

# 木材の釘着性について

松 田 健 一

Studies on the Holding Power of Nailed Wood Joint

Ken-ichi MATSUDA

## 1. はじめに

現在の中学校の技術・家庭科の「木材加工」の領域において、その内容を検討すると理論的裏付けが欠けているのに気付く。その内から、今回は、木材の組立構造の基本的な接合法のひとつである釘接合をとりあげ、その接合強さを応用面をも含めながら解明した。釘接合については、すでに数多くの報告がなされている。しかし、これらは釘着性を最大保釘力のみで述べている。本実験では、この木材に対する釘の接合強さを、単に、釘の引抜きに要する最大の力だけではなく、それに至るまでの時間的要素も加味しながら、引抜きに費やされる仕事量も釘接合の特性とみて、釘の保持力と仕事量を関連づけながら、種々の接合因子のもとで検討したものである。すなわち、木材の理学的性質と接合構造との関係を、比重、含水率、晩材率、経時的变化、さらに、釘の太さ、打込深さ、角度、方向、予備孔、釘数、接着剤などの諸因子が保釘力、仕事量におよぼす影響を明らかにし、その強度数値の数式化を試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材

釘着性の基材となる木材には、針葉樹（比重0.4~0.57, 含水率15~60%）の11種, 広葉樹（比重0.24~0.91, 含水率15~95%）の14種の計25樹種を選び、寸法形状は、特定のものを除き、厚50, 巾50, 長100 mm の直方体二方柱に木取った。釘は、JIS A 5508 に規定された鉄丸釘（BWG 寸法）の N 40~N 50 の範囲のものを使い、主に N 45 の釘を多用した。また、釘着性を釘と接着剤による複合接ぎの効果をみるために酢酸ビニルエマルジョン樹脂を使用した。

### 2.2 実験装置

釘引抜試験には、万能材料試験機（TOM 5000D）を使用し、これに釘引抜用治具を、また、応用的な接合強さの測定用には、とくに治具を考案製作したものをセットした。

### 2.3 測定方法

木材の釘着性を、(a) 内的因子、(b) 外的因子、(c) 応用的因子の三因子別に分けて検討した。木材が釘接合に作用する因子、比重、晩材率、含水率、経時性を (a) とし、釘が作用する因子の釘

径、打込角、予備孔、打込深さ等を (b) に、さらに、(a) と (b) の応用面を含めた因子として釘数、打込方向と角度、接着剤との併用効果を (c) にとりあげた。(a) の場合は、試験片の形状は、 $50 \times 50 \times 100$  mm を使用し、(b) では、(a) と同じ試験片で因子条件を変えて、また、(c) では、釘が複数となり、板接合部の板全体に力を加えて引抜く、この試験片には、 $50 \times 50 \times 230$  mm の角材に、 $12 \times 65 \times 200$  mm の板材を用いた。そして、試験片に N 45 の釘を力が均等にかかるように等間隔 (30 mm) に一列に打ち、試験機に板部を固定し、角材部を下方へ移動して引抜いて測定した。角材は板目面の木表を打込面とした。打込方向と角度は、Fig. 1 (イ)~(ハ)の三通りとした。なお、

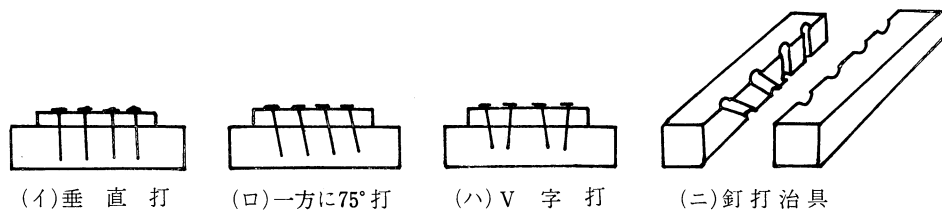


Fig. 1 釘の打込方向と角度

本実験は、JIS 規格に準じて実施したが、打込方法を同一条件とするために、図の(ニ)のような治具を考案し、溝の傾きにより打込角をきめ、板の厚さにより、釘の打込深さが調節でき、打込時には、2つの板を合せて溝に釘をセットし一定の深さに達すると、その板を分ける。この方法で規定の深さまで打込んだ。釘の引抜速度は、作業性を考慮して 20 mm/min とする。測定値は、1 因子につき、6ケの試験片を用い、板目、柾目、木口面に3~6本の釘を打ち、その平均値である。

