

論文 (Original article)

屋外用途における木材の保存処理と塗装との相乗効果の検証

大村 和香子^{1)*}、石川 敦子¹⁾、伊藤 優子²⁾、原田 寿郎³⁾、大木 博成⁴⁾、
安井 清一⁵⁾、山口 秋生⁶⁾、森田 珠生⁶⁾、須貝 与志明⁷⁾、茂山 知巳⁷⁾、
赤堀 裕一⁸⁾、手塚 大介⁹⁾、五十嵐 盟⁹⁾、関澤 外喜夫¹⁰⁾

要旨

屋外で長期に使用する木製品・外構部材に対しては、美観を維持した状態での長期耐久性が求められる。そこで木材保存剤 AAC、ACQ、CUAZ、AZNA、AZN を用いて保存処理したスギ心材に造膜形もしくは含浸形の木材保護塗料を塗装した試験体を作製し、紫外線蛍光ランプ法 (EN 927-6) による促進耐候性試験を行い、色差 (材色変化)、光沢度、撥水度の 3 項目を指標として耐候性を評価した。さらに促進耐候性試験後に残存する薬剤量を試験体表層と内層とで比較した。その結果、保存処理して塗装した方が、無処理に塗装した場合と比較して材色変化や撥水度低下が抑えられるなど、塗膜が長寿命化する傾向が認められた。また塗装により薬剤溶脱が抑えられることが明らかとなり、塗装による保存処理効果の向上も示された。以上のことから、保存処理と塗装との相乗効果が示された。

キーワード：保存処理、塗装、屋外使用

1. はじめに

昨今、都市空間に木製の外壁、塀、ウッドデッキといった外構材やベンチ、遊具などの木製品が普及してきているが (金井 2009, 日本木材防腐工業組合 2015)、木材は劣化対策を施さないまま屋外で使用すると、風雨や紫外線により干割れや変色が生じて美観が損なわれるとともに (片岡 2017)、雨水の滞留により含水率が高まって腐朽が生じてしまうことが知られている ((社) 日本木材保存協会 2008)。

1960 ~ 70 年代頃までは、屋外における木材用途は電柱、木杭や枕木のように地面に接する (接地) 環境で長期の耐久性が求められる利用先が主流であった (芝本 1985, 鈴木 2000, 岩崎 2003, 土居 2016, 桃原 2018)。当時までは、PF (フェノール類・無機フッ化物系木材防腐剤) や CCA (クロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤) など、現在では環境等への負荷を考慮して使用されなくなった薬剤が耐久性付与のために使用されており、屋外用途の木材は耐久性に重きが置かれ、意匠性や美観といった観点は注目されていなかった。

その後、環境上の配慮から上記の薬剤が市場から姿

を消し代替薬剤へと転換されていく中、電柱や枕木はコンクリートや樹脂製に代替されていった (土居 2016, 桃原 2018)。2000 年代に入り、新たな国産材・地域材の需要を喚起すべく、コンクリートや鉄製品が主流の橋梁やガードレール、遮音壁などの各種道路施設部材への木材の適用・用途開発が進められた (喜多山 2009, 「木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発」研究チーム 2010)。このような取り組みの中で、美観も考慮した木製道路施設の耐久設計と維持管理の必要性が取り沙汰され、耐久性付与のための薬剤に加えて塗装の必要性がクローズアップされはじめた。

そこで本研究では、屋外における木材の非接地用途を前提として、インサイジング加工した試験体に対して、製材の日本農林規格 (JAS) (農林水産省 2019) における性能区分 K4 相当の保存処理を木材に施した後、美観維持のために塗装を行い、その組み合わせによる木材の長期耐候性仕様の検討を行った。塗装のみの仕様を対照区として、促進耐候性試験を用いて性能を比較し、さらに保存処理薬剤と塗装との相性についても検証を行った結果を報告する。

原稿受付：令和元年 8 月 7 日 原稿受理：令和 2 年 3 月 12 日

1) 森林総合研究所 木材改質研究領域

2) 森林総合研究所 立地環境研究領域

3) 森林総合研究所 研究ディレクター

4) 玄々化学工業株式会社

5) 東京理科大学

6) 越井木材工業株式会社

7) 株式会社ザイエンス

8) 大日本木材防腐株式会社

9) 兼松サステック株式会社

10) 日本木材防腐工業組合

* 森林総合研究所 木材改質研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

2. 試料と方法

2.1 試験材料

茨城県産スギ (*Cryptomeria japonica* (D. Don)) 丸太 (長さ 4 m の直材、径級 32 ~ 38、末口短径 32 cm 以上) より、厚さ (T) 40 mm、幅 (R) 120 ~ 150 mm、長さ (L) 990 ~ 1000 mm のまさ目または追いまさ目試験体を切り出し、1 年間室内で乾燥したものをを用いた。

2.2 インサイジング加工

インサイジング加工は 2.1 の材料の幅を 120 mm に揃えた後、まさ目または追いまさ目面 1 面にインサイジング機 (ZE-4D ((株) 菊川鉄工所 (現 キクカワエントープライズ (株)))) を用いて刃密度 3,850 個/m²、刃深さ 10 mm で実施した。

2.3 木材保存剤による加圧注入処理

インサイジング加工後の材料の心材部分から厚さ 40 mm (T) × 幅 70 mm (R) × 長さ 140 mm (L) の試験片 (密度: 360 kg/m³) を丸鋸昇降盤 ((有) 石津製作所) を用いて計 65 個作製し、調面を行わないまま、木材保存剤の日本産業規格 (JIS K 1570:2013) (日本規格協会 2013) 記載の 5 種類の木材保存剤を用いて、製材の JAS における性能区分 K4 相当の保存処理を木材に施した。なお本稿でいう K4 相当の保存処理とは、各メーカーの JAS 認定工場において屋外用途の製材品を製材の JAS の保存処理性能区分 K4 で処理する条件と同一条件で、今回の試験材を処理したことを指す。木材保存剤は保存剤メーカー各社で主として取り扱う保存剤を選定し実験に供した。供試薬剤の種類と注入量を Table 1 にまとめた。対照区として、水溶性薬剤である AAC、ACQ、AZNA、CUAZ についてはインサイジング済み試験片を一昼夜、常温でイオン交換水中に浸漬したものを、一方、塩化メチレンを溶剤とする油性薬剤である AZN に関しては、インサイジング済み試験片を塩化メチレンに一昼夜浸漬したものをを用いた (それぞれコントロール 1、コントロール 2 と称する)。

