

パーティクル・マットの熱圧による層状化

中戸 莞二・佐道 健・木村 均
服部 順昭・太田 明・高野 啓士

On the Stratification of Particle Mat by Hot-Pressing.

Kanji NAKATO, Takeshi SADOH, Hitoshi KIMURA,
Nobuaki HATTORI, Akira OHTA, and Keiji TAKANO

目 次

要 旨.....	252	2.2.1 内部応力測定法	
1 パーティクル・マットの 熱圧と層状化.....	253	2.2.2 内部温度測定法	
1.1 熱 圧		2.2.3 スプリング・バック測定法	
1.1.1 圧力経過		2.3 パーティクル・ボードの 材質試験法	
1.1.2 温度経過		2.3.1 試験片の裁断	
1.2 熱圧による層状化		2.3.2 比重分布決定法	
1.2.1 層状化とパーティクルの 含有水分		2.3.3 曲げ試験法	
1.2.2 層状化と熱圧条件		3 実験結果および考察.....	262
2 実験方法.....	259	3.1 パーティクル・マットの内部応力	
2.1 パーティクル・ボードの製造法		3.2 パーティクル・マットの内部温度	
2.1.1 パーティクルとその調湿		3.3 スプリング・バック	
2.1.2 結合剤		3.4 ボードの厚さ方向における 比重の分布	
2.1.3 結合剤の塗布		3.5 ボードの曲げ強さおよびヤング係数	
2.1.4 熱圧条件		3.6 パーティクル・マットの層状化	
2.2 パーティクル・マットの熱圧 過程における測定とその方法		引用文献.....	268
		Résumé	269

要 約

熱圧過程におけるパーティクル・マットの層状化の機構を明らかにするため、単一な含水率（15%）のマット（SP マット）および表層の含水率を高くした3層マット（WSP マット）について、初期の圧縮速度をかえて、(1)熱圧過程での内部応力および内部温度の変化、(2)除圧後のスプリング・バック、(3)得られたパーティクル・ボードの比重分布、曲げ強さおよびヤング係数を測定した。

得られた結果を要約すれば、次の通りである。

1) 圧縮速度が大きいほど最大圧縮圧が大きく、応力緩和が著しい。したがって残留応力が小さい。また、表層含水率が高いほど、初期の緩和ははやいが、その後の緩和速度は低下する。

2) 熱圧中の温度経過は、表層では急速に熱盤温度に達するが、中心層では初期加熱期間後、約 100°C の蒸発熱吸収期間がみられた。中心層が 100°C に達するまでの期間は、圧縮速度および表層含水率の増大にしたがって短くなる。しかし、圧縮速度が大きい場合には、最大圧縮に達したとき、まだ中心部の温度は全く上昇していない。

3) スプリング・バック量は残留応力が大きいほど大きい。

4) 単一パーティクル・マットにおいても層状化が認められ、中間層で比重の最大値があらわれる。この最大比重のあらわれる位置は圧縮速度および表層含水率の増大とともに表層に近づく。

5) 層状化の結果、パーティクル・ボードの曲げ強さおよびヤング係数は、圧縮速度の増大とともに増大するが、曲げ強さは一定値に達する。繊維飽和点をこえない範囲で、表層含水率の増大とともに曲げ強さおよびヤング係数は増大する。

以上の結果をもとにして、熱圧時における内部応力の発生および緩和の速度、マット内の温度分布の変化から推定した水分移動とそれに伴うパーティクルの可塑性の相互関係について考察し、最大圧縮到達時点の前後において、表層附近のパーティクルの熱、水分および乾燥過程において促進される可塑性が、中心層のそれに比較して著しいことが層状化の原因であることを明らかにした。

パーティクル・ボードの層状構造に関する研究は、Fahrni (1956) による 3 層ボードの基礎的検討以来、著しく進展し、すでにその工業化も達成されている。さらに近年、微細なパルプ状繊維からなる表層をもつ優れたボードが生産され、また、厚さが 1.5~3 mm 程度の薄いボードの連続方式による生産も、わが国で開始されようとしている。

一方、パーティクル・マットの熱圧は木材小片と多くの要因、水・熱・力・合成樹脂（結合剤）・時間などとの関連においてなされ、とくにその層状化には熱圧関連要因の相互作用が重要である。そこでわれわれは、このような観点から単一のパーティクル・マットの層状化について若干の検討を行なったが、実験法上の困難さから熱圧過程における水の挙動については直接解明されなかった。しかし、既往の成果や本報の結果に基づき、層状化の機構についてある程度の考察を加えることができたので、ここに報告する。

本研究にあたり、供試パーティックのご提供をいただいた日本ノボパン工業 K. K.、試片の作製などにご協力をいただいた宮崎木材工業 K. K. に対し、深く感謝する次第であります。

1 パーティクル・マットの熱圧と層状化

1.1 熱圧

パーティクル・ボードの製造工程において、不規則な形状と大きさのパーティクル相互を、少量の結合剤で強固に結合させるには、熱圧によって、(1)圧縮してマットを緻密化し、(2)マット中心層を結合剤の硬化温度以上に加熱する必要がある。このようにパーティクルの強固な結合の前提条件であるマットの緻密化は、熱圧時間によって変化し、マットの厚さ方向の位置によって異なるパーティクルの温度および含水率に関係するところの、熱圧中のパーティクルの可塑性に対応する。したがって、熱圧はパーティクルの可塑性に関係してボードの比重および材質を決定することとなるが、それだけでなく、ボードの仕上り含水率、残留応力、厚さの安定性、さらには圧縮時間の短縮による生産性の向上にも関係するものである。

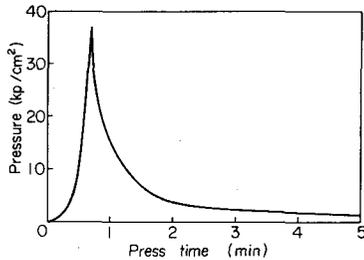


Fig. 1. A typical pressing curve —(Liiri¹⁾)—

ち、圧縮速度が一定の場合、上部熱盤がフォーミングされたマットに接触したのち、圧力は最初徐々に増大し、ついで急速に増大して、最大圧縮圧に達する直前では縦軸にほぼ平行に急速な増大を示す。また、最大圧縮圧は熱盤が閉鎖した時点（クロッシング・タイム）における圧力に相当する。熱盤が閉鎖すると急速な圧力の低下があらわれ、その曲線には、最大圧縮圧のほぼ3/4と1/5ないし1/8の2点に屈曲点が認められる。第1の屈曲点までの曲線は閉鎖したボード厚さを保持するに要する圧力を示し、この圧力はパーティクルの縮小によって急速に低下する。第2の屈曲点は結合剤の硬化がほぼ完了したことを暗示し、その後の圧力の低下は主としてボードの弾性に関連するものとしている。また、このような圧力経過はクロッシング・タイムが一定のとき、期待するボード比重が大きいほど圧縮速度および最大圧縮圧が大きく、圧縮圧の降下がおそくなり、したがって圧縮の仕事量も大きくなる。これに反してボード比重が一定の場合、クロッシング・タイムが短い（圧縮速度が大きい）ほど、最大圧縮圧は増大するが圧縮の仕事量は小さくなる。

パーティクル・マットにおける圧縮圧（圧縮応力）の発生は、今田ら（1961）²⁾が指摘するように、パーティクル相互間の空隙を埋めるための、圧縮によるパーティクルの横方向への移動とわん曲したものの展開、したがってパーティクル相互間の摩擦にも関係するが、本質的には個々のパーティクルの弾性および塑性変形にもとづくものである。これについて Suchsland（1967）³⁾は圧縮のさいのパーティクルの横方向への移動を無視し、次のように説明している。すなわち、理想的な（横方向の移動も展開も終った）パーティクル・マットの横断面を、異なった長さ（パーティクルの横断面から縦断面にわたる種々の断面があらわれる）の煉瓦を積み重ねた一つの壁面としている。したがって、マット中のパーティクルは、(1)マット表面に平行な層を形成し、(2)断面が方形であり、(3)相互間には異なった幅の空隙をもつものと考えている。このモデルの場合、マットの幅方向で細分された各部分で占めるパーティクルの厚さの合計(T)は2項分布を示し、Tがボード厚さよりも大きい部分では、圧縮によってまず空隙を失ない、ついでボード厚さに達するまでパーティクルが圧縮される。反対にTがボード厚さよりも小さい部分では、圧縮後も空隙を残す。したがって、パーティクル・ボードは本質的に著しい比重分布をもつものであり、十分な結合強さをうるためには、圧縮によってすくなくともパーティクル比重以上のボード比重にしなければならない。圧縮によるパーティクルの変形については多くの関連する報告があるが、ここでは American beech についての、木材の横圧縮比例限応力を温度および含水率の関数として示した

