

徳島農技セ研報 No.5
23~28 2018

準不燃木材の開発^{*1}

橋本 茂・平井賢治^{*2}・阿部健一^{*3}・河野誠市^{*4}
東 晃史^{*5}・津司知子^{*6}

Development of the semi-incombustible wood

Shigeru HASHIMOTO, Kenji HIRAI, Kenichi ABE, Seiichi KAWANO
Akifumi HIGASHI, Tomoko TSUSHI

要 約

従来の防火木材には木材表面に薬剤が析出する白華現象など品質の安定性に課題がある。そこで、難燃性のほか耐水性にも優れた準不燃木材の製品化を検討した。その結果、メタリン酸アンモニウムナトリウム・ほう酸ナトリウムに炭酸ジルコニウムアンモニウムを添加することにより、スギ板に加圧注入処理したそれらの薬剤の溶脱率を約半分に抑えると同時に、準不燃材料の防火性能基準を満足することができた。

次に、開発した技術を活用し、市販の針葉樹構造用合板及びスギ柱目集成材に同薬剤を加圧注入処理した場合の薬剤の固形分量及び溶脱率などを調査した。薬剤固形分量の試験結果から、合板は難燃材料の、集成材は準不燃材料の防火性能基準を満足する可能性があることが示唆された。集成材に同薬剤を加圧注入処理した試験体は、スギ板材に同薬剤を加圧注入処理した試験体と変わらない優れた薬剤溶脱抑制効果を示すことが確認できた。

キーワード：スギ，準不燃木材，合板，集成材

keyword：Japanese cedar, semi-incombustible wood, plywood, laminated wood

緒 言

平成22年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」⁷⁾が施行され、その基本方針として「現在、木造率が低く、今後の需要が期待できる公共建築物にターゲットを絞って、国が率先して木材利用に取り組むとともに、地方公共団体や民間事業者にも国の方針に即して主体的な取り組みを促し、住宅など一般建築物への波及効果を含め、木材全体の需要を拡大する」ことが示された。これを受け、徳島県では、同年「とくしま木材利用指針」を策定し、平成25年には全国初となる「徳島県産材利用促進条例」⁹⁾を制定した。条例には、「県

は、自ら行う建築物の整備に当たっては、利用指針で定めるところにより、木造とすることが適当でないもの又は困難であると認められるもの以外のものについては、原則として木造とするものとする」ことが明記された。

しかしながら、多くの人が集まる特殊建築物や大規模建築物では材料規制が定められている。例えば、建築基準法施行令では場所に応じて、一定の防火性能を満たした不燃・準不燃・難燃材料の使用が義務付けられている。そのため、木材に防火性能を付与した製品が必要となるが、従来の防火木材には、木材表面に薬剤が析出する白華現象など品質の安定性に課題があった。これまでも、菊池により「防火木材の性能不足が指摘される事例

^{*1}本報告の一部は、日本木材学会中国・四国支部第30回(2018年度)研究発表会において発表した ^{*2}新丹生谷製材協同組合 ^{*3}株式会社モクラボ
^{*4}元 木材需要開発推進員 ^{*5}徳島県立農林水産総合技術支援センター高度技術支援課 ^{*6}現 西部総合県民局農林水産部 (三好)

が見られるようになり、今後利用を進める上では品質に対する信頼性を高めることが必須である」との指摘がなされてきた⁶⁾。

こうした中、筆者らは県内企業とともに、難燃性及び耐水性に優れた「県産材商品」の開発を進めてきた。本稿では、準不燃木材の特許⁵⁾や国土交通大臣認定⁸⁾に至った技術（難燃剤注入後の無垢スギ板における薬剤溶脱率および発熱性の解明）について述べる。また、市販針葉樹構造用合板及びスギ柱目集成材に、開発した薬剤を加圧注入処理した場合の薬剤の固形分量及び溶脱率などを調査したので報告する。

