

交付番号	25-11-02
------	----------

2026 年 6 月 30 日

朝日ウッドテック財団研究助成事業
2025 年度 研 究 成 果 報 告 書

報告者

所属機関	静岡大学大学院農学領域
職 名	准教授
氏 名	小川敬多

研究課題

細胞内樹脂含浸技術の実大スケール接合部への展開

研究期間

2025 年 4 月 1 日 ～2026 年 3 月 31 日

〔 記入上の注意 〕

- ・この「研究成果報告書」は、当財団でとりまとめ、Web サイトや印刷物等で公表する予定です。
- ・報告書はA 4 判（横書き）4 枚程度にまとめ、必要に応じて図表等を挿入してください。
- ・本助成金による研究の発表論文（発表予定を含む。）の別刷り又は作成した資料がありましたら、添付してください。

1 研究の背景と目的

地球規模での環境問題が深刻化している昨今、建築・建設分野における環境負荷の低減は避けることができない課題である。木材は生産・加工等における環境負荷の低さや、建築使用時の炭素固定能力が注目されており、木造建築の普及拡大は世界的な潮流となっている。この情勢を支え、大規模木造建築を実現させていくことが重要であり、木材強度学・木質構造学に従事する申請者にとって遂行すべき課題は、大規模建築を実現するための科学技術の創出である。

木質構造物の構造特性において、接合部の耐力性能が支配的となる。したがって、高耐力性能を有する接合技術の開発が肝要である。しかしながら、接合部の耐力性能の確保は、現代でもなお大きな課題として直面している。木質接合部は部材や金物が複雑に組み合わさって耐力を発現するため、木材の弱点的負荷モード（例えばめり込み）が部分的に作用するケースが多い。そのため、十分な耐力確保に至れないことが多く、接合部の高耐力化は喫緊の課題である。

木材は多孔質材料であり、細胞内には大きな空隙を有している。木材がめり込み変形を受ける現象をミクロレベルに考えると、細胞の圧潰であることに着想した。すなわち、空隙が存在することによってめり込みが生じることから、予めこの空隙を無くせばめり込み補強が可能と考えた。そこで採用したのが、福田らによって報告されたUVレーザーを用いた樹脂含浸技術（福田ら：木材学会誌，64：28-36，2018）である。この概要を図1に示す。

筆者らは2019年ごろから樹脂含浸による高耐力化を手掛け始めており、要素レベルでの高耐力化効果を報告してきた（Ogawa et al.: J Wood Sci. 70:28, 2024）。小試験体を用いためり込み試験（ここでは部分横圧縮試験と同義）を行った結果では、スギ材は樹脂含浸により剛性が1.64倍、降伏耐力は2.93倍に増大した。

本研究では樹脂含浸技術によるめり込み補強を実大スケールの木質構造物へ展開することを目的としている。実際に大規模木造で使われうる寸法形状の接合部試験体を作製して力学試験を実施し、樹脂含浸による高耐力化効果を明らかにする。

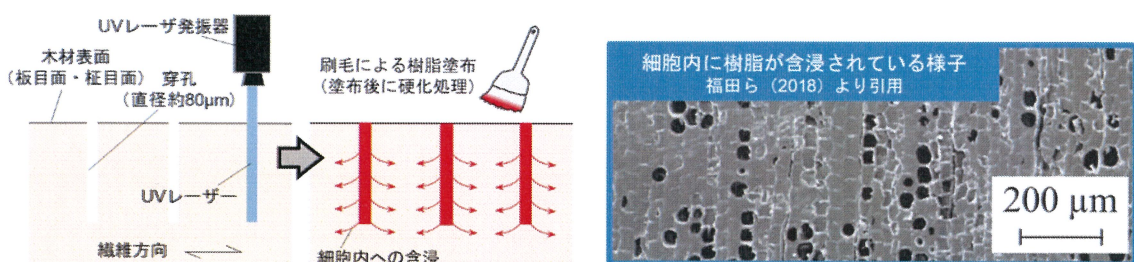


図1 細胞内への樹脂含浸技術。これにより、荷重作用時の細胞の圧潰を防ぐ

2 試験体と試験方法

本研究では引きボルト式による集成材の柱梁接合部を対象とした。接合部試験体を図2に示す。断面120×300mmの柱材と断面120×450mmの梁材（ともにスギ構造用集成材，E65-F225）をM16（材質：ABR490）の引きボルトでT字型に接合した。ボルト端部ではそれぞれ角座金とナット（ダブルナット）を用い、スパナを使って手締めで締め付けた。角座金の寸法は図2で示す通りである。

