

竹材の研究 第1報

伊豆産モウソウチクの部分による材質の相違

—— 比重, 繊維率, 曲げ強さ, ヤング率, 剪断強さに關して —— *

大學院特別研究生 鈴木 寧

Yasusi SUZUKI ; Studies on The Bamboo. I.

Distribution of Physical and Mechanical Properties in The Stem of
Phyllostachys pubescens MAGEL et H. DE LEHAIE of Prov. Idzu. — On The
Specific Gravity, The Fiber-Content, The Bending Strength, The Young's
Modulus and The Shear Strength.

竹材の研究 第1報

伊豆産モウソウチクの部分による材質の相違

—— 比重、繊維率、曲げ強さ、剪断強さに關して ——

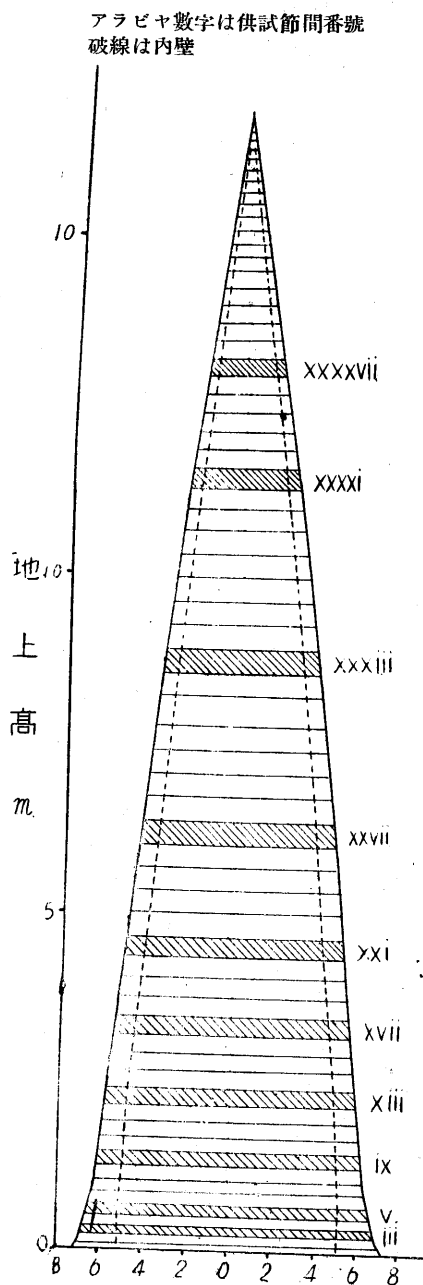


圖1 供試竹縦断面

前 が き

此實驗は農林省林業試驗場との共同による竹材研究の一部で、モウソウチク *Phyllostachys pubescens* MAGEL et H. DE LEHAIE について部分による比重や機械的性質の相違を調べたものである。竹の性質が稈壁の外皮側と内側とで著しく異なることは宇野⁽¹⁾、其の他の諸氏によつて屢々報告されてゐるが、茲では竹稈半径方向のみならず垂直方向についても出来るだけ連続的變化として把握する様つとめた。猶、曲げ強さと剪断強さの試験は今迄に例が少ないので分布傾向だけでなく定量値としても参考になる點があるかと思ふ。もとより此一本の供試竹からモウソウチク全般を推すべくもなく、同様な試験は更に多數の竹に實施される必要があらう。報告作製に當つては木材々科學教室の三好東一教授、平井信二助教授、北村博嗣助手、並びに樹藝研究所の渡邊資仲助教授から數々の御教示と御援助を賜つた。ここにあらためて厚く感謝の意を表する次第である。

試 験 竹

試験竹は本學附屬樹藝研究所（静岡縣賀茂郡南上村）のモウソウチク林から採取した。この林は一反歩ばかりのゆるやかな南東斜面で、下

表1 標準地徑
級別本数

胸高周囲	本 数
cm	
24	2
26	9
28	13
30	38
32	41
34	40
36	20
38	16
40	12
42	7
44	1
計	199

標準地面積
715 m²

草は少いが別に手入は施されて居ない。立竹密度は1反歩當り285本であるから可成疎な方である。竹は胸高周囲30~35cmのものが多く、全體の約6割を占めてゐる(表1)。この試験に用ひた竹は胸高周囲39cm、全長17m(節數66)、枝下高9m(第33節)で、この林としては大きい方であるが全國的に見ればそれほどではない。年令は4年生位と思はれる。試験片は、この中表2の節間部から次節の要領で採材した。なお、各節間は慣例により根元から上方へ第1節間、第2節間、……………と順次名付けることにする。

試 験 方 法

1. 比 重 の 測 定

表2の節間部から各中央で長さ15mm、幅10mm、肉厚のブロックを採る(圖2)。

別に節の比重を見るため第14節で圖2の様にa, b, c, d, e, のブロックを採る。是等を更に數層の板目材に分割し、その各について氣乾

表2 供試節間部の位置と形狀

節間 番號	地上高	節間長	周囲	肉 厚	試験項目
	m	cm	cm	mm	
3	0.3	13	43	15~17	全 部*
5	0.6	16	41	13~16	比重, 曲げ
9	1.3	21	39	10.5~13.5	全 部
13	2.3	25	37	9~11	比重, 曲げ
17	3.3	27.5	35	10~10.5	比重, 曲げ
21	4.5	32	32	9~9.5	全 部
27	6.5	35	28	8.5	比重, 曲げ
33	8.7	35	23	7	全 部
41	11.4	29	16	5.5	比 重
47	13.0	26.5	11	4.5	比 重

* 比重, 繊維率, 曲げ強さ, ヤング率, 剪斷強さの5項目

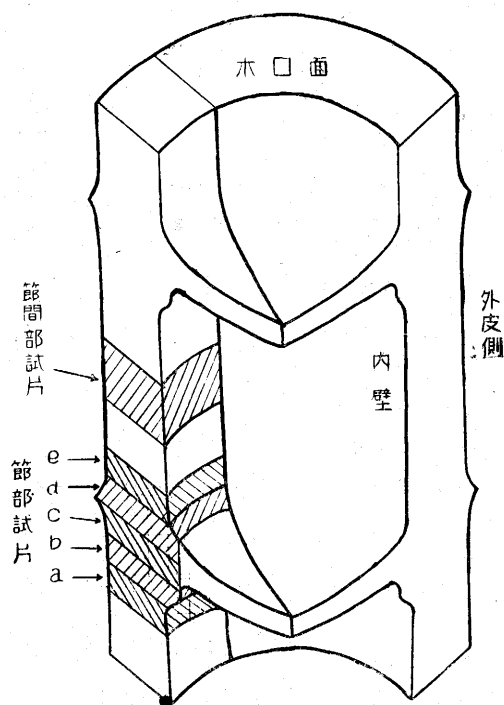


圖2 比重試片の木取

重量を 1mg まで、氣乾容積を水銀測容器で 1/500cc まで測定し氣乾比重を求めた。但し、程壁最内側の厚膜細胞層（厚み約 0.6 mm 程度）の比重は一部の節間で測つただけである。

