

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 7日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580190

研究課題名（和文） 木材保護塗料の浸透・分布状態が耐候性能の発現に及ぼす効果の解明

研究課題名（英文） The effects of penetration and distribution of wood preservative semi-transparent coatings in wood on the mechanism of weatherability performance

研究代表者

片岡 厚（KATAOKA YUTAKA）

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・チーム長

研究者番号：80353639

研究成果の概要（和文）：屋外の木部塗装に使用される木材保護塗料が、木材へどのように浸透し、それが性能の発現にどのように結びつくのかを明らかにするため、塗料成分の浸透深さが異なるスギ心材塗装試験体を調製し、屋外暴露と促進耐候性試験により性能を比較した。顔料成分の浸透深さが同程度の場合、樹脂成分の浸透が深い（600 μm）試験体は浅い（300 μm）ものよりも変色が小さく撥水性が高く維持され耐候性能が優れていた。このことは塗料樹脂成分の浸透を深めることが耐候性能の向上に効果的であることを示している。

研究成果の概要（英文）：Wood preservative semi-transparent coating was applied to sugi heartwood with different penetration depths to examine the effects of coating penetration on the weatherability performance. Specimens were subjected to outdoor exposure and accelerated weathering tests. The results showed that weatherability of coated wood was more improved for the specimens penetrated by coating resin to a depth of 600 μm than those to a depth of 300 μm, as long as the penetration of pigment was superficial, suggesting that deeper resin penetration is desirable for the development of better weatherability performance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：保存・木質文化、耐候性、木材保護塗料、浸透

1. 研究開始当初の背景

木材のエクステリア塗装は、太陽光・雨水による木材の気象劣化や、菌類などによる表面汚染を抑制することにより、木材の耐候性能を向上させることを目的とする。このような目的に日本で多用されているのは、木材保護塗料である。

木材保護塗料は、2006年に日本建築学会に

よって標準化されたばかりの塗料である。その特徴として、展色剤である樹脂のほか、木材の光劣化を抑制する着色顔料や、生物汚染を抑制する薬剤を既調合で含んでいることがあげられる。定期的な塗替えを行いながら、屋外における木質素材の木目を活かす半透明仕上げに用いられる塗料である。

木材保護塗料のもう一つの重要な特徴は、

その成分の大半あるいは一部が木材に浸透するように設計されていることである。しかし実際には、各成分の浸透・分布の現象には未解明の部分が多く、「浸透－性能」の関係が不明確なため、木材保護塗料の性能発現メカニズムには多くの不明点が残されている。

木材保護塗料の各成分は、それぞれの性能発現に効果的な深さまで浸透することが望ましいと考えられる。例えば、顔料は木材表面に光遮蔽層を形成し、樹脂は深く浸透して木材素地を安定化させ、防カビ剤はカビの生育深さまで浸透することが理想的である。しかし、各成分の浸透・分布が未解明であるため、この仮説は想像の域を出ていない。

実際の塗装にあたっては、木材の樹種、辺・心材、木取りや表面仕上げの種類によって、塗料成分の浸透は異なると考えられる。また、塗装した木材を屋外での使用後に再塗装する場合には、初回塗装時とは浸透が異なると考えられる。

このような塗料成分の浸透の違いは、耐候性能や塗装寿命に影響するはずである。しかし、「浸透－性能」の関係が不明確なため、その影響を定量的に論じることはこれまで困難であった。本研究により「浸透－性能」の関係が明らかになれば、耐候性能を高めるための塗料の成分設計や、木材の表面仕上げなどの最適化に欠かせない重要な知見が得られると期待される。

2. 研究の目的

本研究は、木材保護塗料の各成分が、木材にどのように浸透するのか、それが耐候性能の発現にどのように影響するのかを解明することを目的とする。これにより、上記の仮説の妥当性をはかることができる。また得られた成果は、木材保護塗料の設計や、木材の塗装前の調製法の最適化に欠かせない基礎知見となる。

