

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 6 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 名古屋大学

氏 名 : 五十嵐豪

研究課題名 : 画像解析による木質材料の水分移動の可視化の基礎的検討

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 7 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 8 年 3 月 31 日

画像解析による木質材料の水分移動の可視化の基礎的検討

Pilot study on visualising moisture movement in wood timber using image analysis

名古屋大学 准教授 五十嵐豪

(研究計画ないし研究手法の概略)

【研究の背景】

木材の長寿命化，経年劣化などについて研究を行うためには，木材の吸水時の水分の移動の動向と寸法変化を関連付けて，評価することは物理的特性を調査するうえで必要不可欠である。

そこで本研究では，スギ材を用いて強制乾燥・吸水を行い，その経時変化を X 線ラジオグラフィ(CR)画像，画像相関法を用いて同時に観察し，その測定結果から木材の吸水時の含水量と最大主ひずみの相互関係を評価した。

【研究の概要】

本実験では試験体にスギの辺材を使用した。試験体寸法は約 20(W)×10(D)×40(L)mm，吸水面は木口面，観察面は柾目面である。観察面である柾目面には，白色の耐水性エポキシ樹脂系塗料を塗布することで封緘させ，黒色塗料で，画像相関法で用いるランダムパターンを塗布した。また，浸漬面の対面，試験体側面の 2 面には，アルミ粘着テープを貼りつけ封緘させ，浸漬面とする底面には加工は施さなかった。

試験では吸水過程の質量測定，X 線 CR 撮影，光学カメラ撮影を行った。乾燥は，105℃に設定した高温乾燥機を用い 120 時間行い，24 時間の間隔を置いた測定において質量変化が 0.5%以下になった状態を全乾状態と定義した。吸水過程は，乾燥過程の計測直後を 0 時間とし，底面から自然吸水を行い，1，1.5，3，6，9，12，18，24，48 時間で計測を行った。吸水過程は電子天秤で質量測定，X 線 CR 撮影，画像相関の撮影の順番で測定した。

X 線 CR 撮影には，マイクロフォーカス X 線 CT スキャナ(SHIMADZU 社 inspeXio, SMX-100CTDS)を，管電圧 100kV，管電流 150μA，SDD 500 mm，SRD 300 mm，送りライン数 4 line，アベレージ数 16 と設定し，厚さ 0.4 mm の Cu フィルターを用いて撮影を行った。走査時間は 335 秒で走査速度は，0.2mm/秒であった。このように取得した画像のサイズは，横 35.85mm(1024 pixel)，縦 67.55mm(1930 pixel)で 1 pixel は約 0.035 mm であった。適切なコントラストが得られるよう，管電圧等の設定は，管電圧は試験体を透過する最低限に近い値，管電流は検出器の 70~80%となるように設定した。本実験の撮影では，撮影ごとに温度や湿度などの撮影環境がわずかに異なっている。そのため得られた画像にはわずかな誤差が生じている。この誤差を補正するため，各画像の試験体高さ 35~40 mm の試験体の写っていない範囲のグレースケール値を基準に補正を行った。また，取得した画像の画像処理・グレースケールの数値化には，画像分析ソフトウェア ImageJ (Version 1.54i) を用い，水分拡散係数は $21\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ で一定であるとした。

画像相関のための撮影には USB カメラ(FLIR 社 Grasshopper3, モデル GS3-U3-51S5M-C, 画素数 5.0 MP, フレームレート 75 FPS, イメージセンサー SonyIMX250, Mono), レンズ(Computar 社 1.1 型サイズカメラ用 12 メガピクセルレンズ, モデル V3528-MPY,

f=35 mm, F2.8)を用いた。撮影には VIC-Snap, 取得した画像の画像相関解析には VIC2d(Correlated Solutions, Inc.)を用いた。解析は, Subset 数を 21, Steps を 1, Strain computation を Lagrange として行った。

(実験調査によって得られた新しい知見)