樹脂含浸を施さないコントロールシリーズと、ウレタン含浸したシリーズを用意した。ウレタン含浸した試験体において、図2の赤で示す箇所（接合部が回転変形時に

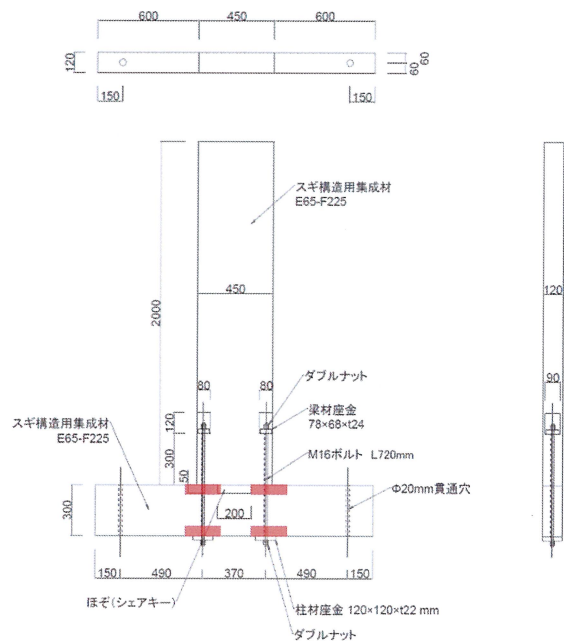


図2 引きボルト式柱梁接合部試験体



図3 樹脂含浸している様子

柱材がめり込み変形を受ける箇所)に処理を施した。接合部試験体を組み立てる前に、柱材の上下面を厚さ 30mm で縦挽きした。その板材に UV レーザーを照射して穿孔を設けた。この穿孔の目標深さを 10mm とし、穴密度は 667holes/cm² とした。詳細な照射条件は既往研究 (Ogawa et al.: J Wood Sci. 70:28, 2024) と同じである。ここではウレタン樹脂 (寿化工株式会社, PS-NY6, 蒸発残分約 40%) を使用した。穿孔部分を図3のように紙粘土で囲い、そこに当該樹脂を流し入れた。この状態で1週間以上静置して硬化させた。硬化後、プレーナーで集成材上面の余剰分を削り、その後の柱材の上下面に複数本のビスで取り付け戻した。

