

# 木材の収縮膨脹に関する異方性の原因について (第18報)

## 竹材の異方的収縮 (2)

中 戸 莞 二

KANJI NAKATO: On the cause of the anisotropic shrinkage and swelling of wood. XVIII. On the anisotropic shrinkage of bamboo. (2)

### 緒 言

前報<sup>9)</sup>において、竹材の飽水状態からの乾燥にさいして発生しやすい collapse を少なくするような乾燥および試験体条件で、モウソウチクおよびマダケの中心柱を内外側部に分割した試料について径切両収縮を検討した結果、竹程の皮部を除いた外側部では切線収縮は半径収縮よりも大きく、横断面における収縮異方度がモウソウチク 1.20、マダケ 1.14 であり、他方、髄層を除いた内側部では横断面において略々等方的な収縮を示した。これらは木材の異方的収縮にくらべて全くその趣を異にする。その一つは、木材においても、また針葉樹材を春材・秋材に分割した場合においても横断面における収縮異方度が容積密度の増大によつて双曲線的に減少した<sup>3), 6)</sup>に反して、竹材の外側部は内側部に較べて容積密度が大であるにも拘らず収縮異方度も大きいことである。他の一つは木材においては如何に比重の大きい材でも、横断面における収縮異方度が 1 よりも大きく、例えば MÖRATH<sup>1)</sup>によると、比重 1.2~1.3 の広葉樹材で収縮異方度が 1.19 であるに反して、竹材内側部の収縮異方度がモウソウチクで平均 1.00、マダケで 0.95 であり、略々等方的な収縮を示すことである。

このように木材といちぢるしく異なつた方向性を収縮について示す竹材中心柱について、その顕微鏡的構成要素である柔組織および維管束（主として靱皮繊維）の収縮を、夫々の微小切片について顕微鏡写真的に検討した結果、柔組織と靱皮繊維は夫々の横断面において、略々等方的な収縮を示すことが明らかとなつた<sup>9)</sup>。このことは竹材の異方的収縮の機構が木材のそれと本質的にことなることを示すもので重要な意義をもつと考える。すなわち、第16報<sup>7)</sup>で既述したように木材の異方的収縮の主要な原因は、切線膜と半径膜におけるフィブリル傾斜角の相違やリグニン含有量、そ

の他の微細化学的相違等の細胞膜構造におけるものであり、木材の顕微鏡的構成要素は木柔組織を例外としていずれも横断面において異方的収縮を示す<sup>3), 4), 6)</sup>。これに反して竹材の柔組織および靱皮繊維が横断面において略々等方的な収縮を示すことは、竹材の横断面における収縮についての方向性に与かる主要な原因が顕微鏡的構造においてあることを示すものであろう。竹材中心柱の収縮の大きさおよび方向性に関する顕微鏡的構造における要因としては、(1)維管束の形状、(2)維管束の分布密度と大きさ（繊維率）等の程壁厚さ方向における変移が考えられる。

他方、竹材の顕微鏡的構造は木材と異なり、(1)半径方向に細胞長軸をもつ組織を含まず、構成細胞が竹材横断面において多角形ないし円形を呈する (2)収縮に関する竹材中心柱の主要構成要素が靱皮繊維と柔組織の2種類であり、しかも繊維率が程壁の外側部から内側部に向つて漸減している 等の特異性をもつ。そこで、竹材中心柱は横断面において靱皮繊維および柔組織の粒状混合体として模式化され、繊維率または柔組織割合と収縮との関連性の検討が比較的容易であらう。したがつて、本報においては先づ竹材の構成要素割合、維管束の大きさならびに形状等を検討し、これらの結果と前報<sup>9)</sup>で得たところとを併せて竹材の径切両収縮の関連性を考究する。

