

竹材の性質に関する研究(第7報)：竹片の構成因子と比重及び圧縮強度

太田, 基

<https://doi.org/10.15017/14927>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 19, pp.25-47, 1951-12-10. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：



竹材の性質に関する研究(第7報)

竹片の構成因子と比重及び壓縮強度

太 田 基

Motoi, ŌTA: Studies on the properties of bamboo stem. (Part 7)

The influence of the percentage of structural elements on the specific gravity and compressive strength of bamboo splint.

I 緒 言

竹材は外皮組織系、皮下組織及び皮層からなる外皮層、篩部繊維の集合體である維管束鞘、柔細胞が主體となる基本組織、及び厚膜細胞が帶狀に集合した内皮層の4種類の因子から構成されると看做しても、材質的には差支がないと考えられる。又竹程の半径方向に於ける部分の相異、即ち外側部と内側部或は中間部に依つて材質が異り、併も外皮層が在り且つ維管束鞘の比較的多い外側部が他の部分に比較して比重及び強度が共に大である事實は既に志賀、¹⁾宇野、^{2) 3)}Baumann、⁴⁾久保及び藤原、⁵⁾及び鈴木⁶⁾等が認て居るところである。従つて主な4構成因子が夫々竹材中に存在する割合が材質に影響を與るであろう事は當然豫想され、筆者は第2報⁷⁾に於て外皮層と維管束鞘及び基本組織と内皮層とを夫々一括した2群に區分してカシロダケに就て實驗し、その存在割合が物理的性質に影響を及ぼす事を認めた。本報に於ては更に細分して構成因子を前記の4種類に區分し、夫等が試験時比重及び纖維方向の壓縮強度に及ぼす影響を明かにする目的で第6報⁸⁾と同一試験片に就て研究した。又同時に試験片の破壊状態に就ても検討を加えた。

本研究に際し御指導を給つた渡邊教授並びに實驗に協力した野村昌啓教官に謝意を表する次第である。尙本研究の經費の一部は文部省科學研究費に依つた事を附記する。

II 實驗材料及び方法

1. 材 料。 材料の種類は九州大學粕屋演習林産のマダケ及びモウソウチクの2種とし、第3報⁹⁾に使用した竹材の殘部中比較的稈壁の厚いものから試験片を製作した。

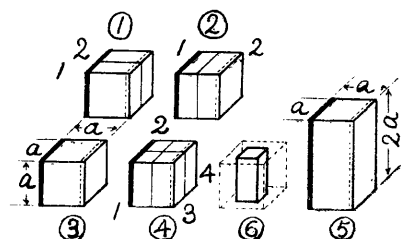
マ ダ ケ *Phyllostachys reticulata* C. Koch

モウ ソウ チク *Phyllostachys edulis* Riv.

2. 試験片。 節の影響のない節間部分から繊維方向に小割りして構成因子の連続して居る竹片を採つた。 その竹片を自然の稈壁厚と同一の幅に仕上げ横断面が殆んど正方形に等しい角柱とし、それから連続して切断した後更に割つて、第1圖に示す6種類の試験片合計11個を製作し、こ

れを1組として、マダケは8組を、モウソウチクは7組を準備した。従つて全稈壁を有する試験片は①、③及び⑤で、外半部の試験片は②—1、④—1、及び④—2、内半部は②—2、④—3 及び ④—4 又中間部は⑥である。

Fig. 1 Specimen



3. 実験方法。 オルゼン型 10 ton 試験機の最大秤量を 2 ton に切換え最小目盛を 1 kg とし約 2.4 mm/min. の速度で加重した。其他の実験方法は第6報³⁾と同一である。

構成因子の割合の測定に當つては各組の試験片中③、④及び⑥の木口面を撮影し、③は4つ切り又④及び⑥は8つ切り大に引伸した印畫紙から夫々外皮層、維管束鞘、基本組織及び内皮層を切り抜き、夫々の重量を秤量して各構成因子の木口面に於ける占有面積の割合を木口面積に對する%で求め、體積の占有割合をも同時に示すものと看做した。

又破壊線の角度は外側接線面或いは外側に近い接線面並びに半徑面に於て繊維方向と破壊線のなす鋭角を 0.5 度迄分度器で測定した。

III 実験結果

1. 含水率。 実験材料は輪切りにして約2年間室内に放置してあつたものであるから、第1表に示すように大差が無い。又同一組内に於ける含水率の差の最大値はマダケで 1.3 ~ 3.4 %、モウソウチクは 0.7 ~ 2.1 % である。従つて壓縮強度並びに比重に對する含水率の差に依る影響は考慮する必要はない程度であると考えられる。

第 1 表 含水率、試験時比重及び圧縮強度

Table 1. Moisture content, Specific gravity and Compressive strength.

試 験 片 Specimen	筒 数 Number of tests	含 水 率 Moisture content %	試 験 時 比 重 Specific gravity	圧 縮 強 度 Strength kg/cm ²
マダケ MA-DAKE	外 半 部 Outer part	24	10.0—13.5 (0.918)	928.8—1,307.6 (1,122.0)
	中 間 部 Middle part	8	10.0—13.0 (0.775)	628.6—950.6 (797.4)
	内 半 部 Inner part	24	10.5—13.6 (0.748)	522.9—816.4 (671.6)
	全 稈 壁 Whole	32	10.4—12.9 (0.866)	781.7—960.5 (830.8)
モウソウチク MOSŌ-CHIKU	外 半 部 Outer part	21	11.5—14.0 (1.030)	955.7—1,113.2 (1,051.1)
	中 間 部 Middle part	6	12.5—13.6 (0.928)	673.2—812.2 (760.0)
	内 半 部 Inner part	21	12.0—14.7 (0.883)	578.8—759.5 (683.6)
	全 稈 壁 Whole	28	11.9—14.7 (0.965)	698.7—895.8 (816.3)

2. 試験時比重。 結果は第1表に示すように全稈壁を有する試験片に就ては既發表の結果から求めた概略的な範圍（マダケは 0.569～0.591, モウソウチクは 0.51～1.20）の内に包含されるが少々中位以上にある。外皮層が存在し、内皮層を欠き且つ維管束鞘の多い外半部の比重は他の部分より大となり、外皮層を欠き、内皮層が存在し且つ維管束鞘の少い内半部は反對に小となる事は當然豫想される。マダケの比重に就て志賀¹⁾は外皮は 1.1539, 中部は 0.7408, 内部は 0.6602 とし又宇野²⁾は外部は 0.99, 内部は 0.53 であると發表して居る。本結果も夫等と大體類似した數値と同一の傾向を示して居る。

各種の試験片共に夫々最大値, 最小値及び平均値に於て全部モウソウチクはマダケよりも大である。

3. 圧縮強度。第1表に示すように全稈壁を有する試験片の強度は大體既發表の無節短竹筒に就ての結果に依る概略的な範圍（マダケは 500～1,400 kg/cm², モウソウチクは 442～818 kg/cm²）の内に入り比重と同様に中位以上にあるがモウソウチクは最大値を越して居る。外半部、中間部及び内半部の強度に就ては比重と同様な傾向を示

し又種類に依る相異としてはマダケが幾分大である傾向が見られる。

4. 構成因子の割合。4種の構成因子即ち外皮層、維管束鞘、基本組織及び内皮層が竹材中に於て占める夫々の割合は、第2表に示すように基本組織と維管束鞘とが其の大部分を占めて居る。又内皮層の發達が顯著なモウソウチクは發達の少いマダケに比較して内皮層の割合は相當大となつて居る。部分別に維管束鞘の占める割合を比較すれば2種類を通じて外半部に於て最大値を示し中間部、内半部の順に小となる。基本組織は維管束鞘とは反對の傾向を示して居る。

第2表 構成因子の占める割合

Table 2. Percentage of the structural elements.

