

鋸歯の切削温度におよぼす挽材条件の影響

青 山 経 雄⁽¹⁾

I ま え が き

帯鋸、円鋸による挽材作業において、切削熱は切削抵抗とともに作業に大きな影響を与える。切削抵抗が大きくなると挽材が困難になることは明らかであるが、切削温度が高くなると鋸の座屈強度を低下させ作業をさまたげる。また鋸の腰入れにあたつても、挽材時における切削熱を考慮して作業を行わなければならない。従来の研究においては切削抵抗について比較的多くの報告があるが、切削温度に関するものは少ない。これは切削温度の測定方法が困難であるのと、熱現象そのものが複雑であるなどの理由によると思われる。

また、切削熱についてもその研究は主として鋸身の温度分布などが多く、挽材条件との関係を求めたものは少なかった。このため本実験においては鋸歯の切削時の温度上昇について挽材条件との関係を求めた。また実験には円鋸を用いたけれども、鋸歯という点に注目すれば帯鋸にもその傾向はあてはまると考えられる。鋸の挽材現象を考える場合の一つの基礎的な資料として役立てば幸いである。

なお、本試験にあつては小倉武夫木材部長をはじめ、中村源一加工科長、前加工科長平井信二東大教授、鈴木寧製材研究室長、枝松信之前製材研究室長のご指導のもとに、製材研究室の方々のご協力によつて遂行されたもので、これらの方々に深く感謝の意を表するとともに、特に実験装置については元製材研究室員仁賀定三技官に負うところが大きく、また実験にあつては終始助力していただいた遠田伝技官に厚くお礼を申し上げる。

II 試 験 方 法

2・1 鋸歯の温度測定方法

鋸歯の切削時の温度測定には白金線ゲージを用い、その電気抵抗の変化をひずみ計によつて測定した。その概要は Fig. 1 のとおりで、Photo. 1 にその概観を示す。すなわち、白金線の抵抗が温度によつて

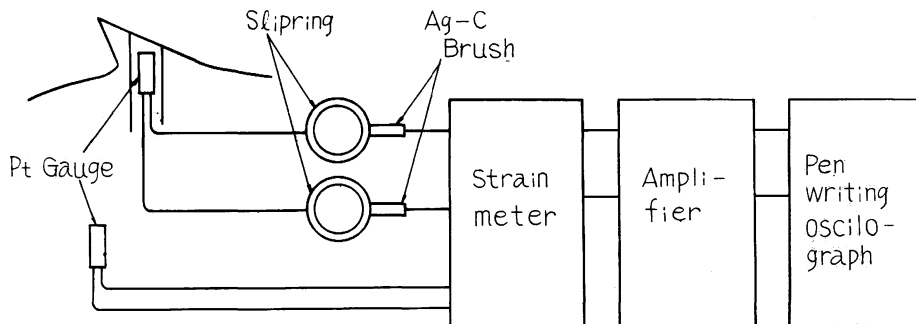


Fig. 1 実験装置の概略 Schema of measuring apparatus

(1) 木材部加工科製材研究室員

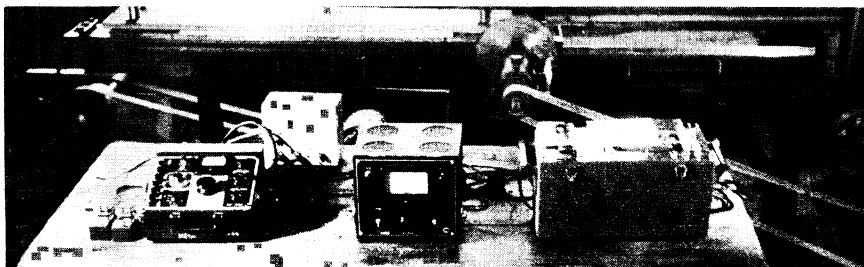


Photo. 1 実験装置 Experimental apparatus

変化し、ひずみ変化には敏感でない点を利用し、ひずみ測定用のストレンゲージと同じ構造で抵抗線の代わりに白金線を薄紙にはさんだゲージで、使用した白金線は直径 0.025 mm 、抵抗 $26\ \Omega$ で、ゲージの面積は $2.2\text{ mm} \times 8.0\text{ mm}$ である。したがって測定部は或る面積をもつので、その平均的な温度を測ることになる。

ゲージを鋸歯に接着する場合には、ゲージおよびリード線が挽板と接触しないよう、温度を測定しようとする鋸歯の挽板の出る側にみぞをほり、その底面を平滑にして石炭酸樹脂で接着した。またみぞはフランジの部分まであけ、リード線をニトロセルローズ接着剤によつて埋めこんだが、特に鋸身との絶縁に注意した。リード線はフランジ表面と鋸軸に絶縁テープで固定され、軸受部では軸にあげたみぞを通した。

回転する鋸軸から電流を取り出すにはスリップリングとブラシを用いた。スリップリングは銅製、ブラシはグラファイト 70 %、銀 30 % の直径 4 mm 、長さ 10 mm の円筒形のもので、ブラシはスプリングによつてリングに押しつけられるが、その状況は Photo. 2 のようである。回転した場合に接触点には摩擦熱を生じ、接触電位差も起こるわけであるが往復の回路にあるので相殺され、それらの影響は少ないという結果¹⁾も報ぜられており、また実際に空転を長くしてもペンがふれるようなことはなかつた。

白金線ゲージの抵抗変化の測定には抵抗線ひずみ

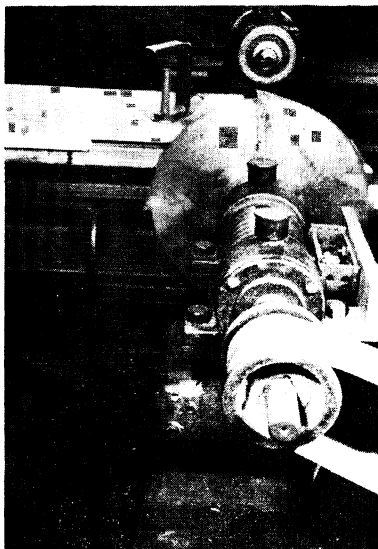


Photo. 2 スリップリングと銀グラ
ファイトブラシ
Sliprings and Ag-carbon brushes

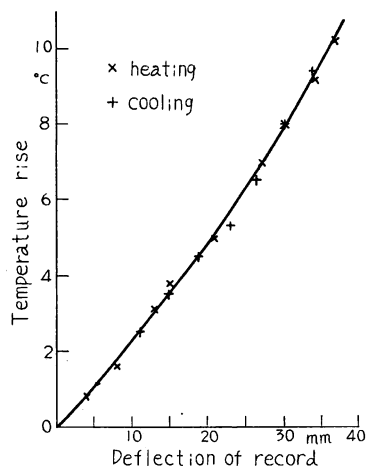


Fig. 2 較正曲線の一例
Example of calibration curve

計をそのまま利用し、ひずみゲージの代わりに鋸歯に接着した白金ゲージを接続し、温度補償用ゲージにも白金ゲージを用いたが、白金ゲージは $26\ \Omega$ なので回路にそれぞれ $95\ \Omega$ の抵抗を入れた。温度補償用のゲージは大気中に放置したので鋸歯の温度は気温からの温度差を示すことになる。ひずみ計の測定電流は増幅してペン書きオシログラフに記録した。

測定ゲージの温度の校正には、ゲージを接着した円鋸をそのまま電気恒温器に入れて徐々に加熱するとともに、ゲージの近くにあらかじめ校正した熱電対を密着させて鋸の温度を求め、校正曲線を得た。その一例を Fig. 2 に示す。鋸によっても異なるが大体下方にやや凸になった曲線となるが、測定範囲のせまい場合等は計算の便宜上直線とみなしたこともある。

また、切削にともなつて鋸歯は力をうけ、ひずみをおこして白金線ゲージに影響することが考えられるが、白金線では温度による抵抗変化に比べてひずみによるものは小さいので無視できる。実際、ゲージを接着した鋸歯に相当強い衝撃を与えてみたが、オシログラフには現われなかつた。また鋸身とは接着層と薄紙によつて接しているから、熱伝導による遅れが想像されるが、これはほとんどなかつた。

2・2 供試鋸

挽材には円鋸を使用し、鋸身の強度を高めることと、みぞをはる関係から比較的厚い鋸を用いた。鋸歯の数はアサリをつけない場合は 4 枚、アサリをつけた場合は 2 枚にした。これは材の送り速度が遅くても切込み深さを大きくとれること、鋸歯の仕上げが容易であること、他の鋸歯の切削温度の影響を受けないなどの理由による。歯先はグラインダーおよび手やすりで研磨した後、油砥石で仕上げた。

アサリをつける場合は振分けアサリとした。これは振分けアサリの方がバチアサリよりアサリの条件をきめるのが容易なためである。アサリ出しは目打ち台またはアサリ出し器によつた。供試した鋸の条件を Table 1 に示す。なお、研ぎ角はいずれも 0° とした。

Table 1. 供試円鋸 Saws used for tests

鋸 Saw	鋸 径 Diameter of saw	鋸 厚 Blade thickness	歯喉角 Hook angle	歯端角 Sharpness angle	歯背角 Clearance angle	歯 高 Height of tooth	アサリの逃げ角 Side clearance angle
	mm	mm	°	°	°	mm	°
No. 1	300	2.40	17	51	22	12.1	0
No. 2	300	2.40	18	52	20	12.5	0
No. 3	250	1.64	15	50	25	10.2	7
No. 4	250	1.65	17	52	21	9.6	17

ゲージの接着箇所はその中心がほぼ歯底円上にくるようにした。あまり歯背に近いと、摩擦してはがれるおそれがあるのと、鋸身の座屈には歯底部の温度が問題になるためである。ゲージの接着位置は大体 Table 2 のようである。

2・3 挽材条件

材の送りにはナイフグラインダーの送り装置を利用した。挽材の位置は鋸軸の上方で材の送り方向と鋸の回転方向は互いに逆になる。試験材の下端と鋸の中心との距離は、アサリをつけた場合は $76\ \text{mm}$ 、アサリをつけない場合は $67\ \text{mm}$ で

Table 2. 白金ゲージの位置
Position of gauge adhered

鋸 Saw	みぞの深さ Depth of groove	歯端からの距離 Distance from tooth point
	mm	mm
No. 1	1.20	14
No. 2	1.00	15
No. 3	0.81	14
No. 4	0.87	14

ある。歩出しは1回ごとに定規を送材台にあてがつて規整した。挽材によつて生ずる挽板の厚さは実験の種類によつて異なるが、その平均値が1~2 mmの範囲で、厚さは1枚ずつ前後端から約10 cmのところと中央の3箇所をノギスで測定し、平均値があまり異なるものはのぞいた。材の送り方向と鋸身面とはアサリのある場合は平行にし、アサリをつけない場合は約20°傾けて鋸身と試験材とが摩擦しないようにした。あまり逃げをとると今度は挽材との摩擦が影響するようであつた。測定は同一条件について3~5回ずつ行なつた。

2・4 供試材料

供試樹種はアサリのある場合はスギ、アカマツ、ブナ、ミズナラの4樹種で、アサリをつけない場合はスギの代わりにエゾマツを用いた。これらは含水率の試験のほかは気乾状態で、無欠点心材部であるが多辺材のはいつた場合もある。

試験材は板目木取りで切削は木表から木裏の方向に行なつた。厚さは挽幅の試験以外は10 mmとし、長さは大体400 mmのものと、1,000 mmの2種類で、アサリのない場合と含水率の試験は短い方のものを用い、他は長い試験材を用いた。試験材は上下面をプレーナー仕上げしたが、手鉋仕上げしたものもある。また測定時にはその時の気温と湿度を記録した。

III 実験結果

3・1 鋸歯温度上昇曲線

3・1・1 切削温度の上昇経過

切削時の鋸歯の温度上昇の状態を観察すると Fig. 3~6 の例ようになる。これらはいずれもアサリのある場合であるが、切削が始まっても温度はすぐに上昇せず、少し時間をおいてから初めゆるやかに

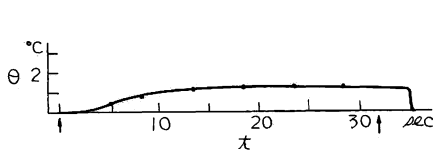


Fig. 3 温度上昇の例 (スギ, 鋸速度 $v=49.6$ m/s, 送り速度 $f=2.04$ m/min)

矢印は切削の開始および終了を示す。
Example of temperature rise (SUGI, cutting speed $v=49.6$ m/s, feed rate $f=2.04$ m/min)
Marks show the start or the end of cutting.

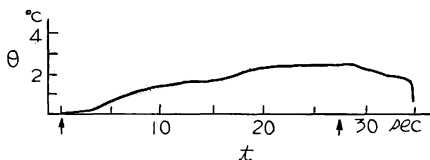


Fig. 4 温度上昇の例

(アカマツ, $v=49.6$ m/s, $f=2.04$ m/min)

Example of temperature rise (AKAMATSU)

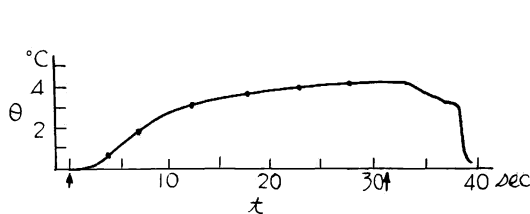


Fig. 5 温度上昇の例

(ブナ, $v=49.6$ m/s, $f=2.04$ m/min)

Example of temperature rise (BUNA)

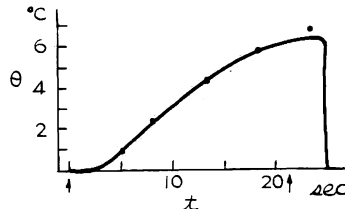


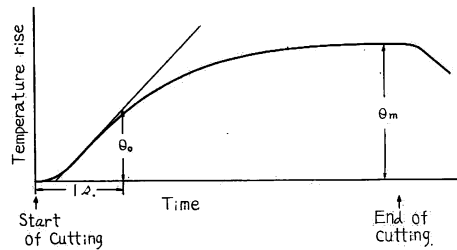
Fig. 6 温度上昇の例

(ミズナラ, $v=49.6$ m/s, $f=3.7$ m/min)

Example of temperature rise (MIZUNARA)

いて急激に上昇を開始する。これはゲージの接着場所と歯先には多少の距離のあること、ごく初期には熱流が定常状態になつていないなどのためと思われる。このことはまたゲージに切削力によるひずみの影響がおよんでいないことを示している。

温度はほとんど直線的に上昇するが、その上昇率はしだいに小さくなつて、Fig. 3に見られるように一定温度に達して平衡状態となる。これを模式的にかけば Fig. 7 のようになる。しかし、大部分は平衡状態に達する前に材の切削を終了し、Fig. 5,

Fig. 7 θ_0 , θ_m の測定法

The illustration of the temperature rise, θ_0 and θ_m

6 のようになる。切削を終つた後もしばらく温度上昇は続き、やがて冷却しはじめる。図の中に曲線が瞬間的に元に戻るのには電流を切るためで、空転したままにすれば後に述べるような放冷曲線が得られる。

鋸歯の切削エネルギーの一部は熱となつて温度を上昇させるわけであるが、微視的に見れば切削した瞬間に鋸歯の温度が上昇し、空气中を1回転する間に放冷し、次の切削によつて温度が上昇するという過程の繰り返してあろう。そしてこの放冷する熱量は外部との温度差が大なるほどこれに比例的に多くなると考えられる。したがつて切削初期の温度の低い間は失われる熱も少なくして上昇も急激であるが、鋸歯の温度が高くなると、失われる熱量も多くなつて切削時の温度の上昇と空転時の下降が等しくなり、温度は平衡に達するものと考えられる。

