

県産スギ材による不燃材料の開発

Development of fire-proofing materials for sugi of Gunma

小黒正次・片岡夕美子*・竹内康浩*・町田初男

県産スギ材の需要拡大を目的に、安全性と耐久性を考慮した不燃材料の開発を行った。主な結果は次のとおり。

- 1 スギ不燃処理材から溶脱した薬剤の安全性を検証するため、皮膚一次刺激性試験を行った結果、「無刺激性」と評価された。
- 2 不燃処理材から薬剤の溶脱を防止するための表面処理剤として、弾性型ウレタン系樹脂塗料を選択した。
- 3 建築基準法の規定に基づき、不燃材料試験を行ったところ、厚さ 18 ～ 300mm まで塗装品で国土交通大臣認定を取得した。
- 4 外装用塗装材の評価としてカーボンアークによる促進耐候性試験を行い、1,000 時間をクリアした。
- 5 促進耐候性試験 1,000 時間後の発熱性能は、不燃基準値をわずかにオーバーした。

キーワード：スギ、不燃、塗料、外装材、構造材

I はじめに

平成12年の建築基準法改正により、木材でも一定の性能を満たせばあらゆる場所への使用が可能となった。これを受けて、平成14年度から県産スギ材の需要拡大を目的に準不燃材の開発を行い、16年2月12日付で国土交通大臣認定を取得して市場に供給している¹⁾。しかし、塗装品として取得していなかったため、平成19年11月の「防耐火関連の構造方法等の認定に関する実態調査」²⁾を契機に改めて塗装品で再取得した経緯がある。

一方、不燃材の開発にあたっては、それ以前から、塗装品で大臣認定を取得することを前提に研究を進めた。また、保育園や公共施設の担当者から、使用する薬剤の安全性についての問い合わせが寄せられることと、不燃材に要求される発熱性能は、準不燃材料の10分間に対して20分間と、非常に厳しいものとなっている。したがって、準不燃に使用した薬剤とは組成や含浸量も異なるため、長期間にわたる品質の安定確認が求められる。

これらをふまえて、不燃処理材の安全性と耐久性を考慮したスギ不燃材料の開発を行った。

II 方 法

1 皮膚一次刺激性試験

スギ不燃処理材から溶脱した薬剤の安全性を検証するため、(財)日本食品分析センターに依頼して、皮膚一次刺激性試験を行った。

* (株)日本防災化学研究所

試験体の調整は、 $t\ 12 \times w\ 105 \times L\ 500\text{mm}$ のスギ板目材に不燃薬剤 SKO - 5000 S を含浸し、再乾燥した後、タバイエスペック製恒温恒湿器 PR-3KP により $50\text{ }^\circ\text{C}\ 90\% \text{RH}$ 120 時間で薬剤を溶脱させ、加熱して再結晶した粉末を採取した。

この粉末をもとに3匹のウサギの皮膚による、OECD法で安全性を評価した。

2 表面処理剤の選定

(1) 内装用

不燃内装材としての性能を把握するため、SKO-5000S を含浸し、再乾燥後、3社5種類の塗料を仕様どおりに塗装し、 $20\text{ }^\circ\text{C}\ 65\% \text{RH}$ で7日間養生して乾湿繰り返し試験を行った。試験条件は、 $50\text{ }^\circ\text{C}\ 90\% \text{RH}$ 72時間において薬剤の溶脱の無いことを確認後、 $50\text{ }^\circ\text{C}$ の乾燥を含めた24時間サイクル試験を行い、目視で塗膜に異常が認められるまで実施した。

(2) 外装用

不燃処理材に耐候性を付与させるため、塗料メーカーの協力で表面処理剤の選定を行った。供試剤は、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂、シリコン樹脂及び無機系塗料とその組み合わせとし、合計30種類を $27\text{ }^\circ\text{C}\ 90\% \text{RH}$ 7日間後の薬剤の析出と塗膜の付着性 (JIS K5600 5-6クロスカット法) で評価した。なお、塗膜の付着性を向上させる試みとして、界面を3級アミンで処理した。

3 国土交通大臣認定の取得

建築基準法第2条第9号の規定に基づき、不燃材料試験を(財)ベターリビングに依頼した。厚さは、15、18及び50mmの3種類とし、ウレタン樹脂系塗料を塗布した。

(1) 発熱性能試験

各厚さ $\times w\ 100 \times L\ 100\text{mm}$ を、 $23\text{ }^\circ\text{C}\ 50\% \text{RH}$ の恒温恒湿器で1週間養生し、1%以上重量変化のないことを確認してコーンカロリメータによる発熱性能試験 (ISO 5660-1 輻射強度 50kw/m^2 加熱時間 20分) を行った。試験体数は、各厚さ6体の中から3体を無作為に選定した。

