

# マイクロ波加熱による木材の接着<sup>\*1</sup>

松田 健一・上原 守峰<sup>\*2</sup>

## Application of Microwave Heating to Gluing of Wood with Adhesives

Kenichi MATSUDA and Morimine KANBARA

### 1. はじめに

マイクロ波の応用が、最近、木材工業の分野で注目されるにいたっているが、筆者は木質材料への応用に着目し、その実用化を意図して一連の研究を行っている。マイクロ波は、従来の外部加熱による熱伝導とは異なる熱の発生現象を呈し、誘電体物質の発熱作用によって内部から温度が上昇する。しかも、同じ発熱原理を応用して、以前から使われてきた数十 MHz 以下の高周波加熱とくらべて周波数が著しく高いために被加熱材の寸法形状に合せた電極を用いる必要もなく、また、ごく短時間で高い温度を得ることができる等の長所がある。

木質材料の接着にマイクロ波を利用するにあたり、まえてマイクロ波の照射による被加熱材の熱の発生状態、理学的性質等の変化を究明することが必要である。すなわち、マイクロ波の出力や照射時間が、被加熱材の材的变化、および、温度変化におよぼす影響を検討することである。本報は、マイクロ波加熱による接着の前提条件として被加熱材の温度特性について、併せて、その接着性について実験し検討を加えたものである。

### 2. 実験方法

#### 2.1 マイクロ波加熱装置

実験には、二基のマイクロ波加熱装置を用いた。1号機は三菱電機株式会社製の周波数 2,450 MHz、0~750W 出力可変型、2号機は松下電機株式会社製の同周波数でマイクロ波出力が 650W, 1300W の2段可変型である。1号機の加熱装置と配線図を Fig. 1, Fig. 2 に示す。

これらマイクロ波加熱装置の入力電圧の変化と、水負荷法で測定したマイクロ波出力との関係は既報<sup>1)</sup>の資料を引用すると Fig. 3 のとおりで、入力に対する出力効率約50%である。

#### 2.2 供試材と、接着剤

供試材には、南洋材のラミン (Gonystylus bancaus Kurz, sg=0.62) の厚さ 8mm の柁目板を温

\*1 1975年11月10日 受理

\*2 鹿児島県吉松小学校教諭

度 20°C, RH 65% の恒温恒湿室内で含水率 10~12% に調湿して用いた。試験片は、繊維方向長を 100mm, 接線方向長を 8mm, 半径方向長を 20mm, の直方体に木取った。一对の試験片の圧縮は Fig. 4 に示す方法で行い, 治具材料には試験片の全面にマイクロ波が照射できるように誘電率の低いアクリル樹脂板を使用し, クランプはその圧力をトルクレンチ (FS.-15kg-cm) で一定に規定した。

接着剤には, 大鹿振興株式会社製の (1), ユリア樹脂接着剤 No 106, (同接着剤 100部に対し硬化剤 (NH<sub>4</sub>Cl 20% 溶液) 3部) (2), ユリア樹脂と酢酸ビニル樹脂エマルジョン 30部を加えた混合接着剤 (3), 調合カゼイングルー (カゼイングルー-100部に対し水 200部) の3種類の接着剤を用いた。

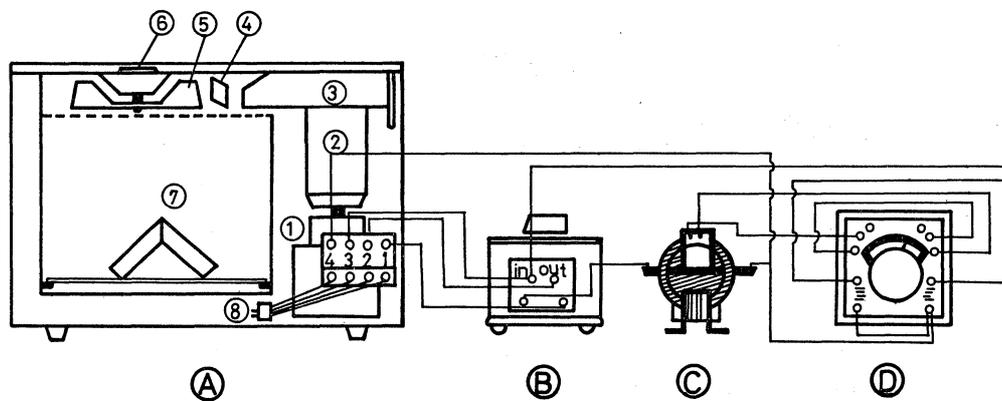


Fig. 1 実験装置

- ① マイクロ波加熱装置 ② ボルトスライダ ③ 変流器 ④ ワットメーター  
 ① ヒータトランス ② マグネトロン ③ 導波管 ④ 反射板 ⑤ ステラファン  
 ⑥ ステラモーター ⑦ 試験片 ⑧ 電源