【実験結果および考察】

図-1 に計測を行った試験体を示す。計測した晩材部分を青枠で示す。

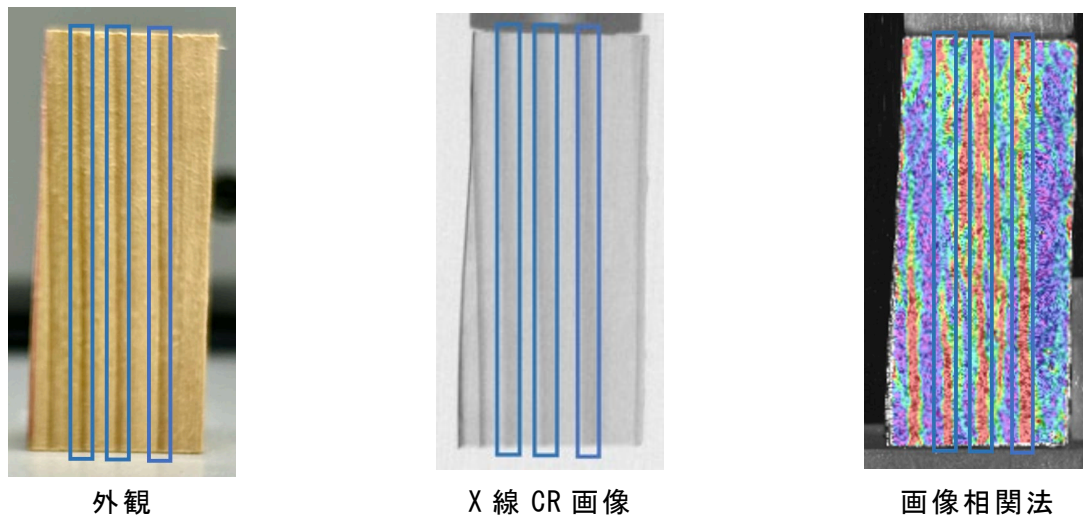


図-1 計測範囲

図-2(a)に晩材の単位含水量の経時変化, 図-2(b)に最大主ひずみの経時変化を示す。2つのグラフより, 時間が経過するほど最大主ひずみは大きさ, 範囲ともに拡大し, 24 時間を超えると試験体高さ 30mm 以下では最大主ひずみの拡大が落ち着くことが確認できた。

また, 単位含水量は 30~35mm で一度減少し, 35mm 以上の範囲で再び増加している。同様の結果が, 本実験で用いた試験体の異なる位置に存在する晩材, 異なる時期に同様の条件で行った実験でも得られた。以上のことから, この現象は計測した範囲の晩材部から隣接している早材部に水分が移動した可能性など木材の構造由来のものである可能性が高い。また, 本来であれば吸水が進むにつれて変化する水分拡散係数を本実験では一定であると仮定したことも要因の一つとして考えられる。

図-2(a)の吸水開始 1 時間のグラフ部分より, 試験体高さが 2~3mm 付近で, 最大主ひずみが 0.02μ 程度発生していることが確認できた。木材は, 吸水開始直後に細胞間の空隙に毛管力によって水が引きこまれることで, 木材内の水分量が急増する。そしてその水分が細胞壁に引き寄せられることで結合水として蓄えられる。木材はこの結合水の増減によって膨張収縮が発生する。

また, 吸水開始から 24 時間までは徐々に最大主ひずみが生じる範囲, 大きさが拡大しており, ひずみが発生している位置と吸水が進んでいる位置で見比べると単位含水量と最大主ひずみの発生位置に大きな差は見られなかった。これより本実験の結果は, 細胞壁が水分子と結合する, 細胞壁と結合しない自由水が細胞間の空隙に溜まる, 細胞間の空隙に溜まっている水が毛管作用で上昇する, 毛管作用で上昇した水が細胞壁と結合するといった過程を繰り返すことで吸水が上方向に進み, それに伴ってひずみが発生するという既往の研究とも一

