－研究記録（Research Note）－

深浸潤処理を用いたCLTの保存処理方法に関する検討

宮内　輝久，大橋　義徳[*1]，宮崎　淳子[*1]，高梨　隆也[*1]，渋井　宏美，
伊佐治　信一，茂山　知巳[*2]，須貝　与志明[*2]，山本　哲[*3]，
孕石　剛志[*3]，森　拓郎[*4]，松永　浩史[*5]

Investigation of CLT preservation treatment using deep penetration treatment

Teruhisa MIYAUCHI, Yoshinori OHASHI, Junko MIYAZAKI, Ryuya TAKANASHI, Hiromi SHIBUI, Shinichi ISAJI, Tomomi SHIGEYAMA, Yoshiaki SUGAI, Akira YAMAMOTO, Tsuyoshi HARAMIISHI, Takuro MORI, Hiroshi MATSUNAGA

キーワード：直交集成板（CLT），非加圧注入処理，浸潤度，有機溶剤系木材保存剤，
インサイジング

直交集成板（CLT）の住宅や非住宅建築への利用は世界的に増加しているが，その中には生物劣化のリスクが高い地域も含まれている。このような地域では腐朽や蟻害を防ぐため，建築物の水分管理に加えて，CLTの保存処理が必要になると考えられる。最も効果的な保存処理方法である加圧注入法は，そのサイズの大きさからCLTに最適な保存処理方法と言い切れない。また，加圧注入処理されたラミナを使用したCLTの製造では，再乾燥のコストや，ラミナの変形や接着性能の低下などが問題となる可能性がある。国内では“深浸潤処理”と呼ばれる非加圧注入法が，土台に用いられる製材や集成材の保存処理方法としてシェアを伸ばしている。深浸潤処理では特別に設計された刃物を用いたインサイジングと有機溶剤系木材保存剤の表面処理（製材・集成材の場合は噴射処理）により実施される。本研究では，深浸潤処理をCLTに適用することを試みた。厚さ150 mm，幅500 mm，長さ800 mmの5層5プライのCLTと，厚さ150 mm，幅900 mm，長さ3400 mmの5層5プライのCLTを用いて，実験室規模と実大規模の検討を実施した。いずれの場合も，インサイジングはラミナの段階で実施した。実験室規模の検討では浸漬による薬剤処理を行ったが，CLTの中央部の表面から深さ10 mmの範囲の浸潤度が98%であった。しかし，内層のラミナにはあまり薬剤が浸透していなかった。実大規模の検討では，浸漬処理と表面処理（塗布処理）による薬剤処理を行った。CLT中央部の表面から深さ10mmまでの浸潤度は，浸漬処理で93%，塗布処理で90%であった。CLTの積層面における薬剤の浸潤は少なかったが，このことはインサイジング処理が施されていないことによると考えられた。実用化にはさらなる検討が必要であるが，深浸潤処理はCLT保存処理方法の一つとなり得ることが期待される。

1. はじめに

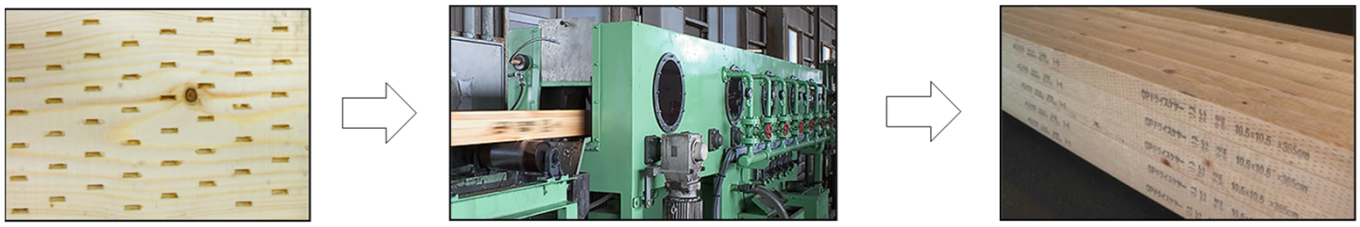
マスティンバー（Mass timber，以下「MT」）のひとつである直交集成板（Cross-Laminated Timber，以下「CLT」)は，1990年代にオーストリアで開発され，ヨーロッパで広まった。現在では，北米，オーストラリア，アジアなど欧州以外の地域でも，住宅や非住宅の建築物にCLTを使用する事例が増えている。日本では，2016年4月に日本で初めてCLT工場が稼働して以来，CLT工場の数は9工場に増加し，CLTを利用した建築物の数も年々増加している。

