

木材の収縮膨脹に関する異方性の原因について (第17報)

竹材の異方的収縮 (1)

中 戸 莞 二

KANJI NAKATO: On the cause of the anisotropic shrinkage and swelling of wood. XVII. On the anisotropic shrinkage of bamboo. (1)

緒 言

竹はその程が木材と同様に木質化する多年生植物であるが、単子葉類中の禾本科に属し、程の形状・顕微鏡的構造・化学組成・材質等において木材と異なることが多い。すなわち、竹程は中空円筒をなして節をもち、形成層による年々の生長をしない結果年輪を形成せず、筍から出来た竹程の太さがほとんど変わらない。また、程壁は最外側に表皮細胞・皮下組織・皮層等よりなるごく薄い皮部、その内側に基本組織である柔組織の中に維管束が散在している中心柱、最内側に厚膜細胞よりなるごく薄い髓層の3部から構成されている。(Fig. 1 参照)。しかも、維管束は Fig. 1 a に示すように竹程の外周に向うほど分布密度を増し、維管束内には栄養物の通導作用をする篩管からなる韌皮部と、水分の通導作用をする2個の大型の網紋導管および1個の螺旋紋導管からなる木質部を含み、これら通導組織の外周は竹程に強固性をあたえる厚膜の韌皮繊維の集合した維管束鞘で囲まれている。このような竹材の顕微鏡的構造を木材のそれに比較するとき、異方的収縮の機構の考究について次の相違点が注目になる。すなわち、竹程壁の量的主要部である中心柱と木材との比較において、

(1) 木材の基本組織が針葉樹において仮導管、広葉樹において木繊維等、いわゆる“繊維”であるに反して、竹材のそれは“繊維”と細胞膜構造および性質を異にする柔組織であり、量的に主客が転倒している。

(2) 木材がその半径方向に細胞長軸をもつ射出線をもつに反して、竹材の全構成要素はその細胞長軸を竹程長軸方向に配位している。したがって、竹材はその木口断面において柔細胞・維管束の粒状混合体として模式化しうる。

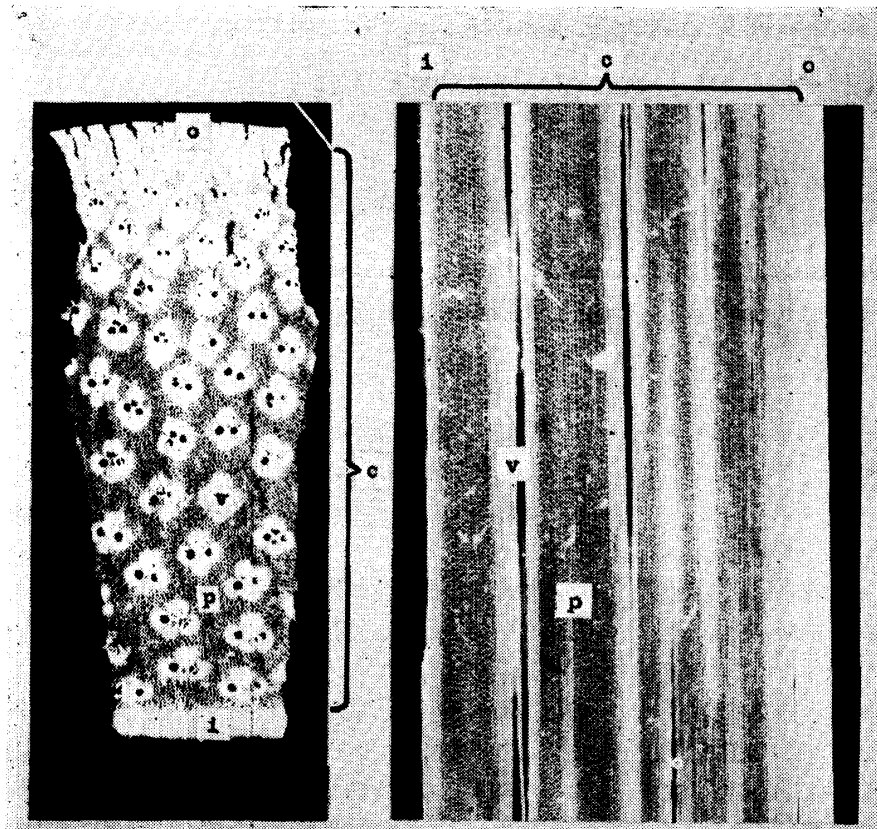
(3) 木材が多くの年輪をもつに反して、竹材は程壁全体が1年輪に相当し、その外側部から内側部に向つ

て維管束(韌皮繊維)の分布密度が減少している。したがって竹材についての顕微鏡的構成要素(柔組織・韌皮繊維等)の割合と材質との関連性の検討が比較的容易である。

顕微鏡的構造と化学的性質の相違にもとづいて、材質においても木材と竹材は顕著な相違を示す。水に対する諸性質においても、例えば竹材は木材に比較して繊維飽和点が低く、決定方法によつて異なるが13~20%であり^{11)~14)}、これは竹材繊維の結晶排列度が良好なことによるものであらうとされている¹⁵⁾。また、吸湿性のきわめて高い水溶性成分を含む柔細胞を多くもつ竹程内側部は、略々等しい比重の木材に比較して吸湿性が高く、関係湿度75%以上における等温吸湿平衡含水率が高く関係湿度100%で60~80%に達する¹⁶⁾。

