

米ツガ材引張強さの寸法効果

誌名	三重大学生物資源学部紀要 = The bulletin of the Faculty of Bioresources, Mie University
ISSN	09150471
著者	大河平, 行雄 増田, 稔 鈴木, 直之
巻/号	1号
掲載ページ	p. 1-6
発行年月	1988年12月

米ツガ材引張強さの寸法効果

大河平行雄・増田 稔*・鈴木 直之

三重大学生物資源学部, *京都大学農学部

The Size Effect of Tensile Strength on Western Hemlock

Yukio OKOHIRA, Minoru MASUDA and Naoyuki SUZUKI

Faculty of Bioresources, Mie University Faculty of Agriculture, *Kyoto University

Summary

The size effect of tensile strength in wood of Western Hemlock was investigated and the results obtained are summarized as follows:

- 1) The coefficients of size effect of tensile strength perpendicular to the grain were measured by cleavage test, and the values were found to be 7.2 for radial strength and 7.9 for tangential strength.
- 2) The value of tensile strength parallel to the grain was 14.7.

Key words: size effect, tensile strength, Western Hemlock

1. はじめに

木材の強度特性値を調査するために各種の強度試験が行われている。一般に強度試験は無欠点材で行われる。木材は巨視的な節等の欠点が多く、品等区分に用いられ、実用の際には、非常に優良な材でも完全に避けることは難しく、強度試験により求めた特性値と実用材料の強度との関係は木材の欠点を考慮した安全率の中に総て含まれてきた。一方、均質に見える金属材料等に於いても、破壊強度が微視的欠陥の影響を受けていることが明らかにされて以来、各材料とも小試片の強度試験により求めた破壊強度は実用に供される場合は可成り低減することが当然と考えられている。

破壊現象を説明するために用いられている確立モデル^{1,2)}は最弱リンクモデルと繊維束モデルで、前者はぜい性破壊、後者は粘性破壊に適用されている。最弱リンクモデルは試料の各構成要素が鎖のように接続されていて、最小強度の要素が破壊すれば試料全体も同時に破壊

することを意味する。試料全体、すなわち、試験体の破壊強度は平均値ではなく最小値であり、要素の個数、すなわち、試験体の大きさの影響を受け、寸法効果が現れる。強度の分布は正規分布ではなく、ワイブル分布や指数分布である。

繊維束モデルは総ての要素が並列に結合されていて、試験体が破壊するのは、構成要素が全部破壊したときである。各構成要素の破壊強度を独立な変数とすると、試験体の強度は独立変数の和となり、強度の分布は正規分布を示し、寸法効果は殆ど認められない。

実際の材料については、要素の直列、並列がある法則で混合されている場合が考えられる。正確な確立モデルを作成するためには材料の構成要素の強度的性質、結合状態、破壊時の応力状態を正確に把握することが必要であるが、木材は複雑な構造を有し、どの点を取り上げても、今後の解明を待たなければならない事が余りにも多い。

最弱リンクモデルが適用できる材料の容積 V_1 の引張試験体の破壊強度を S_1 、容積 V_2 の破壊強度を S_2 とすれば Freundenthal の論文²⁾により、

$$S_1/S_2 = (V_2/V_1)^{1/2\alpha} \quad (1)$$

が成立する。ここに 2α は物質に依存する定数でワイブル分布

$$f(t) = \lambda m t^{m-1} \exp(-\lambda t^m) \quad (2)^{3)}$$

の m にあたり、(2)式の形のパラメータである (Fig. 1参照)。 2α の値が小さい程寸法効果は著しく、大きい程少なくなり、分布の形も正規分布に似てくる。 $2\alpha \rightarrow \infty$ のとき寸法効果が無いと言うことができる。寸法効果の程度を表わすには極めて便利な定数であるので色々な材料⁴⁾について求められている。以後、この報告では、便宜的に、 2α を寸法効果定数と呼ぶことにする。