Wangら[1)]（Wang et al， 2018）は，CLTを含むMTを用いた建築物が生物劣化のリスクの高い地域に広がっているため，生物劣化が生じるような環境を作らないための特別な配慮が必要であると述べている。

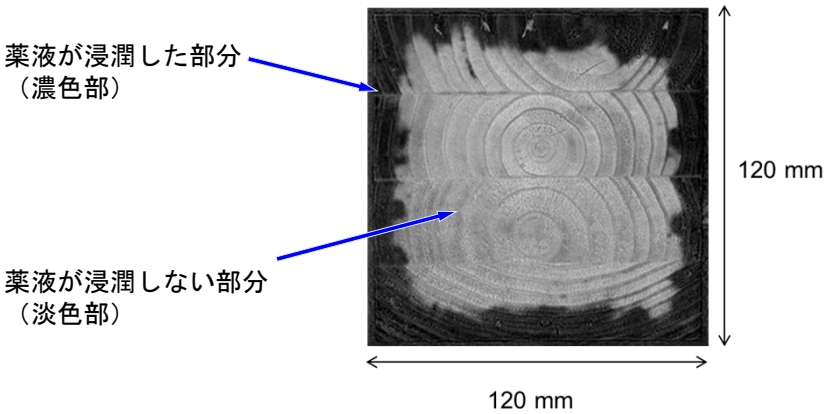
無垢材や他の木質材料と同様に，含水率(MC)が高くなることでCLTも生物劣化を受けやすくなる。Cappellazziら[2]は（Cappellazzi et al, 2020）は，木質構造において，もっとも実践しやすい生物劣化対策は，水分を排除するように設計することであると述べている。水分は木質材料の物理的性能にも悪影響を及ぼす[2, 3]。したがって，建築時およびその後の水分侵入は，CLT等の信頼性を確保するうえで重要な課題であることから，水分の侵入の特徴，物理的性能への影響や生物劣化の発生に対する影響が調査されている[3–7]。

木質材料の生物劣化を防止することを目的とした処理方法のなかでも，木材保存剤の加圧注入処理は最も効果的な方法である。しかし，CLTのサイズは，加圧注入処理の主たる対象である製材や集成材と比べて巨大であり，一般的な加圧注入装置での処理には不向きであると考えられている[8]。加圧注入処理されたラミナを用いてCLTを製造する方法，いわゆるラミナ処理であればCLTでも実施可能であると考えられる。しかし，処理後に必要なラミナの再乾燥による物理的損傷や，製造コストの増加が懸念されている[2]。また，処理後のラミナの表面を平滑にするために行われるプレーナー仕上げにおいて，最も処理の効果が高いと考えられるラミナの表層部が除去されること，薬剤含む切削屑の再利用や廃棄に課題が残る[8]。StirlingとMorris[8]は，ラミナ処理後のプレーナー仕上げを省略したCLTの製造を試みたが，接着性能が低下することを報告している。そのほか，CLTの製造に使用する接着剤の種類によるが，処理ラミナを用いたCLTでは，接着性能が低下することが報告されている[9]。以上のことから，加圧注入処理以外のCLTの保存処理方法を開発する必要があると考えられる[1,2]。

日本では，深浸潤処理された製材や集成材が木造住宅の土台におけるシェアを高めている。この処理方法は，(株)ザイエンスにより開発されたもので，製材や集成材に対し加圧注入処理に匹敵する浸透を達成することができることから，「深浸潤処理」と呼ばれている[10]。この処理は，特別に設計された刃物を用いたインサイジング処理とシプロコナゾールとビフェントリンを有効成分とする有機溶剤系木材防腐剤の吹付処理で構成されている（**第1図**）。**第2図**に示すように，深浸潤処理では浸透性の低いカラマツでも十分な浸透を達成できることが確認されており[11]，(公財)日本住宅・木材技術センターによるAQ認証を受けている。



