

曲げ荷重下におけるひずみ分布の繊維走向度依存性^{※1}

高橋 徹・藤田 晋輔・桜井 敏夫^{※2}

Akira TAKAHASHI, Shinsuke FUJITA, and Toshio SAKURAI
Effect of Grain Angle (Longitudinal Direction) to Strain
Distribution on Wooden Beam in Bending.

はじめに

木材の曲げ試験におけるその弾性率および強さ等を繊維走向と関係した研究は若干みられるが、その応力分布まで入って検討した報告はない。

実 験

試験片は北ボルネオ産レッドラワン材 Red Lauan (含水率約 11.1±1.0%, 気乾比重 0.56) で、断面は 3×3 cm, 長さはハリタケの 14 倍 + 6 cm (48 cm) とした。繊維走向度はスパン方向に対して、0°, 22.5°, 45°, 67.5° および 90° である。荷重方法は 3 点曲げ荷重で、光弾性実験¹⁾と同時に読取顕微鏡でたわみを測定した。同一の板から他に 6 本の試片を得て、荷重—たわみ曲線を測定した。

結 果 と 考 察

荷重—たわみ関係は第 1 図に示す。また第 1 図からえた曲げ強さ、曲げ弾性率および曲げ比例限度力の繊維走向度との関係を第 2 図に一括して示した。曲げ強さを HANKINSON の式、

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel} \sin^2 \theta + \sigma_{\perp} \cos^2 \theta}$$

に当てはめて n を検討すれば、 $n = 1,867$ となり、従来の結果の曲げ³⁾ $n = 2$, 引張 1.5~2.0, 圧縮 2~3 と比べて、曲げ強さが引張強さに相当影響されることを考えると本実験値 n は比較的妥当と思う。また繊維走向度の弾性率への影響は理論的にはほぼ妥当である。

繊維走向度 $\theta = 0^{\circ}, 22.5^{\circ}, 45^{\circ}, 67.5^{\circ}$ および 90° の

※1 本報を「光弾性皮膜法による木材のひずみ測定 (第 10 報)」とする。第 9 報は「木材学会誌」に投稿中。

※2 木材加工学研究室 Laboratory of Wood Science and Engineering

5 種類について、たわみ 5 mm の場合の等傾線図 (a)、主ひずみ線図 (b) および等色線図 (c) を一括して第 3 図に示す。

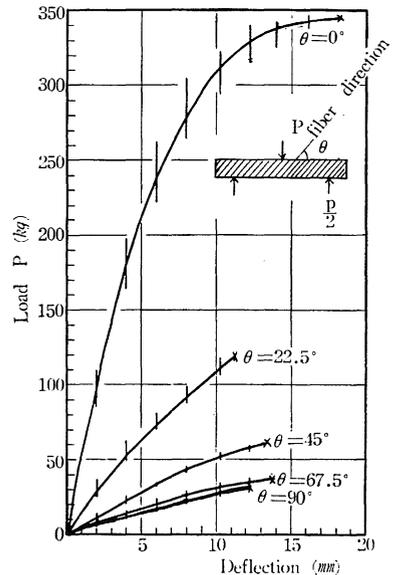


Fig. 1 Load-deflection curves to the change of grain angle (θ) between fiber direction and span. x failure point, | variation range.

等傾線 (a) と主ひずみ線図 (b) は繊維走向度 θ によって次の点で顕著な変化が認められる。すなわち、(1) $\theta = 0^{\circ}$ の場合、荷重点間で等傾線が $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の順にならび、主ひずみ線はハリタケの上側で圧縮主ひずみが働らき、スパン方向に平行となり、引張主ひずみが 0 のため自由端に垂直に働く。ハリタケ中央付近ではスパン方向に 45° と中立面でせん断を示すが、さらにハリタケ下 (底) 側では上側の丁度逆のようになる。

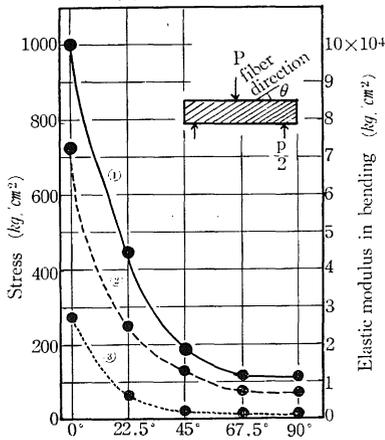


Fig. 2 Mechanical properties in bending to change of grain angle θ

- ① Elastic modulus.
- ② Strength in bending.
- ③ Stress in proportional limit.

