

# 高層木造の柱を想定した圧密集成材の開発

技術部 生産技術グループ 大橋義徳・古田直之・宮崎淳子・中村神衣  
北海道大学 高梨隆也  
竹中工務店, 長野県林業総合センター, 後藤木材, 齋藤木材工業

## ■はじめに

現在, 都市部の非住宅建築物の木造化が積極的に進められており, 2026年には国内最高層となる地上18階建て(高さ84m)の木造ビル<sup>1)</sup>が都内で建設される予定です(図1)。そのような高層建築では, 下層部分の柱を木造にしようとする, 断面寸法が2×2mにもなり, 国内最大級のプレス機で製造可能なサイズ(1.5×1.5m)を超えるため, 全層木造化が困難となっています。また, 木材の強度性能や製造サイズの限界に達するだけでなく, 巨大な柱によって供用可能なスペースが制限されて建築物としての価値も減少することも懸念されています。



図1 18階建て木造ビルの完成予想図<sup>1)</sup>

また, 国産材の調達においても, 大規模・中高層の木造建築物を計画する場合, 強度の高いカラマツ材が求められることが多く, 前述の高層木造ビルでも北海道産カラマツが大量に使われますが, ウッドショック以降, カラマツの丸太価格が高止まりしており, 合板需要との競合もあいまって, 非住宅木造プロジェクトの普及の障壁となっています。

そのような状況のなかで, 国内で先導的に高層木造建築に取り組んでいる株式会社竹中工務店と林産試験場は, 軽軟なスギやトドマツといった針葉樹人工林材を高密度化・高強度化できる圧密技術に着目し, 高層木造を実現する高強度な構造部材の開発に

着手しました。

圧密技術は高い温度と圧力によって木材を厚さ方向に圧縮し, 冷却・固化させて密度を高める技術で, 従来, スギやトドマツを対象にフローリングや家具等の造作部材として利用されてきました。林産試験場でも節の多いトドマツを対象として節周辺で割れが生じにくい圧密技術<sup>2)</sup>も開発してきました。圧密技術は, 軽軟かつ早材が多く含まれる樹種の方が圧密効果が高く, カラマツよりもスギやトドマツの方が適しています。

しかしながら, 圧密木材を構造利用しようとする研究例は限られ, 実用化例もありません。また, 新規構造部材の実用化に向けては, 安定的かつ効率的な製造技術の開発とともに, 建築基準法に基づく材料認定の取得が必須となり, 様々な使用環境を想定した材料性能の把握が求められます。

そこで, 本研究では, スギおよびトドマツを用いた圧密集成材の試作と基礎的強度性能の評価を行いました。

## ■圧密ラミナの製造と物性評価

圧密ラミナの原料(元材)は, スギおよびトドマツの人工乾燥製材としました。スギ製材は岐阜県産, トドマツ製材は北海道産としました。心持ち材は部分的に含まれる柾目部分が上手く圧密されないことから, 両樹種ともに心去り材のみを調達しました。今回, 元材1枚を圧密する方法(単層圧密)のほかに, 節周辺の割れが生じにくい複層圧密法(2枚または3枚の製材を接着してから圧密する方法)も試みしました。元材の断面寸法は単層圧密用が48×105 mm, 2層圧密用が37×105 mm, 3層圧密用が26×105 mmとしました。複層圧密では同程度のヤング係数の製材どうしを積層接着しました。圧密工程の圧縮率は厚さ比で50%としました。圧密後に切削仕上げを行い, 断面寸法は単層圧密用が20×95 mm, 複層圧密用が30×95 mmとしました。圧密ラミナ3種の断面の様子を図2に示します。なお, 積層ラミナを圧密後に接着剝離試験を行ったところ, 樹種と積層数によらず,

良好な接着性能であり、一次接着後に圧密しても接着性能に支障がないことを確かめています。



図2 圧密ラミナの断面

圧密前の元材および圧密後のラミナの密度と打撃ヤング係数を測定しました。圧密前後の変化率はスギ(図3)で1.8~2.0倍、トドマツ(図4)で概ね2.0倍となり、圧縮率に応じて密度やヤング係数が向上すること、スギよりもトドマツの方が圧密効果が高いことが示されました。

