

# 木材の釘接合における引抜耐力の向上について\*<sup>1</sup>

矢田 茂樹\*<sup>2</sup>・磯辺 和彦\*<sup>2,\*3</sup>

## On the Improvement in Nail-Withdrawal Resistance of Wood\*<sup>1</sup>

Shigeki YATA\*<sup>2</sup> and Kazuhiko ISOBE\*<sup>2,\*3</sup>

### 1 緒 言

釘接合は各種の木材接合法の中でも最も簡便な方法であり、釘打ちは木材の加工性の良さを示す代表的な項目である。釘接合は一般家庭ばかりでなく、中学校技術・家庭科の授業の中でもしばしば行われ、教科書<sup>1)2)</sup>にもこれに係わる記載がある(図1)。これら見ると釘を傾けて打つ、つぶし釘を使用する等、すでに指摘されているように<sup>3)4)</sup>、接合耐力及び作業の難易・正確さの点からやや疑問に思われる部分がある。また摩擦の発生機構の説明図中の力の作用方向を示す矢印の向きも、材料特性から類推して正確さに欠けるように感じられる。

現在は普通の丸釘の他、胴部形状を改良して摩擦抵抗を高めたり、釘の頭を見せないように工夫された各種の特殊釘が市販され、容易に入手できる。そこで、本研究では釘接合の指導法改善のための技術資料を得ることと摩擦発生機構を明らかにする目的で、各種の特殊釘の引抜き実験を行うとともに、釘を打ち込まれた木材組織の変形と破壊の様態を観察することとした。なお、釘接合では繊維方向の引抜き耐力が特に低いので、主としてこの方向の耐力向上を目指して実験を行うこととした。

### 2 実験方法

#### 1) 釘引抜き実験

釘設計施工マニュアル<sup>3)</sup>の引抜き試験方法に準拠して、図2に示すa基礎的な場合とb実用的な場合の2方法を採用した。実験に使用した釘を表1に示す。

