

川上から川下まで通した構造用集成材の低コスト化技術体系

試験研究計画名：原材料の安定供給による構造用集成材の低コスト化技術の開発
 地域戦略名：構造用集成材の低コスト化による地域産材の需要拡大
 研究代表機関名：（研）森林研究・整備機構

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

我が国の森林資源の有効活用や脱炭素社会構築の観点から大規模・中高層建築の木造化への技術開発が進み、建築基準法関連告示などの環境整備が進んでいます。その中で、大規模建築物の構造材として長年利用されてきた大断面集成材の安定供給が期待されています。しかし、これまでの大断面集成材は特殊な建築物用部材であることから多品種少量生産型のシステムで生産されてきており、生産コストは高く供給力は低い状況です。これに加えて、多くの木材製品の輸入先である欧州との自由貿易協定が締結され、2027年には構造用集成材等の関税が撤廃されることになりました。

同じ構造用集成材でも木造住宅の柱や梁に用いられる小断面・中断面集成材は、原料ひき板（以下、ラミナ）の安定供給を輸入に頼っていますが、高効率な生産システムを構築して、国際的な価格競争力のある製品となっています。ここでは、これを一つのヒントとして、「1. 間柱材を用いた大断面集成材の効率的生産技術の開発」、「2. スギ間柱材の乾燥コストを3割削減する減圧乾燥法の開発」、「3. 全木集材に適したクラムバンクスキッタとその利用技術の開発」を行いました（図1）。

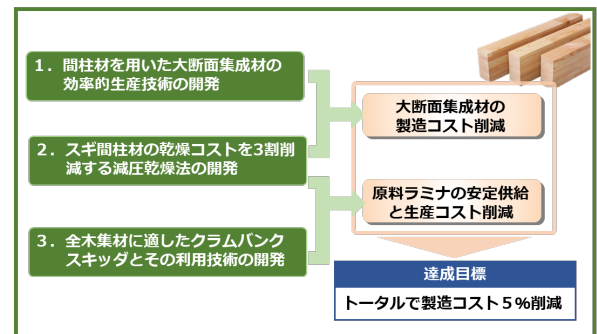


図1 技術体系の概要

技術体系の紹介：

1. 間柱材を用いた大断面集成材の効率的生産技術の開発

大断面集成材は、原木（丸太）から製材し乾燥した厚さ数センチのラミナを積層し接着して製造します。これまでは多様な木造建築に用いる多種多様な寸法・形状等の製品を製造することが求められてきましたが、現在研究開発が進められている木造ビルの構造は比較的単純で、必要な製品仕様も多くありません。したがって、生産性を重視した製造技術を導入して量産化することで生産コストの削減が可能です。ここでは、大断面集成材の生産性に大きな影響を与えている因子として、原材料である接着剤と

