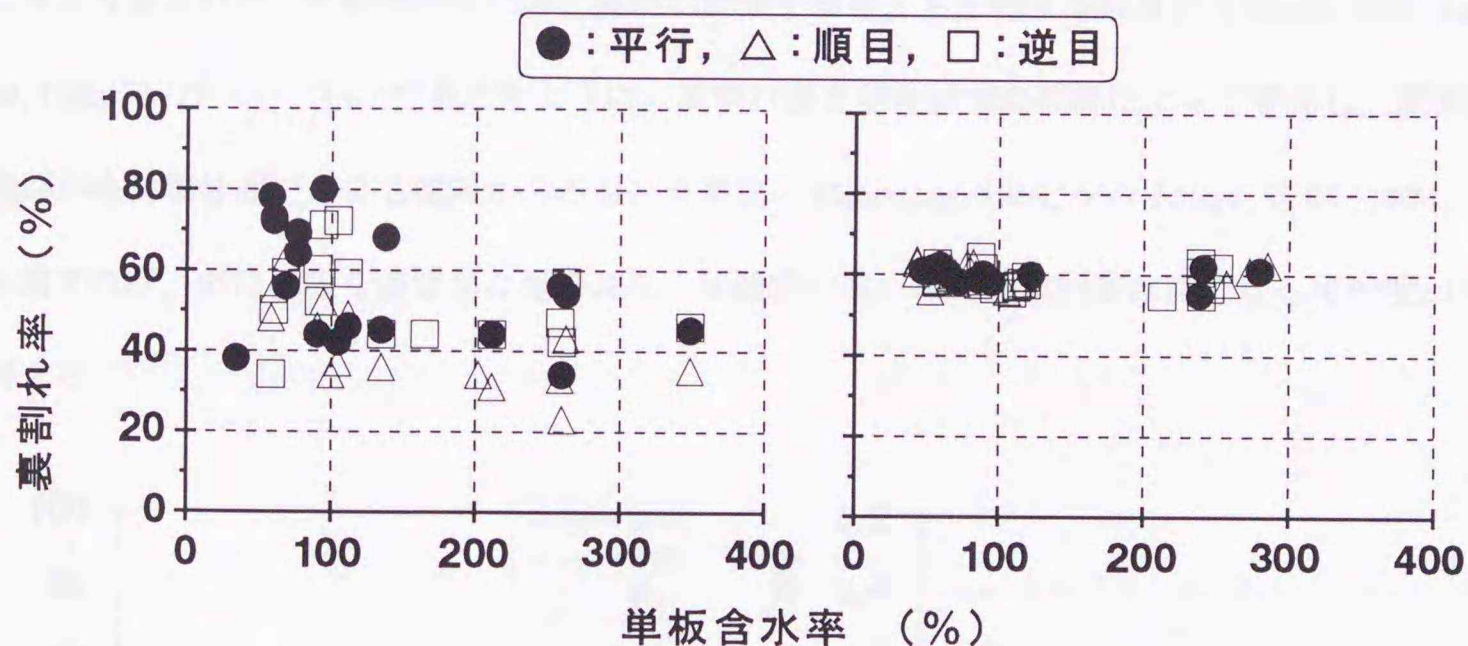


Fig. 3-9. 含水率による裏割れ率の変化（スギ）

左側：実験①による刃口間隔2.9mmの結果，右側：実験②による刃口間隔3.0mmの結果。

3.4 年輪幅による影響

この実験は、原木の平均年輪幅から単板切削用としての原木の適否を判定できるかどうか調べることを目的として行った。年輪幅の異なるスギ原木5本を供試原木として用い、心材の平均年輪幅

によって原木を次の3つのクラスに分けた。年輪幅の広いもの：6.7 mm，中庸：5.1, 5.2 mm，狭い：4.0, 4.2 mm。含水率の影響を避けるため，測定用試験片のうち，心材単板のみについて面粗さおよび裏割れ率を比較した。単板面と年輪が平行な場合について，刃口間隔の条件別に平均した値を Fig. 3-10 に示す。なお，順目および逆目切削の裏割れ率は，刃口条件 2.9 mm についてのみ測定を行った。

面粗さの変化は年輪幅によって一定の傾向を示さなかった。前節で述べたように，スギの心材含水率は原木によってばらつくため，含水率の影響に注意する必要がある。しかし，ここで用いた試験片の含水率の範囲内（45～144%）では含水率と面粗さとの間に一定の傾向はなく，したがって，この実験の範囲内では年輪幅および含水率による単板面粗さへの影響はないと判断した。

裏割れ率の大きさは刃口間隔 3.0 mm の条件において年輪幅が広，中，狭の順に小さくなったが，他の刃口の狭い条件では一定の傾向を示さなかった。ここで用いた試験片の枚数が十分ではないために断定できないが，年輪幅が広いほど裏割れが深くなるとする既往の結果や（Koch: 1965, Lutz: 1964, Palka: 1973），「3.6」でも示すように，裏割れ深さが晩材部の位置によって変化し，裏割れの先端が晩材部付近で止まる傾向があるという事実（Cumming: 1969, 中村：1984, 吉田：1974）から推論すれば，刃口を広く設定した場合には，年輪幅が広いほど裏割れ率は高くなる可能性があると考えらる。

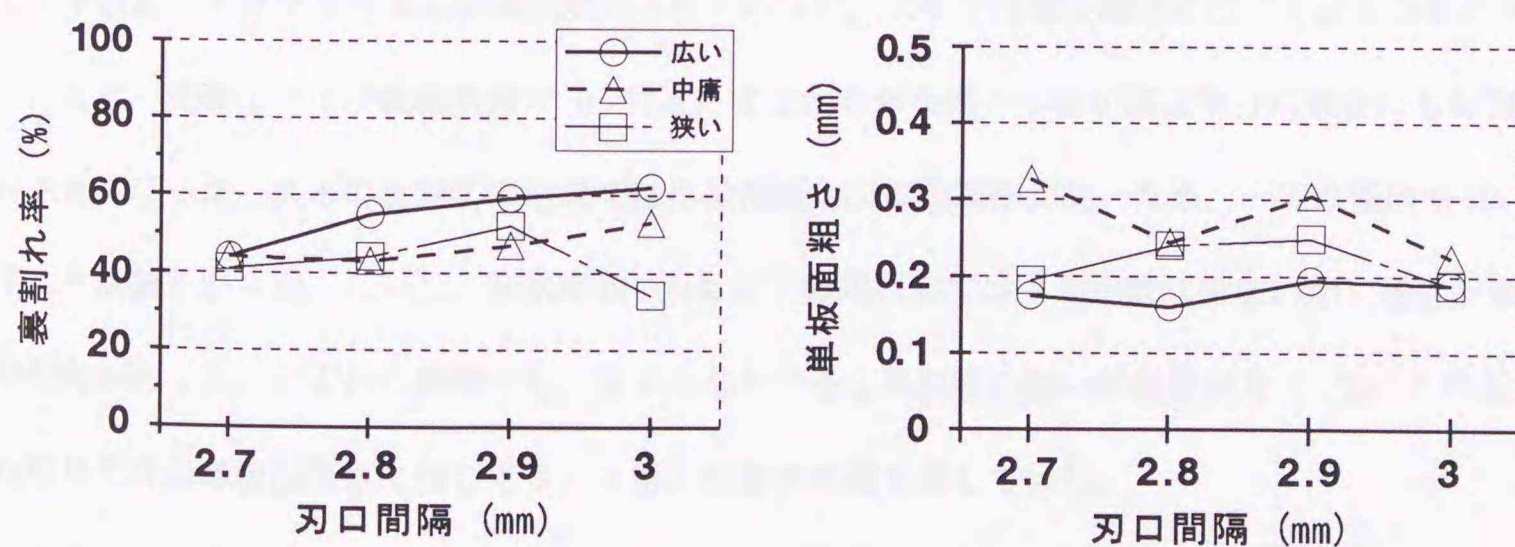


Fig. 3-10. 刃口間隔による年輪幅別の単板面粗さと裏割れ率の変化（スギ）
単板面に対して年輪が平行な場合。

この実験で用いた原木の平均年輪幅は 4.0 ～ 6.7 mm と比較的広く、年輪幅の影響についてより詳しく論ずるためには狭い年輪幅を持つ原木の試験結果と比較する必要がある。他の研究者による実験結果（天野：1984b, 中田：1992）と比較したところ、裏割れ率はおおむね同等の値を示したが、実験条件の違い（装置や単板歩出し厚さ）や実験条件の不明瞭な点（刃口間隔）などが多いため精密な比較・検討はできなかった。

3.5 年輪傾斜角による影響

3.5.1 単板面粗さの変化

年輪傾斜角による単板面粗さの変化を Fig. 3-11 に示す。スギでは「3.3」の結果をふまえて、実験①では（Fig. 3-11 最上部の左側）含水率 100% を境にして 2 分し、実験②では（Fig. 3-11 最上部の右側）変化の一定しない含水率 120 ～ 200% のものを除いた。ヒノキでは辺材と心材に分けて示し、スギと同様に左が実験①、右が実験②の結果である。刃口間隔は、スギ実験①とヒノキ実験①では 2.9 mm、両樹種の実験②では 2.8 mm、アカマツの左側では 2.76 mm、アカマツの単板歩出し厚さ（d）2 mm では 1.9 mm、そしてアカマツの最下部のグラフでは 2.91 mm であった。

いずれの樹種においても面粗さは年輪傾斜角によって変化し、順目切削では低く一定し、一方、逆目切削では年輪傾斜角の減少（絶対値の増加）とともに面粗さも大きくなる傾向を示した。特にヒノキおよびアカマツではこの傾向が明らかであった。スギでは他の樹種に比べてばらつきが大きく、また、実験①では年輪傾斜角が 0° 付近、すなわち単板面と年輪がほぼ平行な場合にも面粗さは大きくなった。スギの実験②の結果では年輪傾斜角の変動範囲が狭いため、一定の傾向を見いだすことは難しかった。しかし、含水率が 200% 以上の辺材部では（測定数は少ないが）逆目 > 順目の傾向があった。いずれの樹種でも、逆目のなかで最も単板面の粗い年輪傾斜角（ -20° ）付近では順目部分の単板面粗さに対して 3 ～ 4 倍の面粗さの値を示していた。

スギにおける面の粗い単板の木口断面の例を Photo 3-2 に、ヒノキとアカマツ単板の木口断面の例を Photo 3-3, 3-4 に示す。逆目切削ではいわゆる逆目ぼれが発生することで面が粗くなった。これは、切削中に刃先前方に生じる先割れが原木側に向かって、かつ年輪に平行な方向に進んでいく

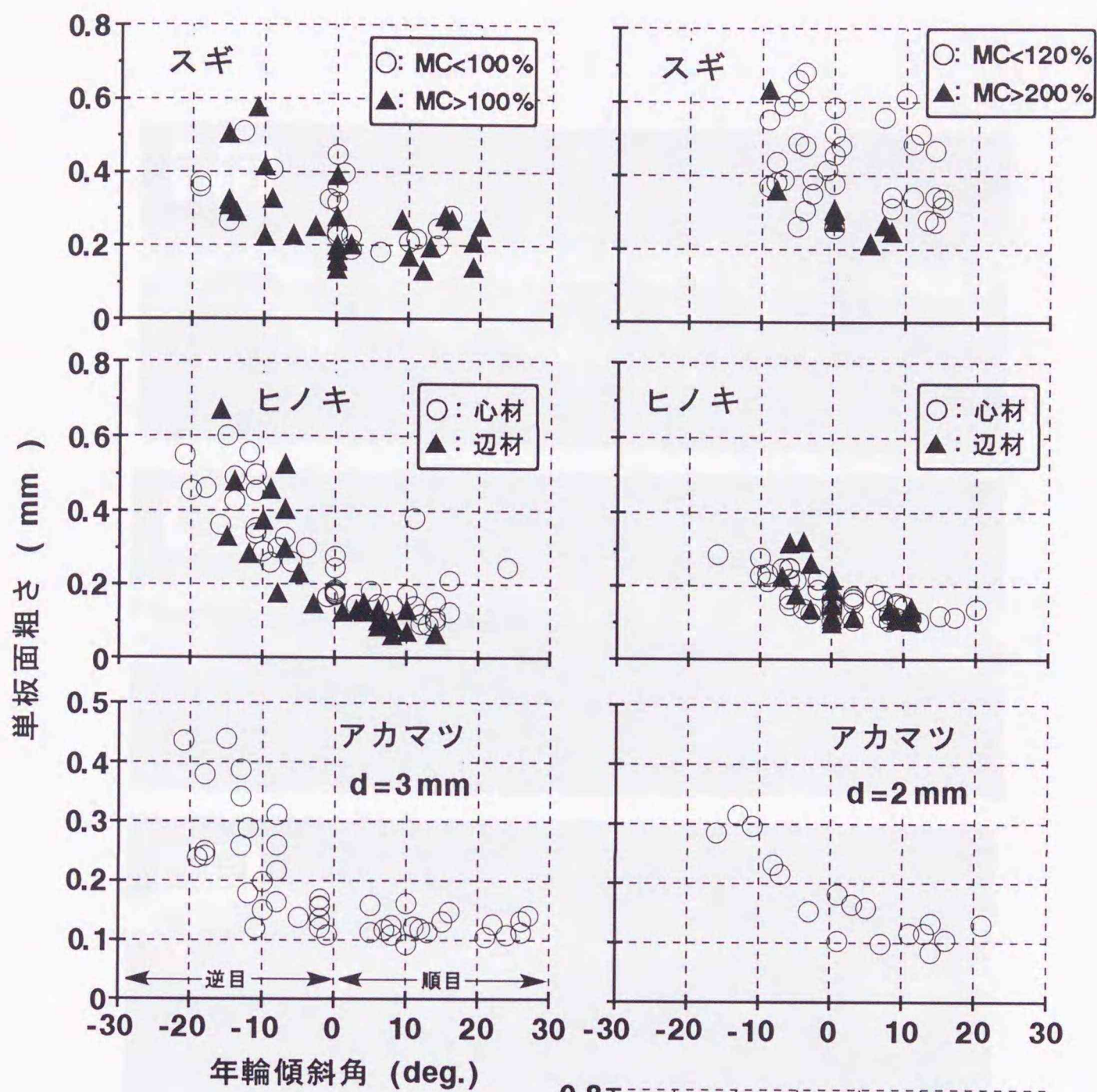


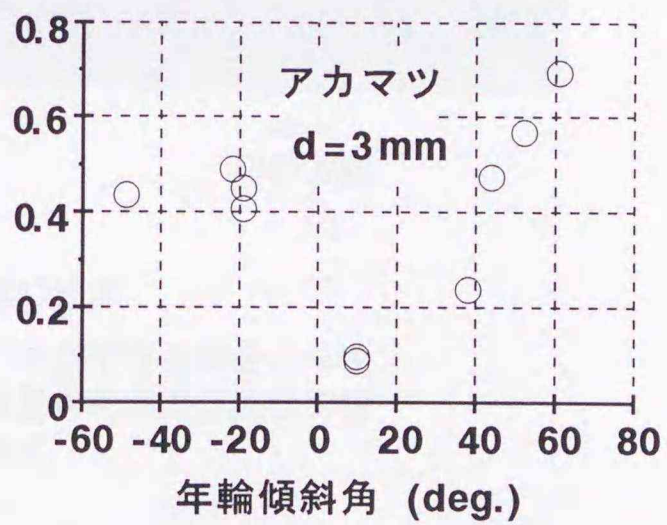
Fig. 3-11. 年輪傾斜角による単板面粗さの変化

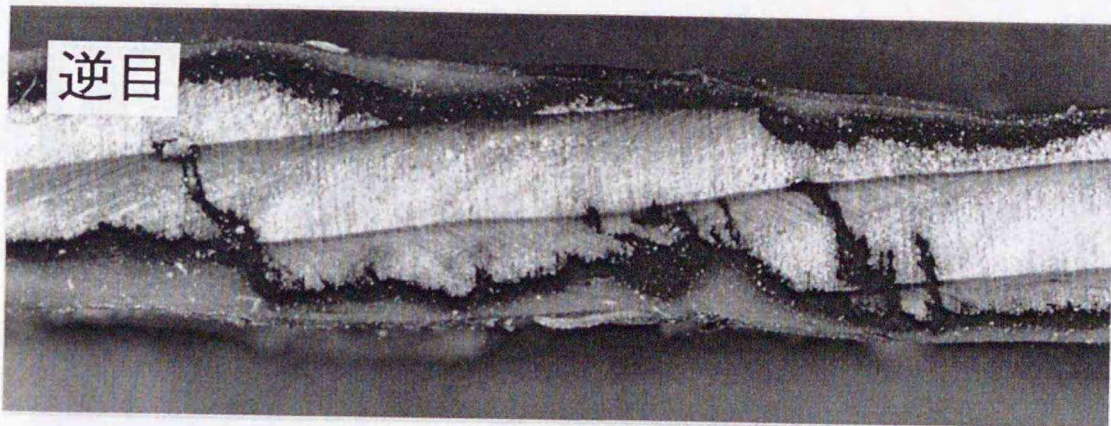
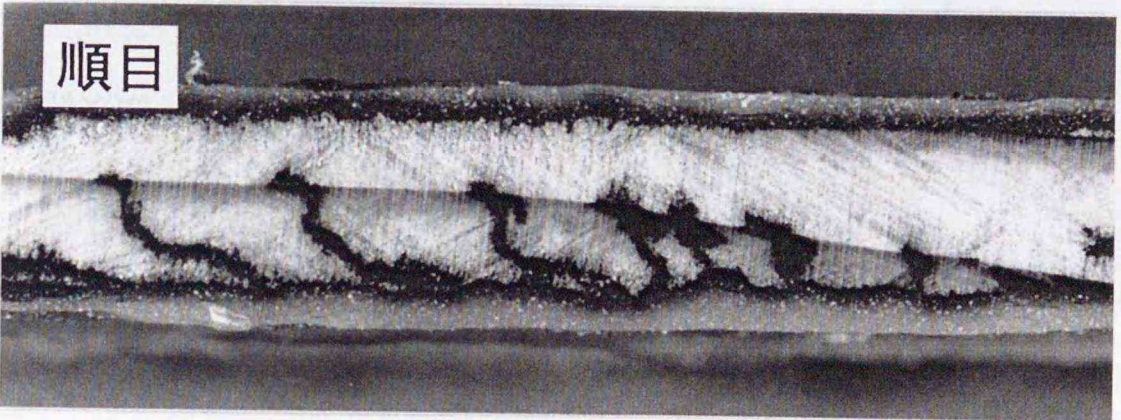
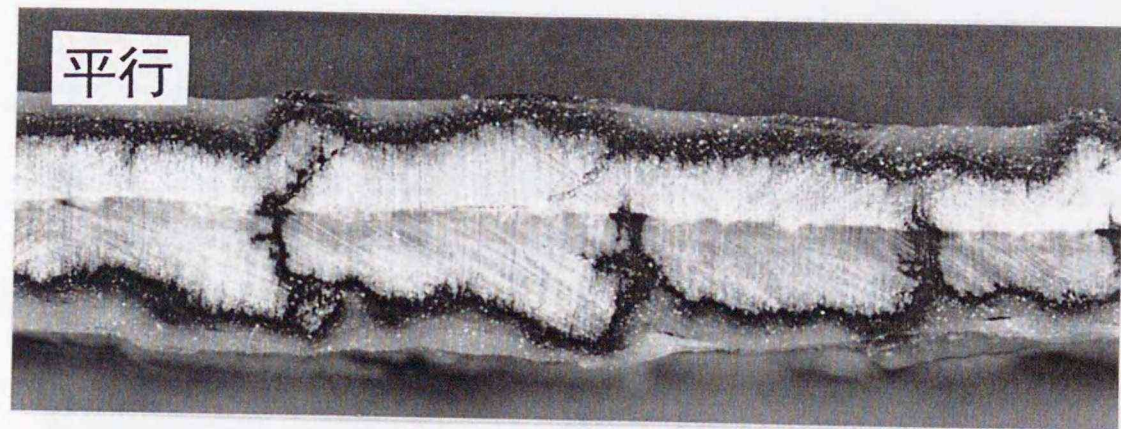
MC: 含水率, d: 単板歩出し厚さ

スギ, ヒノキ左側: 実験①による刃口間隔 2.9 mm の結果, スギ, ヒノキ右側: 実験②による刃口間隔 2.8 mm の結果, アカマツ左側: 刃口間隔 2.76 mm, アカマツ右側

d=2 mm: 刃口間隔 1.9 mm, アカマツ右側

d=3 mm: 刃口間隔 2.91 mm。

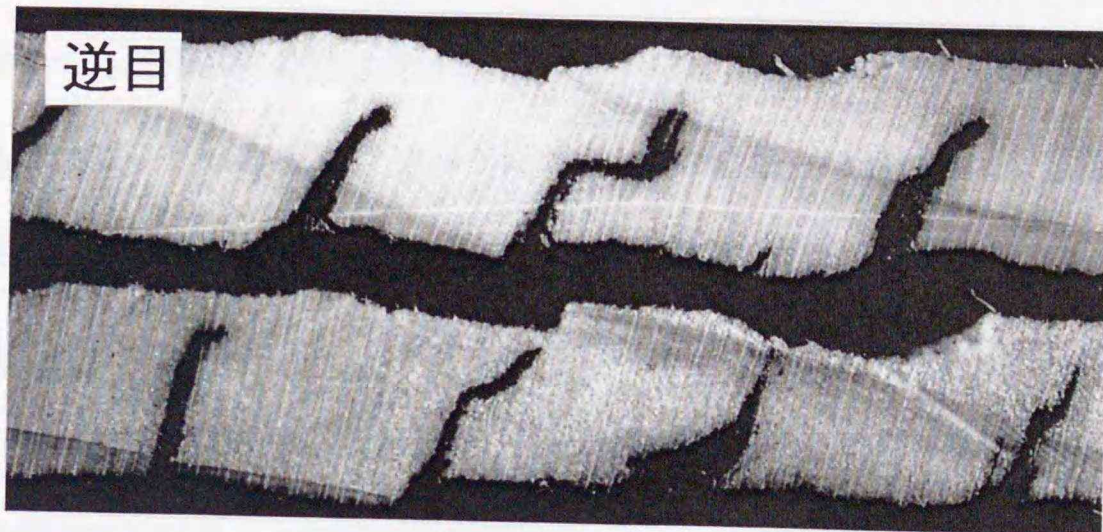
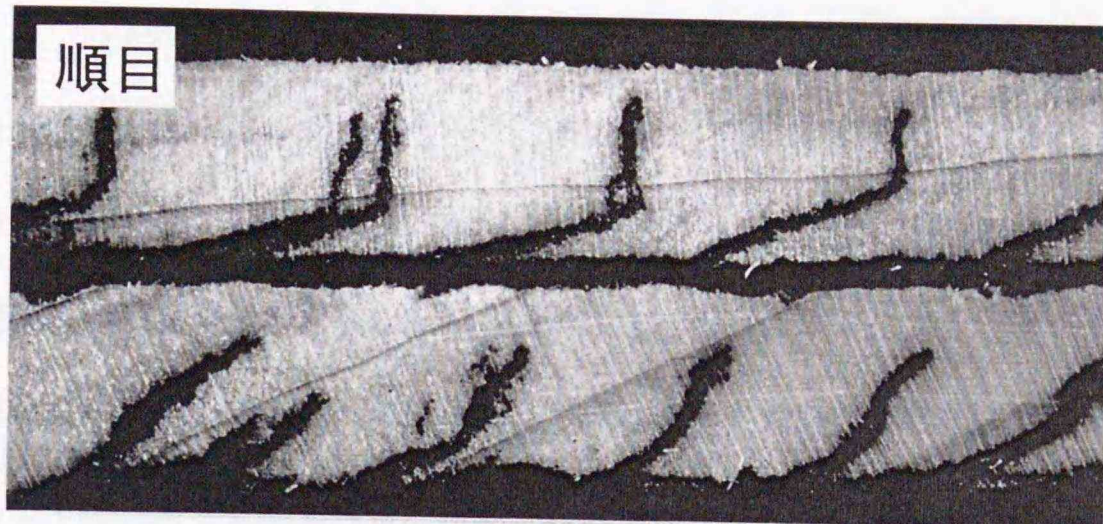




←
切削方向

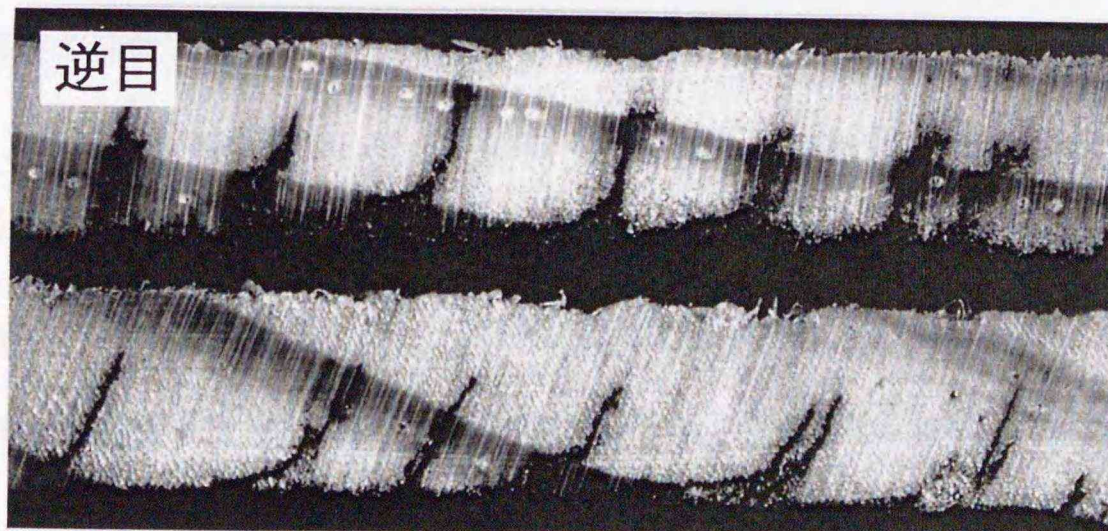
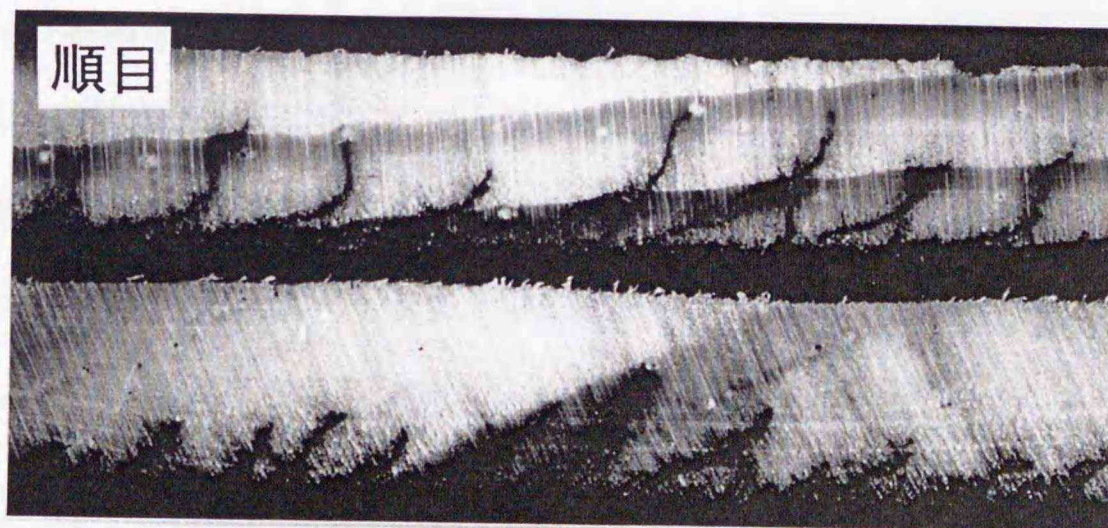
Photo 3-2. スギ単板木口断面

単板面と年輪が平行な場合と年輪
に対して順目切削および逆目切削
の場合を示す。



→
切削方向

Photo 3-3. ヒノキ単板木口断面



→
切削方向

Photo 3-4. アカマツ単板木口断面

ためと考えており、年輪傾斜角の絶対値が大きくなれば、この割れの切削面に対する進入角度も大きくなり、面粗さが増加すると判断する。しかし、Fig. 3-11 の最下部にあるアカマツの例からわかるように、年輪傾斜角の絶対値の大きさがある限度以上になった場合には、年輪に変わって放射組織の傾斜角が単板面粗さを決定する。年輪に対する順目条件において年輪傾斜角が増加していくと、放射組織に対して逆目方向となるため、面粗さはある時点から増加に転じる。逆に、年輪に対する逆目条件において年輪傾斜角の絶対値が増加していくと、放射組織に対して順目となるため、ある時点から面粗さは減少に転じる。アカマツにおけるその変曲点は順目および逆目条件とも $30 \sim 40^\circ$ 付近と推察した。同様の結果は、スギ未成熟材の小試験片を用いた実験報告から読みとることができる（長井：1993b, c）。また、スライスド単板の場合においても、柾目面切削（年輪傾斜角の絶対値が大）では面粗さに対する放射組織の影響が強く、板目面切削（年輪傾斜角の絶対値が小）では年輪の影響が強くなることが報じられている（Lutz: 1956, 田中：1960）。

スギでは単板面と年輪がほぼ平行な場合に単板面が粗くなる場合があった（Photo 3-2）。これは、先に述べたようにスギ早材部のような薄壁の仮道管は接線方向の力を受けて変形しやすいため、早材部が刃先によって切断されることなくつぶれてしまうためと考える。このような刃先による圧縮のため、単板面は深くえぐられて面は粗くなる。ヒノキやアカマツはスギに比較して早材部仮道管が接線方向の力に対してつぶれにくいいため、単板面と年輪がほぼ平行な場合でも面は粗くならないと考える。

3.5.2 裏割れ深さの変化

年輪傾斜角による裏割れ率の変化を Fig. 3-12 に示す。図示した結果の実験条件は、すべて面粗さの場合と同様で、スギおよびヒノキでは左側が実験①の結果、右側が実験②の結果である。また、スギの実験①では含水率 100% を境界とし、実験②では含水率 120 ~ 200% のものを除いて示した。ヒノキでは辺・心材別に結果を示した。刃口間隔はスギおよびヒノキの実験①では 2.9 mm、実験②では 2.8 mm、アカマツの左側では 2.76 mm、アカマツの単板歩出し厚さ（d）2 mm では 1.9 mm、そしてアカマツの最下部のグラフでは 2.91 mm であった。

いずれの樹種においても、裏割れ率は順目切削部分に比べて逆目切削部分で大きくなる傾向があったが、逆目部分の裏割れ率は順目部分に対して 1.5 倍程度で、順目部分と逆目部分の差は単板面粗さのように大きくなかった。

単板の裏割れは、刃先の先端付近あるいはすくい面上に生じた割れが伸びることによってできるとされており（Leney: 1960a, Lutz: 1966），したがって、裏割れの深さや間隔は木材の割裂強度あるいは横引張り強度に依存するものと予想する。針葉樹単板では、構成組織の規則的な配列のため裏割れは年輪あるいは放射組織に対して平行方向に進みやすいので（Photo 3-2 ～ 3-4），放射面と接線面との間の引張り強度あるいは割裂性の違いによって裏割れ深さの年輪傾斜角による変化が生じた可能性がある。

割裂面の違いによる針葉樹材の横方向の割裂強度の異方性は柢目面＞板目面とされており（北原：1967），板目面で割裂しやすい。一方、横引張り強度は柢目方向＞板目方向であり（北原：1967），割裂性とは逆に柢目面で破壊しやすい。また、裏割れは刃先近傍に発生する引張りあるいはせん断力によって（両者がそれぞれ単独、あるいは両者が関連し合いながら）生じるとされており（木下：1983b, McKenzie: 1975, Palka: 1970, 1975, 杉山：1974a），いずれの力が卓越して割れの伸展を促しているか、また、刃口間隔などの切削条件による応力分布への影響など、切削過程における刃先周辺の応力分布の変化に対する定説はない。このように、現時点において割れの進行方向によって裏割れ深さが変化することを、これらの既知の事実より説明することは難しい。

このほか、裏割れ深さが順目切削部分と逆目切削部分とで異なる事実をノーズバーの影響力の違いによって説明することも可能であると考える。すでに明らかにしたように、単板面粗さは順目部分で小さく逆目部分で大きくなり、逆目部分では単板面上にえぐれが生じる（Photo 3-2 ～ 3-4）。このため、逆目部分では瞬間的かつ部分的にノーズバーによる原木表面への圧縮力が弱まると予想する。よく知られているように（たとえば木下：1984），ノーズバーによる圧縮力が弱い場合、すなわち刃口間隔が広い場合には裏割れは深くなるため、逆目部分の裏割れも順目部分に比べて深くなったと推察できる。この説の真偽については、切削過程におけるノーズバー先端と原木表面との接触状態を詳しく観察することによって確かめることができるだろう。

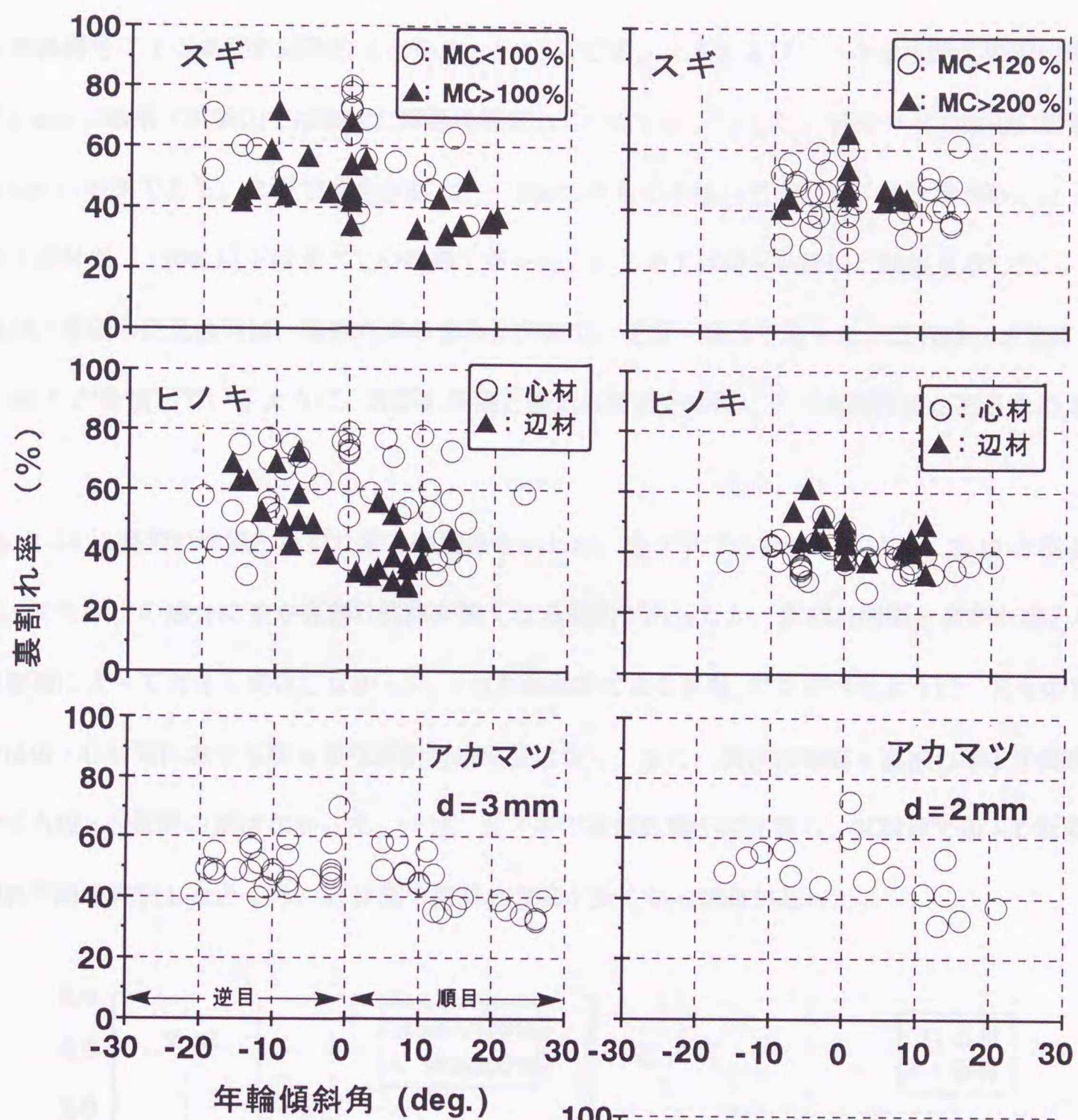
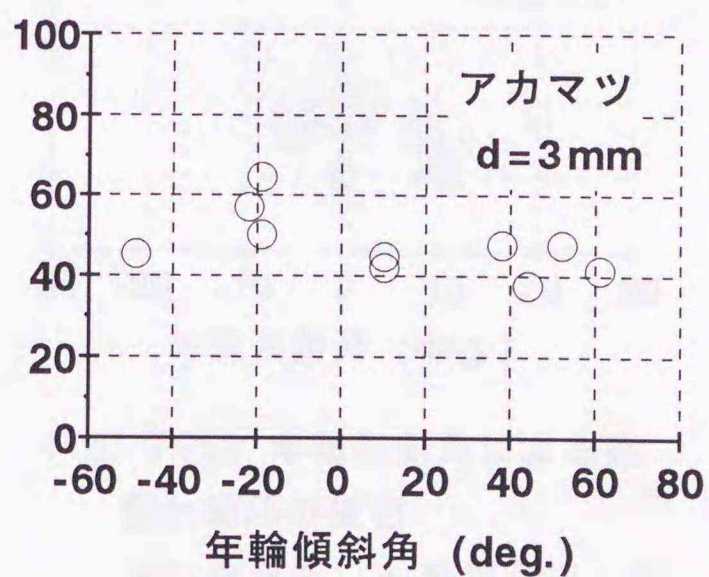


