

平成30年6月27日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06895

研究課題名(和文)木材の含浸処理に関する基礎研究「急加圧による処理液通導阻害部の破壊」

研究課題名(英文)Fundamental study on impregnation of wood -Penetration of obstacles for liquid permeation in wood by abrupt pressurization of surrounding liquid

研究代表者

田中 聡一 (Soichi, Tanaka)

京都大学・生存圏研究所・研究員

研究者番号：50730321

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：木材の液体含浸では、通導阻害部(主に閉鎖壁孔)による液体浸透性の低下が課題である。そこで水撃作用の応用により通導阻害部を貫通させる方法を考えた。具体的には、木材外部の液体を急速に加圧した場合、浸透液体の先端部(通導阻害部)では水撃による圧力振動が生じ、液圧の急上昇による衝撃力とその後の急低下によるキャビテーションの作用で、通導阻害部の貫通が期待された。本研究の目的は、水撃が木材への液体注入量に及ぼす影響を調べることだった。試作装置による一連の検討から、水撃の発生は確認されたが、水撃の液体注入量への影響はほとんどみられなかった。理論解析から、試作装置の水撃の強さが不十分であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In impregnation of wood with chemical liquid, which is to control the troublesome properties of wood, there often exist some areas without being filled with the liquid, leading to the inadequate control. This is mainly caused by the obstacle that blocks the liquid flow, e.g., the aspirated pits. This study focuses on the water hammer to penetrate the obstacle as follows. If the liquid fills up the cell cavities between the wood surface and the tip of the liquid permeation in wood, or the obstacles, the abrupt increase in the liquid pressure from one to another on the wood surface is expected to cause the damping oscillation in the liquid pressure at the obstacles, leading to penetrate them. The purpose of this study is to promote the liquid permeation into wood by applying the water hammer. The water hammer in the fabricated test equipment did not affect the liquid permeation into wood. It was indicated from the theoretical analysis that the strength of water hammer was inadequate.

研究分野：木質科学

キーワード：含浸 水分通導 閉鎖壁孔 水撃 キャビテーション

1. 研究開始当初の背景

化石資源の枯渇や地球環境の変動が問題となる中、再生可能資源材料である木材の利用促進は欠かせないが、それには「燃える」「狂う」「腐る」といった木材の短所を克服する必要がある。そのために、木材の難燃化、寸法安定化、保存を目的とした様々な物質による処理が試みられている¹⁾。処理には、木材に各種物質の溶液を含浸する工程が欠かせない²⁾。しかしながら、含浸工程には(1)処理の不均一、(2)処理に伴う変形、(3)長い処理時間といった問題が指摘されている。

処理液(処理物質溶液)の木材への含浸は、木材から減圧で空気を抜き、処理液を注入して浸漬した後、加圧により木材外部と含浸先端部(真空)の液圧差を生じさせ、この液圧差で処理液を木材中へ流動させる方法³⁾が一般的である。これは、「木材が中空細胞の連続連結構造体である」ことを前提としている⁴⁾。その一方で、問題(1)は主に、処理液の流動が通導阻害部(壁孔ピット(針葉樹)や道管中チロース(広葉樹)など)で邪魔されることによる。また、問題(2)は、処理液の通導阻害により、含浸中に木材内外で生じる圧力差が解消できず、木材細胞壁に大きな変形力が加わることが一因である。問題(3)は、処理液は加圧直後には木材中に流動するが、通導阻害部に到達すると、そこをまたいで流動できないことが一因である。

従って、問題解決の鍵は、処理液の通導阻害部を突破することにあるが、「処理液の流動を制御する」従来の含浸加圧力の操作方法ではそれは実現困難であり、新しい手法が必要だった。