試 験 片 Specimen		筒 數 Number of tests	外 皮 層 Outer layer %	維 管 束 鞘 Bundle sheath %	基 本 組 織 Fundamental tissue %	内 皮 層 Inner layer %
マ ダ ケ MA-DAKE	外 半 部 Outer part	16	1.1—3.4 (2.7)	34.7—43.5 (39.9)	53.5—62.2 (57.4)	..... .....
	中 間 部 Middle part	8	..... .....	22.1—30.0 (25.9)	70.0—77.9 (74.1)	..... .....
	内 半 部 Inner part	16	..... .....	10.2—22.9 (16.6)	69.4—81.1 (76.0)	5.8—10.0 (7.4)
	全 稈 壁 Whole	8	0.6—1.8 (1.3)	25.2—32.1 (28.4)	62.6—69.8 (66.6)	3.0—4.5 (3.7)
モ ウ ソ ウ チ ク MŌSŌ-CHIKU	外 半 部 Outer part	12	2.2—4.5 (3.1)	31.3—37.9 (33.9)	58.5—66.3 (63.0)	..... .....
	中 間 部 Middle part	6	..... .....	18.4—25.8 (22.8)	74.2—81.6 (77.2)	..... .....
	内 半 部 Inner part	12	..... .....	10.8—14.9 (12.9)	73.5—78.3 (76.1)	9.6—12.7 (11.0)
	全 稈 壁 Whole	7	1.2—1.4 (1.3)	20.4—23.9 (22.2)	69.3—73.4 (71.4)	4.2—5.5 (5.0)

以下各構成因子の竹材中に於て占める割合の%を夫々外皮層率、維管束鞘率、基本組織率及び内皮層率と呼ぶことにする。

5. 破壊線の角度。竹片が繊維方向に壓縮された場合に生ずる破壊状態は、木材の場合と同様に接線面に於て繊維方向に傾斜し、半徑面に於て繊維方向に直角な破壊面を生ずるように見える。併し乍ら破壊面を明瞭に生ずる場合と然らざる場合とがあり、その出現率は第3表に示すように試験片②—2, ④—3及び④—4即ち内半部の試験片には殆んど明瞭な破壊面は認められず、その他の部分即ち外半部、中間部及び

第 3 表 破壊面の出現率と角度

Table 3. The percentage of appearance and angle of the gross failure
with the vertical on tangential and radial faces.

試 験 片 Specimen			①	② — 1	②—2	③	④ — 1 ④ — 2	④—3 ②—4	⑤	⑥
マダケ MA-DAKE	Tangential face	Degrees (Average)	46.5 - 52.5 (50.5)	46.5—50.0 (48.0)	..... .....	47.0 - 51.5 (49.4)	47.5—52.5 (49.7)	65.5 (48.2)	46.0—50.5 (60.3)	55.5—62.0
	接線面	Percentage	80	80	0	100	100	10	80	100
	Radial face	Degrees (Average)	69.0—88.0 (81.6)	..... .....	..... .....	78.5 (81.4)	71.5—88.5 (81.4)	72.5 (80.4)	64.5—88.0 (80.4)	62.5—87.5 (79.4)
	半徑面	Percentage	80	0	0	20	100	10	80	80
	Tangential face	Degrees (Average)	42.0—50.9 (46.2)	38.5—45.5 (43.5)	 (44.3)	42.5—45.0 (44.3)	39.5—45.0 (42.6)	57.0 (44.3)	42.0—46.5 (44.3)	54.5—88.5 (68.2)
	接線面	Percentage	88	100	0	100	100	13	75	75
モウソウチク MOSŌ-CHIKU	Radial face	Degrees (Average)	76.5—90.0 (84.9)	..... .....	..... .....	..... (85.2)	78.0—90.0 (85.2)	..... .....	..... .....	60.0—90.0 (75.0)
	半徑面	Percentage	100	0	0	0	90	0	0	80

全稜壁の試験片の大部分には認められた。破壊面は先ず試験片の外側の接線面に斜走する線として出現し次第に内側に向つて面となつて發達する。従つて内側の接線面に破壊線が生ずるのは最後となる。第3表中半徑面に破壊線の出現する試験片が少数であるのは過度に試験片を變形しなければ破壊線が出現しない事に起因して居る。

竹材の破壊状態が木材と異なる點は半徑面に於ても破壊線が纖維方向に直交しないものが、主として中間部及び内半部の試験片に存在する事實である。マダケでは88個中に中間部3個、内半部7個、全稜壁1個又モウソウチクでは77個中に中間部1個、内半部3個の試験片に見られた。Bienfait¹⁰⁾ は非常に稀な例として針葉樹に就て試験片 324 個中3個、廣葉樹200個中無しとその存在を認めて居り、又同氏は Robinson¹¹⁾ が例外として Spruce に於けるその存在を認めて居ると紹介して居る。従つて半徑面に於て破壊線が傾斜する場合、その傾斜の方向が相對する半徑面に依つて反對となつた時には試験片の變形量が大となれば破壊線は螺旋狀を呈する。Bienfait¹⁰⁾ が圖示して居るように Douglass fir では、年輪1個毎に就ては、半徑面に於ける破壊面の傾斜が認められるから、竹片を本材の1個の年輪に看做せば當然この種の破壊状態が存在してもよい筈である。

半徑面及び外側の接線面に於ける破壊面或いは破壊線の纖維方向に對する角度(銳

角)は第3表に示すように後者に於ては外半部及び全層壁では小、中間部及び内半部では大、又マダケはモウソウよりも大となる傾向を示して居るが、前者では一般的に後者より大であつて種類及び部分に依る差は認め得られなかつた。

IV 検 討

1. 各構成因子の割合間の関係。 外皮層率 (O)、維管束鞘率 (V)、基本組織率 (P) 及び内皮層率 (I) の相互間には第 2 a, b 圖に見られるように外皮層率と内皮層率及び維管束鞘率と基本組織率との間には直線的関係のある事が豫想される。4 構成因子相互間に於て相關關係の存在を検討して有意の相關係数を有するものを第4表に示した。即ち 維管束鞘率と基本組織率との間には負の高度な相關關係が存在し外皮層率と内皮層率との間には 正の相關關係が認められ夫等 2 組は各々獨立して居る。

第 4 表

Table 4. The mutual correlation between percentage of outer-layer (O), bundle sheath (V), fundamental tissue (P) and inner-layer (I).