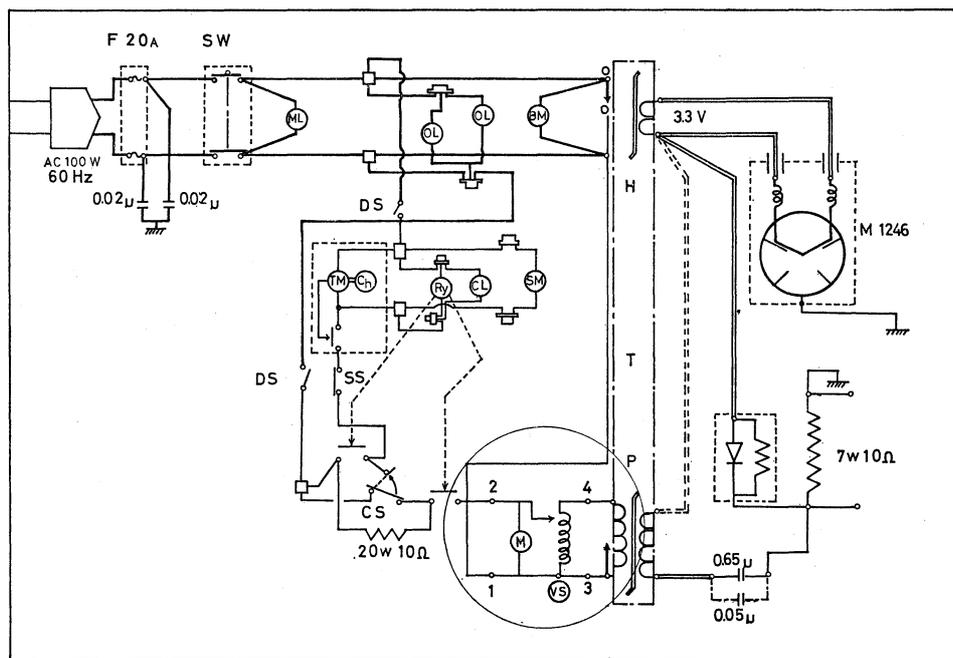


Fig. 2 1号機の配線図 (○内が出力可変装置)

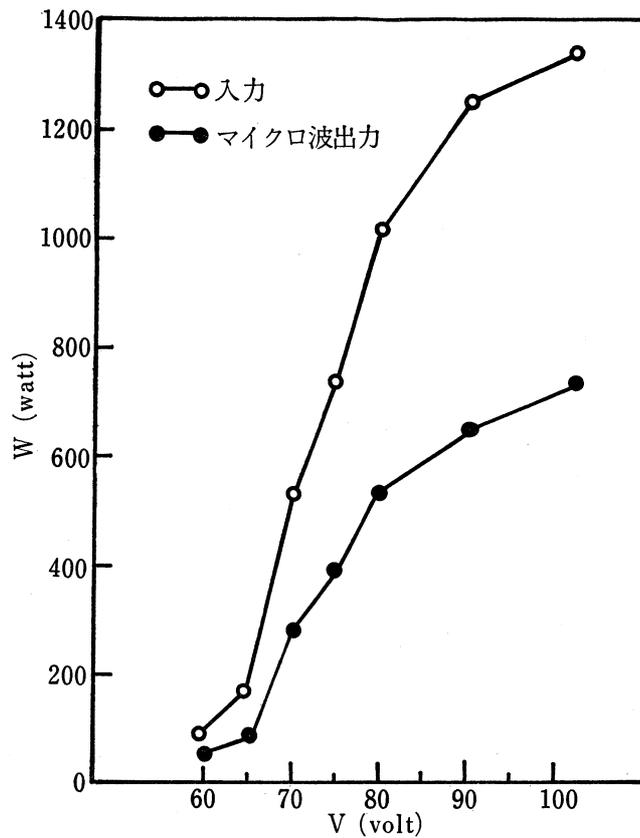
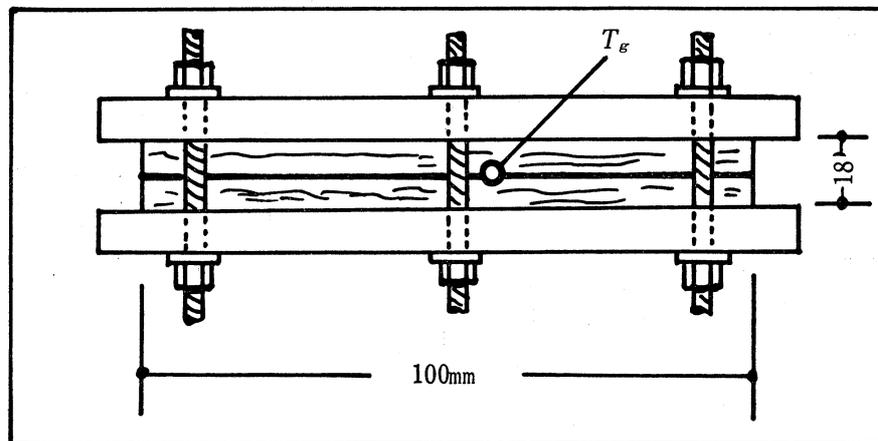


