

竹林の性質に関する研究(第9報) : 竹林の圧縮強度 と含水率との関係

太田, 基

<https://doi.org/10.15017/14953>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 22, pp.87-108, 1953-12-30. Research Institution of
University Forests, Faculty of Agriculture, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :



竹材の性質に関する研究 (第9報)

竹材の圧縮強度と含水率との関係

太 田 基

Motoi ŌTA: Studies on the Properties of Bamboo Stem (Part 9)
On the Relation between Compressive Strength Parallel to
Grain and Moisture Content of Bamboo Splint

I 緒 言

竹材は木材によく似た性質を有し木材と 大体同様に取扱い得る事は 種々の研究結果或いは現実の用途から推察されるところである。従つて竹材の強度的性質に対するその含有水分の影響も、木材におけると同様な傾向が存在するものと予想し得られる。この関係については木材に対する程詳細な研究結果の発表は無く、茂庭¹⁾、矢沢²⁾及び鈴木³⁾が生材(水漬材)と氣乾材との強度的性質を比較して、後者が前者よりも大であるが 其の差は木材に比して 僅少であると発表して居るのを筆者は知るのみである。この空白を埋める目的で、先ず比較的実験が正確簡単に行えて、且つ木材においては含水率の差による強度的性質の変化の多い繊維方向に平行な圧縮試験⁴⁾を行い、本関係を検討した。又竹材の繊維飽和点に関しては未だ何等の報告をも見ないが、竹材が木材に類似して居る以上、その存在は当然予想されてよい筈である。従つて本研究においては同時に竹材の繊維飽和点の存否及びその含水率をも併せて検討した。

本研究に際し 御指導を賜つた 渡辺教授に対し感謝の意を表すると共に研究費の一部には文部省科学研究費を当てた事を附記する。

II 実験材料及び方法

A. 実験材料。 福岡県粕屋郡篠栗町にある九州大学粕屋演習林荒平団地から昭和 23 年に採取し、輪切りにして室内で乾燥した次の種類の材を実験に使用した。

モウソウチク	<i>Phyllostachys edulis</i> Riv.
マダケ	<i>Phyllostachys pubescens</i> Mazel
ハチク	<i>Phyllostachys nigra</i> var. <i>Henonis</i> Stapf.

B. 試験片。 1個の節間の材質に変動の殆んど無い中央部⁹⁾から、繊維方向に割つて細長い断面が正方形に近い竹片を4本作り、I型を外皮層及び内皮層を有する其儘の全稜壁試験材、II型を内皮層のみを削り取つた試験材、III型を外皮層のみを削り取つた試験材又IV型を内皮層及び外皮層を共に削り取つた試験材とした。各試験材からは連続して第4報⁹⁾において決定した型の試験片を9個宛作製しこれを1組とした。材料の関係上I型は各種類共5組としたが他の型は不足して次に示す試験片を準備した。

	I 型	II 型	III 型	IV 型	計
モウソウチク	5 組	5 組	5 組	5 組	180 個
マダケ	5 組	3 組	3 組	3 組	126 個
ハチク	5 組	—	—	—	45 個

即ち合計 351 個であるが含水率の調整時に 3 個は実験不可能となつたので結局実験を行つたのは 348 個である。

C. 含水率の調整。 試験片の含水率を変化させるために 7 個のデシケーターを使用して濃度を変えた硫酸を下部に入れ又別に 1 個は塩化石灰を入れたデシケーターを用いた。試験片をデシケーターの上部に入れ恒量に達した後取り出して直ちに実験を行つたが、恒量に達する期間の長いものは約 1 ヶ月間であつた。更に水中に浸漬して充分吸水せしめた試験片についても実験を行つた。以上を表示すれば次のようである。

試験片番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
硫酸の濃度(%)	(水漬)	10	20	30	40	50	65	78	(塩化石灰)
含水率(%)	50~99	17~28	14~17	10~13	6~8	5~7	2~4	0.7~2	0.3~1

D. 実験方法。 デシケーター中で重量が一定に達した後、先ず重量を測定し次に長さ、体積の測定、強度試験の順序で連続して実験を行つた。其他の実験方法は第4報⁹⁾と同様である。

III 実験結果

A. 含水率。 含水率の範囲を示せば第1a, b, c, d表のように、試験片番号の5と6及び8と9の間には差が少いが、其他では比較的に好都合な分配状態で、夫々の段階の間において有意差が認められた。併し乍ら処理別即ちI, II, III及びIV別並び

に種類別の間には含水率の有意差は認められなかった。

Table 1a. Ranges of mechanical properties of
bamboo splint with whole stem wall (I)

Specimen		Number of tests	Moisture content % (<i>u</i>)	Specific gravity gr/cm ³ (<i>S</i>)	Compressive strength kg/cm ² (σ_c)	Ratio of strength to specific gravity (σ_c/S)
MŌSŌ-CHIKU	1	5	50.0~75.3	1.059~1.191	582.5~ 771.9	550~ 652
	2	5	18.2~22.1	0.731~0.984	594.3~ 809.1	782~ 830
	3	5	15.7~16.1	0.748~0.956	595.1~ 833.9	796~ 882
	4	5	12.2~12.8	0.789~1.000	724.2~ 915.7	890~ 956
	5	5	6.3~ 6.8	0.768~0.949	987.6~1,218.4	1,212~1,306
	6	5	5.7~ 6.2	0.765~0.942	948.6~1,217.6	1,235~1,293
	7	5	2.8~ 3.3	0.757~0.929	1,140.2~1,441.5	1,307~1,582
	8	5	0.7~ 1.6	0.742~0.924	1,257.5~1,603.3	1,587~1,847
	9	5	0.6~ 0.9	0.744~0.916	1,278.7~1,656.1	1,614~1,861
MA-DAKE	1	5	60.1~79.0	1.124~1.213	574.4~ 706.3	494~ 613
	2	5	18.6~21.6	0.811~0.949	653.7~ 700.8	728~ 815
	3	5	14.6~16.8	0.821~0.963	738.2~ 790.3	767~ 903
	4	5	12.0~13.2	0.860~0.949	729.7~ 806.3	792~ 938
	5	5	6.8~ 7.7	0.839~0.941	967.9~1,066.5	1,048~1,221
	6	5	6.1~ 6.8	0.836~0.926	1,082.9~1,110.7	1,189~1,312
	7	5	2.9~ 3.8	0.822~0.926	1,145.1~1,241.8	1,237~1,420
	8	5	1.1~ 1.8	0.838~0.911	1,284.3~1,422.4	1,527~1,616
	9	5	0.9~ 1.1	0.810~0.928	1,297.1~1,510.1	1,476~1,665
HA-CHIKU	1	5	56.2~69.7	1.178~1.260	634.3~ 752.9	538~ 602
	2	5	21.5~28.4	0.869~1.049	662.0~ 744.8	673~ 790
	3	5	14.8~16.1	0.934~0.995	714.0~ 858.0	764~ 862
	4	5	11.1~12.4	0.918~0.987	768.3~ 862.4	823~ 906
	5	5	6.1~ 7.2	0.904~0.965	953.1~1,099.4	1,037~1,186
	6	5	6.6~ 6.7	0.908~0.937	1,059.5~1,082.9	1,156~1,167
	7	5	3.7~ 4.1	0.889~0.983	1,102.9~1,340.0	1,241~1,444
	8	5	1.1~ 2.4	0.857~0.946	1,182.6~1,500.0	1,380~1,661
	9	5	1.0~ 1.7	0.893~0.930	1,284.7~1,523.5	1,439~1,627

Table 1b. Ranges of mechanical properties of
bamboo splint without inner-layer (II)

