

木材用水性塗料の耐候性向上に関する研究（第2報）

材料環境部

久間俊平 矢野昌之 平井智紀

帆秋圭司 田栗有樹

家具・木工，建築，塗料産業では，木質感や高耐候性等の品質と共に低環境負荷である木材用塗料が求められている。しかし，木質感を損なわず低環境負荷である水性塗料には現状では耐候性が低いといった問題がある。本研究では，市販の透明系半造膜型水性塗料について，撥水度・樹脂成分分析・非破壊断面観察等の手法を複合的に活用し，耐候性試験による塗膜表面・断面の微細構造劣化を詳細に分析した。その結果，撥水度や樹脂成分分析等では劣化が明確にならない耐候性試験初期の段階において，非破壊断面観察により塗膜を直接評価することで，微小な塗膜割れの発生を見つけ出すことができることが明らかとなった。塗膜割れの防止は耐候性向上に特に重要な要因であると共に，放射光X線によるマイクロCTを活用して塗膜評価を行うことで，より短期間での耐候性評価が可能になると考えられる。

1. はじめに

地球温暖化や環境汚染，生態系の破壊等は世界的に大きな問題となっており，持続可能な社会を実現するため，社会全体として低環境負荷の材料や製造プロセスが必要とされている。また，国内では国における「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」や「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」により，建築産業では木造建築物の普及拡大が期待されている。

佐賀県の森林面積は約11万haで県土面積の45%であり，人工林の占める割合は67%と全国一である。また，県内には，特色ある地域産業として家具産業等があり，技術力の高い企業が数多く立地している¹⁾。県内の家具・木工産業や建築産業では，木材の保護・美観・機能性付与のために木材用塗料が使用されており，木質感や高耐候性等の品質と共に低環境負荷であることが求められている。

そのため，環境対応として，塗料成分に用いられている有機溶剤を水に変更することで，VOC（揮発性有機化合物）排出量を減らした水性塗料が普及拡大している。また，水性塗料は，有機溶剤特有の臭気や有害性が低く，安全性が高いため，取り扱いや保管が容易であるとして知られる。

一方，木質感を損なわない塗料は，塗装していても塗っていることを感じさせないことが重要な要件の一つとなる。従って，着色して木目を隠す着色系塗料よりも透明系塗料にニーズがある。さらに，木

材表面に厚い膜を形成する造膜型塗料よりも，薄い塗膜を形成する半造膜型塗料が好まれる。そのため，県内塗料メーカーにおいても，これらの塗料開発は行われているが，十分な耐候性を有するとは言いえない。

木材用塗料の耐候性について，塗膜劣化の主因は，紫外線や熱及び水による分解，水分吸収に伴う木材の寸法変化による塗膜剥離や割れ等が考えられる。さらに，透明系塗料は紫外線を透過するために基材の木質部も劣化し，塗膜の耐候性はより低下する²⁾。また，全乾から飽湿まで水分吸収に伴う木材の最大膨潤・収縮率は約12%であり，接線（板目）方向で最も大きい³⁾。これらのことから，他用途と比べて木材用塗料の耐候性が低いことが知られている。

木材用水性塗料の耐候性向上については，外観・塗膜性能等の変化について，これまで多くの報告がされてきており⁴⁾，特に半造膜型塗料は最初の劣化が発生してからの進行が早いことが知られている⁵⁾。しかし，塗膜自体は高分子材料であることから，突発的な変化を起さず，経時変化すると考えられる。

これらのことから，半造膜型塗料では劣化発生につながる塗膜変化が徐々に起きていることが示唆されるため，最初の劣化が発生する以前に，これまでの観測方法では容易に把握できない。そのため，明確な劣化が確認される前である耐候性試験初期の塗膜表面・断面の微細構造について，より詳細に分析し，劣化要因を明らかにすることは，塗料の開発指針を得るために重要と考えられる。

そこで本研究では、市販の透明系半造膜型水性塗料について耐候性試験を実施し、様々な分析手法を活用することで、初期の塗膜劣化挙動の発見について検討を行った。

2. 実験方法

ここでは、以下の条件で耐候性試験及び各種分析を行った。

(1) 試薬

透明系半造膜型水性塗料として、市販の木材保護塗料 (JASS 18 M-307 適合品) を用いた。

(2) 試験片

塗布木材として、75mm×50mm のスギ材 (板目、厚さ 5mm) を塗装前に 180 番の研磨紙で研磨したものをを用いた。塗料については、耐候性試験による劣化を加速させるために、片面のみ刷毛により塗布量 100g/m² で 2 回塗布した。

