

氏 名	あ だち こう じ 足 立 幸 司
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	論 農 博 第 2549 号
学位授与の日付	平 成 17 年 1 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	ロールプレスを用いた木材の横圧縮加工

論文調査委員 (主 査) 教 授 川 井 秀 一 教 授 今 村 祐 嗣 教 授 矢 野 浩 之

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ロールプレス時に木材に生じるひずみの測定、加工後に発生した材料損傷の分類観察、曲げ性能評価、およびロールプレスを用いた木材への液体注入効果の検討を通じて、ロールプレスの加工特性について論じ、それに基づいた新たな木材加工技術の開発研究を全5章にまとめたものである。その主な内容は以下の通りである。

第一章では、本論文に関する既往の関連研究を調査した。木材の横圧縮加工は、木材の物理特性の解明と密接に関連しながら発展と停滞を繰り返していることを述べ、今後、木材のロールプレス加工を発展させるためには、ロールプレスにおける木材の変形機構に関して詳細な検討が不可欠であることを明らかにした。

第二章では、ロールプレス時の木材(スギ板目材)の木口面に生じる放射方向の圧縮ひずみ、幅方向の引張ひずみ、および木材側面のせん断変形を画像解析によって測定し、加工条件の変化が変形挙動に及ぼす影響を検討した。その結果、木口面では、ロールプレスによって木材に生じる放射方向の圧縮ひずみおよび幅方向への引張ひずみはロール接触面である表層部に集中した。また、木材側面では、ロール接触面付近の木材が繊維方向にせん断変形を生じ、試験片中央部が試験片進行方向に対して凸型に湾曲変形する先進が生じることが確認された。表層へのひずみの集中は、圧縮率あるいは試験片厚さが増加するほど、一方で、ロール径が減少するほど、また、飽水材より気乾材で、顕著になった。これらのパラメータのうち、圧縮率、試験片厚さ、およびロール径は、木材がロールに圧入される時の接触角としてまとめられ、接触角の増大に比例して付加的なせん断変形が増加し、ロールプレス時の木材の変形挙動に大きな影響を与えることが明らかになった。

第三章では、ロールプレス後に生じる木材の損傷について、その発生頻度および程度の統計的調査、目視・顕微鏡観察および曲げ試験を行い、損傷の発生要因の抽出を行った。結果として、ロール加工に特有な材料損傷として、ワニ口破壊、表面割れ、層間はく離が抽出された。また、縦割れ、幅反り、縦反りも確認された。材料損傷のうち、特にワニ口破壊、表面割れおよび縦割れに関しては、その発生頻度および程度と接触角に相関性が認められた。また、ロールプレス後の木材の比強度および比ヤング率は、平板プレスのような単純圧縮でのそれらに比べて低下し、その傾向は接触角の増大とともに顕著となった。三点曲げ試験時のスパン/厚さ比が小さくなるほど、圧縮処理材/無処理材の比ヤング率が低下したことから、ロールプレスによる繊維方向へのせん断破壊が確認された。

第四章では、平板プレスとロールプレス、前圧縮と液中圧縮を組み合わせた液体注入法を想定し、圧縮後の木材の変形回復に起因する液体吸引効果を検討した。横圧縮変形によって木材への液体注入が促進される要因として、(1)除荷直後の弾性的な変形回復、(2)残留変形の吸水回復に起因する液体吸引力、および(3)閉鎖壁孔の破壊に伴う液体の浸透経路の増大が考えられた。各要素の注入量を比較した結果、液中圧縮法では、(1)が有効に機能するためであると判断された。また、液中圧縮を繰り返すことによって注入量が著しく増加した。これは、(1)の効果の繰り返しと吸水の結果として順次発現する(2)の効果によるものと判断された。その効果はロールプレス法において顕著であったことから、ロールプレス液中圧縮法が総合的に優れた液体注入法であることが示唆された。

第五章では、これまで得られたロールプレスの加工特性に関する知見を基に、新たな木材加工技術を検討した。初めに、

細胞内腔は横圧縮変形時に圧縮率に応じた体積減少が生じることに着目し、ロールプレスによる生材の水分除去法を検討した。その結果、加工材寸法に関わらず、付与した圧縮率に応じた水分除去効果が得られ、また、個体間および同一個体内の含水率格差の緩和を確認した。

次いで、ロールプレス液中圧縮法の発展として、高含水スギ板目材への薬液注入実験を行った。その結果、薬液注入効果は加工材の初期含水率が高いほど増加することが明らかになった。これは細胞内腔の物質移動では気体—液体の置換よりも液体—液体の置換が円滑に進行するためと考えられる。この処理法によって、注入前の木材乾燥工程の省略や可塑化された細胞壁による変形回復の迅速化および強度劣化の抑制が可能になることが示唆された。