			Correlation coefficient	Regression equation
MA-DAKE	$V - P$	Outer part	-0.981 ***	$P = 58.6 - 0.94 (V - 38.6)$
		Inner part	-0.958 ***	$P = 76.0 - 0.95 (V - 16.6)$
		Whole	-0.986 ***	$P = 70.3 - 0.93 (V - 26.0)$
	$I - O$	Whole	0.737 *	$I = 2.5 + 1.38 (O - 1.2)$
MOSŌ-CHIKU	$V - P$	Outer part	-0.951 ***	$P = 63.0 - 1.02 (V - 33.9)$
		Inner part	-0.764 **	$P = 76.1 - 0.99 (V - 12.9)$
		Whole	-0.901 **	$P = 71.4 - 0.93 (V - 22.2)$
	$I - O$	Whole	0.895 **	$I = 5.0 + 4.0 (O - 1.3)$
	$P - I$	Inner part	-0.636 *	$P = 76.1 - 0.99 (I - 11.0)$

* Significant at the 5 per cent. level of probability.

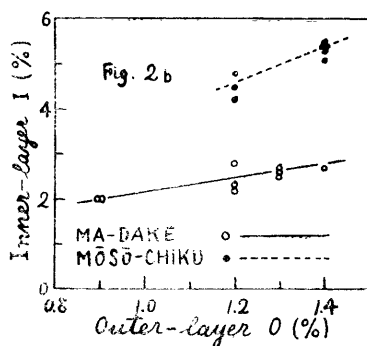
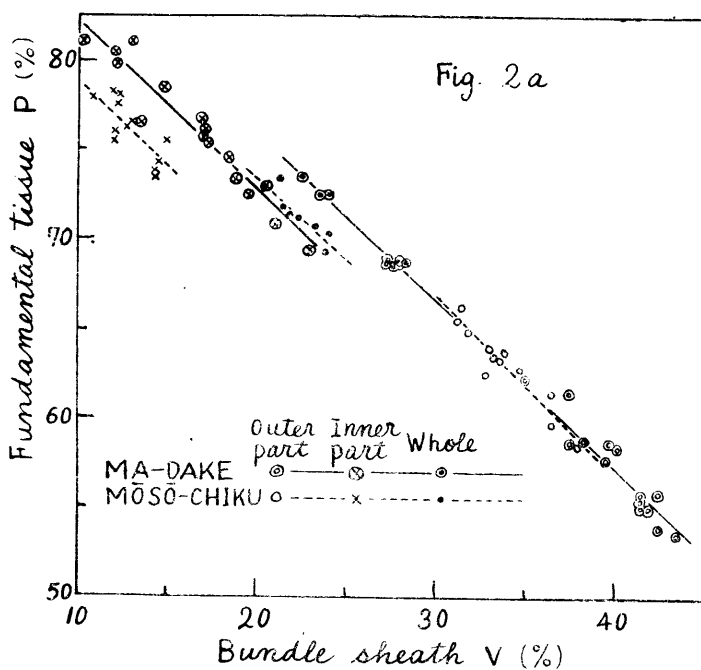
** Significant at the 1 per cent. level of probability.

*** Significant at the 0.1 per cent. level of probability.

又基本組織率と内皮層率との間の相關關係はモウソウチクにのみ見られ他の相互間の相關關係は認め得られなかつた。回歸方程式を求めて第4表の結果を得た。

竹片の大部分を占る維管束鞘率と基本組織率とが互いに負の直線的な相關關係を有する事は當然豫想される事である。併し乍らそれとは獨立に外皮層率と内皮層率が互いに正の直線的な相關關係を有する事實は、兩者共に占有面積が前者に比較して

甚しく小であり、且つ兩層の面積即ち層の厚さが殆んど變化しない事に起因するものと考えられる。竹片の厚さが變化しても、外皮層及び内皮層の厚さに變化が殆んど無ければ、夫等の面積も同様に殆んど變化しないが、第2報⁽¹⁾に於て説明したように基本組織の占める面積は竹片の厚さの増加につれて増加するが、維管束鞘の面積は同一傾向ではあるが、その變化の割合が基本組織に比較して少い事が豫想されるので以上の結果を得たものであろう。今外皮層及び内皮層の厚さを測定した結果を示せば、外皮層の厚さはマダケ 0.01 mm. モウソウチク 0.01~0.02 mm 又内皮層の厚さはマダケ 0.02~0.03 mm. モウソウチク 0.04~0.06 mm である。是等の測定値からはマダケ及びモウソウチクは共に各層別の厚さに於ては大差は認められず前記の事實を裏書き、

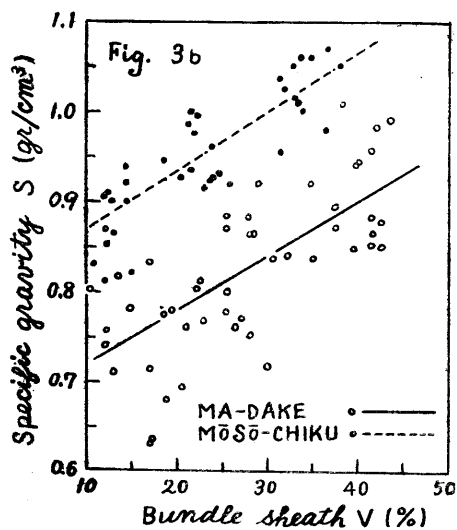
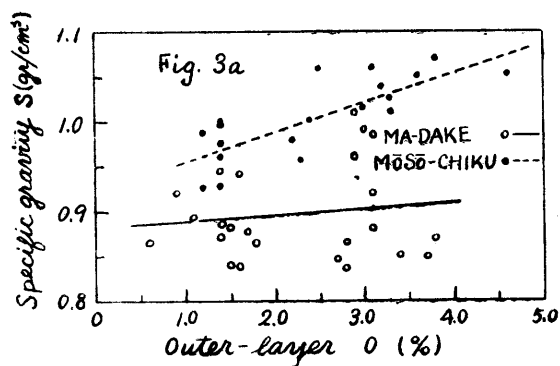


更に外皮層は内皮層よりも、マダケはモウソウチクよりも薄く又モウソウチクの内皮層が特に厚い事実が認められた。志賀¹⁾も「梢の方は肉の厚さに比し皮の部分が割合に多くなる」と同様な事実を認めて居る。

第 2 a 圖で明かなように、維管束鞘率と基本組織率との回帰直線は回歸係數が 1 に近く殆んど全部が平行し、マダケの外半部と全稈壁並びにモウソウチクの外半部の點は殆んど同一直線上にあると看做され、マダケの内半部とモウソウチクの全稈壁の點は同様に同一直線上にあると看做されるが、モウソウチクの内半部だけが孤立して居る。これは前記の内皮層の厚さが外皮層よりも大で、且つモウソウチクの内皮層が特に厚い事に起因するものと思われる。併し乍ら維管束鞘率と基本組織率との割合及び變化狀態は マダケ 及び モウソウチク に於ては 共に同一傾向を有する事は推察される。