3. 研究の方法

(1) 塗料の浸透深さが異なる試片の調製

スギ心材から表面の繊維傾斜角 6 度（試片 A）と同 0 度（試片 B）のまさ目試片を切り出し、塗装に供した（図 1）。まさ目試片の寸法は 14.5(L)×6.8(R)×0.9(T)cm であった。この試片に油性含浸形の木材保護塗料（濃黄色系）を刷毛で 2 回塗りした。試片の繰り返しは 7 体、塗布量は 137～161g/m² であった。塗装された試片の一部は早材部から塗装断面を切り出し、以下の深さ分析に供した。他の試片は耐候性能評価試験に供した。

(2) 顕微 FT-IR 深さ分析

主に樹脂の浸透深さを分析するため、早材部の塗装断面（30 μm 厚の板目切片）を切り出して顕微 FT-IR に供し、表面から深さ 50

または 100 μm ごとに、分解能 4 cm⁻¹、積算 32 回、測定領域 50（または 100）×250 μm の条件で、透過スペクトルを収集した。樹脂の分子構造に由来するカルボニル基の相対吸収強度（カルボニル基：1730 cm⁻¹/リグニン：1510 cm⁻¹のピーク高さ比）に着目し、無塗装の場合と比較して有意な増加が見られた深さまで樹脂が浸透したと判断した。

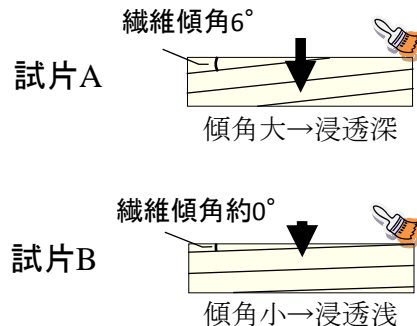


図 1 繊維傾斜角（目切れ角）が異なる試片への塗装と浸透深さ

(3) FESEM-EDX 深さ分析

主に顔料と薬剤の浸透深さを分析するため、早材部の塗装断面（木口面）を FESEM-EDX に供し、表面から深さ 50 または 100 μm ごとに、加速電圧 15kV、測定領域 50（または 100）×500 μm の条件で、特性 X 線スペクトルを収集した。顔料については Fe-K_α 線、薬剤については Cl-K_α 線の P/B 比（ピーク/バックグラウンドの高さ比）を求め、それぞれ浸透深さを評価した。なお、顔料の浸透深さについては、光学顕微鏡による観察も併せて行った。

(4) 耐候性能評価試験

屋外暴露試験はつくば市内で南向 45 度傾斜の条件で 24 ヶ月間、促進耐候性試験はキセノンランプ法（JIS K5600-7-7、方法 1）に基づき 3000 時間実施した。耐候性能を評価するため塗装面の色差（ ΔE^*_{ab} ）とはっ水度の変化を測定した。色差は、CIELAB 色空間を用いて計算した。はっ水度は森林総研法により、塗装面中央に約 1g の脱イオン水を滴下して 1 分後に拭き取り、試片に浸透しなかった水質量の百分率を求めた。

4. 研究成果

(1) 塗料の浸透・分布状況の解析

スギ心材材表面の繊維傾斜角度が異なるまさ目試片 A（6 度）と試片 B（0 度）に塗装することにより、塗料の浸透深さが異なる塗装試験体を調製することができた。図 2 に試片 B の塗装断面（板目切片）の光学顕微鏡像を、図 3 に同試片の塗装断面（木口面）の FESEM

反射電子像を示す。光学顕微鏡では、主に表面の仮道管（第1層）に着色が見られ、顔料の浸透が浅いことが示された。FESEM-EDX による深さ分析でも、顔料の成分である Fe は主に深さ 0~50 μm 層で検出された。加えて Fe は深さ 50~150 μm 層でもしばしば検出された。これらの結果は試片 A でもほぼ同様であった。