Fig. 3-12. 年輪傾斜角による裏割れ率の変化

MC: 含水率, d: 単板歩出し厚さ
 スギ, ヒノキ左側: 実験①による刃口間
 隔2.9mmの結果, スギ, ヒノキ右側: 実
 験②による刃口間隔2.8mmの結果,
 アカマツ左側: 刃口間隔2.76mm, アカマツ
 右側 d=2mm: 刃口間隔1.9mm, アカ
 マツ右側 d=3mm: 刃口間隔2.91mm。



3.5.3 裏割れ間隔の変化

年輪傾斜角による裏割れ間隔の変化を Fig. 3-13 に示す。スギおよびヒノキは実験②の刃口間隔が 2.8 mm の結果（実験①では裏割れ間隔を測定していない），そして，アカマツでは刃口間隔が 2.76 mm の結果である。スギでは含水率 120 ～ 200% のものを除いて示した。含水率 200% 以上はすべて辺材部，120% 以下はすべて心材部であった。ヒノキでは辺・心材別に結果を示した。

裏割れ間隔の変化傾向は，裏割れ率の場合と同様で，逆目 > 順目であった。これは，すでに木下（1984）が指摘しているように，裏割れ間隔と裏割れ深さとの間に正の相関関係があるためである。

Fig. 3-14 に裏割れ間隔と裏割れ率との関係を示した。各グラフの実験条件は Fig. 3-13 と同じである。アカマツの場合にやや裏割れ間隔が狭くなる傾向があったが，裏割れ間隔と裏割れ率との関係は樹種によって大きく変化しなかった。「3.3 含水率による影響」でも述べたように，スギの実験②では辺・心材間における明らかな裏割れ率の差はなく，また，裏割れ間隔と裏割れ率との関係についても辺・心材間の差はなかった。一方，ヒノキの裏割れ率がほぼ等しい試験片で辺・心材間の裏割れ間隔を比較したところ，辺材部で裏割れ間隔が狭くなる傾向があった。

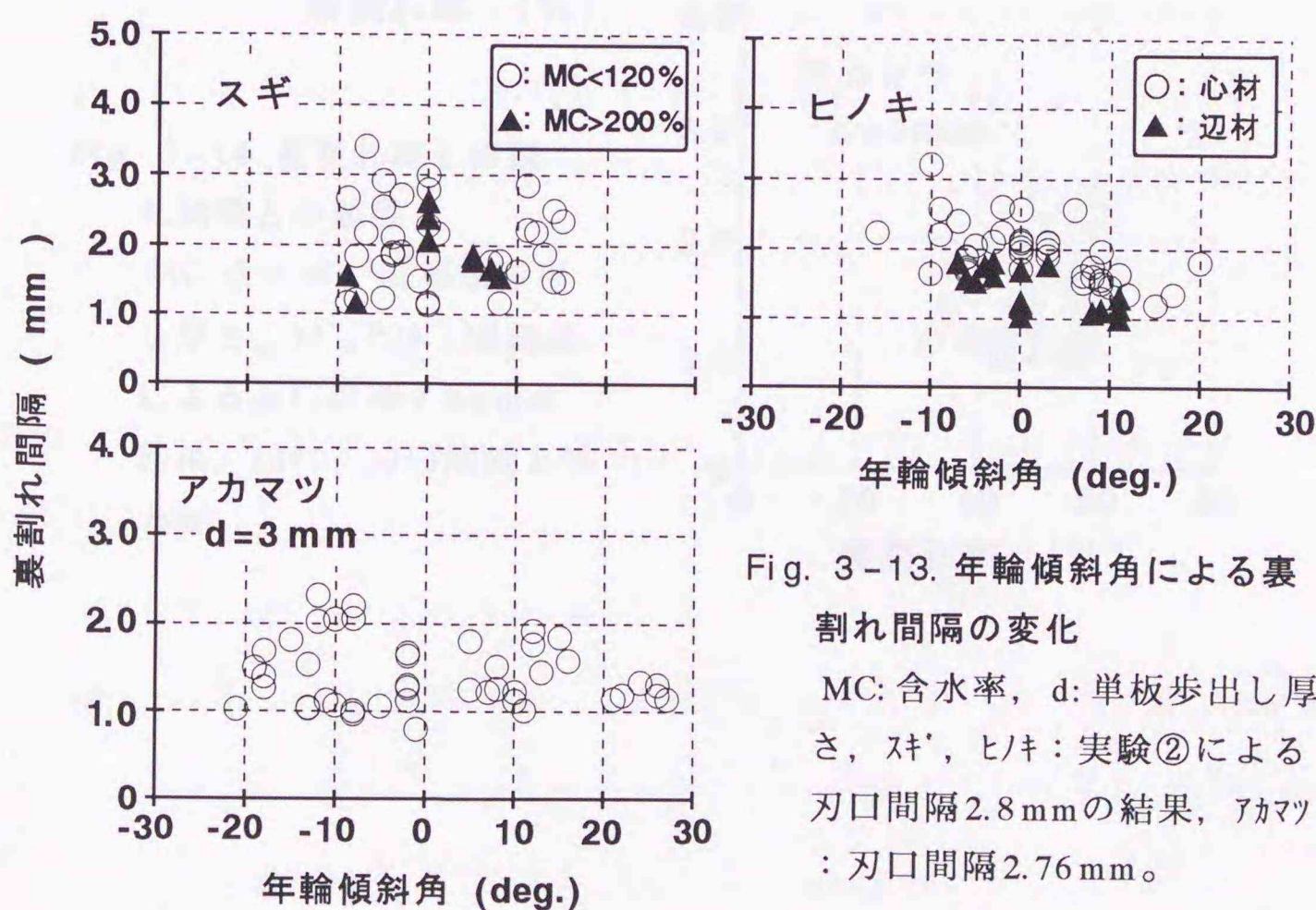


Fig. 3-13. 年輪傾斜角による裏割れ間隔の変化
MC: 含水率, d: 単板歩出し厚さ, スギ, ヒノキ: 実験②による刃口間隔 2.8 mm の結果, アカマツ: 刃口間隔 2.76 mm。

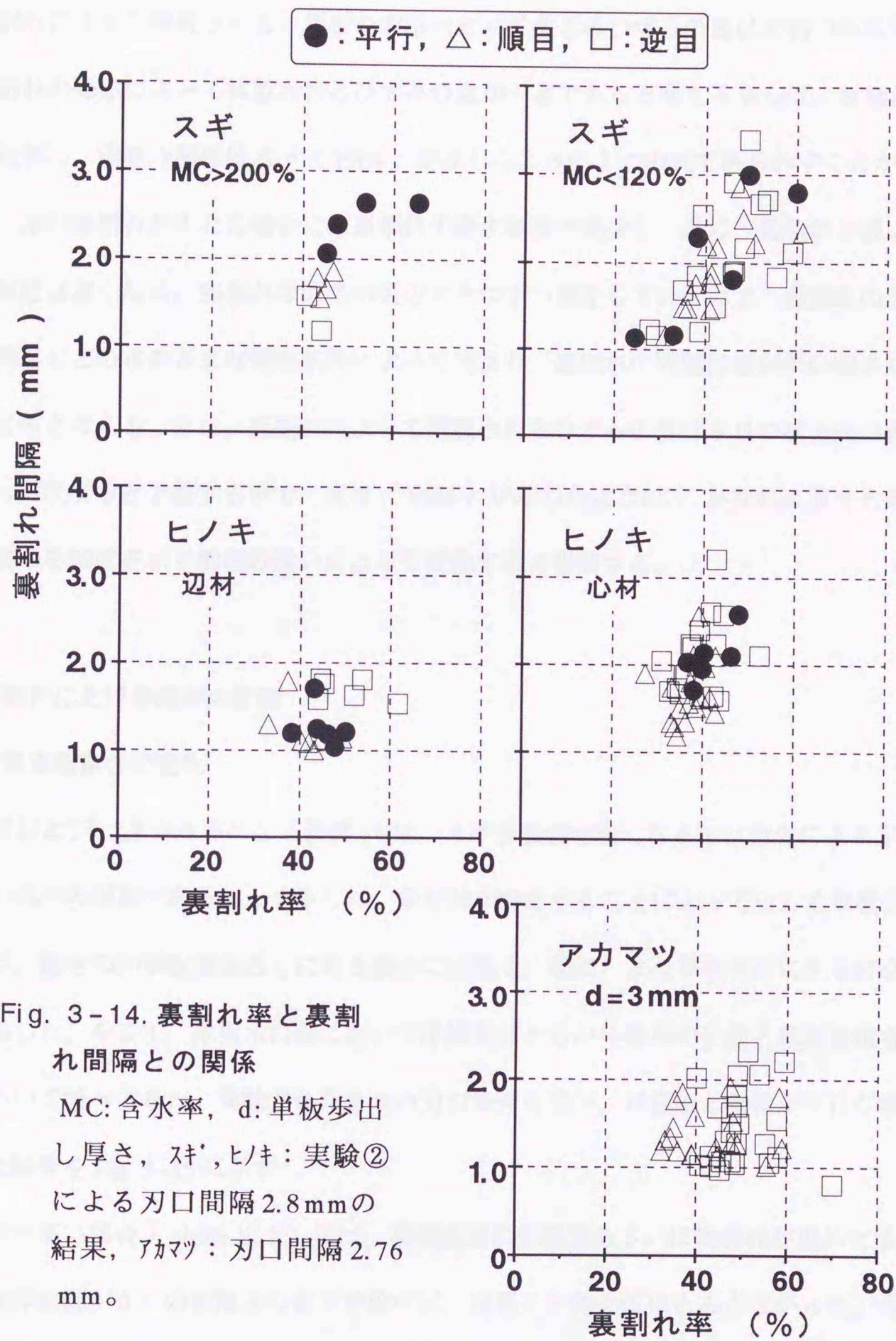


Fig. 3-14. 裏割れ率と裏割れ間隔との関係

MC: 含水率, d: 単板歩出し厚さ, スギ, ヒノキ: 実験②による刃口間隔 2.8mm の結果, アカマツ: 刃口間隔 2.76 mm。

原木から切削された単板は刃物によって曲げられて変形し、生じたひずみの一部あるいはほとんどが裏割れによって解放される。単板の変形によって生じるひずみの量は刃物の角度によって決まり、裏割れの発生によって解放されるひずみの量が一定であると考えれば、裏割れの深さと間隔とは比例し、両者の関係は木下（1984）が示したように1つの式であらわすことができる。すなわち、深い裏割れが生じた場合には裏割れの発生頻度が減少し、逆に、裏割れが浅い場合にはその発生頻度は高くなる。裏割れは刃先の周辺で1つずつ発生していくので、裏割れの深さは切削角や刃口間隔などのさまざまな切削条件によって決まり、裏割れの間隔は裏割れの深さによって2次的に決まると考える。また、裏割れによって解放されるひずみの量は木材の横方向の弾性係数と強さによって決まると予想するので、木下（1984）が示したように、裏割れの深さとその間隔の関係式は異なる強度を示す樹種の違いによって変化すると推察する。

3.6 単板内における晩材の影響

3.6.1 単板面粗さの変化

第2章および「3.3 含水率による影響」では、スギ単板面が粗くなるのは刃先による早材部のつぶれとその部分の剥落であることを示した。早材部が剥落することによって生じる単板表面のえぐれの深さは、晩材部が単板表面近くにある場合には浅く、逆に、より単板内部にある場合には深くなると予想した。そこで、単板木口面において単板表面からの年輪界の位置と単板面粗さとの関係を、スギについて調べてみた。実験②から2つの刃口条件を選び、単板面と年輪が平行な場合について測定した結果を Fig. 3-15 に示す。

含水率が高い場合（100%以上）には、単板表面に年輪界あるいは晩材部が現れた場合（表面からの年輪界位置が0）の面粗さの低下を除けば、面粗さの変化はほとんどなかった。含水率が低い場合（100%以下）では、単板表面から年輪界が離れるにしたがって面粗さがやや増加する傾向があった。表面からの年輪界位置が0～0.5 mmの範囲では測定値がないが、これは単板表面の早材部がほとんど剥離して単板表面に年輪界あるいは晩材部が現れた結果（その分だけ単板厚さは薄くなるが）、見かけの面粗さが小さくなることから試験片の選別の際に除去したためである。

この結果は、年輪幅が狭くなるほど単板面が滑らかになることを示唆している。ここでは年輪が単板面と平行な場合についてだけ測定したが、年輪が単板面とある角度を持った場合を想定したときにも、年輪幅による同様の効果が期待できる。しかし、ここで述べている年輪幅の効果は刃先による早材部のつぶれが生じる場合に有効である。これまでの単板面粗さに対する含水率および年輪傾斜角の影響についての検討結果から、この効果が期待できるのは含水率が低い部分の年輪が平行な場合と、切削条件や原木比重が原因で早材部のつぶれが生じやすい順目切削の条件に限られると推測する。なお、この検討結果は「3.4 年輪幅による影響」において年輪幅の違いによる面粗さの変化がなかった結果と矛盾するが、年輪幅以外の原木材質の違いが原因となったか、あるいは、より年輪幅の狭い原木（4 mm 以下）と比較した場合に年輪幅の影響があらわれると考える。なお、ヒノキおよびアカマツでは早材部のつぶれはほとんど生じないので、単板面粗さに及ぼす晩材部の位置あるいは年輪幅の影響はないと考える。

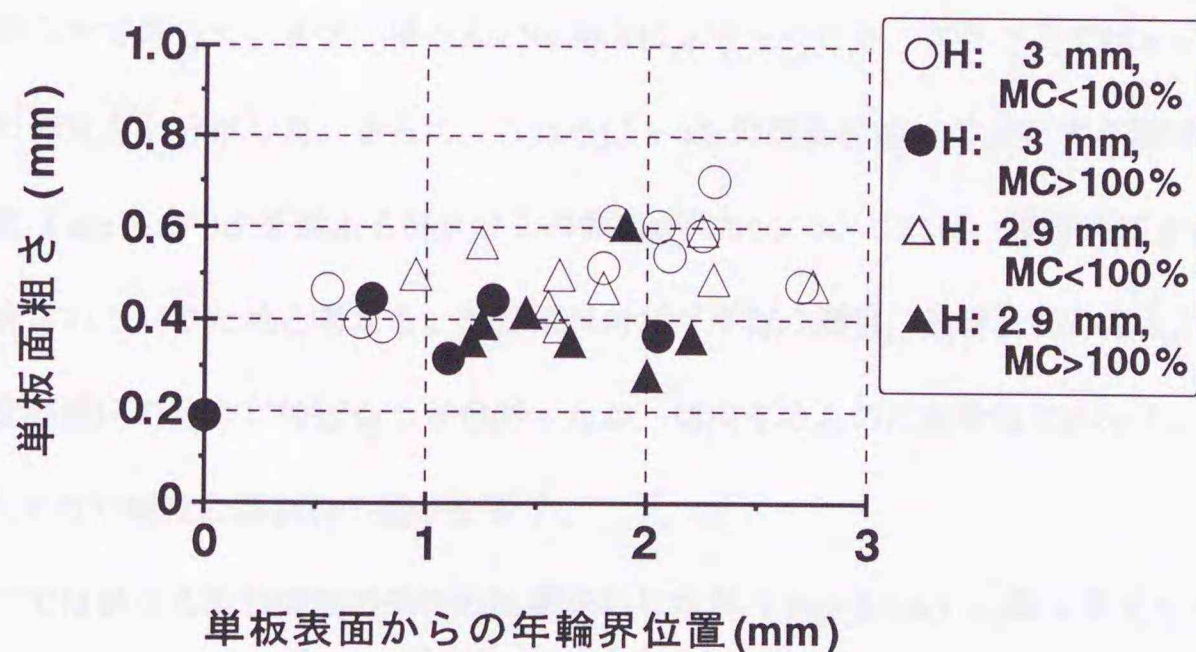


Fig. 3-15. 単板面粗さに及ぼす年輪界位置の影響（スギ）

H: 刃口間隔, MC: 含水率。

3.6.2 裏割れ深さの変化

ここでは、単板内における晩材の位置による裏割れの深さの変化を明らかにする目的で、単板の木口断面内で単板裏面からの裏割れの先端および年輪界までの距離を比較し、それらの位置関係を調べた。Fig. 3-16 に結果の 1 例を示す（図中の a, b, c については Fig. 3-1 参照）。単板裏面と裏割れ先端および年輪界との距離は、それぞれ単板厚さ（c）との比であらわした。裏割れ先端が年輪界を越えた場合には $a < b$ ，年輪界上にある場合には $a = b$ ，年輪界を越えない場合には $a > b$ となり、グラフ上ではそれぞれ $a = b$ の破線より上、破線上、破線より下に測定点が分布することになる。スギおよびヒノキは実験①の刃口間隔が 2.9 mm の条件における結果で、アカマツの上側のグラフは実験③の刃口間隔が 3.07 mm，下側のグラフは同じ実験の刃口間隔が 2.76 mm の結果である。

まず、3 樹種に共通して、裏割れ深さの比がおよそ 0.2 以下の浅い割れが存在した。しかし、それ以上の深い割れについては、樹種によって異なる傾向を示した。ヒノキでは年輪界位置に関係なく裏割れ深さはほぼ 0.5 ～ 0.8 の範囲にあった。一方、スギおよびアカマツの場合には年輪界位置の影響が明らかであった。まず、ほとんどの場合に $a < b$ となり、グラフ上では $a = b$ の破線の上側に多数の測定点が分布した。さらに、これらは $a = b$ の破線に沿って分布する傾向があり、特に年輪界位置（ a/c ）が 0.5 を越える部分でこの傾向が強かった。これは、晩材部によって裏割れの進行が抑制されているためと考える。年輪傾斜角別（平行、順目、逆目）にみると、 $a = b$ の破線に沿った配列傾向の強さにはばらつきがあったが、傾向そのものに変化はなかった。Photo 3-2 ～ 3-4 にそれぞれの樹種の裏割れの様子を示す。

アカマツでは異なる刃口間隔の条件の結果を示したが（Fig. 3-16），第 2 章でも示したように、刃口間隔を狭くした条件で明らかに裏割れが浅くなっており、刃口水平方向開きが 90% の場合には、100% の場合に比べて、 $a = b$ の破線の上側にある測定点がこの破線のより近くに分布していた。これは順目および逆目の場合に共通した傾向であったので、裏割れ深さに対する刃口間隔の影響の強さは、年輪傾斜角によらずほぼ一様であると考ええる。

この晩材による裏割れの抑制効果に対しては、その発現機構を次のように推論する。単板を刃物

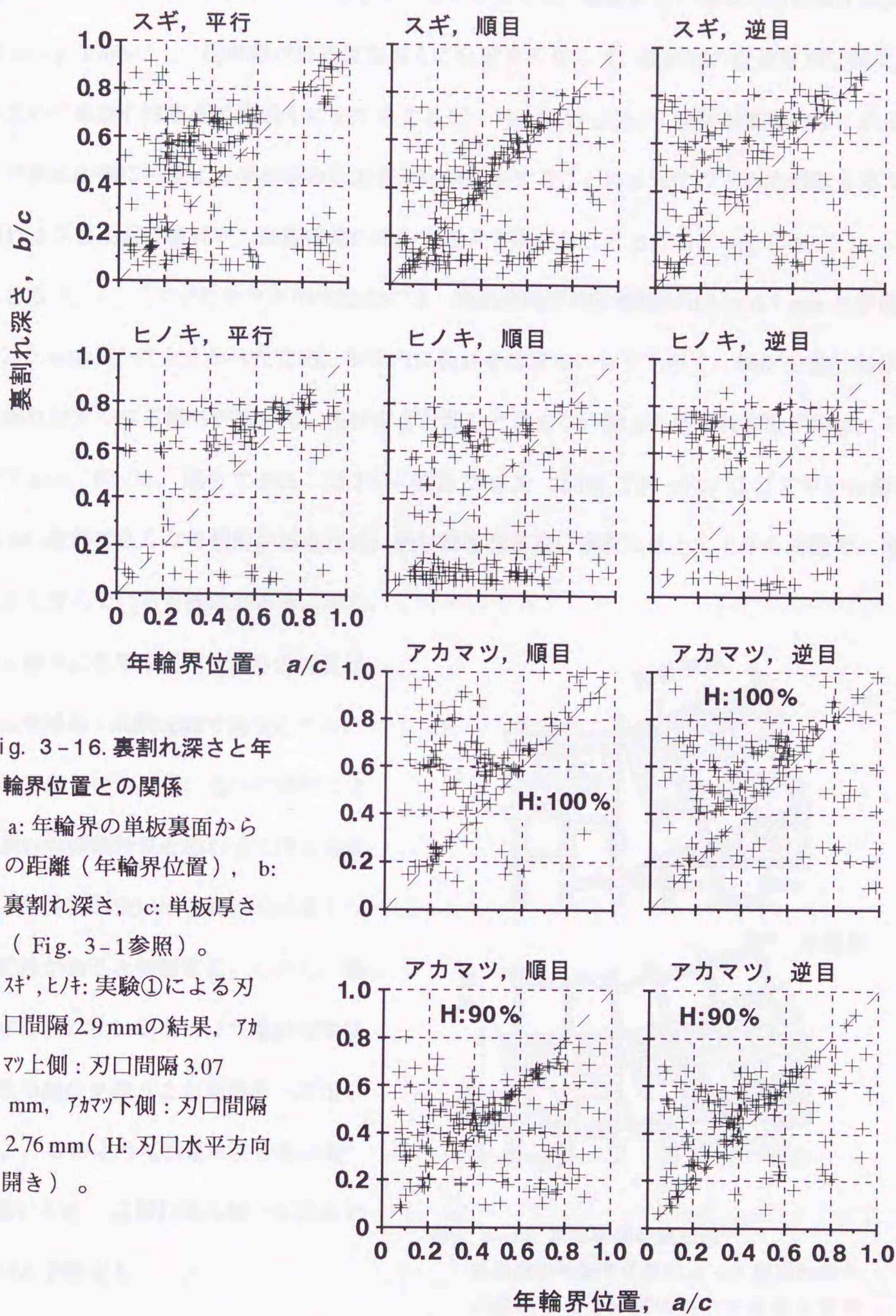


Fig. 3-16. 裏割れ深さと年輪界位置との関係

a: 年輪界の単板裏面からの距離 (年輪界位置), b: 裏割れ深さ, c: 単板厚さ (Fig. 3-1参照)。

対', ヒノキ: 実験①による刃口間隔 2.9mmの結果, アカマツ上側: 刃口間隔 3.07 mm, アカマツ下側: 刃口間隔 2.76 mm (H: 刃口水平方向開き)。

というくさびによって曲げられた片持ち梁と考えるならば、単板表面には切削方向に圧縮力が生じる（Leney: 1960a）。晩材部が単板表面近くに位置するならば、晩材部の仮道管が圧縮変形しにくいために裏割れは単板表面近くにまで達するが（Fig. 3-17 上）、晩材が単板内部にある場合には、単板表面側に位置する早材部の仮道管が圧縮変形することによってひずみを吸収するために、裏割れは単板表面に達せず、単板内部の年輪界近くで止まることとなる（Fig. 3-17 下）。

ところで、ここに示したスギの実験①では、供試木の平均年輪幅が4.0～6.7 mmと単板厚さ3 mm よりもはるかに大きかったため、単板内に晩材を含まない部分も多く、晩材を含む部分に比べて裏割れは深くなる傾向があった。晩材を含む部分と含まない部分の裏割れ率の平均は、それぞれ平行で47.4, 62.1%, 順目で35.8, 53.2%, 逆目で48.3, 56.9%であった。ここで用いた原木の年輪幅は心材部で広くなる傾向があるため、晩材部を含まない単板はほとんどが心材部で、未成熟材部を多く含んでいる可能性がある。また、

裏割れ深さに影響する早・晩材の材質は一般に未成熟・成熟材部で異なるために断定はできないが、先に述べた晩材による裏割れの抑制効果とあわせて考えるならば、年輪幅が狭いほど裏割れは浅くなる可能性があると判断する。しかし、極端に年輪幅が狭い場合には、晩材幅や晩材比重の減少を伴うこともあり（原田：1985）、このような材はヒノキ材の特徴に近いため、裏割れ率の減少は期待できないと予想する。

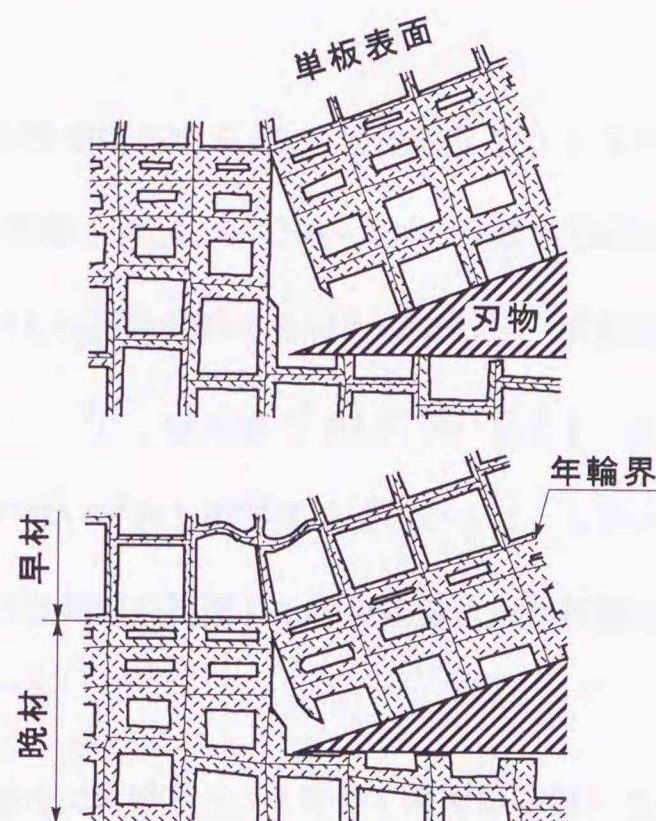


Fig. 3-17. 単板切削の模式図

単板内の年輪界位置によって裏割れ深さが変化する（詳細については本文を参照）。

3.7 繊維接触角による影響

「3.2.2 測定方法」でも述べたように、アカマツ単板には次のような特徴がある。①節が集中し

て現れる傾向があるため、単板の比較的広い範囲にわたって繊維の局所的な乱れが少ない、②他の樹種より偏心や曲がりが大きいため、適度な繊維の傾斜範囲を持つ。そこで、繊維接触角による単板品質への影響を調べるための測定対象としてアカマツ単板を選んだ。切削条件は単板歩出し厚さが3 mm、刃口間隔は3.07, 2.91, 2.76 mmの3条件であった。測定項目は、すでにFig. 3-2で示したように、刃先および単板面に対する次のような4種類の年輪傾斜角と繊維接触角とし、測定結果と単板面粗さおよび裏割れ深さ（裏割れ率）との関係を統計的に検討した。

A1：単板表面における刃先と年輪（年輪界）とのなす角

A2：単板表面における刃先と繊維とのなす角

A3：単板木口面における単板裏面と年輪とのなす角

A4：単板側面における単板裏面と年輪あるいは繊維とのなす角（年輪と繊維の方向は常に平行）

Table 3-2～3-4に、各測定項目の間の単相関係数を年輪傾斜別（ALL＝順目＋逆目、順目、逆目）に示す。

単板面粗さと比較的高い相関を示したのは逆目条件におけるA3（刃口間隔2.91と2.76 mm）と同じく逆目条件におけるA1およびA4（刃口間隔3.07 mm）であった。このうちのA3は、すでに「3.5年輪傾斜角による影響」において検討した年輪傾斜角そのものであり、単板面粗さに大きく影響することはFig. 3-11から明らかである。一方、A1およびA4については1つの刃口条件で相関係数が高くなっただけで、他の刃口条件ではいずれも相関関係はなかった。したがって、相関係数が高くなったのは偶然の結果であり、今回の測定の範囲では繊維接触角が単板面粗さに影響を及ぼすことはないと判断する。

裏割れ率と比較的高い相関を示したのは順目条件におけるA3（すべての刃口間隔）と同じく順目条件におけるA2（刃口間隔3.07 mm）であった。このうちのA3（年輪傾斜角）が順目条件において裏割れ率と負の相関関係があることはFig. 3-12から明らかである。A2については、単板面粗さの場合と同様に、相関係数が高くなったのは偶然の結果であり、今回の測定の範囲では繊維接触角が裏割れ深さに影響を及ぼすことはないと判断する。

Table 3-2. 年輪傾斜角および繊維接触角と単板面粗さおよび裏割れ率との単相関係数
(刃口間隔3.07 mm)

相関(ALL)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.41	—			
年輪傾斜角A3	0.00	-0.13	—		
年輪傾斜角A4	0.42	-0.47	0.33	—	
単板面粗さ	0.44	-0.06	-0.11	0.28	—
裏割れ率	-0.02	0.28	-0.23	-0.29	-0.19

相関(順目)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.40	—			
年輪傾斜角A3	0.24	-0.42	—		
年輪傾斜角A4	0.35	-0.34	0.43	—	
単板面粗さ	0.15	-0.33	0.13	0.34	—
裏割れ率	-0.34	0.54	-0.56	-0.35	-0.44

相関(逆目)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.46	—			
年輪傾斜角A3	0.09	0.27	—		
年輪傾斜角A4	0.51	-0.48	-0.01	—	
単板面粗さ	0.56	0.15	0.11	0.52	—
裏割れ率	0.23	-0.03	0.26	-0.04	0.13

A1～A4については Fig. 3-2および本文を参照 (Table 3-3, 3-4 も同様)。

Table 3-3. 年輪傾斜角および繊維接触角と単板面粗さおよび裏割れ率との単相関係数
(刃口間隔 2.91mm)

相関(ALL)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.37	—			
年輪傾斜角A3	-0.18	0.17	—		
年輪傾斜角A4	0.33	-0.12	0.07	—	
単板面粗さ	0.06	-0.28	-0.52	-0.03	—
裏割れ率	0.23	-0.10	-0.42	0.26	0.00

相関(順目)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	0.39	—			
年輪傾斜角A3	-0.21	-0.60	—		
年輪傾斜角A4	0.69	0.31	-0.35	—	
単板面粗さ	0.04	-0.21	-0.05	-0.11	—
裏割れ率	0.19	0.26	-0.63	0.53	-0.40

相関(逆目)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.54	—			
年輪傾斜角A3	0.06	0.27	—		
年輪傾斜角A4	0.20	-0.35	0.32	—	
単板面粗さ	-0.03	-0.26	-0.58	0.06	—
裏割れ率	0.14	-0.16	0.33	0.18	-0.09

Table 3-4. 年輪傾斜角および繊維接触角と単板面粗さおよび裏割れ率との単相関係数
(刃口間隔2.76 mm)

相関(ALL)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.29	—			
年輪傾斜角A3	0.14	-0.03	—		
年輪傾斜角A4	0.39	-0.05	0.18	—	
単板面粗さ	-0.23	-0.21	-0.70	-0.24	—
裏割れ率	0.04	-0.09	-0.51	0.10	0.25

相関(順目)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.41	—			
年輪傾斜角A3	-0.46	0.24	—		
年輪傾斜角A4	0.53	-0.17	-0.20	—	
単板面粗さ	0.20	-0.31	-0.04	0.24	—
裏割れ率	0.46	-0.14	-0.78	0.18	0.15

相関(逆目)	年輪傾斜角A1	繊維接触角A2	年輪傾斜角A3	年輪傾斜角A4	単板面粗さ
年輪傾斜角A1	—				
繊維接触角A2	-0.18	—			
年輪傾斜角A3	-0.27	0.28	—		
年輪傾斜角A4	-0.05	0.10	0.41	—	
単板面粗さ	-0.11	-0.42	-0.71	-0.36	—
裏割れ率	-0.13	-0.22	0.21	0.27	-0.03

今回の実験ではそれぞれの角度の範囲は次のようであった。A1 : $0 \sim 20^\circ$, A2 : $-5 \sim +6^\circ$, A3 : $-21 \sim +27^\circ$, A4 : $0 \sim 5^\circ$ (A1 および A4 は常に正の値とし, A2 は A1 を基準として反対回りの場合を負とした。 A3 は Fig. 3-1 に示したように順目の場合を正, 逆目の場合を負とした)。 A1 および A2 が大きくなった場合には切削条件が縦切削 (切削方向が繊維と平行) に, また, A4 が大きくなった場合には木口切削に近づいていく。このように刃物に対して被削材である木材が傾斜していった場合, たとえば杉山 (1985) が示しているように, 刃物が木材に対して及ぼす切削力も変化し, 切削にともなう割れの発生などの現象も変化していく。今回の実験で単板品質に対する繊維接触角の影響が観察できなかったことは, これらの繊維接触角の範囲内では, 切削現象に明らかな変化が生じないことを示していると考ええる。しかし, アカマツ以外の樹種, たとえばアカマツに比べて晩材の比重が低くその幅も狭いヒノキにおける繊維接触角の影響や, 節の周辺などのように繊維接触角が非常に大きくなる部分での単板品質の変化など, さらに検討を要する課題が残っている。

3.8 仮道管径と細胞壁厚による影響

この節では、早材仮道管の放射方向および接線方向の直径と細胞壁厚を測定し、単板面粗さとの相関関係を検討した結果について述べる。早材仮道管の径（2方向）、細胞壁厚（2方向）および単板裏面に対する年輪傾斜角の5つの因子を説明変数として、単板面粗さに及ぼす影響を調べるために回帰分析を行った（柳井：1977）。各因子の説明変数としての有意性はF検定により調べた。なお、これまで明らかにしたように、単板面粗さに対して含水率と年輪傾斜角の影響が大きく、これらの影響を考慮して検討を行う必要がある。乾燥原木（「3.2.1」の実験⑤の説明を参照）について予備的に任意の55枚の試験片について含水率を測定したところ、平均が27.1%、標準偏差が2.94、範囲が17.4～34.4%であり、この結果から、乾燥原木では含水率の単板面粗さに対する影響はほぼ無視できるものと判断した。また、生の状態の原木については含水率100%を境界として2つのグループに分けて比較・検討した。年輪傾斜角の影響に対しては、順目、逆目および単板裏面と年輪とが平行な場合の3つのグループに分けて分析を行った。

3.8.1 早材仮道管径および細胞壁厚の半径方向における変化

早材仮道管の内腔（ルーメン）径および細胞壁厚の単板番号（原木1回転ごとに樹皮側から単板につけた番号）による変化をFig. 3-18に示す。スギ生原木およびヒノキでは全試験片について図示し、スギ乾燥原木では年輪が平行な試験片の値のみを図示した。辺材と心材の境界は、単板番号でスギでは9～13の間に、ヒノキでは6と7の間にあった。供試原木の長径と短径の差は小さく、樹心もほとんど偏心していなかったため、原木の木口断面における年輪の形は同心円に近かった。したがって、単板番号は樹幹半径方向のおよその位置を示しているものと考えてよい。仮道管径は外側から樹心に向かって減少する傾向があり、スギに比較してヒノキにおける半径方向の変化は小さかった。一方、壁厚の半径方向における変化は両樹種ともに小さかった。仮道管外径の変化については図示しなかったが、仮道管の外径とルーメン径との差を壁厚としているため、壁厚の変化が小さいことは仮道管の外径がルーメン径とほぼ平行して変化していることを示している。

ところで、仮道管径の寸法測定の基準によって、仮道管径は外径あるいはルーメン径で表すこと

ができる。単板面粗さと仮道管径の関係を調べることは、刃先による早材部の圧縮現象に及ぼす仮道管の横断面の形状の影響をみることを意図しており、早材部の仮道管径として外径あるいはルーメン径のいずれかを面粗さに影響する因子として取り上げればよいと判断した。そこで、スギにお

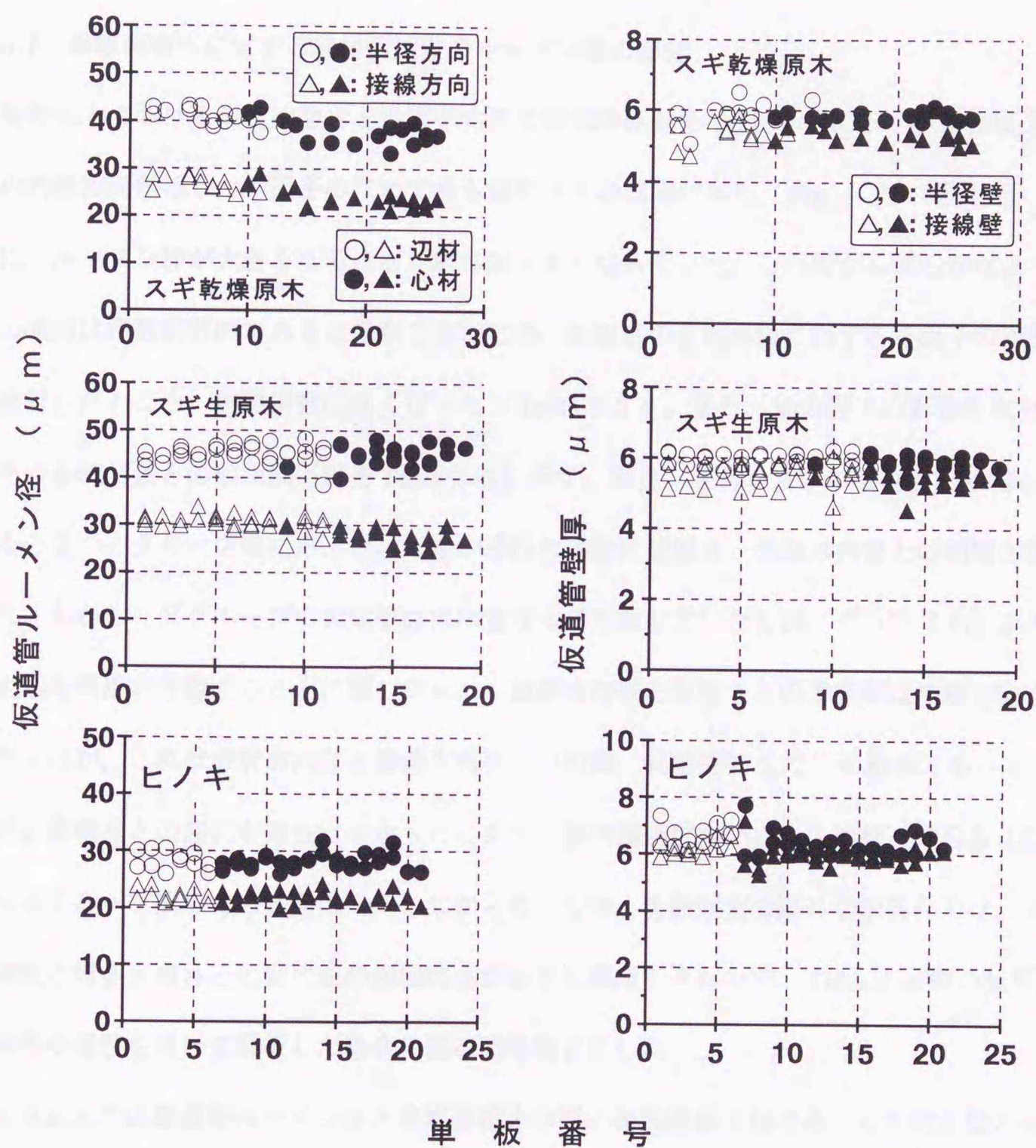


Fig. 3-18. 早材仮道管のルーメン径および壁厚の単板番号による変化
刃口間隔 3.0 mm。

いて両者と面粗さとの相関係数を比較してみたところ、ルーメン径と面粗さとの間の相関係数は外径とのそれに比べて高くなるが多かった。ここでは、解析作業を簡略化する意味からも、以下の検討には早材仮道管のルーメン径を用いることとした。

