

木材の曲げ試験時のサーモグラフィ

内藤 茂樹・澤田 豊・藤井 義久・奥村 正悟

Thermography of Wood Specimens in Static-Bending Test

Shigeki NAITO, Yutaka SAWADA, Yoshihisa FUJII and Shogo OKUMURA

要 旨

木材の変形や破壊に伴う発熱についての知見を得るために、ベイヒ (*Chamaecyparis lawsoniana* Parl.) の気乾材を用いて三点曲げならびに四点曲げを行ったときの試片側面の表面温度をサーモグラフィ装置で測定し、試片の変形や破壊と温度上昇の関係について検討した。三点曲げでは、荷重が比例限度を越えると試片の圧縮側の荷重点下で繊維方向の圧縮破壊に伴って温度が徐々に上昇し、最大荷重に達するまでに平均で0.6℃の温度上昇が見られ、破壊時には引張側で温度が瞬間的に大きく上昇した。四点曲げでも同様の温度上昇が認められたが、荷重点下以外の部分でも繊維方向の圧縮破壊に伴う温度上昇を示す試片もあった。また、人為的な欠点として直径3または5 mmの穴をあけた試片の三点曲げを試みたところ、直径5 mmの場合には試片の温度上昇に穴の影響が認められたが、3 mmでは穴をあけた効果はほとんど認められなかった。

1. は じ め に

物体に外力を及ぼすと変形の程度に応じて物体の温度は変化するが、この温度変化は、弾性変形時の熱弾性効果によるものと塑性変形時の内部摩擦によるものに大別される。木材も他の材料と同じように、外力を与えるとその変形の程度に応じて温度変化が生じることが予想されるが、知見は極めて乏しい^{1)~4)}。そのため奥村らは、木材の変形や破壊に伴う温度変化に関する基礎資料を得るために、木材の圧縮試験時における温度変化をサーモグラフィ装置で測定し、木材の圧縮変形や圧縮破壊と発熱の関係について検討した⁵⁾。その結果、1)縦圧縮では、試片の中央付近の温度が上昇した後、せん断破壊による急激な温度上昇が生じること、2)横圧縮では圧縮破壊が層状に生じ、その場所や数は試片ごとに異なるものの、温度上昇領域は破壊部分に一致し、また大きな圧縮ひずみが生じている領域では、温度上昇も大きくなる傾向が認められること、3)部分圧縮では鋼製のあて板から5 mm程度離れた領域にあて板を取り囲むような温度上昇が認められるが、この温度上昇はあて板を通じた熱流出の影響を受けること、4)この実験で測定した最大の温度上昇は、縦圧縮で約6℃、横および部分圧縮で約2℃であること、などが明らかになった。本研究では、この木材の変形や破壊に伴う温度変化に関する研究の一環として、木材の三点曲げおよび四点曲げ試験を行ったときの試片側面の温度変化をサーモグラフィ装置で測定し、試片の変形や破壊と発熱の関係を荷重-たわみ曲線と関連づけて検討した。また、人為的な欠点として試片側面に貫通穴をあけた試片についても三点曲げ試験を行い、このような欠点が温度変化に及ぼす影響についても検討することを試みた。

なお、本研究の費用の一部は平成7、8年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(A)(2)、課題番号

07506002, 代表者 増田 稔) によった。

2. 実 験

2. 1 試料

繊維方向長さ300mm, 20mm角の二方桁のベイヒ試片 (*Chamaecyparis lawsoniana* Parl., 気乾比重0.40-0.56) と, 同じ形状で四方桁のベイヒ試片 (気乾比重0.41-0.56) を用い, 後者の側面中央部上方 (圧縮側) または下方 (引張側) には直径3mmもしくは5mmの貫通穴をあけた (Fig. 1)。以後, 前者を無欠点試片, 後者を欠点試片と呼ぶ。なお無欠点試片は三点曲げ, 四点曲げにそれぞれ11個を用い, 欠点試片は各3個, 計12個を供試した。