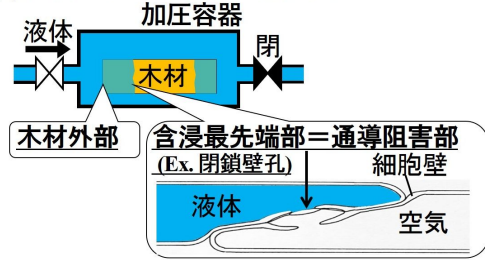
通導阻害部(壁孔ピットやチロース)の突破には、そこを破壊するのに十分な外力の印加が必要である。そこで木材外部から通導阻害部まで連続的に処理液が存在するときに水撃現象が起こると予測した(図1)。すなわち、木材外部の液圧を急激に上げる場合⁶⁾、含浸の最先端部にあたる通導阻害部の液圧は、減衰振動を示し、瞬間的に木材外部の液圧よりも大きくなった後、急激に低下すると予測される(図1d)。通導阻害部は、液圧の瞬間的上昇で大きな衝撃を受ける。更に、液圧の低下ではキャピテーション(気泡の瞬間的な発生と消滅)が起こり、気泡消滅で生じるジェット流により通導阻害部は大きな力を受けると予想される。

2. 研究の目的

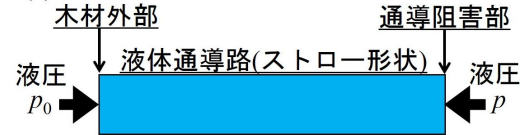
本研究の目的は、通導阻害部における液圧の急上昇と急低下により引き起こされる衝撃作用とキャピテーション作用の相乗効果で通導阻害部を貫通して、処理液の浸透を促進させて、「木材の含浸処理の均質化」をはかることである。そのために以下の課題を設定した。

- ① 水撃発生装置の試作と水撃現象の確認
- ② 水撃が木材への液体浸透に及ぼす影響の検討
- ③ 水撃の効果に関する理論解析

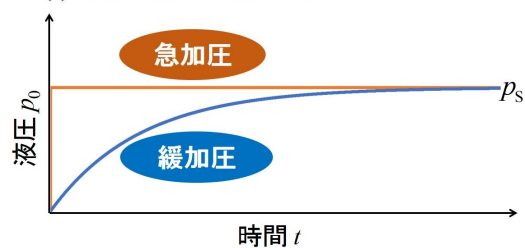
(a) 含浸における液体の存在位置



(b) 通導阻害部の液圧のモデル化



(c) 木材外部での液圧入力



(d) 通導阻害部(含浸先端部)での液圧出力

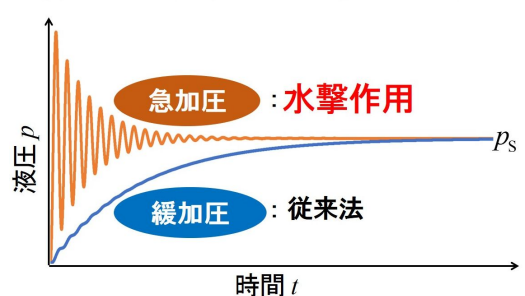


図1. (a)液体に含浸における液体の存在位置とそれに基づく(b)通導阻害部の木材外部の液圧のモデル化、及び(c)木材外部の液圧変化によって生じると予想される(d)通導阻害部(含浸先端部)での液圧変化

3. 研究の方法

① 水撃発生装置の試作と水撃現象の確認

2つの管AとBを1つのボールバルブで連結した実験装置を試作した(図2)。管AとBは液体(本実験では蒸留水を用いた)で満たし、バルブを閉じてから、管Bの内圧を大気圧で保持した状態で、管Aの内圧(P_A で得られる絶対圧)を1.1MPaまで高め、バルブを開放した。その際、管Bに設置した圧力計 P_1 と P_2 (図2)における液圧の時間変化 p_1 と p_2 を測定した。測定は、バルブをゆっくり開放した場合(緩加圧)とすばやく開放した場合(急加圧)で行った。なお、管Aと管Bの体積 V_A と V_B はそれぞれ、 721 cm^3 と 726 cm^3

