桐材の難燃性とそのメカニズムに関する研究

A Study on Flame Retardency of Paulownia Wood and the Mechanism

○正 李 鵬 (金沢大) 正 尾田 十八 (金沢大)

Peng LI, Kanazawa University, Venture Business Laboratory, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa
Juhachi ODA, Kanazawa University

Key Words: Paulownia wood, Flame retardency, Mechanism, Structure, Cedar wood

1. はじめに

桐 (Paulownia) は落葉小高木で、成長が極めて速く、通常 15~20 年で高さ 10m, 直径 50cm くらいまでになる。その特性は、軽く、柔らかく、狂いが少ない、また防虫、調湿、断熱などの性能も優れている。このようなことから、古くから筆筒や各種調度品としてよく使用されてきている。火事で桐筆筒が真っ黒になっても、中の着物が無事であったとのことは、よく知られている。そこで、本研究ではまず桐材の難燃性を実験的に確認し、次に、材料構造組織を考察し、その難燃性のメカニズムがどのようなものであるのかを検討する。また、これと比較する材料として杉材についても同様な実験を行った。

2. 桐材の難燃性

2-1 熱伝導率の測定 JIS A1412 に規定されている平板比較法による木材の熱伝導率測定方法を採用した⁽¹⁾。一般木材の熱伝導率は約 0.06~0.2 kcal/mh°C である。測定結果では、実験用桐材の熱伝導率 $\lambda = 0.089 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ 、杉材 (Cedar) の熱伝導率 $\lambda = 0.088 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ 、ほぼ同じであるが、これらは木材の中でも低い方に属している。

2-2 板の加熱実験 Fig.1 のように、450°C に熱したアルミ板の上に杉および桐の板 (85mm × 85mm × 12mm) を載せ各々の状況変化を観察する。桐板を載せた後 1 分ほどで、6mm の炭化層が出来たが、杉板は 2mm の炭化層しかできなかった。その後、杉板の炭化層は進行しながら、30 分後大部分が灰になってしまった。一方、桐板の炭化層はゆっ

くり増大するが、灰にならない。すなわち、桐板は炭化しやすいが、炭化後炭化層が灰になるのは遅いということが分った。

2-3 箱の加熱実験 桐筆筒を模擬して箱の加熱実験を行った。板の加熱実験と同じように、アルミ板の上に桐箱と杉箱を載せ電熱器によって温度を上げていく。そのときの加熱面であるアルミ板と箱の内部温度を計測する。箱の内容積はすべて 200mm × 200mm × 100mm である、壁厚はそれぞれ杉箱 12mm, 桐箱 12mm と 24mm。また、加熱面に 5ml の水分をスプレーで均一にかけた箱の加熱実験も行った。結果より次のことが言える。(1) 桐材の方が杉材に比べ燃焼までの時間が約 30 分長い。(2) 桐材の方は、加熱時間 40 分から 120 分までの間での温度上昇が緩やかになっている。(3) 水分をかけた杉箱の内部温度はあまり変わっていないが、桐箱の方は 20°C 低くなっている。(4) 厚さ 24mm の桐箱内部温度が 12mm のものより 50°C も低くなっている。

3. 桐材の構造組織

桐材は散孔材的な傾向をもち環孔材で、髓心がとくに大きい。年輪は明瞭に認められ、材面の肌目はややあらい感じである。顕微鏡的な構成要素は導管、木繊維、柔組織と放射組織である⁽²⁾。Fig.2 の(a)と(b)には桐材および杉材の横断面の SEM 写真を示す。桐材導管の径は比較的大きく、150~350 μm である。年輪のところに大きい導管がたくさん集まり、他の部分には小さめの導管が均一に分布してい

Fig.1 Appearance of heating wood board.

