

竹材の性質に関する研究(第15報) : 強度的性質, 比重及び壁厚相互間の関係

太田, 基

<https://doi.org/10.15017/14976>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 29, pp.1-34, 1957-10-20. 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15報)

強度的性質, 比重及び壁厚相互間の関係

太 田 基

Motoi ŌTA: Studies on the Properties of Bamboo Stem (Part 15)
On the Relations among Strength Properties, Specific Gravity,
and Wall Thickness

I. 緒 言

木材の強度に対して影響を与えるところの缺点以外の重要な因子としては、含水率と比重とが挙げられる。強度と比重との関係は含水率と同様に、既に多くの研究者に依つて追求されて居り、その結果の傾向を大略次の様に区分する事が出来る。

即ち、

- (a) 直線式で示すもの：— ヨーロッパ系の多くの研究者が比較的少数の資料を取扱つたもので、関係式として、

$$\sigma = a + bS$$

或いは、

$$\sigma = bS$$

を採用している。F. Kollmann, R. Baumann, A. Ylinen, J. Bauschinger, G. Janka, M. Monin, R. Schlyter, O. Hauber, G. Winberg, W. Ehrmann, R. Seeger 等が是であるが、N. Ghelmezin が衝撃曲げで、又 R. Baumann が曲げ強度で曲線関係を示している。

- (b) 曲線式で示すもの：— アメリカ系の研究者が莫大な資料から求めたもので、拋物線式を採用し強度的性質毎に夫々常数($\sigma = R \cdot S^m$)を求めている。又衝撃曲げについては、大多数の研究者が拋物線式を求めている。

であつて、強度—比重関係は広い範囲の大量の実験結果から得られる拋物線式で表はす事が望ましいのであるが、実験結果の比較的少ない場合には、此の関係は含水率或いは温度等に依つても影響されるので、直線式を採用して充分目的を達し得られると考えられる。

竹材に関する強度—比重関係については宇野昌一¹⁾がマダケの無節竹筒の圧縮強度と比重との間に相関係数として $+0.805 \pm 0.135$ を、又有節竹筒では $+0.375 \pm 0.331$ を、又 G. E. Heck²⁾ は拋物線的關係を得て居るのが僅かな例である。

今迄に発表した報告によれば竹材の(強度的)性質は大体に於いて、木材の(強度的)性質の示す傾向によく類似して居る事から考えて、竹材の強度的性質もその比重との間には木材と同様に直線的、或いは拋物線的な関係があるものと考えられる。

此の関係を求めるために試験片の比重を直接測定出来る圧縮強度と剪断強度、並びに隣接部分の比重を測定する引張強度試験をマダケ、モウソウチク及びハチクについて行つた。

炭素鋼或いは鋳鋼等の強度的性質を問題とする場合には引張強度を基準として、それに強度的性質によつて一定の数値を乗じて他の剪断強度、硬さ、衝撃値、曲げ強度、圧縮強

度或いは疲れ限度等を求めている。是に対して木材、竹材或いは石材等は夫々強度的性質について必要な強度を別個に求めなければならない状態にある。鋼鉄類は人為的に任意な性質を持ち、而も均一なものが製造出来るのであるが、木材や石材は全然天然の産物であるから不均一なもので、丁度鋼鉄類の場合の原鉄に相当するものである。

従つて、実験に際して各種の強度的性質に対する試験片を同一の性質のものとする事は不可能である。此の事が木材では各種の強度的性質を夫々別個に求める必要の生ずる原因であると考えられる。

然し乍ら、木材或いは竹材についても出来る丈構造的に均一性の認められる部分からの試験片を使用して強度的性質を求めるならば、鋼鉄類と同様な関係が求められるのではないかと予想される。

現実に材料として使用される場合、木材に対する安全率は7~20であつて、煉瓦、石材等の20~30に次いで大きく、錬鉄、鋼鉄の3~12の約2倍である事を考えるならば、若しも幾分か精密度が低下しても、木材で或る種類の強度に係数を乗ずる事によつて他の強度が推定出来るならば実際面では時間並びに経費等の関係から非常に便利となる。

既に、木材については F. Kollmann²⁾ は多くの樹種について圧縮強度に対する引張強度の比は0.25~0.75で平均0.50、即ち引張強度は圧縮強度の2倍である事を図示して居り、又渡辺治人³⁾ は樺太産のトドマツ、エゾマツ及びグイマツを材料とした強度試験の結果として平均比重の場合の6種の強度的性質に対する圧縮強度の比を求めているが、その中で引張強度に対する比はトドマツ 233%、エゾマツ 330%、及びグイマツ 238%、又剪断強度に対する比はトドマツ 15.9%、エゾマツ 17.5%及びグイマツ 15.9%、即ち引張強度は圧縮強度の2.4~3.3倍、剪断強度は圧縮強度の0.16~0.18倍であるとし、沢田稔⁴⁾ はクロエゾマツでは引張強度は圧縮強度の約3.8倍であると報告している。更に E. W. Kuenzi⁵⁾ は Aluminium Honeycomb Core について剪断強度は圧縮強度の0.56倍である結果を発表している。以上の結果は渡辺治人³⁾ を除いて、総べて強度相互間の関係は原点を通る直線で表はし得ると考えたものである。

ところが、N. H. Kloot⁶⁾ は Kauri 材 (*Agathis palmerstoni* F.v. M.) について圧縮強度と硬度・曲げ強度及び曲げ弾性係数又引張強度と曲げ強度との関係を直線式で表はし、更に同氏⁷⁾ は Queensland maple について圧縮強度と曲げ強度及び弾性係数又引張強度と曲げ強度との間に直線的な関係の存在する事を発表して、原点を通らない直線式を採用している。

木材について一部発表されている様な強度的性質間の関係が、竹材ではより一層明瞭に認められるのではなからうかと考えて、強度—比重関係から圧縮強度、引張強度及び剪断強度の相互間の関係を誘導し、別に同一竹筒の各強度間の関係を直接求めて両者を比較した。

竹材を木材の年輪1個と考えれば、竹稈の壁厚は木材の年輪幅に相当する訳である。

木材の性質と年輪幅或いは年輪密度(生長率)との関係については北村義重⁸⁾ が樺太産トドマツ材の比重及び縦圧縮強度は年輪幅の増加に伴つて増大して一旦最大値に達した後減少し、夫々最大値を示す年輪幅は前者で0.178 cm、又後者では0.182 cmである事を発表し、Timber Trade Journal⁹⁾ によれば木材の生長率はその靱性に対して直接的な影響を与えないとし、又矢沢亀吉¹⁰⁾ は樺太産トドマツについての実験結果から年輪密度と収縮率との関係は不規則であつて相関々係の存在を認め得ず、M. M. Barnard 及び

I. Langlands¹¹⁾ も同様に Alpine Ash (*Eucalyptus gigantea* Hook) を材料とした実験結果から比重及び曲げ破壊強度に対しては年輪密度との間に有意な相関係数を得て居ないし、更に西力造及び木村大造¹²⁾ は熊本県産のモミ材及びツガ材について機械的性質を求めた結果からは年輪幅と強度との間に数的関係を認めなかつたと報告して居る。渡辺治人及び和田吉弘¹³⁾ はキリシマアカマツについて容積重及び圧縮強度と年輪幅との間に密接な関係の存在する事から年輪幅は木材の品質指標としての価値がある事を認め、更に渡辺治人及び山井良三郎¹⁴⁾ は宮崎県産モミ材について圧縮強度及び容積重と平均年輪幅との間に全相関比として夫々 0.45 及び 0.43 を得て、前者は平均年輪幅 1.0~1.1 mm で、又後者は 1.2~1.3 mm で最大値を示すと報告して居る。更に E. R. Schafer¹⁵⁾ は Southern pine のパルプ材を使用して 606 個の試験片の実験から比重と年輪密度との間に相関係数 0.556 を得て原点を通らない回帰方程式を提出し、大沢正之及び宮嶋寛¹⁶⁾ は北海道産広葉樹材 8 種の硬度試験を行つて散孔材では年輪密度の変化による硬度の変化は明かではないが、ヤマザクラでは年輪密度 1.0~4.0 の範囲内に於て年輪密度の増加に伴つて硬度は減少して居るようであり、又環孔材のアカダモ及びオヒヨウでは年輪密度の増加に伴つて硬度の減少する事を明かに認めて居る。

Y. Pillow¹⁷⁾ は Red pine では繊維方向収縮率と平均年輪幅との間に有意な相関係数 0.759 を得て平均年輪幅の増加に伴つて繊維方向収縮率の増加する状態を曲線で図示し、又同氏¹⁸⁾ は Loblolly pine について年輪密度と比重との間で根元部分では 0.6180、中間及び樹冠部分では 0.7793 の相関係数を得て居る。

以上の様に年輪幅と強度の性質との間に相関関係の存在を認めた報告と認め得られなかつた報告とがあるが、これは両者間の関係は比重或いは秋材率と強度の性質との間程密接なものではないが存在すると推定されるのである。

又、竹材では竹程の壁厚は第 2 報¹⁹⁾ に記載したように気乾比重と壁厚の逆数及び体積乾縮率の逆数と気乾比重の逆数との間には極めて高度な相関関係の存在が認められて居る。

故に、壁厚と強度との間にも相関関係の存在する事が当然推察出来るからこの関係も同時に検討した。

終りに本研究に際して御指導を給つた渡辺治人教授に心からの謝意を表する次第である。

II. 実験材料及び実験方法

1. 材 料 福岡県粕屋郡篠栗町にある九州大学農学部粕屋演習林荒平団地から採取して、其の程型を第 3 報²⁰⁾ に発表したマダケ (*Phyllostachys reticulata* C. Koch) モウソウチク (*Phyllostachys pubescens* Mazel) 及びハチク (*Phyllostachys nigra* var. *Henonis* Stapf.) の 3 種類中、次表に示す計 22 本の竹程から試験片を製作した。

Table 1. Number of Specimen.

