

平成30年9月3日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26252024

研究課題名(和文)高性能ドリルインサイジングによるスギ耐火部材の開発とその実用化

研究課題名(英文) Development of fire-resistive glulam made of Japanese cedar lamina incised by drill and its practical application

研究代表者

服部 順昭 (Hattori, Nobuaki)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：90115915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,770,000円

研究成果の概要(和文)： 林業・木材産業活性化にはスギの活用が不可欠で、その最有力候補が防火地域などのオフィスや集合住宅である。この建設には最大3時間の耐火部材が必要なので、スギ2時間耐火集成材の開発を目指した。

この集成材は、市販のスギ集成材を荷重支持部とし、ピンホールをあけて無害な難燃薬剤を注入したラミナ(小幅板)を集成化した燃え止まり部で覆う構造で、耐火1時間の認定品を用いた3棟他が建設されているが、2時間耐火の要求がある。

2時間耐火の燃え止まり部を、接着ではなく、ネジ止めで荷重支持部に固定する耐火集成材の加熱試験を3回実施し、ほぼ性能が確認できたものの、大臣認定取得にはあと少しの改良が必要との成果を得た。

研究成果の概要(英文)： To revitalize forest and forest products industry in Japan, buildings such as tall office and mass housing made of Japanese cedar in fire protective area are most effective solution. As posts and beams of these buildings must have the fire performance up to three hours, development of two hours fire performance was targeted.

The post or beam for this target consists of load bearing part without any treatment, fire die-out part whose lamina is incised by laser or drill and impregnated a fire retardant, and surface part without any treatment. Three buildings were already built using the certified one hour fire performance post and beam.

The fire die-out part is not adhered, but screwed to load bearing part in order to replace it easily in case of accidental fire. Two hours fire performance were almost achieved on three times of the fire test. It is found that two hours fire performance can be achieved by a minor change of the design concept.

研究分野：木材加工学

キーワード：ドリルインサイジング レーザインサイジング スギ 集成材 2時間耐火

1. 研究開始当初の背景

2000年の改正建築基準法の施行により、防火地域に建設される一定規模以上の建物や用途で耐火建築物にしなければならない建物の柱やはり等の国土交通大臣認定を取得している構造部材の耐火性能試験方法が変更された。試験体へ荷重をかけながらISO 834の標準加熱曲線に従って加熱し、加熱終了後は加熱時間の3倍時間以上耐火試験炉内に放置し、試験体が自然鎮火して、構造体の性能を維持している部材に大臣認定が付与され、建物に使えるようになる。この改正により、これまで特例でしか使えなかった木製の構造部材も、性能が確保できれば、使えるようになった。

2011年の気候変動枠組条約第17回締約国会議(COP17)で国産材の製品に所定の期間大気中のCO₂が炭素として貯蔵されているとの制度が認められ、各国が地球温暖化防止のためのCO₂削減量に木材製品の貯蔵炭素を計上するようになった。日本政府は2009年に森林・林業再生プランを閣議決定し、10年後の国産材自給率の目標を50%と設定した。これを達成するために、2010年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(木促法)が施行され、国が率先して公共建築物に木材を利用し、地方公共団体や民間事業者にも同様の取組を促し、住宅など一般建築物への波及効果を含め、木材需要を拡大する行動を始めた。

これらの課題解決には、需要が漸減している戸建て住宅には期待できないことから、中高層の非戸建て住宅や非住宅を木造化することが求められるようになった。中高層の木造建築物を建てるには、大臣認定された耐火集成材が不可欠で、鉄骨をカラマツ集成材で被覆したハイブリッド耐火集成材、集成材を石膏ボードで被覆したり、モルタル板で部分的に被覆したりする耐火集成材が建設会社により開発・実用されるようになってきた。純木造とか木造と宣伝しているものの、何れも木材以外の材料の力を借りて、耐火性能を担保している構造材である。

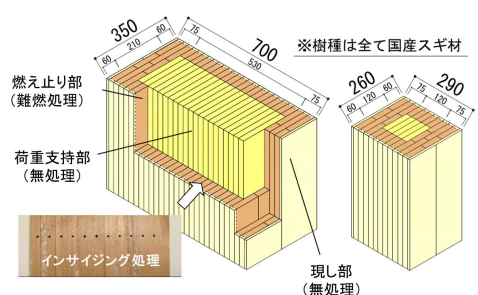


図1 スギ1時間耐火集成材(左:最大断面、右:最小断面)