2. 纖維率の測定

比重測定試片の一部（3, 9, 21, 33 節間）については、更に纖維率を求めて見た。纖維率とは維管束内にある維管束鞘が材全體の何%を占めてゐるかと云ふ事である。* その求め方をのべると、試片木口面を顯微鏡視野におき、對眼マイクロメーターの標線がそれをよぎる時、維管束鞘に引がかつた標線部分の長さの總和と木口面全體についての標線長さとの比を標線の横すらしで數多く測り、その平均値を以つて纖維率とする。

3. 曲げ試験（比例限度、ヤング率、強さ）

表 2 の節間からそれぞれ板目と柾目の曲げ試片を作つた。板目試片の寸法は、厚み 3 mm（半徑方向）、幅 8 mm（切線方向）、長さ 12 cm（纖維方向）で、外皮側、内側（厚膜細胞層を除く）及びその中間から數ヶづつ採る。試片採材の位置を明らかにするため外皮から各試片中央までの距離 x （半徑方向）を測つた。試片の個數や x の値は後の表 6 に書きそえてある。柾目の試片も厚み 3 mm（切線方向）、長さ 12 cm（纖維方向）で前者と同じだが、幅（半徑方向）は稈の肉厚となるので各節間で異り根元の第 3 節間では約 16 mm、それから上にゆくに從つて狭くなり中央高附近の第 33 節間では 7 mm 位になつてゐる。

是等を氣乾狀態（含水率約 14 %）にしてから、中央集中荷重で曲げ、ヤング率 E 及び曲げ強さ σ を求めた。此の際、板目材には、木表荷重（外皮側が壓縮側になる様な曲げ）、柾目材には切線方向の荷重を加へることにした。ヤング率はスパン 10 cm の梁中央に比例限度以下の荷重 W_0 を加へ、その時の中央撓 δ から

$$E = W_0 l^3 / 48 \delta I \quad (\text{kg/cm}^2) \quad l \text{ はスパン, } I \text{ は慣性能率}$$

として決定する。曲げ強さ σ は、ヤング率測定後、スパン 4 cm にしてアムスラー型試験機にかけ、破壊荷重 W より

$$\sigma = Wl / 4Z \quad (\text{kg/cm}^2) \quad Z \text{ は斷面係數}$$

として求めた。此様に、ヤング率と強さを別々な装置でしかもスパンを變へて測定したのは單なる實驗上の便宜によるもので特別な意味はない。

猶、第 10 節及び第 26 節についても、外部（板目）、内部（板目）、全肉厚（柾目）の各試片を作り同じ方法で強さを求めた。試片を一樣な矩形斷面にするため外皮側では節の隆起を、内部の試片では横隔壁への突起をそれぞれ削りとつて平滑に仕上げた。そして各試片の端の

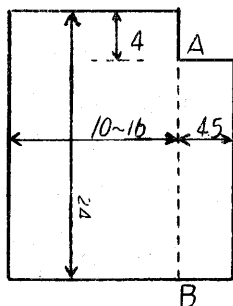
* この定義と測定方法は高島稔氏の卒業論文（木材々料學教室，1947）に由る。

方で節間部の曲げ強さも測り、兩者の値が直接比べられる様にした。

4. 剪断强さの測定

方法の骨子は JES 木材試験法原案による。試片の寸法は原則として圖 3 の様にとつたが此中第 3 節間に就ては圖 4 に示す通り

AA' (AB) は剪断面、數字は mm.



側面

木口面

圖 3 剪断試片の形状

AA' は剪断面、數字は mm.

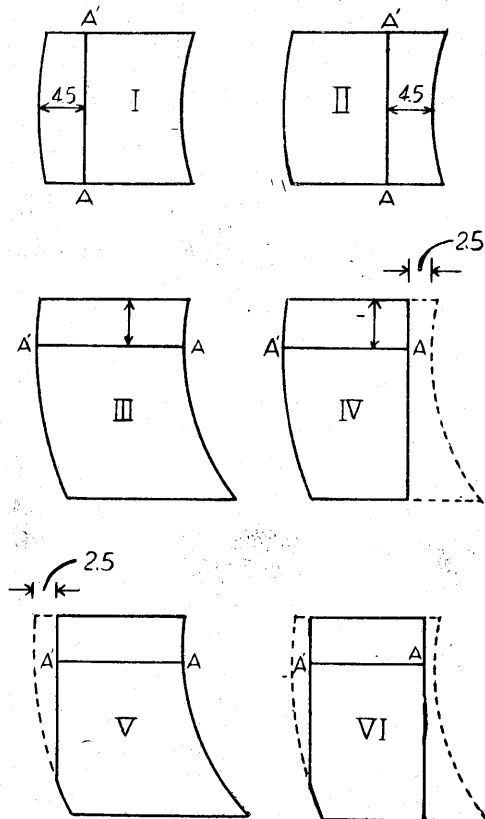


圖 4 剪断面の種類

- I. 板目剪断面を外皮から 4.5 mm の所にとる場合、
- II. " 内側から " "
- III. 全肉厚の柁目剪断面とする場合、
- IV. 柁目剪断面で内側 2.5 mm の部分を削除した場合、
- V. " 外側 " "
- VI. V に於て内側厚膜細胞層も削除した場合、

の 6 種の試片を作り、板目と柁目、外部と内部等による強さの相違を調べて見た。猶、節の強さを見るため第 3 節間に隣る上下の節からも同じ様な試片を作つた。柁目面で IV 及び V

を考へたのは、III と IV から内側 2.5 mm の部分の柁目面強さを、III と V からは外皮側 2.5 mm の部分の柁目面強さを推定するためである。つまり、III, IV, V の各剪斷強さを S_{III} , S_{IV} , S_V , 剪斷面積を A_{III} , A_{IV} , A_V とすれば

$$\text{内側 2.5 mm の部分の剪斷強さは } \frac{S_{III} A_{III} - S_{IV} A_{IV}}{A_{III} - A_{IV}}$$

$$\text{外側 2.5 mm の部分の剪斷強さは } \frac{S_{III} A_{III} - S_V A_V}{A_{III} - A_V}$$

として大誤ないものと考え。VI は V と比べて厚膜細胞層の影響を見るためのものである。その他の節間つまり 9, 21, 33 節間に就ては上記の中の III 形式（全肉厚柁目剪斷）によつて剪斷強さを求めた。この形式では外皮から内壁まで全ての部分を含んでゐるからその節間での平均的な強さを表はすと考へられ、各節間相互の比較に便利である。

試片は全て氣乾状態（含水率 16%）で三好式木材剪斷試験機に圖 5 の要領で取付け、アム

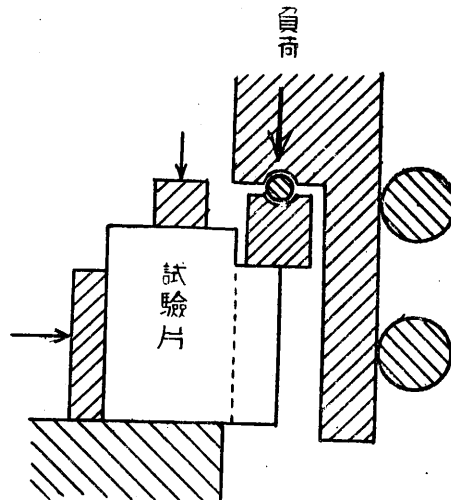


圖 5 試片の取付け方

スラー型 30 ton 試験機で負荷した。負荷速度は 0.12 cm/min である。剪斷強さは破斷荷重 W より

$$S = \frac{W}{A} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad A \text{ は剪斷面積}$$