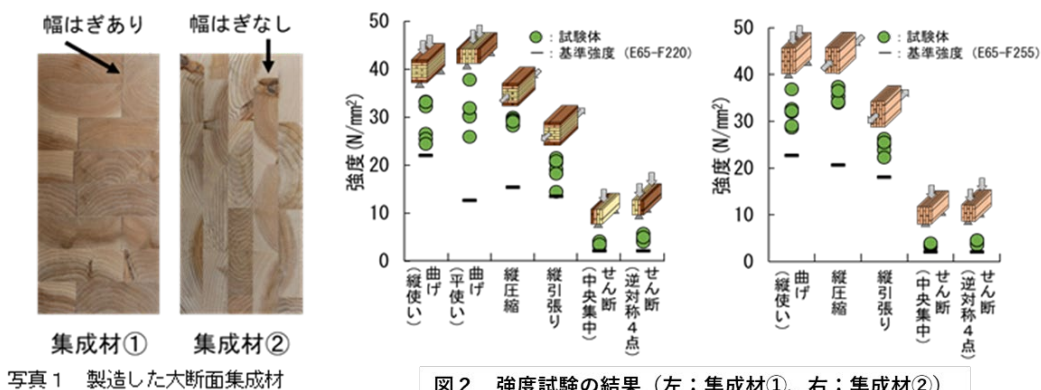


図2 強度試験の結果（左：集成材①、右：集成材②）

ラミナに着目しました。接着剤には小断面・中断面集成材に使われている水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（以下、API）を用いました。現在大断面集成材に使われているのはレゾルシノール系樹脂接着剤（以下、RF）で、接着性能や耐久性・耐熱性に優れ 50 年以上の実績もありますが、硬化時間が長く高価です。これに対して、API は短時間で硬化し価格も安価です。また、最近では CLT（直交集成板）のような大断面・大面積部材の製造にも用いられています。ラミナについては、安定確保を目的として、一般的に流通する間柱と同じ断面寸法の板（以下、間柱材）を転用して用いました。

これら製造条件の変更が製品の品質、とりわけ強度性能に与える影響を確認するために、スギ間柱材をラミナに、API を積層用接着剤に用いて 2 つの方法で大断面集成材を製造しました（写真 1）。一つは、間柱材を幅方向に接着し 150mm 幅の板（以下、幅はぎラミナ）にし、それらを積層接着しました（以下、集成材①）。もう一つは平盤プレス上で間柱材を幅はぎせずに並べて積層接着した大版パネルから切り出しました（以下、集成材②）。そして、曲げ、圧縮、引張、せん断の各種強度に関する試験を行った結果、すべての試験体の強度が設計に用いられる基準強度を上回り、今回製造した大断面集成材は、製造方法にかかわらず建築用構造材として強度的に安全に使用できることが確認できました（図 2）。

2. スギ間柱材の乾燥コストを 3 割削減する減圧乾燥法の開発

一般的に市場で流通している間柱の含水率は約 15~20%です。しかし、集成材に使用されるラミナの含水率は 15%以下、平均で 12%程度にする必要があります。そのため、間柱材をラミナとして利用するには乾燥処理時間が増加することになり、生産効率の低下とコスト増が生じる可能性があります。そこで、間柱材の効率的乾燥技術として、「弱減圧乾燥法」の間柱材への適用可能性について検証しました。通常の乾燥処理は、大気圧下において蒸気を熱源とした蒸気式乾燥法で行われますが、「弱減圧乾燥法」では蒸気式乾燥機に減圧機能を付加した弱減圧乾燥機（写真 2）を用いることで、乾燥機内を減圧して水の沸点を下げ、沸騰による水分の蒸発を促進させます。この乾燥法の導入により、間柱材の乾燥日数は従来の蒸気式乾燥法の 1/2 以下にできることがわかりました（図 3）。



写真 2 スギ間柱材の弱減圧乾燥

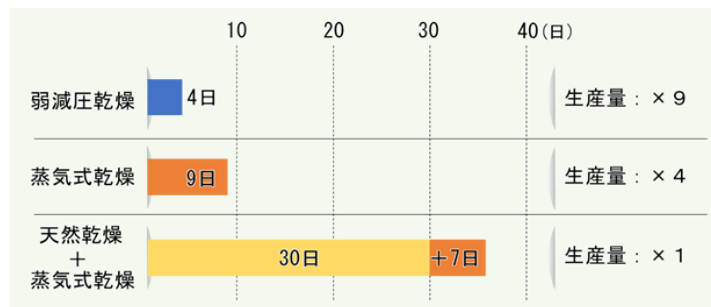


図 3 各乾燥法による乾燥日数と生産性

3. 全木集材に適したクラムバンクスキッドとその利用技術の開発

人工林のおよそ半数が主伐期を迎えた現在、伐出作業の効率化や低コスト化がより一層求められています。近年、わが国の伐出作業現場では、作業道上でプロセッサが造材を行い、フォワーダ等を用いて丸太を土場へ運搬する短幹集材方式が広く行われていますが、原木の大径化が進む中で、狭い路上での造材作業や、需要の高まりつつある森林バイオマスが林内に残される等の問題があります。そこで、全木・全幹集材方式による原木の低コスト安定供給システムの確立に向け、日本の作業条件に適した車両系集材機械を開発するとともに、その利用に関連する技術を開発しました。