3.8.2 単板面粗さに対する早材仮道管のルーメン径の影響

乾燥原木における単板面粗さと各因子の間の単相関係数を Table 3-5 に示す。早材仮道管ルーメンの接線方向径は5つの因子のなかで最も面粗さとの相関が高く、Fig. 3-19（最上部）に示すように、ルーメン径が大きくなるほど面粗さは大きくなっていた。この図から明らかなように、面粗さの増加は指数関数的であると推察できたため、面粗さの自然対数に対する各因子の相関についても検討したところ、相関係数は高くなった（Table 3-5）。また、他の因子の影響を取り除いた面粗さの自然対数との偏相関係数を Table 3-6 に示す。順目、逆目および単板裏面と年輪とが平行な場合の3つのグループ別にみると、年輪が平行な場合に面粗さと接線方向径との相関が弱くなっていた。しかし、3グループの測定値はほぼ重なって分布していたため、グラフ（Fig. 3-19）上でこれらを明確に分離することは難しかった。放射方向径と面粗さとの単相関は接線方向径に次いで高かったが、これは放射方向径と接線方向径との相関（相関係数 0.72）の影響であって、放射方向径と面粗さとの間に有意性はなかった。また、偏相関係数も小さく、順目、逆目および平行な場合の各グループ間でその正負は一定しなかった。なお、乾燥原木の順目切削条件では、年輪傾斜角の逆数と単板面粗さとの間に正の相関関係があると判断できたので、Table 3-6 中の括弧内に年輪傾斜角の逆数を用いて解析した場合の偏相関係数を示した。

生材原木では仮道管ルーメン径と単板面粗さの間に相関関係を認めることができなかった。これは、Fig. 3-19（中央）に示したように、面粗さが低くなると予想できる仮道管径の小さなサンプルが含まれていなかったためと判断する。また、含水率が100%以上のサンプルでは、平行および順目条件において仮道管径が比較的大きいにも関わらず面粗さが小さくなっていた。

ヒノキではスギに比較して単板面粗さも仮道管径も小さく、また、ルーメン径のばらつきも小さい（Fig. 3-19 下）。単板面粗さとルーメン径の間に相関関係はなかった。

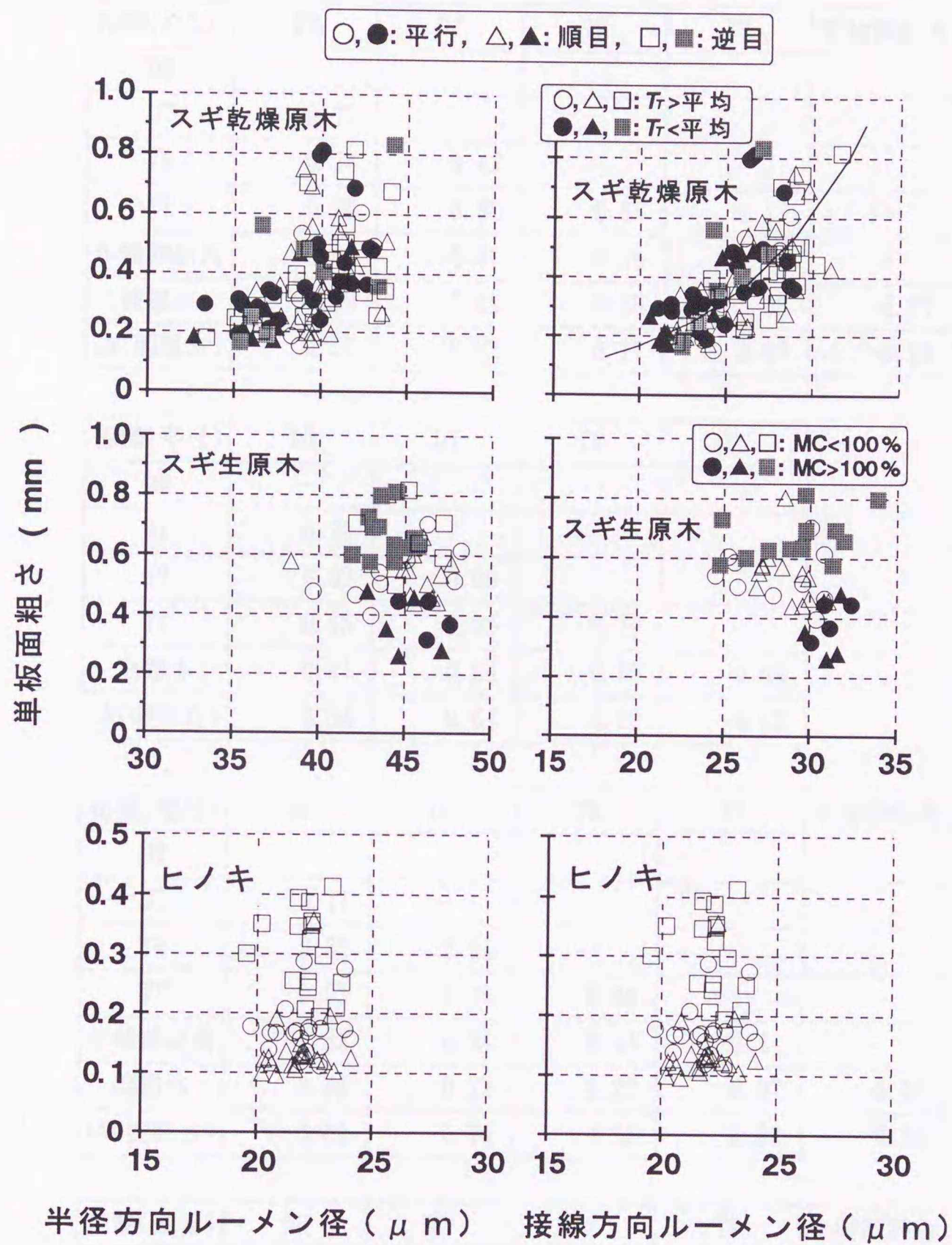


Fig. 3-19. 早材仮道管のルーメン径と単板面粗さとの関係

刃口間隔 3.0 mm, MC: 含水率, T_r : 接線壁厚 (平均 = $5.7 \mu m$)。

Table 3-5. 単板面粗さとこれに影響を及ぼす因子（年輪傾斜角，仮道管ルーメン径，壁厚）との相関係数および各因子相互の相関係数

相関(ALL)	DR	DT	TR	TT	年輪傾斜角
DR	—				
DT	0.72	—			
TR	0.24	0.42	—		
TT	0.26	0.38	0.85	—	
年輪傾斜角	-0.21	-0.30	-0.15	-0.12	—
面粗さ	0.52	0.68	0.15	0.05	-0.22
LN(面粗さ)	0.57	0.72	0.17	0.07	-0.24

相関(平行)	DR	DT	TR	TT
DR	—			
DT	0.79	—		
TR	0.02	-0.06	—	
TT	0.15	0.03	0.79	—
面粗さ	0.51	0.59	-0.13	-0.08
LN(面粗さ)	0.54	0.61	-0.12	-0.12

相関(順目)	DR	DT	TR	TT	年輪傾斜角
DR	—				
DT	0.71	—			
TR	0.35	0.50	—		
TT	0.35	0.43	0.88	—	
年輪傾斜角	-0.33	-0.39	-0.44	-0.41	—
面粗さ	0.44	0.72	0.23	0.07	-0.28
LN(面粗さ)	0.49	0.74	0.23	0.09	-0.32

相関(逆目)	DR	DT	TR	TT	年輪傾斜角
DR	—				
DT	0.68	—			
TR	0.26	0.63	—		
TT	0.30	0.59	0.88	—	
年輪傾斜角	-0.15	0.00	0.10	0.09	—
面粗さ	0.56	0.70	0.31	0.17	-0.11
LN(面粗さ)	0.63	0.76	0.34	0.24	-0.06

DR: 放射方向仮道管ルーメン径, DT: 接線方向仮道管ルーメン径,
TR: 放射壁厚, TT: 接線壁厚, LN (面粗さ): 単板面粗さの自然対数。

Table 3-6. 単板面粗さの自然対数とこれに影響を及ぼす因子（年輪傾斜角，
仮道管ルーメン径，壁厚）との偏相関係数

	DR	DT	TR	TT	年輪傾斜角
平行	0.17	0.33	0.08	-0.19	—
順目	-0.05 (-0.06)	0.67 (0.68)	0.16 (0.10)	-0.35 (-0.31)	-0.17 (0.22)
逆目	0.23	0.59	0.16	-0.34	0.05
All data	0.12	0.56	0.11	-0.28	-0.05

DR: 放射方向仮道管ルーメン径，DT: 接線方向仮道管ルーメン径，
TR: 放射壁厚，TT: 接線壁厚。括弧内は年輪傾斜角の逆数との偏相関係数。

3.8.3 単板面粗さに対する早材仮道管の壁厚の影響

乾燥原木における面粗さと早材仮道管の壁厚との単相関係数の値は，接線方向および放射方向とも小さく正負も一定しないが（Table 3-5），偏相関係数でみた場合には（Table 3-6），接線壁の厚さが接線方向径に次いで高い値を示しており，面粗さと接線壁の厚さとの間に負の相関関係を読み取ることができる。接線壁の厚さの説明変数としての有意性を検定したところ，年輪が平行な場合には有意性はなかったが，順目切削では有意水準が 5%，逆目切削では有意水準 2.5% で有意であり，3 グループを合わせた全データでは有意水準 1% で有意であった。一方，放射壁の厚さについては面粗さとの相関関係は弱く，説明変数としての有意性はなかった。乾燥原木における接線壁の厚さと単板面粗さとの関係を Fig. 3-20（最上部）に示す。なお，年輪傾斜角の違いについては，前節の仮道管径との場合と同様にグループ間の差が小さく分布が重なるため図示しなかった。このグラフから面粗さと接線壁の厚さとの相関関係を読みとることは相関係数が小さいため難しいが，接線壁厚の平均値， $5.7 \mu\text{m}$ を境界値として 2 つにグループ分けした結果を仮道管径と面粗さとのグラフ（Fig. 3-19）でみた場合，壁厚が平均値以下の場合に面粗さが大きくなる傾向が明らかであった。

生材原木ではルーメン径の場合と同様に単板面粗さとの間に相関関係はなかった。これは，Fig. 3-20（中央）に示したように，面粗さが低くなると予想できる細胞壁の厚いサンプルが含まれていなかったためと判断する。

ヒノキではスギに比較して細胞壁はやや厚く (Fig. 3-20 下), 単板面粗さと細胞壁厚の間に相関関係はなかった。

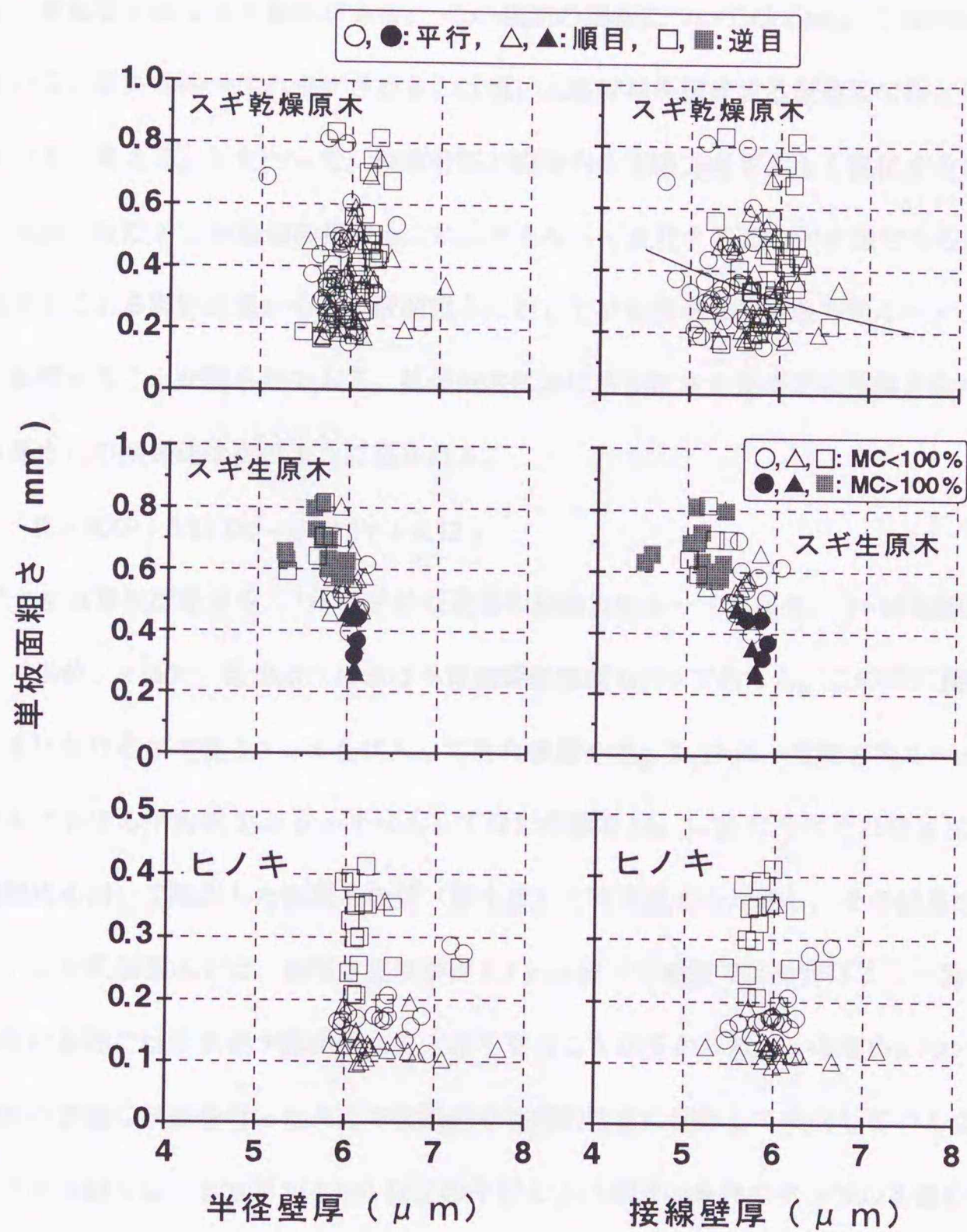


Fig. 3-20. 早材仮道管の壁厚と単板面粗さとの関係
刃口間隔 3.0 mm, MC: 含水率。

3.8.4 単板面粗さと仮道管径および細胞壁厚との相関関係に対する考察

すでに何度か述べてきたように、スギ材の単板切削を行う場合、早材部の比重が著しく低いために切断されずに刃先によってつぶれやすく、これにともなう割れの発生により早材部が年輪界より剥離し、単板面が粗くなる傾向がある。この現象の過程については Leney (1960b) が詳しく記述している。早材部のつぶれやすさあるいは低い比重は材を構成する仮道管の径と壁厚におもに依存していると考えられる。したがって、仮道管径が樹幹内の半径方向で大きく変化するスギでは(藤原: 1984, 太田: 1972), 単板面の粗さもこれにともなって変化することが予想できる。

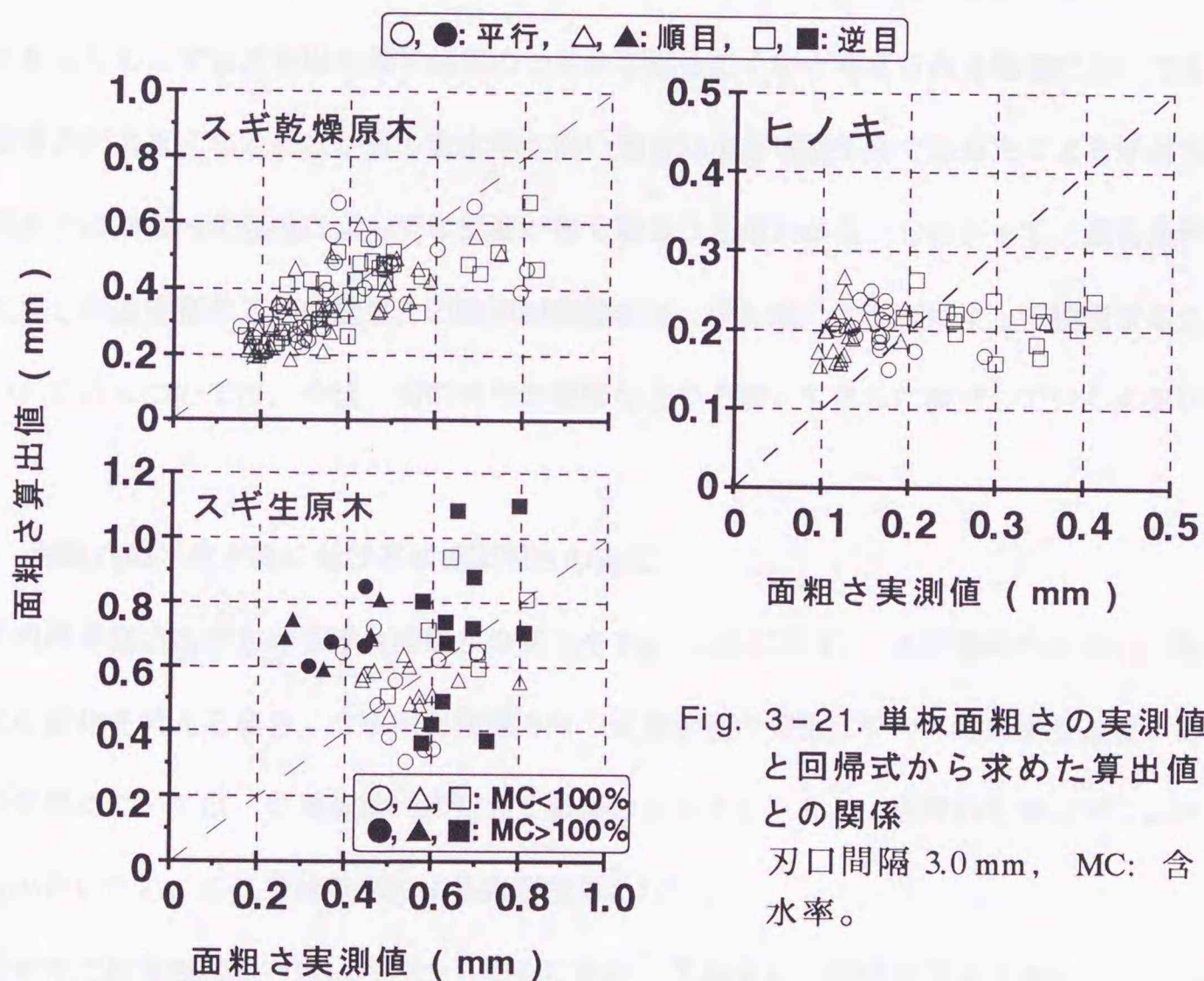
乾燥原木による実験結果から、単板面粗さに対して早材仮道管の接線方向ルーメン径と接線壁の厚さが影響することが明らかである。乾燥原木における面粗さと仮道管の接線方向ルーメン径と接線壁の厚さとの回帰式は次のように表される。

$$R = \text{EXP} (0.13 D_T - 0.28 T_T + 4.12)$$

ここで、 R は単板面粗さを、 D_T は早材仮道管の接線方向ルーメン径を、 T_T は接線壁の細胞壁厚を表す(単位: μm)。乾燥原木における重相関係数は 0.750 であった。この式に接線壁厚として乾燥原木における平均値 $5.7 \mu\text{m}$ を代入して得た曲線を Fig. 3-19 に、接線方向ルーメン径として乾燥原木における平均値 $25.3 \mu\text{m}$ を代入して得た曲線を Fig. 3-20 にそれぞれ書き加えた。また、この回帰式を用いて算出した面粗さの値(算出値)と実測値とを比較し、その結果を Fig. 3-21 に示した。スギ乾燥原木では、面粗さ実測値が 0.5 mm 以下の範囲では両者はよく一致したが、それ以上の粗い範囲では実測値が算出値より大きくなるが多かった。この理由については、今後、切削過程の詳細な観察を行ったうえで被削材の物理的性質に関連して検討していく必要があると考える。スギ生材では、含水率が 100% 以上の平行および順目の条件のサンプルを除けば、ややばらつきが大きい、算出値と実測値は比較的一致していると判断する。高含水率の状態では早材部のつぶれがルーメン中の自由水によって妨げられるため、実測値は算出値よりも小さくなると考える。ヒノキでは算出値と実測値はあまりよく一致しなかったが、Fig. 3-21 における座標のスケールのスギとの違いを考えた場合、逆目の条件を除けばよく一致していると判断することもできる。したがって、ここで得た回帰式を用いることにより、刃先による早材部のつぶれに起因する単板面粗さ

の増大の程度を仮道管径と壁厚を測定することによって予測することができると思う。

次に、仮道管の接線方向径と接線壁の厚さが単板面粗さに影響する理由について考えてみる。相内ら（1979）は走査電子顕微鏡内でトドマツの横圧縮試験を行い、その破壊過程を詳しく観察した。それによると、接線方向圧縮による仮道管の破壊は主として接線壁の曲げ破壊により生じていた。また、今回の実験では、早材仮道管の接線方向径が小さく接線壁が厚いほど面粗さが小さくなる傾向があることを明らかにした。これらの結果より、刃先による接線方向の力に対する接線壁の曲げあるいは座屈強さがスギ単板面粗さに影響していると思う。



3.8.5 年輪傾斜角との相互作用

本実験では切削方向に対する年輪傾斜角によって順目、逆目および単板裏面と年輪とが平行な場合の3つのグループに分けて面粗さへの影響を検討した。しかし、スギの含水率の低い条件では各グループとも面粗さは 0.2 ~ 0.8 mm のほぼ同じ範囲内にあり、ばらつきや相関係数には差があっ

たが、グラフ上で明確に分離できるほどの分布の差がなかった。これは、含水率が低く刃先による早材部のつぶれが生じやすい条件では、面粗さに対する年輪傾斜角の影響が小さくなるためと考えることができる。この推論は、刃先による早材部のつぶれが生じにくいヒノキおよびアカマツにおいては、面粗さは年輪傾斜角の影響を強く受ける、という測定結果からうかがい知ることができる（「3.5 年輪傾斜角による影響」を参照）。

スギ生材の含水率の高い場合には、逆目切削の条件を除いて面粗さの実測値は算出値よりも小さく（Fig. 3-21），単板面粗さは仮道管径あるいは壁厚の影響を受けなかった。一方、逆目切削の場合には、含水率の値に関係なく実測値と算出値との間に正の相関があるようにみえた。しかし、ヒノキをはじめとするスギ以外の早材部のつぶれが起きにくいと考えられる樹種においても逆目部分で面粗さが大きくなることから、含水率が高い場合の逆目切削条件では刃先による早材部のつぶれの現象とは異なった原因によって単板面が粗くなることがわかる。したがって、逆目条件における面粗さと仮道管径あるいは壁厚との間の相関関係は、早材部のつぶれによって説明することはできない。これについては、今後、切削過程の観察などをおしてさらに検討していく必要がある。

3.8.6 樹幹内の半径方向における単板面粗さの変化

樹幹内の半径方向における単板面粗さの変化を Fig. 3-22 に示す。スギ樹幹内の半径方向の単板面粗さの変化を考える場合、含水率と接線方向の仮道管径の変化について考慮する必要がある。仮道管の壁厚については、仮道管径に比較して影響力が小さく、また、樹幹の半径方向における変化の幅も小さいため、ここでは壁厚による影響は考えない。

乾燥原木では単板面粗さは辺材部から樹心に向かって減少し、辺材部では $0.239 \sim 0.814 \text{ mm}$ と心材部（ $0.152 \sim 0.490 \text{ mm}$ ）に比較して大きかった。これは、仮道管径が樹心に向かって減少していたためである。一方、生材の場合には、辺材部では含水率が高いため、仮道管径が大きいにもかかわらず単板面粗さは心材部に比較して小さくなった（逆目条件の場合を除く）。

「3.3 含水率による影響」で示したように、スギ単板面粗さに対する含水率の影響は強く、含水率の高い部分では単板面粗さが比較的小さくなる。乾燥原木を用いた実験では、面粗さに対する含

水率の影響を除くために含水率がおおよそ 20 ~ 30% にまで供試原木を乾燥させたが、実際の単板切削ではまずありえない条件である。辺材部で含水率が高く、心材部で含水率が低い一般的な生原木を切削した場合の単板面粗さの変化パターンは、「むき始めから辺材部を切削する間は面粗さが低く、心材部に入ってから面粗さが急に高くなり、その後むき終わりに向かって面粗さが減少する」と予想できる。また、生材原木を切削する場合に辺材から心材への移行部である白線帯の部分で面が粗くなる（中村：1984）理由は、この部分の含水率が低く仮道管径も大きいためであると考えられる。今回の実験では、伐採からやや時間が経過した原木を用いたため、水分の拡散により白線帯はあまりはっきりとはしておらず、また、測定用試験片に十分な幅の白線帯部分を含むものがなかった。したがって、白線帯部の単板面粗さの実測値を示すことはできなかった。

ヒノキでは単板面粗さに対する含水率および仮道管径の影響がほとんどなく、逆目条件の場合を除けば単板面粗さは半径方向の変化を示さなかった。逆目の単板面粗さはばらつきが大きいですが、これは、Fig. 3-11 から明らかなように主に年輪傾斜角のばらつきによって生じたものである。

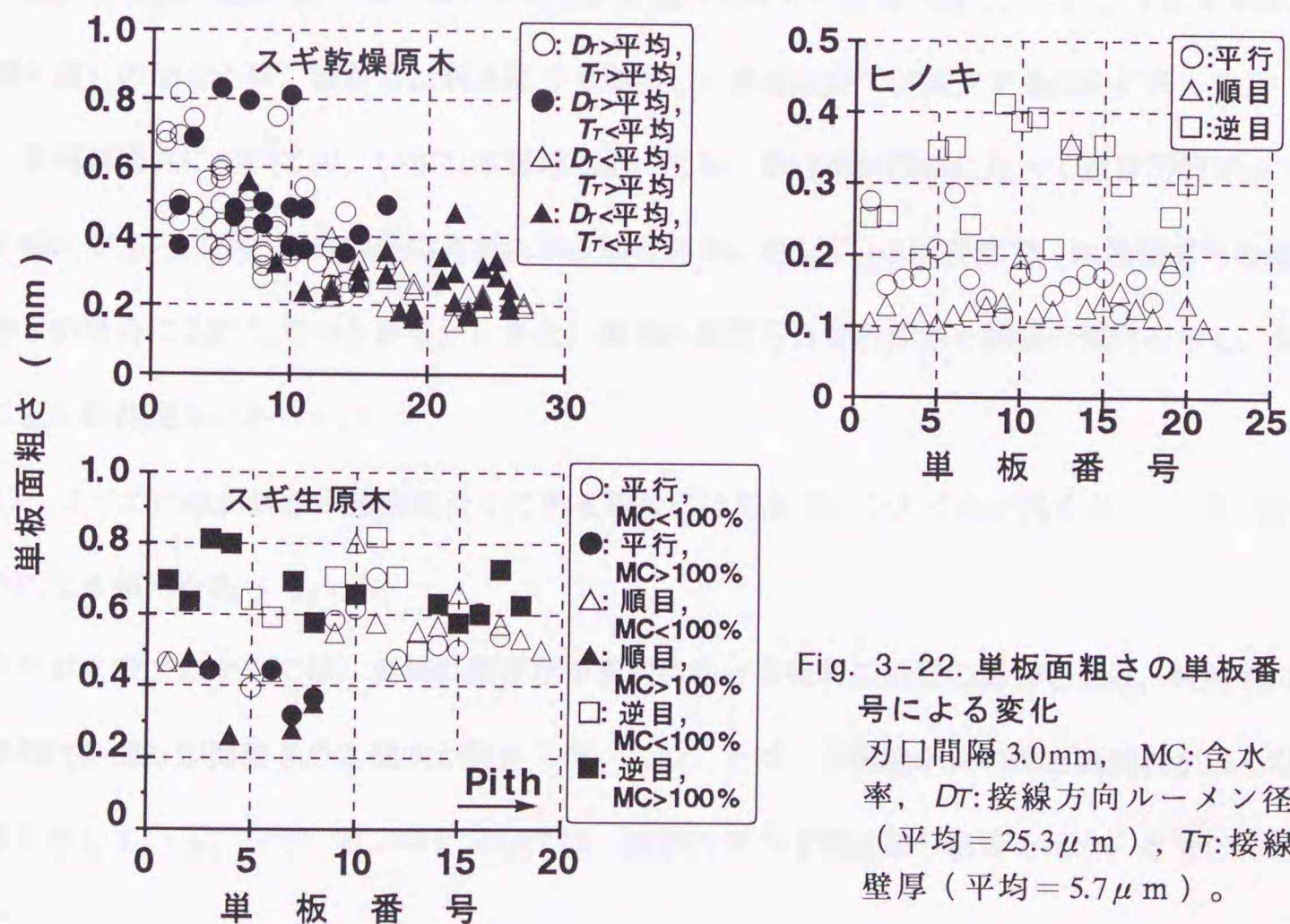


Fig. 3-22. 単板面粗さの単板番号による変化
刃口間隔 3.0mm, MC: 含水率, D_t : 接線方向ルーメン径 (平均 = 25.3 μ m), T_t : 接線壁厚 (平均 = 5.7 μ m)。

3.9 摘要

スギ、ヒノキおよびアカマツ単板の面粗さ、裏割れ深さおよび裏割れ間隔に対する 1) 単板含水率、2) 年輪幅、3) 年輪傾斜角、4) 単板内における晩材位置、5) 繊維接触角、6) 仮道管径および壁厚のそれぞれの影響を調べ、検討した結果を以下にまとめる。

1) スギ単板の面粗さは、年輪傾斜角の小さい条件で含水率の影響を強く受け、含水率が約 100% 以下の単板では刃先による早材部のつぶれの発生のため、面が非常に粗くなっていた。一方、裏割れ深さは含水率の影響をほとんど受けない。

2) 年輪幅は単板面粗さに大きく影響しないが、裏割れ深さに対しては刃口間隔が広い場合に影響を及ぼし、年輪幅が広いほど裏割れは深くなる。

3) いずれの樹種でも、単板面粗さは、逆目切削部分では年輪傾斜角の減少（絶対値の増加）とともに増加し、順目切削部分では低くほぼ一定していた。逆目のなかで最も粗い年輪傾斜角（ -20° ）付近では順目部分の単板面粗さに対して 3～4 倍の面粗さの値を示していた。しかし、年輪傾斜角の絶対値が $30 \sim 40^\circ$ 以上では放射組織の傾斜角の影響が強く、これ以上の年輪傾斜角（絶対値）の場合には、面粗さは順目部分で増加し、逆目部分では減少する傾向があった。

裏割れ深さについては、いずれの樹種においても、順目切削部分に比べて逆目切削部分で深くなる傾向があったが、逆目部分の裏割れ率は順目部分に対して 1.5 倍程度で、年輪傾斜角の影響は面粗さの場合に比較して小さかった。また、裏割れ間隔も裏割れ深さと同様の傾向を示し、両者の間に正の相関関係があった。

4) スギでは晩材部が単板表面近くにある場合には単板表面のえぐれが浅くなり、単板面は滑らかになる傾向があった。

スギおよびアカマツでは、裏割れ深さが単板内における晩材の位置の影響を受け、晩材部によって裏割れの進行が抑制される傾向が強かった。このことは、年輪幅が狭いほど裏割れが浅くなる可能性を示している。一方、ヒノキにおいては、裏割れ深さは晩材部の影響をほとんど受けていなかった。

5) 繊維接触角は、単板切削における通常の角度の範囲内であれば（節の周辺などのように繊

維接触角が大きくなる部位を除けば), 単板面粗さおよび裏割れ深さにほとんど影響を及ぼさない。

6) 含水率が気乾程度のスギ原木を単板切削した場合, 単板面粗さに及ぼす早材仮道管の接線方向ルーメン径と接線壁の厚さとの影響が大きく, 仮道管径が大きく細胞壁が薄いほど面粗さは大きくなった。これは, 仮道管内に自由水がほとんど存在しない場合に, 接線壁の曲げあるいは座屈強さが刃先による接線方向の力に対する早材部のつぶれやすさに影響を及ぼし, このつぶれに起因する早材部の年輪界からの剥離が単板面粗さに影響しているためであると考え。乾燥原木による実験結果から次のような回帰式を得た。

$$R = \text{EXP} (0.13 D_T - 0.28 T_T + 4.12)$$

ここで, R は単板面粗さを, D_T は早材仮道管の接線方向ルーメン径を, T_T は接線壁の細胞壁厚を表す (単位: μm)。乾燥原木における重相関係数は 0.750 と高く, 含水率がおおよそ 100% 以下であれば, この回帰式から単板面粗さを予測することが可能である。

ヒノキ材の場合は, スギ材に比較して仮道管径が小さく壁厚も厚いために早材部のつぶれが生じにくく, 単板面粗さはこれらの影響を受けなかった。

第4章 アカマツ原木の加熱処理による単板品質の向上

4.1 はじめに

針葉樹のような硬い節を持つ材や高比重の材をベニヤレースで切削する場合には、材または節を軟化するための前処理として、煮沸や蒸煮処理がしばしば行われる（例えば江草：1968, Lickess: 1957, 森泉：1990）。加熱処理によって材が柔らかくなり、切削抵抗の減少、単板の裏割れ深さの減少、そして面粗さの軽減が期待でき、また、節の軟化によって刃先の欠けを防ぐ効果もある。しかし、加熱条件によっては、単板面の毛羽立ちや材の変色などが生じることもあり、適切な処理条件を樹種ごとに選択する必要がある。

第2章で明らかにしたように、節によって生ずる刃物の欠けが単板面粗さの増加をもたらし、この現象が、針葉樹材を単板切削の対象とする場合に大きな問題となる。これを避けるためには、原木を加熱処理することにより節を軟化させることが効果的である。これに加えて、アカマツについてはスライス単板で加熱処理による単板品質の向上が報告されており（大平：1963）、ロータリー単板についても単板品質の向上が期待できる。しかし、加熱処理したアカマツ材によるロータリー単板切削について、公表された実験結果はこれまでにない。従って、単板品質を低下させずに、しかも節を軟化させる適正な加熱処理条件を求める必要がある。なお、スギ材では他樹種に比較して早材部の比重が低いことによって単板面粗さが大きくなる傾向があり、加熱処理によって早材部がさらに軟らかくなって切削が困難になることが予想できるため、また、単板品質が悪化するとの報告（天野：1984a）もあるため、スギ材の加熱処理実験は行わなかった。

今回の実験では、加熱処理したアカマツ材の単板切削試験を行い、処理温度および刃口条件によるアカマツ単板の品質の変化を調べ、その単板切削性を明らかにするとともに、適正な処理条件を求めることを目的とした。また、第3章で明らかにした単板品質に及ぼす原木材質の影響を考慮して、より詳細な検討を行った。単板品質を表す指標としては、第3章と同様に単板面粗さ、裏割れ深さ、裏割れ間隔について測定を行った。そのほか、面粗さ測定値には現れない毛羽立ちなどの単板表面の変化、単板表面側の割れ（表割れ）、単板の変色についても定性的な観察を行った。また、単板品質に影響を及ぼす原木側の因子としては、アカマツにおける前章の検討結果から、切削方向

に対する年輪傾斜角および単板内における晩材の影響についてとりあげた。

4.2 実験方法

実験に使用したベニヤレースは、第2章および3章で用いたダブルスピンドル方式の外周駆動装置のない通常型のもので、単板歩出し厚さを3 mm、切削速度を約20 m/minとした。

ナイフは研削盤で20°に研磨した後、手仕上げによってすくい面側に幅約1 mmのマイクロベベルをつけて、刃先角を28°とした。刃先とノーズバー先端の距離は、刃口水平方向開きが単板歩出し厚さに対して100, 95, 90%（刃口間隔は3.07, 2.91, 2.76 mm, Fig. 2-2 参照）となるように変化させた。