材料および方法

1 無垢スギ板を用いた難燃剤溶脱率および発熱性試験

(1) 難燃剤溶脱率

難燃効果の認められている薬剤5種を注入剤として供試した（第1表）。各薬剤5剤を濃度25%に調製し、実大材に近い薬剤注入環境を再現するためにシールしたスギ板に加圧注入処理した。無垢スギ板とは、接着剤を使わず製材品としてそのまま使用する木材のことである。加圧注入処理の条件は、前排气0.094MPaで30分間、加圧1.270MPaで15時間、後排气0.090MPaに到達するまでとした。スギ板は幅120mm、厚さ15mm、長さ350mm、辺材であって3面無地の、かな仕上げとした。加圧注入処理したスギ板を表面が乾く程度に自然乾燥させた後、幅99mm、長さ99mmの大きさに切り出し（第1図）、

第1表 薬剤溶脱率測定に供試した難燃性薬剤

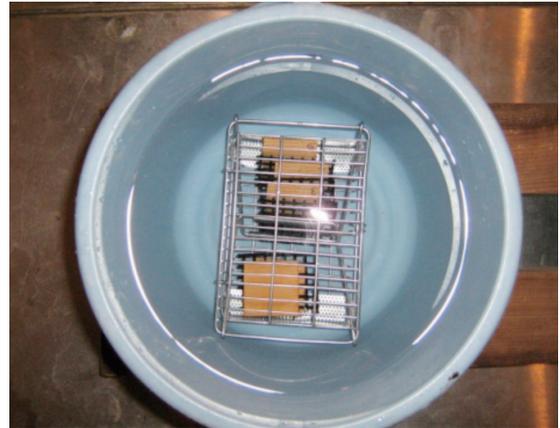
記号	供試液
PBZ	メタリン酸アンモニウムナトリウム・ほう酸ナトリウム・炭酸ジルコニウムアンモニウム
P	メタリン酸アンモニウムナトリウム
B	ほう酸ナトリウム
PB	メタリン酸アンモニウムナトリウム・ほう酸ナトリウム
C	市販リン酸系難燃剤



第1図 難燃剤処理した無垢スギ板試験体

60℃の恒温器中で72時間乾燥させ、25℃の水に24時間浸せし（第2図）、薬剤を溶脱させた。その後、再び60℃の恒温器中で72時間乾燥させ、次式により薬剤溶脱率を算出した。繰返し数は3体とした。

$$\text{薬剤溶脱率(\%)} = \frac{\text{浸せき前乾燥重量(g)} - \text{浸せき後乾燥重量(g)}}{\text{薬剤固形分量(g)}} \times 100$$



第2図 無垢スギ板における薬剤溶脱率試験の状況

(2) 発熱性試験

シールしたスギ板（幅99mm、厚さ16mm、長さ99mm）を試験に用いた。試験体の厚さは燃焼時の収縮を考慮し、また、供試液の注入性の向上を図るため、辺材であって3面無地のものを選別して供試した。薬剤は、濃度を25%に調整したメタリン酸アンモニウムナトリウム・ほう酸ナトリウム・炭酸ジルコニウムアンモニウム系薬剤（以下、「PBZ」）とした。加圧注入処理の条件は材料及び方法1と同様とした。

試験は指定性能評価機関の定める「防耐火性能試験・評価業務方法書」³⁾の準不燃性能試験方法に準じて行い、発熱速度および発熱量について測定した。繰返し数は3体とした（第3図）。



第3図 PBZ処理した無垢スギ板の発熱性試験体（試験前）

2 針葉樹構造用合板を用いた難燃剤の注入試験

供試材料には、市販の針葉樹構造用合板（幅910mm、厚さ12mm、長さ1,820mm）を5枚用いた。1枚の供試材料から大試験体（幅400mm、厚さ12mm、長さ800mm）を2枚ずつ計10枚、小試験体（幅105mm、厚さ12mm、長さ105mm）を4枚ずつ計20枚を切り出し