(2) $\theta = 22.5^\circ \sim 45^\circ$ では等傾線の範囲が $20^\circ \sim 90^\circ$, $20^\circ \sim 60^\circ \sim 20^\circ$ へと変化するので, 主ひずみ線図は $\theta = 22.5^\circ$ で引張側がハリタケの最下部より上昇する. $\theta = 45^\circ$ ではハリの右半分にも両支点のほぼ中間に特異点が存在し, 繊維走向度による特徴があらわれる. この特異点を境として, 主ひずみ方向が対称的になる. またハリの左半分にも両支点の中間に特異点が存在し, その特異点の左側ではハリの上下端に圧縮主ひずみが働いており右側と異なっている.

(3) $\theta = 67.5^\circ$ になると等傾線は中央荷重点の左半分に $10^\circ \sim 60^\circ$ しか生ぜず, 右半分には特異点を生じている. 本質的には $\theta = 45^\circ$ とあまり異ならず, 一部を除いて主ひずみ線図は全体として似ている.

(4) $\theta = 90^\circ$ になると等傾線は $0^\circ \sim 30^\circ$ で (スパン間のみ) あり, ハリの上半分は純粋な圧縮ひずみのみが働いているが, ハリタケの中間より下側へ向うにしたがってせん断が少し働いている.

等色線はすべて同じ傾向を示すが, 繊維走向度が増加

するにしたがって両支点方向へ拡がる傾向を示している.

次に繊維走向度変化による曲げ試験では, $\theta = 0^\circ$ のときは荷重点で繊維方向に垂直に破壊が生じ, 垂直ひずみは破壊に寄与していることが破壊形態からわかる. $\theta = 22.5^\circ \sim 90^\circ$ では, 繊維走向と一致した破壊線を示し, 主としてせん断によるすべり現象とみられる.

繊維走向度と垂直およびせん断ひずみ分布 (たわみ 5 mm) との関係は第4図に示す. 同図において, 垂直ひずみの分布が, ハリ上端縁で圧縮ひずみ最大値をとり, 下端縁付近で引張ひずみ最大値をとる. また垂直ひずみが零となる中立面が存在する. とくにせん断ひずみは繊維走向度によって顕著な変化を示し, 特に引張側では正のせん断ひずみがみられる. これらの各々の繊維走向度によるひずみ分布への影響について次に検討する. 繊維走向度 $\theta = 0^\circ$ の場合, 垂直ひずみ分布とせん断ひずみ分布は第5図に示した分布にしたがいで示される.

$$\tau_{xy} = \frac{3(h^2 - 4y^2)V}{2bh^3}$$

$$\sigma_x = \frac{My}{I} = \frac{Py}{2I} \left(\frac{l}{2} - x \right)$$

変形はハリの各層が相互にすべりを生ずるせ

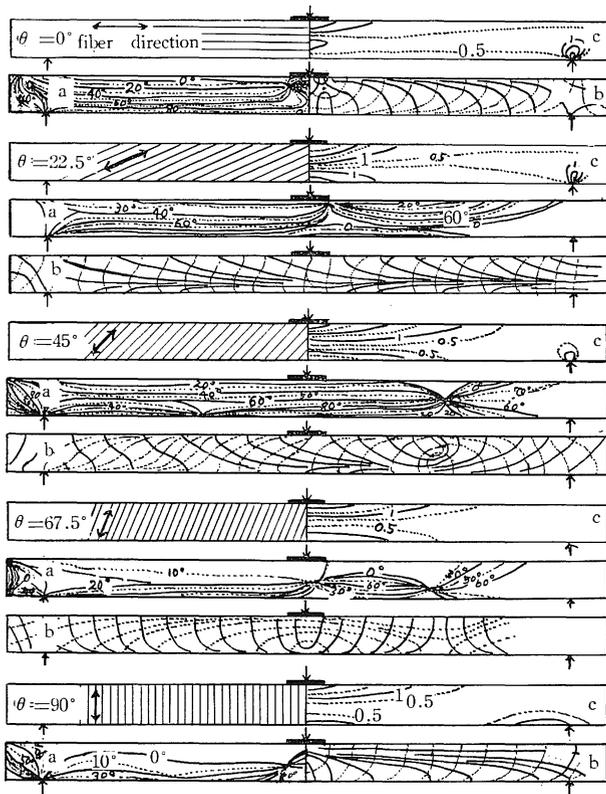


Fig. 3 Photoelastically observed values. [pattern in isoclinics (a), principal strain diagrams. (b), isochromatics (c)]