以上のように、顕微鏡的構造および材質において木材に対して顕著な相違を示す竹材は、実用的意味においては古くから“木竹材”として木材と並び称せられている材料である。そこで、前報までの木材の異方的収縮に関する研究の一部として、本報においては竹材程壁内外側部の横断面における収縮ならびに竹材の顕微鏡的構成要素(柔組織・韌皮繊維等)の収縮について報告し、次報⁹⁾において竹材の顕微鏡的構造と異方的収縮の関係を検討して、異方的収縮の機構を考究する。このようにして顕微鏡的構造における既述の木材と竹材の注目すべき相違点によつて、木材の異方的収縮の機構を考究する一助ともしようとするものである。

竹材に関する研究にあたり、貴重な文献を御恵与いただいた東京大学鈴木寧・新潟大学北村博嗣・九州大学太田基の各位、供試竹について便宜を与えていただいた本学演習林佐野助教授に対して謝意を表すると共に、本報の実験にあたり熱心な援助をいただいた本学森林利用学専攻学生中川捨巳・福井清夫・兎本功の諸氏に衷心より謝意を表する次第である。



a. Cross section

b. Radial section

o : Outer layer, c : Central cylinder, p : Parenchyma,
v : Vascular bundle, i : Inner layer

Fig. 1 Bamboo (Madake : *Phyllostachys reticulata* C. Koch)

I 実験方法

1. 供試竹

供試竹は京都市北区鷹ガ峰桃山所在の本学鷹ガ峰演習林産のモウソウチク *Phyllostachys pubescens* MARGEL・マダケ *Phyllostachys reticulata* C. KOCH 夫々1本である。同演習林は、その地質が秩父古生層に属し、粘板岩・角岩を基岩とする埴質壤土であり、その約1haに大正6年以来モウソウチク・マダケ・ハチクの竹林が造成された。この竹林は毎年12月中旬に間伐をしたのち、ただちに藁しき、化学施肥、厚さ9~15cmの客土等の手入れをしている。供試したモウソウチクは6年生で胸高直径10.6cm、全長15.15mであり、マダケは12年生で胸高直径5.9cm、全長11.61mであつて、いずれも略々普通程度の大きさである。

2. 竹材の収縮率の決定法

収縮率決定用の試料はモウソウチクにおいては第2

(地上高: 0.11~0.21m)・第6(0.68~0.85m)・第10(1.50~1.74m)・第16(3.16~3.48m) および第22(5.23~5.60m) 節間から、マダケにおいては第2(0.08~0.19m)・第4(0.32~0.48m)・第6(0.65~0.83m)・第8(1.04~1.26m) および第10(1.48~1.72m) 節間から採取した。ここに節間番号は根元から梢端にむかつて第1節間・第2節間と順につけたものである。試料の作製法は次の通りである。まず、供試節間の長さの中位附近から高さ1cmの供試輪を1~3個宛採取し、これらから大きさ0.5~0.6(切線方向^註)×約1.0(半径方向^註)×1.0(長軸方向)cmのブロックを1節間あたり80個宛とり、表面を平滑に仕上げるとともに皮部および髓層を削り落

した。次にこれらのブロックの半径長さを2分し、皮部に近い側を外側部ブロック、髓層に近い側を内側部ブロックとし、分割面を平滑に仕上げた。これら内外側ブロック80個宛を無作為に夫々2群に区分し、1群を半径収縮率決定用、他を切線収縮率決定用ブロックとした。これらのブロックを夫々4個宛第7報⁴⁾の場合と同様に積層接着して、同一条件あたり10個宛の切線および半径収縮率決定用の積層試験体を得た。なお測長のための積層試験体標点間距離は約2cmであるが、マダケの半径収縮率決定用の積層試験体のそれは、稈壁が薄いため1.0~1.5cmであつた。

積層試験体についての収縮率の決定法は第7報⁴⁾と同様である。なお、試験体の取扱ひは次の通りである。すなわち、気乾状態の積層試験体を真空ポンプで排気しながら3日間水中に浸漬して飽水状態として測長し、これを実験室内に7~10日間放置して気乾状態とし、ついで30°Cから順次10°C間隔で90°Cまで、各温度で略々8時間宛加熱乾燥し、最後に100°Cで約

註 木材の切線および半径方向は年輪に関して表示される。本報および次報⁵⁾における竹材の切線および半径方向とは、中空円筒状の竹稈に対しての表示であり、半径方向は竹稈壁の厚さ方向に相当し、切線方向は竹稈の横断面において半径方向に直交する方向を意味する。この表示によつて径切両方向における収縮を夫々半径収縮・切線収縮とよぶ。

13時間乾燥して炉乾状態にして測長した。飽水状態から炉乾状態までの全収縮率は飽水長に対する百分率で示した。

また、積層試験体の個々について、飽水状態における容積を試験体が水中でうける浮力によつて決定し、これと炉乾重量とによつて容積密度を求めた。

3. 維管束および柔組織の収縮率の決定法

竹材中心柱の顕微鏡的構成要素である維管束および柔組織の収縮率決定のための供試料は、いずれも供試竹第1節間（地上高：モウソウチク 0~0.11m, マダケ 0~0.08m）からとつた。すなわち、第1節間を上下に2等分、横断面において略々等しく4分割して得た計8個の輪片から夫々1個宛の供試竹片（切線方向：1cm, 長軸方向2cm）をとり、皮部および髓層を削りおとした。これらを水とグリセリンの混合（3：1）液中で6~12時間煮沸軟化したのち、厚さ20~30 μ の木口および柾目切片をきりとり、第9報²⁾と同様の方法で木口切片から維管束および柔組織のいずれか一方のみ（ただし前者は四周に1~3列の柔細胞を含む）を、柾目切片から柔組織のみを含む微小切片をきりとつた。なお、夫々の供試微小切片数は10で、柔組織の微小切片は略々方形に切断し、一辺に約20列の柔細胞を含んでいる。これらの微小切片の乾湿両状態における顕微鏡写真を同一倍率で撮影し、これらの写真（総合倍率：維管束約200, 柔組織約90と120）上で、稈壁の切線および半径方向に相当する方向における長さを測定して飽水長に対する収縮率を決定した（詳細については第9報²⁾を参照）。この場合、収縮率を決定した部分は維管束の微小切片においては靱皮繊維群・導管および篩管の内腔であり、柔組織の微小切片においては周辺の2~3細胞列を除いて数カ所宛である。なお、前者の場合繊維間に亀裂を生じやすく、亀裂を生じた靱皮繊維群およびこれに隣接する導管または篩管