Fig. 3 ボルトスライダの電圧(V)と入力およびマイクロ波出力

Fig. 4 試験片のクランプと接着層温度  $T_g$  測定位置

### 2.3 接着条件

前記, 3種類の接着剤を用い, マイクロ波加熱による接着と, これに対応して夫々の接着剤の従来から行われている外部加熱接着の両法で行った。どの接着剤についても, また兩種接着法と共に両面塗布で  $250\text{g}/\text{m}^2$  で, 圧縮圧力  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  と一定にした。本実験では, マイクロ波加熱は出力  $743\text{W}$  で90秒, 出力  $272\text{W}$  で180秒以上照射すると, 試験片に焦げが発生するので, この範囲内でマイクロ波出力と照射時間を組合せた。

## 2.4 測定方法

マイクロ波加熱による試験片の温度上昇経過を木質部と接着層について測定した。すなわち、ラミンの厚さの中央部に径 2mm, 深さ 10mm の孔を, また Fig. 4 の接着層  $T_g$  に径 2mm, 深さ 10mm の孔をあけ, 同質材で木栓をし装置のオープン内で所定時間照射してスイッチオフし, 直ちに孔深部の温度をサーミスター針状検出器で測定した。

強度試験は, 10日間恒温恒湿室で保養したのち, TOM 500 型を用い, DIN 53254 に準じた接着引張試験法で測定した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 被接着材の内部温度

Fig. 5 は, 出力 743W 時のマイクロ波加熱と, 130°C にセットした熱風循環式電気恒温器による外部加熱の両法で実験したラミンの温度上昇, および, その速さの差異を測定した図で, マイクロ波を利用すると60秒照射で, ラミンの実質上昇温度  $T$ . ( $T = T_2 - T_1$ ,  $T_1$ ... 照射前温度,  $T_2$ ... 照射後温度) は 140°C 付近まで上昇する。外部加熱の場合は, 110°C に達するのに17分余を要し, 徐々に上昇している。ここにマイクロ波による誘電体物質の内部発熱の特徴を認めることができる。

さらに, マイクロ波加熱における照射時間と, 試験片の内部温度の上昇経過の関係を出力別に両対数グラフ上にプロットすると, Fig. 6, Fig. 7 (a) (b) (c) に示すような結果をえた。Fig. 6 の  $T_b$  はラミンの木質部温度を, Fig. 7 の  $T_g$  はユリア樹脂接着剤, 混合接着剤, カゼイングルーを使用した接着層の温度である。 $T_b, T_g$  は本実験のマイクロ波出力範囲内では, とともに照射時間 ( $\theta$ ) との間に次の関係式が成立する。これは既報<sup>1)</sup> の合板の場合と一致する。