### 3. 実験結果・考察

#### 3.1 比重

今回の目的である釘着性を、保釘力と仕事量から究明するまえに、従来の資料を確認する意味で樹種別の保釘力を測定した。Fig. 2 は、25樹種を比重別に、さらに、これらを柾目、板目、木口面の三面に分けて釘を打込み、引抜いた結果である。図から、これらの因子が保釘力におよぼす影響は保釘力  $P$ 、木材の比重  $S$ 、相関係数  $r$  とすると、次式であらわすことができる。

$$\text{柾目面 } P = -122.7 + 385S \quad r = 0.82 \quad (1)$$

$$\text{板目面 } P = -108.3 + 357S \quad r = 0.84 \quad (2)$$

$$\text{木口面 } P = -69.2 + 253S \quad r = 0.81 \quad (3)$$

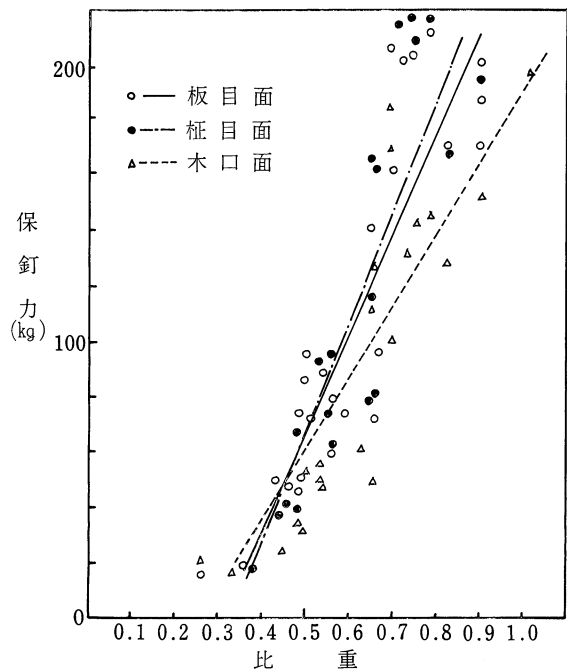


Fig. 2 木材の比重と保釘力



Photo. 1 スギの板目面

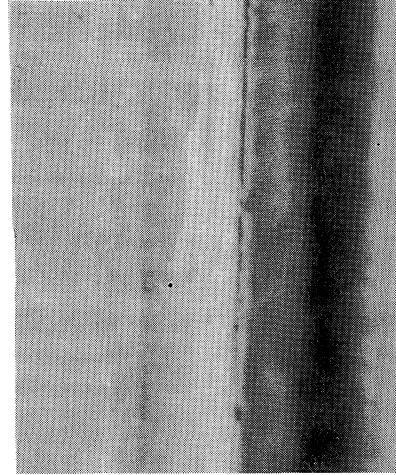


Photo. 2 スギの木口面

すなわち、木材の比重と保釘力の関係は、正の高い相関を示し、比重が大きくなると保釘力も増加する。また、三面と保釘力については、前式から判るように比重の影響を受けると同時に、三面間では、板目面、柃目面の両面と木口面との間に、明らかに保釘力に差が生じている。これは、木材の繊維構造と密接な関係があり、板目、柃目面から釘を打込む場合は、繊維に対して直角に打込むことになり、釘に対する抵抗も大となる。木口面に打込んだときは、繊維と平行になり、繊維の抵抗が少い。Photo 1, 2 をみても判るように、板目面から打込んだ場合 (Photo 1) は、繊維が打込み方向に折曲げられ、引抜き時に抵抗をもたすが、木口面より打込んだ場合 (Photo 2) は、釘道を拡げるだけで釘の抜けるときの抵抗が少い。ゆえに、他の二面と比較して保釘力は劣ることになる。ただ、板目、柃目面については、従来、比重が大きくなると、保釘力は近似して両面間には差がなくなることが云われているが、本実験では、両面間の保釘力が、ある比重域を境にして変化している。すなわち、木材の比重が、0.43以下では板目面>柃目面となり、0.43以上になると板目面<柃目面と材面間に差が生じ、その強さも僅かであるが転換する傾向を示した。これは、年輪に対する打込方向で違って来るようで、ラワン、アピトンなど年輪の明確でないものは、その差が少い。年輪があり、比重小にして早材、晩材の区別のはっきりしているものほど、板目面<柃目面の傾向を示す。比重が大きくなると、早晩材の区別がつきにくく、年輪の巾も狭くなり、釘に対する抵抗力は、板目方向から打込んだ場合より大きくなる。ここでは、比重と保釘力を検討したが、単に比重のみでは説明できないものもあり、タブノキのように、樹種特有の含有成分が釘着性に影響をおよぼす場合がある。たとえば、タブノキは、比重0.6であり、保釘力は100 kg 前後を示すはずだが、実際には40 kg と0.42のものと同じであった。これは、タブノキの含有成分が木材との摩擦力を低下させることに起因するのであろう。