唯一純木造と言える耐火集成材は、無処理のスギ集成材である荷重支持部を、レー

ザインサイジングを所定のパターンで施し難燃薬剤を所定量加圧注入したラミナで被覆し、化粧板で仕上げた耐火1時間のスギ集成材(図1、商品名はFRウッド®)で、その柱と梁を現して用いた第1号の建物が野菜倶楽部 oto no ha Caféとして2013年5月に竣工している。

2. 研究の目的

耐火1時間の大臣認定構造部材は4階建てまでしか使えないので、中高層の木造建築物には2時間耐火の大臣認定構造部材が不可欠である。ラミナのインサイジングは、火災時の熱の進入を防ぐために、直径2mmまでで板厚の30mmを超えるピンホールがあけられなければならない。CO₂レーザはこの目的に最も適した穴あけ方法であるが、木材産業に馴染みが薄いことから、細いドリルによるインサイジングが望まれている。

両者の要求事項になるドリルインサイジングでラミナにピンホールをあけ、難燃薬剤の注入で、耐火2時間の集成柱や梁を開発するのが本研究の目的である。加熱開始から1時間で945℃、その後の1時間で1049℃という高温に曝される可燃物にとっては過酷な加熱試験であることから、柱の2時間耐火性能を達成することを具体的な目標とした。

図1の構造は、ラミナを全て集成材製造に認められているレゾルシノール樹脂接着剤で積層接着したものであるが、本研究で開発する2時間耐火集成材は燃え止まり部をネジにより荷重支持部の集成材に固定する構造を取っており、この構造では、万一の失火により燃え止まり部が焦げても、その部位を躯体はそのまま取り替えることで新品になる特徴を有する。

3. 研究の方法

アスペクト比が15以上のピンホールをドリルで木材にあける特異な穴あけ条件を確立しなければならないことから、備品で購入したドリルインサイジングに適したNC加工機でスギラミナに穴あけし、その条件とあいた穴の形状の関係を高分解能のマイクロX線装置で非破壊的に観察し、耐火集成材のインサイジングに適したドリルの穴あけ条件を求めること。

得られた条件でラミナにインサイジングを行い、難燃薬剤を注入し、それらを3枚積層接着した燃え止まり部で未処理のスギ集成材を被覆した試験体を、予算の都合から毎年1体作成し、公的機関で2時間の加熱試験を行うこと。

得られた加熱試験結果を踏まえて、より合理的な構造を持つ安価に製造できる設計を行い、国土交通大臣認定に合格する耐火性能を備えたスギ2時間耐火集成材を開発する計画で研究を進める。

4. 研究成果

どのようなピンホールがラミナ内にあるかを調べたところ、穴の中心軸でピンホール形状を示している図2の様な結果が得られた。

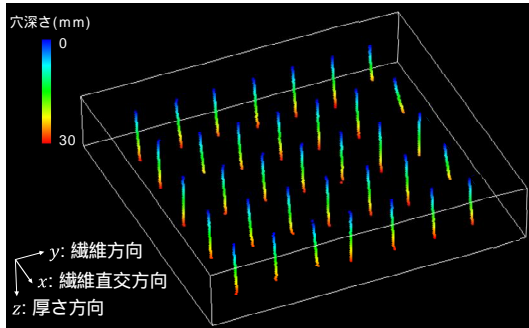


図2 ラミナに異なる直径のドリルであけたピンホールのマイクロX線画像から再構成した曲がり可視化穴形状の例

解析の結果、ピンホールは、ドリルの一刃当たりの切り込み量が大きくても、極端な条件を除いては、それによる曲りは生じないこと、穴はラミナの繊維方向よりも繊維直交方向に曲がり易いこと、ラミナの表裏面における穴位置のずれが統計的に得られたことから難燃薬剤の注入むらを押さえるためのインサイジングパターンにおける繊維方向と繊維直交報告の許容範囲が明らかになったこと、早晚材の密度差の大きい箇所ドリルが曲がるという明確な証拠は得られなかったこと、が分かった。

開発したスギ耐火集成材の2時間加熱試験は毎年1回、合計で3回行った。耐火集成材の試験後の評価は、外観で燃え込んでいると見える部位をチェーンソーで切断し、切断面での荷重支持部の変色や炭化深さにより耐火性能が判断されているが、本研究で開発された耐火集成材は、燃え止まり部を荷重支持部にネジ止めしている構造であることから、試験後にネジを外して、荷重支持部の4面全ての変色や炭化が目視により評価されることになる。

加熱試験は、試験体の熱電対挿入も含めた製作、試験体の加熱試験のための養生、加熱試験のセットで行うが、1式で250万円程度要することから、毎年1回しか行えない。よって、複数の要因を組み合わせ、試験体の上下と4周面の内の相対する2面の最大で合計4条件の耐火性能を1回の試験で確認できる。