(2) ガス有害性試験

建築材料燃焼試験機により、 $t\ 15 \times w\ 220 \times L\ 220\text{mm}$ の試験体2体を燃焼し、加熱開始から16分間における8匹のマウス(体重18~22g)の行動停止時間を測定した。

4 不燃塗装材の評価

(1) 内装用

内装用塗装材の評価として、 $50\text{ }^\circ\text{C}\ 90\% \text{RH}$ 200時間後の薬剤の溶脱と塗膜の状態、及び寸法変化を測定した。なお、塗膜の付着性はクロスカット法で評価した。

(2) 外装用

促進耐候性試験(ウエザリング)は、 $t\ 18 \times w\ 150 \times L\ 200\text{mm}$ の塗装材を、スガ試験機(株)製ウエザーメータ WEL-75XS-LHP-BEC で、カーボンアークによる照射(散水 12分/時 ブラックパネル温度 $63\text{ }^\circ\text{C}$) を行い、ミノルタ(株)製分光光度計 CM-508d により色差を測定した。

(3) ウエザリング後の発熱性能

ウエザリング後の薬剤の溶脱と発熱性能を把握するため、ISO-5660-1 コーンカロリメータにより、輻射強度 50kw/m^2 、加熱時間 20分における総発熱量等を測定した。

試験体の製作にあたり、国土交通省の耐火性能調査を受けて、発熱性能用試験体は長尺材に難燃処理した材料から採取するよう指示されたため、 $t\ 18 \times w\ 120 \times L\ 3,650\text{mm}$ のスギ材に SKO-5000S を含浸し、乾燥したものを試験に供した。

無塗装用として、不燃処理材の中央から $t\ 18 \times w\ 100 \times L\ 100\text{mm}$ の試験体を採取し、 $20\text{ }^\circ\text{C}\ 65$

% RH で 14 日間調湿した。塗装材は t 18 × w 120 × L 200mm に塗装し、ウエザリング後に再加工し調湿して発熱性能試験を行った。主な仕様は、表-1 のとおり。

表-1 発熱性能試験用仕様

試験体 NO.	形質	密度 g/cm ³	推定固定量 kg/m ³	ウエザリング h	表面処理
1	板目辺材	0.438	220	無	無
2	板目辺材	0.489	220	無	無
3	板目辺材	0.602	コントロール	無	S A
4	板目辺材	0.539	平均	1,000	S A
5	板目辺材	0.644	最大	1,000	S A
6	板目辺材	0.539	最小	1,000	S A

5 実証試験

不燃材の問い合わせとして、ビルの防火扉、マンションの通路・壁面、旅館の柱・梁等の屋内構造材や、外壁、ルーバー、神社仏閣の軒天等が寄せられている。そこで、これらの使用を想定して実証試験を行った。

(1) 内装

不燃処理したスギ長尺材を t 18 × w 100 × L 900mm に加工後、これまでの実験で 50 °C 90 % RH 200 時間後に晩材部の一部に白化が認められた 2 種類を含めて、3 種類の内装用塗装をして試験場内にある緑陰舎の腰壁に設置し、3 ヶ月ごとに塗膜の状態と色差を測定した。

(2) 外装

t 18 × w 120 × L 450mm に加工後、3 種類の外装用塗装をして場内の南面に水平、45 度及び垂直にセットして屋外暴露試験を行い、3 ヶ月ごとに塗膜の状態と色差を測定した。なお、参考にウエザリング 300 時間で薬剤が析出した C A を 45 度に加えた。

III 結果及び考察

1 皮膚一次刺激性試験

剃毛したウサギの皮膚に 4 時間接触させたガーゼパッチを除去して 1 時間後に、2 匹の無傷及び有傷皮膚で非常に軽度な紅斑が見られたが、24 時間後に消失し、その後刺激反応は見られなかった。残る 1 匹には、観察期間をとおして刺激反応は見られなかったことから、「無刺激性」と評価された。