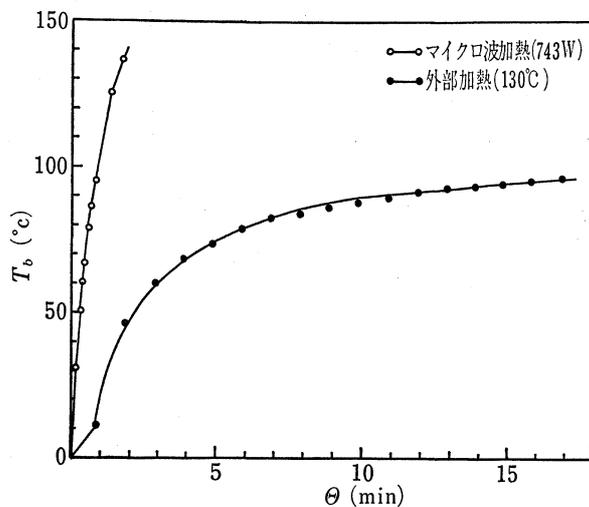


Fig. 5 マイクロ波加熱と外部加熱によるラミン木質部温度 ( $T_b$ ) 上昇の差異

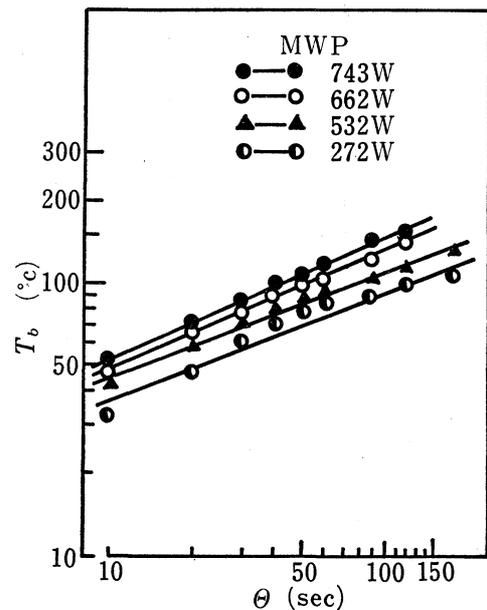


Fig. 6 マイクロ波出力別の照射時間 ( $\theta$ ) にともなう試験片木質部温度 ( $T_b$ ) の上昇経過

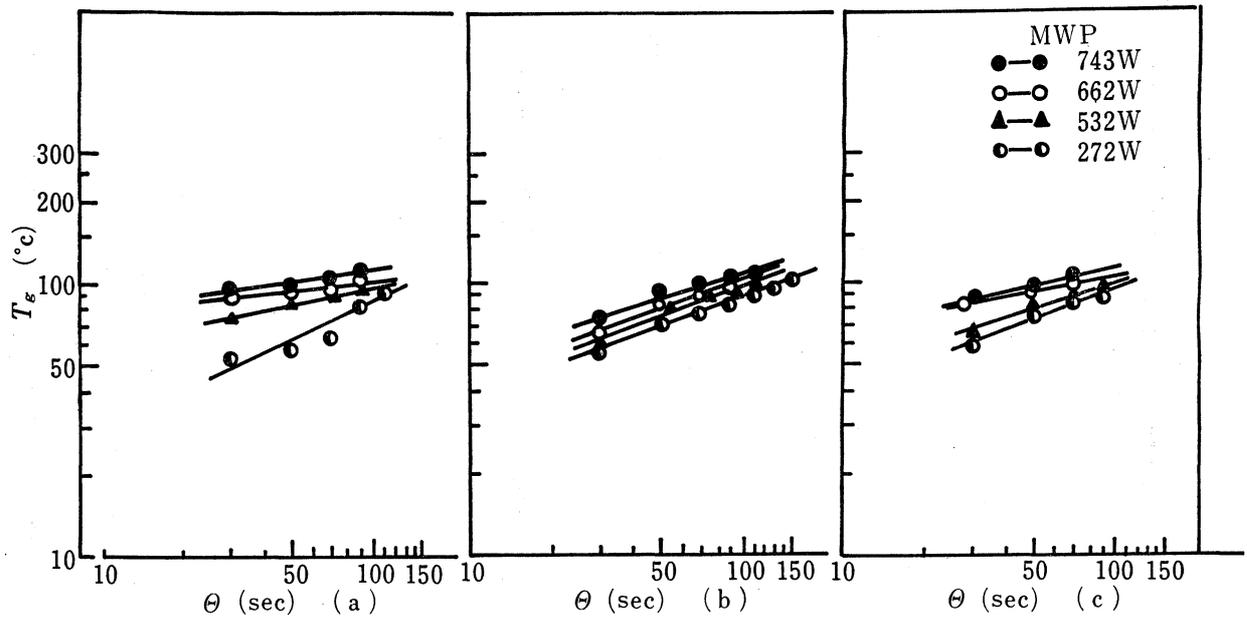


Fig. 7 マイクロ波出力別の照射時間 ( $\theta$ ) ともなう試験片接着層温度 ( $T_g$ ) の上昇経過  
(a…ユリア樹脂接着剤, b…混合接着剤, c…カゼイングルー)

$$T_{b,g} = a\theta^n \quad (a \text{ は 常 数})$$

上式において、マイクロ波出力の高低によって照射初期の上昇到達温度に差がみられるのは当然であるが、照射時間ともなう温度上昇の程度と上昇傾向を示す指数  $n$  は、木質部にあつては出力に関係なく、0.37~0.45である。ところが接着層ではマイクロ波出力によって異り、接着剤の種類