2.4 塗装

造膜形は 2 液型ポリウレタン樹脂塗料 (油性)、含浸形にはアルキッド樹脂系塗料 (油性) の各塗料 (玄々化学工業 (株) 製) を用いた。使用した塗料の詳細ならびに塗装工程について Table 2-1 (造膜形) と Table 2-2 (含浸形) に示す。

2.3 の試験片を十分に乾燥させた後、塗装を施す面をプレーナーで仕上げた。その後、造膜形および含浸形塗装をインサイジング面またはインサイジング裏面に施した。インサイジング面に塗装する場合は、インサイジング部分にパテ (玄々化学工業 (株) 製 LY-3900) を埋め込み、室温で一昼夜放置した後、造膜形塗装ならびに含浸形塗装を各々以下の手順に従って実施した。

造膜形塗装 (Table 2-1) は、P180 サンドペーパーにて素地調整後、下塗りを 2 回行い (塗布量: 1 回目 80 g/m²、2 回目 60 g/m²)、乾燥後に P320 サンドペーパーにて毛羽取りし、上塗り (塗布量: 60 g/m²) を 1 回行って仕上げた。下塗り上塗りともスプレーで塗装した。スプレー塗装においては、300 × 150 mm の合板を使用して予めスプレーガンの条件 (エア圧ノズル、吐出量ノズル、パターンノズル) とスプレーの回数、ピッチ、速度を規定の塗布量となるよう調整し、塗布量は塗料を塗装した直後の被塗物の重量増加分 (湿重量) によって測定した。含浸形塗装 (Table 2-2) は、P180 サンドペーパーにて素地調整後、下塗りを 1 回行い (塗布量: 80 g/m²)、乾燥後に P320 サンドペーパーにて毛羽取りし、上塗り (塗布量: 60 g/m²) を 1 回行って仕上げた。下塗り上塗りとも刷毛で塗装した。

2.5 耐候性試験

塗装面 (インサイジング面とインサイジング裏面) 2 種類、保存処理の種類 (薬剤処理 5 種類 + コントロール 2 種類) 7 種類、塗装の種類 (無塗装、造膜形、含浸形) 3 種類の組み合わせ計 42 種類 (N=1) の試験体について、耐候性試験中の木口からの吸水による塗装への影響を防ぐため、木口を 2 液型エポキシ樹脂系化学反応接着剤 (ボンドクイック 30、コニシ (株)) にてシールした。これらの試験片を、紫外線蛍光ランプ法促

Table 1. 供試薬剤の種類と注入量

木材保存剤の種類 種類の記号	木材保存剤の種類	平均注入量 (kg/m ³)
コントロール 1 (水浸漬)		—
AAC	第 4 級アンモニウム化合物系	549
ACQ	銅・第 4 級アンモニウム化合物系	678
AZNA	アゾール・第 4 級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系	513
CUAZ	銅・アゾール化合物系	544
コントロール 2 (塩化メチレン浸漬)		—
AZN	アゾール・ネオニコチノイド系	827

Table 2-1. 塗料の詳細と塗装工程（造膜形）

工程	使用材料/配合比 (重量比)	塗装方法 (塗布量)	乾燥時間 (20℃)
1	素地調整	P180 サンドペーパー	—
2-1	下塗り UC-87-P 100 CB-189 50 TU-12-P 75	スプレー (80 g/m ²)	2 時間以上
2-2	下塗り UC-87-P 100 CB-189 50 TU-12-P 75 ZP タイプ 6.6	スプレー (60 g/m ²)	16 時間以上
3	毛羽取り	P320 サンドペーパー	—
4	上塗り (着色塗装) UF-72-99P 100 CB-196 10 TU-12-P 50 ZP タイプ 4.8	スプレー (60 g/m ²)	24 時間以上

(注) 塗料はすべて玄々化学工業 (株) 製

Table 2-2. 塗料の詳細と塗装工程（含浸形）

工程	使用材料/配合比 (重量比)	塗装方法 (塗布量)	乾燥時間 (20℃)
1	素地調整	P180 サンドペーパー	—
2	下塗り (着色塗装) WO-0002 100	刷毛塗り (80 g/m ²)	16 時間以上
3	毛羽取り	P320 サンドペーパー	—
4	上塗り (着色塗装) WO-0002 100	刷毛塗り (60 g/m ²)	24 時間以上

(注) 塗料はすべて玄々化学工業 (株) 製

進耐候性試験 (EN 927-6 2018, JIS K-5600-7-8 (2008) (日本規格協会 2008)) に供した。紫外線蛍光ランプ法促進耐候性試験には Q-Lab 社製 QUV/spray を用い、Table 3 に示した試験時間と試験サイクルで試験を実施した。

試験開始前と 504 時間、1008 時間経過時に、各々測色および光沢度と撥水度の測定を行った。なお 1008 時間の耐候性試験を行った試験体は、屋外で南向き垂直の 2 年間暴露分に相当する劣化を受けることが明らかとなっている (石川ら 2014a, b)。

測色には日本電色工業 (株) 製 NF-333 を用い、JIS K5600-4-6 (1999) (日本規格協会 1999) に基づき、CIELAB 色空間における L^* (明度)、 a^* (正: 赤方向、負: 緑方向)、 b^* (正: 黄方向、負: 青方向) を測定し、各パラメータの変化量 (ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^*) から色差 (ΔE^*_{ab}) を (1) 式により計算した。測色条件は、光源を D65、視野角を 10 度、測色部の直径を 8 mm とし、各試験片の幅方向の中心点 (左右端から各 35 mm) と試験片の上下端から各 44 mm の位置を中心として、直径 8 mm の範囲を測定した。

$$\Delta E^*_{ab} = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \quad \dots (1)$$

光沢度については、JIS K 5600-4-7(1999) (日本規格協会 1999) に基づき、日本電色工業 (株) 製 PG-3D を用いて、入射角 60° の幾何条件で各試験片の幅方向の中心点 (左右端から各 35 mm) と試験片の上下方向の中心点 (上下端から各 70 mm) の位置を中心として、光沢度計の測定範囲を測定し、表面光沢度 G_s (60°) を求めた。

