

竹林の性質に関する研究(第10報)：竹片の引張強度と含水率との関係

太田, 基

<https://doi.org/10.15017/14956>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 23, pp.155-164, 1954-03-30. 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10報)

竹片の引張強度と含水率との関係

太 田 基

Motoi ŌTA: Studies on the Properties of Bamboo Stem (Part 10)

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

I 緒 言

竹片の強度に対する含水率の影響に関しては、圧縮強度から筆者¹⁾が大体木材と同様な傾向の存在する事を報告した。しかしながら引張試験においては生材の強度と気乾材の強度とを比較した結果の発表^{2), 3)}はあるが、それらは両者間には大差は無いと述べているに止り、含水率の強度に及ぼす影響を主目的とした研究は見当らない。従つて今回は竹片の引張強度と含水率との関係を追求すると同時に、圧縮試験から求めた竹材の繊維飽和点を検討する目的で本研究を行った。

終りに御指導を賜つた渡辺治人教授に深い謝意を表すると共に、本研究の経費の一部分には文部省科学研究費をあてた事を附記する。

II 実験材料及び方法

1. 材 料 一般に広く使用され且つ竹稈型を異にする代表的な種類であるモウソウチク(*Phyllostachys edulis* Riv.)とマダケ(*Phyllostachys reticulata* C. Koch)を材料とした。前記の2種類共に九州大学粕屋演習林荒平団地から採取し、輪切りにして約4年間室内に放置して完全に気乾状態に達したと考えられるものである。

2. 試 験 片 輪切りにした竹筒を稈壁厚によつて大・中・小に区分し、枝の着生による稈壁の歪を有しないものを1種類につき5個宛選出した。1個の竹筒から構造用竹材試験方法⁴⁾に規定してある引張試験片を水平的に隣接して6個宛総計60個作製した。筆者の得た結果⁵⁾によれば、竹の節間内における材質の変化は水平方向(本研究の場合)が稈軸方向におけるよりも大であるが、その変異係数の差は比重では1~3%, 又圧縮強度で2~8%で大差は認められない。又試験片の型からも両端に節が存在しなければならないので、やむを得ず相接した部分から試験片を作製した次第である。

別に比重及び圧縮強度測定のための試験片を各竹筒から1個宛作製した。

3. 実験方法 各竹筒から試験片を1個宛計10個を1組とし、全試験片を6組に区分し1組宛を下部に濃度を3段階(約10%, 約37%, 約70%)に変化させた硫酸及び塩化石灰を入れたデシケーターの上に入れて、試験片の重量が不変、即ちデシケーター中の湿度と試験片の含水率とが平衡状態に達する迄放置した。平衡状態に達した試験片は精度1/20mmのカリパスで中央の破壊予定部分の幅と厚さを測定して、デシケーター中

に戻し、3日後に引張試験を行い破壊した試験片の片方を直ちに再びデシケーター中に戻し、更に3日後重量を測定しその数値を試験時重量とした。引張試験には比較的長時間を要するので、試験時含水率の過大或いは過小な試験片の場合には、試験中における試験片の含有水分量の変化が大きいと考えられるので、その変化を防止し出来得る限り実験誤差を少なくする目的で前記の方法を採用した。

又別に気乾状態の試験片及び水浸試験片は通常の方法によつて試験を行つた。

強度に関する実験は最大秤量 2 ton, 最小目盛 1 kg に切換えたオルゼン型木材用試験機によつて行つた。

比重の測定における体積測定には水銀測容器を使用し、その他は常法によつた。

III 実 験 結 果

A. 材料の性質 本実験に使用する材料はその目的から、材質的に特殊なものである事は非常に不都合を生ずる。即ち一般的な性質を有する材料を使用した実験結果からの方が一般的な傾向は得られ易いのである。

故に本実験材料に関しては第1表にその結果を示すように、気乾状態における厚さ、比重、含水率、圧縮強度及び引張強度を求めて、特殊な材質を有するか否かを確認した。

Table 1. Properties of materials.

