

木材の液体浸透性とインサイジングについて

性能部 保存グループ 平良 尚梧

■はじめに

樹木は、太陽光のエネルギーを利用することで、葉から吸収した二酸化炭素（CO₂）と、根と葉から吸収した水を原料として糖（グルコース）をつくります。この糖がさらにセルロース、ヘミセルロース、リグニンに変換されて幹に蓄積されることで、樹木の「からだ」が成長します。人類は樹木の「からだ」を、木材という材料として利用しています。

木材は、鉄やコンクリートよりも比重が低い割に高強度で、適度な断熱性や遮音性を有します。また、適切な林業のサイクルのもとでは再生可能で、枯渇しないことも利点です。さらに、CO₂が固定されてつくられる木材を様々な用途で使用することで、CO₂を長期間貯蔵することもできます。産業活動により大気中CO₂濃度が急激に上昇した状況を緩和するため、木材利用の促進が求められています。

木材を利用する上で障壁となるのが、①腐る（菌・細菌による分解）、②虫に食われる、③燃える、④風化する（太陽光・雨水の作用）といった木材の本質的な特性です。私が所属する性能部保存グループでは、これらの障壁を取り除くための技術開発を行っています。最終製品の設計を工夫し、メンテナンスしやすい構造、雨水が溜まりにくく腐朽が発生しづらい構造としたりする等の取り組みもありますが、木材製品の信頼性を向上する方法の一つが、防腐剤等の薬剤を用いた木材の保存処理です。

今回は、木材中への薬剤浸透を向上させるために行われるインサイジングについて、最近の研究動向も交えて紹介します。

■木材の構造と液体浸透性の異方性

通常、液体である保存処理薬剤を有効に浸透させるためには、液体浸透性に影響する木材構造について考えることが重要になります。木材には、木口面、板目面、柾目面の基本的な3断面があります（図1）。この3断面の構造の違いが分かるように電子顕微鏡で拡大して示したのが、図2です。上下方向に多数のストロー状の構造が見えますが、これは樹木の根と葉の間の水分輸送を担う仮道管です（広葉樹の場合は道管）。この構造から推測されるように、木材は木口面からの

液体浸透性が他の2面（柾目・板目面）に比べて極めて高くなります。また、板目面は柾目面よりも浸透性が高いですが、これは板目面からみて奥向き・水平に伸びる放射組織の影響だと言われています（図2bの矢印）。また、柾目面を拡大すると、隣り合う仮道管どうし（または仮道管と放射組織）を繋ぐ壁孔（ピット）も確認できます（図2cの矢印）。ピットの閉鎖の割合が液体浸透に重要であると考えられています。このように、木材構造から、液体浸透性が方向によって異なること（木材の浸透異方性）が理解できます。