として決定する。猶、比較のため、コメツガ及びスギ材についても同様な試験を行つた。

試 験 結 果

1. 節間部の比重と繊維率

以上の様にして求めた各ブロックの比重及び繊維率は表 3 の通りである。一例として第 3 節間での結果について説明すると、試片番號 3~1, 3~2 ……はそれぞれ第 3 節間のプロ

表 3 節間部の比重と繊維率

試 片	気乾比重	繊維率	厚 み	α
		%	mm	mm
3~1	1.01	50	0.95	0.45
2	0.89	42	1.1	1.5
3	0.73	29	1.9	3.0
4	0.59	17	2.2	5.05
5	0.53	12	3.0	7.65
6	0.49	7	2.95	10.6
7	0.49	7	2.85	13.5
内 壁	1.00	0	—	—
全肉厚	0.65	17.5	16	—
5~1	1.12		1.05	0.5
2	0.85		1.65	1.85
3	0.68		2.25	3.8
4	0.57		2.8	6.3
5	0.52		2.2	8.8
6	0.51		2.8	11.3
全肉厚	0.655		13.5	—
9~1	1.20	63	0.9	0.45
2	1.03	48	0.65	1.2
3	0.88	42	0.85	1.95
4	0.77	31	1.35	3.1
5	0.64	21	2.05	4.75
6	0.54	11	3.8	7.7
7	0.54	9.5	2.9	11.05
全肉厚	0.69	22	13	—
13~1	1.13		1.3	0.65
2	0.95		1.3	1.95
3	0.80		2.2	3.7
4	0.70		2.8	6.2
5	0.67		2.7	8.95
内 壁	1.05		—	—
全肉厚	0.81		11	—

表 3 節間部の比重と繊維率(續)

試 片	気乾比重	繊維率	厚 み	α
		%	mm	mm
17~1	1.18		0.9	0.45
2	1.04		1.2	1.5
3	0.88		0.85	2.5
4	0.78		1.35	3.6
5	0.71		2.35	5.5
6	0.67		2.25	7.75
全肉厚	0.82		10	—
21~1	1.20	57	0.9	0.45
2	1.03	43	0.7	1.25
3	0.91	32	1.2	2.2
4	0.78	21	1.4	3.5
5	0.725	15.5	2.55	5.45
6	0.68	11	2.05	7.75
全肉厚	0.82	24	9.5	—
27~1	1.21		1.0	0.5
2	1.02		1.8	1.9
3	0.88		1.05	3.3
4	0.80		1.25	4.45
5	0.75		1.55	5.9
6	0.72		2.2	7.75
全肉厚	0.87		9.5	—
33~	1.19	57	1.05	0.55
2	1.01	37	0.9	1.5
3	0.86	24	1.4	2.65
4	0.79	16	0.95	3.85
5	0.76	14	1.8	5.25
内 壁	1.05	0	—	—
全肉厚	0.91	27.5	7	—
41~2	1.15		1.35	0.7
2	0.87		2.15	2.4
3	0.76		1.35	4.2
全肉厚	0.91		6	—
47~1	1.14		1.3	0.65
2	0.94		1.45	2.05
3	0.80		1.2	3.4
全肉厚	0.97		5	—

ツク中、外皮側から1番目, 2番目……の板目層を意味する。厚さとして表にあげてある数値は, 各容積を長さで除した値で各試片の平均厚さを示すものであり, 是で外皮から

アラビア文字は節間番號

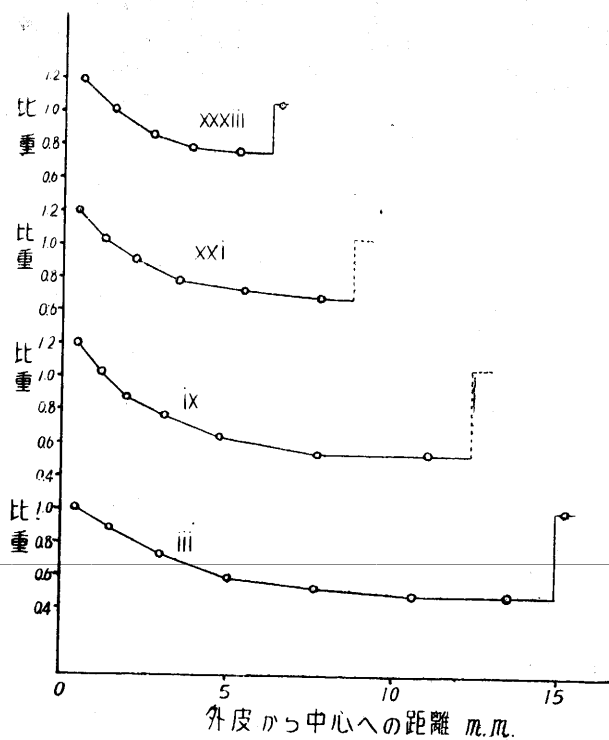


圖 6 比重の竹程半径方向變化

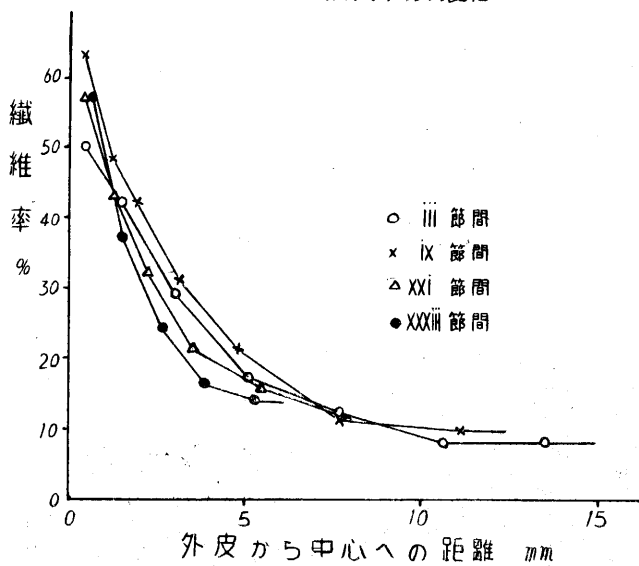


圖 7 纖維率の竹程半径方向變化

各層中央までの距離 x を算出する。各層の厚さを d_1, d_2, \dots, d_n とすれば外皮から第 n 層中央迄の距離 x_n は、 $\frac{1}{2} d_n + \sum_{i=1}^{n-1} d_i$ となる。今各層に就てこの x と氣乾比重又は纖維率を對應させれば、圖6或ひは圖7の様な曲線を得る。此の曲線は比重や纖維率が半径方向でどう變移するかを示すものであるが、是によつて明かな様に竹材の比重（纖維率）は外皮側