### 3.2 晩材率

ベイツガの晩材率が、9%、27%、39%の材を使用し、Fig. 3の結果をえた。保釘力は、板目、柃目面ともに晩材率間に全体として有意差が認められ、晩材率の占める割合がふえるほど増加して

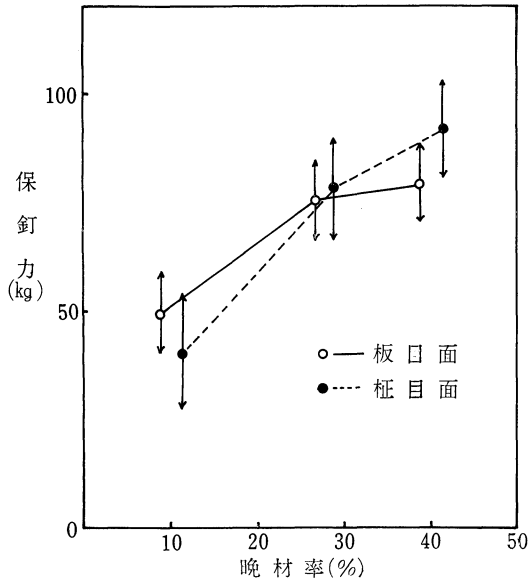


Fig. 3 晩材率と保釘力

いる。晩材率と比重の関係は、9%材で0.44、27%、39%材では、それぞれ、0.57、0.56と晩材率には10%差があるにも拘らず比重に差がなかった。それなのに、晩材率の高い方が保釘力が高い。このことは、晩材率が釘接合に影響をおよぼす因子であることを示す。

### 3.3 含水率

スギと、イタジイの生材に釘を打ち、時間をかけて乾燥させながら引抜き、含水率の影響をみたのが、Fig. 4と5である。スギの場合、約1カ月を要して含水率50%から15%まで乾燥したが、その保釘力の変化は、Fig. 4のとおりで、含水率50%→30%間は、余り変化はなかったが、30%以下

になると急激な低下現象をきたした。そして、最終的には60%も減じている。このことは木材が乾燥する過程で繊維飽和点を境にしておこる細胞収縮のために、釘を締めつける力が減じてくるためである。

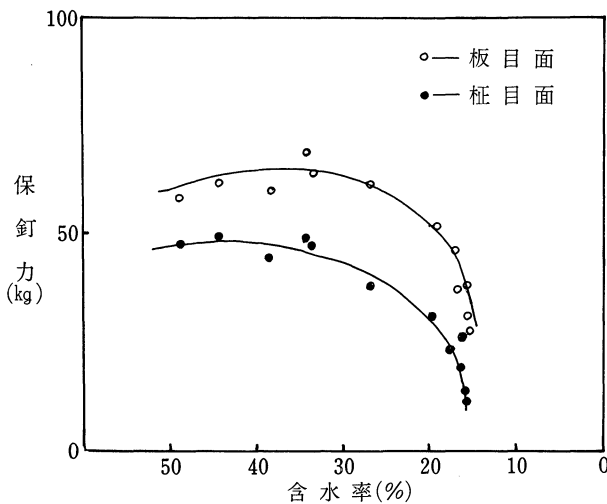


Fig. 4 含水率と保釘力 (供試材: スギ)

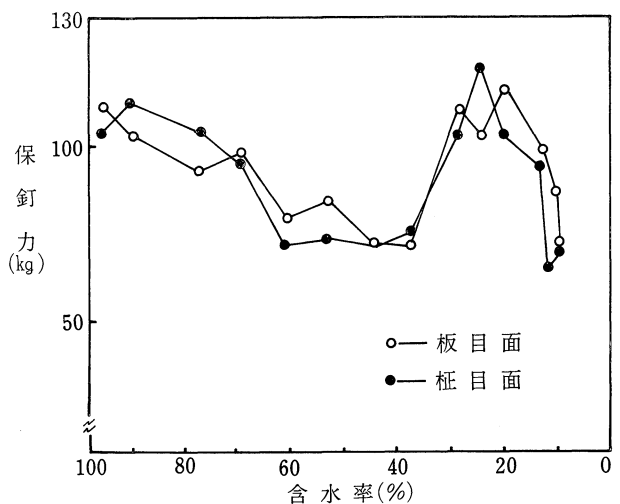


Fig. 5 含水率と保釘力 (供試材: イタジイ)