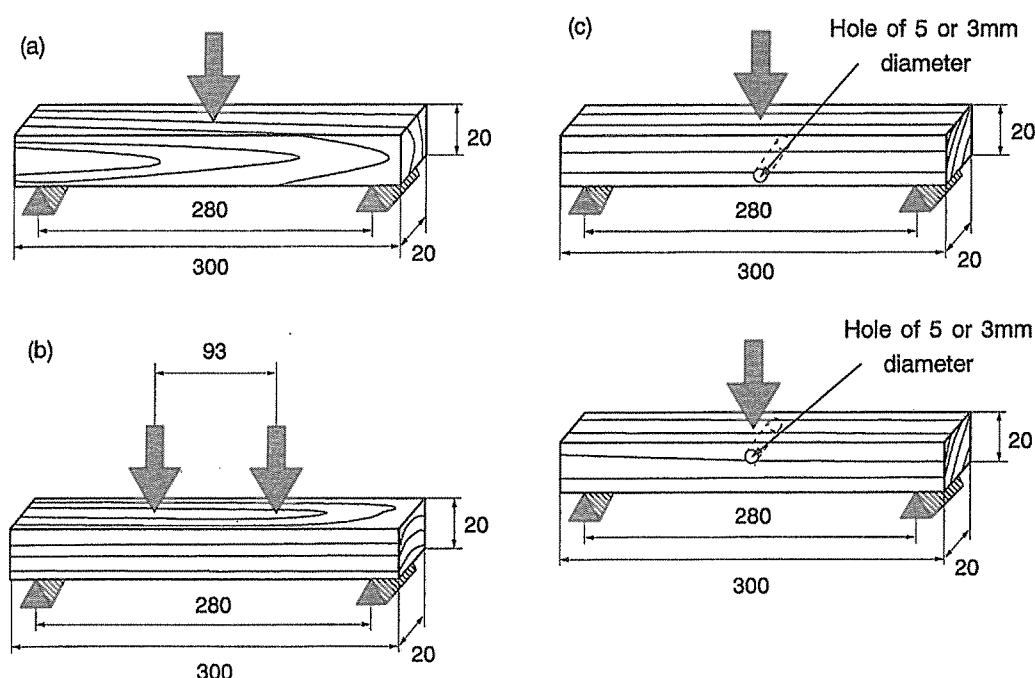


Fig.1. Specimen sizes and conditions for (a) center loading and (b) two-point loading tests of clear specimens, and (c) center loading tests of specimens with holes.

2. 2 方法

2. 2. 1 曲げ試験

全ての試験は万能試験機 (島津RH10) で行い, 三点曲げ試験はスパン280mmの試片中央部に, 無欠点試片では平均2.16mm/min, 欠点試片では平均4.40mm/minのクロスヘッド移動速度で負荷をかけた (Fig. 1)。また, 四点曲げ試験は, ロードスパン93mmの試片中央部に平均1.69mm/minのクロスヘッド移動速度で負荷をかけた。なお, 無欠点試片については荷重面を柃目面および板目面とした (Fig. 1)。

曲げ試験時の試片のたわみは, ダイアルゲージ式変位変換器で測定したクロスヘッド移動量とし, 万能試験機から出力される試験時の荷重とともにA/D変換ボード (コンテックADA12-8/2(98)) を

用いて12ビットのデジタル値に変換し、パソコンのハードディスクに保存した。また、曲げ試験と同時に、事前に作成した荷重-たわみ曲線描画プログラムを用いて、パソコンに入力される荷重とたわみの値からパソコンのディスプレイ上に荷重-たわみ曲線を描画した (Fig. 2)。

2. 2. 2 温度測定

温度測定にはサーモトレーサ (日本電気三栄 6T62) を用い、赤外線カメラを試片側面から約30cm離れた位置に設置した。測定した熱画像はサーモトレーサのCRTに表示するとともに、適宜光磁気ディスクに保存した。なお、試片や強度試験機周辺の気温変動や、周辺物体からの熱放射の影響を極力おさえるために、試片のまわりを段ボールを利用して覆った。

2. 2. 3 熱画像と荷重-たわみ曲線の合成

本実験では、試片の変形と温度上昇の関係を正確に把握するため、サーモトレーサのCRT上の熱画像をCCDカメラで撮影し、スーパーインポーズボード (インタフェース98S-POSE(RN/N)) を通してパソコンに取り込み、これとパソコンのディスプレイ上に描かれる荷重-たわみ曲線を合成した映像をビデオテープに記録した (Fig. 2)。このようにして得られた合成映像の一例をFig. 3に示す。

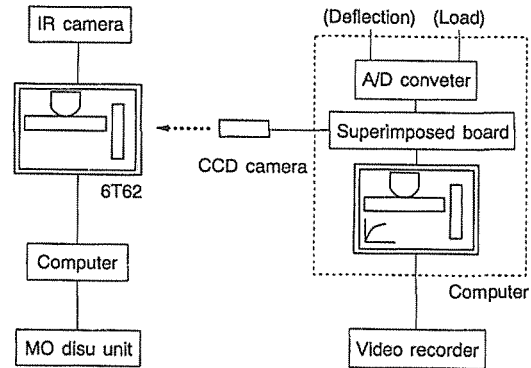


Fig. 2. Schema of measuring system.