Specimen		Number of tests	Moisture content % (<i>u</i>)	Specific gravity gr/cm ³ (<i>S</i>)	Compressive strength kg/cm ² (σ_c)	Ratio of strength to specific gravity (σ_c/S)
MŌSŌ-CHIKU	1	5	51.2~86.0	1.047~1.205	531.8~ 857.6	508~ 712
	2	5	17.8~21.5	0.720~0.983	563.2~ 902.5	782~ 918
	3	5	15.1~16.2	0.701~0.980	595.5~ 915.7	825~ 934
	4	5	11.5~12.7	0.745~0.962	675.8~ 971.1	895~1,009
	5	5	6.2~ 6.6	0.730~0.950	864.3~1,185.8	1,184~1,316
	6	5	5.2~ 6.3	0.729~0.929	853.7~1,238.9	1,171~1,334
	7	5	1.7~ 3.5	0.721~0.926	1,039.8~1,426.5	1,436~1,589
	8	5	0.9~ 1.3	0.719~0.914	1,207.9~1,643.6	1,677~1,851
	9	5	0.4~ 0.9	0.712~0.906	1,165.3~1,588.8	1,629~1,805
MA-DAKE	1	3	62.6~69.4	1.159~1.229	628.5~ 716.1	512~ 618
	2	3	18.5~21.1	0.901~0.939	635.9~ 749.4	698~ 832
	3	3	14.4~15.7	0.901~0.943	682.8~ 796.9	738~ 845
	4	3	12.0~12.7	0.925~0.949	757.0~ 857.4	818~ 903
	5	3	6.8~ 7.3	0.928~0.931	1,046.3~1,107.3	1,127~1,193
	6	3	6.0~ 6.7	0.908~0.953	1,099.7~1,193.7	1,211~1,269
	7	3	3.0~ 3.6	0.906~0.937	1,186.2~1,300.4	1,309~1,388
	8	3	1.2~ 2.0	0.886~0.933	1,375.8~1,448.8	1,553~1,576
	9	3	0.9~ 1.6	0.887~0.935	1,348.7~1,536.0	1,521~1,643

Table 1c. Ranges of mechanical properties of
bamboo splint without outer-layer (III)

Specimen		Number of tests	Moisture content % (<i>u</i>)	Specific gravity gr/cm ³ (<i>S</i>)	Compressive strength kg/cm ² (σ_c)	Ratio of strength to specific gravity (σ_c/S)
MŌSŌ-CHIKU	1	5	54.8~83.1	1.092~0.214	502.0~ 749.7	460~ 655
	2	5	18.5~20.3	0.754~0.972	607.8~ 812.1	747~ 835
	3	5	15.6~16.2	0.717~0.959	586.4~ 797.5	818~ 868
	4	5	12.2~13.0	0.768~0.955	684.3~ 857.6	875~ 916
	5	5	6.2~ 7.1	0.751~0.952	880.7~1,225.3	1,173~1,318
	6	5	5.7~ 6.3	0.756~0.929	881.6~1,190.0	1,160~1,284
	7	5	3.0~ 3.5	0.740~0.922	1,123.3~1,439.7	1,333~1,582
	8	5	0.8~ 1.3	0.728~0.910	1,201.8~1,617.1	1,606~1,801
	9	5	0.3~ 0.9	0.727~0.907	1,094.8~1,645.6	1,506~1,849
MA-DAKE	1	3	57.4~67.0	1.158~1.223	593.8~ 671.7	508~ 556
	2	3	19.5~22.7	0.881~0.948	651.9~ 698.2	706~ 748
	3	3	14.6~16.7	0.944~0.995	717.2~ 770.5	784~ 816
	4	3	10.9~12.7	0.932~0.973	774.3~ 801.4	824~ 849
	5	3	7.2~ 8.3	0.920~0.943	981.8~1,021.7	1,041~1,111
	6	3	6.2~ 7.1	0.925~0.949	1,097.9~1,154.9	1,157~1,249
	7	3	3.5~ 3.9	0.914~0.953	1,127.8~1,280.1	1,230~1,401
	8	3	0.9~ 1.5	0.892~0.932	1,368.9~1,464.2	1,333~1,641
	9	3	0.7~ 0.9	0.886~0.935	1,199.3~1,422.4	1,459~1,605

Table 1d. Ranges of mechanical properties of bamboo splint without inner-and outer-layer (IV)

Specimen	Number of tests		Moisture content % (μ)	Specific gravity gr/cm^3 (S)	Compressive strength kg/cm^2 (σ_c)	Ratio of strength to specific gravity (σ_c/S)
MŌSŌ-CHIKU	1	5	55.3~99.2	1.068~1.200	490.3~ 808.5	459~ 674
	2	5	16.6~21.8	0.669~0.946	562.4~ 821.3	733~ 868
	3	5	15.6~17.0	0.689~0.963	540.5~ 896.8	784~ 931
	4	5	10.4~12.4	0.724~0.958	618.3~ 989.8	854~1,033
	5	5	6.1~ 6.6	0.709~0.953	808.8~1,210.2	1,141~1,270
	6	5	5.3~ 6.0	0.704~0.945	804.7~1,162.2	1,143~1,321
	7	5	1.9~ 3.3	0.700~0.927	956.3~1,381.0	1,366~1,539
	8	5	0.7~ 1.3	0.693~0.917	1,094.2~1,584.0	1,579~1,869
	9	5	0.4~ 0.9	0.706~0.902	1,125.6~1,576.4	1,594~1,801
MA-DAKE	1	3	62.1~72.2	1.187~1.220	576.0~ 693.8	472~ 584
	2	3	19.1~22.0	0.863~1.024	618.4~ 815.5	701~ 796
	3	3	14.6~16.5	0.857~0.978	703.7~ 816.1	781~ 834
	4	3	12.2~12.6	0.915~0.948	744.5~ 800.4	795~ 844
	5	3	7.0~ 7.6	0.887~0.949	884.7~1,121.1	995~1,181
	6	3	6.4~ 7.0	0.864~0.941	993.8~1,170.5	1,150~1,244
	7	3	2.9~ 3.5	0.879~0.949	969.6~1,251.9	1,103~1,319
	8	3	1.3~ 1.9	0.855~0.913	1,195.8~1,447.2	1,399~1,589
	9	3	1.2~ 1.3	0.891~0.913	1,248.0~1,396.3	1,401~1,538

B. 比 重。第1表に示すように大体においてモウソウチクが最小でマダケが之に次ぎハチクが最大となるようであつて、既発表の諸結果並びに筆者⁷⁾の得た結果と同一傾向を有して居る。含水率の増加に伴い比重は増加する傾向が認められる。

C. 圧縮強度。第1表に示すように含水率が増加するに伴い圧縮強度は減少する傾向が明かに認められ、併も3種類を通じて絶乾に近い状態の強度は水漬時の強度の2.0~2.3倍に達して居る。木材について生材と絶乾材の強度を比較して見れば F. Kollmann⁸⁾の示す図からは3.5~4.5倍、渡辺⁹⁾の満洲産材の結果からは3.4~4.1倍となる。従つて竹材の水漬材と絶乾材の強度の比は木材のそれよりも小である事が判明する。

D. 比圧縮強度。材質を評価する一手段として求めた圧縮強度と比重との比は、第1表に示すようにモウソウチクが大で、マダケとハチクは類似して居るようである。圧縮強度と比重は共に含水率の増減によつて変化するが、その傾向は互いに反対であるから比圧縮強度の含水率に対する変化は圧縮強度の変化よりも更に大であるのも当然と考えられる。

IV 検 討

A. 圧縮強度と含水率との関係。木材においては両者の関係は、既に多くの研究によつて繊維飽和点以下の含水率の極めて狭い範囲内では簡単に直線的⁴⁾であるとして取扱い得るが広範囲内では指数曲線式で現される事が明かにされて居る。

竹材についても程度の差はあるが、木材と同様に含水率による強度的性質の変化^{1), 2), 3)}が既に認められて居り、かつ木材の一個の年輪と看做し得るものであるから、当然竹材の強度的性質の含水率による変化の状態も木材に類似す可き事が予想される。