開発したゴムクローラ式クラムバンクスキッドは、ゴムクローラ式フォワーダをベースに、無線によるリモート操作が可能なクラムバンク、グラップルローダ、ウインチを搭載しました（写真 3）。これにより伐倒後の全木・全幹材を玉切りせずにそのまま土場へ運搬することが可能となり、林内に放置さ

れてきた末木や枝条、端材も土場に集積することができます（写真4）。



写真3 ゴムクローラ式
クラムバンクスキッド



写真4 クラムバンクスキッドによる作業の様子
左：全木材の荷積み 右：全木材の荷下ろし

技術体系の経済性は：

経営改善効果

接着剤とラミナ厚さの変更によるコスト削減効果を幅はぎラミナを用いた集成材①を対象に検証しました。その結果、ラミナ厚さを一般的な30mmから厚くし、接着剤をRFからAPIに変更することで、接着剤コストを約7割削減できることがわかりました。また、APIは接着剤の硬化時間が短く加熱工程も不要であることから生産効率が向上し、量産化による生産コスト削減は最大16%になると試算されました。なお、集成材②は幅はぎしない分の接着剤使用量が減りさらにコストが削減できます。

蒸気式乾燥に減圧を組み合わせた「弱減圧乾燥法」は、スギ間柱材の乾燥時間を大幅に短縮し、ランニングコストが抑えられます。従来の「蒸気式乾燥法」において生産量の生産コストへの影響が小さくなる年間生産量15,000m³以上の条件下で、人件費や償却費等を含めた「弱減圧乾燥法」の乾燥コストを試算したところ、「蒸気乾燥法」の乾燥コストを30~40%程度削減できることがわかりました。

開発したスキッドによる全木集材とフォワーダによる短幹集材による生産コストを比較すると、およそ7%低減しました。さらに、全木集材により土場に集積される低質材も利用すれば、材積あたりの生産コストはおよそ11%低減できます。

これら新技術導入が大断面集成材の生産コスト削減に及ぼす効果について、現在の大断面集成材の生産実態（ラミナ：特注生産、接着剤：RF、年間生産量：1,800m³）における生産コストを100として、図4に示します。一般に流通している間柱を市中価格で購入して集成材原料として用いることは約3%の生産コスト上昇をもたらします。

しかし、スキッドによる全木集材と弱減圧乾燥技術の導入で生産コストが約5%削減できます。また、積層用接着剤のAPIへの変更による接着剤コストの削減と量産化による効果（年間生産量3,000m³）は、接着剤変更に伴う設備更新の減価償却費を見込んでもトータルの生産コストは現状から約11%削減できます。

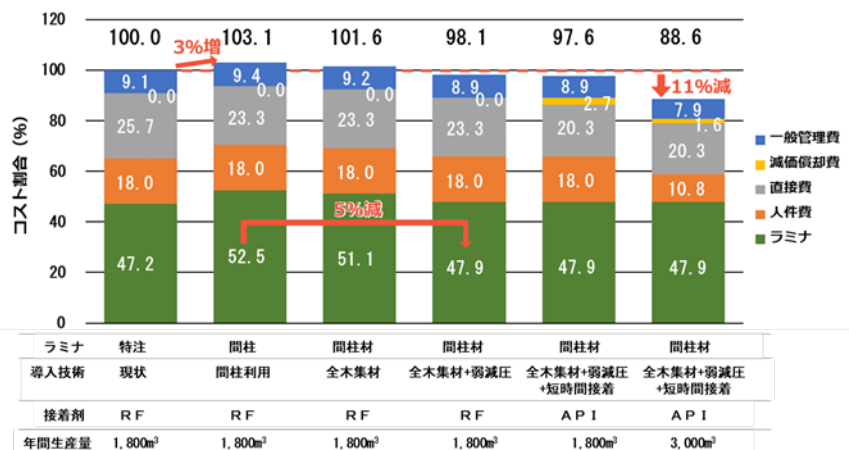


図4 新技術による大断面集成材生産コスト削減効果

経済的な波及効果

現在、秋田県の大断面集成材の年間生産量は1社で約1,800m³ですが、APIの導入で生産性を向上さ

せることで、過去に2社の合計で達成した年間生産量3,000m³を1社で生産することも可能です。3,000m³の大断面集成材は約60棟の3階建て木造ビルの建設分に相当し、内装用木材の需要増も期待できます。