Specimen		Thickness cm	Specific gravity	moisture content %	Compressive strength kg/cm ²	Tensile strength kg/cm ²
MŌSŌ- CHIKU	A	1.100	0.871	13.4	634.1	1,533.2
	B	1.275	0.826	13.6	576.8	1,503.4
	C	0.980	0.620	13.6	387.5	1,121.8
	D	0.925	0.820	13.0	634.6	2,385.4
	E	0.870	0.892	13.1	718.1	2,398.0
MA-DAKE	A	0.535	0.762	13.5	531.2	2,479.6
	B	0.600	0.891	13.1	722.7	2,514.9
	C	0.735	0.788	13.0	742.4	2,643.5
	D	0.570	0.949	13.1	750.3	2,883.5
	E	0.535	0.761	13.6	669.2	2,623.7

The moisture content of tensile specimen are shown in table 2.

1. 比 重 モウソウチクの範囲は 0.620~0.892, マダケは 0.761~0.949 であつて既発表の結果を綜合して求めた範囲 (モウソウチクは 0.51~1.20, マダケは 0.56~0.99) 内に入っている。

2. 含 水 率 モウソウチク及びマダケ共にその範囲は 13.0~13.6 % でその平均値は信頼度 95 % においてモウソウチクは $13.3 \pm 0.35 \%$, マダケは $13.3 \pm 0.33 \%$ で殆んど一致している。

3. 圧縮強度 モウソウチクは 390~720 kg/cm², マダケは 530~750 kg/cm² であ

つて既発表の範囲（モウソウチクは $440 \sim 820 \text{ kg/cm}^2$ ，マダケは $500 \sim 1,400 \text{ kg/cm}^2$ ）に比較すると，モウソウチク C が範囲外に出るのみであるが大差は無い。

4. 引張強度 モウソウチクは $1,120 \sim 2,400 \text{ kg/cm}^2$ ，マダケは $2,480 \sim 2,880 \text{ kg/cm}^2$ であつて，既発表の範囲（モウソウチクは $710 \sim 3,450 \text{ kg/cm}^2$ ，マダケは $710 \sim 3,790 \text{ kg/cm}^2$ ）内に入つている。

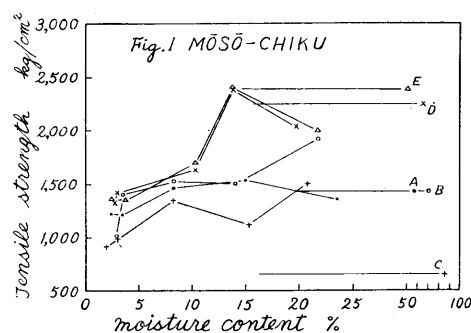
故に本研究に使用した材料は，圧縮強度に 1 個の例外はあるが，大体において特別に偏つた材質を有するものではない事が判断され得る。

B. 含水率別の引張強度. 実験結果は第 2 表に示す通りである。

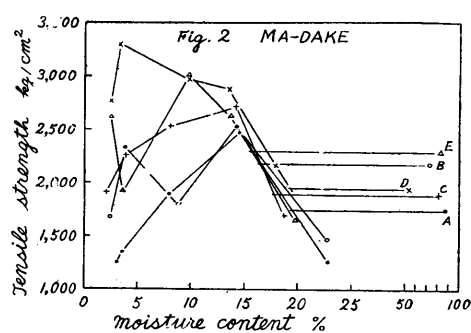
Table 2. Results of test.

Specimen		Moisture content %					
		2.0—3.8	2.4—3.9	8.0—10.3	13.5—15.3	17.9—23.5	54.2—86.9
		Tensile strength kg/cm^2					
MŌSŌ-CHIKU	A	1,222.0	1,216.0	1,466.5	1,533.2	1,365.5	1,438.1
	B	1,017.3	1,397.1	1,527.8	1,503.4	1,918.2	1,429.0
	C	909.7	977.1	1,346.1	1,121.8	1,499.9	654.1
	D	1,418.9	1,329.0	1,630.8	2,385.4	2,043.0	2,250.1
	E	1,347.5	1,359.1	1,702.6	2,398.0	2,003.8	2,379.6
MA-DAKE	A	1,251.0	1,354.7	1,799.8	2,479.6	1,260.7	1,776.4
	B	1,686.0	2,326.6	1,794.4	2,514.9	1,469.3	2,184.3
	C	1,912.0	2,255.0	2,530.3	2,643.5	1,693.7	1,893.4
	D	3,295.9	2,768.1	2,976.7	2,883.5	2,176.4	1,941.1
	E	1,915.9	2,618.1	3,012.9	2,623.7	1,649.0	2,299.9