実験結果から両者の関係を種類別並びに処理別について各種類1例宛を図示すれば第1a, b, c 図のように繊維飽和点が存在し、かつ圧縮強度と含水率との関係は含水率が繊維飽和点以下の範囲では指数曲線式で現され、繊維飽和点以上では強度が一定となる傾向が見られる。

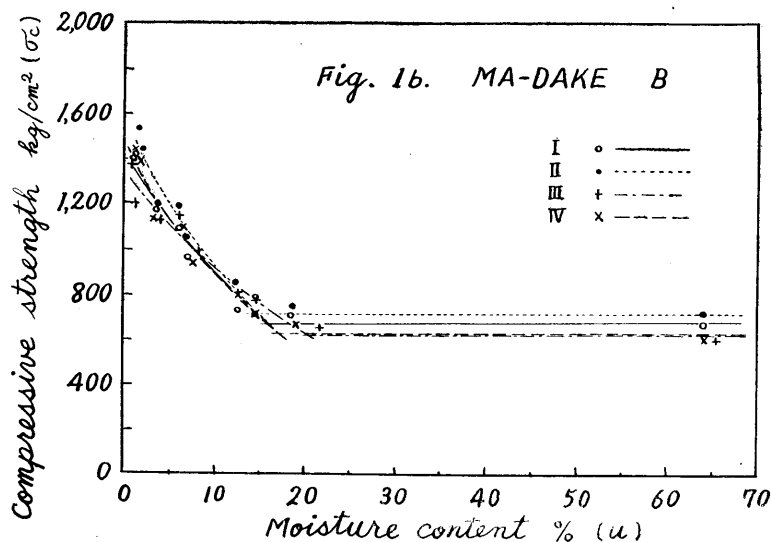
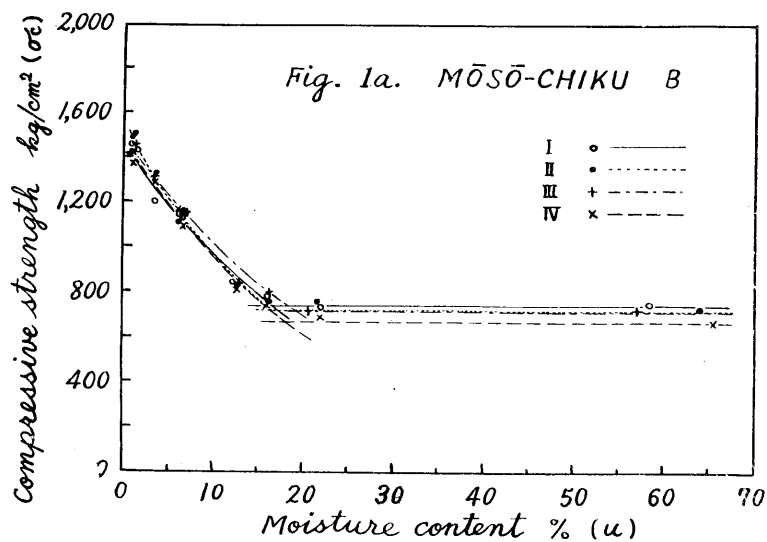
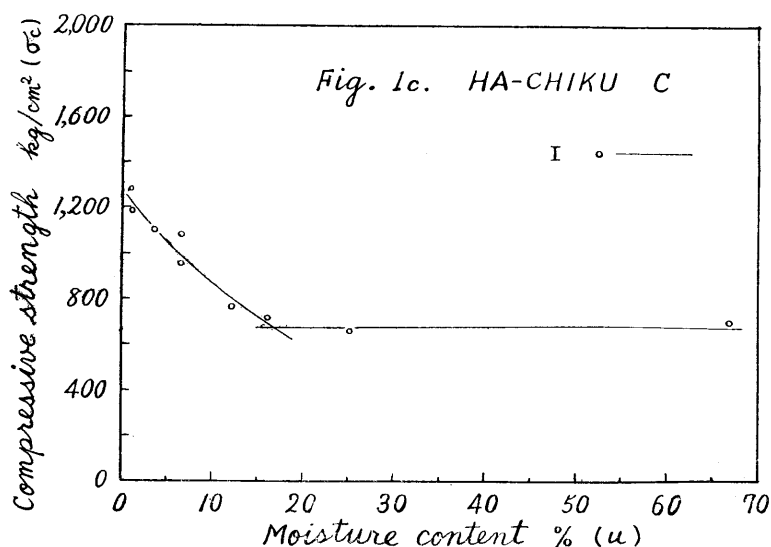


Table 2. The correlation, regression and empirical formula
between the strength (σ_c) and the moisture content (u),
and the fiber-saturation point

Specimen			Correlation coefficient	Regression coefficient	Empirical formula $\sigma_c = ae^{bu}$		Fiber- saturation point %
					a	b	
MŌSŌ-CHIKU	A	I	-0.992 ***	-0.0212 ***	1,667	-0.0488	15.3
		II	-0.989 ***	-0.0223 ***	1,664	-0.0487	16.6
		III	-0.993 ***	-0.0209 ***	1,664	-0.0482	16.5
		IV	-0.965 **	-0.0241 **	1,568	-0.0555	15.3
	B	I	-0.985 ***	-0.0181 ***	1,468	-0.0418	16.4
		II	-0.994 ***	-0.0204 ***	1,540	-0.0469	16.2
		III	-0.990 ***	-0.0165 ***	1,475	-0.0381	19.0
		IV	-0.992 ***	-0.0193 ***	1,468	-0.0444	17.9
	C	I	-0.983 ***	-0.0210 ***	1,550	-0.0483	15.9
		II	-0.991 ***	-0.0237 ***	1,528	-0.0545	14.2
		III	-0.996 ***	-0.0218 ***	1,623	-0.0502	17.4
		IV	-0.987 ***	-0.0253 ***	1,504	-0.0582	14.1
	E	I	-0.984 ***	-0.0185 ***	1,284	-0.0425	18.6
		II	-0.982 ***	-0.0181 ***	1,156	-0.0417	18.6
		III	-0.988 ***	-0.0205 ***	1,211	-0.0472	16.5
		IV	-0.989 ***	-0.0203 ***	1,101	-0.0467	17.3
	G	I	-0.982 ***	-0.0165 ***	1,545	-0.0381	18.8
		II	-0.988 ***	-0.0158 ***	1,530	-0.0365	15.9
		III	-0.974 ***	-0.0201 ***	1,513	-0.0463	15.9
		IV	-0.987 ***	-0.0166 ***	1,565	-0.0382	17.3
MA-DAKE	A	I	-0.991 ***	-0.0180 ***	1,416	-0.0414	21.8
		II	-0.988 ***	-0.0195 ***	1,419	-0.0449	18.1
		III	-0.971 ***	-0.0176 ***	1,386	-0.0406	18.9
		IV	-0.961 ***	-0.0174 ***	1,235	-0.0402	19.0
	B	I	-0.971 ***	-0.0208 ***	1,443	-0.0479	16.0
		II	-0.984 ***	-0.0236 ***	1,595	-0.0543	14.8
		III	-0.969 ***	-0.0166 ***	1,350	-0.0383	20.2
		IV	-0.977 ***	-0.0216 ***	1,460	-0.0496	16.9
	D	I	-0.995 ***	-0.0238 ***	1,545	-0.0549	15.1
		II	-0.992 ***	-0.0189 ***	1,529	-0.0436	17.2
		III	-0.982 ***	-0.0193 ***	1,495	-0.0444	18.2
		IV	-0.990 ***	-0.0153 ***	1,460	-0.0353	18.7
	E	I	-0.994 ***	-0.0170 ***	1,366	-0.0392	20.9
	F	I	-0.989 ***	-0.0176 ***	1,377	-0.0406	16.4
HA-CHIKU	A	I	-0.979 ***	-0.0199 ***	1,503	-0.0458	17.2
	B	I	-0.958 **	-0.0191 **	1,552	-0.0439	17.8
	C	I	-0.973 ***	-0.0165 ***	1,285	-0.0380	16.8
	D	I	-0.986 ***	-0.0213 ***	1,521	-0.0490	16.1
	E	I	-0.983 ***	-0.0191 ***	1,466	-0.0439	17.1