したがつて切削温度を表わすのに、散失熱量の影響の少ない切削初期のほぼ直線に近い部分について単位時間あたりの温度上昇 θ_0 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$) をもつて比較することにした (Fig. 7)。また平衡温度 θ_m に達したもののについてはこれも測定したが、その数は少なかった。

得られた温度上昇曲線について観察すると、その絶対値は異なるが温度と時間の間に一定の関係があるようなのでその表示を試みた。

まず任意の時刻における温度上昇 $\theta^{\circ}\text{C}$ とその変化率 $\frac{d\theta}{dt}$ を図上で求め、 $\frac{d\theta}{dt}$ と θ^2 との関係を調べると、多くは Fig. 8, 9 の例のように直線になつた。ここでは換算が面倒なので θ の代わりにペンのふれ x (mm) で示した。

この結果を一般的な式で表わすと、

$$\frac{d\theta}{dt} = q - k\theta^n \dots \dots \dots (1)$$

ここで q, k, n は常数である。前述のように $\frac{d\theta}{dt}$ と θ^2 が直線的関係であるとみなせば (1) 式で $n=2$ となる。すなわち、

$$\frac{d\theta}{dt} = q - k\theta^2 \dots \dots \dots (2)$$

ここで $n=2$ としたが、Fig. 8, 9 にも多少うかがわれるが、上方に凹の形になることが多く、これらのことから、 $1 \leq n \leq 2$ の範囲にあるようで、また、後にも触れるが k, n は定数でなく θ によつても変わるようであつた。しかし実測値との差が少なく、計算上も都合がよいので $n=2$ として取り扱つた。

それで切削開始時には $\theta=0$ であるから、(2) 式は

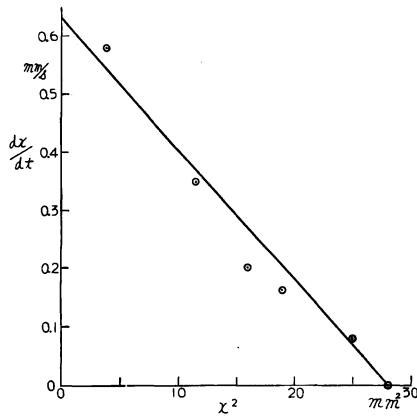


Fig. 8 切削温度と温度上昇率の関係の例 (スギ, $v=49.6 \text{ m/s}$, $f=2.04 \text{ m/min}$)
温度の代わりにフレ x で示す。

Example of relation between temperature and rising rate (SUGI)

Shown by displacement of pen x instead of θ .

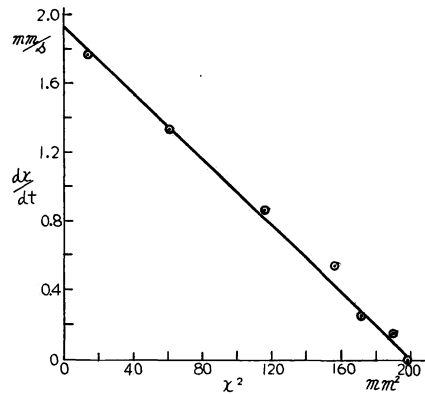


Fig. 9 温度上昇率と切削温度との関係の例 (ブナ, $v=49.6 \text{ m/s}$, $f=2.04 \text{ m/min}$)

Example of relation between temperature and rising rate (BUNA)

$$\frac{d\theta}{dt} = q \dots\dots\dots (3)$$

となり, q は切削初期の温度上昇度 θ_0 と同じことになる。

また, 切削温度が平衡状態に達した場合には, $\frac{d\theta}{dt} = 0$ となり, この時の平衡温度は θ_m であるから,

$$q - k\theta_m^2 = 0$$

$$\text{ゆえに} \quad \theta_m = \sqrt{\frac{q}{k}} \dots\dots\dots (4)$$

となる。すなわち, 平衡温度は q の平方根に比例することになる。また平衡温度に達しなくても q と k から θ_m は推定できることになる。しかし (1) 式をとれば,

$$\theta_m = \sqrt{\frac{n}{k} \frac{q}{k}} \dots\dots\dots (5)$$

となるから, n によつて θ_m と q の関係は異なることになる。

また (2) 式において q が同じであつても, $-k\theta^2$ によつて $\frac{d\theta}{dt}$ は変わることになり, $-k\theta^2$ の項は散失する熱量による放冷効果を示すと考えられ, k はその効果を表わす係数とみなされる。後に述べるように k は挽材条件によつても異なるが, また θ によつても変わるようであつた。

つぎに温度上昇曲線をうるには (1) 式または (2) 式を積分すればよい。しかし一般的な (1) 式について積分することは初等的には困難なので (2) 式について積分を行なつた。

この微分方程式は変数分離型であるから容易に解くことができる。

$$\frac{d\theta}{dt} = q - k\theta^2$$

$$\frac{d\theta}{q - k\theta^2} = dt$$

$$\int \frac{d\theta}{q - k\theta^2} = \int dt$$

$$\text{右辺は } \int dt = t + c_1 \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{左辺は } \int \frac{d\theta}{q - k\theta^2} = \frac{1}{\sqrt{qk}} \tanh^{-1} \left(\sqrt{\frac{k}{q}} \theta \right) + c_2 \dots\dots\dots (7)$$

ただし $q > 0, k > 0$ とする。(6) 式と (7) 式を等しいとおけば、

$$\frac{1}{\sqrt{qk}} \tanh^{-1} \left(\sqrt{\frac{k}{q}} \theta \right) = t + c_3$$

これから

$$\theta = \sqrt{\frac{q}{k}} \tanh \sqrt{qk} (t + c_3) \dots\dots\dots (8)$$

(8) 式において $t=0$ のとき $\theta=0$ であるから $c_3=0$, したがって

$$\theta = \sqrt{\frac{q}{k}} \tanh \sqrt{qk} t \dots\dots\dots (9)$$

すなわち、温度上昇曲線は一般的には次のように書き表わされることになる。

$$\theta = a \tanh bt \dots\dots\dots (10)$$

ここで

$$a = \sqrt{\frac{q}{k}}, \quad b = \sqrt{qk} \dots\dots\dots (11)$$

(10) 式では定数は a, b の 2 個であるから、(10) 式は曲線上の 2 点から得られる。そして a, b から (11) 式によつて q, k も計算することができる。また (10) 式で $t=\infty$ になると $\tanh bt=1$ になり a は θ_m にほぼ該当する。

以上の実験式について、アサリをつけた場合の鋸速度、送り速度の実験においてスギ、ブナ、ミズナラについて計算してみた。アカマツは試験材の材質のためか滑らかな曲線が得られなかつたので除いた。またアサリのない場合は摩擦のせいか曲線が非常に不規則になつたので適用できなかつた。なお、計算の場合 t は切削開始時を原点とせず、 $\frac{d\theta}{dt}$ が最大のときの接線と $\theta=0$ の線との交点を $t=0$ とした。例として

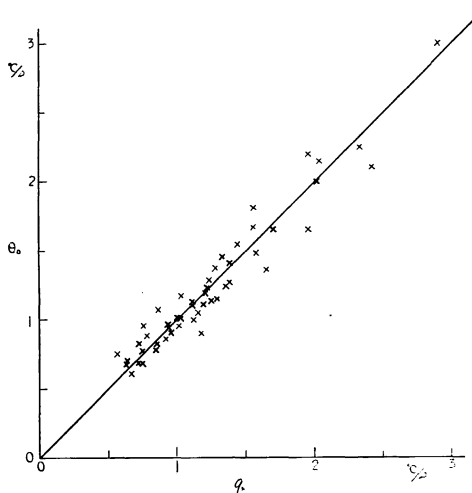


Fig. 10 測定値 θ_0 と計算値 q との比較 (スギ)
Comparison between θ_0 obtained from records
and q calculated (SUGI)

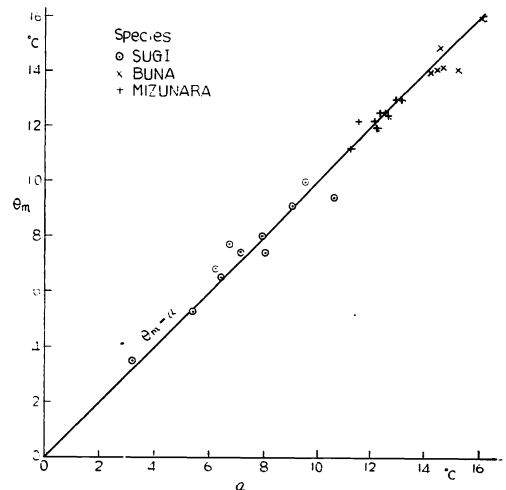


Fig. 11 測定値 θ_m と計算値 a との比較
Comparison between θ_m obtained from
records and a calculated

Fig. 3, 5, 6 にその計算値を点で示したが、実験曲線とほぼ一致していた。

また計算によつて得た q と図上から求めた θ_0 との関係を示せば Fig. 10 のようになり、

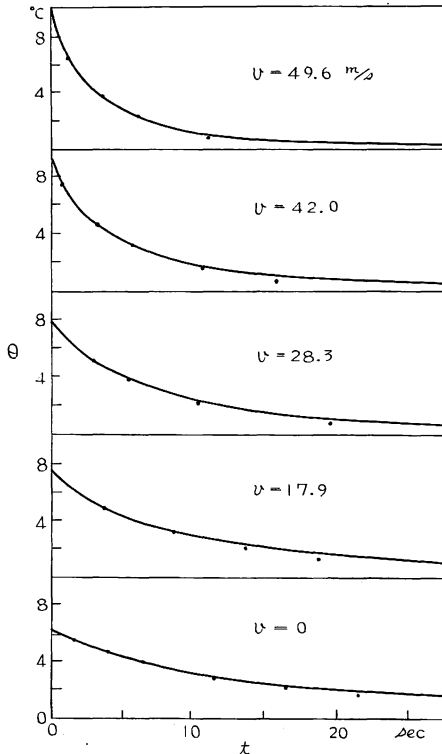


Fig. 12 空転中の温度降下の例
Examples of cooling of saw tooth
at different rotation

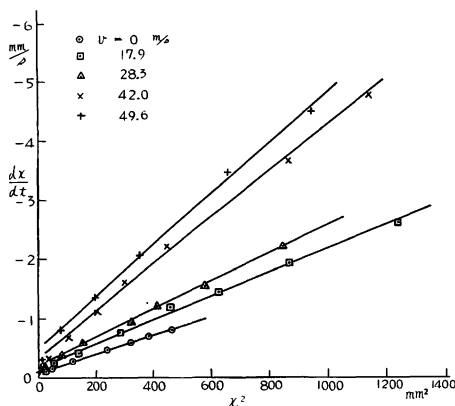


Fig. 13 空転中の温度降下率と温度との
関係の例

Examples of relation between the tem-
perature on saw tooth and its depression
rate at the rotation in the air

大体一致している。ブナ、ミズナラについても同様であつた。さらに a と θ_m についても Fig. 11 のようではほぼ似た値を示す。これらのことから (10) 式はおおむね妥当であると考えられる。

以上のような結果から q は θ_0 に大体等しいとみなせるので、前に述べたように切削温度については図上から求めた θ_0 によつて比較することにし、必要に応じて θ_m, k を求めることにした。

3・1・2 鋸歯の冷却

鋸歯の温度は切削の進行とともに高くなるが、逆に温度の高くなった鋸を空転させるとしだいに冷却してくる。そこでこの放冷状態を観察するため次のような実験を行なつてみた。

鋸歯の歯喉面を電気ゴテによつて加熱し、一定温度に達したならば直ちに鋸を回転させ、その温度降下の状況を記録した。鋸速度は鋸 No. 3, No. 4 では 0~49.6m/s, No. 2 では 0~60.9m/s の範囲で5段階にかえた。温度降下曲線の例を Fig. 12 に示す。これから温度の降下は鋸速度が速いほど著しく、空气中に放置した場合が最も少なかつた。これは鋸身に接触する空気量が多いほど熱量が多く奪われるためであろう。

温度上昇の場合と同じく $\frac{d\theta}{dt}$ と θ^2 との関係を求めると、Fig. 13 の例のようになつてほぼ直線となる。すなわち、

$$\frac{d\theta}{dt} = -m - k\theta^2 \dots\dots\dots (12)$$

で表わされる。これは m を小さいので無視すれば (2) 式の右辺の第2項と同じで、先にこの項が放冷効果を示すものと述べたことと一致している。しかし Fig. 13 の各点は直線から少しずれて上方に凸になつた感じで、また直線は原点を通らない。したがつてより厳密には

$$\frac{d\theta}{dt} = -k\theta^n \dots\dots\dots (13)$$

で示されるようで、 n は大体 $1 \leq n \leq 2$ の範囲で、 θ に

よつても変わり、 θ が低いときは n は小で θ が大きくなると 2 に近くなるようで、 k も θ が小なれば大きく、 θ が高くなると小になるようであつた。これが先に (1) 式について n, k が一定でないとして述べた一つの理由である。

計算の便宜上 (12) 式が成立するとして、図上から k, m を求めると Fig. 14 のようになり、 k, m は鋸速度に対して直線的に増大した。なお、鋸 No. 2 では $m=0$ であつた。これから鋸速度が速いほど、冷却効果は大となり、これは他の報告²³⁾とも一致する。放冷曲線は (12) または (13) 式を積分することによつて得られる。(12) 式について積分してみると、

$$\theta = \sqrt{\frac{m}{k}} \tan \left\{ \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{k}{m}} \theta_a \right) - \sqrt{m \cdot k} t \right\} \dots \dots \dots (14)$$

となる。ここで θ_a は $t=0$ のときの温度で、 $m>0, k>0$ とする。この計算値の例を Fig. 12 に点で示す。

(12) 式が成立するとすれば (2) 式によつて表わされる q は、冷却の影響がはいつていると考えられる。しかし両方の k が等しいかどうか不明であり、また θ_0 は式には無関係に記録曲線から得た値であるから、比較値としてよいであろう。ただし θ_0 にも冷却の影響がはいることは考えられる。

3・2 送り速度および鋸速度の影響 (アサリのある場合)

挽材作業においては鋸および挽材材料は多くの場合与えられるから、鋸速度と送り速度が一般的な調整条件となる。これらの切削温度に対する影響を実験した。

供試鋸は No. 3 を用い、アサリの出はゲージをつけた方は 0.54 mm、つけない方は 0.57 mm であつた。鋸速度は 17.9, 28.3, 42.0, 49.6 m/s とし、送り速度は 2.04, 2.66, 3.70, 4.92, 6.25 m/min の 5 段階に変えた。供試材はスギ、アカマツ、ブナ、ミズナラの 4 樹種で、その材質は Table 3 に示すようである。試験材は挽幅 10 mm、挽材長は約

1,000 mm であつた。

3・2・1 送り速度の影響

材の送り速度と θ_0 の関係は Fig. 15～18 のようになった。これらの結果から次のことがいえる。

(1) どの樹種においても鋸速度が同じならば、 θ_0 は送り速度とともに増加した。これは他にも同様な報告⁴⁾がある。送り速度の増加によつて切込み深さが大となり、切削抵抗も増大して仕事量もふえるために

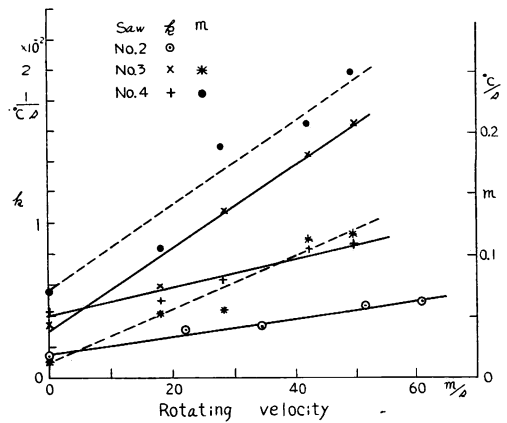


Fig. 14 空転における k, m と鋸速度の関係
Relation of k or m to rotating velocity
without cutting

