

竹材の性質に関する研究(第13報)：竹材の剪断強度と含水率との関係

太田, 基

<https://doi.org/10.15017/14967>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 25, pp.121-131, 1955-03-30. 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13報）

竹材の剪断強度と含水率との関係

太 田 基

Motoi ŌTA: Studies on the Properties of Bamboo Stem (Part 13)
On the Relation between Shearing Strength Parallel to
Grain and Moisture Content of Bamboo Splint

I 緒 言

強度的性質の中で重要な圧縮強度¹⁾、引張強度²⁾及び剪断強度のうち前2者については強度と含水率との関係を求めて筆者が既に発表したものであるが、後者に関しては鈴木³⁾がモウソウチクを材料とした実験結果から「剪断強さは絶乾状態で最も高く、含水量を増す程低下するが気乾材と水浸材との差異は曲げ強さの場合と同様あまり顕著でない」と述べて居るだけである。この報告を更に詳細な実験によつて、含水率による剪断強度の変化状態において F. Kollmann⁴⁾が図示して居るように、含水率8%附近で強度が最大値を示すか否かを検討し、又剪断強度と含水率との関係式並びに繊維飽和点を求める目的で行つた実験の結果を報告する。

終りに御指導をいただいた渡辺治人教授並びに実験に助力された有村洋一君に対して深甚の謝意を表する次第である。

II 実験材料及び方法

1. 実験材料 第12報⁵⁾の実験に使用した材料と同じく、昭和26年11月に福岡県粕屋郡山田村の私有林から採取して永く輪切りにして室内に放置した、充分気乾状態に達したと考えられる竹材の残部を材料として使用した。併し乍ら本実験には前回の2種類に更にハチクを加えて次の3種類とした。

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

2. 試験片 輪切りにした稈壁厚の夫々違う竹筒をモウソウチクからは6個、マダケ及びハチクからは5個宛選び出し、各竹筒を割つて幅約5cmの竹片1本宛を取り鉋で仕上げ、その竹片の節間中央部附近から連続して長さ3cmに鋸断して7個の正方形竹片とし、更にその同一側に1×1cmの切欠部を製作して第12報⁵⁾で決定した階段型剪断試験片とした。従つて試験片の個数はモウソウチクでは42個、又其の他では35個宛合計112個である。

3. 実験方法 各竹筒から試験片を1個宛計16個を集めて1組とし、全試験片を7組に分け、1組宛を夫々濃度を5段階（約70%，約50%，約40%，約30%，約20%）に変化させた硫酸及び水を下部に入れたデシケーターの上に置き、試験片の重量が殆んど一定となる迄約90日間放置した後強度を求めた。強度実験の前に精度1/20mmのカリパーで各試験片の剪断予定面の面積を測定した後、更に1週間デシケーターの中に入れて含水率の平衡状態への復帰を待った。

又残りの1組は水中に浸漬して減圧を繰返して表皮が完全に変色する迄それを繰返した後に実験を行った。

強度実験は最大秤量2ton、最小目盛1kgに切換えたオルゼン型木材用10ton試験機を使用して加重速度2.4mm/secで行い、破壊後直ちに剪断によつて落ちた竹片の重量を感量1mg、秤量200gの天秤で測定した後水銀測定器でその体積を求めた。

この竹片から求めた含水率及び比重を夫々の試験片を代表するものとした。

以上の測定方法は全く第12報⁵⁾に報告した方法と同一である。

Ⅲ 実験結果

1. 含水率 得られた実験結果は第1表に示す通りである。

Table 1 Average value (%) and coefficient of variation (%) of moisture content.

treatment			MÔSÔ-CHIKU		MA-DAKE		HA-CHIKU	
			average	coefficient of variation	average	coefficient of variation	average	coefficient of variation
density of H ₂ SO ₄ in the desiccater %	70	①	2.4 ± 0.34	12.42	2.1 ± 0.14	4.86	2.0 ± 0.16	5.83
	50	②	7.0 ± 0.25	3.17	6.7 ± 0.07	0.73	6.4 ± 0.11	1.25
	40	③	10.2 ± 0.24	2.04	10.0 ± 0.20	1.44	9.1 ± 0.67	5.20
	30	④	14.6 ± 0.28	1.65	14.1 ± 0.71	3.61	14.1 ± 0.49	2.52
	20	⑤	16.9 ± 0.72	3.70	15.9 ± 0.26	1.17	15.5 ± 0.16	0.75
	0	⑥	35.1 ± 10.23	25.35	32.0 ± 7.77	17.48	22.5 ± 2.28	7.29
water soaked		⑦	102.4 ± 21.88	18.58	87.6 ± 19.40	15.96	78.9 ± 5.14	4.69