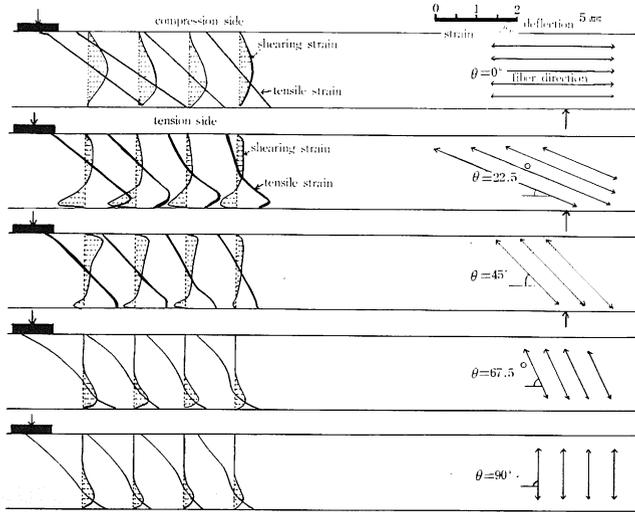


Fig. 4 Distribution of shearing and normal strain to change of grain angle θ

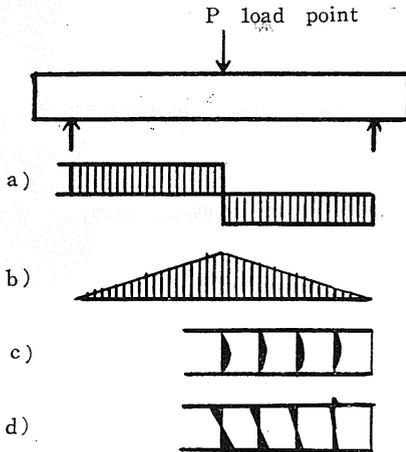


Fig. 5 Stress distribution in bending.
 a) Diagram of shearing stress.
 b) Diagram of normal stress.
 c) Distribution in shearing stress.
 d) Distribution in normal stress.

せん断応力が存在し(第6図), 上下端における最大層のせん断ひずみは零で, 中立面近くで最大値をとる。垂直ひずみは上下両端で圧縮および引張ひずみが最大値をとる。また第1図より破壊応力が 749 kg/cm^2 であるから, 垂直応力の曲げ破壊への寄与は90%に達する。

$\theta = 22.5^\circ$ および 45° の場合には垂直ひずみ分布が 0° の時とほぼ同じ傾向にある。いま, せん断ひずみの符号規約を慣習にしたがって, 定め, 測定軸の左側を負の

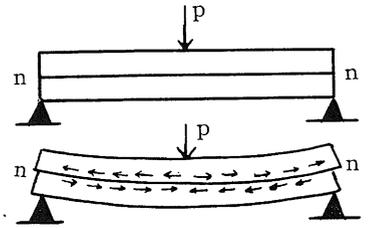


Fig. 6 The state of shearing stress in bending.

せん断ひずみとすると, せん断ひずみ分布は垂直ひずみの引張側で逆転し符号を変える。しかも最大せん断ひずみは最大引張ひずみ近くで正をとる。この現象は深い切込みをもつ等方体の曲げにおいても認められる。以上の現象から第7図に示すように, mn に平行な繊維 m_1n_1 はげモーメントによって m_2n_2 に変形するものと考えられる。

$\theta = 67.5^\circ \sim 90^\circ$ の場合には, スパン方向に対し繊維方向が垂直またはそれに近く, 第8図(a)に示すように, E_1 は E_2 の10倍近くもあるため, 第6図のような変形はしない。したがって, その破壊形態(写真1)から, スパン垂直方向のせん断力で破壊するものと推察(第8図b)出来る。しかし, 垂直ひずみ分布は中立面が引張側へ移動し, 引張ひずみに比して圧縮ひずみは過大である。せん断ひずみは垂直ひずみが圧縮側にある場合にほとんど零で, 引張側の領域に移る付近より発生している。したがって矩形要素が曲げ変形で第7図(c)のてい形となり, ハリ上縁では横圧縮を, 下縁では横引張の応力状態となって横引張およびせん断による破壊現象となる。この曲げ破壊応力は約 80 kg/cm^2 で横引張強さに相当する。故に第7図(b)のようなせん断変形も考えたが, その他に同図(c)のように変形し, それが破壊に大きい要素を占めることがわかった。

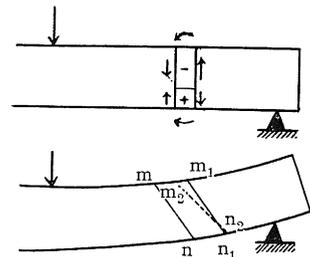


Fig. 7 Deformation of grain angle groupe $\theta = 22.5 \sim 45^\circ$ in bending.