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

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



圧縮強度 (σ_c) の対数 ($\log \sigma_c$) と含水率 (u) との関係は直線的となり、従つて両者の相関及び回帰関係を求めて第2表のように総べて極めて有意でかつ高度な相関係数と回帰係数を得た。

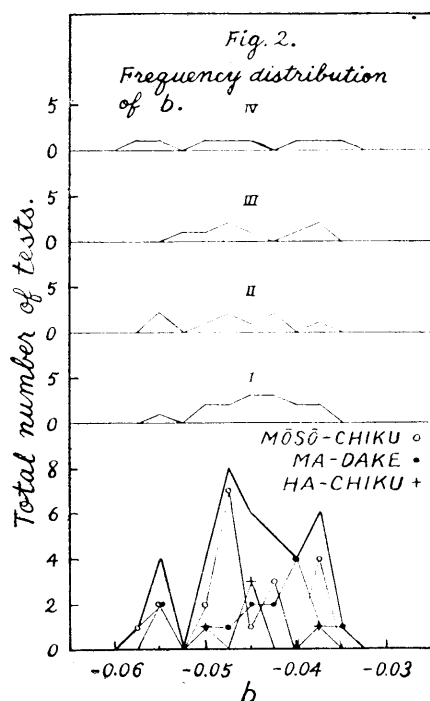
故に圧縮強度と含水率との関係は指数曲線式 ($\sigma_c = ae^{bu}$) によつて示し得る事が確實になつた。実験式の常数 a, b は第2表に示す。常数 b を検討するに第3表のように種類別及び処理別においてその範囲並びに平均値に大差は無く 夫々の間に有意差は認められなかつた。

Table 3. The values of "b"

Specimen	Range	Average
MŌSŌ-CHIKU	-0.0365~-0.0582	-0.0461
MA-DAKE	-0.0353~-0.0549	-0.0439
HA-CHIKU	-0.0380~-0.0490	-0.0441
I	-0.0381~-0.0549	-0.0443
II	-0.0365~-0.0545	-0.0464
III	-0.0381~-0.0502	-0.0452
IV	-0.0353~-0.0582	-0.0460
Whole	-0.0353~-0.0582	-0.0450 ± 0.00247

本結果 (-0.035~-0.058) を満洲産⁹⁾、米国产¹⁰⁾ 及び 欧州産¹¹⁾ 木材の b の値 (-0.025~-0.069) に比較すれば殆んど一致するようである。

又常数 b の頻度を種類別 及び 処理別に示せば第2図のように、夫々については有意差は認められず、全体を綜合すれば或る点に集中する傾向が見られる。



従つて総平均値を求めれば 0.0450 ± 0.00247 を得、その変異係数は 12.7 % である。

又繊維飽和点以下の圧縮強度の換算式を求めれば次の如し。

$$\log \sigma_{e1} = \log \sigma_{e2} - 0.0195 (u_1 - u_2)$$

但し、 σ_{e1} 及び σ_{e2} は含水率 u_1 及び u_2 の場合の圧縮強度。

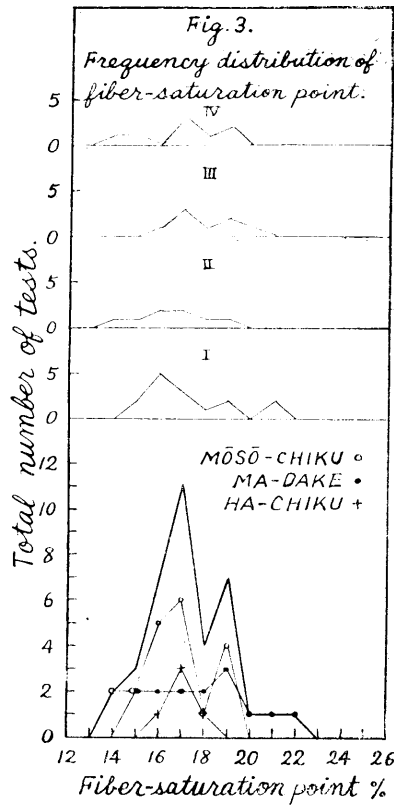
第 2 表に示す常数 a の値には相当な差異があるが、 a は絶乾状態における圧縮強度を示すものであり、各組の実験材料の強度は夫々異なるものであるから当然異つてよい筈のものである。

B. 繊維飽和点。第 1 図から推察されるように、竹材にも木材と同様に繊維飽和点が存在すると考えられる。前項で求めた圧縮強度—含水率曲線 ($\sigma_e = ae^{bu}$) と水漬材の圧縮強度から繊維飽和点を算出して第 2 表の結果を得た。

Table 4. The values of fiber-saturation point (%)

Specimen	Range	Average
MOSŌ-CHIKU	14.1~19.0	16.7
MA-DAKE	14.8~21.8	17.9
HA-CHIKU	16.1~17.8	17.0
I	15.3~21.8	17.3
II	14.2~18.6	16.5
III	15.9~20.2	17.8
IV	14.1~19.0	17.1
Whole	14.1~21.8	17.2 ± 1.72

種類別及び処理別の間において繊維飽和点の差を検定したが総べて有意差が認められなかつた。第 2 表の数値を更に綜括すれば第 4 表のように種類別及び処理別の間には大差が無く近似値を示して居る。故に繊維飽和点の頻度を種類別及び処理別に表示せば第 3 図のように、夫々については実験回数が少いために明瞭な傾向は認められなかつたが、全体を綜合すれば或る点に集中する傾向が見られる。従つて総平均値



を求めれば $17.2 \pm 1.72\%$ を得、その変異係数は 10.0% である。

本実験で求めた竹材の繊維飽和点の $14 \sim 22\%$ を木材の $20 \sim 35\%$ に比較すると両者間には 相当な 差異の 存在が見られる。本研究においては圧縮強度のみから求めた繊維飽和点であるから、その数値が確定的なものであるとは未だ考えられないので今後更に研究をする予定である。

併し乍ら 茂庭¹⁾、矢沢²⁾ 及び 鈴木³⁾ 等が竹材の種々の強度的性質に関して、気乾材と水漬材とでは余り大差が無いが、含水率の減少に伴い強度は大となると発表して居る事實は、本結果の竹材の繊維飽和点の含水率が木材よりも小で、従つ

て気乾状態の含水率との差が木材よりも小である事から都合よく説明し得られる。

又 鈴木¹⁾ が竹繊維の繊維飽和点が木材よりも低い事を予想して居る報告を実証し得られる。

C. 絶乾材と水漬材との圧縮強度の比。前項 A 及び B において圧縮強度と含水率との関係の実験式の常数 b と繊維飽和点とは本実験の材料に関する限りにおいては種類別及び処理別を問はず殆んど一定値を示す事が明かになった。従つて実験式 $\sigma_e = ae^{bu}$ を書換えれば $a/\sigma_e = 1/e^{bu}$ となりその右辺は繊維飽和点においては一定となる。

Table 5. The values of ratio of strength
for oven-dry to green (a/σ_{eg})

Specimen	Range	Average
MŌSŌ-CHIKU	1.78~2.41	2.17
MA-DAKE	2.10~2.49	2.24
HA-CHIKU	1.85~2.40	2.14
I	1.85~2.47	2.17
II	1.78~2.35	2.16
III	2.06~2.41	2.23
IV	1.94~2.49	2.22
Whole	1.78~2.49	2.19 ± 0.049