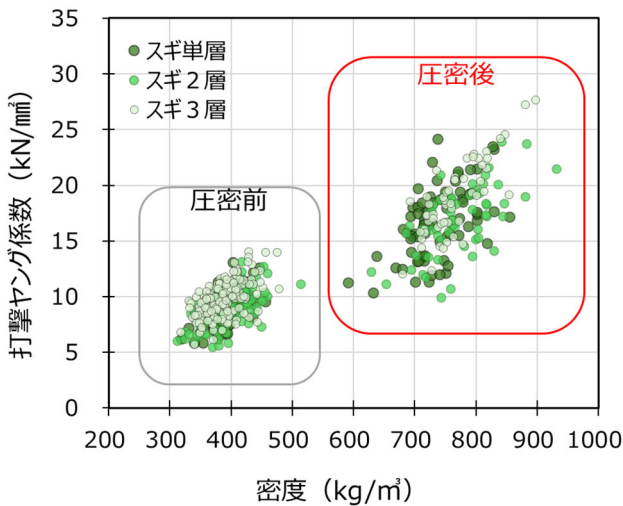


図3 圧密前後のラミナの物性値 (スギ)

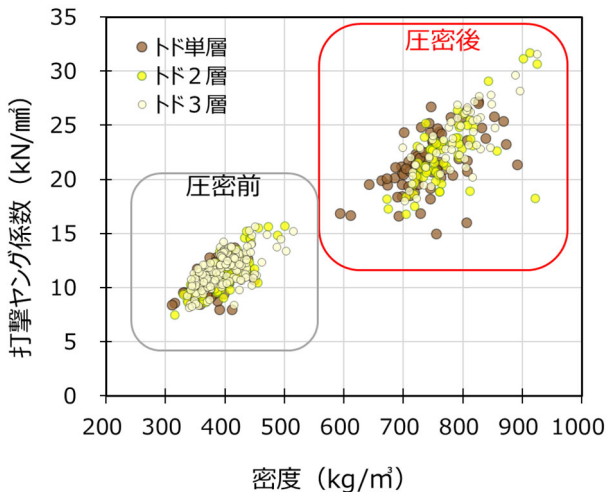


図4 圧密前後のラミナの物性値 (トドマツ)

### ■圧密集成材の製造と性能評価

次に、スギおよびトドマツの圧密ラミナを用いて小断面集成材を試作しました。断面寸法は幅 85×せい 120 mm, 単層圧密ラミナでは6 プライ, 2層圧密および3層圧密ラミナでは4 プライ, 比較用の圧密をしていないラミナ (厚さ 30 mm) も4 プライとしました。ラミナは元材のヤング係数の区分が同一のものを組み合わせて, レゾルシノール樹脂接着剤を用いて積層接着しました。なお, たて継ぎは行っていません。圧密集成材の断面の様子を図5に示します。試作数は各8本(長さ4m)とし, 曲げ・圧縮・せん断・接着性能試験体采取了しました。なお, 構造用集成材の日本農林規格に準じて接着剥離試験(図6)を行ったところ, 樹種や積層数によらず, 二次接着も良好な接着性能であり, 高密度な圧密ラミナでも構造材として十分な接着性能が得られることが確かめられました。



図5 圧密集成材の断面の様子

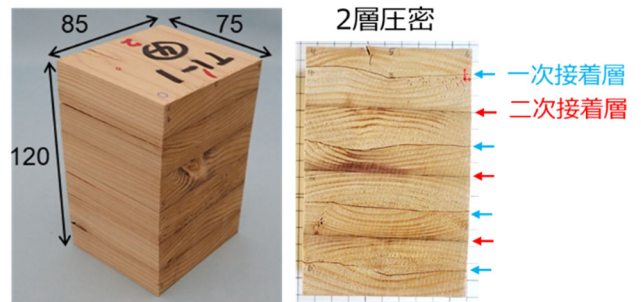


図6 圧密集成材の接着剥離試験

次に, 圧密集成材の実大強度試験を行いました(図7)。実大曲げ試験は, スパン2160mm (せいの18倍), 荷重点スパン480mm (せいの4倍) の4点荷重方式により長野県林業総合センターで行いました。実大圧縮試験は, 試験体長さを510mm (幅の6倍) として竹中工務店技術研究所で行いました。実大せん断試験は, スパン480mm (せいの4倍) の中央集中荷重方式により林産試験場で行いました。