2015年度の試験体は、荷重支持部の密度や熱容量の違いを見るために、上半分をスギ集成材、下半分をカラマツ集成材とした。それらの集成材を覆う4面の燃え止まり部のうち隣り合う2面にはレーザ又はドリルでそれぞれインサイジングしたラミ

ナに難燃薬剤を同程度に注入した燃え止まり部をネジ止めた。

2016年度の試験体は、荷重支持部はスギ集成材1種類とし、燃え止まり部は上下でレーザ又はドリルによるインサイジング方法を用いた燃え止まり部を2015年度の試験体と同様に組合せ、レーザとドリルと言うインサイジング方法の違いが耐火性能に及ぼす影響を見た。

2015年度と2016年度の加熱試験結果は若干初年度の方が良かったので、その脱炉後のスギ燃え止まり部のカラマツ荷重支持部に接していた面の状況を図3に、温度経緯を図4に、それぞれ示した。



図3 2時間加熱後9時間で脱炉した試験体の燃え止まり部のカラマツ荷重支持部への接触面の状況

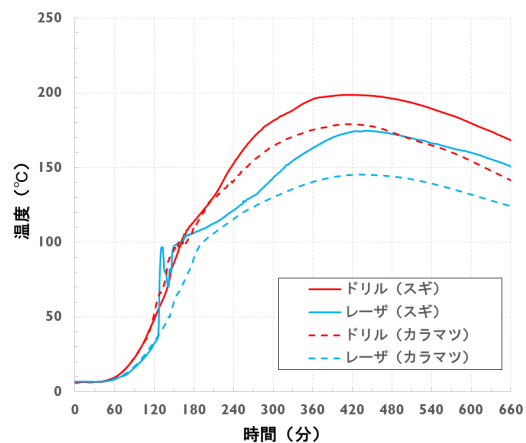


図4 スギ(上部)とカラマツ(下部)集成材の2時間加熱試験における同じインサイジング方法で薬剤注入された燃え止まり部で囲まれた隅角部の温度経緯

カラマツ集成材の荷重支持部に接していた燃え止まり部のネジを外して、それらの表面を並べたところ図3のようになった。何れの表面も右端から120mmは荷重支持部にネジ止めされていた場所、そこから左は燃え止まり部に接していた場所、一番左の炭化が激しく喪失している場所は試験体の最外層である。

耐火性能の有無の判断は、荷重支持部表面の変色の有無と表面温度が木材の熱分解開始温度である 260 を超えないことの両判定基準を満たさなければならない。図 4 は荷重支持部表面の温度経緯を示したもので、4 箇所隅角部の何れもが 260 を大きく下っており、ドリルインサイジング穴から難燃薬剤を注入しラミナで構成される燃え止まり部がレーザーインサイジングのそれより若干温度が高くなる傾向が見られるが、2016 年度加熱試験結果と合わせて判断すると、インサイジング方法には差は見られないことが分かった。

2017 年度は実装を意識して、組立易い構造の試験体を製作し、加熱試験を行った。その特徴は、これまで難燃薬剤注入ラミナ 3 枚を積層接着して構成されていた燃え止まり部を 2 層と 1 層に分けてそれぞれネジ止めする構造に設計変更したところ、ネジ止め層の間に加熱試験中に熱気が通りぬける空間が生じたことから、所定の耐火性能は得られなかった。この不具合が見出されたことから、その対策を行ったスギ耐火集成材を早急に開発し、防火地域や準防火地域におけるオフィスや集合住宅を木造化する技術開発を進め、所謂木促法の推進と国産材自給率 50% の達成、林業・木材産業の活性化に繋げなければならない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

- 1) Keisuke Ando, Nobuaki Hattori, Toshiro Harada, Daisuke Kamikawa, Masayuki Miyabayashi, Kouta Nishimura, Norichika Kakae & Keiichi Miyamoto: Drill and laser incising of lamina for fire-resistive glulam, Wood Material Science & Engineering, 査読有, 18 Apr 2016, DOI: 10.1080/17480272.2016.1172343, **11**(3), 1-6 (2016)
- 2) Listyanto, Tomy, Ando, Keisuke, Yamauchi, Hidefumi, Hattori, Nobuaki: CO₂ Laser Incised Teak and Mahogany Lumber Dried by Microwave and Steam Injection, Forest Products Journal Volume, 査読有, DOI: 10.13073/FPJ-D-15-00082, **66** (7-8), 461-466 (2016)

[学会発表](計 12 件)

- 1) 佐藤帆南、安藤恵介、服部順昭、松原独歩: スギ耐火集成材に用いるドリルインサイジングの加工条件が穴形状に及ぼす影響、第 68 回日本木材学会大会、2018 年 3 月、京都府立大学