Fig. 5にはイタジイのそれを示した。イタジイは、製材直後のもので含水率が非常に高く100%弱であった。そのために、含水率低下には自然乾燥と人工乾燥をとりいれて、約60日を要して所要含水率(15%)まで落した。この図から、スギの場合と異り、保釘力は、はじめから徐々に下がり、途中で急に上昇し、再び低下する現象がみられた。これは、スギは乾燥性がよくて水分移動が円滑に行われるので、ほぼ、ゆるやかな水分傾斜を呈するために繊維飽和点までは収縮は生じないが、広葉樹の場合、水分移動が円滑にゆかず、表層部と内層部との間に水分傾斜が著しく、内層部は

高含水率のままであるが、表層部は繊維飽和点以下になって収縮をはじめ、釘の接触面積が少くなるために保釘力の低下してくるものと考えられる。また、含水率40%当りで急に上昇している。この原因は推測であるが、釘の錆が考えられる。イタジイはタンニンを含む、そのタンニンが pH2~pH3 もあり、そのために釘の表面が酸におかされ、凹凸をはげしくして、一般的に摩擦係数を増加させたのではないだろうか。含水率20%以下になると、急激に低下しているが、さびが急な収縮についてゆけなかったためであろう。最終的には、スギと同様に40%以上の低下を招くことが判った。木材を釘接合する場合、乾燥材の使用が大切な条件であることを示している。

### 3.4 経時的変化

Fig. 6-1 は、気乾材（ラワン）に釘を打ち、経時による保釘力の変化を示した。その保釘力は70 kg~100 kg の間で変動しているが、相対的には低下していない。しかし、釘の引抜き仕事量に

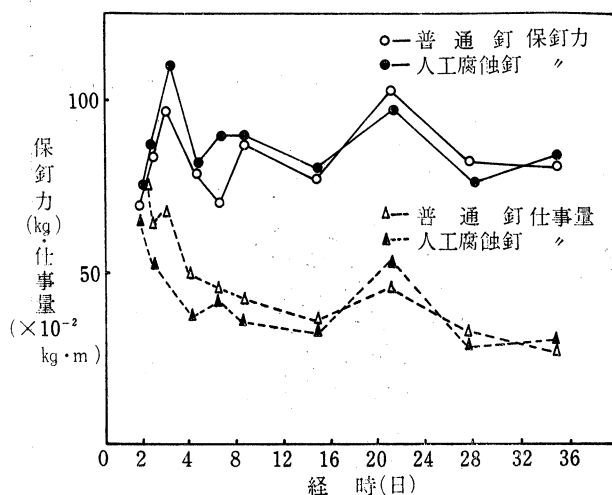


Fig. 6-1 経時と保釘力・仕事量

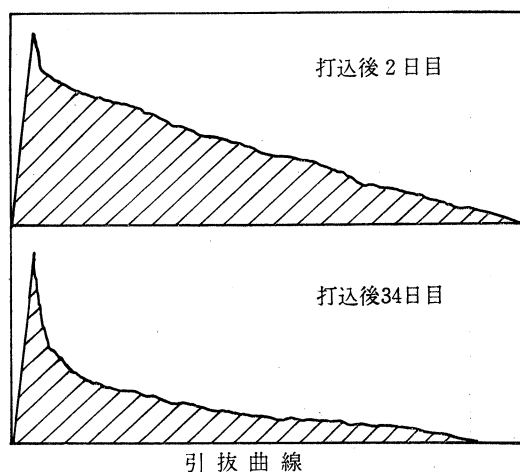


Fig. 6-2 釘の引抜作用の経時的変化図

おいては顕著にあらわれてくる。すなわち、今回の実験では、20日後に何が原因か判らないが、保釘力、仕事量ともに高くなっているのを除けば、打込んで1日目が高くて、日毎に低下してゆく。釘を打込む際、木材の繊維を切断押し分けて (Photo 1) いくが、繊維は単に切断されるのではなく、打込方向に折曲げられて、弾性エネルギーという形で蓄えられているのであろう。それも、時日の経過と共に弾性を失い、そのエネルギーを消滅してしまう。Fig. 6-2 は、その状態を示した引抜曲線図で、打込んで2日目と、34日目では、保釘力をみると最高に達するまでは変わらないが、その後の低下の傾向が異っている。2日目は引抜抵抗が持続するのに対し、34日目はピークから加速的におちている。よって、気乾材に釘を打ち込んだ場合、保釘力そのものに大きな変化は生じないが、引抜き仕事量は日が経つにつれて落ちてくることを知る。また、Fig. 6-1 には人工的に硫酸20%溶液で腐蝕させた釘を使用した場合について示した。保釘力は、わずかに普通釘よりも高い値が出たが、逆に仕事量では低くなっている。この結果、腐蝕により摩擦係数はふえるが、酸で繊維が犯され、低下するものと推測される。