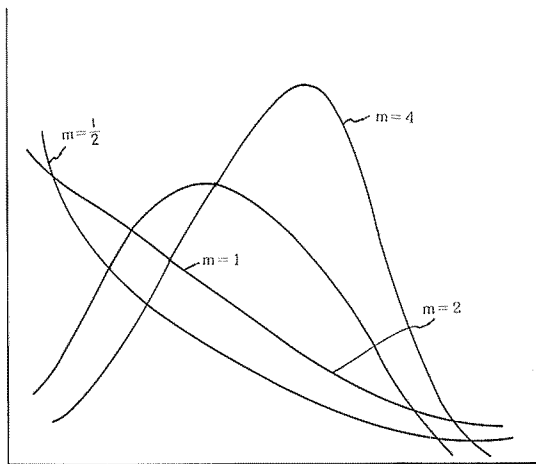


Fig. 1. Weibull distribution³⁾

木材については、早く、角谷^{5,6)}による寸法効果の報告があるが、寸法効果定数の形では求められていない。各種の木材強度の中、最も破壊強度の特性を示すと考えられる引張強さについて米ツガ材 (Western Hemlock) (*Tsuga heterophylla Sargent*) により定数 2α の測定実験を行った。

木材は異方性材料で、繊維方向と繊維に直角方向 (横引張) では強さだけで無く破壊の様相も異なる。縦引張に於いては破断面は楕型状を呈し、破断面の角度は荷重方向に対し約 45° 位であるが、破断面を組み合わせた場合完全に一致し、元の試験体の復元が可能であるから塑性変形が極めて少なく、ぜい性破壊であることを示している。

横引張破壊は破断面は平滑で過重方向に対し直角であり、かつ、破断速度が非常に大きく、最弱リンク理論が良くあてはまるものと考えられる。両者の強度および様相が異なるので、別々に二種類の実験を行った。実験は梅田勉君、中広健治君が卒論として行なったものであり、作表、製図では草深みゆき事務官の労を煩わした、ここに感謝の意を表する次第である。

なお、本研究は昭和58年度、59年度科学研究補助金 (一般研究B) の一部を使用して行なわれた。

2. 横引張強さの寸法効果

寸法効果定数を測定するためには、試験体の寸法を大幅に変化させて強度試験を行う必要がある。その際、重要な事は小試験体の場合、試験体の製作、荷重条件、測定精度等の実験条件の維持が極めて困難な点である。その点、割裂試験は実験条件の維持が容易で、かつ、横引張破壊を生じ、応力状態⁷⁾も筆者により明らかにされている。よってヒノキ材⁸⁾に続いて米ツガ材の場合も割裂試験により寸法効果定数の測定を行なった。

2.1 横引張強さと割裂抵抗

Fig. 2のようなフランス規格割裂試験体に引き裂き過重 P が働く場合、繊維方向に x 軸を荷重方向に y 軸を取り、試験体の高さ (y 方向) を $2b$ とすれば、最大横引張応力は切欠の先端に生じ集中応力係数⁷⁾を用いて次の式で表わすことができる。

