

針葉樹合板の寸法安定性向上の試み

技術部 生産技術グループ 古田 直之

■はじめに

国内の合板用原木は、2000年以前までは、主に東南アジアなどの熱帯地域から産出される南洋材（通称ラワン材）が使われてきました。その後、国産針葉樹への樹種転換が進み、2019年には合板用原木の約9割にスギやトドマツ、カラマツなどの針葉樹材が使われるようになっていました¹⁾。しかし、合板の用途別に見ると、国内で生産される針葉樹合板の大半は住宅の下地材などに使われる構造用合板が占めており、コンクリート型枠用合板やフロア合板などの用途においては、東南アジアを中心とした輸入合板に大きく依存しています。これらの用途において、国産針葉樹への転換を妨げている要因の一つとして、針葉樹合板は南洋材合板に比べて、材質のばらつきが大きく、吸湿や吸水時の反りや狂いなどの寸法変化が大きいことが指摘されています。したがって、針葉樹合板への水分作用時の寸法変化を抑制することができれば、国産合板の用途拡大や自給率の向上が期待できます。

そこで、林産試験場では、できるだけ簡便な方法で針葉樹合板の寸法安定性を向上させるための基礎的な取り組みを行ってまいりましたので、その概要を紹介いたします。

■積層数と合板の反り量

カラマツ合板（9mm）を水中に浸せきさせた後の変形の例を写真1に示します。この例のように、針葉樹合板は、吸水によって大きく反ったり波打ちのような変形を生じることがあります。合板は、単板の繊維方向を互いに直交させて張り合わせ、断面の中心に対して対称な構成となるように製造しています。吸水時に表側と裏側が同じように膨張すれば変形しにくいはずですが、針葉樹材は個体による材質差が大きく、早材部と晩材部の密度も大きく異なるため、場所によって寸法変化の度合いも異なります。このような局所的な材質の違いが吸水時の変形を生じさせるものと考えられます。

そこで、針葉樹合板の材質のばらつきを小さくするための初歩的な検証として、単板を薄くして積層数を増やしていった場合の合板の反り量を調べてみ

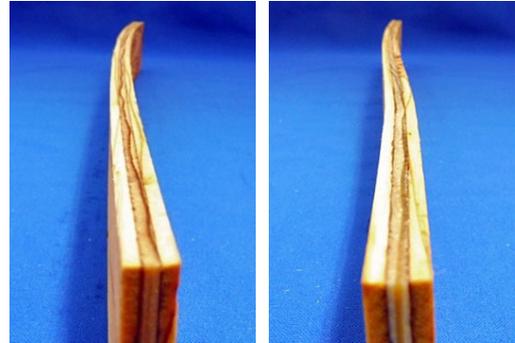


写真1 吸水時に合板が変形した事例

ました²⁾。トドマツとカラマツを用いて、合板厚さを12mmで統一し、積層数が5プライ（単板厚さ2.5mm）から17プライ（単板厚さ0.8mm）までの合板を製造しました。接着剤には、針葉樹合板用として一般的に用いられているフェノール樹脂接着剤を使用しました。そして、合板試験体（幅40×長さ300mm）を常温の水中に72時間浸せきさせた後の反り量を測定しました。測定方法は、水平な台の上に試験体を設置し、合板表面9カ所の高さを測定し、測定点の合板厚さを差し引いて各点の変位量を求め、その最大値（最大矢高）を反り量として評価しました（写真2）。

試験結果を図1に示します。いずれの樹種ともに積層数の増加に伴い反り量が減少する傾向が認められました。17プライ合板においては、反り量の平均値は0.4mm未満となり、吸水しても合板の反りや変形はほとんど生じませんでした。このように単板積層数を増やすことで、材質のばらつきが小さくなり、変形しにくくなることがわかりました。