\* 1 本研究の一部は日本産業技術教育学会の関東支部第1回大会(1989, 東京)において口頭発表した。

\* 2 教育学部技術学教室

\* 3 現, 小田原市立酒匂中学校

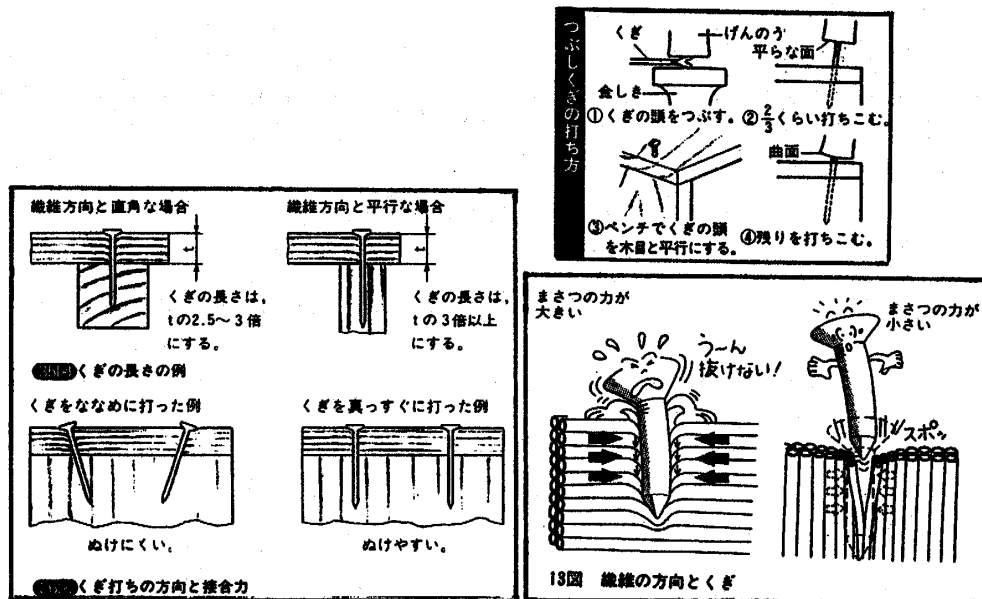


図1 釘打ちに係わる教科書の記載例

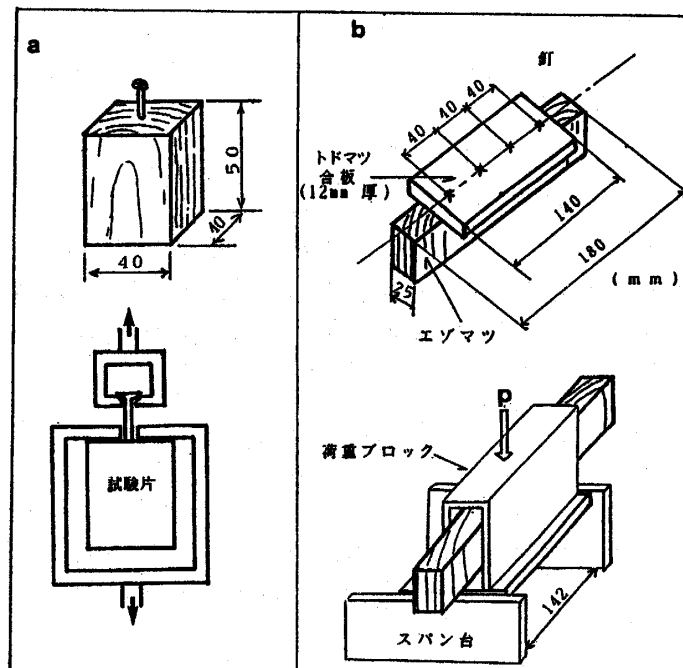


図2 引抜耐力の試験方法

## ③基礎的な引抜き実験 (図2-a)

これは釘の胴部形状の影響及び接着剤塗布釘の引抜き耐力を調べる目的で実施した。供試木材はエゾマツ ( $r_a=0.40$ ), アガチス ( $r_a=0.50$ ), ホオノキ ( $r_a=0.44$ ) 及びヤチダモ ( $r_a=0.48$ ) の4種とし、寸法を40(R)×40(T)×50(L)mmに整えた後、含水率 $12\pm 1\%$ に調湿した。釘はアセトンで洗浄した後、木口面から繊維方向にげんのうを用いて30mm打込んだ。

なお、接着剤塗布釘については、酢酸ビニル樹脂系溶剤型接着剤（コニシ、コンクリボンD K10）を塗布した後、直ちに打込んだ。





引抜き実験は材料試験機（テンシロン UTM-1）を用いて引抜き速度  $1\text{ mm/min}$  で行った。そして、最大荷重を打込み深さで割って引抜き耐力 ( $\text{kgf/cm}$ ) を求めた。なお、接着剤を塗布しない釘については打込みの直後に、接着剤塗布釘については打込み24時間後に引抜き実験をした。

#### ⑥実用的な引抜き実験（図2-b）

これは、ななめ釘とつぶし釘の引抜き耐力を調べる目的で行った。使用材料及び打込み間隔は図中に示す。なお、ななめ釘は $15^\circ$ の傾角で打込んだ（図3）。一部の部材の接合は接着剤（酢酸ビニル樹脂系エマルジョン型、コニシ CH18）も併用した。引抜き実験は図2-bに示す方法により、aと同様の条件で行った。なお、今後この試験片をT字型試験片と呼ぶ。

試験片数は1条件6～10個とし、得られた結果（最大荷重及び初期引抜け難さ）は分散分析した。

表1 供 試 し た 釘

基 礎 的 な 引 抜 試 験			実用的な引抜き試験で 供試した釘 (寸法 $2.11 \times 38\text{mm}$ )
供 試 し た 釘	胴 部 形 状	寸法(mm)	
・丸 釘		$2.77 \times 50$	・丸 釘 ・スクリュー釘 ・つぶし釘 (丸釘使用)
・ス ク リ ュ ー		"	
・スクリング加工した ス ク リ ュ ー 釘		"	
・タッピング皿ねじ		$3.50 \times 50$	