$$\sigma_{y\max} = F \cdot P / b \quad (3)$$

ここに、 $F = 10.14A^{0.0229} B^{0.1134}$

$$A = E_y / G_{xy} - 2\nu_{yx} \quad B = E_y / E_x$$

E_{xy} は $x(y)$ 方向のヤング率、 ν_{yx} は y 方向引張の場合のポアソン比、 G_{xy} はせん断弾性係数である。

破壊が生じたとき、 P を割裂抵抗 K と考えることができる。 $\sigma_{y\max}$ は横引張強さ S_1 となるから、

$$S_1 = F \cdot K / b \quad (3')$$

2.2 試験体および試験方法

10.5 cm 角の対抗マサに木取りした長さ 3 m の米ツガ材を人工乾燥の後、70 cm 横切し、各角棒より Fig. 2

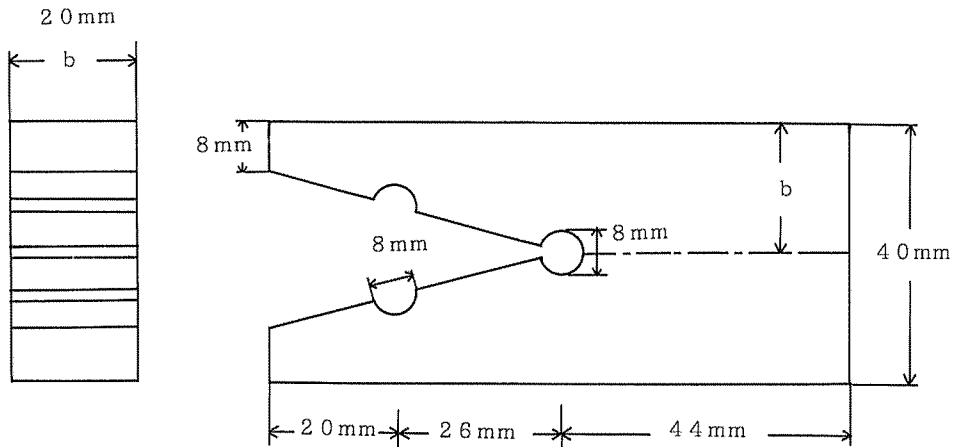


Fig. 2. Modified French specimen in cleavage test (b : 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 cm)