### 3.5 打込角度

Fig. 7-1 には、カポールを使って、保釘力と引抜仕事量をあらわした。保釘力は有意差検定の結果、有意差はみられず、角度が変わっても、打込深さが同じならば最大保釘力には影響はない。ところが、最大保釘力に達するまでの仕事量を検討すると、明らかに差が生じ、有意差がみられ、角度の90°と75°をくらべると、75°で2倍の仕事量となっている。60°、45°とでは10倍以上である。ただ、角度が60°、45°になると、接合部に加わる力には剪断的要素が強くあらわれてくる。よって、釘の打込角度は、保釘力には大差はないが、引抜かれるまでに要する仕事量からみて、75°前後の傾斜打ちが効果的である。Fig. 7-2 は、前図の打込角90°と60°の場合の釘が引抜かれる状態を示した引抜曲線図である。図中の点部と斜線部は、最大保釘力に達するまでの引抜仕事量である。

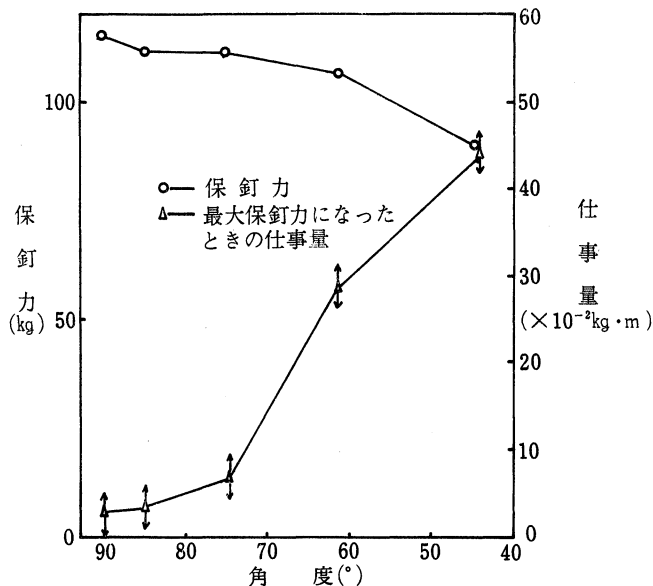


Fig. 7-1 打込角度と保釘力、仕事量

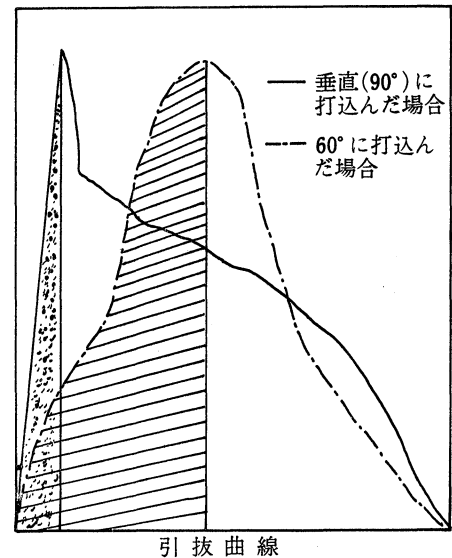


Fig. 7-2 打込角度と釘の引抜き作用変化図

### 3.6 釘径と打込深さ

この実験では、ベイツガ（比重0.59）を使い、板目、柾目面の両面について行った。その結果は、Fig. 8 のとおりである。保釘力は釘径 2.41 mm で最高となり、2.8 mm になると落ちてきている。釘径が大きくなると接触面積はふえ、材が釘を締める力も向上するはずであるが低下している（単位面積当りに換算してもその傾向がみられた）。これは、材に肉眼で識別できない割れが生じて締力を減ずる結果と考えられる。むやみに釘径を太くすることは、実際には保釘力の低下を招くので、使用する材料の厚、巾に合った釘径を使用することが望しい。

