琉球大学学術リポジトリ

広葉樹材の水分による変形(林学科)

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 林, 弘也, 垂内, 朋美, Hayashi, Hiroya, Tareuchi, Tomomi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3913

広葉樹材の水分による変形

林　弘也*・垂内朋美*

Hiroya HAYASHI and Tomomi TAREUCHI : Swelling and shrinkage of hard wood with water

Summary

The swelling of woods have been studied extensively, but there were few research reports about the longitudinal swelling of woods. It had to consider the longitudinal swelling in relation to the accompanying swelling of other axes of the wood.

The longitudinal and tangential swelling of 5 diffuse porous woods was examined to relate moisture contents, specific gravity, and the element ratio of wood.

Swelling in both axes was related to moisture contents with nonlinear relation and in the range of high moisture contents under fibre saturation point, the woods expanded with the increase of moisture contents.

The woods of ISUNOKI and YABUNIKKEI swelled slightly in desorption process and shrunk in adsorption process.

Tangential swelling was related to the specific gravity, the element ratio of ray and parenchyma cell. But longitudinal swelling was related to any factor. Some other factors, which were not examined in this study, should have an effect on longitudinal swelling.

From these facts, it was considered that the tangential swelling was mainly effected by specific gravity and the longitudinal swelling was affected indirectly by the tangential swelling.

緒　　言

有用木材資源の枯渇化の傾向が認められるようになるにともない，未利用木材資源の利用が盛んに喧伝されるようになり，未利用樹種を活用するための基礎的な研究が報告されるようになった。日本では大径の広葉樹材が伐採され，その蓄積が次第に減少している現状にあり，広葉樹材の材質が注目されるようになってきた。しかし低質かつ小径の広葉樹が多くの里山に成林しており，このような広葉樹材を有

* 琉球大学農学部林学科
琉球大学農学部学術報告　34 ： 83 ～ 88 (1987)

効に利用することも重要性を増しつつある。そこで広葉樹材の材質の1つとして重要な水分による変形－膨潤乾縮－と材の組織構造との関連性を検討した。

木材は水分の脱着による寸法変化すなわち膨潤乾縮量は材の構造3軸によって異なり，異方性を示すことが知られている。含水率と膨潤乾縮率の関係，膨潤乾縮の発生機構など木材の膨潤乾縮に関する多くの研究があるが，木材の主軸方向の膨潤乾縮に関する報告は比較的少ない。これは主軸方向の膨潤乾縮率が他の方向の膨潤乾縮率に比較して著しく小さい値であり，実用上は無視されていることと無関係ではないであろう。しかし，主軸方向の膨潤乾縮も木材利用技術上の重要性があり，他の方向の膨潤乾縮と関連させて，共に理解する必要があろう。本報告は広葉樹材のうち散孔材5樹種の切線方向と主軸方向の膨潤乾縮について基礎的な検討をした。

材料および実験方法

供試材は，細胞の分布が広葉樹材の中でも比較的均一である散孔材から5樹種を選んだ。供試材はTable 1に材の気乾比重とともに示した。

Table 1　Species of tested materials

Common name	Scientific name	Specific gravity at 15% M.C.
KATSURA	*Cercidiphyllum japonicum*	0.46
HOUNOKI	*Magnolia obovata*	0.45
YABUNIKKEI	*Cinnamomum japonica*	0.50
ISUNOKI	*Distylium racemosum*	0.92
EGONOKI	*Styrax japonica*	0.59

供試材から切線方向に幅30㎜，材の主軸方向に長さ60㎜，放射方向に厚さ2㎜の板状の試験片を各樹種それぞれ3枚作成し，実験に供した。試験片の調湿は塩類飽和溶液を使用し，使用した塩と平衡になる空気の相対湿度をTable 2に示した。実験装置の模式図はFig. 1に示した。調湿した空気はエアーポンプ（高槻製作所製，SPP－20GBL）で試験片をセットした測定室に送り，測定室内に調湿した空気を循環させ，湿度を一定に保った。測定室は恒温室に設置して温度を出来るだけ一定に保つようにした。測定室の温度，湿度は常時温・湿度測定器（神栄製，THT－A332）で測定し，記録した。材の膨潤乾縮量は切線断面の試験片に電気抵抗式のストレーンゲージ（共和電業製，K－10－B4－11）をエポキシ樹脂で接着し，5点切り換え箱（新興通信製，7507）を経て，静ひずみ計（新興通信製，PS7／LT）で測定した。膨潤乾縮量の測定は一定湿度の雰囲気中に12－18時間試験片を放置し，伸縮量が一定になった後に行った。