撥水度は森林総研法 ((財) 日本住宅・木材技術センター 1998) により、試験片の中央部に約 1 g の脱イオン水を滴下し、1 分後にふき取り、試験片に浸透しなかった水質量の百分率を求めた。試験片に水が浸透しなければ撥水度は 100 % であり、全ての水が浸透すれば撥水度は 0 % である。

なお、測色と光沢度測定は、インサイジング面とインサイジング裏面について行ったが、いずれの試験片も試験片端部から同一の距離で行ったため、インサイジング面ではパテを埋め込んだインサイジング孔が測定位置に含まれた場合と含まれなかった場合があったため、測定結果に影響を及ぼすことが懸念された。ま

Table 3. 促進耐候性試験の試験時間および試験サイクル

試験時間	試験サイクル (注1)				
	ステップ	機能	温度	時間	条件・備考
① 504 時間	1	結露	45 ± 3°C	24 時間	試験槽内で水蒸気供給
② 1008 時間	2	ランプ照射のみ	60 ± 3°C	2.5 時間	ランプ主波長 340 nm (注2)
	3	水スプレーのみ		0.5 時間	水量約 4 L/分

(注1) 試験サイクル 1 回 = ステップ 1 + (ステップ 2 + ステップ 3) × 48 回
= 24 時間 + (2.5 時間 + 0.5 時間) × 48 回 = 168 時間

① 試験時間 504 時間：試験サイクル 3 回

② 試験時間 1008 時間：試験サイクル 6 回

(注2) 340 nm における放射照度：0.89 W/m²・nm

た撥水度については、インサイジング孔が過度に水分を吸収する可能性があり、正確な撥水度の測定が困難であると考えられたため、インサイジング裏面のみで測定を行った。

2.6 残留薬剤分析

塗装による保存処理効果の向上を検証するため、インサイジング裏面に塗装後、塗装面を対象として 1008 時間の紫外線蛍光ランプ法促進耐候性試験を行った試験体のうち、銅系薬剤 ACQ および CUAZ で処理した無塗装、造膜形、含浸形の各試験体に残留する銅の定量を ICP 発光分析 (ICP-AES: Optima 8300, Perkin Elmer 製) により実施した。対照区として、無処理の無塗装、造膜形、含浸形の各試験体についても分析に供した。

上記計 9 種類試験体のインサイジング裏面側 (塗装面側) とインサイジング面より 10 mm 厚さの板材を各々採材し、①インサイジング裏面側 (塗装面側) と②中央部 2 枚の試験体を得た。次に①インサイジング裏面側の材から、塗装部分をかんなで削って除去した後、木粉を採取した (表層部)。さらに②中央部から木粉を採取した (内層部)。各々の木粉を硝酸/過酸化水素を用いて 105°C、120 分間湿式分解した。試料溶液を適宜希釈した後、0.45 μm PTFE フィルターでろ過し、ICP-AES を用いて銅を定量した。定量分析値は木粉 1 g (気乾重) あたりの Cu 量に換算した。

2.7 統計解析

保存処理と塗装との相性を精査する目的で、試験体の耐候性能に関係する要因として試験時間 (504 時間と 1008 時間)、塗装面 (インサイジング面とインサイジング裏面)、保存処理の種類 (薬剤処理 5 種類 + コントロール 2 種類)、塗装の種類 (無塗装、造膜形、含浸形) を説明変数として抽出し、色差、光沢度、撥水度を目

的変数とした分散分析を統計ソフト JUSE-Statworks/V5 ((株) 日科技研) によりそれぞれ実施した。色差ならびに光沢度の分散分析においては試験時間、保存処理、塗装面、塗装の種類 の 4 因子間、撥水度の分散分析においては試験時間、保存処理、塗装の 3 因子間の交互作用に関しては、誤差に含まれる程度の小さな値とされる (山田 2004) ため考慮しなかった。

3. 結果と考察

3.1 塗装性能に及ぼす保存処理の効果

3.1.1 色差により評価した塗装性能

Table 4 にインサイジング裏面における各試験体の耐候性試験前、1008 時間試験後の写真を、Fig. 1-1 と Fig. 1-2 には、試験時間 504 時間、1008 時間における色差の変化を各々示した。

インサイジング裏面については、色差の値は無塗装が最も大きく、次いで含浸形、造膜形となるケースが多かったが、一部、含浸形が無塗装の色差を若干上回る場合もあった。また、いずれの保存処理でも各々が対応するコントロールにおける各塗装と比較して、色差が小さい、つまり変色が抑制される傾向を示した。保存処理と塗装との組み合わせによる変色抑制効果に関して、片岡ら (2015) が CUAZ と DDAC (本論文の AAC に相当) で保存処理したスギ角材 (インサイジング加工なし) に種々の塗装を施して屋外暴露試験を行った結果、南面暴露 108 か月間の色差 ΔE^*_{ab} の推移が無塗装でも無注入材と同程度かそれ以下の値であること、塗装した場合でも南面の色差 ΔE^*_{ab} の値が無注入材 ($\Delta E^*_{ab} > 39$) > DDAC 注入処理材 ($\Delta E^*_{ab} > 34$) > CUAZ 処理 ($\Delta E^*_{ab} > 13$) であり、DDAC 処理では 72 か月目から 108 か月目にかけて含浸形塗装部の色差 ΔE^*_{ab} が急増すること、CUAZ 処理材では塗装により色差 ΔE^*_{ab} の値が 10 程度に抑えられることなどを報告して

Table 4. 促進耐候性試験前後における各種試験体の材色変化（インサイジング裏面）

木材保存剤	無塗装		造膜形		含浸形	
	試験前	1008 h	試験前	1008 h	試験前	1008 h
コントロール1 (水浸漬)						
AAC						
ACQ						
AZNA						
CUAZ						
コントロール2 (塩化メチレン浸漬)						
AZN						

いる。また、ACQ 処理材でも塗装との組み合わせによる変色抑制効果が報告されている（吉野・柴田 2003）。我々の促進耐候性試験においても、Fig.1-1 で示した結果のとおり、これらの既往の研究を支持する結果が得られている。

材色とその経時変化に関して、各試験時間ごとの L^* 、 a^* 、 b^* の各測色値を Table 5-1 と Table 5-2 に示した。促進耐候試験の実施前の時点で、保存処理を施した場合は対応するコントロール（AAC、ACQ、AZNA、CUAZ はコントロール 1、AZN はコントロール 2）よりも L^* 、 a^* 、 b^* の各値が低くなる場合が多かった。インサイジ