これと関連して、Fig. 9 には、打込深さと保釘力との関係を示した。これから、正の高い相関がみられ、保釘力  $P$ 、釘の打込深さ  $l$  とすると、その関係は、次式であらわされる。

$$\text{柾目面 } P = -11.28 + 3.98l \quad r = 0.99 \quad (4)$$

$$\text{板目面 } P = -2.68 + 3.86l \quad r = 0.99 \quad (5)$$

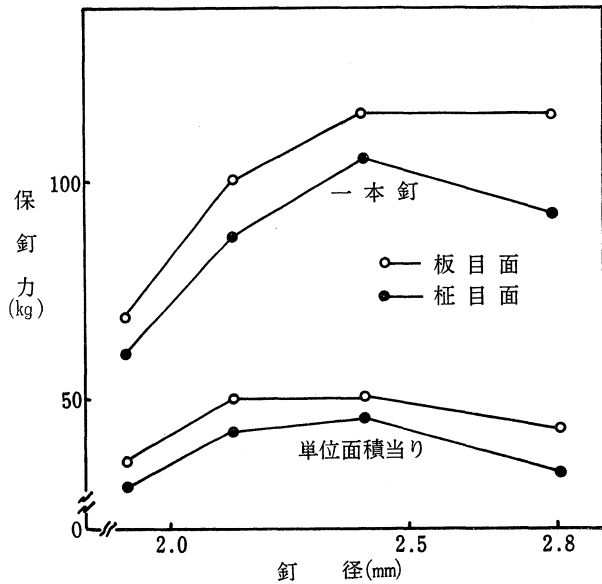


Fig. 8 釘径と保釘力

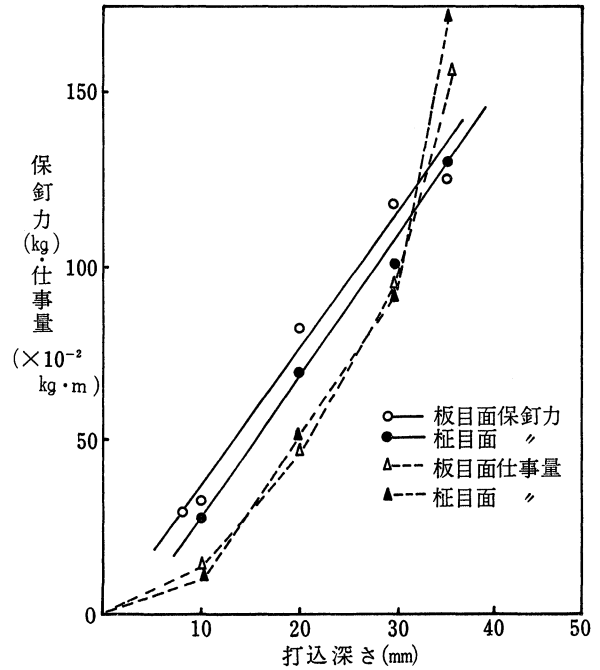


Fig. 9 打込深さと保釘力, 仕事量

引抜仕事量は、打込深さが浅いときは、大きくないが、ある深さ  $l$  をこえると急上昇して抜けるようになる。Fig. 8 と 9 から、釘径と打込み深さとの関係を見ると、本実験に供した寸法形状のものでは、釘径 2.41 mm が最も効果的である。ここで、

比重との関係式を参考にして、板目面の場合、木材の比重  $S$ 、釘径  $d$ 、打込深さ  $l$  とすると

$$P = (1.53S - 0.47) d\pi l \quad (6)$$

が成立する。

### 3.7 予備孔

ベイマツとイタジイの針、広葉樹を供試材とし、予備孔は孔径 2 mm, 2.2 mm に設定し、孔の深さは、打込深さの 1/2 の 15 mm として電動ドリルで孔をあけ、板目、柁目面の両面について予備孔の効果を検討したのが Fig. 10 である（使用釘 N 45）。先ず、ベイツガの保釘力は、有孔は無孔よりも小で、有孔でも、孔径小のものは大となる。有意差検定でも、板目、柁目面とも有意差があり、各組間では、板目面では三水準間において、いずれも有意差があり、柁目面では、無孔と有孔間では有意差があるが有孔<sub>1</sub> と有孔<sub>2</sub> との間には有意差がない。この結果から、ベイツガでは無孔の場合が、当然、最大の保