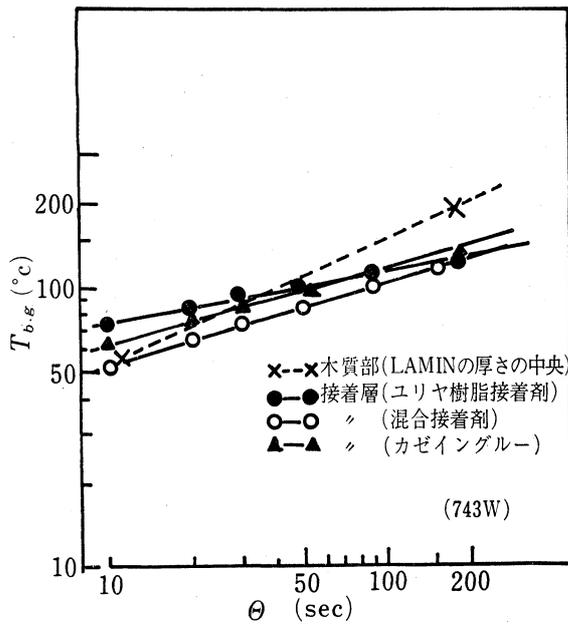


Fig. 8 マイクロ波出力 743W 時の接着剤の種類による接着層温度  $T_g$  と木質部温度  $T_b$  の上昇経過の差異

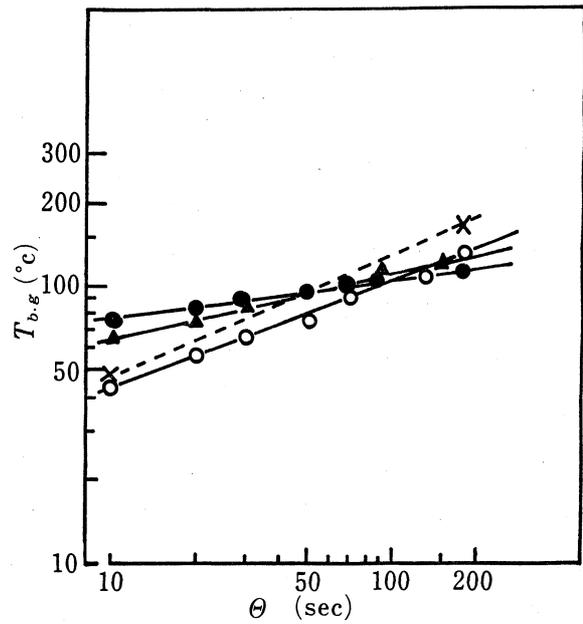


Fig. 9 マイクロ波出力 662W 時の接着剤の種類による  $T_b$  と  $T_g$  の上昇経過の差異  
記号は Fig. 8 と同じ

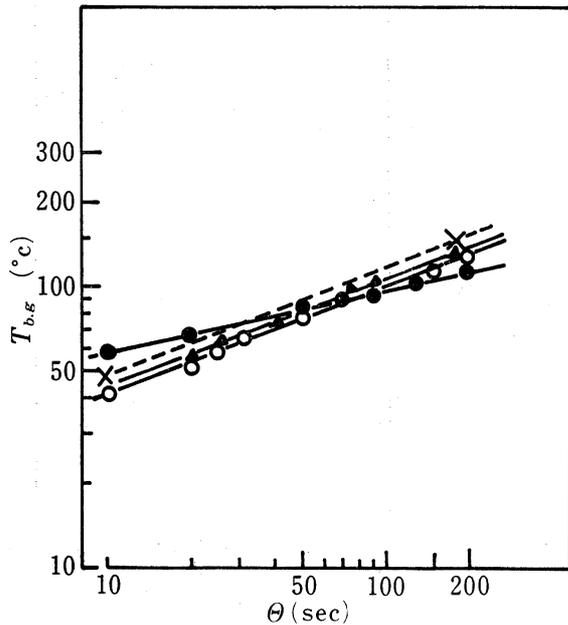


Fig. 10 マイクロ波出力 532W 時の接着剤の種類による  $T_b$  と  $T_g$  の上昇経過の差異  
記号は Fig. 8 と同じ

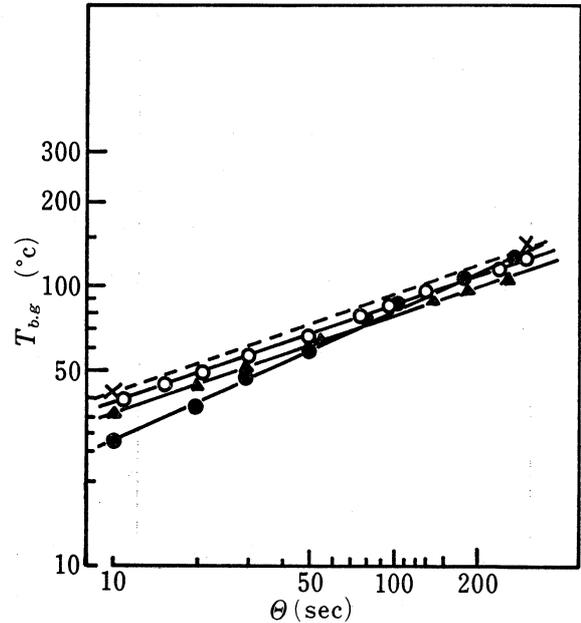


Fig. 11 マイクロ波出力 272W 時の接着剤の種類による  $T_b$  と  $T_g$  の上昇経過の差異  
記号は Fig. 8 と同じ

によっても異なる。

すなわち、本実験の装置の性能範囲内での高出力域 (743W) では照射初期 (照射時間30秒) での上昇温度は高いが、その後の温度上昇はゆるやかになり、 $n=0.2\sim 0.3$  である。この傾向は出力 500W 付近まで同じであるが、低出力域 (272W) になると照射初期の上昇温度が著しく低いが、時間の経過にともなって指数  $n$  は 0.37~0.48 を示し、木質部のそれに近い値を示すに到る。