(第4図), PBZ を加圧注入処理した。大試験体は薬剤注入量を, また, 小試験体は薬剤注入量に及ぼす節の影響を調べるために供試した。試験体を切り出す時に, その両側から全乾含水率を測定するための切片を採取し, その平均値を試験体の含水率とした。加圧注入処理の条件は材料及び方法1-(1)と同様とした。加圧注入前重量と加圧注入後重量を測定し, 薬剤注入量及び薬剤固形分量を次式にて算出した。

$$\text{薬剤注入量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{注入後重量 (kg)} - \text{注入前重量 (kg)}}{\text{試験体の材積 (m}^3\text{)}}$$

$$\text{薬剤固形分量 (kg/m}^3\text{)} = \text{薬剤注入量 (kg/m}^3\text{)} \times \text{薬剤固形分の割合 (\%)}$$



第4図 針葉樹構造用合板の大試験体(左)と小試験体(右)

3 スギ柾目集成材を用いた難燃剤の注入試験

供試材料には, スギ柾目集成材(幅120mm, 厚さ16mm, 長さ2,000mm)を用いた。スギ柾目集成材とは, 薬剤の注入性の改善を図るため, 節を除去した材料をフィンガージョイントにより縦継ぎした後, 幅はぎ, 積層接着し, 柾目面となるよう調製した集成材である。この寸法そのままのもの(実大材)20枚及び実大材2枚から小試験体(幅99mm, 厚さ16mm, 長さ99mm)を10枚ずつ計20枚を切り出し(第5図), PBZ を加圧注入処理した。試験体の含水率の算出, 加圧注入処理条件, 薬剤注入量及び薬剤固形分量の算出は, 材料及び方法2と同様とした。

加圧注入処理した小試験体のうち, 薬剤注入量が十分に得られた試験体を6体抽出し, 水浸せき試験に供した(第6図)。まず, 試験体を25℃の水中に24時間浸せきし, その後60℃の恒温器中で72時間乾燥させた。この操作を交互に10回繰り返した。乾燥が終了するごとに重量を測定し, 次式にて薬剤溶脱率を算出した。



第5図 スギ柾目集成材の実大材試験体(左)と小試験体(右)



第6図 スギ柾目集成材における薬剤溶脱率試験の状況

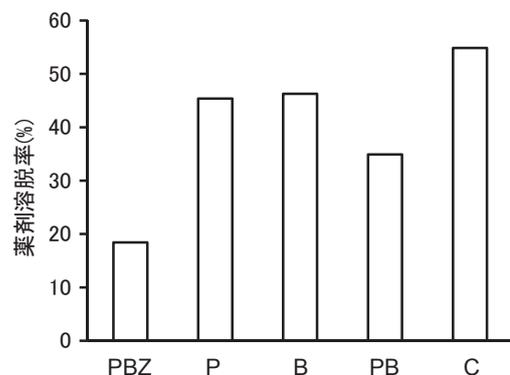
$$\text{薬剤溶脱率 (\%)} = \frac{\text{薬剤固形分量 (g)} - (\text{乾燥後重量 (g)} - \text{試験体の全乾重量 (g)})}{\text{薬剤固形分量 (g)}} \times 100$$

結果および考察

1 無垢スギ板を用いた難燃剤溶脱率および発熱性試験

(1) 難燃剤溶脱率

各難燃剤の薬剤溶脱率を第7図に示した。その結果, 薬剤溶脱率はメタリン酸アンモニウムナトリウム処理材(以下, 「P 処理材」)が45.4%, ほう酸ナトリウム処理材(以下, 「B 処理材」)が46.3%であった。一方, メタリン酸アンモニウムナトリウム・ほう酸ナトリウム処理材(以下, 「PB 処理材」)が34.9%となり, 単独の薬剤を注入した処理材の薬剤溶脱率と比較して, 約10%ほど低い値を示した。さらに, PBZ 処理材では18.4%と最小値を示した。炭酸ジルコニウムアンモニウムを添加するこ



PBZ : メタリン酸アンモニウムナトリウム・ほう酸ナトリウム・炭酸ジルコニウムアンモニウム
 P : メタリン酸アンモニウムナトリウム
 B : ほう酸ナトリウム
 PB : メタリン酸アンモニウムナトリウム・ほう酸ナトリウム
 C : 市販リン酸系難燃剤

