

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 1 日現在

機関番号：21401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14775

研究課題名(和文) 燃え止まりのメカニズム解明と薬剤を用いない木質系耐火部材の試作

研究課題名(英文) The elucidation for stopping mechanism of red heat and the trial manufacture of fire-resistance wood based member without chemicals

研究代表者

中村 昇 (NAKAMURA, NOBORU)

秋田県立大学・木材高度加工研究所・教授

研究者番号：30180384

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：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。ベイマツ集成材のみを用いた梁試験体、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面加熱だが、いずれの試験体も燃え止まったことが確認できた。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1510mm、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。一部が300℃に達している箇所があるが、燃え止まったことを確認した。

研究成果の概要(英文)：We used the small size furnace in our institute. 1 hour fire-resistance test according ISO834 standard heat curve was conducted. After 1 hour fire-resistance test specimens were kept in the furnace for twenty four hours. One of test specimens was glulam using only Douglas fir. The other was the combination of load supporting part and sacrificed part. The former was Sugi glulam and the latter was Douglas fir glulam. Because the small size furnace, test specimens were heated from only two surface, one side and undersurface. We confirmed red heat stopped for two specimens. Next we used the full size furnace and a full size test specimen whose size was 510mm high, 300mm wide and 5.5m long. In case of the full size furnace, test specimens were heated from three surface, two sides and undersurface. The same fire-resistance test as small size specimens was conducted. After 1 hour fire-resistance test specimens were kept in the furnace for twenty four hours. We also confirmed red heat stopped.

研究分野：木質材料学

キーワード：燃え止まり 木質耐火部材 薬剤 無機材料

### 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(直交集成材)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、被覆型、鉄骨内蔵型(構造的には鉄骨造)、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、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。申請者は、これまで、

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、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ない、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)積層材、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160mm×160mm×50mm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25mm、35mmの位置にK型熱電対を設置した。試験は、輻射熱が約90kW/m<sup>2</sup>で加熱し、加熱面から25mmの位置の熱電対の温度が100℃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5mm~10mm(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T1を測定した。さらに、団扇で扇いても赤熱がほぼ消えてしまう温度T2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、T1およびT2を測定したが、その際、オキ内部の温度T3、T4も測定した。

比重と、T1、T2、および、T3、T4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℃くらいにならないと消えない。一方、ベイマツ集成材は、250℃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。

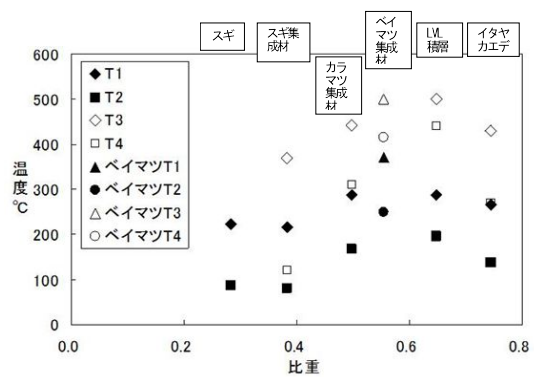


図1 比重と各温度の関係

### 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

#### 4.1.1 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500mm、幅300mm、長さ700mm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50mm、100mm、150mm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50mmの位置では、局所的には600℃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 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写真 1 に示した。炉が小型で奥行きが狭いため、写真 1 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。

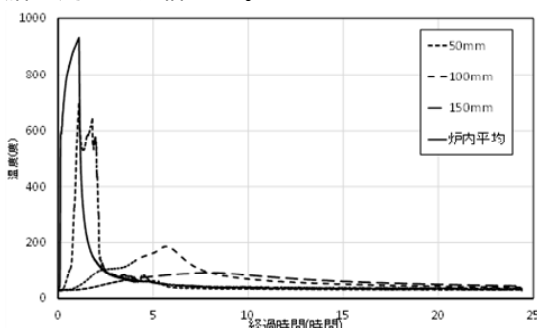


図 2 ベイマツ集成材のみの試験体における温度推移



写真 1 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 3 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 4 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写真 2 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。