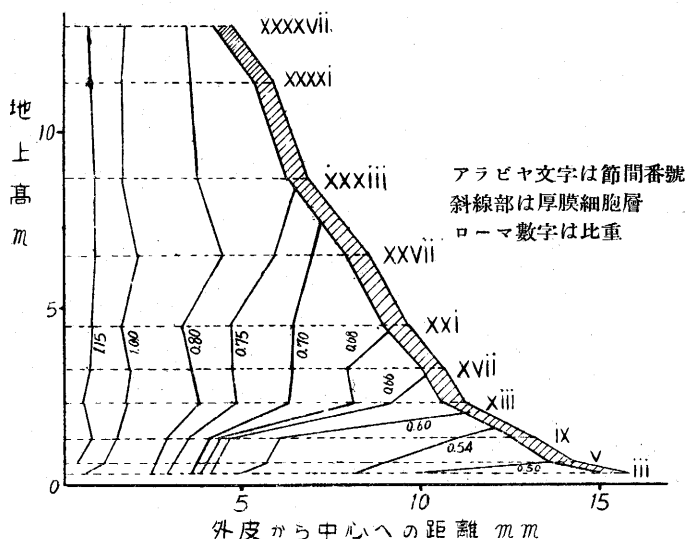


圖8 節間部比重の径内分布

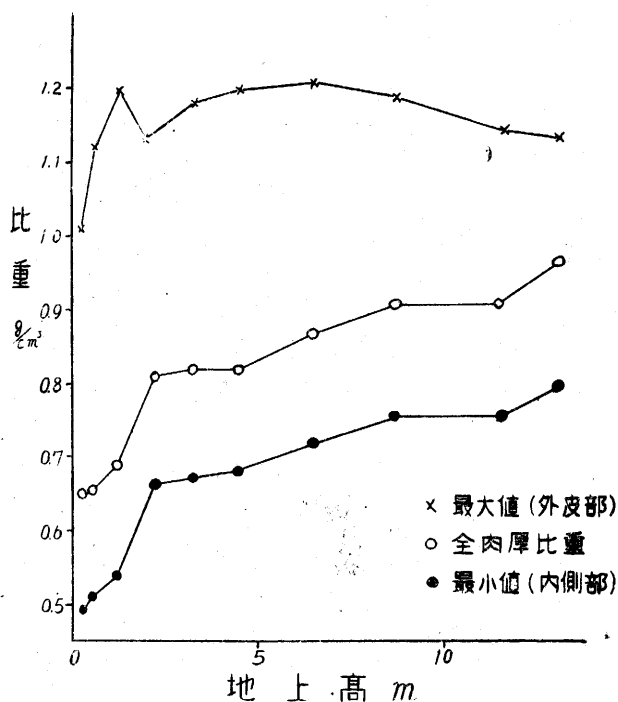


圖9 節間部比重の地上高による變化

と内側とで著しい開きがある。特に下稈部では著しく、例へば第9節間では、外皮附近の比重 1.20 (繊維率 63%) に對して内側 0.54 (繊維率 9.5%) と云つた具合である。但し、内側には肉眼でも明かに見分けられる重硬な短小厚膜細胞層があり、別の測定によればその比重は 1.0~1.05 を示してゐる。

圖6の各曲線を綜合し比重の半径方向と高さ方向における分布を描くと圖8の様になる。即ち外皮附近の比重は地上高によつて大差ないが内側の軽い部分は上にゆく程せばめられ、全肉厚比重としては上稈部の方が高くなつてゐる(圖9)。地上高による竹材比重の變化については既に小出(マダケ及ハチク)⁽³⁾、平田(マダケ)⁽⁴⁾、加納(タイワンマダケ)⁽⁵⁾の諸氏が報告されてゐるが、後二者の結論は私の場合と一致してゐる。

2. 節 附 近 の 比 重 分 布

第14節から得た a, b, c, d, e のブロックについて半径方向比重分布を求めると表4、及び圖10、圖11の様になる。又、全肉厚比重の繊維方向變化は圖12の様になる。即ち節の比重は節間部より遙かに高く、特に内壁側でその差が著しい。猶、第10節と第26節で調べた全肉厚比重(圖2におけるcの位置の比重)は表4の様に 0.97 及び 0.96 で、第

表 4 節部の比重

試	片	氣乾比重	厚 み	π
第 14 節	a~1	1.13	mm 1.8	mm 0.9
	2	0.86	2.0	2.8
	3	0.72	3.0	5.3
	4	0.68	3.0	8.3
	全肉厚	0.82	—	—
	b~1	1.20	1.6	0.8
	2	1.01	2.0	2.6
	3	0.87	1.9	5.0
	4	0.76	3.0	7.0
	5	0.74	2.9	10.0
	全肉厚	0.89	—	—
	c~1	1.15	2.0	1.0
	2	1.12	2.5	3.2
	3	1.00	2.4	5.7
	4	0.88	2.9	8.4
	5	0.77	5.0	12.3
	全肉厚	0.94	—	—

表 4 節部の比重(續)

試	片	氣乾比重	厚 み	π
第 14 節	d~1	1.18	mm 2.4	mm 1.2
	2	0.93	3.0	3.9
	3	0.78	3.7	7.2
	4	0.76	4.2	11.2
	全肉厚	0.88	—	—
	e~1	1.14	1.9	1.4
	2	0.87	2.4	3.1
	3	0.70	3.6	6.1
	4	0.675	3.8	9.3
	全肉厚	0.81	—	—
第 10 節	b全肉厚	0.89	—	—
	c "	0.97	—	—
	d "	0.835	—	—
第 26 節	b全肉厚	0.94	—	—
	c "	0.96	—	—
	d "	0.865	—	—