内腔は収縮率の決定から除外した。

II 実験結果および考察

1. 竹材の横断面における収縮

収縮についての木材と竹材の相違は、竹材が稈壁の厚さ方向において顕微鏡的構造の相違にもとづく収縮の差異があることと、竹材の基本組織である柔組織において乾燥条件によつては容易に collapse を伴うことである。

既述のように、竹材はその稈壁の最外部・最内部に夫々ごく薄い皮部・髓層を、両者の間には柔組織の中に維管束が外側部ほど密に散在している中心柱をもち、これらの3部から出来ている。したがつて、竹稈壁はその厚さ方向における部位によつて顕微鏡的構成要素の種類・割合等を異にすることとなり、その結果、竹材の収縮は、例えばモウソウチクについての北村の実験結果²⁾(Table 1)に示されるように、稈壁の厚さ方向における部位によつて収縮の絶対値と径切面収縮の関係を異にする。また、このことを竹材の主要部分である中心柱について述べると次のとうりである。すなわち、Table 2²⁾に示すように、中心柱を外側部と内側部の2部に区分した場合、外側部の径切面収縮および内側部の半径収縮の3者に較べて内側部の切線収縮は小さく、また、外側部の横断面における収縮異方度（切線収縮/半径収縮）が1.05~1.21~1.42であるに反して、内側部のそれは0.40~0.58~0.95である。

このような中心柱内外側部における収縮の相違は、本質的には外側部においては厚膜で収縮のいちぢるしい靱皮繊維を多く含み、内側部においては薄膜で収縮が同一比重の木材の約20%と推定される¹⁶⁾柔組織を多く含むことによるものであろう。なお、鈴木¹⁵⁾によると、竹材において占める靱皮繊維の割合、すなわち織

Table 1 Shrinkage of bamboo (Mōsōchiku*₁: *Phyllostachys pubescens* MAGEL) (H. KITAMURA²⁾)

Part* ₂	Tangential shrinkage %	Radial shrinkage %	Longitudinal shrinkage %
a	7.28	9.20	0.07
b	4.74	4.65	0.10
c	4.26	4.62	0.50
d	3.53	3.86	0.55
e	2.04	7.94	—

*₁: Habitat of sample is Kagoshima prefecture, *₂: Part a (outer part in transverse section)→Part e (inner part)

Table 2 Shrinkage of central cylinder of bamboo (Mōsōchiku)
(H. KITAMURA²⁾)

Habitat	Outer part		Inner part	
	Tangential shrinkage %	Radial shrinkage %	Tangential shrinkage %	Radial shrinkage %
Kagoshima	7.56	6.73	4.53	8.55
Shimane	6.86	5.24	3.49	6.61
Hyogo	7.22	5.08	4.24	4.47
Kyoto	4.94	4.34	3.11	6.17
Tochigi	9.14	8.68	4.06	10.15
Izu	8.24	6.84	4.11	7.21
Mean	7.23	6.16	3.95	6.82

維率は外側部と内側部とで、とくに下稈部においていちぢるしい差があり、例えば皮部附近の繊維率63% (比重1.20) に対して内側部のそれは9.5% (0.54) である。しかし、中心柱の内外側部におけるいちぢるしい収縮の相違の全てが繊維率の相違によるもの (正常収縮) でなく、すでに鈴木が指摘している¹⁾ ように、その一部は竹材の収縮過程において主として柔細胞で容易に発生する collapse によるものであろう。ここに collapse は正常収縮とことなり、乾燥過程における含有水分の毛管作用で生ずる liquid tension によつて、細胞膜が内方に吸引挫屈させられるためにおこるもので、細胞膜の未成熟な幼令竹や加熱乾燥のさいにいちぢるしく、その歪は凹陷として外観的にも認められる場合がある。鈴木は3年生のモウソウチク生材を常温乾燥したさいの切線収縮の経過を図示し、含水率70% 附近までに認められる収縮 (乾燥速度の小さい場合: 約2.5%, 大きい場合: 約1.5%) は主として柔組織における collapse によるものであり、含水率約70% から気乾状態までの乾燥過程において収縮しないのは、繊維の収縮によつて柔組織の歪恢復を促し両者相殺しながら気乾状態にいたるものと解釈している。また、気乾材を水湿させ含水率70% で一定期間保存したものを大気中で乾かすと、collapse をいちぢるしく含まないと思われる一般木材に似た収縮曲線が得られると記述している¹⁾。以上の結果、成竹においても生材からの速度の小さい加熱乾燥の場合、竹材はとくにいちぢるしい collapse によつて収縮し、しかもこれは細胞膜が薄くその第2次膜に内層横巻構造をもたない柔組織において顕著であると考えられる。したがつて、中心柱外側部の収縮は主として靱皮繊維の正常収縮によるものであり、内側部のそれは柔組織の collapse が

