



Title	ニュージーランドパイン (Pinus radiata) 仮道管壁の横断面における乾縮(生物資源科学科)
Author(s)	林, 弘也; 龍, 游江; 屋我, 嗣良; 金城, 一彦
Citation	琉球大学農学部学術報告 = The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus(43): 113-118
Issue Date	1996-12-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/3735">http://hdl.handle.net/20.500.12000/3735</a>
Rights	

# ニュージーランドパイン(*Pinus radiata*)仮道管壁の横断面における乾縮\*

林 弘也\*\*・龍 游江\*\*・屋我嗣良\*\*・金城一彦\*\*

Hiroya HAYASHI, Long YOUJIANG, Shiryou YAGA and Kazuhiko KINJYOU: Tracheid wall shrinkage in cross section of New Zealand pine (*Pinus radiata*)

キーワード：マツ、*Pinus radiata*、乾縮、細胞壁厚、内腔径

Keywords: *Pinus* sp., *Pinus radiata*, Shrinkage, Cell wall thickness, Lumen diameter

## Summary

It was suggested by Boyd (1974) that the mechanisms affecting a shrinkage of wood were fibril angle, degree of lignification, a ratio of early wood to late wood in one growth ring and a cell shape. But it was not clear the effecting degree of factors.

In this article, it was discussed the relation between tracheid shrinkage and cell wall shrinkage caused by a moisture content in the cross section of a fast grown tree, New Zealand pine (*Pinus radiata*).

Specimen were treated with warm water at 40 °C for removing residual stress like growing stress and extractives. A shrinkage was measured with a thin specimen, and was dehydrated step by step with ethyl alcohol solution to avoid abnormal shrinkage. By dehydration, a tracheid cell wall shrank but a lumen of the tracheid swelled. As a quantity of the swelling was greater than the shrinkage, tracheids swelled consequently.

The shrinkage ratio of radial wall to tangential wall was differ from the average wood shrinkage ratio of eleven pinus species in US. The dimension change coefficient of one tracheid was greater than the coefficient of tracheid group contained many tracheids.

It was concluded from the results obtained that a dimensional change of wood was affected by the interaction of a dimensional change of adjacent tracheids and by the geometrical arrangement.

---

\* 早成樹の膨潤乾縮に関する研究 第1報

\*\* 琉球大学農学部生物資源科学科

琉球大学農学部学術報告 43:113~118 (1996)

## 緒 言

木材ブロックを使用した材の異方乾縮については、すでに多くの報告がある。その結果として木材の乾縮率や材の異方乾縮の機構に関する説明は材構成の複雑さと多様さのために、対象とする材構造の異方収縮に対する影響が材毎に異なり、いくつかの乾縮理論が提案されている<sup>3,4)</sup>が、確定的な理論は未だない様に思われる。膨潤乾縮の主要な影響因子としては成長輪内の早晚材の構成、放射組織、細胞壁のフィブリル傾角、抽出成分、細胞壁の木化度等がある<sup>5)</sup>。また細胞の形状に関係した因子には細胞の形、細胞壁厚<sup>1,7)</sup>と細胞壁数<sup>6)</sup>などがある。

乾縮は樹種によって各因子の影響度合が異なることが報告されているので、本報告では、木材の基本的単位として、細胞で構成されている微小領域の同一種の細胞群を対象にし、成長輪構造や放射組織構造の影響を受けない領域の細胞について乾縮による寸法変化状態を検討した。対象樹種は成長輪の早材と晩材の仮道管の大きさに差異の比較的少ない早成樹を選定した。早成樹種のニュージーランドパイン (Radiata pine) について横断面の細胞形状が乾縮に与える影響を早晚材乾縮率により実験的に検討した。

## 実験材料及び方法

実験材料はニュージーランドパイン材を使用した。材から横断面が8×15mm、繊維軸方向の長さ20mmのブロックを切り出し、抽出成分による影響と材に残留している成長応力や乾燥応力の影響を解除することを目的に、40℃の温水に約240時間浸漬した<sup>5)</sup>。その後は室温で水中に保存した。ブロックから厚さ約30μm、接線方向に約5mm、放射方向に約7mmの横断切片を採取した。切片の脱湿は脱水過程に於ける切片の変形を防止することを目的に各種の濃度のエチルアルコール(40, 60, 80, 90, 95, 100%)に各3分以上浸漬し、脱湿した。従って本実験は脱湿過程の乾縮率である。切片はスライドガラスに載せ、ポリ塩化ビニリデンフィルムでカバーし、水分変化を防止した。切片から細胞の接線および放射の壁厚と内腔径を顕微鏡入力装置を持った画像解析装置(オリンパス光学製、X1-500型)で飽水時、乾燥時に測定した。細胞壁厚は細胞の放射壁、接線壁についてそれぞれ任意の4ヵ所を測定をして平均値を求めた。細胞内腔径は内腔の重心を通る接線方向径と放射方向径を計測した。細胞は放射組織に全く接していない仮道管を対象にし、細胞壁の乾縮率は((飽水時壁厚-乾燥時壁厚)/飽水時壁厚)とした。早材と晩材の区分は Mork の定理に従い、放射壁の厚さの和に対する放射方向内腔径の比が1.0以上の細胞は早材、1.0以下の細胞は晩材とした。