本関係には圧縮強度の場合とは異つた傾向が見られる。これを図示すれば第 1, 2 図に明らかなように，含水率 5～15% の範囲内において最大値を示すものが多く，含水率が更に増加しても又減少しても引張強度は減少する。その変化状態は気乾状態（含水率約 13%）よりも含水率の小である領域において特に不規則である。この変化状態は F. Kollmann⁽⁵⁾



Moisture Content %



Moisture Content %

が「木材の引張強度は含水率 10 % 附近で最大値を示す」と述べているのと類似しており、また当然竹材にもこの傾向が存在する事は予想される。しかしながらこの現象は含水率の減少に伴い竹片は稈軸方向（繊維方向）においては内側に彎曲し、引張試験に際しては内側から破壊され始めて最後に外側部が破壊する傾向が強くなる事実、主として原因するものであると考えられる。

又含水率 10 % 以下の範囲内でモウソウチクの引張強度の低下がマダケに比して特に著しいが、これはモウソウチクの内皮層の厚さ(0.04~0.06 mm)⁷⁾がマダケ(0.02~0.03 mm)⁷⁾よりも大であるために、乾燥によつて生ずる彎曲がモウソウチクにおいて特に大である事に基因すると考えられる。

IV 検 討

1. 引張強度と含水率との関係 繊維飽和点以下の含水率の範囲内では、本関係は圧縮強度¹⁾における場合のように明瞭でない。しかしながらマダケについては第2図に示すように含水率 13~23 % の範囲内において圧縮強度と同様な傾向が見られる。この場合同一竹筒については実験値が2個宛しか無いので、本関係を指数曲線式によつて表す試みは不可能であるが、含水率の狭い範囲内では直線式で示し得る事はすでに広く是認されて

Table 3. Experimental formula between tensile strength and moisture content.

Specimen		Moisture content (%)		$\sigma = a - b u$	
				a	b
MŌSŌ-CHIKU	A	14.9,	23.5	1,823.8	19.5
	B	14.1,	21.7	734.0	-54.6
	C	15.3,	20.8	70.1	-68.7
	D	13.8,	19.7	2,896.8	43.3
	E	13.7,	21.7	3,073.2	49.3
MA-DAKE	A	14.5,	22.9	4,583.5	145.1
	B	14.2,	22.8	4,241.8	121.6
	C	14.2,	18.7	5,949.8	227.6
	D	13.5,	17.9	5,055.5	160.9
	E	13.7,	19.8	4,813.0	159.8

いるので後者を採用する事は可能である。

含水率 13~23 % の範囲内で求めた引張強度と含水率との関係式を第3表に示す。

第1図でも明らかなように、モウソウチク B および C は含水率の増加に伴い引張強度も大きくなり、全然圧縮強度の場合と反対の結果となつたが、その他は大体同一の傾向を示している。

2. 含水率の変化に対する引張強度の換算式 圧縮試験と同様な傾向が認められる範囲内(含水率 13~23 %)では、その含水率が圧縮強度から求めた繊維飽和点¹⁾以上に達するものもあるので、換算式を求める場合には本結果の全数値を其儘使用する事は不可能なので、F. Kollmann の説を採用した。

即ち F. Kollmann⁶⁾は含水率が 8~18 % の範囲内においては含水率の変化に対する針葉樹の圧縮強度の換算式として

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{32 - u_1}{32 - u_2}$$

但し σ_1 ; σ_2 は夫々含水率 u_1 ; u_2 のときの圧縮強度である。

を提出している。この換算式は圧縮強度—含水率直線は含水率軸上の 32% の点に集中する事実に基礎を置いている。

先ず総べての引張強度—含水率直線 ($\sigma = a - bu$) が 1 点 (座標 l 及び m) に集中すると仮定すれば、その点を原点とし座標を変換して $Y = \sigma - l$, $X = u - m$ と置けば関係直線式は、

$$Y + l = a - b(X + m)$$

$$Y = a - l - bm - bX$$

となる。この直線が原点を通過するためには

$$a - l - bm = 0$$

$$\text{即ち } a = l + bm$$

でなければならない。従つて a と b とを図示すれば直線的関係を示す筈である。第 3 表の a と b との値を図示すれば第 3 図のようにモウソウチク A, B および C を除けば大体直線的である。