故に圧縮強度 (σ_c) は繊維飽和点以上では一定であると看做せば、水漬材の圧縮強度 (σ_{cg}) と絶乾材の圧縮強度 (a) との比は一定でなければならない。

その比 (a/σ_{cg}) を夫々実験値から算出して 第 5 表の結果を得た。

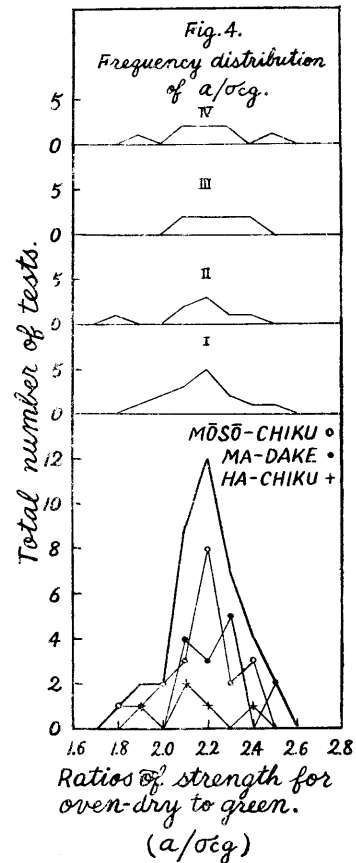
種類別及び処理別の間において絶乾材と水漬材との圧縮強度の比 (a/σ_{cg}) の差を検定したが有意差は認められなかつた。併も大体近似値を示して居る。故に a/σ_{cg} の頻度を種類別 及び 処理別に示せば第4図のように、夫々については明瞭な傾向は認められなかつたが、全体を綜合すれば 2.19 ± 0.049 を得、その変異係数は 7.0 % である。

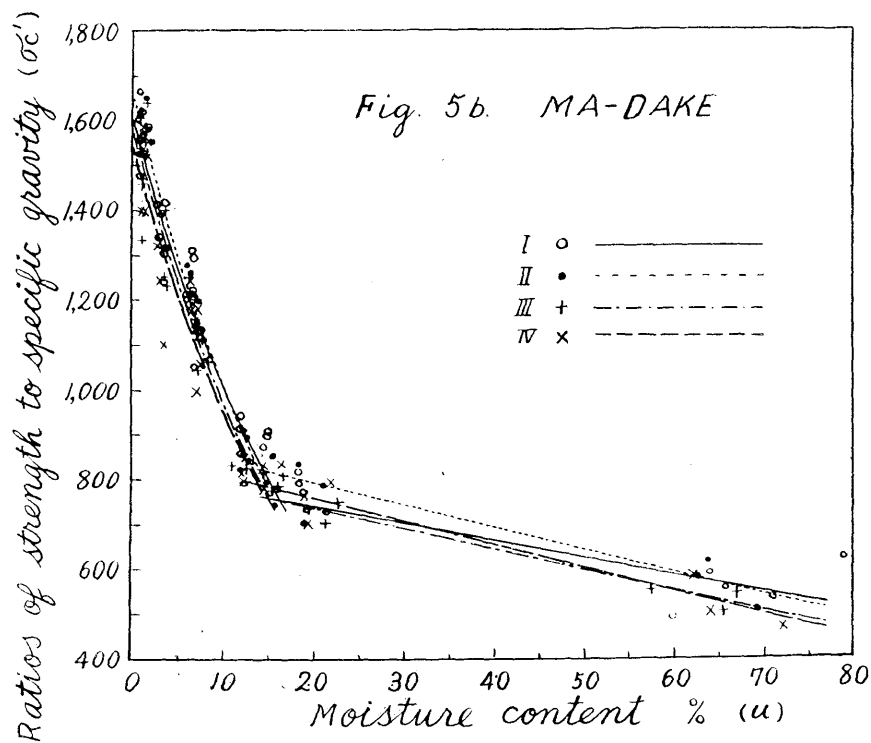
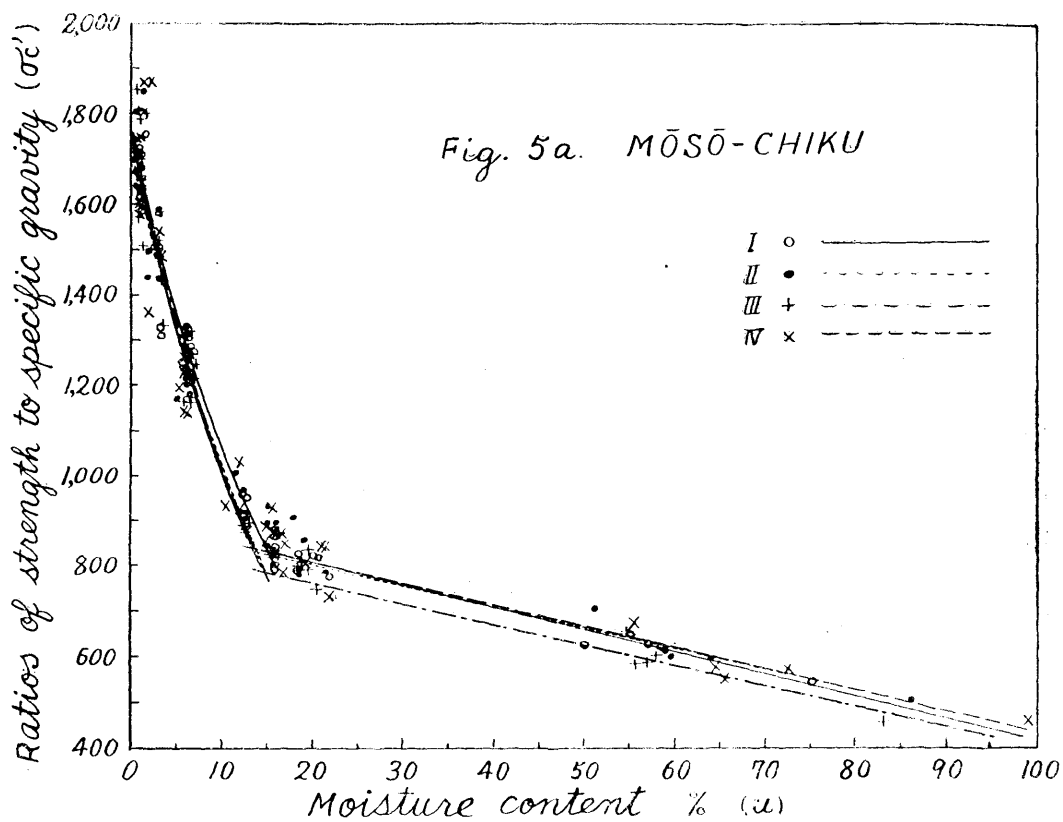
木材における絶乾材と生材との圧縮強度の比が前述 (III. c.) のように約 4 であるとすれば竹材は約 2.2 で木材の比の 0.55 に相当する。鈴木³⁾ のヒノキとモウソウチクの曲げ試験の結果から算出すれば約 0.57 となり類似した数値を示す。

