

節を有するスギ板材の難燃化と準不燃材料の研究開発

正会員 ○藤田和彦*1 同 小城貴嗣*2 同 原田浩司*3
 同 谷川信江*4 同 土橋常登*5 同 金城 仁*6
 同 常世田昌寿*7 同 上川大輔*8 同 平井倫之*9
 同 長谷見雄二*10

節 スギ板材 難燃化
 コーンカロリーメーター試験 模型箱試験 防火性能試験

1 はじめに

「森林・林業再生プラン」(平成 21 年 12 月 25 日)が農林水産省で策定され、これを受けて「公共建築物等における木材の利用に関する法律」が平成 22 年 10 月 1 日に施行された。10 年後の木材自給率 50%を目標に、木材利用・エネルギー利用拡大による森林・林業の低炭素社会への貢献が期待されている。

国内の人工林では、スギ人工林面積が 450 万 ha(人工林の 44%)、蓄積が 15 億 m³(人工林の 57%)にも達しており¹⁾、スギ材の活用が緊急の課題となっている。

スギ材を建築物に利用しようとした場合、内装材では、内装制限から難燃薬剤を注入し準不燃性能を確保することが、また、外装材では薬剤の溶脱を考慮して、注入していないスギ板材を使用した壁防火構造仕様の開発が、スギの活用につながると考えられる。

しかし、スギ板材には多くの節が存在する。節は密度が高く薬剤を注入しにくいいため、発熱速度や総発熱量に影響を及ぼす可能性がある。

このため、節のあるスギ板材に薬剤を注入し、コーンカロリーメーター試験及び模型箱試験を行って、節が存在することによってどのような発熱性状を示すか、比較検討をすることとした。

また、無注入のスギ板材を前面に、スギ合板を後面に重ね合わせた仕様の外壁を試作して、防火構造性能も検討した。

2 内装材の試験方法と結果

2.1 難燃薬剤の注入量の検討

難燃薬剤を均質に注入するため、写真 1 のような一度に多数の穴をあける送り装置付き簡易ドリルインサイジング機械を試作した。穴は直径 2mm、穴の間隔は幅方向@30mm、長さ方向@30mm の 2 列ちどり配置である。試験体は、長さ 400mm、厚 15mm、幅 100mm、含水率 14%程度の節ありスギ板材を用意し、木口面をシリコンでシールした。



写真 1 ドリルインサイジング機械

難燃薬剤はリン酸・硼砂・硼酸系で、減圧 60torr、加圧、減圧 60torr の条件で注入した。加圧は注入量と濃度を考慮して、圧力を 8kgf/cm²で 20 分及び 40 分の 2 条件とした。また、ドリルインサイジング機に 1 回通したものと、2 回通して@15mm にしたものと 2 種類作製した。

準不燃基準に適合する注入量を検討するため、コーンカロリーメーター試験(50kW/m²の放射熱で 10 分間の試験)を(独)森林総合研究所で 21 体行った(図 1 参照)。

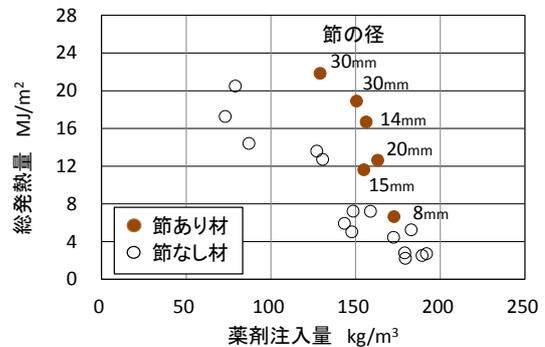


図 1 10 分間の総発熱量と薬剤注入量及び節の径の関係

薬剤注入量については、乾燥後の薬剤固形分量を表し、以降注入量とする。板材の長さ方向に対して直角方向の節の幅を「節の径」(スケールで測定)としたとき、節の径が 8mm であっても、注入量が 173kg/m³のとき、総発熱量が 8MJ/m²に達しなかった。また節のない試験体は、注入量が 143kg/m³以上で 8MJ/m²を下回った。そこで、注入性能のばらつきを考慮して、160kg/m³を準不燃基準適合の目安とした。また、穴の間隔については、@15mm の方が注入量のばらつきが少ないため、この間隔を採用した。