(3) 耐候性試験

試験片を佐賀市において南向き傾斜 28 度の条件で 8 月～翌 2 月の 6 ヶ月間屋外曝露した。

(4) 測色

測色計 (コニカミノルタジャパン製, CM-700d) を用い、L*a*b*色空間における L* (明度), a* (+a*: 赤方向, -a*: 緑方向) b* (+b*: 黄方向, -b*: 青方向) を測定した。また、耐候性試験の有無による、各パラメータの変化量 (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) から色差 (ΔE^*ab) を算出した。

(5) 撥水度

塗膜の保護機能を確認するために、撥水度を測定した。森林総研法⁹⁾により塗装面に約 1g の脱イオン水を滴下し、1 分後に拭き取り、試験片に浸透しなかった脱イオン水の質量百分率とした。数値が高いほど撥水度は高くなる。

(6) 樹脂成分分析

塗膜表面の樹脂成分分析には、赤外分光分析装置 (サーモフィッシャーサイエンティフィック製, iS50) を用い、全反射測定法 (ATR 法) にて赤外吸収スペクトルを測定した。

(7) 表面観察

表面粗さの測定には、レーザー顕微鏡 (オリンパス製, OLS-4100) を用いた。

(8) 元素分析

塗膜断面の元素分析には、走査型電子顕微鏡 (日本電子製, JSM-7500F) 及び付属のエネルギー分散型 X 線分析装置 (Oxford Instruments 製, X-Max) を用い、マップ分析を実施した。

(9) 非破壊断面観察

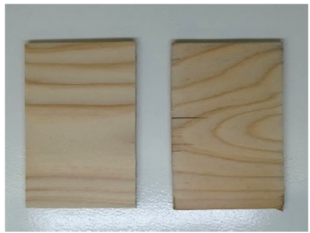

放射光は、一般的な X 線源に比べて高輝度・高指向性・連続スペクトル等の特徴を有しており、放射光を利用する事で、高精細・高速・高密度分解なマイクロ CT 観察が可能である。そこで、試験片の内部構造を非破壊で観察するため、放射光 X 線によるマイクロ CT 観察を行った。試料は、試験片の測定径が直径 2mm となる様に切断加工し、樹脂チューブ内に固定した。さらに、この樹脂チューブを試料台に固定して測定を行った。画像解析には、ImageJ¹⁰⁾ を利用した。

3. 結果及び考察

3.1 塗装木材の外観観察

木材用塗料を表面に塗布することにより、耐候性試験による木材外観の劣化を防止することが期待される。耐候性試験の有無による外観の違いについて、写真及び測色結果を表 1 に示す。塗装した試験片は黄変したものの色差は 5.6 と比較的小さく、木質感を損なわない状態で同系統の色にとどまった。一方で、塗装していない試験片は色差が 14.0 と大きく、白銀化して全く異なる色に変化した。これらのことから、透明系半造膜型水性塗料を塗装することで、外観については、耐候性が大きく改善されていることが確認できた。ここで、黄変の原因として木材成分のリグニンの光酸化反応により着色することが報告されている⁸⁾。更なる耐候性向上のためには、木

表 1 試験片の外観観察

試料	外観		色差 ΔE^*ab
	耐候性 試験なし	耐候性 試験あり	
塗装あり			5.6
塗装なし			14.0

材の変色防止技術の向上が重要であると考えられる。

3.2 塗膜表面分析

木材用塗料の効果として、外観以外にも撥水度等木材保護性能の持続性が期待されている。耐候性試験による撥水度変化を図1に示す。塗装を行った試験片は、耐候性試験期間中においてほぼ100%であり、劣化は確認できなかった。一方で、塗装をしていない試験片は、耐候性試験を行うことにより急激に劣化し、2カ月目以降は亀裂の発生により正確な計測が出来なかった。

さらに、塗膜表面の樹脂成分分析及び表面観察を行った。塗膜成分の変化について、赤外分光分析結果を図2に示す。耐候性試験による、塗膜有機成分の酸化によるC=O及びO-H結合ピークの増加量は小さいことから、塗膜樹脂成分の劣化は小さいと考えられる。

次に、レーザー顕微鏡による表面測定結果を表2に示す。写真観察の結果からは、耐候性試験の有無による差は確認されず、塗料には微小な粒子が艶消し剤等として添加されていることが確認された。ま