このような意義をもつパーティクル・マットの熱圧の過程は、マットにかかる圧力（圧縮圧）、マット各層のパーティクルの温度および含水率、熱盤間隔などの時間的な経過として示される。

1.1.1 圧力経過

結合剤添加量および熱圧開始時の含水率を異にした表層および芯層パーティクルからなるマットについて、Liiri（1969）¹⁾は典型的な圧力経過を图示（Fig. 1）し、次のように説明している。すなわ

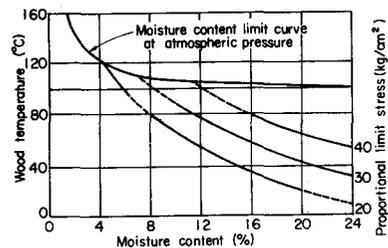


Fig. 2. Temperature and moisture content conditions —for plastic deformation of American beech (Keylwerth³⁾)—

Keylwerth³⁾の結果を図示する。Fig. 2 に示すように、木材の横圧縮比例限応力は温度および含水率の増大で著しく低下する。すなわち、塑性流動が顕著になる。

1.1.2 温度経過

つぎに、熱圧中におけるマットの温度については多くの成果がみられる^{3~8)}。パーティクル・マットにおける熱圧中の温度傾斜は、熱盤の接触とほとんど同時にマット表面と芯層の間に生じ、さらに中心面の中央と端部の間にできる。マットにおける熱の伝達は、パーティクル自体の伝導性が圧縮によって若干増大しても、なお低いもので、主として水蒸気が媒体となる対流によってなされる。したがって、伝達熱量は直接マットの温度傾斜によってきまるが、伝達速度は熱の媒体となる含有水分の量および分布に左右される。しかもこの場合、マット中の蒸気圧傾斜と温度傾斜の間には顕著な相互作用がみられる。すなわち、高温度の表層では水分が蒸気となり、芯層に向っての蒸気圧傾斜を生じるが、その大きさは温度傾斜に関連する。表層で生じた水蒸気は蒸気圧傾斜によって拡散移動し、低温部である芯層で凝縮する。表層が乾くとその蒸気圧は次第に減少し、これに反して水分の蓄積される芯層では増大し、ついに蒸気圧傾斜が逆転する。しかし、温度傾斜によって水蒸気は表層に向って逆流できず、最小の抵抗を示す中心面上での端部に向って流動し、そこでの凝縮や自由端からの放出がなされる。以上のようにマットの含有水分は蒸発、拡散、凝縮をくり返して、表層から芯層、中心面の中央から端部へと移動して、伝熱の媒体となり、次第に温度傾斜を小さくする。

単一なパーティクル・マットの各層の温度経過については、Strickler (1959)⁵⁾の報告がある。Douglas fir のフレーク・パーティクル、尿素樹脂接着剤、ボード厚さ 18.8 mm について、パーティクル含水率を表層30%、芯層6%としたとき、マット各層の熱圧中における温度経過は次のとおりである。すなわち、(1)熱盤とマットの接触で、マットの表面温度はきわめて急速に上昇し、熱盤温度に達する。この昇温速度は含水率や圧縮圧にほとんど無関係である、(2)中心温度は熱圧開始後ある時点から急速に上昇して最高値に達したのち、一たんやや低下し、ある期間一定温度を保つが、のち徐々に上昇して熱盤温度に到達する、(3)厚さの1/4の層では、中心層と同様の経過をたどるが、中心層よりも早い時点から上昇し、初期の最高値およびその後の昇温速度も大きい。マット中心温度の経過については、Strickler のほかにも多くの報告がある。例えば、北原 (1957)³⁾は3層用パーティクル・マットについて、次の結果を示している。すなわち、(1)含水率がほぼ気乾状態 (16, 17%) の場合、ボード比重が中庸 (0.54, 0.65) のとき、急速に昇温してほぼ 100°C の一定値を保ち、のち徐々に昇温するのに対して、高比重 (0.87) のときは一たん最高温度を示して降下するが、110°C 程度で一定値となり、のち再び上昇する、(2)含水率がほぼ繊維飽和点 (29, 34%) の場合、ボード比重の高低 (0.32, 0.84) に拘らず、(1)の高比重ボードと同様の経過曲線を示すが、保持される一定温度はほぼ 100°C である、(3)ボード厚さが小さい (10 mm) とき、水分および熱の移動距離が小さいため、温度の上昇速度が大きく、100°C の一定温度を示す期間が短いが、水分移動の困難な高比重 (0.76) ボードでは一たん最高温度を示す、(4)接着剤の存在で、マットの横方向における水の移動がさまたげられるため、高比重 (0.75, 0.80) のボードでは初期の 100°C 以上の昇温が顕著になる。また、Buschbeck ら (1960)⁷⁾はクレゾール・ホルマリン結合剤を塗布した3層用パーティクル・マットについて、いずれも初期のピーク温度を示さないが、(1)結合剤塗布後の含水率が高いほど、初期の昇温速度が大きく、一定温度を示す期間が長く、低含水率 (4%) のマットではほとんど一定温度を示さない、(2)熱盤温度が高いほど、初期の昇温速度が大きく、一定温度の期間も短い。

一方満久ら (1959)⁶⁾は通気性を異にする2種の単一マットおよびこれらを組合せた3層マットについて、主として中心層の温度および含水率の経過を詳細に比較検討している。その結果、

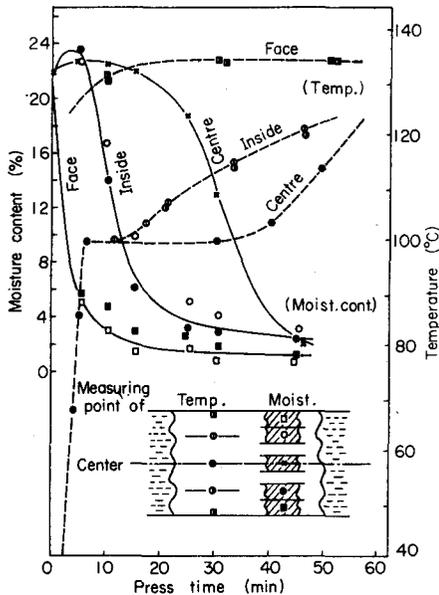


Fig. 3. Moisture and temperature behavior in board —density 0.65, initial moisture content 22%, board thickness 20 mm, (Maku et al.⁶⁾—

水率、最高圧縮圧およびボード比重などが大きい場合には伝導を伴うこともある。また、到達する最高温度は、ほぼ気乾状態以下で通気性の高いマットでは約 100°C、多湿で通気性の低いマットでは過熱水蒸気となり 100°C 以上の高温である。パーティクル・マットに比べて、はるかに多湿でかつ通気性の低いパルプ・シート（ファイバー・ボード用）の場合、最高温度が後者に属することは又木ら（1965）⁹⁾によって指摘されている。

(2) 蒸発熱吸収期間：この期間は熱盤から中心層へ伝達された熱量が、中心層に蓄積凝縮した水分の蒸発、中心層の端部への拡散、外気中への放出に消費され、その結果初期に到達した中心層の最高温度がそのまま、または低下して約 100°C の一定温度を保持する。この期間に中心層の含水率およびマットの圧縮圧は急速に低下する。また、マットの初期含水率が高いほど、熱盤温度が低いほどこの期間が長い。

(3) 終期加熱期間：中心層において水分の移動に要する熱量よりも、熱盤から中心層へ伝達される熱量が大きくなり、中心層の温度が次第に上昇し熱盤温度に近づく期間である。この期間に圧縮圧の低下速度は次第に小さくなって零に近づき、結合剤の硬化およびマットの乾燥が終了し、ボードとなる。

1.2 熱圧による層状化

パーティクル・ボードの機械的性質に関係するボード側の要因は、パーティクルの樹種・比重・大きさ・形状・配列、結合剤の種類・含有率・分布・ワックス添加量およびボード比重などである。これらの中で最も重要な因子はボード比重であり、これと例えばボード曲げ強さとの高い相関は以前から認められている^{10,11)}。さらにボードの厚さ方向の比重分布は、材質に顕著な影響を与える。すなわち、表層比重を大にすることは、ボードの曲げ強さを向上させるほか、表面の硬さ・摩耗抵抗・加工性（塗装・接着・オーバーレイなど）をたかめる。しかし反面、芯層比重の