この傾向は、ユリア樹脂接着剤、カゼイングルーに顕著である。また、ラミンの木質部温度 ( $T_b$ ) に対する各接着層温度 ( $T_g$ ) の上昇比を出力別、照射時間別に検討すると、高出力域は照射初期に 1.6 と高い上昇比を示すが、時間の経過に従って 0.7~0.8 とおちてきている。ところが、低出力域では、照射初期から後期まで上昇比は 0.9 前後と変化していない。

次に、マイクロ波出力が、272W, 532W, 662W, 743W の場合の接着剤の種類別に、出力と照射時間と接着層温度  $T_g$  を前項の実験式より求めた結果を Fig. 8~11 に示す。同図のように、温度の上昇経過は、出力や接着剤によって異なるが、照射時間の経過と共に、各接着剤間の温度差が減少している。

### 3.2 接着強度

従来の接着法で各接着剤の接着性を測定したが、その中から、Fig. 12 にユリア樹脂接着剤の加熱時間と塗布量の 2 つの因子が接着に及ぼす効果を示す。塗布量間には有意差は認められないが、加熱時間の長短はユリア樹脂接着剤の接着に影響を与え、硬化適温 110°C に達してから 3 分間程度の加熱時間で十分な接着力が期待できる。

次に、3 種類の接着剤のマイクロ波出力 (MWP) と、照射時間 ( $\theta$ ) と接着強度 ( $P_m$ ) の関係を

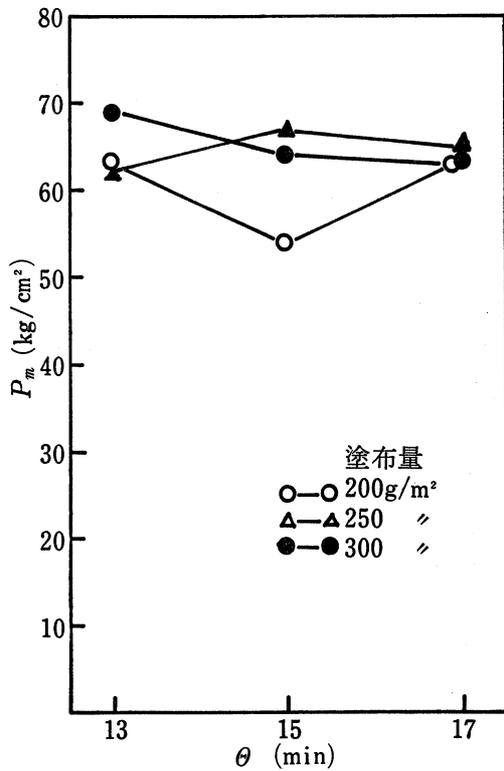


Fig. 12 外部加熱法による加熱時間 ( $\theta$ ) と塗布量の関係 (ユリア樹脂接着剤使用)