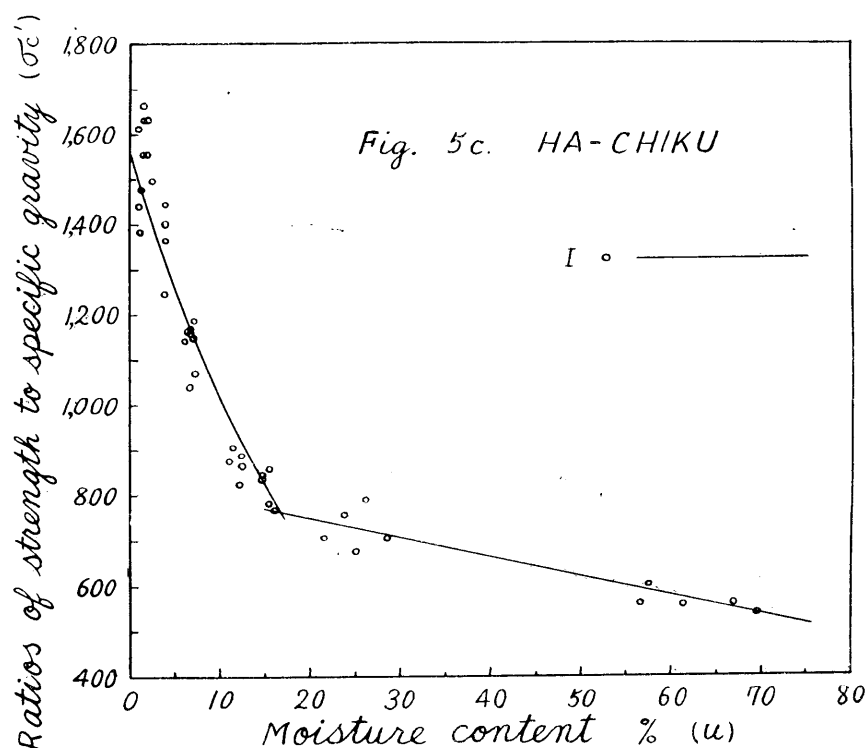
D. 比圧縮強度と含水率との関係。 比圧縮強度は圧縮強度と比重との比で表されるが、後 2 者は共に含水率の変化に伴つて変化し、その変化状態は反対の傾向を示す。即ち圧縮強度は繊維飽和点以上の含水率では変化せず、繊維飽和点以下では指数曲線的に含水率の減少に伴い増加する。これに反して比重は繊維飽和点以上では含水率の減少に伴い直線的に減少し繊維飽和以下では比較的緩慢に双曲線的(殆んど直線的と看做し得る程度)に減少する¹³⁾。

従つて比圧縮強度と含水率との関係は 繊維飽和点以下では 圧縮強度と含水率との関係に類似するがその変化の割合が大、即ち関係曲線の傾斜が急であり、繊維飽和点以上では含水率の増加に伴い直線的に減少しなければならない。F. Kollmann⁸⁾ は既にこの関係をマツとブナとについて連続した曲線を採用して図示して居る。

本実験結果から比圧縮強度 (σ'_c) と含水率 (u) との関係を示せば、第 1 表 及び 第 5 a, b, c 図のように繊維飽和点以下では指数曲線的に、又繊維飽和点以上では直線的に変化するようである。







繊維飽和点以下において比圧縮強度 (σ'_c) の対数 ($\log \sigma'_c$) と含水率 (μ) との関係は直線的となる。従つて両者の相関及び回帰関係を求めて、第 6 表に示すように総べて極めて有意で且つ高度な相関係数と回帰係数を得た。故に比圧縮強度と含水率との関係は指数曲線式 ($\sigma'_c = Ce^{Du}$) に依つて示し得る事が確實となつた、実験式の常数 C , D は第 6 表に示す。

常数 C , D は共に種類間即ちモウソウチクとマダケとの間には水準 0.5 で有意差が認められ前者が大であるが、処理別間においては有意差が認められなかつた。

又繊維飽和点以上においては比圧縮強度と含水率とは直線的な関係が見られるので、両者の相関及び回帰関係を求めれば、第 6 表のように有意で高度な相関係数と回帰係数を得た。従つて両者の関係は直線式 ($\sigma'_c = A + Bu$) に依つて示され得る。実験式の常数 A , B は第 6 表に示す。

常数 A , B は共に種別及び処理別の間において有意差は認められなかつたが、常数 A は第 6 図のように常にモウソウチクがマダケよりも大であつた。

即ちモウソウチクはマダケよりも比圧縮強度は大で且つ繊維飽和点以下では含水率の減少に伴い益々マダケより大となるのである。ハチクはマダケと殆んど同様な変化状態を示す。

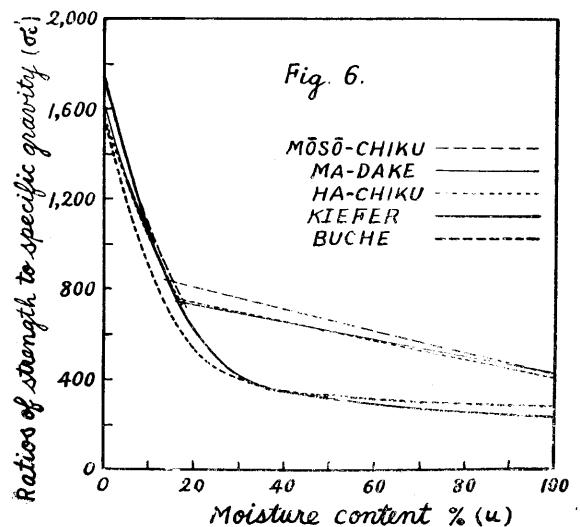
Table 6. The correlation, regression and empirical formula between the ratio of strength for specific gravity (σ'_c) and the moisture content (u)

Specimen		Above the fiber-saturation point			Below the fiber-saturation point			
		Correlation coefficient	Regression coefficient (B)	Empirical formula $\sigma'_c = A + Bu$ (A)	Correlation coefficient	Regression coefficient	Empirical formula $\sigma'_c = Ce^{Du}$	
							(C)	(D)
MŌSŌ-CHIKU	I	-0.987 ***	-4.9 ***	910	-0.978 ***	-0.0210 ***	1,742	-0.0483
	II	-0.967 **	-4.6 **	900	-0.972 ***	-0.0226 ***	1,743	-0.0520
	III	-0.961 **	-4.5 **	854	-0.974 ***	-0.0237 ***	1,760	-0.0546
	IV	-0.864 **	-4.7 **	903	-0.960 ***	-0.0237 ***	1,748	-0.0545
MA-DAKE	I	-0.989 *	-3.8 **	812	-0.969 ***	-0.0202 ***	1,627	-0.0465
	II	-0.958 **	-4.9 **	888	-0.982 ***	-0.0218 ***	1,657	-0.0501
	III	-0.973 **	-4.5 **	826	-0.962 ***	-0.0214 ***	1,591	-0.0494
	IV	-0.952 **	-5.1 **	858	-0.951 ***	-0.0210 ***	1,554	-0.0484
HA-CHIKU	I	-0.924 ***	-4.2 ***	831	-0.914 ***	-0.0186 ***	1,563	-0.0429

本実験の範囲内では外皮層及び内皮層の有無が比圧縮強度に及ぼす影響は見出せなかった。

絶乾状態における比圧縮強度を Janka¹⁴⁾の結果と比較すれば、モウソウチク(1,742)のみがカラマツ(1,760)及びトウヒ(1,734)に匹敵しマダケ(1,627)及びハチク(1,563)は幾分劣るようである。

本結果を F. Kollmann⁸⁾の結果と比較すれば、第6図に示すように繊維飽和点以下では Kiefer とは大体類似するが Buche とは幾分相違が見られる。繊維飽和点以上では本結果の方が変化の割合及び比圧縮強



度は共に大である。

E. 標準状態における強度的性質。木材の性質を表現する場合には、その性質に最も大きな影響を与えるところの含水率に一定の規準（法正含水率）を定めて標準状態とし、その状態における数値を以て示すのである。前記のように竹材も木材と同様に含水率によつてその性質に差異を生ずるので、当然標準状態を考慮する必要が認められる。