ング裏面の 1008 時間の促進耐候性試験期間における材色変化については（Table 5-1）、 L^* 値が無塗装ではコントロール 1、コントロール 2 とともに一旦減少後に増加、非銅系薬剤（AAC、AZNA、AZN）処理では漸減した。 a^* 値、 b^* 値についてはコントロール 1、コントロール 2 ならびに非銅系薬剤（AAC、AZNA、AZN）処理では塗装の種類に関わらず、ほぼすべてが時間とともに減少する傾向を示した。例外として AZNA 処理における無塗装試験区では b^* 値が一旦増加後に減少、AZN 処理における造膜形試験区では a^* 値が漸増、 b^* 値が一旦減少後に増加した。このようにコントロール 1、コン

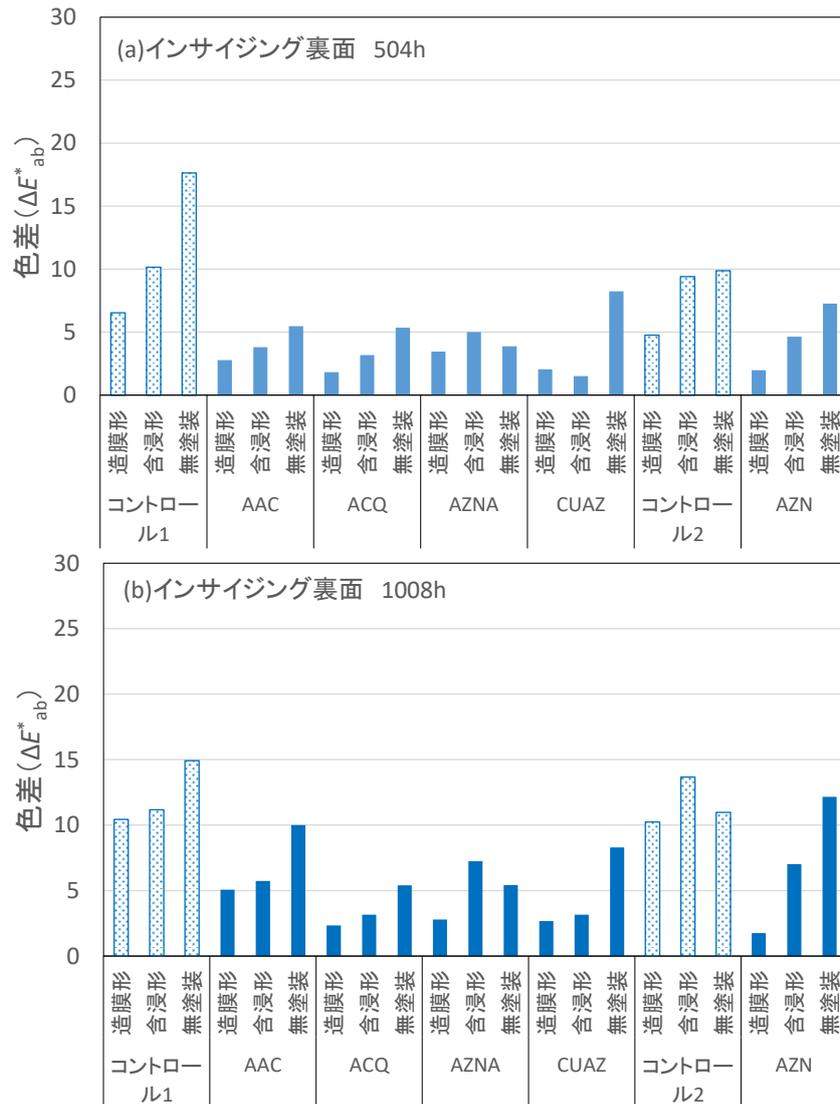


Fig. 1-1. 促進耐候性試験における色差の変化（インサイジング裏面）

コントロール2ならびに非銅系薬剤（AAC、AZNA、AZN）処理では、 a^* 、 b^* の両値がともに低下することで材色が灰色化したと判断された。一方CUAZとACQは測色初期値の段階で L^* 、 a^* 、 b^* すべての値が他と比較して低かったが、同じ銅系薬剤であっても L^* 、 a^* 、 b^* 各値の推移が異なった。これは主成分である銅以外に、注入時の薬剤に含まれる各種成分と木材・塗装成分との相互作用によるものと考えられるが、詳細な原因は未解明である。

インサイジング面については、インサイジング裏面よりも色差が大きい試験区があり、色差の値のバラツキも大きかった。インサイジング面ではインサイジング孔の凹凸やパテによる色むらが生じており、測色範囲（Fig. 2 オレンジ枠内）にインサイジング孔やパテ処理部分が含まれた場合と含まれなかった場合が混在した。また、測色範囲にインサイジング孔やパテ処理部分が含まれる割合が試験片によって異なった。このような表面性状の違いのため、1試験体で測色した2

箇所でも互いに大きく測色値が異なる場合もあった。さらにインサイジング面では造膜形と含浸形塗装を施した場合、いずれの試験片でも耐候性試験504時間後、1008時間後にインサイジング孔を中心にその周囲に局所的な変色（部分的な黒色化ならびに白～灰色化）が観察された（Fig. 2）。Fig. 2に示すように、コントロール1の造膜形と含浸形、AACの造膜形で、インサイジング孔ならびにその周囲の局所的な変色部分が測色範囲に含まれており、インサイジング面（Fig. 1-2）におけるこれらの色差 ΔE^*_{ab} がインサイジング裏面（Fig. 1-1）よりも高い値を示した。また、パテを使用していないコントロール1とAACの無塗装では、インサイジング孔とその周囲の白色化・灰色化した部分が測色範囲に含まれており、Fig. 1-2におけるこれらの色差 ΔE^*_{ab} はFig. 1-1よりも大きい値を示した。今回インサイジング孔に埋め込んで材表面を平滑化することで塗装性を高めるために用いたパテにはタルク（含水ケイ酸マグネシウム、 $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ）等の無機成分が含ま