(1)熱圧中のマット厚さ方向の水分および温度分布は、中心面に関して対称である、(2)通気性の高い単一マットでは急速に昇温して約 100°C の一定温度を保ち、含水率約 10% で次第に昇温して熱盤温度となる (Fig. 3)。したがって初期含水率が高いマットほど、一定温度の期間が長い、(3)通気性の低い単一マットでは、一たん最高温度を示したのち 100°C 付近まで低下し、(2)と同様に含水率約 10% で再度昇温する、(4)通気性の高いマットを芯層にし、構成比が 1 : 6 : 1、あるいはそれ以上に表層のうすい 3 層マットでは、通気性の高い単一マットと同様の温度経過を示す。

以上の結果から、パーティクル・マット中心層の温度経過は、次の 3 期間に区分できる。すなわち

(1) 初期加熱期間：中心層温度が急速に上昇する期間で、熱盤とマット表面の接触にはじまり、圧縮圧の急速な増大とともに温度も上昇して初期の最高温度に到達する。この期間におけるマット内の熱の伝達は、主として加熱気化された表層水分の芯層への移動によってなされるが、マット含

著しい低下を伴うとき、ボードのせん断強さおよび側面の木ねじ保持力を低下させ、厚さの膨潤性を大にする。

パーティクル・ボードの層状構造には、ボード中心面から表面にむかっでの比重の増大が漸進的な多層構造と、芯層に比べて明らかに大きい比重の表層をもつ3層構造などがある。このような層状構造の形成には、(1)表層または表面に近いほど、大きさ・形状・比重などにおいて変形しやすいパーティクルを、芯層または中心面に近いほど変形しがたいパーティクルを用いる、(2)単一のパーティクルを用い、熱圧やパーティクル含水率などの製板条件によって層状化をはかる二つの考え方がある。(1)による実際の生産工程では、(2)の製板条件のいくつかがこれに組合されるのが普通である。

3層ボードの基本的な考え方は、すでに1937年 Pfohl¹²⁾ によって打ち立てられ、その後多くの基礎研究が行なわれてきた。とくに、Fahrni (1956)¹²⁾ は表層に切削された薄いパーティクルを、芯層に破碎された厚いパーティクルを用い、さらに表層パーティクルの水分および結合剤の量を芯層のそれよりも多くすることによって、ボードの表面性状その他の材質を向上させることを明らかにした。その後、パーティクル・マットの層状化とパーティクル含有水分および熱圧条件との関係について多くの研究がみられる。^{1,3~8,13~15)}

1.2.1 層状化とパーティクルの含有水分

マットの熱圧過程におけるパーティクル含有水分の主要な機能は、既述したところから理解できるように、(1)熱の媒体、(2)パーティクルの可塑剤にある。芯層よりも表層のパーティクル含水率を高くすることによって、表層から芯層への熱の伝達量が増大し、マット中心部の初期昇温速度が大きいことは、単一マット⁵⁾および3層マット^{6,7,14)}について認められている。また、Strickler⁵⁾ は均等なパーティクル含水率 (12%) のマットに比較して、表層および芯層含水率、15と9、18と9、24と6%において、層状化が進むことを示している (Fig. 4)。図示のように、最大圧縮圧保持期間の短い (2分間) 場合、過大な表層含水率の組合せ (24と6%) の多層構造に近い結果を除いて、芯層よりも高い表層含水率のマットほど顕著な3層構造を示す。また、最大圧縮圧の保持期間の長い (12分間) 場合、いずれも最大比重が中間層にみられるが、均等な含水率のマットよりも層による比重の差が大きい。これらの層状化の向上は、表層水分の可塑剤としての機能によるものであるが、同時に低含水率である芯層パーティクルの圧縮圧に対する大きい抵抗による。この抵抗は、また表層から中心層へ、中心層における端部への水蒸気の通路 (空隙) を保持することとなり、成板後のボード芯層の水分が表層含水率の高いマットほど小さいという結果をもたらす。なお、均等な含水率のマットにおいてもある程度の3層構造を示すのは、後述の熱による可塑性にもとづくものであり、またピーク比重がボード中間層にみられるのは、初期圧縮速度のマット層状化における重要性を示すものであろう。

他方、パーティクル・ボードの成板および層状構造の形成に重要な役割を果すマット中の水も、

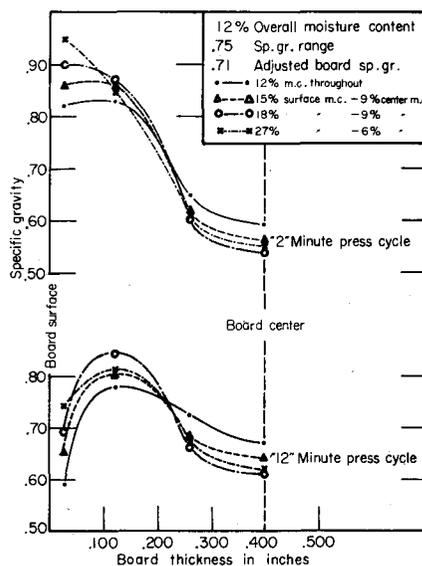


Fig. 4. Adjusted layer density curves from board surface to center line—four moisture content treatments, two press cycles, one specific gravity, (Strickler⁵⁾)—

それが過多であるとき、次のような支障をもたらす。すなわち、

(1) 接着力の低下：結合剤によるパーティクル相互間の接着力の低下は、表層マットにおいて発生した過大な水蒸気による結合剤の芯層への流動、パーティクル中への浸透などによって生ずる塗布結合剤の分布ムラ^{5,7,15)}、結合剤の硬化時におけるパーティクルの過湿などによる。岩下(1964)¹⁵⁾はボードの厚さ方向におけるちっ素の定量によって、表層マットの熱圧時含水率が過大(30, 35%) となき、尿素樹脂の含有量はボード表層で低下、中間層で増大し、中心層で変わらないとしている。

(2) 乾燥が困難なこと：マットの熱圧は、パーティクル相互の密着、結合剤の硬化による固定のほかに、マット中の水分を気化・移動・放出して所定含水率のボードとする目的がある。過大な水分をもつことは、蒸発熱吸収期間が長く、所要熱量が大となるだけでなく、多湿な芯層パーティクルの変形によって中心面における端部への通路を失ない、乾燥を困難にし、ボードの乾燥による収縮を大にする。一方、Deppe ら(1965)¹⁷⁾その他の研究によると、後発ホルマリン量は気化水分量に反比例する。

(3) 応力緩和に長時間を要する：木材の応力緩和は、すでにしられているように、乾燥のさいの水分の移動過程において著しく進行する。したがって、マットが過湿であるときは乾燥速度が小さく、水分移動による応力緩和に長時間を要し、スプリング・バックの原因となる。北原(1957)⁴⁾によると、マット含水率約27%の緩和時間(残留応力 1 kg/cm^2) は約8%のそのほぼ3.3倍である。(2)とともにプレス・サイクルを長くし、生産性を低下させる。

マットの層状化に関する表層および芯層の適度な含水率について、次の結果がある。Eberhard ら(1967)¹⁶⁾は結合剤未塗布の単一マットで14%以上、塗布3層マットで11~13.5% (ほかに表面散水を施す) とし、Strickler (1959)⁵⁾は表層マットの含水率を、最高圧縮圧2分間保持の場合15%、12分間保持の場合18%とし、すくなくとも繊維飽和点以下であることを必要とするとしている。一方、岩下ら(1960)⁸⁾の詳細な検討によると、3層化およびボードの曲げ強さに対する適度含水率は表層で20~25%、芯層で10%程度である。

パーティクル・マットの表層あるいは表面に例えば水をスプレして加湿するとともに、熱盤温度を高くして、表層から芯層への伝熱をさかんにすることによって、圧縮時間の短縮とマットの層状化をはかる方法がある。Suchsland (1967)³⁾によると、最初に Fahrni (1954) によって明らかにされたこの方法は、マット重量の1.5%の水をスプレした場合、圧縮時間は約1/4に短縮されるが、ボード最終含水率は比較的高く、除圧後のスプリング・バックも大きい。彼はこの方法を steam shock 法(表面散水法)と名付けた。一方、Buschbeck らはそれより以前(1960)に、50~200 g/m^2 の水スプレで圧縮時間は短縮されないが、表層が緻密化され、曲げ強さが増大し、剝離抵抗が減少するとしている。また、Stegmann ら(1967)²⁰⁾は 100 g/m^2 の水スプレによって、マット中心層の昇温速度の増大に効果があったが、ヘキサ・メチレン・テトラミンまたは塩化アンモンの10%水溶液を用いた場合、Koseltzew (1965) のような水以上の効果は、いずれの場合も認められなかったとしている。