Species	strength	Number of stem.	Number of specimen
MA-DAKE	Compressive strength	3	45
	Tensile strength	3	28
	Shearing strength	5	44
MŌSŌ-CHIKU	Compressive strength	6	109
	Tensile strength	6	59
	Shearing strength	7	104
HA-CHIKU	Compressive strength	7	90
	Tensile strength	7	51
	Shearing strength	6	62

2. 試験片 本実験に使用した試験片には圧縮試験には第4報²¹⁾、剪断試験には第12報²²⁾で夫々決した型を、又引張試験には構造用竹材試験方法²³⁾に規定されている型を採用した。

各竹稈は1節間おきに輪切りにして稈型が測定してあるので、試験片は1節間おきに同一節間から隣接して各試験片を製作した。併し乍ら3種類の試験片を総べての節間部分から製作不可能な場合には2種類とした。

3. 実験方法 夫々の強度試験は気乾状態で常法通りに行つたが、強度は第14報²⁴⁾、又比重は第11報²⁵⁾で求めた換算式によつて含水率15%の状態に換算した。同時に試験片の厚さ、即ち壁厚を1/20mmの精度で求め、第11報²⁵⁾で求めた変形率に依つて含水率15%の状態に換算した。

圧縮試験片での比重及び含水率は試験片全体から、剪断試験片では破壊によつて落ちた部分から、又引張試験片の含水率は破壊した一片から求め、引張試験片の比重は同一節間部の他の強度試験片の教値を代用した。

先ず、強度的性質及び壁厚と比重との関係は各竹稈別に求め、次に各種類毎に更に種類を総合して求めた。但し引張強度の場合には夫々圧縮及び剪断試験片の比重とに區別して別々に求めた。

次に同一節間から製作した試験片から求めた強度的性質及び壁厚相互間の関係を求め、次に強度的性質及び壁厚と比重との関係から各強度的性質及び壁厚の相互関係を求めて前者と比較検討した。

III. 実験結果

1. 壁厚 試験片は1本の竹稈から1節間おきに製作されたものであるからその壁厚には夫々差が存在し均一ではない。測定値を第11報²⁵⁾に示す半径方向変形率と含水率との関係から求めた回帰方程式によつて、含水率15%の状態に換算した結果は第2, 3, 4表に示してある。壁厚の範囲はマダケでは0.166~0.659 cm, モウソウチクは0.210

～1.343 cm, 又ハチクは 0.174～0.661 cm であつてモウソウチクが特に厚く, その他の2種類は類似した数値を示し試験片を製作した範囲内でも第3報²⁰⁾の結果と同様な傾向が認められる。

2. 含水率 実験材料は竹筒にして永年室内に貯蔵したものであるから竹材中の水分は室内の湿度と平衡状態に達して居る筈であつて, 含水率は一定した値を示す事が予想されたが実験結果によれば第2, 3, 4表に示す様に種類別には大差が無いようであるのに対して, 竹稈別及び試験項目別に相異が見られる。即ち, 3試験項目を通じてマダケでは10.2～19.5%, モウソウチクは10.2～20.9%, 又ハチクでは8.0～19.7%でよくその範囲は類似しているのに対して, 試験項目別に比較すれば圧縮試験では8.0～20.9%, 引張試験は13.2～20.9%, 又剪断試験では10.2～15.2%で相当な差が存在するようである。更に同一竹稈内での含水率の変化状態は明瞭ではないが概略的には下部から上部に向つて含水率が減少する傾向が存在するようである。

Table 2. Results of Compression Test (at 15% Moisture Content)

No. of stem	Number of specimen	Wall thickness (cm)	Specific gravity	Strength (kg/cm ²)	Specific strength
M A - D A K E					
1	15	0.166～0.499	0.630～0.866	575.6～951.7	808～1,099
10	12	0.212～0.504	0.715～0.833	469.1～804.5	576～1,036
15	18	0.210～0.659	0.867～1.042	723.2～958.6	763～946
M Ō S Ō - C H I K U					
1	16	0.291～0.807	0.533～0.940	415.6～920.0	761～1,158
6	22	0.268～1.014	0.835～1.055	712.3～1,038.2	778～984
12	20	0.210～0.845	0.751～0.996	648.7～1,035.8	854～1,114
15	27	0.207～1.209	0.797～1.092	677.0～1,025.5	730～924
16	14	0.410～0.961	0.922～1.024	770.6～920.2	808～930
A	10	0.631～1.046	0.866～1.053	791.6～1,047.6	895～995
H A - C H I K U					
5	15	0.187～0.449	0.765～0.916	583.7～904.3	715～1,074
10	11	0.256～0.531	0.871～0.935	714.1～832.6	793～918
11	11	0.182～0.415	0.960～1.073	593.5～868.7	605～881
12	13	0.215～0.425	0.845～0.952	725.1～886.6	818～997
A	11	0.190～0.355	0.852～0.996	590.3～849.4	693～914
B	13	0.202～0.403	0.810～1.081	594.0～887.4	707～870
D	16	0.174～0.473	0.889～0.980	658.5～883.0	704～953

Table 3. Results of Tension Test (at 15% Moisture Content)

No. of stem	Number of specimen	Wall thickness (cm)	Strength (kg/cm ²)
M A - D A K E			
1	10	0.217～0.570	1,798.0～3,064.4
10	6	0.300～0.533	2,076.8～2,960.4
15	12	0.319～0.591	2,984.8～3,612.1

M Ō S Ō - C H I K U

1	10	0.367~0.755	1,522.9~2,445.8
6	11	0.470~0.954	1,765.8~2,926.4
12	8	0.412~0.688	1,544.4~2,936.2
15	12	0.536~1.039	1,810.3~2,898.2
16	11	0.376~0.863	1,936.6~2,910.9
A	7	0.647~0.876	1,986.2~3,134.4

H A - C H I K U

5	9	0.284~0.392	1,867.8~2,591.4
10	7	0.285~0.470	2,097.9~2,667.8
11	8	0.276~0.396	1,996.5~2,304.8
12	8	0.251~0.400	2,026.0~2,771.1
A	6	0.292~0.407	1,831.5~2,715.1
B	6	0.363~0.398	1,859.2~2,169.2
D	7	0.303~0.454	2,191.2~2,701.5

Table 4. Results of Shear Test (at 15 % Moisture Content)

No. of stem	Number of specimen	Wall thickness (cm)	Specific gravity	Strength (kg/cm ²)	Specific strength
M A - D A K E					
1	8	0.216~0.511	0.677~0.812	126.0~180.3	177~231
5	10	0.353~0.451	0.855~0.918	108.7~158.9	128~170
6	9	0.343~0.425	0.824~0.877	113.4~180.8	137~206
10	8	0.321~0.541	0.793~0.839	141.8~201.5	176~240
15	12	0.319~0.591	0.715~0.872	107.8~180.1	134~211
M Ō S Ō - C H I K U					
1	16	0.321~0.875	0.686~0.967	116.0~212.0	153~249
6	14	0.452~0.999	0.841~0.966	121.5~227.6	129~236
8	15	0.395~1.113	0.689~0.972	111.4~165.2	132~186
13	19	0.408~1.343	0.692~1.049	122.5~208.3	153~199
15	18	0.447~1.261	0.815~1.034	147.6~218.7	152~220
16	15	0.426~1.044	0.886~1.203	154.3~217.1	149~230
A	10	0.625~1.041	0.864~1.080	106.9~252.3	116~234
H A - C H I K U					
5	8	0.317~0.500	0.873~0.948	120.3~196.7	131~214
7	15	0.307~0.634	0.802~0.889	116.6~171.4	132~199
10	11	0.291~0.562	0.910~0.971	135.2~207.4	145~225
11	6	0.281~0.436	0.926~0.989	146.7~188.3	149~191
12	8	0.266~0.466	0.881~0.962	130.7~193.6	147~211
13	15	0.301~0.661	0.908~1.040	103.3~191.7	112~201

3. 比重 第2, 3, 4表に示す結果から見れば含水率15%時の比重はマダケでは0.630~1.042, モウソウチクは0.523~1.203, 又ハチクは0.765~1.081の範囲内にあり, 竹稈別にその数値を見れば根元部より梢頭部に向つて比重は増加するようである。従つて種類による比重の相違はこの結果からは判断出来ない訳である。

4. 強度

a. 圧縮強度 含水率15%の状態に換算した結果を第2表に示すように圧縮強度の範囲はマダケが469.1~958.6 kg/cm², モウソウチクは415.6~1,047.6 kg/cm², 又ハチクは583.7~904.3 kg/cm²であつて, 木材では最も強いウラジログシ (1,246 kg/cm²), ハルニレ (330~1,175 kg/cm²) 或いはシロタブ (905~950 kg/cm²) に相当する強度を示し, その分布の幅はモウソウチクが最も広く, マダケが之に次ぎ, ハチクは最も狭く, 而も幅の狭い種類は広い種類の分布の幅の中に総べて入り圧縮強度は種類別には大差が無い様である。併し乍ら竹稈別の数値は幾分が差があるようである。

比圧縮強度の範囲はマダケで576~1,099, モウソウチクで730~1,158, 又ハチクは605~1,074で, 種類別にはモウソウチクが最も大である傾向が見られ, マダケとハチクは殆んど一致するようである。竹稈別には強度よりも顕著に差が見られるようである。

b. 引張強度 含水率15%の状態に換算した結果を第3表に示すように引張強度の範囲はマダケが1,798.0~3,612.1 kg/cm², モウソウチクは1,522.9~3,134.4 kg/cm², 又ハチクは1,831.5~2,771.1 kg/cm²であつて, その分布の幅はマダケが最も広くモウソウチクがこれに次ぎ共に最大値は最小値の2倍以上に達し, 我国産では最も強いイスノキ (1,770~2,670 kg/cm²) 或いはアサダ (1,075~2,345 kg/cm²) よりも更に大きな強度を示し, ハチクが最も狭く最も分布の幅の広いマダケの範囲の中に他の種類は含まれている。

c. 剪断強度 含水率15%の状態に換算した結果を第4表に示すように, 剪断強度の範囲はマダケが107.8~201.5 kg/cm², モウソウチクは106.9~252.3 kg/cm², 又ハチクは103.3~207.4 kg/cm²で, 木材では最も強い種類であるツクバネガシ (165~195 kg/cm²), ケヤキ (85~210 kg/cm²), シラカシ (88~190 kg/cm²), イチイガシ (105~190 kg/cm²), マカンバ (100~190 kg/cm²), 或いはイスノキ (75~180 kg/cm²) 等よりも幾分大きな強度を示し, 強度分布の幅はモウソウチクが最大で最大値は最小値の2倍以上であるのに対して幅の最小はマダケで最大値は最小値の2倍に達せず, ハチクはそれ等の中に位置し最大値は最小値の約2倍である。

比剪断強度の範囲はマダケが128~240, モウソウチクは129~236, 又ハチクは112~225であつて, 前2者は殆んど一致して居るが後者のハチクは幾分劣るような傾向が見られる。

IV. 検討

A. 強度と比重との関係

縦圧縮強度と剪断強度についてはその試験片から求めた比重との間に, 又引張強度に関してはその試験片からは直接比重を求める事は困難であるから, 第8報²⁶⁾の結果から水平方向に隣接した部分から製作した圧縮及び剪断試験片から, 求めた比重をその引張強度に対する比重と看做して強度と比重の関係を検討した。

先づ第1段階として各竹稈毎に両者間の関係を検討し, 次に各種類毎に一括し更に3種類を総合した。

1. 圧縮強度と比重

各竹稈別、種類別及び3種類総合した場合の両者の直線関係求めた結果を第5表及び第6図に示す。

Table 5. Relationship between Compressive Strength (σ_c) and Specific Gravity (S)

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_c = a + bS$		$\sigma_c = cS$
			a	b	c
MA-DAKE	1	15	0.860 ***	-693.8	1,754.4 (858.6)
	10	12	0.255	(160.0)	(705.5) (907.2)
	15	18	0.223	(630.6)	(179.7) (837.8)
	all	45	0.702 ***	57.8	789.3 856.7 ***
MOSŌ-CHIKU	1	16	0.575 *	-7.6	768.3 955.1 ***
	6	22	0.881 ***	-430.5	1,329.7 (859.2)
	12	20	0.905 ***	-525.8	1,581.8 (998.2)
	15	27	0.797 ***	-138.8	1,004.2 860.1 ***
	16	14	0.632 *	-94.1	951.0 853.5 ***
	A	10	0.903 ***	-164.4	1,110.8 942.7 ***
	all	109	0.725 ***	102.6	789.4 901.3 ***
HA-CHIKU	5	15	0.333	(173.4)	(646.5) (850.4)
	10	11	0.117	(607.6)	(185.8) (856.2)
	11	11	0.375	(61.0)	(735.1) (796.1)
	12	13	0.699 **	-265.2	1,190.9 896.2 ***
	A	11	0.876 ***	-643.2	1,488.3 (778.4)
	B	13	0.929 ***	-209.1	1,004.0 778.8 ***
	D	16	0.641 **	-1,104.9	1,989.3 792.8 ***
	all	90	0.566 ***	67.6	746.0 819.9 ***
three species	244	0.664 ***	73.0	782.3 863.1 ***	

マダケでは竹稈3本中1本に極めて高度の相関係が認められて原点を通らない直線式でこの関係は表されたが、マダケを一括して取扱つた場合には極めて高度な相関係が認められ原点を通る直線式でこの関係が表された。

