低温における木材および木質材料の曲げ強度について†

都 築 一 雄* 山 田 直 人** 野 村 健***

Bending Strength of Wood and Wood-Based Materials at Low Temperature

by

Kazuo TSUZUKI, Naohito YAMADA

(Faculty of Agriculture, Nagoya University, Nagoya)

and Ken NOMURA

(Nippon Hardboard Co., Ltd., Nagoya)

In this study, six species of wood and four wood based materials were tested in bending from -180 to $+20^{\circ}\text{C}$, and the influence of temperature on bending strength (F_b) and Young's modulus (E_b) was discussed. In the case of wood, not only the effect of temperature but also that of specific gravity on F_b and E_b were discussed. The moisture content of specimens was controlled to about 4% at 20°C in a vacuum, and the temperature during bending tests was regulated with liquid nitrogen and nitrogen gas.

The results obtained are as follows.

(1) In the case of wood, E_b and F_b are representable by the equations (3) and (4) respectively, containing two factors, specific gravity (ρ) and test temperature ($\theta^{\circ}\text{C}$).

(2) The effect of temperature on E_b for wood based materials tested is illustrated on Figures 1 to 6. As the results, E_b increases as temperature falls, and their relation can be expressed approximately by a regression straight line for each wood based material.

(3) Figure 7 shows the relation between F_b for wood based materials and test temperature.

(Received Dec. 13, 1982)

キー・ワード：木材，曲げ強度，低温，木質材料

1 緒 言

木材および木質材料の曲げ強度などの機械的性質が，その含有水分（含水率），温度条件等の影響をうけることは，よく知られている。¹⁾²⁾石油に替る熱エネルギー源として，天然ガスが普及してきたのを始めとして，種々の技術の進展に伴い，木材および木質材料の利用の仕方，利用の条件は拡大し，かつ木材および木質材料にとって過酷な条件が課せられる場がみられるようになってきた。たとえば，天然ガスの海上輸送ならびに地上での貯蔵を目的とするタンクの部材として，使用温度条件が -180°C 以下となる利用法も予想される。

筆者らは，以前，タンク設計のための基礎資料を得ることを目的として，6種の比重の異なる木材の曲げ試験結果を報告している。³⁾ここでは，さらに合板等の木

質材料を試験する機会を得た。その結果をあわせて資料として報告する。

2 実 験

2・1 試験体

木材試験体を採取するための供試材は，低比重より高比重までをふくむように6樹種を選び，また木質材料として合板（PW），パーティクルボード（PB），ハードボード（HB），インシュレーション・シーディングボード（IS）の4種類を試験した。この中，合板については，メラッチ合板（PW-M），アビトン合板（PW-A），およびカバ合板（PW-B）の3種類を試験した。なお，これらの合板は，低温利用を目的として試作したもので，接着剤はフェノール樹脂系接着剤を用いた。他の板材料は，市販のものを購入した。

木材試験体は，辺材部を除いた，節などの欠点のない部分より採取し，木質材料試験体は，板の周辺部5 cmを除いた部分より，板の長さ方向と試験体の長さ方向とが一致するように採取した。

† 原稿受理 昭和57年12月13日

* 正 会 員 名古屋大学農学部 名古屋市千種区不老町

** 名古屋大学農学部 名古屋市千種区不老町

*** 日本ハードボード工業(株) 名古屋市港区

Table I. Specific gravity, size of specimen and span in bending test.

Species	Specific gravity	Size of specimen b×h×l(cm)			Span
Balsa (<i>Ochroma sp.</i>)	0.19	1.0	0.5	10	7.5
Kiri (<i>Paulownia tomentosa</i> Steud.)	0.29	1.0	0.5	10	7.5
Hinoki (<i>Chamaecyparis obtusa</i> Endl.)	0.35	1.0	0.5	10	7.5
Buna (<i>Fagus crenata</i> Blume)	0.64	1.0	0.5	10	7.5
Keyaki (<i>Zelkova serrata</i> Makino)	0.66	1.0	0.5	10	7.5
Tetsuboku (<i>Intsia sp.</i>)	0.78	1.0	0.5	10	7.5
Wood based materials					
Plywood, Meranti (PW-M)	0.48	1.0	0.9	20	17.5
Plywood, Apitong (PW-A)	0.82	1.0	0.9	20	17.5
Plywood, Kaba (PW-B)	1.0-1.5-1.2-1.7-1.2-1.5-1.0(mm)*	1.0	0.9	20	17.5
Particle board (PB)	0.75	1.0	0.9	20	17.5
Hardboard (HB)	1.0-1.4-1.5-1.4-1.5-1.4-1.0(mm)*	1.0	0.9	20	17.5
Insulation sheathing board (IS)	0.77	1.0	0.9	20	17.5
Hardboard (HB)	1.04	2.0	0.5	15	12.5
Insulation sheathing board (IS)	0.37	2.0	1.2	20	17.5

* The thickness of veneers which plywood is composed of.