1.2.2 層状化と熱圧条件

既述したところから明らかなように、パーティクル・マットの熱圧過程で層状化をはかるには、芯層に比較して表層の含水率および温度が高い間、すなわち芯層よりも表層の変形性が大きい間にマットを圧縮しなければならない。このためには、いま目的とするボード比重および熱盤温度が一定の場合、熱盤がマットに接触した後の圧縮速度を大にしなければならない。Liiri¹⁾も指摘しているように、圧縮速度が大きいほど、最高圧縮圧が大きく、応力緩和もはやく、圧縮の仕事量が小さい。しかし、圧縮速度を大にしてマットの層状化をはかるには、(1)パーティクルの

円滑な移動および展開, (2)表層から芯層への熱伝達 (水分傾斜および表層含水率), (3)各層パーティクルの横圧縮可塑域の適度な拡大, (4)使用結合剤の硬化およびパーティクルへの付着などに関して妥当な表層および芯層含水率であり, 熱盤温度であることを要する。

Strickler (1957)⁵⁾ は熱圧時のマット含水率, ボード比重などとの関連において, 最高圧縮圧 (圧縮速度) が大きいほどボードの層状化がなされることを明らかにした。岩下ら (1960)⁸⁾ は含水率が均等なマットにおいても, 圧縮速度を大にすると表層比重が増大し, さらに熱盤温度 $140^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{C}$ の範囲において高温ほど表層比重が増大するとしている。また, Eberhard ら (1967)¹⁶⁾ によると, 3層用マットにおいて 15 kg/cm^2 以上の最高圧縮圧の増大で, ボードの3層化が顕著で曲げ強さのみでなく, 剝離抵抗も向上する。

2 実験方法

2.1 パーティクル・ボードの製造法

2.1.1 パーティクルとその調湿

供試パーティクルは日本ノボパン工業 K.K. のニードル状の芯層用ラワン・パーティクルであり, すでにその製造工程で一たんはほぼ全乾状態まで乾燥されている。まず, これを15メッシュ (約 1.7 mm 篩目) のスクリーンにかけて, 微粉を除いた。このようにして得たパーティクルの形および大きさの均整度は Photo. 1 に示す程度であり, 含水率は約9%である。本研究ではすべてこのパーティクルを供試したが, これを調湿過程で次の2群とした。すなわち, (1)標準パーティクル (以下 SP): 24°C , R.H. 60% の恒温恒湿室で, 底部に金網を張った容器に置いて60~90日間, ときどき攪拌して放置し, 8~8.5%の平衡含水率に調湿したものを, (2)湿潤パーティクル (WP): 平均含水率が既知のパーティクルに所定量の蒸留水を散布, ビニル袋中に密封し, ときどき攪拌しながら前記条件の恒温恒湿室に約90日間放置して, 平均15, 21および31%の3段階の含水率に調湿したものの2群である。

2.1.2 結合剤

供試結合剤は大日本インキ化学工業 K.K. 製の尿素樹脂 Foramine J-452 であり, ゲル化タイム30分, その固形分は ASTM D 1490-64 によって求めた結果, 49%である, また, 硬化剤の組成は, 塩化アンモン25部, 28%のアンモニア水溶液50部, 水125部で, 尿素樹脂100部に硬化剤2部を加えて使用した。

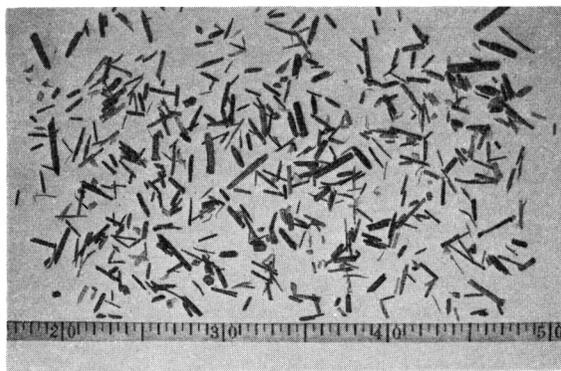


Photo 1. Particles used in this experiment

2.1.3 結合剤の塗布

全ての供試パーティクル・ボードの結合剤添加量は、パーティクルの全乾重量に対して、尿素樹脂固形分で8%とした。パーティクルと結合剤の塗布は次の通りである。すなわち、既述のように調湿したパーティクルを、1枚のボードに要する重量にロス3%を見込んだ重量あてとり、これをバッチ式シリンダ型ブレンダー中で、その手動攪拌棒の回転によって、かきあげて落下させることを繰り返し、同時にこれに結合剤液を空気圧 2 kg/cm^2 の塗装用スプレ・ガンで噴霧塗布した。このさい、所定の結合剤添加量にロス5%を見込んだ尿素樹脂を用い、これに所定量の潜在性硬化剤を加えて使用した。

2.1.4 熱圧条件

本研究で供試したパーティクル・ボードの平均比重は0.60であり、これに圧縮条件を対応させた。

製造したボードは、SPのみを使用したものと、SPマットの上下にWPの層を重ねてボードとしたものに分けられる。以下前者をSPボード、後者をWSPボードとよぶ。SPボードにはさらに、その仕上り厚さが約2cmと3cmの2種類があり、それぞれSP-2ボード、SP-3ボードとよぶ。各種ボードの熱圧条件はTable 1の通りである。

金属コイル上においたアルミ製型枠の中に、結合剤を塗布した所定量のパーティクルを、均一になるように注意しながら散布し、表面を平らにならし、さらに、パーティクル・マットのくずれをさけるために手で軽く圧縮した。なお、ホーミングにさいして、SP-3およびWSPボードの場合、マット中の所定位置(後述)に熱電対をセットした。また、WSPボードにおけるWP(表層)に対するSP(芯層)の全乾重量比はほぼ1:2である。

つぎに型枠を除き、マットの上部に金属コイルをのせ、油圧式手動ホット・プレスにはさんで、所定の初期圧縮速度で圧縮する。下部熱盤にとりつけたダイヤル・ゲージ(精度1/100mm)が、所定のボード厚さに対応する指針を示したのちは、指針をその位置で保持するため、レバーによって圧力を調整し、マットの応力緩和にともなって徐々に減圧し、熱圧をTable 1に示した時間、継続した。

同一条件あたり3枚あてのパーティクル・ボードを無作為な順位で製造した。

2.2 パーティクル・マットの熱圧過程における測定とその方法

熱圧過程におけるパーティクル・マットの内部応力、内部温度の時間的経過、および除圧直後と1日後のボードのスプリング・バックを求めた。

Table 1. Conditions of hot-pressing

Particle board	SP-2 board	SP-3 and WSP board
Dimension of particle board (cm)	45×40×1.9 (thickness)	45×40×3 (thickness)
Temperature of hot plate (°C)	140	150
Closing speed ($\text{kg/cm}^2 \cdot \text{min}$)	3.5, 8.4, 17.7 and 31.9	4, 8, 15 and 30
Pressing time (min)	10, 15 and 25	30, 35, 40 and 50

SP-2 board; 2 cm thick board made of standard particles. (15% m.c. after resin blending)

SP-3 board; 3 cm thick board made of standard particles. (15% m.c. after resin blending)

WSP board; 3 cm thick board made of standard and moist particles.

(22, 27 and 36% m.c. after resin blending)

2.2.1 内部応力測定法

ホーミングされたマットを、熱盤間で所定厚さに圧縮すると、当然マットに内部応力が発生する。一般にパーティクル・マットの熱圧にあたっては、ボード厚さを規制する目的でストップが使用される。このような場合プレスによって加えられた圧力の一部がストップにかかって、マットに生ずる真の応力をしてることができない。そこで、本研究ではストップを使用せず、既述の下部熱盤にとりつけたダイヤル・ゲージによってボード厚さを規制した。

マット内部応力測定法は次の通りである。すなわち、ホット・プレスの油圧計附近にとりつけた圧力変換器（共和電業 K.K. 製，PG-500 KU）の出力を、動的ひずみ測定器（共和電業 K.K. 製，DPM-2E6）を通じて自記電位差記録計に記録させる方法である。なお、一定の初期圧縮速度を得るために、逆に電位差記録計の記録用紙に所定の速度を示す直線を予め記入し、圧縮にあたって記録計の指針がこの直線に沿うように加圧した。