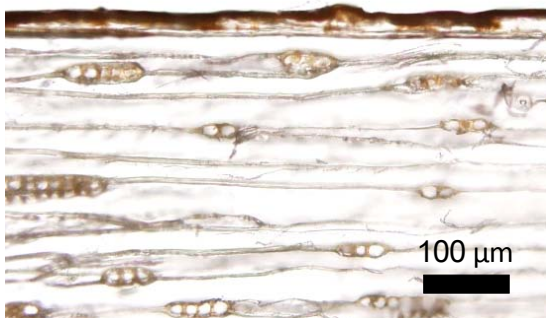


図 2. 塗装断面（試片 B、早材部板目切片）の光学顕微鏡像

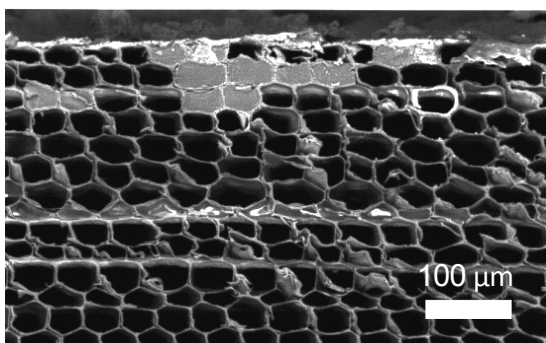


図 3. 塗装断面（試片 B、早材部木口面）の FESEM 反射電子像

図 4 に、試片 B の顕微 FT-IR による樹脂の深さ分析の結果を示す。カルボニル基 (1730 cm^{-1}) の相対吸収強度は表面付近で最も高く、深さの増加とともに徐々に減少した。深さ 250~350 μm 層（図中では平均深さ 300 μm としてプロットされている）を超えると、同吸収強度は無塗装部と同程度の値まで低下した。この結果から、樹脂成分は早材の深さ約 300 μm 程度まで浸透したと考えられた。試片 A についても同様に分析した結果、樹脂成分は早材の深さ約 600 μm 程度まで浸透したことが示された。

図 5 に、試片 B の FESEM-EDX による薬剤の深さ分析の結果を示す。Cl-K α 線の P/B 比は表面付近で最も高く、深さの増加とともに徐々に減少した。深さ 350~450 μm 層（図中では平均深さ 400 μm としてプロットされて

いる）を超えると、Cl-K α 線のピーク強度はバックグラウンドのノイズと同程度の値まで低下した。この結果から、Cl を含む薬剤成分は早材の深さ約 400 μm 程度まで浸透したことが示唆された。試片 A についても同様に分析した結果、早材の深さ約 600 μm 程度まで浸透が見られた。

図 4 と図 5 を比較すると、深さに対するカルボニル基（図 4）と Cl の変化傾向（図 5）には類似性が見られた。これは、樹脂と薬剤の浸透挙動に共通性があることを示す結果であると考えられる。

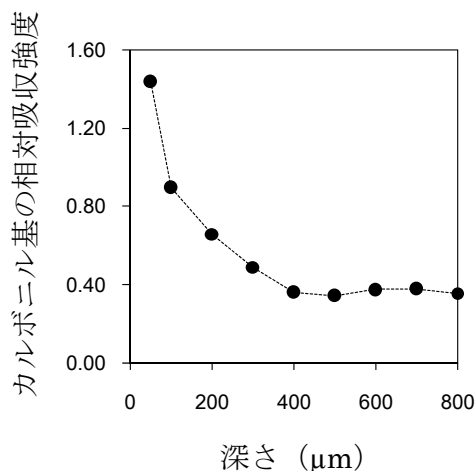


図 4. 顕微 FT-IR 深さ分析におけるカルボニル基 (1730 cm^{-1}) の相対吸収強度の変化（試片 B）

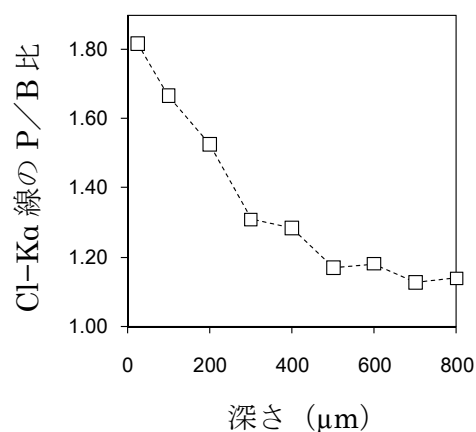


図 5. FESEM-EDX 深さ分析における Cl-K α 線の P/B 比の変化（試片 B）

以上の結果から、顔料は木材の表面付近に分布して光浸透の抑制に効果を発揮していること、樹脂と薬剤は深さ約 300~400 μm 程度まで浸透して、それぞれ基材の安定化と生物汚染の抑制等に役立っていることが推測

