

## Short Report

## 薬剤や無機系材料を用いない低価格で競争力のある

## 木質系燃え止まり型耐火部材の開発

中村昇<sup>1</sup><sup>1</sup> 秋田県立大学木材高度加工研究所

研究所内の小型炉を用いて、ISO834 の標準火熱曲線にしたがう 1 時間耐火試験を行った。用いた樹種は、高温で赤熱の消えるベイマツである。試験体は、1) ベイマツ集成材のみを用いた梁試験体、2) 荷重支持部にスギ集成材を燃え代層にベイマツ集成材を用いた梁試験体である。小型炉なので、2 面加熱となる。1) の試験体の寸法は、せい 500mm、幅 300mm、長さ 700mm である。また、2) の試験体については、炭化層は余裕を見て 100mm とし、これを燃え代層と見立て、ベイマツ集成材を用いた。荷重支持部の寸法は幅 200mm、せい 400mm である。その外側に 100mm の燃え代層を配置した。いずれの試験体も熱電対はすべて 260℃ を下回っており、燃え止まっていることが確認できた。次に、実大材で実証試験を行った。実大材の耐火試験は、小型炉と異なり 3 面加熱である。せい 510mm、幅 300mm、長さ 5.5m のベイマツ集成材試験体に対し、無載荷で ISO834 の標準加熱曲線に従い 1 時間加熱後、24 時間放置した。外面から 50mm の一部が 300℃ に達している箇所があるが、燃え止まっていることが分かった。

**キーワード：**燃え止まり型耐火部材、低価格、競争力

### 1. 研究開始当初の背景

木材は魅力的な素材の 1 つであるが、コンクリートや鉄と比べると、大規模な建築ではあまり使われて来なかった。しかし、高度な加工技術や、複雑な構造に対するモデル解析により、木造建築の可能性が広がり、さらに CLT(直交集成板)など、大規模木造に適した新しい木質材料の開発も行われ、近年世界的に大きな変化が現れている。わが国では、2000 年に建築基準法が改正され、耐火建築物を木造で建てられるようになったが、現在でも耐火木造のハードルは高い。木質系耐火構造の原理は、①被覆型、②鉄骨内蔵型(構造的には鉄骨造)、③燃え止まり型の 3 種類があるが、建築分野では木材を現わしにしたいという要望が強く、③が期待されている。燃え止まり層には、リン酸系やホウ酸系などの薬剤を注入した集成材・合板・単板積層材(LVL)が用いられ

ている。申請者らは、これまで、③の燃え止まり型木質耐火部材を開発してきているが、燃え止まりのメカニズムは分っていない。また、製造に手間やコストがかかり、鉄骨(S)造や鉄筋コンクリート(RC)造に対し、競争力がないのが現状である。海外では①あるいは裸部材(スプリンクラーの設置義務を伴う場合が多い)が主であり、②、③という考え方はない。

劣化や陳腐化などにより、建物はいつか取り壊され、木質系耐火部材は産業廃棄物となる。燃え止まり層を分別しないと、リユースはもちろん、パーティクルボードやサーマル利用などのカスケード利用ができず、産廃業者により埋設処理される可能性が高い。木材は、地球温暖化の抑制に寄与するエコな材料であるなら、薬剤や無機系の材料を用いず、価格競争力のある燃え止まり型耐火部材の開発が強く望まれる。

## 2. 研究の目的

スギ製材、スギ集成材、カラマツ集成材、LVL（ダフリカカラマツ）積層面、イタヤカエデ製材、ベイマツ集成材を用いて燃焼試験を行った。大きさ  $160\text{mm} \times 160\text{mm} \times 50\text{mm}$  の試験体を着火試験装置で燃焼させた。加熱面は、すべて板目面である。側面からドリルで中央に達する孔を空け、上面（加熱面）から  $25\text{mm}$ ,  $35\text{mm}$  の位置に K 型熱電対を設置した。試験は、輻射熱が約  $90\text{kW/m}^2$  で加熱し、加熱面から  $25\text{mm}$  の位置の熱電対の温度が  $100^\circ\text{C}$  を超えた時点で加熱を停止した。試験体の表面から上方に約  $5\text{mm} \sim 10\text{mm}$ （燃焼していくにしたがい炭化層表面からは離れていくことになるので、この値は大きくなる）の中央に設置した熱電対を用いて、温度（以後表面温度と呼ぶ）を測定した。加熱停止後しばらくすると火炎は消え、赤熱燃焼を続けるが、温度が下がるにしたがい、赤熱燃焼が次第に下火になっていくのが観測できる。時折団扇で扇いで、表面に生じる灰をなくし、なるべく赤熱燃焼をしつづけるようにしたが、団扇で扇いでも赤熱が消え始める温度  $T_1$  を測定した。さらに、団扇で扇いでも赤熱がほぼ消えてしまう温度  $T_2$  を測定した。さらに、熱電対を炭化層に挿し入れ、再輻射を行い、安定した赤熱燃焼をさせた後、同様の観測を行い、 $T_1$  および  $T_2$  を測定したが、その際、オキ内部の温度  $T_3$ ,  $T_4$  も測定した。