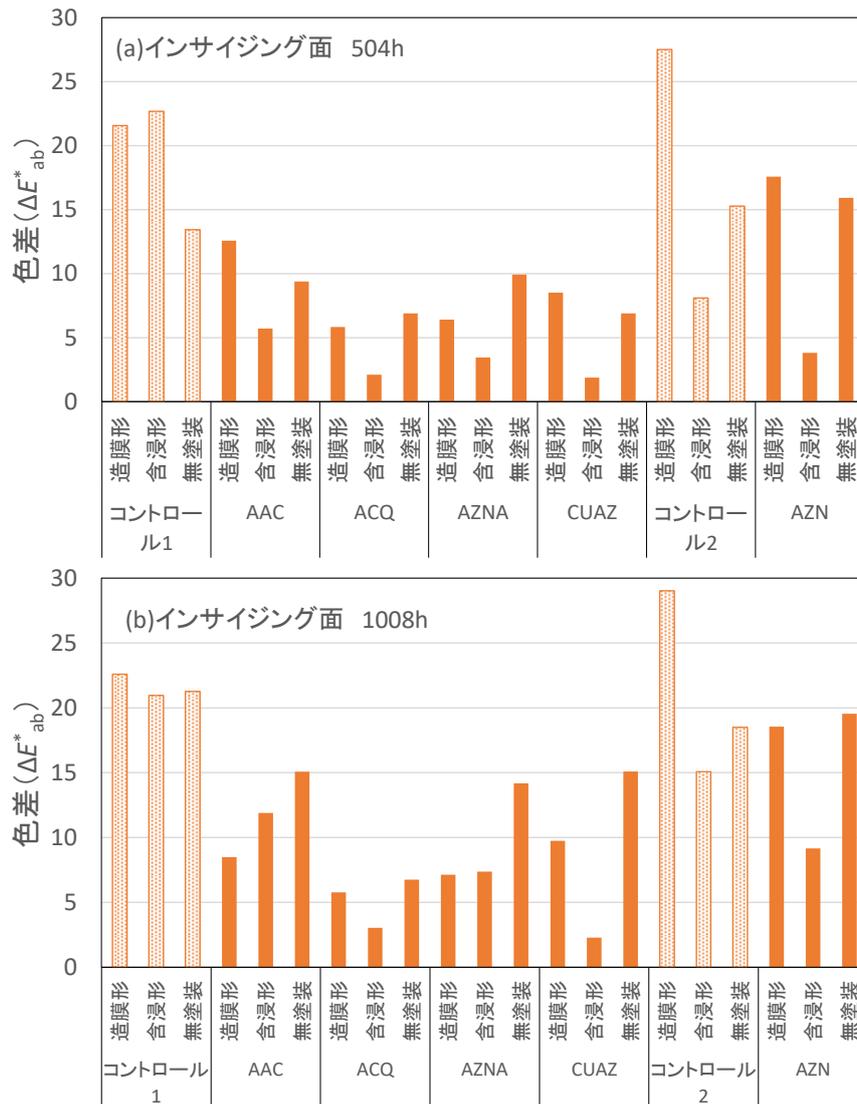


Fig. 1-2. 促進耐候性試験における色差の変化（インサイジング面）

れる。耐候性試験により造膜形と含浸形塗装を施した試験体に局所的な変色が生じた原因は、耐候性試験中の熱および水スプレーでパテ中のタルク等無機成分が溶出し、インサイジング孔が空洞化するとともに、その周辺の塗装が局所的に変性したためと考えられるが、詳細な原因や薬剤、塗装との相性に関しては今後の検討課題である。インサイジング加工は木材への薬剤の浸透性を高めるために実施したが、上述の通り、パテと相性の悪い事例が認められた。実際の施工現場では今回のような試験材と異なり、さらに抜け節や腐れ・虫孔等の欠点がある木材が用いられている可能性が高い。また、使用中には落書き等意図的な破損や暴風雨等で飛び石等により木材に破損が生じることも予想される。維持管理目的での補修時には、使用するパテと薬剤、塗装の相性を考慮して対処する必要がある。インサイジング面への塗装を回避するためには、片面のみ、もしくは側面を含む3面にインサイジングを行い、インサイジング加工していない面に塗装する、もしくは

は塗装にも適した外構用の新たなインサイジング技術の開発も期待される。

Table 6-1 に色差に影響を及ぼす試験時間（504時間と1008時間）、保存処理（薬剤処理5種類＋コントロール2種類）、塗装面（インサイジング面とインサイジング裏面）、塗装の種類（無塗装、造膜形、含浸形）の4因子の分散分析結果を示す。3因子の交互作用に関しては「保存処理の種類×塗装面×塗装の種類」でのみ有意差が認められ ($p < 0.01$)、試験時間が関わるすべての3因子の交互作用については有意差が認められなかった ($p > 0.05$)。「保存処理の種類×塗装面×塗装の種類」で有意差が認められたことにより、Fig. 1-1 と Fig. 1-2 で示した各保存処理と塗装との組み合わせごとの色差が、塗装面の違いにより有意に異なることが明らかとなった。

3.1.2 光沢度により評価した塗装性能

Fig. 3 に光沢度の変化を示した。なお、各図の凡例は

Table 5-1. 促進耐候性試験によるインサイジング裏面の L^* , a^* , b^* 各測定値の経時変化

保存処理の種類	塗装の種類	試験時間								
		0 h	504 h	1008 h	0 h	504 h	1008 h	0 h	504 h	1008 h
		L^*			a^*			b^*		
コントロール1	無塗装	65.2	48.3	55.3	13.2	9.5	5.4	21.8	19.6	14.2
AAC	無塗装	59.8	55.1	53.3	9.7	7.7	5.2	20.0	18.3	14.5
ACQ	無塗装	38.6	42.3	36.1	5.3	8.9	9.3	18.6	19.9	20.3
AZNA	無塗装	53.8	50.9	50.5	9.1	9.0	7.0	20.0	21.1	18.6
CUAZ	無塗装	38.5	39.8	46.4	5.5	10.3	6.7	14.4	20.9	16.5
コントロール2	無塗装	61.7	57.7	58.5	12.6	7.0	5.5	22.1	15.2	14.5
AZN	無塗装	61.2	60.1	55.4	12.6	7.3	6.1	19.3	15.5	15.9
コントロール1	造膜形	42.8	39.5	40.9	26.4	24.2	23.3	43.0	37.8	33.3
AAC	造膜形	40.9	39.4	40.3	23.8	23.1	22.9	40.2	38.0	35.3
ACQ	造膜形	34.8	34.8	34.9	13.9	15.6	15.8	30.2	29.8	28.9
AZNA	造膜形	40.9	41.0	40.5	22.9	22.2	21.9	39.8	36.4	37.2
CUAZ	造膜形	34.9	35.6	35.6	14.0	15.6	15.5	29.5	28.5	27.6
コントロール2	造膜形	43.8	41.5	41.5	25.9	24.9	24.0	44.5	40.4	34.7
AZN	造膜形	39.0	40.2	39.7	21.7	22.2	22.3	36.6	36.1	37.9
コントロール1	含浸形	43.3	39.7	40.2	22.1	17.1	13.9	30.5	22.4	23.6
AAC	含浸形	42.1	41.2	39.2	20.8	18.8	17.2	27.4	24.3	24.0
ACQ	含浸形	33.9	32.8	34.8	10.1	9.6	11.4	16.3	13.4	19.0
AZNA	含浸形	43.1	41.3	39.3	20.3	18.3	16.6	29.4	25.2	24.6
CUAZ	含浸形	37.0	36.6	38.2	13.7	14.0	14.0	19.6	18.2	22.4
コントロール2	含浸形	45.2	41.3	39.6	25.1	20.9	16.4	32.4	24.9	23.4
AZN	含浸形	42.8	40.9	39.4	21.2	19.0	16.2	28.3	24.6	24.7