次に、スギ板材の長さ方向各位置の注入量を推定するため、長さ 3m、厚 18mm、幅 125mm の心材を、原木 5 本から 30 枚製材した。図 2 のように無注入材、注入材、無注入材の順とするために、サイドマッチングの木取りとした。含水率 15%以下に乾燥させて、幅方向@30mm、長

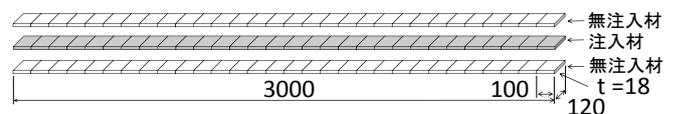


図 2 注入材と無注入材のサイドマッチング

さ方向@15mm、一段ごとに幅方向に 7.5mm ずらし、裏面から表面に貫通しないように直径 2mm の穴をあけた。注入条件は、減圧 60torr、加圧、減圧 60torr で行った。注入量を大小分散させるため、加圧を 5kgf/cm² で 5 分及び 15kgf/cm² で 60 分の 2 条件とした。

また、部分ごとの薬剤固定量を簡易に推定する方法を検討するため、高周波含水率計を使い、注入前と注入後に 100mm 間隔で測定した。測定後に長さ 100mm で横切りし、105℃で 72 時間乾燥させ、注入材の全乾密度から外側無注入材の平均全乾密度を差し引き、長さ方向の各位置の注入量を計算した(一例：図 3 参照)。100mm ごとの注入量は、変動係数 6.8%から 13.8%であり、ところどころに注入量の少ない箇所があった。インサイジングをすることで均一に注入できると考えていたが、節や密度との関係も見られないため、今後穴の間隔や注入時間も含め検討が必要と考えられる。

1 枚の板材の中で最少に近い注入量を推定するため、全乾密度から推定した注入量の 75%信頼水準の 95%下側許容限界値(対数正規分布あてはめ、以下 5%下限値)と、濃度を乗じて得た注入量の関係を検討したところ、図 4 に示すように高い相関があった。近似式から濃度を乗じて

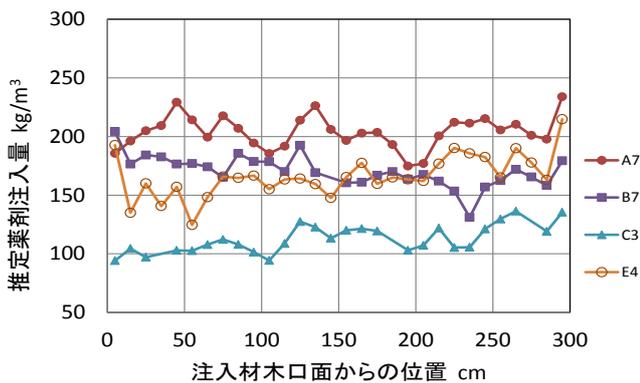


図 3 全乾密度から推定した長さ方向各位置の薬剤注入量

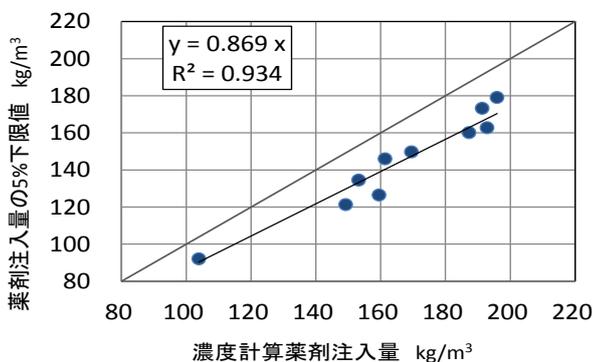


図 4 濃度計算と 5%下限値薬剤注入量の関係
得た注入量が 160kg/m³ の場合、5%下限値は 139kg/m³ であり、3m のスギ板材の中には、20kg/m³ またはそれ以上の低い部分が 1、2 個含まれているということになる。これは、図 3 を見てもあてはまる事が確認できる。