支配的であろう。しかも、鈴木¹⁾、北村²⁾ が指摘しているように切線方向10~20mm、半径 (稈壁厚さ) 方向1~3mm の扁平な竹材試験体の収縮にさいしては、拘束の少い半径方向に collapse が進む結果、半径収縮がとくに内側部において大きくなるものと考えられる。また、このような扁平試験体で径切両収縮を決定することは、測定精度において半径収縮率が切線収縮率よりもかなり低いこととなり不合理である。

以上のように、竹材はその基本組織である柔組織において乾燥および試験体条件によつて容易に顕著な collapse を伴うため、竹材の横断面における収縮について collapse の発生を避けるか、または collapse 発生時の径切両方向における差異を少くし、かつ、径切両収縮率の測定精度を等しくする方法によつて再検討する必要がある。既述した本実験方法の着眼点は次の2点である。

(1) 試験体の乾燥条件: 鈴木・木方¹⁾ は皮部と髓層を削りおとしたモウソウチク片を厚さ約2.5mm、幅 (板目方向) 20mm、長さ90mmの5枚の板状試験片に分割し、これらの生材から気乾状態までの乾燥を100°Cでの急激な乾燥 (A-乾燥)、速度がA-乾燥の1/2である抑制な乾燥 (B-乾燥) および30°Cでの自然乾燥で気乾状態にしてから気乾 (E-乾燥) の3種の条件で行ない収縮を比較して、E-乾燥はA-およびB-乾燥よりも collapse の影響が少なく、内外側部のいずれにおいても、また径切両収縮のいずれにおいても正常収縮が支配的であることを認めている。そこで本実験は collapse の影響を避けうる完全な方法ではないが、E-乾燥に準じた既述の乾燥条件を採用した。

(2) 試験体の形状: 既述のように本報においては

Table 3 Shrinkage*₁ in transverse section of bamboo (I)
(Mōsōchiku)

Sample			Laminated piece for the measurement of tangential shrinkage		Laminated piece for the measurement of radial shrinkage		β_t/β_r
Part	Internode No.	Internode length cm	R* ₂ g/cm ³	Tangential shrinkage β_t %	R* ₂ g/cm ³	Radial shrinkage β_r %	
Outer part	2	10	0.704 (±4.1)* ₃	5.14 (±4.5)	0.692 (±3.2)	4.73 (±5.9)	1.09
	6	17	0.686 (±1.3)	5.58 (±2.5)	0.674 (±2.1)	5.13 (±4.3)	1.09
	10	24	0.697 (±1.4)	5.86 (±2.2)	0.693 (±1.6)	4.62 (±3.2)	1.27
	16	32	0.743 (±1.5)	6.02 (±3.2)	0.743 (±0.8)	5.15 (±2.3)	1.17
	22	37	0.835 (±1.1)	6.26 (±3.4)	0.824 (±1.2)	4.60 (±8.0)	1.36
	Mean		0.733 (±1.9)	5.77 (±3.2)	0.725 (±1.8)	4.85 (±4.7)	1.20
Inner part	2	10	0.452 (±4.0)	3.33 (±9.3)	0.460 (±1.3)	4.21 (±9.0)	0.79
	6	17	0.513 (±0.8)	3.85 (±3.4)	0.515 (±0.6)	3.99 (±2.8)	0.96
	10	24	0.544 (±0.6)	3.97 (±2.3)	0.549 (±2.0)	4.03 (±3.7)	0.99
	16	32	0.553 (±0.9)	4.35 (±5.8)	0.563 (±0.9)	4.02 (±5.2)	1.08
	22	37	0.611 (±0.8)	4.37 (±3.7)	0.604 (±1.0)	3.68 (±5.4)	1.19
	Mean		0.535 (±1.4)	3.97 (±4.9)	0.538 (±1.2)	3.99 (±5.2)	1.00

Specimens-number of a sample is 10.

*₁ : Shrinkage of laminated piece (central cylinder of a bamboo) from water saturated to oven-dry condition,

*₂ : Specific gravity based on oven-dry weight and green volume,

*₃ : Numerical value in parenthesis is percentage deviation based on each mean values

竹材中心柱の内外側部からとつた横断面方形(5×5 mm)のブロックを供試して collpase の一方向への集中をさけ、これらのブロックを4個宛半径および切線面で接着積層して夫々切線収縮率および半径収縮率測定用試験体とすることにより、径切両収縮の測定精度を等しくした。

積層試験体について得た実験結果は Table 3 および4の通りである。これらの表において次のことが認められる。

(1) 容積密度と収縮： 既往の研究によると内外側部に分離した竹材について、比重と径切両収縮とが夫々無関係であり¹⁾、外側部においては靱皮繊維の疎密

が収縮に大きな効果を示すことにより、内側部においてはその比重が柔細胞膜の肥厚度によると考えられることにより、比重と容積収縮は一次的関係を示さず、竹材の収縮が主として繊維率できまり、収縮に対して比重の効果が繊維量の変化に伴う従属因子であるとしている¹⁰⁾。他方、太田は内外側部に分離しない竹材片について、比重と繊維率とが直線関係にあることを指摘¹⁰⁾している。本実験結果は Fig. 2 に示すように、モウソウチク・マダケ各1竹程から得た内外側部に分離した積層試験体について、容積密度と径切両収縮の和(近似的容積収縮)との間に一次的関係が認められた。これは中心柱外側部はもちろん、内側部において

Table 4 Shrinkage*₁ in transverse section of bamboo (2)(Madake : *Phyllostachys reticulata* C. Koch)