2.2.2 内部温度測定法

この測定は SP-3 および WSP ボードの熱圧過程について、銅-コンスタンタン熱電対によってなされた。

6個の熱電対をホーミングの過程でそれぞれマット中の次の位置にセットした。すなわち、マット表面（45×40 cm）の辺長 45 cm を 2 分する他の 1 辺（40 cm）に平行な線上で 1 端より 10 cm の位置において、マット厚さ方向で上部表面、それから 1.8, 2.5, 5.3, 7.0 および 8.8 cm の計 6 点にセットした。これらの各点について、発生する電位差を、圧縮時間中、6 打点式電位差記録計で記録し、各点における温度経過をした。

なお、マット中の熱電対は熱圧のさいのパーティクルの流動、変形によって、所定位置よりも多少ずれるものとおもわれる。そこで熱電対を含むボード部分を破断して、それらの最終位置を確認した。

2.2.3 スプリング・バック測定法

熱圧過程の最終段階において、なお応力が残留しているマットをホット・プレスからとり出すと、残留応力によって規制厚さよりも厚くなる、いわゆるスプリング・バックを生ずる。また逆に、応力が零になったのち、なお熱圧を継続すると乾燥によって収縮し、できあがったボードは規制厚さよりも薄くなる。したがって、ボードのスプリング・バックの検討は、熱圧過程の除圧時点の適否の判断、あるいはボード厚さ規制のチェックの立場から重要である。

ボードのスプリング・バックは、原料パーティクルと結合剤の粘弾性に由来する瞬間弾性回復成分と遅延弾性回復成分を含む。そこで本研究では、除圧直後と 1 日間恒温恒湿室で調湿した後のスプリング・バックを次のように測定した。すなわち、除圧直前のダイヤル・ゲージの読みと、除圧の直後と 1 日後に再び熱盤を閉鎖してボードに熱盤が接触する時点（電位差記録計の指針が動き始める時点）におけるダイヤル・ゲージの読みとの差から、それぞれのスプリング・バックを求めた。除圧直後のスプリング・バックは瞬間弾性回復成分を、1 日後のそれは瞬間弾性回復成分と調湿下 1 日後の遅延弾性回復成分の和を示す。

2.3 パーティクル・ボードの材質試験法

圧縮圧、熱および含有水分などの熱圧条件によって、(1)パーティクル・ボードに層状構造が形成されたかどうかを、ボードの厚さ方向における比重の分布により、(2)ボード材質がどのように改善されたかを、層状構造の形成と関連性の高い曲げ強さおよびヤング係数により検討した。

2.3.1 試験片の裁断

同一製造条件で得られた各 3 枚あてのボードから、比重分布決定用の R 試験片と曲げ試験用の

B試験片を、いずれの場合もボード周辺部をさけて次のように裁断した。すなわち、SP-2 ボードからは $4 \times 35 \text{ cm}$ (R試験片) と $5 \times 35 \text{ cm}$ (B試験片) を、ボード1枚あたり各3枚あて、SP-3 および WSP ボードからは熱電対の埋設部附近をさけて、 $3 \times 41 \text{ cm}$ (R試験片) と $5 \times 41 \text{ cm}$ (B試験片) を、ボード1枚あたり各2枚あて、いずれも試験片の種類および表裏の配列順を無作為にして裁断した。ここに試験片の表面とは、R試験片では比重測定のために順次削り取る側の面を、B試験片では負荷面をいう。

裁断された試験片は試験直前まで恒温恒湿室に保存した。

2.3.2 比重分布決定法

ボード厚さ方向における比重の分布は、試験片を表面から順次プレーナで切削し、その前後の厚さおよび重量から切削された部分の比重を求める方法で決定した。切削された部分の比重 ρ_i は

$$\rho_i = \frac{(W_i - W_{i+1})}{(d_i - d_{i+1})bl} \quad (\text{g/cm}^3)$$

ここに W_i, W_{i+1} : i 回目の切削前および後の重量 (g), d_i, d_{i+1} : i 回目の切削前および後の厚さ (cm), b, l : 試験片の幅および長さ (cm)

1回の切削厚さ ($d_i - d_{i+1}$) は表面から順次、SP-2 ボードでは 0.5 mm 3回、ついで1.5, 2.5および 3.0 mm, SP-3 および WSP ボードでは 0.5 mm 4回, 1.0 mm 4回, 3.0 mm 3回である。

2.3.3 曲げ試験法

曲げ試験片の寸法は、既述のように5 (幅) \times 35 (長さ) \times 2 (厚さ) cm と $5 \times 41 \times 3 \text{ cm}$ の2種類である。厚さに対するスパンの比は、前者で15、後者で12である。

試験には島津万能試験機 RH-10 型を用い、試験体のボード面に垂直に中央集中荷重 (荷重点半径 75 mm) を荷重速度 50~60 kg/min で加え、荷重 5 kg ごとに精度 1/100 mm のダイヤル・ゲージでたわみ量を測定した。曲げ強さ σ_b と曲げヤング係数 E_b を次式で求めた。

$$\sigma_b = \frac{Pl}{4Z} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$E_b = \frac{\Delta Pl^3}{48I\Delta y} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

ここに P : 最大荷重 (kg), l : スパン (cm), Z : 断面係数 (cm^3), ΔP : 比例域の上限荷重と下限荷重の差 (kg), Δy : ΔP に対応するスパン中央のたわみ (cm), I : 断面2次モーメント (cm^4)

なお、試験終了後破壊部分の含水率を、JIS A 5908 によって測定した。

3 実験結果および考察

3.1 パーティクル・マットの内部応力

SP-2 マットについて、圧縮速度をパラメータとして圧縮時間と圧縮圧 (マットの内部応力) の関係を Fig. 5 に示す。初期の直線上昇部分は所定圧縮速度で規制厚さに達するまでの圧縮圧を、曲線降下部分はマットの内部応力の緩和を示している。圧縮速度が大きいほど、(1)最大圧縮圧が大きく、(2)応力緩和が大で残留応力が小さく、(3)圧縮の仕事 (曲線と横軸で囲む面積) も小さい。これと同様の関係は SP-3 マットにおいても認められた。3層マットについて同様の結果を Liiri (1969) が認めている。圧縮速度が大きいほど、パーティクルの加熱による可塑化が熱盤に近い部分に限られ、最大圧縮圧が大きくなるとともに表層の緻密化 (ボードの層状化) が期

待される。また、最大圧縮圧が大きいことによって、熱盤とマット表面における熱の伝達に対する接触抵抗も小さく、加熱水蒸気の芯層に向っての移動、これによる熱の伝達によって、芯層が急速に昇温して応力の緩和が著しく進行するものと理解できる。なお、SP マットの結合剤塗布後の含水率を、Keylwerth²¹⁾の計算法にしたがって求めると平均 $15.0 \pm 0.9\%$ である。

つぎに、WSP マットについて述べる。このマットの表層(WP)と芯層(SP)重量比は1:2、結合剤塗布後の含水率はSPが約15%であるのに対して、WPが22, 27および36%の3段階であり、圧縮速度はすべて $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ である。Fig. 6に示すように、最大圧縮圧は表層含水率の増加で減少する傾向がみられる。これは表層水分が多いほど、(1)水分による表層の可塑化、(2)乾燥過程において促進される可塑化、(3)水蒸気による芯層に向っての熱の伝達がさかんになることによるものと思われる。Fig. 7 応力緩和の状態を熱圧開始時の表層含水率をパラメータとして示した。図から理解できるように、(1) SP マットは WSP マットに比べて全圧縮時間域にわたって応力緩和がおそく、(2)表層含水率が高いマットほど初期の緩和がはやく、その後おそくなる。これは前記の三つの理由によるほか、表層含水率の高いマットにおいて後期の緩和速度が小さくなる理由としては、芯層に集積した過剰な水分の蒸気圧による内部応力の増大が考えられる。

3.2 パーティクル・マットの内部温度

既述のように、マットの厚さ方向の上部表面を含めた6点で求められた測定値を用いて、熱圧の各時点におけるマット横断面の温度分布が中心面に対して対称であると仮定し、ボード厚さ方向における5点(0(表面), 4, 7.5, 11, 15 mm(中心面))の温度を決定した。水分分布の均等なSP-3 マットについて、圧縮速度 $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ のさいの熱圧中の温度経過を、1例としてFig. 8に示した。表面温度はその昇温過程を測定できなかったが、急速に熱盤温度(150°C)に到達する。中心面とこれに近い(中心面から4および7.5 mm)位置では、熱圧開始後ほぼ10分前後までは急速に昇温し