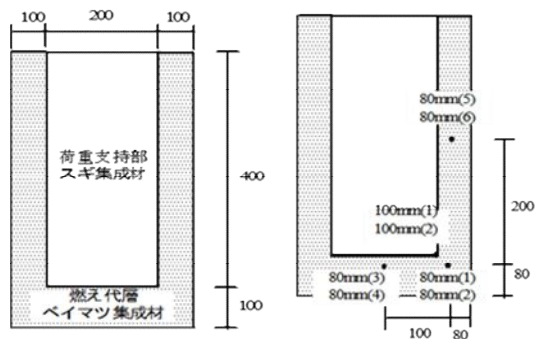


図 3 荷重支持部スギ集成材 + 燃え代層ベイマツ集成材の試験体と熱電対設置位置

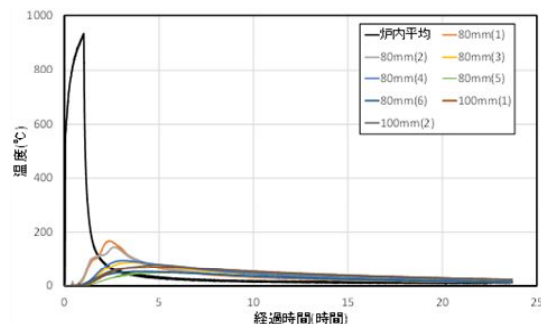


図 4 スギ集成材 + ベイマツ集成材の試験体における温度推移



写真 2 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。

#### 4.1.2 実大材による 1 時間耐火部材の実証実験

4.1.1 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5に示すA、B、Cの3か所に、1断面あたり図6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。

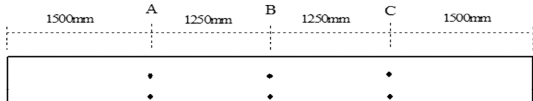


図5 長さ方向における熱電対設置位置

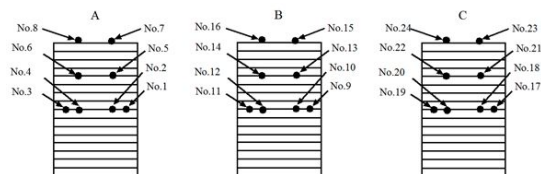


図6 断面における熱電対設置位置

図7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。写真3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。

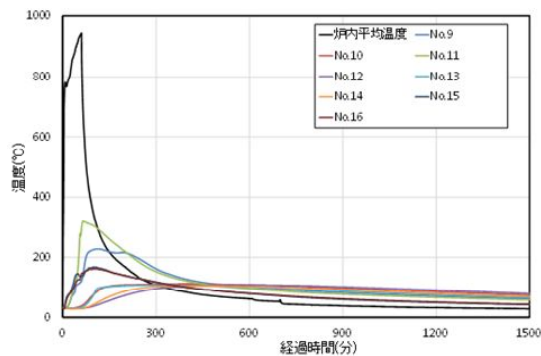


図7 ベイマツ集成材実証試験体における温度推移(断面B)

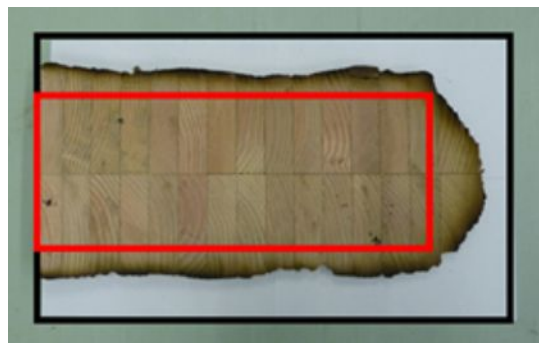


写真3 炭化層除去後の試験体

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

〔その他〕  
 ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 昇 (NAKAMURA, Noboru)  
 秋田県立大学木材高度加工研究所・教授  
 研究者番号：30180384

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：

(4)研究協力者 ( )