2 表面処理剤の選定

(1) 内装用

乾湿繰り返し後の塗膜性能を表-2 に示す。72 時間後から 2 サイクル目で、C A - A、C A - B の表面に塗膜の異常が認められ、薬剤が溶脱後に白化した。同様に G E - P は晩材部にふくれが、S A - V S 及び S A - V N も光沢の低下が認められた。この中で、V S と V N は同じ弾性型塗料で工程を替えたものであるが、前者の下塗り 2 回に上塗りの方が後者の下塗り、中塗り、上塗りよりも効果的と考えられることから、シーラーと工程を再検討することとした。

表－2 乾湿繰り返し後の塗膜性能

試験体	50℃ 90%RH 72h + 50℃ 24h		サイクル(回)		備考
			1	2	
CA-A	○	○	△		白化
CA-B	○	○	△		白化
GE-P	○	○	△		ふくれ
SA-VS	○	○	△		光沢減少
SA-VN	○	○	△		ふくれ
無処理	○	○	○		異常なし

○：良好 △：やや不良 ×：不良

(2) 外装用

結果の一部を表－3に示す。ウレタン樹脂系を除いてすべての組み合わせがSKO-5000Sと不適合であることを確認した。また、アミンの効果は十分とはいえなかった。そこで、3社の外装用ウレタン樹脂系塗料で再試験を行うこととした。

表－3 外装用表面処理剤の性能

種類	析出の状態	付着性	備考
エポキシ樹脂	×	×	ハジキ
ウレタン/エポキシ	△	△	ハジキ
無機(アルミナ/アルコキシラン)	×	—	白化
シリコン樹脂/ウレタン	×	×	白化
3級アミン/ウレタン	×	×	白化
無機塗料/ウレタン	×	×	白化
一液ウレタン/ウレタン	○	×	
ウレタン/ウレタン	○	○	

○：良 △：やや不良 ×：不良

3 国土交通大臣認定の取得

(1) 発熱性能試験

結果を表－4に示す。判定基準は、20分後の幅と長さ方向の収縮が6mm以下であること、裏面への貫通がないこと、発熱速度が10秒以上継続して200kw/m²を超えないこと、及び総発熱量が8MJ/m²以下の4項目であるが、厚さ15mmの総発熱量は8.09MJ/m²とわずかにオーバーし、不合格となった。

一方、厚さ18mmと50mmは4.61MJ/m²、4.89MJ/m²でクリアした。なお、厚さ50mmの試験体において、発熱性能試験終了後の観察で、裏面まで達する炭化及び亀裂等が認められないことから、厚さが50mmを超える製品についても合格基準を満足するものと評価された。

表-4 発熱性能

厚さ mm	収縮 mm	貫通	200kw/m ² を 超える発熱	総発熱量 MJ/m ²	判定
15	5	なし	なし	8.09	不合格
18	4	なし	なし	4.61	合格
50	0	なし	なし	4.89	合格

(2) ガス有害性試験

判定基準は、マウスの平均行動停止時間が 6.8 分を超えることと、燃焼試験後裏面への貫通等がないことの2項目であるが、1回目 11分(生存8匹)、2回目 12分(6匹)であり、基準をクリアした。

また、厚さ 15mm のガス有害性試験においても、裏面まで達する貫通等がないことから、厚さが 15mm を超える製品についても合格基準を満足するものと評価された。

これらの結果から、厚さ 18 ~ 300mm まで両面ウレタン樹脂系塗装/無機リン酸・窒素系薬剤処理/スギ板の名称で不燃材料NM- 1520((株)日本防災化学研究所)、NM- 1521(群馬県)として認定された。

4 不燃塗装材の評価

(1) 内装用

内装用塗料のうち、SA-VSのプライマーとシーラー及び塗装工程を再検討すると共に、O社製の不燃木材クリヤーを加え不燃内装材として評価した。結果を表-5に示す。

CA-A、B共に晩材部のすべてから薬剤が溶脱し白化したため、その他の測定は中止した。他の3種類の重量変化は、9.5 ~ 11.6 %増加したが寸法変化はいずれも認められなかった。しかし、SA-Dを除く2種類は、晩材部の一部に白化が認められた。色差が 4.9 とやや明度が低下したものの、SA-Dが内装用塗料に適していると判断された。

表-5 内装用塗装材の性能

試験体	重量変化 %	寸法変化 %	析出の状態	色差 ΔE	付着性
CA-A	-	-	×	-	-
CA-B	-	-	×	-	-
GE-P	11.6	0.0	△	2.0	×
SA-D	9.6	0.0	○	4.9	○
OO-M	9.5	0.0	△	6.9	×

