

レーザー顕微鏡および画像相関法を用いた 針葉樹細胞壁の微細膨潤挙動の解析 (第2報)

京都大学 ○村田功二, 増田 稔

1 緒 言

木材の木口面における膨潤挙動は、組織構造や弾性異方性などが関係している為、非常に複雑である。また、細胞壁自身の膨潤挙動に関しても、X線回折や電子顕微鏡の観察結果などにより、いくつかのモデルが提案されている。しかしながら、細胞壁の微細な膨潤挙動を実際に観察して例は非常に少ない。

著者らは、光学顕微鏡とデジタル画像相関法(DIC)を用いることで、組織構造単位での膨潤挙動の可視化に成功し、早晚材および放射組織が膨潤挙動に影響を及ぼしていることを確認した¹⁾。さらに反射型共焦点レーザー顕微鏡を用いて吸湿による細胞形状および壁厚の変化の測定を試みた²⁾。ところが木口面にみられる細胞壁の切削面は平滑であるために、DICで微細膨潤挙動を観察するための特徴的なパターンが不足していた。そこで前報³⁾では、スパッタエッチング処理によって細胞壁の切削面にランダムなパターンを付与することでDICによる解析が可能になることを報告した。本研究では、この技術を用いて、いくつかの含水率における細胞壁の微細膨潤挙動の観察を行った。

2 実験方法

2.1 試料 供試材としてベイマツ(Douglas-fir: *Pseudotsuga menziesii*)を用いた。一辺が7~8mmの立方体に切り出し、室温の水に数日間浸漬して軟化させた後、木口面をスライディングマイクロトームで平滑にした。切り出した試験体は、シリカゲルの入ったデシケータ内で数ヶ月間乾燥した。その結果含水率は1~2%となった。乾燥後の試験体にイオンスパッタリング装置(日本電子製, JFC-1100E)でスパッタエッチング処理を施した。処理条件は、チャンバー内の圧力が10~20Pa、放電電流10mAで10分間であった。

2.2 観察方法および解析 調湿は無機塩の飽和水溶液を入れたデシケータで行った。調湿用の無機塩として、 $MgCl_2$ 、 $Mg(CO_3)_2$ 、 $NaCl$ を用い、20℃の環境下で2週間程度静置した。まず乾燥した試験体の晩材細胞壁の横断面(木口面)を走査型共焦点レーザー顕微鏡(レーザーテック製, ILM21H)で観察した。得られたデジタル画像は640×480pixelであり、1pixelは約0.08μmに相当した。ついでその試験体を調湿した後、同じ個所(細胞)を同様に観察した。また、比較として前報と同じく加湿器で1分間スチームをかけて膨潤させた試験体も観察した。スチーム吹き出し口の温度は47℃だった。得られたデジタル画像は、汎用画像解析ソフト(WinRoof)による形状解析と、DICによる膨潤ひずみ解析に使用した。

3 結果と考察

調湿の結果、 $MgCl_2$ で調湿を行った試験体の含水率は6~6.5%、 $Mg(CO_3)_2$ では8~9.5%、 $NaCl$ では12.5~13.5%となった。また、レーザー顕微鏡での観察は大気中で行うため、観