比重と、 $T_1$ ,  $T_2$ , および、 $T_3$ ,  $T_4$  の関係を現した図 1 を見ると、比重の高い材の方が、赤熱の消え始める温度、赤熱の変える温度が高いことが分かった。特に、スギ製材やスギ集成材は、表面温度が  $80^\circ\text{C}$  くらいにならないと消えない。一方、ベイマツ集成材は、 $250^\circ\text{C}$  くらいでほぼ消えてしまう。比重の高いイタヤカエデや LVL よりも高い温度である。これより、ベイマツ集成材のみでも、燃え止まる可能性があるのではないかと考え、耐火試験を行うことにした。

## 3. 研究の方法

まず、研究所内の小型炉を用いて、ISO834 の標準

火熱曲線にしたがう 1 時間耐火試験を行う。用いる樹種は 2. で示したように、高温で赤熱の消えるベイマツである。試験体は、1) ベイマツ集成材のみを

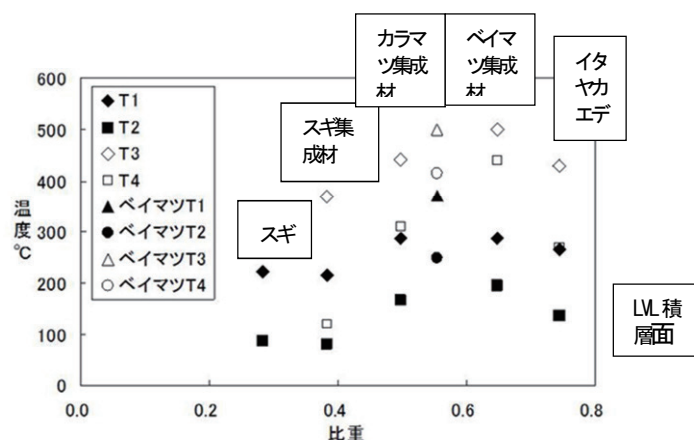


図 1 比重と各温度の関係

用いた梁試験体、2) 荷重支持部にスギ集成材を燃え代層にベイマツ集成材を用いた梁試験体である。小型炉なので、2 面加熱となる。これらの試験体が燃え止まることが確認できれば、2 番目として、実大材で実証試験を行う。実大材の耐火試験は、小型炉と異なり 3 面加熱である。

## 4. 研究成果

### 4.1 小型炉における耐火試験

小型炉で、まずベイマツ集成材のみを用いた梁試験体に対して、ISO834 の標準加熱曲線に従った 1 時間の耐火試験を行った。小型炉のため、試験体の寸法は、せい  $500\text{mm}$ , 幅  $300\text{mm}$ , 長さ  $700\text{mm}$  である。

このときの炉内の平均温度と試験体内部の温度推移を図 2 に示した。試験体内部の温度は、表面から内部  $50\text{mm}$ ,  $100\text{mm}$ ,  $150\text{mm}$  の位置に設置した熱電対で測定した。1 時間の耐火試験後、火炎は消えるが、赤熱は継続し、表面から  $50\text{mm}$  の位置では、局所的には  $600^\circ\text{C}$  を超えており、ここまでは赤熱燃焼が進行している。しかし、その内部では、木材の燃焼温度とされている  $260^\circ\text{C}$  を下回り、認定試験における 24 時間以内に燃え止まっていることが分かる。脱炉後、試験体の中央で切断した断面の様子を図 3 に示した。炉が小型で奥行きが狭いため、図 3 に示

すように、2 面加熱しかできない。これより炭化層の深さを測定すると約 70mm であった。

そこで、2 番目の試験体として、荷重支持部にスギ集成材を燃え代層にベイマツ集成材を用いた梁試験体に対して、同様の耐火試験を行った。1 番目の耐火試験から、ベイマツ集成材を用いた試験体で燃え止まることが確認できたので、炭化層は余裕を見て 100mm とし、これを燃え代層と見立て、ベイマツ集成材を用いることにした。荷重支持部の寸法は幅 200mm、せい 400mm である。その外側に 100mm の燃え代層を配置している。荷重支持部と燃え代層は、レゾルシノール樹脂を用いて圧締した。