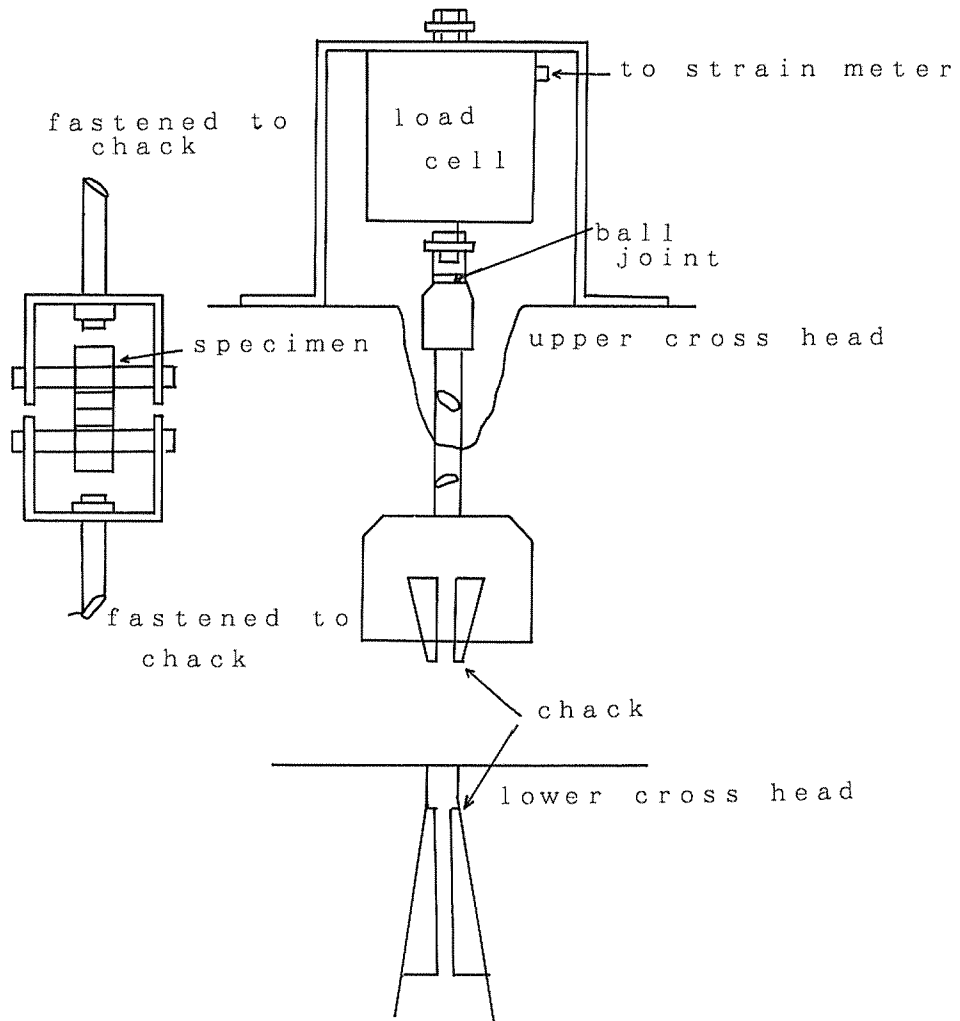


Fig. 3. The attachment for splitting of specimen and the loading system.

に示した試験体の寸法とその寸法の2倍, 1/2倍, 1/4倍の4種類の試験体を各32個づつ, L-R, L-T, 割裂試験用に, それぞれ用意した。

試験機は高津 REH-10 型電子管平衡式試験機で試験体の割裂装置は Fig. 3 の通りで試験体の寸法に応じて製作した。b が 0.5 cm および 1 cm の場合は Fig. 3 のようにロードセルを装着して荷重を測定した。クロスヘッドの変位速度は, 大きい方から順に, 0.4, 0.2, 0.1, 0.05 cm/min である。

2.3 試験結果および考察

割裂試験結果は Table 1, 2 に示した通りである。

割裂抵抗値に F/b を乗じたものが横引張強さになる。容積 V_1 に対応する横引張強さを S_1 割裂抵抗値を K_1 , 試験体の高さを $2b_1$ とすれば,

$$\frac{S_1}{S_1} = \frac{K_1/b_1}{K_1/b_1} = \left(\frac{V_1}{V_1}\right)^{1/2\alpha}$$

対数を取って整理すると,

$$\log(K_1/b_1) = \log(K_1/b_1) - \frac{1}{2\alpha} \log(V_1/V_1) \quad (4)$$

y 軸に $\log(K_1/b_1)$ を取り, x 軸に $\log(V_1/V_1)$ を取って直

線 $Y=A+BX$ をあてはめ $2\alpha = -1/B$ より 2α を求めることができる。Fig. 4, 5 に米ツガ L-R, L-T, 最小の試験体を V_1 にした $\log(V_1/V_1)$ と $\log(K_1/b_1)$ のグラフを示す。最小二乗法で直線をあてはめた結果, 米ツガ L-R 割裂の場合は,

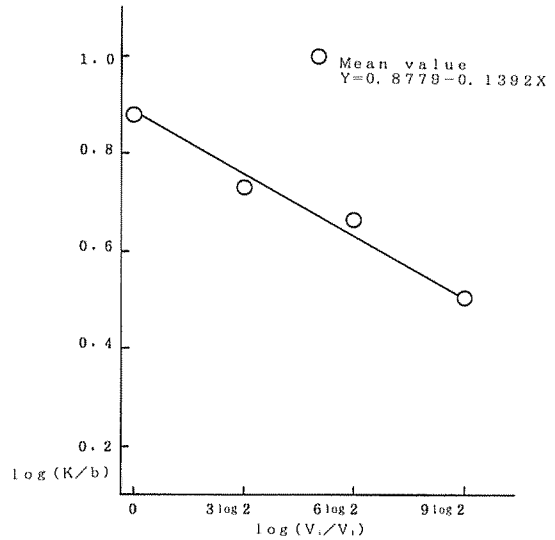


Fig. 4. The variation of $\log(K/b)$ with $\log(V_1/V_1)$ in L-R cleavage test of Western Hemlock.