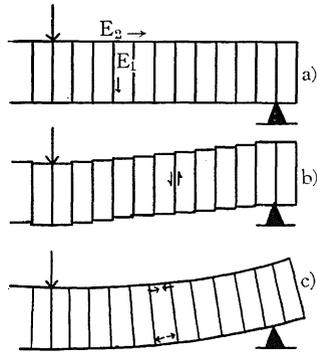


Fig. 8 Deformation mechanics of grain angle $\theta=90^\circ$ in bending.

引用文献

1. 高橋徹：木材学会誌, 12, 203-209, 1966
2. 高橋徹・桜井敏夫：島根農大研報, 15(A-2), 34-40 (1967)
3. 梶田茂：木材工学, 1961, 養賢堂224
4. チモシェンコ (片山, 北畠訳)：材料力学 上巻 1954, コロナ社, 41
5. FROCHT：Photoelasticity, vol 1. 1965, John Wiley & Sons Inc, 275.
6. HEARMAN, F. R. S. : An Introduction to Applied Anisotropic Elasticity, 1961, Oxford Univ, Press, 12-13.

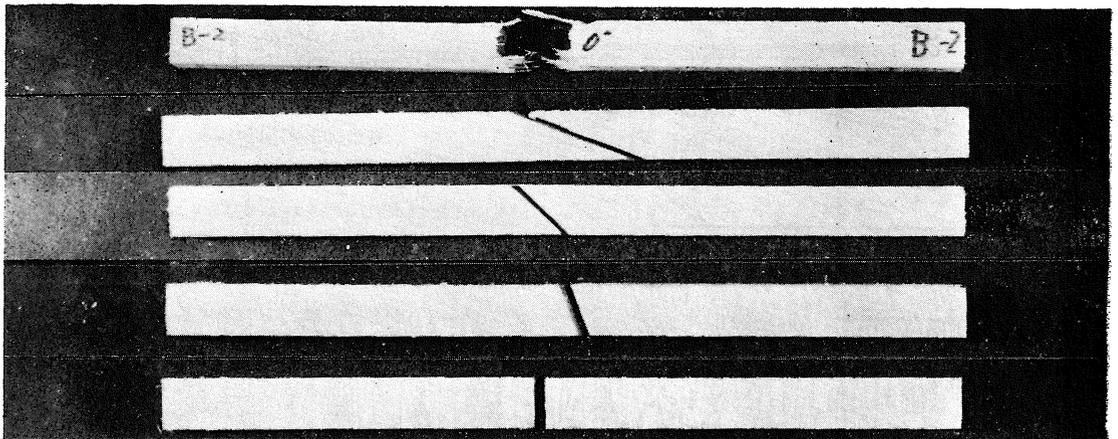


Photo Characteristic failure in bending beam.

Summary

By using photoelastic coating technique, the author undertook a series of experiments on wood beam (red lauan), under the variation of the angle (θ) between the span direction and the longitudinal direction of wood, i. e. grain angle (θ) from 0° to 90° , to measure the strain and to observe the failure form of the simply supported wood beam that carried a concentrated load P at midspan. The following conclusions may be drawn from the experiments :

1) The load-deflection curves are shown in Fig.1. The strength, elastic modulus and stress in proportional limit, in bending were calculated from Fig. 1. These mechanical properties of wood beam are shown in Fig. 2, and are discussed. The strength value in bending to vary the grain angle θ are applied to HANKINSON'S equation, and the coefficient n of the HANKINSON'S equation equals 1.867 ($n = 1.867$). This value is the same as reported by other researchers, so it is considered that the strain distributions also was shown in expected range.

2) The photoelastically observed values (pattern in isoclinics (a), principal strain (b) and isochromatics (c) are shown in Fig. 3. Especially, patterns in principal strain (b) in Fig. 3 are illustrated against change of the grain to span direction.

3) The relationships between the variation with grain angle and normal strain, and shearing strain are shown in Fig. 4. In distribution of normal strain, compressive strains are attained to the maximum values in compression side (upper part) of wood beam, and tensile strains are attained to minimum values in tension side (lower part) of wood beam. The neutral axis shifts to tensile side along with the increase of the grain angle to span direction. Change in the distribution of the shearing strain are shown under the variation of the grain angle. The change may be divided into three major groupes of $\theta=0^\circ$, $22.5^\circ\sim 45^\circ$, and $67.5^\circ\sim 90^\circ$. Especially in the groupe $\theta = 67.5^\circ\sim 90^\circ$, the deformations in part of wood beam take a U-shape as shown in Fig. 8 (c), and so compressive strains are remarkably increased on compression side (upper part). Therefore, tensile and shearing strains are increased slightly on tension side (lower part) in wood beam, The bending strength in grain angle $\theta=90^\circ$ is dependent on the tensile strength perpendicular to grain, as the compressive deformation perpendicular to grain has the considerable plastic range.