3. 結果と考察

3. 1 無欠点試片

3. 1. 1 三点曲げ

板目面に荷重をかけた試片の荷重-たわみ曲線と熱画像の代表的な例をFig. 4に示す。図からわかるように、荷重が比例限度内では負荷開始前と比べて温度変化はほとんど認められないが、比例限度を越えると荷重点から2~3 mm真下の点を中心に温度が上昇し始めた。この温度上昇の中心部には座屈線が認められたため、このときの発熱は繊維方向の圧縮に伴うものであり、そこで発生した熱が周囲に拡散したと考えられる。また等温線は横長の楕円形をしているが、これは発生した熱が加圧ヘッドへ流入したことで繊維方向の熱伝導率が繊維直交方向よりも大きいことが原因と思われる。この圧縮側の温度上昇部分の中心温度は荷重の増大とともに大きくなり、最大荷重に達するまでにこの試片では0.7℃の温度上昇を示した。試片が最大荷重に達すると引張側で引張破壊やせん断破壊による亀裂が生じ、この亀裂を取り囲む形で温度上昇の大きな部分 (最も高い部分で2℃) が瞬間的に現れた。

Fig. 5は圧縮側の温度上昇が最も大きかった試片の荷重-たわみ曲線と熱画像であり、最高で1.4℃の温度上昇を示した。一方、Fig. 6は圧縮側の温度上昇が最も小さかった試片の荷重-たわみ曲線と熱画像であり、最も温度が高い部分でも0.2℃であった。この温度上昇が最も小さかった試片は目切れを持ち、繊維方向の圧縮破壊が生じないうちに引張側で破壊が起きたことが、圧縮側の温度上昇が小さかった原因であると推測される。