2. 試験時比重と構成因子との關係。既に III. 2. 及び III. 4. で認めたように、比重の大である外半部では維管束鞘率が大で基本組織率は小であるが、比重の小である内半部では反對に維管束鞘率が小で基本組織率が大となる。従つて試験時比重と構成因子との間に一定の關係が存在する事は充分豫想され得るところであつて、Schafer¹²⁾ は米國の Southern pine に就き比重と秋材の量との間に直線的關係の存在を認め回歸方程式 $E=0.00499 X+0.2732$ (但し E :— 比重、 X :— 秋材率%) を提出し又 Pew 及び Knechtges¹³⁾ も同様に Loblolly pine に就て直線式で比重と春材率との關係を示して居る。木材の秋材を竹材の外皮層及び維管束鞘と看做し春材を基本組織及び内皮層に考えれば、竹材に於ても構成因子と比重との關係は直線式で表わされてもよいと考えられる。

各構成因子の割合と試験時比重との關係を圖示すれば第 3 a, b, c, d 圖のように木材に於けると同様に直線的關係の存在が考えられる。各因子別に試験時比重との相關關係の有無を検定すれば第 5 表に示すようにマダケの外皮層率を除き他の因子は全部 1 % の有意水準で比較的高度の相關關係が認められた。第 5 表に示す求めた回歸方程式に依れば、外皮層率及び維管束鞘率の回歸係數は正であるから竹片の比重よりも外皮層及び維管束鞘の比重は大であり、反對に基本組織及び内皮層の比重は小である事が判明する。



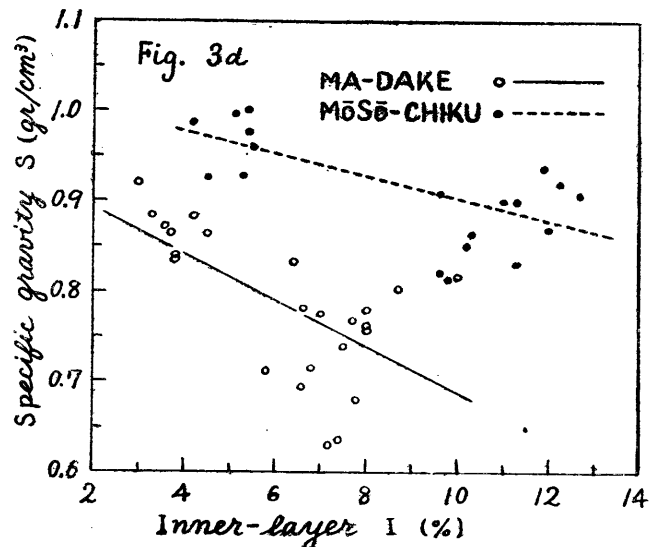
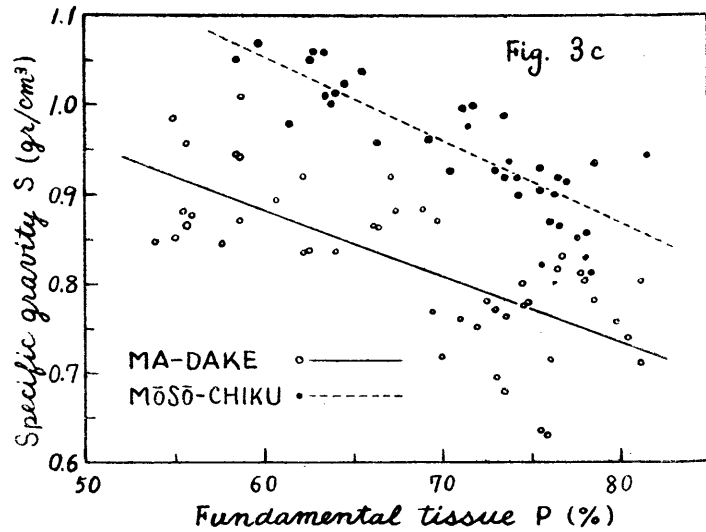
第 5 表

Table 5. The correlation between specific gravity (S), and percentage of outer-layer (O), bundle sheath (V), fundamental tissue (P), and inner-layer (I).

		Correlation coefficient	Regression equation
MA-DAKE	$S - O$	0.121	$[S = 0.896 + 0.0066 (O - 2.2)]$
	$S - V$	0.655 ***	$S = 0.826 + 0.0060 (V - 27.9)$
	$S - P$	-0.720 ***	$S = 0.826 - 0.0074 (P - 67.9)$
	$S - I$	-0.626 **	$S = 0.784 - 0.0255 (I - 6.2)$
MOSO-CHIKU	$S - O$	0.781 ***	$S = 1.005 + 0.0329 (O - 2.5)$
	$S - V$	0.835 ***	$S = 0.951 + 0.0067 (V - 23.0)$
	$S - P$	-0.832 ***	$S = 0.951 - 0.0092 (P - 71.2)$
	$S - I$	-0.726 ***	$S = 0.911 - 0.0138 (I - 8.8)$

** Significant at the 1 per cent. level of probability.

*** Significant at the 0.1 per cent. level of probability.



第 3 a, b, c, d 圖 及び 第 5 表 で明かなようにいづれの場合に於ても、モウソウチクの比重がマダケよりも大でモウソウチクの回帰直線は常にマダケのその上位を占めて居る。

第 5 表 の回帰係数を見れば、マダケ及びモウソウチクは共に外皮層率は維管束鞘率よりも、内皮層率は基本組織率よりもその絶対値に於て大である。従つて外皮層の比重が最大で、維管束鞘が之に次ぎ、内皮層の比重が最小である事も明かである。

又維管束鞘率 及び 基本組織率と比重の關係に於ては回帰直線は略平行するが外皮層率 及び 内皮層率と比重との關係に就ては回帰係数の絶対値は前者ではモウソウチ

クが大で後者では反対にマダケが大となつた。

3. 圧縮強度と構成因子との関係。 竹材の部分別に圧縮強度 (σ_c) と構成因子の割合 (O, V, P 及び I) との関係を検討した結果、モウソウチクの外半部に於て圧縮強度 (σ_c) と外皮層率 (O) との間に直線的相關關係 (相關關係數は 0.877) が認められ回歸方程式 $\sigma_c = 1,051.8 + 88.7(O - 3.0)$ を得たのみであつた。これは實驗回數の不足に起因するものと思われる。

部分に依る區別を除外し全試験片に就き兩者間の關係を求めれば、第 4 a, b, c, d 圖に示すように直線的であると認められる。故に相關關係數を求めて第 6 表のように、モウソウチクの内皮層率以外には全部有意の相關關係の存在が認められた。Red pine に就て Kraemer¹⁴⁾ は剛性と横斷面上の秋材の量との間に相關關係を認めて居るが、此の點に於ても比重と同様に木材と竹片との類似性が見られる。表示の回歸方程式中の回歸係數及び第 4 a, b, c, d 圖に依つても明かなように、外皮層及び維管束鞘の壓縮強度は竹片の壓縮強度よりも大であり、基本組織及び内皮層の壓縮強度は小である事が判る。