接合部の力学試験の様子を図4に示す。梁材を試験機の下部にボルトで固定した。この状態で梁材の上部(柱材上面から 1770mm の位置)をアクチュエータと接続した。

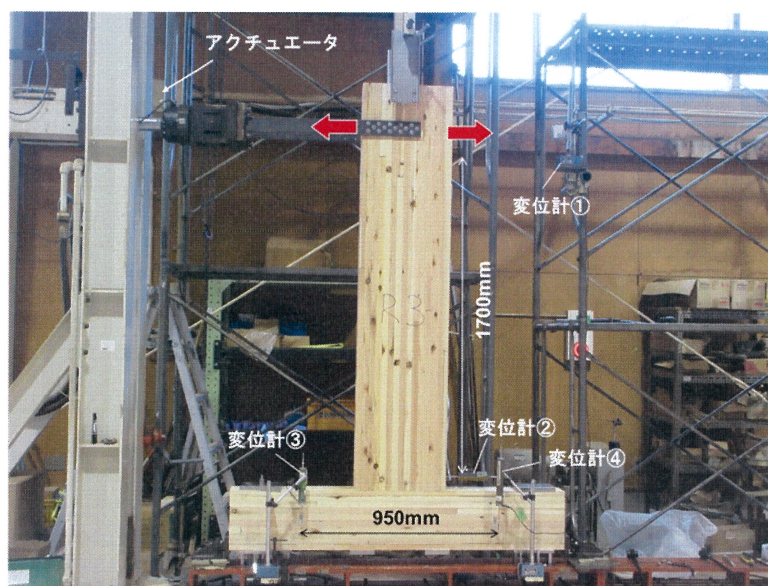


図4 接合部の力学試験セットアップ

アクチュエータから図の赤矢印で示すような水平方向加力を行った。加力スケジュールは木造軸組工法住宅の許容応力度設計（日本住宅・木材技術センター，2017）で記述される正負交番負荷のスケジュールで実施した。加力中のモーメントと変形角の関係を調べた。アクチュエータに取り付けたロードセルで荷重を測定し、その読み取り値に柱材上面からアクチュエータまでの鉛直距離 1770mm を乗じてモーメントを求めた。変形角は、変位計①と②の差を両変位計の鉛直距離で除した角度に、変位計③と④の差を両変位計の鉛直距離で除した角度を引いた値とした。

樹脂含浸を施さないコントロールシリーズとウレタン含浸したシリーズで繰り返し数を各 3 体とし、計 6 体の試験を実施した。

3 結果と考察

試験により得られたモーメントと変形角の関係を図 5 に示す。C（上段）がコントロールシリーズ、R（下段）が樹脂含浸したシリーズである。正負方向の両方とも、モーメントが約 20kNm に至るまでは直線的な挙動を示した。降伏後も変形角の増大に伴ってモーメントは増加し続けた。変形角が 0.1rad に至っても破壊は見られなかった。完全弾塑性モデルにより得られた全 6 試験体の特性値を表 1 に示す。C シリーズと R シリーズを比較すると、降伏モーメント・初期剛性などで平均値が極めてわずかに R

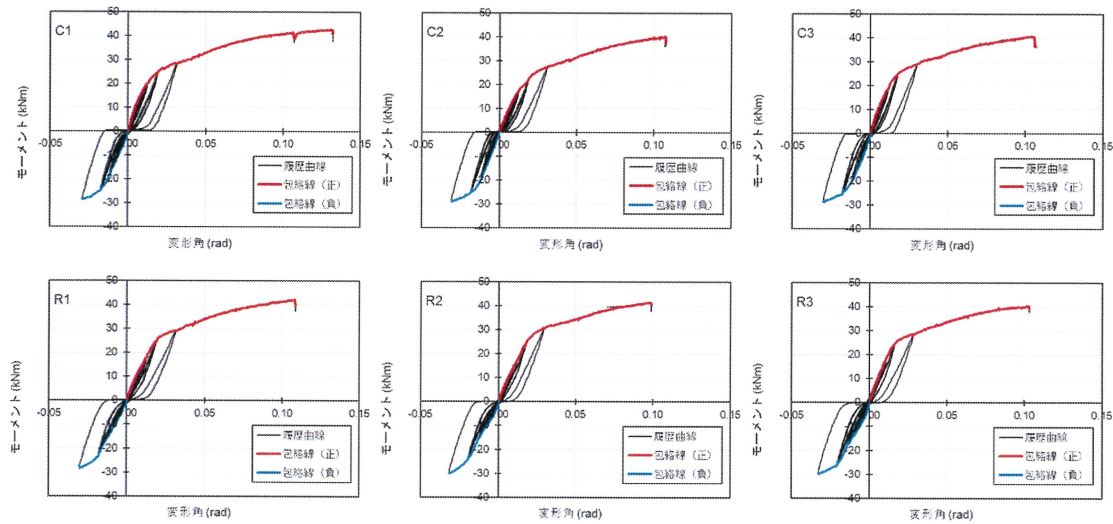


図 5 モーメントと変形角の関係

表 1 完全弾塑性モデルにより求めた特性値

	降伏モーメント kNm	初期剛性 kNm/rad	最大モーメント kNm	終局モーメント kNm	1/120rad時モーメント kNm
C1	23.67	1374	42.54	37.19	15.27
C2	22.79	1168	40.23	34.70	12.98
C3	23.80	1470	40.56	35.42	15.08
C 平均	23.42	1338	41.11	35.77	14.44
R1	25.30	1300	42.06	36.65	12.91
R2	26.91	1288	41.44	36.78	12.60
R3	24.39	1487	40.25	35.42	14.20
R 平均	25.53	1359	41.25	36.28	13.24