Table 3. 供試材料の性質 (アサリのある場合)
Properties of tested material (spring-set)

樹種 Species	気乾比重 Specific gravity	平均年輪幅 Mean width of annual ring mm
スギ SUGI (Cryptomeria japonica)	0.33	5.14
アカマツ AKAMATSU (Pinus densiflora)	0.51	3.47
ブナ BUNA (Fagus crenata)	0.62	2.23
ミズナラ MIZUNARA (Quercus crispula)	0.69	1.44

このようになると考えられる。鋸速度の遅い場合に、送りが早いと切削抵抗が大きくなるためか挽材ができないことがあり、測定していない樹種もある。挽材長を短くすれば可能であるが、 θ_0 は低く現われた。

(2) θ_0 の増加の状態をみると、鋸速度の速い場合にはほぼ直線に近いが、遅い鋸速度では送り速度が大になると高めになる。これは鋸歯の強度が影響してくるもの⁵⁾と想像される。

(3) 切削温度上昇の原因となる熱エネルギーについて考えてみると、電動機の電気エネルギーから機械的エネルギーとなり、さらに熱に変換するのであるから、切削機構があまり変化しなければ切削所要動力と切削温度との間に何らかの相関関係があることが推察される。それで切削所要動力と送り速度との関係を見ると、温度と大体似た傾向が報告され⁵⁾⁶⁾、両者が平行的な関係にあることが予想される。

3・2・2 鋸速度の影響

鋸速度と θ_0 の関係は Fig. 15~22 の示すとおりであった。

(1) 各樹種とも送り速度一定の場合には、 θ_0 は鋸速度の増加とともに減少するが、その減少率はしだいに小となる。そして 49.6 m/s では逆に増大する場合もある。これ以上鋸速度が早くなるとどうなるか不明であるが、上昇する傾向になるのではないかと想像される。

同じ送り速度で鋸速度が増すと、切込み深さは小さくなって切削抵抗は減ずるであろうが、同一時間内の切削回数は多くなるから全体としての仕事量はあまり変化しないであろう。しかし鋸速度を増すと冷却が激しくなるからそのために θ_0 は減少するとみられる。摩擦熱は鋸速度とともに増すと考えられるから、高い鋸速度ではその影響もうけるものと推定される。

また、この結果から切削熱についてのみ考えると、鋸速度が大なる方がよいことになるが、ブナなどでは 40 m/s くらいで最低となり、あまり鋸速度が速すぎても不適当なことを示している。このことは広葉樹では針葉樹より鋸速度を落とした方がよいといわれる⁷⁾ ことにも合致している。

(2) 挽材所要動力の場合と比較してみると、挽

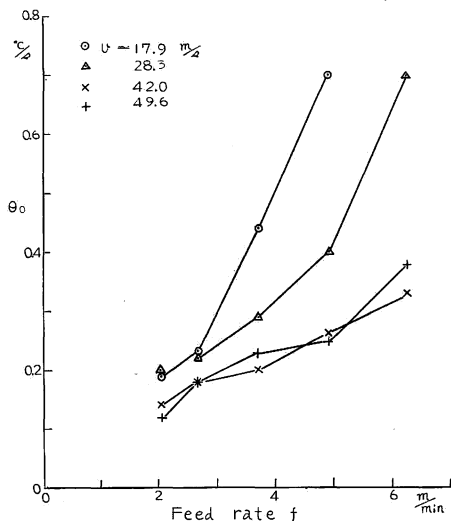


Fig. 15 θ_0 と送り速度 (スギ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and feed rate
(SUGI, spring-set)

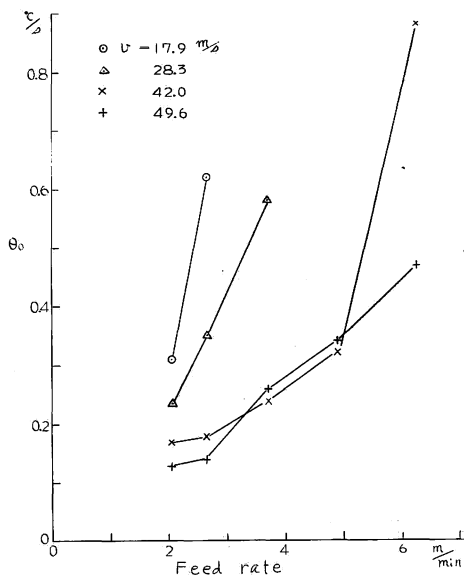


Fig. 16 θ_0 と送り速度との関係 (アカマツ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and feed rate
(AKAMATSU, spring-set)

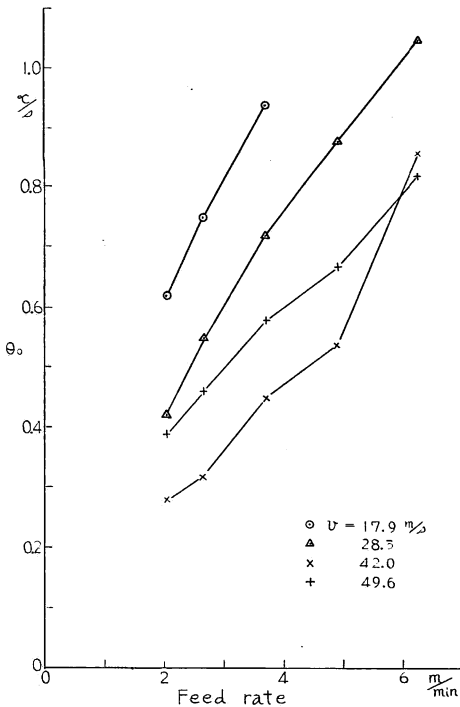


Fig. 17 θ_0 と送り速度の関係 (ブナ, 振分けアサリ)
 Relation between θ_0 and feed rate
 (BUNA, spring-set)

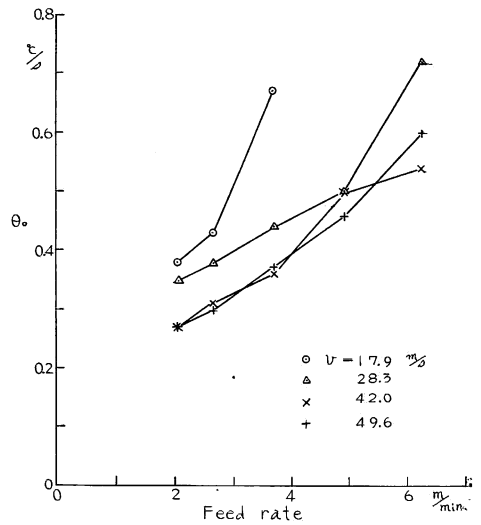


Fig. 18 θ_0 と送り速度の関係 (ミズナラ, 振分けアサリ)
 Relation between θ_0 and feed rate
 (MIZUNARA, spring-set)

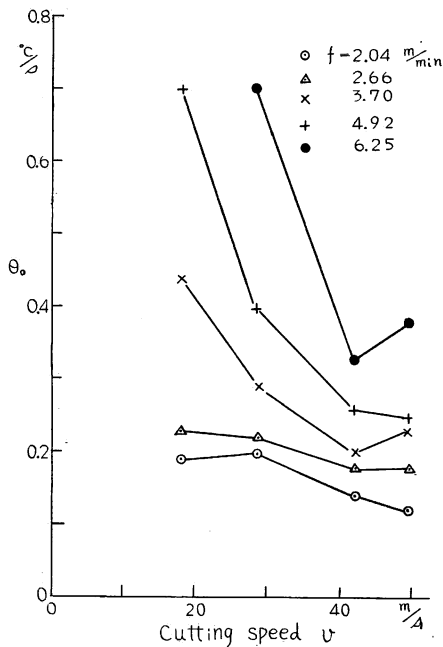


Fig. 19 θ_0 と鋸速度との関係 (スギ, 振分けアサリ)
 Relation between θ_0 and cutting speed
 (SUGI, spring-set)

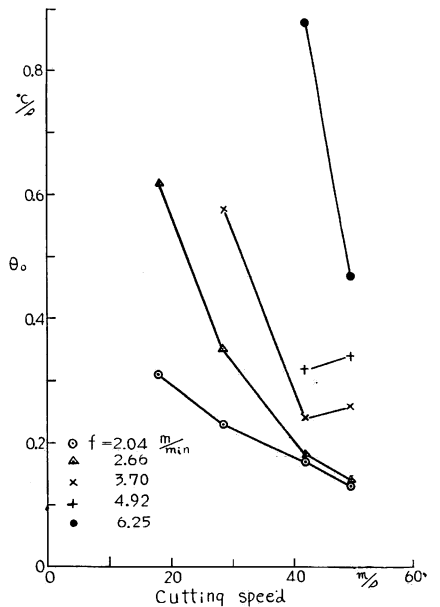


Fig. 20 θ_0 と鋸速度との関係 (アカマツ, 振分けアサリ)
 Relation between θ_0 and cutting speed
 (AKAMATSU, spring-set)

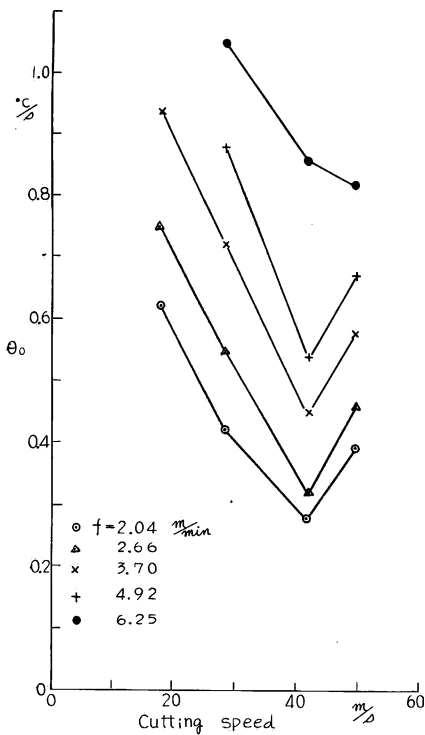


Fig. 21 θ_0 と鋸速度の関係 (ブナ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and cutting speed
(BUNA, spring-set)

3・2・3 切込み深さの影響

切削抵抗についてはその大きさは切込み深さによつて決まる^{5) 10) 11)}と考えられているが、切削温度についても切込み深さとどのような関係になるか求めてみた。切込み深さは鋸速度、送り速度、歯数から計算し、また挽材位置による補正を行なつた。この結果は Fig. 23~26 に示す。

(1) 各樹種とも θ_0 は切込み深さに対してほぼ直線的で、鋸速度、送り速度にかかわらず、切込み深さによつて決まるような傾向がある。しかしブナでは鋸速度によつて多少差があるようであつた。スギ、アカマツでは極端に切込み深さが大になると高くずれるようである。これは前に述べたように鋸歯の強度が影響するのであろう。また、この直線は原点を通過しない。以上の関係は挽材所要動力についても認められる^{5) 10)}が、動力では鋸速度の差が明りようで θ_0 の場合とは異なっている。

3・2・4 切削ごとの温度上昇 θ_c と切込み深さ

θ_0 は切削初期の 1 秒間の鋸歯の温度上昇を示すが、その時間内に鋸歯は何回も切削を行なっている。それで θ_0 は 1 回の切削の温度上昇の和と考え、切削ごとの温度上昇 θ_c (°C) を求めた。すなわち、

$$\theta_c = \frac{\theta_0}{n} = \frac{\pi D}{v} \theta_0 \dots\dots\dots (15)$$

ここで n : 1 秒間の回転数 (r. p. s.), D : 鋸直径 (m), v : 鋸速度 (m/s)。 θ_c と切込み深さとの関係を

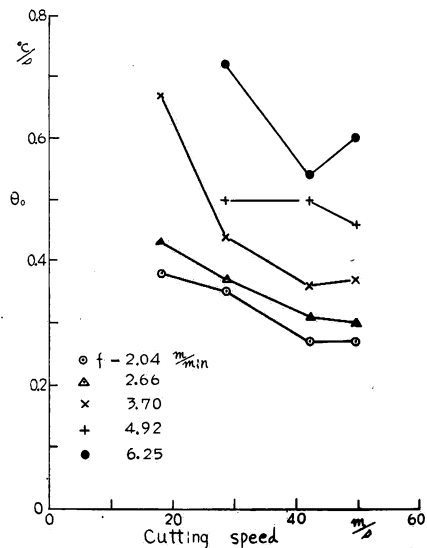


Fig. 22 θ_0 と鋸速度の関係 (ミズナラ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and cutting speed
(MIZUNARA, spring-set)

材所要動力は鋸速度とともに増加する^{5) 8)}といわれる。この点は θ_0 と逆になつていて相違が認められる。これは前に述べたように放冷効果の影響がはいるためと想像される。しかし挽材動力についても鋸速度の遅い方が高くなる報告⁹⁾もある。

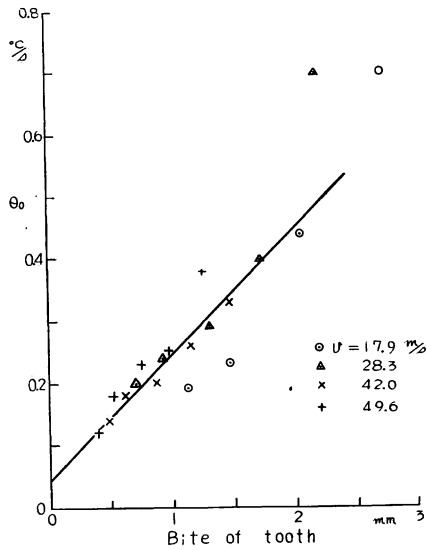


Fig. 23 θ_0 と切込み深さの関係 (スギ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and bite of tooth (SUGI, spring-set)

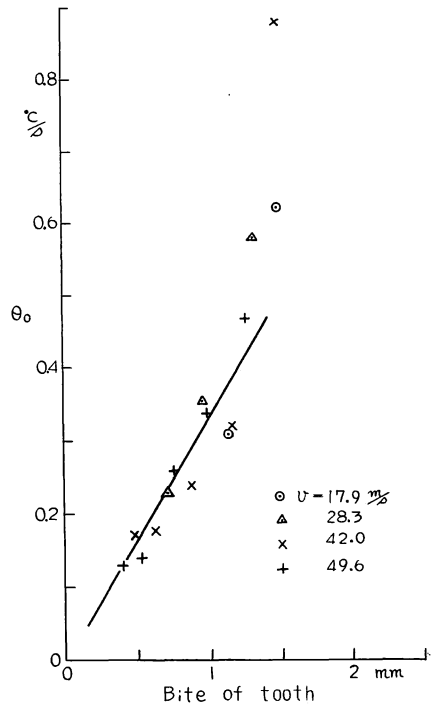


Fig. 24 θ_0 と切込み深さの関係 (アカマツ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and bite of tooth (AKAMATSU, spring-set)

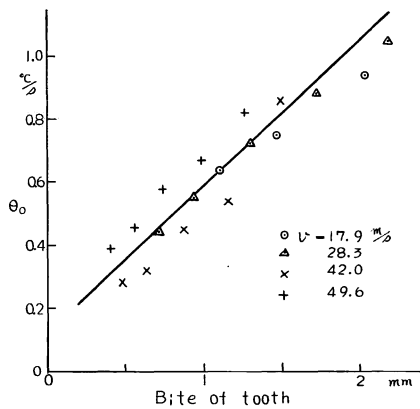


Fig. 25 θ_0 と切込み深さとの関係 (ブナ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and bite of tooth (BUNA, spring-set)