木材の標準状態は我国のように含水率を 15 % と規定する場合と、アメリカ、ドイツ或いは F. A. O. 試案のように 12 % とする場合とがある。この相違は我国特有な多湿な気候に対し実用面から考えて規定された事に起因するが、一方學術或いは研究面から考えれば大多数の規格が標準状態の含水率を 12 % に規定して居るのに対し我国のみが 15 % である事は非常に不便である。尙 Kloot¹⁰⁾ は国際標準として 12 % 又航空機用材に対して 15 % の両者について強度を換算して居る。

更に竹材の繊維飽和点が前記のように 14~22 % の範囲内にあるとするならば、標準状態の含水率を我国における木材と同様に 15 % と規定する事は、繊維飽和点に餘りにも近接し過ぎて標準状態を設ける意義が薄いようである。従つて本研究に関する標準状態の含水率（法正含水率）として一応 12 % を採用し度い。

本結果を標準状態に換算すれば第 7 表に示す通りである。

Table 7. The values of strength properties adjusted to 12 percent moisture content

Specimen		Specific gravity	Compressive strength	Ratio of strength to specific gravity
MŌSŌ-CHIKU	I	0.909	887	976
	II	0.912	852	934
	III	0.943	862	914
	IV	0.888	807	909
MA-DAKE	I	0.896	834	931
	II	0.942	855	908
	III	0.977	860	880
	IV	0.968	841	869
HA-CHIKU	I	0.923	862	934

標準状態における比圧縮強度を種類別に差の検定を行えばモウソウチクとハチクとの間には水準 0.01 で有意差が認められ前者が大である。これを示せば第 7 図のように両者の変化曲線は殆んど平行して居る。処理別にモウソウチクに対するマダケの比圧縮強度の比を求めると 100:96 (97~95) で殆んど一定である。

又処理別に差の検定を行い I と IV 即ち全稈壁を有するものと外皮層及び内皮層の両者を除いたものとの間のみ水準 0.05 で有意差が認められた。更に種類別に無処理材 (I) に対する各処理材の比圧縮強度の比を求めると第 8 表のように類似した数値を示す。これは第 7 図から当然推察される事である。故にモウソウチクとマダケは本研究で行つた処理によつて受ける影響は同程度である事が判断出来る。

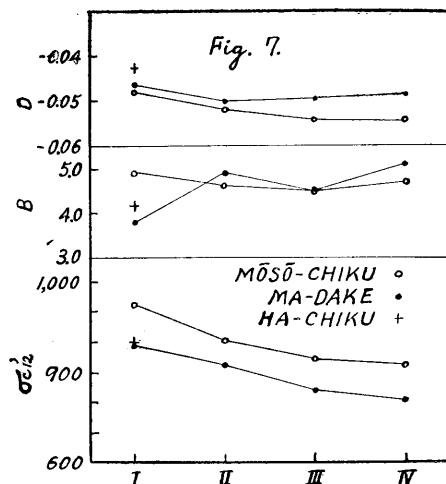


Table 8. The ratios of II, III and IV to I

	MŌSŌ-CHIKU	MA-DAKE
I : II	0.96	0.98
I : III	0.94	0.95
I : IV	0.93	0.93

V 結 論

以上の検討の結果から次の結論が得られた。

A. 竹材の圧縮強度 (σ_c) は木材と同様に絶乾状態において最大値を示し、含水率 (u) の増加に伴い急激に減少し或る点に達した後は変化せず一定値となる。その減少の状態は指数曲線式 ($\sigma_c = ae^{bu}$) で表され、常数 b は本研究の範囲内では種類別・処理別を通じて大差なく平均値は -0.0450 である。

B. 竹材の圧縮強度と含水率の関係の中にも繊維飽和点が存在する。その含水率は種類別・処理別を通じて大差なく平均値は 17.2 % (14~22) で、木材の 20~35 % に比較して相当に低い傾向が認められた。但しその確定的な数値に関しては更に検討

の必要がある。

C. 絶乾材と水漬材の圧縮強度の比は一定値となり 繊維飽和点以下における両者の関係式 ($\sigma_c = ae^{bu}$) の b 及び繊維飽和点が一定である事を立證し得られる。又その比の平均値は 2.19 で木材の約 0.55 に比較すれば小である。

D. 比圧縮強度 (σ'_c) は木材と同様に絶乾状態において最大値を示し、含水率 (u) の増加に伴い指数曲線的 ($\sigma'_c = Ce^{bu}$) に急激に減少し、繊維飽和点に達した後は直線的 ($\sigma'_c = A + Bu$) に緩慢に減少する。

E. 標準状態 (法正含水率 12 %) に換算した比圧縮強度はモウソウチクがマダケよりも大である。又処理別には I 型 (全稈壁を有する無処理のもの) が最大値を示し、以下 II 型 (内皮層のみを除いたもの)、III 型 (外皮層のみを除いたもの) 及び IV 型 (内皮層及び外皮層を共に除いたもの) の順に小となる。

F. 圧縮強度の面から見れば本研究に使用した材料中モウソウチクの無処理材 (I 型) が最も材質的に優秀であり、マダケとハチクとは少々劣り類似した材質を有して居る。

G. 竹材の圧縮強度に対する含有水分の影響は木材に対する影響によく類似して居るが、次のような大きな相異点を有する。

1. 繊維飽和点の含水率が低い。
2. 繊維飽和点以上に於て比圧縮強度が大である。

IV 摘 要

木材に類似した性質を有すると看做され得る竹材にも、その強度的性質と含水率との関係においても木材と同様な傾向が存在するものと予想して、これを実証する目的で本研究を行つた。

モウソウチク、マダケ及びハチクの 3 種類の竹材を使用し、I 型 (全稈壁を有する無処理のもの)、II 型 (内皮層のみを除いたもの)、III 型 (外皮層のみを除いたもの) 及び IV 型 (内皮層及び外皮層を共に除いたもの) の 4 型の試験片について夫々含水率を 9 段階に変化させて、繊維方向に平行な圧縮試験を行つた。

実験結果は 第 1 a, b, c, d 表に示した。

実験結果を検討して次の結論を得た。

1. 竹材の圧縮強度は絶乾状態において最大値を示し、含水率の増加に伴って急激に減少し、或る点に達した後は一定となる。(第 1 表 及び 第 1 a, b, c 図 参照)

2. 含水率 (u) による圧縮強度 (σ_c) の変化状態は指数曲線式 ($\sigma_c = ae^{bu}$) によつて表わされ、併も実験式の常数 b は 種類別・処理別を問はず殆んど一定で 平均値は -0.0450 ± 0.00247 ($-0.0353 \sim -0.0582$) でその変異係数は 12.7 % であつた。(第 2, 3 表 及び 第 2 図 参照)、木材の常数 ($0.025 \sim -0.069$) に比較するとよく類似した数値を示して居る。

3. 竹材の圧縮強度と含水率との関係の中にも 繊維飽和点が存在する。その含水率は 14~22 % の範囲内にあり殆んど一定値を示し平均値は 17.2 ± 1.72 % でその変異係数は 10.0 % であつた。(第 4 表 及び 第 3 図 参照) 木材の繊維飽和点 (20~35%) に比較するとその含水率は小である。

4. 絶乾材と水漬材との圧縮強度の比は一定値を示し、その範囲は 1.78~2.49, 平均値は 2.19 ± 0.049 で、その変異係数は 7.0 % であつた。(第 5 表 及び 第 4 図 参照) 木材における比よりも小である。

5. 比圧縮強度は絶乾状態において最大値を示し、含水率の増加に伴い圧縮強度におけるよりも更に急激に減少し繊維飽和点に達した後は比較的緩慢に減少する。(第 5 図 参照)