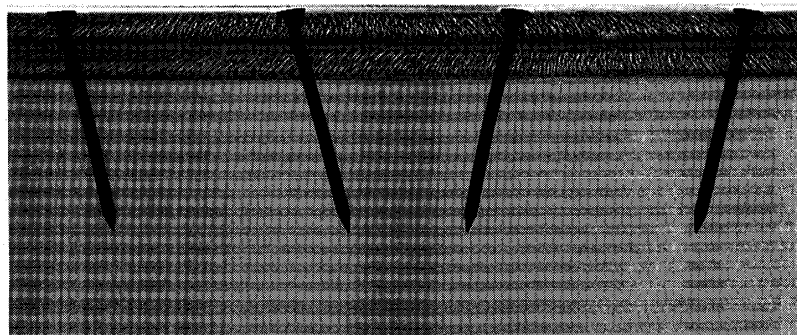


図3 ななめ釘を打込んだ試験片の軟X線透過像

## 2) 釘打込みによる組織変形の観察

ホオノキを用いて、釘打込み周辺部の組織変形及び破壊の様子を走査電顕（日本電子 T200）及び軟 X 線透過像観察装置（ソフテックス CMB-3型）を用いて観察した。また実用的な引抜き実験に用いる試験片についても軟 X 線観察を行った。

## 3 結果と考察

### 1) 特殊釘の引抜き耐力

胴部形状を改良して摩擦抵抗を高めることをねらいとした、市販の特殊釘及び接着剤塗布釘の繊維方向引抜き耐力をまとめて表 2 に示す。丸釘とスクリー釘を比較するとエゾマツ、ホオノキでは有意な差が認められないが、アガチス、ヤチダモではスクリー釘を使うことにより最大引抜き耐力で 1.5 倍程度の効果が認められた。樹種により効果の程度が異なる理由は、いまのところ明らかになっていない。なお、後述（表 3）のようにエゾマツにやや小型の釘（2.11×38mm）を打込んだ時にはスクリー釘の方が丸釘より高い値を示していることから、一部の例外的樹種を除き、丸釘よりスクリー釘の方が引抜き耐力が大きいと結論される。

表 2 特殊釘及び接着剤塗布釘の引抜き耐力 (kgf/cm)

	エゾマツ r=0.40	アガチス r=0.50	ホオノキ r=0.44	ヤチダモ r=0.48
丸 釘	11.7(1.72)	19.1(2.45)	17.5(1.58)	22.4(2.13)
ス ク リ ュ ー 釘 A	11.6(1.99)	33.4(5.82)	18.6(2.46)	29.7(3.36)
ス ク リ ュ ー 釘 B*1	11.2(2.02)	30.9(4.67)	17.9(1.66)	28.7(3.21)
タ ッ ピ ン グ 皿 ね じ*2	11.0(2.38)	22.2(3.24)	15.9(3.06)	23.9(2.72)
スクリー釘 B+接着剤	20.1(2.30)	37.9(4.97)	25.5(3.41)	36.9(3.95)
タ ッ ピ ン グ + 接 着 剤	38.8(6.84)	64.6(4.48)	54.1(6.89)	73.2(4.98)

\* 1：スクリー釘にスクリング加工した釘    \* 2：木ねじの一種だが、釘として使用  
( ) の数字は標準偏差

胴部に接着剤の残りやすい特殊釘を使うと、接着剤塗布釘の引抜き耐力は丸釘の 3～4 倍に達する。ただし丸釘に接着剤を塗布しても、打込み時に胴部から除去されてしまうので効果はない。接着剤塗布特殊釘の場合、引抜いた釘の胴部を観察すると、引抜き耐力の大きかったものには木片が多数付着して、いわゆる鞘抜けの状態になっていた。これは木材がせん断破壊を生じたことを示しており、引抜き耐力としては極限值に達したものと考えられる。

釘に接着剤を塗布して打込む作業は煩雑であるから教育現場ではこのままでは実行困難であろう。しかし単なる摩擦抵抗ではなく、界面で接着力を作用させると引抜き耐力が飛

躍的に増して木材のせん断強度に匹敵する強度を示すという実験事実は、今後の引抜き耐力向上のための技術開発の在り方を示唆するものである。すなわち、潜在的に接着作用を持つ物質をあらかじめ胴部に塗布して乾燥しておき、打込み時の摩擦熱または圧力で接着作用を発現させることは現在の技術水準でも不可能ではない。例えばボルト・ナット接合ではマイクロカプセル化した感圧型接着剤がすでに実用化されている<sup>9)</sup>。今後、特殊釘への応用が期待される。