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松田定彦氏に衷心より謝意を表する次第である。

### I 実験方法

#### 1. 供試竹

供試竹は、モウソウチク *Phyllostachys Pubescens* MAGEL であり、前報<sup>9)</sup>と同一のものである。

#### 2. 顕微鏡的構成要素の容積割合の決定法

本実験で決定したものの一つは竹材において占める

皮部・柔組織・維管束および髓層の差程割合であり、他の一つは維管束において占める靱皮繊維・篩管および導管の容積割合である。これらの供試々料は第1(地上高:0~0.11m)・第3(0.21~0.35m)・第5(0.50~0.68m)・第7(0.85~1.06m)・第9(1.27~1.50m)・第12(2.01~2.27m)・第15(2.85~3.16m)・第18(3.80~4.14m)・第21(4.85~5.23m)・第25(6.36~6.75m)・第29(7.90~8.28m)・第34(9.82~10.18m)・第39(11.47~11.75m)および第44(12.80m~13.03m)節間の計14節間から採取した。すなわち、先づこれらの節間を横断面で4つ割りにし、同一側の輪片1個宛をさらに上下・左右に4分し、そのうちの任意の1片宛からプレパラート作製の試料をとり、これと長軸方向に連なる1片を容積密度決定用の竹片とした。前者の竹片から大きさ1.5(切線方向)×稈壁厚さ×2.5cmのブロックを1個宛とり、これらを水とグリセリンの混合液で煮沸軟化後、厚さ50 $\mu$ の木口切片をきりとりアルコールで脱水後、カナダバルサムで封入供試プレパラートとした。また、容積密度決定用竹片から大きさ0.5(切線方向)×稈壁厚さ×1.5cmのブロック10個宛をとり、これらを稈壁厚さ方向において4個に略々等分して容積密度決定の試料とした。

竹材における皮部・柔組織・維管束および髓層の容積割合決定法は次の通りである。前述した木口断面プレパラートの倍率200の顕微鏡像をトレーシング・ペーパー上に投影し、柔組織以外の各要素の縁辺と切片の全縁とを鉛筆でトレースし、この像図を稈壁厚さ方向において略等しい4部(part 1:最外側部, part 2, part 3 および part 4:最内側部)に区分し、各部毎に5mm目の方眼の算点で各要素の占有面積を決定し、全面積に対する百分率をもつて各構成要素の容積割合と見做した。また、維管束における靱皮繊維・篩管および導管の容積割合は、1切片の全像を略等しく4分した各部の中央附近に位置する維管束について前記の方法と同様にして決定した。

### 3. 維管束の大きさや形状の決定法

維管束における容積割合を決定した各部中央に位置する維管束について、大きさおよび形状を測定した。ここに維管束の大きさはその横断面積であり、また半径方向における維管束の最大幅の切線方向におけるそれに対する比(Fig.3におけるR/T)を横断面における維管束の形状の一つの指標として求め、かつ各部における代表的なものの外郭その他をスケッチした。

## II 実験結果および考察

### 1. 顕微鏡的構成要素の容積割合

稈壁をその厚さ方向において略等しくpart 1(最外側部)~part 4(最内側部)に区分し、各部、各供試節間について竹材および維管束における顕微鏡的構成要素の容積割合を求めた結果はTable 1および2の通りである。これらに表示するように、

(1) 竹材における顕微鏡的構成要素の容積割合 : 最外側部における皮部の容積割合は4.2~6.7~10.2%であり、最内側部における髓層のそれは11.6~22.1~38.7%である。稈壁全体において占める皮部および髓層の平均容積割合は夫々1.7, 5.5%に相当し、これらはモウソウチクについての太田の実験値(1.3, 5.0%)<sup>9)</sup>と近似している。したがって全竹程において柔組織および維管束が支配的な顕微鏡的要素であり、夫々の容積割合の全竹程における平均値は49.9, 42.9%である。しかし、これらの値は太田の実験値(71.4, 22.2%)<sup>9)</sup>とかなりの相違を示す。

(2) 地上高による容積割合の変化 : 略々等しく4区分した各部の維管束および髓層の容積割合は地上高が大になるにしたがって増加の傾向を示し、柔組織は反対に減少する。これは横断面における維管束の大きさ(Table 5参照)や髓層のそれが地上高によつて大差なく、かつ、維管束数が略々一定していることによつて、維管束や髓層の占める面積が地上高に拘らず略々一定しているに反して、稈壁厚さが地上高の増大で減少する結果であろう。なお、維管束の容積割合と柔組織のそれとはpart 1(最外側部)においても直線関係を示す(Fig.1参照)。また、皮部の容積割合は地上高の増大によつて髓層の場合ほど増大しない。こ

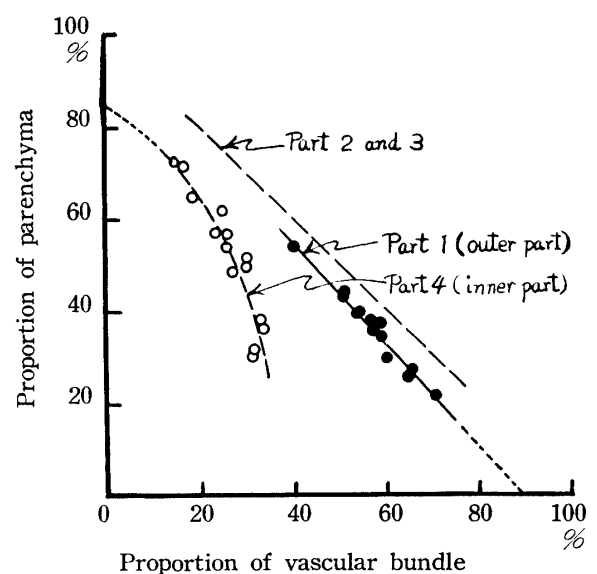


Fig. 1 Proportion of parenchyma in the various internode of bamboo (Mōsōchiku) plotted against the proportion of vascular bundle