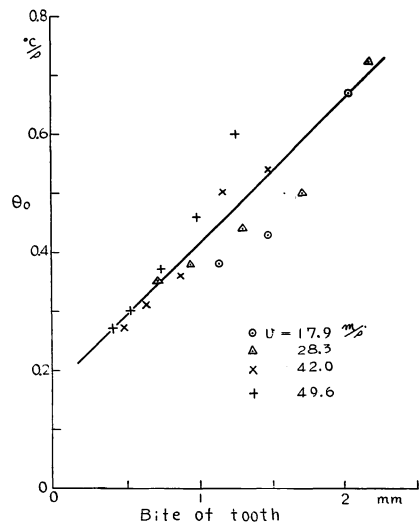


Fig. 26 θ_0 と切込み深さの関係 (ミズナラ, 振分けアサリ)
Relation between θ_0 and bite of tooth (MIZUNARA, spring-set)

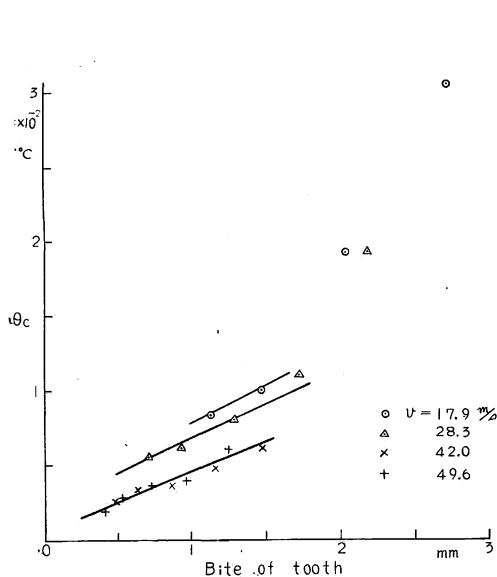


Fig. 27 θ_c と切込み深さの関係 (スギ, 振分けアサリ)
Relation between θ_c and bite of tooth (SUGI, spring-set)

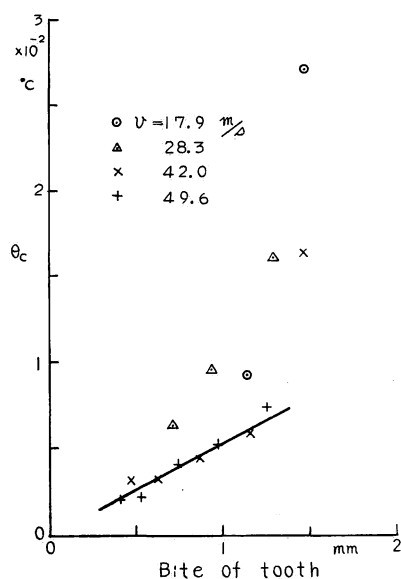


Fig. 28 θ_c と切込み深さの関係 (アカマツ, 振分けアサリ)
Relation between θ_c and bite of tooth (AKAMATSU, spring-set)

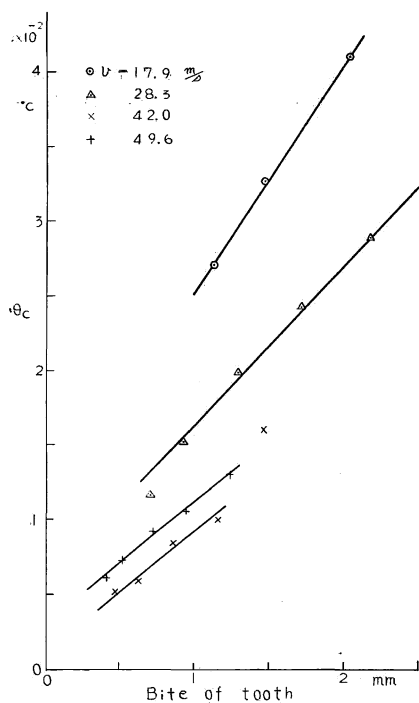


Fig. 29 θ_c と切込み深さの関係 (ブナ, 振分けアサリ)
Relation between θ_c and bite of tooth (BUNA, spring-set)

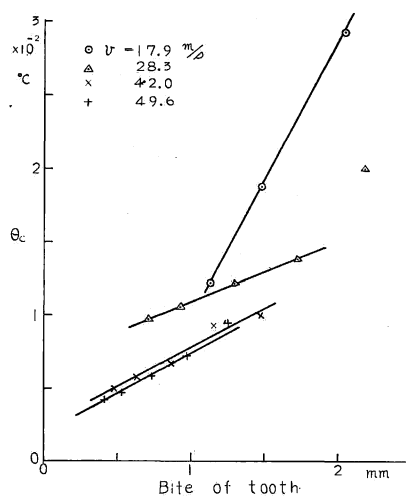


Fig. 30 θ_c と切込み深さの関係 (ミズナラ, 振分けアサリ)
Relation between θ_c and bite of tooth (MIZUNARA, spring-set)

見ると, Fig. 27~30 のようになった。

(1) 各樹種ともに θ_0 は切込み深さに対して直線的に増加するが, スギ, アカマツでは切込み深さが大になると増加率は急激に大きくなる。これは切込み深さが大になると切削抵抗が増し, 鋸歯の強度が影響されるのであろう。この限界は鋸速度が大なる方が高いようで, これは円鋸の座屈強度が鋸速度とともに増加する¹²⁾ためと想像される。

(2) θ_0 と切込み深さの関係は鋸速度によつて異なり, 同じ切込み深さでも鋸速度が遅い方が高い値となる。また, 鋸速度の早い 42.0, 49.6 m/s ではブナを除いて同一直線で表わされるようであつた。切削抵抗では鋸速度の影響がないといわれるので, その点が異なつている。

また, これらの直線はどれも原点を通らず, 切込み深さ 0 で正になつている。

3・2・5 a, b, k について

スギ, ブナ, ミズナラについて (10) 式が成立するとして a, b を求め, さらに k を計算した。

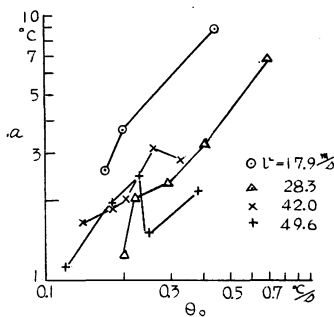


Fig. 31 a と θ_0 の関係 (スギ)
Relation between a and θ_0
(SUGI)

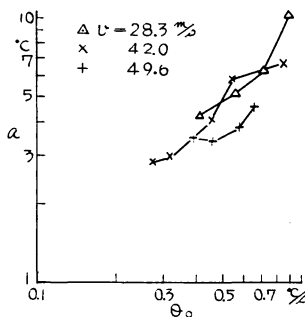


Fig. 32 a と θ_0 の関係 (ブナ)
Relation between a and θ_0
(BUNA)

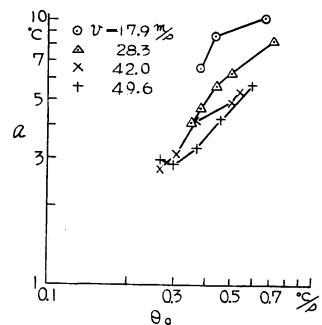


Fig. 33 a と θ_0 の関係
(ミズナラ)
Relation between a and θ_0
(MIZUNARA)

(1) a と θ_0 の関係を Fig. 31~33 に示す。先に述べたように $a \approx \theta_m$ と考えてよい。また $\theta_0 \approx q$ とみなせば, k が一定であれば θ_m は $\sqrt{\theta_0}$ に比例するわけであるが, 図から見られるように, θ_0 の 1 ~ 1/2 乗に比例するような傾向であつた。

(2) b についてみると, 鋸速度一定の場合に送り速度が速くなると多少大になる傾向があるが, 大体同じであつた。鋸速度との関係は Fig. 34 に示すようになり, b は $\sqrt{v}$ にほぼ比例するようであつた。(10) 式から分かるように b は平衡温度に達する時間に逆比例するとみなせるから, 鋸歯が平衡温度に達する時間は鋸速度の平方根に逆比例すると考えられる。

(3) 先に述べたように k は挽材条件によつても異なるようで, k と送り速度との関係を Fig. 35~37 に示す。鋸速度が同じ場合には k は送り速度が大になると減少する傾向がある。しかしスギでは鋸速度が大きいときは不規則になつているが, 変化は小さくなつている。また鋸速度が遅い方が k は大となり, 大体送り速度に対して平行になつている。

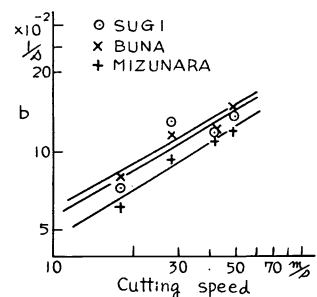


Fig. 34 b と鋸速度の関係
Relation between b and
cutting speed

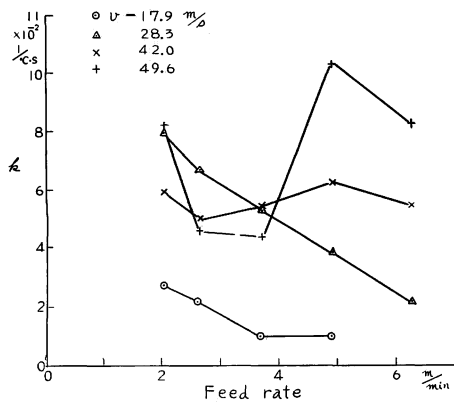


Fig. 35 k と送り速度の関係 (スギ)
Relation between k and feed rate (SUGI)

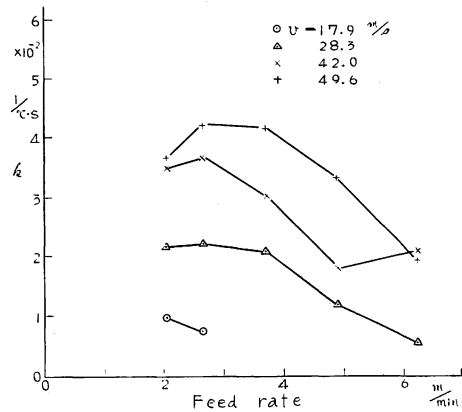


Fig. 36 k と送り速度との関係 (ブナ)
Relation between k and feed rate (BUNA)

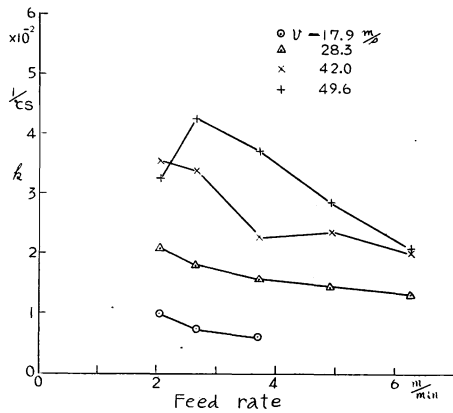


Fig. 37 k と送り速度との関係 (ミズナラ)
Relation between k and feed rate (MIZUNARA)

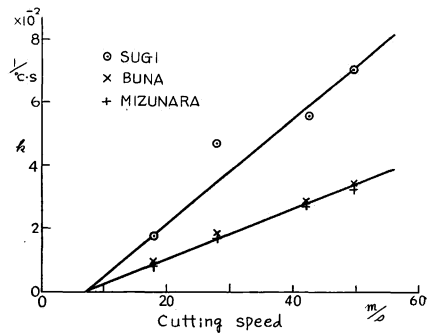


Fig. 38 k と鋸速度の関係
Relation between k and cutting speed

k を鋸速度ごとに平均してみると Fig. 38 のようになった。これから k は鋸速度に比例的とみなされ、空転の場合と同じであるが絶対値は高くなっている。これは k が Fig. 14 からみられるように、 θ が小さい方が大となるためと考えられる。図から見ると、ブナ、ミズナラは同じような値になり、スギはこれより高い値となった。また、この直線は横軸と交わり、有限鋸速度で k が 0 になるが、おそらく鋸速度が小さくなると平行に近くなるものと思われる。

先の冷却試験における k がそのまま成立するとすれば、 k は鋸速度のみの関係となるが、Fig. 35~37 に見られるように挽材条件によつて異なるが、これは k は θ によつて変化し、 θ は挽材条件によつて異なるからその関係は間接的なものとも考えられる。

3.3 送り速度および鋸速度の影響 (アサリのない場合)

鋸歯にアサリをつけない場合についても、送り速度、鋸速度と切削速度の関係を求めた。実際には初め

にアサリのない場合を実験し、摩擦の影響が認められたので前に述べたようにアサリをつけてふたたび実験したのである。

供試樹種はエゾマツ、アカマツ、ブナ、ミズナラで、その材質は Table 4 のとおりである。使用鋸はエゾマツでは No. 1, 他は No. 2 であった。アサリをつけない代わりに鋸身を送り方向に対し約 20' 傾けて試験材から逃げをとつた。送り速度はアサリをつけた場合と同じく 2.04~6.25 m/min の範囲で 5 段階に変え、鋸速度は鋸直径が異なるので前と違い、22.0, 34.6, 51.7, 60.9 m/s の 4 段階になった。

なお、アサリをつけない場合は温度上昇も大きく、その上昇曲線も複雑で (10) 式をあてはめることができないので θ_0 のみについて測定した。

3・3・1 鋸速度および送り速度の影響

Fig. 39~42 に θ_0 と鋸速度の関係を示す。

(1) θ_0 と鋸速度の関係は樹種によつて多少差があるようで、エゾマツ、アカマツでは鋸速度が速くなると θ_0 はやや大となるがその差は少ない。これに対してブナ、ミズナラでは送り速度によつても違うが鋸速度とともに急激に増加する。また、ブナではその増加率は送り速度とともに大きくなるが、ミズナラでは大体同じようである。なお、ミズナラで送りの速い場合に鋸速度が大で θ_0 が低くなっているのは、試験片の長さが短いためと考えられる。

(2) アサリのある場合に比べてみると、鋸速度とともに θ_0 が大になることは著しい相連である。また鋸や供試材が異なるから直接比較することは無理であるが、その絶対値もはるかに高く、10 倍近くになる。これらはアサリのない場合やはり摩擦の影響があるものと思われ、特に挽板が摩擦するようであった。しかし図から $v=34.6$ m/s で最低値を示すような傾向もある場合にはうかがわれる。

(3) 鋸速度が一定の場合各樹種とも θ_0 は送り速度が大になるにつれて比例的に高くなる。これはアサリのある場合と同様である。ただエゾマツ、アカマツでは鋸速度が異なつてもほぼ平行であるが、ブナ、ミズナラでは鋸速度が大になるとともに送り速度による差が大きくなる。

3・3・2 切込み深さの影響

θ_0 と切込み深さとの関係は Fig. 43~46 のようになつた。

(1) 各樹種とも鋸速度一定の場合、 θ_0 は切込み深さに比例的に増大する。この関係は挽材所要動力^{5) 10)}のそれに似ている。また、切込み深さは鋸速度が同じであれば送り速度に比例するから、この結果は同時に θ_0 が送り速度に対し直線的に増加することを示している。

(2) 同じ切込み深さでも鋸速度が大になると θ_0 は高くなる。これは鋸速度に比例して切込み回数がふえること、摩擦も多くなることなどによると思われる。アサリのある場合は鋸速度による差が少なかつたが、この点は異なっている。

(3) ブナ、ミズナラでは鋸速度の低い 22.0 m/s で、切込み深さの小さい場合は θ_0 は高くなっている。この理由は明らかでないが、遅い鋸速度では切込み深さがあまり小さいと、切込みが円滑にいかないこと

Table 4. 供試材料の性質 (アサリのない場合)
Properties of tested material (no set)