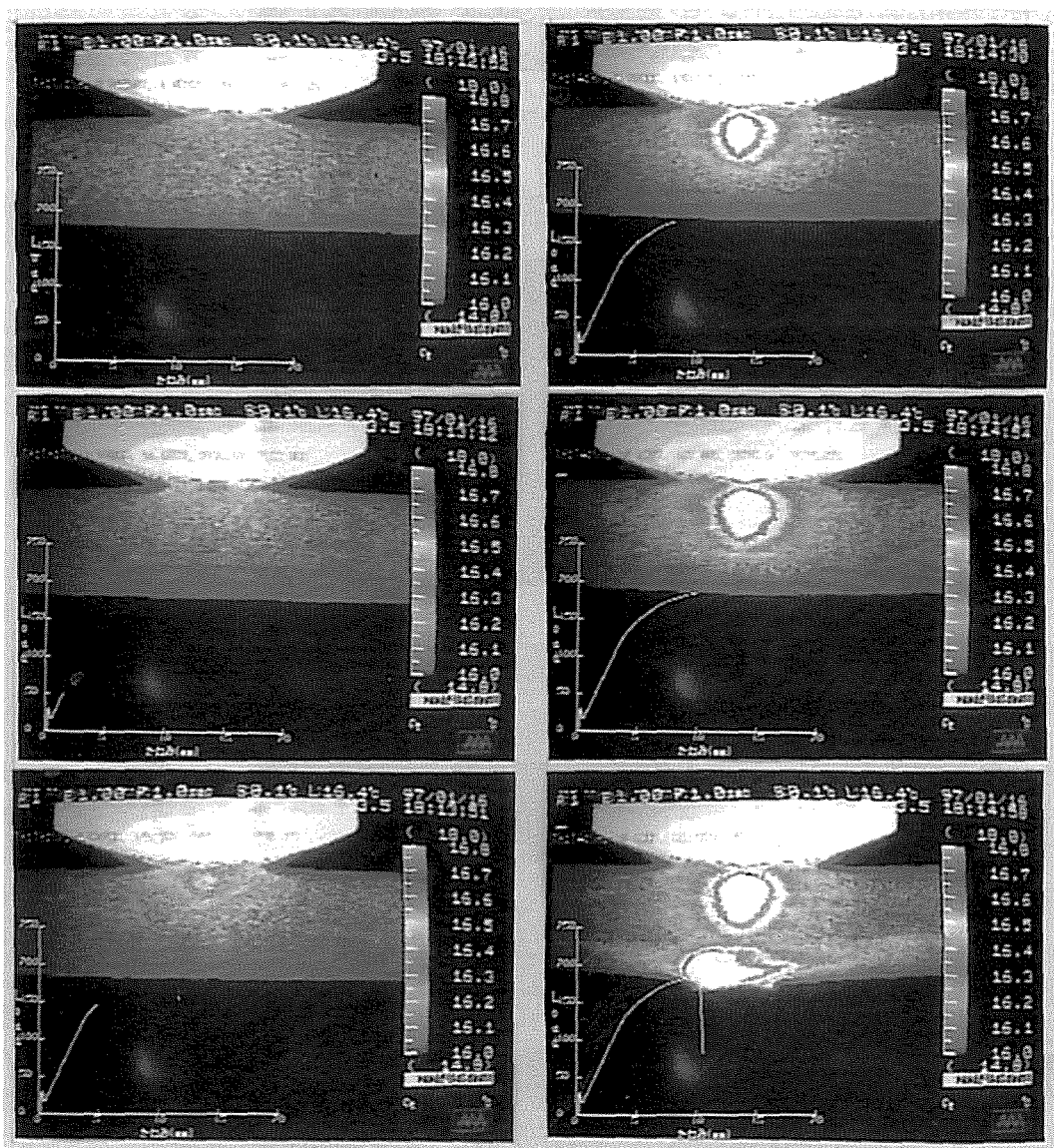


Fig.3. An example of a series of superimposed pictures of load-deflection curve and thermal image.

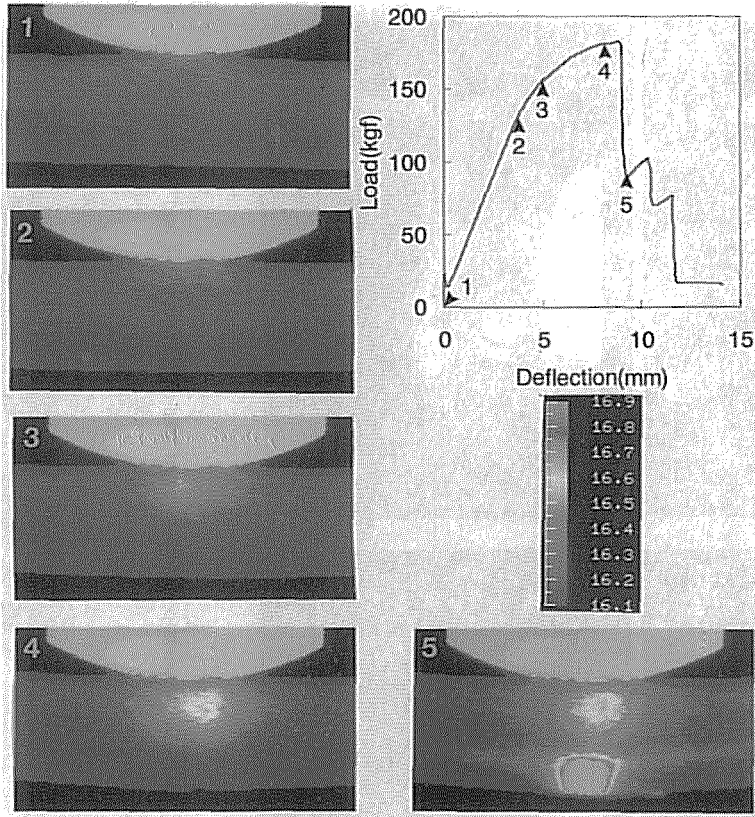


Fig.4 Thermograms and load-deflection diagram for a center loaded clear specimen. Numerals in diagram refer to points thermograms are taken.

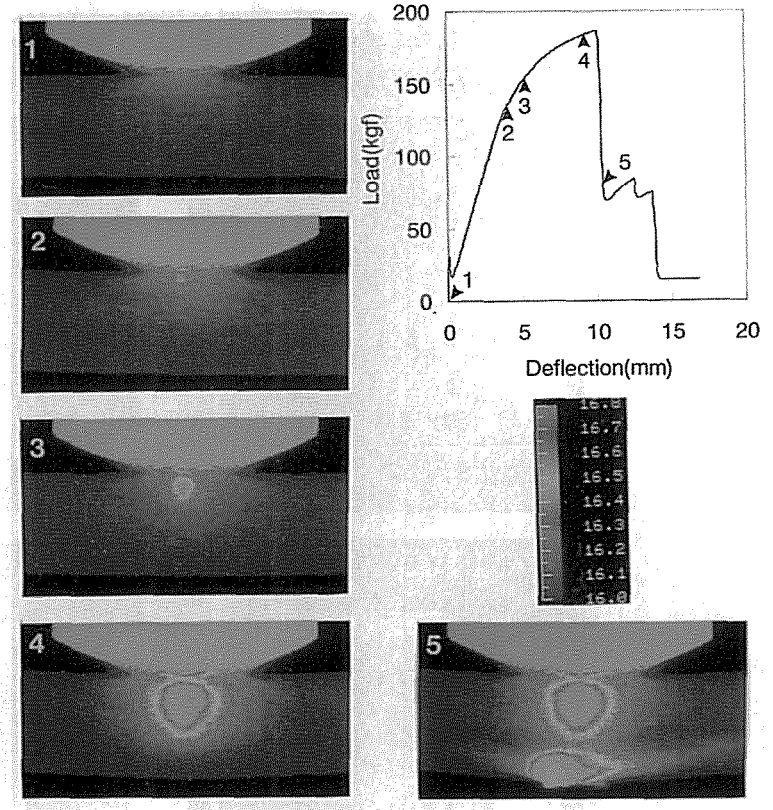


Fig.5. The same as Fig.4, but for a specimen showing the largest temperature rise.