モウソウチクでは竹稈6本全部に相関係が認められその中で4本が原点を通る直線式で、又残りの2本が原点を通らない直線式で表す事が出来て、更にモウソウチクを一括して取扱つた場合にも極めて高度な相関係が認められて原点を通る直線式でこの関係は表された。

ハチクでは竹稈7本中4本に高度な相関係が認められて竹稈4本中3本が原点を通る直線式及び他の1本は原点を通らない直線式で表される。ハチクを一括して取扱つた場合には全部極めて高度な相関係が認められて、原点を通る直線式でこの関係は表された。

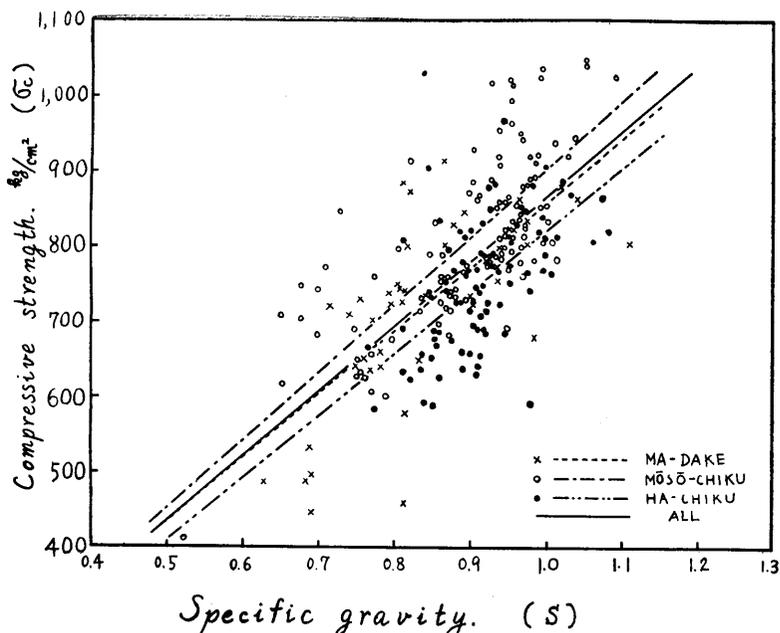


Fig. 1. Relationship between compressive strength and specific gravity.

3種類中2種類宛を一括した場合にはその結果を第6表に示すように、3種類の組合せ全部に極めて高度な相関関係の存在が認められ、併も両者の関係は原点を通る直線式で表された。

Table 6. Relationship between Strength Properties and Specific Gravity.

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma = a + bS$		$\sigma = cS$
			a	b	c
between Compressive Strength and Specific Gravity					
MA-DAKE and MŌSŌ-CHIKU	154	0.739 ***	45.8	838.4	889.5***
MA-DAKE and HA-CHIKU	135	0.640 ***	105.0	714.0	831.0***
MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU	199	0.627 ***	94.1	761.8	864.3***
three species	244	0.664 ***	73.0	782.3	863.1***
between Tensile Strength and Specific Gravity that was observed at Compression Test Specimen					
MA-DAKE and MŌSŌ-CHIKU	87	0.326 **	1,082.7	1,530.2	2,736.3***
MA-DAKE and HA-CHIKU	79	0.122	(2,136.5)	(403.0)	(2,788.9)
MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU	110	0.262 **	1,598.8	734.8	2,475.5***
three species	138	0.201 *	1,736.4	726.4	(2,643.9)
between Tensile Strength and Specific Gravity that was observed at Shear Test Specimen					
MA-DAKE and MŌSŌ-CHIKU	71	-0.003	(2,483.6)	(-11.7)	(2,780.8)
MA-DAKE and HA-CHIKU	46	-0.395 **	4,439.8	-2,147.8	(2,983.6)
MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU	71	0.356 **	1,367.7	996.1	2,459.2***
three species	94	-0.048	(2,585.8)	(-178.0)	(2,695.0)

between Shearing Strength and Specific Gravity

MA-DAKE and MŌSŌ-CHIKU	148	0.374 ***	61.3	111.6	(180.6)
MA-DAKE and HA-CHIKU	106	0.300 **	78.0	85.3	(173.6)
MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU	166	0.250 **	108.3	57.5	(176.1)
three species	210	0.355 **	62.6	107.6	(177.1)

更に3種類を総合した場合にも、圧縮強度と比重との間には極めて高度な相関係が認められて両者の関係は原点を通る直線式で表された。

2. 引張強度と比重

各竹稈別、種類別及び3種類総合した場合の引張強度と圧縮試験片から求めた比重及び剪断試験片から求めた比重との直線関係を求めた結果を夫々第7表、第8表、第2図及び第3図に示す。

Table 7 Relationship between Tensile Strength (σ_t) and Specific Gravity (S) of Compression Test Specimens.

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_t = a + bS$		$\sigma_t = cS$	
			a	b	c	
MA-DAKE	1	10	0.778***	-1,405.3	5,426.3	3,379.0***
	10	6	-0.494	(5,928.0)	(-4,137.8)	(3,350.8)
	15	12	0.374	(2,356.9)	(973.7)	(3,457.8)
	all	28	0.805***	-8.4	3,406.6	3,416.3***
MŌSŌ-CHIKU	1	10	0.724 *	-157.0	2,875.3	2,666.2***
	6	11	0.867***	-6,659.6	10,071.5	(2,640.7)
	12	8	0.532	(1,532.8)	(541.8)	(2,265.5)
	15	12	0.464	(-166.9)	(2,638.6)	(2,466.3)
	16	11	0.433	(3,253.1)	(5,771.6)	(2,406.9)
	A	7	0.602	(-3,480.6)	(5,791.4)	(2,327.7)
all	59	0.542***	278.1	2,160.1	2,461.8***	
HA-CHIKU	5	9	0.468	(232.5)	(2,261.8)	(2,538.4)
	10	7	-0.109	(8,129.0)	(-6,504.2)	(2,502.6)
	11	8	0.500	(410.7)	(1,738.4)	(2,149.0)
	12	8	-0.704	(6,056.2)	(-4,003.4)	(2,817.4)
	A	6	-0.890 *	12,435.7	-11,472.9	(2,566.9)
	B	6	-0.216	(2,860.9)	(-969.8)	(2,412.6)
	D	7	0.350	(-3,116.9)	(6,123.0)	(2,694.5)
	all	51	-0.001	(2,286.3)	(-2.8)	(2,491.7)
three species	138	0.201 *	1,736.4	726.4	(2,643.9)	

引張強度と圧縮試験片の比重との間には次の関係が認められた。即ち、マダケでは竹稈3本中1本に極めて高度の相関係が認められこの関係は原点を通る直線式で表され、又マダケを一括した場合にも同様に極めて高度な相関係が認められて原点を通る直線式で表された。

モウソウチクでは竹稈6本中2本に相関係が認められ、1本の竹稈では原点を通る直線式で、他の1本は原点を通らない直線式でこの関係は表され、モウソウチクを一括した場合には極めて高度な相関係が認められて原点を通る直線式で表された。

ハチクでは竹稈7本中1本に負の相関係が認められて原点を通らない直線式でこの関係は表され、ハチクを一括した場合には相関係が認められなかつた。

Table 8. Relationship between Tensile Strength (σ_t) and Specific Gravity (S) of Shearing Test Specimens.

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_t = a + bS$		$\sigma_t = cS$	
			a	b	c	
MA-DAKE	1	8	0.763 *	-4,115.4	9,047.8	3,403.1 *
	10	5	0.123	(-1,071.8)	(4,674.3)	(3,341.4)
	15	10	0.327	(2,491.6)	(1,070.5)	(4,192.7)
	all	23	0.535 **	-1,131.6	5,213.9	3,746.7***
MŌSŌ-CHIKU	1	10	0.700 *	-157.3	2,782.0	2,579.8***
	6	8	0.149	(2,234.2)	(198.0)	(2,458.3)
	15	12	0.436	(-1,385.3)	(3,932.4)	(2,484.9)
	16	11	0.340	(459.6)	(1,900.7)	(2,368.4)
	A	7	0.783 *	-1,608.7	4,135.4	2,455.5***
	all	48	0.415 **	1,307.7	1,062.1	(2,459.3)
HA-CHIKU	5	6	-0.548	(6,655.5)	(-4,924.2)	(2,311.1)
	10	7	-0.161	(5,456.1)	(-3,412.3)	(2,413.5)
	11	5	0.143	(1,566.7)	(612.6)	(2,246.8)
	12	5	-0.014	(2,560.1)	(-181.0)	(2,644.8)
	all	23	-0.242	(4,166.0)	(-2,016.7)	(2,459.0)
three species	94	-0.048	(2,585.8)	(-178.0)	(2,695.0)	

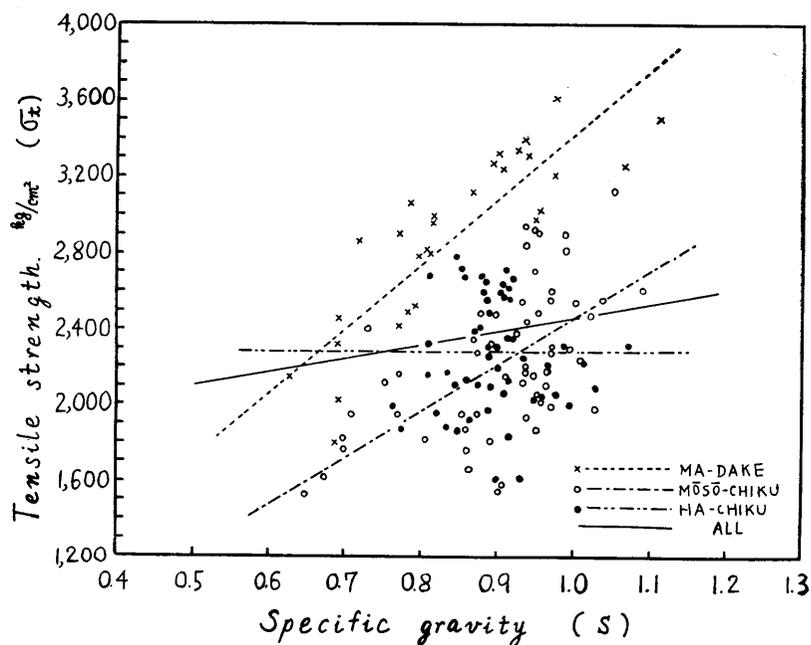


Fig. 2. Relationship between tensile strength and specific gravity of compression test specimens.

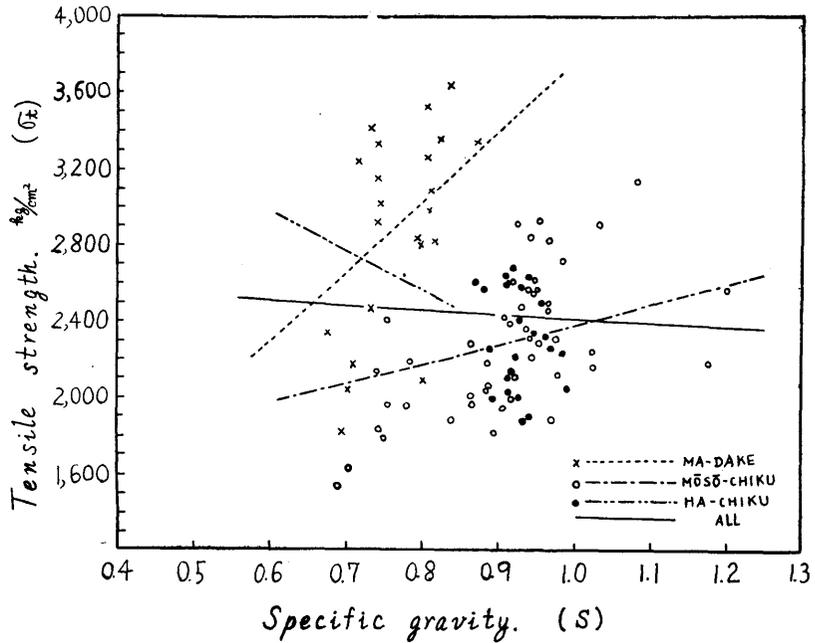


Fig. 3. Relationship between tensile strength and specific gravity of shear test specimens.