第7図 無垢スギ板における各種難燃性薬剤溶脱率

とにより、薬剤溶脱率はP処理材及びB処理材と比較して約60%、PB処理材と比較して約50%に低く抑えられた。市販リン酸系難燃剤処理材（以下、「C処理材」）は54.9%で、PBZ処理材の薬剤溶脱率はその1/3であった。伊藤によると「現時点ではおそらく、この準不燃木材の製造方法が、水中においても薬剤の溶出が非常に少ない唯一の技術である」といわれている⁴⁾。

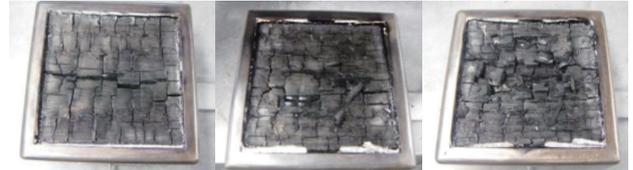
このように、炭酸ジルコニウムアンモニウムを添加することにより、耐水性を向上させる技術を開発し、特許⁵⁾を取得した。

(2) 発熱性試験

PBZ処理した無垢スギ板における各試験体の発熱速度及び総発熱量の推移を第8図に、PBZ処理した無垢スギ板の最高発熱速度及び総発熱量を第2表に示した。平均最高発熱速度は85.61kW/m²であり、基準値³⁾（10秒以上継続して200kW/m²を超えないこと）の半分以下の値を示した。また、平均総発熱量は5.0MJ/m²であり、基準値（8MJ/m²以下であること）を満足することができた。また、試験後の試験体の表面は、大きな爆ちょうは認められず、裏面まで貫通するような亀裂、穴は発生しなかった（第9図）。これらの結果から、PBZ処理材

第2表 PBZ処理した無垢スギ板の最高発熱速度及び総発熱量

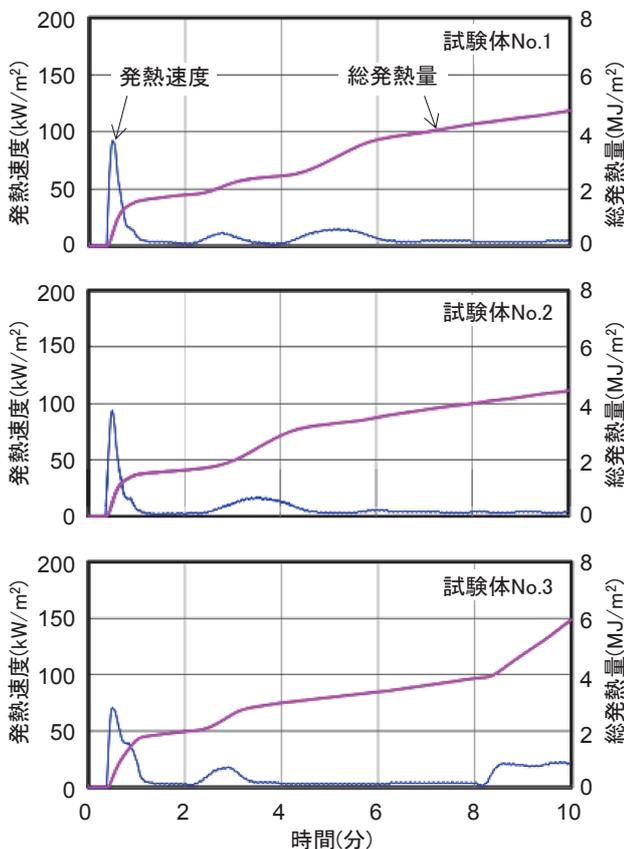
試験体番号	最高発熱速度 (kW/m ²)	総発熱量 (MJ/m ²)
1	92.41	4.7
2	93.88	4.4
3	70.54	5.9
平均値	85.61	5.0



第9図 PBZ処理した無垢スギ板の発熱性試験後の外観



第10図 開発製品（準不燃材料「タフネン」）の施工例（徳島阿波おどり空港）



第8図 PBZ処理した無垢スギ板における各試験体の発熱速度及び総発熱量の推移



第11図 開発製品（準不燃材料「タフネン」）の施工例（徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課庁舎）