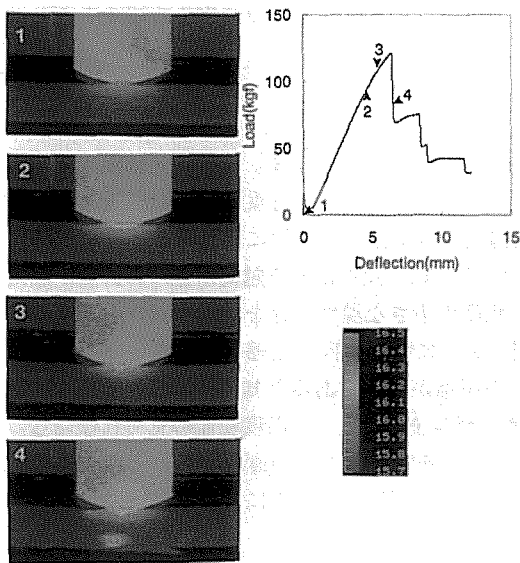


Fig.6. The same as Fig.4, but for a specimen showing the least temperature rise.

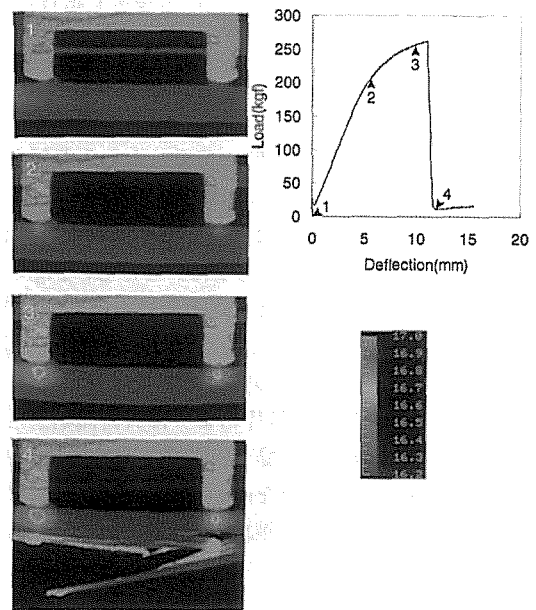


Fig.7. Thermograms and load-deflection diagram for a symmetrical two-point loaded clear specimen.

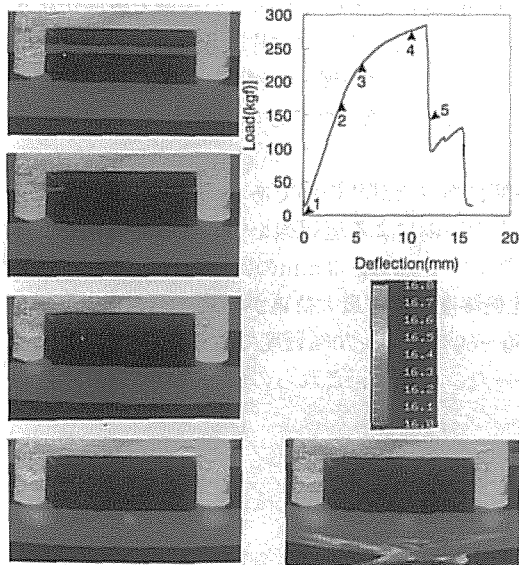


Fig.8. The same as Fig.7, but for a specimen showing a distinct temperature rise at the center of two loading points.

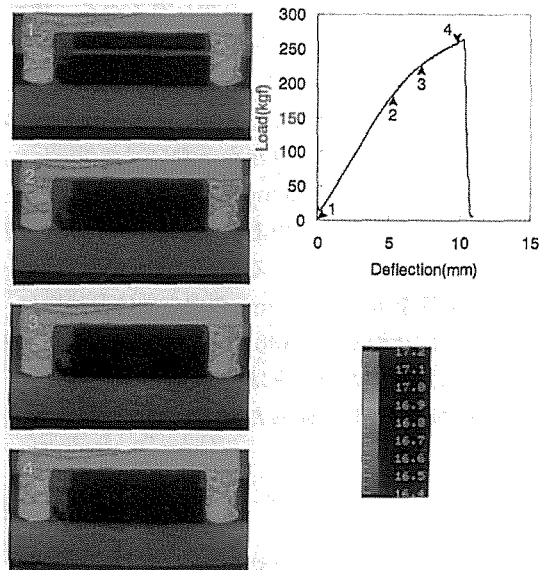


Fig.9. The same as Fig.7, but for a specimen showing little rise in temperature.