次に、注入前後の含水率計測定値の差と全乾密度から推定した薬剤固定量の関係を、図 5 に示す。含水率計測定値の差が 5%までは注入量は少ないことが分かるものの、ばらつきが大きいので、今後測定機器の選択や開発も含めて検討する必要がある。

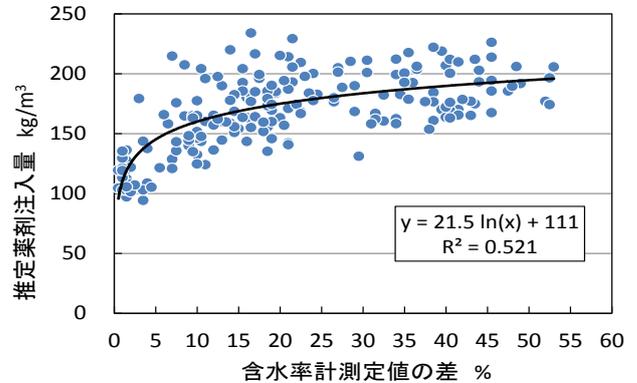


図 5 注入前後含水率計測定値の差と薬剤注入量の関係

さらに、節への注入量も推定するため、注入量 170 kg/m³ の A 材と、104 kg/m³ の C 材から 6 個の節と、サイドマッチング無注入材の節を切り出し、全乾密度を測定した(表 1 参照)。節の全乾密度は 900kg/m³、注入量は 50 kg/m³ 程度で、節にはほとんど注入できていないことが分かった。

表 1 節の推定薬剤注入量平均値

No	比較した節の数 個	3m材 薬剤注入量 kg/m ³	節の推定 注入量 kg/m ³	未注入材節 全乾密度 kg/m ³	注入材節 全乾密度 kg/m ³
A材	4	170	49	873	922
C材	2	104	12	911	923

2.2 現場仕様の本実試験体作製

住宅など建築現場で施工を想定される寸法のスギ板材(長さ 3m、厚 18mm、働き幅 140mm の本実加工済み、含水率は 15%程度)に、図 6 のような直径 2mm の穴を斜めにずらして、板材の幅方向に密にならないように配慮して加工を施した。

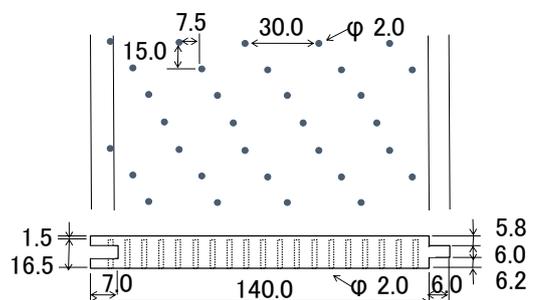


図 6 スギ板材の穴あけ加工

難燃薬剤はこれまで検討した薬剤と同様として、減圧 60torr、加圧、減圧 60torr で注入した。加圧条件は注入量と濃度を考慮して、圧力を 8kgf/cm² 及び 15kgf/cm²、時間を 5 分から 60 分とした。注入量は、コーンカロリーメーター試験用は 151kg/m³ から 194kg/m³、模型箱試験用は

81kg/m³から196kg/m³であった。

2.3 コーンカロリメーター試験と結果

試作した注入量の異なる試験材 30 枚から、節のある部分 26 か所と、節のない部分 30 箇所を 100mm×100mm に切り出し、(財)日本建築総合試験所において、50kW/m²の輻射熱で 10 分間の試験を行った。

図 7 に節の径と総発熱量の関係を示す。節の径が 9.5mm(節が円形の場合表面積割合 0.7%)を超えると、総発熱量 8MJ/m²を超える試験体が出てくることが分かった。