最終的に、実用機サイズの薬液注入専用ロールプレス機を設計・試作し、生材状態のスギ材および難注入材（スプルス材およびベイマツ材）への薬液注入を行い、注入効果を評価した。結果として、難注入材であっても、繰り返して圧縮処理することで注入量が増加することが示された。また、原料の切削から薬液注入処理までの一連の加工を想定して、単板生材への処理を試みた結果、レース生材単板はソード生材単板より短時間の浸せきによって同等以上の注入量が得られ、繊維方向の注入量も均一であることが明らかになった。圧縮処理単板を用いて作製した単板積層材（LVL）においても強度低下は認められなかった。

論文審査の結果の要旨

木材の乾燥、圧密加工、化学修飾ならびに防腐防虫薬剤処理など、一連の物理・化学加工は、木材中への液体の注入・除去が容易でないため、これまで技術開発が遅れていた。近年、これらの分野で木材の横圧縮大変形の適用が注目されているが、バッチ加工による生産性の低さが実用化への大きな障害となっている。一方で、ロールプレス法は断面形状が変化しない長尺材料の連続加工に適しており、損傷の発生や進展の制御に不可欠な材料の変形挙動を精密に把握すれば、木材のロールプレス加工が可能であると判断される。また、木材の多孔性・直交異方性を活かした新たな材料開発も期待できる。

本論文は、ロールプレス時の木材の横圧縮変形の機構解明とその特性を活かした加工技術の開発研究に関するものである。ロールプレス法の実用化には材料の加工特性の把握に加え、製造装置や製造技術に関わる一連の開発研究が必要であるが、ここでは、ロールプレス時の木材の変形挙動・破壊現象の解明、木材の横圧縮変形に伴う細胞内腔の物質流動の検討、製造装置の設計・試作、ロールプレスを用いた木材への薬液注入など、木材加工の新技术開発に関する基礎研究を取りまとめたものである。

得られた主要な成果は以下のとおりである。

(1) 平板プレスとロールプレスを用い、木材の横圧縮変形挙動を比較、検討した。圧縮変形時の厚さ方向ひずみ分布に関して、圧縮ひずみは平板プレスでは早材部に集中し、ロールプレスでは木材—ロール接触面付近の材表層部に集中することを明らかにした。また、これに関与する因子として、材料厚さ T 、変形量 D およびロール径 ϕ で決定される接触角 θ を見出した。 θ が大きい場合、変形量が15%程度であっても、表層部付近が破壊ひずみに到達する場合があることを確認し、ロールプレス後の材料損傷および材質劣化の可能性が示唆された。

(2) ロールプレス後の木材に生じる損傷の統計的調査と発生原因の究明を行った。その結果、ロールプレス後の木材に発生する損傷（①ワニ口破壊、②表面割れ、③層はく離、④縦割れ、⑤縦反り、⑥変形回復）を抽出した。これら損傷の発生頻度および程度と接触角 θ との相関性を見出した。また、圧縮後の木材の強度特性を検討した結果、ロールプレスでは圧縮処理材の比曲げヤング率および比曲げ強度は θ の増大に伴い顕著に低下すること、またその原因がせん断強度の低下によるものであることを示した。

また、これら材料損傷は、 θ が十分に小さい場合は生じないことから、ロールプレスにおいても材料損傷を生じない加工条件および損傷を抑制する加工方法を検討することが可能となった。

(3) 横圧縮変形時に圧縮率に応じた体積減少が生じた細胞内腔は、除荷後に復元することに着目し、その変形回復に起因する液体注入効果を検討した。液体吸引力を最も効率よく活用するため、薬液槽内に設置可能なロールプレス機を設計・試作した。その結果、液体中で木材を圧縮／除荷することで大量の液体を木材中に導入可能であることを示した。また、その効果は加工材の初期含水率が高いほど、圧縮／浸せきを繰り返すほど増加することが明らかとなった。

(4) ロールプレス液中圧縮法の実用化のために、材長 2000 mm の圧縮 / 浸せきが可能な薬液槽を装備した大径 ($\phi 500$) のロールプレス機を設計・製作し、生材状態のスギ材および難注入材（ベイマツ材およびスプルス材）への薬液注入を行った。結果として、生材の注入量は気乾材と飽水材の中間を示し、本手法においては注入前の木材乾燥工程が省略可能であることを明らかにした。また、繰り返し圧縮処理が、難注入材および長大材の薬液注入効果の改善に効果があることを示した。

以上のように、本論文は、ロールプレスを用いた木材の横圧縮加工に関して、変形挙動・破壊現象の解明、木材の横圧縮変形に伴う細胞内腔の物質流動の解明等の検討を経て、製造装置の設計・試作、および薬液注入技術に関する基礎を確立したものであり、木質材料学、木材物性学、木材保存学、ならびに関連する木材工業の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成16年12月17日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。