○：良 △：やや不良 ×：不良

(2) 外装用

外装用塗料として、3社のウレタン樹脂系塗料のウエザリングを行った結果、2社の塗料が300時間で塗膜にふくれ等を生じた(図-1)。一方、残りの1種類は850時間で晩材部の一部にふくれを生じた。



図-1 ウエザリング 300 時間後の塗膜

そこで、目標時間を1,000時間と設定し、さらに耐候性能を増すために、前処理としてプライマーにステインを添加し、前処理と上塗りを同一にして下塗りと中塗りの組み合わせを替え、4種類の塗装工程でウエザリングを行った。

その結果、SA-Fは700時間で、EとGは800時間で一部にふくれを生じた。なお、SA-Eは前回(850時間)と同じ仕様であり、ほぼ同様の結果であった。一方、SA-Hは1,000時間をクリアした。これらの結果から、SA-Hの仕様で発熱性能試験を行うこととした。なお、1,000時間後の色差(ΔE)は21であった(表-6)。

表-6 ウエザリングと塗膜の性能

試験体	ウエザリング (h)					
	500	600	700	800	900	1,000
SA-E	○	○	○	△	△	×
SA-F	○	○	△	×	×	×
SA-G	○	○	○	△	△	△
SA-H	○	○	○	○	○	○

○ : 良 △ : やや不良 × : 不良

(3) ウエザリング後の発熱性能

結果を表-7に示す。試験体1は開始から850秒後に中心部付近に着火したが火炎は小さく、さらに80秒後に消炎した。試験体2は着火せず、いずれも20分間の総発熱量は 8MJ/m^2 以下で不燃材料の基準を満たす性能を示した。したがって3.6mの長尺材の中央にも薬剤が固定されていることが確認された。試験体3(コントロール)は、8.3秒で着火、32秒で消炎し最大発熱速度が 150kw/m^2 であった。この加熱初期の発熱の大部分は表面のウレタン塗料が燃焼したものと考えられ、耐候性を向上させるために塗装工程を増やすと、発煙が激しくなり総発熱量の増加に影響するものと思われる。

消炎後の発熱速度は平均 3.28kw/m^2 で推移し、20分間の総発熱量は 6.37MJ/m^2 であった。さらに裏面まで貫通する亀裂等も見られず、不燃材料の基準を満たしていた。

さて、試験体4~6のウエザリング1,000時間後の結果は、それぞれ12~14秒で着火し最大発熱速度は156, 253, 282kw/m^2 のピーク値となった後、31~34秒で消炎した。このことから、ウエザリングによる薬剤の溶脱は塗膜の燃焼にも影響していることが推察される。20分間の総発熱量はそ

れぞれ、8.06, 8.86, 15.12MJ/m² であり、試験体 4 (推定薬剤残存量の平均)は、わずかに不燃材としての基準を上回った。また、試験体 6 (推定薬剤残存量最小)は、難燃レベルまで低下した。光源は異なるものの、ウエザリングの時間と発熱性能の関係は、原田らの報告と同様の傾向であった³⁾。

塗膜の状態から、薬剤の溶脱の大半は木口面と推察されることから、特に現場での鋸断加工後は木口面のシールが重要であると考えられる。

表-7 ウエザリング後の発熱性能

試験体 NO.	着火時間 秒	貫 通	200kw/m ² を 超える発熱	総発熱量 MJ/m ²	防火性能 レベル
1	850	なし	なし	7.82	不 燃
2	—	なし	なし	5.34	不 燃
3	8	なし	なし	6.37	不 燃
4	12	なし	なし	8.06	準不燃
5	13	なし	なし	8.86	準不燃
6	14	収縮・割れ	なし	15.12	難 燃

5 実証試験

(1) 内装

緑陰舎は、常時閉めきりであることと古い建物のため、地面からの湿気が充満し、梅雨期は1日中湿度 80 % 以上の日が 10 日間に及ぶ過酷な環境である。6ヶ月間の塗膜の状態は3種類共に良好であり、色差の変化は上昇傾向にあるものの、目視では殆ど認められない(図-2)。