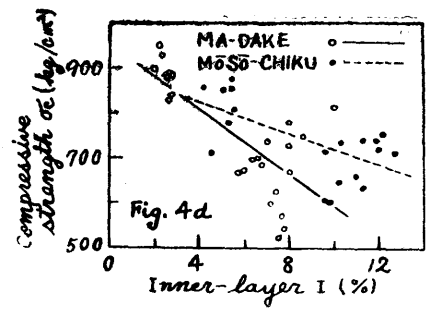
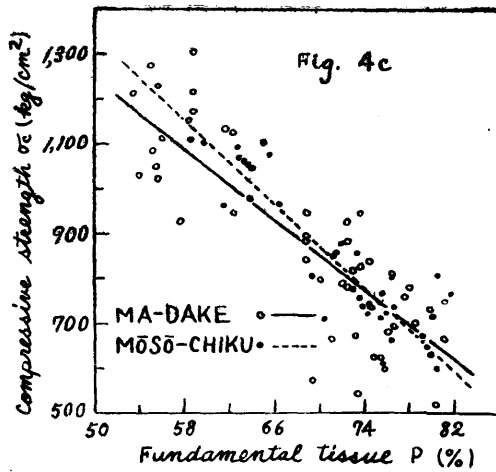
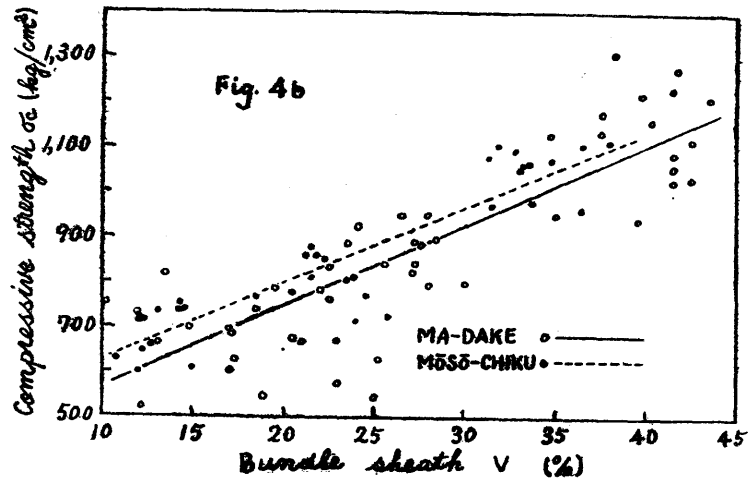
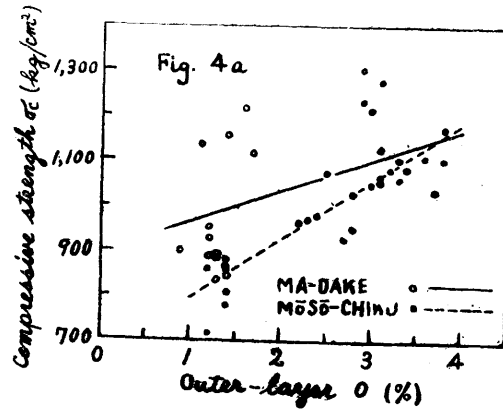
第 6 表

Table 6. The correlation between compressive strength (σ_c) and percentage of outer-layer (O), bundle sheath (V), fundamental tissue (P) and inner-layer (I).

		Correlation coefficient	Regression equation
MA-DAKE	$\sigma_c - O$	0.458 *	$\sigma_c = 1,047.9 + 69.4 (O - 2.2)$
	$\sigma_c - V$	0.865 ***	$\sigma_c = 881.4 + 18.0 (V - 27.5)$
	$\sigma_c - P$	-0.728 ***	$\sigma_c = 881.4 - 19.4 (P - 68.5)$
	$\sigma_c - I$	-0.724 ***	$\sigma_c = 745.7 - 36.0 (I - 5.8)$
MOSŌ-CHIKU	$\sigma_c - O$	0.940 ***	$\sigma_c = 963.1 + 129.6 (O - 2.5)$
	$\sigma_c - V$	0.899 ***	$\sigma_c = 846.1 + 16.8 (V - 23.0)$
	$\sigma_c - P$	-0.902 ***	$\sigma_c = 846.1 - 23.3 (P - 71.2)$
	$\sigma_c - I$	-0.196	$[\sigma_c = 741.1 - 16.9 (I - 8.8)]$

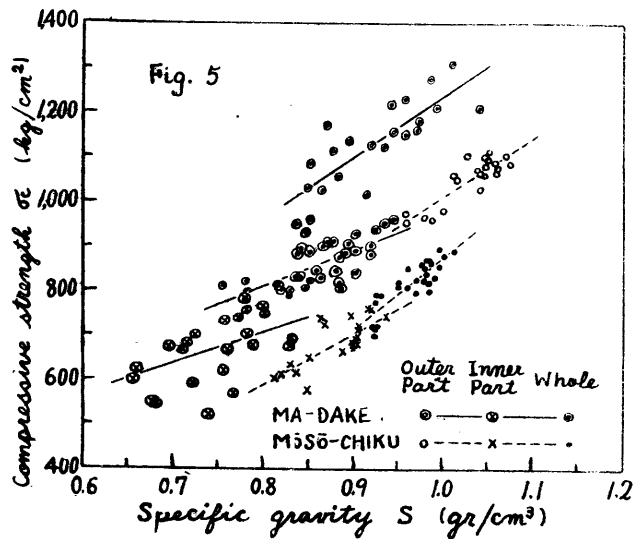
* Significant at the 5 per cent. level of probability.

*** Significant at the 0.1 per cent. level of probability.



又壓縮強度と維管束鞘率及び基本組織率との回帰直線はマダケ及びモウソウチクに於て殆んど一致するが、外皮層率及び内皮層率に於ては共に同一傾向を有するが前者(第4a圖)ではモウソウチクの回歸係數の絶對値が大であるのに反して後者(第4d圖)ではマダケが大である。

4. 壓縮強度と試験時比重との關係。 前節 IV. 2. 及び IV. 3. の結果から當然兩者間には木材に於けると同様に竹片に就ても正の相關關係の存在する事は考えられ、既に宇野⁽⁵⁾も同様な結果を發表して居る。實驗結果に依れば壓縮強度(σ_c)と試験時比重(S)との間には第5圖に示すように、直線的な關係が部分別に區分されて認め



第 7 表

Table. 7. The correlation between compressive strength (σ_c) and specific gravity (S).