**Table 1 Proportion percent of microscopical elements in the transverse section of bamboo (Mōsōchiku : *Phyllostachys pubescens* MAGEL)**

Internode No.	Part 1 (outer part)			Part 2		Part 3		Part 4 (inner part)		
	Outer layer	Parenchyma	Vascular bundle (Bundle sheath)	Parenchyma	Vascular bundle (Bundle sheath)	Parenchyma	Vascular bundle (Bundle sheath)	Parenchyma	Vascular bundle (Bundle sheath)	Inner layer
1	5.7	54.2	40.1 (39.3)	62.4	37.6 (34.5)	70.5	29.5 (26.2)	72.6	14.9 (13.1)	12.5
3	6.0	43.0	51.0 (50.0)	61.1	38.9 (36.6)	68.1	31.9 (29.0)	71.7	16.7 (14.4)	11.6
5	6.4	39.6	54.0 (52.9)	59.0	41.0 (38.1)	67.1	32.9 (29.6)	64.9	18.3 (15.0)	16.8
7	4.9	44.1	51.0 (49.0)	61.4	38.6 (34.7)	64.5	35.5 (30.5)	61.9	25.2 (21.4)	12.9
9	6.8	34.2	59.0 (57.8)	50.7	49.3 (47.3)	65.6	34.4 (29.9)	56.6	25.7 (21.8)	17.7
12	7.9	26.7	65.4 (60.8)	55.9	44.1 (38.8)	61.6	38.4 (31.9)	57.1	23.4 (19.9)	19.5
15	4.4	37.6	58.0 (54.5)	53.8	46.2 (40.2)	61.4	38.6 (32.4)	51.5	30.1 (24.4)	18.4
18	4.2	37.6	58.2 (56.5)	56.6	43.4 (37.3)	60.3	39.7 (34.9)	54.0	25.9 (21.7)	20.1
21	5.3	38.0	56.7 (55.4)	54.2	45.8 (40.3)	59.0	41.0 (34.0)	49.5	30.0 (25.8)	20.5
25	6.3	39.6	54.1 (52.5)	52.0	48.0 (45.6)	59.0	41.0 (34.4)	48.2	27.3 (21.9)	24.5
29	7.7	35.3	57.0 (55.3)	50.2	49.8 (44.3)	50.8	49.2 (41.8)	38.1	33.1 (29.1)	28.8
34	10.2	29.6	60.2 (59.0)	37.8	62.2 (58.5)	48.8	51.2 (39.9)	36.1	33.7 (26.3)	30.2
39	7.9	21.3	70.8 (69.4)	34.9	65.1 (54.7)	54.3	45.7 (37.0)	30.1	31.2 (24.6)	38.7
44	9.8	25.3	64.9 (62.3)	34.0	66.0 (58.7)	51.1	48.9 (42.1)	31.8	31.5 (26.8)	36.7
Mean	6.7	36.1	57.2 (55.3)	51.7	48.3 (43.5)	60.1	39.9 (33.8)	51.7	26.2 (21.9)	22.1

**Table 2 Proportion of structural elements in the transverse section of vascular bundle (Mōsōchiku)**

Part in transverse section of bamboo	Bundle sheath %	Sieve tube %	Vessel %
Part 1 (outer part)	93~97~98	1~1~2	1~ 2~ 5
Part 2	86~91~96	1~3~5	3~ 6~ 9
Part 3	78~85~91	2~4~8	6~11~14
Part 4 (inner part)	78~84~88	3~5~8	7~11~16

これは横断面における皮部の占有面積が地上高の増大によつてやや減少することによるものである。

(3) 稈壁厚さ方向における容積割合の変化 : part 1 から皮部, part 4 から髓層を除外した中心柱について, 維管束(靱皮繊維)および柔組織の平均容積割合

の稈壁厚さ方向における変化を示すと Table 3 の通りである。表示されるように, 維管束(靱皮繊維)は稈壁外側から内側にむかつて減少し, 柔組織は増大する。

(4) 維管束における容積割合 : 維管束において占

**Table 3 Proportion of structural elements in the transverse section of central cylinder of a bamboo (Mōsōchiku)**

Part in transverse section of bamboo	Proportion of structural elements %		
	Vascular bundle	Bundle sheath	Parenchyma
Part 1 (outer part)	61.3	59.5	38.7
Part 2	48.3	43.5	51.7
Part 3	39.9	33.8	60.1
Part 4 (inner part)	33.5	28.1	66.5

める靱皮繊維の容積割合の散布範囲は、Table 2 に示されるように比較的せまい。しかし外側部から内側部にむかつて靱皮繊維の容積割合は減少し篩管および導管のそれは増大する。