処理別による含水率の変化は大体計画通りであつて、デシケーターの下部に稀硫酸を入れて含水率の調節をした①、②、③、④及び⑤の各組の変異係数は小で比較的良好な均一性を示して居るが、⑥及び⑦の2組の含水率のバラツキが大きくなつて居る。飽和水蒸気の中に放置した⑥の試験片には菌類が発生した事がその変異係数の大となつた原因と考えられる。モウソウチク及びマダケでは特にその傾向は大であつた。

故に⑥の組を除いた他の組の試験片から得た実験結果はこの実験の目的に充分沿い得るものと考えられる。

2. 比重 繊維飽和点以下の含水率を有すると思はれる試験片の比重を第11報⁶⁾で報告した含水率の変化に対する比重の換算式 $S_2 = S_1(100 + u_2) / \{100 + u_1 - 0.841S_1(u_1 - u_2)\}$ によつて含水率15%時の比重に換算した結果の平均値は第2表に示す通りである。

Table 2 Specific gravity adjusted to 15% moisture content.

specimen		thickness of stem wall cm	average value of specific gravity	coefficient of variation %
MŌSŌ-CHIKU	7 - 4	1.625	0.603±0.0141	1.81
	5 - 18	0.910	0.823±0.0233	2.04
	7 - 12	1.035	0.721±0.0073	0.73
	8 - 12	0.810	0.754±0.0119	1.13
	7 - 16	0.995	0.750±0.0141	1.35
	3 - 17	0.850	0.803±0.0121	1.09
MA-DAKE	9 - 10	0.635	0.799±0.0159	1.43
	5 - 10	0.530	0.701±0.0182	1.87
	6 - 12	0.505	0.718±0.0161	1.61
	8 - 8	0.600	0.857±0.0078	0.64
	7 - 20	0.445	0.916±0.0156	1.23
HA-CHIKU	7 - 14	0.540	0.840±0.0188	1.61
	5 - 14	0.410	0.856±0.0058	0.49
	2 - 10	0.625	0.822±0.0168	1.47
	1 - 16	0.515	0.790±0.0210	1.92
	4 - 14	0.380	0.812±0.0200	1.78

Table 3 Results of test.

specimen		density of H ₂ SO ₄ in the desiccator %						soaked
		70	50	40	30	20	0	
		moisture content %						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
		1.8~2.6	6.3~7.4	8.4~10.5	13.2~14.9	15.4~17.9	20.6~48.2	68.3~140.7
		shearing strength kg/cm ²						
MŌSŌ-CHIKU	7 - 4	258.1	179.2	137.0	123.6	115.2	103.5	111.6
	5 - 18	273.2	297.4	241.7	218.2	203.7	160.0	159.0
	7 - 12	178.6	196.7	171.6	147.3	143.3	131.0	134.0
	8 - 12	193.6	220.1	233.3	188.3	178.5	141.7	133.2
	7 - 16	204.2	194.0	205.5	171.4	150.4	108.6	117.3
	3 - 17	285.9	230.2	248.9	193.9	178.6	165.7	178.5
MA-DAKE	9 - 10	241.8	207.6	185.4	167.0	164.3	95.6	101.1
	5 - 10	156.2	207.9	155.8	157.1	127.3	102.8	97.1
	6 - 12	174.8	181.1	182.5	153.3	125.7	87.6	85.6
	8 - 8	255.8	279.5	237.7	222.2	192.9	83.3	143.5
	7 - 20	242.8	247.9	233.9	211.2	190.4	112.2	174.2
HA-CHIKU	7 - 14	246.3	249.4	245.8	202.0	179.2	113.7	108.3
	5 - 14	202.6	240.6	233.3	200.2	204.9	169.4	167.0
	2 - 10	263.3	249.8	203.2	166.3	152.8	157.8	152.8
	1 - 16	211.1	249.7	239.2	180.3	156.7	127.0	107.9
	4 - 14	241.6	223.0	221.0	192.6	157.8	111.3	137.0

