

論文内容要旨

生物材料科学 専攻
平成 22 年度博士課程 進学
氏 名 林 静怡
(リン チンイ)
指導教員名 安藤 直人

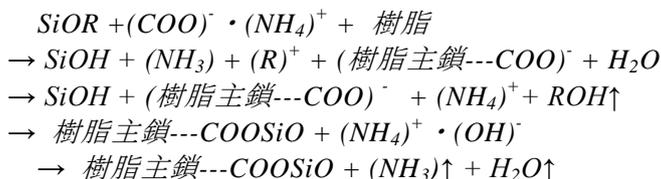
ケイ酸系木材保護塗料の開発と有効性の検証

前言

建築・建材に木材を利用するにあたり耐久性の信頼性向上は重要なテーマである。木材の改質に関する WPC 技術は現在、含浸型と混練型の二つに大別されて定義されている。含浸型 WPC 技術の一例として、木材にシリコーン樹脂を減圧法で注入した圧縮バットを製造することがあるが、同様にシリケート溶液が撥水性塗料として木材表面を改質する可能性についての検討は不十分な状態である。ケイ酸塩が木材組織で浸潤する機構はケイ酸の球状体が木材の導管や導管壁孔を經由し、細胞内腔の細胞壁に付着・沈殿し、細胞内腔を埋めることによって木材繊維をケイ化することである。ケイ化された木材は表面硬度、耐水性と生物劣化に対する抵抗能力が向上することが示されている。従来、「トポ化学」として知られ、ケイ酸塩系水溶液を用いて木材に注入、あるいは含浸することによって、木材表面でゾル・ゲル反応を起こし、木材の無機・有機共複合物を作成することができ、さらにその複合物における耐久性能が検証された。木材塗装の歴史が長く、塗料の選択と塗装作業の仕組みは様々である。例えば、古跡・文化財を塗装する際には顔料や植物油塗料が使用されている。近年、木質建材の長期間使用を検討するため、材料の使用期間とメンテナンス効率の向上が重視され、塗装で木材を保護することが一層期待されている。

第 1 章 塗料成分と塗装法

本実験で用いた水性ケイ酸塩系塗料の主成分はジメチルシリコーン樹脂にアミン類シランカップリング剤と触媒を加え、カルボキシル基を中和・二重結合を解消させ、オルガノキシシランを加えたものである。ケイ素が Si-O-Si 結合で木材表面にポリシロキサン層を形成することによって浸透型、半浸透型と塗膜型塗料を作成した。



木材表面で塗料の固形量が塗装法と塗料性質に関わる。メンテナンスする際に定量塗布が確保するためケイ酸塩系塗料の性質を確認し、塗装方法は合成繊維刷毛で 2 回塗りまとめた。

第2章 耐候性能試験

塗装材でも木材原色を表現し、木目をアピールしたいなどの需要を満足させるため、透明塗装の光劣化防止に関する研究ニーズは高いと言えよう。透明塗装の耐候性に関する研究はまだ少ないが、木材の樹種と下地処理によって差があることが証明され、さらに塗膜の耐水性、剥離率、及び紫外線吸収剤の濃度は木材表面での保護効果に大きな影響を与えることも明らかにされている。本小節では紫外線吸収剤を入れた透明無色の変性ケイ酸塩系樹脂塗料（塗膜型 S1、浸透型 S2）および撥水度が向上できるシリコンオイルを添加した半浸透型ケイ酸塩系塗料を用い、ケイ酸塩系塗料の高撥水効果を活かし、長期耐用性を検証するために、耐候促進試験で塗装材表面と光劣化挙動について実験的研究を行った。本章のまとめは以下である：

1) スギ材の光劣化挙動について

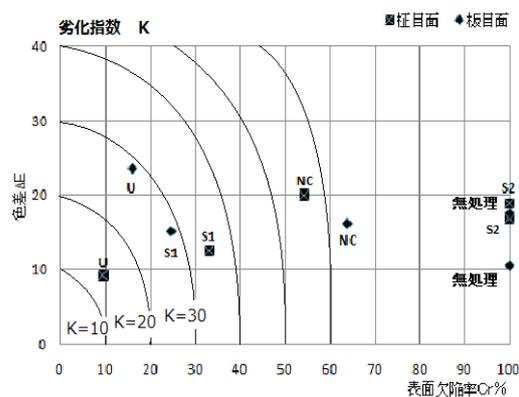
スギ材の光劣化について、初期に材面でのやけを発生し、その後呈色物質の分解と溶脱による材料の白色化を発生した挙動を明らかにした。発色団の生成は耐候試験開始から約 65 時間内で、その後表面溶脱による材面の白色化、割れ・ひびの発生および春材部の凹陥、繊維の剥離などの劣化問題を生じた。