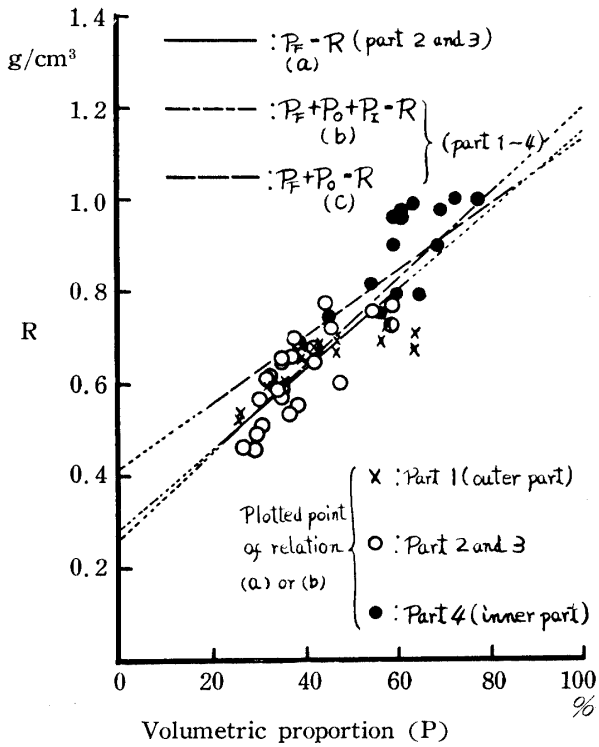
(5) 容積密度と繊維率：全供試節間の容積密度 (Table 4) は各部とも地上高の増大で増大し、稈壁厚さ方向においては平均値について次のような関係が認められる。part 1: 最外側部 ( $0.896 \text{ g/cm}^3$ ) > part 2 ( $0.664 \text{ g/cm}^3$ ) > part 4: 最内側部 ( $0.648 \text{ g/cm}^3$ ) > part 3 ( $0.586 \text{ g/cm}^3$ )。ここに part 4 の容積密度が

part 3 よりも大きいのは、最内側部が高比重の髓層をかなり多量 (11.6~38.7%) 含んでいることによる。

このような容積密度は a. 竹材における靱皮繊維の容積割合、すなわち繊維率 (part 2 および 3 について) b. 繊維率+皮部および髓層の容積割合 (part 1~4 について) c. 繊維率+皮層の容積割合 (part 1~4 について) 等に対して、Fig. 2 に示すように夫々正の直線関係を示す。いま、a. 靱皮繊維または柔組織の容積密度が夫々稈壁厚さ方向における

**Table 4 Specific gravity based on oven-dry weight and green volume of a bamboo (Mōsōchiku)**

Internode No.	Part 1 (outer part)	Part 2	Part 3	Part 4 (inner part)	Mean
1	0.742	0.568	0.460	0.519	0.572
3	0.751	0.531	0.455	0.536	0.568
5	0.793	0.552	0.489	0.588	0.606
7	0.815	0.581	0.505	0.599	0.625
9	0.789	0.598	0.564	0.650	0.650
12	0.899	0.682	0.609	0.676	0.717
15	0.899	0.669	0.612	0.684	0.716
18	0.957	0.699	0.650	0.672	0.745
21	0.974	0.665	0.586	0.668	0.723
25	0.959	0.719	0.639	0.692	0.752
29	0.989	0.783	0.646	0.720	0.785
34	0.977	0.723	0.667	0.692	0.765
39	0.998	0.754	0.654	0.704	0.778
44	0.999	0.768	0.676	0.671	0.779
Mean	0.896	0.664	0.586	0.648	0.698



**Fig. 2** Relations between the specific gravity (R) of bamboo and the proportion of microscopical elements in transverse section (P)——(Mōsōchiku)

部位によつて差異なく同一値である。b. 維管束に含まれる篩管および導管の容積密度が柔組織のそれに等しいと仮定するとき、竹材の構成要素個々の容積密度を次のように算定することが出来る。すなわち、同図の3直線夫々の容積割合0および100%における外挿値として次のような容積密度  $g/cm^3$  が決定される。すなわち、

(容積割合 = 0%)      (容積割合 = 100%)

- 直線 a から  
柔組織 : 0.285(0.275)    靱皮繊維 : 1.15(1.14)
- 直線 b から  
柔組織 : 0.265(0.275)    (靱皮繊維 + 皮部 + 髓層) ;  
1.20(1.21)
- 直線 c から  
(柔組織 + 髓層) : 0.42    (靱皮繊維 + 皮部) : 1.13

ここに、柔組織は前記の仮定 b にもとづいて篩管および導管を含んでいる。また、括弧内の数値は直線 a および b から求めた柔組織の容積密度が等しいとして修正したものである。一方、直線 c における容積割合 0 および 100% の外挿値に相当する (柔組織 + 髓層) および (靱皮繊維 + 皮部) の夫々の容積割合は、Fig.