第1図　深浸潤処理の工程



第2図　深浸潤処理を行ったカラマツ集成材の中央断面における浸潤の様子
（表面近傍の淡色部は薬剤が浸透した部分）

本検討では，深浸潤処理をCLTに適用することを試みた。汎用的なインサイジング装置では，実大サイズのCLTを処理することができない。そこで，ラミナの段階でインサイジングのみを行い、これを積層接着することでインサイジングが施されたCLTを製造した。また，薬剤の噴射処理の代わりに，浸漬または塗布処理を行った。

2. 実験方法

2.1 実験室規模の検討

2.1.1 CLT試験体の作製

インサイジングを行ったラミナを用いたCLTパネルの製造とその浸漬処理を実験室規模で行うため，スギラミナを用いて5層5プライCLTを製造した。厚さ33 mm，幅106 mm，長さ3500 mmのスギラミナのうち，心材部分のみのものを選びCLTの製造に用いた。平行層用として長さ1810 mmに切断したラミナを，直交層用として長さ1000 mmに切断したラミナを用いた。次に，これらのラミナの木口面を除く4面にインサイジングを行った。インサイジング後，ラミナを厚さ30 mm，幅100 mmに仕上げ，CLTの製造に用いた。これらのラミナを用いて，水性高分子イソシアネート系（API）またはフェノールレゾルシノールホルムアルデヒド系（PRF）接着剤で5層5プライのCLTを作製した。いずれの接着剤の場合も塗布量は200g/m^{2}とした。また，圧締圧はいずれも0.7MPaとし，圧締時間はAPIの場合は60分，PRFの場合は18時間とした。各CLTから約500（幅）×800（長さ）mmのCLT試験体を4枚切り出した。そのうち3枚の試験体に浸漬処理を行った。

2.1.2 浸漬処理

CLT試験体をプラスチック容器に入れ，試験体全体が沈むのに十分な量の薬剤を添加した。浸漬時間は10分間とした。浸漬処理後のCLT試験体を室温下で1か月以上静置した。

2.2 実大規模の検討

2.2.1 CLT試験体の作製

実大規模の検討で用いたCLTの製造は，銘建工業(株)のCLT工場(岡山県)で実施した。CLTの製造は，厚さ30 mm，幅125 mm（仕上げ後寸法）フィンガージョイントされたスギラミナを用いて実施した。平行層と直交層のラミナの長さは，それぞれ8052と1952 mmとした。最外層に用いるラミナの板目面のうちCLTの外側に現れる面に，インサイジングを実施した。接着剤にはAPIを用い，5層5プライのCLTを2枚製造した。製造したそれぞれのCLTから幅900 mm，長さ3400 mmのCLT試験体を4枚切り出した。4枚のうち1枚（計2枚）を浸漬処理，他の1枚（計2枚）を塗布処理に用いた。

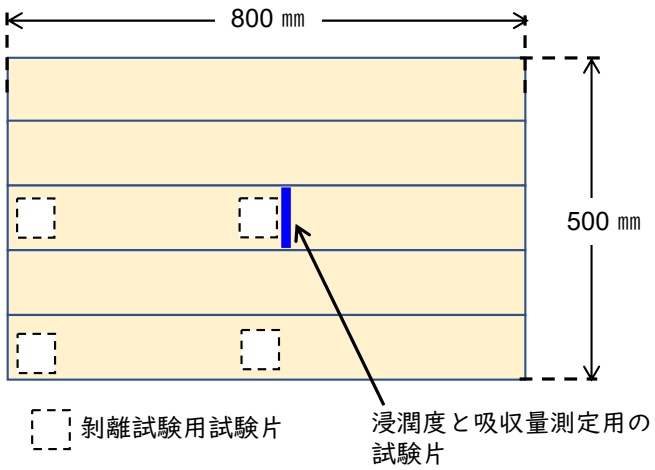
2.2.2 浸漬処理と塗布処理

浸漬処理は試験体を水平に入れることができる大きさの容器を用いて行った。CLT試験体全体が沈むのに十分な量の薬剤にCLT試験体を10分間浸漬した。塗布処理は，プラスチック容器に入れた薬液をCLT試験体の表面に流し，その溶液をローラーで広げる方法で行った。積層面の塗布処理は，薬剤を十分にしみこませたローラーを用いて実施した。これらの処理は，(株)ザイエンスの広島製造所で実施した。処理後のCLT試験体は，室温で1ヶ月以上静置した。