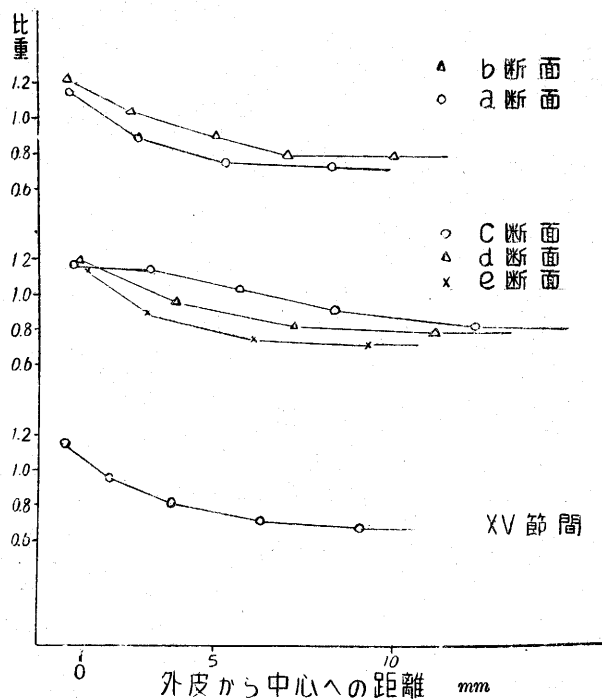


圖 10 節部比重の竹程半径方向變化

數字は比重

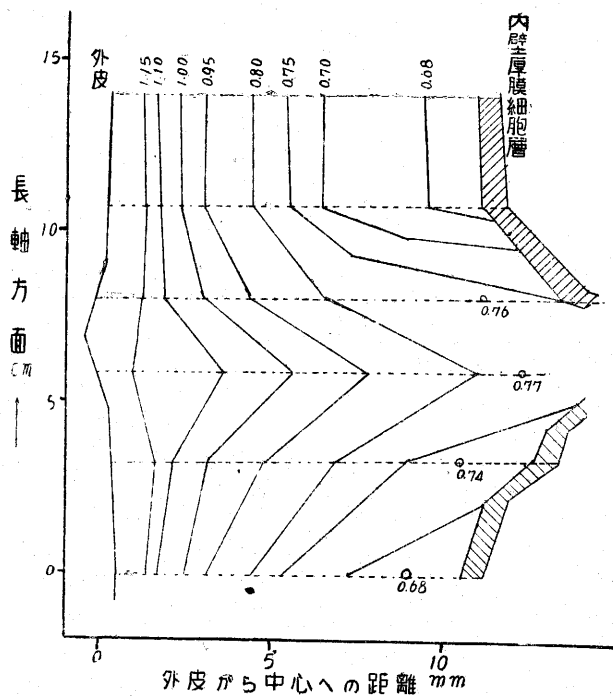


圖 11 節部の比重分布

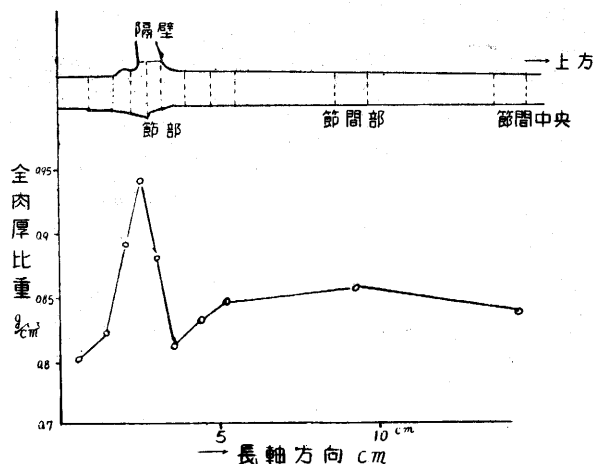


図 12 全肉厚比重の長軸方向変化

14 節の場合 (0.94) と大差なく、地上高による相違はあまりないと考へられる。

3. 曲げ比例限度

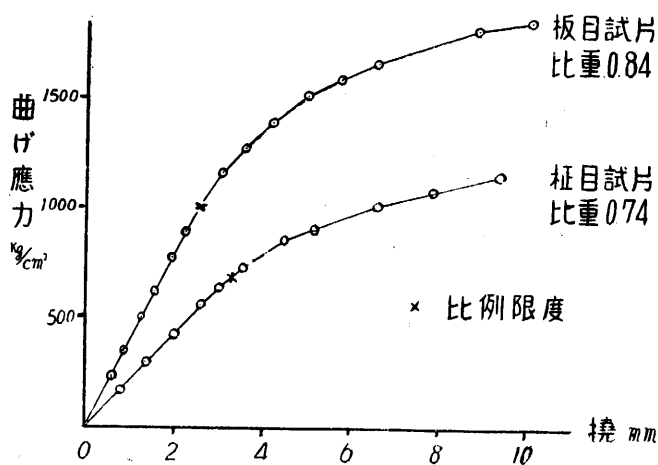


図 13 曲げ応力～撓曲線

表 5 曲げ比例限度と曲げ強さ

試 片		気 乾 比 重	ヤ ン グ 率 10 ⁴ kg/cm ²	5 % 比例限度 kg/cm ²	曲 げ 強 さ kg/cm ²	比例限度 曲げ強さ
柱 目	No. 1	0.70	10.5	615	1130	0.54
	2	0.74	10.5	680	1220	0.56
	3	0.74	11.5	660	1290	0.56
	4	0.72	11.0	650	1180	0.55
板 目	1	0.81	15.0	860	1760	0.49
	2	0.84	15.0	1000	1870	0.53
	3	0.81	15.0	1020	1790	0.57

圖 13 の様に、曲げ應力と撓の関係は木材の場合と別段變りがない。數ヶの節間部試片で調べた比例限度、ヤング率、強さの各値は表 5 の通りで、比例限度應力と強さとの比率は皆同じ位になつてゐる。即ち、この實驗で求めた 5 % 比例限度應力* は曲げ強さの約 0.55 倍と見做すことが出来る。

表 6 曲 げ 試 験 結 果

節間番號		x	氣 乾 比 重	ヤ ン グ 率	曲 げ 強 さ	試 片 數
		mm		10 ⁴ kg/cm ²	kg/cm ²	
3	板 目	1.4	1.00	16.0	2500	2
		2.9	0.76	13.0	2050	2
		3.6	0.70	11.6	1600	1
		8.0	0.52	5.2	725	2
		10.0	0.51	4.0	575	2
		14.0	0.50	3.8	570	4
	柁 目		(0.65)	8.4	1220	5
5	板 目	1.4	1.02	17.5	2780	3
		2.9	0.78	15.2	2050	2
		4.4	0.70	13.0	1700	2
		13.4	0.50	4.5	770	3
	柁 目		(0.66)	10.0	1320	4
9	板 目	1.4	1.08	21.3	2925	2
		2.9	0.77	17.1	2175	2
		4.4	0.79	14.8	2025	2
		11.2	0.56	5.4	800	2
	柁 目		(0.69)	11.5	1675	4
13	板 目	1.4	1.02	20.4	2890	4
		2.5	0.84	17.7	2400	2
		3.5	0.82	14.8	2150	2
		9.5	0.68	6.5	1050	2
	柁 目		(0.81)	12.1	1775	8

* 應力と撓みの關係圖で直線部をそのまま延長し、その直線が示す撓みと實際の曲線による撓みとの差の前者となす比が 0.05 になる時の應力として定義する。

表 6 曲 げ 試 験 結 果 (續)

節間番號		x	氣 乾 比 重	ヤ ン グ 率	曲 げ 強 さ	試 片 數
17	板 目	1.4	1.05	20.5	2900	2
		2.9	0.85	15.8	2275	2
		8.5	0.63	7.4	1150	2
	柁 目		(0.82)	12.5	1795	8
21	板 目	1.3	1.03	23.0	3450	1
		2.1	0.92	20.5	2925	2
		2.9	0.90	18.5	2625	2
		7.5	0.72	9.1	1425	2
	柁 目		(0.82)	13.4	1710	8
27	板 目	1.5	1.04	22.0	3230	3
		2.0	0.96	21.3	3000	2
		2.4	0.94	19.5	2750	2
		6.5	0.75	9.5	1425	2
	柁 目		(0.87)	14.6	1970	5
33	板 目	1.5	1.02	20.3	2950	2
		2.0	0.96	20.0	2900	1
		2.4	0.94	18.5	2550	2
		4.9	0.78	10.7	1575	2
	柁 目		(0.91)	16.6	2130	8