供試丸太は第2章および3章と同じく長さ2 mの福島県産アカマツで、長さ約90 cmに玉切りした後、本実験に先立ち木口断面がほぼ円形になるまで剥皮をかねてベニヤレースで荒むきした。原木本数（長さ90 cm）は9本で、荒むき後の直径は24～34 cmであった。処理条件は90, 70, 50°Cの3条件（1条件3本ずつ供試）で温・熱水中に24時間浸漬し、加熱処理を行った。各加熱処理条件および刃口条件についてそれぞれ原木（長さ90 cm）1本をあてた。単板切削試験は原木を貯木槽から引き上げた後、直ちに行った。なお、対照実験となる室温（20°C）の条件のデータを「4.3」以降に示してあるが、これは、第3章でその一部を示した実験③の実験結果である（第3章の実験③は本章の実験と同時に、同一の装置および刃物を用いて行った）。

単板はロータリークリッパーで長さ約90 cmに切断し、およそ5枚おきに各条件につき4～6枚を抜きとり、ネット式のベニヤドライヤーで乾燥した後、木口面側の端部を除去し、10（繊維方向）×6～8 cm（接線方向）の測定用試片を採った。そのなかから節や年輪の乱れのないものを各条件につき20～50枚選んで、面粗さおよび裏割れ測定用の試験片とした。

単板面粗さ、裏割れ深さ、裏割れ間隔、年輪傾斜角（切削方向に対する角度, Fig. 3-1 参照）、単板内における年輪界の位置（Fig. 3-1 参照）を前章と同様の方法で測定した。なお、単板内における年輪界の位置の測定は、全加熱処理条件の刃口開き90%の条件と70°Cの刃口開き100%の条件について行った。

4.3 単板面粗さの変化

Fig. 4-1 に刃口水平方向開き（以下、本章では刃口開きとする）および処理温度による単板面粗さの変化を、年輪傾斜角別に示す。年輪傾斜角は切削方向に対して順目方向と逆目方向に分け、それぞれを平均して表した。後に詳しく述べるように、 90°C で刃口開き 100% の条件では、連続した単板を得ることができなかったため、測定データはない。

順目切削部分では刃口条件による面粗さの変化は小さいが、逆目切削部分では無処理材（ 20°C の場合を除き、刃口開きが 100% の条件で面粗さが大きくなった。逆目部分の面粗さは順目部分に比較して常に大きく、その変動も大きかった。この変化を年輪傾斜角について詳しくみた場合の測定結果を Fig. 4-2 に示す。第 3 章でも示したように（Fig. 3-11），年輪傾斜角がおよそ $-30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ の範囲では、順目部分では年輪傾斜角によらず面粗さはほぼ一定していたが、逆目部分では年輪傾斜角の減少（絶対値の増加）に従って逆目ぼれのため面は粗くなり、面粗さのばらつきも大きくなっていた。ところで、Fig. 4-1 では 20°C の刃口開き 100% の条件で逆目切削部分の面粗さが小さくなっていたが、これは測定試験片の年輪傾斜角の範囲が $\pm 13^{\circ}$ と狭く、単板面粗さが最も大きくなると予想できる年輪傾斜角が -20° 付近のサンプルがなかったためである。Fig. 4-2 から判断する限り、 20°C と 50°C 処理条件における年輪傾斜角による面粗さの変化にほとんど違いはなく、Fig. 4-1 にみられる両処理条件の測定結果の差は、年輪傾斜角のばらつきの差などのサンプリングによる影響が大きいものと考ええる。したがって、実験条件による測定値の違いを比べる場合には、同一の年輪傾斜角で比較することが望ましいと考える。

一方、処理温度の上昇に伴い、面粗さはやや増加する傾向があった（Fig. 4-1）。年輪傾斜角による面粗さの変化（Fig. 4-2）をみた場合、加熱処理を行った場合には順目部分における面粗さのばらつきが増加し、逆目部分では年輪傾斜角が -10° より小さい（絶対値では大きい）部分の面粗さが、無処理条件と比べて減少していた。しかし、年輪傾斜角の絶対値が小さい部分では、逆に無処理条件に比較して面が粗くなり、このため、順目および逆目の面粗さの平均値が、処理温度の上昇によって増加したわけである。このように年輪傾斜角の絶対値が小さい部分で面粗さが大きくなる現象はスギの含水率の低い場合に似ており（Fig. 3-11），したがって、アカマツの場合にも、

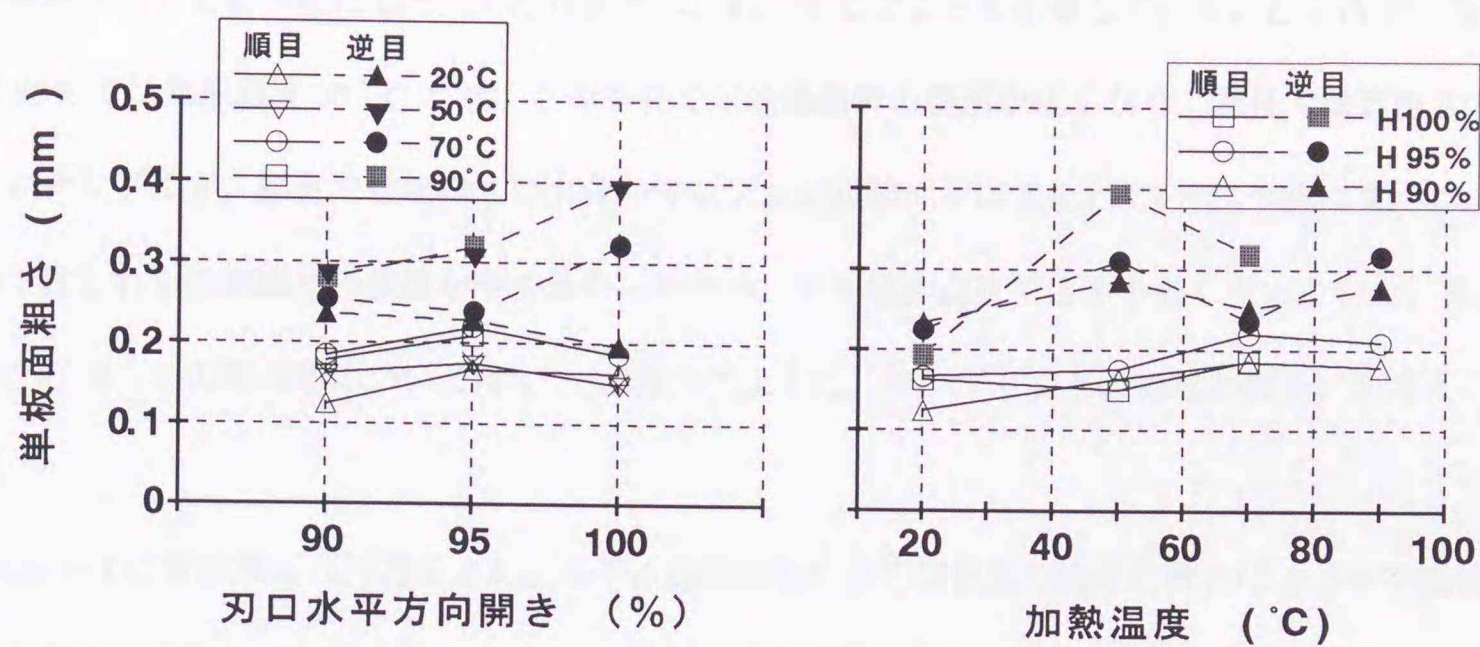


Fig. 4-1. 刃口水平方向開き(H)および原木加熱温度による単板面粗さの変化

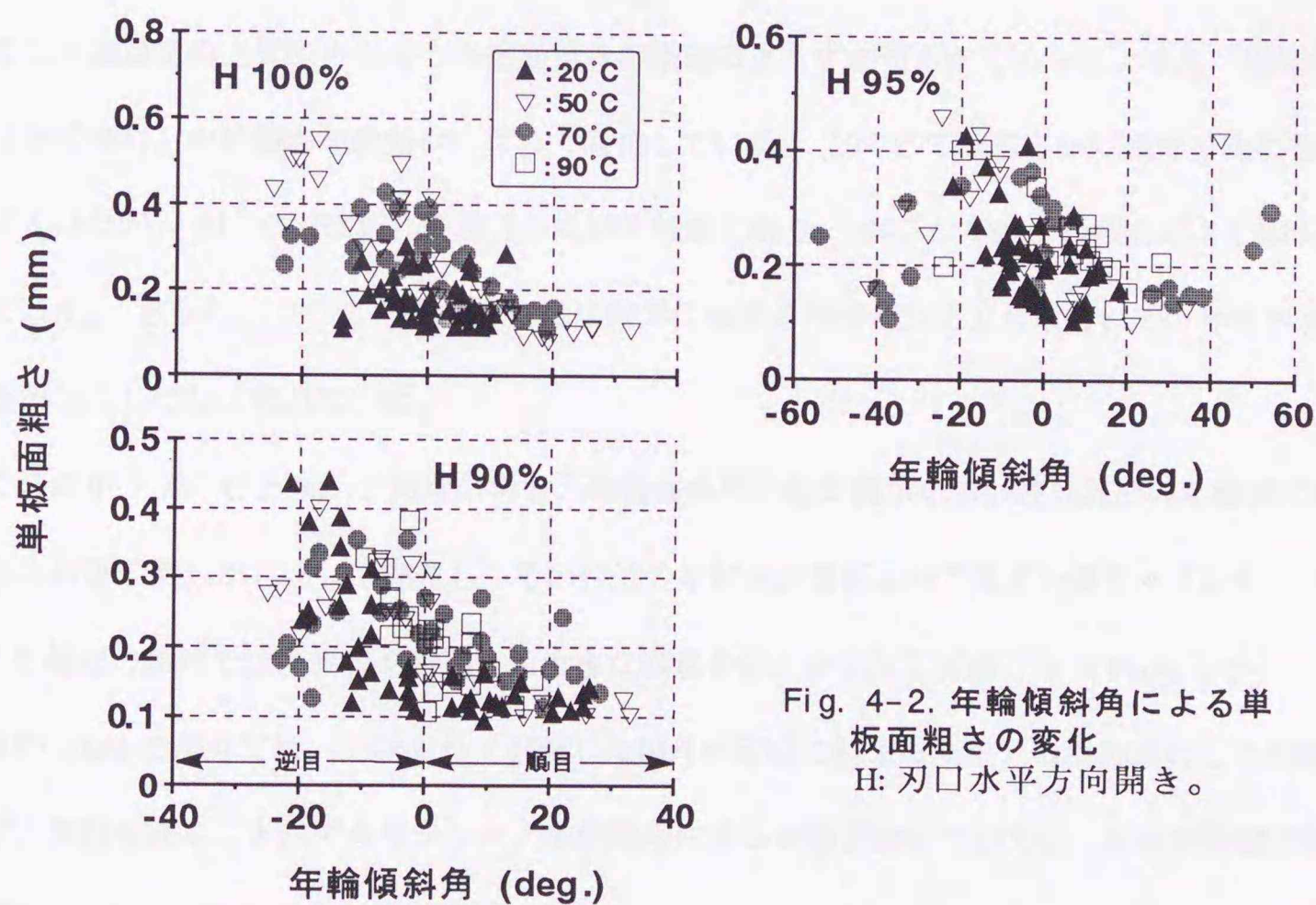


Fig. 4-2. 年輪傾斜角による単板面粗さの変化
H: 刃口水平方向開き。

加熱処理によって材が軟化したため早材部のつぶれが生じたことを示唆している。ところで、刃口開き 95% では処理温度 50°C と 70°C の条件で年輪傾斜角の範囲が広くなり、逆目では面粗さの小さいサンプルが、順目では面粗さの大きいサンプルが試験片中に含まれていた。特に 70°C の条件ではこれらの試験片の枚数がやや多かったため、平均値が逆目ではやや低くなっていた。また、 20°C と 50°C の間の差については、先に述べたように、サンプリングの影響が大きいと考えている。

Photo 4-1 に単板表面の写真を示し、以下に加熱処理による単板面の実際の変化のようすを説明する。なお、先に述べたように、 20°C と 50°C 処理の間の相違はほとんどないと判断したので、 50°C 条件の単板は示さなかった。順目切削部分では加熱処理によって早材部表面に繊維方向の細かい筋状のえぐれた部分がみえたが（ 20°C では目立たない）、単板面粗さの値には影響しなかった。また、このようすは 70°C と 90°C との間ではほとんど変わらなかった。一方、逆目切削部分では加熱温度の上昇にともなう単板面粗さの増加のようすが明らかであった。また、表面のえぐれ（逆目ぼれ）の状態も加熱条件によって変化していた。 20°C では明らかに繊維方向に割れが生じていたが、 70°C では割れの進行方向が不規則になり、 90°C ではこの傾向がより顕著に現れていた。さらに、 70°C と 90°C では年輪界に接する早材部がえぐり取られて、年輪界表面が単板面上にしばしば現れていた。

このほか、 70°C と 90°C 処理の場合、年輪傾斜角の絶対値が小さい逆目部分の年輪界に沿って材の剥離や割れがしばしば存在し、その付近の早材部が単板表面でえぐり取られていた。特に 90°C 処理の条件では、単板を貫通する大きな剥離や割れがしばしば起こり（Photo 4-2）、刃口開きが 100% の条件では、刃詰まり（剥離した碎片が刃口に詰まる現象）のため連続した切削ができず、単板を得ることができなかった。加熱処理による剥離現象については、単板表面側の割れに関連して、「4.6」で詳しく考察する。

また、面粗さ測定値には影響しなかったが、 70°C 以上の処理条件では逆目、順目を問わず年輪傾斜角の絶対値が小さい部分で毛羽立ちが観察できた。Photo 4-3 に示したように、その程度は 90°C の条件で最も大きく、仮道管が束状に単板面からむしり取られたような状態であった。

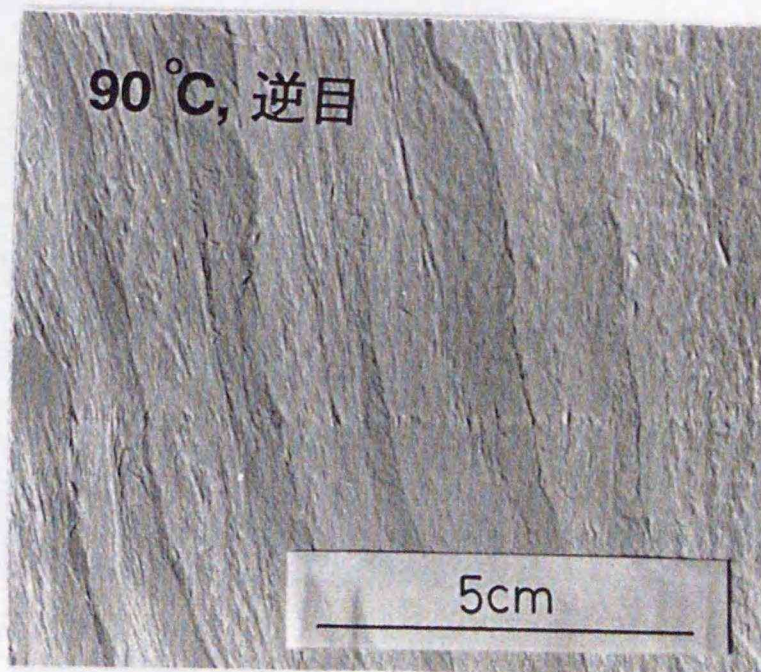
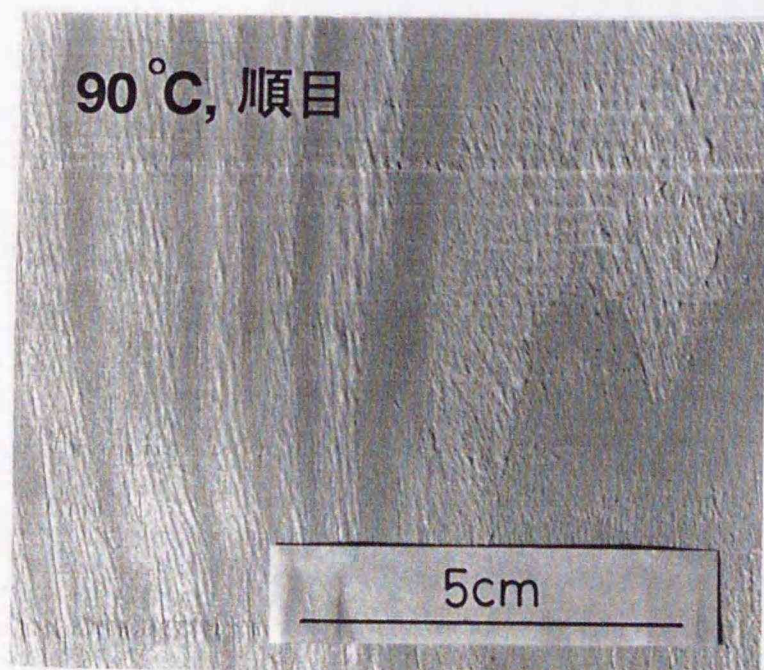
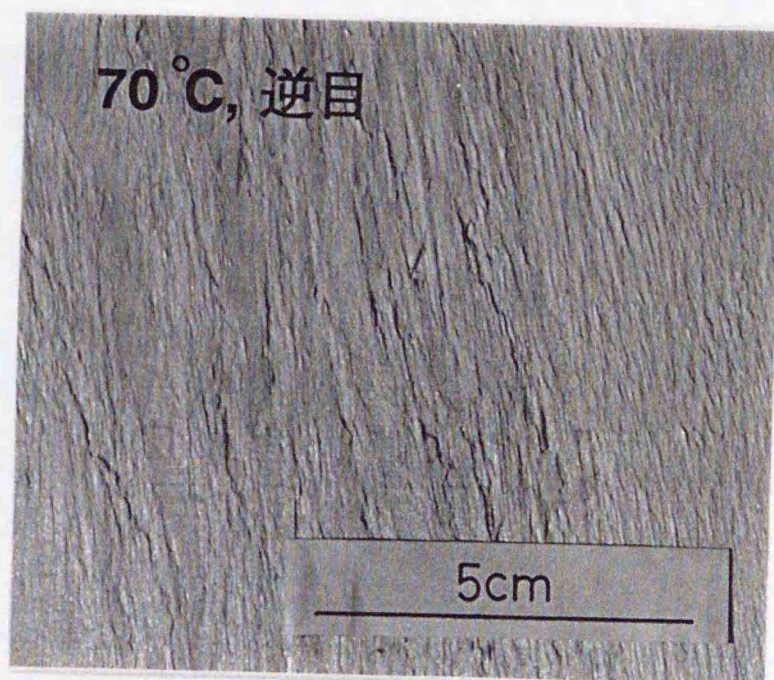
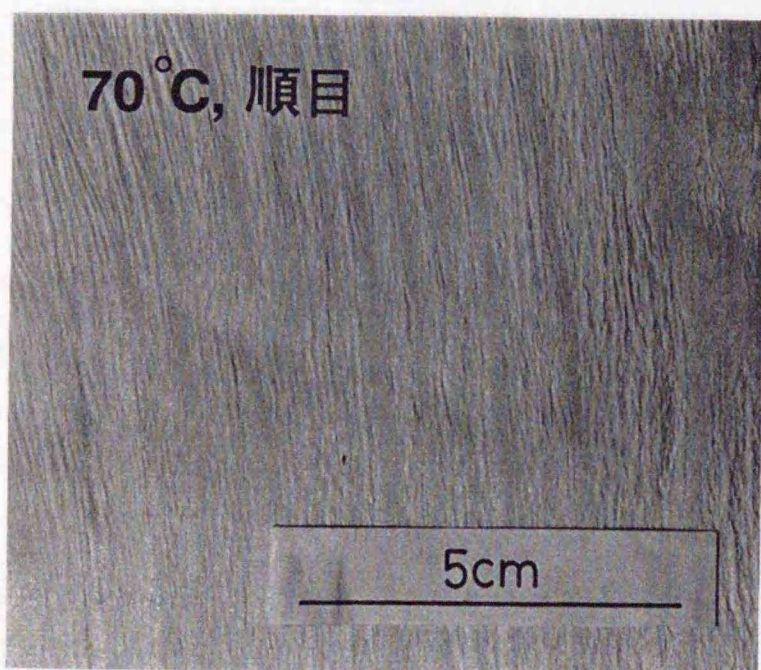
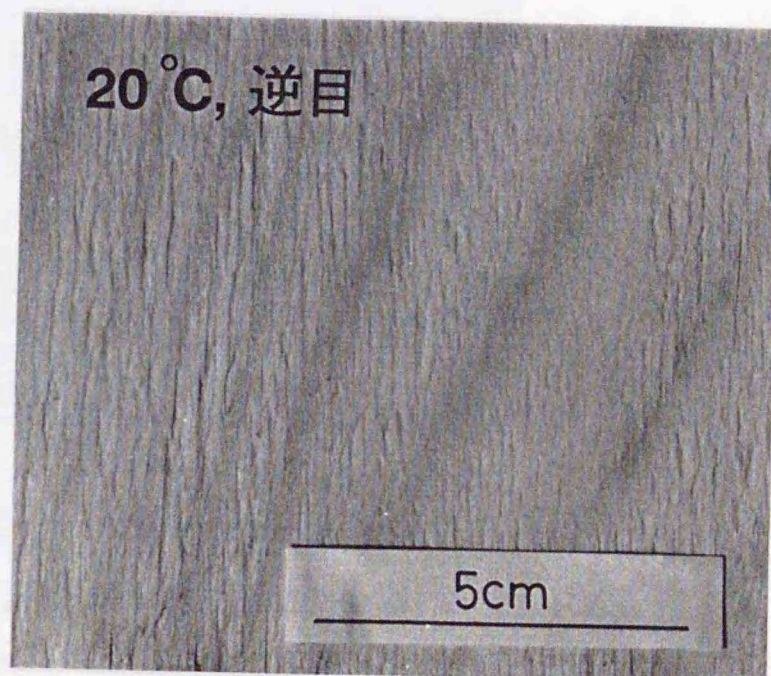
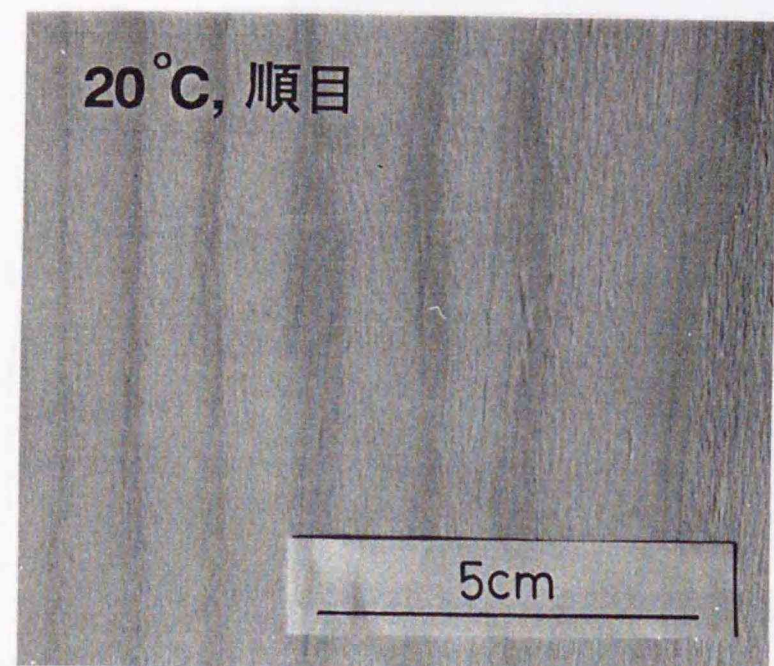


Photo 4-1. アカマツ単板面の処理温度による変化

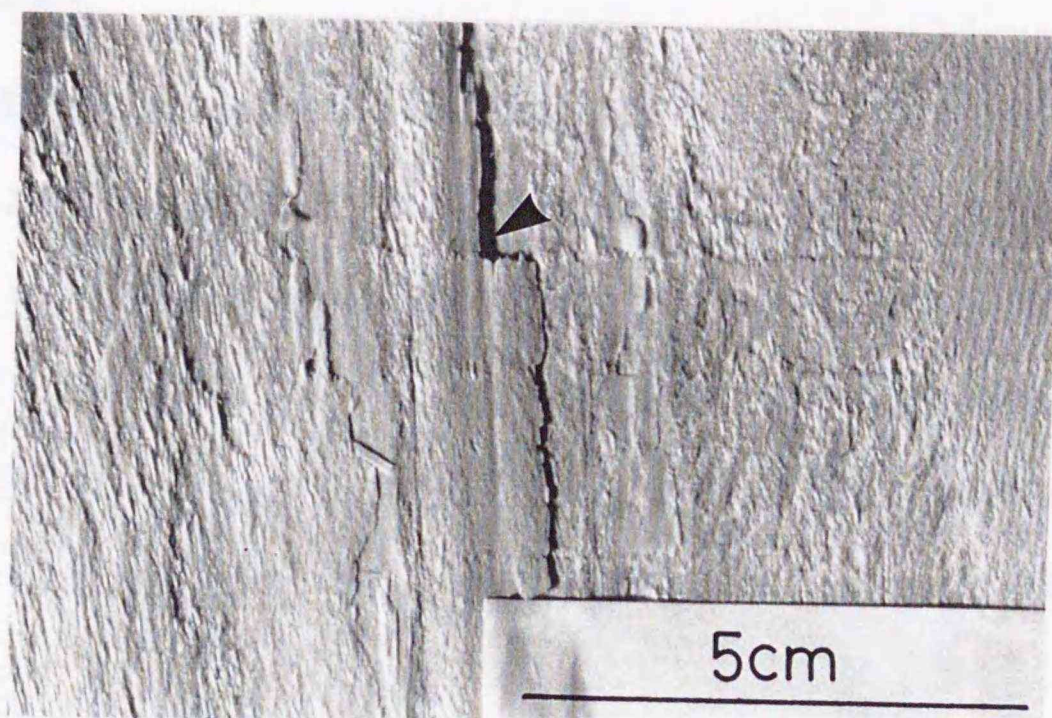


Photo 4-2. 逆目切削部分における早材部の剥離（矢頭）
加熱温度：90℃。

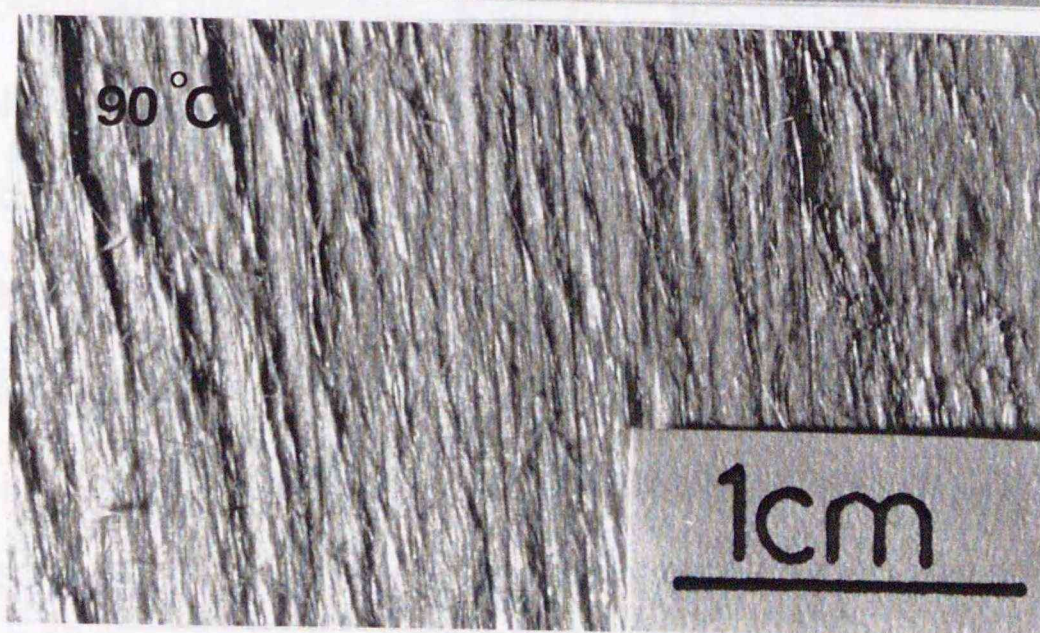
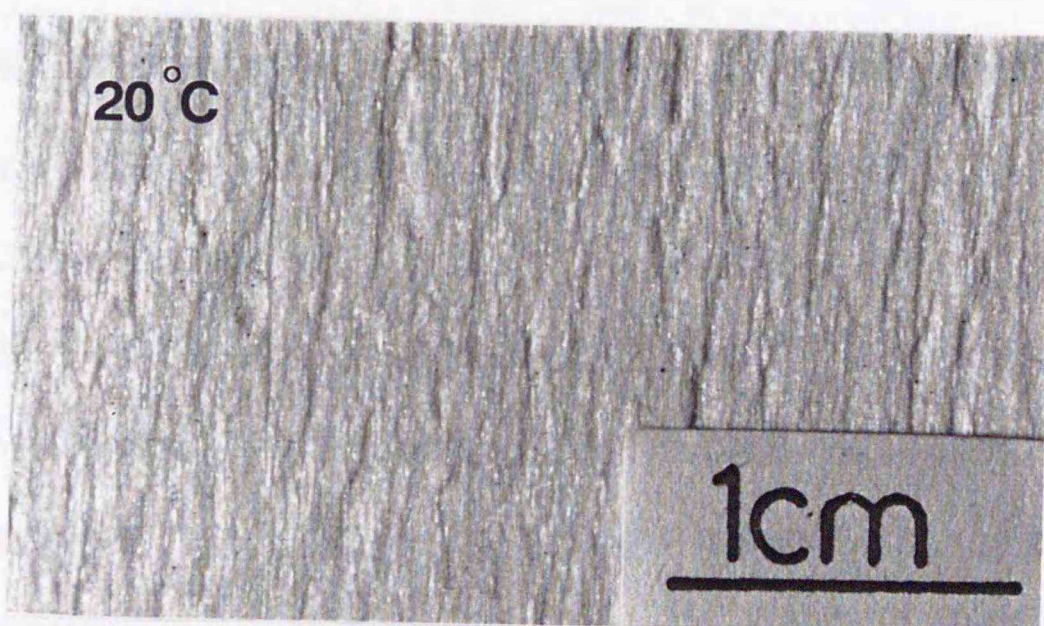


Photo 4-3. 単板面のクローズアップ
90℃処理では、単板面に著しい毛羽立ちが生じた。

4.4 裏割れ深さの変化

Fig. 4-3 に刃口開きそして処理温度による裏割れ率の変化を示す。刃口開きの減少または処理温度の上昇に伴って裏割れ率は減少した。特に加熱処理の効果は大きく、 70°C 処理の裏割れ率は無処理材を切削したときの値の3割から4割にまで減少した。それにともない、乾燥後の単板のいわゆる腰が強くなり、あばれも大きくなった。 70°C から 90°C への裏割れ率の変化は 70°C 以下のそれに比べて小さく、 90°C まで加熱するメリットは少ない。また、無処理から 50°C への裏割れ率の減少率もあまり大きくないため、最適の処理条件は 50°C と 70°C の間にあると判断する。

Fig. 4-4 に裏割れ率の変化を年輪傾斜角別に調べた結果を示す。無処理の条件では逆目部分に比べて順目部分で裏割れがやや浅く、年輪傾斜角の増加によってさらに減少する傾向があった (Fig. 3-12)。これに対して、加熱処理を行うことにより順目と逆目との間の裏割れ率の差がなくなり、裏割れは年輪傾斜角の値によらず一様に浅くなった。面粗さの場合と同様に、 70°C と 90°C 処理との間に大きな差異はなかった。

ところで、前章の 3.6 節で述べたように裏割れ深さは単板内における晩材部の位置によって影響を受け、裏割れの進行が晩材部付近で止まる傾向がある。この現象の加熱処理による変化を調べるため、前章と同様に裏割れごとにその位置における年輪界の単板裏面からの距離を測定した。その結果を順目および逆目別に Fig. 4-5 に示す。前章において無処理材の結果 (刃口開き 100% および 90%) を示したように (Fig. 3-16), 50°C 処理では年輪界の位置によって裏割れ深さが変化する傾向が明らかで、裏割れは年輪界付近で止まる傾向があった。一方、それ以上の処理条件では、温度の上昇にともなって裏割れ深さが減少したために、晩材部まで達する裏割れが少なくなった結果、晩材位置の影響が小さくなっていた。また、順目切削部分と逆目切削部分との間で、これらの傾向に差はなかった。刃口開きの影響については、無処理の場合には明らかに刃口が狭い条件で裏割れが浅くなっていたが (Fig. 3-16), 70°C の条件では刃口開きによる裏割れ深さへの影響はほとんどなかった。