樹 種 Species	気乾比重 Specific gravity	平均年輪幅 Mean width of annual ring mm
エゾマツ EZOMATSU (<i>Picea jezoensis</i>)	0.04	1.30
アカマツ AKAMATSU	0.52	2.20
ブ ナ BUNA	0.61	1.65
ミズナラ MIZUNARA	0.70	2.12

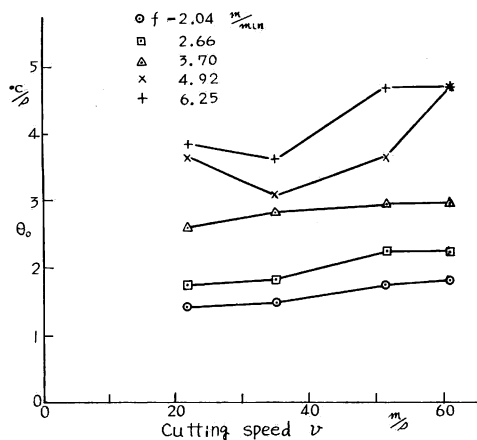


Fig. 39 θ_0 と鋸速度の関係 (エゾマツ, アサリなし)
Relation between θ_0 and cutting speed (EZOMATSU, no set)

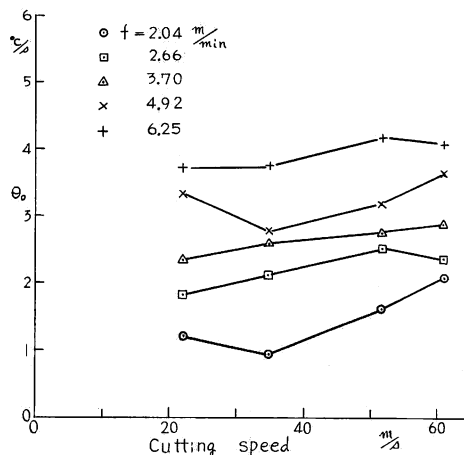


Fig. 40 θ_0 と鋸速度の関係 (アカマツ, アサリなし)
Relation between θ_0 and cutting speed (AKAMATSU, no set)

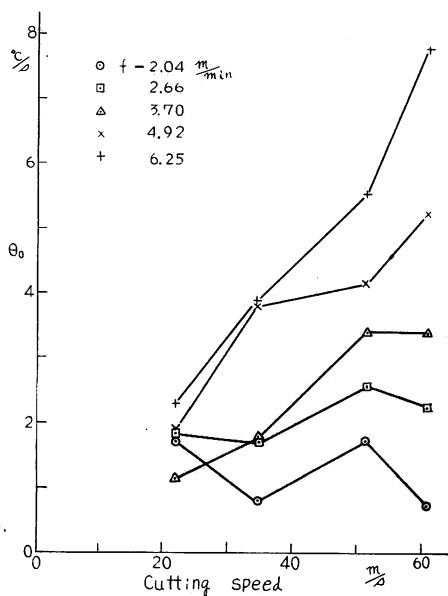


Fig. 41 θ_0 と鋸速度の関係 (ブナ, アサリなし)
Relation between θ_0 and cutting speed (BUNA, no set)

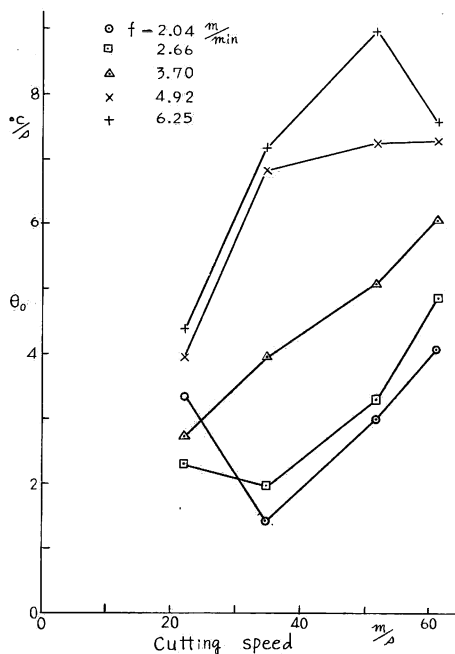
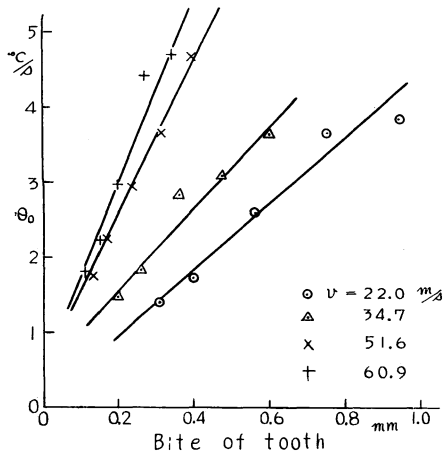
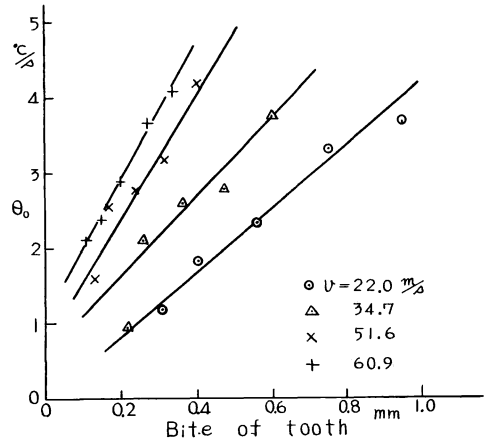
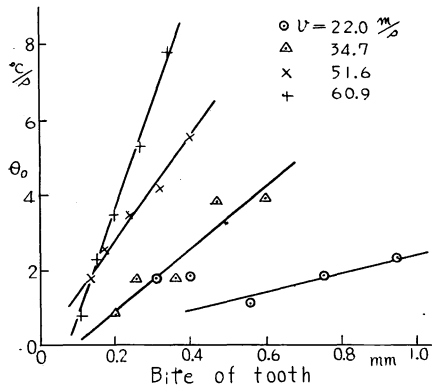
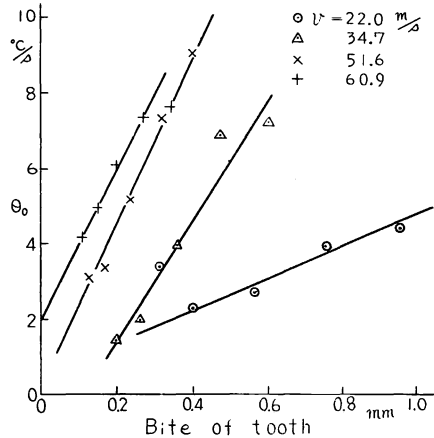


Fig. 42 θ_0 と鋸速度の関係 (ミズナラ, アサリなし)
Relation between θ_0 and cutting speed (MIZUNARA, no set)


 Fig. 43 θ_0 と切込み深さの関係 (エゾマツ, アサリなし)

 Relation between θ_0 and bite of tooth
(EZOMATSU, no set)

 Fig. 44 θ_0 と切込み深さの関係, アカマツ, アサリなし)

 Relation between θ_0 and bite of tooth
(AKAMATSU, no set)

 Fig. 45 θ_0 と切込み深さの関係 (ブナ, アサリなし)

 Relation between θ_0 and bite of tooth
(BUNA, no set)

 Fig. 46 θ_0 と切込み深さの関係 (ミズナラ, アサリなし)

 Relation between θ_0 and bite of tooth
(MIZUNARA, no set)

も想像される。

3・3・3 θ_c と切込み深さ

 切削1回ごとの温度上昇 θ_c と切込み深さとの関係を求めた。これらを Fig. 47～50 に示す。

(1) この結果は樹種によつて異なり、エゾマツ、アカマツでは θ_c は切込み深さとともに増大するが、鋸速度に関係なく大体1つの直線で表わされるようである。また原点を通らず正の値となる。これらは切削抵抗と切込み深さと同じような関係である⁵⁾¹⁰⁾¹¹⁾。

(2) ブナ、ミズナラでは θ_c は切込み深さが増すと同じく直線的に大きくなるが、鋸速度によつて異なる直線となる。そして同じ切込み深さでは鋸速度が早くなるほど高くなり、また増加率も大きい。

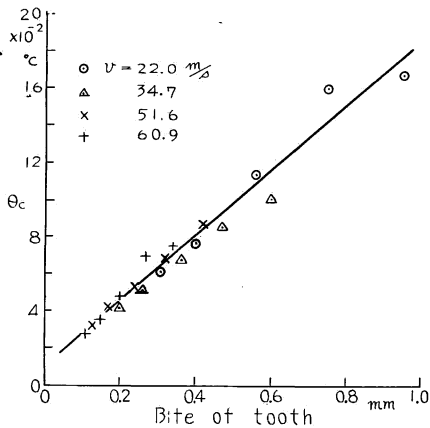


Fig. 47 θ_c と切込み深さの関係 (エゾマツ,
アサリなし)
Relation between θ_c and bite of tooth
(EZOMATSU, no set)

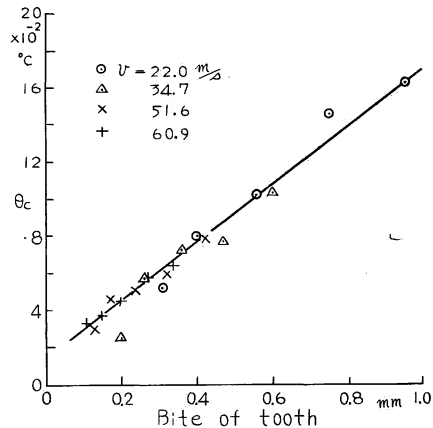


Fig. 48 θ_c と切込み深さの関係 (アカマツ,
アサリなし)
Relation between θ_c and bite of tooth
(AKAMATSU, no set)

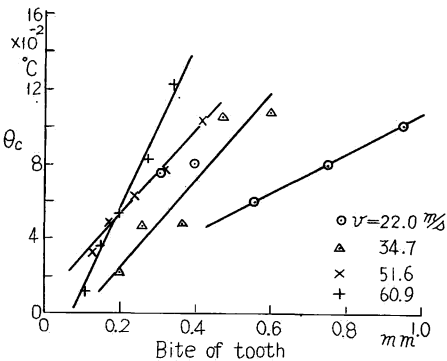


Fig. 49 θ_c と切込み深さとの関係 (ブナ,
アサリなし)
Relation between θ_c and bite of tooth
(BUNA, no set)

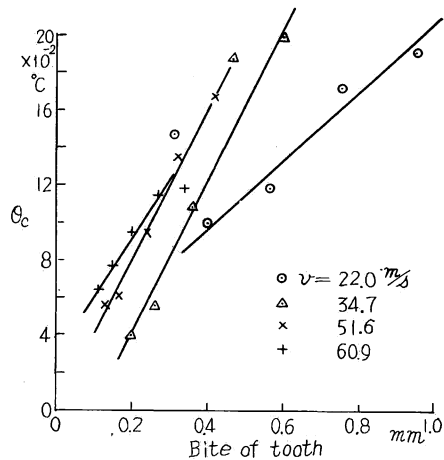


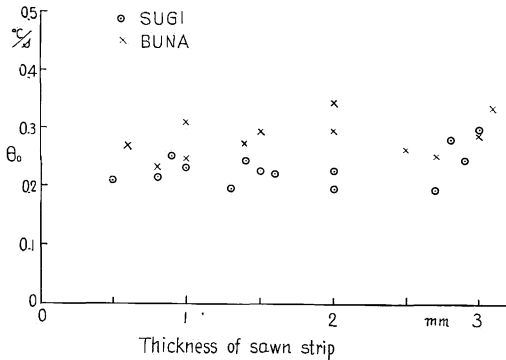
Fig. 50 θ_c と切込み深さの関係 (ミズナラ,
アサリなし)
Relation between θ_c and bite of tooth
(MIZUNARA, no set)

3・4 挽板の厚さの影響

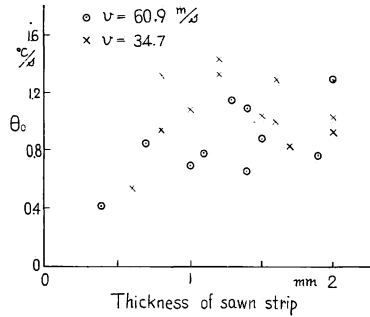
挽板の厚さとは挽材によつてできた製品の板の厚さで、試験材の板の厚さではない。この実験は主として実験条件を定める目的で行なつたので、系統的ではなく範囲もせまい。

アサリのある場合とない場合について行ない、供試鋸はそれぞれ No. 4, No. 2 を用いた。試験材は Table 3 と同じスギとブナである。アサリのある場合は鋸速度 49.6 m/s 、送り速度 2.04 m/min で、アサリのない場合は送り速度は同じで鋸速度を 34.7 m/s と 60.9 m/s にかえたが、樹種はスギだけであつた。挽板の厚さは前後端から 10 cm の位置と中心の 3 箇所を測定し平均した。

この結果を Fig. 51, 52 に示す。

Fig. 51 θ_0 と挽板厚さの関係 (振分けアサリ)

Relation between θ_0 and thickness of
sawn strip (spring-set)

Fig. 52 θ_0 と挽板厚さの関係 (アサリなし)

Relation between θ_0 and thickness
of sawn strip (no set)

(1) アサリをつけた場合は挽板の厚さ $0.5 \sim 3 \text{ mm}$ の範囲で θ_0 はあまり変化しないようであった。しかし 3 mm になると少し高めになるようである。

(2) アサリのない場合はバラツキが大であるけれども、鋸速度が 34.7 m/s では 1 mm まで急に増加し、 1 mm から 2 mm まではあまり変化がないようであった。 60.9 m/s では 1 mm より厚くなつても少し増加するような傾向であった。また、アサリのある場合に比べてバラツキが多く、これは摩擦が多いので、材質など挽材条件のわずかな変化にも影響されやすいのではないと思われる。

以上の実験から挽板の厚さは $1 \sim 2 \text{ mm}$ の範囲とし、同一系列の実験では $\pm 0.2 \text{ mm}$ の誤差は許容した。

3・5 挽幅の影響

挽幅とは慣習上、挽いている木材の鋸歯が切削している部分の長さをいい、本実験では試験材の板の厚さにあたる。挽幅が大きくなると切削抵抗も増し挽材作業に大きな影響を及ぼす。それで挽幅と切削温度について実験した。

供試鋸は No. 4 でアサリの出を 0.8 mm と 0.4 mm にした。供試樹種はスギ、アカマツ、ブナ、ミズナラで、その材質は Table 3 と同じである。なお、ブナ、ミズナラでアサリの出 0.4 mm の試験は鋸 No. 3 を用いた。鋸速度は 49.6 m/s 、送り速度は 2.04 m/min である。挽材長は約 $1,000 \text{ mm}$ で、挽幅は $5 \sim 30 \text{ mm}$ の範囲で 5 mm 間隔とした。

この結果は Fig. 53～56 に示す。

(1) 各樹種ともアサリの出が $0.4, 0.8 \text{ mm}$ のいずれの場合も、 θ_0 は挽幅にほぼ比例して増加する。これは他の実験結果⁴⁾とも一致し、挽材所要動力とも似ている^{6) 10)}。ブナ、ミズナラではアサリの出が 0.8 mm の方が 0.4 mm より小さくなつて、スギ、アカマツと逆であるが、これはブナ、ミズナラでは使用鋸がアサリによつて異なるためとも考えられる。

(2) 挽幅が大きくなると鋸歯の切削時間が多くなり、空転時間が減ずるから冷却に影響するものと考えられる。それでアサリの出 0.8 mm について k を求めてみた。その結果は Fig. 57 のようである。