Fig.2 SEM micrographs of the wood

る。木繊維は構成要素の 50% 近くを占め、細胞はハニカム構造に近い、径は約 25~45 μm 、壁厚は非常に薄い、約 1 μm である。桐材全体の空隙率は約 82% である。一方、杉材の横断面には仮導管が均一に分布され、径は約 30~50 μm 、細胞壁がやや厚い、約 3 μm である。杉材全体の空隙率は約 72% である。Fig.2 の(c)と(d)は桐材および杉材の放射断面の SEM 写真である。桐材の縦方向には、太い導管が独立にあり、これに対して、杉材では仮導管は細いが連続となっていることがわかる。

4. 桐材の難燃性のメカニズム

木材の燃焼条件は次の二つであることが知られている⁽³⁾。(1)熱分解生成物と空気よりなる可燃性混合気層が発炎に必要な濃度になること、(2)可燃性混合気層の発火に必要なエネルギーが供給されること。これまでの実験では、同じ加熱条件であるので、桐材の難燃性は主に条件(1)の影響であると予測される。

Fig.3 に桐材および杉材の燃焼時のガスのクロマトグラフィー分析結果を示す。杉材では、アルカン類の成分がやや多いが、桐材にはフラン系と酢酸の量が多く見られた。すなわち、これより杉材には若干のある可燃性ガス成分が桐材より多いことが明らかとなった。

また、材料の化学組成分析結果を Table1 に示す。これより、桐材はリグニンの成分が杉材より 5% 少ない。リグニンが多いほど、発生熱量と発生ガス量が多いという報告がある⁽⁴⁾。元素組成分析結果を Table2 に示す。木材の構成元素は主に炭素(C)、水素(H)、酸素(O)であり、炭素は 40% 以上占めている。

さらに、Fig.2(d)より杉材の仮導管が軸方向に連続しているが、Fig.2(c)桐材の道管は太くて、独立した構造となっている。この構造から燃焼時桐材の内部まで酸素が流通しにくく、発炎に必要な濃度になりにくいと考えられるので、次のような実験を行った。

木材の構造をまねて Fig.4 のようなダンボールでモデルを作り、加熱実験を行った。杉モデル(縦 80mm×横 160mm×奥 200mm)は 16 枚のダンボール板を単に重ねて貼付け

Fig.3 Gas chromatography analysis of heating the wood

Table1 The result of chemical composition analysis

	Cellulose	Hemicellulose	Lignin
Paulownia	45%	25%	29%
Cedar	49%	16%	34%

Table2 The result of elementary composition analysis

	C	H	O
Paulownia	43.76%	5.81%	50.43%
Cedar	47.98%	6.03%	45.99%

したもので、穴は完全に貫通状態である。一方、桐モデルは杉モデルの奥行き方向を三等分に切り、さらにこの位置にダンボール紙を縦に入れ粘着したものである。つまり穴は独立している。実験方法は 2-2 の板の加熱実験と同様である。加熱条件は室温から温度を徐々に上げ、70 分後 500°C までに加熱した。

Fig.5 には加熱から 70 分後の両モデルの様子を示す。実験結果から、同一条件下で加熱した場合、杉モデルは桐モデルよりよく燃焼していることがわかる。桐モデルの 70 分間の燃焼様子は杉モデルの 50 分間の様子に相当する。すなわち、桐のような独立した空孔構造が貫通穴構造より燃焼の遅いことが明らかとなった。

Fig.4 The model of wood made of corrugated paper

Fig.5 The result of heating the model

5. 考察

桐材は細胞組織がハニカム構造のように非常にポーラス状で密度が低い、熱を受けると炭化しやすい。また桐材のリグニン成分がやや少ないので、加熱時に発生する可燃性ガスが少なく、さらに独立である導管構造で各部に酸素が供給しにくいので発火しにくく炭化のみが進行すると思われる。この炭化層は一般にその母材の熱伝導率より低い。従って、桐箱内の温度は上昇しにくく考えられる。

6. おわりに

桐材の熱伝導率や燃焼実験を通して、桐材の炭化しやすかつ発火しにくい性質を実験的に確認した。また、材料構造および成分の考察とモデル燃焼実験により、桐材の難燃性のメカニズムを知ることが出来た。今後これらの結果を新しい難燃性材や不燃性材料の開発に結びつける研究を進める所存である。

参考文献

- (1) 日本木材学会編, 木材科学実験書, p149.
- (2) 平井信二, 木の事典, 1980, 第 1 集第 5 巻.
- (3) 原田寿朗, 森林総合研究所研究報告, 378, 2000, p1.
- (4) 岡村敏章, 高知工科大学大学院工学研究科平成 16 年度修士学位論文, 2005.