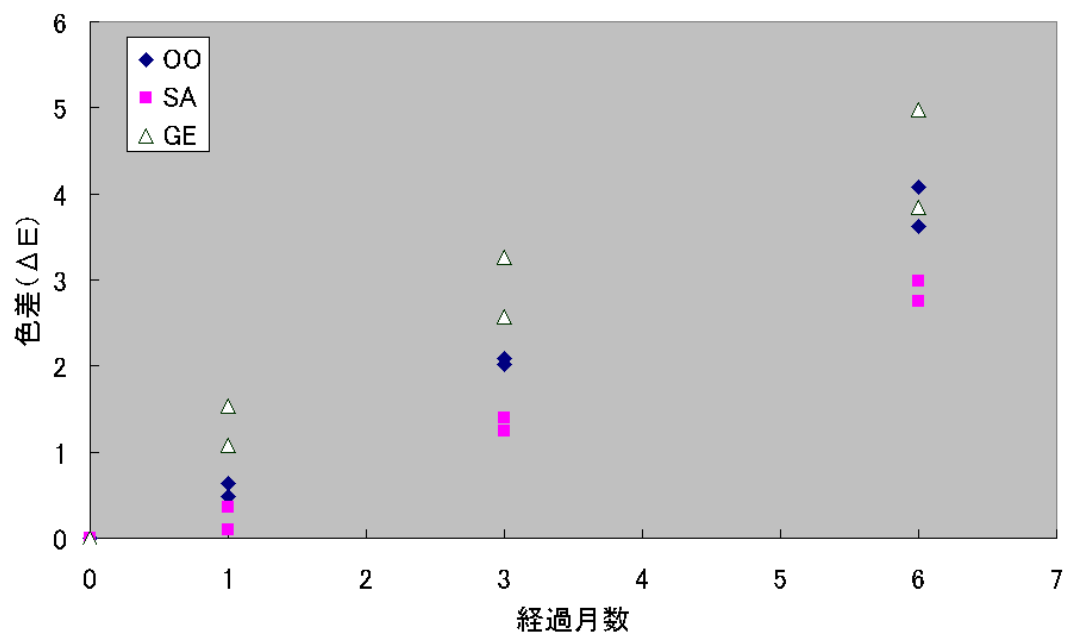


図-2 6ヶ月の色差変化

(2) 外装

屋外暴露6ヶ月間の塗膜の状態と色差を表-8に示す。ウエザリング300時間で析出したCAは、傾斜45度1ヶ月で不良となった。また、OOは水平3ヶ月で不良に、垂直でも6ヶ月で継続が不可能となった。屋外暴露の角度が塗膜に及ぼす影響は45度、垂直よりも水平が大きいこと⁴⁾から、水平が最も薬剤の溶脱量が多くなることが推察される。一方、SAはいずれの角度も良好であり引き続き観察することとした。

表-8 屋外暴露6ヶ月後の塗膜

試験体	経過月数(月)					
	1		3		6	
	塗膜	色差	塗膜	色差	塗膜	色差
水平 OO	○	8.8	×	20.8	—	—
SA	○	8.1	○	15.0	○	17.7
CA	×	—	—	—	—	—
45度 OO	○	5.4	△	15.0	×	—
SA	○	6.0	○	11.1	○	18.5
垂直 OO	○	3.0	△	8.0	×	—
SA	○	3.9	○	17.0	○	13.6

IV おわりに

戦後造林されたスギ材の需要開発は、循環型社会にとって重要な課題である。スギ材の長所、とりわけ内装材としての機能を生かしつつ難燃化することで、内装制限が解除され用途が大幅に拡大される。

一方、外装材に要求される耐候性能は一層厳しく、ましてや耐火性能の低下はあってはならないこととなる。外装材のうち、日当たりの良い水平部分の塗膜劣化が最も著しく、北面の垂直面(外壁等)とは比べものにならない。したがって、あえて難燃処理木材を屋外で使用するには、木口面の処理と適切な維持管理が伴うことを十分理解して設計施工することを願うものである。

謝 辞

本研究の実施にあたり、不燃材の表面処理に協力いただいた斎藤(株)技術研究所の方々、塗料を提供していただいた各メーカーに深謝します。

参考文献

- 1) 小黒正次ほか：県産スギ材による準不燃材料の開発、群馬県林試研究報告、12 1-12 (2007)
- 2) 防耐火関連の構造方法等の認定に関する実態調査、国土交通省住宅局建築指導課長、11月19日(2007)
- 3) 原田寿郎ほか：難燃処理木材のウエザーメータ試験による耐候性評価、第57回日本木材学会大会研究発表要旨集、CD-ROM、(2007)
- 4) 北村直也ほか：難燃処理木材の屋外暴露試験による耐候性評価(1) 暴露角度の影響、第57回日本木材学会大会研究発表要旨集、CD-ROM、(2007)