## 2) ななめ釘及びつぶし釘の接合耐力

T字型試験片の引抜き実験時の荷重と変位の関係を図4に示す。荷重10~60kgf間の変位量を取り、(荷重)/(変位量)を初期引抜き難さと定義し、最大荷重を最大引抜き荷重と定義して実験結果をまとめると表3になる。

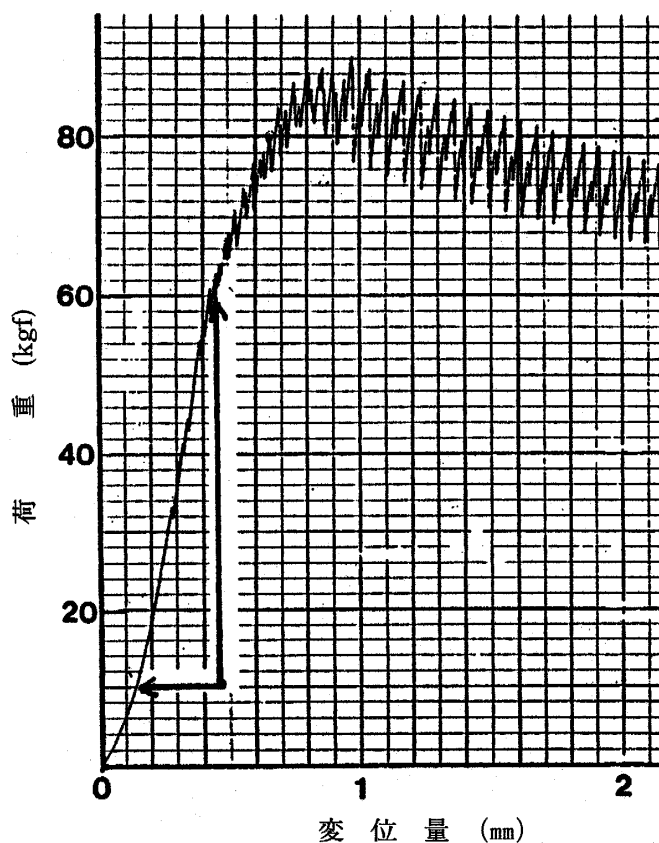


図4 釘引抜時の荷重と変位量の関係

表3 ななめ釘及びつぶし釘の引抜性能

	合 板 <sup>*1</sup>						ト ド マ ツ <sup>*2</sup>	
	丸 釘			スクリーナー釘 0°, 4本	接 着 剤 併用丸釘 0°, 4本	つぶし釘 0°, 4本	丸 釘 0°, 4本	つぶし釘 0°, 4本
	0°, 4本	15°, 2本 0°, 2本	15°, 4本					
初期引抜き難さ (kgf / mm)	157.6 (9.88)	145.1 (16.84)	150.3 (19.5)	189.1 (19.25)	319.8 (6.10)	130.0 (13.3)	133.9 (13.63)	119.5 (11.4)
最大引抜き荷重 (kgf)	97.7 (8.92)	98.3 (9.12)	111.6 (8.74)	185.6 (11.0)	258.6 (6.08)	100.3 (8.26)	101.5 (15.8)	105.2 (8.38)

\* 1 :  $r_a = 0.48$

\* 2 :  $r_a = 0.38$

( ) 内の数値は標準偏差

まず、初期引抜き難さ（荷重がかかった時のゆるみ難さ）については、釘を真直に打っても傾けて打っても危険率5%で有意差は認められなかった。一方、最大引抜き荷重は危険率5%で有意差が認められた。すなわち15°傾けた方が最大荷重は大きくなる。ただしその効果は10~20%に過ぎない。

スクリュー釘を真直に打込んだ時は初期引抜き難さ、最大引抜き荷重とも丸釘のそれよりも大きく、さらになめ釘よりも優れた結果が得られた。分散分析の結果も危険率1%で有意となっている。接合面に接着剤を塗布した後、釘を打ち込んで圧縮すると引抜き耐力はさらに大きく改善される。