なお、今回の実験では、柁目面荷重と板目面荷重の違いによる温度上昇の変化を確認することはできなかった。

3. 1. 2 四点曲げ

Fig. 7 に四点曲げ試験時の荷重－たわみ曲線と熱画像の平均的な例を示す。荷重が比例限度を越えたあたりから荷重点下で繊維方向の圧縮による温度上昇が始まり、最大荷重到達後に引張破壊やせん断破壊によって生じた亀裂を取り囲む形で大きな温度上昇部分が瞬時的に現れるという点では、三点曲げのときと同様であった。しかし、Fig. 8 に示すように、比例限度を越え、さらに荷重が加えられていくと、二つの荷重点の間にも部分的に0.2℃程度の小さな温度上昇を示した試片もいくつかあった。この部分にも荷重点下の温度上昇部分と同じように繊維方向の圧縮破壊による座屈線が生じていたことから、この部分の温度上昇も繊維方向の圧縮が原因であると推測される。

一方、Fig. 9 に示す試片のように負荷開始から破壊に至るまでほとんど温度変化の見られないものもあった。この試片の場合、荷重－たわみ曲線は比例限度を過ぎてからの直線からのそれが比較的小さく、また、脆性的な破壊であることから、圧縮側の破壊が生じるまでに試片の破壊が生じたものと考えられるが、詳細には今後の検討が必要である。

3. 2 欠点試片

Fig. 10 は、直径 5 mm と直径 3 mm の穴を引張側にあけた試片の荷重－たわみ曲線と熱画像の一例である。どちらの場合も無欠点の試片と同じように、比例限度内での温度上昇は認められなかった。また、両者とも比例限度を越えると圧縮側で座屈部分を中心にして温度が上昇し始めたが、直径 5 mm の穴をあけた方は最大荷重に達するまでの上昇温度も無欠点の試片に比べて小さく、中には温度上昇を示さない試片もあった。これは、比例限度を越えてから最大荷重に達するまでのたわみが無欠点試片に比べて小さいことから考えると、繊維方向の圧縮が進まないうちに引張側で破壊が起きたことによるものと推測される。このことはFig. 6 に示した目切れを持つ試片にも共通することである。一方、3 mm の穴をあけた試片は破壊荷重に達するまでの上昇温度、比例限度荷重、比例限度たわみ、最大荷重などが無欠点試片よりも若干小さいものの、穴をあけたことの影響は 5 mm の穴をあけたものほど明確に現れなかった。

次にFig. 11 は、直径 5 mm と直径 3 mm の穴を圧縮側にあけた試片の例である。どちらの試片も比例限度を越えると、穴の上部と下部に生じる繊維方向の圧縮による座屈線を中心にして温度が上昇し始め、最大荷重に達するまでに 5 mm の穴をあけた試片で 0.6℃、3 mm の穴をあけた試片で 0.8℃ の温度上昇を示した。5 mm の穴をあけた試片は、比例限度荷重と最大荷重が非常に小さく、それぞれ無欠点試片の平均値 140.2 kgf と 172.3 kgf のおよそ 50～60% と 60～70% 程度であった。また最大荷重に達したときのたわみは無欠点試片よりも大きかった。しかし、これらの値の違いは上昇温度の大きさには影響しなかった。

4. お わ り に

木材の変形や破壊と発熱の関係について検討するために、気乾の木材小試片に曲げ変形を与えたときの温度上昇をサーモグラフィ装置で測定した結果、試片の変形・破壊に伴う温度の上昇挙動を概ね明らかにすることができた。今後は、ひずみエネルギー、試片の含水率・比重・比熱、雰囲気温度・湿度などの温度上昇に影響すると考えられる因子と上昇温度の定量的な関係についてさらに検討する必要がある。