試験体の寸法, 比重を Table I に示す.

試験体は真空乾燥 (温度20~30℃) 法とシリカゲル乾燥法とを併用し, 試験に供する前, 1~2 か月は, シリカゲルを入れたデシケータ内で貯蔵し, 水分傾斜, ならびに含水率の安定をはかった. その結果, 試験時の含水率は約3~5%となった.

2.2 試験法

2.2.1 曲げ試験法 試験は, 中央集中荷重法により, 木材試験体では, まさ目面負荷, 木質材料試験体では, 板材表面から負荷した. 曲げスパンは, 各試験体ごとに定め, Table I に示した.

試験機は材料強度試験機 (新興通信工業製, TOM 10000SS) を利用, 荷重の検出はロードセル (ひずみゲージタイプ), 中央たわみの検出はクロスヘッド移動量によった. 両者の関係 (荷重-たわみ曲線) から, 曲げヤング率, 曲げ強度を算出した.

2.2.2 試験温度 試験温度の測定は, 試験体の横に設置した熱電対温度計 (C-C) によった.

温度調節ならびに試験温度に関する詳細については, 既報を参考にされたい.

3 結果と考察

3.1 木材の曲げ試験結果

木材の曲げ試験結果のうち, 曲げヤング率および曲げ強度の平均値を Table II および III にしめす. これらの結果より, 試験温度域では, ヤング率, 曲げ強度は試験温度の低下とともに, ほぼ直線的に増大する. すなわち, それぞれを樹種ごとに下にしめす式(1), (2)の直線で表現できる.

Table II. Influence of temperature on modulus of elasticity in bending ($\times 10^3 \text{kg/cm}^2$)*³.

Species	Balsa	Kiri	Hinoki	Buna	Keyaki	Tetsuboku
ρ	0.19	0.29	0.35	0.64	0.66	0.78
θ						
+ 20	32.8	52.2	80.2	92.0	104	137
- 20	35.9	56.7	81.6	92.2	111	146
- 60	38.8	61.6	95.3	108	129	149
-100	41.8	62.7	97.6	122	131	148
-140	44.8	80.7	97.6	128	147	168
-180	47.7	69.5	108	144	152	156

θ : Temperature, ρ : Specific gravity in air dry condition.

*: Mean values of five specimens.

Table III. Influence of temperature on bending strength (kg/cm^2)*³.

Species	Balsa	Kiri	Hinoki	Buna	Keyaki	Tetsuboku
ρ	0.19	0.29	0.35	0.64	0.66	0.78
θ						
+ 20	275	565	827	1180	1410	1840
- 20	368	698	987	1250	1550	2130
- 60	404	731	1180	1440	1870	2270
-100	442	756	1340	1620	1830	2490
-140	480	966	1320	1510	2210	2520
-180	517	742	1480	1980	2480	2610

θ : Temperature, ρ : Specific gravity in air dry condition.

*: Mean values of five specimens.

Table IV. Values of a_E , b_E , a_F and b_F in the equations (1) and (2).

Species	ρ	a_E ($\times 10^3 \text{kg/cm}^2\text{C}$)	b_E ($\times 10^3 \text{kg/cm}^2$)	r_E	a_F ($\text{kg/cm}^2\text{C}$)	b_F (kg/cm^2)	r_F
Balsa	0.19	-0.074	34.4	-0.82	-0.94	348	-0.90
Kiri	0.29	-0.086	54.1	-0.75	-1.13	558	-0.80
Hinoki	0.35	-0.141	82.7	-0.93	-3.15	958	-0.93
Buna	0.64	-0.285	94.2	-0.91	-3.97	1300	-0.76
Keyaki	0.66	-0.231	111	-0.94	-4.96	1450	-0.88
Tetsuboku	0.78	-0.144	141	-0.90	-4.47	2000	-0.89
PW-M (0°*)	0.48	-0.099	65.9	-0.82			
PW-M (90°*)	0.50	-0.046	30.6	-0.79			
PW-A	0.82	-0.233	92.2	-0.92			
PW-B	0.75	-0.283	94.9	-0.93			
PB	0.77	-0.080	36.5	-0.77			
HB	1.04	-0.199	56.4	-0.95			
IS	0.37	-0.031	6.48	-0.94			

ρ : Specific gravity in air dry condition, r_E and r_F : correlation coefficients.