1 に示した part 4 および 1 の関係線の外挿によつて、

柔組織 : 髓層 = 0.85 : 0.15  
靱皮繊維 : 皮部 = 0.89 : 0.11

である。そこで、

髓層の容積密度 =  $(0.42 - 0.275 \times 0.85) / 0.15 = 1.27 g/cm^3$   
皮部の容積密度 =  $(1.13 - 1.14 \times 0.89) / 0.11 = 1.09 g/cm^3$

これらと直線 a の外挿値、すなわち、

柔組織の容積密度 : 0.275  $g/cm^3$   
靱皮繊維の容積密度 : 1.14  $g/cm^3$

ならびに供試モウソウチクの平均容積割合 (Table 1 および 2 参照)、すなわち、

柔組織 : 54.2% (篩管および導管を含む)  
靱皮繊維 : 38.6%  
皮部 : 1.7%  
髓層 : 5.5%

等を用いて、供試竹材の平均容積密度を求めると 0.68  $g/cm^3$  であり、これは Table 4 の実験値 (0.698  $g/cm^3$ ) に近似する。

髓層の比重について既往の研究において著しい相違が認められる。すなわち、太田は竹材片の比重と構成要素の容積割合との相関関係の検討によつて、マダケおよびモウソウチクについて比重の大きさの順位が、  
外皮層(皮部) > 維管束鞘(靱皮繊維) > (竹材) > 基本組織(柔組織) > 内皮層(髓層)

であるとし<sup>9)</sup>、鈴木はモウソウチクについて、稈壁内側部の厚膜細胞層(髓層)の比重が、別の測定によれば 1.0~1.05 であるとし<sup>10)</sup>、これは竹材および柔組織よりも大きい値である。本報の結果によると竹材構成要素の比重(容積密度)の大きさの順位は次の通りである。

髓層 > 靱皮繊維 > 皮部 > (竹材) > 柔組織

**2. 維管束の大きさと形状**

稈壁の厚さを略々等しく 4 分割した各部の中央附近に位置する維管束について、1 個の維管束の横断面積と半径方向における最大幅 (R) の切線方向におけるそれ (T) に対する比を供試全節間にわたつて求めた結果、これらと竹稈地上高との間に明瞭な関係が認められない。そこで、これらの結果を part 1~4 の各部ごとの平均値と散布で示すと Table 5 の通りである。表示されるように (1) 維管束の横断面積は稈壁の内側部から外側部に向うほど小となるが、その差は小さい、(2) 維管束の R/T は内側部ほど小で、part 4 (最内側部) において 1 以下である。なお、稈壁各部における維管束の代表的な横断面形状を Fig. 3

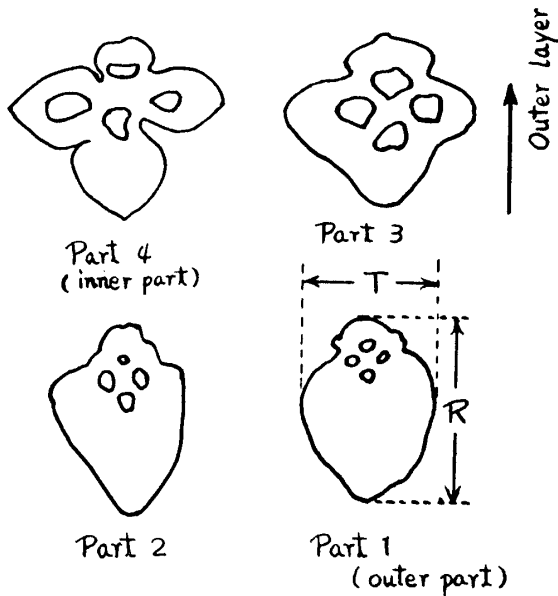


Fig. 3 Cross section of vascular bundle of the various part in transverse section of bamboo (Mōsōchiku)

に示す。

3. 竹材の横断面における異方的収縮の機構

前報<sup>9)</sup>でモウソウチクについて稈壁内外両側部の径切面収縮を検討した結果、竹材の外側部は内側部にくらべて容積密度が大であるにも拘らず横断面における収縮異方度が大であり、しかも内側部は横断面において略々等方的収縮を示した。また、竹材の主要な構成要素である柔組織および靱皮繊維は夫々の横断面において略々等方的収縮を示し、竹材の横断面における収縮が異方的または等方的であることの主要な原因が顕微鏡的構造においてあることを示唆した。そこで本項においては、モウソウチクの顕微鏡的構造について得た本報の結果にもとづき、竹材の横断面における異方的収縮の機構を考究する。