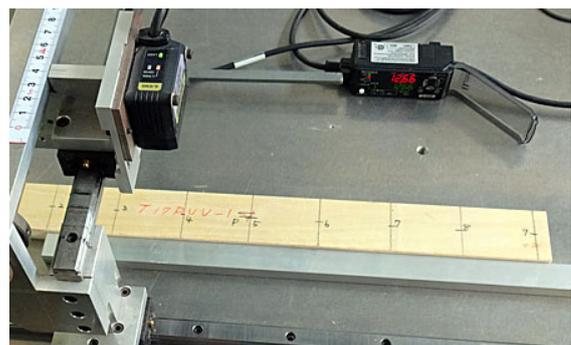


写真2 合板の反り量の測定の様子

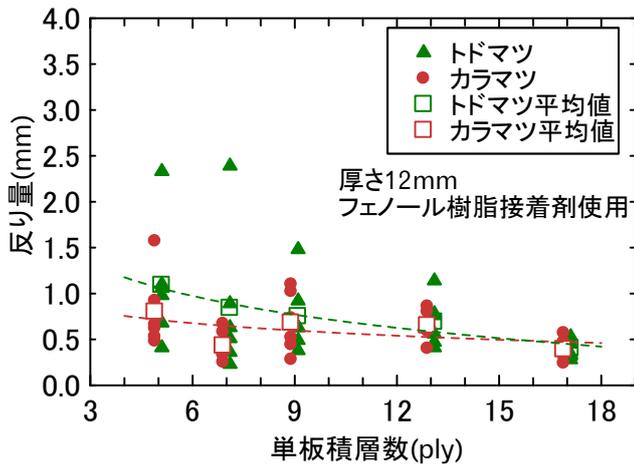


図1 単板積層数と合板の反り量

しかし、このような多積層の合板は、大量の接着剤を使用することで生産コストが増大しますし、単位材積に占める接着剤量が多く、非常に重い製品となってしまいます。木材製品は、軽くて強い、あるいは温かみがあるなどの他の材料には無い良さがありますが、接着剤の塊のような材料になってしまうと、木材製品としての良さが失われてしまうように感じられます。

■MDIを用いた木質ボード類

木材の寸法安定性を高める方法として、化学処理による方法が提案されていますが、合板のような比較的安価な製品に適用すると、大幅なコストアップを招くことが問題となります。寸法安定性に優れた合板を実現するためには、製造コストのほか、接着剤使用量が少なくてよいこと、材料自体の吸湿性が低いことなどが必要になると考えられます。

ところで、近年、パーティクルボードやMDF（中質繊維板）といった木質ボード類においては、フェノール樹脂やメラミン樹脂のようなホルムアルデヒド系の接着剤ではなく、非ホルムアルデヒド系のMDI（ジフェニルメタンジイソシアネート）を用いたものが製品化されています。MDIは、日本では集成材やCLTの製造で使用される水性高分子-イソシアネート系接着剤の架橋剤としても用いられています。MDIを用いた木質ボード類については、初期性能や促進劣化処理を行った場合の強度変化などが報告されています。例えば、パーティクルボードにおいて、床下への暴露³⁾やJISに規定される促進劣化処理⁴⁾を行った場合、フェノール樹脂接着剤を用いたものよりもMDIを用いたものの方が曲げ強さの低下が小さいことが示されています。

MDIの特徴としては、少ない塗布量で優れた接着性能を発揮すること、貯蔵安定性に優れること、優れた耐水性を発揮すること、含水率の高い木材の接着が可能であること、などが挙げられています^{5,6)}。現在、国内の合板生産現場において、MDIを接着剤として用いた事例はありませんが、MDIを用いることにより針葉樹合板の寸法安定性を向上できる可能性があると考え、合板を試作してみました。

■MDIを塗布した単板の平衡含水率

まず初めに、MDIを塗布した単板の吸湿性を確認しました⁷⁾。厚さ1mmのトドマツおよびカラマツ単板に対し、エアスプレーによってMDIを塗布し、温度130℃、圧力0.8MPaで3分間熱圧しました。MDIは、自己乳化型と呼ばれるものを使用し、MDI：水=10：3となるように水を混合しました。接着剤塗布量は、単板の表裏面を合わせて20g/m²および50g/m²としました。また、この比較対照用としてフェノール樹脂接着剤（PF）を塗布して熱圧硬化させたもの、および接着剤を塗布していない単板（無塗布）を準備しました。フェノール樹脂の塗布量は、MDIを50g/m²塗布したものと固形分量が同量になるように調整しました。これらの単板について、20℃の恒温室内において様々な相対湿度に調整したデシケータの中に入れ、単板重量が恒量となるまで静置して、平衡含水率（EMC）を求めました。

その結果、フェノール樹脂を塗布した単板は無塗布の単板よりもEMCが高くなり、特に相対湿度97%の条件では、EMCが非常に高い値となりました（図2）。フェノール樹脂接着剤は、木材用接着剤の中でも耐久性が高いことが利点の一つですが、吸湿しやすいという特徴があるため、合板の寸法安定性の