*: Angle of the span direction against to grain direction of face veneer.

$$E_b = a_E \theta + b_E \quad (1)$$

$$F_b = a_F \theta + b_F \quad (2)$$

ここに, E_b は曲げヤング率 (kg/cm^2), F_b は曲げ強度 (kg/cm^2), θ は試験温度 ($^{\circ}\text{C}$), a_E , b_E , a_F および b_F は実験値より定まる係数である. 各樹種ごとに, それらを求めて Table IV に示す. さらに, 比重を考慮して整理し, 低温における木材の曲げヤング率および曲げ強度は, 温度と比重を与えることにより, 次式で, 大略表示できる³⁾.

$$E_b = (183 - 0.35 \times \theta) \times 10^3 \cdot \rho (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (3)$$

$$F_b = (2170 - 7.0 \times \theta) \times \rho (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (4)$$

ただし, $-180^{\circ}\text{C} < \theta < +20^{\circ}\text{C}$, 含水率: 約 4%.

3・2 木質材料の曲げ試験結果

3・2・1 曲げヤング率 曲げ試験より求めた曲げヤング率と試験温度との関係を木質材料の種類別に Fig. 1~6 に示す. 図中○印は試験体 8~10個の平均値をしめし, 上下の幅は, それぞれ実験値の上限, 下限をしめす. また, 直線は実験値より最小自乗法により求めた回帰直線である.

これらによれば, 低温領域において, 温度が曲げヤング率に及ぼす影響は, 木質材料の場合も, 式(1)で表され, 試験温度が低ければ低いほど, 曲げヤング率は

○, ●: Mean values of ten specimens, representing the cases that the angles of span direction against the grain direction of face veneer are 0° and 90° , respectively. ○: Range of the maximum and the minimum of experimental values. Straight solid lines are the regression lines.

Fig. 1. Relation between Young's modulus of plywood (PW-M) in bending test and temperature (moisture content: 4%).

○: Mean values of ten specimens. ○: Range of the maximum and the minimum of experimental values. Straight solid line is the regression line.

Fig. 2. Relation between Young's modulus of plywood (PW-A) in bending test and temperature (moisture content: 4%).

○, ○: Refer to Fig. 2.

Fig. 3. Relation between Young's modulus of plywood (PW-B) in bending test and temperature (moisture content: 4%).

○, ○: Refer to Fig. 2.

Fig. 4. Relation between Young's modulus of particleboard (PB) in bending test and temperature (moisture content: 4%).

○, ○: Refer to Fig. 2.

Fig. 5. Relation between Young's modulus of hardboard (HB) in bending test and temperature (moisture content: 4%).

○, ○: Refer to Fig. 2.

Fig. 6. Relation between Young's modulus of insulationboard (IS) in bending test and temperature (moisture content: 4%).

Fig. 7. Relation between bending strength and temperature (moisture content: 4%).

大となる傾向を示している。木質材料の種類別に、式(1)中の各係数を求めて、Table IV に示した。

3・2・2 曲げ強度 曲げ強度と試験温度との関係を木質材料の種類別に Fig. 7 に示す。図中○印は平均値をしめし、上下の幅はそれぞれ実験値の上限、下限をしめす。これらの結果からは温度の影響は、ヤング率の場合のように一定の傾向は認められず、合板、HB と IS、PB とに二分でき、前者は、温度の低下にともない曲げ強度は増大する傾向を示し、後者はほとんど温度の影響は認められず、ほぼ一定値にある。ちなみに、20℃における曲げ強度に対する -180℃における曲げ強度の比を計算すると、最小値は PB で約 1 となり、最大の PW-M では 1.9 となる。これは、木質材料の曲げ強度がそれら材料を構成する単位（単

板、チップ、ファイバーなど）および接着剤の種類など、また製造方法、条件などに、より大きく影響されるためと思われる。今後の検討課題としたい。しかし、いずれの材料も、室温（20℃）での曲げ強度が最小値をしめし、室温での曲げ試験結果を基本的な値とすることが適切であると考えられる。