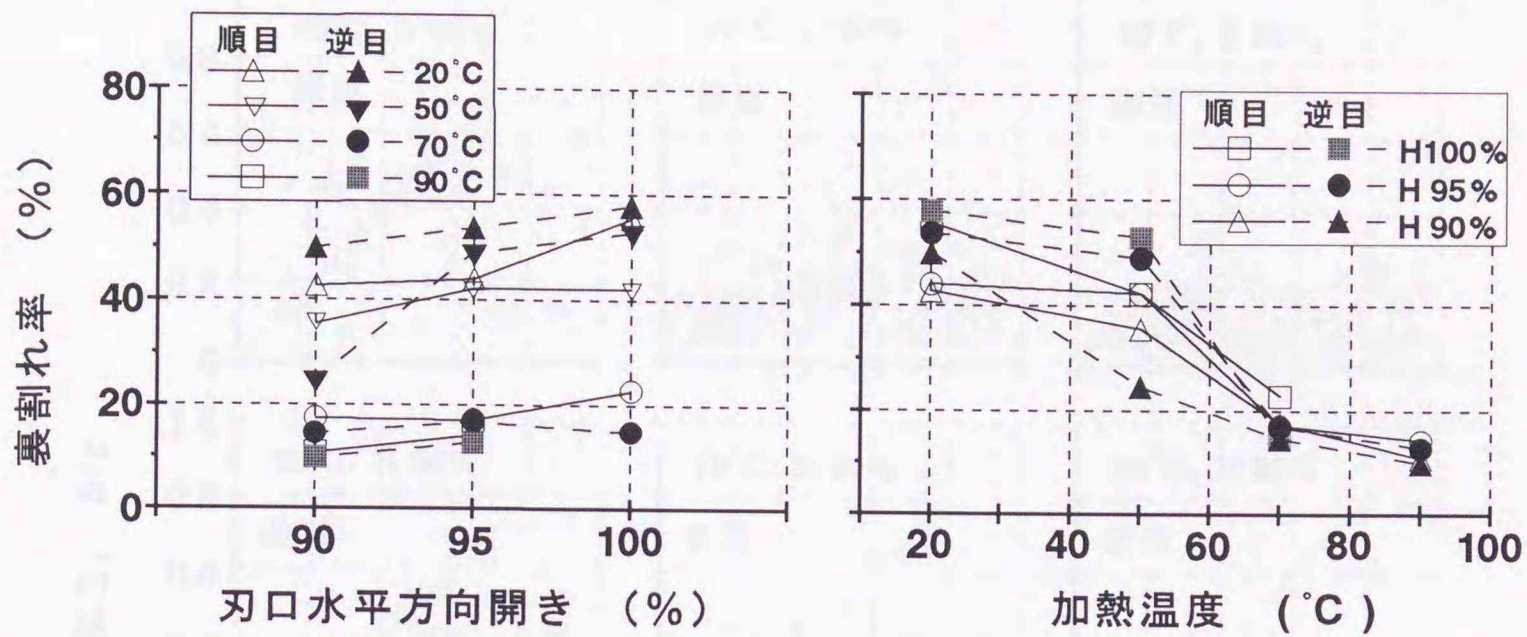


Fig. 4-3. 刃口水平方向開き (H) および原木加熱温度による裏割れ率の変化

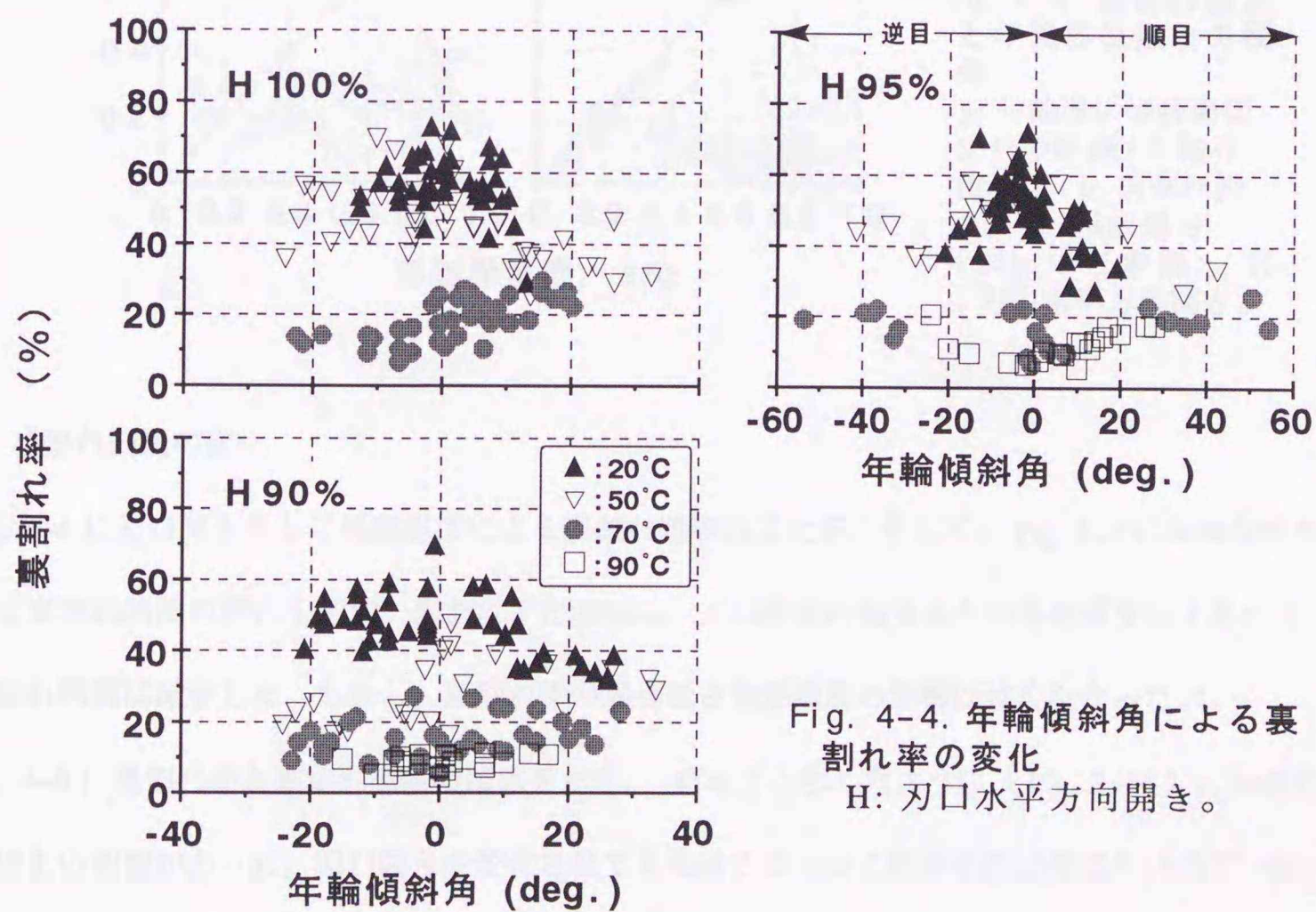


Fig. 4-4. 年輪傾斜角による裏割れ率の変化
H: 刃口水平方向開き。

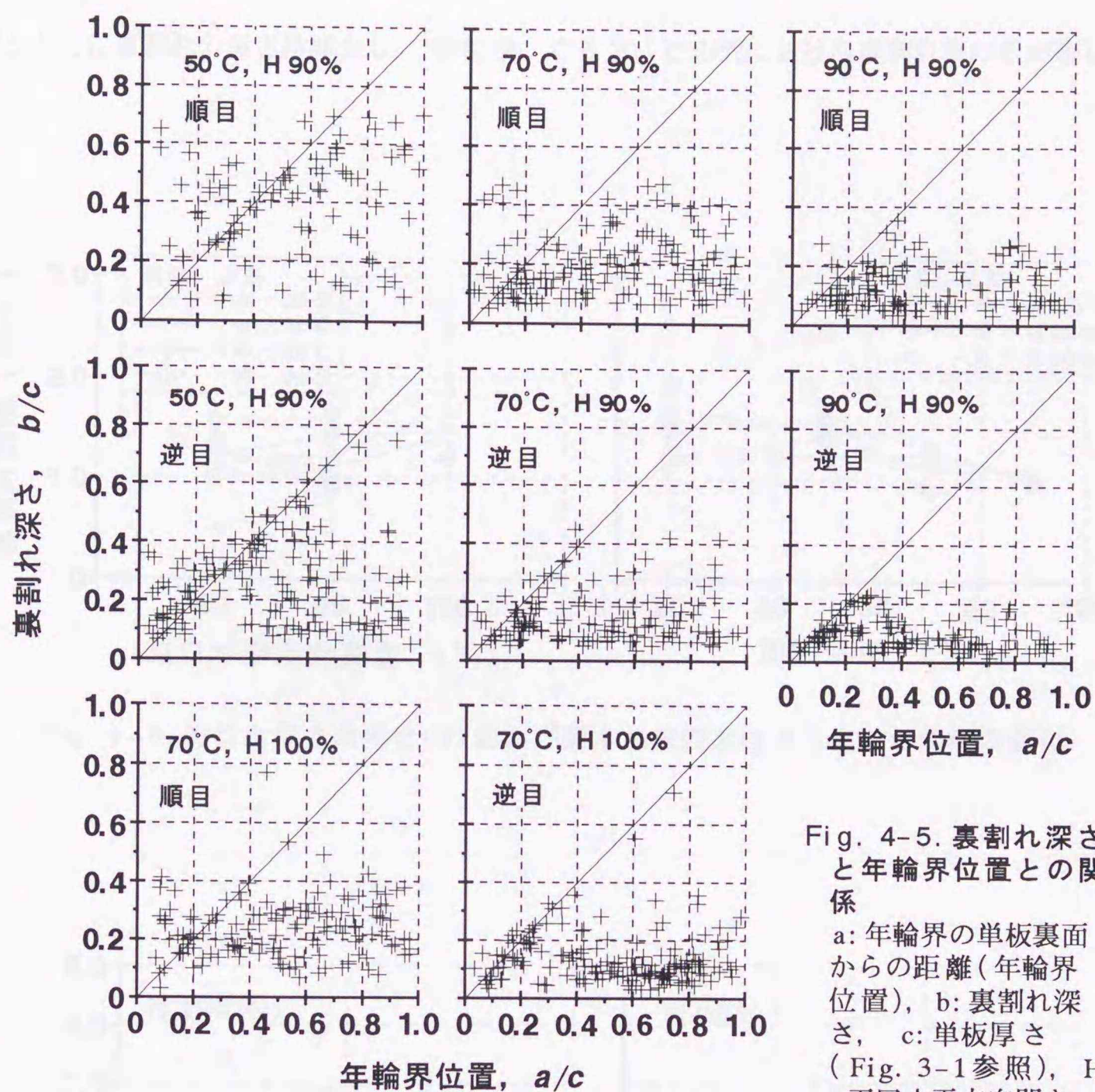


Fig. 4-5. 裏割れ深さと年輪界位置との関係
a: 年輪界の単板裏面からの距離(年輪界位置), b: 裏割れ深さ, c: 単板厚さ (Fig. 3-1 参照), H: 刃口水平方向開き。

4.5 裏割れ間隔の変化

Fig. 4-6 に刃口開きそして処理温度による裏割れ間隔の変化を、そして、Fig. 4-7 に年輪傾斜角による裏割れ間隔の変化を示す。裏割れ率と同様に、刃口開きの減少または処理温度の上昇に伴って裏割れ間隔は減少した。しかし、裏割れ率の場合ほど加熱温度の影響は強くなかった。

Fig. 4-8 に裏割れ率と裏割れ間隔の関係を示す。前章でも示したように (Fig. 3-14), 両者の間には正の相関があった。刃口開きを変化させても木材そのものに物性変化は生じないので、同一の処理温度で異なる刃口条件の測定点はほぼ同一の線上に分布していた。しかし、加熱処理を行った場合には材の軟化によって裏割れが発生しにくくなるため、加熱温度が違う場合には異なる回帰

線上に測定点が分布していると判断できた。たとえば、同一の裏割れ間隔の場合には、加熱温度の上昇とともに裏割れの深さは減少し、特に 50°C と 70°C の間における裏割れ率の差が著しかった。

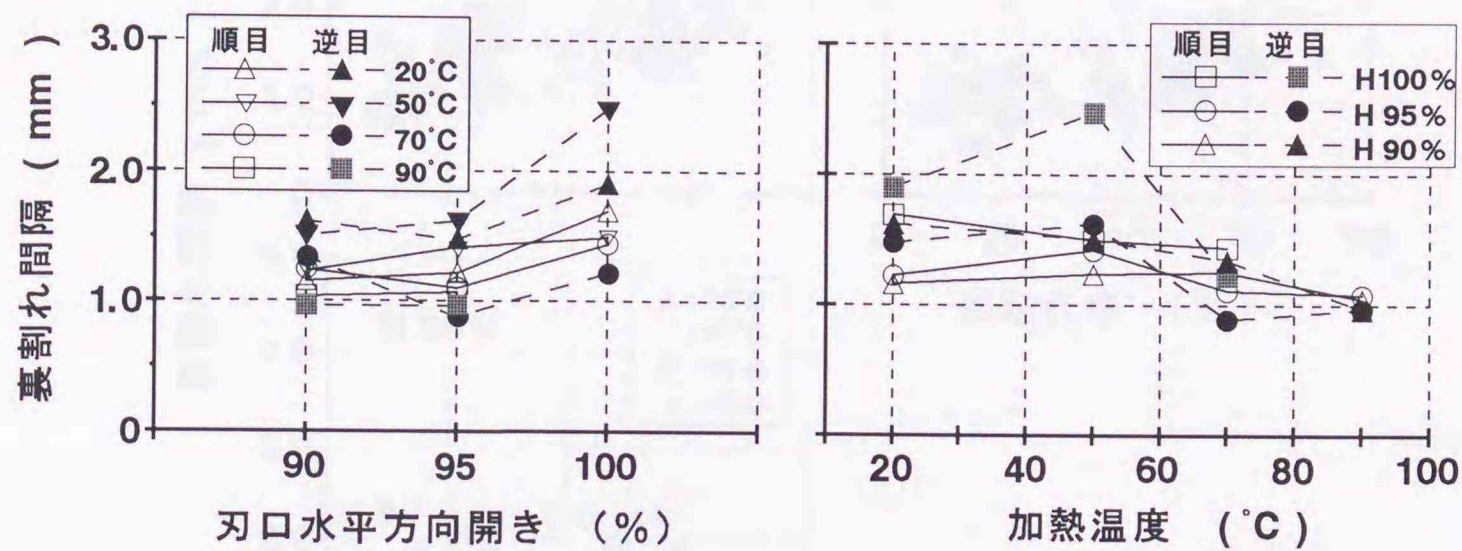


Fig. 4-6. 刃口水平方向開き(H)および原木加熱温度による裏割れ間隔の変化

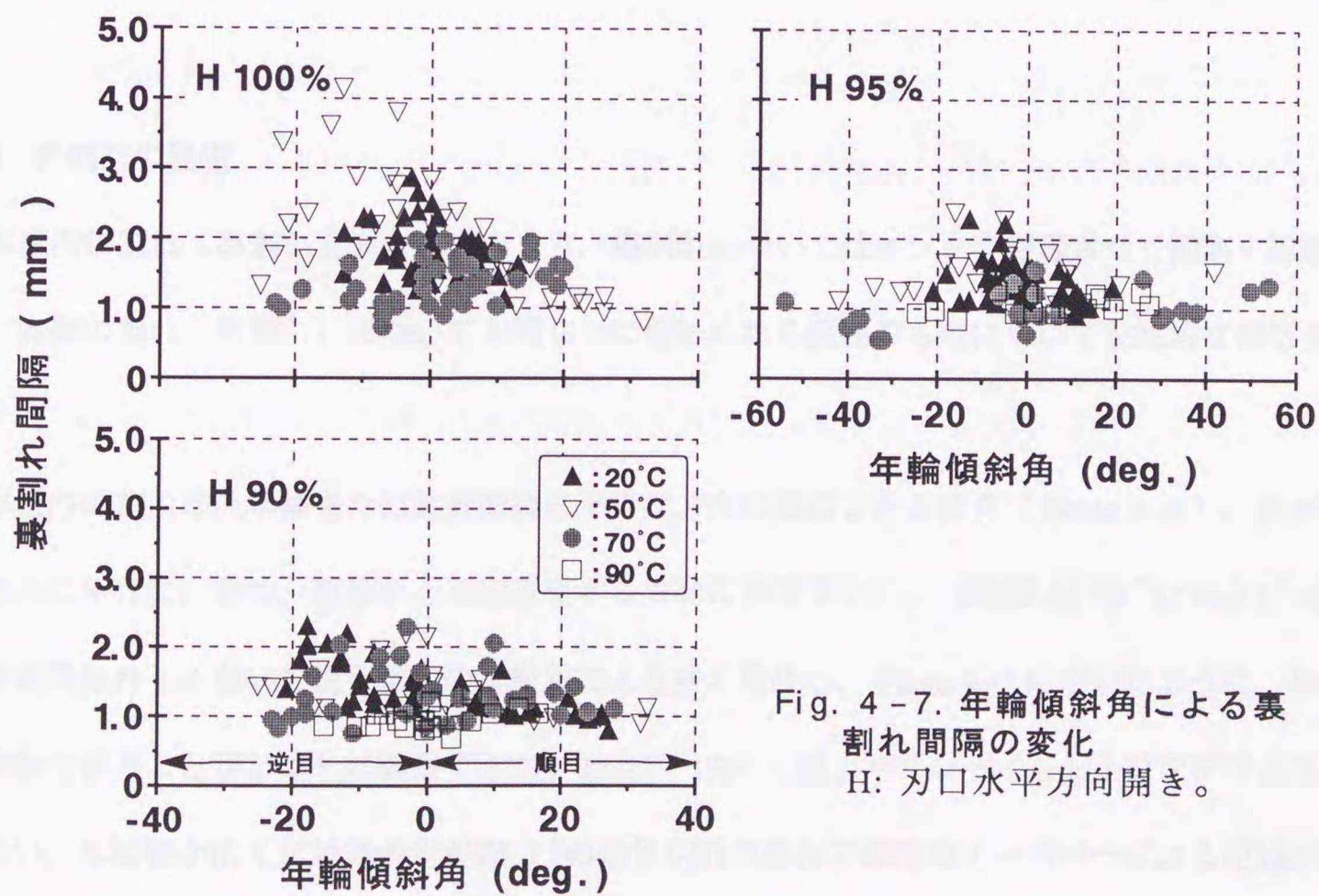


Fig. 4-7. 年輪傾斜角による裏割れ間隔の変化
H: 刃口水平方向開き。

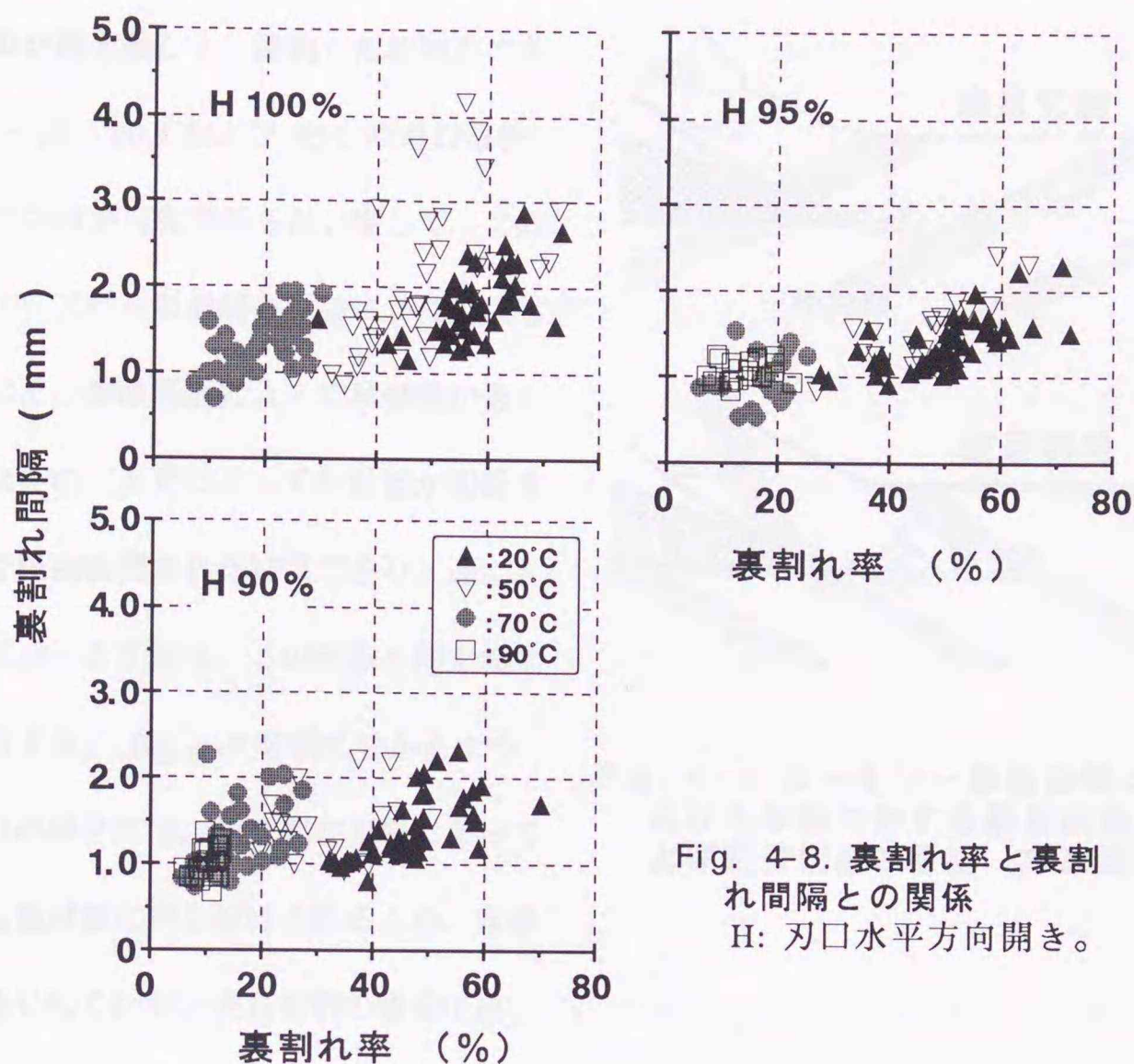


Fig. 4-8. 裏割れ率と裏割れ間隔との関係
H: 刃口水平方向開き。

4.6 表割れの発生

単板内の割れ（裏割れと表割れ）のうち、裏割れについてはインクを浸透させて観察・測定したが、表側の割れ（表割れ）についても明らかに認められる範囲のものについて定性的な観察を行った。

単板内の割れは、年輪または放射組織に平行な方向に進むことが多く（Photo 3-4），表割れもこれらに平行に、かつ、裏割れとほぼ直交する方向に伸びていた。表割れは 70°C および 90°C 加熱処理条件下において逆目部分の年輪界でより多く発生し，Photo 4-2 に示したように，早材部の剥離を伴うことがしばしば観察できた。Lutz（1964）は，サザンパインおよびダグラスファーを用い，年輪幅が広く年輪傾斜角が約 7° の逆目切削の条件で過度のノーズバーによる圧縮が作用した場合に，年輪界における早材部の剥離が起きやすいことを報告している。今回の実験では刃口

開きが100%の条件で加熱処理材を切削した場合

合に剥離現象が最も激しく、連続した切削ができなかった。一方、90%および95%の刃口条件

では連続した切削が可能であった。従って、この剥離現象はノーズバーの過度の圧縮によって生じ

たものではなく、加熱処理によって早材部が柔らかくなったために、刃先によって早材部が切断さ

れることなく圧縮破壊された結果であり、逆に、

適度なノーズバーの圧縮は、この現象を防ぐ効果

があると判断する。Fig. 4-9 を見て分かるよう

に、順目切削の場合には、早材部が刃先によって

圧縮されても晩材部に押し付けられるため、年輪

界の割れは生じにくい。逆に、逆目切削の場合には、

逆に早材部が晩材部から引きはがされやすく、年輪界に沿った早材部の剥離が起きやすいと考える。

次に、加熱による木材の物性変化を細胞レベルで考えることにより、年輪界に割れが生じやすい理由を考察してみる。木材は加熱することで軟化するが、軟化する温度は木材を構成する化学成分によって異なっており、飽水条件下ではリグニンおよびヘミセルロースは 100°C 以下で容易に軟化する (Goring: 1963)。また、木材の主要化学成分であるセルロース、ヘミセルロース、そしてリグニンの構成比は、木材の細胞壁を構成する壁層によって異なっており、細胞間層およびそれに接する1次壁・2次壁外層ではリグニンとヘミセルロースの割合が大きく (Panshin: 1964)、ほかの層に比べて加熱処理によって軟化しやすいため、仮道管相互の結合力が弱まることが予想できる。さらに、針葉樹材では仮道管が放射方向に整然と配列しているため、細胞間層も放射方向に連なることとなり、Koran (1967) がブラックスプルース (*Picea mariana* B. S. P.) で観察したように、木材が軟化した状態では細胞間層に沿って放射方向に破壊が起きやすくなる。一方、接線方向ではふつう仮道管が配列することはないが、唯一、年輪界では細胞間層が接線方向に連なってお

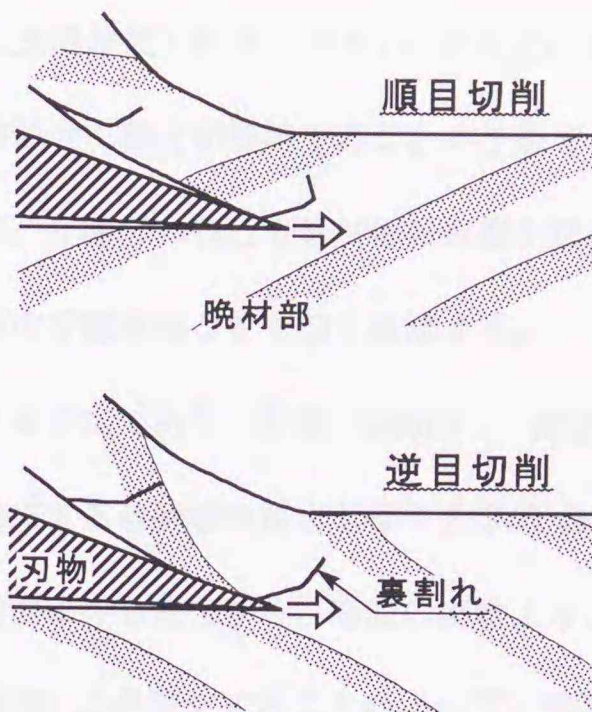


Fig. 4-9. ロータリー単板切削における年輪に対する順目切削および逆目切削の概要 (木口面)

り、同様に軟化された状態では破壊しやすい（Koran: 1968, ブラックスプルースによる観察）。また、早・晩材間における変形挙動の違い（早材部は比重が低く変形しやすい）のため、早材部が接線方向の力を受けた場合、年輪界近傍の早材部に強いせん断力が作用することが予想できる。このため、加熱処理をした原木を単板切削する場合には、年輪界に割れや早材部の剥離が起きやすくなり、極端な場合には刃詰まりや年輪界における単板の分離を起こすものと推論する。

もちろん、加熱による物性の変化は樹種によってさまざまであり（佐藤: 1990）、最適な処理条件もそれに伴って変化すると予想する。細胞壁を構成する各壁層の厚さとその化学組成や木材繊維の配列などが変化するならば、適切な加熱条件や切削条件も変化する。今回の実験より、アカマツの場合には加熱温度を 70°C 以下で、刃口開きは 100% より狭くすることによって、割れの少ない単板を得ることができる、と結論できる。

4.7 加熱処理による材の変色

木材を加熱処理した場合には変色が起こるが、今回の実験条件でも単板の変色が観察できた。 50°C の条件では変色はなかったが、 70°C では材色が淡褐色にやや変化し、 90°C の条件では変色がより明らかであった。

このような生状態の木材を加熱した場合の変色については、単板切削（平井: 1971, 小松: 1989）および木材乾燥（満久: 1962）の分野において経験的によく知られてはいるが、具体的な研究報告はほとんどない。満久（1962）によれば、針葉樹では 70°C 以上でやや褐色になるとされているので、アカマツの場合にもこれ以下の温度では変色はほとんど生じないと考える。したがって、単板の変色を嫌うような用途の場合には、処理温度を 70°C 以下に設定する必要がある。

4.8 摘要

単板品質の向上を目的として、加熱処理したアカマツ材を用いてロータリー単板切削試験を行い、加熱温度と刃口間隔の変化による単板品質の変化を調べた。結果をまとめると次のとおりである。

- 1) 加熱処理による単板面粗さの変化は、切削方向に対する年輪傾斜角によってその傾向が異な

っていた。刃口水平方向開きの狭い条件で加熱処理した原木を切削した場合には、逆目ぼれを抑制する効果があった。しかし、この効果が現れるのは逆目の年輪傾斜角が小さい（絶対値が大きい）場合であり、年輪傾斜角の絶対値が小さい部分では、順目、逆目に限らず加熱によって早材部の剥離が起きやすく、逆に面粗さは増加した。年輪傾斜角の絶対値が小さい部分の面粗さの増加は、スギの含水率の低い場合と同様に、刃先による早材部のつぶれによってもたらされたものと推察した。

2) 裏割れは加熱処理によって深さと間隔が大きく減少し、 70°C の裏割れ率は 20°C （無処理）の場合の3割から4割にまで減少した。しかし、 70°C 処理と 90°C 処理との差および無処理と 50°C との差は小さかった。無処理の場合には、裏割れ深さは順目部分に比べて逆目部分で深く、また、刃口を狭くすると裏割れが晩材部で止まるが多かった。一方、加熱処理を行った場合には裏割れ深さは年輪傾斜角によらず一様に浅い状態になり、晩材部の影響もほとんど受けていなかった。

3) 加熱温度が 70°C および 90°C の条件では、単板の表面側の割れが多く、また、年輪界に沿った剥離現象が逆目部分で起きた。極端な場合には刃詰まりや単板の分離によって、連続した切削が不可能であった。加熱処理による年輪界に沿った表割れの発生頻度の増加および表割れの程度の増加は、加熱による軟化がリグニンおよびヘミセルロースに生じ、その結果、これらの成分の含有率の高い細胞間層とそれに接する壁層が選択的に軟化して、仮道管相互の結合力が低下したことに原因があると推論した。

4) 70°C および 90°C の条件では、単板面の毛羽立ちおよび材の変色も観察されるため、加熱温度は 70°C 以下が望ましい。

以上の結果から総合的に判断すると、アカマツ材のロータリー単板切削は、原木の加熱温度が 50°C と 70°C の間で、刃口水平方向開きは95～90%またはそれ以下の条件で行う必要がある。また、最適条件を決定する際には、年輪傾斜角の違いによって単板品質を比較することが有効であることが明らかになった。

第5章 針葉樹材の低周波横振動ロータリー単板切削

5.1 はじめに

第2章および第3章で明らかにしてきたように、スギ材のロータリー単板切削を行う場合、比重の低い早材部が刃物によって鋭利に切断されにくく、刃先によってつぶされてその一部が単板面から剥離するために他の樹種に比べて面が粗くなる傾向があり、利用上の問題となっている。スギ材を合板や LVL の原料である単板の形で利用し、その需要拡大を図るためには、スギ単板面の品質を改善する必要がある。この問題を解決する1つの方法として、刃物あるいは被削材を振動させて切削を行ういわゆる振動切削がある。

木材加工の分野における振動切削の研究史や応用例などについては、加藤（1978a, b）が詳しく解説している。それによると、振動切削による利点として、①切削抵抗の軽減、②切削加工面の性状の向上、③工具すくい面と切り屑、逃げ面と加工材との摩擦の減少、以上の3つがあげられている。一方、振動切削の効果が現れる適応範囲が限られることが欠点として存在し、その効果が得られるのは切込み量が比較的小さく、切削速度も比較的遅い場合である。この欠点が作業能率を重視する実際の加工現場の要求と相反するためか、木材加工の分野における振動切削の適応例は、実験例を除けばほとんどない。

ところで、振動切削の種類には切削方向に対する振動の方向によって切削方向と同方向、左右方向、上下方向の3種類がある。また、超音波、低周波振動のように振動の速度によっても分類できる。ベニヤレースに振動切削の機構を導入するには、ナイフが大型であること、あるいは切削方法による制限（ノーズバーの使用）のため、低周波の横振動（左右方向）切削を採用することが適当である。横振動切削は切削面内で切削方向と直交する方向に刃物を振動させて切削する方法で、これについては、実験室規模の基礎的な実験が、加藤ら（1974a, b）あるいは浜本ら（1972a, b, c）による一連の研究など、比較的多く行われている。しかし、飽水材による実験や切込み深さが1 mm を越える条件のようなベニヤレースによる単板切削を想定した実験はあまり行われていない。わずかにレッドラワンの飽水材を用いた浜本（1972a）の報告（切込み深さ 2 mm）と McKenzie（1960, 1961）によるイエローバーチ（*Liriodendron tulipifera* L.）飽水材を用いた実験例（切込

み深さ 1.24 mm) があるのみである。そのほか、実際のベニヤレースを用いて横振動切削を行った実験例も報告されており(木下: 1983a, Lutz: 1967b), 振動の効果により単板面粗さが低下することが示されている。しかし、これらのほかに振動単板切削に関する実験資料はない。Lutz (1967b) は機械メーカーなどが行ったいくつかの未公開の実験データを紹介しているにすぎない。また、筆者が所属する森林総合研究所には、低周波で刃物を横振動できる機構をもつベニヤレースの実験用機があり、これまでに予備的な実験の結果を報告しているが(木下: 1983a), スギ材を用いた実験は今まで行なっていない。そこで、ここではスギ単板の面粗さの向上を目的として、スギのほかに比較対象としてヒノキ材を用いて横振動切削を行い、その効果について検討した。

このほか、単板面粗さとならんで単板品質をあらわす重要な指標である裏割れ深さと裏割れ間隔に対する横振動切削の影響についても検討した。これまでに横切削における横振動切削の裏割れに対する効果としては、ほとんど変化がない(木下: 1983a, Lutz: 1967b), あるいは裏割れの頻度が高くなる(浜本: 1972a, McKenzie: 1961)と報告されており、裏割れに対する振動切削の影響に関して一定した結論は得られていない。これを明らかにするためには、裏割れ深さや間隔に影響する他の因子を考慮した検討が必要である。

今回の実験では振動条件のほか、切削条件として刃口間隔の影響を調べ、また、第3章で明らかにした単板面粗さおよび裏割れに影響を及ぼす原木側の因子として、含水率、年輪傾斜角(単板木口面において単板裏面と年輪とのなす角)、単板内における晩材の位置(単板木口面における単板裏面と年輪界との距離)、仮道管径などについてもとりあげ、振動切削の効果をそれぞれの因子に関連させて評価した。

5.2 実験方法

5.2.1 実験装置

実験に使用したベニヤレースは、これまでの章で使用してきた外周駆動装置のない通常型のもので、この装置のナイフ・フレームを油圧シリンダ、ピストンによってスピンドルの軸方向に往復運動できるようにしたものである(木下: 1983a)。横振動単板切削の概略を Fig. 5-1 に、そして、

装置の主要部（ナイフ・フレームおよびプレッシャーバー・ボディ）の写真を Photo 5-1 に示す。刃物の振幅は最高 30 cm まで、振動数は 30 cycle/min（0.5 Hz）まで設定できる。実験では振幅を 30 cm、振動数を約 25 cycle/min（0.42 Hz）に設定した。スピンドルの回転数は 10 ～ 40 rpm の範囲で変化させた。

ところで、横振動切削（以下、振動切削）においては、切削速度と切削方向に直交する方向の刃物あるいは被削材の移動速度との比が振動の程度をあらわす指標となる。通常の振動切削では、刃物の振動による運動波形はサインカーブを描く。しかし、本実験で用いた装置ではナイフ・フレームを駆動する油圧シリンダの動きがほぼ一定速度であったため、刃物の運動波形は Fig. 5-1 および Photo 5-2 に示した刃こぼれの軌跡のように三角波状となった。また、後で述べるように、実験の際には切削速度を常に一定に保つことが困難で、それに加えて、刃物振動数もナイフ・フレームに作用する負荷状態によってわずかに変化したため、切削方向に対する単板上の刃こぼれの軌跡の角度（ θ ）から切削速度に対する刃物移動速度の比（ $\tan \theta$ ）を原木 1 回転ごとに求めた。Photo 5-2, 5-3 に単板上にあらわれた刃こぼれの軌跡の例を示す。なお、単板上の刃こぼれの軌跡の角度（ θ ）は、原木 1 回転中ではほぼ一定であった。

スピンドル回転数を一定とした場合には、切削速度が原木径の減少とともに低下するため、実験条件の上では好ましくない。そこで、スピンドルの回転数は切削の進行にともなってやや増加させた。しかし、原木径の減少による切削速度の低下率のほうがスピンドル回転数の増加率より大きかったため、 $\tan \theta$ は切削の進行とともに増加した。その変化の範囲は、たとえばスピンドル回転数 20 rpm で 1.1 ～ 2.5、40 rpm では 0.6 ～ 1.0 であった。

5.2.2 実験条件

使用したナイフは研削盤で 21° に研磨した後、刃先角が 28° となるように、手仕上げによってすくい面側に幅約 1 mm のマイクロベベルをつけた。逃げ角は $30'$ とした。

供試原木はスギ（生状態と乾燥状態の 2 種類）およびヒノキ（生状態）で、単板歩出し厚さは主に 3 mm とし、そのほか、乾燥状態のものでは 2 mm および 1 mm 厚についても実験を行った。

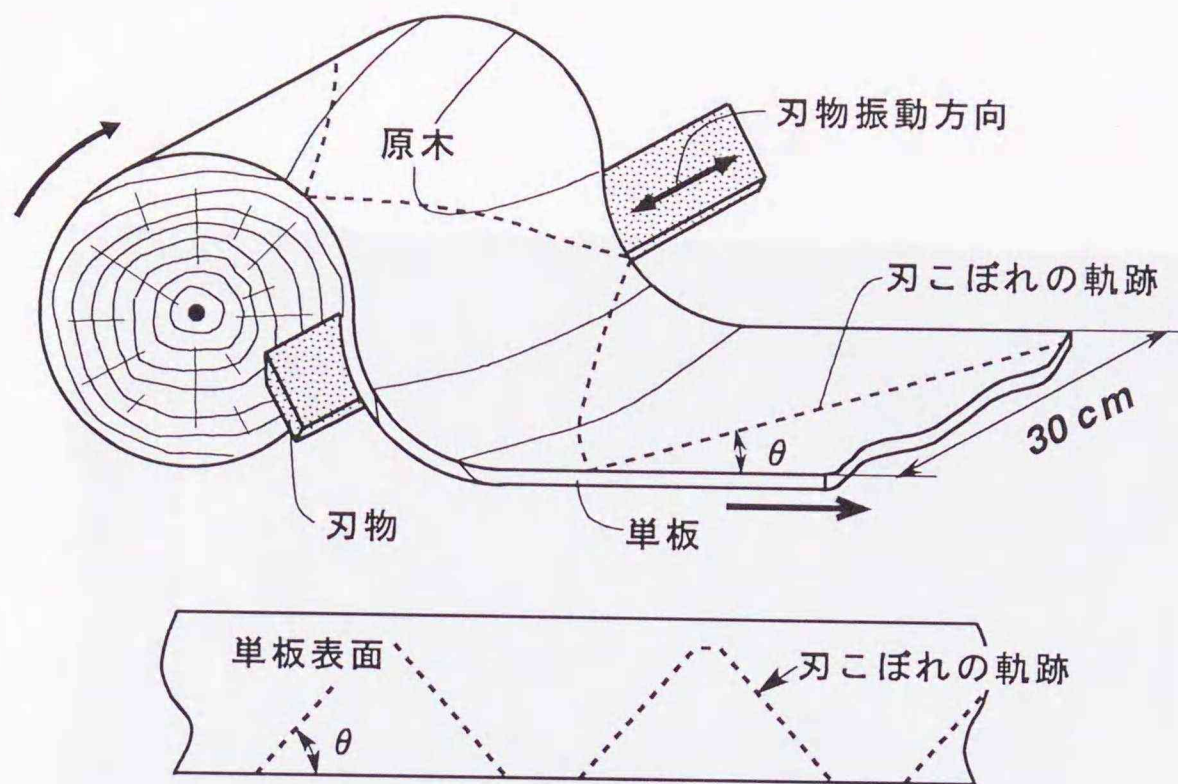


Fig. 5-1. 横振動単板切削の概要
 θ : 切削方向に対する刃こぼれの軌跡の角度

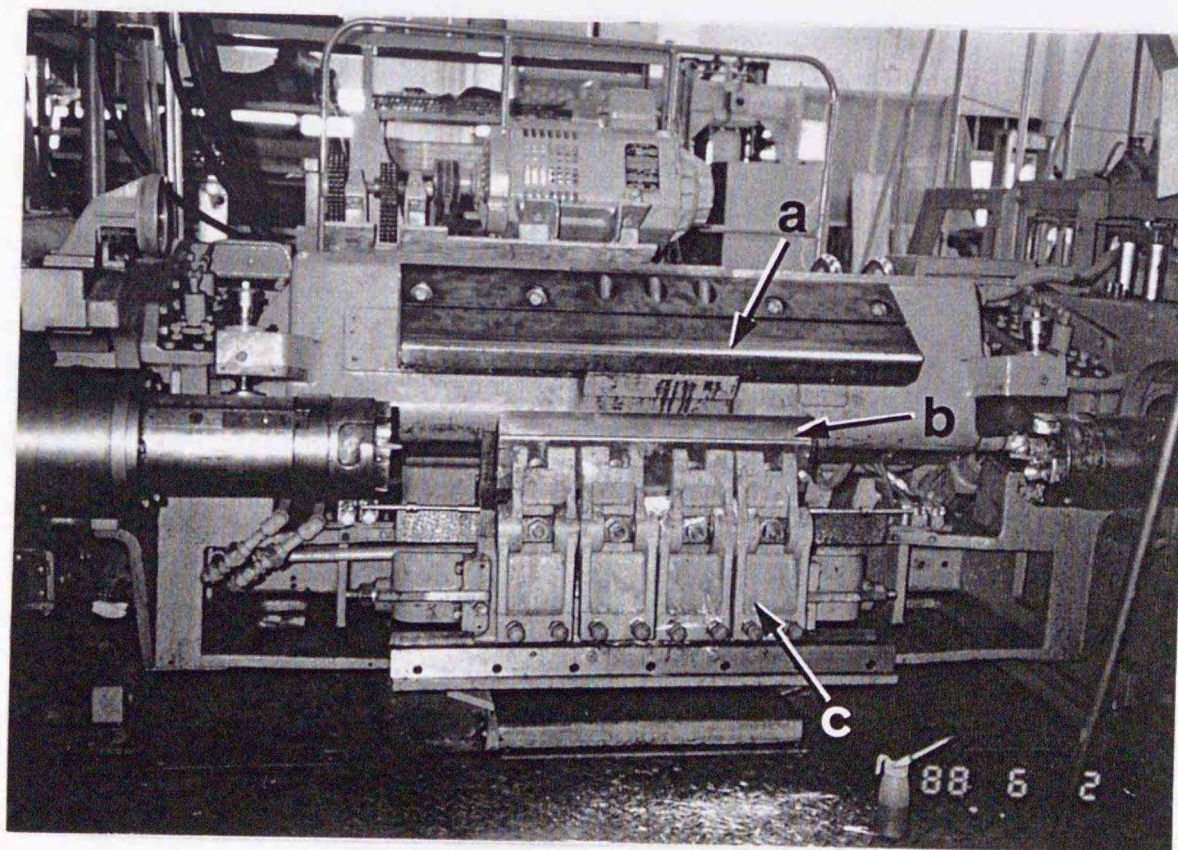


Photo 5-1. 横振動単板切削装置の主要部

a: ノーズバー, b: ナイフ, c: ナイフ・フレーム。
 刃口が開いた状態の写真（切削中は Photo 1-1
 のように閉じている）。ナイフを駆動する油圧
 シリンダーとピストンは、ナイフ・フレームの
 背後にあるため、外側からは見えない。