4. 曲 げ ヤ ン グ 率

表 6 は曲げヤング率の半径方向變化を示し、表中 x は前にものべた様に外皮から各試片中央までの距離で圖 14 の横軸に相當する。この圖は 3, 5, 9 節間の曲げヤング率分布を表はすが、他の節間も同じ様な傾向にあることは云ふ迄もない。是を見ると、いづれの節間も外皮部のヤング率が一番高く、内側にゆく程低くなる。特に F 程部では内部のヤング率が $4 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 程度で外皮部 $1/4$ にも當らない。是は主として纖維が外側に偏在するためであらう。各節間の外皮部と内部のヤング率をとり出しその地上高による變化を描くと、圖 15 の様に外皮部は概ね $20 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ あたりを上下して大差ないが、内部は上にゆくにつれ

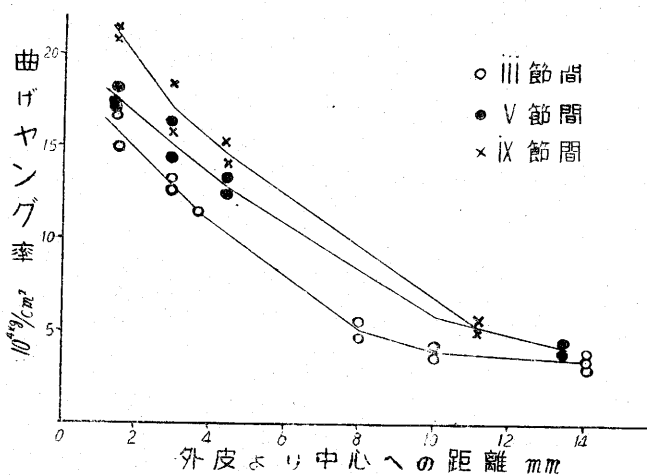


図 14 曲げヤング率の竹程半径方向変化

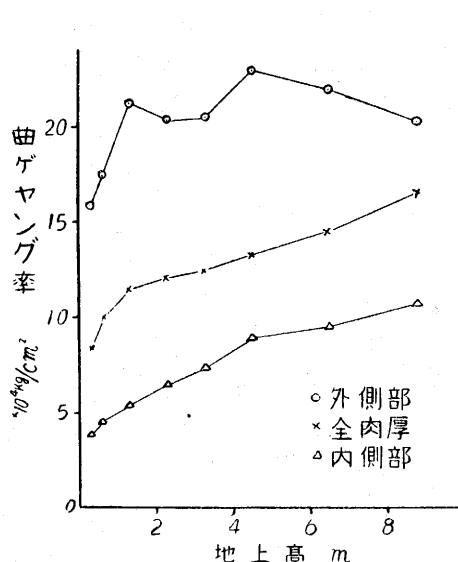


図 15 曲げヤング率の地上高による変化

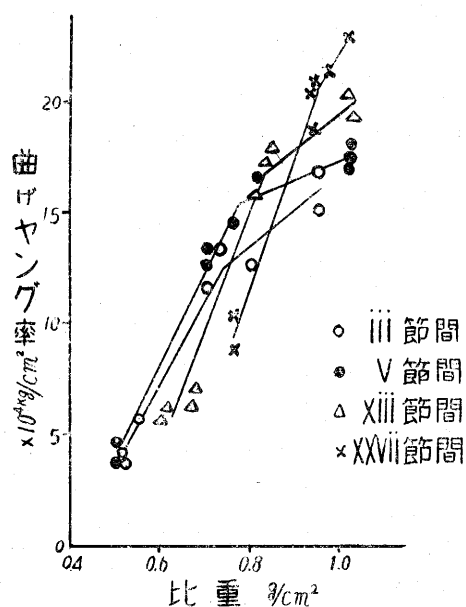


図 16 曲げヤング率と比重との関係

て値を増し中稈部（第 33 節間）では $10 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 以上になつてゐる。又、柁目試片のヤング率は大體外内部の平均的な値であるが、是も図 15 の通り地上高と共に増加する。結局、ヤング率の分布傾向は比重の場合（図 9）とよく似て居り兩者の密接な関係が豫想される。しかし實際は図 16 の通りで、竹の比重はヤング率に對して思つた程有力な尺度になつてゐない。又、竹の様に短細胞の多いものでは比重より纖維率の方が強さに効いて來るのではないかと考へ、それも調べて見たが図 17 の如くやはりはつきりした傾向は認められない。

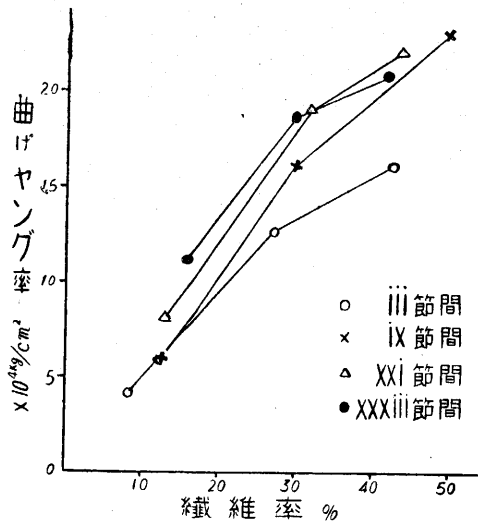


図 17 曲げヤング率と繊維率との関係

但し此實驗で求めた繊維率は細胞腔も含めた巨視的繊維率であるから繊維實質の含有率を測れば又別な結論に到達するかも知れない。

5. 曲げ強さ

全試片について曲げ強さとヤング率の関係を調べて見ると、図 18 の様に殆ど比例的で、

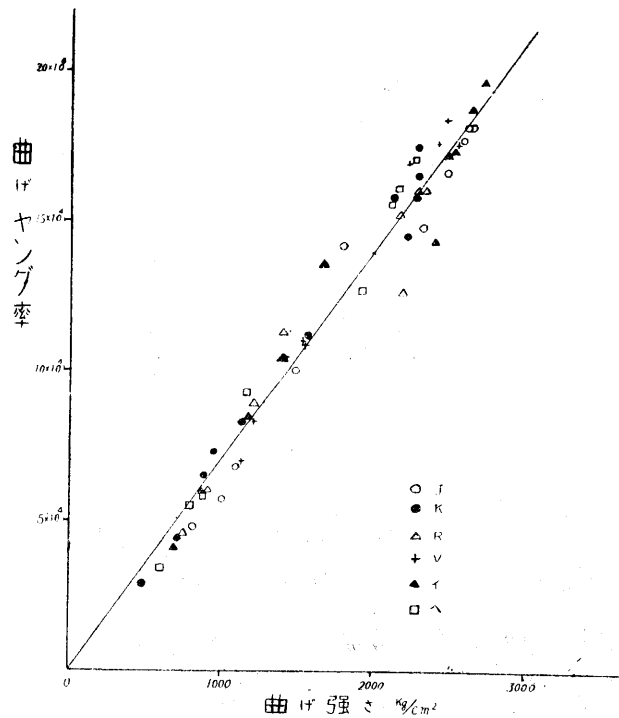


図 18 曲げヤング率と曲げ強さとの関係

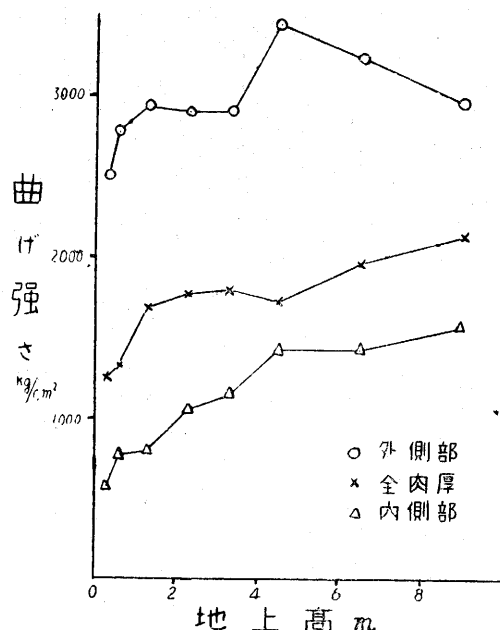


図 19 曲げ強さの地上高による変化

実験式としては $\sigma = 144 E \times 10^{-4} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