Table 1. The result of cleavage test of Western Hemlock L-R specimen

specimen size (b:cm)		0.5	1.0	2.0	4.0
number		32	32	32	32
density (g/cm ³)	M.	0.47	0.46	0.46	0.45
moisture content (%)	M.	12.3	12.8	13.2	13.3
cleavage resistance (kg/cm)	M.	7.45	11.91	18.40	25.28
	S.D.	1.75	2.40	3.91	7.48

M.: Mean, S. D.: standard deviation

Table 2. The result of cleavage test of Western Hemlock L-T specimen

specimen size (b:cm)		0.5	1.0	2.0	4.0
number		32	32	32	32
density (g/cm ³)	M.	0.47	0.46	0.45	0.45
moisture content (%)	M.	13.5	12.6	12.4	13.1
cleavage resistance (kg/cm)	M.	5.06	7.69	13.48	17.43
	S.D.	1.11	1.78	2.34	3.38

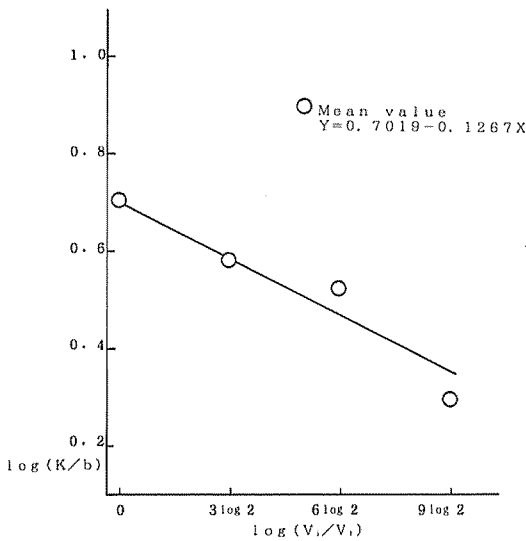


Fig. 5. The variation of $\log(K/b)$ with $\log(V_1/V_1)$ in L—T cleavage test of Westrn Hemlock.

$$Y=0.8779-0.1392X$$

となり、 $2\alpha \approx 7.2$ である。つまり、R方向横引張強さの寸法効果定数 2α が7.2となる。Fig. 5より求めたT方向横引張強さでは $2\alpha = 7.9$ である。

3. 縦引張強さの寸法効果

3.1 試験体および試験方法

相似試験体を製作する必要上 Fig. 6の試験体を基準試験体として設定した。寸法はJIS引張試験体の0.8倍の相似試験体であるが、円弧を相似で縮小して製作することが難しいので中央部平行部分を全長に渡って0.4

cm×1.2cm×31.2cmの板として製作し、同じ厚さの板より採取した4個の台形部分を接着した。接着には錯ビス系の木工用ボンドを使用、添木はカバ材を用い、これも接着した。

供試材には10.5cm角の対抗マサに木取りした米ツガ材を用い、Fig. 6の試験体の3倍、2倍、1倍、1/2倍、1/4倍の試験体を、長さ1mに横切りした角棒より5個ずつ製作した。引張試験は3および2倍の試験体では島津RH-50試験機、基準および1/2ではREH-10型試験機、1/4の場合はインストロン Model-1000を使用した。クロスヘッドの変位速度は7.2, 4.8, 2.4, 1.2, 0.6 mm/minである。

3.2 試験結果および考察

各系列ごとに試験体を30個用意したが、破断状態よりデータから除くことが適当と思われる試験体がかなりあったので個数はTable 3に示した通りである。試験体容積 V_1 に対応する引張強さを S_1 とすれば、

$$\log S_1 = \log S_1 - \frac{1}{2\alpha} \cdot \log(V_1/V_1)$$

を用い最小試験体の容積、強さを V_1, S_1 とすれば Fig. 7のグラフが得られる。直線 $Y=A+BX$ をあてはめると、

$$Y=3.0538-0.0650X$$

になり、 $2\alpha = -1/B$ より 2α の値は15.4となる。Table 3に示したように試験体の小さくなるほど含水率が低くなっている。含水率1%の増減に対し、縦引張強さ1%の増減があると言われているので Fig. 7の直線の勾配はもっと緩やかになり 2α の値はやや大きくなる可能性がある。米ツガ材では横引張強さよりも少ないと言える。