3種類中2種類宛を一括した場合には第6表にその結果を示すようにマダケとモウソウチクでは高度な、又モウソウチクとハチクとでは極めて高度な相関 \times 係の存在が認められて両者の関係は共に原点を通る直線式で表された。

3種類を総合した場合には両者の間に相関 \times 係が認められて原点を通らない直線式で表された。

引張強度と剪断試験片の比重との間には次の関係が認められた。即ち、マダケでは竹稈3本中1本に相関 \times 係の存在が認められて原点を通る直線式で表され、マダケを一括して取扱つた場合には高度の相関 \times 係が認められて原点を通る直線式でこの関係は表された。

モウソウチクでは竹稈5本中2本に相関 \times 係の存在が認められ共に原点を通る直線式でこの関係は表され、モウソウチクを一括した場合には高度の相関 \times 係の存在が認められて原点を通らない直線式で表された。

ハチクでは竹稈4本全部に相関 \times 係の存在は認められず、更にハチクを一括して取扱つた場合にも同様に相関 \times 係の存在は認められなかつた。

3種類中2種類宛を一括した場合には、マダケとハチク及びモウソウチクとハチクでは共に高度の相関 \times 係の存在が認められた。前者では負の相関係数が得られて一般の傾向とは反対の結果を示したが、後者は原点を通る直線式で両者の関係が表された。

3種類を総合した場合にも同様に相関 \times 係の存在は認められなかつた。

3. 剪断強度と比重

各竹稈別、種類別及び3種類を総合した場合の剪断強度と比重との間の直線関係を求めた結果を第9表及び第4図に示す。

Table 9. Relationship between Shearing Strength (σ_s) and Specific Gravity (S).

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_s = a + bS$		$\sigma_s = cS$	
			a	b	c	
MA-DAKE	1	8	0.796 ***	-98.6	345.1	209.8***
	5	8	0.561	(-177.4)	(355.2)	(155.5)
	6	8	0.433	(-186.9)	(391.1)	(170.5)
	10	8	0.598	(-353.2)	(629.3)	(196.6)
	15	12	0.551	(-33.3)	(226.3)	(184.5)
	all	44	0.118	(117.3)	(37.9)	(181.4)
MOSŌ-CHIKU	1	16	0.703 ***	-80.8	296.9	191.1***
	6	14	0.128	(172.0)	(12.6)	(192.4)
	8	15	0.542 *	58.3	92.5	161.8***
	13	18	0.822 ***	-39.2	216.0	175.0***
	15	16	0.446	(7.4)	(179.5)	(187.5)
	16	15	-0.024	(203.5)	(-21.0)	(169.7)
	A	10	0.732 *	-243.3	427.0	169.1***
	all	104	0.362 ***	63.8	110.7	(180.3)
HA-CHIKU	5	8	-0.072	(221.9)	(-68.1)	(172.3)
	7	15	0.220	(20.7)	(142.3)	(166.8)
	10	11	-0.179	(346.3)	(-186.0)	(182.6)
	11	6	-0.078	(211.8)	(-44.1)	(176.9)
	12	8	0.160	(32.0)	(139.0)	(173.7)
	13	14	0.496	(-178.0)	(337.9)	(154.8)
	all	62	0.353 **	19.9	147.7	169.3***
three species	210	0.355 ***	62.6	107.6	(177.1)	

マダケでは竹稈5本中1本に極めて高度の相関関係の存在が認められて原点を通る直線式で表され、マダケを一括して取扱つた場合には相関関係が認められなかつた。

モウソウチクでは竹稈7本中4本に相関関係の存在が認められて4本共に原点を通る直線式でこの関係は表されたが、モウソウチクを一括して取扱つた場合には極めて高度な相関関係が認められて原点を通らない直線式で表された。

ハチクでは竹稈6本中相関関係の存在の認められたものはないが、ハチクを一括して取扱つた場合には高度の相関関係の存在が認められ、この関係は原点を通る直線式で表された。

3種類中2種類宛を一括した場合にはその結果を第6表に示すようにマダケとハチク及びモウソウチクとハチクでは高度な、又マダケとモウソウチクでは極めて高度な相関関係

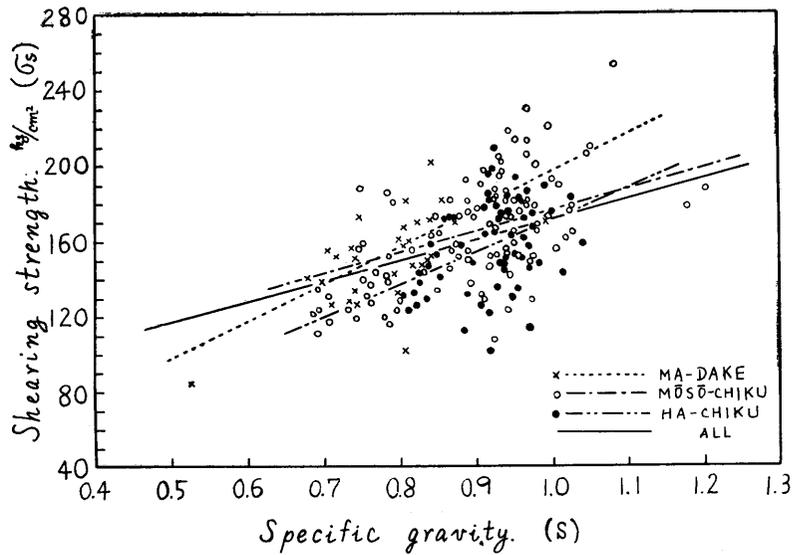


Fig. 4. Relationship between shearing strength and specific gravity.

Table 10. Relationship between Tensile Strength (σ_t) and Compressive Strength (σ_c).

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_t = a + b \sigma_c$		$\sigma_t = c \sigma_c$	
			a	b	c	
MA-DAKE	1	10	0.633 *	756.7	3.0	4.3 ***
	10	6	0.586	(1,838.1)	(1.2)	(3.8)
	15	12	-0.237	(4,148.2)	(-1.1)	(4.1)
	all	28	0.768 ***	922.9	2.8	(4.1)
MŌSŌ-CHIKU	1	10	0.409	(1,011.6)	(1.3)	(2.6)
	6	11	0.538	(-1,391.6)	(5.0)	(3.1)
	12	8	0.707 *	-1,645.0	4.2	2.3 ***
	15	12	0.607 *	95.0	2.7	2.8 ***
	16	11	0.085	(2,223.2)	(0.1)	(2.8)
	A	7	0.919 **	-4,362.5	7.1	(2.5)
	all	59	0.421 ***	761.3	1.8	2.7 ***
HA-CHIKU	5	9	0.524	(500.2)	(2.3)	(3.1)
	10	7	0.337	(-602.3)	3.7	(2.9)
	11	8	0.380	(1,160.1)	1.2	(2.6)
	12	8	0.074	(2,113.5)	0.5	(3.2)
	A	6	0.905 *	-8,607.8	16.3	(3.4)
	B	6	-0.475	(4,725.6)	(-4.2)	(3.2)
	D	7	-0.313	(3,557.9)	(-1.6)	(3.5)
	all	51	0.275	(1,559.9)	(1.0)	(3.1)
three species	138	0.179 *	1,834.8	0.7	(3.1)	

の存在が認められて総べて原点を通らない直線式で両者の関係は表された。

3種類を総合した場合には両者の間に極めて高度な相関々係の存在が認められて原点を通らない直線式でこの関係は表された。

B. 強度的性質相互間の関係

同一節間に横方向に隣接した部分から製作した試験片から求めた夫々の強度間の関係を直接検討した。

1. 引張強度と圧縮強度

各竹稈別、種類別及び3種類を総合した場合の引張強度と圧縮強度との間の直線関係を求めた結果を第10表及び第5図に示す。

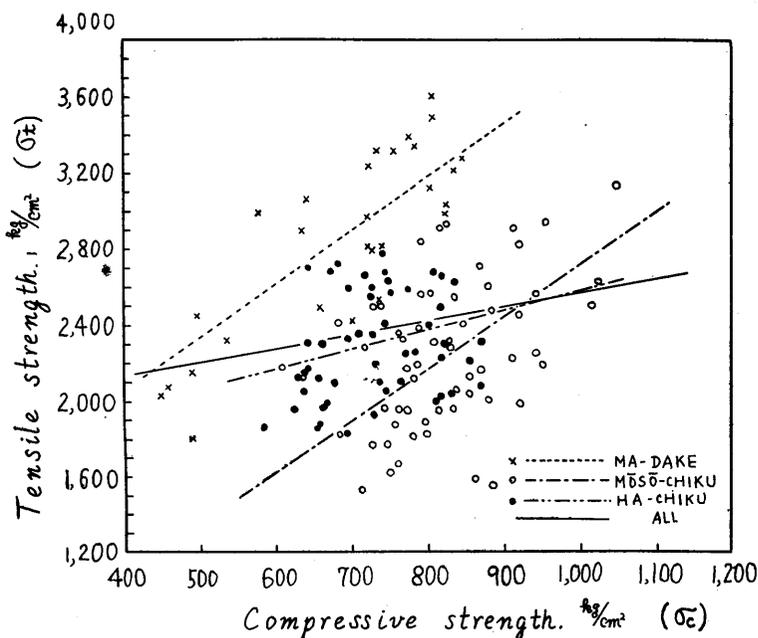


Fig. 5. Relationship between tensile strength and compressive strength.

マダケでは竹稈3本中1本に相関々係の存在が認められて原点を通る直線式で表され、マダケを一括して取扱つた場合には極めて高度な相関々係が認められて原点を通らない直線式で表された。

モウソウチクでは竹稈6本中3本に相関々係の存在が認められて2本は原点を通る直線式で他の1本は原点を通らない直線式で表され、モウソウチクを一括して取扱つた場合には極めて高度な相関々係が認められて原点を通る直線式でこの関係は表された。

ハチクでは竹稈7本中1本に相関々係の存在が認められて原点を通らない直線式で表されたが、ハチクを一括して取扱つた場合には相関々係の存在は認められなかつた。

3種類中2種類宛を一括してこの関係を検討すれば第11表に示すようにマダケとハチク及びモウソウチクとハチクの組合せに於いて極めて高度な相関々係の存在が認められ夫々原点を通らない直線式で表された。

Table 11. Relationship between Strengthes.