試験時間 1008 時間における光沢度の値の大きいものからの降順とした。光沢度評価の結果、インサイジング裏面 (Fig. 3 (a)) の場合、初期値が高めで変化がほとんどなかったもの (造膜形) と、初期値が低めで一旦値が上昇して初期値と同程度に戻るもの (無塗装)、初期値が低めで値が若干低下したもの (含浸形) との 3 つに大別された。一般に含浸形は光沢度が低く、無塗装木材は耐候性試験中に一旦光沢度が上昇し、その後低下することがあり (木口 1996)、今回も同様の傾向となった。AZNA 処理区の無塗装については、他の処理区の無塗装よりも初期値がやや高めであったが、AZNA の注入処理液に含まれている溶剤含め、表面性状の平滑性等光沢度に影響を及ぼした原因については特定できなかった。インサイジング面 (Fig. 3 (b)) については、測定値のばらつきが大きかった。コントロール 1 の造膜形と AAC の造膜形で、測定範囲の一部にインサイジング孔が含まれており (Fig. 2 黄色枠内)、インサイジング裏面 (Fig. 3 (a)) とインサイジング面 (Fig. 3 (b)) の光沢度を比較すると、特にインサイジング面における AAC の造膜形と含浸形の光沢度変化がインサイジング裏面よりも大きくなっていることがわかる。また、パテを使用していない無塗装の AAC でも測定範囲の一部に

インサイジング孔が含まれており、インサイジング面の光沢度変化がインサイジング裏面よりも大きくなっている。光沢度は表面の平滑性に影響を受けることから、光沢度の測定箇所インサイジング孔が含まれたか否かに加え、耐候性試験中に受ける熱および水スプレーでパテ中の成分が溶出して生じたインサイジング孔の空洞ならびに局所的な塗装の変性に伴い、試験材の表面性状が変化したことが光沢度に影響したと考えられる。

Table 6-2 に光沢度に影響を及ぼす試験時間、保存処理の種類、塗装面の違い、塗装の種類 4 因子の分散分析結果を記す。3 因子の交互作用においては、「試験時間×保存処理×塗装面」では有意ではなかったが、塗装面の違いと塗装の種類が関わる「試験時間×塗装面×塗装の種類」と「保存処理×塗装面×塗装の種類」において、有意差が認められた ($p<0.01$)。「試験時間×塗装面×塗装の種類」が有意であることにより、Fig. 3 (a) に示したインサイジング裏面における、塗装の種類ごとに Group 分けされた光沢度の時間変化が、塗装面が異なるインサイジング面では異なる時間変化を示すこと (Fig. 3 (b)) の有意性が明確に支持された。また「保存処理×塗装面×塗装の種類」が有意である

Table 5-2. 促進耐候性試験によるインサイジング面の L^* , a^* , b^* 各測定値の経時変化

保存処理の種類	塗装の種類	試験時間								
		0 h	504 h	1008 h	0 h	504 h	1008 h	0 h	504 h	1008 h
		L^*			a^*			b^*		
コントロール1	無塗装	56.6	56.1	67.3	15.9	6.0	2.9	21.6	13.0	8.8
AAC	無塗装	58.0	56.9	59.5	10.7	4.9	2.3	19.4	12.2	7.3
ACQ	無塗装	32.9	37.2	38.8	5.0	8.2	7.1	14.5	18.8	17.0
AZNA	無塗装	54.1	56.2	60.1	7.8	3.6	1.9	17.9	9.5	6.7
CUAZ	無塗装	44.6	51.0	58.9	5.4	7.1	4.2	16.6	16.5	11.8
コントロール2	無塗装	66.4	53.9	58.6	10.7	7.0	3.0	23.3	15.3	8.4
AZN	無塗装	49.0	60.7	62.7	13.7	4.8	2.8	17.1	11.3	8.6
コントロール1	造膜形	40.7	31.5	35.3	22.4	12.2	10.1	31.8	14.3	16.3
AAC	造膜形	39.4	36.3	38.3	23.2	21.4	18.6	34.4	29.0	23.4
ACQ	造膜形	34.9	32.9	33.0	8.3	10.0	10.0	14.0	13.0	15.5
AZNA	造膜形	40.3	38.1	37.1	20.9	19.9	18.3	30.6	27.5	24.2
CUAZ	造膜形	35.6	36.4	36.0	13.6	14.2	13.4	20.4	18.8	19.9
コントロール2	造膜形	42.7	30.8	30.1	23.7	20.4	15.5	34.6	28.4	23.0
AZN	造膜形	37.9	31.1	31.6	22.1	20.5	17.0	31.6	28.5	25.6
コントロール1	含浸形	46.2	36.0	39.2	24.1	12.1	11.8	39.9	24.4	21.8
AAC	含浸形	40.4	40.5	40.1	21.2	14.4	17.3	37.4	27.2	29.9
ACQ	含浸形	33.4	34.1	35.4	13.5	11.3	10.9	29.3	24.4	24.5
AZNA	含浸形	41.4	40.4	38.9	23.0	20.0	18.8	39.2	34.0	34.5
CUAZ	含浸形	36.8	37.2	38.9	14.9	12.5	11.9	30.8	22.7	21.6
コントロール2	含浸形	46.3	42.4	41.5	25.4	10.6	8.9	43.3	23.4	23.1
AZN	含浸形	45.7	44.2	41.1	20.5	9.4	8.6	35.1	23.3	22.3

