

論文の内容の要旨

論文題目「木質ボードの反りの発生機構に関する一考察」

学位申請者 藤本 清二

キーワード：パーティクルボード，反り，連続熱プレス，熱弾性，数値解析

木質ボードとは、「木材原料を小片または繊維に細分化し，これに接着剤を塗布して板状に熱圧成形した木質材料」の総称である。木質ボードにはパーティクルボードやファイバーボードなどの板材が含まれるが，その中でも国内年産量の過半を占めるパーティクルボードは木質ボードの主役ともいえる産品である。本研究はこのパーティクルボード（以降ボードと称する）の反りの発生機構に関して論じる。

ボードは床や壁の下地材，あるいは化粧板として家具の部材に使用され，現代では巨大な連続熱プレス機で生産されるのが一般的である。ボードは通常，厚さ方向に3層の対称な積層構造を持つ多孔質の板材であり，上下表層は細かい木片で形成され緻密な硬い層としてボード表面の平滑性と強度を担保する。これに対し内層は比較的大きなサイズの木片で形成され，軟らかく空隙率の大きい層としてボード全体の性能をバランスの取れたものとする。ボードは自然木材とは異なって工業製品としての均質な組織構造を有し，これを自然木材に代わる広い寸法範囲の板材として安価に提供できる点に特徴がある。このようにボードは建材・建装材として木造住宅や家具に多用される工業製品であることを考えると，その要求仕様の上位にはやはり強さ（曲げ強度）と寸法（反りを含む湿潤膨潤率などの寸法安定性）が挙げられる。

寸法安定性のなかでも特に反りについては，製造工程のどの段階でどのようなボードの特性および製造条件によって発生するのか，また，反りは熱プレスの機中において形成されるものなのか，あるいは熱プレス出口以降において固定化されるのか，といった根本的な問題は未だ十分に検証されていない。したがって，ボードの反りの発生機構について考察しこれを抑制する方策を探ることは，工業的のみならず学術的にもまた重要な課題である。ボードを含む木質材料の変形（反り）はこれまで，木質の持つOH基と水の親和性の強さから水分率との関係において議論されることが多かった。しかしながら，熱プレスによって高温下で熱圧成形されるボードのような材料については，熱の観点からも反りの発生機構を考察することが重要であろう。

一方ボードの反りに関する従来の研究を概観すると，いずれの研究も古典積層理論の適用によって反りに影響を及ぼす因子をパラメトリックに扱ってはいるものの，生産現場で直面するボードの反りと熱プレスの製造条件との関係，あるいは反りがまさに発現している製造工程の特定といった観点からボードの反りについて論じたものは見当たらない。さらに，ボードの反りは通常の製造条件下では鞍反りを示すが条件によっては球反りを示すこともあるという現象に対しても，従来の研究では鞍反りの発生機構，あるいは両者の反りの相互関係についての言及は不十分であると思われる。

そこで本研究では，ボードを一次近似として単層と仮定し，ボードの製造条件下においては水の影響は小さいとみなし，さらに木質材料の特性のひとつである軟化温度を考慮するといった

諸点を前提におく．その上で古典積層理論とは異なる視点，即ち熱弾性論の視点からボードの反りに関する理論モデルを構築し，モデルによる反り量の計算値と測定値との比較によってその検証を行う．続いて検証結果に基づきボードの反りの発生機構について考察し，ボードの反りを抑制するための指針を得ることを本研究の目的とする．

本論文は以下の6章で構成される．

第1章は序論である．まず，主として工業的立場から研究の背景を述べ，ボードの反りに関して検討すべき諸問題を抽出した．続いて，工業生産の視点からの考察は少ないと考えられる従来の研究内容を俯瞰し，本研究の目的と課題を明確にした．

第2章では，熱プレス出口以降のボードの冷却過程に着目し，非定常熱伝導方程式と熱弾性方程式を連成したボード長手方向の反りに関する一次元熱弾性モデルを提示した．このモデルを適用して計算した反り量と測定値とを比較することによって，モデルを実験的に検証するとともに反りの発生機構について考察した．その結果，ボード長手方向の反りの支配的要因はボード上下表面の温度差であること，また反りは熱プレス出口以降で発現すると考えられることを示した．

第3章では，長手方向の反りに関する一次元熱弾性モデルを二次元に拡張することを視野に入れ，第4章で扱う二次元熱弾性モデルを構築するための準備を行った．まず，これまで十分な検討がなされていなかったボード幅方向の反りについて考察し，続いて板としてのボードの反りの実態を明らかにするため，新たに反りの二次元的測定を行って実験的に考察した．その結果，ボードの反りは通常の製造条件下では長手・幅両方向にほぼ対称な鞍反り形状を示すこと，またボード上下表面の温度差によっては球反り形状も示すことを明らかにした．

第4章では，第2章で提示した一次元熱弾性モデルを平板の平面応力状態における二次元モデルに拡張し，二次元モデルに基づく反り量の計算値を測定値と比較した結果，両者は実生産における反り量の振れ幅の範囲で程度よく一致した．このことから，本モデルを適用して種々の数値計算を行い，ボードの反りの発生機構について考察した．その結果，ボードが鞍反りを示す要因はその表面幅方向の温度分布であることを明らかにした．

第5章では，第4章までの検討によって得られた知見に基づき，反りを低減するための工業的な手段について検討した．反りの支配的要因であるボード上下表面の温度差を低減するために三つの方法，即ち，1) 熱プレス出口以降に空気噴流ノズルを適用しボードを強制冷却する方法，2) 水の顕熱と潜熱を利用するためにマットの水分率を調整する方法，および3) スチーム注入により熱プレスで熱圧成形される以前にマット上表層の温度を高くする方法の三点を考え，その効果について考察した．特に，第2)項の方法はボードの反りを低減するための有効な方法であること，また第3)項の方法については，反りのもう一つの要因であるボード表面幅方向の温度分布を均一化し得る可能性があることを示した．

第6章では本論文を総括し，結論を記した．

本研究において，熱弾性論に基づいて構築した一次元モデルはボード長手方向の反りの発生機構を解析的な解によって簡明に示し，また，一次元モデルの限界を考慮して構築した二次元モデルは，幅方向の反りの挙動に依存する鞍反りの発生機構を数値解によって明らかにした．

上述したように，ボードを一次近似として単層と仮定し，その製造条件下において水の影響は小さいとみなし，さらに木質材料の軟化温度を考慮するといった前提条件の下で，熱弾性論の視点からボードの反りの発生機構を論考したこと，およびその結果に基づき，反りを低減するための工業的な手段について論及したことに本研究の意義があると捉えている．