

審査結果の要旨

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

本学位論文は、不均質な原料を用いて製造する木質ボードの反りの発生機構に対して、熱弾性学の観点から考察を行い、反りを低減するための方針を与えると同時に、不確定な要素が数多く残されている木質ボード製造技術向上の指針を示すものとして大きな意義を有するものである。

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。その中でも木質廃材等を細片化して得られる比較的小さな木片（パーティクル）を再構成したパーティクルボードは、床・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、木質ボードの中でも主要な地位を占めている。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考察したものである。

ボードは厚さ方向に3層の対称な積層構造を持つ多孔質の板材であり、上下にある表層は細かいパーティクルで形成され、緻密な硬い層としてボード表面の平滑性と強度を担保している。これに対し内層は比較的大きなパーティクルで形成され、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とれたものとする役割を有している。このようにボードは自然木材の不均質性の問題を低減し、その長所を生かし得る工業製品としての均質な組織構造を持っており、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長がある。ただし、ボードの原料は樹木由来であることに変わりはなく、化学工業における原料に比べれば遥かに大きな不均質性を有することがボード製造に不確定要素が残される要因となっている。

上述のように、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。寸法安定性にかかわる問題の中でも特にボードの反りに関しては、建材・建装材として使用される上で必然的ともいえる厳しい精度向上への要求が年々高まっており、「反り量 2mm 以下／長さ 1000mm 当たり」といった厳しい精度を要求されることもある。この反りの原因を解明しこれを抑制することは工業生産上極めて重要な課題となっているが、木質原料のパーティクルへの加工・調整から高温高圧下におけるマットの熱圧成形に至る製造過程の複雑さから未だ試行錯誤的対応を迫られることが多い。

ボードの反りに関する従来の研究では、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考察したものはない。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。

研究の目的：

熱弾性論に基づいてボードの反りに関する理論モデルを構築し、反り量の測定値とモデルによる計算値とを比較することによってモデルの検証を行い、ボードの反りの発生機構について考察すること、およびその考察に基づいてボードの反りを抑制するための指針を得ることを目的とする。

本論文の構成と審査結果：

第1章は序論であり、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ている。さらに、工業生産の視点からの考察が少ない従来の研究内容を俯瞰し、本研究の目的と課題を明

確にしている。申請者は本研究、およびその関連技術を熟知していると判断される。

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ている。このモデルの有効性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、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ている。

第3章では、第2章において得られた知見を踏まえ、長手方向の反りに関する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ている。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ている。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ている。

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熱弾性モデルに拡張し、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ている。その結果、両者は実生産における反り量の振れ幅の範囲で一致したことを示している。次に、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ている。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ている。

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ている。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（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、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）を考え、その効果について考察している。その中で、②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③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ている。

第6章では本研究を総括し、本論文の結論が適切にまとめられている。

上述のように、製造過程の複雑さから試行錯誤的対応を迫られることが多かったボードの反り低減に対して、本研究の成果は反り抑制のための明確な指針を与えるものであり、ボードの需要をより高めるものと期待される。さらに、建築解体材や小径木・林地残材といったリサイクル資源を原料とすることができるボードの需要増大は、木材資源の有効利用や二酸化炭素固定の長期化による環境保全の効果を高めるものである。また、木質の主要な構成要素がセルロースであることを考えると、本研究の成果はより大きなものになると考えられる。セルロースを化学的に処理したナノセルロースは軽くて強いエコ素材として大きな注目を集めているが、その加工方法や量産化における品質保証等に多くの課題が残されている。本研究の成果はそれらの課題解決に対する指針を与え得ると期待される。したがって、本学位論文の成果は大きな学術的価値を有するとともに、現在から未来にかけて社会・産業への貢献が充分期待されるものである。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものと審査委員全員の一致で判定され、申請者藤本清二は東海大学博士（工学）の学位を授与されるに値すると判断した。

論文審査委員

主査 博士（工学）神崎 昌郎 工学部教授（総合理工学研究科総合理工学専攻）

委員 工学博士 橋本 巨 工学部教授（総合理工学研究科総合理工学専攻）

委員 Ph.D. 山本 佳男 工学部教授（総合理工学研究科総合理工学専攻）

委員 博士（工学）岩森 暁 工学部教授（総合理工学研究科総合理工学専攻）

委員 Ph.D. 槌谷 和義 工学部教授（総合理工学研究科総合理工学専攻）