既述のように、竹材は顕微鏡的構成要素の容積割合(繊維率・柔組織の容積割合)および維管束の横断面における形状(半径方向における最大幅の切線方向におけるそれに対する比: R/T)等を稈壁の厚さ方向

Table 5 Area in transverse section and R/T of a vascular bundle (Mōsōchiku)

Part in transverse section of bamboo	Area in transverse section of a vascular bundle mm <sup>2</sup>	R/T of a vascular bundle (cf. Fig. 3)
Part 1 (outer part)	0.09~0.12 <sub>2</sub> ~0.15	1.17~1.47 <sub>8</sub> ~1.75
Part 2	0.12~0.13 <sub>9</sub> ~0.19	1.20~1.31 <sub>8</sub> ~1.64
Part 3	0.11~0.14 <sub>4</sub> ~0.17	1.01~1.12 <sub>2</sub> ~1.32
Part 4 (inner part)	0.11~0.14 <sub>5</sub> ~0.17	0.74~0.92 <sub>3</sub> ~1.05

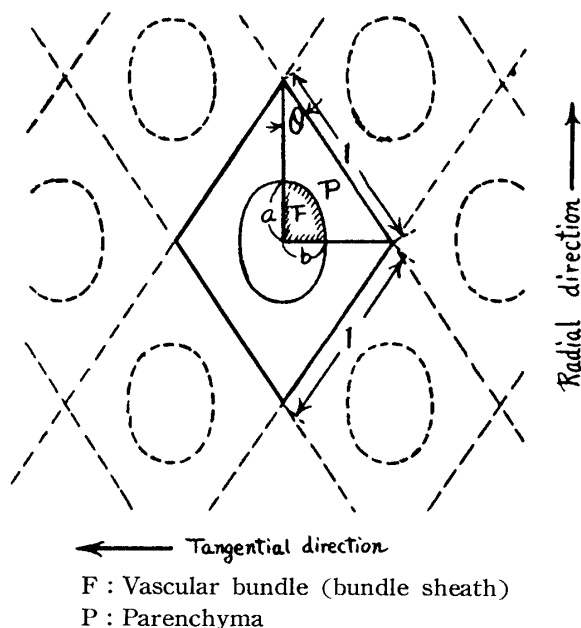


Fig. 4 Schematic transverse section of bamboo

における部位によつて著しく異なる。そこで、これらを変動因子とする構成単位は、竹材横断面について Fig. 4 のように模式化される。すなわち、基本組織である柔組織中に、長短径を a および b の楕円形で示す靱皮繊維が粒状に分散し、柔組織は 1 個の楕円を含めて菱形で示され、この角度  $\theta$  の変化で靱皮繊維の分布密度に相違をもたらし、これと楕円面積 (4 F) によつて繊維率を変動せしめる。なお、この模型は収縮の方向性に比較的関与しないと思われる (前報<sup>9)</sup> Table 6 参照) 維管束の管孔部 (篩管および導管) を無視している。

Fig. 4 において繊維率  $P_F$  は

$$P_F = \pi ab / 2 \cos \theta \cdot \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{また } a/b = R/T \dots \dots \dots (2)$$

ここに T, R: 切線および半径方向における維管束の最大幅 (Fig. 3 参照)

(1)および(2)式から

$$\left. \begin{aligned} a &= (2P_F \cdot R \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta / \pi T)^{\frac{1}{2}} \\ b &= (2P_F \cdot T \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta / \pi R)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

また、図において竹材の切線および半径収縮 ( $\beta_t$  および  $\beta_r$ ) は夫々

$$\left. \begin{aligned} \beta_t &= \beta_F \cdot b / \sin \theta + \beta_P (1 - b / \sin \theta) \\ \beta_r &= \beta_F \cdot a / \cos \theta + \beta_P (1 - a / \cos \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここに  $\beta_F \cdot \beta_P$  : 靱皮繊維および柔組織の切線または半径収縮 (ただし 切線収縮 = 半径収縮)

(4)式に(3)式を代入して、

$$\left. \begin{aligned} \beta_t &= \beta_F \cdot P_{Ft} + \beta_P (1 - P_{Ft}) \\ \text{ここに } P_{Ft} &= 0.798 (P_F \cdot \cot \theta)^{\frac{1}{2}} (T/R)^{\frac{1}{2}} \\ \beta_r &= \beta_F \cdot P_{Fr} + \beta_P (1 - P_{Fr}) \\ \text{ここに } P_{Fr} &= 0.798 (P_F \cdot \tan \theta)^{\frac{1}{2}} (R/T)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式における繊維率  $P_F$  には Table 3 に示した実測値 (皮部を除いた part 1 と part 2, part 3 と髓