ことにより、保存処理の種類と塗装の種類を組み合わせたときに示された各試験時間における光沢度の測定値が、塗装面（インサイジング裏面（Fig. 3 (a)）とインサイジング面（Fig. 3 (b)）とで有意に異なることが明らかとなった。

3.1.3 撥水度により評価した塗装性能

Fig. 4 に促進耐候性試験における撥水度の時間変化を示した。撥水度については、耐候性試験 504 時間では 95 ~ 100% であったが、耐候性試験 1008 時間経過時において、造膜形は 100% を維持した一方で、含浸形は 86 ~ 99%、無塗装で 64 ~ 89% となった。

撥水度はインサイジング裏面のみ測定を行ったことから、交互作用に関しては試験時間、保存処理、塗装の 3 因子で検討した。Table 6-3 に各因子の分散分析結果を記す。2 因子交互作用では「試験時間 × 塗装の種類」にのみ有意差が認められた ($p < 0.01$)。これは塗装の種類が異なれば、504 時間までの撥水度の時間変化と 504 ~ 1008 時間の撥水度の時間変化が異なることを示している。また、Fig. 4 では「保存処理の種類」の違いにより、「塗装の種類」による撥水効果が異なる傾向が見られたにもかかわらず、「保存処理の種類」と「塗

装の種類」との交互作用は有意には認められなかった ($p > 0.05$)。Fig. 5 に「保存処理の種類」と「塗装の種類」の交互作用グラフを示す。Fig. 5 において、例えば AZNA × 含浸形の値 (-4.0) は、AZNA で保存処理して含浸形の塗装を行った試験体の、504 時間と 1008 時間における撥水度の平均値が、撥水度の初期値の平均値 (100) から 4.0 低下していたことを示す。また総平均 (-4.4) は、すべての試験体の 504 時間と 1008 時間における撥水度の平均値が、初期値の平均値 (100) から 4.4 低下したことを示している。Fig. 5 に示される結果から、水浸漬したコントロール 1 では、無塗装や含浸形では撥水度の大幅な低下が生じたが、造膜形では保存処理の種類の違いに寄らず高い撥水度を保ったため、「保存処理の種類」の主効果に有意差が認められなかったものと推察された。

3.2 保存処理に及ぼす塗装の効果

銅系薬剤 (ACQ、CUAZ) 処理ならびに無処理の試験体に各種塗装を施した試験体について、1008 時間の耐候性試験後の試験体（インサイジング裏面）表層部と内層部の銅の残存量を比較した (Table 7)。

ACQ 処理区と CUAZ 処理区とを比較すると、表層部、

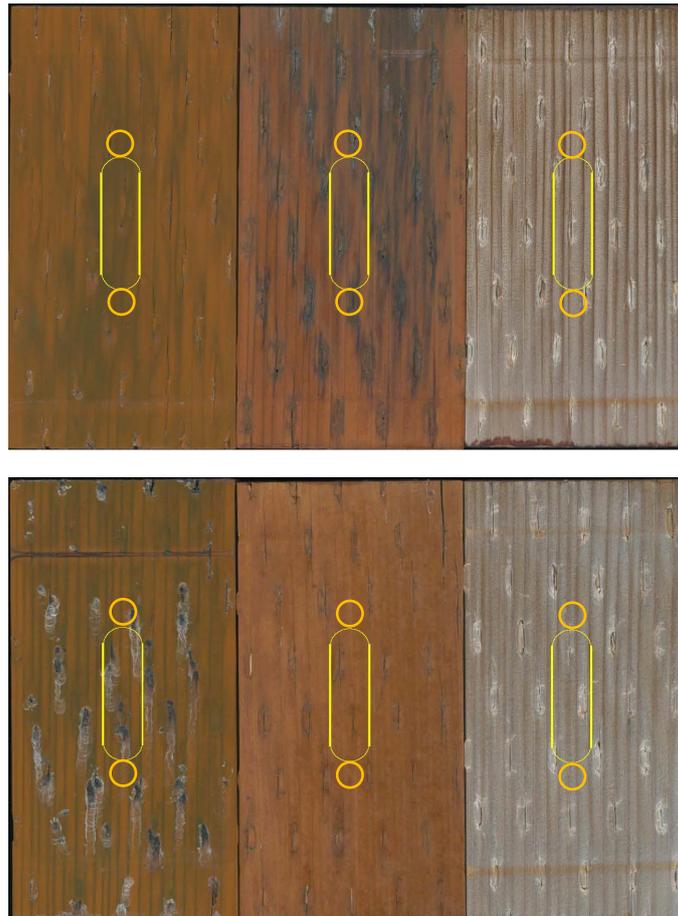


Fig. 2. 促進耐候性試験 504 時間後のインサイジング面と測色
(オレンジ丸枠内) 及び光沢度測定位置 (黄色枠内)
上段：コントロール 1、下段：AAC
左：造膜形、中央：含浸形、右：無塗装

Table 6-1. 分散分析表 (色差)

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値 (上側)
試験時間	98.20	1	98.20	25.54	**	< 0.001
保存処理	1435.12	6	238.19	62.21	**	< 0.001
塗装面	655.01	1	655.01	170.37	**	< 0.001
塗装の種類	203.18	2	101.59	26.42	**	< 0.001
試験時間×保存処理	22.73	6	3.79	0.99		0.476
試験時間×塗装面	5.30	1	5.30	1.39		0.263
試験時間×塗装の種類	16.29	2	8.14	2.12		0.163
保存処理×塗装面	169.11	6	28.18	7.33	**	0.002
保存処理×塗装の種類	180.20	12	15.02	3.91	*	0.013
塗装面×塗装の種類	243.61	2	121.80	31.68	**	< 0.001
試験時間×保存処理×塗装面	4.92	6	0.82	0.21		0.965
試験時間×保存処理×塗装の種類	37.443	12	3.12	0.81		0.638
試験時間×塗装面×塗装の種類	20.56	2	10.28	2.67		0.11
保存処理×塗装面×塗装の種類	261.18	12	21.77	5.66	**	0.003
誤差	46.13	12	2.84			
計	3398.99	83				