大断面集成材のラミナを安定的に調達する上で一般流通材として生産されている間柱のラミナへの転用は有効で、製材工場に間柱生産に適した径級の原木が安定供給されれば、需要に応じた増産も可能と考えられます。クラムバンクスキッドを用いた全木集材による間柱生産に適した原木の供給力について、秋田県を対象に開発した原木供給シミュレーションモデルで試算した結果、集成材の生産規模が現在の数倍に増えても、現在の路網・土場条件において長期間にわたり安定供給できることがわかりました。さらに、全木集材で土場に集まる多様な品質の原木や枝葉・梢を有効利用することで材積あたりの生産コストはおよそ11%低減できると試算されることから、素材生産者の収益を増やすことで経営力を向上させることにもつながると考えられます。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

大断面集成材のラミナとして用いたスギ間柱材は国内で安定的な供給が見込めます。また、写真1に示した間柱材を幅はぎして用いる集成材①は小断面・中断面集成材用の製造ライン、集成材②はCLT用の製造ラインを応用することで、製造可能です。これらの製造ラインを有する工場があり、中大規模木造建築による地域材の市場拡大を目指している地域におすすめです。「弱減圧乾燥法」は間柱材を生産する、比較的生産規模の大きな製材乾燥工場におすすめです。また、そのメリットである乾燥時間の短縮効果により生産性の向上や納期短縮につながります。車両系集材を行う地域において森林バイオマスの収穫も併せて行う現場におすすめします。これまで林内に残された小径材や曲り材などの低質材が用材と併せて土場に集められることから、作業の効率化や低コスト化が期待できます。また、材の大径化に伴い大型プロセッサの導入が必要な現場や材の曲がりなど採材時に形質の判定が重要な現場においても、効率的な造材作業が期待できることからおすすめです。

技術導入にあたっての留意点：

技術導入にあたり、集成材①は間柱材を幅はぎする製造ラインが必要になります。集成材②は、各層のラミナを交互に交差させるCLT製造ラインを応用する際、すべての層のラミナを平行に並べる工夫が必要となります。なお、集成材②は現行の集成材の日本農林規格では製品認証できませんが、構造材としての基本性能を有していることが確認できたので、今後の規格改正を目指します。

弱減圧乾燥機は減圧に耐えられる特殊な躯体が必要なため、処理材積は50m³が最大で、価格も高価です。そのコストは蒸気乾燥機の倍以上生産することで回収可能ですが、弱減圧乾燥機の導入にあたっては、乾燥材の生産計画達成に必要な装置数を精査する必要があります。

長尺な全木材を効率的に集材するためには、これまでの短幹集材とは異なる作業方法が必要です。例えば土場の広さは、作業道と平行に開設する場合、およそ短辺8m、長辺23.5m、面積200m²ほどが必要になります。また、荷積みや荷降ろしなど全木材の移動を伴う作業では、元口に追従して動く末口側が次の作業を阻害する場合があります。他の機械との連携や待避経路の確保、集積方法への配慮など全木集材に適した工夫が必要です。

研究担当機関名：（研）森林研究・整備機構 森林総合研究所

お問い合わせは：地域材利用木製品普及コンソーシアム事務局

（研）森林研究・整備機構 森林総合研究所内

電話 029-829-8293 E-mail glulam_cost_jimu@ml.affrc.go.jp

執筆分担（（研）森林研究・整備機構 宮武敦、井道裕史、齋藤周逸、吉田智佳史）