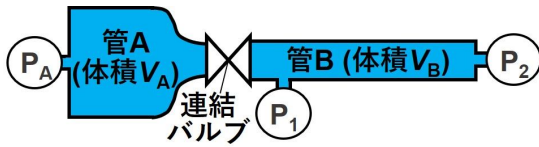


図 2. 水撃発生装置の概略。

② 水撃が木材への液体浸透に及ぼす影響の検討
 木材への含浸実験では、15 mm (接線方向) × 15 mm (放射方向) × 100 mm (繊維方向) のベイヒバ (*Cupressus nootkatensis*) 及びキリ (*Paulownia tomentosa*) を用い、105 °C に設定した送風乾燥機に 24 時間入れて全乾状態とした試料を用いた。各種加圧方法の検討にあたり、木材内の通導障害部まで液体が浸透している状態にするため、減圧注入を行った。減圧注入は、ロータリーポンプで 1 時間減圧を行い、容器への蒸留水の注入を試料が液体に完全に浸るまで減圧状態を保持しつつ行い、常圧に戻してから 48 時間放置した。実験装置の管 B の圧力計 P_1 の直下に試料を固定し、上記同様バルブ開放速度を変化させる実験を行い、各開放速度について試料への液体の注入量を永久空隙の充填率として評価した。

③ 水撃の効果に関する理論解析

従来の木材への液体注入は、理論的には主に「木材中の液体の粘性流動により生じる圧力損失」を考慮したものであるが、木材外部の液体を急加圧する場合にはそれに加え「圧力差を駆動力とした液体の運動」及び「静水圧による液体の弾性圧縮変形」についても考慮する必要がある。これら 3 つの要素に基づき、木材外部の液圧 p_0 と通導障害部の液圧 p を関係付ける 2 階の線形非斉次微分方程式を導出した。

木材外部の液圧 p_0 が $p_0 = p_s \{1 - \exp(-t/\tau)\}$ に従うものとし(ここで t は加圧を開始してから時刻、 τ は加圧の早さを表す時定数、 p_s は平衡到達圧力)、微分方程式に代入した。このときの通導障害部における液圧 p の時間変化を、様々な τ について計算し、実験で得られた液圧 p の時間変化と比較し、考察した。

4. 研究成果

① 水撃発生装置の試作と水撃現象の確認

試作装置の圧力計 P_1 と P_2 で得た液圧 p_1 と p_2 の時間変化の結果(図 3)より、緩加圧の場合、液圧 p_1 と p_2 は同じ挙動を示し、バルブ開放後に緩やかに上昇してから平衡液圧に到達した。一方、急加圧の場合、液圧 p_1 と p_2 はバルブ開放後に減衰振動挙動を示し、急上昇と急降下を繰り返した。これは、当初予測した液圧の減衰振動挙動と同様であり、バルブの素早い開放によって水撃現象が起きたことを示唆している。なお、 p_2 は p_1 と比べて振動の振幅が大きかった。これは、圧力

計 P_2 の測定面が水撃の主要因である管 B 長手方向の液体の運動を妨げる方向に配置されているのに対し、圧力計 P_1 の測定面は管 B の長手方向に垂直方向に配置されているためであると考えられる。