4 ま と め

木材および木質材料の曲げ試験を、試験温度 -180℃ ～ +20℃ の範囲内で、実施し、試験結果を示すとともに、それらを整理して、以下のようにまとめた。

(1) 木材の曲げヤング率および曲げ強度は、ほぼ比重と試験温度とにより定まり（含水率：約 4%）、それぞれ式(3)および(4)で計算できる。

(2) 合板、パーティクルボード、ハードボードおよ

びインシュレーションボード等の木質材料のヤング率は試験温度が低いほど、大きい値を示し、両者の関係は直線式で表現できる。本実験で用いた材料について、切片、傾きを求め、Table IV にしめた。

(3) 木質材料の曲げ強度と温度との間には、一定の関係は認めがたく、材料ごとに異った。ただし、低温での実験値は室温 (20℃) での強度より、低くはないことが認められた。

曲げ試験体の作製にあたり、当研究室の西脇睦技官の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

(昭和55年4月2日 第30回日本木材学会大会にて講演)

参 考 文 献

- 1) F. F. P. Kollmann and W. A. Côté, Jr., "Principles of Wood Science and Technology, I Solid Wood", p. 309 (1968) Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- 2) C. C. Gerhards, Wood and Fiber, **14**, 4, (1982).
- 3) 都築一雄, 竹村富男, 浅野猪久夫, 木材学会誌, **22**, 381 (1976).

書 評

“Ferromagnetic Materials”

E. P. Wohlforth (監)

(1982年, North-Holland Publishing Company 発刊, 155×230mm, 852ページ, Dfl. 375.00)

総合的参考書と同時に教科書としての性格をもつように企画されたこのハンドブックのシリーズは、初期の研究をも取入れ、1951年出版された故 R. M. Bozorth の古典的名著 “Ferromagnetism” の後継書としての性格をもつように編集されている。Bozorth の本は当時までの文献をほぼ完全に収録しており、現在でも磁性研究者必携の書である。全4巻からなるこのハンドブック・シリーズは、それ以後の発展を包括するように構成され、現在各分野での第一線の研究者が各章を分担執筆し、強磁性材料の物理、化学、冶金学、構造などの基本的諸問題を豊富なデータをできる限り図と表にまとめて解説し、これらの材料物性と工学的応用との関連についてもくわしく述べている。各巻共 author index, subject index のほかに materials index がついており大変便利である。

第1・2巻は1980年に、また本第3巻は1982年に出版され、第4巻も来年には刊行の予定である。第1・2巻は基礎編で、精選された題材について最近のデータをも収録した解説である。第1巻は634ページで、金属および合金の磁性をとりあげ、Fe, Co, Ni の磁性、遷移金属希薄合金とスピングラス、希土類金属・合金、希土類金属間化合物、アクチノイド元素とその化合物、非晶質磁性体、希土類-鉄金属間化合物の磁ひずみの7章から構成されている。第2巻は592ページで、主としてイオン結晶磁性体および応用の基礎的解説であり、ガーネットなどの強磁性絶縁体、軟質金属磁性材料、フェライトの磁性、マイクロ波用フェライト、バブル用結晶性薄膜、バブル用非結晶薄膜、磁気記録材料、強磁性液体の8章から成っている。

本第3巻は第1・2巻を補完しかつ重要な項目をやや詳細に解説するように編集されており、したがって前2巻ほど系統的ではない。内容は、磁性と磁性体の歴史的発展と工業技術における役割、永久磁石の理論、アルニコ磁石合金の構造と性質、スピネル型磁性体、マグネトプランパイト型六方晶フェライト、硬質フェライトとその応用、スピネル硫化物、磁性体の輸送現象の9章から成っている。各章共独立の構成で、ある程度の基礎知識があれば、十分理解できるように丁寧な解説を行っており、磁性物理学の研究者にとっては他の磁性物理学の分野や応用磁気の各分野について系統的理解をうるのに大変有用であり、また磁性材料の研究者にとっても材料の物理的基礎の理解を得るのに必読の書であり、いずれの章も典型的な物質をえらび、わかりやすく解説しているので、教科書としても十分な機能をもっている。また同様に最近までのデータを系統的に収録しているので磁性ハンドブックとしても貴重なシリーズである。

(京都大学工学部 中村陽二)