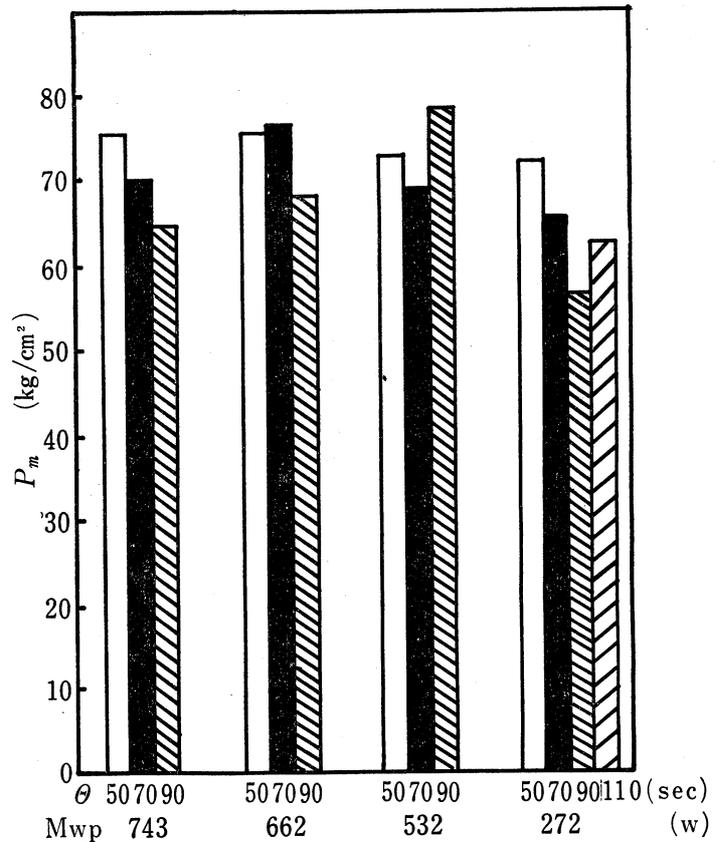


Fig. 13 (ユリア樹脂接着剤) マイクロ波出力 (MWP), 照射時間 ( $\theta$ ) 別の接着強度 ( $P_m$ )

Fig. 13~15 に示す。

### 3.2.1 ユリア樹脂接着剤

本接着剤は Fig. 13 のように、高出力域では短時間の照射で高い接着強度が得られ、照射が長くなると低下現象を呈している。すなわち、出力 743 W 時では 50 秒間の照射で十分な接着強度が得られる。その時の接着層温度は Fig. 7 (a) を照合すると 90°C 前後である。662W, 552W の各出力域においても接着層温度が 90°C 付近になる照射時間で接着力が増加している。

マイクロ波加熱による接着は、加熱温度が重要なファクターとして作用し、そして、その接着性は外部加熱法でえた値の 69kg/cm<sup>2</sup> を上まわる結果を示した。ただ、低出力域の 272W で、ゆっくり温度上昇を図り 90°C にもっていったにも抱らず接着強度が落ちているのは既報<sup>1)</sup>、あるいは後報 (II) の結果から検討して接着ミスかと考えられる。

### 3.2.2 混合接着剤

ユリア樹脂接着剤 100 部と酢酸ビニル樹脂エマルジョン 30 部の混合接着剤では Fig. 14 のように、高出力域で十分な接着強度が得られており、高出力域での高温接着が可能である。本接着剤でも照射時間と接着層温度が関連していて 100~110°C 間で良好な接着を示している。このことは察する

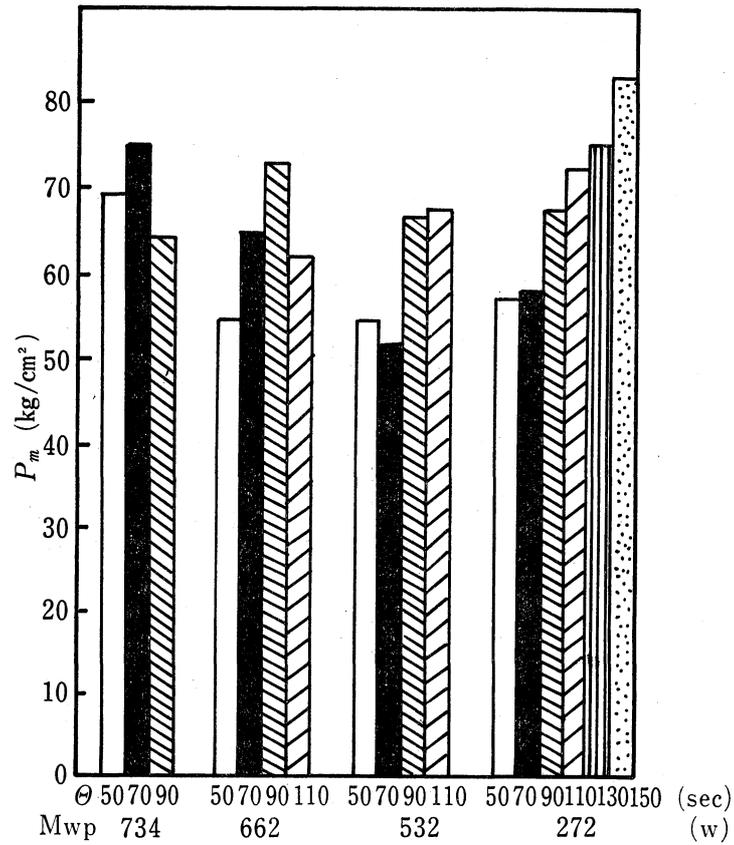


Fig. 14 (混合接着剤) マイクロ波出力 (MWP), 照射時間 ( $\theta$ ) 別の接着強度 ( $P_m$ )