		Correlation coefficient	Regression equation
MA-DAKE	Outer part	0.816 ***	$\sigma_c = 1,122.0 + 1,379.7 (S - 0.918)$
	Inner part	0.517 ***	$\sigma_c = 671.6 + 725.3 (S - 0.748)$
	Whole	0.722 ***	$\sigma_c = 862.1 + 817.9 (S - 0.866)$
MŌSŌ-CHIKU	Outer part	0.875 ***	$\sigma_c = 1,051.1 + 1,332.8 (S - 1.030)$
	Inner part	0.766 ***	$\sigma_c = 683.6 + 1,134.9 (S - 0.883)$
	Whole	0.859 ***	$\sigma_c = 816.7 + 1,647.6 (S - 0.965)$

*** Significant at the 0.1 per cent. level of probability.

られた。Heck¹⁶⁾ が竹材の曲げ強度と比重との間に求めた $\sigma_c = aS^2$ の関係は認められなかった。

両者の相関度を求めて第 7 表に示す結果を得た。即ち比重に依る強度の變化を表す回歸係數は、マダケ、モウソウチクを通じて外半部が最大で内半部が最小値を示して居る。従つて外半部は内半部よりも壓縮強度に於ては材質的に優秀であると言える。

又外半部、内半部及び全稜壁のいずれの場合に於ても、第 5 圖に示すようにマダケの回歸直線はモウソウチク回歸直線の上部にある。従つてマダケ材は壓縮強度に關する限り材質的にモウソウチク材よりも優秀である事が判る。

5. 接線面に於ける破壊線の角度と試験時比重及び壓縮強度との關係。第 2, 3 表の結果に見られるように、比重及び強度の小さな中間部及び内半部の試験片に生ずる接線面上の破壊線の角度は、外半部及び全稜壁の試験片に生ずる角度よりも大である事實から、その角度 (A) と比重 (S) 及び強度 (σ_c) との間に或る種の關係の存在が豫想される。既に Bienfait¹⁰⁾ は Thil¹⁷⁾ の説「木材の硬さ(重量)が大となれば軸方向と破壊線のなす角度は小となる」を紹介し又彼自身の實驗結果からは Jaccard¹⁸⁾ と同様に各種の樹種間では同様な關係を認めるが、同一樹種内に於ては一定の關係の存在を認めて居ない。

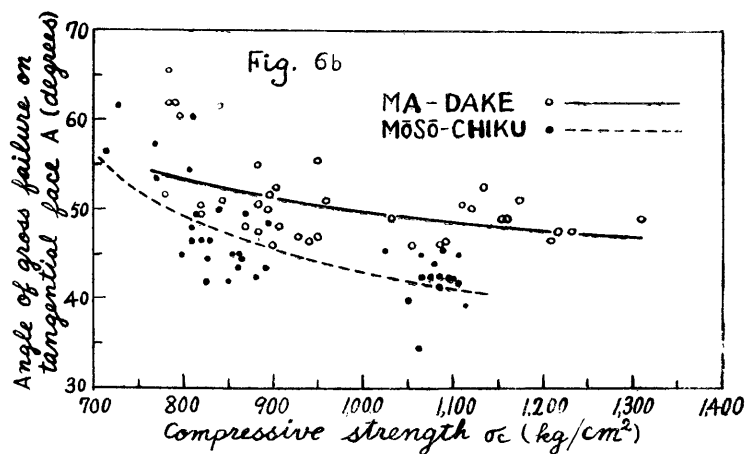
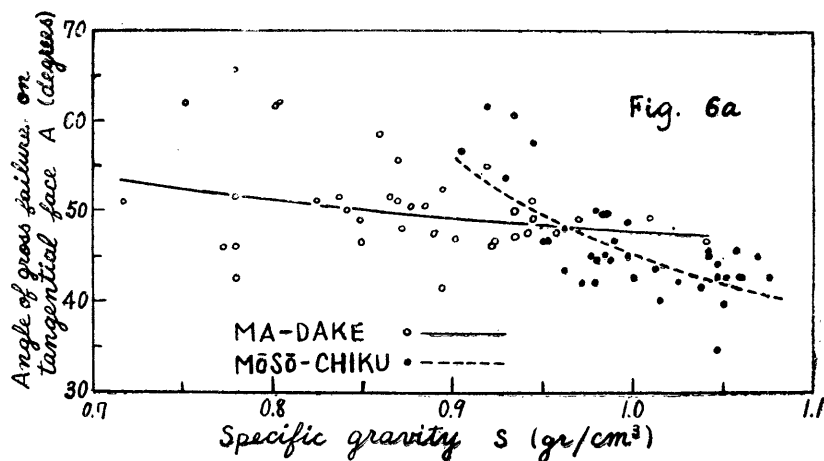
角度 (A) と比重 (S) 及び強度 (σ_c) との關係を圖示すれば、第 6 a, b 圖のようにマダケでは殆んど直線的な關係に見えるが、モウソウチクでは明かに曲線的な關係が認められる。 S/A と S 並びに σ_c/A と σ_c との間には、第 8 表のように有意な高

第 8 表

Table 8. The correlation between specific gravity (S) and compressive strength (σ_c), and angle of gross failure (A) with the vertical on tangential face.

		Correlation coefficient	Regression equation
MA-DAKE	$S/A - S$	0.780 ***	$S/A = 0.0175 + 0.026 (S - 0.873)$
	$\sigma_c/A - \sigma_c$	0.949 ***	$\sigma_c/A = 19.4 + 0.025 (\sigma_c - 975.7)$
MOSŌ-CHIKU	$S/A - S$	0.860 ***	$S/A = 0.0220 + 0.060 (S - 0.999)$
	$\sigma_c/A - \sigma_c$	0.930 ***	$\sigma_c/A = 20.3 + 0.035 (\sigma_c - 922.8)$

*** Significant at the 0.1 per cent. level of probability.



度の相関係数が得られた。従つて本関係は双曲線に依つて比較的よく表し得る事となり、Thil¹⁷⁾ の説と同一傾向の結果となつた。

第 8 表の回帰係数及び第 6 a, b 圖から明かに、比重及び強度が破壊線の角度に及ぼす影響は、共にモウソウチクがマダケよりも大である事が判る。これに依つて、半徑面に於て正規型の破壊線の角度が外側部では殆んど軸方向に直角で一直線を示すが、内側部ではその角度が小となる事實の説明も可能である。即ち破壊線は最初外側の接線面に生じた後、半徑面に外側(比重及び強度が大)から内側(比重及び強度が小)に向つて發達する。従つて接線面上の破壊線の角度は順次大となり半徑面に出現する破壊線の纖維方向に對する角度は小となる。同様に Bienfait¹⁰⁾ の圖示した Douglas fir の 1 年輪の半徑面に於ける破壊線の纖維方向に對する傾斜も説明され得るであらう。

又 Bienfait¹⁰⁾ は繊維方向に壓縮した場合の木材の破壊線が接線面上に於て傾斜する原因として「髓線の存在が半径方向への挫屈に對して抵抗を増加する事」を擧げて居る。併し乍ら髓線の存在しない竹片に於ても、木材と同一方向に壓縮に依る破壊線が外側の接線面に於て傾斜する場合が多い。本結果から破壊線の接線面上の傾斜の説明を髓線に求める事には相當に無理があると考えられる。

V 摘 要

竹材の主要な構成因子を外皮層、維管束鞘、基本組織及び内皮層の4種に区分し、それらの構成因子が竹材中で占める割合（體積及び面積）が比重及び壓縮強度等に及ぼす影響に就て研究した。