層を除いた part 4 の繊維率の和を夫々外側部・内側部の  $P_F$  とした),  $R/T$  または  $T/R$  には夫々 part 1 と 2, part 3 と 4 の平均値 (Table 5 参照),  $\beta_F$  および  $\beta_P$  には前報 Table 6 に示したモウソウチクの径切両収縮の平均値 (夫々 10.2 および 2.2%) を用い,  $\theta$  を外側部では 28・29 および 30°, 内側部では 43・44 および 45° とし, (5)式によつて算定した竹材の径切両収縮および横断面における収縮異方は Table 6 の通りである. これと Table 7 に示した前報<sup>9)</sup> で既述のモウソウチクについての実験値とを比較すると, 計算値は実験値よりも径切両収縮は大きい, 異方は  $\theta$  が外側部において 29°, 内側部において 44° で略々一致する. しかも, これらの角度は供試モウソウチクの横断面における維管束の分布状態に対して妥当な平均値と思われる.

以上の結果, 竹材が外側部の横断面において異方的

Table 6 Shrinkage in transverse section of bamboo (Mōsōchiku)

— Calculated values\*<sub>1</sub>, cf. Fig. 4 —

Internode No.	$\theta^* = 28^\circ$			$\theta = 29^\circ$			$\theta = 30^\circ$			
	Tan. shr. $\beta_t$ %	Rad. shr. $\beta_r$ %	$\beta_t/\beta_r$	$\beta_t$ %	$\beta_r$ %	$\beta_t/\beta_r$	$\beta_t$ %	$\beta_r$ %	$\beta_t/\beta_r$	
Outer part	1	6.61	5.75	1.15	6.51	5.81	1.12	6.42	5.90	1.09
	5	7.15	6.13	1.16	7.03	6.20	1.13	6.94	6.29	1.10
	9	7.98	6.08	1.31	7.84	6.16	1.27	7.72	6.25	1.23
	15	7.39	6.18	1.19	7.26	6.25	1.16	7.16	6.35	1.13
	21	7.59	5.95	1.28	7.46	6.03	1.24	7.36	6.11	1.20
	Mean	7.34	6.02	1.22	7.22	6.09	1.18	7.12	6.18	1.15
Inner part	$\theta = 43^\circ$			$\theta = 44^\circ$			$\theta = 45^\circ$			
	1	4.98	5.24	0.95	4.93	5.30	0.93	4.88	5.34	0.91
	5	5.37	5.27	1.02	5.30	5.33	0.99	5.26	5.38	0.98
	9	5.78	5.43	1.06	5.71	5.49	1.04	5.65	5.54	1.02
	15	5.69	5.84	0.97	5.63	5.90	0.96	5.57	5.96	0.94
	21	6.07	5.71	1.06	6.01	5.77	1.04	5.94	5.83	1.02
Mean	5.58	5.50	1.01	5.52	5.56	0.99	5.46	5.61	0.97	

\*<sub>1</sub> : Calculated values by substitutions in Eq. (5) using the shrinkage in transverse section of bundle sheath and parenchyma ( $\beta_F$  and  $\beta_P$  in Eq., cf. Table 6 in previous report)<sup>9)</sup>, the volumetric proportion of bundle sheath ( $P_F$ , cf. Table 3 in this report) and the ratios of radial width to tangential width of vascular bundle ( $R/T$ , cf. Table 5 and Fig. 3 in this report)

\*<sub>2</sub> : cf. Fig. 4

**Table 7 Shrinkage in transverse section of bamboo (Mōsōchiku)**  
—Experimental values—

Part in transverse section	Internode No.	Tangential shrinkage $\beta_t$ %	Radial shrinkage $\beta_r$ %	$\beta_t/\beta_r$
Outer part	2	5.14	4.73	1.09
	6	5.58	5.13	1.09
	10	5.86	4.62	1.27
	16	6.02	5.15	1.17
	22	6.23	4.60	1.36
	Mean	5.77	4.85	1.20
Inner part	2	3.33	4.21	0.79
	6	3.85	3.99	0.96
	10	3.97	4.03	0.99
	16	4.35	4.02	1.08
	22	4.37	3.68	1.19
	Mean	3.97	3.99	1.00

cf. Table 3 in previous report<sup>9)</sup>

収縮 ( $\beta_t/\beta_r > 1$ ) を示し、内側部の横断面において略々等方的収縮を示すことは、竹材の横断面における繊維率および維管束の形状等が外側部と内側部で異なることによるものとする。したがって、竹材の異方的収縮は木材と異なり、その顕微鏡的構造における要因によつて説明されることとなる。

## 要 約

供試モウソウチクの厚さ約 50  $\mu$  の木口切片について、顕微鏡的構成要素の容積割合を求めた結果 (Table 1 および 2 参照)