この結果からモウソウチクとマダケとは 夫々 既発表の結果の範囲内（モウソウチクは 0.51 ~ 1.20, マダケは 0.56 ~ 0.99）に含まれて居るが、ハチクに関しては発表された充分な量の結果が見当らないので断定は出来ないが、大体適当な数値であると認められる。

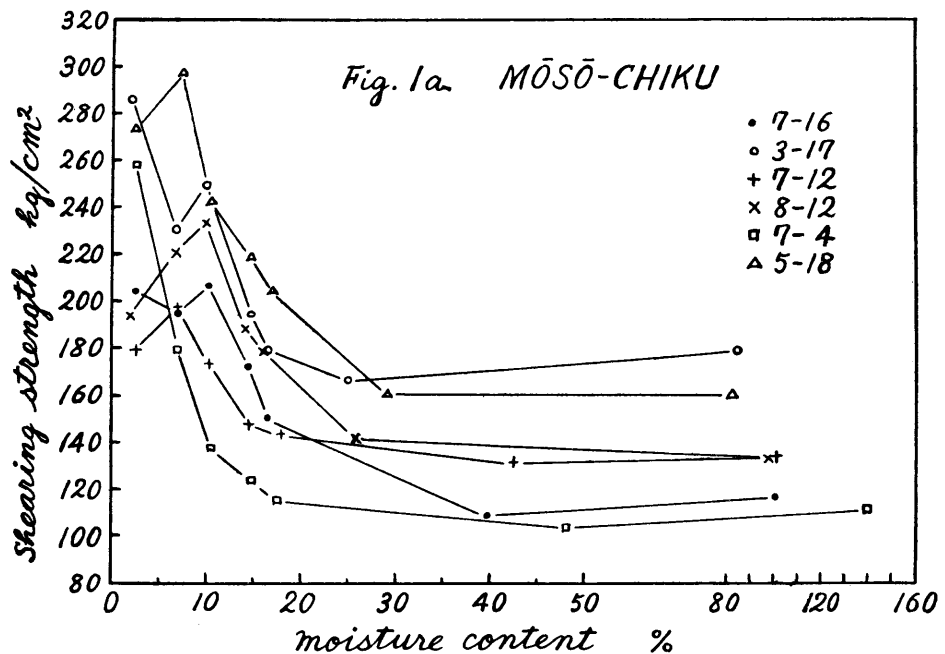
従つてこの実験に使用した材料は夫々の種類として 特殊な材質を有するとは考えられない。