材料は2年間室内に放置したマダケ及びモウソウチクの輪切材なので、含水率には大差は認められなかつた。

實驗結果は第1, 2, 3表に示した。比重及び強度は共に既發表の數値の範圍に大體包含されるが、その上半部に屬する。

實驗結果を検討して次の事實が認められた。

1. 外皮層率と内皮層率並びに維管束鞘率と基本組織率との間には共に獨立に直線的關係が認められ、前者では正の又後者では負の回歸係數を得た。（第4表第2, a, b圖參照）内皮層及び外皮層の厚さは竹片の厚さ如何に依ては殆んど變化せず、前者は後者よりも厚く其の傾向はモウソウチクでは特に顯著である。

2. 比重は外皮層及び維管束鞘が増加すれば直線的に増加するが、基本組織及び内皮層が増加すれば直線的に減少する。（第5表・第3a, b, c, d圖參照）従つて外皮層及び維管束鞘の比重は竹片の比重より大で、基本組織及び内皮層の比重は小であつて、更に外皮層の比重が最大で維管束鞘が之に次ぎ内皮層が最小である事が判明した。又モウソウチクの比重は常にマダケよりも大である。

3. 壓縮強度は比重と同様に外皮層及び維管束鞘が増加すれば直線的に増加するが、基本組織及び内皮層が増加すれば直線的に減少する。（第6表・第4a, b, c, d圖參照）従つて外皮層及び維管束鞘の壓縮強度は竹片の壓縮強度より大であり、基本組織及び内皮層の強度は小である事が判明した。

4. 壓縮強度と試験時比重との間には木材と同様に直線的な正の相關關係を認めた。
(第 7 表・第 5 圖參照) 竹片の外半部は内半部よりも又 マダケはモウソウチクよりも
壓縮強度に於ては材質的に優秀である。

5. 接線面に於ける破壊線の角度は比重及び壓縮強度が大となるにつれて小となる
が、その關係は直線的ではなく双曲線的である。(第 8 表・第 6 a, b 圖參照) 比重及び
強度の破壊線の角度に及ぼす影響はモウソウチクがマダケより大である。

髓線の存在しない竹片にも木材と同様に接線面上で傾斜する破壊線を生ずる事實
から、木材の破壊線の接線面に於ける傾斜の説明に髓線の半徑方向に於ける抵抗のみ
をその原因として擧げる事には無理がある。

引 用 文 獻

- 1) 志 賀 泰 山
竹 の 生 長 及 び 形 狀
大 日 本 山 林 會 報 第 202 號 1899
- 2) 宇 野 昌 一
苦竹材を構成する細胞膜の厚さが該材の理學的性質に及ぼす影響
盛岡高農學術報告 第 13 卷 1938
- 3) 宇 野 昌 一
竹 材 の 性 質 と 其 の 適 用 1940
- 4) R. Bauman
Versuche über die Elastizität und Festigkeit von Bambus, Akazien-,
Eshen- und Hickoryholz.
V. D. I. Bd. 56, Nr. 6. 1912
- 5) 久 田 俊 彦 ・ 藤 原 梅 吉
竹材の強度に關する一實驗 (プリント) 1946
- 6) 鈴 木 寧
竹 材 の 研 究 第 3 報
本邦各地産モウソウチクの竹稈内比重分布並びに曲げ強さ
分布に就て
東京大學演習林報告 第 36 號 1948

7) 太 田 基

竹材の性質に関する研究 (第 2 報)

構造因子と物理的性質との関係

日本林學會誌 第 32 卷, 第 2 號

1950

8) 太 田 基

竹材の性質に関する研究 (第 6 報)

竹片の壓縮試験に於ける荷重分擔機構

昭和 26 年日本林學會大會講演會に發表

1952

9) 太 田 基

竹材の性質に関する研究 (第 3 報)

マダケ・モウソウチク及びハチクの竹稈型

九州大學農學部演習林報告 第 18 號

1950

10) Jacques L. Bienfait.

Relation of the manner of failure to the structure of wood
under compression parallel to the grain.

Journal of Agricultural Research. Vol. 33, No. 2

1926

11) Robinson, W. 10) に依る。

The microscopical features of mechanical strains in timber and
the bearing of these on the cell-wall in plants.

Roy. Soc. [London] Phil. Trans. (B) 210:57

1920

12) E. R. Schafer.

The Influence of Volume of Summerwood and Rate of Growth
on the Specific Gravity of Southern Pine Pulpwood.

Southern Pulp and Paper Manufacturer.

1949

13) J. C. Pew, and R. G. Knechtges.

Cross-Sectional Dimensions of Fibers In Relation to Paper-
Making Properties of Loblolly pine.

Paper Trade Journal, Vol. 109, No. 15.

1939

14) J. Hugo Kraemer.

Growth-strength Relations of Red pine.

Journal of Forestry Vol. 48, No. 12

1950

- 15) Sioiti Uno
Studien über Bambusse. 1.
Bulletin of the Utsunomiya Agricultural College. No. 2. 1932
- 16) G. E. Heck.
Properties of some bamboos cultivated in the western Hemisphere.
Forest Products Laboratory Report No. D 1765. 1950
- 17) Thil, A. 10) に依る。
Constitution anatomique du Bois.
Publié par commission des méthodes d'essai des matériaux
de construction sous les auspices du Ministère des travaux
publics de France. Tome III, rapports particuliers. 1900
- 18) Jaccard, P. 10) に依る。
Etude anatomique de Bois comprimés.
Mitt. Schweiz. Centralanst. Forstl. Versuchew. 10:57. 1910

STUDIES ON THE PROPERTIES OF BAMBOO STEM. (Part 7)

The influence of the percentage of structural elements on the specific gravity and compressive strength of bamboo splint.

(Résumé)

Motoi ŌTA

It may be said that the bamboo splints are organized with the outer-layer (constituted by epidermal system, hypoderm and cortex), the bundle sheath, the fundamental tissue and the inner-layer (constituted by sclerenchyma cells) from the standpoint of the mechanical and physical properties.

The outer part, the middle part and the inner part of the bamboo splint have different properties, respectively. It has been recognized that the specific gravity and the strength properties of the outer part of a bamboo splint, which has the outer-layer and more bundle sheath than other parts, are high; and those of the inner part, which have the inner-layer and less bundle sheath, are low. Therefore, it can be expected naturally that the percentage of the four structural elements in the bamboo splint, has influence on the properties of the bamboo splint.

As it is clear in this report the writer investigated the influence of the four structural elements on the specific gravity and the compressive strength parallel to the grain of the splint of MA-DAKE (*Phyllostachys reticulata* C. Koch) and MŌSŌ-CHIKU (*Phyllostachys edulis* Riv.).

The form and the number of one set of specimen shown in Fig. 1, and eight sets of specimens are prepared for MA-DAKE and seven sets for MŌSŌ-CHIKU. The specimens, which have the whole stem wall of the bamboo splint, are ①, ③ and ⑤, the specimens ②-1, ④-1 and ④-2, are made from the outer part of the bamboo splint, the specimens ②-2, ④-3 and ④-4 are made from the inner part and ⑥ are from the middle part.