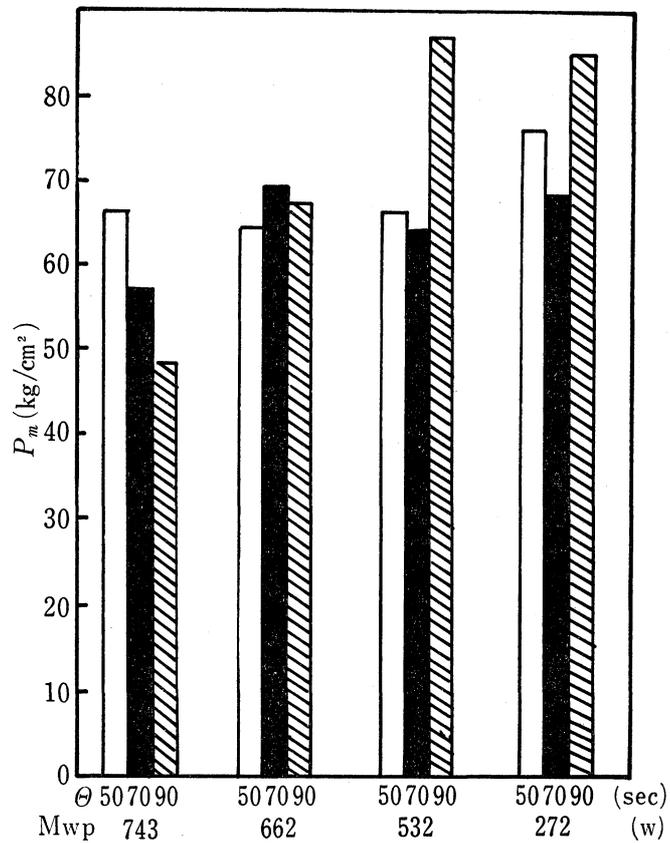


Fig. 15 (カゼイングルー) マイクロ出力 (MWP), 照射時間 ( $\theta$ ) 別の接着強度 ( $P_m$ )

に、熱硬化性樹脂を急速加熱したときに発生する泡立現象を熱可塑性の樹脂が抑制するためである。また反面、低出力域で照射時間を長くかけて、ゆっくり昇温させ前記温度で接着剤を硬化させてやると接着性が向上する傾向もみられた。

### 3.2.3 カゼイングルー

Fig. 15 に示すように、カゼイングルーは高出力域での接着強度は従来の接着法でえた値  $73\text{kg}/\text{cm}^2$  よりも全般に低い値であった、が、低い出力域になるとマイクロ波加熱による接着強度が増加する傾向がみられ、90秒の照射時間で接着層温度範囲が  $90\sim 100^\circ\text{C}$  のところで接着効果があらわれている。この温度範囲を越えると接着力は低下する。

## 4. 結 語

木材の接着を、短時間に完了させる目的から南洋材のラミンと各種の接着剤を供試して、マイクロ波加熱接着を試みた。接着剤の成分、種類に適應したマイクロ波出力、照射時間等についての適正条件を見い出せば、従来の接着法と差異のない接着効果は期待できる。そのためには、被接着材料、接着剤のもつ各因子とマイクロ波加熱との関係を、なお、詳細に実験して明らかにする必要があるが、一応、今回の実験からえられた結果を総括すると次の通りである。

(1) マイクロ波加熱による木材、接着層温度  $T_{b,g}$  は、本実験の出力範囲内では照射時間 ( $\theta$ ) との間で、 $T_{b,g} = a\theta^n$  なる上昇性を示す。

(2) 各接着剤の接着効果は温度と密接な関係があり、適正温度を得る出力と照射時間が重要な要因となる。

(3) 接着の完了は瞬間的になされるものでなく、本実験のマイクロ波出力と被着材料の体積の範囲内にあっては50~90秒の照射時間が必要とされる。

## 引 用 文 献

- 1) 松田健一, 森 稔: マイクロ波加熱によるコーナージョイント, 木材工業 VOL. 30-3, p. 10-14 (1975).
- 2) E. C. OKRESS: Microwave Power Engineering. II ACADEMIC PRESS (New York & London) (1968).
- 3) 荒木邦夫, 三上正樹, 本田重司, 高野好司: 木材ブロックのマイクロ波乾燥, 木材工業, 27, p. 19-21 (1972).
- 4) H. RESCH, C. A. LOFDAHL, F. J. SMITH, C. FRB: Moisture Leveling in Veneer by Microwave and Hot Air, F. P. J 21 (1970).
- 5) W. R. MCALISTER, H. RESCH: Drying 1 inch Ponderosa Pine Lumber With a Combination of Microwave Power and Hot Air, F. P. J 21 (1971).
- 6) 川瀬 薫, 早川 浄: マイクロ波を利用した木材-樹脂複合材の製造(第1報), 木材工業, 29, (1974).
- 7) 山本 孝: 高周波による木材加工に関する研究, 東京大学農学部演習林報告, 第41号 (1951).
- 8) T. I. MYNOTT: Adhesives for Radiofrequency Heating, J. Imst. Wood. Sci., 6, (1973).