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma = a + b\sigma$		$\sigma = c\sigma$
			a	b	c
between Tensile Strength and Compressive Strength.					
MA-DAKE and MÖSÖ-CHIKU	87	0.125	(2,032.0)	(0.5)	(3.1)
MA-DAKE and HA-CHIKU	89	0.877 ***	178.7	3.2	(3.4)
MÖSÖ-CHIKU and HA-CHIKU	110	0.289 ***	1,462.1	1.0	(2.9)
three species	138	0.179 *	1,834.8	0.7	(3.1)
between Shearing Strength and Compressive Strength.					
MA-DAKE and MÖSÖ-CHIKU	96	0.233 *	96.8	0.09	(0.21)
MA-DAKE and HA-CHIKU	60	0.132	(136.6)	(0.03)	(0.21)
MÖSÖ-CHIKU and HA-CHIKU	102	0.222 *	87.2	0.10	(0.21)
three species	129	0.221 *	102.2	0.08	(0.21)
between Shearing Strength and Tensile Strength					
MA-DAKE and MÖSÖ-CHIKU	69	0.269 *	157.1	0.003	(0.065)
MA-DAKE and HA-CHIKU	48	-0.158	(177.5)	(-0.008)	(0.059)
MÖSÖ-CHIKU and HA-CHIKU	71	0.248 *	95.0	‡ 0.033	(0.074)
three species	94	0.027	(158.0)	(0.003)	(0.066)

又3種類を総合した場合には両者の間に相関々係の存在が認められて、原点を通らない直線式でこの関係は表された。

原点を通ると仮定して求めた直線式の常数は3.1であつて2種類宛を一括して求めた数値と殆んど一致して居る。

2. 剪断強度と圧縮強度

各竹稈別、種類別及び3種類を総合した場合の剪断強度と圧縮強度との間の直線関係を求めた結果を第12表及び第6図に示す。

マダケでは竹稈3本全部に相関々係の存在が認められず、又マダケを一括して取扱つた場合にも同様に相関々係の存在は認められなかつた。

モウソウチクでは竹稈5本中1本に高度な相関々係の存在が認められて原点を通らない直線式でこの関係は表され、モウソウチクを一括して取扱つた場合には相関々係が認められて原点を通る直線式でこの関係は表された。

ハチクでは竹稈別でも、又一括して取扱つた場合でも共に相関々係の存在は認められなかつた。

3種類中2種類宛を一括してこの関係を検討すれば、第11表に示すようにマダケとモウソウチク及びモウソウチクとハチクに於いて相関々係の存在が認められて、共に原点を通らない直線式で表された。

又3種類を総合した場合には相関々係の存在が認められて原点を通らない直線式で表された。

Table 12. Relationship between Shearing Strength (σ_s) and Compressive Strength (σ_c)

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_s = a + b\sigma_c$		$\sigma_s = c\sigma_c$	
			a	b	c	
MA-DAKE	1	8	0.565	(76.7)	(0.14)	(0.28)
	10	7	-0.054	(173.6)	(0.02)	(0.22)
	15	12	0.468	(-51.3)	(0.25)	(0.19)
	all	27	0.019	(148.7)	(0.00)	(0.21)
MŌSŌ-CHIKU	1	15	0.397	(56.7)	(0.12)	(0.20)
	6	14	0.241	(127.2)	(0.07)	(0.23)
	15	16	0.350	(102.7)	(0.09)	(0.21)
	16	14	0.066	(68.5)	(0.14)	(0.22)
	A	10	0.815 **	-294.1	0.49	(0.17)
	all	69	0.240 *	71.3	0.12	0.21***
HA-CHIKU	5	8	-0.283	(260.4)	(-0.15)	(0.23)
	10	11	0.185	(86.1)	(0.11)	(0.22)
	11	6	-0.386	(309.6)	(-0.17)	(0.21)
	12	8	0.011	(156.1)	(0.01)	(0.20)
	all	33	0.093	(142.6)	(0.03)	(0.22)
three species	129	0.221 *	102.2	0.08	(0.21)	

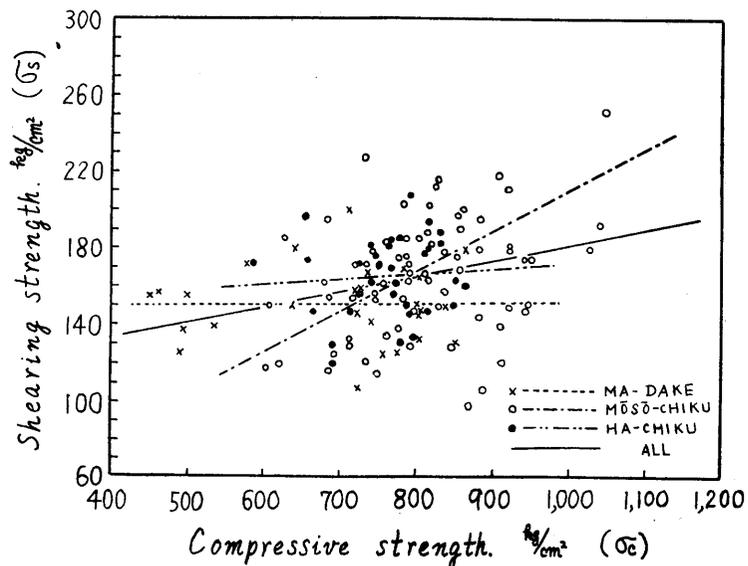


Fig. 6. Relationship between shearing strength and compressive strength.

原点を通ると仮定した場合の直線式の常数は0.21で2種類宛を一括して求めた数値と一致している。

3. 剪断強度と引張強度

各竹稈別、種類別及び3種類を総合した場合の剪断強度と引張強度との間の直線関係を求めた結果を第13表及び第7図に示す。

Table 13. Relationship between Shearing Strength (σ_s) and Tensile Strength (σ_t)

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_s = a + b \sigma_t$		$\sigma_s = c \sigma_t$
			a	b	c
MA-DAKE	1	8	0.752 *	80.9	0.029 (0.061)
	10	5	-0.046	(165.5)	(0.005) (0.056)
	15	10	0.208	(-9.1)	(0.046) (0.043)
	all	23	0.410	(141.2)	(0.003) (0.050)
MŌSŌ-CHIKU	1	10	0.444	(65.8)	(0.040) (0.073)
	6	8	0.400	(115.9)	(0.028) (0.075)
	15	10	0.158	(150.7)	(0.009) (0.074)
	16	11	-0.001	(186.4)	(0.000) (0.079)
	A	7	0.850 *	-20.8	0.082 0.073 ***
	all	46	0.552 ***	71.7	0.044 (0.075)
HA-CHIKU	5	6	-0.181	(199.2)	(-0.016) (0.076)
	10	9	0.558	(109.3)	(0.025) (0.072)
	11	5	-0.800	(378.3)	(-0.098) (0.077)
	12	5	-0.278	(225.3)	(-0.026) (0.067)
	all	25	0.095	(152.4)	(0.006) (0.073)
three species	94	0.027	(158.0)	(0.003) (0.066)	

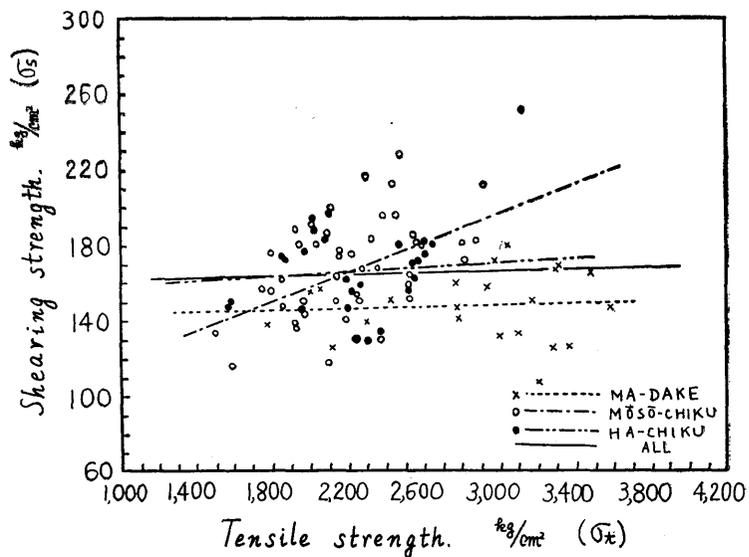


Fig. 7. Relationship between shearing strength and tensile strength.

マダケでは竹稈3本中1本に相関々係の存在が認められて原点を通らない直線式でこの関係は表され、マダケを一括して取扱つた場合には相関々係は認められなかつた。

モウソウチクでは竹稈5本中1本に相関々係の存在が認められて原点を通る直線式でこの関係は表され、モウソウチクを一括して取扱つた場合には極めて高度な相関々係が認められて原点を通らない直線式で表された。

ハチクでは竹稈別及び一括して取扱つた場合にも相関々係の存在は認められなかつた。

3種類中2種類宛を一括してこの関係を検討すれば第11表に示すように剪断強度と圧縮強度との関係の場合と同じくマダケとモウソウチク及びモウソウチクとハチクに於て相関々係の存在が認められた。

又3種類を綜合した場合にも同様相関々係の存在は認められなかつた。

原点を通ると仮定して求めた直線式の常数は0.066であつて、2種類宛を一括して求めた数値に近似して居る。

Table 14. Relationship between Specific Gravity (S) and Wall Thickness (W)

Species	Number	Correlation coefficient	$S = a + b W$		
			a	b	
MA-DAKE	1	23	-0.851 ***	0.899	-0.49
	5	10	0.405	(0.758)	(0.31)
	6	9	-0.471	(1.002)	(-0.41)
	10	20	0.198	(0.785)	(0.07)
	15	30	-0.131	(0.934)	(-0.10)
	all	92	-0.001	(0.830)	(0.00)
MŌSŌ-CHIKU	6	36	-0.316	(1.042)	(-0.20)
	8	15	-0.652 ***	1.021	-0.26
	12	20	-0.886 ***	1.049	-0.31
	13	19	-0.752 ***	1.158	-0.25
	15	45	-0.650 ***	1.037	-0.12
	16	29	-0.230	(1.027)	(-0.09)
	A	20	-0.720 **	1.257	-0.36
	all	184	-0.356 ***	1.024	-0.13
HA-CHI KU	5	23	0.322	(0.799)	(0.21)
	7	15	-0.777 **	0.916	-0.18
	10	22	0.134	(0.908)	(0.04)
	11	17	-0.535 *	1.081	-0.29
	12	21	-0.003	(0.908)	(0.00)
	13	15	-0.663 **	1.086	-0.24
	A	11	-0.739 **	1.066	-0.61
	B	13	-0.918 ***	1.315	-1.23
	D	16	-0.648 **	0.975	-0.17
	all	153	-0.182 *	0.954	-0.11
three species	429	-0.013	(0.906)	(0.00)	

C. 壁厚と強度的性質との関係

1. 比重と壁厚

圧縮及び剪断試験片について、各竹稈別、種類別及び3種類を総合した場合の両者の直線関係を求めた結果を第14表及び第8図に示す。

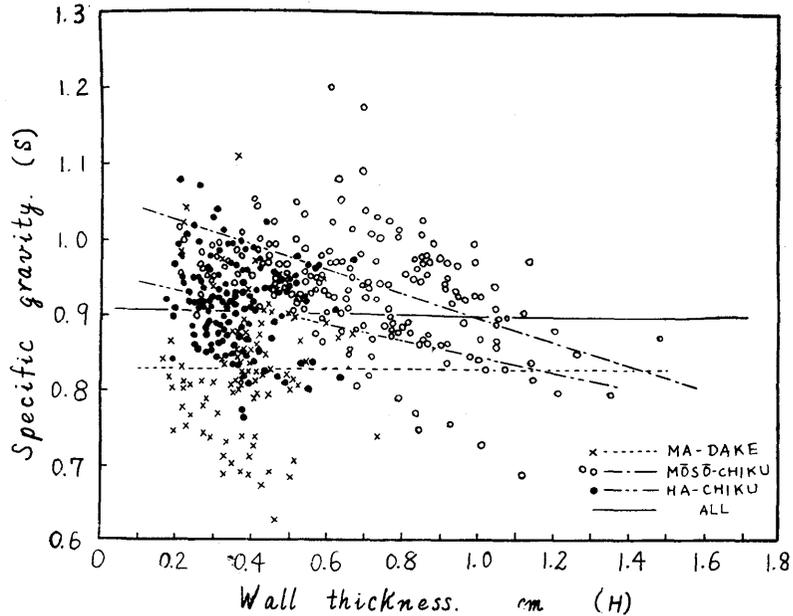


Fig. 8. Relationship between specific gravity and wall thickness.