Table 2　Solution for conditioning

Chemicals	Relative humidity (25℃)
NaOH	18 (%)
CH_3COOH	22
$MgCl_2$	40
NaCl	75
KCl	90
H_2O	100

試験片の調湿は全試験片とも次の順序で行なった。初めに温度25±0.5℃、相対湿

度65±4％で調湿した後に測定室にセットし，相対湿度18％まで除湿し，次に相対湿度18％から約97％まで加湿し，その後再び相対湿度約40％まで除湿した。

供試材の木材組織学的な指標値を得るために横断断面に於ける各要素の構成割合を測定した。試料は膨潤乾縮試験片を採取した材部と切線方向に隣接する材部から1生長輪を含む横断切片を採取し，常法により永久プレパラートを作成した。作成したプレパラートを用いて，1生長輪の放射方向に配列した連続写真を撮影した。連続写真は1樹種について異なるプレパラートから4－5系列を撮影した。プリントした陽画上で各構成細胞の面積をデジタイザー（ワコム製，WT－4000，日本電気製，PC－9801E）を用いて測定し構成割合を求めた。構成割合は各測定値を合計し，1生長輪の平均値として求めた。

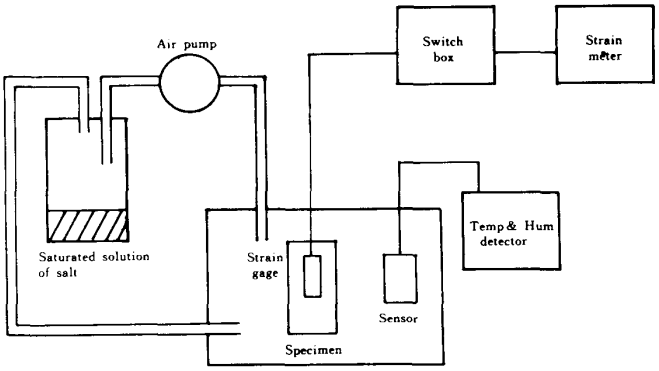
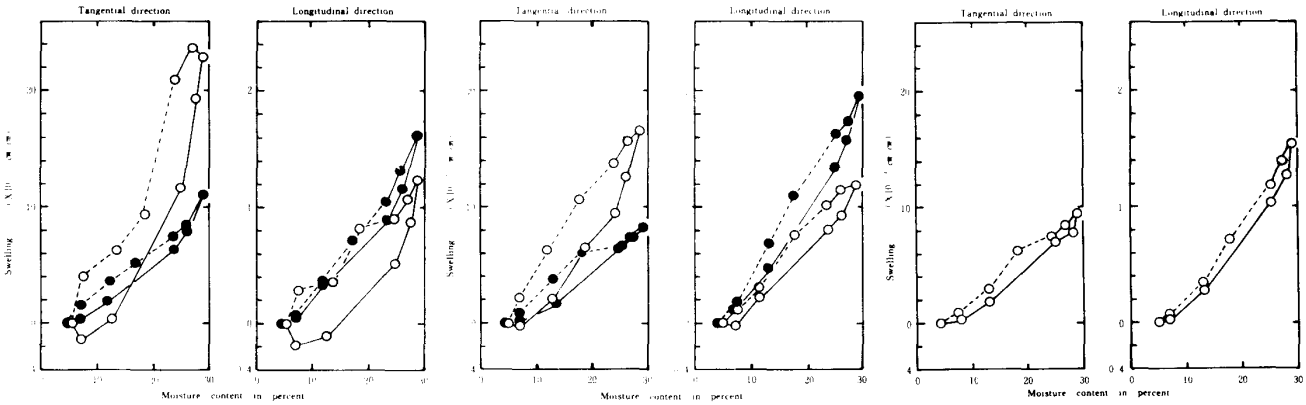