図からわかるように、 k は挽幅が厚くなるほど小さくなる。しかしその減少率はしだいに低くなるよう

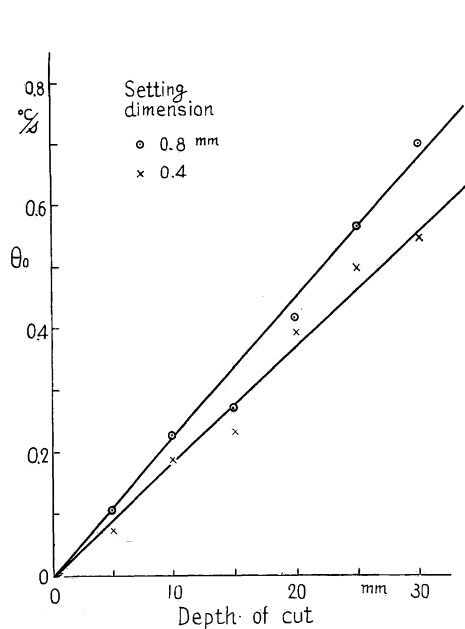


Fig. 53 θ_0 と挽幅の関係 (スギ)
 Relation between θ_0 and depth of cut (SUGI)

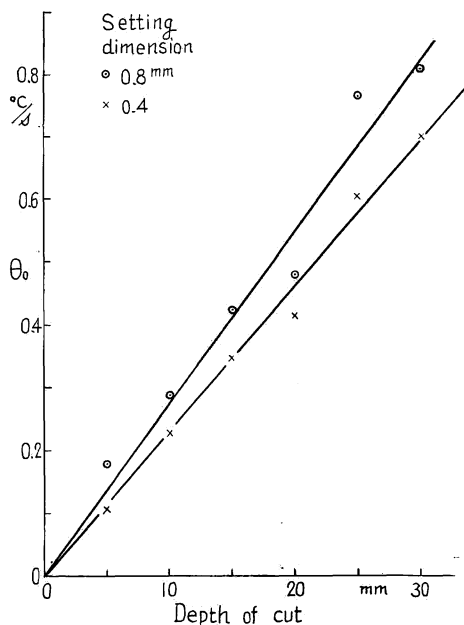


Fig. 54 θ_0 と挽幅の関係 (アカマツ)
 Relation between θ_0 and depth of cut (AKAMATSU)

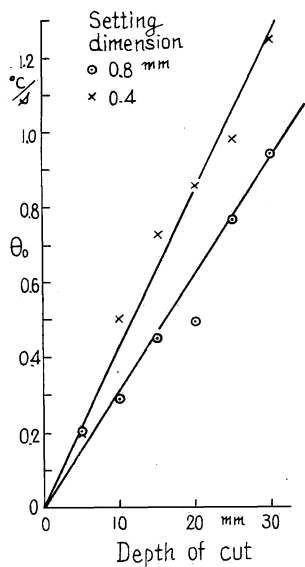


Fig. 55 θ_0 と挽幅の関係 (ブナ)
 Relation between θ_0 and depth of cut (BUNA)

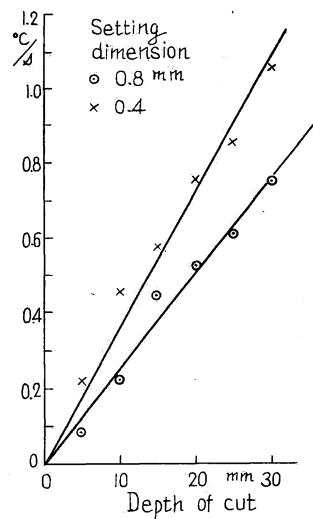


Fig. 56 θ_0 と挽幅の関係 (ミズナラ)
 Relation between θ_0 and depth of cut (MIZUNARA)

である。樹種による差はバラツキがあるけれどもスギ
が大で、ブナがいちばん低く、アカマツ、ミズナラは
その中間になつている。

3・6 含水率の影響

切削における材料の条件としてその含水率は大きな
影響をもっているが、含水率と切削熱との関係につい
て実験を行なつた。

使用鋸は No. 3 でアサリの出は 0.6 mm、鋸速度
49.6 m/s、送り速度 2.04 m/min である。試験樹種は
スギ、アカマツ、ブナ、ミズナラで、材質は Table 5
に示す。試験材は厚さ 10 mm、長さ 400 mm で幅は
300 mm 前後の板目板で、これを平衡含水率 8, 12,
19, 25 % の恒温恒湿の部屋に 1 年以上 放置した。ま
た、高含水率の試験は、材料を水中に浸漬して十分吸
水させた後、大気中において乾燥させ、そ
の過程で適当な時期に切削試験を行なつ
た。全乾状態は、恒温器中で 100°C に材料
を加熱しておき、実験時に取り出し放冷後
試験した。このほか気乾状態のものについ
ても試験した。気乾含水率を除いてはいず
れも保存場所から取り出すときはビニール
の袋に入れ、試験時に出して装置に取り付
けた。

含水率の測定は 1 回ごとの挽板の重量をすぐに測り、後に恒温器に入れて求めた。試験片内部には当然
含水率の差があるが、水漬材以外は少なかった。30 % 以上の高含水率では著しい差が認められたので、
その測定は 1 点について挽材 1 回だけとなつた。また、繊維飽和点以上では Fig. 58 に示すように、鋸歯
の温度は逆に低下し θ_0 は負となり、また、ある値まで下がると平衡状態になるようであつた。しかし、
さらに挽材を続けると温度はふたたび上昇を始めるようである。それで θ_0 のほかに平衡温度を θ_{min} と
して測定した。

これらの結果は Fig. 59~62 のようである。

(1) 各樹種とも θ_0 は含水率 30 % を境として傾向が異
なり、繊維飽和点以下では正で切削温度は上昇するが、以
上では負になつて低くなる。ただし、ミズナラでは 33 %
で正になつたが、その値は低くなつている。

(2) 繊維飽和点以下についてみると、アカマツを除いて
含水率が高くなるにつれて θ_0 は増大している。そして全
乾に近くなると少し高くなつている。スギの 5 % で特に大

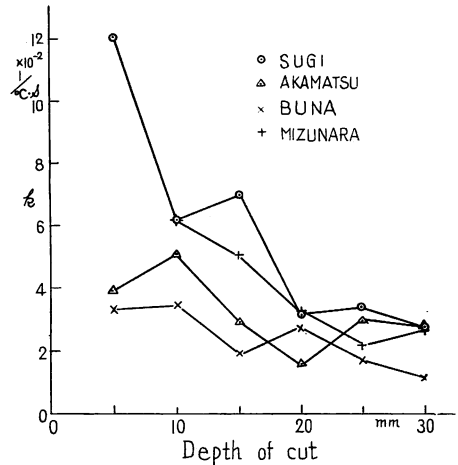


Fig. 57 k と挽幅の関係
Relation between k and depth of cut

Table 5. 供試材料の性質 (含水率試験用)
Properties of tested material for moisture content

樹種 Species	気乾比重 Specific gravity	平均年輪幅 Mean width of annual rings mm
スギ SUGI	0.45	2.75
アカマツ AKAMATSU	0.52	2.02
ブナ BUNA	0.63	1.08
ミズナラ MIZUNARA	0.60	1.11

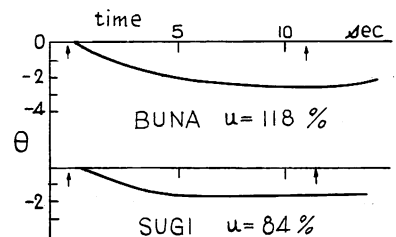


Fig. 58 高含水率材の温度低下の例
Examples of temperature depression
above F. S. P.

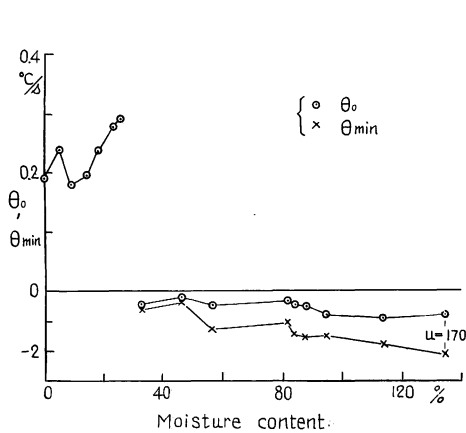


Fig. 59 θ_0 , θ_{min} と含水率の関係 (スギ)
Relation of θ_0 or θ_{min} to moisture content
(SUGI)

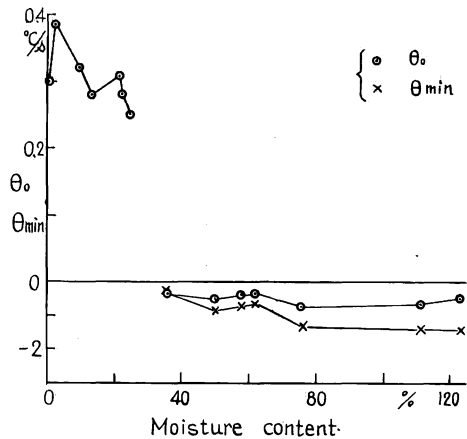


Fig. 60 θ_0 , θ_{min} と含水率の関係 (アカマツ)
Relation of θ_0 or θ_{min} to moisture content
(AKAMATSU)

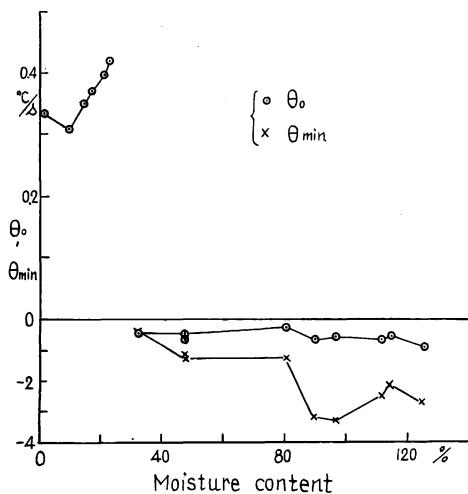


Fig. 61 θ_0 , θ_{min} と含水率の関係 (ブナ)
Relation of θ_0 or θ_{min} to moisture content
(BUNA)

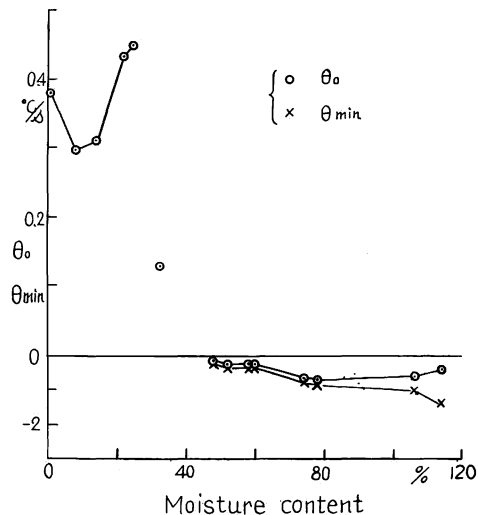


Fig. 62 θ_0 , θ_{min} と含水率の関係 (ミズナラ)
Relation of θ_0 or θ_{min} to moisture content
(MIZUNARA)

きくなっているが、その理由は明らかでない。全乾近くで θ_0 が高くなっているのは、恒温器中で加熱したので冷却が完全でないことも考えられるが、切削抵抗についても 0% 近くで大になることも報告されている^{13) 14)}。

(3) アカマツは他樹種と異なり、含水率が高くなると θ_0 は小さくなるようである。この理由は明らかでないが、樹脂が多いためであろうか、切削抵抗についても同様な報告⁵⁾ がある。

(4) 繊維飽和点以上では θ_0 は大体負となり、鋸歯の温度は気温より低くなり一定値で平衡状態となった。さらに挽材を続けると温度上昇する場合もあったが、その度合は 30% 以下に比べればゆるやかであった。

そして θ_0 , θ_{min} ともに含水率が高くなるとその絶対値はやや大きくなるが、ブナをのぞいて 50 % 以上ではこの場合あまり差がないようである。アカマツも他樹種と同様な傾向であつた。

このように切削温度が高含水率では気乾材より低くなることは挽材作業について報告¹⁵⁾されている。

このことは試験材自体が気温より低下しており、また、含有水分が冷却効果を示すのではないかと考えられ、乾燥中の高含水率の木材が気温より低いという報告¹⁶⁾もある。

いずれにしても切削温度が低いことは挽材には都合がよく、この点では生材の方がよいことになる。

(5) この実験によつて得た挽材片は含水率によつて特徴があるので Photo. 3 にスギとブナについて示す。すなわち、全乾に近いと材質は

非常にもろくなつていようで、切削による衝撃によつて割れや、下部にかけを生じたりした。含水率が高くなるとこのようなことはなく、靱性をますような感じであつた。ただ含水率が高くなると挽肌は多少むしれたようになり、けば立ちが多くなった。また、気乾より高い含水率では歯喉面に鋸屑の付着するのが目だつた。このように含水率は切削そのもののばかりでなく製品の品質にも影響するようであつた。

3・7 アサリの出の影響

切削温度に対しては鋸歯の幾何学的な条件が影響することは当然であるが、特にアサリは直接切削熱と関連があるので、アサリの出について実験を行なつた。他の歯角条件などについては、今まで述べたように切削動力からある程度類推できるのではないかと考える。

使用した鋸は No. 4 で、鋸歯は 2 枚で振分けアサリとした。アサリの出は 0~1 mm の範囲で 0.1 mm 間隔としたが、特にアサリの小さい 0.05 mm を加え、12 種類とした。アサリは初め 1 mm に出して研磨によつて減じながら実験した。これは同一鋸でないと比較できないためである。このため歯高が低くなり鋸速度に影響するが、その量は小さいので無視できる。鋸速度は 49.6 m/s, 送り速度は 2.04 m/min にした。供試材はスギ、アカマツ、ブナ、ミズナラで Table 3 と同じである。試験材は厚さ 10 mm, 長さ 1,000 mm くらいであるが、アサリの出が 0.1 mm 以下では挽材困難なので短くした。

Fig. 63~66 に実験結果を示す。

(1) 各樹種ともアサリの出が 1 mm から小さくなるにつれてしだいに θ_0 は減少するが、0.4 mm 付近

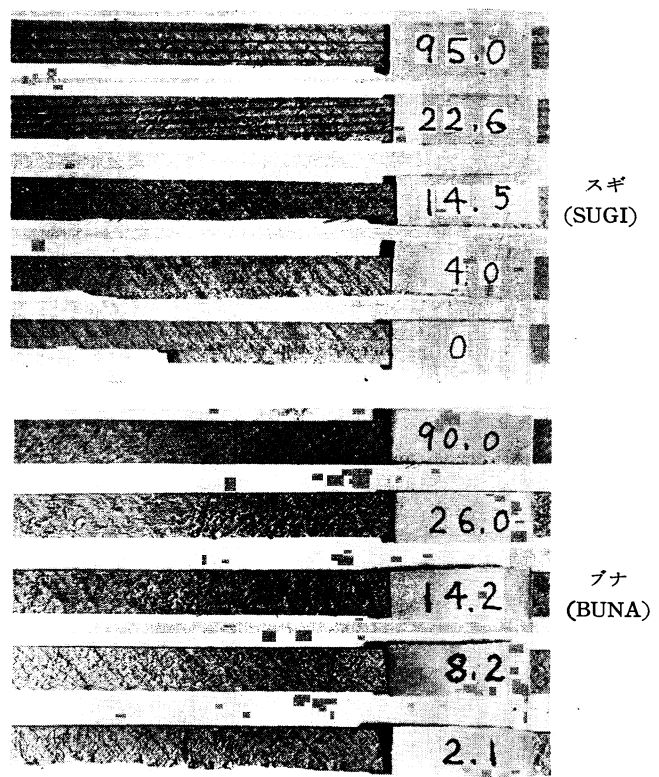


Photo. 3 含水率の異なる場合の挽板の例
Examples of sawn strips of various moisture contents

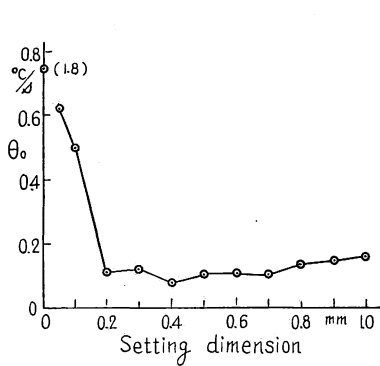


Fig. 63 θ_0 とアサリの出の関係 (スギ)
Relation between θ_0 and setting dimension
(SUGI)