以上の結果より、次のことが言える。中学校教育現場では釘を真直に打つ技能さえまならない子供達の増加が問題となっており、なめ釘の指導は事実上不可能である。強度的に見ても最大引抜き耐力がやや向上するのみで、事用上問題となる初期引抜き難さは全く改善されない。むしろ、スクリュー釘を使って真直に打込む方が強度的に見ても指導の上でも好ましいことのように思われる。とくに高い接合強度を要求する場合にはさらに接着剤を併用することであろう。

つぶし釘の結果は表3の右欄に示した。最大引抜き荷重については普通の丸釘とつぶし釘との間に有意差は認められなかった。一方、初期引抜き難さは危険率5%で有意差が認められた。つまり、つぶし釘にすると接合部がゆるみやすくなる。つぶし釘は作業が煩雑になるばかりでなく、頭部が丸く尖るので中学生の技能では真直に打てず、その結果、精度・能率ともに低下するものと考えられる。つぶし釘に代わって現在は頭部径の小さいフロアー釘（胴部はスクリング加工されたスクリュー）や頭部が見えない合釘（胴部はリング加工）が市販されているから、これらの釘を使う方が強度、作業効率、精度、見た目の美しさのいずれをとっても好都合であろう。これらは建築分野ではごく一般的に使用される釘であり、便利なものであるから中学校においても活用が望まれる。

### 3) 釘を打込まれた木材組織の変形と破壊

釘を木材に打込むと摩擦力で固定される。引抜きの始まる最大静止摩擦力は、周辺部から釘に作用する圧縮力に比例するであろう。繊維方向に釘を打込まれたホオノキの組織変形とは破壊の様子を図5の示す。aは軟X線透過像、bはSEM像、cは変形と破壊の様子を模式的に示したものである。SEM像と対応させると理解しやすいが、軟X線像は材料の粗密を示すので、濃淡により圧密の程度が判別できる。釘の打込みにより木材組織が押し広げられ、圧密された部分が濃色に、破断された空間部が淡色になっている。なお、中央の濃色の円は釘の横断面を示す。これを見ると釘胴部に対して、全周から等しい力が加わっているわけではないことがよく理解される。接線方向と半径方向には長さ1~2mmの横引張破断を生じて空間を形成するので、この2方向からは釘に対して圧縮力は作用しない。釘胴部にかかる圧縮力は主として半径方向と接線方向の中間の角度、すなわち45°方向から作用している。その様子を図5-cに示す。この観察結果より、繊維方向に打込まれた釘の引抜き抵抗値は半径方向や接線方向の横圧縮強度ではなく、45°方向の横圧縮強度に比例するものと考えられる。すでに周知のように、この方向の圧縮強度は、木材の各方向の強度の中でも最も弱い。したがって、繊維方向に打込んだ釘の引抜き耐力が他の方向よりも低い