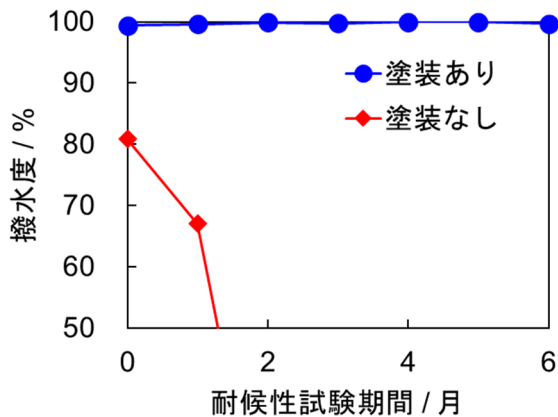


図1 撥水度の経時変化

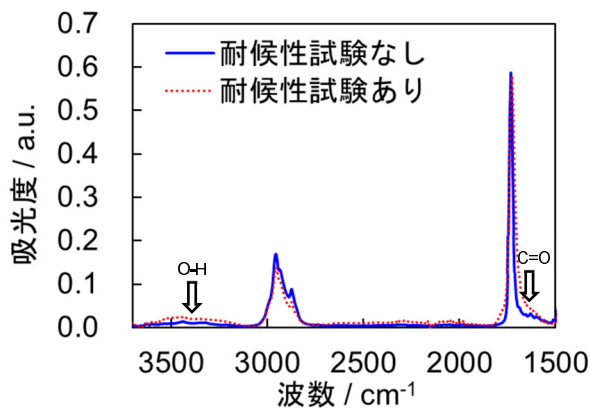


図2 赤外分光分析による成分分析

た、輝度及び高さの測定結果より、耐候性試験を行った試験片では、塗膜表面に多数のキズが発生していることが確認され、それらは木材伸縮方向に対して垂直方向であった。これらのことから、塗膜表面のキズ発生は木材に伴って塗膜が伸縮を繰り返したことが主な原因であると考えられる。

3.3 塗膜断面分析

表面分析結果から、耐候性試験により、塗膜表面の樹脂成分に大きな変化がないこと、塗膜表面に微細なキズが発生していることを確認した。しかし、塗膜内部の元素成分や、このキズが塗膜割れとなって木材まで到達しているか、塗膜内部の構造までは不明である。そこで、塗膜切断面の元素分析及び非破壊断面観察を実施することで塗膜内部構造を明らかにすることを目指した。

塗膜断面の元素分布状態について、分析結果を表3に示す。添加剤由来の元素①及び元素②等が確認された。元素①については、艶消し剤由来と考えられ、耐候性試験の有無により大きな変化は確認されなかった。元素②については、耐候性試験を行った試験片では凝集構造を確認することができなかった。ただし元素②は、塗膜より検出されているため、耐候性試験を実施することにより成分が拡散する塗料

表2 レーザー顕微鏡による表面測定

種類	耐候性試験なし	耐候性試験あり
写真		
輝度		
高さ		

設計であると考えられる。

塗膜断面観察について、一般的には試料の目的箇所を切断することで行う。しかし、生物試料であり多孔質である木材表面に形成された微小な塗膜欠陥について、周辺組織を破壊せずに断面をピンポイントで観察することは非常に困難である。そこで、塗膜断面を非破壊で観察するため、放射光 X 線によるマイクロ CT 観察を実施した。結果を図3に示す。

(a)耐候性試験を実施していない試験片は、表面に滑らかな塗膜を形成しており、塗料の一部は木材内部まで浸透していることが確認できた。一方で、(b)耐候性試験を実施した試験片の観察結果より、塗膜表面のキズの一部は、塗膜割れとなって木材まで到達していることが確認された。このとき、塗膜剥離までは確認できなかった。塗膜の欠陥が発生すると、その部分から生物劣化や気象劣化の促進につながる。このことから、塗膜の割れの有無は耐候性向上に重要な要因の一つであり、対策とその効果検証は重要と考えられる。

4. おわりに

本研究では、市販の透明系半造膜型水性塗料について、測色・撥水度・樹脂成分分析・表面観察・元素分析・非破壊断面観察の分析を複合的に活用することで、塗膜表面及び断面における耐候性試験初期の塗膜劣化挙動を詳細に分析した。

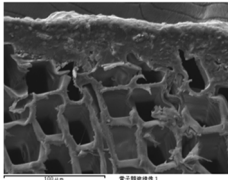
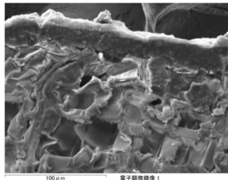
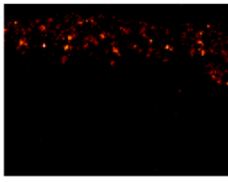
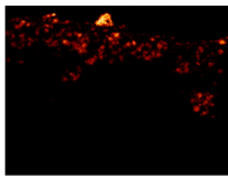
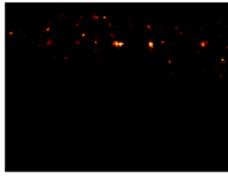
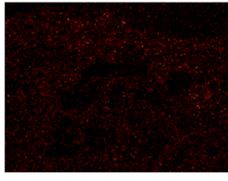
その結果、撥水度や樹脂成分等の劣化が明らかになる前に、微小な塗膜割れが発生していることが明らかとなった。塗膜割れは、その部分から生物劣化や気象劣化を促進するため、透明系半造膜型水性塗料において、耐候性試験初期での塗膜割れ防止は耐候性向上に特に重要な要因であると考えられる。