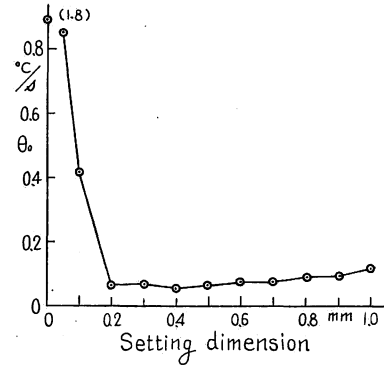


Fig. 64 θ_0 とアサリの出の関係 (アカマツ)
Relation between θ_0 and setting dimension
(AKAMATSU)

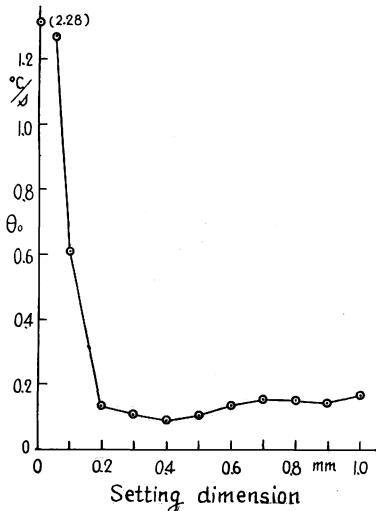


Fig. 65 θ_0 とアサリの出の関係 (ブナ)
Relation between θ_0 and setting dimension
(BUNA)

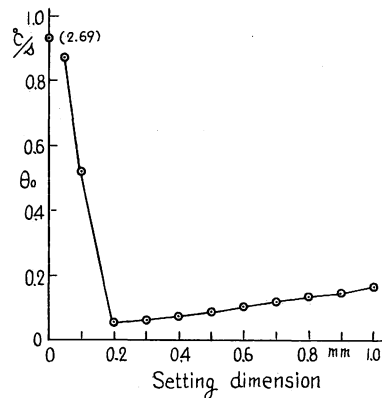


Fig. 66 θ_0 とアサリの出の関係 (ミズナラ)
Relation between θ_0 and setting dimension
(MIZUNARA)

で最小となりこれよりアサリの出が小さくなるとやや増加し 0.1 mm 以下では急増する。この状態は挽材所要動力の場合^{5) 17)}とおおむね一致する。

(2) ミズナラでは他樹種と異なつて最低値は 0.2 mm に現われている。

(3) 摩擦の影響を調べるため、挽材中に試験材のほぼ中央で送りを停止させてその冷却状態を求め、ふたたび挽材して終了後の空転時における冷却状態と比較した。冷却速度は温度によつて異なるから大体同一温度で比べ、送りを途中で停止した時の $\frac{d\theta}{dt}$ から挽材後の $\frac{d\theta}{dt}$ を引いた値 θ_f を求めた。一般に途中で停止すると温度は下がるけれども、アサリの出が小さくなると、送りを止めても温度があがることがあつた。なお、アサリの出 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mm について行ない、0.4, 0.8 mm では挽幅も変えた。アサリの出がこれ以上小さい場合は送りを止めた場合温度上昇が著しく測定できなかつた。

Table 6. θ_f とアサリの出の関係
Relation between θ_f and setting dimension $\times 10^{-3}$ ($^{\circ}\text{C/s}$)

アサリの出 Setting dimension	挽 幅 Depth of cut	ス ギ SUGI	アカマツ AKAMATSU	ブ ナ BUNA	ミズナラ MIZUNARA
1.0 mm	10 mm	1	17	3	0
0.8	5	— 8	— 8	6	— 4
	10	15	12	3	2
	15	24	— 35	— 6	7
	20	— 6	— 13	— 3	20
	25	— 5	12	15	2
	30	15	54	84	— 8
0.6	10	3	21	20	— 62
0.4	5	— 1	0	— 5	11
	10	0	30	7	— 9
	15	2	44	45	18
	20	3	60	— 3	53
	25	26	78	89	77
	30	64	79	73	65
0.2	10	480	430	700	510
$\theta_f/\theta_0 \times 100$					(%)
0.2	10	80	74	52	71

これらの結果について Table 6 に示す。

各樹種ともアサリの出が 0.4 mm 以上ではあまり影響がなく、 $\theta_f=0$ とみなしてよい。しかしアサリが大きくても挽幅が大になると摩擦があるようである。これは歯先と材との接触距離が長くなるためと考えられる。アサリの出が 0.2 mm になると θ_f も大となる。表からも分かるように θ_0 に対し 8 割にも達している。

3・8 側面摩擦と鋸歯温度

鋸身側面と木材とが接触して摩擦することは実際作業においてもしばしば見られる。また、切削する鋸歯は多少とも材と接触し摩擦しているであろう。このような影響を知るための参考として、円鋸側面に木片をあてて摩擦させその温度上昇を調べてみた。

鋸 No. 2 について歯底線のすぐ下の部分に 10 mm 角の木片をあてた。木片は金属の棒の一端に固定し、棒の中心はベアリングの支点とし他端に荷重を与えた。樹種はエゾマツ、アカマツ、ブナ、ミズナラで接触面は柁目面で鉋仕上げた。接触圧力は大体 0.8, 1.6, 2.6 kg で、接触部の鋸速度は 19.8, 31.2, 46.5, 54.7 m/s である。

この結果は Fig. 67~70 のようである。

(1) θ_0 は各樹種とも圧力にほぼ比例して増加する。ただエゾマツでは鋸速度の速い場合振動を生じて不規則になった。

(2) θ_0 は鋸速度が大になるとともに高くなるが、その関係は比例的ではない。これは鋸速度によつて

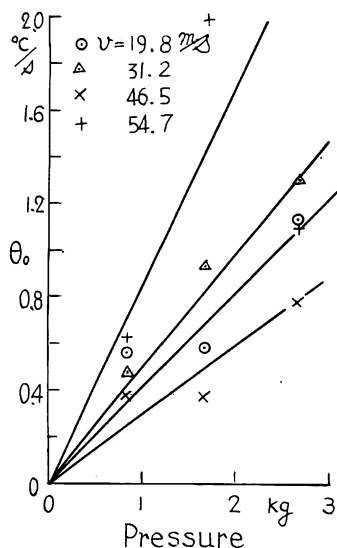


Fig. 67 θ_0 と接触圧の関係 (エゾマツ)

Relation between θ_0 and pressure of contact (EZOMATSU)

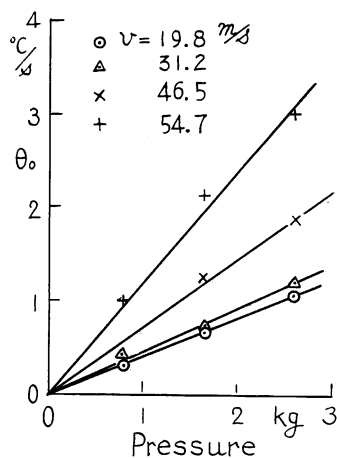


Fig. 68 θ_0 と接触圧の関係 (アカマツ)

Relation between θ_0 and pressure of contact (AKAMATSU)

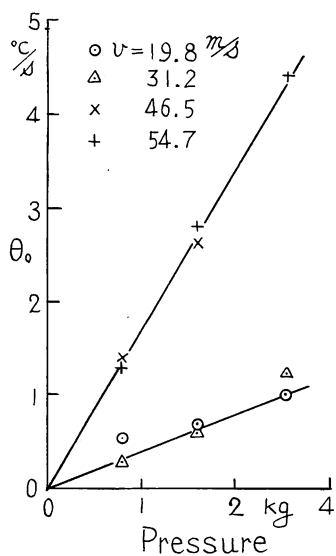


Fig. 69 θ_0 と接触圧の関係 (ブナ)

Relation between θ_0 and pressure of contact (BUNA)

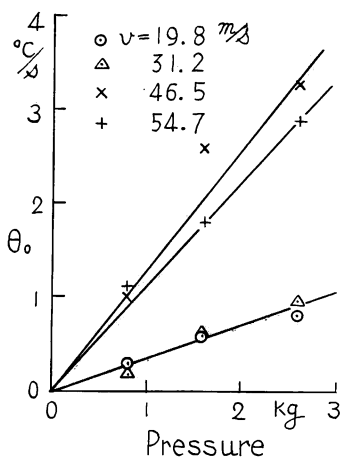


Fig. 70 θ_0 と接触圧の関係 (ミズナラ)

Relation between θ_0 and pressure of contact (MIZUNARA)

放冷効果や摩擦係数が変化するなどによると思われる。

(3) 樹種による差は鋸速度によつても異なつて明りようでないが、ブナが多少高くでている。

3・9 実験式の作製と切削所要動力との比較

おのおの実験結果についてはそれぞれ考察を述べてきたが、ここでは θ_0 について鋸速度と送り速度

に関して実験式を作製し、また挽材所要動力との関係について考えてみた。

3・9・1 実験式を作製

θ_0 と鋸速度、送り速度の関係を数式的に表わすため Fig. 27~30, および Fig. 47~50 について θ_c と切込み深さとの関係を直線とみなしてその実験式を求めた。これを一般的に示せば、

$$\theta_c = \alpha + \beta \delta \dots\dots\dots (16)$$

ここで δ : 切込み深さ (mm), α, β は定数であるが鋸速度によつて異なる。なお、切込み深さが大きいと θ_0 は直線からずれるが、これは鋸の強度が影響するものとして除外し、アサリをつけた場合のアカマツでは低い鋸速度ではバラツキがはなはだしいのでぞいた。

α, β と鋸速度との関係は Fig. 71~74 のようであつた。これらから実験式を作つたが、簡単のため2本の直線で表わしたので鋸速度の範囲によつて数式が異なる。

Fig. 71~74 から次のようなことがいえる。

- (1) アサリのある場合には、 α, β とともに大体鋸速度にともなつて減少するが、40 m/s 付近から一定の値となるようである。しかしブナでは α は 49.6 m/s で高くなつてゐる。
- (2) アサリをつけない場合には、エゾマツ、アカマツは α, β とともに鋸速度に関係なく一定であつた。

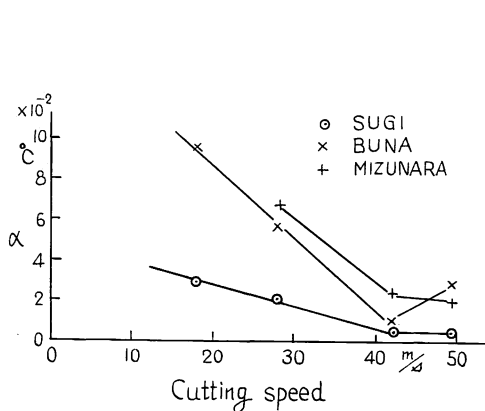


Fig. 71 α と鋸速度の関係 (振分けアサリ)
Relation between α and cutting speed
(spring-set)

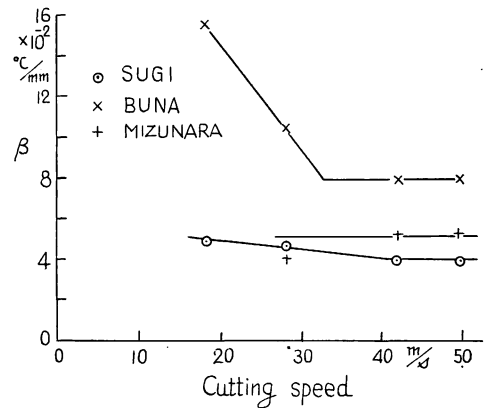


Fig. 72 β と鋸速度の関係 (振分けアサリ)
Relation between β and cutting speed
(spring-set)

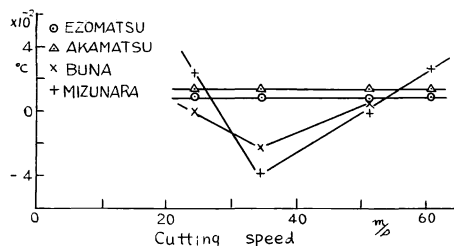


Fig. 73 α と鋸速度の関係 (アサリなし)
Relation between α and cutting speed
(no set)

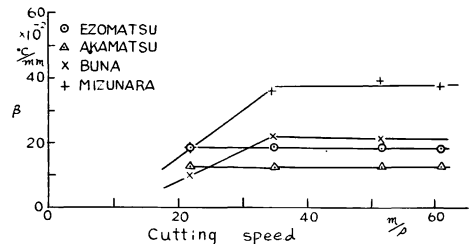


Fig. 74 β と鋸速度との関係 (アサリなし)
Relation between β and cutting speed
(no set)

ブナ, ミズナラでは α は不規則で負になることもあり, β は初め鋸速度とともに増加し, 35 m/s くらいで一定となるようであった。

一般に切込み深さと鋸速度, 送り速度の間には次のような関係がある。

$$\delta = \frac{f}{v} \cdot \frac{\pi \times D}{60 \cdot z} \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (17)$$

f : 送り速度 (m/min), v : 鋸速度 (m/s), D : 鋸直径 (mm), z : 鋸歯数, φ : 挽幅の中心を通る直径と材の送り方向のなす角度。(15), (16), (17) 式により θ_0 の式が求められる。この結果は Table 7 に示すようになった。これらの形は挽材条件によつて異なるけれども一般的には次のように示される。

$$\theta_0 = (\alpha + \beta v)v + (\gamma + \varepsilon v)f \dots \dots \dots (18)$$

Fig. 23~26 で見られるように, θ_0 が鋸速度に関係なく 1 つの直線となるためには, (16) 式の α , β が v に逆比例しなければならないが, このことは Fig. 71, 72 からもうかがわれるが, 計算の簡便のため直線とした。

Table 7. θ_0 の 実 験 式Empirical formula of θ_0

(°C/s)

アサリ Set	樹 種 Species	$v \leq 40 \text{ m/s}$	$v > 40 \text{ m/s}$
振分け アサリ Spring set	ス ギ SUGI	$(6.46 - 0.139v)v + (70.75 - 0.5v)f \times 10^{-8}$	$6.34v + 51.7f \times 10^{-8}$
	アカマツ AKAMATSU	—	$5.29f$
	ブ ナ BUNA	$(19.8 - 0.436v)v + (315 - 4.12v)f$	$(-12.4 + 0.33v)v + 101f$
	ミズナラ MIZUNARA	$(19.4 - 0.392v)v + 59.4f$	$2.54v + 59.4f$
アサリ なし No set		$v < 35 \text{ m/s}$	$v \geq 35 \text{ m/s}$
	エゾマツ EZOMATSU	$0.95v + 64.3f \times 10^{-2}$	$// \times 10^{-2}$
	アカマツ AKAMATSU	$1.48v + 56.8f$	$//$
	ブ ナ BUNA	$(4.11 - 0.179v)v + (-46.1 + 3.85v)f$	$(-8.45 + 0.179v)v + 85.3f$
	ミズナラ MIZUNARA	$(13.9 - 0.517v)v + (-46.4 + 5.15v)f$	$(-12.65 + 0.253v)v + 134f$