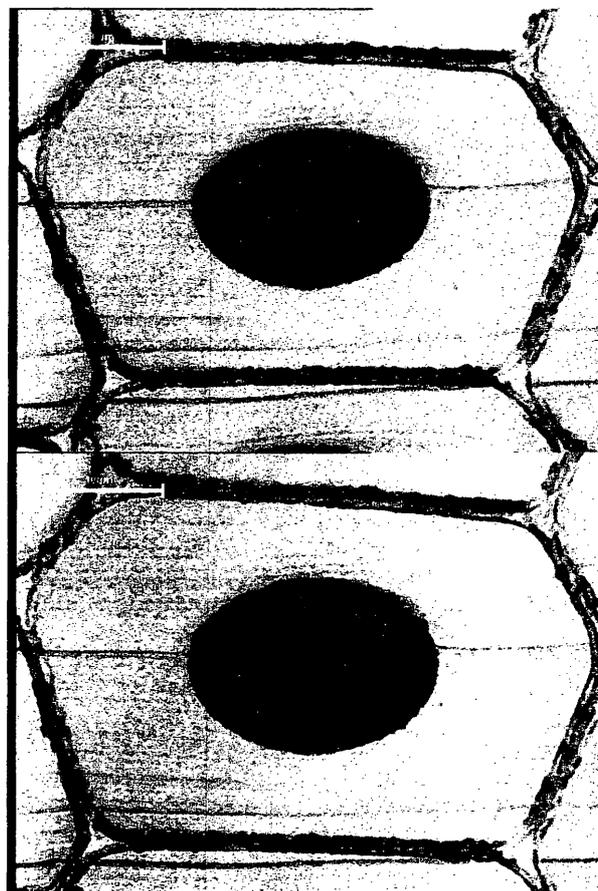


Fig.1 Examples of cell shape image, top: dry condition (M.C.: 1.7%), bottom: wet condition (M.C.: 13.5%), (see Table 1).

Table 1 Changes of cell shape with increase of moisture content.

M.C.	Feret's Diameter [μm]				Area of Cell Wall [μm^2]	
	Cell		Lumen			
	Hor.	Ver.	Hor.	Ver.		
1.7%	41.4	24.6	18.6	12.8	691.3	(+0.0%)
6.7%	42.2	25.4	19.3	13.3	703.9	(+1.8%)
9.1%	42.9	25.6	19.4	13.4	726.8	(+5.1%)
13.5%	43.8	27.7	19.8	14.1	791.2	(+14.4%)

Table 2 Changes of cell shape with steaming.

Steam	Feret's Diameter [μm]				Area of Cell Wall [μm^2]	
	Cell		Lumen			
	Hor.	Ver.	Hor.	Ver.		
Before	43.4	21.5	22.1	11.3	628.0	(+0.0%)
After	44.6	22.8	20.7	10.4	711.4	(+13.3%)

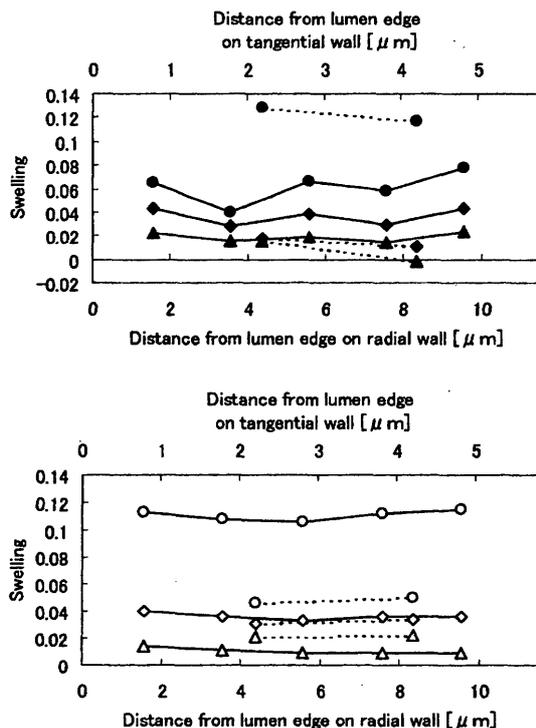


Fig.2 Swelling profile on thickness direction of cell wall, top: swelling on thickness of cell wall, bottom: swelling on circumference of cell, solid line: radial wall, dotted line: tangential wall, triangle: M.C.6.3%, diamond: M.C.8.7%, circle: M.C.13.1%.

観察後含水率が多少変化し、試験体の含水率が約 6%では 0~0.5%の減少、約 9%の含水率では 0~0.8%の減少、約 13%の含水率では 0.6~1%減少した。乾燥状態にスチームを 1 分間吹き付けた試験体は含水率が約 3%増加した。