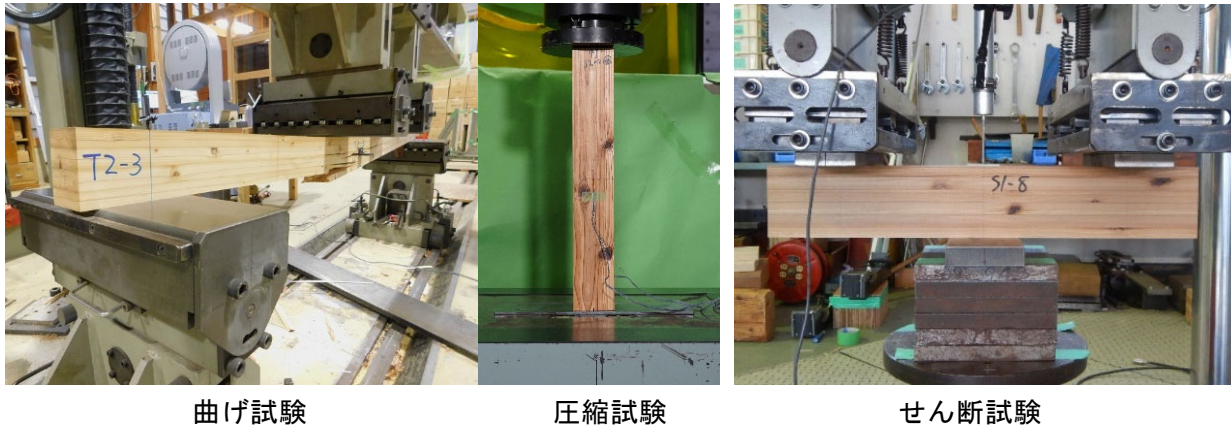


図7 実大強度試験の様子

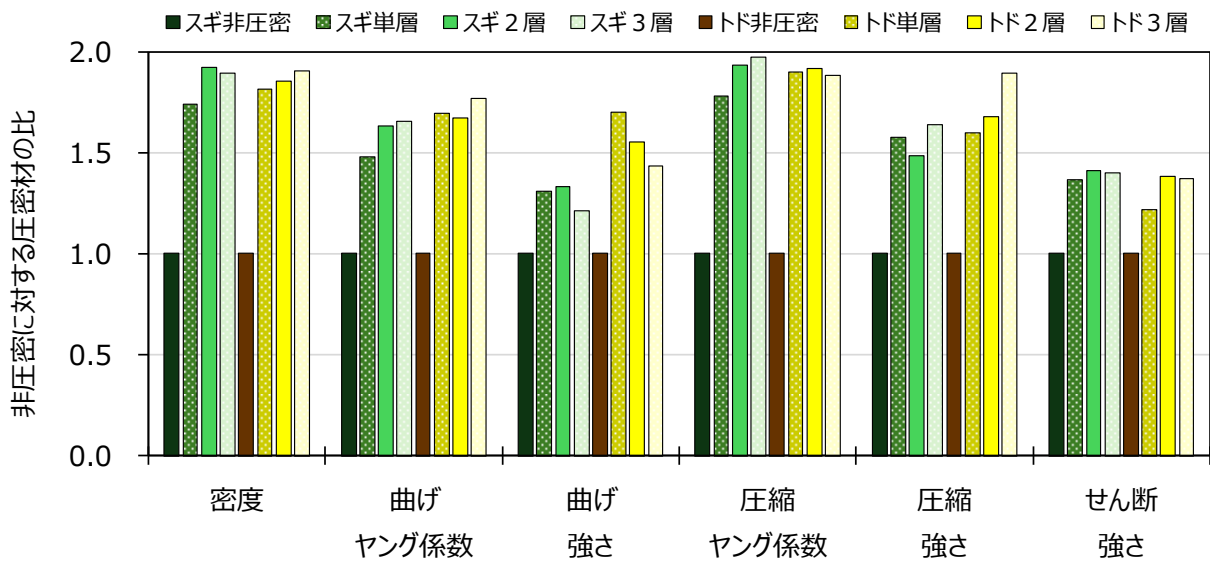


図8 圧密集成材の強度性能の比較（非圧密材に対する平均値の比，試験体数＝各4体）

非圧密集成材に対する圧密集成材の平均値の比を図8に示します。力学特性のうち、曲げ強さやせん断強さのように非圧密に対する比がさほど高くないものもありますが、曲げヤング係数や柱部材として重要となる圧縮強さや圧縮ヤング係数ではいずれの積層タイプにおいても1.5以上に向上しており、高い圧密効果が得られました。なお、圧密ラミナの層数については、曲げ強さを除き、層数が多くなるほど強度性能が高くなる傾向はみられましたが、顕著な差はみられませんでした。

本プロジェクトでは、スギ圧密材ではカラマツ集成材（強度等級 E95・E105）、トドマツ圧密材ではベイマツ集成材（E120・E135）やダフリカカラマツ集成材（E135・E150）を超える高強度集成材の開発を目指しています。そこで、柱部材として重要な圧縮

ヤング係数に着目すると、単層圧密の場合、スギで平均値 15.0N/mm<sup>2</sup>、トドマツで平均値 21.6N/mm<sup>2</sup>以上となりました。高強度樹種として代表的なベイマツやダフリカカラマツを上回る可能性が示されており、高層木造の柱部材として優位となることが期待されます。

#### ■圧密集成材の実用性の検討

高層建築物の柱断面設計では、軸変形および部材断面積を小さくする必要があり、ヤング係数の高い集成材を採用することにメリットがあります。また、耐火時間に応じた一定の被覆厚さが必要なため、荷重支持部の断面が小さくなることで耐火被覆の表面積とコスト削減にもなり、製品コストの減縮に大きく貢献します。