致していると考えられる。

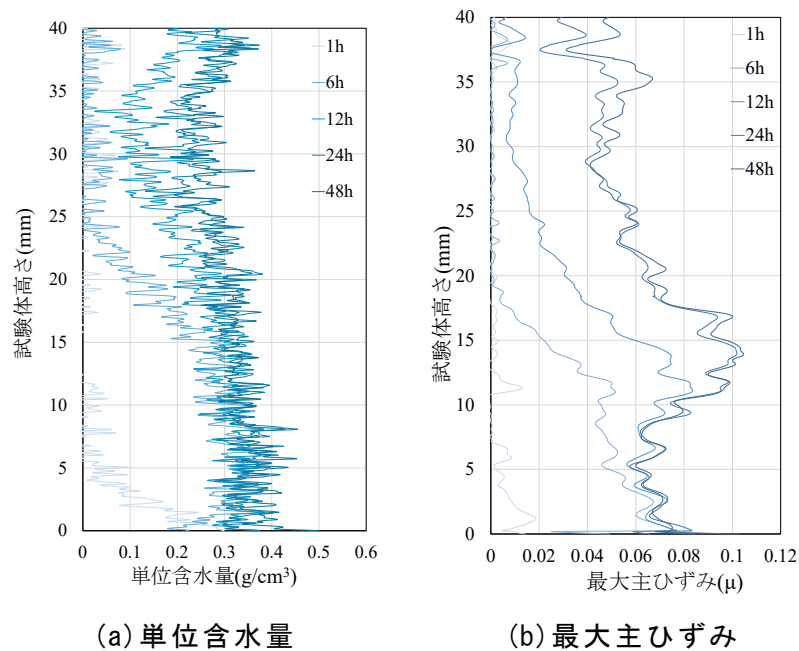


図-2 吸水による晩材の経時変化

図-3 に 48 時間までの単位含水量と最大主ひずみグラフを示す。これより、吸水開始から 24 時間、48 時間では、試験体全体を通して結果に大きな違いがないことが確認できた。このことから吸水開始から 48 時間で試験体のおおよそ全体が飽水状態になっていると考えられる。また、最大主ひずみが最大になるときの単位含水量は $0.3 \sim 0.4 \text{ g/cm}^3$ のためこの値が繊維飽和点であると考えられる。また、単位含水量と最大主ひずみの間には正の相関があることが確認できた。これより、繊維飽和点までは単位含水量と最大主ひずみの変化には相関があると考えられる。さらに、単位含水量の増加傾向と最大主ひずみの増加傾向は、単位含水量が $0.1 \sim 0.2 \text{ g/cm}^3$ ある場合に、最大主ひずみが 0.02μ 程度生じているといった関係でおおよそ推移していることが確認できた。

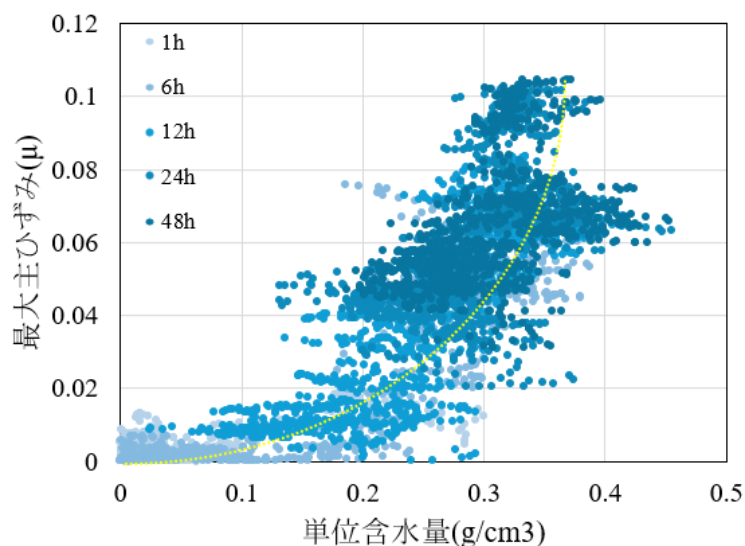


図-3 48 時間までの単位含水量と最大主ひずみの関係

（ 発 表 論 文 ）

阪峯瑞希，丸山一平，五十嵐豪，AILI Abudushalamu：吸水過程における木材の単位含水量及び最大主ひずみの経時変化に関する基礎的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.891-892，2025