3. 剪断強度 処理別の剪断強度は第3表に示す通りである。

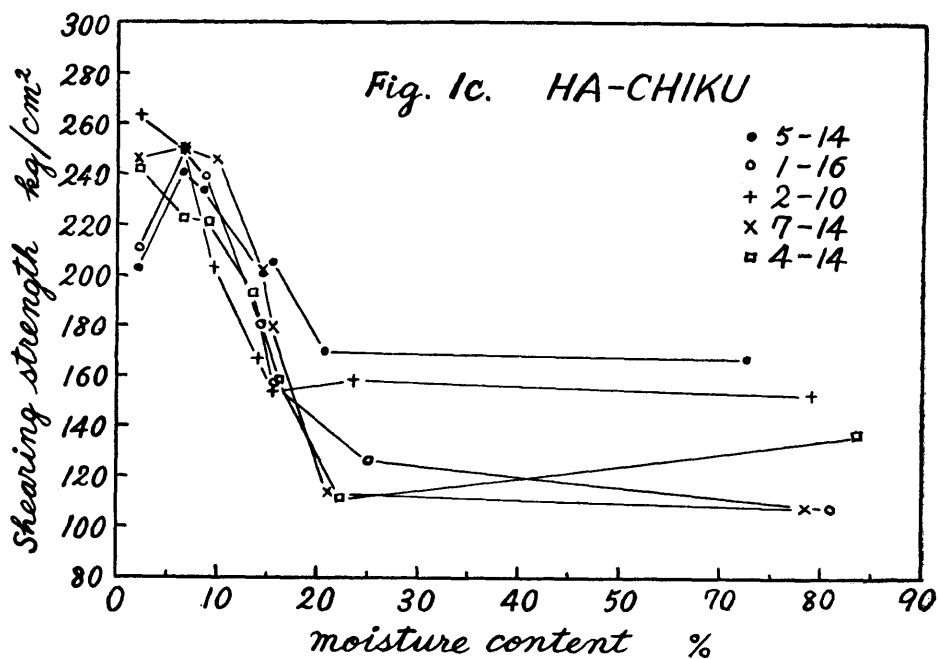
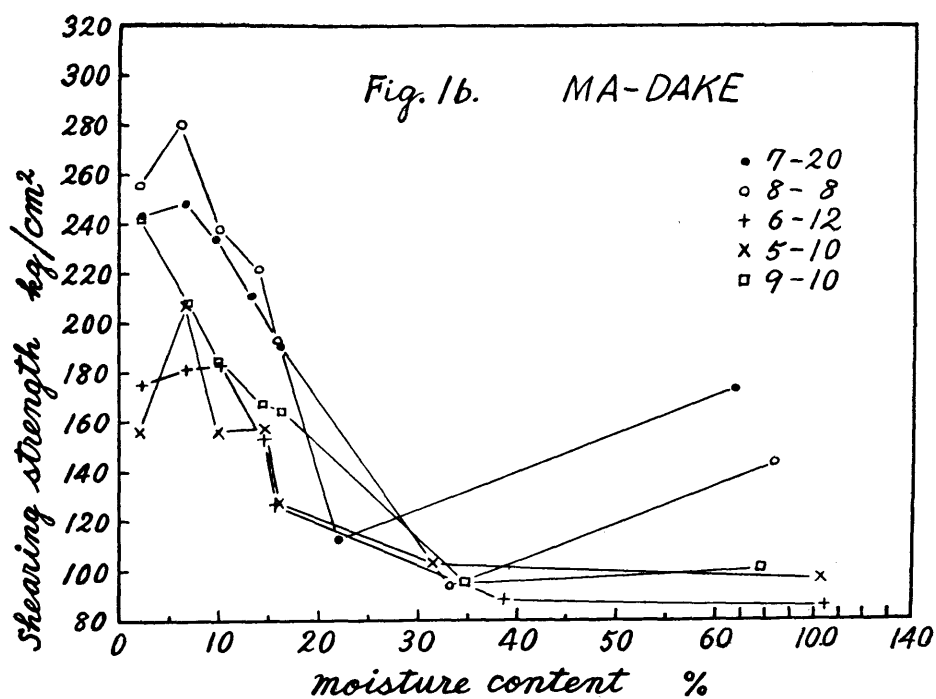
含水率が絶乾状態から増加するに伴い剪断強度は増加し、含水率 8% 附近で最大値に達した後は直線的に減少して、含水率 20% 附近を越えて増加しても強度には変化を示さない傾向が認められる。種類別に剪断強度と含水率との関係を図示すれば第 1 a, b, c 図の通りである。

第 1 図は F. Kollmann⁴⁾ が木材について示した図によく類似した変化状態を呈している。即ち処理①と②の強度で前者が後者より小であつたものが多く 9/16 がその例であつて、竹材でも含水率 8% 附近に剪断強度の最大値が存在するものと考えられる。

又デシケーターの下部に水を入れて飽和水蒸気中に放置した⑥の試験片の剪断強度は、水中に浸漬した⑦の強度よりも小であるものが半数ある。併し乍らこれは含水率の項で記載したように菌の発生が甚しく、含水率の変異係数も最大値を示すから、⑥の試験片の結果は一応参考資料に止めて本研究には採用しない事にする。



4. 剪断強度と含水率との関係 剪断強度 (Sh) と含水率 (u) との関係は第 1 図に示すように比較的複雑であるが、実際に当面して問題となるのは含水率が 8% 以上繊維飽和点迄の間で気乾状態を中心とした比較的狭い範囲である。その狭い範囲内では木材の含水