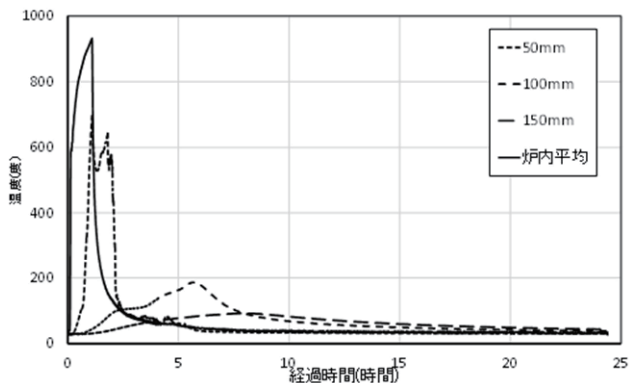


図 2 ベイマツ集成材のみの試験体における温度推移



図 3 ベイマツ集成材のみの 1 時間耐火試験における炭化の様子

図 4 に試験体の断面および熱電対設置値を示した。熱電対は、表面から 80mm の位置に 6 つ、荷重支持部と燃え代層の境界に 2 つ設置した。耐火試験における温度推移を図 5 に示した。これを見ると、8 つの熱電対はすべて 260℃を下回っていることが分か

る。脱炉後の断面における炭化の様子を図 6 に示したが、表面から 80mm の位置では炭化はしていないことが確認できた。

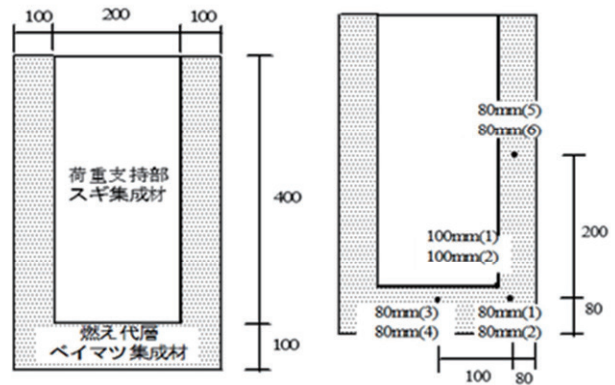


図 4 荷重支持部スギ集成材+燃え代層ベイマツ集成材の試験体と熱電対設置位置

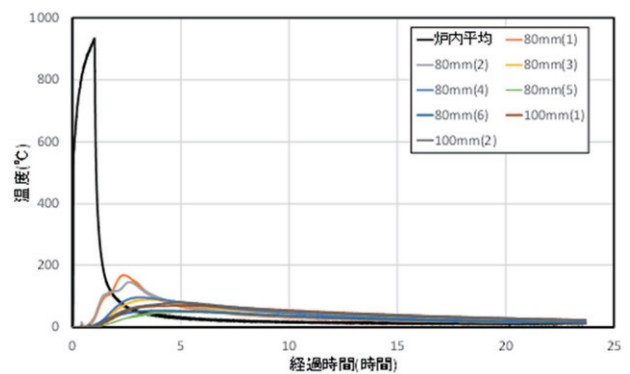


図 5 スギ集成材+ベイマツ集成材の試験体における温度推移



図 6 スギ集成材+ベイマツ集成材の 1 時間耐火試験における炭化の様子

以上より、2 体だけの試験結果であるが、薬剤や無機材料に頼らず、木質系材料のみを用いた燃え止



まり型耐火部材の開発が可能であることが示唆された。具体的には、ベイマツのみ、あるいは、ベイマツを燃え代層とし、スギを荷重支持部とした部材である。また、燃え代層は 70mm と考えればよい。

これまで同じ小型炉を用いて、高比重のダフリカカラマツ LVL のみの試験体や、同 LVL にスギ板を組み合わせた試験体について 1 時間耐火試験を行ってきたが、すべて燃え進んでしまったことを考えると、今回の試験結果は画期的なことと言えるであろう。

#### 4.2 実大材による 1 時間耐火部材の実証実験

4.1 で薬剤や無機材料に頼らず、木質系材料のみを用いた燃え止まり型耐火部材の可能性が示唆されたので、実大材で実証試験を行った。実大材の耐火試験は、小型炉と異なり 3 面加熱である。耐火部材の国土交通大臣認定では、荷重支持部が 260℃ に達しないこと、および、炭化しないことという規定がある。なぜなら、木質系材料のみを用いた場合、燃え代層と荷重支持部を特定しないといけないからである。