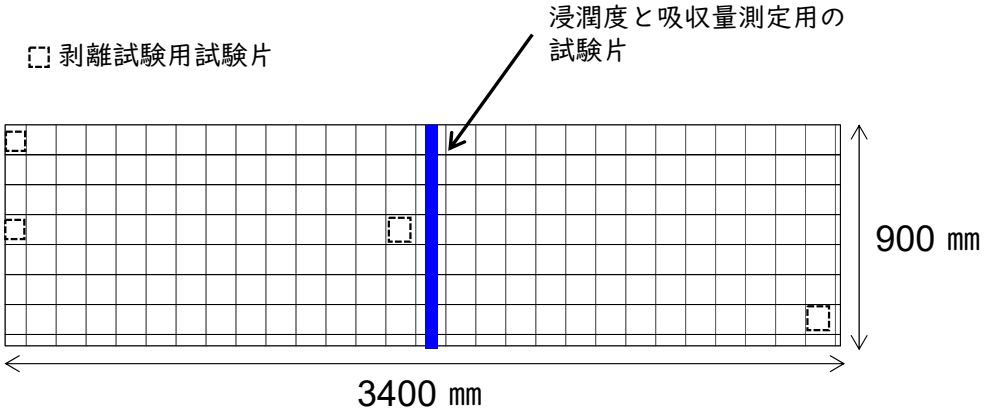
2.3 浸潤度・吸収量の測定と剥離試験

2.3.1 浸潤度と吸収量の分析

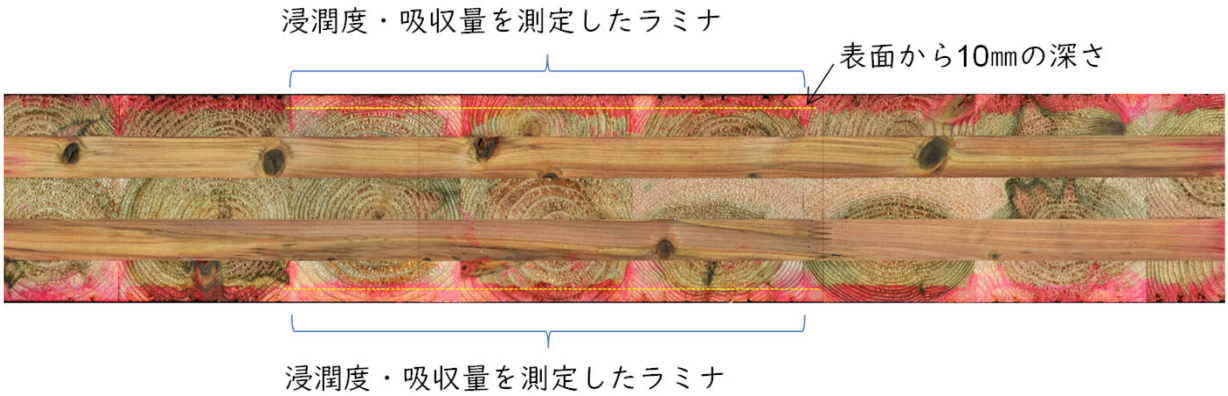
薬剤の浸潤部分は，インジケーターとして薬剤に添加されている亜鉛化合物に対するジチゾン（1,5-Diphenylthiocarbazone）の呈色反応によって可視化した。各CLT試験体の中心部分から切り出した試験片の断面にジチゾン溶液を噴霧し，呈色させた。浸潤度はCLTの表裏面から10mmの深さまでの面積を対象とし，その面積に対して薬剤が浸透した面積の割合（%）として算出した。実験室規模の試験では**第3図**に示す位置から，実大レベルの試験では**第4図**に示す位置から試験片を切り出した。実大規模の試験では，試験片に含まれる最外層の6つのラミナ断面ごとに，浸潤度を測定した（**第5図**）。