がよくあてはまる。即ち、曲げ強さ分布は、定性的にヤング率の場合と異なる所がない。表 6

表 7 節と節間部の曲げ強さ比較

部 分		板 目		柱 目
		外皮側	内 側	全肉厚
地上高 1.7m	節 部	kg/cm ² 2250	kg/cm ² 1120	kg/cm ² 1580
	節 間	3060	1200	1630
地上高 6m	節 部	2100	1580	2230
	節 間	2900	1800	2090

から外部、内部、並びに平均（柱目）各強さの地上高による変化を描くと、図 19 の様になる。又供試竹の二ヶ所から求めた節の曲げ強さは表 7 の通りで、節間部より幾分低い値を示してゐる。是は節の所で繊維が曲走するためと思はれる。しかし、別な実験によれば他の竹で、逆に節の方が強い場合も現はれてゐるから、モウソウチク全般についてはまだ不詳と云ふほかはない。従来、節の強さを取扱つたものとしては

十代田、飯塚兩氏の曲げに關する實驗⁽⁶⁾、巽氏、東京農科大學⁽⁷⁾、茂庭氏⁽⁸⁾の引張に關する各研究⁽⁹⁾などがあり、多くは節間部の優位を認めてゐるが、茂庭氏は逆の結果を示され、一概には斷定出来ないものと論じてゐる。節と節間部との優劣がどの様な因子に左右されるかは、今後の實驗に待たねばならぬが、産地や生育條件ともいづらか關係があるのではないと思はれる。

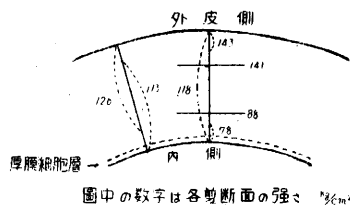
表 8 剪断強さの水平分布 (第3節間)

剪 断 面 の 種 類		節 間 部			節 部		
		剪断強さ	標準偏差*	試 片 数	剪断強さ	標準偏差	試 片 数
板 目	I. 外側から4.5mmの面	kg/cm ² 141	kg/cm ² 3.7	6	kg/cm ² 180	kg/cm ² 5.0	3
	II. 内側から4.5mmの面	88	4.5	5	125	7.0	2
柁 目	III. 全 肉 厚	118	7.6	5	132	5.8	3
	IV. 内側 2.5 mm 削除	126	6.1	7	157	3.7	2
	V. 外側 2.5 mm 削除	113	5.7	5	133	3.5	2
	VI. 外側 2.5 mm 及厚 膜細胞層削除	107	2.9	3	—	—	—
	外側 2.5 mm の部分	(143)	—	—	—	—	—
	内側 2.5 mm の部分	(78)	—	—	—	—	—

* 標準偏差は $\sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{n-1}}$ 但し, ϵ は残差, n は試片数

6. 剪 断 強 さ

表 8 は第 3 節間に於ける剪断強さの測定結果で、是を分り易く示せば圖 20 の様になる。



図中の数字は各剪断面の強さ (kg/cm²)

図 20 剪断強さの水平分布

即ち、板目でも柁目でもやはり外皮側の方が強い。

又、節と節間部の強度差も明瞭で、特に板目の場合に大きな開きを見せてゐる。是は節の繊維の曲りが半径面内で起ることや横隔壁に向つて維管束の分岐

してゐる事のためであらう。次に最内側の厚膜細胞

層は、前に述べた様に、基本組織と全く性状を異にするが、剪断力に對しては大きな抵抗を

表 9 剪断強さの地上高による變化, (附) 木材の剪断強さ

樹 種	節間番號	地 上 高	氣乾比重	剪断強さ	標準偏差	試 片 数	含 水 率
モ ウ ソ ウ チ ク	3	m 0.3	0.63	kg/cm ² 118	kg/cm ² 7.6	5	% 16
	9	1.3	0.77	165	13.9	5	16
	21	4.5	0.83	178	9.7	5	16
	33	8.7	0.92	210	14.5	5	16
コ メ ツ ガ	(板目)	—	0.51	82	4.9	5	16
	(柁目)	—	0.51	92	2.0	5	16
ス ギ	(柁目)	—	0.42	52	2.6	5	21

示し、柁目剪斷の場合常に破壊のしんがりを勤めてゐる。上表で V と VI を比べても僅かな厚さに拘はらずその影響は明かである。この層の破斷面は他部の様に平面的にならず稻妻

形を呈する事が多い。

次に、柁目剪斷強さ（表 8 の III 型式）の地上高による變化は表 9 の通りで、上にゆく程高い値を示し、第 33 節間では、第 3 節間の約 2 倍に達してゐる（圖 21）。

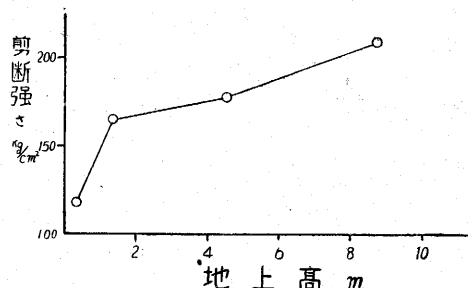


圖 21 剪斷強さの地上高による變化

猶、同じ條件で求めたコメツガ及びスギ材の剪斷強さは、表 9 の様に從來の試験結果と

大差ないから、此處で求めたモウソウチクの値はそのまま從來の木材に於ける値と比較出来る譯である。竹の剪斷強さについては今迄にも幾らか研究はあるが、試片採材の箇所や、試験法が研究者によりまちまちであつたり、含水率の記載を缺いてゐる事が多く、この實驗結果と直接比較できるものは少い。しかし飯塚氏等が竹筒のまま木材剪斷試験機にとりつけて求めたマダケの剪斷強さ⁽⁶⁾、及び久田、藤原兩氏が刺竹のボルト保持力として測定されたモウソウチク、マダケの剪斷強さ⁽¹¹⁾は、別な方法による試験結果としては一應參考に値するであらう。是等の値はいづれも全肉厚柁目面（或ひは追柁面）によるものであるから、著者の柁目試片による結果と一括して表 10 に掲げる。上表中剪斷面の長さと言ふのは剪斷面に於ける