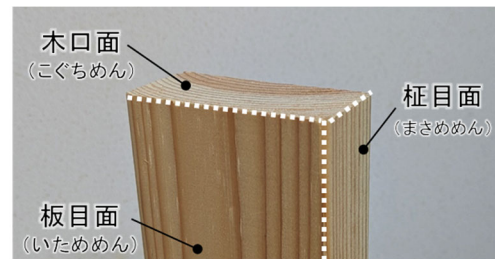


図1 木材（スギ）の3断面。

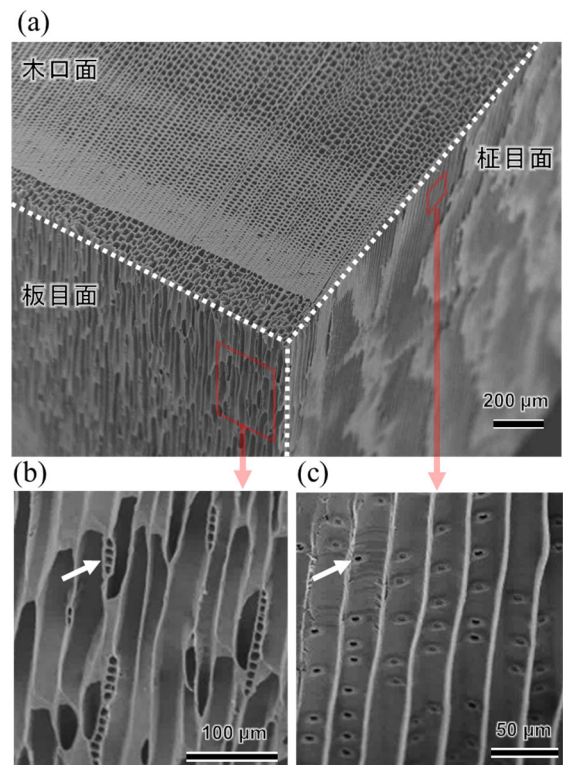


図2 木材（スギ）の走査電子顕微鏡画像。(a), 3断面；(b), 板目面に現れる放射組織；(c), 柾目面に現れる壁孔。

■インサイジングについて

保存処理では、木材の浸透異方性を改善し、木材の全ての面に薬剤を効果的に浸透させるために、インサイジングが行われます。インサイジングとは、一般的に、板目面や柾目面の表面に多数の刺し傷・切り込み状の穴を形成する加工のことです。浸透性の高い木口面の露出を増やすことによる、薬剤浸透の促進を目的としています。土台やガーデニング資材、線路上の木製枕木などで、刺し傷が入った木材を目にする場面も多いかと思われま



図3 インサイジングの例.

■インサイジングの歴史

インサイジングは19世紀頃のヨーロッパで始まったとされています^{2,3)}。当初は、大きな刃が付いた斧を用いてインサイジング加工が行われたようです。現在の一般的なローラー型インサイジング装置は、20世紀中頃までに考案されました。この装置では、刃を埋め込んだローラーを木材に押し付けながら回転させ、インサイジングを行いながら送材します(図4)。



図4 ローラー型のインサイジング装置。
(宮内ら, 林産試験場報, 2022)

ローラー型装置に取り付けるインサイジング刃も、改良が続けられてきました。当初は枕木や電柱用のインサイジングが中心でしたが、住宅用防腐土台やガーデニング・エクステリア用防腐木材の品質向上が求められるようになると、インサイジング刃形状や穴の配置、穴密度の再検討が行われました。例えば、枕木よりも小幅の材を用いる場合、割れにより損傷しないよう、幅の細い刃が開発されました。林産試験場におい

ても、難浸透性の道産樹種の刃形状や穴密度が検討されました⁴⁾。

インサイジング刃は通常、木材に圧入し易くするために先の尖ったナイフ型に設計されてきました。ナイフ刃によるインサイジングでは、主に繊維を裂くことで切り込み状の穴を形成するため、繊維の復元力により、防腐処理後は穴が閉じることもあります。一方、2000年代に入ってから、刃の先端が平坦なフラット型の刃も用いられています。この刃を用いると、体積が大きく、処理後も閉塞しない穴を形成できます。フラット刃によるインサイジングを用いた防腐処理方法として、近年注目される「深浸潤処理」があります⁵⁾。この方法では、薬剤を体積の大きい穴に溜め、徐々に浸透させることができます。

(a) ナイフ型



(b)フラット型 (茂山 2018)



図5 ローラー型装置に用いるインサイジング刃.

■インサイジングによる強度への影響について

刃形状や穴の密度・配置を工夫することで、インサイジングによる強度低下を最小限にとどめつつ、薬剤浸透性を確保でき、腐朽によるさらなる強度低下を防ぐことができます。インサイジングは、初期強度は多少低下(1割以内)しても、その性能を長時間保持することで木材製品の信頼性を向上させる技術です。また、むしろインサイジングを施すことで、微細な割れの発生が抑制される結果もあります³⁾。これは、背割りと類似した効果と考えられます。

■インサイジング関連の規格・認証

日本産業規格(JIS)では、必要に応じてインサイジングを施した木材も加圧式保存処理の対象としています(JIS A9002:2012)。また、日本農林規格(JAS)では、保存処理規定のある製材や集成材等の木質材料に対してインサイジングが認められ、「インサイジングは、欠点とみなさない。ただし、その仕様は、製材の曲げ強さ及び曲げヤング係数の低下が1割を超えない範囲内とする」という記述があります。保存処理材のJAS認証取得には、(一社)全国木材検査・研究協会が認証したインサイジング機を使用する必要があります(2024年11月6日現在で8機種が認証⁶⁾)。

■特殊なインサイジング

ドリルインサイジング：ドリルで穿孔加工することで、ローラー型より深い穴の形成が可能な方法です。耐火集成材の製造技術として実用化されています⁷⁾。

針式インサイジング：針を用いることで、従来の刃物よりも刺し傷を小さくして強度低下を抑えることができます。林産試験場において実用装置が開発され、カラマツ円柱材の処理実験が行われました⁸⁾。

レーザーインサイジング：木材を部分的に焼き切って穴をあける方法です。炭酸ガスレーザーやUVレーザーを用いた開発が行われています。肉眼で見えないほど穴を小さくすることもできます⁹⁾。