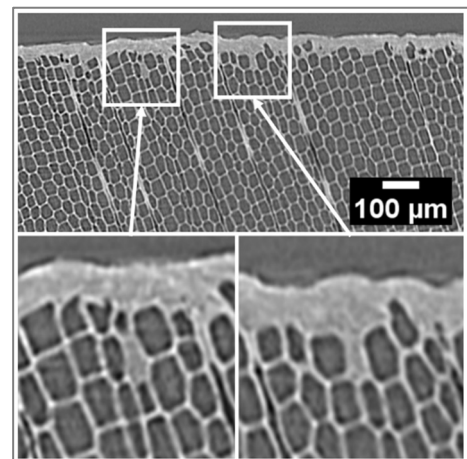
また、放射光 X 線によるマイクロ CT により非破壊で塗膜断面を直接観察することにより、間接的な塗膜機能を評価する撥水度による評価手法よりも、より早く塗膜の劣化を確認できた。本手法による塗膜評価を行うことで、より短期間での耐候性評価が可能になると考えられる。

今回の研究結果は、木質感を損なわない透明系半造膜型木材用水性塗料の耐候性をさらに向上させるための開発指針として重要である。今後は、塗膜割れ防止につながる様々な機能性添加剤を検討し、今回用いた分析手法により短期間に塗膜構造を解析することで、木材用水性塗料の耐候性を向上させたい。

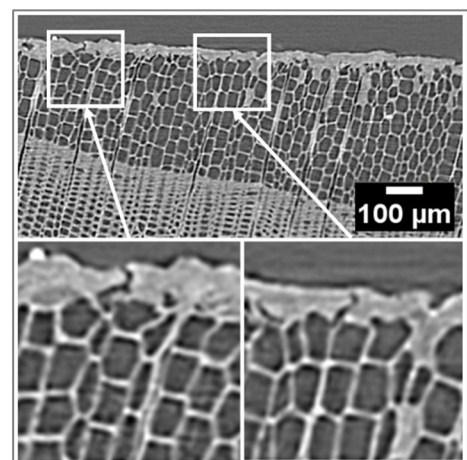
本研究を実施するにあたって使用した赤外分光分析装置、レーザー顕微鏡、走査型電子顕微鏡は電源

表3 電子顕微鏡による塗膜断面分析

	耐候性試験なし	耐候性試験あり
SEM 画像		
元素 ①		
元素 ②		



(a)耐候性試験なし



(b)耐候性試験あり

図3 塗膜断面のマイクロ CT 観察

立地地域対策交付金により導入した。

最後に、放射光 X 線によるマイクロ CT 観察は九州シンクロトロン光研究センター (SAGA-LS) の県有ビームラインである BL07 にて実施した (課題番号: 2111134P/BL07)。測定に際してご指導いただいた、九州シンクロトロン光研究センターの米山明男主任研究員に深く感謝致します。

参考文献

- 1) -佐賀県総合計画 2019- 人を大切に、世界に誇れる佐賀づくりプラン。
- 2) 木口実, 改訂版木材の塗装, 木材塗装研究会編, 海青社, 235-237 (2010).
- 3) 大越誠, 改訂版木材の塗装, 木材塗装研究会編, 海青社, 13-20 (2010).
- 4) (a) 矢田茂樹, 木材保存, 42(3), 127-131 (2016).
(b) 久間俊平, 田栗有樹, 帆秋圭司, 平井智紀, 矢野昌之, 福元豊, 塗装工学, 56(10), 381-388 (2021). (c) 高橋愛枝, 新藤竹文, 松尾浩樹, 塗装工学, 56(12), 469-475 (2021).
- 5) 小林勝志, 改訂版木材の塗装, 木材塗装研究会編, 海青社, 181-185 (2010).
- 6) (財)日本住宅・木材技術センター: マニュアル作成事業報告書 (木材保護着色塗料品質評価) (1998).
- 7) Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018.
- 8) 片岡厚, 木材保存, 43(2), 58-68 (2017).