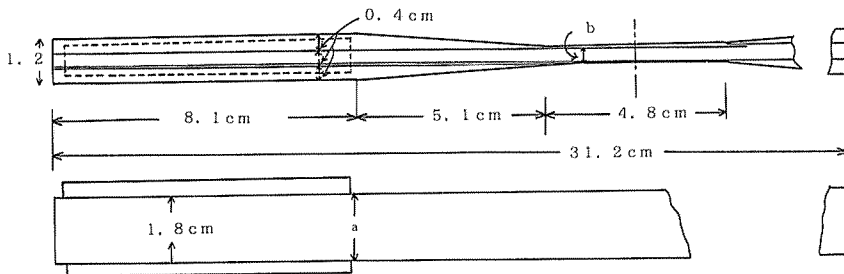
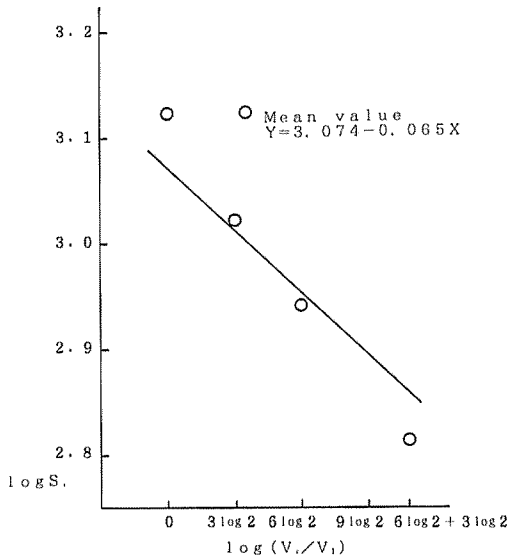


Fig. 6. Tensile specimen parallel to the grain (b: 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2)

Table 3. The result of tensile test parallel to the grain of Western Hemlock

specimen size (b:cm)		5.4×1.2	3.6×0.8	1.8×0.4	0.9×0.2	0.45×0.1
number		27	24	23	24	28
density (g/cm ³)	M.	0.54	0.53	0.52	0.52	0.53
moisture content (%)	M.	13.0	11.0	11.0	10.5	9.5
cleavage resistance (kg/cm)	M.	789.0	849.3	874.1	1063.0	1318.5
	S.D.	141.0	216.0	245.6	322.3	315.8

Fig. 7. The variation of $\log S_i$ with $\log (V_i/V_1)$ in L-direction - tensile test of Hemlock.

4. む す び

- 1) 米ツガ材で割裂試験を応用して横引張強さの寸法効果定数を測定した。R 方向では7.2, T 方向では7.8である。
- 2) 米ツガ材の縦引張強さでは15.4である。

引用文献

- 1) 堀 素夫：破壊現象におけるランダムネス・数理科学, 122:22-28 (1973)
- 2) Freudenthal, A. M. Stastical Approach to Brittle Fracture. Fracture II, Academic Press, New York p. 591-619 (1968)
- 3) 近藤次郎：確立論と其の応用, 日科技連, 東京 (1965)
- 4) Sabnis, G. M. and S. Aroni. SIZE EFFECT IN MATERIAL SYSTEM. Structure, Solide Mechanics and Engineering Design Part 1 (ed. by M. TE'ENI, WILEY-INTER-SCIENCE, New York) p. 131- 142 (1969)
- 5) 角谷和男, 杉原彦一：木材の引張および曲げ破壊強度における寸法効果について, 木材誌, 3 (5) : 168-173 (1957)
- 6) 角谷和男, 川越信哉, 杉原彦一：ヒノキ圧縮強度における寸法効果, 木材研究, 24 : 46-48 (1960)
- 7) 大河平行雄：割裂試験体の形状係数に関する研究第2報, 三重大農学報, 37 : 77-102 (1968)
- 8) 大河平行雄：ヒノキ割裂試験における横引張強さの寸法効果について, 三重大農学報, 60 : 71-75 (1980)