故に引張強度—含水率直線は大体 1 点において交るが、その交点は F. Kollmann⁶⁾ の結果のように含水率軸上には存在しない事が判明する。

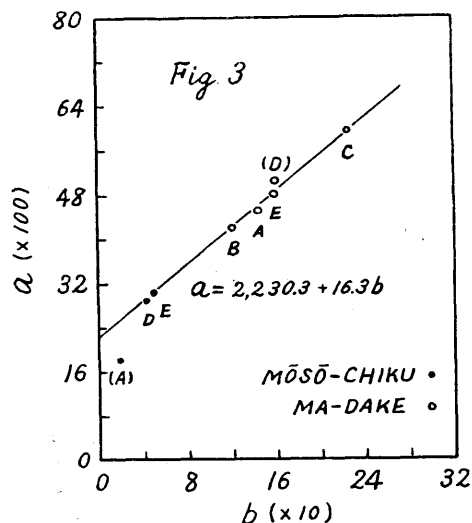
次に各竹筒別に求めた第 3 表の関係式の夫々の交点を求めて第 4 表に示す結果を得た。

交点の座標は比較的近似値を示し、その平均値は信頼度 95% において $u = 15.1 \pm 1.15\%$, $\sigma = 2,335.0 \pm 118.36 \text{ kg/cm}^2$ である。ここで棄却されたものはモウソウチク A, B, C 及びマダケ D である。

Table 4. Coordinates of point of tensile strength-moisture content line's intersection.

		u	σ
MÖSÖ-CHIKU	D-E	13.0	2,432.8
MA-DAKE	A-B	14.5	2,473.7
	A-C	16.6	2,180.6
	A-E	15.6	2,318.5
	B-C	16.1	2,382.8
	B-E	15.0	2,423.9
	C-D	13.4	—
	C-E	16.8	2,132.9

MÖSÖ-CHIKU A, B, and C and MA-DAKE D were abandoned at the 5 per cent level of probability.



棄却されたものを除いて引張強度—含水率関係式の常数 a 及び b の相関及び回帰関係を求めると高度の有意さにおいて次の値が得られた。

相関係数 0.9996

回帰係数 16.3

回帰方程式 $a = 2,230.3 + 16.3b$

即ち引張強度—含水率直線の交点の座標は $l = 2,230.3$; $m = 16.3$ となり、直接求めた交点の座標の範囲内に入る。

ゆえに本実験結果に関する限りでは引張強度—含水率直線は 1 定点において交わることが判明する。ただ

し竹材の引張強度に関しては F. Kollmann⁶⁾ の説に対して 1 定点で交る事では一致するが、その交点が含水率軸上に存在しない事において差異が認められる。

従つて換算式を求めて次の式を得た。

$$\frac{\sigma_1 - 2,335.0}{\sigma_2 - 2,335.0} = \frac{15.1 - u_1}{15.1 - u_2}$$

但し σ_1 , σ_2 は夫々含水率 u_1 , u_2 のときの引張強度である。

竹材の標準含水率を圧縮試験⁷⁾においては 12% としたが、引張強度は含水率 5~15% において最大値を示すので、含水率 12% に換算する事は不可能である。また繊維飽和点が 17% 附近に存在し⁷⁾、更に木材の標準含水率が 15% である事をもあわせ考えれば、竹材の標準含水率は 15% と規定するのが最適であると考えられる。

故に本換算式によつて各竹筒からの試験片の含水率 15% における引張強度を求めて第 5 表の結果を得た。

Table 5. Tensile strength adjusted to 15-percent moisture content and fiber-saturation point.

Specimen		Tensile strength kg/cm ²	Fiber-saturation point (%)	
			from data	from adjusting formula
MÖSÖ-CHIKU	D	2,338.9	14.9	17.3
	E	2,339.5	14.1	14.1
MA-DAKE	A	2,359.1	19.3	17.1
	B	2,355.0	16.9	15.6
	C	2,377.5	17.8	16.1
	E	2,355.6	15.7	15.3

3. 繊維飽和点 木材の繊維飽和点は含水率 20~35% の範囲内にあり、大体 30% と看做し得る事は是認されている。更に同一樹種については各種の理学的性質から求めた繊維飽和点は非常によく一致する事を A. J. Stamm⁸⁾ は発表している。