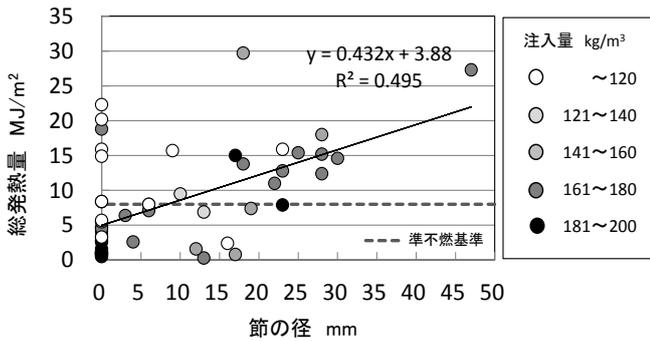


図 7 節の径と総発熱量の関係

表 2 重回帰分析及び薬剤注入量の計算結果

n = 77	回帰係数				重相関係数
	薬剤注入量	節の径 mm	板材の厚さ	定数項	
管理方法	kg/m ³	表面積割合%	mm		
	A1	A2	A3	B	R
節の径	-0.0934	0.394	-1.095	38.2	0.719
表面積割合	-0.0975	1.32	-1.000	37.9	0.742

	薬剤注入量	節の径	薬剤注入量	表面積割合
	kg/m ³	mm	kg/m ³	%
総発熱量を 7MJ/m ²	144	5	140	0.6
板材の厚さを 18mm としたときの	148	6	143	0.8
回帰式から推定した	153	7	146	1.0
薬剤注入量	157	8	148	1.2
	161	9	151	1.4
	165	10	154	1.6
	170	11	156	1.8
	174	12	159	2.0
	178	13	162	2.2
	182	14	165	2.4
	186	15	167	2.6

さらに 2.1 と 2.3 で行った試験結果から、3m 材の注入量、節の径または 100mm×100mm に対する節の表面積割合、試験体の厚さから、総発熱量を求める重回帰分析を危険率 5%で行った。節の管理上、径か表面積割合のどちらかを選択できるように考慮して、回帰式は 2 種類を検討した。

表 2 から総発熱量は、A1 から A3 にそれぞれの係数を乗じて B を加算すると推定できる。また、総発熱量を注入量のばらつきを勘案して 7MJ/m²、板材の厚さを 18mm と仮定し、節の径及び表面積割合を変動させたときの推定注入量も併せて示した。節は円形ではないため節の径と表面積割合では違いがあるが、総発熱量 7MJ/m²とするためには、節の径が 9mm の場合 161kg/m³、表面積割合が 2.0%の場合 159kg/m³の注入量が必要であることが計算できた。

2.4 模型箱試験と結果

コーンカロリメーター試験では、節の径が大きい試験体で総発熱量が高くなるということが分かったが、実物大に近い模型箱試験ではどのような燃焼性状が示されるか、節のあるスギ板材について試験を行った。

3m の薬剤注入後の材を長さ 1m に切断後エンドマッチ加工を施し、注入量の近い材でグループ分けして、4 体を節あり、1 体を節なし試験体として製作した。模型箱試験体は、内寸で幅 840mm、長さ 1680mm、高さ 840mm である。試験は(財)日本建築総合試験所において 10 分間の試験時間で行った(写真 2 及び写真 3 参照)。



写真 3 試験中の状況



写真 4 試験後の状況

表 3 模型箱試験結果

No	薬剤注入量 kg/m ³					節 %	総発熱量 MJ	最高発熱速度 kW	亀裂	穴
	平均値	最小値	最大値	標準偏差	変動係数%					
No1	174	151	196	11.0	6.3	0.30	25.9	54.0	無	無
No2	171	160	194	8.7	5.1	0.00	24.0	50.8	無	無
No3	157	140	181	8.4	5.3	0.10	26.2	51.6	無	2
No4	92	81	103	7.0	7.6	0.32	29.2	68.2	6	2
No5	149	134	166	9.4	6.3	0.03	24.1	51.1	2	6