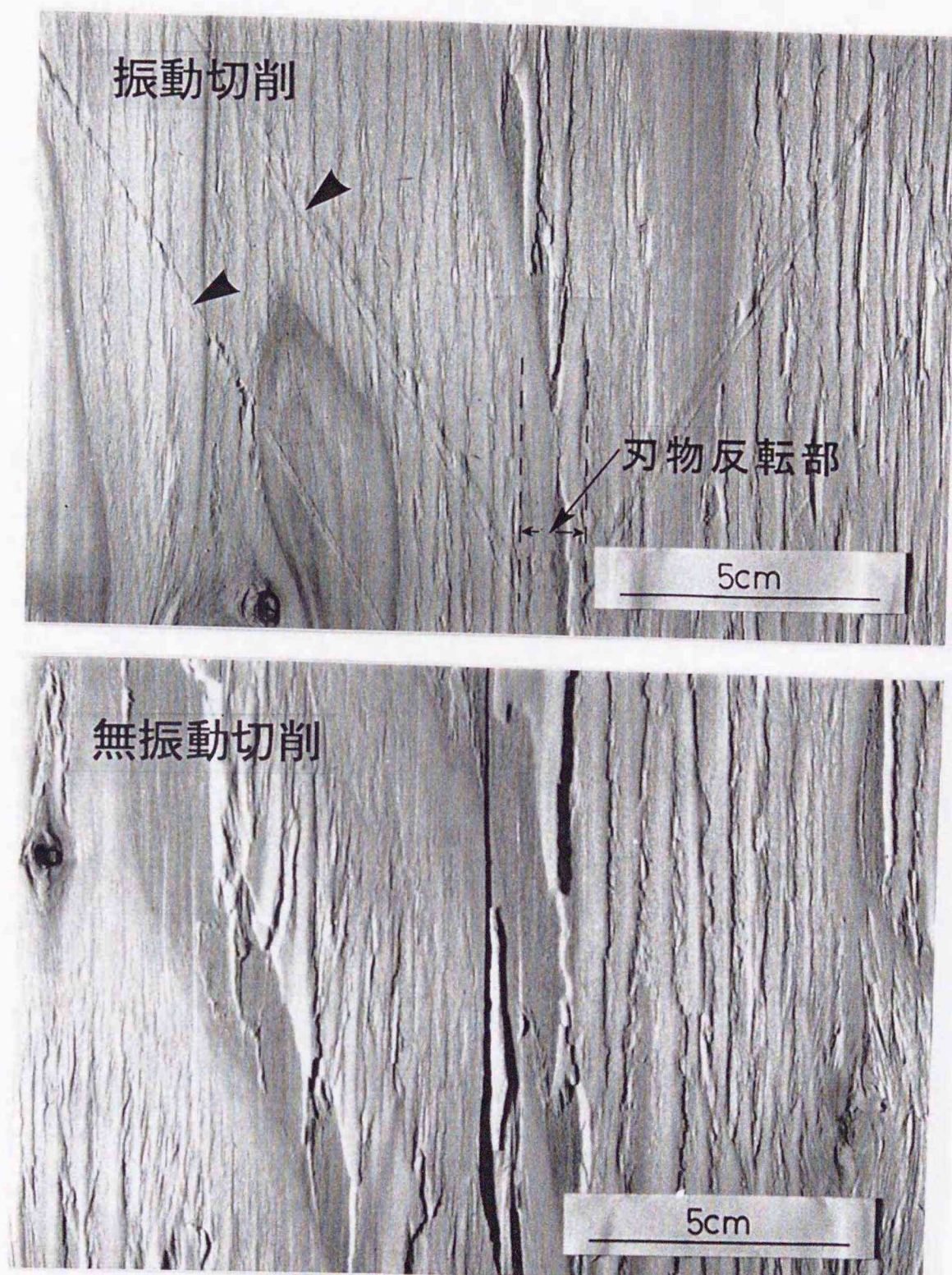


Photo 5-2. スギ単板面の例

生材心材部の順目切削部分。矢頭：
刃こぼれの軌跡。

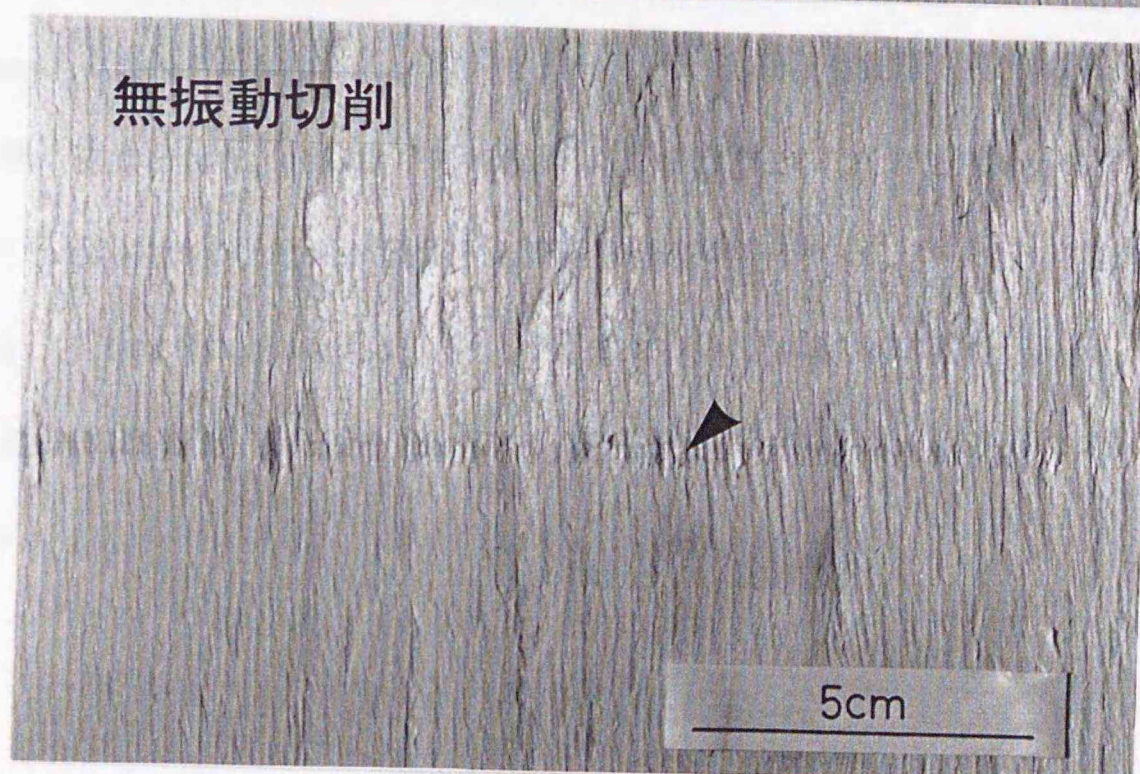
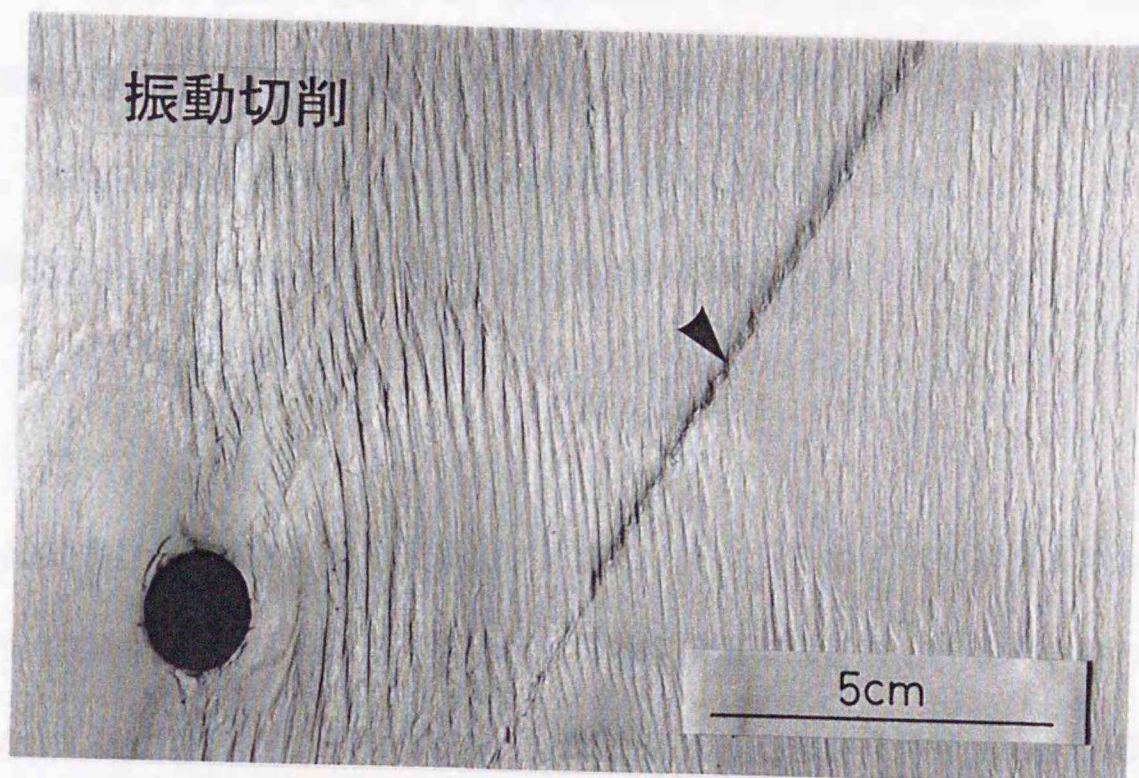


Photo 5-3. ヒノキ単板面の例
心材部の逆目切削部分。矢頭：
刃こぼれの軌跡。

単板は原木1回転ごとに切断し、原木の外側から順に番号をつけた。そして、前述の $\tan \theta$ を刃こぼれの軌跡より求めた後、切削方向に対して年輪が平行、順目、逆目となる部位（以下、平行、順目、逆目と略す、Fig. 3-1 参照）を選んで、測定用試験片を切り出した。なお、Photo 5-2 に示したように、刃物の反転時には刃物の横方向の動きが一時的に停止したために、単板面が粗くなっていた。そこで、試験片の測定部位に刃物反転部を含まないように留意した。また、節や年輪の乱れの大きい部位や単板表面を晩材部が大きく占める部位についても除外した。

実験①

長さ4 mの福島県棚倉産のスギ丸太および愛媛県産ヒノキ丸太それぞれ1本を長さ30 cmに玉切りし、スギで玉切り材7本、ヒノキでは玉切り材6本を供試原木とした。玉切り後の原木径はスギ34 cm、ヒノキ27 cmで、スギの平均年輪幅と容積密度は樹心部から半径5 cmの部分を除いてそれぞれ3.9 mm、0.28 g/cm³であった。刃先とノーズバー先端との距離（刃口間隔）は、3.0、2.9、2.8 mmの3水準に変化させた。刃口水平方向間隔はそれぞれ2.93、2.84、2.74 mmである。3刃口条件に対してそれぞれ振動切削と対照実験として無振動切削を行い（スピンドル回転数20 rpm）、合計6条件に対してそれぞれ原木1本を用い、その他のスギ1本は刃口間隔3.0 mm、スピンドル回転数40 rpmの条件で振動切削を行った。なお、無振動切削の結果は、第3章で実験②として示したものである。

実験②

長さ4 mの茨城県産スギ丸太3本を長さ30 cmに玉切りして供試原木とした。玉切りの際、丸太の中央部より円盤を採取し、年輪幅、含水率および容積密度の半径方向の変化を調べた。玉切りした原木は急激な乾燥を防ぐため木口面をコーティングし、雨のかからない屋外に約6カ月放置して乾燥させてから実験に供試した。

実験条件とそれに使用した原木の径、丸太の年輪幅および容積密度をTable 5-1と5-2にまとめた。なお、年輪幅と容積密度は、樹心から半径5 cmを除いた部分の平均値を示した。単板歩出し

厚さは 3 mm, 2 mm, 1 mm の 3 条件とし, 刃口間隔は 3 mm 単板では 3.0, 2.9, 2.8, 2.7 mm の 4 条件, 2 mm 単板では 2.0, 1.9, 1.8, 1.7, 1.6 mm の 5 条件, 1 mm 単板では 1.0 mm の 1 条件とした。このうち, 3 mm 厚の刃口間隔 3.0 mm および 2.8 mm の条件ではスピンドルの回転数を 10, 20, 30 rpm の 3 段階に, 2 mm 厚の刃口間隔 2.0 mm の条件ではスピンドルの回転数を 10, 30 rpm の 2 段階に変化させて実験を行った。また, これら 3 つの条件 (3 mm 厚の刃口間隔 3.0 mm および 2.8 mm, 2 mm 厚の刃口間隔 2.0 mm) および 1 mm 厚の条件では, 対照実験として無振動切削の実験も行った。なお, 3 mm 厚の刃口間隔 3.0 mm の条件における無振動切削の結果は, 第 3 章で実験⑤として示したものである。

Table 5-1. 実験条件(実験②)とそれに用いた原木の概要

単板歩出し 厚さ(mm)	3	3	3	3	2	2	1
刃口間隔(mm)	3.0	2.9	2.8	2.7	2.0	1.9-1.6	1.0
スピンドル 回転数(rpm)	10, 20, 30	20	10, 20, 30	20	10, 30	30	30
原木本数 ^{a)}	5	1	5	1	3	4 ^{c)}	2
原木長径(cm)	28-30	30	27-30	28	27-30	27-30	29-30
原木短径(cm)	27.5-29	28.5	25-28	27	26-29	26-29.5	29-30
丸太 ^{b)}	C	A	A	A	B	B	B

^{a)} 長さ 30 cm, 本数は無振動切削用も含む。

^{b)} Table 5-2 参照 (長さ 4 m)。

^{c)} 4 刃口条件につきそれぞれ 1 本ずつ使用。

Table 5-2. 供試木として用いたスギ丸太の諸元(実験②)

丸太 ^{a)}	A	B	C
年輪幅 (mm)	2.2	2.4	2.7
容積密度(g /cm ³)	0.30	0.32	0.32

^{a)} 長さ 4 m。

注) 樹心 (pith) から半径 5 cm の部分を除いた平均値。

5.2.3 測定方法

各試験片について, 第 3 章と同様の装置および手法で含水率, 単板面粗さ, 年輪傾斜角, 裏割れ

率、裏割れ間隔、単板内における晩材の位置を測定した。生原木については（実験①）すべての項目について測定したが、乾燥原木では（実験②）裏割れに関する項目の測定は行わなかった。年輪傾斜角は年輪が単板裏面と平行な場合を 0° 、切削方向に対して年輪が順目の場合をプラス、そして逆目の場合をマイナスとした。また、実験①（生原木）の刃口間隔が 3.0 mm でスピンドル回転数が 20 rpm の条件について、第 3 章と同じ装置および手法で、早材部の仮道管径および仮道管の壁厚（double wall）を顕微鏡像から画像解析装置を用いて測定し、単板面粗さとの関係を調べた。単板内における晩材の位置による影響については、同じく実験①（生原木）の刃口間隔 3.0 mm の条件（スピンドル回転数 20 rpm）についてのみ測定した。

5.3 切削速度に対する刃物の横方向速度の比($\tan \theta$)による影響

5.3.1 単板面粗さの変化

Fig. 5-2 に切削方向と年輪が平行な場合の $\tan \theta$ による単板面粗さの変化の 1 例（刃口間隔 3.0 mm）を示す。なお、第 3 章で述べたように、無振動切削の場合、スギ生材では含水率によって単板面粗さが変化し、含水率の高い辺材部では面粗さが小さく、含水率の低い心材部では面粗さが大きくなる。また、スギ乾燥原木では辺材部で仮道管径が大きいために単板面が粗く、逆に心材部で仮道管径が小さいために単板面粗さが小さくなる傾向がある。そこで、測定結果は生原木、乾燥原木ともに辺・心材別に図示した。

面粗さは $\tan \theta$ の増加にともなって減少し、両樹種とも、また、順目および逆目切削の場合にもその傾向は同じであった。しかし、その減少の割合はヒノキに比較してスギの場合に大きくなっていた。また、スギ生材では心材で減少率が高く、スギ気乾材では逆に辺材で減少率が高くなっていた。いずれも無振動切削の場合に早材部のつぶれによって面粗さが大きくなる条件で、これらの部分で面粗さが減少することは早材部のつぶれが抑制されたことを示唆している。

面粗さの減少傾向は $\tan \theta$ の増加とともに最初はやや大きく減少し、その後は減少の割合が小さ

くなっていた。この傾向は横振動切削や引き切り切削*における切削抵抗の変化の傾向（浜本：1972b, 杉山：1986）に似ており、面粗さと切削抵抗との間に正の相関がある可能性を示唆している。また、振動による切削抵抗の主分力の軽減効果を示す実験式から、加藤（1978b）は切削速度比（工具の最大振動速度／切削速度）が少なくとも1以上で振動切削の効果が認められると指摘している。これと同様に、 $\tan \theta$ による単板面粗さの変化の傾向（Fig. 5-2）から、切削速度比（ここでは $\tan \theta$ ）が少なくとも1以上であればじゅうぶんな面粗さの低減効果が現れることをよみとることができる。

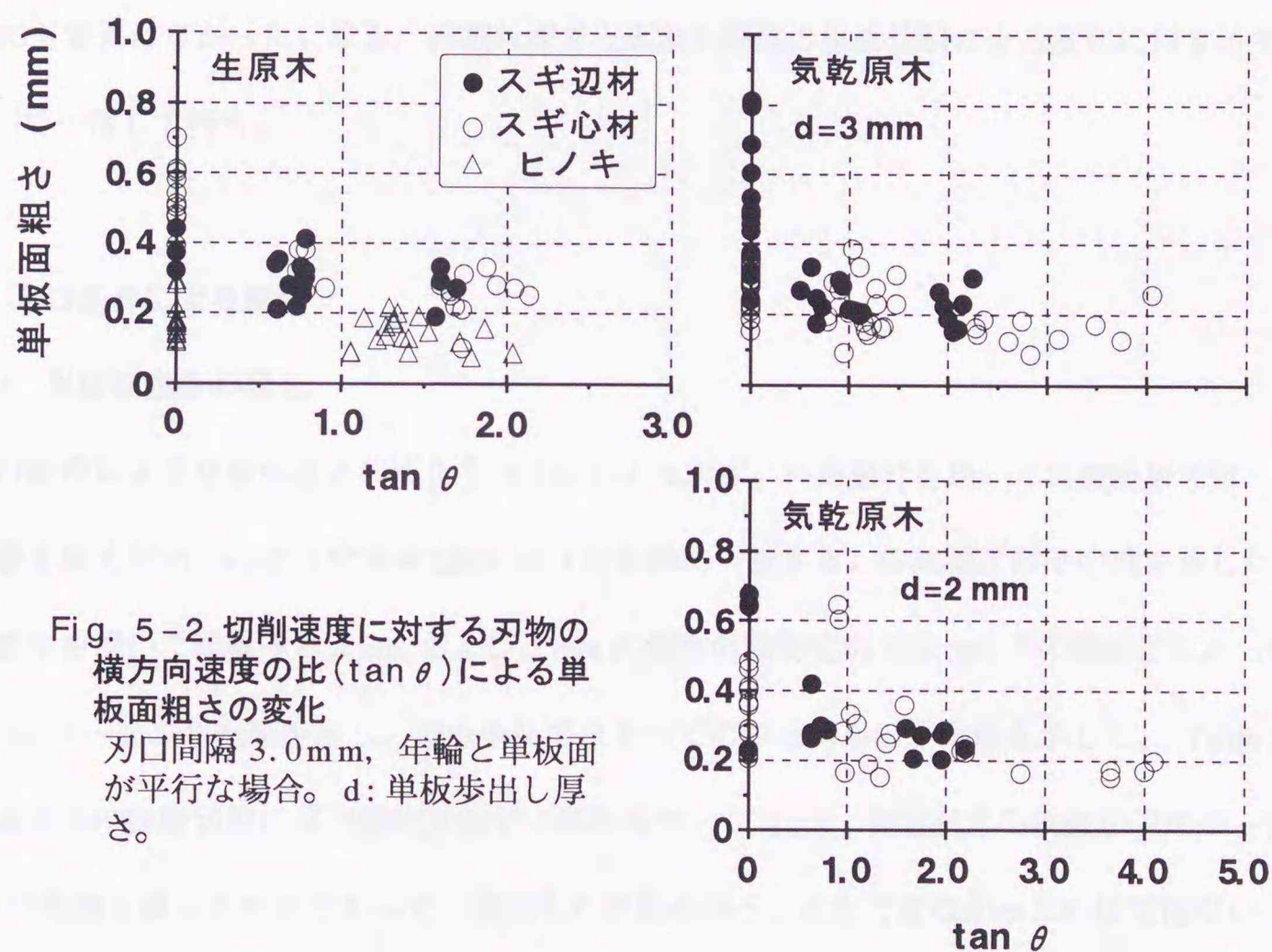


Fig. 5-2. 切削速度に対する刃物の横方向速度の比($\tan \theta$)による単板面粗さの変化
刃口間隔 3.0 mm, 年輪と単板面が平行な場合。d: 単板歩出し厚さ。

5.3.2 裏割れ深さおよび裏割れ間隔の変化

年輪が平行な場合の切削速度に対する刃物の横方向速度の比（ $\tan \theta$ ）による裏割れ率および裏割れ間隔の変化の1例を Fig. 5-3 に示す。第3章で述べたように、裏割れ深さおよびその間隔は含

*刃物を刃先線の片方向に移動させながら切削する方式。

水率の影響を受けないので、ここでは辺・心材を分けずに平均した。なお、裏割れの測定は生原木についてのみ行っており、乾燥原木では測定していない。

裏割れ率は振動切削を行うことによりやや増加し、振動切削と無振動切削との差は統計的に有意であった。しかし、面粗さの場合と比較して裏割れ率の振動切削と無振動切削との差は小さかった。この傾向は他の刃口条件、年輪傾斜角条件（順目および逆目）およびヒノキについても同様であった。各条件における裏割れ率の平均値を Table 5-3 に、裏割れ間隔の平均値を Table 5-4 に示す。無振動切削に対する振動切削の裏割れ率の比の平均値は両樹種とも 1.18 であり、樹種間における振動切削による変化の程度には差がなかった。一方、裏割れ間隔については振動切削と無振動切削の間に有意差はなかった。なお、裏割れ深さと裏割れ間隔の振動切削による変化に対する考察は、「5.9」で一括して行う。

5.4 刃口条件による影響

5.4.1 単板面粗さの変化

刃口条件による単板面粗さの変化を Table 5-5 に示す。スギ生材を用いた実験結果では、自由水の影響を除くために心材（含水率 100% 以下の条件に一致する）の試験片の平均値を示した。また、乾燥原木を用いた単板厚さ 3 mm および 2 mm の条件の振動切削では $\tan \theta$ の範囲が広がったため、 $\tan \theta$ が 1 ～ 2 の平均値を示し、他の条件ではすべての測定結果の平均値を示した。Table 5-5 中の乾燥原木の振動切削に測定値の欠損が一部あるが、これは、測定試片の枚数が少なかった上に $\tan \theta$ の範囲を限ったためであって、連続した単板を得ることができなかったわけではない。なお、ここに示した乾燥原木を用いた無振動切削の実験結果は、単板歩出し厚さ 3 mm で刃口間隔が 3.0 mm の条件と単板歩出し厚さ 2 mm で刃口間隔が 2.0 mm の条件について示したが、このほかにも単板歩出し厚さ 3 mm で刃口間隔が 2.8 mm の条件と単板歩出し厚さ 1 mm で刃口間隔が 1.0 mm の条件についても無振動の条件で実験を試みた。しかし、これらの条件では頻発する刃詰まり（刃口に木材の碎片が詰まる現象）のため連続した単板を得ることができなかった。

面粗さは刃口を狭くした条件で小さくなる傾向があった。しかし、両樹種とも刃口条件による面

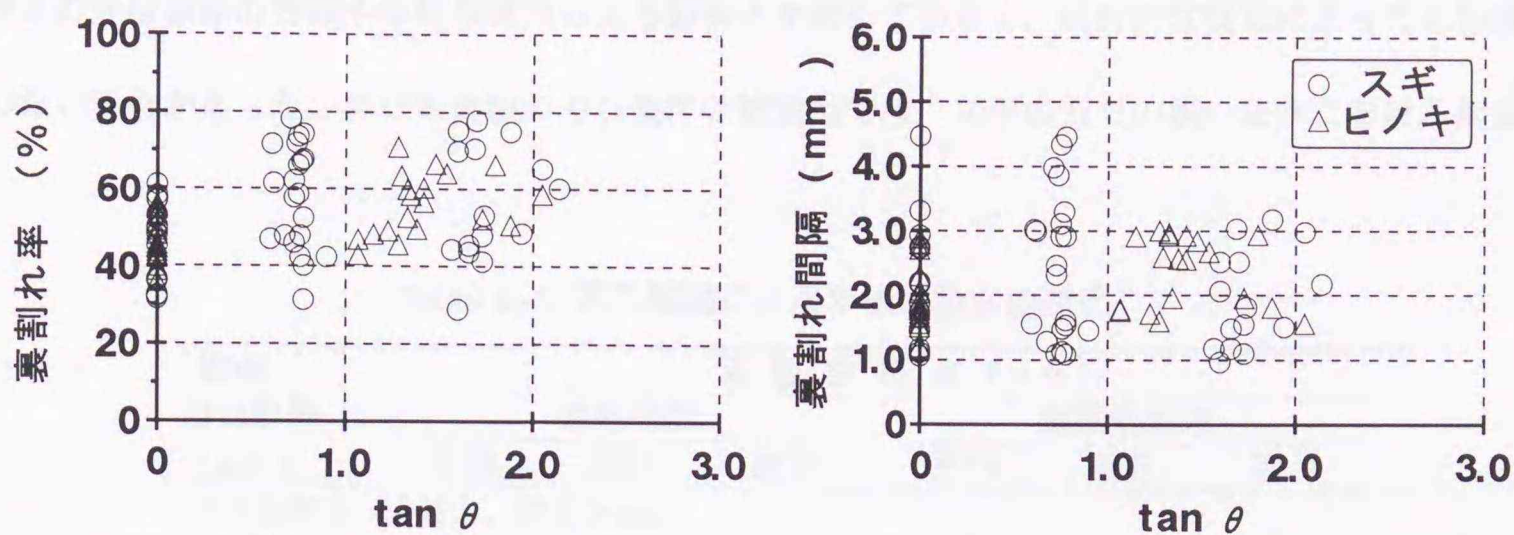


Fig. 5-3. 切削速度に対する刃物の横方向速度の比($\tan \theta$)による裏割れ率および裏割れ間隔の変化
刃口間隔 3.0 mm, 年輪と単板面が平行な場合。

Table 5-3. 刃口間隔による裏割れ率の変化

樹種 刃口間隔 (mm)	裏割れ率 (%)					
	振動切削			無振動切削		
	平行	順目	逆目	平行	順目	逆目
スギ						
2.8 ^{a)}	60	52	54	45	43	46
2.9 ^{a)}	57	52	52	48	46	49
3.0 ^{a)}	56	53	57	46	47	47
3.0 ^{b)}	57	51	61	-	-	-
ヒノキ, $\tan \theta$: 0 (無振動), 1.07 ~ 2.22						
2.8	49	45	49	42	39	42
2.9	50	43	52	46	46	48
3.0	56	57	65	47	40	46

^{a)} $\tan \theta$: 0 (無振動), 1.42 ~ 2.14

^{b)} $\tan \theta$: 0.7 ~ 0.97

Table 5-4. 刃口間隔による裏割れ間隔の変化

樹種 刃口間隔 (mm)	裏割れ間隔 (mm)					
	振動切削			無振動切削		
	平行	順目	逆目	平行	順目	逆目
スギ						
2.8 ^{a)}	2.2	1.5	1.9	2.1	1.9	2.1
2.9 ^{a)}	2.3	1.9	2.2	2.1	1.9	2.5
3.0 ^{a)}	1.9	2.1	3.1	2.2	2.2	2.6
3.0 ^{b)}	2.5	1.9	2.7	-	-	-
ヒノキ, $\tan \theta$: 0 (無振動), 1.07 ~ 2.22						
2.8	1.9	1.7	1.9	1.8	1.5	2.0
2.9	1.8	1.7	2.0	1.9	1.9	2.1
3.0	2.4	1.9	2.6	2.0	1.6	2.3

^{a)} $\tan \theta$: 0 (無振動), 1.42 ~ 2.14

^{b)} $\tan \theta$: 0.7 ~ 0.97

粗さの差は振動の効果や年輪傾斜角による影響と比較して小さく、統計的な検定によっても有意差のない場合があった。特に本実験の刃口条件の範囲内では、スギの刃口の狭い条件における無振動

Table 5-5. 刃口間隔による単板面粗さの変化

樹種 刃口間隔 (mm)	単板面粗さ (μm)					
	振動切削			無振動切削		
	平行	順目	逆目	平行	順目	逆目
スギ生原木 (心材), 厚さ 3 mm						
2.8 ^{a)}	246	208	349	400	419	464
2.9 ^{a)}	319	247	452	490	544	550
3.0 ^{a)}	251	224	478	538	551	656
3.0 ^{b)}	317	352	384	—	—	—
スギ乾燥原木 (辺材), 厚さ 3 mm, $\tan \theta : 0$ (無振動), $1 < \tan \theta < 2$						
2.7	246	209	295	—	—	—
2.8	253	290	348	—	—	—
2.9	381	289	464	—	—	—
3.0	218	217	307	501	477	528
スギ乾燥原木 (心材), 厚さ 3 mm, $\tan \theta : 0$ (無振動), $1 < \tan \theta < 2$						
2.7	216	—	—	—	—	—
2.8	195	195	248	—	—	—
2.9	249	197	355	—	—	—
3.0	227	160	304	278	263	270
スギ乾燥原木 (辺材), 厚さ 2 mm, $\tan \theta : 0$ (無振動), $1 < \tan \theta < 2$						
1.6	220	209	275	—	—	—
1.7	189	334	287	—	—	—
1.8	—	412	324	—	—	—
1.9	—	—	327	—	—	—
2.0	244	224	282	547	556	496
スギ乾燥原木 (心材), 厚さ 2 mm, $\tan \theta : 0$ (無振動), $1 < \tan \theta < 2$						
1.6	125	155	166	—	—	—
1.7	160	142	204	—	—	—
1.8	155	158	153	—	—	—
1.9	—	156	295	—	—	—
2.0	265	184	285	329	375	369
スギ乾燥原木 (辺材), 厚さ 1 mm, $\tan \theta : 0.81 \sim 1.03$						
1.0	258	288	310	—	—	—
スギ乾燥原木 (心材), 厚さ 1 mm, $\tan \theta : 0.83 \sim 1.31$						
1.0	163	152	198	—	—	—
ヒノキ, $\tan \theta : 0$ (無振動), $1.07 \sim 2.22$						
2.8	119	93	149	141	132	231
2.9	121	92	201	172	158	206
3.0	136	125	214	172	138	301

^{a)} $\tan \theta : 0$ (無振動), $1.42 \sim 2.14$

^{b)} $\tan \theta : 0.7 \sim 0.97$

切削の場合の面粗さは、刃口の広い条件の振動切削の場合と比べてもかなり大きい。たとえ刃口間隔を狭くしてスギ単板の面粗さをより小さくしたとしても、それが単板の厚さむら、刃詰まり、スピンドルの空転などの悪影響をもたらすことが予想できるため、刃口間隔をあまり狭くすることは得策ではない。一方、ヒノキの場合には振動を行わない条件でも単板面は比較的滑らかで、振動切削を行うメリットはスギに比べて少ない。

単板歩出し厚さ 3 mm で刃口間隔が 2.8 mm の条件で無振動切削を行った場合、連続した単板を得ることは生の状態の原木からは可能であったが、乾燥した状態の原木では不可能であった。このことからわかるように、一般に乾燥状態の原木を用いて単板切削を行うことは難しいとされている。第2章で述べたように、単板歩出し厚さが 1 mm の条件では原木が生材状態で刃先がシャープな状態であっても連続した単板を得ることが難しかった。それにもかかわらず、振動切削を行うことにより乾燥状態の原木からでも厚さ 1 mm の単板を得ることができたことは、振動切削の有効性を示していると考える。いったん乾燥してしまった丸太を再び生状態と同等の水分状態に戻すことは非常に難しく、したがって、通常は切削困難な乾燥した丸太を単板切削に用いることはない。しかし、振動切削を採用することにより、乾燥状態の丸太でも単板切削用原木として用いることが可能となることが明らかになった。

5.4.2 裏割れ深さおよび裏割れ間隔の変化

刃口間隔の条件を変化させた場合の裏割れ率および裏割れ間隔の平均値を、年輪傾斜角別（平行、順目、逆目）に Table 5-3 および 5-4（いずれも前出）に示した。「5.2 実験方法」で述べたように、裏割れの測定は生状態の原木を用いた実験についてのみ行った。

スギでは刃口間隔を変化させても裏割れ率および間隔の変化は小さく、各刃口条件の間に有意差はなかった。ヒノキでは振動の有無にかかわらず、刃口を狭くすることにより裏割れは浅く、そして裏割れ間隔は狭くなる傾向があった。

振動切削による裏割れ率の増加率は、無振動切削の場合の約 1.2 倍であった。この値の大小については単板の用途によって判断が分かれることと思う。仮に、スギから平滑な単板面を得るために

振動切削を行い、しかも低い裏割れ率を要求される場合には、原木を加熱・軟化させて切削することが有効であろう。これについて筆者は実験を行っていないが、 60°C の比較的低温の処理でも水中浸せき材の場合の70%程度にまで裏割れ率が減少すると報告されており（中田：1992），振動切削による裏割れ率の増加量を十分に抑えることができると判断する。

5.5 含水率による単板面粗さへの影響

Fig. 5-4 に、刃口間隔 3.0 mm における年輪傾斜角別のスギ単板面粗さの測定結果を示した。無振動切削の結果はすでに Fig. 3-7 に示した第3章の実験②の結果である。

スギの年輪が平行および順目の場合には、無振動切削で含水率が低い場合に単板面が粗くなる傾向が、振動切削を行うことにより、含水率の低い部分の面粗さが大きく減少し（Photo 5-2 前出），含水率による面粗さの差がなくなった。一方、逆目切削部分では、無振動切削および振動切削のいずれの条件でも含水率による明らかな差はなかった。

ヒノキでは無振動切削および振動切削のどちらの場合にも、含水率による変化は観察できなかった。また、辺材部および心材部ともに振動切削によって面粗さは低下し、その減少の割合はスギに比較して低かった（Photo 5-3）。たとえば、スギの含水率の低い部分（100%以下）では平均で無振動切削の場合の61%にまで減少していたのに対して、ヒノキでは73%であった。その理由については次のように解釈する。スギでは含水率が低い部分に生じやすい刃先による早材部のつぶれの発生が刃物の振動によって抑制されるため、面粗さが大きく減少する。それに対して、ヒノキでは無振動切削の条件においても刃先によるつぶれが起きにくいため、振動切削による面粗さの減少率が低くなると考える。

5.6 年輪傾斜角による影響

5.6.1 単板面粗さの変化

年輪傾斜角によるスギおよびヒノキ単板面粗さの変化の例を Fig. 5-5 に示す。スギ生原木については含水率が100%以下のものだけを示し、乾燥原木については辺・心材別に結果を示した。