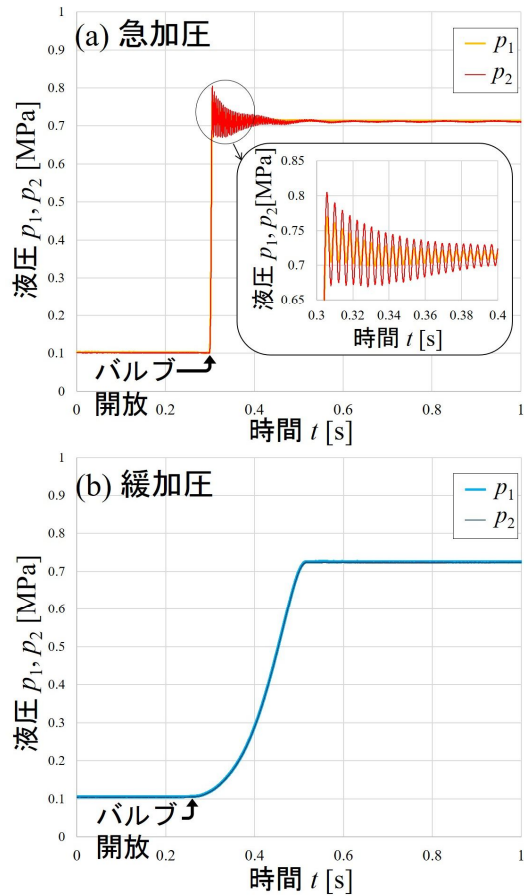


図 3. (a)急加圧と(b)緩加圧における液圧変化

② 水撃が木材への液体浸透に及ぼす影響の検討
 ベイヒバとキリを用いた急加圧と緩加圧の注入実験で得られた液圧の時間変化の結果より、急加圧では振動現象が確認されたことから、空気を内包する木材試料が存在する場合でも管 B 内では水撃が発生することがわかった。また緩加圧では振動現象は観察されず液圧は緩やかな変化を示した。また、急加圧と緩加圧のいずれについても液圧は平衡値になることなく、単調に減少する傾向が見られた。これは木材に液体が浸透することで、管 B 内の液圧が低下したことによると考えられる。

注入量は、ベイヒバ、キリのいずれについても、急加圧と緩加圧で差はほとんど認められなかった。しかしながら、今回の実験系での急加圧による水撃が通導障害部を破壊するほどは強くなかった可能性が考えられたため、③では本実験で発生させた水撃の強さについて評価した。

③ 水撃の効果に関する理論解析

装置で生じる水撃の強さを評価するため、木材のないときの実験(①)で得られた液圧の時間変化 $p_1(t)$ と $p_2(t)$ について、とくに最大液圧と最大液圧上昇速度(液圧の時間微分の最大値)に着目し、様々な速さでバルブを開放したときの、同関係について調べた。その結果を図3にプロットで示す。なお、縦軸の液圧は(図3)、ゲージ圧を平衡液圧で除して正規化した値で示す。

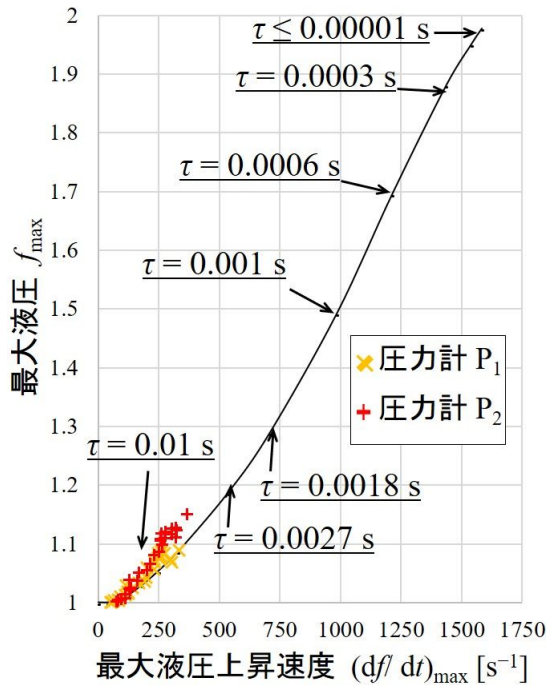


図4. 様々な速さでバルブを開放したときの最大液圧上昇速度と最大液圧の関係

最大液圧上昇速度の増加に伴い最大液圧は増大した。なお、最大液圧は、最も大きくなる場合で平衡液圧の1.15倍程度だった。一方、モデルに基づき様々な τ で計算した液圧の時間変化 $p(t)$ から得られた最大液圧上昇速度と最大液圧の関係を図4に曲線で示す。これより最大液圧は最も大きい場合で平衡液圧の2倍まで到達した。従って、水撃の強さを最大液圧と平衡液圧の差と考えれば、本実験での水撃の強さは、最も強いときの15%に過ぎないことが明らかとなった。また、モデルより最大液圧を大きくするには、加圧の早さを表す時定数 τ を小さくする必要があるとわかった。 τ が小さいほど、急速な加圧を意味するので、水撃の強さを高めるには、より急速な加圧が必要であるとわかった。そのため、装置の管Aの長さを短く、径を太くし、バルブの口径を大きくする必要があると考えられる。