表 10 既往の剪斷試験結果との比較（柁目剪斷）

報告者	樹種	部分	剪斷面の長さ	剪斷強さ	試片數	備考
久田、藤原	マダケ	節間部	cm 5	kg/cm ² 86	4	稈厚 8~10mm
	モウソウチク	"	15	60	3	
	"	"	20	46	2	
十代田、飯塚	マダケ	節間部	2	116	15	稈徑 4 cm 比重 0.8
	"	節部	3	132	15	
本實驗	モウソウチク	節間部	2	118	5	地上高 0.3 m の部分
	"	節部	2	132	3	

作用力方向の長さで、一般に此の長さが大きい程、剪斷強さは小さく測定されるものである。飯塚氏及び著者の値が久田氏のものに比べて高いのは主として此理由によるのではないかと考へられる。其の他にも若干、竹の剪斷強さを調べた文献があるが、概して 40~60 kg/cm²

の結果を示し、著者の値よりづつと低い事になつてゐる。しかしそれらは試験法が詳かでないため、直接比べる譯に行かない。

摘 要

モウソウチク竹稈の半径方向及び高さ方向の材質變化を、比重、纖維率、曲げ強さ、ヤング率、剪斷強さについて調べ、次の結果を得た。

- 1) 緻密な維管束鞘は外皮側に偏在し、内部は柔細胞の基本組織が大部分を占めてゐる。そして、上部にゆく程、基本組織量が減少し、維管束の相對量は増加する。斯様な組織上の變化に相應し、比重、曲げ強さ、ヤング率、剪斷強さはいづれも内部から外皮部に向ひ或ひは根元から上方に向つてそれぞれ單調に増加する。表 11 の値は第 3 節間と第 33 節間に於ける諸性質を示すが、同時に測定範囲内での最小値最大値を與へてゐる。(圖 9, 15, 19, 21 參照)

表 11 下稈部と中稈部の材質比較

部分	性質	氣 乾 比 重	纖 維 率	曲げヤング率	曲 げ 強 さ	剪 斷 強 さ
第 3 節間 (地上高 0.3 m)	外 部	1.15	% 50	10^4kg/cm^2 16	kg/cm^2 2500	kg/cm^2 142
	内 部	0.49	7	4	570	88
	全 常 厚	0.65	17.5	8.5	1220	118
第 3 節間 (地上高 8.7 m)	外 部	1.19	57	20	2950	—
	内 部	0.76	14	10.5	1575	—
	全 肉 厚	0.91	27.5	16.5	2130	210

- 2) 曲げ強さ σ とヤング率 E の間には

$$\sigma = 144 E \times 10^{-4} \text{kg/cm}^2$$

の直線關係が認められた。又、曲げ比例限度は曲げ強さの約半分と見做す事が出来る。

- 3) 一般に木材では比重と機械的強さの相關が密接であるが、モウソウチクの場合は必しもそうでない。(圖 16) 又、此實驗での纖維率と曲げヤング率(強さ)との間にもはつきりした傾向は見られなかつた。

- 4) 節の比重は一般に節間部より高い。しかしその地上高による増加は著しくない。

- 5) 節の曲げ強さは節間部より幾分劣る。但し、此結論が全ての竹にあてはまるかどうかは未だ疑問である。

6) 節の剪断強さは少くとも下稈部では節間より大きく、板目剪断で 1.3~1.4 倍、柃目剪断で 1.1~1.25 倍以上の値を示してゐる。

以上の様に竹の材質は節間部と節、外皮側と内側、下部と上部等で著しく相違し、採材と利用に當つては特に慎重な配慮を要するものと考へられる。

文 献

- (1) 宇野昌一; 竹の研究(獨文) 宇都宮高等農林學校學術報告 No.2 pp. 25~42 (1932)
- (2) 近野英吉; 竹材の形狀及び材積 日本林學會誌 Vol. 22 No.6 pp. 29~43 (1940)
- (3) 小出房吉; 竹材比重の研究 札幌農林學會報 No. 4 (1905)
- (4) 平田滿穂; 苦竹の樹形, 比重, 灰分量及び化學成分について 日本林學會誌 Vol. 9 No. 5 pp. 5~20 (1928)
- (5) 加納瓦全; タイワンマダケの竹稈析解について 臺灣山林會報 No. 40 pp. 9~19 (1929)
- (6) 十代田三郎, 加藤清作, 飯塚五郎藏; 竹を用ひる木構造の研究 第 1 報 竹材強度試験(プリント) (1945)
- (7) 巽純一; 竹筋及び竹筋コンクリートの強度に就て 建築雜誌 Vol 54 No. 658 pp. 41~44 (1940)
- (8) 東京帝國大學農科大學演習林; 臺灣に於ける内地杉及び竹の研究 (1916)
- (9) 茂庭忠次郎; 竹の研究 (1940) 土木技術社版, 東京
- (10) H. Shirasawa & S. Mori; International critical tables of numerical data physics, chemistry and technology. Vol. II pp. 36~38. (1927)
- (11) 久田俊彦, 藤原梅吉; 竹材標準試験法(強度試験)に關する基礎實驗(プリント) (1946)
(Jan., 1948 脱稿)

SUMMARY

An attempt was made to inquire the distribution of the specific gravity, fiber content and several values in the bamboo culm (*Phyllostachys pubescens* MAGEL et H. DE LEHAIE) grown at Idzu district. Results obtained by this experiment are as follows;

1. Compact fiber tissues are contained closely in the outer part of culm, while inner part is mostly occupied by parenchyma-cells. With such anatomical features, each of specific gravity, bending strength, Young's modulus and shear

- strength decrease monotonously from circumference to inside wall of culm.
- The difference of these properties between the inner and outer parts, however, become smaller with the height from the ground, in other words, with the decrease of thickness of culm wall. That is, the specific gravity and mechanical strengths of the inner part increase with the height from the ground whereas those of the outer part change slightly.
 - Table 1 shows the test values of two parts of culm (the upper and the lower) which have respectively the minimum and the maximum strength values.

Table 1 The properties of the lower and upper parts of culm. (Results of tests on specimens of internode in air-dry condition.)

Part	Properties	Specific gravity (g/cm ³)	Fiber content (%)	Bending (kg/cm ²)		Shear strength (kg/cm ²)
				Young's modulus	Strength	
0.3m height from the ground	Outer	1.15	50	16×10^4	2500	142
	Inner	0.49	7	4×10^4	570	88
	All	0.65	17.5	8.5×10^4	1220	118
8.7m height from the ground	Outer	1.19	57	20×10^4	2950	...
	Inner	0.76	14	10.5×10^4	1575	...
	All	0.91	27.5	16.5×10^4	2130	210

- The relation between the bending strength σ and the Young's modulus E can be expressed experimentally as $\sigma = 144 E \times 10^{-4}$ (kg/cm²) or $E = 69 \sigma$ (kg/cm²).
The proportional limit in bending test may be considered about one half of the bending strength.
- The correlations between the specific gravity and bending strength are not always close as well as the case of fiber content v.s. bending strength relation.
- The specific gravity of the node is generally higher than that of the internode and its increase with height from the ground is slack compared with the internode.
- The bending strength at the node is somewhat lower than the internode's in the case of this experiment.

As above mentioned, the difference of physical properties among the various parts of culm are so remarkable that bamboo must be worked and utilized under consideration of these tendencies.