Fig. 1 Block diagram of measuring apparatus

実験結果および考察

1）切線断面の膨潤乾縮量

木材の膨潤乾縮量にはヒステリシスがあり，材の履歴に影響を受けるので，材の履歴条件を揃えることを目的に，試験片含水率が温度25℃ 相対湿度18％の雰囲気で平衡に達した状態を基準に膨潤乾縮量を測定した。各樹種の切線方向および主軸方向の膨潤乾縮量と平衡含水率との関係をFig 2 に示した。図中に点線で示した部分は試験片の履歴が必ずしも一定していないので，参考データとして示した。データは全測定値とも平均値で示してある。膨潤乾縮量は樹種で異なっており，本実験の最大膨潤乾縮量は，切線方向ではイスノキ＞ヤブニッケイ＞カツラ＞エゴノキ＞ホウノキの順に，主軸方向ではホウノキ＞カツラ，エゴノキ＞イスノキ＞ヤブニッケイの順に小さくなっており，両者の相関係数は r=0.263 と低い値を示し，特定の傾向は認められなかった。膨潤乾縮量と材の気乾比重の関係を示したのがFig. 3 であるが，図中の膨潤乾縮量は相対湿度約80％のときの吸湿過程と脱湿過程の値を示した。切線方向の



a) ISUNOKI (○), KATSURA (●)　b) YABUNIKKEI (○), HOUNOKI (●)　c) EGONOKI

Fig. 2 Tangential and longitudinal swelling in adsorption and desorption
Legend : dotted line : swelling of the specimen in an unfixed history
solid line : swelling of the specimen in a fixed history

膨潤乾縮量は気乾比重と直線関係が認められたが，主軸方向の膨潤乾縮量には相関が認められなかった。しかし，切線方向の膨潤乾縮量に対する主軸方向の膨潤乾縮量の比すなわち異方度は比較的高い含水率領域では樹種毎にほぼ一定した値を示し，このときの値は気乾比重と2次の相関があり，Fig. 4に示した。吸湿過程の材の含水率が低い領域と脱湿過程の含水率が高い領域では，異方度は気乾比重との関係は認められなかった。

主軸方向の膨潤乾縮量と材の含水率との関係は，含水率が繊維飽和点から減少する過程では，気乾含水率までは殆ど乾縮を示さないばかりか樹種によってはむしろ膨潤することもあり，含水率8％以下の領域で乾縮が開始されるという A. Koehler の結果[1] とは異なり，上述したように試験した全ての材において材の含水率が8％以上の領域でも脱湿過程では乾縮し，吸湿過程では膨潤することが認められた。また両者の関係は他の二方向－放射方向，切線方向－と同様に非線形の関係にあり，佐道らの報告[2] とおなじ結果を得た。

材の含水率と膨潤乾縮量との関係は含水率が高くなるときには材は膨潤し，含水率が低くなるときに材は乾縮すると考えられてきたが，本データには，イスノキ，ヤブニッケイのように相対湿度18％から22％への吸湿過程，相対湿度97％から90％への脱湿過程では膨潤と乾縮が逆転した値を示した。すなわち材の含水率が増加する吸湿過程で収縮し，含水率が減少する脱湿過程で膨張する現象があった。この現象は定性的には次のように説明できるであろう。正常な木部繊維の細胞壁は層構造をしており，大部分は2次壁の層からなっている。2次壁の各層はそれぞれの厚さとミクロフィブリル配列を持ち，吸湿するとそれぞれの層構造に応じて繊維軸方向，切線方向，放射方向に膨潤する。膨潤は細胞壁の厚さ方向が最も大きく，壁層内では2次壁の S1 と S3 は繊維軸方向に，S2 は繊維軸に垂直方向に大きく膨潤すると考えられる。繊維の膨潤量は主として S1 と S3 の繊維方向の膨潤量と S2 の繊維軸に垂直方向の膨潤量との差の大きさに支配され，両者の差の値によっては繊維軸方向に収縮する[3] こともあると考えられる。

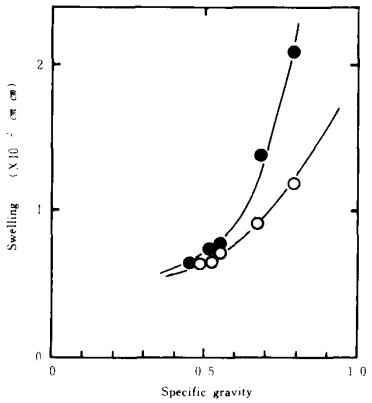


Fig. 3 Relationship between specific gravity (at 15% moisture contents) and swelling at about 21% moisture contents