Sample			Laminated piece for the measurement of tangential shrinkage		Laminated piece for the measurement of radial shrinkage		β_t/β_r
Part	Internode No.	Internode length cm	R* ₂ g/cm ³	Tangential shrinkage β_t %	R* ₂ g/cm ³	Radial shrinkage β_r %	
Outer part	2	8	0.930 (±4.0)* ₃	6.66 (±3.7)	0.934 (±4.9)	6.08 (±7.9)	1.09
	4	16	0.853 (±4.0)	5.89 (±6.9)	0.853 (±1.7)	5.14 (±11.4)	1.09
	6	18	0.862 (±1.4)	6.16 (±3.8)	0.850 (±4.9)	5.40 (±7.4)	1.14
	8	22	0.915 (±1.2)	6.83 (±2.6)	0.926 (±1.7)	5.56 (±3.0)	1.23
	10	24	0.848 (±1.0)	5.72 (±4.6)	0.842 (±1.1)	5.02 (±6.9)	1.14
	Mean		0.882 (±2.3)	6.25 (±4.3)	0.881 (±2.9)	5.49 (±7.3)	1.14
Inner part	2	8	0.741 (±4.8)	4.93 (±5.6)	0.751 (±6.5)	4.87 (±6.6)	1.01
	4	16	0.631 (±6.3)	4.15 (±9.0)	0.633 (±1.6)	4.72 (±6.3)	0.88
	6	18	0.648 (±3.2)	4.54 (±4.7)	0.652 (±1.4)	4.45 (±5.9)	1.02
	8	22	0.649 (±1.4)	4.19 (±2.8)	0.654 (±2.7)	4.70 (±6.9)	0.89
	10	24	0.631 (±1.2)	3.31 (±9.1)	0.623 (±1.7)	3.52 (±13.0)	0.94
	Mean		0.660 (±3.4)	4.22 (±6.2)	0.663 (±2.8)	4.45 (±7.7)	0.95

*₁, *₂, *₃ : cf. Table 3

もその比重について繊維量が支配的であることと、靱皮繊維の収縮に較べて柔組織のそれがいちぢるしく小さい¹⁶⁾(次項参照) ことによるものと思われる。なお、次報⁹⁾で記述するように、靱皮繊維は柔組織にくらべて容積密度で約4倍であり、しかも内側部における容積割合でも柔組織の略々なかばに相当する。

(2) 内外側部の収縮 : 維管束の分布は竹稈壁の外側から内側にむかつて疎になり、柔組織割合は内側から外側にむかつて大となる。例えば供試モウソウチク1竹稈平均値について、維管束割合は最外側(皮部を除く) : 61.3% (繊維率59.5%) → 48.3% (43.5%) → 39.9% (33.8%) → 最内側(髄層を除く) : 33.5% (28.1%) である。(次報⁹⁾ Table 3 参照)。また、供試モウソウチク・マダケについて、径切両方向における収縮は柔組織よりも靱皮繊維がいちぢるしく大き

く4~5倍である(本報 Table 6 参照)。これらの値を用い収縮における外側部の内側部に対する比を概算すると次の通りである。すなわち、繊維率 : 柔組織割合を外側部 50 : 50, 内側部 30 : 70 とし、収縮における靱皮繊維の柔組織に対する比を4および5とした場合、収縮における外側部の内側部に対する比は、夫々 1.3₂ および 1.3₃ となる。他方 Table 3 および 4 に示した径切両収縮の実験値についての内外側部の内側部に対する比は Table 5 の通りである。このような計算値と実験値の一致は内外側部に区分して得た収縮が、本報の乾燥および試験体条件の場合、内部応力の発生にもとづく collapse その他の異常変形にほとんど影響されない正常なものであることを示すと考える。

(3) 横断面における異方的収縮 : 北村の実験値¹⁾において、モウソウチク全収縮(飽水状態から乾燥状

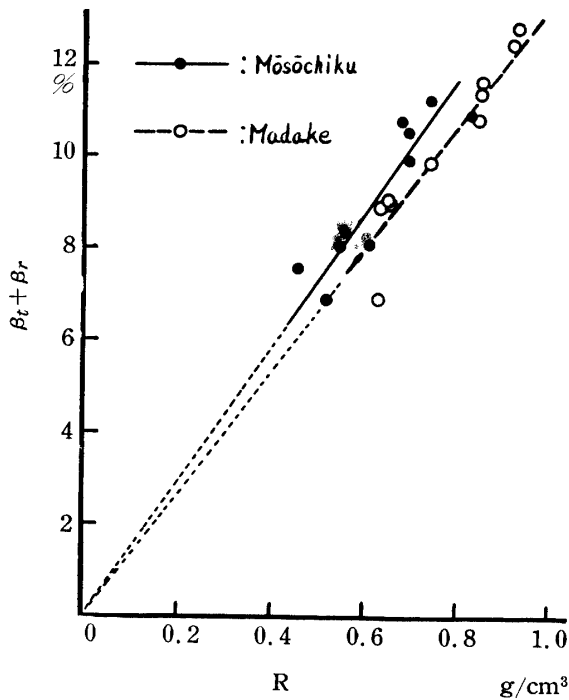


Fig. 2 Relations between the volumetric shrinkage ($\beta_t + \beta_r$) of bamboo and the specific gravity based on oven-dry weight and green volume (R)

態までの収縮)の横断面における異方度は、外側部では地上高 1.2 m 以上の節間 1.07~1.32~1.51, 地上高 1.2 m 以下の節間 0.68~0.78~0.88 であり、内側部では 0.41~0.57~0.72 である。本実験結果 (Table 3 および 4) における異方度は、外側部ではモウソウチク 1.09~1.20~1.36, マダケ 1.09~1.17~1.23 であり、内側部ではモウソウチク 0.79~1.00~1.19, マダケ 0.88~0.95~1.02 であつて、北村の実験値よりも内外側部ともに異方度が 1 に近く、より等方的な結果を示している。両者の実験結果の相違は乾燥および試験体条件にもとづく collapse の影響の差によるものと思われる。竹材が皮部を含まない外側部において半径方向よりも切線方向に少々大きい収縮を示し、髄層を含まない内側部において横断面で略々等方的収縮を示す原因については次報⁹⁾で考究する。