マダケでは竹稈5本中1本に於いて極めて高度な負の相関係の存在が認められて原点を通らない直線式で表されたが、マダケを一括した場合には有意な相関係が認められなかった。

モウソウチクでは竹稈7本中5本に於て極めて高度な負の相関係の存在が認められて原点を通らない直線式で表され、更にモウソウチクを一括した場合にも同様に極めて高度な負の相関係の存在が認められ、原点を通らない直線式で表はされた。

ハチクでは竹稈9本中6本に於て負の相関係の存在が認められて原点を通らない直線式で表され、更にハチクを一括した場合にも同様に負の相関係の存在は認められて原点を通らない直線式で表はされた。

3種類中2種類宛を一括した場合にはモウソウチクとハチクの組合せに於てのみ極めて高度な相関係の存在が認められた。

3種類を総合した場合は有意な相関係の存在は認められなかった。

2. 圧縮強度と壁厚

各竹稈別、種類別及び3種類を総合した場合の両者間の直線的関係を求めた結果を第15表及び第9図に示す。

Table 15. Relationship between Compressive Strength (σ_c) and Wall Thickness (W)

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_c = a + bW$		
			a	b	
MA-DAKE	1	15	-0.813 ***	940.1	-1,062.1
	10	12	-0.506	(890.7)	(-533.8)
	15	18	-0.068	(812.2)	(-25.6)
	all	45	-0.070	(747.9)	(-64.6)
MŌSŌ-CHIKU	6	22	-0.664 ***	926.7	-233.5
	12	20	-0.818 ***	1,129.8	-482.5
	15	27	-0.410 *	886.3	-97.3
	16	14	-0.426	(885.4)	(-95.4)
	A	10	-0.807 **	1,253.8	-395.9
	all	93	-0.438 ***	941.1	-162.3
HA-CHIKU	5	15	-0.642 **	944.9	-674.5
	10	11	-0.340	(826.4)	(-130.9)
	11	11	0.410	(668.6)	(414.7)
	12	13	-0.496	(955.6)	(-471.0)
	A	11	-0.854 ***	1,028.3	-1,203.6
	B	13	-0.810 ***	1,091.3	-1,173.6
	D	16	-0.744 ***	916.5	-609.6
	all	90	-0.338 **	858.8	-347.4
three species	228	0.072	(765.4)	(33.2)	

マダクでは竹稈 3 本中 1 本文に極めて高度な負の相関係数の存在が認められ原点を通らない直線式で表されたが、マダクを一括した場合には有意な相関係数の存在は認められなかった。

モウソウチクでは竹稈 5 本中 4 本に負の相関係数の存在が認められ原点を通らない直線式で表され、モウソウチクを一括した場合にも極めて高度な負の相関係数が認められて原点を通らない直線式で表された。

ハチクでは竹稈 7 本中 4 本に極めて高度及び高度な負の相関係数が認められて、原点を通らない直線式で表はされ、ハチクを一括した場合には高度な負の相関係数が認められて原点を通らない直線式で表された。

3 種類中 2 種類宛を一括した場合にはマダクとハチクの組合せに於いてのみ有意な相関係数の存在が認められた。

3 種類を総合した場合には有意な相関係数の存在は認められなかった。

3. 引張強度と壁厚

各竹稈別、種類別及び 3 種類を総合した場合の両者間の直線的関係を求めた結果を第

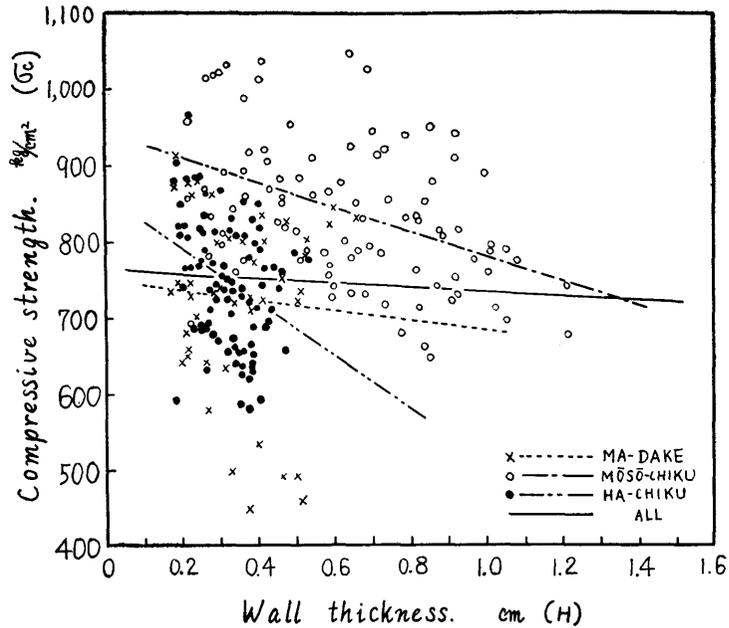


Fig. 9. Relationship between compressive strength and wall thickness.

16 表及び第 10 図に示す。

マダケでは竹稈 3 本中 2 本に於て負の相関 \times 係の存在が認められて、原点を通らない直線式で表されたが、マダケを一括した場合には有意な相関 \times 係の存在は認められなかった。

モウソウチクでは竹稈 5 本中 3 本に極めて高度及び高度な負の相関 \times 係の存在が認められて、原点を通らない直線式で表はされ、モウソウチクを一括した場合にも高度な負の相関 \times 係の存在が認められて、原点を通らない直線式で表された。

ハチクでは竹稈 7 本中全部、又ハチクを一括しても有意な相関 \times 係の存在は認められなかった。

3 種類中 2 種類宛を一括した場合にはマダケとモウソウチクでは極めて高度な、又モウソウチクとハチクでは有意な相関 \times 係の存在が認められた。

3 種類を総合した場合には高度な負の相関 \times 係の存在が認められて、原点を通らない直線式で表された。

4. 剪断強度と壁厚

各竹稈別、種類別及び 3 種類を総合した場合の両者間の直線関係を求めた結果を第 17 表及び第 11 図に示す。

マダケでは竹稈 5 本中 1 本文に極めて高度な負の相関 \times 係の存在が認められて、原点を通らない直線式で表され、マダケを一括した場合には有意な相関 \times 係の存在は認められなかった。

モウソウチクでは竹稈 6 本中 3 本に於て有意な負の相関 \times 係の存在が認められて、原

Table 16. Relationship between Tensile Strength (σ_t) and Wall Thickness (W)

Species	Number	Correlation coefficient	$\sigma_t = a + b W$		
			a	b	
MA-DAKE	1	10	-0.692 *	3,298.0	-2,446.6
	10	6	-0.762	(3,652.4)	(-2,699.1)
	15	12	-0.646 *	3,904.2	(-1,359.6)
	all	28	0.036	(2,519.7)	(158.5)
MOSŌ-CHIKU	6	11	-0.956 ***	3,811.4	-2,026.4
	12	8	-0.548	(3,449.5)	(-2,663.4)
	15	12	-0.750 **	3,436.8	-1,359.0
	16	11	-0.781 **	3,289.7	-1,550.4
	A	7	-0.701	(4,729.2)	(-3,167.2)
	all	49	-0.449 **	2,977.6	-993.3
HA-CHIKU	5	9	-0.063	(2,271.6)	(-388.8)
	10	7	-0.372	(2,866.2)	(-1,143.1)
	11	8	-0.018	(2,167.3)	(-48.6)
	12	8	0.112	(2,321.2)	(602.5)
	A	6	-0.047	(2,408.5)	(-389.9)
	B	6	-0.139	(2,485.9)	(-1,172.7)
	D	7	0.518	(1,774.1)	(1,838.6)
	all	51	-0.061	(2,407.8)	(-346.4)
three species	128	-0.251 **	2,681.0	-547.3	

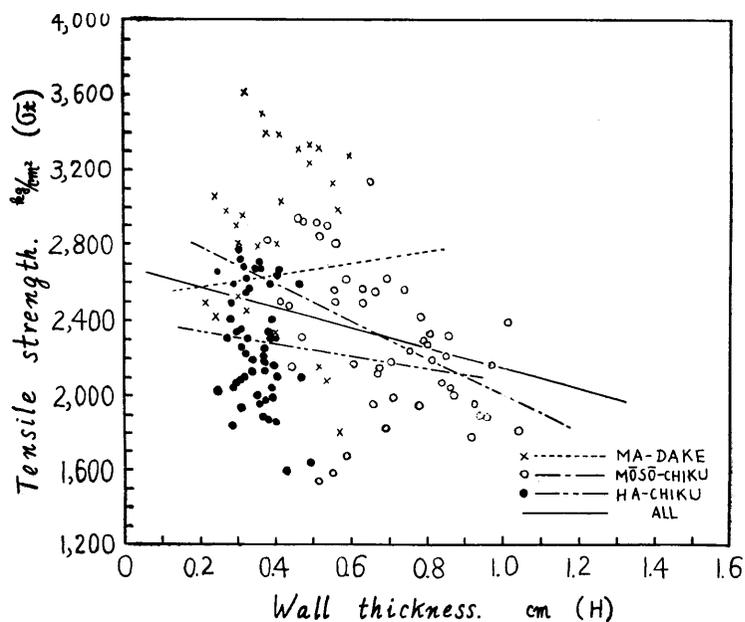


Fig. 10. Relationship between tensile strength and wall thickness.

Table 17. Relationship between Shearing Strength (σ_s)
and Wall Thickness (W)

Species		Number	Correlation coefficient	$\sigma_s = a + bW$	
				a	b
MA-DAKE	1	8	-0.951 ***	213.9	-173.6
	5	8	0.256	(74.4)	(151.7)
	6	8	-0.213	(210.5)	(-172.2)
	10	8	-0.221	(181.6)	(-52.1)
	15	12	-0.197	(163.2)	(-36.0)
	all	44	-0.297	(176.1)	(-68.4)
MŌSŌ-CHIKU	6	14	-0.336	(213.5)	(-49.5)
	8	15	-0.451	(157.8)	(-31.0)
	13	18	-0.889 ***	229.4	-76.6
	15	16	-0.662 **	218.7	-52.7
	16	15	-0.068	(206.3)	(-34.6)
	A	10	-0.725 *	335.1	-215.3
	all	98	-0.303 **	211.6	-59.4
HA-CHIKU	5	8	-0.750 *	292.1	-324.3
	7	15	-0.286	(158.0)	(-42.2)
	10	11	-0.229	(193.6)	(-56.1)
	11	6	0.788	(92.2)	(219.9)
	12	8	-0.591	(219.6)	(-165.5)
	13	14	-0.251	(180.1)	(-62.3)
	all	62	-0.344 **	190.0	-82.4
three species	194	-0.062	(163.9)	(-8.9)	

点を通らない直線式で表され、モウソウチクを一括した場合にも同様に高度な負の相関係数の存在が認められて、原点を通らない直線式で表された。

ハチクでは竹稈 6 本中 1 本丈に有意な負の相関係数の存在が認められて、原点を通らない直線式で表されたが、ハチクを一括した場合には高度な負の相関係数が認められて、原点を通らない直線式で表された。