率と剪断強度との関係は一応直線的なものと看做す事が出来るし、又含水率 1% の変化に対して強度の変化する割合⁷⁾は圧縮強度の 6% に対して 剪断強度は 3% である。従つて本研究では竹材についても剪断強度と含水率との間には直線的な関係が存在するものと考えて結果を処理した。

竹筒別に剪断強度と含水率との間の直線関係を検討して第 4 表に示す結果を得た。

Table 4 Correlation, regression and empirical formula ($Sh = a - bu$) between the strength (Sh) and the moisture content (u).

specimen		number of test	coefficient of correlation	regression coefficient (b)	(a)
MŌSŌ-CHIKU	7 - 4	3	- 0.999*	3.06*	168.9
	5 - 18	4	- 0.959*	9.26*	355.1
	7 - 12	4	- 0.966*	4.95*	226.1
	8 - 12	3	- 0.991	9.12	322.2
	7 - 16	3	- 0.999*	8.54*	292.8
	3 - 17	3	- 0.999*	11.14*	359.7
	whole	20	- 0.606**	8.10**	294.1
MA-DAKE	9 - 10	5	- 0.954*	5.15	244.2
	5 - 10	4	- 0.829	5.95	232.2
	6 - 12	3	- 0.960	9.30	279.4
	8 - 8	4	- 0.971*	8.66*	333.6
	7 - 20	3	- 0.999**	7.11**	304.3
	whole	19	- 0.650**	7.11**	276.8
HA-CHIKU	7 - 14	3	- 0.987	11.05	353.8
	5 - 14	4	- 0.977*	4.36*	268.6
	2 - 10	4	- 0.988*	10.39*	311.4
	1 - 16	4	- 0.986*	10.22*	321.0
	4 - 14	3	- 0.971	9.29	308.5
	whole	18	- 0.882***	8.26***	301.7
whole		57	- 0.690***	7.82***	290.4

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

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

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

危険率 5% 以下で有意な相関関係の認められるものは約 70% (11/16) あつた。又種類別に綜合して本関係を求めれば、第 4 表の各種類の下段に夫々示すように總べて危険率 1% 以下で有意な相関関係の存在が認められた。更に 3 種類を綜合して相関関係を求めると第 4 表の最下端に示すように、危険率 0.1% において有意な関係が得られた。木材においてはこの関係は樹種別に区分して取扱われて居ないし、又本結果で 3 種類の資料を一括して示す第 2 図を見ても、種類毎に共に異つた傾向も認められないので、この回帰方程式

は竹材少く共モウソウチク、マダケ及びハチクの 剪断強度と含水率との 関係を表す関係式
であると考えてもよい。

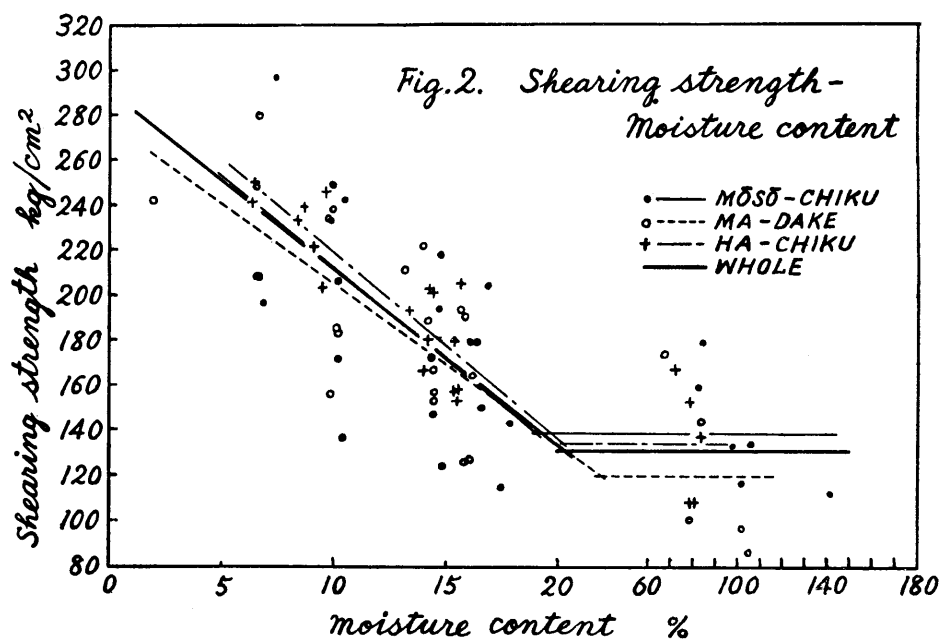


Table 5 Fiber-saturation point and shearing strength adjusted to 15% moisture content.