2) 水性ケイ酸塩塗料の光耐候性について

本実験で用いた水性ケイ酸塩系塗料は 2 種類である。紫外線吸収剤の添加量は同様のうえ、耐候操作を行った後、塗膜なしのケイ酸塩塗料は光劣化に対する保護効果は得られず、無処理材と同程度の劣化現象を示した。即ち、光劣化環境下では塗膜のないケイ酸塩塗料は期待できない。一方、塗膜ありのケイ酸塩塗料は良い耐候性を示し、実験後の劣化指数値と撥水度はほぼ油性塗料と同程度に評価された。透明水性ケイ酸塩系塗料について、建材・建築への使用に対しては適切な仕様が肝要である。

3) 水性ケイ酸塩塗料の耐水効果について

塗膜型ケイ酸塩系塗料に形成した塗膜の透湿抵抗が高く、溶脱操作を行った結果では塗膜の剥離がなく、湿潤環境での使用性が良好といえる。さらにシリコンオイルを添加した半浸透型塗料は耐水性・耐溶脱性能が良好で、高撥水性塗料として使用されているフッ素樹脂とほぼ同程度の結果を示した。ここで、シリコンオイルの添加することによってより耐水効果ができると証明された。



実験前後材料表面の撥水度変化

試験体	光劣化操作前		光劣化操作後	
	LT面	LR面	LT面	LR面
S1	100	100	73.2	85.9
S2	98.6	98.2	22.5	29.6
NC	100	100	26.1	65.0
U	100	100	86.9	92.1
無処理	94.4	90.1	29.6	21.1

図1 劣化指数 K と材面の撥水度

(S : ケイ酸塩系塗料、NC : 水性セルロース塗料、U : 油性ウレタン塗料)

第3章 防蟻性能試験

現在、薬剤塗布以外の塗装処理がまた防腐・防蟻処理として認められてないが、本研究ではシロアリへの忌避効果を検討し、水性ケイ酸塩系塗料が新たな蟻害対策方法として検証試験を行った。ケイ素樹脂はそれぞれの耐久性能が異なるが、ケイ素の固形量と添加物によって防蟻効果が認められている。さらに官能基と触媒の交換・入替えることによって、ケイ酸塩系水溶液に処理された木材はホウ酸処理とほぼ同程度の高い耐蟻性能を持つことが示された。本章ではケイ酸塩系水溶液の防蟻性能を考慮し、木材保護塗料として開発された水性ケイ酸塩系塗料の実用性を検討した。ケイ素が木材表面での浸潤機構とシリケート結合を重ねることによって塗料を作製し、さらに添加成分を変えながら、室内試験と屋外試験で木材の繊維方向によって水性ケイ酸塩系塗料による白蟻食害防止効果について実験的検証を行った。室内試験で建築へ大きい損害を与えるイエシロアリが試験対象とし、無毒性塗装材の防蟻性能試験を行った。具体的な試験法が規範されていないため、JIS K1571「木材保存剤—性能基準および試験方法」に記載した試験法と木材乾燥時間を準拠し、多回な予備試験結果をまとめ、木材の重量減少率と食害状況で塗装の防蟻効果を判定した。さらに屋外試験で寸法安定剤に処理された実大試験体が地中に設置し、長期間の観測による試験体の物理劣化と生物劣化状況が確認でき、塗装の実用性を検討した。