第3図　浸潤度・吸収量測定用試験片と剥離試験用試験片の採取位置



第4図　浸潤度・吸収量測定用試験片と剥離試験用試験片の採取位置



第5図　試験片上の浸潤度・吸収量の測定位置

有効成分の吸収量を測定するため，浸潤度の測定を行った部分を切断し，これを粉砕したものをメタノールによる超音波抽出に供した。抽出されたシプロコナゾールとビフェントリンを高速液体クロマトグラフ（HPLC）により定量分析し，吸収量を求めた。

2.3.2　剥離試験

CLTの日本農林規格（JAS3079）に基づき，減圧・加圧処理による剥離試験を行った。第3，4図に示す位置から，幅と長さが75mmの試験片を採取した。剥離率（D_{all}）は式（1）により算出し，各接着層における全剥離離長さの割合（D_{indi}）（2）により算出した。

$$D_{all}(\%) = \frac{\text{すべての接着層の剥離長さの合計}}{\text{すべての接着層の長さ}} \times 100 \quad (1)$$

$$D_{indi}(\%) = \frac{\text{各接着層における剥離長さの合計}}{\text{各接着層の長さ}} \times 100 \quad (2)$$

CLTのJASで認められている基準値はDall≦10％，Dindi≦40％である。結果は“「基準を満たす試験片の数」／「試験片の全数」”として表した。

3．結果と考察

3.1　実験室規模の検討

インサイジングを行ったラミナを用いたCLTの製造とCLT試験体の浸漬処理の様子を第6図に示す。CLT試験体の中央部の浸潤度は平均98％であった（第1表）。また，この部分における有効成分の吸収量（第1表）は，製材や集成材のAQ認証の吸収量よりも高かった。CLT試験体の内層部のラミナでは薬剤の浸透があまり認められなかったが，この処理方法によってCLTの表面から一定の深さの範囲で保護層を形成できると考えられた。また，剥離試験については，処理による影響は認められなかった。

3.2　実大規模の検討

実験室規模の検討の結果，内層ラミナへの薬剤の浸透がほとんど認められなかったことから，内層に

インサイジング工程　積層接着工程　浸漬処理工程

第6図　実験室規模の検討における各工程の様子

第1表　実験室規模での深浸潤処理CLTの結果

	薬剤付着量			浸潤度(%)	吸収量(kg/m³)		剥離試験結果
	w/w (%)	g/m²	kg/m³		CYP	BIF	
平均	3.4	758.0	14.3	98.0	0.29	0.08	12/12
標準偏差	0.1	32.9	0.6	0.3	0.04	0.01	-

用いるラミナではインサイジングの効果がないと考えられた。そこで，実大規模の検討では，最外層のラミナの表面側1面だけをインサイジングすることにした。この方法では接着面にはインサイジングが行われないことから，仕上げ切削後のラミナに対してインサイジングを行った。

第7図は，ラミナのインサイジング，これらを用いた積層接着および浸漬と塗布処理の様子を示したものである。CLT中央部における表面から深さ10mmまでの浸潤度は，浸漬処理で93%，塗布処理で90%であった（**第2表**）。しかし，CLT試験体の側面において，薬剤が浸潤していない部分が確認された。これはラミナの側面にインサイジング処理が施されていないことによると考えられる。

CLTの側面からの浸潤を十分に確保する方法を開発する必要があるが，部分的にインサイジング処理を行ったラミナを用いてCLTを製造し，浸漬処理あるいは塗布処理による薬剤処理を行うことで，CLTの表面から一定の深さの範囲で薬剤による保護層を形成できると考えられた。