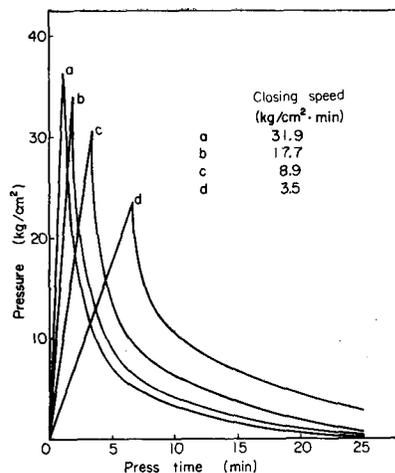


Fig. 5. Pressing curves —moisture content 15%, resin content 8%, board thickness 20 mm, press time 25 min—

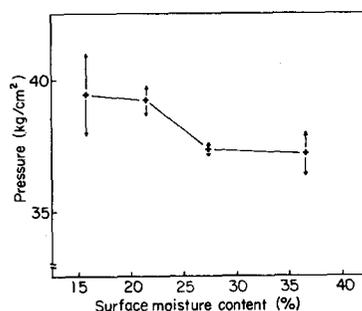


Fig. 6. Relationship between initial pressure and surface moisture content —closing speed $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$, press time 30 min, board thickness 30 mm—

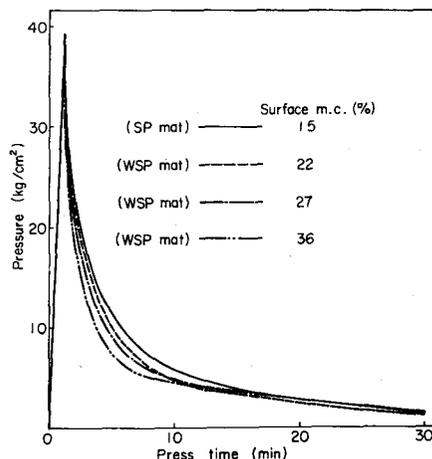


Fig. 7. Stress relaxation curves —closing speed $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$, press time 30 min, board thickness 30 mm—

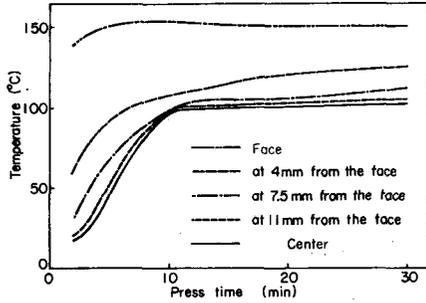


Fig. 8. Temperature curves at fixed points in the mat during hot-pressing — closing speed $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$, press time 30 min, board thickness 30 mm, m.c. 15%—

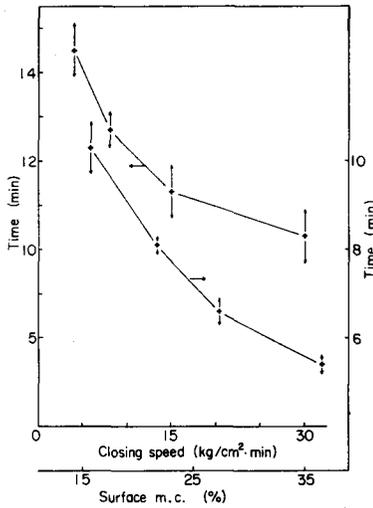


Fig. 9. Relationship between the time when the center of the mat attains 100°C and closing speed and surface m.c. —press time 30 min, board thickness 30 mm, center m.c. 15%—

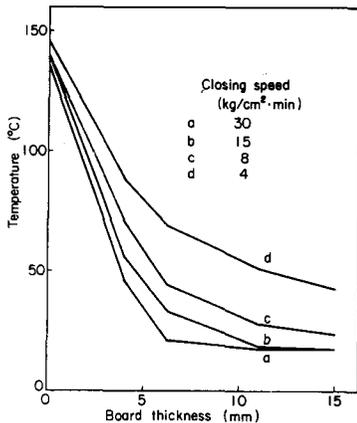


Fig. 10. Temperature distribution when the mat was pressed up the fixed thickness —m.c. 15%, the fixed thickness 30 mm—

て約 100°C に達し、のちこの温度を持続する。これに対して表面から 4 mm の位置では、 100°C 附近で昇温速度は低下するが、一定温度域を示さず、緩やかな昇温を継続する。このような温度経過は既往の研究に一致するが、終期加熱期間を含んでいない。つぎに Fig. 9 に示した中心面が約 100°C に達するまでの時間と圧縮速度 (SP-3 マット) および表層含水率 (WSP マット) との関係は、急速な圧縮やより多い表層含水率がマット中心温度の急速な上昇をもたらすことを示す。これは既述のように、急速な圧縮によって熱盤とマット表面がより密に接し、表層が緻密化してその熱伝達が増大し、一方、芯層での水蒸気通路 (空隙) が確保されて、中心面への水蒸気の拡散移動、それによる伝熱がさかんになることによる。このほか、マットが速かに規正厚さとなるため、伝熱距離がより速かに短縮することも 1 因であろう。また、表層含水率が大きいことは、それによって、熱盤から表層への熱の伝達がさかんで、かつ、より多くの水蒸気が媒体となって中心面への熱伝達がさかんになる。

Fig. 10 は SP-3 マットについて、マットが規正厚さに圧縮された (最大圧縮圧) 時点におけるマット内の温度分布を示したものである。この時点では圧縮速度が大きいほど内部温度が低く、15 および $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合では中心附近の温度はほとんど変化していない。したがって圧縮速度が大きいほど、マットの締めこみの過程で、芯層は加熱による可塑化の程度が小さく、ボード層状化の可能性が高かったことを示す。

3.3 スプリング・バック

除圧直後および 1 日後のスプリング・バックと圧縮条件との関係を、SP-2 ボードについて検討した。その結果、

(1) 圧縮時間が等しいとき、圧縮速度の増大で除圧直後および 1 日後のスプリング・バックは明らかに低下する (Fig. 11)。これは既述のように、圧縮速度が大きいほど、マットの応力緩和が大きいことによるもので、この効果はスプリング・バックの遅延弾性回復成分においても認められる。

(2) 圧縮速度が等しいとき、圧縮時間が長いほ

ど、応力緩和が進行して残留応力（最終圧縮圧）が小さくなり、その結果スプリング・バックが著しく小さくなる (Fig. 12, 13)。

以上の結果、スプリング・バックを小さくしてボード厚さを整えるためには、マットの圧縮速度（最大圧縮圧）を大にし、規制厚さに達したのちの乾燥による収縮を伴わない範囲内で、圧縮時間を長くして、最終圧縮圧を小さくすることが望ましい。

3.4 ボード厚さ方向における比重の分布

パーティクル・ボードの層状構造は、直接ボードの厚さ方向における比重分布によって検討されることが多い。しかし単一⁵⁾なマットの熱圧に関して、この検討がなされた例は少なく、3層マット⁵⁾についてのものが多い。Fig. 4 に示した Strickler⁵⁾の結果と同様に、明瞭な層状化が本報においても認められた。得た結果は、

(1) 圧縮速度の増大で厚さ方向で最大比重のあらわれる位置がボードの表面に近づく。この傾向は SP および WSP ボードの全てにみられた。1例として、SP-2 ボード、圧縮時間25分のものについて、Fig. 14 に示した。圧縮速度の増大で、比重のピークはボード表面により近い位置に明らかに移行する。また、ボード中心部の比重はやや低下し、表面に近い部分では反対に増大して、両者の差が小さくなる傾向がみられる。

(2) WSP ボードについて示した Fig. 15 にみられるように、マット圧縮時の表層含水率の増大で、表層と芯層の比重の差（表層>芯層）は増大するが、表層含水率が36%になると、かえってその差は減少する。また最大比重のあらわれる位置は、表層含水率が大きいほど表面に接近するが、最外層とはならない。

比重のピーク⁵⁾が中間層にあらわれることについて、Strickler⁵⁾は次のように説明している。すなわち、熱圧のさいの表層から芯層に向っての水分移動が、中間層と中心層の温度差によって制約されることによるとしている。本報のように、圧縮速度や表層含水率の増大で比重のピーク位置がボード表面に接近しても、最外層とならないことは次のように説明できる。すなわち、熱盤に接するマ

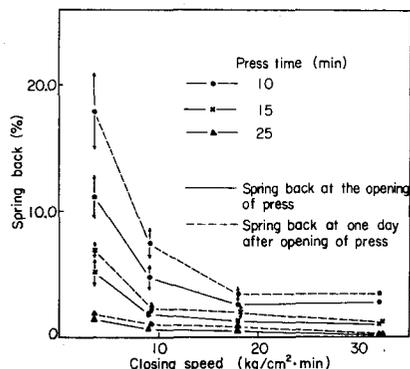


Fig. 11. Comparison between spring back at the opening of press and at one day after opening of press — m. c. 15%, board thickness 20 mm—