シリーズが上回った。しかしながら、ほぼ同等の性能と考えられる。このことから、今回の樹脂含浸で試みた引きボルト式接合部の高耐力化は、明確な性能向上は確認されなかった。

接合部で見られた変形跡を図6で比較する。余長部（直接圧縮力が作用していない箇所）での変形の様子に着目すると、樹脂含浸を施した場合では余長部での変形がなだらかになっている。このことから、樹脂が含浸されたことにより、余長部での変形を引き起こし易くなっていると考えられる。

以上の結果より、樹脂含浸は余長部での変形をより大きくしたが、実大接合部レベルでの力学的特性値の顕著な向上にはつながらなかった。

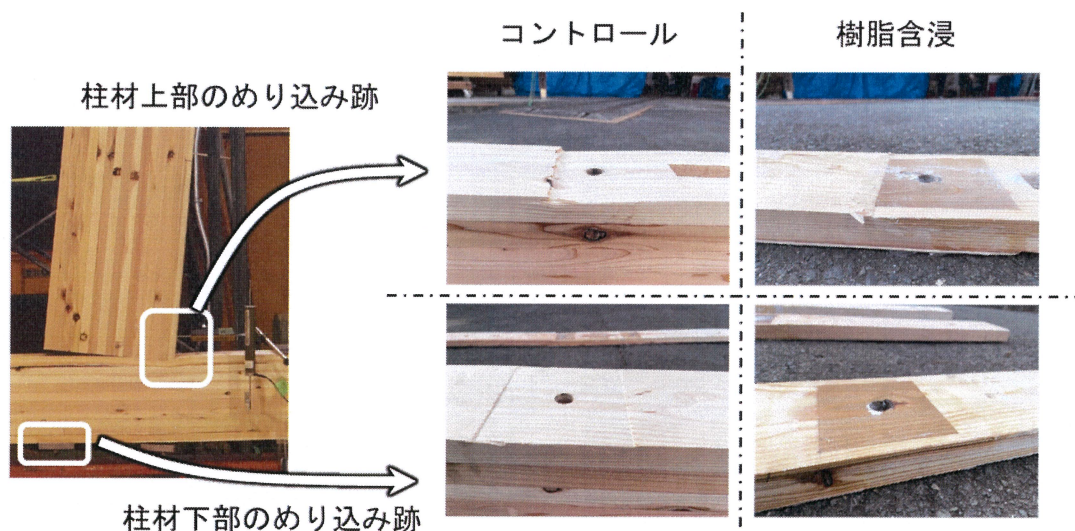


図6 むり込み余長部での変形跡の比較

4 研究成果の活用と今後の見通し

本研究を実施するにあたり、樹脂含浸による特性値の向上効果を事前に計算でシミュレーションした。木造ラーメンの評価方法・構造設計の手引き（木造建築新工法性能認証委員会編，2016）に掲載される計算式で剛性と降伏耐力を求めたところ、大幅な性能向上が見込まれた。しかしながら、実際の試験結果はそうならなかった。この原因として考えられるのが、実大材での降伏変位や余長部変形の見積りである。現行式では剛性算出において集成材断面の高さ（断面の長辺寸法）を入力するが、今回のような部分的な補強の場合に適用できるか不明である。また、余長部変形においても集成材断面の高さを用いた剛性増大を計算するが、その適用性についても不透明である。今回のこのような結果を通して、部分処理された木材の変形性状に関してより詳細を把握する必要性が明確になった。今後はこれらの解明に取り組むことが重要である。