インサイジング工程　積層接着工程　浸漬処理工程　塗布処理工程

第7図　実大規模の検討における各工程の様子

第2表　実大規模での深浸潤処理CLTの検討結果

		薬剤付着量			浸潤度(%)	吸収量(kg/m³)		剥離試験結果
		w/w(%)	g/m²	kg/m³		CYP	BIF	
浸漬処理	平均	2.0	539.8	8.7	93.0	0.30	0.09	8/8
	標準偏差	0.0	0.0	0.0	6.6	0.1	0.03	-
塗布処理	平均	1.7	472.3	7.6	90.0	0.28	0.09	8/8
	標準偏差	0.3	95.4	1.5	0.8	0.1	0.03	-

剥離試験の結果では，深浸潤処理は接着性能に影響を及ぼしていないことが確認された。しかし，インサイジング処理がCLTの強度性能に影響を与えることが予想されるため，深浸潤処理を用いたCLTの保存処理技術を実用化するためには，インサイジング処理が強度性能に及ぼす影響を評価する必要がある。さらに，この処理方法で製造されたCLTの防腐・防蟻性能の評価を行う必要がある。

4. まとめ

インサイジング処理を行ったラミナを用いてCLTを製造し，これに対し浸漬処理や塗布処理を行うことで，CLTに深浸潤処理が適用できる可能性が見いだされた。この方法によれば，インサイジング装置を導入することで，あらゆるサイズのCLTの深浸潤処理をCLT工場でも実施することが可能となり，効率的なCLTの保存処理方法となり得ることが期待できる。この方法の実用化に向けて，インサイジングがCLTの強度性能に及ぼす影響，この方法で製造されたCLTの防腐・防蟻性能の評価を実施する予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」の支援を受けて行った。また，本研究の一部は第52回国際木材保存会議(IRG52)で発表した。

6. 引用文献

1) Wang J Y, Stirling R, Morris P I, Taylor A, Lloyd J, Kirker G, Lebow S T, Mankowski M, Barnes H M, Morrell J J: Durability of mass timber structures: A review of the biological Risks. Wood and Fiber Science 50, 110-127 (2018).

2) Cappellazzi J, Konkler M J, Sinha A, Morrell J J: Potential for decay in mass timber elements: a review of the risks and identifying possible solutions. Wood Material Science & Engineering, 15:6, 351-360 (2020).

3) Shirmohammadia M, Leggatea W, Redman A: Effects of moisture ingress and egress on the performance and service life of mass timber products in buildings: a review. Construction and Building Materials, 290, 123176 (2021).

4) Mankowski M E, Shelton T G, Kirker G, Morrell J J: Ongoing field evaluation of Douglas-fir cross-laminated timber in a ground proximity protected test in Mississippi. Proceedings of American Wood Protection Association 114, 132-137 (2018).

5) Morrell J J: Durability testing of mass timber building elements: a call for a collaborative trial. International Research Group on Wood Preservation Document No IRG/WP/19-40875, Que-bec, Canada (2019).

6) Schmidt E, Riggio M:Monitoring moisture performance of cross-laminated timber building elements during construction. Buildings, 9, 144 (2019).

7) Sinha A, Udele K E, Cappellazzi J, Morrell J J: A method to characterize biological degradation of mass timber connections. Wood and Fiber Science, 52, 419-430 (2020).

8) Stirling R, Morris, P I: Development of protective treatments for cross-laminated timber. Proceedings of American Wood Protection Association 113, 210-213 (2017).

9) Lim H, Tripathi S, Tang J D: Bonding performance of adhesive systems for cross-laminated timber treated with micronized copper azole type C (MCA-C), Construction and Building Materials, 232, 117208 (2020).

10) 茂山知己：深浸潤処理法，木材保存，44，140-141 (2018).

11) Shibui H, Miyauchi T, Shigeyama T, Ikeda M, Sugai Y: Penetration pathway of oilborne preservative in heartwood of Japanese larch (Larix kaempferi). International Research Group on Wood Preservation Document No IRG/WP/19-40886, Quebec, Canada (2019).

—性能部　保存グループ—
—*1 技術部　生産技術グループ—
—*2 株式会社　ザイエンス—
—*3 銘建工業　株式会社—
—*4 広島大学大学院　先進理工系科学研究科
建築学プログラム—
—*5 国立研究開発法人　森林研究・整備機構
森林総合研究所—

（原稿受理：2021.12.6）