- 2) 安藤恵介、服部順昭、松原独歩、宮林正幸、上川大輔、原田寿郎: 蛍光 X 線観察による難燃処理ラミナ中の薬剤分布状況について、第 35 回日本木材加工技術協会年次大会、2017 年 9 月、兵庫県民会館
- 3) 磯村聡一郎、白井正輝、近江正陽、吉田誠、安藤恵介、服部順昭、宮林正幸、上川大輔、原田寿郎、圧縮状態での後加熱による難燃処理されたスギラミナの接着性能の改良、第 35 回日本木材加工技術協会年次大会、2017 年 9 月、兵庫県民会館
- 4) Nobuaki Hattori, Keisuke Ando, Toshiro Harada, Daisuke Kamikawa, Masayuki Miyabayashi, Keiichi Miyamoto, Development of two-hours fire resistive Glulam covered with lamina incised by micro-drill and impregnated fire retardant, IUFRO Div. 5 Conference, 2017 年 6 月, Vancouver, Canada
- 5) Hanna SATO, Keisuke ANDO, Doppo MATSUBARA, Satoru NISHIO, Nobuaki HATTORI, Analysis of Hole Bending in Lamina Incised by Micro Drill with Micro Focus X-Ray CT Scanner, 23rd International Wood Machining Seminar, 2017 年 5 月, Ozarow Mazowiecki, Warsaw, Poland
- 6) 佐藤帆南、安藤恵介、服部順昭、松原独歩: ドリルインサイジング孔のラミナ表裏面におけるずれとマイクロ X 線による孔形状解析、第 67 回日本木材学会大会、2017 年 3 月、九州大学
- 7) 佐藤帆南、安藤恵介、服部順昭、松原独歩: ラミナに施したドリルインサイジングのマイクロ X 線による孔形状解析、日本木材加工技術協会第 34 回年次大会、2016 年 10 月、宮崎市民プラザ
- 8) 穴倉大樹、服部順昭、安藤恵介、原田寿郎、上川大輔、宮本圭一、宮林正幸、改良難燃処理部を有する耐火集成材の 2 時間加熱試験結果について、日本建築学会 2016 年度学術講演会、2016 年 8 月、福岡大学
- 9) 崔 華暉、安藤恵介、服部順昭、上川大輔、原田寿郎、松原独歩、宮林正幸、耐火集成材ラミナにおけるドリルとレーザーによるインサイジングの注入特性について、第 66 回日本木材学会大会、2016 年 3 月、名古屋大学
- 10) 白井正輝、近江正陽、安藤恵介、服部順昭、上川大輔、原田寿郎、宮林正幸、難燃処理されたスギラミナの接着性評価とその改良、第 66 回日本木材学会大会、2016 年 3 月、名古屋大学
- 11) 佐藤帆南、安藤恵介、服部順昭、耐火集成材製造におけるラミナへのドリルインサイジングの穴形状解析について、第 66 回日本木材学会大会、2016 年 3 月、名古屋大学
- 12) Keisuke ANDO, Nobuaki HATTORI, Toshiro HARADA, Daisuke,

KAMIKAWAE, Masayuki
MIYABAYASHI, Kouta NISHIMURA,
Norichika KAKAE, Keiichi MIYAMOTO,
Comparison of Drill Incising to Laser
One from View Point of Producing
Fire-resistive Laminated Timber, 22nd
International Wood Machining Seminar,
2015年6月, Laval University, Quebec,
Canada

6. 研究組織

(1) 研究代表者

服部 順昭 (HATTORI Nobuaki)
東京農工大学・大学院農学研究院・名誉
教授

研究者番号：90115915

(2) 研究分担者

安藤 恵介 (ANDO Keisuke)
東京農工大学・大学院農学研究院・講師
研究者番号：70262227

上川 大輔 (KAMIKAWA Daisuke)
森林研究・整備機構・森林総合研究所 (木
材改質研究領域)
研究者番号：3040651

吉田 誠 (YOSHIDA Makoto)
東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：30447510

近江 正陽 (OHMI Masaharu)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教
授
研究者番号：70233020

東京都立産業技術研究センター (事業化
支援本部)
松原 独歩 (MATSUBARA Doppo)
研究者番号：10560154

(3) 連携研究者

原田 寿郎 (HARADA Toshiro)
森林研究・整備機構・森林総合研究所 (研
究コーディネータ)
研究者番号：50353818

(4) 研究協力者

宮林 正幸 (MIYABAYASHI Masayuki)
宮本 圭一 (MIYAMOTO Keiichi)
福田 聡史 (FUKUTA Satoshi)
西尾 悟 (NISHIO Satoru)