以上の結果をもとに装置を改良し、より強い水撃を発生させたうえで、再度、木材への液体注入量を調べるのが今後の課題である。

<引用文献>

- 1) 鈴木正治 他著, 木質科学講座8 木質資源材料, 海青社, p.19-114(1999)
- 2) 日本木材学会研究分科会報告書, 木材の科学と利用技術 II 2. 木材の化学処理, p.21-38(1991)
- 3) たとえば W.B. Banks: Wood Sci. Technol., Vol.15, pp.171-177(1981)
- 4) 中戸莞二 編著, 新編木材工学, 養賢堂, p.89-99(1985)
- 5) 市川常雄 著, 水力学・流体力学, 朝倉書店, p.110-112
- 6) 中村神衣, 田中聡一, 梅村研二, 金山公三, 第68回日本木材学会大会(京都) 研究発表要旨集, J14-02-1615 (2017)

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 1 件)

Tanaka, S., Seki, M., Miki, T., Umemura, K., Kanayama, K., Solute diffusion into cell walls in solution-impregnated wood under conditioning process IV: effect of temperature on solute diffusivity, J. Wood Sci., 63, 644-651, 2017(査読あり).

〔学会発表〕(計 10 件)

中村神衣, 田中聡一, 梅村研二, 金山公三, 木材への液体含浸に及ぼす水撃作用の影響 通導障害部における液圧変化挙動のモデル実験, 第68回日本木材学会大会, 京都

田中聡一, 梅村研二, 金山公三, 木材の流動成形における高度制御型化学処理手法の開発, 第367回生存圏シンポジウム ミッションシンポジウム, 2018, 宇治

Tanaka, S., Umemura, K., Kanayama, K., Control of distribution of substance impregnated into wood for wood flow forming technique. The 12th joint seminar of China-Korea-Japan on wood quality and utilization of domestic species, December, 2017, Kyoto (Japan)

Nakamura, K., Tanaka, S., Umemura, K., Kanayama, K., Liquid permeation into wood applied by impact-elastic wave through surrounding liquid. The 360th Symposium on Sustainable Humanosphere, November, 2017, Bogor (Indonesia)

Tanaka, S., Umemura, K., Kanayama, K., Techniques for controlling amount of chemicals in cell walls in pre-treatment

for wood flow forming. The 360th Symposium on Sustainable Humanosphere, November, 2017, Bogor (Indonesia)

Tanaka, S., Amount of chemicals in cell walls controlled by conditioning of solution-impregnated wood. Asia Research Node Workshop on Ligno-cellulosic Materials, October, 2017, Cibinong (Indonesia)

Nakamura, K., Tanaka, S., Umemura, K., Kanayama, K., Effect of water hammer phenomenon on liquid permeation in impregnation of wood. The 2nd Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science, July, 2017, Uji (Japan)

Tanaka, S., Microscopic control for chemical treatment in wood flow forming. The 218th regular open seminar, June, 2017, Kyoto (Japan)

中村 神衣, 田中 聡一, 梅村 研二, 金山 公三, 木材への液体含浸における加圧速度が注入量に及ぼす影響, 第67回日本木材学会大会, 福岡

田中 聡一, 木材の流動成形における高度制御型化学処理手法の開発, 第335回生存圏シンポジウム ミッションシンポジウム, 2017, 宇治

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 聡一 (TANAKA, Soichi)
京都大学・生存圏研究所・研究員
研究者番号: 50730321

(2) 研究協力者

金山 公三 (KANAYAMA, Kozo)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号: 60356798

梅村 研二 (MEMURA, Kenji)
京都大学・生存圏研究所・准教授
研究者番号: 70378909

三木 恒久 (MIKI, Tsunehisa)
産業技術総合研究所・主任研究員
研究者番号: 20415748