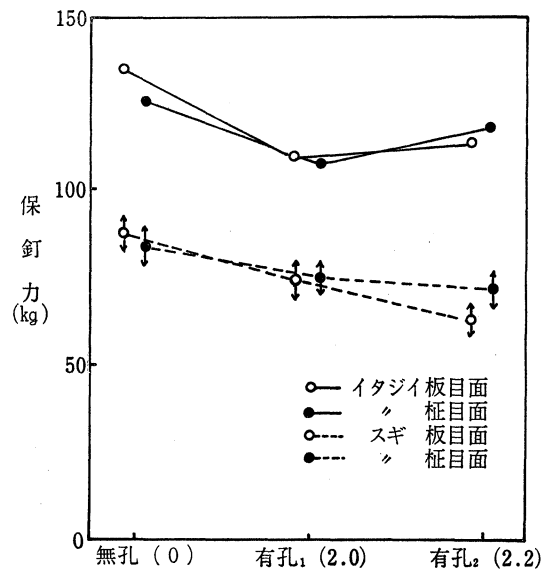


Fig. 10 予備孔と保釘力

釘力を示すが、割れなどを防ぐために、予備孔を必要とする場合は、割れを出さない、もっとも小さい孔径にすることが望しい。イタジイの場合は、ある程度の低下はまぬがれえないが、全体としてみると、三つの間には有意差がない。以上から、小比重材のものでは予備孔を設けることで、いくらかの保釘力減はある。比重大なる材は、予備孔の影響は少いが、硬材になると打込み作業も困難になるので、ある程度の釘道をつけて、打込みやすいように予備孔を設けるべきである。

### 3.8 釘 数

釘数と保釘力の関係は、Fig. 11 のとおりである。その関係は正の高い相関を示したが、これを、保釘力  $P$ 、釘数  $n$  とすると、次式が成立する。

$$P = 35.6 + 64.9n \quad (7)$$

この式は、(6)式の  $l=33$ 、 $S=0.56$ 、 $d=2.45$  とすると、(7)式で、 $n=1$  とした場合、ほぼ一致するが、釘数が増えた場合、(6)式の整数倍とはならず、その整数倍より低い値が、実際の値である。