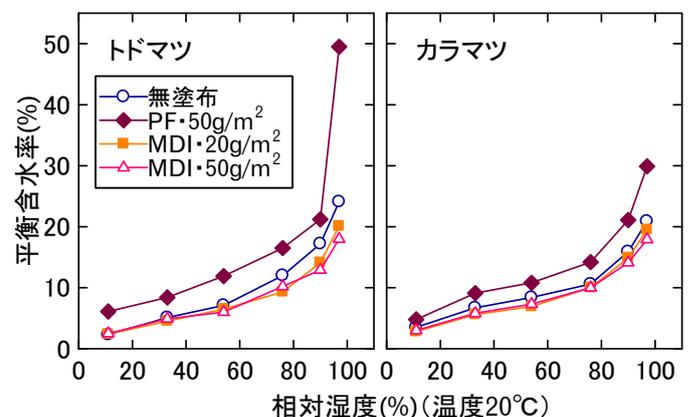


図2 接着剤を塗布した単板の平衡含水率

向上を目指す上では不利に働いてしまうことがわかります。これに対し、MDIを塗布した単板は無塗布の単板よりもEMCが低くなり、概ね塗布量が多い方がEMCは低い値となりました。このように接着剤としてMDIを用いることで、吸湿しにくい性質を付与できる可能性が示されました。

■MDIを用いた合板の接着性能

次にMDIを用いた合板の接着性能を調べました。厚さ1.1mmのトドマツおよびカラマツの単板を用いて9プライの合板を製造しました。エアスプレーによって単板にMDIを塗布し、塗布量は、30～70g/m²の範囲としました。なお、通常のフェノール樹脂接着剤では、200～230g/m²程度の塗布量が一般的ですので、これに比べるとかなり少ない塗布量です。熱圧温度は130℃、圧力0.8MPaで約5分間圧縮しました。製造した合板は、合板のJASに規定される特類の試験方法に準じて接着性能を評価しました。

塗布量とせん断強さの関係を図3に示します。樹種別ではカラマツよりもトドマツの方が優れた接着性能を示し、塗布量の増加に伴い、接着性能も向上する傾向が認められました。カラマツがトドマツよりも接着性能が低くなった理由の一つとして、カラマツは接着剤を塗布した際、単板内部へ接着剤が浸透しにくく、圧縮時に接着剤が端部へはみ出す量も多かったことなどが考えられました。ただし、いずれの樹種においても、塗布量が最も少ない30g/m²でも、合板のJASの特類の性能を満たす結果が得られており、接着性能には問題がないことがわかりました。

■MDIを用いた合板の長さ変化率と反り量

接着性能の検討とは別に、単板構成と合板の寸法安定性の関係を調べるための試験を行いました。ト

表1 合板製造条件

項目	5ply	9ply	13ply	17ply
単板厚さ(mm)	2.54	1.42	0.98	0.75
接着剤塗布量(g/m ²)	60	60	50	40
熱圧条件	130℃-0.8MPa-6分			

ドマツおよびカラマツの単板を用いて、厚さ12mmの合板を製造しました。合板製造条件を表1に示します。製造した合板から、表板の繊維方向と長手方向が平行なもの(0度)と直交するもの(90度)の2種類の試験体(80×320mm)を切り出し、異なる温湿度環境下で調湿した時の長さを測定しました。試験体は吸湿すると反りが発生する場合がありますため、試験体を上部からクランプで押さえつけ、接触型の変位計を用いて長さ測定を行いました。また、対照用として、フェノール樹脂接着剤を用いて製造した針葉樹合板および市販の南洋材合板(いずれも5プライ)についても同様に測定しました。合板の長さ変化率(LE)は、20℃40%RHから20℃95%RHの温湿度環境まで変化させた時の値として、以下の式より算出しました。

$$LE(\%) = (L_{95} - L_{40}) / L_{40} \times 100$$

ここで、L₄₀は20℃40%RHにおける長さ、L₉₅は20℃95%RHにおける長さです。

各種合板のLEを図4に示します。市販の南洋材合板は、フェノール樹脂を用いたトドマツおよびカラマツ合板よりもLEが小さく、特に90度方向の値が小さいことがわかりました。MDIを用いたトドマツ合板については、積層数の増加に伴い90度方向のLEが小さくなり、9プライ以上で南洋材合板の値とほぼ同等になりました。一方、MDIを用いたカラマツ合板については、いずれの積層数においても、南洋材合