そこで、高層木造建築物の下層柱の耐火集成材を

2025年には17階建て木造超高層ビルの建設が計画されている。20階クラスの超高層木造では、柱断面が1,500x1,500を超える見込み

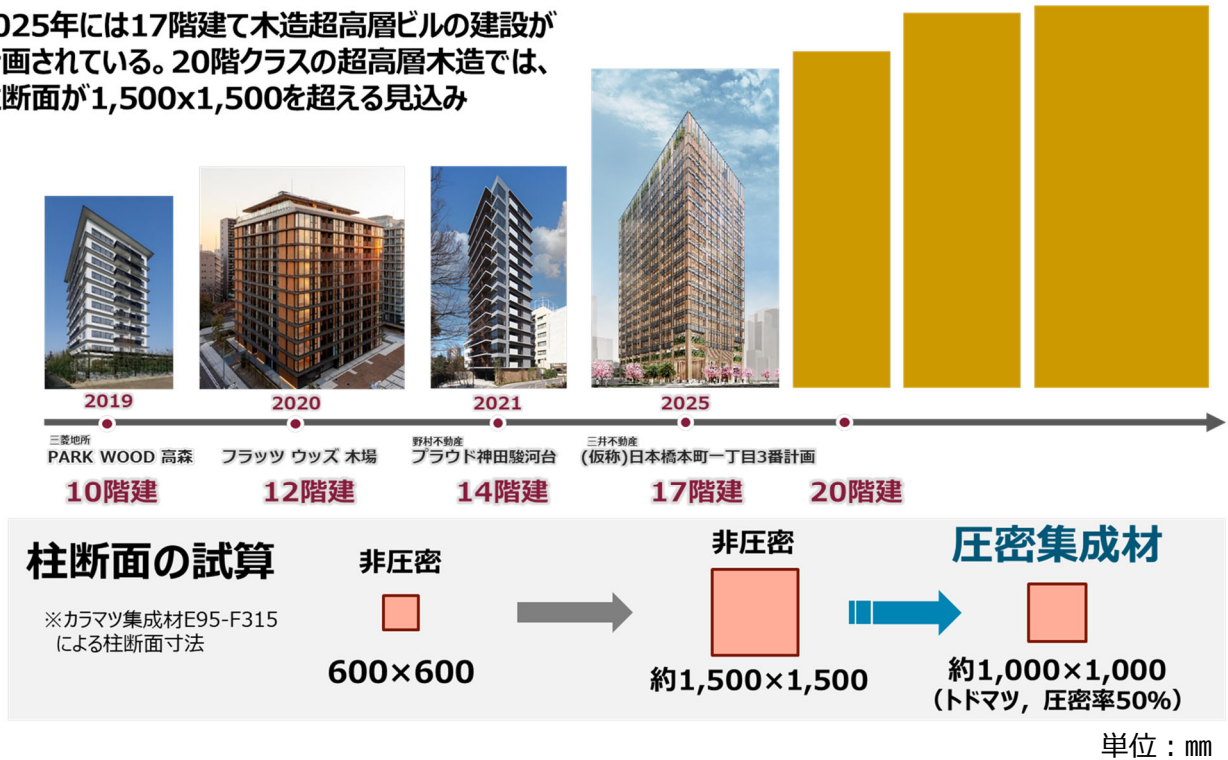


図9 圧密集成材の将来的な展開シナリオ

想定し、荷重支持部に圧密集成材を採用する場合のコスト試算を行いました。前提条件として、カラマツ集成材（E95）のヤング係数を  $9.5\text{N/mm}^2$ 、スギ単層圧密では圧縮ヤング係数の実測平均値  $15.0\text{N/mm}^2$ 、トドマツ単層圧密では同平均値  $21.6\text{N/mm}^2$  としました。その場合、圧縮性能で決まる柱の断面積は、スギでは63%、トドマツでは44%に削減可能となります。その前提で、圧密集成材の製作コストを算出し、圧密しないカラマツ集成材の場合と比較したところ、スギ圧密集成材の  $1\text{m}^3$  あたりの単価は、圧密しないカラマツ集成材の2.88倍となりましたが、柱1本あたりでは断面縮小効果により1.82倍まで低下しました。トドマツの場合、 $1\text{m}^3$  あたりの単価は3.06倍になるものの、柱1本あたりでは1.35倍にまで低下しました。さらに、耐火被覆も施した耐火集成材としてのコスト試算を行ったところ、圧密しないカラマツ耐火集成材に対して、スギでは柱1本あたりのコストは1.21倍、トドマツでは1.04倍となり、コスト増を大幅に抑制できる可能性が示されました。