せい 510mm、幅 300mm、長さ 5.5m のベイマツ集成材試験体 1 体に対し、無載荷で ISO834 の標準加熱曲線に従い 1 時間加熱後、24 時間放置した。熱電対は、図 7 に示す A、B、C の 3 か所に、1 断面当たり図 8 に示すように 8 か所、合計 24 個設置した。脱炉後、熱電対に近い箇所から厚さ 5cm ほどを採取し、炭化の様子を観察した。

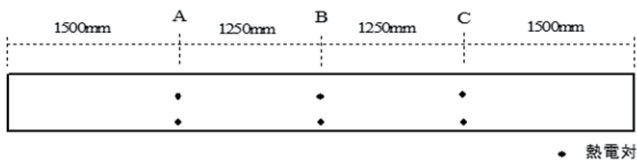


図 7 長さ方向における熱電対設置位置

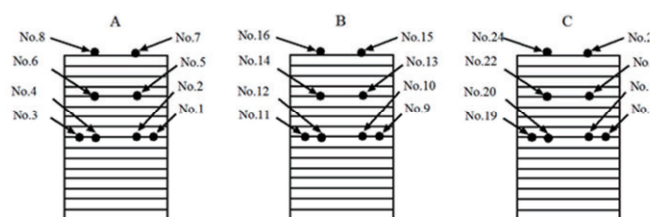


図 8 断面における熱電対設置位置

図 9 に、例として B における温度推移を示した。外面から 50mm の一部が 300℃ に達している箇所があるが、燃え止まっていることが分かる。他の A および C も同様であった。図 10 に、脱炉後に炭化層を除去した写真を示した。黒線が元の断面であり、赤線が炭化していない部分である。これを見ると、炭化層は側面で 70mm、下面で 100mm と考えればよいのではないかと考えられる。

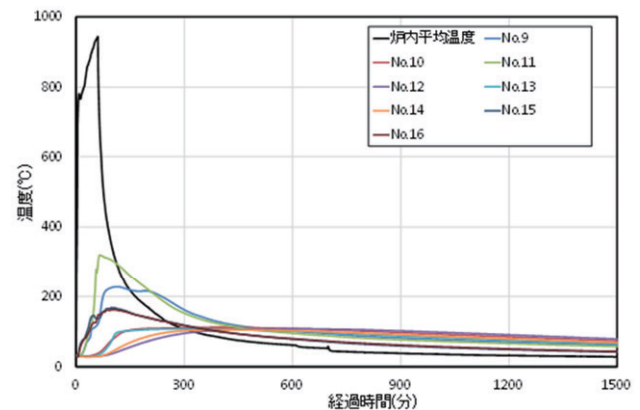


図 9 ベイマツ集成材実証試験体における温度推移 (断面 B)



図 10 炭化層除去後の試験体

#### 5. まとめ

薬剤や無機系の材料を用いない、環境に優しい燃え止まり型木質系耐火部材の開発を目的に、実大材を用いて耐火試験を行った。試験体の寸法は、せい 510mm、幅 300mm、長さ 5.5m のベイマツ集成材試験体 1 体に対し、無載荷で ISO834 の標準加熱曲線に従い 1 時間加熱後、24 時間放置した。外面から 50mm の一部が 300℃ に達している箇所があるが、

燃え止まっていることが分かった。脱炉後に炭化層を除去し、観察した結果から、炭化層は側面で 70mm, 下面で 100mm と考えればよいのではないかと考えられた。

〔 平成 29 年 6 月 30 日受付  
平成 29 年 7 月 11 日受理 〕

## Development of low cost and competitive self-charring stop-type fire resistant wooden members without chemicals and inorganic materials

---

Noboru Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

We used a small furnace in our institute. A 1-hour fire-resistance test according ISO834 standard heat curve was conducted. After 1 hour, fire-resistant test specimens were kept in the furnace for 24 hours. One of test specimens was glulam, using only Douglas fir. The other was the combination of the load supporting part and the sacrificed part. The former was Sugi glulam and the latter was Douglas fir glulam. Because the furnace was small, test specimens were heated from only two surfaces, on one side and its undersurface. We confirmed red heat stopped for two specimens. Next we used a full-size furnace and a full-size test specimen, 510 mm high, 300 mm wide, and 5.5 m long. For the full-size furnace, test specimens were heated on three surfaces, two sides and its undersurface. A 1-hour fire-resistance test according ISO834 standard heat curve was conducted. After 1 hour, the fire-resistant test specimens were kept in the furnace for 24 hours. We also confirmed that the red heat stopped.

**Keywords:** self-charring stop type, fire-resistance, low cost