本研究において繊維飽和点を求めるには強度—含水率関係式並びに含水率の変化に対する強度の換算式と水浸材の強度とから算出する 2 種類の方法とが考えられる。

繊維飽和点の算出に使用する水浸材の強度を検討するために、既発表の生材強度と本実験から求めた水浸材の強度とを比較すれば、前者はモウソウチクが 1,850~2,350 kg/cm²、マダケが 1,820~2,730 kg/cm² であるのに対して、後者はモウソウチクが 1,430 (650) ~ 2,380 kg/cm²、マダケが 1,780~2,300 kg/cm² でよく一致し、引張強度に対する大きな水浸の影響が存在するとは考えられない。

故に水浸材の引張強度を其儘使用して繊維飽和点を算出しても、その結果には大した誤差は生じないと思われる。前記の 2 方法から夫々算出した結果は第 5 表に示す通りである。

直接実験結果から得られた繊維飽和点は 14.1~19.3% の範囲内にあり、その平均値は信頼度 95% において 16.5 ± 2.03%, 換算式から求めたものは 14.1~17.3% で平均値は

16.0 ± 1.14 % であつた。直接求めた繊維飽和点の平均値を圧縮試験により求めた 17.2 ± 1.72 %¹⁾に比較すると、僅かに 0.7 % 小であるが、殆んど一致すると看做し得る程度である。

故に圧縮試験及び引張試験の両者から求めた繊維飽和点が殆んど一致する事から、モウソウチク、マダケ及びハチク材の繊維飽和点は 14.1～21.8 % 範囲内にあり約 17 % である事が推察される。

V 摘 要

竹片の圧縮強度と含水率との関係については、大体木材に類似した結果を得たので、引き続き第1表に示すような性質を有するモウソウチクとマダケとを材料として、試験片の含水率を第2表に示す6段階に変化させて竹片の引張強度と含水率との関係を追求し、更に繊維飽和点の存在及び繊維飽和点以下の或る範囲内で含水率の変化に対する引張強度の換算式並びに両者の関係式を求めた。

本研究において確め得た事項を次に示す。

1. 気乾比重は第1表に示すように、モウソウチクは 0.620～0.892, マダケは 0.761～0.949 である。
2. 気乾時の含水率は第1表に示すように信頼度 95 % においてモウソウチクの平均値は 13.3 ± 0.35 %, マダケは 13.3 ± 0.33 % で殆んど一致した。
3. 引張強度は第1, 2図のように絶乾状態から含水率が増加するに伴い不規則的ではあるが増加し、含水率 5～15 % の範囲内で最大値に達した後は殆んど直線的に減少する。この傾向は内皮層の薄いマダケよりも内皮層の厚いモウソウチクに著しい。
- 引張強度の変化状態は竹片の圧縮強度における変化状態とは異なるが、それは含水率の減少に伴い試験片が稈軸方向において内側に彎曲する事に基因するものである。
4. 竹片の圧縮強度と含水率との関係に類似した傾向は、引張強度では含水率 13～23 % の範囲内に現われ、その関係式を第3表に示す。
5. 針葉樹材の圧縮強度と含水率との関係において F. Kollmann が提出したように、竹片の引張強度(σ)—含水率(u)直線($\sigma = a - bu$)が1定点において交わるか否かを検討して、第4表及び第3図に示すように1定点において交わるが、その交点は含水率軸上には存在しない。その交点の座標は $\sigma = 2,335.0$, $u = 15.1$ である。
6. 交点の座標から含水率の変化に対する引張強度の換算式を求めて次式を得た。

$$\frac{\sigma_1 - 2,335.0}{\sigma_2 - 2,335.0} = \frac{15.1 - u_1}{15.1 - u_2}$$

但し σ_1 , σ_2 は夫々含水率 u_1 , u_2 のときの引張強度である。

7. 換算式から求めた含水率 15 % に対する引張強度は第5表に示す。
8. 引張試験から求めた竹材の繊維飽和点の範囲は第5表に示すように 14.1～19.3 % でその平均値は 16.5 ± 2.03 % である。圧縮試験から求めた平均値 17.2 ± 1.72 % よりも僅かに小であるがよく一致している。