は優れた防火性があることが認められた。

本技術を用いた製品「タフネン」が、国土交通大臣から建築基準法施行令で定める準不燃材料として認定された⁸⁾。本製品は現在のところ、徳島県松茂町にある徳島阿波おどり空港（第10図）、徳島県美波町にある徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課庁舎（第11図）などに施工されている。

2 針葉樹構造用合板を用いた難燃剤の注入試験

針葉樹構造用合板を用いた難燃剤注入量を第3表に示した。加圧注入処理前の平均含水率は、大試験体が6.9% (6.3~7.5%)、小試験体が7.0% (6.6~7.7%) であった。平均薬剤注入量は大試験体が455kg/m³ (374~568kg/m³)、小試験体が525kg/m³ (471~634kg/m³) であった。また、平均薬剤固形分量は大試験体が107kg/m³ (88~133kg/m³)、小試験体が123kg/m³ (110~148kg/m³) であった。著者らはこれまでに、準不燃木材の性能を満たすために必要な薬剤固形分量は213kg/m³であることを明らかにしているが¹⁸⁾、今回の試験に供試した構造用合板の薬剤固形分量は、大試験体ではその基準値の50%、小試験体では58%であった。しかし、難燃材料の性能を満足するために必要な薬剤固形分量は100kg/m³程度²⁾であり、これと比較するとそれぞれ106%、123%となり、難燃木材の性能を満足する可能性があることが示唆された。薬剤固形分量をさらに高め、準不燃木材以上の難燃性能を付与するためには、節の除去など基材の選別や効果的な加圧注入処理方法の開発が必要となると考えられた。

第3表 針葉樹構造用合板を用いたPBZの注入量

試験体番号	注入前含水率 (%)	PBZ 注入量 (kg/m ³)		PBZ 固形分量 (kg/m ³)	
		大試験体	小試験体	大試験体	小試験体
1	7.3	386.0	515.9	90.3	120.7
2	6.8	443.3	480.3	103.7	112.4
3	6.8	530.7	595.3	124.2	139.3
4	6.5	454.0	507.4	106.2	118.7
5	6.8	462.4	524.9	108.2	122.8
全平均値	6.9	455.3	524.7	106.5	122.8

3 スギ桁目集成材を用いた難燃剤の注入試験

スギ桁目集成材を用いた PBZ の注入量及び固形分量を第4表に示した。加圧注入処理前の平均含水率は、12.0% (11.2~13.4%) であった。平均薬剤注入量は実大材の試験体が910kg/m³ (843~962kg/m³)、小試験体が943kg/m³ (811~1,021kg/m³) であった。また、平均薬剤固形分量は実大材の試験体が213kg/m³ (197~225kg/

第4表 スギ桁目集成材を用いたPBZの注入量及び固形分量

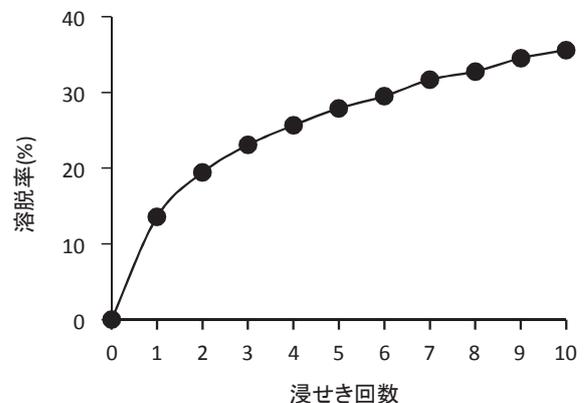
区分	注入前含水率 (%)	PBZ 注入量 (kg/m ³)	PBZ 固形分量 (kg/m ³)
実大材	-	910±30	213±7
小試験体	12.0±0.6	943±66	221±16

注) 値は平均値±標準偏差

m³)、小試験体が221kg/m³ (190~239kg/m³) であった。著者らはこれまでに、準不燃木材の性能を満たすために必要な薬剤固形分量は213kg/m³であることを明らかにしているが¹⁸⁾、今回の試験では、実大材の試験体の50% (10/20試験体)、小試験体では75% (15/20試験体) が必要値に達していた。このことから、準不燃材料の防火性能基準を満足する可能性があることが示唆された。