The rate of application of the load is 2.4 mm/min.

The volume or the area percent of the four structural elements (outer-layer, bundle sheath, fundamental tissue and inner-layer) was measured by weighing the printing-paper which cut out each element from the enlarged cross section by a photograph.

The angles of gross failure line with the vertical on tangential and radial surfaces were measured by the graduator.

The moisture content, the specific gravity and the compressive strength parallel to the grain are shown in Table 1. The differences between the maximum and the minimum value of moisture content in each set of specimens are 1.3—3.4% in MA-DAKE and 0.7—2.1% in MÖSÖ-CHIKU.

The specific gravity of the whole stem wall specimens is included in the range of previous works and belongs to the higher part of the range (0.569—0.991 in MA-DAKE, 0.51—1.20 in MÖSÖ-CHIKU). The specific gravity of the outer part specimens which has the outer-layer, more bundle sheath than other parts, and lacks inner-layer, is higher than those of the other parts. MÖSÖ-CHIKU has higher specific gravity than MA-DAKE at maximum, minimum and mean value.

The compressive strength of the whole stem wall specimens is included in the range of previous works and belongs to the higher part of the range (500—1,400 kg/cm² in MA-DAKE, 442—818 kg/cm² in MÖSÖ-CHIKU). The compressive strength has specific-gravity-like tendency, affecting by part in the bamboo splint. MA-DAKE has the higher compressive strength than MÖSÖ-CHIKU.

The percentages of the four structural elements of bamboo splint are shown in Table 2. The sum of the percentage of the fundamental tissue and the bundle sheath is more than 90% and the percentage of the inner-layer of MÖSÖ-CHIKU, which has remarkably thick inner-layer, is larger than MA-DAKE. The percentage of the bundle sheath of bamboo splint is the largest at the outer part and the least at the inner part in both species.

The appearance percentage and the angle of the gross failure line with the vertical on the outer tangential and the radial surfaces are shown in Table 3. The gross failure line of bamboo splint, under the compressive load parallel to the grain, appears as a line on the outer tangential surface at first and then grow toward the inner-layer at the radial surface. The gross failure line does not appear in the inner part specimens (②—2, ④—3 and ④—4) but appears in the middle part (⑥), the outer part (②—1, ④—1 and ④—2) and whole (①, ③ and ⑤) mainly.

The angle of gross failure line on the outer part and the whole stem wall specimens are smaller than the middle part and the inner part, and the angle of gross failure line on the radial surface is large than the outer tangential surface.

The investigations on the mutual correlations between the percentage of the four structural elements reveal the significant correlation coefficient

between the bundle sheath (*V*) and the fundamental tissue (*P*), and the outer-layer (*O*) and inner-layer (*I*) of both species, and the fundamental tissue (*P*) and the inner-layer (*I*) in the inner part of MŌSŌ-CHIKU, as shown in Table 4. The regression lines are shown in Fig. 2a, b with points, representing the data.

The relation between the percentages of the bundle sheath and the fundamental tissue, which take the greatest part of the bamboo splint, are shown by the negative linear regression lines. The relation between the percentage of the outer-layer and the inner-layer are shown by the positive linear regression lines. This may be explained by the fact that both elements take up the smaller part of the bamboo splint and their thickness are almost constant.

The thickness of the outer-layer of MA-DAKE is 0.01 mm and that of MŌSŌ-CHIKU is 0.01–0.02 mm, and the thickness of the inner-layer of MA-DAKE is 0.02–0.03 mm and that of MŌSŌ-CHIKU is 0.04–0.06 mm and there is not seen any significant difference in the thickness of the outer-layer and the inner-layer of both species. All the regression lines of the bundle sheath and the fundamental tissue run nearly parallel with each other. The regression lines of the outer part and the whole stem wall specimens of MA-DAKE and of the outer part specimens of MŌSŌ-CHIKU, and of the inner part specimens of MA-DAKE and of the whole of MŌSŌ-CHIKU, are nearly the same at one with each other with only the exception of that of the inner part of MŌSŌ-CHIKU which isolates itself from others as shown in Fig. 2a. This may be caused by the characteristic thickness of the inner-layer of MŌSŌ-CHIKU.

The plots of the specific gravity against the percentage of the structural elements of the bamboo splints of both species are represented by the straight line, as shown in Fig. 3a, b, c, d. There are high correlations between the specific gravity and the percentage of the structural elements as shown in Table 5, with the exception of the outer-layer of MA-DAKE. It becomes clear that the specific gravity of the outer-layer and of the bundle sheath are higher than the bamboo splint and that of the fundamental tissue and of the inner-layer lower. According to the regression equations in Table 5, the specific gravity of MŌSŌ-CHIKU is higher than that of MA-DAKE in all the cases.

The compressive strength parallel to the grain increase as the percentage of the outer-layer and the bundle sheath increases, and the percentage of

the fundamental tissue and the inner-layer decrease. There is a significant correlation between the compressive strength (σ_c) and the percentage of the outer-layer (O), but not between the other. The regression equation is:

$$\sigma_c = 1,051.8 + 88.7 (O - 3.0)$$

If the discrimination of the parts of the bamboo splint is left out of consideration, there are significant correlations between the compressive strength and the structural elements as shown in Table 6, with the exception of the inner-layer of $\overline{\text{MOSO-CHIKU}}$. It becomes clear that the compressive strength of the outer-layer and of the bundle sheath are higher than that of the bamboo splint, and that of the fundamental tissue and of the inner-layer lower, being similar to what is observed in the specific gravity of the parts mentioned specific gravity. The compressive strength increases as the specific gravity increases as shown in Fig. 5.

That relatively high degree of linear correlation which exists between the compressive strength and the specific gravity is shown by the value of the correlation coefficients in Table 7, in the outer part, the inner part and the whole stem wall specimens of both species. Since the regression lines of $\overline{\text{MA-DAKE}}$ between the compressive strength and the specific gravity are higher than $\overline{\text{MOSO-CHIKU}}$ as shown in Fig. 5, it is clear that $\overline{\text{MA-DAKE}}$ exels $\overline{\text{MOSO-CHIKU}}$ in quality.

The angle of the gross failure line (A) on the tangential surface of the bamboo splint under compression parallel to the grain decreases as the specific gravity (S) and the compressive strength (σ_c) increase as shown in Fig. 6a, b. A relatively high degree of linear correlation which exists between S/A and S , and σ_c/A and σ_c is shown by the values of the correlation coefficient as shown in Table 8. Therefore the hyperbolic relations are recognized between the angle of gross failure line and the specific gravity, and compressive strength.

Bienfait¹⁰⁾ said that "The only probable explanation of this behaviour is that the medullary rays increase the resistance to buckling in a radial direction, thus causing the line of failure to be inclined on the tangential surface." Since, however, the similar inclination of gross failure lines on the tangential surface to the wood made its appearance with bamboo splint, not having meddullary rays, the cause of inclination of gross failure line on the tangential surface might not able to be explained by the existence of medullary rays only.