3・9・2 切削温度と切削所要動力について

前にも述べたように切削熱は切削動力の一部が変化したと考えられるから, 両者の間には比例的な関係があることが推定され, また実験結果についても, このような傾向がみられた。したがって数式的にも同一であるか考察してみた。

切削抵抗については多くの実験が行なわれているが, 電動機の消費動力から切削抵抗を求めている場合は次式が成り立つ⁹⁾。

$$Psz = 102 \frac{Ns}{vz} \dots \dots \dots (19)$$

Psz : 鋸歯 1 枚あたりの切削抵抗 (kg), Ns : 切削所要動力 (kw), z : 同時に切削している鋸歯数。多くの実験結果によると Psz は切込み深さ δ と一次的な関係があるといわれる^{5) 8) 11)}。すなわち,

$$Psz = a + b\delta \quad \dots\dots\dots (20)$$

これに (17) 式を入れると,

$$Ns = a'v + b'f \quad \dots\dots\dots (21)$$

となる¹³⁾。

切削熱については、 θ_0 は単位時間の温度上昇であるから切削所要動力 Ns に相当するもので、切削抵抗 Ps_z に対応するものは θ_c である。切削熱と切削動力は類似した式で示されるが、切削動力の (20)、(21) 式では a, b, a', b' は鋸速度に無関係であるが、切削熱では Fig.71~74 および Table 7 に示されるように係数が鋸速度によつて変化することが異なっている。

θ_c についてみると、切込み深さが同じであれば、アサリのある場合は鋸速度が早い方が低くなり、アサリのない場合にはスギ、アカマツでは鋸速度に関係なく、ブナ、ミズナラでは高い鋸速度で高くなっている。アサリのある場合よりない方が、また針葉樹より広葉樹の方が摩擦が大であると考え、摩擦の少ない場合は鋸速度の増加による冷却効果の方が現われ、摩擦の大なる場合は摩擦熱の影響が強くなるのではないかと推定される。切削抵抗から考えて θ_c が鋸速度を増すと低くなることは理解しにくい、本実験においては温度を測定した箇所は鋸歯の底辺で歯端とは多少距離があるから、伝導中に鋸速度の影響を受けて変化し、歯端部の発熱量と必ずしも比例しないのではないかと思われる。

Ⅳ 摘 要

鋸歯の切削温度におよぼす挽材条件の影響について実験を行なつた。鋸歯の温度は鋸歯側面に白金線ゲージを接着し、その抵抗の変化をひずみ計によつて測定して求めた。供試鋸は円鋸を用い振分けアサリをつけたが、鋸速度、送り速度の実験ではアサリをつけず鋸身に逃げをとつた場合も試験した。供試樹種はスギ、アカマツ、ブナ、ミズナラの4種類で、アサリのない場合はスギの代わりにエゾマツを用いた。

この実験結果は次のようであつた。

1. 鋸歯の切削温度上昇の状況

(1) アサリのある場合その温度上昇は Fig. 3~6 の例のようになり、一般的には Fig. 7 のように示された。それで θ_0 をもつて切削温度の比較値とした。また、この温度曲線は (10) 式で表わされる。

(2) 鋸を空転させた場合、その冷却状態は大体 (12) 式のようになる。鋸速度が速いほど冷却速度は大となり、 k は鋸速度に直線的に増加する。

2. 送り速度および鋸速度の影響

(1) 鋸速度の一定の場合、 θ_0 は送り速度の増加とともに直線的に高くなる。しかし、送り速度が極端に大きくなると増加率が大になる。

(2) 送り速度が同じで鋸速度が変化する場合、アサリがついているときは θ_0 は鋸速度とともに減ずるが、その減少率はしだいに小さくなり、ブナでは 42 m/s で最低値を示し、さらに鋸速度が速くなると高くなつた。他の樹種でも条件によつてそのような傾向が見られた。

アサリのない場合は針葉樹では鋸速度の増加に対し θ_0 は多少高くなる程度であるが、広葉樹では急激に増大し、鋸速度の影響が著しかつた。

(3) θ_0 は切込み深さに比例的に増し、アサリのある場合は鋸速度による差が小さいが、アサリのない場合は同じ切込み深さでも鋸速度の速い方が高かつた。

(4) 切削 1 回あたりの温度上昇 θ_c は切込み深さとともに直線的に増加するが、同じ切込み深さでもアサリのある場合は速い鋸速度の方が低く、アサリのない場合は針葉樹では鋸速度に関係なく同じ値となり広葉樹では遅い鋸速度の方が低かった。

(5) θ_c と鋸速度、送り速度との関係を実験式によつて表わすと Table 7 のようになる。

(6) (10) 式における a は平衡温度 θ_m を示すと考えられ、形式的には a は $\sqrt{\theta_c}$ に比例するわけであるが、実際には $1/2 \sim 1$ 乗に比例するようであつた。

(7) (10) 式における b は平衡温度に達する時間に逆比例するが、 b はほぼ鋸速度の平方根に比例した。

(8) k は鋸歯の放冷速度を示すと考えられるが、挽材条件によつても異なり、送り速度は遅い方が、鋸速度は速い方が大であつた。

3. 挽板厚さの影響

(1) アサリのある場合は板挽厚さ $0.5 \sim 3 \text{ mm}$ の範囲で、アサリのない場合は鋸速度によつて多少異なるけれども、 $1 \sim 2 \text{ mm}$ の範囲であまり変化しなかつた。

4. 挽幅の影響

(1) θ_c は挽幅にほぼ比例して増加した。また、 k は挽幅が大になるにつれて小さくなつた。

5. 含水率の影響

(1) θ_c は繊維飽和点以下では含水率が多くなるとともに増加した。しかし全乾近くではまた高くなる傾向がみえた。アカマツは他樹種と異なつて含水率の増加とともに θ_c は減少するようであつた。

(2) 繊維飽和点以上では鋸歯の温度は気温より低くなり、 θ_c は負となつた。その低下の度合は含水率の高いほど大きくなつた。

6. アサリの出の影響

(1) アサリの出が 1 mm から減じていくにつれて、 θ_c は低くなるが、 0.4 mm 付近で最低となり、それから増していって 0.1 mm 以下では急激に高くなつた。しかしミズナラでは 0.2 mm で最低値を示した。

(2) 摩擦の影響をみるため挽材中に送りを停止してその温度降下の状態を求め、空転時のそれと比較した。この結果、アサリの出が 0.4 mm 以上では摩擦熱は無視できるくらいであつた。アサリの出 0.2 mm 以上では発熱は大きくなつた。しかし、アサリの出が大きい場合でも挽幅が 25 mm 以上では多少発熱するようであつた。

7. 鋸身の側面摩擦について

(1) 挽材時の参考資料にするため、鋸身の側面に木片をあてて摩擦による発熱状況を調べた。これによると θ_c は各鋸速度とも圧力に比例して大きくなつた。

(2) 同じ圧力では鋸速度が速い方が θ_c は高いが、その関係は比例的ではなかつた。

8. 切削温度と挽材所要動力との関係

(1) 切削温度と挽材条件との関係は挽材所要動力の場合と大体傾向が似ている。したがつて、切削温度はある程度挽材所要動力によつて類推できよう。

(2) しかしながら、鋸速度については両者は平行的ではなかつた。これは鋸速度の冷却効果によるものと考えられる。

文 献

- 1) 谷口修・森康夫・坂田勝：スリップリングによる高速回転体の温度測定，機械の研究，11，12，(1959) p. 1589～1591
- 2) SUGIHARA, H.・SUMIYA, K.: A theoretical study on temperature distribution of circular sawblade. 木材研究，15，(1955) p. 60～74
- 3) BEROLZHEIMER, C. P.・BEST, C. H.: Improvements through research on thin circular sawblades. F. P. J., 9, 11, (1959) p. 404～412
- 4) THUNELL, B.: Neuere Ergebnisse der holztechnologischen Forschung in Schweden Schriftenreihe der Österreichischen Gesellschaft für Holzforschung, 2 (1950).
- 5) 斎藤美鶯・枝松信之・大平裕：製材用鋸歯の切味，林試研究報告，97，(1957) p. 33～60
- 6) McMILLIN, C. W.・LUBKIN, J. L.: Circular Sawing experiments on a radial arm saw. F. P. J., 9, 10, (1959) p. 361～367
- 7) 林業試験場：木材工業ハンドブック 製材，(1958) p. 187～239
- 8) 杉原彦一：帯鋸刃による挽材に関する研究 (II)，歯端速度及び緊張量の影響について，木材工業，9，12，(1954) p. 576～581
- 9) PAHLITZSCH, G.・DZIOBEK, K.: Untersuchungen an einer horizontalen Blockbandsäge. Holz als R. und W., 17, 9, (1959) p. 364～376
- 10) ANDREWS, G. W.: Sawing wood with circular headsams. F. P. J., 5, 3, (1955) p. 186～192
- 11) CHARDIN, A.: Utilisation du Pendule Dynamometrique dan les Recherches sur le Siage des Bois. Bois et Forets des Tropiques, 58, (1958) p. 49～61
- 12) 斎藤美鶯・仁賀定三：円鋸の挫屈について I, II, 木材工業，9，6，7，(1954) p. 277～281，317～322
- 13) 林大九郎：昇降盤に於ける円鋸切削に関する二，三の実験，木材工業，7，7，(1952) p. 311～313
- 14) 林大九郎：木材の含水率と切削加工との関係 (1) 昇降盤に於ける鋸断について，木材学会誌，2，2，(1956) p. 76～78
- 15) 斎藤美鶯・森稔：帯鋸の切削熱について，第 64 回日本林学会大会講演集，(1955) p. 356～358
- 16) SERGOVSKII, P. S.: Wood temperature during kiln drying and importance of the temperature gradient in the wood for process calculations. Wood processing and wood chemical industry (U. S. S. R.), 2, 3, (1953) p. 6～8 (C. S. I. R. O. Translation No. 2711).
- 17) 杉原彦一：帯鋸刃による挽材に関する研究 (1) 送り力及び歯振量の挽材に及ぼす影響，木材研究，10，(1953) p. 1～21
- 18) HARIS, P.: Mechanics of sawing. Forest Products Research, Bull., No. 30, (1954)

Temperature Rise on a Sawtooth in Cutting

Tsuneo AOYAMA

(Résumé)

The heat generated on a sawtooth in cutting has a great influence on the sawing operation. In this experiment the temperature rise on a sawtooth in cutting was investigated in relation to various sawing conditions. The temperature rise on a sawtooth was obtained by measuring the electric resistance of Pt wire gauge secured at the grooved root of a sawtooth, which corresponded to the variation of temperature. The gauge was connected to the strain meter by means of copper slirings on a saw spindle and Ag-graphite brushes. The schema of measuring apparatus is shown in Fig. 1. The circular saws shown in Table 1 were used for tests.

No. 1 and No. 2 saws had no set, and No. 3 and No. 4 were spring-set. The experiments were carried out on saws with spring-set except the test for feed rate and cutting speed, where both saws with and without set were used.

Test species were SUGI, EZOMATSU, AKAMATSU, BUNA and MIZUNARA, whose properties are indicated in Tables, 3, 4, 5.

The prepared materials were flat-sawn boards 10 mm thick and 400 or 1,000 mm long except test for depth of cut.

The results of this experiment are as follows:

1. Temperature rise on a sawtooth

(1) Some examples of temperature recorded are shown in Figs. 3~10. θ_0 , the temperature rise at the beginning of cut for a second, was adapted as an evaluating value to compare the heat generated on a sawtooth (Fig. 7). θ_m was also obtained, but rarely, because in most cases cutting was completed before the temperature reached maximum.

The temperature rise on a sawtooth appeared to be written in formula of (1). Though n and k were likely to be variable in relation to θ , the temperature rise on a sawtooth, the formula (2) was used for calculations because of its simplicity and good approximation to measured values. From Eq.(2) the curve of temperature is given in Eq.(9) or Eq.(10).

The calculated values agreed fairly well with measured ones (dots in Figs. 3, 5, 6, and Figs. 10, 11).

k in Eq.(2) seemed to indicate cooling effect.

(2) In order to obtain cooling effects of air in rotation without cutting, the saw was revolved in the air after the sawtooth was heated. The examples of cooling at different rotation speeds are shown in Fig. 19, and it was written approximately in Eq.(12). k became larger with increasing rotation (Fig. 21).

2. Effect of feed rate and cutting speed

(1) θ_0 increased in every species as feed rate became higher (Figs. 15~18).

(2) Figs. 19~22 show θ_0 versus cutting speed relation. θ_0 decreased with increasing cutting speed, but the depression diminished gradually, and in some cases θ_0 rose at higher cutting speed.

(3) The relation between θ_0 and bite of sawtooth is almost linear except at larger bites

(Figs. 23~26).

(4) θ_c , the temperature rise at one cutting, increased linearly as the bite of a sawtooth became deeper (Figs. 27~30).

(5) The relations between θ_0 and b calculated from Eq.(10) are shown in Figs. 31~33. And b is nearly proportional to the square root of cutting speed (Fig. 34).

(6) Figs. 35~37 indicate the relations between k and feed rate, and Figs. 38 the relation between k and cutting speed.

(7) θ_0 on a sawtooth without set increased either gradually (Figs. 39, 40) or steeply (Figs. 41, 42), when the cutting speed was raised, and this tendency differs from a sawtooth with spring-set.

The relations between θ_0 on a sawtooth without setting and bite are shown in Figs. 43~46, and the relations of θ_c and bite in Figs. 47~50.

3. Effect of thickness of sawn strips

(1) θ_0 was almost constant in the range of 1~3 mm thickness of strip by a sawtooth with spring-set and 1~2 mm thickness by a sawtooth without set (Figs. 51, 52).

4. Effect of depth of cut

(1) θ_0 increased almost in proportion to depth of cut (Figs. 53~56). The relation between k and depth of cut is shown in Fig. 57.

5. Effect of moisture content

(1) Below the fiber saturation point the temperature rose with cutting, but over that point lowered to reach a constant temperature (Figs. 58).

This is probably due to the cooler test specimens in drying.

The relations of θ_0 or θ_{min} to moisture content are shown in Figs. 59~62.

(2) The sawn strip varied in mechanical property with its moisture content, being brittle and breakable at lower moisture content but pliable at higher (Photo. 3).

6. Effect of set dimension

(1) θ_0 decreased gradually with diminishing of set dimension and was minimum at 0.4 mm except, MIZUNARA. Then it increased abruptly at less than 0.1 mm (Figs. 63~66).

(2) The effect of friction when feed was stopped in workpiece was investigated. θ_f , the difference between the temperature depression in stopped workpiece and in the air, was negligible at set dimension of more than 0.4 mm, but became high at 0.2 mm (Table 6).

7. Effect of side friction

(1) To obtain the effect of the side friction of saw blade, wood pieces were contacted with the side of saw blade under various pressures and rotations, and the temperature rises were measured. In this test θ_0 rose proportionally as the pressure increased (Figs. 67~70).

8. Empirical formulae of θ_0 and comparison with power requirement

(1) When θ_c was assumed to be given by Eq.(16), the relations of α or β to a bite of a sawtooth are shown in Figs. 71~74, where δ (mm) is a bite of a saw tooth.

From these results the empirical formulae of θ_0 in respect to feed rate and cutting speed were obtained for each species (Table 7).

(2) The relations of temperature on sawtooth to the cutting conditions tended to be similar to that of power requirement, so the heat generated appeared to be almost proportional to power.

However, as to the cutting speed, θ_0 decreased with increasing speed, though power

increased proportionally on the contrary. Accordingly, the empirical formulae differed from that of power (Eq. 21). This difference is probably due to cooling effect of cutting speed.