3 種類中 2 種類宛を一括した場合にはマダケとハチクの組合せに於てのみ高度な相関係数が認められた。

3 種類を総合した場合には有意な相関係数の存在は認められなかつた。

V. 結 論

1. 強度の性質と比重との関係は圧縮強度の場合は第 5 表及び第 6 表に示すように竹稈別では総数の約 69% (11/16) に有意な相関係数が認められ、更に約 44% (7/16) は原点を通る直線式で表され、又種類別、2 種類宛の総合及び 3 種類全部を一括した場合に

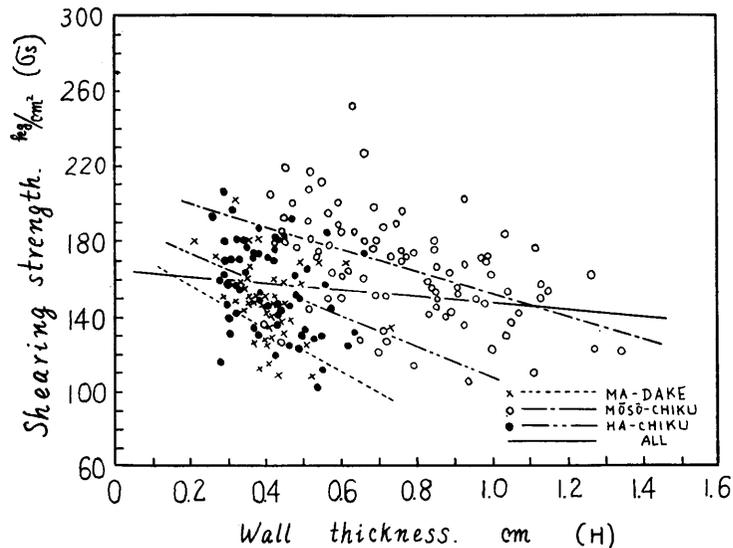


Fig. 11. Relationship between shearing strength and wall thickness.

は総べて極めて高度な相関係が認められて原点を通る直線式で表す事が出来たのである。

故に圧縮強度と比重との関係はマダケ、モウソウチク及びハチクの三種類を同一に取扱つて原点を通る直線式 ($\sigma_c = 863.1 S$) で表せるのである。

引張強度の場合には試験片の比重を直接測定しなかつたので圧縮試験片と剪断試験片との比重を借用したが、第7表及び第8表を比較すれば判明するように圧縮試験片の比重を借用した方が相関度が高いので、圧縮試験片から求めた比重と引張強度との関係をもとめた結果を採用する。竹稈別では総数の25% (4/16) に有意な相関係が認められ、僅かに約13% (2/16) が原点を通る直線式で表され、又種別及び2種類を一括した場合には共に約67% (2/3) が原点を通る直線式で表され、3種類全体を総合した場合には原点を通らない直線式 ($\sigma_t = 1,736.4 + 726.4 S$) で表された。

故に、引張強度と比重との関係はハチクでは明瞭な結果を得られないが、各種別々に夫々原点を通る直線式で表せると看做し得られて圧縮強度の場合とは違つた傾向がある事が判る。

剪断強度では第9表に示すように竹稈別で総数の約28% (5/18) に有意な相関係が認められ、その全部が原点を通る直線式で表され、又種別では約67% (2/3) に有意な相関係が認められてその中でハチクだけが竹稈別には有意な相関係が認められないのにも拘らず原点を通る直線式で表されたが、2種類を一括した場合及び3種類全体を総合した場合には総べて原点を通らない直線式で表された。

故に、剪断強度と比重との関係は充分に多数の試験片を使用すれば各竹稈別及び種別には原点を通る直線式が表されて圧縮強度の場合と同一な傾向が認められる。

Table 18. *t*-Test of Mean Value of Components of empirical Formula between Strength Properties and Specific Gravity.

Species	Degree of freedom	<i>t</i>
Compression strength		
MA-DAKE and MŌSŌ-CHIKU	7	0.958
MA-DAKE and HA-CHIKU	8	1.544
MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU	11	3.068 *
Tension strength		
MA-DAKE and MŌSŌ-CHIKU	7	8.101 ***
MA-DAKE and HA-CHIKU	8	6.778 ***
MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU	11	0.597
Shear strength		
MA-DAKE and MŌSŌ-CHIKU	10	0.303
MA-DAKE and HA-CHIKU	9	1.266
MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU	11	1.532

結局、強度的性質と比重との関係は各種類別には原点を通る直線式で表され、その特殊な場合として圧縮強度では3種類を総合しても同様な結果となると解釈出来る。

強度的性質と比重との関係が竹稈別及び各種類別に原点を通過するものとして、その関係式($\sigma = cS$)の常数(c)を求めて各種類別に比較した結果は、第18表に示すように圧縮強度と比重との常数ではモウソウチクとハチクの間有意差が認められるのみである。

圧縮強度の場合には3種類を総合した場合にも原点を通る直線と比重との関係は表されたのであつて、この場合は有意の相関々係を認められないものも同等に取扱つたために生じた結果であつて一応除外する。引張強度の場合にはマダケと他の2種類との間には0.1%の水準で有意差が認められる。

故に、3種類の比重、引張強度及び比引張強度を求めて第19表の結果を得た。即ち、比重はマダケが最小で、モウソウチクが最大、引張強度及び比引張強度はマダケが最大でモウソウチクが最小値を示すようである。この3種類の各性質の平均値間の差の検定を行つた結果は総べてマダケと他の2種類との間には0.1%の水準で有意差が認められた。即ち、3種類中でマダケは比重が小で引張強度が大、従つて比引張強度(常数 c)が大である事が判明する。換言すれば、マダケは引張強度の面から検討すれば3種類中最も材質的に優秀である事が認められるのである。

この事は第20表に示す既発表の結果とも一致している傾向である。

Table 19. Mean Values of Specific Gravity, Tensile Strength and Specific Tensile Strength.

Species	Specific Gravity (S)	Tensile Strength (σ_t)	Specific Tensile Strength (σ_t/S)
MA-DAKE	0.830±0.0182	2,852.9±187.97	3,395.9±137.78
MŌSŌ-CHIKU	0.931±0.0136	2,239.5±124.06	2,462.2±171.29
HA-CHIKU	0.915±0.0095	2,288.8± 76.81	2,525.9±189.86

Table 20. Tensile Strength (kg/cm²), having been reported.

Species	Surveyer			
	Tokyo Univ. Forest	Uno	Shimada	Tatsumi
MA-DAKE	1,818~2,727	2,833.5	1,900~3,790	3,250~3,400
MŌSŌ-CHIKU	1,720~2,214	1,938.5	710~3,450	1,170
HA-CHIKU	—	1,821.8	1,210~3,610	—

従つて、強度的性質 (σ) と比重 (S) との関係式として

圧縮強度 (σ_c) と比重 (S)

$$3 \text{ 種類総合} \quad \sigma_c = 863.1 S \approx 860 S$$

引張強度 (σ_t) と比重 (S)

$$\text{マダケ} \quad \sigma_t = 3,416.3 S \approx 3,400 S$$

モウソウチクとハチク

$$\sigma_t = 2,475.5 S \approx 2,500 S$$

剪断強度 σ_s と比重 (S)

$$3 \text{ 種類総合} \quad \sigma_s = 177.1 S \approx 180 S$$

が得られた。

2. 強度相互間の関係に就ては、引張強度と圧縮強度との間で密接な相関関係の認められたものは第10, 12, 13表に示すように、竹稈別で約31% (5/16), 種類別で約67% (2/3) で最も高率で、剪断強度と圧縮強度の間では竹稈別の約8% (1/12), 種類別の約33% (1/3) でこれに次ぎ共に3種類を総合しても有意な相関関係が認められ、剪断強度と引張強度の間では竹稈別の約17% (1/6), 種類別の約33% (1/3) で最も低率である。この事から、この実験から求めた種類の強度の中では圧縮強度が最もよくこの関係を表し、続いて引張強度、更に剪断強度が最も表し難いものであると考えられる。

又、強度間の関係を直線で表した場合に、原点を通る直線式の採用出来るものは竹稈別では50% (4/8), 種類別でも50% (2/4) であるが、3種類を総合した場合には見当らない。更に3種類中夫々2種類宛を一括して強度相互間の相関関係を検討したが、第11表にその結果を示すように、有意な相関関係の認められなかつたものでも総べて原点

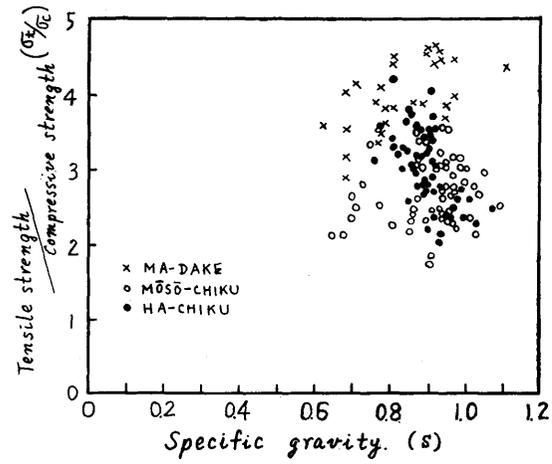


Fig. 12. Relationship between σ_t/σ_c and specific gravity.

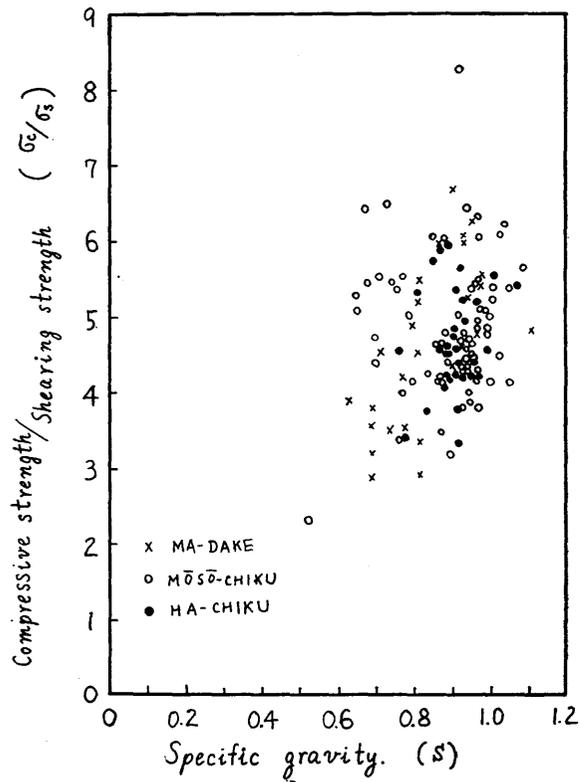


Fig. 13. Relationship between σ_c/σ_s and specific gravity.

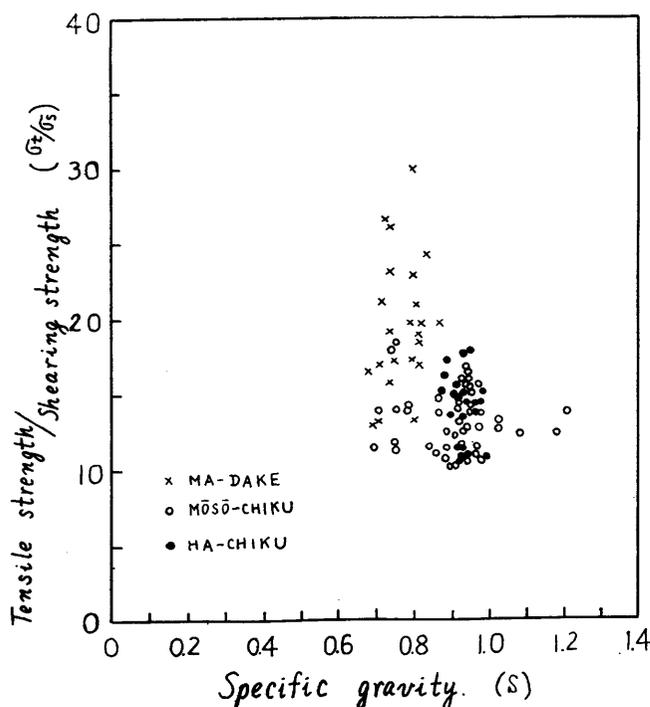


Fig. 14. Relationship between σ_t/σ_s and specific gravity.