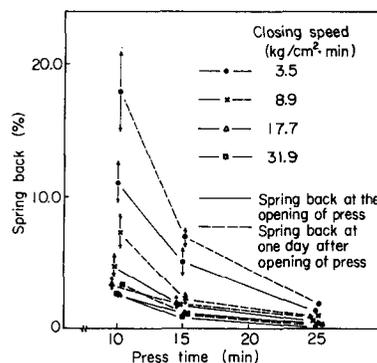


Fig. 12. Relationship between spring back and press time — m. c. 15%, board thickness 20 mm—

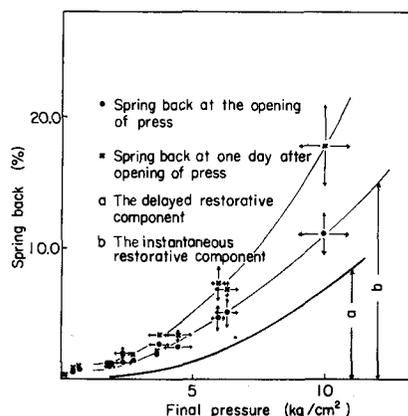


Fig. 13. Relationship between spring back and final pressure — m. c. 15%, board thickness 20 mm—

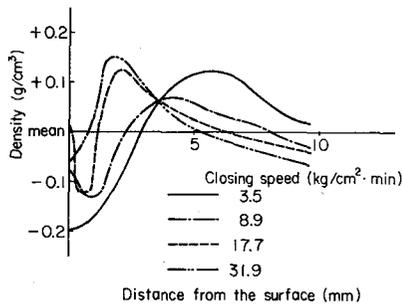


Fig. 14. Density distribution from surface to center —press time 25 min. m, c, 16%, board thickness 20 mm—

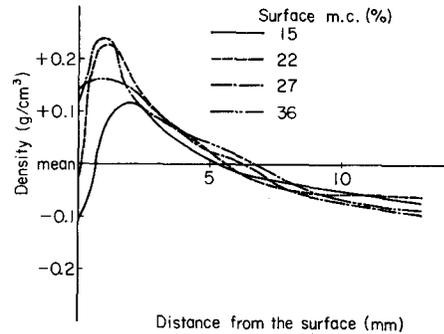


Fig. 15. Density distribution from surface to center —closing speed 30 kg/cm²·min, press time 30 min, center m. c. 15%, board thickness 30 mm—

ット表面のパーティクルは、大きい圧縮圧をうける以前にすでに乾燥し、圧縮されるときには高温度ではあっても低含水率であり、含有水分による可塑化およびその移動（乾燥）のさいにみられる顕著な可塑化が少ないことによる。

3.5 ボードの曲げ強さおよびヤング係数

Keylwerth (1958)²¹⁾ は3層ボードの弾性限度内の曲げについて、理論的考察の結果、ボードの曲げ強さは縁辺応力に、曲げヤング係数は表層のそれによって支配されるとしている。また、Shen ら (1970)²²⁾ はボードの各層の強さ（ねじりせん断）と比重の間に高い一次相関を認め、齊藤ら (1965)²³⁾ は3層および5層ボードの曲げ強さが表面から1 mm 深さの層の比重と構成ファクタ（各層の比重と厚さの分け前できまる）の積に比例するとしている。これらの結果から期待できるように、パーティクル含水率や熱圧条件とボードの曲げ強さおよびヤング係数の高い相関が認められている。圧縮時含水率との関係について、(1) マットの含水率が均一な場合、4~16%の範囲内で、高含水率であるほど層状化が進み、曲げ強さが大きい、(2) 表層含水率が繊維飽和点をこえない範囲内で高いほど、曲げ強さおよびヤング係数が大きい⁵⁾、(3) 表層含水率が高いとともに芯層含水率が適度である（表層25%、芯層10%）とき、曲げ強さおよびヤング係数が最大値を示す⁸⁾などの成果がある。また、熱圧条件との関係について、最大圧縮圧が大きいほど曲げヤング係数は明らかに大きく、熱圧温度（クレゾール・ホルマリン、130°~170°C）が高いほど層状化がすすみ、曲げ強さが向上するとされている。

本実験結果は

(1) 芯層含水率を約15%、表層含水率を変化させた WSP ボードでは、Fig. 16 に示すように、曲げ強さおよびヤング係数は表層含水率の増加で増大するが、表層含水率が繊維飽和点をこえると明らかに減少する。これは過剰な水分の存在で結合剤の接着力および表層の比重が低下したことによると考えられる。

(2) SP-2 ボードについて、Fig. 17 に示すように、圧縮速度の増大で曲げ強さおよびヤング係数が増大し、曲げ強さは一定値に到達する。曲げ強さが一定値を示すのは、曲げ強さと圧縮時間の間にも有意な正相関が認められることによると思われる。

3.6 パーティクル・マットの層状化

以上の結果を総括して、熱圧のさいのパーティクル・マットにおける層状化について考察する。

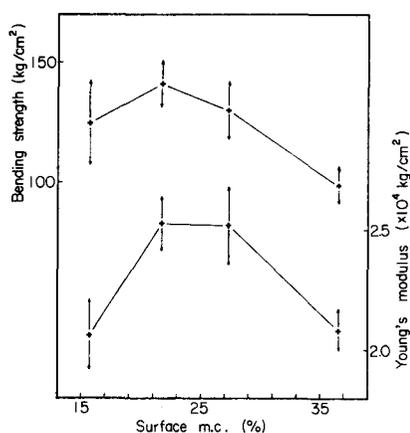


Fig. 16. Effects of surface m.c. on bending strength and Young's modulus —closing speed $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$, press time 30 min, center m.c. 15%, board thickness 30mm—

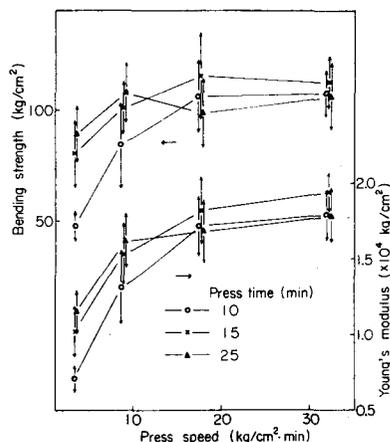


Fig. 17. Effects of closing speed on bending strength and Young's modulus —m.c. 15%, board thickness 20 mm—

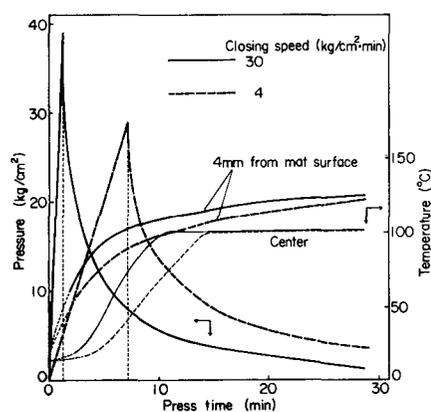


Fig. 18. Changes in pressure and temperature (at center and 4 mm from mat surface) during hot-pressing —closing time 30 min, board m.c. 15%, board thickness 30 mm—

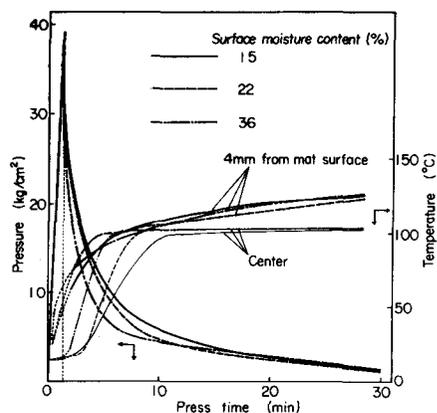


Fig. 19. Changes in pressure and temperature (at center and 4 mm from mat surface) during hot-pressing —closing speed $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$, press time 30 min, board thickness 30 mm—

Fig. 18 は SP-3 マットの圧縮速度 2 条件 (4 および $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$) について、マットの圧縮圧力 (内部応力) と表面から 4 mm と中心層の温度の経過を対比したものである。Fig. 19 は WSP マットの表層含水率 3 段階 (15, 22, 36%) について、同様の対比を示した。