2. 維管束 (靱皮繊維) および柔組織の収縮

既述の方法で、竹材中心柱の顕微鏡的構成要素である維管束 (靱皮繊維および導管) および柔組織の、稜壁の径切面方向および長軸方向 (柔組織のみ) に相当する夫々の方向における飽水状態から乾燥状態までの収縮率を決定した結果は Table 6 の通りである。なお、本実験に供試した微小切片をモウソウチクについ

Table 5 Ratios of the shrinkage in outer part to the shrinkage in inner part of bamboo

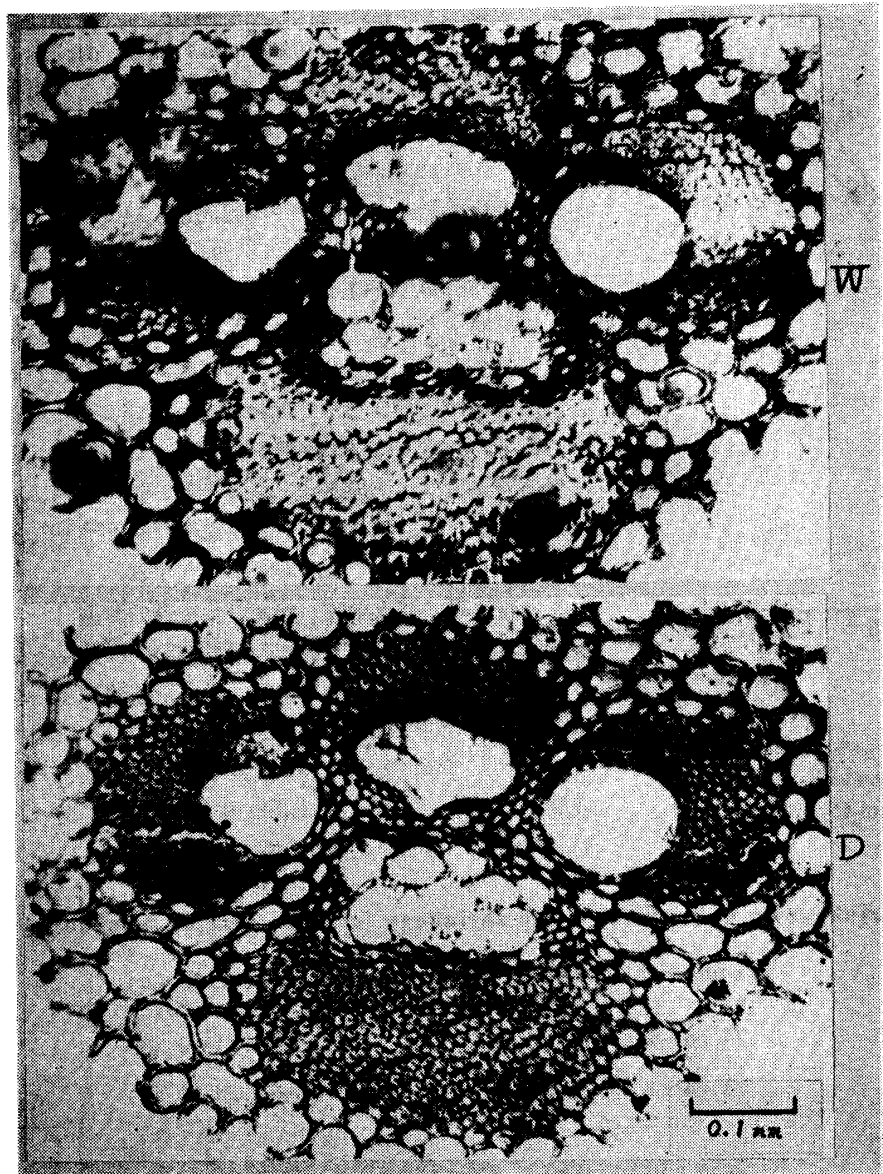
Bamboo	Tangential shrinkage	Radial shrinkage
Mōsōchiku	1.38~1.45~1.54	1.12~1.21~1.28
Madake	1.35~1.48~1.73	1.15~1.23~1.42

Table 6 Shrinkage of parenchyma and vascular bundle of bamboo

Sample (fine section)		Section		Mōsōchiku	Madake
Microscopical elements					
Parenchyma	Transverse	β_t %		1.2 ~ 2.1 ₅ ~3.2	1.2 ~ 2.1 ₄ ~3.2
		β_r %		0.8 ~ 2.2 ₇ ~3.8	1.6 ~ 2.1 ₃ ~2.9
		β_t/β_r		0.72~1.03~1.50	0.75~1.00~1.29
	Radial	$\beta_{r'}$ %		1.9 ~ 2.3 ₆ ~3.2	0.9 ~ 2.5 ₂ ~2.9
		β_l %		1.9 ~ 3.4 ₀ ~4.6	1.8 ~ 2.6 ₁ ~3.2
		$\beta_l/\beta_{r'}$		0.95~1.46~1.89	0.68~1.14~2.22
Vascular bundle	Bundle sheath	Transverse	β_t %	7 ~ 10.7~14	4 ~ 8.5~14
			β_r %	6 ~ 9.8~17	5 ~ 8.7~11
			β_t/β_r	0.6~1.2~1.8	0.4~1.0~1.7
	Vessel	Transverse	β_t %	1.9	-1.2
			β_r %	-0.8	-0.7

Specimens-number of a sample is 10.