specimen		fiber-saturation point %	shearing strength kg/cm^2
MŌSŌ-CHIKU	7 - 4	18.7	123.0
	5 - 18	21.2	216.2
	7 - 12	18.6	151.8
	8 - 12	20.7	185.4
	7 - 16	20.6	164.7
	3 - 17	16.3	192.6
MA-DAKE	9 - 10	27.8	166.9
	5 - 10	22.7	142.9
	6 - 12	20.8	139.9
	8 - 8	22.0	203.7
	7 - 20	18.3	197.6
HA-CHIKU	7 - 14	22.2	188.0
	5 - 14	23.3	203.2
	2 - 10	15.3	155.5
	1 - 16	20.9	167.7
	4 - 14	18.5	169.0

この第4表の夫々の関係式から含水率15%における剪断強度を求めて第5表に示す結果を得た。

5. 繊維飽和点 各竹筒毎に剪断強度と含水率の関係式と水浸にした場合の強度から繊維飽和点を算出した結果は第5表に示すように、モウソウチクでは16.3～21.2%，マダケは18.3～27.8%，又ハチクは15.3～23.3%であつて、大体類似した数値を得た。故に全体について危険率5%で棄却検定を行つた結果、マダケの9—10の26.6%及びハチクの2—10の15.3%が棄却されて、その平均値は $20.4 \pm 1.12\%$ 、変異係数は9.22%であつて、各竹筒の数値は比較的よく纏つて居る。

圧縮試験¹⁾から求めた繊維飽和点の平均値 $17.2 \pm 1.72\%$ 、引張試験²⁾の $16.5 \pm 2.03\%$ 、及び膨潤過程³⁾からの $12.9 \pm 0.97\%$ に比較すれば、今回の剪断試験から求めた数値は最大であつた。

IV 摘 要

階段型剪断試験片を使用して竹片の含水率に対する剪断強度の変化状態を検討すると同時に、剪断強度と含水率の関係式及び繊維飽和点を求めるために、モウソウチク、マダケ及びハチクを材料として、含水率を7段階に変化させた試験片について実験を行つた。

次の結果が実験から得られた。

1. 繊維飽和点以下の含水率を有する各段階の試験片の含水率は、第1表に示すように変異係数が低く均一性を示したが、下部に水を入れたデシケーター中に放置した⑥組の含水率は試験片に菌類が発生したためか、特に変異係数が大であつた。従つて⑥組の結果は参考資料に止めた。
2. 繊維飽和点以下の試験片の比重を含水率15%の状態（標準状態）に換算した結果は第2表に示すように、モウソウチクは0.603～0.823、マダケは0.701～0.916、ハチクは0.790～0.856であつて、前2者の数値は既発表の結果の範囲内に入るが、ハチクに対しては比較す可き資料が充分でないがこれも大体適當であると考えられる数値を示して居る。

従つてこの実験に使用した材料は特殊な材質を有するものとは考えられない。

3. 各段階の含水率に対する剪断強度の変化状態は第3表及び第1a, b, c図に示すように、絶乾状態から含水率が増加するに伴い強度は増加して含水率8%附近で最大値に達した後減少し、繊維飽和点から以後は含水率の変化に対して強度は変化しない傾向を示した。

この事実から F. Kollmann が木材の剪断強度と含水率との関係において認めたところの含水率が8%の場合に強度が最大値を示すと言う現象が竹材にも存在する事、又竹材の剪断試験においても繊維飽和点の存在が認められる事が判明する。

4. 繊維飽和点以下で気乾状態に近い範囲内での剪断強度と含水率との関係は直線的であつて両者間の関係式を求めた結果を第4表及び第2図に示した。竹筒別には有意な相関関係が認められないものもあるが、種類別には全部有意な相関関係が認められ、更に3種類を総合した場合が最も有意であつた。従つて3種類を一括して竹材の剪断強度(Sh)

と含水率 (u) との関係式として $Sh = 290.4 - 7.82u$ を求めた.

