

【背景】

＜薬液含浸の目的とその問題点＞
木材の欠点 一般的な克服方法
 ・燃える ⇒ 難燃化・不燃化处理
 ・腐る ⇒ 防腐処理
 ・変形する ⇒ 寸法安定化处理
共通の手段 = 薬液含浸

プロセス
 処理前 (I) 含浸過程 (II) 養生過程
 処理物質(水)溶液

問題点 = 処理ムラ
 例) フェノール・ホルムアルデヒド (PF)樹脂含浸した成形板の場合
 ムラが多い ムラが少ない 表面 煮沸後(1h) 局所的変色

＜処理ムラの種類と課題＞
 細胞構造 細胞壁中 不安定構造
 未処理 処理済 細胞壁中 不安定
 巨視的処理ムラ 微視的処理ムラ
 (課題1) 細胞1つ1つを物質で充填
 (課題2) 不安定領域を物質で充填
 ~2つの課題の解決を目指す~

課題1

＜着眼＞ 含浸過程の液体による水撃作用

＜戦略＞

(1) 減圧 液体 閉 耐圧容器 木材 減圧 空気 真空引き
 (2) 注入 液体 液体 減圧 空気 真空引き
 (3) 加圧 液体 加圧 閉

巨視的処理ムラにより生じる副次的問題
 巨視的処理ムラの根本要因 細胞壁 液体 空気
 含浸最先端部 = 通導阻害部 (Ex. 閉鎖壁孔)

仮定
 1. 木材外部から通導阻害部まで液体が連続的に存在
 2. 液体は木材中で粘性流動して圧力損失を起す (既出)
 3. 液体は圧力差を駆動力として木材中を運動する
 4. 液体は静水圧で弾性圧縮変形する

貫通を目指す

入力 液体 P_0 急加圧 緩加圧 時間 t 出力 液体 P 急加圧 水撃作用 緩加圧 従来法 時間 t

課題2

＜着眼＞ 溶液含浸木材の養生過程の制御

＜戦略＞
 処理過程 細胞の状態 細胞壁中の非結晶(不安定)構造の状態
 素材 塊状の木材 細胞 細胞壁 細胞内腔
 (i) 含浸過程 溶液 減圧・加圧による注入 全細胞が満たされたとして 細胞内腔 (溶液充填) 細胞壁 (溶液充填) まだ不安定
 (ii) 養生過程 溶媒(水) 溶液 溶媒蒸発 濃度差 物質拡散 拡散現象 細胞内腔 壁 内腔 > 壁 内腔 > 壁 内腔 → 壁 置換
 【手段】 大気条件の制御 ① 相対湿度(RH) ② 温度 など
 【目的】 拡散促進安定化

＜木材試料＞ ヒノキの心材
 公称寸法: 5 mm × 25 mm × 25 mm (L方向) (R方向) (T方向)

＜化学処理物質＞ ホリエンク'リコール(PEG1540)
 理由: 細胞壁中PEG量を試料寸法から推定可。安定した不揮発性物質。

＜既往検討＞ 参考: 田中ら, 材料, 64(5):369-374, 2015 及び Tanaka et al., J. Wood Sci., 61(6):543-551, 2015
 ・方法
 (i) 含浸 PEG1540水溶液 (20wt%) 試料: 減圧注入後, 液中で放置
 (ii) 養生 5通り (40°Cで2.17 × 10³h) RH=11%, 32%, 53%, 75%, 91%
 (iii) 減圧乾燥 (40°C, P₂O₅上で恒量まで)

結果 PEG拡散性増大 PEG濃度差減少
 細胞壁へのPEG拡散量 (養生後RT断面の比膨潤率) 養生後RH [%]

方針 養生中の試料含水率 養生中の試料寸法 (細胞壁の膨潤) PEG濃度差 PEG拡散性 細胞壁へのPEG拡散量
 【仮説】 最大膨潤を長時間保持
 仮説(1): 膨潤過程の水分蒸発を速く PEG拡散性
 仮説(2): 収縮過程の水分蒸発を遅く
 養生中の平均水溶液濃度 [%] 含水率 高 ← 低

【実験方法】

＜水撃作用のモデル実験と木材への注入実験＞

・実験装置とその概略
 木材外部 木材中の流路 通導阻害部 管A 管B 圧力計

・実験方法
 管Aを加圧 1.1 MPa 0.1 MPa (常圧) 管A 閉止 管B 圧力計
 バルブ開(手動): 緩開放か急開放 開放 開放
 管Bに圧力波伝搬 開放 開放
 液圧Pの時間変化を測定した。

・木材試料 (管Bに設置) ・液体: 蒸留水(15°C)
 ・ヒノキの心材
 ・公称寸法: 300 mm × 15 mm × 15 mm (L方向) (R方向) (T方向)

＜仮説(1)の検証＞
 (i) 含浸 PEG1540水溶液 (30wt%) 試料: 減圧注入後, 液中で放置
 (ii) 養生 RH制御 100 75 50 25 0 試験片が最大の膨潤を示す点 温度35°C 水分蒸発 ① 遅い ② 中間 ③ 速い 養生時間 [h] 0 1000 2000 3000 4000 P₂O₅上で減圧乾燥

＜仮説(2)の検証＞
 (i) 含浸 PEG1540水溶液 (20wt%) 試料: 減圧注入後, 液中で放置
 (ii) 養生 RH制御 100 75 50 25 0 試験片が最大の膨潤を示す点 温度40°C 水分蒸発 ① 遅い ② 中間 ③ 速い 養生時間 [h] 0 2250 2500 2750 3000 3250 3500 P₂O₅上で減圧乾燥

【結果と考察】

＜通導阻害部の液圧変化挙動＞ ※試料なし
 急加圧 緩加圧
 圧力計(通導阻害部)における液圧P [MPa] サンプル間隔 Δt = 20 μs
 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7
 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7
 参考: 田中ら, 第68回日本木材学会大会 (京都), J14-02-1615, 2018/3/14-16

＜水撃作用が注入量に及ぼす影響＞
 空際充填率 [%] n = 5
 緩加圧 急加圧

＜仮説(1)の検証＞
 細胞壁へのPEG拡散量 (養生後RT断面の比膨潤率) 養生後RH [%]
 ① 遅い ② 中間 ③ 速い 水分蒸発の速さ
 参考: 田中ら, 材料, 65(5), 359-364, 2016. 及び Tanaka et al., J. Wood Sci., 63(3):263-270, 2017

＜仮説(2)の検証＞
 細胞壁へのPEG拡散量 (養生後RT断面の比膨潤率) 養生後RH [%]
 ① 遅い ② 中間 ③ 速い 水分蒸発の速さ

まとめ ・モデル実験結果より通導阻害部に水撃作用を与えることは可能であると思われた。
 ・水撃作用が木材への液体注入量に及ぼす影響は小さかった。
今後の展開 ・水撃の効果を高めるための改良 (理論的解析と装置試作を進めている)
 ・温度や液体の粘性の影響を調べる。
 ・樹種の影響を調べる。

まとめ ・含浸木材の養生過程のRHスケジュール管理が重要である。
 ・RHによって試料(細胞壁)の膨潤状態を制御することがカギである。
今後の課題 ・他物質に関する検討を行う。
 ・RH, 温度, だけでなく圧力を制御する効果を確かめる。
 ・細胞壁中の物質分布に及ぼす養生条件の影響を明らかにする。