β_t : Tangential shrinkage, $\beta_r, \beta_{r'}$: Radial shrinkage in transverse and radial section, β_l : Longitudinal shrinkage



W : Water saturated condition, D : Oven-dry condition

Fig. 3 A fine transverse section including a vascular bundle of bamboo (Mōsōchiku)

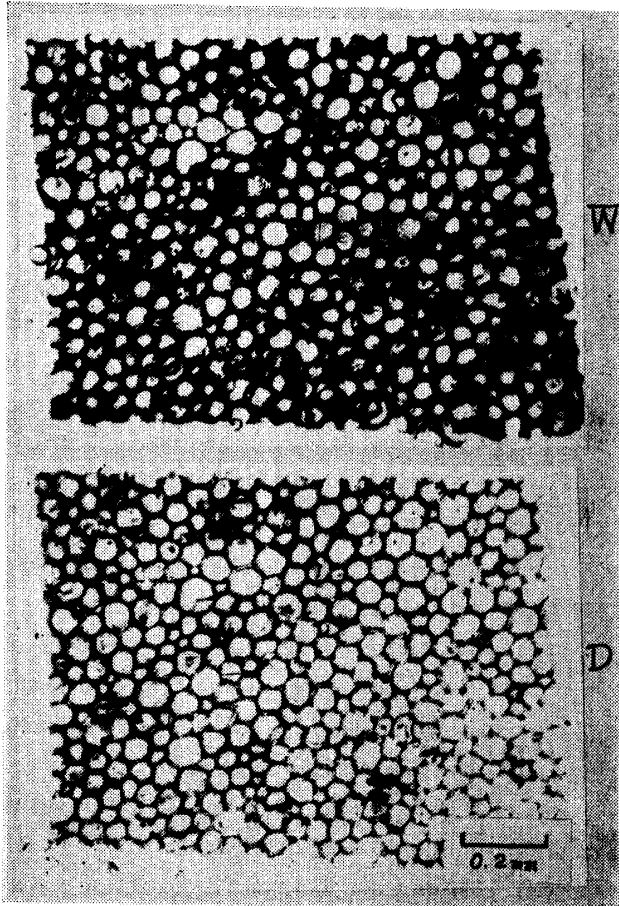
て例示する (Fig. 3~5). Table 6 において次のことが認められる。

(1) 柔組織は靱皮繊維にくらべて径切両収縮が小さい：鈴木は、次のような注目すべき記述をしている¹⁰⁾。すなわち、吸湿性のきわめて高い水溶性成分をもつ竹程内側部は関係湿度75%以上における平衡含水率が木材よりもいちぢるしく高いに反して、外側部の吸湿平衡含水率は結晶排列度の良好な靱皮繊維によつて木材よりも低い。しかも反面、竹材の含水率1%あたりの収縮膨脹量は同一比重の木材にくらべてかなり小さく、この原因は柔組織の収縮膨脹がいちぢるしく小さく、材全体の寸法変化がほとんど靱皮繊維によつて誘発される構造的的特異性にあるものとしている。さ

らに鈴木¹⁰⁾は理論的解析結果から、柔組織の収縮が同一比重の木材の約20%であると推定している。本実験結果によると、径切両収縮について柔組織は靱皮繊維にくらべていづれも小さく、靱皮繊維の収縮のモウソウチクにおいて約20%、マダケにおいて約25%である。これは写真 (Fig. 4 および5) からもうかがえるように、柔組織が収縮にさいして細胞腔の拡大となつて外部に伝達されない多くの変形を伴うことによるものであり、このような細胞腔の変形は第2次膜内層の横巻構造をもたない柔細胞の膜微細構造によるものであろう。また、径切両収縮の和 (近似的容積収縮) について靱皮繊維と木材の繊維質要素である仮導管・木繊維とを比較すると、次の通りである。本研究の第10報⁹⁾ および第15報⁹⁾ で既述した実験値について径切両収縮の和を求めると、スギ、モミ、カラマツにおいて春材仮導管平均約10%、秋材仮導管平均約30%、ミズナラにおいて約15%である。これらに対して竹材靱皮繊維は木繊維と秋材仮導管の間でモウソウチク約20%、マダケ約17%であ

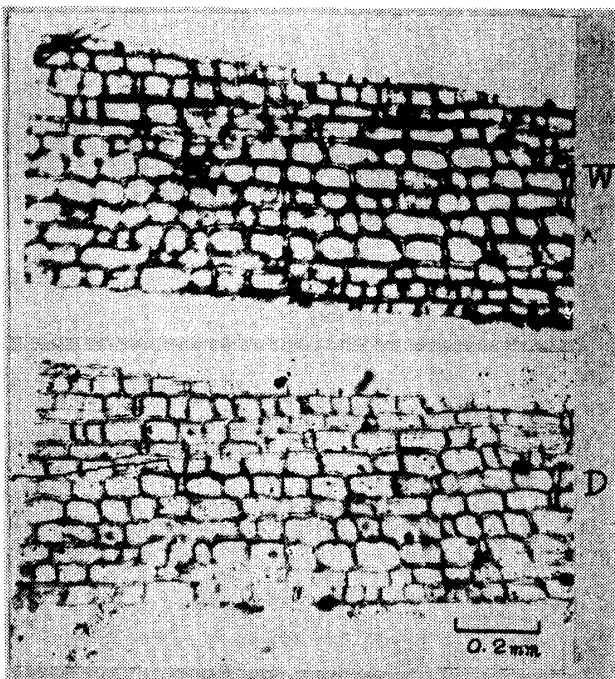
る。

(2) 靱皮繊維と柔細胞は夫々の横断面において略々等方的収縮を示す：Table 6 に示すようにモウソウチクおよびマダケについて柔組織は径切両収縮が略々等しく、木柔組織の場合⁷⁾と同様に、等方的収縮を示す。しかし、柱目切片について測定した半径収縮は長軸収縮よりもモウソウチクにおいて明らかに小さい。また、靱皮繊維も横断面において略々等方的収縮を示す。このように横断面多角型または円形の小型細胞よりなる組織が横断面において略々等方的収縮を示すことは、異方的収縮の機構の考究に意義あることと考える。