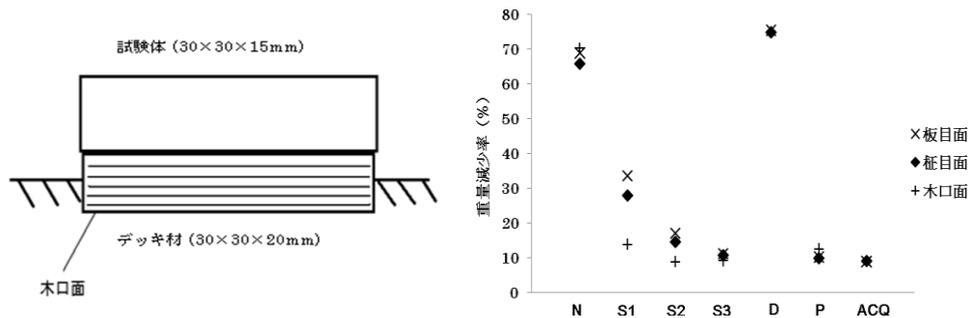


図2. 室内試験法の設置とスギ材の重量減少率

スギ材に対して、ケイ酸塩塗料で塗布することによって防蟻効果が向上できる。浸透型塗料に塗装された木口面と塗膜型塗料はケイ素の固形量が多く、添加剤として殺虫成分をいれた試験体の重量減少率が低減することから、十分な塗料固形量を確保することと少量の殺虫剤を添加することで、ACQ処理とほぼ同程度の効果が得られた。

さらに宮崎の屋外試験場で1年間の暴露試験結果により、ケイ酸塩系塗料に処理された試験体の表面で生物劣化が発生せず、木材の材積がよく維持することが分かった。これからケイ酸塩塗料の屋外での使用も期待できると考えられる。

第4章 耐久期間推定

木造建築の使用耐久期間の推定は固定資産評価基準における木造家屋経年減点補正率基準が参考され、線形モデルによって使用年限を推測する。しかし、寿命実態調査データを分析する際に、経年別減失率の推定方法は正規分布、対数正規分布、あるいはワイブル分布などの関数モデルや確率パラメータが提唱されている。近年、ビッグデータという大量なデータを利用し、各アルゴリズムのパラメータによって検証対象の使用性能や経年変化など予測することができる技術が開

発されている。木質材料は生産ラインの上流から下流まで、建材の性質、生産条件、使用条件などのデータが統合し、新しい動的な確率モデルによって材料の耐用性がより精密にコントロールでき、材料の信頼性が一層に向上できる。本研究で提案した確率モデルはロジスティック回帰分析である。第 2、3 章の試験データを用い、ケイ酸塩系塗料が気候劣化による耐蟻性能について、使用期間 1 年間として劣化する確率を試算した。

・モデル試算

1. データ分類

例：防蟻試験結果では 15%~25%程度の試験体は表面から内部に侵食され、空孔が観察された場合が多い。30%以上の重量減少になった場合、材料強度が不健全になる恐れがある。50%以上の重量減少した試験体は厳しく破損し、柔らかい春材部分がほとんど食害されたと観察された。

2. 信頼度予測に関する制御値の設定

ケイ酸塩塗料の防蟻試験結果について信頼度予測に関する制御値の設定し、R 値を算定する。ACQ に処理された試験体 10 体の平均実験結果を母数として、各種処理をされた試験体の平均重量減少率の比較値でランキングする。

3. 各因子間の相関性整理（略）

4. 計算値：

$$\text{logit}(p_i) = \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \alpha + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_k x_{k,i},$$

無処理 $\text{Pr}[E_F]=0\%$ 、含浸型 $\text{Pr}[E_F]=64\%$ 、塗膜型 $\text{Pr}[E_F]=100\%$ となる。即ち、ケイ酸塩塗料は $t=30$ 日、 $A=L5$ 、塗布量 $0.019\text{g}/\text{cm}^2$ の条件下、無処理木材より防蟻効果の信頼度は 0%から 64%に上げることは可能で、さらに少量の殺虫剤やトッピング剤を加えたら大幅に防蟻効果向上できることを証明された。

5. 予測

使用期間 1 年間に、無処理材の蟻害発生確率が 100%、含浸型ケイ酸塩系塗料試験体は 36%、塗膜型ケイ酸塩系塗料は 0 とした。モデルの推測は暴露試験の結果と一致した。今後新たな研究データを加え、モデルの精度向上することが期待する。

結論

本研究では注目する要素は以下である：

1. 水性変性ケイ酸塩系塗料

シリコン塗料のメンテナンス性が改良し、耐用性能の良い水性塗料の成分が確認した。

2. 塗料で木材を保護する

木材表面の光劣化防止及び撥水性向上することによって、割れや変形などの劣化防止ができる。さらにケイ酸塩系塗料の防蟻効果が証明され、建材への使用が期待できる。

3. 動的な耐久期間推定モデル

ケイ酸塩系塗料に処理された木材の耐久性が検証され、今後今まで累積した木質建築・建材の生産、使用データを活用し、材料の性質と使用条件を考え、より精密な耐久期間が推測でき、木質材料の信頼性が向上できる。