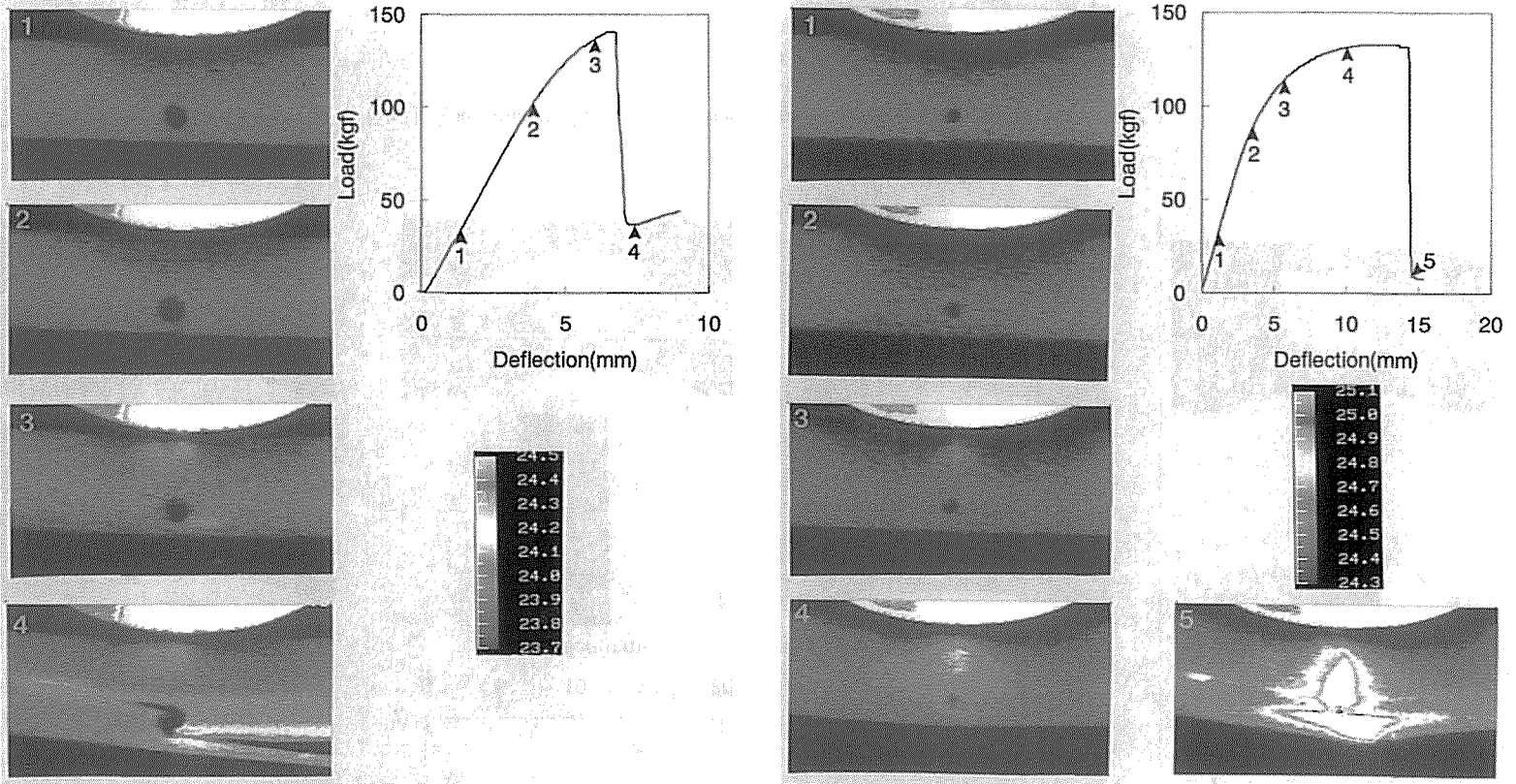


Fig.10. Thermograms and load-deflection diagram for center loaded specimens with holes of 5 (left) and 3mm (right) diameter.