観察結果の一例を示す(Fig.1)。この試験体では、含水率は 6.7%、9.1%、13.5%となった。得られたデジタル画像を二値化して形状解析を行った結果を Table 1 にまとめる。二値化のための閾値は目視によって決定した。Table 1 より細胞の外形、内腔の両方が含水率の増加にともなって大きくなっていることが分かる。細胞壁の面積も含水率とともに増加しているが、含水率が 9.1%の時に比べて 13.5%の時が非常に大きくなっているなっていた。Table 2 には比較のために行ったスチームによる加湿で生じた変化量を示す。Table 1 と異なり、細胞内腔が収縮していた。そのため細胞の外形はあまり変化していないが、細胞壁の面積は大きく変化している。DIC によるひずみ解析結果を Fig.2, 3 に示す。Fig.1 で示した細胞の接線壁(樹皮側:写真で上側)と放射壁(写真で右側)の膨潤量のプロフィールを Fig.2 に表した。Fig.2 の上は細胞壁の厚さ方向の膨潤量分布である。放射壁では徐々に変化しているのに、接線壁では含水率が 9.1%から 13.5%に変化する時に、特に大きく変化しているのが分かる。Fig.2 の下は細胞の円周方向への膨潤量である。接線壁は含水率の変化にともない徐々に変化しているのに対して、放射壁では含水率が 9.1%から 13.5%に変化する時に大きく膨潤しているのが分かる。つまり、接

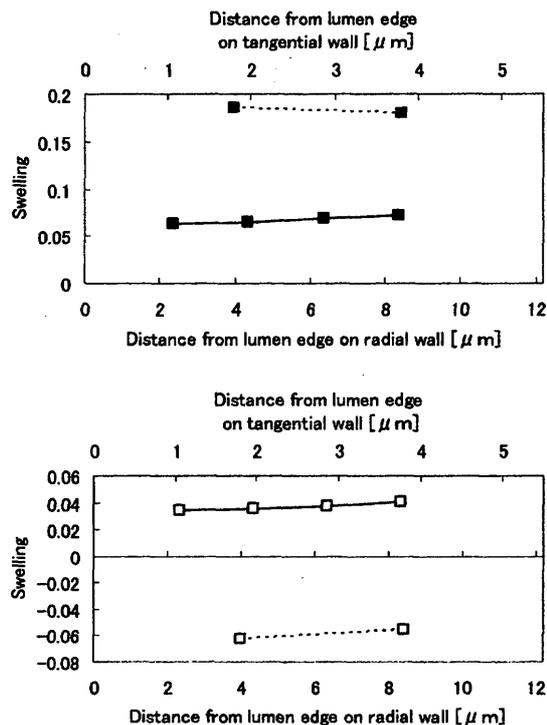


Fig.3 Swelling profile on thickness direction of cell wall by steaming, top: swelling on thickness, bottom: swelling on circumference of cell, solid line: radial wall, dotted line: tangential wall.

線壁、放射壁ともに比較的高い含水率では、放射方向へ大きく膨潤していることが分かる。Figure 3 はスチームで加湿した時の変化である。接線壁の円周方向ひずみが圧縮を示しており、その他の膨潤ひずみは Fig.2 の値より大きくなっている。スチームによる加湿は 1 分間であり、試験体の平均含水率増加が 3%程度であったが、試験体表面では高含水率になっていると考えられ、Table 2 の細胞壁の面積と Fig.3 の膨潤ひずみが大きくなっていることはそれに起因すると思われる。デシケータ内で常温でゆっくりと含水率を変化させていった場合(Table 1, Fig.2)と、スチームによる高温で急激に含水率を変化させた場合(Table 2, Fig.3)には違いが見られた。スチームでの加湿による変化を観察した細胞の正確な含水率が不明ではあるが、これらの違いが、温度によるものなのか、それとも膨潤速度によるものなのかは、今後検討しなければならない。

4 まとめ

含水率の変化による細胞壁の微細膨潤挙動を観察した。含水率が比較的高い時(13%)では、接線壁、放射壁ともに放射方向に大きく膨潤した。また、スチームで加湿した場合には異なる傾向がみられた。

参考文献

- 1) 村田功二, 伊藤真浩, 増田 稔, 材料, 50, 397 (2001).
- 2) Koji Murata and Minoru Masuda, Materials Science Research International, 7, 200 (2001).
- 3) 村田功二, 増田 稔, 日本材料学会 学術講演会講演論文集, 312 (2001).