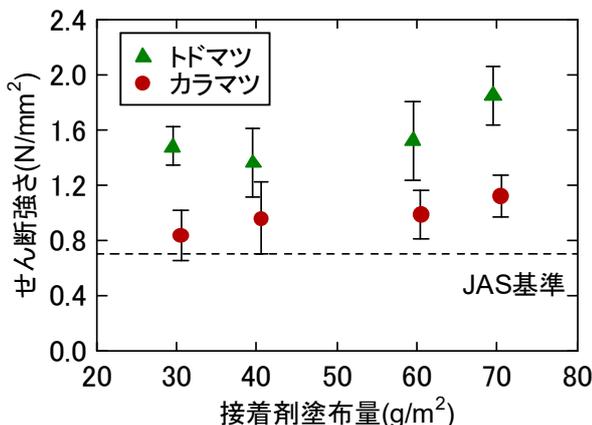


図3 塗布量と接着性能の関係

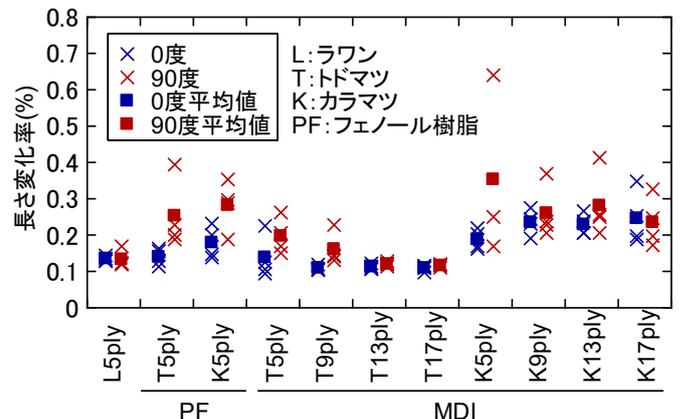


図4 合板の吸湿時の長さ変化率(LE)

板よりもLEが大きくなり、積層数との関係についても明確な傾向は認められませんでした。カラマツはトドマツよりも接着剤が浸透しにくく、接着性能も低いことが要因の一つと考えられました。

次に同じ合板から幅40×長さ400mmの試験体を切り出し、常温水中に72時間浸せきさせた時の反り量を測定しました。MDIを用いた合板は、積層数の増加に伴い反り量が低下する傾向が認められ（図5）、この傾向は前述したフェノール樹脂を用いた合板の場合と同様でした。MDIを用いたトドマツ合板においては、9プライ以上で南洋材合板とほぼ同等の反り量となりました。しかし、MDIを用いたカラマツ合板では、すべての積層数において南洋材合板よりも反り量が大きい結果となりました。

トドマツにおいては、フェノール樹脂を用いた5プライ合板とMDIを用いた9プライ合板の密度は同程度であり、木材の軽さを維持したまま合板の寸法安定性を向上できることがわかりました。

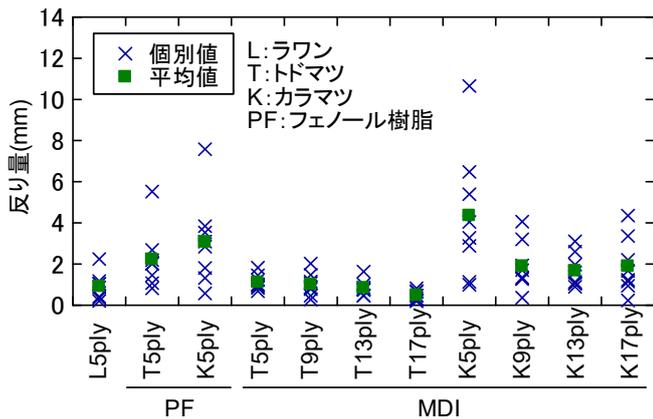


図5 合板の反り量

■おわりに

本研究の取り組みにより、トドマツにおいては接着剤にMDIを用いて単板積層数を増やすことにより、南洋材合板と同等の寸法安定性を有する合板が実現できることがわかりました。MDIについては、本稿で紹介したような多くの利点がありますが、金属に対する接着性も良いため、ホットプレスなどにも付着しやすいこと、MDIの蒸気や液滴を吸引すると健康障害を引き起こすおそれがあることなど、取り扱いには注意が必要です。また、現状、国内の針葉樹合板工場では、フェノール樹脂接着剤に適した合板製造設備が導入されており、接着剤塗布工程や熱圧工程において、MDIをそのまま使うことはできないため、製造方法を精査する必要があります。これらの製造工程上の課題は、今後さらに検討していきたいと考えています。

■参考文献

- 1) 合板関連統計月報，日本合板工業組合連合会，東京（2021）。
- 2) 古田直之，平林靖：日本木材学会北海道支部講演集，第50号，pp.21-24（2018）。
- 3) Hideaki Korai, Yoichi Kojima, Shigehiko Suzuki: J Wood Sci, 61, pp.500-509（2015）。
- 4) Yoichi Kojima, Shigehiko Suzuki: J Wood Sci, 57, pp.126-133（2011）。
- 5) 元木英生：木材工業35(4), pp.145-149（1980）。
- 6) 和田康一，道本義行：接着 48(4), pp.157-164（2004）。
- 7) 中村神衣，古田直之，平林靖，宮崎淳子：第71回日本木材学会大会発表要旨集（2021）。