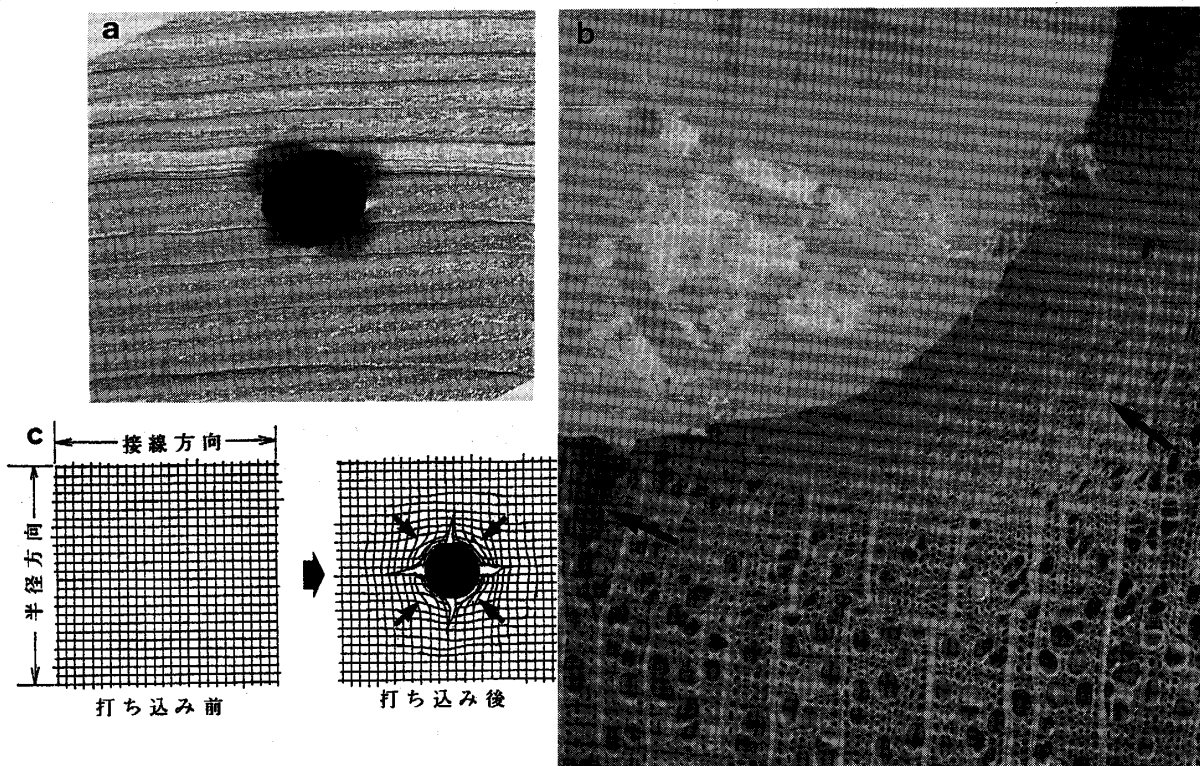


図5 繊維方向に釘を打込んだ時の組織変形 (平面図)