される。

次に、このような分布・浸透状態が、実際の使用環境下で性能変化とどのように結びつくのかについて研究を進めた。

(2) 塗料の浸透と性能の関係

図6に、試片A（繊維傾斜角6度、塗料浸透深さ600 μ m）及び試片B（同0度、300 μ m）の屋外暴露試験24ヶ月間の色差（左）及びはっ水度（右）の変化を示す。試片Aは試片Bと比較して、はっ水度がより高く維持され、より小さい色差を示した。図7に、試片Aと試片Bの促進耐候性試験3000時間までの色差（左）及びはっ水度（右）の変化を示す。この場合も試片Aは試片Bと比較してはっ水度が高く、小さい色差を示した。以上の結果は、試片Aの耐候性能が試片Bよりも優れていたことを示している。

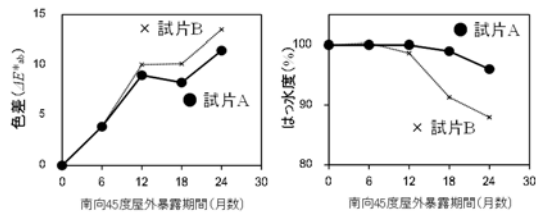


図6. 屋外暴露試験における色差（左）と はっ水度（右）の変化

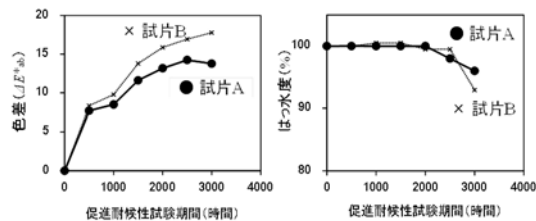


図7. 促進耐候性試験における色差（左）と はっ水度（右）の変化

これらの結果から木材への塗料浸透、特に顔料成分の浸透が同程度である場合には樹脂成分の浸透を深めることが耐候性能の向上に効果的であることが示された。なお、試片Aと試片Bはどちらも顔料成分の浸透が浅かった（ $\sim 100\mu$ m）ことから、今回見られた性能差は主に樹脂の浸透の違いによるものであると考えられる。

以上の結果は、これまで想像の域を出なかった木材保護塗料の性能発現メカニズムに関する仮説を裏付けるものである。すなわち顔料が木材の表面付近で光遮蔽効果を発揮し、樹脂や薬剤はより深くまで浸透して、基材である木材の安定化や生物汚染の抑制に役立つという仮説が妥当であることを支持する結果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① 片岡厚：屋外用の木材塗装に関する技術動向、塗装工学、査読有、48、2013、pp. 28-39
- ② 片岡厚、山本健、川元スミレ、小林正彦、木口実：水性木材保護塗料の耐候性能評価（II）、木材保存、査読有、37、2011、pp. 64-73
- ③ 片岡厚、山本健、川元スミレ、小林正彦、松永正弘、松永浩史、木口実：水性木材保護塗料の耐候性能評価（III）、木材保存、査読有、37、2011、pp. 264-272

〔学会発表〕（計4件）

- ① 片岡厚、松永浩史、松永正弘、小林正彦、川元スミレ、木口実：木材保護塗料塗り（WP）における塗料浸透の解析（3）-浸透深さが耐候性能に及ぼす効果-、第63回日本木材学会大会、2013年3月28日、盛岡
- ② 片岡厚、松永浩史、松永正弘、小林正彦、川元スミレ、木口実：木材保護塗料塗り（WP）における塗料浸透の解析（2）-促進耐候性試験における浸透・分布状態の変化-、第62回日本木材学会大会、2012年3月15日、札幌
- ③ 片岡厚、松永浩史、木口実：木材保護塗料塗り（WP）における塗料浸透の解析、第27回日本木材保存協会年次大会、2011年5月27日、東京
- ④ 片岡厚、川元スミレ、松永正弘、小林正彦、木口実：水性木材保護塗料の耐候性評価（IV）-屋外暴露試験と促進耐候性試験の比較-、第61回日本木材学会大会、2011年3月18日、京都

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片岡 厚 (KATAOKA YUTAKA)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・チーム長

研究者番号：80353639

(2) 研究分担者

木口 実 (KIGUCHI MAKOTO)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・室長

研究者番号：50353660

松永 浩史 (MATSUNAGA HIROSHI)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・主任研究員

研究者番号：80391184