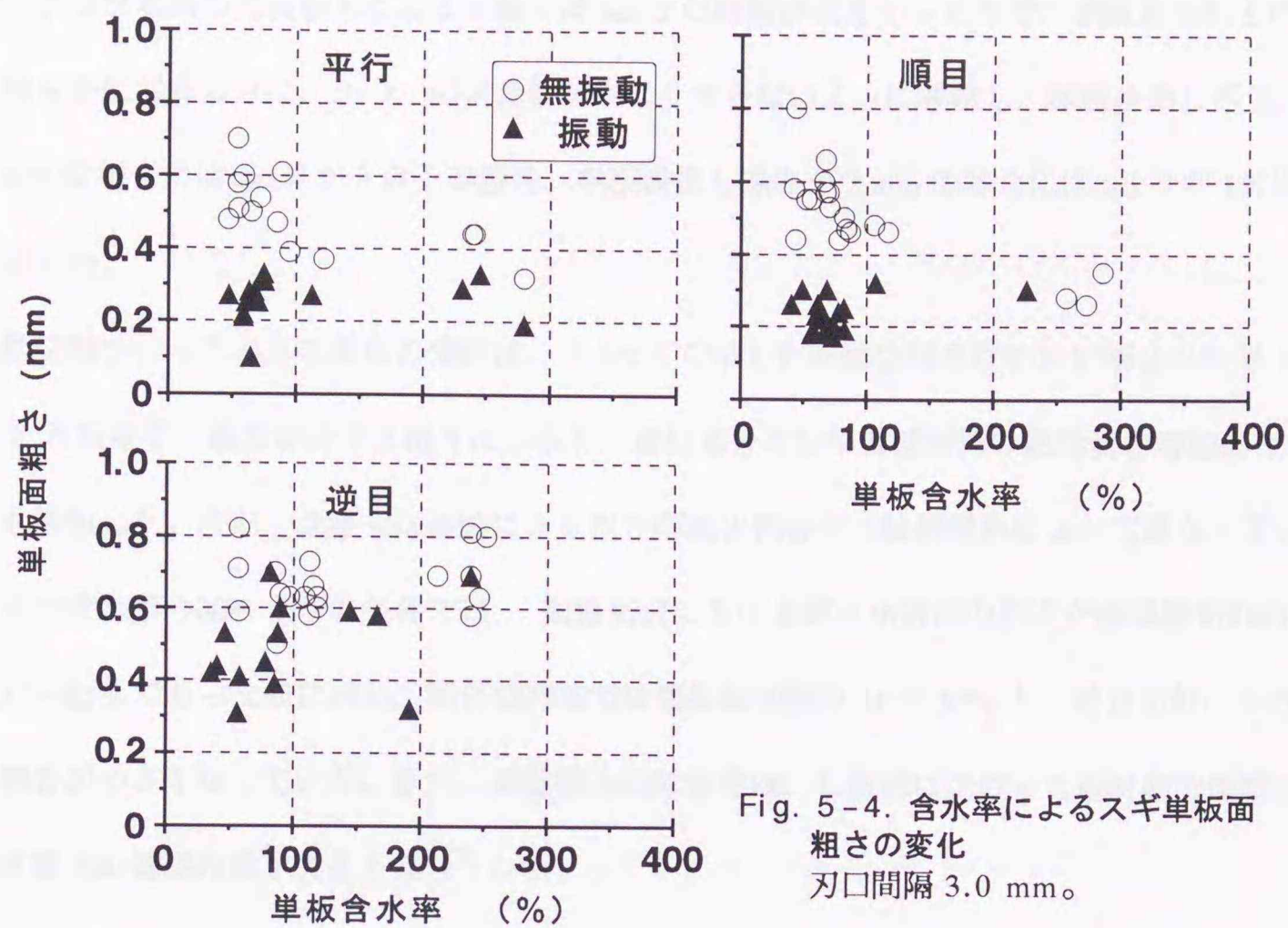


Fig. 5-4. 含水率によるスギ単板面粗さの変化
刃口間隔 3.0 mm。

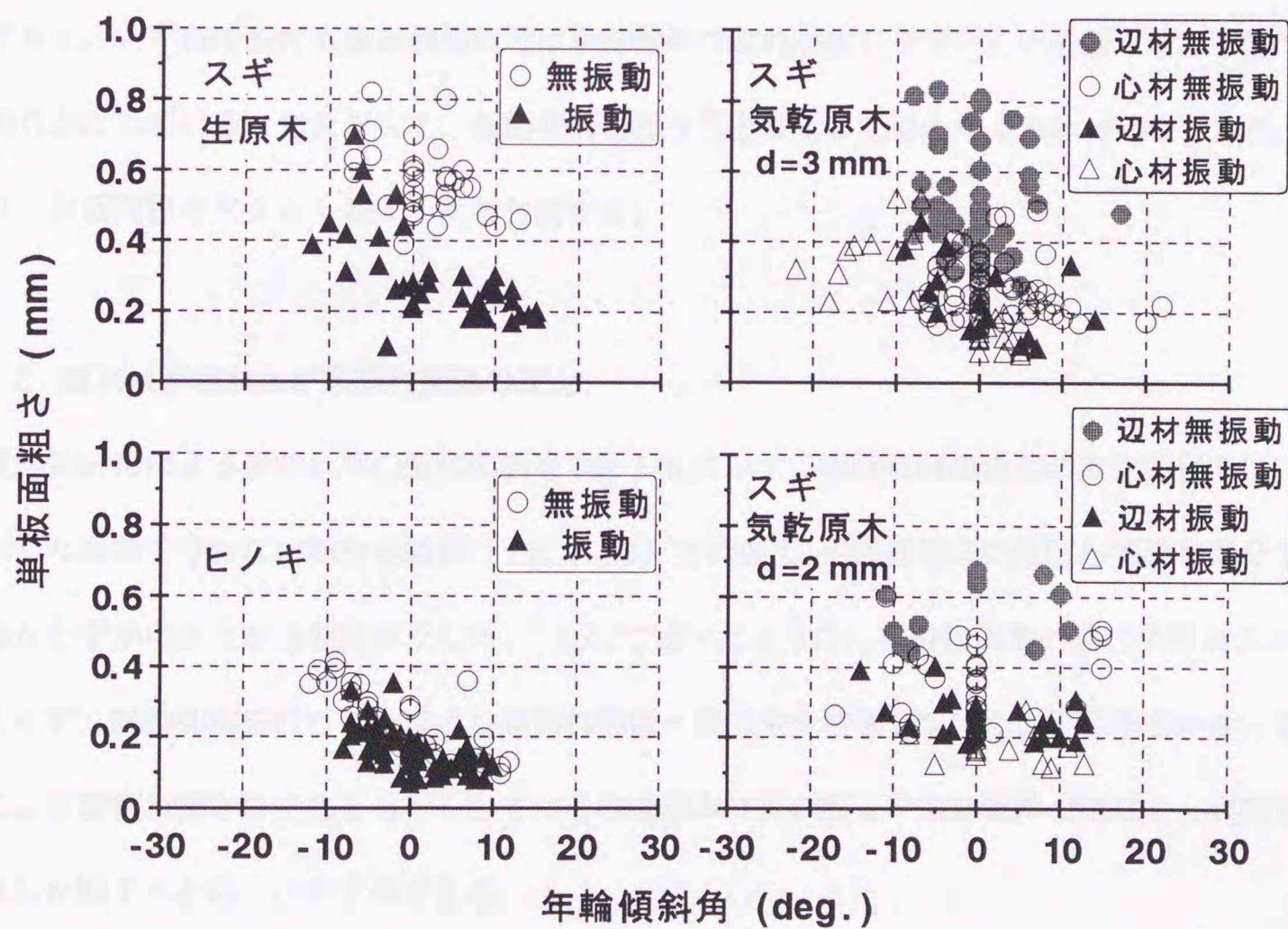


Fig. 5-5. 年輪傾斜角による単板面粗さの変化
刃口間隔 3.0 mm, d: 単板歩出し厚さ。

なお、グラフ右側の乾燥原木による実験では $\tan \theta$ の範囲が大きかったので、無振動切削との差がより明らかになるように、かつ、測定値数が少なくならないように考慮し、単板歩出し厚さ (d) が 3 mm の場合には $\tan \theta$ が 2 以上の値を、単板歩出し厚さが 2 mm の場合には $\tan \theta$ が 1.6 以上の値を示した。

振動切削を行った場合の変化の傾向は、「3.5」で示した振動切削を行わない場合の結果 (Fig. 3-11) と同様で、順目部分では粗さは小さく、逆目部分では年輪傾斜角の絶対値の増加とともに粗さも増加した。また、スギでは振動による粗さの減少割合が年輪傾斜角によって異なっていた。生原木の含水率 100% 以下の条件では、振動切削における逆目切削部の粗さが無振動切削の場合の 73 ~ 82% であったのに対し、順目切削部では無振動切削の 41 ~ 50% と、逆目切削における減少の割合が小さくなっていた。また、気乾原木の結果では、心材部に比較して辺材部で振動による単板面粗さの低減効果が大きくなっていた。

面粗さの低減効果が大きくなるのは含水率が低い材部の順目条件および含水率が低い場合の辺材部であり、いずれの条件も無振動切削では早材部のつぶれが生じやすいことを第 3 章においてすでに明らかにしている。したがって、振動切削を行うことによって刃先による早材部のつぶれが抑制され、単板面粗さが大きく減少したと判断する。

5.6.2 裏割れ深さおよび裏割れ間隔の変化

年輪傾斜角による裏割れ率の変化の例を Fig. 5-6 に示す。振動切削の場合の変化の傾向は、「3.5」で示した振動を行わない場合の結果 (Fig. 3-12) と同様で、順目部分に比較して逆目部分で裏割れ率がわずかに高くなる傾向を示した。「5.3」で述べたように、年輪傾斜角、刃口条件および樹種によらず、振動切削を行うことにより裏割れ率は一様にやや増加していた。この事実から、振動切削による裏割れ深さの変化をもたらしているのは原木材質の因子や切削条件ではなく、実験装置に関連した因子であることが予想できる。

年輪傾斜角による裏割れ間隔の変化の例を Fig. 5-7 に示す。裏割れ間隔の測定結果は、年輪傾斜角と裏割れ率との間の関係と同様の傾向があり、裏割れ深さと裏割れ間隔が比例する一般的な傾向

(木下: 1984) を示した。また、「5.3」で述べたように、振動切削と無振動切削との間に裏割れ間隔の明らかな差はなかった。

裏割れ率と裏割れ間隔との関係を調べた例を Fig. 5-8 に示す。振動切削と無振動切削の場合の測定点は異なる回帰線の回りに分布していると判断できる。これは、振動切削を行うことにより裏割れ率は増加し、一方、裏割れ間隔は変化しないためである (Fig. 5-3)。

振動切削による裏割れ深さの変化および裏割れの深さと間隔との関係の変化については、節をあらためて「5.9」で議論を行う。

5.7 単板内における晩材の位置による裏割れ深さへの影響

「3.6」では、裏割れの先端と晩材部との位置関係を明らかにするため、単板裏面と年輪界および裏割れ先端との距離 (Fig. 3-1 中の a および b) を各裏割れについて測定し、スギおよびヒノキにおける両者の関係を図示した (Fig. 3-16)。本章においても、これと同様に、裏割れ深さに対する晩材の影響の振動切削による変化を調べ、その結果の 1 例 (刃口間隔 3.0 mm, 順目切削条件) を Fig. 5-9 に示した。単板裏面と年輪界および裏割れ先端との距離は、それぞれ単板厚さ (c) との比で表した (Fig. 3-1 参照)。裏割れ先端が年輪界を越えた場合には $a < b$ 、年輪界上にある場合には $a = b$ 、年輪界を越えない場合には $a > b$ となり、グラフ上ではそれぞれ $a = b$ の破線より上、破線上、破線より下に測定点が分布することになる。

樹種による傾向の違いは「3.6」で示した結果と同様で、スギでは裏割れが年輪界付近で止まる傾向が強く、一方、ヒノキでは裏割れ深さに対する晩材部の位置の影響は非常に小さかった。この傾向は振動切削および無振動切削の場合にも同じであったが、裏割れは無振動切削に比べて振動切削の方が明らかに深くなっていた。すなわち、スギでは無振動切削に比較して振動切削の場合に $a < b$ となるグラフの破線 ($a = b$) より上側に測定点が多く分布し、一方、ヒノキでは、無振動切削では b/c が 0.5 前後に分布し、振動切削では b/c が 0.6 前後に分布していた。

振動切削を行わない場合に裏割れ深さに対して最も影響を及ぼす因子は、晩材部 (年輪界) の位置であることを第 3 章で明らかにした。このように、振動切削を行うことにより、年輪界の位置に

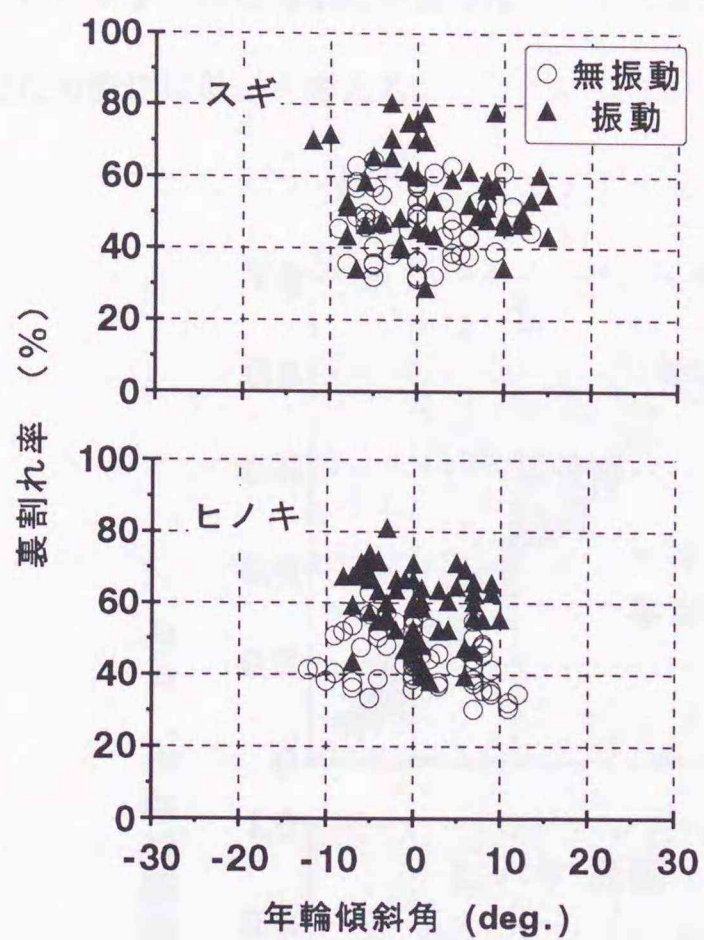


Fig. 5-6. 年輪傾斜角による裏割れ率の変化
刃口間隔 3.0 mm。

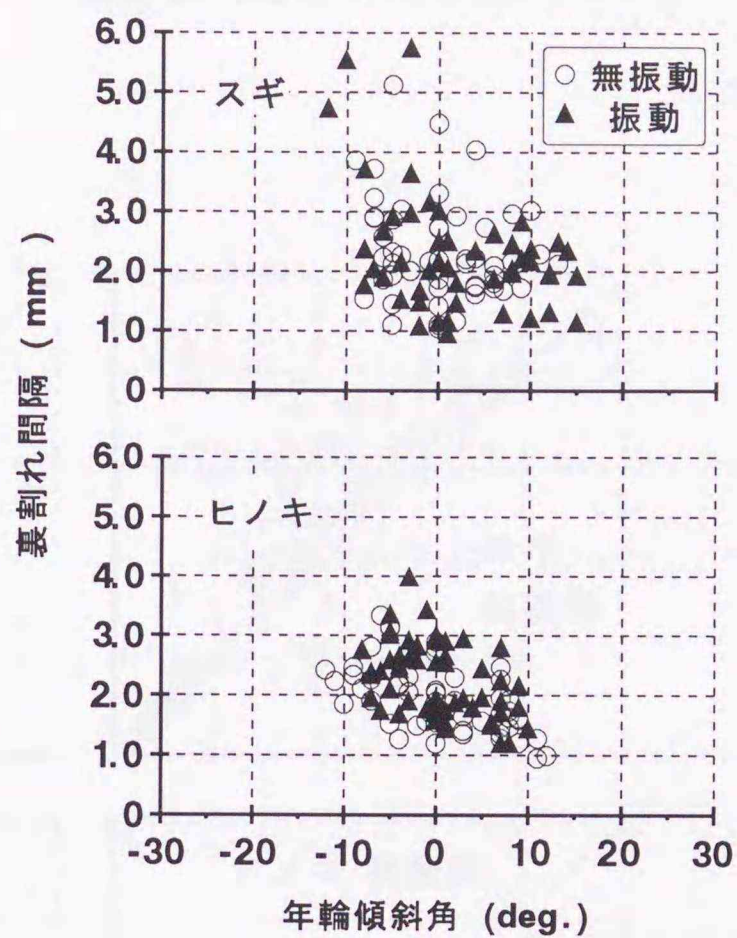


Fig. 5-7. 年輪傾斜角による裏割れ間隔の変化
刃口間隔 3.0 mm。

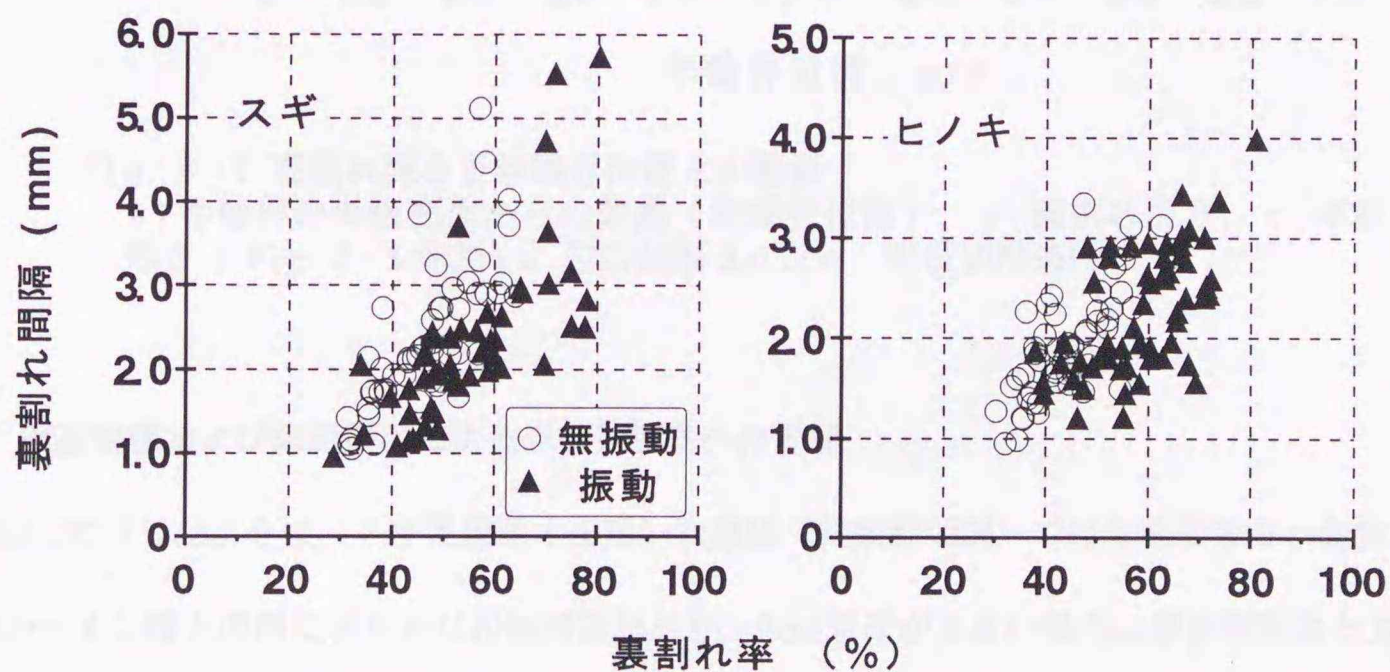


Fig. 5-8. 裏割れ率と裏割れ間隔との関係
刃口間隔 3.0 mm。

かかわらず一様に裏割れが深くなっていたことから、裏割れ深さの増加は原木側の要因によって生じた可能性は低いと考える。

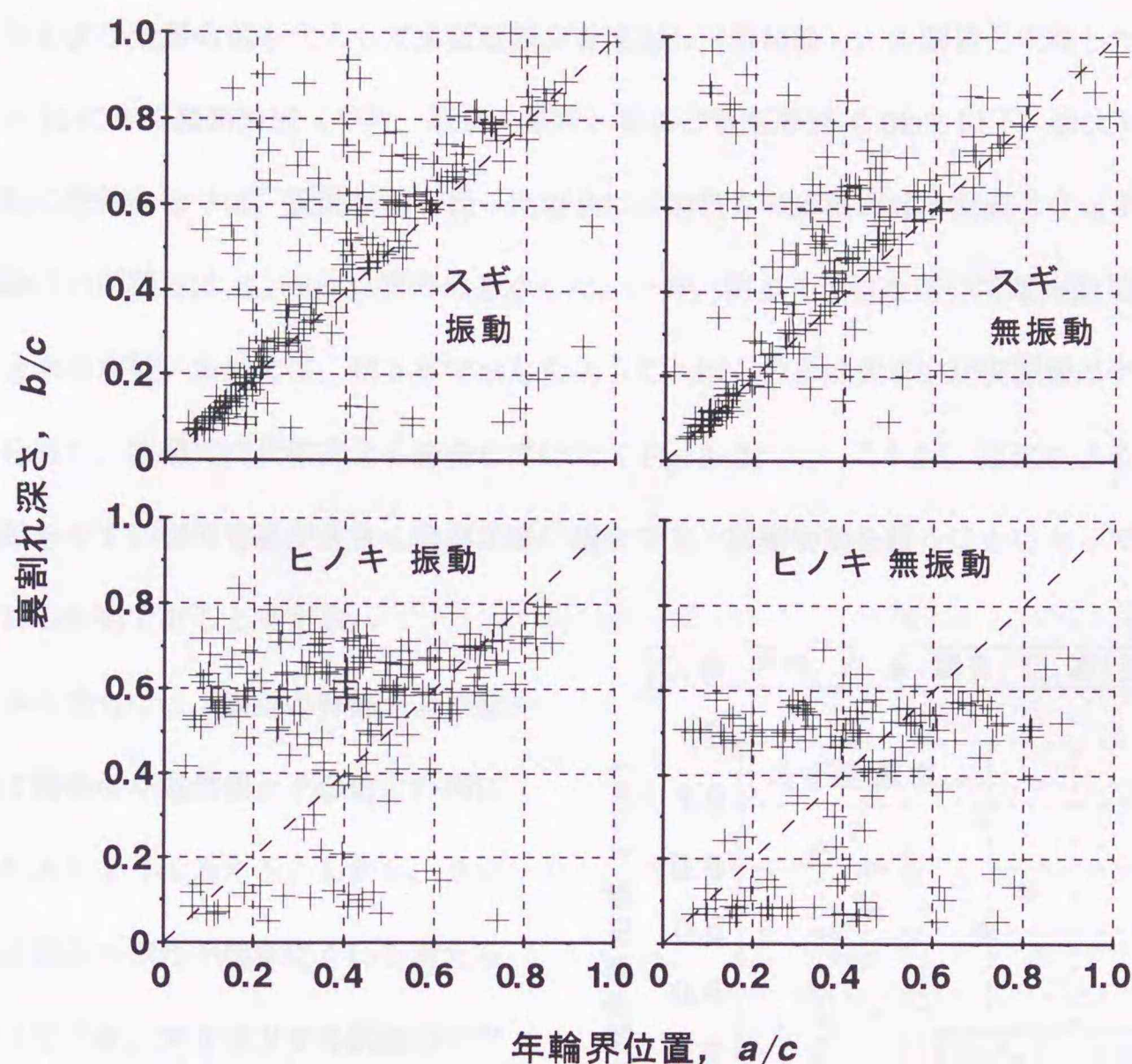


Fig. 5-9. 裏割れ深さと年輪界位置との関係

a: 年輪界の単板裏面からの距離 (年輪界位置), b: 裏割れ深さ, c: 単板厚さ (Fig. 3-1 参照)。刃口間隔 3.0 mm, 順目切削条件。

5.8 仮道管径および細胞壁厚による単板面粗さへの影響

「3.8」で示したように、スギ乾燥原木を用いた実験（無振動切削）では単板面粗さと接線方向仮道管ルーメン径との間に明らかな相関関係があり、仮道管径が大きい場合に単板面粗さが大きくなっていた。また、接線壁の厚さが薄い場合にも単板面粗さが大きくなる傾向があった。

スギを用いて振動切削を行った場合についてもこれらの間の相関関係を統計的に検討したが、明確な関係を見いだすことはできなかった。

スギにおける単板面粗さと接線方向ルーメン径および接線壁厚との間の相関関係をより詳しく検討するために、「3.8」においてスギ乾燥原木による実験（無振動切削）から求めた面粗さと接線方向ルーメン径および接線壁厚との回帰式に今回の実験（振動切削）で測定したスギ生原木におけるルーメン径および壁厚の値を代入して単板面粗さを算出し（算出値），実測値と比較した。その結果を Fig. 5-10 に年輪傾斜角別（平行，順目，逆目）および含水率別（100% 以下，以上）に示す。

逆目切削の条件を除けば，振動切削を行った場合には面粗さの実測値は予測値よりも小さく，すべての試験片の面粗さは 0.2 mm 前後の値を示した。一方，同じく生材を用いて無振動切削を行った場合の含水率が低い条件では，第3章で示したように，ばらつきは大きいが実測値は予測値を中心として分布し，回帰式に比較的良好に適合していた（Fig. 3-21）。これは，刃先による早材部のつぶれが起きやすい仮道管径が大きく壁厚が薄い場合でも，振動切削を行うことによってこの現象が抑えられるためであると考えられる。

逆目切削の場合には，振動の有無および含水率の値に関係なく実測値と予想値との間に正の相関があるように見える。しかし，スギ以外の早材部のつぶれが起きにくいと考えられる樹種（ヒノキ，アカマツや外国産のマツ（高野：1989）など）においても逆目部分で面粗さが大きくなることから，逆目切削条件では刃先による早材部のつぶれの現象とは異なった原因によって単板面が粗くなることかわかる。

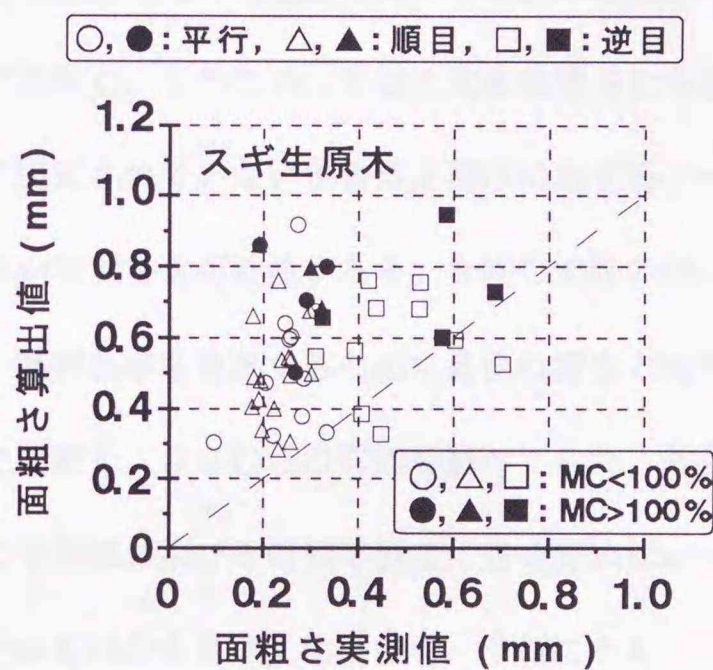


Fig. 5-10. 単板面粗さの実測値と回帰式から求めた算出値との関係
刃口間隔 3.0 mm, MC: 含水率。

5.9 裏割れの変化に対する考察

今回の実験結果から，振動切削を行うことにより裏割れ深さが増加することが明らかになった。しかし，これまでに横振動切削あるいは引き切り切削による裏割れ深さの増加は報告されていない。

この節では、既往の成果と今回の実験結果との相違について考察を進める。

まず最初に、今回と同一の実験装置を用いた既報（木下：1983a）の結果との比較を行う必要がある。そこでは、供試材として北米産の針葉樹材 4 樹種、南洋材 2 樹種および国産広葉樹材 2 樹種を用い、刃口間隔と刃物の振動数を変化させて実験を行っている。そして、樹種によっては振動切削での裏割れ率が高い場合もあるが、全般的には無振動切削と振動切削における裏割れ率の差はない、と結論づけた。ここで問題になるのは、裏割れ深さおよび裏割れ間隔に及ぼす年輪傾斜角の影響である。この時点では測定用試験片の採取に際して年輪傾斜角に注意しておらず、単板の品質がほぼ中庸な部分を選んでいる。このため、振動切削による裏割れ深さの増加が年輪傾斜角による裏割れ深さのばらつきに隠れてしまったと推察する。

裏割れ深さが増加する原因のひとつに、刃口間隔による影響がある。Lutz（1967b）によれば、横振動切削方式を採用した初期のベニヤレースでは切削面に対して垂直方向のナイフの固定が不十分であったために、ナイフの原木への食い込みなどが生じ、そのため、単板に大きな厚さむらが生じた。そこでは触れられていないが、刃物が十分に固定されていない場合には原木に対するノーズバーの適切な圧力を得ることができず、裏割れ深さが増加する可能性がある。今回の実験の際にもこのような現象が生じていないかを確認するため、裏割れ率を算出するために裏割れ深さと同時に測定した単板試験片の厚さの値を各実験条件ごとに比較し、厚さむらの有無を調べてみた。その結果、振動切削および無振動切削における単板厚さの平均値およびその標準偏差に差を認めなかった。したがって、単板の厚さむらが生じるような切削中の刃口の大きな変化はなく、それにともなうノーズバーの圧力低下によって生じる裏割れ深さの増加も起きていないと判断する。

裏割れ深さの増加をもたらす他の要因として、以下に述べるノーズバーの影響をあげることができる。横振動切削を行うことによって裏割れ深さは変化せず裏割れの頻度は増加する、すなわち裏割れ間隔が減少するとした報告（浜本：1972a, McKenzie: 1961）は、いずれもノーズバーを作用させない実験室レベルのものである。それに対して、今回の実験に用いた装置はプレッシャーバーおよびノーズバーは固定したままで、ナイフ・フレームだけを刃先に平行な方向に移動させるものである。横振動切削あるいは引き切り切削（横振動切削と同様に刃物を横方向に移動させる切削方法

であるが、刃物は振動させない）（杉山：1986）では、単板は刃物の移動方向に力（切削力の横分力）を受ける。ノーズバーを固定して振動切削を行った場合には、ノーズバーによる圧縮力が単板に作用して刃物の移動方向への単板の動きを抑制するため、刃口部分の単板は刃先方向、すなわち繊維に平行方向のせん断力を受けることになる。このため単板内への裏割れの進入が促進され、割れが深くなると考える。

一方、裏割れ間隔に与える影響については、今回の実験では振動切削による変化は観察できず、裏割れの頻度が増加するとした前述の報告（浜本：1972a, McKenzie: 1961）と一致しなかった。この理由について、Fig. 5-11 を用いて以下に説明していく。

先に述べた単板内における繊維方向のせん断力が生じない条件（ノーズバーのない条件）で振動切削を行った場合には、裏割れ間隔の減少が観察されている（浜本：1972a, McKenzie: 1961）。今回の実験でも裏割れ間隔が減少する効果が現れていると仮定すると、裏割れ率と裏割れ間隔との関係を表したグラフ上では、測定点は無振動切削と振動切削の条件で異なる回帰線のまわりに分布することになる（Fig. 5-8 参照）。たとえば、Fig. 5-11 中の無振動切削の測定点（実線上の○印）は、振動切削を行うことによって裏割れ間隔が減少して、矢印①の方向に移動して破線（振動切削の回帰線）上に移る。一方、今回のようにノーズバーを作用させて振動切削を行った場合には、単板内のせん断力により裏割れ深さが増加する。一

般に裏割れ深さとその間隔は比例することから

（木下：1984），今回の実験でも裏割れ間隔が広がることが予想でき、Fig. 5-11 中では測定点が破線上を②の方向に移動する。この①と②の2つの効果をあわせると Fig. 5-11 中の測定点は③の矢印の方向に移動することになる。すなわち、振動切削によって裏割れ間隔が減少する効果（浜本：1972a, McKenzie: 1961）と単板内のせん断力

によって増大した裏割れ深さによる裏割れ間隔の増加の効果とが相殺しあい、その結果、振動切削

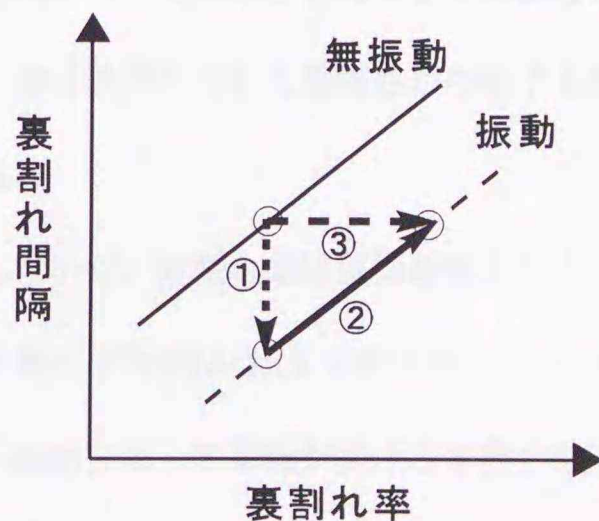


Fig. 5-11 振動切削による裏割れ率と裏割れ間隔との関係の変化
（詳細については本文参照）

と無振動切削の間に裏割れ間隔の差が生じなかったと解釈できる。

5.10 摘要

スギおよびヒノキ材を用いて低周波横振動単板切削を行ない、単板面粗さ、裏割れ深さおよびその間隔の変化に関して次のような振動切削による影響を明らかにした。

スギ材においては、含水率が低い場合および仮道管径が大きい場合に刃先による早材部のつぶれが生じやすく、これが原因となって単板面が粗くなる傾向がある。しかし、振動切削を行うことによって早材部のつぶれが抑制されたため、面粗さは大きく減少し、たとえば、含水率が100%以下の平均では、無振動の場合の61%にまで減少した。一方、ヒノキにおける振動切削の場合の面粗さは平均で無振動の場合の73%と低く、これは、振動を行わない条件においても刃先によるつぶれが生じにくいためと考えた。

面粗さに対する年輪傾斜角の影響は振動切削を行った場合も明らかで、順目切削に比べて逆目切削条件で単板面は粗かった。また、スギの振動切削による面粗さの低減効果の大きさは、年輪傾斜角によって異なっており、たとえば、生材の含水率が100%以下の場合、無振動切削に対する振動切削の面粗さは、逆目切削では73～82%、順目切削では41～50%であった。

刃口間隔を狭くすることによる面粗さの低減効果は、振動あるいは年輪傾斜角による影響と比較して小さかった。より平滑な単板を得るためには、今後、逆目条件において面粗さが増加する機構を明らかにし、これを抑制する方法を見いだす必要がある。

裏割れ間隔については振動切削によってほとんど変化しないが、裏割れ率は振動切削を行うことにより増加し、無振動切削に対する振動切削の裏割れ率の比の平均値は1.18であった。これは、固定されて動かないノーズバーを作用させた場合、刃物の振動によって単板が受ける切削力の刃物の移動方向の分力（横分力）とノーズバーの単板への圧縮力とによって刃物と単板の間およびノーズバーと単板の間に繊維方向の摩擦力が発生し、これらによって生じた単板内のせん断力によって裏割れ深さが増加したものと推察した。

第6章 総合考察

本論文では、国産針葉樹材のなかからスギ、ヒノキ、アカマツの3樹種を供試材料としてとりあげ、単板品質（単板面粗さおよび裏割れ深さとその間隔）に及ぼす原木材質の影響を明らかにすることを主たる目的とした。この目的に内容を絞って、以下に各章の要点をまとめた。

第2章では、上記3樹種のロータリー単板切削試験の結果を従来からの観点である切削条件（刃物角や刃口条件）から検討し、各樹種の切削性を明らかにした。スギ単板では面粗さに対して含水率と年輪幅が影響し、裏割れに関しては辺・心材間で深さと間隔が異なっていた。ヒノキおよびアカマツでは年輪に対して順目切削と逆目切削の条件の間で単板面粗さおよび裏割れ深さが変化した。これらすべての変化は、刃口条件による変化に比べて大きかった。このほか、スギ単板面の粗さが大きくなる原因は、刃先によって早材部がつぶれて単板面から剥離するためであることを明らかにした。

第3章では、前章の結果を受けて原木の材質と単板品質との関係について詳細な検討を行った。単板品質に影響を及ぼす原木側の材質因子として、含水率、年輪（幅、角度など）、単板における繊維接触角および仮道管径と壁厚についてとりあげた。そのなかでも影響が明らかであったのは、①スギ単板面粗さに対する含水率、仮道管径（正しくはルーメン径であるが、便宜上、これ以後は仮道管径とする）および細胞壁厚、②3樹種に共通して単板面粗さに影響する年輪傾斜角、③裏割れ深さと間隔に対する年輪傾斜角と単板内における晩材部の位置、であった。

第4章では、原木加熱による単板品質の向上を目的として、供試材にアカマツを用いて単板品質に及ぼす加熱処理の影響を検討した。特に、前章の検討結果をふまえて、アカマツ単板の品質に最も影響を及ぼす年輪の影響に注目し、さらに、加熱による木材の組織構造の物性変化に関連させて、単板品質の変化について考察した。単板面粗さおよび裏割れの変化は年輪傾斜角によって異なっていたため、最適な切削・加熱条件を求めるためには、年輪傾斜角の違いを考慮して比較する必要があることを明らかにした。また、加熱処理によって材が軟化することにより、スギ単板にみられるような早材部の剥離が現れた。そのほか、単板内の割れの発生状況の加熱処理による変化は、細胞壁を構成する壁層の化学成分の組成の差異にまでさかのぼって考えることができると推察した。

第5章では、スギ単板の品質向上を主たる目的として低周波の横振動単板切削を行なった。供試樹種はスギのほかに比較対象としてヒノキを用い、単板品質に及ぼす原木材質の影響の振動による変化を調べた。その結果、振動切削を行うことによって刃先による早材部のつぶれが抑制されたため、スギ単板面粗さが大幅に減少した。

ここに示したさまざまな要因による単板品質の変化については、各章あるいは各節において個々に議論してきた。これ以後は、単板の面粗さ、裏割れ深さ、および裏割れ間隔のそれぞれに及ぼす原木材質に関する因子の影響と、その結果を受けての単板品質を改善する方法とについて総合的に議論していく。