W, D : cf. Fig. 3

Fig. 4 A fine transverse section including parenchyma of bamboo (Mōsōchiku)



W, D : cf. Fig. 3

Fig. 5 A fine radial section including parenchyma of bamboo (Mōsōchiku)

要 約

竹材に関する既往の研究成果にもとづいて、竹材の収縮にさいして発生する collapse を少なくする乾燥および試験体条件（中心柱を内外側部に区分し積層接着した試験体）で、モウソウチクおよびマダケの径切両収縮を検討した結果（Table 3 および 4 参照）

(1) 容積密度と径切両収縮の和（近似的容積収縮）との間に一次関係が認められる（Fig. 2 参照）。

(2) 径切両収縮の夫々において外側部は内側部よりも大で、切線収縮において約 1.5 倍、半径収縮において約 1.2 倍である（Table 5 参照）。

(3) 外側部において切線収縮が半径収縮よりも稍々大で（異方向度約 1.2）、内側部においては横断面で略々等方的収縮を示す。

また、靱皮繊維および柔組織の収縮を微小切片について顕微鏡写真（例 Fig. 3～5）的に検討した結果（Table 6 参照）

(1) 径切両収縮について、柔組織は靱皮繊維よりも小さく、モウソウチクにおいて靱皮繊維の約 20%、マダケにおいて約 25% である。

(2) 靱皮繊維と柔組織は夫々の横断面において略々等方的収縮を示す。

引 用 文 献

- 1) 北村博嗣：東大演林報，No. 36，159（1948）
- 2) "：新潟大・農学学報，No. 2，42（1952）
- 3) "：日林誌，37，110（1955）
- 4) 中戸莞二：木材学会誌，4，94（1958）
- 5) "：木材学会誌，4，134（1958）
- 6) "：木材学会誌，4，183（1958）
- 7) "：木材学会誌，4，187（1958）
- 8) "：西京大学報・農，No. 10，45（1958）
- 9) "：京都府大学報・農，No. 11,105,(1959)
- 10) 太田 基：日林誌，32，62（1950）
- 11) "：九大演林報，No. 22，87（1953）
- 12) "：九大演林報，No. 23，155（1954）
- 13) "：九大演林報，No. 24，61（1955）
- 14) "：九大演林報，No. 25，121（1955）
- 15) 鈴木 寧：東大演林報，No. 36，136（1948）
- 16) "：東大演林報，No. 44，159（1953）
- 17) 鈴木 寧・木方洋二：東大演林報，No. 50，117（1955）

Summary

The purpose of this study has been to ascertain the anisotropic shrinkage in transverse section of bamboo, and to determine the shrinkage of microscopical elements (vascular bundle and parenchyma) in central cylinder of bamboo (Mōsōchiku: *Phyllostachys pubescens* MAGEL and Madake: *Phyl. reticulata* C. KOCH). The tangential and radial (in direction of thickness of stem-wall) shrinkage of isolated outer and inner part in bamboo stem from the filled with water condition to the oven-dry condition was determined by measuring the length of laminated piece. The shrinkage of vascular bundle and parenchyma was determined by measuring the tangential (longitudinal as for radial section) and radial length in micro-photographs of the fine transverse and radial section in filled with water and oven-dry conditions as shown Fig. 3~5. The results of experiments obtained are summarized as follows:

1. On the shrinkage in transverse section of bamboo (cf. Table 3 and 4):

1) About the isolated outer and inner part in bamboo stem, the volumetric shrinkage (sum of tangential and radial shrinkage: $\beta_t + \beta_r$) increases linearly with specific gravity based on oven-dry weight and green volume (R), as shown in Fig. 2.

2) The tangential and radial shrinkage of

isolated outer part in bamboo stem are larger respectively than the tangential and radial shrinkage of isolated inner part as shown in Table 5.

3) The degree of anisotropic shrinkage in transverse section, the ratio of tangential shrinkage to radial shrinkage (β_t/β_r) of the isolated outer part are larger than 1 (Mōsōchiku: 1.09~1.20~1.36, Madake: 1.09~1.17~1.23). On the other hand, the shrinkage in transverse section of isolated inner part are almost isotropic (β_t/β_r : Mōsōchiku 0.79~1.00~1.19, Madake 0.88~0.95~1.02).

2. On the shrinkage of vascular bundle (bundle sheath) and parenchyma of bamboo (Table 6):

1) The tangential and radial shrinkage of bundle sheath are respectively larger than the tangential and radial shrinkage of parenchyma. And the ratio of shrinkage of parenchyma to the one of bundle sheath are about 0.20 in Mōsōchiku and about 0.25 in Madake.

2) The shrinkage of bundle sheath and parenchyma in each transverse section are almost isotropic, and β_t/β_r of bundle sheath are 0.6~1.2~1.8 in Mōsōchiku, and 0.4~1.0~1.7 in Madake, β_t/β_r of parenchyma are 0.72~1.03~1.50 in Mōsōchiku and 0.75~1.00~1.29 in Madake.