模型箱試験における準不燃基準は、加熱開始後 10 分間の総発熱量が 50MJ を超えないこと、最高発熱速度が、10 秒以上継続して 140kW を超えないこと、また、防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がないことである。

表 3 に薬剤注入量、節表面積割合及び試験結果を、図 8 に試験後の節なし及び節あり試験体の炭化範囲(ススで着色も含む)を、また図 9 に総発熱量を示す。表 3 から、すべての試験体は総発熱量が 30MJ 以下、最高発熱速度は 70kW 以下であったが、注入量の少ない No4 及び No5 は、亀裂や節の抜けが見られた。また、どの試験体も燃え抜けはなかった。

図 8 から、節の有無にかかわらず注入量が同程度であれば炭化層のある範囲もほとんど変わらないこと、また図 9 から注入量が平均で 150kg/m³あれば節の面積にかかわらず、総発熱量や最高発熱速度はあまり差がないことが分かった。皮が周辺に巻き付いた状態の節では燃え抜けたり、乾燥収縮により放射状の亀裂があるものは、亀裂が増大し貫通割れとなった。

5 体の試験体から推察すると、平均 160kg/m³程度の注入量が亀裂を起こさない限界で、最低限 140kg/m³の注入の確保と、節の補修が必要であることが分かった。

このことから、今後、コーンカロリメーター試験により注入量と燃焼による幅方向の収縮率の関係を導き、

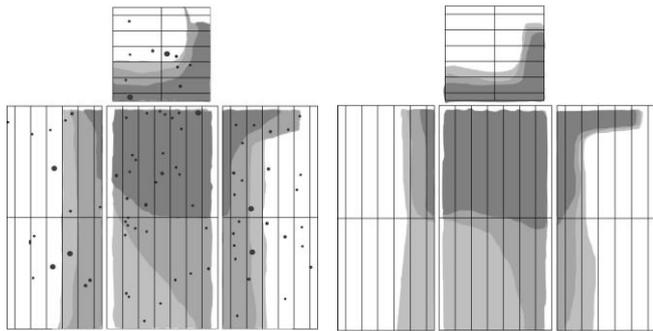


図8 試験後の節あり及び節なし試験体の炭化範囲

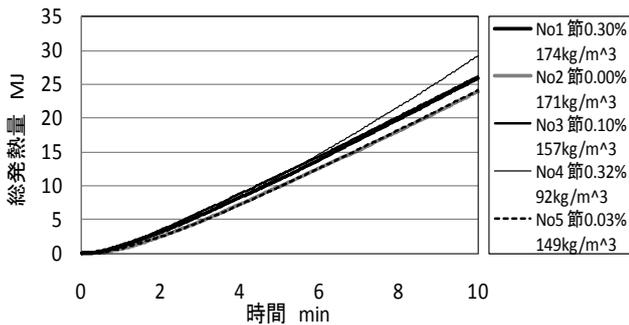


図9 模型箱試験における総発熱量

模型箱試験における亀裂との関連性を検討することにした。

なお、節の表面積割合については、好みの問題ではあるが、1.0%程度が意匠的に受け入れられる限界であると思われる。

3 外装材の試験方法と結果

3.1 壁防火性能試験方法

壁防火性能試験体について、表4及び図11に示す。スギ柱材を中央に、表面には無注入のスギ板材節あり材を左側に、節なし材を右側に配置し、胴縁を挟んで裏面の構造用合板とともに間柱に止めつけた。

表4 壁防火性能試験外装材の条件

試験体 No	前面 無注入スギ板材		裏面 スギ構造用合板 厚さ mm
	厚さ mm	働き幅 mm	
No1	12	140	28
No2	18	140	28
No3	15	107	24
No4	15	107	28

試験は(財)建材試験センター及び(財)ベターリビングにおいて、載荷加熱試験(30分)を行った。なお、節の表面積割合は最大0.9%(写真撮影による画像処理 Image J²⁾)であった。今回行った画像処理は、節の表面積割合を簡易に測定する方法として有効と考えられた。