薬剤固形分量をさらに高め、確実に準不燃木材以上の難燃性能を付与するためには、心材と辺材を区別し、辺材のみからなる集成材を作製するなど、注入効率を高め、品質の安定性を図る必要があると考えられた。

スギ桁目集成処理材の平均 PBZ 薬剤溶脱率を累積した結果を第12図に示した。水浸せき1回目における平均薬剤溶脱率は13.5% (12.3~14.9%) であった。スギ桁目集成材に PBZ 薬剤を加圧注入処理した試験体の薬剤溶脱率は、C 処理材の薬剤溶脱率の値の1/4と非常に低い薬剤溶脱率を示した。その後、薬剤溶脱率は徐々に増加するが、水浸せき10回目においても薬剤溶脱率は35.6%であり、C 処理材の薬剤溶脱率よりも約20%低い値を示した。これらのことから、スギ桁目集成材に PBZ 薬剤を加圧注入した試験体は、スギ無垢板に同薬剤を加圧注入したものと同様に優れた薬剤溶脱抑制効果を示すことが確認された。



第12図 スギ桁目集成処理材の平均 PBZ 薬剤溶脱率を累積した結果

摘 要

従来の防火木材には、木材表面に薬剤が析出する白華現象など品質の安定性に課題があるため、安定した品質を保持しながら難燃性及び耐水性を向上させる方法を検討し、以下の結果から、準不燃材料の防火性能基準を満足することが確認できた。

- 1) PB に炭酸ジルコニウムアンモニウムを添加 (PBZ) することにより、スギ無垢板に加圧注入処理したその薬剤の溶脱率が添加前の34.9% から18.4% まで抑制でき、耐水性が向上した。
- 2) PBZ を加圧注入処理したスギ無垢板の発熱性試験の結果、平均最高発熱速度は85.61kW/m²、平均総発熱量は5.0MJ/m²であり、それぞれの基準値³⁾ を満足していた。
- 3) スギ無垢板 PBZ 処理材における発熱性試験後の試験体の表面は、大きな爆ちようは認められず、裏面まで貫通するような亀裂、穴は発生しなかった。
- 4) 市販の針葉樹構造用合板及びスギ柎目集成材に PBZ を加圧注入処理した試験体の平均薬剤固形分量はそれぞれ106kg/m³、213kg/m³ であり、それぞれ難燃材料、準不燃材料の防火性能基準を満足する可能性があることが示唆された。
- 5) スギ柎目集成材に PBZ を加圧注入処理した試験体の平均薬剤溶脱率は13.5% であり、スギ無垢板材の場合と同様の優れた薬剤溶脱抑制効果を示した。

引用文献

- 1) 阿部健一・橋本茂・東晃史・平井賢治 (2012) : 徳島すぎ準不燃木材の開発. 日本木材学会中国・四国支部第24回研究発表会要旨集 : 80~81.
- 2) Harada,T. *et al* (2003) : *Forest Products Journal*, 53(6) : 81~85.
- 3) (一財) 日本建築総合試験所 : 「防耐火性能試験・評価業務方法書 (平成12年6月1日制定, 平成24年4月2日変更)」
- 4) 伊藤貴文 (2015) : 吸湿性を抑えた不燃木材の開発と事例紹介. 木材工業, 70(11) : 517~520.
- 5) 河野誠市・網田克明・橋本茂・平井賢治・阿部健一 (2009) : 木質材料用難燃剤, これを使用した難燃化木質材料の製造方法, 難燃化木質材料及び木質材料の難燃化方法, 特許第4352265号
- 6) 菊池伸一 (2012) : 防火木材の品質管理. 木材保存, 38(1) : 2~6.
- 7) 林野庁 (2010) : 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律 (平成22年法律第36号) 2010年5月26日交付, 同年10月1日施行
- 8) 新丹生谷製材協同組合・株式会社モクラボ (2014) : 国土交通大臣認定書 (準不燃材料), 平成26年6月2日, 認定番号 QM-0789~0794
- 9) 徳島県 (2012) : 徳島県産材利用促進条例 (平成24年条例第80号), 2012年12月21日交付, 2013年4月1日施行