を通る直線式では表し得られなかつた。

故に、強度相互間の関係が種類別にはその半数が原点を通る直線式で表し得るのに対して、3種類を総合した場合には全然表し得ない事実から、強度相互間の関係は一応原点を通る直線式で表し得て、その常数即ち強度の比は夫々種類によつて異なるものであらうと推定され得る。

強度的性質の比重との関係は直線式 ($\sigma = aS$)、或いは拋物線 ($\sigma = bS^2$) で表されるから直線式は拋物線式の特な場合と考えて、この拋物線式から強度相互間の関係式を誘導すれば拋線式 ($\sigma_1/\sigma_2 = mS^n$) が得られるが特定の場合には強度間の比は一定となる。

強度相互間の比と比重との関係は第 12, 13, 14 図に示すように強度の比は比重の変化に伴つて変化する一定の傾向は見られずに一団となつて一定値を示すようで、又マダケの引張強度が特に大きい事が第 12 及び 14 図で明瞭である。

故に、直接種類別に各強度相互間の比を求めて第 21 表に示す結果を得た。

この比の差を種類毎に検討すれば引張強度と圧縮強度との比では総べて有意差が認められたのに対して、圧縮強度と剪断強度との比率では反対に有意差が全然認められず、又引張強度と剪断強度との比ではマダケとモウソウチク及びハチクとの間に有意差が認められた。この事からもマダケの引張強度は他の種類よりも大きい事が判明する。

従つて、第 21 表に記載したように変異係数は比較的大であるが概略的にいつて強度の比は次のようになる。

Table 21. Ratio between Strengthes.

Species	σ_t/σ_c			σ_c/σ_s			σ_t/σ_s		
	Number	Mean	Coefficient of variation %	Number	Mean	Coefficient of variation %	Number	Mean	Coefficient of variation %
MA-DAKE	28	4.01±0.163	11.0	27	4.65±0.429	22.9	23	19.72±1.913	22.0
MÖSÖ-CHIKU	29	2.73±0.115	16.4	70	4.87±0.221	18.9	46	13.36±0.763	19.0
HA-CHIKU	54	3.06±0.140	16.5	33	4.70±0.151	8.9	25	13.68±0.995	17.3
MÖSÖ-CHIKU and HACHIKU	—	—	—	—	—	—	71	13.47±0.489	18.4
Three species	—	—	—	130	4.78±0.151	18.0	—	—	—

引張強度 (σ_t) と圧縮強度 (σ_c) との比

マダケ $\sigma_t/\sigma_c=4.0$

モウソウチク $\sigma_t/\sigma_c=2.7$

ハチク $\sigma_t/\sigma_c=3.1$

圧縮強度 (σ_c) と剪断強度 (σ_s) との比

3 種類 $\sigma_c/\sigma_s=4.8$

引張強度 (σ_t) と剪断強度 (σ_s) との比

マダケ $\sigma_t/\sigma_s=19.7$

モウソウチクとハチク

$\sigma_t/\sigma_s=13.5$

この数値を木材での比と比較すれば、引張強度と圧縮強度との比 (σ_t/σ_c) は 2.7~4.0 で大体一致し、圧縮強度と剪断強度との比 (σ_s/σ_c) は 4.8 の逆数として 0.21 であつて木材よりも大である。

3. 強度の性質と壁厚との関係を第 14, 16, 17 及び 18 表から総括すれば、竹稈別には約 40% (31/68) が有意な負の相関係数が認められて、その関係は直線式で表され、種類別には約 58% (7/12) が、又 3 種類を総合した場合には 25% (1/4) が同様に直線式で表された。

従つて、強度の性質と壁厚との関係は竹稈別のみ丈ではなく種類別に綜合して取扱い得ると判断出来る。

又、これらの直線式は総べて壁厚が増加するに伴つて強度の性質は減少する事を示し、加納孟²⁸⁾の発表した針葉樹材に見られる傾向と一致して居る。

VI. 摘 要

九州大学農学部粕屋演習林荒平団地から採取したマダケ、モウソウチク及びハチクを材料として同一節間部分の横方向に隣接した個処から製作した試験片を使用して夫々圧縮強度、引張強度及び剪断強度を求め、更に同時に求めた比重及び壁厚を加えて5種類の含水率15%の状態に換算した性質間の直線的関係を検討した。特に、強度相互間の関係を木材での関係と比較した。

この研究で明らかになつた事実は次の通りである。

1. 強度と比重との関係は竹種別でなくて 夫々種類別に一括して取扱つて原点を通る直線式で表され、併も特例として圧縮強度及び剪断強度と比重の場合には 3 種類を総合しても同様に原点を通る直線式で表された。

即ち、材質的には圧縮強度及び剪断強度の面からは 3 種類共優劣になく同一であると看做される。

併し乍ら、引張強度ではモウソウチクとハチクとは一括して同一直線式でこの関係が表されるが、マダケは他の 2 種類とは異つて常数の大きな直線式で表はされ材質的には特に優秀である事が判明した。

2. 強度相互間の関係は強度と比重との関係と同様に種類別に原点を通る直線式で表はされ得るが、その常数、即ち強度間の比は夫々の種類によつて異なるものと推定された。既に種類別に直接強度相互間の比を求めると引張強度と圧縮強度との比では第 21 表のように各種類共に夫々異つた数値を示しマダケ、ハチク及びモウソウチクの順序で夫々、4.0、3.1 及び 2.7 となつた。

これに対して圧縮強度と剪断強度の比では種類別に有意差は認められず、3 種類総合して 4.8 となり、引張強度と剪断強度との比ではマダケが 19.7 で大きくモウソウチクとハチクは有意差が認められず一括して求めて 13.5 となつた。

この数値を木材での比と比較すれば引張強度と圧縮強度との比は大体一致するが、圧縮強度と剪断強度との比は木材よりも大である。

3. 強度の性質と壁厚との関係は前 2 項の場合と同様に種類別に原点を通らない直線式で表し得る。強度の性質は壁厚の増加に伴つて減少し丁度針葉樹材に見られる傾向と一致して居る。

文 献

- 1) Siointi, Uno ; Studien über Bambusse. 1. Bulletin of the Utsunomiya Agricultural College. No. 2 1932
- 2) F. Kollmann ; Technologie des Holzes. Zweite Aufl. 1. Band. 1951
- 3) 渡辺治人 ; 九大演習林報告 第13号 1938
- 4) 沢田 稔 ; 北海道林業試験集報 第68号 1949
- 5) E. N. Kuenzi ; F. P. L. Report No. 1849
- 6) N. H. Kloot ; Journal of the Council for S. I. R. Vol. 20, No. 3. 1947
- 7) N. H. Kloot ; Journal of the Council for S. I. R. Vol. 21, No. 4. 1948
- 8) 北村義重 ; 日林誌 第17巻 第2号 1935
- 9) The Timber Trade Journal. April. 21. 1934
- 10) 矢沢龜吉 ; 樺太庁中央試験所報告 第17号 1936
- 11) M. M. Barnard & I. Langlands ; Journal of Council for S. I. R. Vol. 12, No. 3. 1939
- 12) 西力造, 木村大造 ; 鹿児島農林専門学校学術報告 第15号 1949
- 13) 渡辺治人, 和田吉弘 ; 九州大学農学部研究速報 第15号 1945
- 14) 渡辺治人, 山井良三郎 ; 九州大学生産科学研究所報告 第1号 1945
- 15) E. R. Schafer ; Southern pulp and paper Manufacture. 1949

- 16) 大沢正之, 宮島寛; 北大演習林研究報告 第15卷 第2号 1952
- 17) M. Y. Pillow; Journal of F. P. R. S. Vol. 2., No. 1. 1952
- 18) M. Y. Pillow; F. P. L. Rept. No. 1989 1954
- 19) 太田 基; 日林誌 第32卷 第2号 1950
- 20) 太田 基; 九大演習林報告 第18号 1950
- 21) 太田 基; 日林誌 第33卷 第2号 1951
- 22) 太田 基; 九大演習林報告 第24号 1955
- 23) 商工省工業技術庁; 日本規格 建築 (2101) 構造用竹材試験方法 1941
- 24) 太田 基; 九大演習林報告 第26号 1955
- 25) 太田 基; 九大演習林報告 第24号 1955
- 26) 太田 基; 九大演習林報告 第21号 1953
- 27) G. E. Heck; F. P. L. Rept. No. D 1765 1950
- 28) 加納 孟; 木材工業 第 12 卷, 第 1 号 1957

STUDIES ON THE PROPERTIES OF BAMBOO STEM (Part 15)

On the Relations among Strength Properties, Specific Gravity,
and Wall Thickness

Motoi ŌTA

(R é s u m e)

The purpose of this experiment is to seek for the linear relations among the strength properties (compressive strength, tensile strength, and shearing strength), the specific gravity and the wall thickness, adjusted to 15% moisture content condition, of MA-DAKE (*Phyllostachys reticulata* C. Koch), MŌSŌ-CHIKU (*Phyllostachys pubescens* Mazel), and HA-CHIKU (*Phyllostachys nigra* var. *Henonis* Staph.), and to compare them with that of wood. Each set of specimen was taken from laterally adjoining parts at the center of a node interval.

The results of this experiment are summarized as follows:

1. The relation between the strength properties and the specific gravity with each species, and the relation between the compressive strength and the specific gravity, and that between the shearing strength and the specific gravity with the three species can be expressed by a linear empirical equation ($\sigma = aS$) passing through the origin as shown in Table 6.

The relation between the tensile strength and the specific gravity of MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU can be expressed by the same linear empirical equation, but with MA-DAKE, the relation is expressed by a different linear empirical equation with a larger constant than the former equation. Therefore, it becomes clear that the specific tensile strength of MA-DAKE is superior to those of the other species as shown in Table 20.

2. The relation among the three strength properties can be expressed by a linear empirical equation passing through the origin with each species, as in the case of the relation between the strength properties and the specific gravity, but it is considered that the constants of the three empirical equations (ratios among the strengths) vary with species as shown in Table 11.

The ratios of the tensile strength to the compressive strength vary with the three species as shown in Table 21 and their mean values are 4.0, 3.1 and 2.7 for MADAKE, HA-CHIKU and MŌSŌ-CHIKU respectively. There is no significant difference among the species in the ratios of the compressive strength to the shearing strength and the mean value of the ratios is 4.8 for the three species. The ratios of the tensile strength to the shearing strength of MA-DAKE is the largest among the three species and its mean value is 19.7, but there is no significant difference between MŌSŌ-CHIKU and HA-CHIKU, and its mean value is 13.5.

When these values of the strength ratios are compared with those of wood, it is found that the ratio of the tensile strength to the compressive strength of bamboo does not differ, but the ratio of the compressive strength to the shearing strength is larger than that of wood.

3. The relation between the strength properties and the wall thickness can be expressed by the same linear empirical equation that does not pass through the origin, with the three species as shown in Table 18. The thicker the stem wall, the lower strength properties, as the relation between the strength properties and the annual ring width of soft wood.