6.1 スギ単板面粗さ

すでに何度も述べてきたように、スギの単板面は他の樹種に比べて粗くなる傾向がある。これは、刃先によって早材部がつぶれて単板面から剥離するためであった。刃先による接線方向の圧縮力に対してスギ早材部の仮道管がつぶれやすい横断面（木口面）の形状を持つことに、この現象が起きる原因があり、つぶれやすさに影響を及ぼす仮道管の形状因子は接線方向の径および接線壁の厚さ、すなわち接線壁の曲げあるいは座屈強さであると推察できた（Table 3-6, Fig. 3-19）。Fig. 6-1の(a)と(c)に仮道管が大きい場合と小さい場合の変形挙動の模式図を示す。早材部がつぶれと剥離がスギ単板面を粗くする原因であることは、振動切削を行うことによって早材部がつぶれと剥離の発生が抑制されて単板面粗さが大きく減少したことからも明らかである（Table 5-5, Fig. 5-2）。また、スギ以外の材でも、早材部がつぶれやすい状態であれば同じ現象が起きることは、アカマツの加熱処理材の実験結果から知ることができた。したがって、スギのように軟らかい材部を持つ樹種を単板切削用の原木とした場合、同様の現象が発生して単板面が粗くなることが予想できる。

仮道管径および壁厚の大きさの変化は細胞壁率の変化に、さらに材の比重の変化に現れる。

Table 3-5からわかるように、スギの早材部では接線方向と放射方向との間の仮道管径および接線壁厚と放射壁厚との間には正の相関関係があるので、単板面粗さに影響を及ぼす接線方向の仮道管径および接線壁厚の変化はストレートに材の比重の変化としてとらえることができると予想する。

したがって、スギ丸太の単板切削用原木としての適否を決める判定基準の1つに、早材部の比重を用いることができる。

スギでは早材部のつぶれやすさを改善すれば、より平滑な単板を得ることが期待できる。仮道管内腔が自由水で満たされた状態、たとえば辺材部のような状態であれば、たとえ仮道管径が大きくても早材部の剥離が生じにくく、含水率がおよそ100%を越える場合に単板面粗さが小さくなっていた（Fig. 3-7）。Fig. 6-1の(b)に模式図を示す。スギを用材として利用する際に問題とされる高含水率（心材含水率が辺材なみに高い）の丸太は、この点からみれば単板切削用に適しているといえる。しかし、単板含水率の高い状態は合板工場の乾燥工程では欠点となる。また、剥き終わりに近い部分は未成熟材部に含まれて強度が低くなる可能性が高く、節も多いために高いグレードの単板とはなりえず、さらに、仮道管径が大きいために早材部の剥離が生じにくいいため、含水率が高い必要はない。スギの心材含水率分布のタイプには、一様に含水率の高いもののほかにもさまざまなタイプがあり（三輪：1991）、含水率に関しては心材部の外側（辺材寄り）の部分だけが高含水率であるものが単板切削用として適している。また、含水率が常に低くなる白線帯（辺材と心材の間に存在する両者の移行部）は、原木の半径方向では比較的外側（樹皮寄り）に位置することか

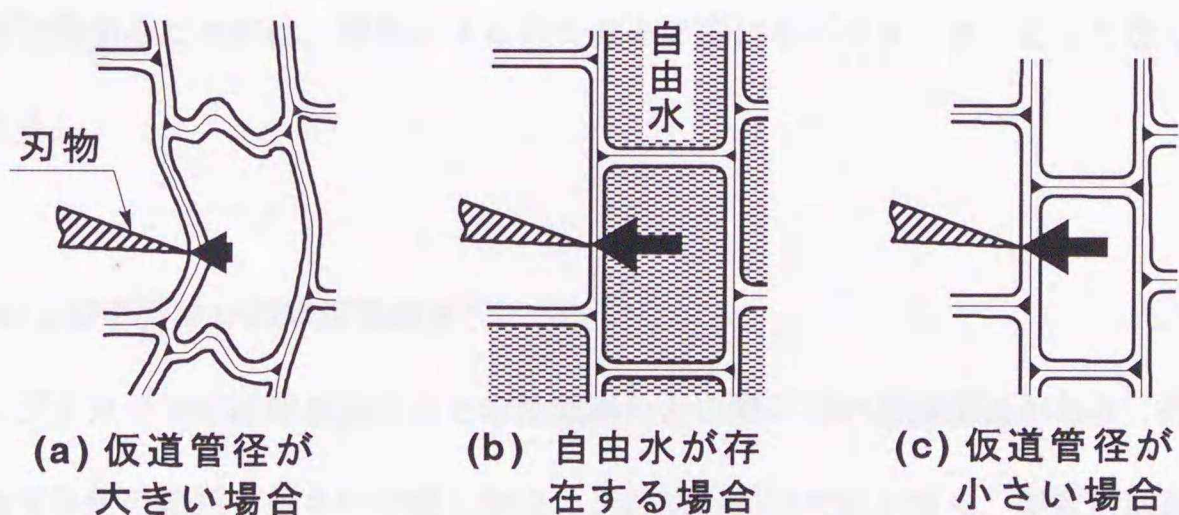


Fig. 6-1. 刃先による仮道管の変形挙動の模式図
矢印は刃先に働く切削力の反力を示す。

ら、早材部のつぶれが生じやすい径の大きな仮道管によって構成されると予想できるため、なるべく白線帯の幅が狭い丸太が単板切削用として好ましい。

このほか、早材部のつぶれを抑制する装置上のくふうとして、横振動切削を採用することによっても単板面粗さを改善することができ、スギの含水率が100%以下の条件では振動を行わない場合の61%にまで単板面粗さが減少した。しかし、この方法にも次のような2つの欠点をあげることができる。第1に、現在の振動速度では、十分な振動の効果を得るには切削の能率を犠牲にする必要があること。第2に、刃先と原木あるいは単板との接触距離が長くなるため、刃物の摩耗が促進される可能性があることである。仮に振動切削が実用化されたとしても、これらの欠点が克服されない限り、適応される樹種はスギあるいは比重が低いために切削の難しい樹種、そして、用途としては特に滑らかな表面を要求される製品の表面用単板の切削に限られると考える。

本研究においては、スギの単板面粗さと接線方向の仮道管径および接線壁の厚さとの関係あるいは含水率との関係を定量的に検討し、含水率がおよそ100%以下の条件では接線方向の仮道管径と接線壁の厚さによって単板面粗さの値を回帰式から予測できることを明らかにした。しかし、単板面粗さに直接関連する「仮道管のつぶれやすさ」は、McKenzie (1962) も述べているように、「刃先の丸み」の影響を強く受けることが予想できる。したがって、実際の単板切削工程において単板面粗さを予想するためには、磨耗による刃先丸みの変化をパラメーターとして加えて検討していく必要がある。

6.2 ヒノキおよびアカマツの単板面粗さ

ヒノキおよびアカマツでは単板面粗さと年輪傾斜角との間に強い相関関係があり、通常の単板にみられる年輪傾斜角の範囲（小さい角度）では、逆目切削部分で面が粗く、順目切削部分では面が平滑であった（Fig. 3-11）。一方、年輪傾斜角が大きい条件（絶対値が $30 \sim 40^\circ$ 以上）では、年輪に代わって放射組織の傾斜角が単板面粗さに影響を及ぼす主要因となり、年輪に対して順目部分では年輪傾斜角の増加とともに面粗さは増加し、逆目部分では年輪傾斜角の減少（絶対値の増加）とともに面粗さは減少した。スギでも単板面粗さは「逆目>順目」の傾向を示すが、早材部のつぶれ・

剥離によってばらつきが大きくなった（Fig. 3-11）。しかし、早材部のつぶれが抑制された条件、たとえば高含水率材あるいは振動切削を行った条件では単板面粗さのばらつきが小さく、ヒノキやアカマツと同様に年輪傾斜角が単板面粗さに対する主要因となった（Fig. 5-5）。「3.5」で述べたように、年輪傾斜角が変わることによって刃先付近の材内に発生する先割れの方法が変化し、それによって単板表面のえぐれの深さが変わり、面粗さが変化すると推察する。割れの進行方向は針葉樹材における規則的な仮道管の配列に依存するため、年輪傾斜角によって単板面粗さがほぼ一義的に決まることが、針葉樹材の単板切削に共通の性質であると予想する。

一般に、広葉樹材の単板に比べて針葉樹材の単板面粗さは大きいとされ、これは逆目切削部分の粗さが大きいため、順目切削部分の面粗さは実用上問題がない程度に平滑であると判断する。したがって、針葉樹単板の欠点の一つである面粗さを改善するためには、逆目切削部分の粗さを小さくする必要がある。単板面粗さを低下させるには、刃口間隔を狭くする方法が一般的である。しかし、刃口間隔を狭くした条件でも単板面粗さに対する年輪傾斜角の影響は顕著で、十分な面粗さの低減効果を得るにはいたらなかった（たとえば Fig. 2-10, 2-11）。また、原木を加熱処理した場合には、単板面粗さの平均値は増加する傾向があり、単板面を改善する効果は低い（Fig. 4-1）。逆目切削条件における単板面粗さをより小さくするためには、切削過程における先割れの発生およびその進行状況の観察などをおしてさらに検討を進めていく必要がある。

6.3 裏割れ深さと裏割れ間隔

裏割れ深さとその間隔は単板面粗さと同様に年輪傾斜角によって変化し、これらの値は逆目切削部分で大きく、順目切削部分で小さくなる傾向があった（Fig. 3-12, 3-13）。しかし、これらの年輪傾斜角との関係は面粗さと年輪傾斜角との関係に比べて逆目切削と順目切削の差が小さく、実用上問題となる程度ではないと判断する。

ヒノキのように晩材部が狭く、その比重も低い樹種を除いた場合、裏割れ深さに対して最も影響を及ぼす原木側の因子は、単板内における晩材部の位置であった。すなわち、スギおよびアカマツでは、刃先近傍で発生した裏割れの進行が晩材部付近で止まる傾向が強かった（Fig. 3-16, 3-17,

Photo 3-2, 3-4)。単板の面積の小さな部分を取りあげて比べれば、単板内における晩材部の位置は裏割れ深さの大きなばらつきの原因となるが、広い面積における単板の裏割れ深さの平均値は年輪幅の違いがなければ変化しない。しかし、年輪幅が変化した場合には、裏割れの進行が晩材部付近で止まる現象が裏割れ深さの値を左右することになり、たとえば、年輪幅が狭い場合には裏割れ深さが浅くなると推察する。なお、「3.5」で述べたように、裏割れの間隔は裏割れ深さと正の相関関係があり（Fig. 3-14, 4-8, 5-8）、裏割れ間隔は裏割れ深さによって2次的に決まるものと考えた。

裏割れを浅くするためには、刃口間隔を狭くする方法および原木を加熱して軟化させる方法が一般的である。第4章で示したように、原木加熱は裏割れを非常に浅くすることができる効果的な方法であった。この方法の欠点は主に工場における製造・作業工程にあり、工程の複雑化、作業上の安全性、廃水処理の必要などを欠点としてあげることができる。原木あるいはフリッチの加熱処理は化粧用のスライス単板製造の場合には普通に行われているが、合板用のロータリー単板切削の場合には処理する原木の量が非常に多くなるため、先にあげた欠点が原木加熱処理を採用する際の大きな問題になる可能性がある。

刃口間隔を調整することによって裏割れ深さとその間隔を小さくすることは、確実な方法であるが、単板面粗さと同様に効果は大きくなかった。特に、スギの場合にはほとんど変化しないケースもあった（Fig. 2-8, 2-9, Table 5-3, 5-4）。これは、原木表面から加えられるノーズバーによる圧縮力が、スギの場合には他の樹種に比べて比重の低い早材部の変形によって吸収されるために、刃先近傍まで十分に達していないためと推察する。

このほか、原木表面の面粗さが大きいときには、ノーズバーによる圧縮力が作用しにくい部分が生じ、刃口間隔を狭くしたときの効果が弱くなる場合もあると考える。たとえば、早材部の剥離によって原木表面に深いえぐれが発生した場合には、部分的に単板が刃口間隔よりも薄くなることになり、瞬間的かつ部分的にノーズバー先端が原木表面から離れることになる。順目切削部に比較して逆目切削部の裏割れが深くなる傾向があるが、この現象によって逆目部分の面の粗さがノーズバーによる圧縮力を弱め、その結果として逆目部分の裏割れが深くなった可能性がある。また、ノーズ

バーによる圧縮力が弱くなった場合には単板面粗さも増加する傾向があることから、逆目部分の単板面の粗さがノーズバーの圧縮力の低下によって助長されていることも予想できる。

この仮説が真実であるならば、ノーズバーが単板面粗さに関わらず、常に原木表面に圧着するような工夫をすることによって、裏割れ深さを浅くすることが可能である。たとえば、Feihl (1969) が紹介したフローティングバーはノーズバーの先端を常に一定の圧力で原木表面に押しつける機構を持つ装置（ノーズバー）で、刃口間隔のセットを容易かつ確実にするために考案されたものであるが、これを用いれば単板表面の状態にかかわらず、ノーズバーの圧力を原木に伝えることが期待できる。さらに、単板表面の状態がノーズバー先端の長手方向の全長にわたって同じではないため、ある瞬間におけるノーズバーの原木への接触状態は部分部分で異なる。したがって、フローティング機構と同時に分割方式のノーズバー（たとえば第2章で用いた外周駆動装置の付いたベニヤレーズで採用されていたようなもの（Photo 2-1 参照））を採用し、分割された個々のバーが単板面粗さの局所的な変化に追従して単独で動くような機構に改良すれば、ノーズバーの原木への接触も確実になると考える。

第7章 結論

本論文では、国産針葉樹材3樹種（スギ、ヒノキ、アカマツ）を供試材料として単板切削試験を行い、これらの単板切削性や適性刃物条件、あるいは単板品質を向上させる原木加熱条件や横振動切削の有効性を明らかにした。また、これまでに知見の少なかった単板面粗さおよび裏割れ深さとその間隔に及ぼす原木材質の影響を明らかにした。その結果、適正な切削条件（刃先の角度や刃口間隔など）を求める際には、原木材質が単板品質に与える影響が大きいため、これについて十分に考慮する必要があることがわかった。このほか、本研究では、単板面粗さの測定にレーザー変位計を用い、その有効性を明らかにした。この装置を用いることによって、精度を低下させることなく測定の非接触化と高能率化を図ることができた。

単板面粗さに影響を及ぼす原木材質の影響について、Fig. 7-1 に本研究で明らかにした結果の概要を示した。スギのように比重の低い早材部を持つ樹種では、早材部が刃先によってつぶされて単板面から剥離しやすいために単板面が粗くなる傾向があるので、良質の単板を得ることは難しい。これは、木材を構成する仮道管の径が大きく細胞壁厚が薄いことが原因となっており、特に仮道管径の影響が大きかった。しかし、細胞内腔が自由水で満たされた含水率の高い状態であれば早材部のつぶれが生じにくくなり、単板面は良くなった。含水率がおよそ100%以下の早材部のつぶれが起きやすい条件であれば、実験から求めた回帰式に接線方向仮道管ルーメン径と接線壁厚の値を代入することにより、スギ単板面粗さを予想することができた。また、仮道管径が大きく含水率が低い条件では、早材部のつぶれによってスギ単板面は粗くなったが、横振動切削を行うことによって、単板面粗さは振動を行わない場合の61%にまで減少した。このほか、単板面粗さは切削方向に対する年輪傾斜角に大きく依存し、順目切削部分に対する逆目切削部分の粗いところでは面粗さが3～4倍の値を示した。これは、すべての針葉樹材に共通した単板切削性であると推察する。

一方、原木材質が裏割れ深さと裏割れ間隔に影響するようすは単板面粗さの場合に比べて単純であった。裏割れ深さとその間隔は単板面粗さと同様に年輪傾斜角によって変化し、これらの値は順目切削部分に比べて逆目切削部分で大きくなる傾向があった。しかし、裏割れと年輪傾斜角との関係は面粗さと年輪傾斜角との関係に比べて逆目と順目切削条件の間の差は小さく、逆目切削部分の

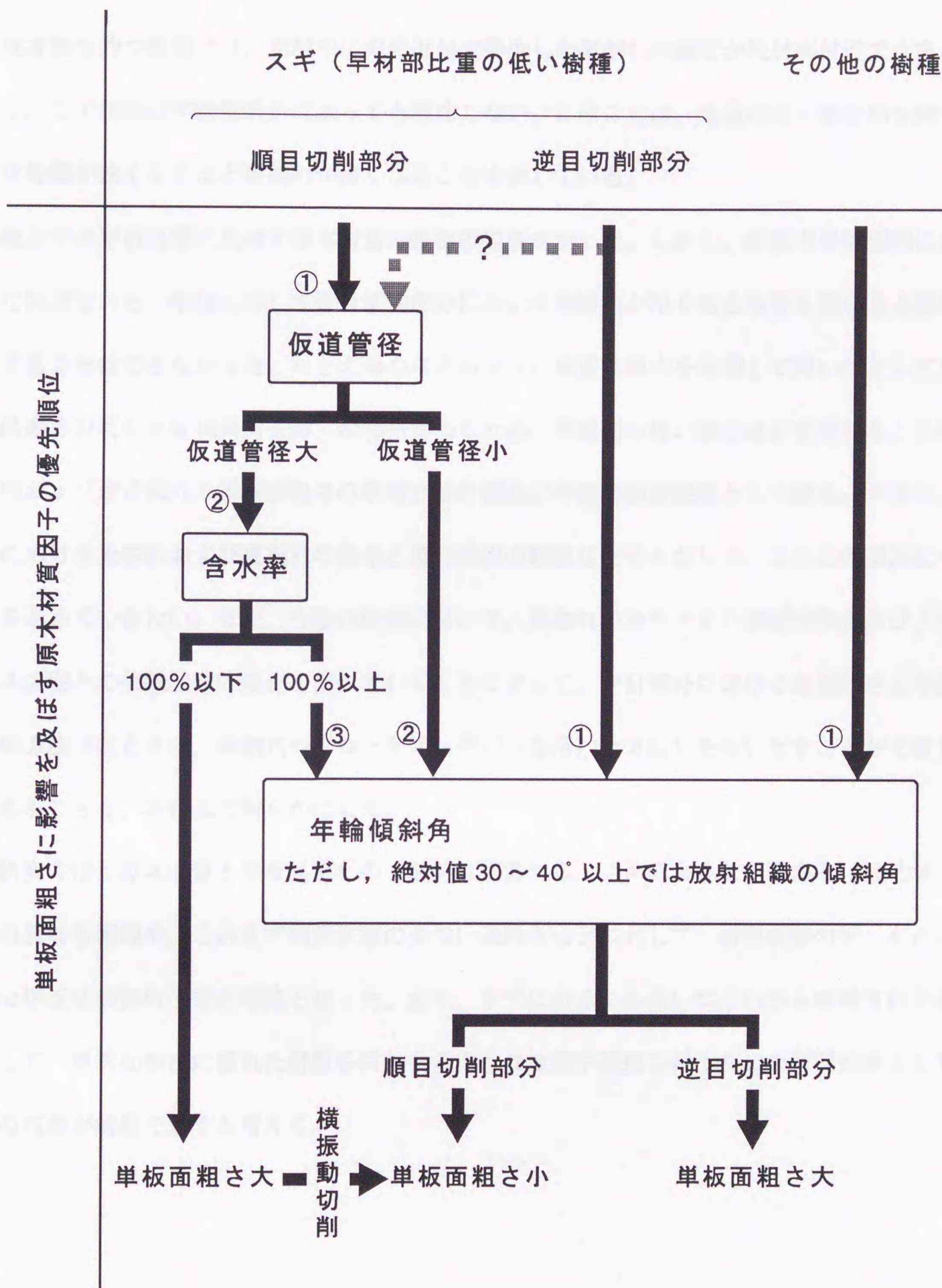


Fig. 7-1. 針葉樹单板面粗さに及ぼす原木材質の影響の概要

裏割れ深さは順目切削部分のそのの 1.5 倍程度であった。このほかスギやアカマツのように比重の高い晩材部を持つ樹種では、切削中に刃先近傍で発生した裏割れの進行が晩材部付近で止まる傾向が強く、この傾向は年輪傾斜角によっても変化しない。このことは、比重の高い晩材部を持つ樹種では年輪幅が狭くなるほど裏割れが浅くなることを示している。

本論文では単板品質に及ぼす原木材質の影響の概要を示した。しかし、針葉樹単板切削における大きな問題である、年輪に対して逆目切削部分において単板面が粗くなる現象を避ける方策を明らかにすることはできなかった。たとえ偏心などの少ない良質な原木を厳選して用いたとしても、単板にはある程度の年輪傾斜角を持った部分があるため、単板面の粗い部分は必ず現れる。この現象の解明および逆目部分の単板面粗さの改善方法の開発が今後の検討課題として残る。今後は、切削過程における先割れおよび裏割れの発生と進行状況の観察などをとおして、これらの課題について検討を進めていきたい。また、今後の研究において、裏割れの発生とその進展状況およびノーズバーと原木表面との接触状態の変化を調べていくことによって、逆目部分における裏割れをより浅くする切削方法（たとえば、分割式のフローティングバーを用いた方法）をみいだすことができる可能性があることを、本論文で明らかにした。

本研究で得た原木材質と単板品質との一般的な関係から、スギのような品種あるいは地域ごとに材質の異なる樹種や、これまで利用実績の少ない造林木などに対して、材質試験のデータからある程度の単板切削性の予想が可能となった。また、すでにある、あるいはこれから植栽される造林木に対して、単板切削性に優れた材質を付与するような施業や選抜を行うための基礎資料として、本研究の成果が活用できると考える。

謝辞

本論文の作成にあたり、終始変わらぬ激励と懇切なご指導を賜った北海道大学農学部森林科学科木材生物講座 深沢和三教授、論文のとりまとめに際して数々の貴重なご教授とご指導を賜った北海道大学農学部農業工学科農用車両システム工学講座 寺尾日出男教授、北海道大学農学部森林科学科木材工学講座 平井卓郎教授、北海道大学農学部森林科学科木材生物講座 大谷 諄助教授に対して深甚なる感謝の意を表します。

また、本研究の遂行にあたり、指導者あるいは共同研究者としてご指導とご協力を賜った森林総合研究所木材利用部 木下敝幸 加工技術科長に対して心から深く感謝いたします。

さらに、これまでの実験あるいはそのとりまとめに際してご援助とご指導をいただいた森林総合研究所木材利用部 藤井智之 組織研究室室長、森林総合研究所木材利用部 藤原 健 材質研究室研究室員に対して謝意を表します。

文 献

- 1) 相内泰三, 石田茂雄: 走査電子顕微鏡内での針葉樹材の横圧縮破壊過程の観察, 北大演報, 36(3), 623-632 (1979).
- 2) 天野良一: スギ間伐材による LVL の製造 (第 1 報), 木材と技術, No. 57, 17-20 (1984a).
- 3) 天野良一: スギ間伐材による LVL の製造 (第 2 報), 同上, No. 58, 11-14 (1984b).
- 4) Bryant, B. S., Peters, T. E. and Hoerber, G. F.: Veneer thickness variation, *For. Prod. J.*, 15(6), 233-237 (1965).
- 5) Cade, J. C. and Choong, E. T.: Influence of cutting velocity and log diameter on tensile strength of veneer across the grain, *ibid.*, 19(7), 52-53 (1969).
- 6) Collins, E. H.: Lathe check formation in Douglas-fir veneer, *ibid.*, 10(3), 139-140 (1960).
- 7) Cumming, J. D., Fischer, C. and Dickinson, F. E.: Rotary veneer cutting characteristics of young-growth redwood, *ibid.*, 19(11), 26-30 (1969).
- 8) Cumming, J. D. and Collett, B. M.: Determining lathe settings for optimum veneer quality, *ibid.*, 20(11), 20-27 (1970).
- 9) 江草義正: カリマンタン産 13 樹種の単板切削, 林試研報, No. 218, 236-265 (1968).
- 10) Feihl, A. O.: Design and performance of roller pressure bars for veneer lathes, Papers for the 14th IUFRO Congress, München, 1967, p. 2-24.
- 11) Feihl, A. O. and Carroll, M. N.: The floating bar ... A new approach to veneer cutting, *For. Prod. J.*, 19(4), 52 (1969).
- 12) 藤原新二, 中山義雄, 岩神正朗: 林木の生長と細胞のディメンションに関する研究 (第 1 報), 木材学会誌, 30(1), 9-16 (1984).
- 13) Goring, I.: Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose, *Pulp Paper Mag. Can.*, 64(12), 517-527 (1963).
- 14) 浜本和敏, 森 稔: 木材の低周波振動切削に関する基礎的研究 (第 2 報), 木材学会誌, 18(7), 337-342 (1972a).
- 15) 浜本和敏, 森 稔: 木材の低周波振動切削に関する基礎的研究 (第 3 報), 同上, 18(7), 343-348 (1972b).
- 16) 浜本和敏, 森 稔: 木材の低周波振動切削に関する基礎的研究 (第 4 報), 同上, 18(8), 387-392 (1972c).
- 17) 原田 浩等: 「木材の構造」, 文永堂, 1985, p. 183.
- 18) 林大九郎: 単板切削に関する研究, 東京教育大学農学部紀要, No. 8, 179-216 (1962).
- 19) 林大九郎, 栃木紀郎: ベニヤ切削におけるノーズバーの形状の影響について (II), 木材工業, 23(1), 15-19 (1968).
- 20) 林大九郎, 雨宮礼一, 栃木紀郎: 厚単板切削におけるプレッシャーバーの形状に関する研究 (第 2 報), 同上, 32(9), 392-395 (1977a).
- 21) 林大九郎: ロータリー単板切削における問題点, 同上, 32(10), 428-433 (1977b).
- 22) 平井信二等: 「合板」訂正版, 槇書店, 1971, p. 39.
- 23) 廣田 薫: 「画像パターン認識」, マグロウヒルブック, 1984, p. 33.

- 24) Hoadley, R. B.: Influence of certain variables on veneer-cutting behavior, *For. Prod. J.*, 13(12), 538-548 (1963).
- 25) 福田総一郎, 元木英生, 天野良一: 北洋産材による単板製造について (第1報), 木材と技術, No. 9, 14-17 (1972a).
- 26) 福田総一郎, 天野良一: 北洋産材による単板製造について (第2報), 同上, No. 11, 5-9 (1972b).
- 27) 黄彦三: ロータリー単板切削のベクトル解析, 木材工業, 26(5), 23-25 (1971).
- 28) 岩田 優: 合板製造の歴史的経過と将来への展望 (1) ~ (5), 木工機械, No. 96-100, (1979-1980).
- 29) 加藤幸一, 浅野猪久夫: 木材の振動切削に関する研究 (第3報), 木材学会誌, 20(9), 418-423 (1974a).
- 30) 加藤幸一, 浅野猪久夫: 木材の振動切削に関する研究 (第4報), 同上, 20(9), 424-429 (1974b).
- 31) 加藤幸一: 振動切削による木材の切削加工について (1), 木材工業, 33(9), 370-375 (1978a).
- 32) 加藤幸一: 振動切削による木材の切削加工について (2) 完, 同上, 33(10), 424-429 (1978b).
- 33) 北原覚一: 「木材物理」, 森北出版, 1967, p. 143 および p. 168.
- 34) 木下敍幸: スライサーによる厚つき板製造に関する研究, 林試研報, No. 295, 17-60 (1977).
- 35) 木下敍幸: 単板切削における刃先形状の影響 第1報, 同上, No. 306, 25-63 (1979a).
- 36) 木下敍幸: 単板切削における刃先形状の影響 第2報, 同上, No. 306, 65-94 (1979b).
- 37) 木下敍幸: ベニヤレースによる針葉樹材の単板切削 (I), 木材工業, 37(10), 486-489 (1982).
- 38) 木下敍幸: ベニヤレースによる針葉樹材の単板切削 (II), 同上, 38(2), 76-79 (1983a).
- 39) 木下敍幸: 単板形成過程の解析 (第2報), 木材学会誌, 29(12), 877-883 (1983b).
- 40) 木下敍幸: 厚単板切削において単板品質に及ぼす切削条件の影響, 林試研報, No. 326, 9-68 (1984).
- 41) 木下敍幸, 高野 勉: 針葉樹単板切削について (続), 木工機械, No. 129, 5-9 (1985).
- 42) 木下敍幸, 高野 勉: 針葉樹材のロータリー単板切削 第1報, 森林総研研報, No. 356, 63-86 (1989).
- 43) 木下敍幸: 単板切削, 木材学会誌, 37(10), 883-889 (1991).
- 44) Koch, P.: Effects of seven variables on properties of southern pine plywood: Part 1, *For. Prod. J.*, 15(9), 355-361 (1965).
- 45) 小松正行: たてつきスライサーによる単板の製造, 木材工業, 44(10), 465-470 (1989).
- 46) Koran, Z.: Electron microscopy of radial tracheid surfaces of black spruce separated by tensile failure at various temperatures, *Tappi*, 50(2), 60-67 (1967).
- 47) Koran, Z.: Electron microscopy of tangential tracheid surfaces of black spruce produced by tensile failure at various temperatures, *Svensk Papperstidning*, 71(17), 567-576 (1968).
- 48) Leney, L.: A photographic study of veneer formation, *For. Prod. J.*, 10(3), 133-139 (1960a).
- 49) Leney, L.: Mechanism of veneer formation at the cellular level, *Res. Bull. Univ. Mo. Col. Agr. Agr. Exp. Sta.*, No. 744, 1-111 (1960b).
- 50) Lesnino, G.: The laser-sandblasting method: A new method for the qualitative annual ring analysis of conifers. *Wood Sci. and Tech.*, 28(2), 159-171 (1994).

- 51) Lickess, C. W.: The merits of steaming Douglas-fir veneer blocks, *For. Prod. J.*, 7(7), 23A-25A (1957).
- 52) Lutz, J. F.: Effect of wood-structure orientation on smoothness of knife-cut veneers, *ibid.*, 6(11), 464-468 (1956).
- 53) Lutz, J. F.: How growth rate affects properties of softwood veneer, *ibid.*, 14(3), 97-102 (1964).
- 54) Lutz, J. F., Duncan, C. G. and Scheffer, T. C.: Some effects of bacterial action on rotary-cut southern pine veneer, *ibid.*, 16(8), 23-28 (1966).
- 55) Lutz, J. F., Mergen, A. and Panzer, H.: Effect of moisture content and speed of cut on quality of rotary-cut veneer, *U. S. For. Service Res. Note*, No. FPL-0179, 1-13 (1967a).
- 56) Lutz, J. F.: A survey of some developments in slicing and veneer cutting, Papers for the 14th IUFRO Congress, München, 1967b, p. 25-38.
- 57) 満久崇磨: 「木材の乾燥」, 森北出版, 1962, p. 90.
- 58) Maloney, T. M.: "Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing", Miller freeman publications, 1977, p. 246.
- 59) McKenzie, W. M.: Fundamental aspects of the wood cutting process, *For. Prod. J.*, 10(9), 447-456 (1960).
- 60) McKenzie, W. M.: Fundamental analysis of the wood-cutting process, *University of Michigan Ann Arbor*, 1-151 (1961).
- 61) McKenzie, W. M.: The relationship between the cutting properties of wood and its physical and mechanical properties, *For. Prod. J.*, 12(6), 287-294 (1962).
- 62) McKenzie, W. M. and Karpovich, H.: Measured strains in slow linear veneer cutting, *Wood Sci. Tech.*, 9, 213-231 (1975).
- 63) McMillin, C. W.: The relation of mechanical properties of wood and nosebar pressure in the production of veneer, *For. Prod. J.*, 8(1), 23-32 (1958).
- 64) 三輪雄四郎: 生材含水率, 「木材の科学と利用技術Ⅱ 5. スギ」, 日本木材学会研究分科会報告書, 1991, p. 10.
- 65) 森泉 周, 真田康弘, 前田典昭, 小倉高規: カラマツ LVL の強度性能 (第1報), 林産試月報, No. 384, 1-7 (1984).
- 66) 森泉 周, 田口 崇, 藤原拓哉, 井村純夫, 高橋利夫: 針葉樹材の単板切削試験 (第1報), 林産試場報, 4(3), 13-21 (1990).
- 67) 中村源一, 斎藤真寿夫: ロータリーレースによる単板切削に関する研究 (Ⅲ), 林試研報, No. 119, 67-78 (1960).
- 68) 中村徳孫, 大塚 誠, 江草義正: スギ材のロータリー単板の問題点, 日林九支研論集, No. 37, 229-230 (1984).
- 69) 長井正幸, 小林 純, 福井 尚, 林大九郎: 針葉樹の単板切削 (第1報), 木材学会誌, 37(12), 1135-1143 (1991).
- 70) 長井正幸, 小林 純, 福井 尚: 針葉樹の単板切削 (第2報), 同上, 39(4), 396-405 (1993a).
- 71) 長井正幸, 小林 純, 福井 尚: 針葉樹の単板切削 (第3報), 同上, 39(9), 998-1004 (1993b).
- 72) 長井正幸, 小林 純, 福井 尚: 針葉樹の単板切削 (第4報), 同上, 39(9), 1005-1011 (1993c).

- 73) 中田欣作, 杉本英明, 海本 一: 加熱処理したスギ並材からのロータリー単板の性質, 奈良県林試木材加工資料, No. 21, 5-10 (1992).
- 74) 野村 勇: 「新外材読本」, (株) 林業新聞社, 1978.
- 75) 日本木材学会, 組織と材質研究会編: 材質指標と材料としての性質との関連, 1980, p. 7.
- 76) 農林水産省林業試験場・東京大学農学部林産学科監修: 「日本の木材」, 日本加工技術協会, 1966, p. 26, 30.
- 77) 大平 裕: スライサーによる単板切削の研究, 林試研報, No. 153, 41-72 (1963).
- 78) 太田貞明: スギ・ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学特性に関する基礎的研究, 九大演報, 45, 1-80 (1972).
- 79) Palka, L. C.: Prediction of veneer lathe setting, *Wood Sci.*, 3(2), 65-82 (1970).
- 80) Palka, L. C. and Holmes, B.: Effect of log diameter and clearance angle on the peel quality of 0.125-inch-thick Douglas-fir veneer, *For. Prod. J.*, 23(7), 33-41 (1973).
- 81) Palka, L. C.: Veneer-cutting analysis by an elastic finite-element model, *Wood Sci.*, 8(2), 97-104 (1975).
- 82) Panshin, A. J. *et al.*: "Textbook of wood technology", McGraw-Hill Book Co., 1964, p. 91.
- 83) 坂下一則: 熊本県産スギによる LVL に関する研究 (I), 日林九支研論集, No. 43, 233-234 (1990).
- 84) 佐々木 光: 国産材のための新しい加工機械とシステムの開発, 木材工業, 39(11), 52-56 (1984).
- 85) 佐藤快信, 伏谷賢美, 久保隆文: 飽水材の熱による曲げ変形特性の変化率と構造因子との関係, 木材学会誌, 36(12), 1027-1034 (1990).
- 86) 杉原彦一, 浜田良三: 木材の水分と加工性, 材料, 21(223), 91-97 (1972).
- 87) 杉本英明: スギ, ヒノキのロータリーベニヤによる化粧合板の性能, 奈良県林試研報, No. 19, 16-20 (1989).
- 88) 杉本英明: 絞丸太の模様を生かした化粧用杢板の製造, 天然しほの研究, No. 16, 6-14 (1990).
- 89) 杉本英明, 中田欣作, 海本 一: スギ並材の LVL 化と強度性能 (第 1 報), 奈良県林試木材加工資料, No. 21, 11-14 (1992).
- 90) 杉山 滋: 単板の切削機構に関する基礎的研究 (第 6 報), 木材学会誌, 20(6), 257-263 (1974a).
- 91) 杉山 滋: 単板切削における pressure bar の形状効果, 同上, 20(9), 405-410 (1974b).
- 92) 杉山 滋: 木材の三次元横切削における切削力および摩擦係数に及ぼすバイアス角の影響, 同上, 30(12), 980-987(1984).
- 93) 杉山 滋: 単板切削方式の切削力と摩擦係数に及ぼす影響, 木材工業, 40(3), 113-119 (1985).
- 94) 杉山 滋, 長尾能博: 単板の引き切り切削における切削力の変化に及ぼすナイフ移動速度およびバイアス角の影響, 木材学会誌, 32(9), 677-684 (1986).
- 95) 鈴木修治, 福井 尚, 大林宏也: MDF の被削性, 第 43 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 盛岡, 1993, p. 172.
- 96) 鈴木修治, 福井 尚, 小林 純: MDF の被削性 (II), 第 44 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 奈良, 1994, p. 307.

- 97) 高野 勉, 木下敍幸: 針葉樹材のロータリー単板切削 第2報, 森林総研研報, No. 356, 87-132 (1989).
- 98) 高野 勉, 木下敍幸: 針葉樹材のロータリー単板切削 第3報, 同上, No. 361, 17-35 (1991a).
- 99) 高野 勉, 木下敍幸: レーザー変位計による木材表面あらさの測定, 日本木材加工技術協会第9回年次大会講演要旨集, 名古屋, 1991b, p. 13-14.
- 100) 高野 勉, 木下敍幸: 針葉樹材のロータリー単板切削 第4報, 森林総研研報, No. 362, 143-154 (1992a).
- 101) 高野 勉, 木下敍幸: 針葉樹材単板の品質に及ぼす年輪および含水率の影響, 木材工業, 47(1), 14-19 (1992b).
- 102) 高野 勉, 木下敍幸, 藤原 健: スギ単板面粗さに及ぼす仮道管径および細胞壁厚の影響, 木材学会誌, 39(5), 514-520 (1993).
- 103) 高野 勉, 木下敍幸: 針葉樹材の横振動ロータリー単板切削 (第1報), 同上, 41(1), (1995), 印刷中.
- 104) 高野 勉, 木下敍幸: 針葉樹材の横振動ロータリー単板切削 (第2報), 同上, 投稿中.
- 105) 田中義夫: スライサーによる秋田杉の単板切削試験, 木材工業, 15(1), 33-37 (1960).
- 106) 柳井晴夫, 高根芳雄: 「現代人の統計-2-多変量解析法」, 林 知己夫編, 朝倉書店, 1977.
- 107) 吉田弥明, 田口 崇, 野崎兼司, 小倉高規: カラマツ材の単板切削試験, 林産試月報, No. 2, 1-4 (1974).
- 108) Woodson, G. E. and Koch, P.: Tool forces and chip formation in orthogonal cutting of loblolly pine, *Southern For. Exp. Sta. UADA For. Serv. Res. Pap.* SO-52, 1-25 (1970).