マット含水率が等しいとき、圧縮速度が大きいほど、最大圧縮圧は大きく、応力緩和もはやい (Fig. 5)。また、最大圧縮圧に到達する時間は、例えば Fig. 18 に示すように圧縮速度 4 および $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ (マット含水率約 15%) のとき、それぞれ約 1 分および 7.3 分であり、圧縮速度が大きいほど当然短い。一方、最大圧縮圧に達した時点におけるマットの表層 (表面から 4 mm) と中心層の温度は、圧縮速度 $4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ で 88° と 43°C 、 $30 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ で 46° と 17°C である (Fig. 10 および 18)。さらに、Fig. 10 に示すように、最大圧縮圧に達した時点で、マット厚さ方向において 100°C を示す位置は、圧縮速度が大きいほどマット表面に近い。以上の結

果から、マットの層状化を左右する最大圧縮圧の前後における熱圧過程では、圧縮速度が大きいほど、表層と中心層の温度差が大きく、熱盤からの熱の伝達範囲がせまく、表層でより大きい温度傾斜をもつことがわかる。したがって、Fig. 2 に示す木材の水分および熱による可塑性化、さらにパーティクルの乾燥過程、すなわち細胞膜中での水分移動によって促進される著しい可塑性化が、マットの中心層よりも表層において、また、圧縮速度が大きいほど、表面により近い表層においてあらわれることとなる。その結果、圧縮速度の増大はマットの層状化をもたらし (Fig. 14)、ボードの曲げ強さおよびヤング係数を増大させる (Fig. 17)。

一方、圧縮速度および芯層含水率が一定で (30 kg/cm²·min, 約15%, WSP マット) 表層含水率を変化させた場合、表層が繊維飽和点以下の範囲で高含水率であるほど、ボードの層状構造が発達し (Fig. 15)、曲げ強さおよびヤング係数も大となる (Fig. 16)。これは表層マットが芯層マットよりも高温である (Fig. 19 の推定値) ことに加えて、表層マットの水分および乾燥過程で促進される可塑性化の効果にもとづく。なお、表層含水率約36%の場合、ボードの曲げ強さおよびヤング係数が低下するのは、過大な水蒸気による結合剤の流動、パーティクル内への浸透などによるものであろう。

引用文献

- 1) Liiri, O.: Der Preßdruck bei der Spanplattenherstellung, H.R.W., 27, 371, (1969)
- 2) 今田淳一, 鈴木賢太郎: パーティクル・ボード製造時の圧縮圧に関する研究 (第2報) 圧縮圧生成の原因とその確かめのための一実験, 木材学会誌, 7, 45, (1961)
- 3) Suchsland, O.: Behavior of a particleboard mat during the press cycle, F.P.J., 17, 51, (1967)
- 4) Kitahara, K.: Stress relaxation of chip-board in hot-press, Bull. Tokyo Univ. Forests, No. 53, 161, (1957)
- 5) Strickler, M. D.: Properties of Douglas-fir flakeboard, F.P.J., 9, 203, (1959)
- 6) Maku, T., R. Hamada and H. Sasaki: Studies on the particle board (4) Temperature and moisture in particle board during hotpressing, Wood Res., Bull. of Wood Res. Inst. Kyoto Univ., No. 21, 34, (1959)
- 7) Buschbeck, L. u. E. Kehr: Untersuchungen über die Eignung von Kunstharzbindemitteln verschiedener Rohstoffbasis zur Herstellung von Holzspanplatten, 1. Mitteilung: Kresol-Formaldehyd Preßmassefabrik Erkner, Holztechnologie 1, 29, (1960)
- 8) 岩下 睦, 松田敏蒼, 石原重春: パーティクルボードに関する研究 (Ⅲ), パーティクルボードの熱圧に関する研究 (第1報), 熱圧条件, 主として小片含水率について, 林試報, No. 126, 63, (1960)
- 9) 又木義博, 太田 基: 繊維板の熱圧機構に関する研究 (第1報) Wet pulp sheet の内部温度および水分の推移におよぼす熱板温度の影響, 木材学会誌, 11, 14, (1965)
- 10) Klauditz, W.: Entwicklung, Stand und holzwirtschaftliche Bedeutung der Holzspanplattenherstellung, H.R.W., 13, 405, (1955)
- 11) Turner, N. D.: Effect of particle size and shape on strength and dimensional stability of resin-board wood-particle panels, J.F.P.R.S., 4, 210, (1954)
- 12) Fahrni, F.: Das Verpressen von Spanplatten bei gefeuchteten oder feuchteren Deckspänen, H.R.W., 14, 8, (1956)
- 13) Kollmann, F.: Über den Einfluß von Feuchtigkeitsunterschieden im Spangute von dem Verpressen auf die Eigenschaften von Holzspanplatten, H.R.W., 15, 35, (1957)
- 14) 岩下 睦, 松田敏蒼, 石原重春: ibid (V) パーティクルボードの熱圧に関する研究 (第2報) 熱圧時間に関与する諸条件, 林試報, No. 143, 111, (1962)
- 15) Iwashita, M.: Studies on Particle board (VII), Studies on the pressing (3), Effect of moisture content of wooden surface particle on board properties, Bull. Gove. Forest Exp. Stat., No. 163, 77, (1964)

- 16) Eberhard, K. u. S. Schölzel: Untersuchungen über das Preßdiagramm zur Herstellung von Spanplatten, 2. Mitteilung: Einfluß von Spanfeuchte, Schließgeschwindigkeit und Preßdruck auf die Verdichtungscharakteristik beim Heißpressen von Spanplatten, *Holztechnologie* **8**, 177, (1967)
- 17) Deppe, H. J. u. K. Ernst: Probleme der Preßgeitverkürzung bei der Herstellung von Holzspanplatten, *H.R.W.*, **23**, 441, (1965)
- 18) Plath, L.: Versuche über die Formaldehydabspaltung aus Spanplatten. 2. Mitt. Einfluß von Preßzeiten und Preßtemperatur auf die Formaldehydabspaltung, *H. R.W.*, **25**, 63, (1967)
- 19) Plath, L.: *ibid.* 4. Mitt. Einfluß der Feuchtigkeit im Spanvlies auf die Formaldehydabspaltung, *H.R.W.*, **25**, 231, (1967)
- 20) Stegmann, G. u. C. V. Bismarck: Zur Preßzeitverkürzung bei der Herstellung harnsloffharzebundener Spanplatten, 1. Mitteilung: Einfluß spezieller Preßbedingungen als Voraussetzung für die Anwendung kurzer Preßzeiten, *Holzforschung und Holzverwertung*, **19**, 53, (1967)
- 21) Keywerth, R.: Zur Mechanik der mehrschichtigen Spanplatte, *H.R.W.*, **16**, 419, (1958)
- 22) Shen, K. C. and M. N. Carroll: Measurement of layer-strength distribution in particleboard, *F.P.J.*, **20** (6), 53, (1970)
- 23) 齊藤藤市, 穴沢 忠, 光永隆一, 並沢政幸: パーティクルボードの比重構成とその機械的性質, *北海道林産試験場研究報告*, No. 45, 1, (1965)

Résumé

This work was undertaken to clarify the mechanism of stratification of particle mats during hot-pressing. Particle mats of simple moisture content (SP mat) as well as three-layered mats with moist surface layers (WSP mat) were formed and pressed at various closing speeds. Measurements carried out were: i) changes in the internal stress developed (actual pressure) and the temperature distribution within the mat during hot-pressing, ii) the amount of spring-back at and after opening of the press, and iii) the density distribution, the bending strength and Young's modulus of the particleboard prepared.

The results obtained are summarized as follows:

1) The maximum pressure and the relaxation rate of the stress developed in the mat increased as the closing speed increased. High surface moisture content resulted in rapid stress relaxation followed by slow relaxation.

2) The surface temperature of the mat rapidly reached the platen temperature. Temperature in the center of the mat rose gradually to a constant temperature of about 100°C. The time required for the center temperature to reach about 100°C shortened with increasing the closing speed and the surface moisture content. When the closing speed was high, however, the mat center still remained at the initial temperature at the time when the maximum pressure was attained.

3) The spring-back of the board increased as the final pressure increased.

4) Stratification was recognized on the particleboard prepared in this experiment. The maximum density appeared in an intermediate layer. The position where the maximum density appeared, shifted towards the surface as the closing speed and the surface moisture content increased.

5) High bending strength and Young's modulus of the particleboard were associated with high face densities, i.e. the stratification, caused by the increase in the closing speed. The bending strength and the Young's modulus increased also with the surface moisture content below the fiber saturation point.

The relationships between phenomena observed during hot-pressing, that is the development and relaxation of the internal stress, moisture movement through the mat

estimated from the temperature distribution, and possible plasticization of particles, are discussed and it is concluded that the stratification of the mat is due to the significant densification of the surface layers, compared with the mat center, by thermal- and hygro-plasticization of particles which is brought about by changing moisture content under high pressure during the initial stage of the hot-pressing.