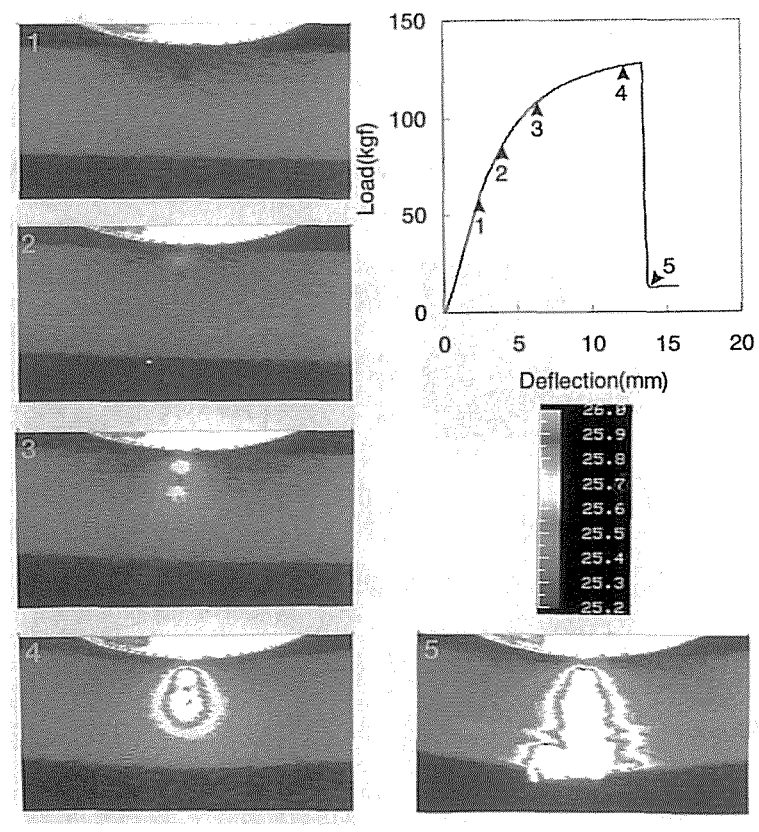
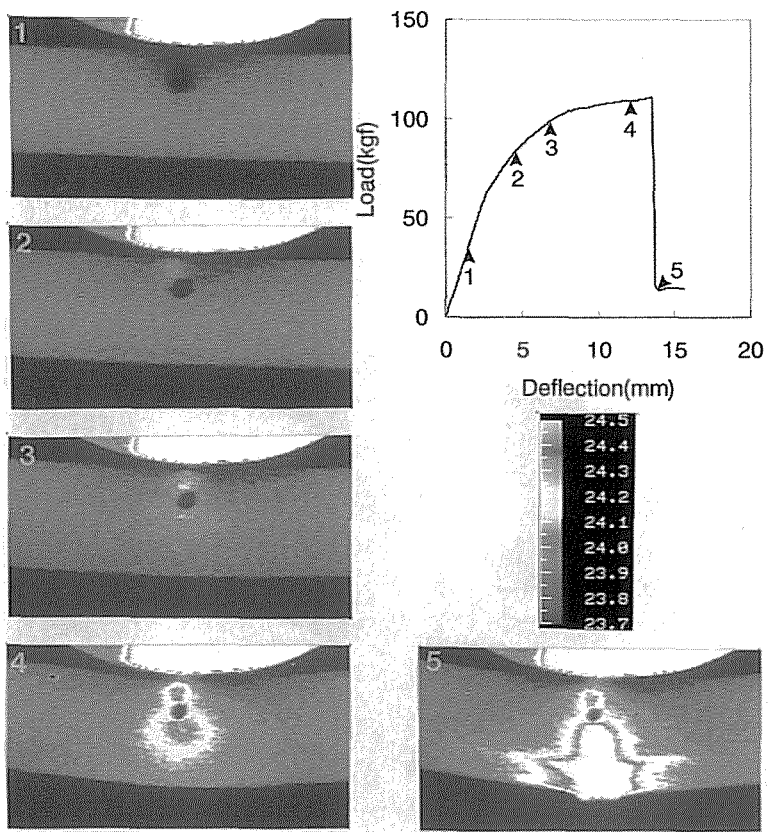


Fig.11. The same as Fig.10, but for specimens with holes in the compressive side.

文 献

- 1) Okumura, S., T. Okuda and H. Sugihara (1983) Temperature distribution on the side face of a saw tooth in interrupted cutting I. Orthogonal cutting. *Mokuzai Gakkaishi* **29**(2), 123-130
- 2) Okumura, S. (1985) A theoretical approach to the cutting edge temperature in interrupted cutting of wood. *Mem. Coll. Agric., Kyoto Univ.* No.127, 29-36
- 3) Okumura, S., S. Nanba and M. Noguchi (1993) Thermographic temperature measurement of tool-chip-work system in slow speed wood cutting. *Proceedings of the 11th International Wood Machining Seminar*, Honne, Norway. p.41-55
- 4) Okumura, S. (1995) A numerical analysis of tool edge temperature in rubbing against wood. *Proceedings of the 12th International Wood Machining Seminar*, Kyoto, Japan, p.529-537
- 5) 奥村正悟・鈴木利枝・藤井義久 (1996) 木材の圧縮試験時のサーモグラフィ. 京大演報. **68**. 161-169

Résumé

To examine the thermal behavior of wood during static-bending test, the surface temperature of small air-dried specimens of yellow cedar (*Chamaecyparis lawsoniana* Parl.) was measured during center loading and two-point loading tests by using a thermographic device.

The center loaded specimens showed a temperature rise up to av. 0.6°C immediately below the loading point after the load reached the proportional limit, and showed a sudden rise in temperature around the broken area in the tensile side (Figs. 4, 5 and 6). The temperature rise before the breakage resulted from the compression failure of specimens.

The two-point loaded specimens showed a temperature rise in the same manner as the center loaded ones, and some specimens showed a temperature rise also at the center of two loading points (Figs. 7, 8 and 9). In the center loading test of specimens with holes of 3 or 5mm diameter (Fig. 1), it was found that the hole of 5mm diameter distinctly influenced the temperature rise of specimens, especially for the specimens drilled on the tensile side (Figs. 10 and 11).