## 実験結果及び考察

供試したニュージーランドパイン材の平均細胞形状を約50細胞(材の位置によって異なり、細胞数は44-55細胞の範囲である。)について求め、Table 1 に示した。表には接線方向成分/放射方向成分、早材成分/晩材成分の値も併せて表示した。心材と辺材のデータの間には有意差検定の結果5%レベルで有意差はなく、本供試材は心辺材の組織構成上の差異はなかった。しかし早晚材間には有意差があった。仮道管横断面の形状は早材部仮道管はほぼ正方形断面をもち、晩材部仮道管は接線方向径はほぼ早材部と同じであるが、放射方向径は接線方向径の約2/3の長さであり、接線方向に長い長方形断面であった。内腔径は早材部仮道管が大であるが、晩材部仮道管に対し、接線方向では約160%、放射方向径では約230%であった。細胞壁厚は放射壁よりも接線壁が薄く、放射壁にたいして早材では約90%、晩材では約70%の厚さであった。早材仮道管の壁厚は晩材部仮道管に対して接線壁で57%、放射壁で47%の厚さであり、晩材の約半分の壁厚であった。横断面の仮道管の配列は、日本産の針葉樹材に比較して、

Table 1 Dimension of tracheid in green wood

	Heart wood			Sap wood		
	Early wood	Late wood	E/L*	Early wood	Late wood	E/L*
Lumenn diameter						
Radial	31.628	15.265	2.052	38.448	14.970	2.568
Tangential	32.408	21.604	1.498	35.090	21.242	1.651
R/T**	0.967	0.706		1.096	0.705	
Cell wall thickness						
Radial	4.091	6.786	0.519	3.835	7.109	0.421
Tangential	4.731	9.112	0.602	4.252	10.084	0.539
R/T**	0.864	0.744		0.901	0.704	
Outer diameter						
Radial	39.521	28.838	1.370	46.118	29.288	1.574
Tangential	41.871	39.849	1.050	43.595	41.411	1.052
R/T**	0.944	0.722		1.058	0.707	

\* Ratio of early wood to late wood

\*\* Ratio of radial direction to tangential direction

Table 2 Coefficient of tracheid dimension change

	Heart wood			Sap wood		
	Early wood	Late wood	E/L*	Early wood	Late wood	E/L*
Lumenn diameter						
Radial	1.618	5.620	0.267	0.714	6.071	0.117
Tangential	0.714	5.932	0.120	0.974	4.396	0.221
R/T**	2.267	0.947	2.225	0.733		
Cell wall thickness						
Radial	-5.046	-5.676	0.889	-3.254	-4.984	0.653
Tangential	-2.177	-5.847	0.372	-3.345	-5.780	0.579
R/T**	2.320	0.970		0.973	0.862	

\* Ratio of early wood to late wood

\*\* Ratio of radial direction to tangential direction

- : shrinkage

断面形が不均一であり、放射方向の細胞列の配列性、細胞軸と材軸との不一致性が認められた。

切片の各細胞の細胞内腔径、細胞壁厚さの含有水分による寸法変化率を部位毎にTable 2に示した。細胞内腔径は、心辺材の早晚材に共通して放射方向径、接線方向径共に膨張しており、従来の Chaffeら<sup>2)</sup>の多くの研究が細胞内腔は寸法変化しないとし、また Douglas fir では内腔の放射方向径が含有水分の低下に対し増加すると報告している<sup>8)</sup>が、本試料ではいずれの方向とも水分低下にともなって増

加する結果を得た。一方細胞壁は全て細胞壁で収縮していることが認められた。辺材と心材それぞれの相当材部の寸法変化率の有意差検定をしたが、危険率5%レベルで有意差は認められなかった。しかし辺材と心材のそれぞれの早晩材間には有意差が認められ、内腔径、細胞壁の厚さ方向の寸法変化率は晩材では早材の約2倍の値を示した。また内腔径の変化率は相当する方向の細胞壁の変化率よりも大きく、細胞壁の乾縮の寸法変化量よりも細胞内腔の変化量が大きくなり、細胞全体としては膨張の傾向を示した。細胞の寸法変化量をTable 3に示した。また放射壁と接線壁の寸法変化率の比は早材：0.6653、晩

Table 3 Quantity of cell dimension (Sapwood)

	Early wood		Late wood	
	green wood state	dry wood	green wood state	dry wood
Lumenn diameter				
Radial	38.448	38.854	14.970	15.965
Tangential	35.090	35.399	21.242	22.357
Cell wall thickness				
Radial	8.505	8.199	20.169	19.088
Tangential	7.670	7.466	14.318	13.386