3.2 壁防火性能試験結果

結果を図12に示す。前面のスギ板材が厚さを増すほど、その燃え抜け時間が遅れる傾向が見られた。節あり、節

なし面は、温度上昇の差は見られなかった。また、どの試験体も非加熱側で火炎の噴出や亀裂等の損傷もなく、スギ板材と構造用合板を合わせることで、薬剤注入をしなくても、30分の防火性能を有することが分かった。

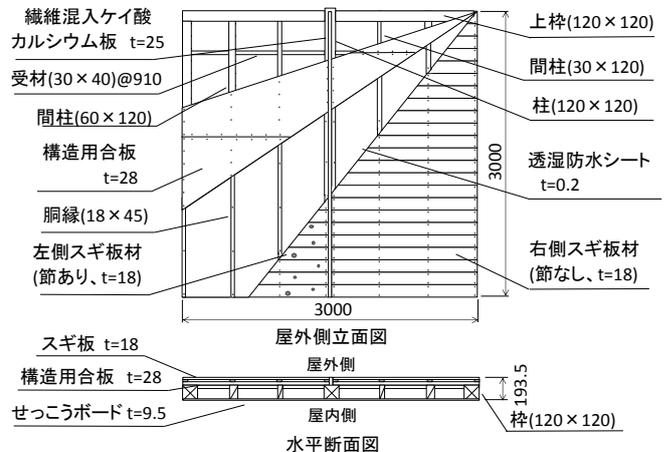


図11 試験体概要(板材 t=18mm, 合板 t=28mm)

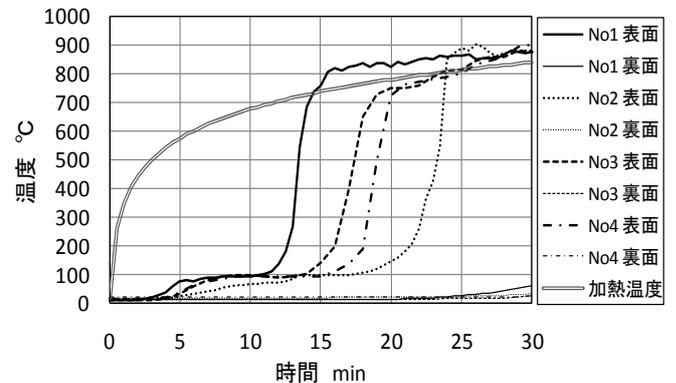


図12 壁防火性能試験における構造用合板表裏最高温度

4 まとめ

難燃薬剤を節のあるスギ板材に注入して、コーンカロリメーター試験と模型箱試験を行い、注入量と節の径や表面積割合の関係を明らかにした。また、外壁の防火性能試験では、スギ板材とスギ合板の重ね合わせ仕様で30分の防火性能を有することが示唆された。

謝辞 当該研究は、平成21年度林野庁補助事業「地域材利用加速化緊急対策支援事業のうち耐火部材の開発事」によって実施した。関係の皆様には謝意を表す。

参考文献 : 1) 林野庁、森林資源の現況、平成19年3月31日
2) Image/J : 画像処理解析プログラム NIH Image をJava言語で書き換えたフリーソフトウェア : <http://rsb.info.nih.gov/ij/>

*1 広島県立総合技術研究所林業技術センター *2 小城六右衛門商店
*3 木構造振興 *4 セイホク *5 日本建築総合試験所 *6 ベターリビング
*7 建材試験センター *8 森林総研 *9 鹿島建設(研究実施時 早稲田大学) *10 早稲田大学

*1 HITRI *2 Ogirokumonsyouten *3 Mokukouzoushinkou *4 Seihoku *5 General Building Research Corporation of Japan *6 The Centre for Better Living *7 Japan Testing Center for Construction Materials *8 FFPRI *9 Kajima Corp.(Formerly Graduate student, Waseda Univ) *10 Waseda University