竹筒別の剪断強度—含水率関係式から含水率 15% に対する強度を求めて第 5 表の結果を得た.

5. 剪断強度から求めた竹材の繊維飽和点は第 5 表に示すように, 圧縮試験, 引張試験及び膨潤過程から求めた数値よりも大で, 平均値は $20.4 \pm 1.12\%$, 変異係数は 9.22% であつた.

参 考 文 献

- 1) 太田 基, 九大演習林報告. 第 22 号 1953.
- 2) 太田 基, 九大演習林報告. 第 23 号 1954.
- 3) 鈴木 寧, 東大演習林報告. 第 38 号 1950.
- 4) F. Kollmann. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Zweite Auflage, I Band 1951.
- 5, 6) 太田 基, 九大演習林報告. 第 24 号 1955.
- 7) Forest Products Laboratory. Report No.1313. 1941.

~~~~~

## STUDIES ON THE PROPERTIES OF BAMBOO STEM. (Part 13)

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

Motoi ŌTA

## (Résumé)

The purpose of this study is to ascertain the difference of shearing strength parallel to grain at various moisture contents, and to get the empirical formula between the shearing strength and moisture content and the fiber-saturation point of bamboo splint of MŌSŌ-CHIKU (*Phyllostachys pubescens* Mazel), MA-DAKE (*Phyllostachys reticulata* C. Koch) and HA-CHIKU (*Phyllostachys nigra* var. *Henonis* Stapf.), with the stair-type specimen.

The shearing tests were carried out with 112 specimens with their moisture contents varied in seven classes as shown in Table 1.

The results of this study are summarized as follows:

- (1) The moisture content of specimens in the six classes, ①, ②, ③, ④ and ⑤, have low coefficient of variation below the fiber-saturation point, but the specimens of class ⑥ which were kept in a desiccator containing water in its lower part have high coefficient of variation, resulting from the development of fungi.

Therefore, the results from the specimens of class ⑥ were treated only as reference data.

- (2) The specific gravity of MŌSŌ-CHIKU adjusted to 15 % moisture content from specific gravity of specimens having lower moisture content than the fiber-saturation point falling in the range 0.603 to 0.823, MA-DAKE 0.701 to 0.916 and HA-CHIKU 0.790 to 0.856, and the values of former two species are within the range of results reported formerly and the specific gravity of HA-CHIKU seems to be proper values as shown in Table 2, although there are not enough comparable data.

This result clearly shows that the bamboo splints used in this study have not peculiar properties.

- (3) The shearing strength parallel to grain increases and reaches the maximum value at about 8 % moisture content and then decreases linearly as the moisture content of specimen increases from the oven-dry condition and it keeps a constant value above the fiber-saturation point as shown in Table 1 and Fig's. 1 a, 1 b and 1 c.

This shows clearly that the shearing strength of bamboo splint has its maximum value at about 8 % moisture content as F. Kollmann's descrip-

tion on wood, and there is the fiber-saturation point in the relation between the shearing strength and the moisture content.

- (4) It is found that the shearing strength has linear relation with the moisture content in a narrow range near the air-dry condition, and the empirical formula between the shearing strength and the moisture content is shown in Table 4.

There is no significant correlation in some of individual bamboo splints but each species has significant correlation, and the summary of the three specieses is most significant. The empirical formula between the shearing strength ( $Sh$ ) and the moisture content ( $u$ ) for three species is  $Sh = 290.4 - 7.82u$ .

The shearing strength of each splint adjusted to 15% moisture content is shown in Table 5.

- (5) The fiber-saturation point calculated from the shearing test of bamboo splint is higher than that from the compressive test, the tensile test and the swelling process, and its average value is  $20.4 \pm 1.12\%$  and the coefficient of variation 9.2% as shown in Table 5.