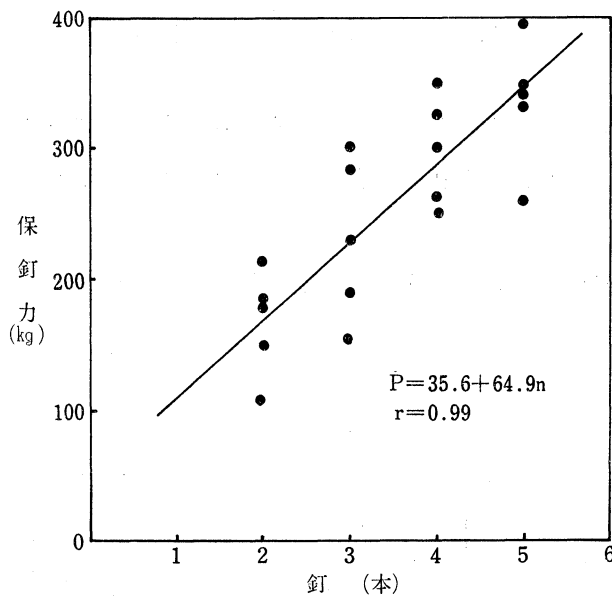


Fig. 11 釘数と保釘力

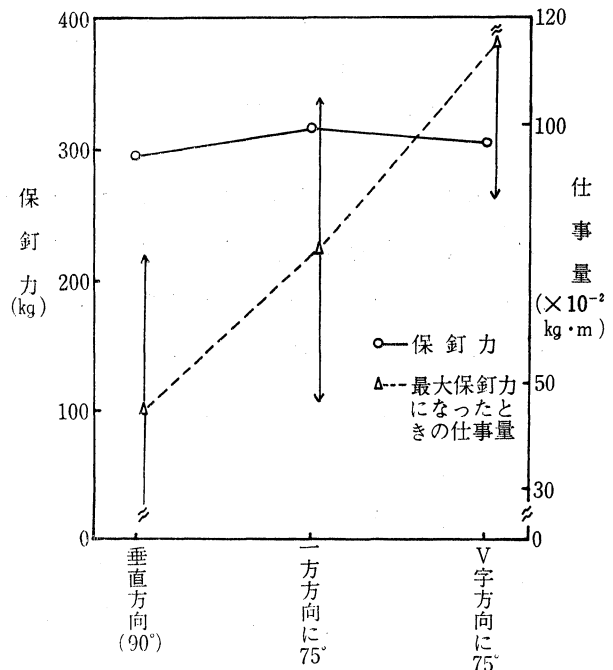


Fig. 12 打込み方向と角度と保釘力, 仕事量

### 3.9 打込方向

Fig. 1 ①~④に示したように、釘を4本使用し、打込方向をかえて実験した結果は、Fig. 12 のとおりである。保釘力は、三つの間には差はない。ただ、最大保釘力に達するまでの仕事量では、明らかに垂直方向  $<$  一方方向に  $75^\circ <$  V字方向に  $75^\circ$  の関係が成り立ち、有意差を認めることができた。以上から、釘は  $75^\circ$  に傾斜をもって打込んだ方がよく、また、同じ  $75^\circ$  でも、V字方向に打込む方が引抜きを困難にすることができる。

### 3.10 接着剤

接着面積  $19 \text{ cm}^2$ 、釘を2本で行った結果は、Fig. 13 に示すように、個々に、釘力と接着力と、



この2つを併用した場合の複合接の強さの関係をみると、次のようになる。

釘力 + 接着力 > 複合接ぎ強度

複合接ぎされた場合、保釘力、接着力のいずれが減ずるとも云えないが、ここでは、複合すること自体に効果がある。保釘力は、接着力よりも劣るが、釘を打つことで接着面に圧を加え、その効果を高める。また、釘は時間が経つと抜けやすくなることは、前の実験で立証したが、接着力は時間が経つと増す。お互いをカバーし合えるので、より効果的である。

#### 4. 結 語

木材の釘着性を検討するとき、単に最大保釘力をもって釘の接合強さとするのは早計である。木材に打込まれた釘が、外力によって引抜られる場合、その接合強さは、最大保釘力と、完全に引抜かれるまでに要する仕事量の二つの要因から考慮すべきである。

木材の釘着性に関する結果をまとめると、次の通りである。

1. 木材の釘接合は、比重と密接な関係にあり、比重大なるに従い、保釘力は直線的に増加する。ただ、木材の含有成分が比重とは無関係な保釘力を示す場合もある。
2. 高含水率材に釘を打った場合、材の乾燥のために細胞収縮がおこり、そのために、釘をしめつける力が消失して保釘力の低下をまねき、生材から気乾材に至るまでに、針、広葉樹をとわず、40~60%の減少を示した。
3. 気乾材に打込んだ場合、時日の経過をみても、保釘力には大きな変化はない。しかし、引抜仕事量は減じて、引抜きやすくなる。
4. 予備孔を必要とする場合は、比重小なる材は、保釘力の低下を、あらかじめ、予測して孔径を決めること。比重大なる材は、保釘力の低下はみられないので、積極的に予備孔をつけて、割れを防ぐ、かつ、打込み能率をあげるべきである。
5. 釘の打込方向と角度は、4本の釘で、接合する場合、V字方向に75°の傾斜をつけて打込むのが効果的であることを引抜仕事量が示している。さらに、接着剤との併用は、複合接ぎの強さを発揮して接合効果のあることを確めた。

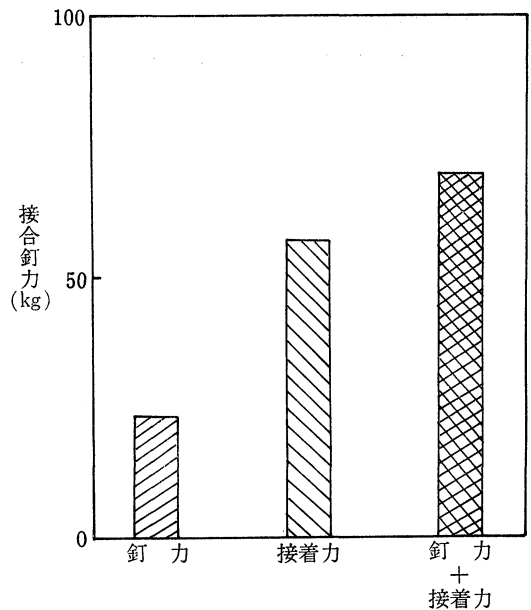


Fig. 13 釘着性におよぼす接着剤の効果

#### 参 考 文 献

- 1) 関谷文彦：木材強弱論，朝倉書店
- 2) 全国職業教育協会編：技術・家庭1・2，開隆堂。

- 3) 産業教育研究連盟編：新しい技術教育の実践，国土社.
- 4) 農林省林業試験場編：世界の有用木材300種，日本木材加工技術協会.

(1979年10月15日 受理)