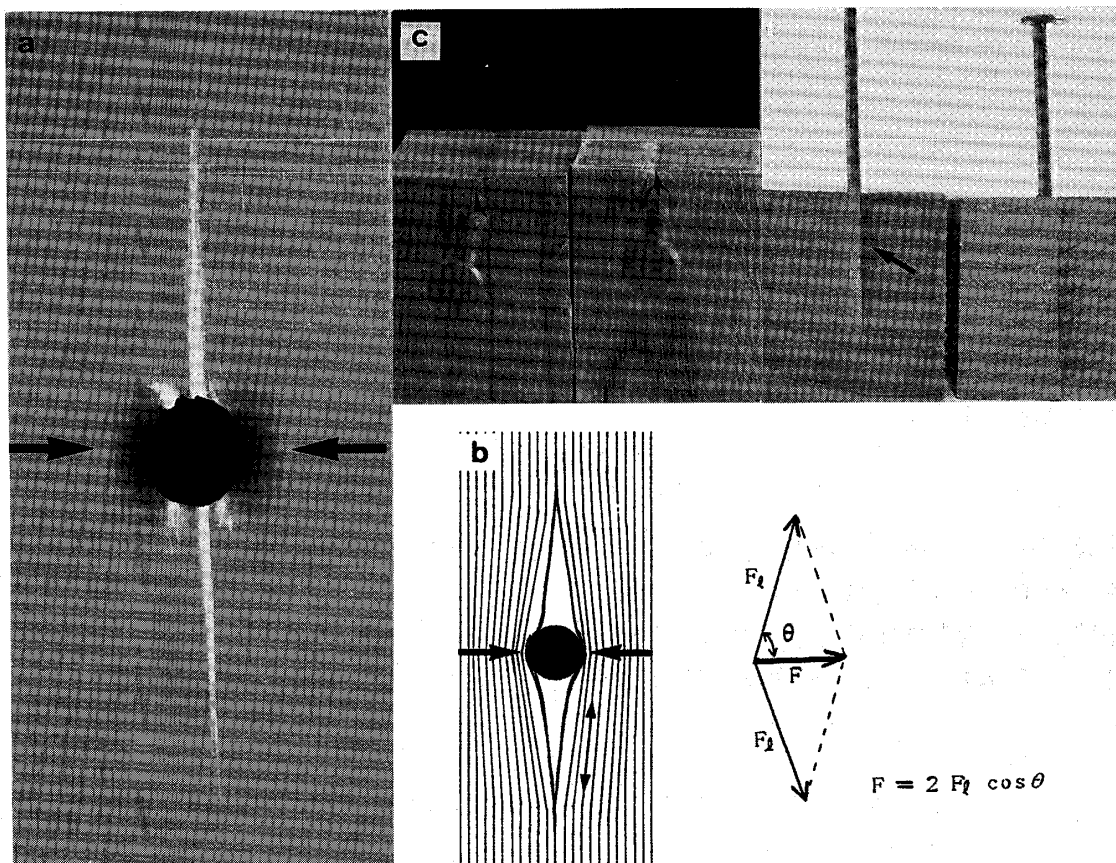


図6 繊維直角方向に釘を打込んだ時の組織変形 (平面図)

値を示すのは当然であろう。

次に繊維直角方向に打込んだ時の変形と破壊の様子を図6に示す。軟X線透過像(図6-a)から、繊維方向にかなり長い割れ(横引張破壊)が発生するとともに、一部の繊維の引張りまたはせん断による破断の結果、この方向に幅広い空間を生じている様子が観察される。一方、繊維直角方向の組織は大きく圧密されており、この方向だけから釘に圧縮力が作用している。このように空間が多いにもかかわらず、繊維直角方向の引抜き耐力が繊維方向より常に大きな値を示すのはなぜであろうか。その理由は次のように考えられる。周知のように木材は異方性材料であり、繊維方向の引張強度はホオノキで $1000\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上あるのに対して、直角方向のそれは数 $10\text{kgf}/\text{cm}^2$ にすぎない。弾性係数も同様に差異がある。したがって、繊維直角方向に釘が打込まれたとき繊維方向に大きな引張り応力が発生し、それが釘に対し圧縮力として作用するものと考えられる(図6-b)。ちなみに木口面に近い部分で繊維直角方向に釘を打込むと木口表面に凹みを発生する(図6-c)。このことから、繊維方向の引張り応力の発生が理解される。結局、繊維直角方向に打込んだ釘には材料の横圧縮強度に対応する力が作用するだけでなく、さらに上記の力も加わって強く釘を圧縮するものと考えられる。

以上の実験事実を念頭に置いて、ある教科書の摩擦力発生機構の説明図(図1)を見直すと、その矢印の方向の不適切さが理解されるであろう。

中学生に対し繊維直角方向の引抜き耐力発生機構をわかりりやすく説明するのは容易でないと思われるが、例えば子供の遊具のゴムを使ったパチンコを例により、伸びたゴムがパチンコ玉に作用する力と同様の力が、釘に対し両側から作用すると教えれば理解を得やすいであろう。授業時間にゆとりがあれば平行に張った2枚の広幅のゴム板の間に釘をはさみ、ゴムの張り方によって引抜き抵抗がどう変化するかを実験してみるのも、理解を深めるために有益であろう。

以上本報告では釘接合を取上げたが、この問題に限らず工場等の生産現場や住宅建築現場は、日夜、技術革新が進みつつある。それらを教育現場に性急に持込むことは決して有益とは思えないが、授業の中で生かせる基礎的な技術については、積極的に教育実践に生かす努力が必要であろう。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、神奈川県家具指導センター及びソフテックス社に大変お世話になった。ここに謝意を表する。

## 引用文献

- 1) 東京書籍：新しい技術・家庭上 [技家709] 24~25 (1987)
- 2) 開隆堂：技術・家庭上 [技家711] 21,35 (1986)
- 3) 平田晴路：日本産業技術教育学会第31回全国大会講演論文集 29 (1988)
- 4) 加藤幸一，斉木喜良：日本産業技術教育学会関東支部第1回大会講演論文集 1 (1989)



- 5) 線材製品協会：釘設計施工マニュアル 45～47 (1979)
- 6) 近藤保, 小石真純：マイクロカプセル 114 (1987) 三共出版
- 7) 橘田紘洋, 佐野守孝, 村田昭治：日本産業技術教育学会第30回全国大会講演論文集 21 (1987)