高圧噴射インサイジング：水を噴射して穴をあける方法です。水の代わりに薬剤を用いることで、インサイジングと薬剤処理を同時に行う試みもあります。

その他：狭義のインサイジングとは異なりますが、微生物の働きでピット（図2 c）を分解する生物学的浸透性改良手法を‘bio-incising’と呼ぶ場合もあります¹⁰⁾。

■直交集成板（CLT）に適したインサイジングの検討

比較的新しい木質材料であるCLTは、幅120mm、厚さ30mm程度の板材（ラミナ）を積層接着して製造される大型面材料です。CLTは通常の薬剤処理装置（加圧注薬缶）やインサイジング装置を超えるサイズのため、保存処理に課題があります。そこで、林産試験場では、注薬缶を使用しない、常圧処理である先述の「深浸潤処理」の適用を検討しています¹¹⁾。

さらに、CLTのインサイジングに関しては、ローラー型装置とドリル加工を組み合わせた方法を検討しています¹²⁾。具体的には、CLT表裏面に配置されるラミナのみを、ラミナの段階でローラー型インサイジング装置で加工し、積層接着後にCLT側面をトリミング（図6）した段階で、側面にドリルインサイジングを行います。CLT側面にはインサイジングが必要な柁目面や板目面が小幅で存在するため、ローラー型の装置を用いたインサイジング加工を行うことが難しく、加工部の可動性が高いドリルインサイジングを選択しました。詳細は紹介できませんが、表裏面はフラット刃、側面はドリルによるインサイジングを行ったCLT試験体の薬剤浸透の様子が図7です。

■おわりに

インサイジングについて紹介しました。用途や材料に適したインサイジング手法を開発し、より信頼性の高い木材保存技術の実現に貢献して参ります。

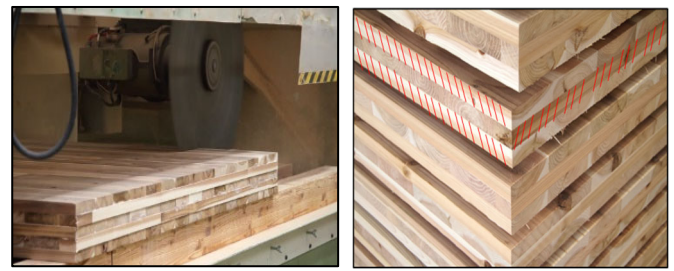


図6 CLTのトリミング（左）と側面インサイジングを要する板目面や柁目面（右、赤斜線部）。

日本CLT協会 フリー素材集

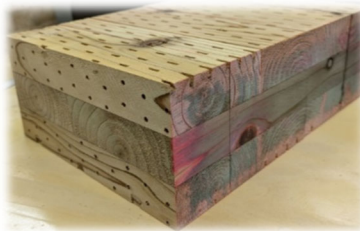


図7 CLTの薬剤浸透の様子（赤い部分が薬剤浸透部）。表裏面はフラット刃、側面はドリルによるインサイジングを施した。

■参考文献

- 1) 日本木材保存協会, 「木材保存学入門改訂4版」, 2018.
- 2) Winandy, J.E., Hassan, B., Morrell, J.J., *Wood Mater. Sci. Eng.* 18(2), 2023.
- 3) Evans, P.D., *Int. Wood Prod. J.* 7(1), 2016.
- 4) 布村昭夫, 斉藤光雄, 葛西章, 林産試月報, (371), 1982.
- 5) 茂山知己, 木材保存, 44(3), 2018.
- 6) <http://www.jlira.jp/data/file20171207.pdf>
- 7) Ando, K., Hattori, N., Harada, T., Kamikawa, D., Miyabayashi, M., Nishimura, K., Kakae, N., Miyamoto, K., *Wood Mater. Sci. Eng.* 11(3), 2016.
- 8) 八鍬明弘, 横幕辰美, 高橋尚志, 林産試験場報, 13(3), 1999.
- 9) Fukuta, S., Nomura, N., Ikeda, T., Yoshizawa, M., Yamasaki, M., Sasaki, Y., *Eur. J. Wood Prod.* 74(2), 2016.
- 10) Lehringer, C., Hillebrand, K., Richter, K., Arnold, M., Schwarze, F.W.M.R., Militz, H., *Int. Biodeterior. Biodegradation* 64(5), 2010.
- 11) 宮内輝久, 大橋義徳, 宮崎淳子, 高梨隆也, 渋井宏美, 伊佐治信一, 茂山知己, 須貝与志明, 山本哲, 孕石剛志, 森拓郎, 松永浩史, 林産試験場報, (549), 2022
- 12) 平良尚梧, 宮内輝久, 伊佐治信一, 松永浩史, 日本木材保存協会第40回年次大会研究発表論文集, pp58-59, 2024.