Legend : ○ : adsorption ● : desorption
Correlation : Adsorption $Y = 7984 - 16171x + 26511x^2$ $r = 0.998$
Desorption $Y = 28280 - 100260x + 115224x^2$ $r = 0.994$

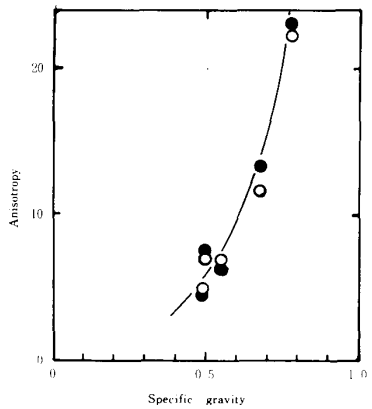


Fig. 4 Relationship between specific gravity (at 15% moisture contents) and anisotropy of swelling at 21% moisture contents

Legend : ○ : adsorption ● : desorption
Note : Anisotropy is the ratio of tangential swelling to longitudinal swelling
Correlation : Adsorption $Y = 56 - 200x + 198x^2$ $r = 0.983$
$Y = 39 - 147x + 161x^2$ $r = 0.981$

膨潤乾縮の発生機構については，細胞壁二次壁の S2 層に起因するという仮説，細胞壁の量に比列するという仮説，細胞内腔に起因するという仮説などが提出されているが，根本的には細胞の壁に起因することは明白なことである。細胞壁の量を表わす指標として気乾比重が考えられるが，気乾比重との相関が認められたのは切線方向の膨潤乾縮量であり，繊維軸方向の膨潤乾縮量には認められなかった。切線方向に配列する細胞壁は主軸方向に配列する細胞の切線壁と放射壁および放射組織の柔細胞の垂直壁と水平壁であり，膨潤乾縮量に関与するのは切線壁の切線方向の膨潤乾縮量と放射壁の厚み方向の膨潤乾縮量および放射組織の柔細胞の垂直壁の厚み方向と水平壁の切線方向の膨潤乾縮量である。これらの膨潤乾縮量はいずれも含水率と共に増加する性質を持ち，更に切線方向に直列に配列しているので，細胞実質の量を表わす気乾比重と線形の相関を示すと考えられる。一方主軸方向では，主軸方向に配列する細胞の放射および切線壁と放射組織の柔

細胞の垂直壁と水平壁である。主軸方向細胞の膨潤乾縮量は水平方向の膨潤乾縮量との関連があり，水平方向の膨潤乾縮量が大きい程主軸方向の膨潤乾縮量は小さくなると考えられるので，気乾比重とは負の関係にあると考えられる。また放射組織柔細胞の垂直壁は樹幹軸方向の膨潤乾縮量が小さく，水平壁の厚さは木部繊維などよりははるかに薄く，膨潤乾縮量は小さいと考えられるので，放射組織全体の膨潤乾縮量が主軸方向の膨潤乾縮量へ寄与する程度は周囲にある主軸方向細胞の膨潤乾縮量とのバランスによって決まると考えられる。従って膨潤乾縮量と気乾比重との相関関係は認められないか，もしくは負の相関であろう。Fig. 3 は上述した機構を裏付けるものであろう。

異方度と気乾比重との相関が認められた含水率領域は，切線方向の膨潤乾縮量が主軸方向の膨潤乾縮量よりも著しく大きな値である為に両者の比である異方度には軸方向の影響が小さいことによるものである。

2）構成要素と膨潤乾縮量

木材の膨潤乾縮量が細胞壁の実質量と高い相関が認められたので，材を構成する細胞の種類や各組織の割合と膨潤乾縮量の相関関係を検討した。供試材の横断断面に於ける道管，柔組織，木部繊維，放射組織の構成割合を Table 3 に示した。カツラ材は道管が木部繊維よりも多いが，他の樹種は全て木部繊維が道管よりも多い割合を占めていた。