材：1.0906であり、細胞壁の異方性はアメリカ産のマツ材11種の平均異方度0.613<sup>9)</sup>に対して異方度の比は、早材が1.083と比較的近似しているが、晩材は1.779を示し、異なった値であった。また、壁厚の比は早材が0.882、晩材が0.724であり、寸法変化率の両者の比とは異なっており、壁厚以外の影響因子があると推察された。壁の寸法変化率は壁厚方向の変化率であるので、壁の長さ方向の寸法変化率の影響が考慮されていない。壁の長さ方向の飽水時における両者の相対比は早材で0.973、晩材で1.417、壁面積の比は0.857と1.0299であり、これらの値も寸法変化率の比の値とは異なっている。寸法変化率は単に壁量だけの影響を受けるのではなく、細胞の複合細胞間層や配列の状態も関与しているものと思われる。今回の細胞内腔径の測定は細胞の重心を通る水平方向の径とそれに直角方向の径の値であるので、細胞が軸に対して傾斜している場合には正確な径の値にはならないという測定上の問題点がある。本実験では、このような細胞を極力除外したが、肉眼的な判断によったのでその影響があったものと推察した。また細胞寸法変化の測定値は放射組織や成長輪界の影響を受けない細胞の測定値である。木材構成細胞や材構造の影響を受けていないので、木材ブロックの寸法変化率とは異なっているであろう。これらの点は今後の検討課題である。

単一細胞の寸法変化が壁の収縮と細胞内腔の膨張を生じたが、細胞の集合した状態の水分変化による寸法変化状態を検討した。放射方向及び接線方向の寸法変化率をTable 4に示した。細胞列の測定には

Table 4 Coefficient of dimension change of tracheid row

	Heart wood		Sap wood	
	Early wood	Late wood	Early wood	Late wood
Radial direction	0.572	0.060	0.041	0.144
Tangential direction	0.121	0.365	0.207	0.358

列内の細胞の配置が均一でなく、単一細胞の測定よりは放射方向、接線方向の計測上の設定と実際の方向のずれが大きくなっているものと考えられる。したがって個々の細胞乾縮が細胞によって異なった方向に寸法変化を起し相互に打ち消し合って、寸法変化量及び変化率が個々の細胞の変化量の和や平均変化率とは異なり、小さくなっているのであろう。このことは細胞壁相互の拘束に加えて細胞形の配置状態が重要であることを示唆している。

## 結 論

早成樹種仮道管は、細胞壁は含有水分の低下にともない乾縮するが、細胞内腔はむしろ膨張し、仮道管群は含有水分の低下にともない逆に膨張することもある。ニュージーランドパインの細胞壁と内腔の寸法変化は早材と晩材とも同じ傾向を示した。木材の水分変化による寸法変化には、細胞個々の寸法変化の他に細胞形状や配置状態などの影響を受け、個々の細胞の寸法変化が相互に作用しあい、木材ブロックの寸法変化が決定されるものと推察された。

## 摘 要

木材の乾縮率の決定に関与する因子は壁のフィブリル傾角、木化度、早晚材の構成比、細胞形などが提案されているが、因子の関与度合はあまり明らかにされていない。本報告は早成樹ニュージーランドパイン (*Pinus radiata*) を対象に細胞壁の乾縮と細胞の乾縮の関係を検討した。マツ材は残留応力や水溶性の抽出成分を除去し、切片上で乾縮を計測した。乾燥は切片に新たな応力や変形を生じないようにアルコールで脱水した。仮道管の脱水により、細胞壁は乾縮するが、細胞内腔は膨張した。膨張量は乾縮量よりも大きいために仮道管は膨張した。また放射壁と切線壁の乾縮量の比は仮道管群の寸法変化率や木材ブロックの乾縮率の比と異なっていた。これらのことから木材の乾縮は隣接する仮道管の寸法変化の相互作用や細胞の配置状態による影響があると推察された。

## 引用文献

- 1) Boyd, J.D. 1974 Anisotropic shrinkage of wood: Identification of the dominant determinants, *Mokuzai Gakkaishi*, **20**: 473~482,
- 2) Chaffe, S.C. 1986 Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractions in *Eucalyptus* and other species, *Wood Sci. Tech.*, **20**: 293~307
- 3) Cave, I.D. 1976 Modeling the structure of the softwood cellwall for computation of mechanical properties, *Wood Sci. Tech.*, **10**: 19~28
- 4) Innes, T.C. 1995 Stress model of a wood fiber in relation to collapse, *Wood Sci. Tech.*, **29**: 363~376
- 5) Kauman, W.G. 1964 Collapse in wood, Part 1 Process variable and collapse recovery, *Holz Roh- und Werkstoff*, **22**: 183~196
- 6) Nakato K. 1958 On the cause of the anisotropic shrinkage and swelling in wood, *Mokuzai Gakkaishi*, **4**: 100~108
- 7) Quirk, J.T., D. Smith 1975 Method for estimating wood properties of douglas fir comparison of dual linear and dotgrid eyepiece, *Wood Sci.*, **8**: 92~96
- 8) Quirk, J.T. 1984 Shrinkage and related properties of douglas fir cell wall, *Wood Fiber Sci.*, **16**: 115~133

- 9) The forest products laboratory 1989 Wood handbook, 3-12~3-15, Washington DC, US  
Department Agriculture