6. 含水率 (u) による比圧縮強度 (σ'_c) の変化状態は、繊維飽和点以下では指数曲線式 ($\sigma'_c = Ce^{Du}$) によつて表わされ Kiefer²⁹⁾ のそれに殆んど一致する。実験式中の常数 C 及び D (絶対値) は共にモウソウチクがマダケよりも大である。又繊維飽和点以上では直線式 ($\sigma'_c = A + Bu$) によつて表わされ、その常数 A では有意差は認められなかつたがモウソウチクがマダケよりも大であつた。(第 6 表 及び 第 6, 7 図 参照)

7. 比重・圧縮強度及び比圧縮強度を含水率 12 % の状態に換算した。(第 7 表 参照)
比圧縮強度に就ては 処理別毎の モウソウチク に対する マダケ の 比は 100:96 で殆んど一定である。(第 7 図 参照) 又処理別には I 型が最大値を示し以下 II 型 III 型 及び IV 型の順に小となり、その比率は モウソウチク と マダケ では類似し共に処理による影響は同程度である事が判断された。(第 8 表 参照)

8. 竹材の圧縮強度の面から見ればモウソウチクの品質はマダケよりも優秀で、パチクはマダケと同等である。又無処理材が処理材よりも材質は良好である。

9. 竹材の圧縮強度に対する含水率の影響は木材に対する影響によく類似して居るが、次のような相異点がある。

- a. 繊維飽和点の含水率が低い。
- b. 繊維飽和点以下に於て圧縮強度の含水率による変化の割合が大である。
- c. 繊維飽和点以上に於て比圧縮強度が大である。

参 考 文 献

- 1) 茂庭忠次郎, “竹の研究” 1940.
- 2) 矢沢 徳治, 東京都土木技術研究所報告. 第5輯. 1944.
- 3) 鈴木 寧, 東京大学農学部演習林報告. 第38号. 1950.
- 4) L. J. MARKWARDT and T.R.C. WILSON. U. S. Dept. Agr. Tech. Bul. 479, 1935.
- 5) 太田 基, 日本林学会九州支部第6回研究抄報. 1952.
- 6) 太田 基, 日本林学会誌. 第33卷. 第2号. 1951.
- 7) 太田 基, 日本林学会九州支部第3回研究抄報. 1950.
- 8) F. KOLLMANN, Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Zweite Auflage, I Band. 1951.
- 9) 渡辺 治人, 日本林学会誌. 第21卷. 第9号. 1939.
- 10) T. R. C. WILSON, U. S. Dept. Agr. Tech. Bul. 282, 1932.
- 11) F. KOLLMANN, Technologie des Holzes. 1936.
- 12) 鈴木 寧, 東京大学農学部演習林報告. 第44号. 1953.
- 13) 太田 基, 満鉄農事試験場研究時報. 第24号. 1938.
- 14) G. JANKA, 関谷文彦著木材工芸学. 1933. に依る。
- 15) L. J. MARKWARDT, A. S. T. M. Bull. No. 163. 1950.
- 16) N. H. KLOOT, Journ. Coun. Sci. Industr. Res. Aust. Vol. 21, No. 4, 1948.

STUDIES ON THE PROPERTIES OF BAMBOO STEM (Part 9)

On the Relation between Compressive Strength Parallel to Grain
and Moisture Content of Bamboo Splint

(Résumé)

Motoi ÔTA

Since the physical properties of bamboo resemble those of wood, the relation between the strength properties and the moisture content of bamboo splint must be similar to that of wood.

The purpose of this study is to ascertain the above-mentioned idea.

The species of bamboo tested are MÔSÔ-CHIKU (*Phyllostachys pubescens* Mazel), MA-DAKE (*Phyllostachys edulis* Riv.) and HA-CHIKU (*Phyllostachys nigra* var. *Henonis* Stapf.).

Each specimen of four types, type I (unshaved), type II (inner-layer shaved off), type III (outer-layer shaved off) and type IV (inner- and outer-layers shaved off), were given nine classes of moisture content (0.3~1.0 %, 0.7~2.0 %, 2~4 %, 5~7 %, 6~8 %, 10~13 %, 14~17 %, 17~28 % and 50~99 %).

The test of compression parallel to grain were carried out with 348 specimens of bamboo splint.

The values of the strength properties are shown in Tables 1a, 1b, 1c and 1d.

The results of this study are summarized as follows:

1. The compressive strength of bamboo splint has a maximum value in the oven-dry condition and decreases to a marked extent as the moisture content increases, but it keeps constant after a certain value of moisture content is passed. (see Table 1 and Figs. 1a, 1b and 1c).
2. The compressive strength (σ_c) has an exponential relation ($\sigma_c = ae^{bu}$) with the moisture content (u).

Measurements made on three species and four types of specimen of bamboo splint vary but slightly, practically all values of parameter " b " of the experimental formula falling in the range -0.0353 to -0.0582 . The average value is -0.0450 ± 0.00247 and coefficient of variation 12.7 %. (see Tables 2 and 3 and Fig. 2)

The values of parameter " b " of bamboo splint approximate to those of wood ($-0.025 \sim -0.069$).

3. There is a fiber-saturation point in the relation between compressive strength and moisture content of bamboo splint. Measurements made on

three species and four types of specimens of bamboo splint vary but slightly, practically all values of the moisture content at fiber-saturation point falling in good agreement. The average value is $17.2 \pm 1.72 \%$, coefficient of variation 10.0% and those range $14 \sim 22 \%$. (see Table 4 and Fig. 3)

The values of moisture content at fiber-saturation point are lower than in wood ($20 \sim 35 \%$).

4. The ratios (a/σ_{cR}) of compressive strength (a) of oven-dried bamboo splint to water soaked splint (σ_{cR}) must have constant values, judging from the experimental formula. Measurements made on three species and four types of specimens of bamboo splint vary but slightly, practically all values of ratio falling in good agreement; its average value is 2.19 ± 0.049 , coefficient of variation 7.0% and those range $1.78 \sim 2.49$. (see Table 5 and Fig. 4)
5. The ratio ($\sigma'_c = \sigma_c/S$) of compressive strength (σ_c) to specific gravity (S) has a maximum value in the oven-dry condition and decrease to a marked extent than in the case of compressive strength as the moisture content increase below the fiber-saturation point, but it decreases more gradually above the fiber-saturation point. (see Fig. 5)
6. The ratios (σ'_c) of compressive strength (σ_c) to specific gravity (S) has an exponential relation ($\sigma'_c = Ce^{Du}$) with the moisture content (u) below the fiber-saturation point and the parameter in the experimental formula "C" and "D" for MÔSÔ-CHIKU are larger than those for MA-DAKE, according to the measurements of two species and four types of specimens of bamboo splint.

The moisture content (u) and the ratio (σ'_c) of compressive strength to specific gravity show a straight-line relationship ($\sigma'_c = A + Bu$) above the fiber-saturation point, and the values of parameter "A" in the experimental formula for MÔSÔ-CHIKU are larger than those for MA-DAKE but there is no significant variation in the values of parameter "B" between MÔSÔ-CHIKU and MA-DAKE. (see Table 6 and Figs. 6 and 7)

7. The values of strength properties of bamboo splint were converted to equivalent values for 12 percent moisture content. (see Table 7)

The specimen type I is the highest, type II is the second and type IV is the lowest in the ratio of compressive strength to specific gravity. The ratios of compressive strength-specific gravity ratio of MÔSÔ-CHIKU to that of MA-DAKE, for each type of specimen, are almost constant at 100;

96, and therefore it is presumed that the effect of shaving on the ratio of compressive strength to specific gravity has similarity in the both species. (see Table 8)

8. In view of the compressive strength, MŌSŌ-CHIKU has superior quality to the other species and MA-DAKE has similar quality to HA-CHIKU.
9. There is similarity in the effect of moisture content on compressive strength properties of bamboo splint to wood generally, but the two differ as follows :
 - a. The moisture content at fiber-saturation point of bamboo splint is lower than wood.
 - b. The ratio of compressive strength to specific gravity is higher than wood above the fiber-saturation point.