以上の成果から、スギやトドマツに圧密技術を応用することで従来の国産材では到達できなかった高強度な集成材が製造可能になること、さらには、高層木造建築物の耐火柱部材としてリーズナブルなコストで大幅に部材断面を縮減できることが明らかとなりました。

### ■おわりに

本成果を踏まえて、圧密集成材を柱部材として想定した場合の将来的な普及シナリオを図9に示します。現在、20階建クラスの超高層木造建築物の検討が始まっており、国産人工林材でも鉄骨や鉄筋コンクリート造に代替できる可能性と期待が高まっています。国産材の新たな需要創出と都市木造の推進へ向けて、高強度建築材料としての実用化のための技術開発とデータ整備を継続する予定です。

なお、本事業は令和4年度CLT等木質建築部材技術開発・普及事業（林野庁）により、（株）竹中工務店、長野県林業総合センター、後藤木材（株）、齋藤木材工業（株）とともに実施しました。

### ■参考文献

- 1) 三井不動産：2024年1月11日プレスリリース、[https://www.mitsufudosan.co.jp/corporate/news/2024/0111\\_01/](https://www.mitsufudosan.co.jp/corporate/news/2024/0111_01/), 2024年11月11日閲覧
- 2) 澤田哲則：トドマツを原料とした圧縮木材の生産技術と利用方法，林産試だより2012年10月号，pp.1-3, 2012.