Table 3 Element ratio of wood

Species	Vessel	Wood fibre	Parenchyma	Ray
KATSURA	45.7 (%)	42.4 (%)	0.0 (%)	11.9 (%)
HOUNOKI	22.1	68.2	0.5	9.2
YABUNIKKEI	14.7	67.0	6.5	11.8
ISUNOKI	14.8	69.7	7.7	18.8
EGONOKI	7.9	73.9	2.7	15.5

材の要素の構成割合と切線方向の膨潤乾縮量は放射組織および柔組織との相関が認められたが，道管および木部繊維との相関は認められなかった。しかし主軸方向の膨潤乾縮量との相関はいずれも認められなかった。

切線方向の膨潤乾縮は細胞壁の量の面から考えて木部繊維が支配因子であろうと思われるにも拘わらず相関が認められなかった。一方相関が認められた放射組織，柔組織は気乾比重との相関があるので，本実験の結果から直ちに放射組織や柔組織の有効性を判断できない。また放射組織は隣接する細胞に膨潤乾縮の影響を及ぼすに過ぎないという針葉樹材の横断断面の膨潤乾縮の報告[4]も見られるが，高い相関が認められたことは切線断面の切線方向の膨潤乾縮量には放射組織や柔組織の微小な影響があることを否定できるものではない。このように，気乾比重との相関が認められながら構成細胞の割合との相関があまり認められないことは，細胞同士の相互作用や間隙などなんらか別の因子が膨潤乾縮量に影響していることを示唆しているのであろう。

結　　論

広葉樹散孔材 5 樹種の切線断面の繊維軸および切線方向の膨潤乾縮量を検討し，次の結果が得られた。

1．主軸方向および切線方向の膨潤乾縮量と材の含水率との間には非線形の関係が認められた。

2．材の膨潤乾縮量の異方度は繊維飽和点以下の比較的高い含水率領域ではほぼ同じであった。

3．イスノキ，ヤブニッケイでは，含水率の変化と膨潤乾縮量の変化が逆転する含水率領域が認められた。

4．切線方向の膨潤乾縮量は気乾比重および放射組織，柔組織の構成割合との相関が認められたが，主軸方向の膨潤乾縮量はいずれの指標とも相関が認められなかった。

従って定性的には，切線方向の膨潤乾縮は細胞壁が切線方向に直列に配列した状態であり，膨潤乾縮量は相加的であると考えられ，細胞壁の厚さ（壁の量）の和が支配的因子であるが，主軸方向の膨潤乾縮は細胞壁が並列に配列し，しかも膨潤乾縮量は細胞壁の厚さ方向の膨潤乾縮量に間接的に影響されていると考えられ，更に検討が必要である。

引　用　文　献

1）Koehler A. 1946 U. S. Dep. Agr. For. Serv., For. Prod. Lab. Rep. No. R 1073（中戸莞二，1985 木材工学 p67　東京　養賢堂）

2）Sado, T., Christensen, G. N.　1967　Longitudinal shrinkage of wood－part 1 longitudinal shrinkage of thin sections, Wood Sci. Tech., 1 : 26～44

3）渡辺治人　1978　木材理学 p255～256　東京　農林出版

4）中戸莞二　1963　木材の収縮異方性，材料，12:689～694

和　文　摘　要

木材の膨潤乾縮に関する報告は多いが，木材の主軸方向の膨潤乾縮に関する報告は比較的少ない。しかし，主軸方向の膨潤乾縮も他の軸方向の膨潤乾縮と関連させて総合的に理解することが必要であろう。

広葉樹散孔材5樹種について切線方向と主軸方向の膨潤乾縮量と含水率，気乾比重，要素の構成割合との関連性を検討した。両方向とも膨潤乾縮量と含水率とは非線形の関係を示し，含水率8％以下の低い含水率領域でも膨潤乾縮量が認められた。しかし，吸湿過程で収縮する含水率領域と脱湿過程で膨張する含水率領域がイスノキ，ヤブニッケイに認められた。切線方向の膨潤乾縮量は気乾比重，放射組織，柔組織との相関が認められたが，主軸方向の膨潤乾縮量は比重，構成割合ともに相関を示さなかった。要素の構成割合と膨潤乾縮量との相関が認められないことから，なんらかの他の因子が膨潤乾縮に影響しているものと推測される。

膨潤乾縮は，定性的には，切線方向は主に比重に影響され，主軸方向は切線方向の膨潤乾縮に間接的に影響されていると考えられる。