(1) 稈壁全体において占める皮部・柔組織・維管束および髓層の平均割合は夫々 1.7・49.9・42.9 および 5.0% である。

(2) 維管束および髓層の容積割合は地上高が大となるほど大となり、柔組織のそれは減少する。また、皮部の割合は稍増大する。

(3) 繊維率および維管束割合は稈壁外側から内側に向つて減少し、柔組織割合は増大する (Table 3 参照)。

(4) 維管束において占める靱皮繊維の割合は地上高による変動が少ないが、稈壁の外側から内側に向つて明

かに減少する。

(5) 容積密度 (Table 4) と繊維率とは正の直線関係を示し (Fig. 2 参照)、これにもとづく各構成要素の比重の計算値は次の順である。

髓層 > 靱皮繊維 > 皮部 > (竹材) > 柔組織

維管束の横断面における大きさおよび形状について (Table 5 参照)

(1) 維管束の大きさは稈壁の内側から外側に向うほど小となるが、その差は小さい。

(2) 維管束の半径方向における最大幅 (R) の切線方向におけるそれ (T) に対する比は、内側部ほど小で、最内側部においては 1 以下である。

竹材およびその構成要素の収縮についての前報<sup>9)</sup>の結果と、本報で得た顕微鏡的構造についての結果にもとづき、

(1) 竹材横断面の構成単位は Fig. 4 に示すように模式化される。

(2) 竹材の横断面における収縮についての(5)式による計算値 (Table 6) と実験値 (Table 7) との比較によつて、竹材の異方的収縮は木材の場合と異なり、繊維率および維管束の形状等の顕微鏡的構造における要因によるものと思われる。



## 引 用 文 献

- 1) MÖRATH, E : Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzern (1932)
- 2) 中戸莞二 : 木材学会誌, 4, 94 (1958)
- 3) " : 木材学会誌, 4, 183 (1958)
- 4) " : 木材学会誌, 4, 187 (1958)
- 5) " : 西京大・農. 演習林集報, No. 2, 15 (1958)
- 6) " : 西京大・学報, 農, No. 10, 45 (1958)
- 7) " : 西京大・農, 演習林集報, No. 3, 1 (1959)
- 8) " : 京都府大・学報, 農, No. 11, 95, (1959)
- 9) 太田 基 : 九大演林報, No. 19, 25 (1950)
- 10) 鈴木 寧 : 東大演林報, No. 36, 136 (1948)

## Summary

The purpose of this study has been to measure the volumetric proportion of microscopical elements and the area in transverse section and the ratios of maximum width in radial direction to the one in tangential direction ( $R/T$  in Fig. 3) of a vascular bundle, and to consider on the mechanisms affecting tangential v.s. radial shrinkage of bamboo (*Mōsōchiku* : *Phyllostachys pubescens* MAGEL).

The results of experiments obtained are summarized as follows :

1. On the volumetric proportion of microscopical elements in bamboo (Table 1 and 2) :

1) The average proportion percent of outer layer, parenchyma, bundle sheath and inner layer in transverse section of stem-wall of a bamboo are respectively 1.7, 49.9, 42.9 and 5.0%.

2) The volumetric proportion of bundle sheath and inner layer increases with an increase in height from ground, on the other hand the one of parenchyma decrease with that.

3) The proportion of bundle sheath and vascular bundle decreases from the circumference to inner side of stem-wall, on the other hand the one of parenchyma increase from the circumference to inner side of stem-wall as shown in Table 3.

4) The specific gravity ( $R$ ) shown in Table 4 increases linearly with the proportion of bundle sheath ( $P_F$ , relation-(a) in Fig. 2), with the

total proportion of bundle sheath and outer layer ( $P_F+P_O$ , relation-(c)) and with the total proportion of bundle sheath, outer layer and inner layer ( $P_F+P_O+P_I$ , relation-(b)). And the decreasing order of each specific gravity ( $R$ ) of microscopical elements in bamboo is as follows:  
inner layer > bundle sheath > outer layer > (bamboo) > parenchyma

2. On the area in transverse section and  $R/T$  of a vascular bundle (Table 5) :

1) The area in transverse section of vascular bundle slightly increase from the circumference to the inner side of stem-wall.

2)  $R/T$  of vascular bundle decrease from the circumference to the inner side of stem-wall, and the one in inner part become smaller than 1.

3. On the mechanisms affecting tangential v.s. radial shrinkage of bamboo :

1) The transverse section of bamboo is illustrated with a schematic diagram shown in Fig. 4.

2) The good agreements of  $\beta_t/\beta_r$  obtained between the calculated values by substitution in Eq. (5) (Table 6), and the observed values (Table 7) about *Mōsōchiku* seems to indicate that the principal cause of anisotropic shrinkage in transverse section of bamboo are based on the microscopic structure, above all the proportion of bundle sheath and  $R/T$  of vascular bundle.