VI 参 考 文 献

- 1) 太 田 基
竹材の圧縮強度と含水率との関係.
第 62 回日本林学会大会講演集 1953
- 2) 茂庭 忠次郎
竹の研究.
土木技術社 1950
- 3) 矢 沢 徳 治
竹筋コンクリート用竹類の調査及び研究試験報告. (其の二)
東京都土木技術研究所報告. 第 5 輯 (No. 19) 1944
- 4) 日本規格 建築 (3101) 構造用竹材試験方法 1947
- 5) 太 田 基
竹材の性質に関する研究. (第 8 報)
竹の節間内に於ける材質の変化.
九州大学農学部演習林報告. 第 21 号. 1953
- 6) F. Kollmann.
Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2 Auf. 1 Band. 1951.
- 7) 太 田 基
竹材の性質に関する研究. (第 7 報)
竹材の構成因子と比重及び圧縮強度
九州大学農学部演習林報告. 第 19 号. 1950.
- 8) A. J. Stamm
Passage of Liquids, Vapors and Dissolved Materials Through Softwoods.
U.S. Dept. of Agr. Technical Bulletin, No. 929. 1946

Motoi ŌTA: Studies on the Properties of Bamboo Stem. (Part 10)

On the Relation between the Tensile Strength Parallel
to the Grain and the Moisture Content of Bamboo Splints.

(Résumé)

It was ascertained in the last report that the relation between the compressive strength parallel to the grain and the moisture content of bamboo splint was similar to that of wood.

The relation between the tensile strength parallel to the grain and the moisture content was studied with splints of MŌSŌ-CHIKU (*Phyllostachys edulis* Rev.) and MA-DAKE (*Phyllostachys reticulata* C. Koch), and the fiber-saturation point and the conversion formula between the tensile strength and the moisture content was obtained.

The properties of the test materials are shown in Table 1. The moisture content of specimens was varied in six grades as shown in Table 2.

The results obtained by this study are as follows:

1. Measurements of the specific gravity in air-dry condition ranged from 0.620 to 0.892 with MŌSŌ-CHIKU and from 0.761 to 0.949 with MA-DAKE. (See Table 1).

2. The average moisture content of MŌSŌ-CHIKU measured in air-dry condition is 13.3 ± 0.35 per cent and that of MA-DAKE is 13.3 ± 0.33 per cent with probability of 0.95 based on the degree of freedom of 4. Since the average moisture contents of the two species are in very good agreement, it is supposed that the specimens tested had been preserved in air-dry condition. (See Table 1).

3. The tensile strength parallel to the grain increases irregularly and reaches the maximum value in the range of 5 per cent to 15 per cent moisture content and then decreases linearly as the moisture content of specimens increases from the oven-dry condition. (See Figs. 1 and 2 and Table 2).

This tendency is more marked in MŌSŌ-CHIKU with the thicker inner-layer than in MA-DAKE with the thinner inner-layer. The fact that the strength-moisture content relation in the tension test differs from that in the compression test is due to the inward bending of the specimen occurring with the decrease of moisture content.

4. The relation between the tensile strength parallel to the grain and the moisture content, similar to that between the compressive strength parallel to the grain and the moisture content is found in the moisture content range of 13 per cent to 23 per cent. The empirical formula of the tensile strength to the moisture content within the range is shown in Table 3.

5. As F. Kollmann had derived for the compressive strength-moisture content conversion for soft wood within moisture content range of 8 per cent to 18 per cent, it is ascertained that the tensile strength (σ)-moisture content (u) lines ($\sigma = a - b u$) intersect one another at one point as shown in Table 4 and Fig. 3, but the point of intersection does not fall on the moisture content axis of the coordinates. The coordinates of the point of intersection are $\sigma = 2,333.0$ and $u = 15.1$.

6. The conversion formula between the tensile strength and the moisture content may be expressed as follows:

$$\frac{\sigma_1 - 2,335.0}{\sigma_2 - 2,335.0} = \frac{15.1 - u_1}{15.1 - u_2}$$

where u_1 and u_2 are values of moisture content and σ_1 and σ_2 are corresponding tensile strengths.

7. Since the tensile strength has the maximum value in the moisture content range of 5 per cent to 15 per cent, the tensile strength should be converted to 15 per cent moisture content for presentation. The tensile strength converted to 15 per cent moisture content is given in Table 5.

8. The fiber-saturation point, calculated with the empirical conversion formula of the tensile strength to the moisture content and the tensile strength of water soaked specimen, ranged from 14.1 per cent to 19.3 per cent of moisture content as shown in Table 5 and the average value is 16.5 ± 2.03 per cent with probability of 0.95 based on the degree of freedom of 5.

The fiber-saturation point calculated from the tension test is in good agreement with that from the compression test (17.2 ± 1.72 per cent).