(注) * は $p < 0.05$ 、** は $p < 0.01$ をそれぞれ示す

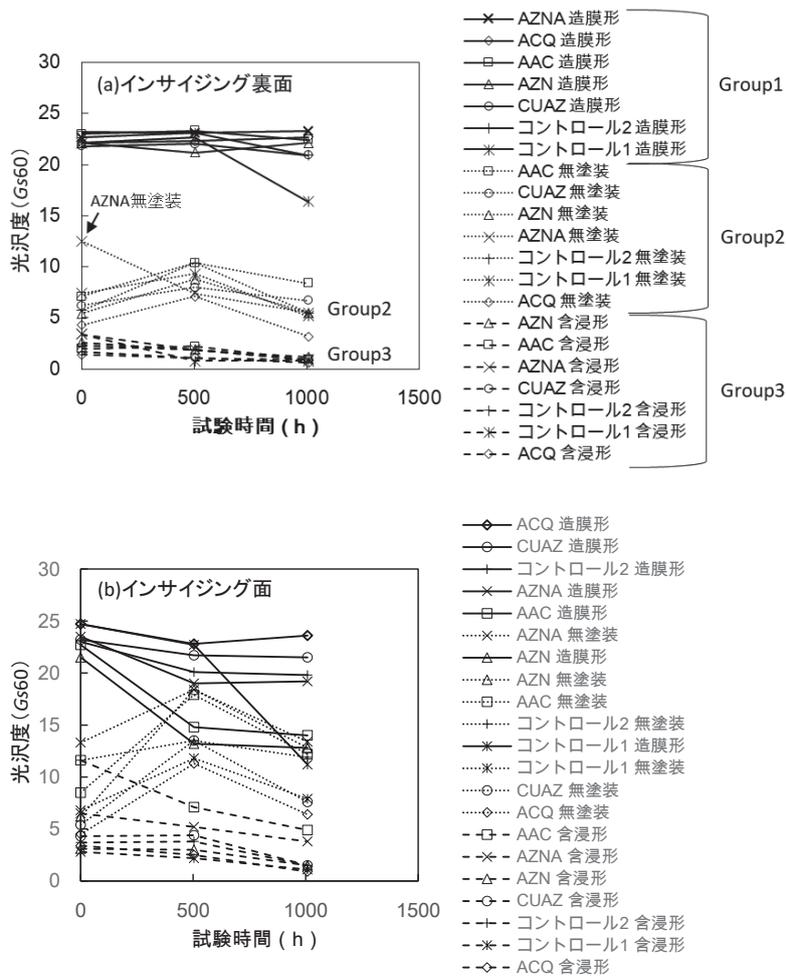


Fig. 3. 促進耐候性試験における光沢度の変化
 (a) インサイジング裏面 (b) インサイジング面
 (注) 同薬剤は同一マーク、同塗装は同一線種を示す

Table 6-2. 分散分析表 (光沢度)

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P 値 (上側)
試験時間	113.93	2	56.97	28.38	**	< 0.001
保存処理	91.51	6	15.25	7.60	**	< 0.001
塗装面	56.67	1	56.67	28.23	**	< 0.001
塗装の種類	7274.13	2	3637.07	1812.09	**	< 0.001
試験時間×保存処理	41.42	12	3.45	1.72		0.125
試験時間×塗装面	6.84	2	3.42	1.70		0.203
試験時間×塗装の種類	168.48	4	42.12	20.99	**	< 0.001
保存処理×塗装面	16.92	6	2.82	1.41		0.253
保存処理×塗装の種類	159.90	12	13.33	6.64	**	< 0.001
塗装面×塗装の種類	202.01	2	101.01	50.32	**	< 0.001
試験時間×保存処理×塗装面	17.82	12	1.49	0.74		0.701
試験時間×保存処理×塗装の種類	102.92	24	4.29	2.14	*	0.034
試験時間×塗装面×塗装の種類	91.68	4	22.92	11.42	**	< 0.001
保存処理×塗装面×塗装の種類	129.40	12	10.78	5.37	**	< 0.001
誤差	48.17	24	2.01			
計	8521.79	125				

(注) * は $p < 0.05$ 、** は $p < 0.01$ をそれぞれ示す

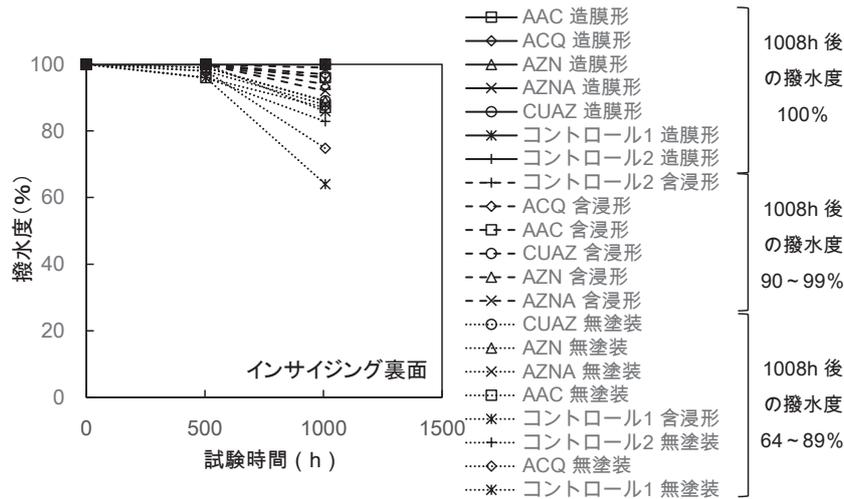


Fig. 4. 促進耐候性試験における撥水度の変化
 (注1) 撥水度はインサイジング裏面のみ測定
 (注2) 同薬剤は同一マーク、同塗装は同一線種を示す

Table 6-3. 分散分析表 (撥水度)

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P 値 (上側)
試験時間	519.67	1	519.67	42.19	**	< 0.001
保存処理	171.15	6	28.53	2.32		0.102
塗装の種類	786.28	2	393.14	31.92	**	< 0.001
試験時間×保存処理	141.75	6	23.62	1.92		0.159
試験時間×塗装の種類	421.56	2	210.78	17.11	**	< 0.001
保存処理×塗装の種類	195.97	12	16.33	1.33		0.316
誤差	147.80	12	12.32			
計	2384.19	41				

(注) **は $p < 0.01$ を示す

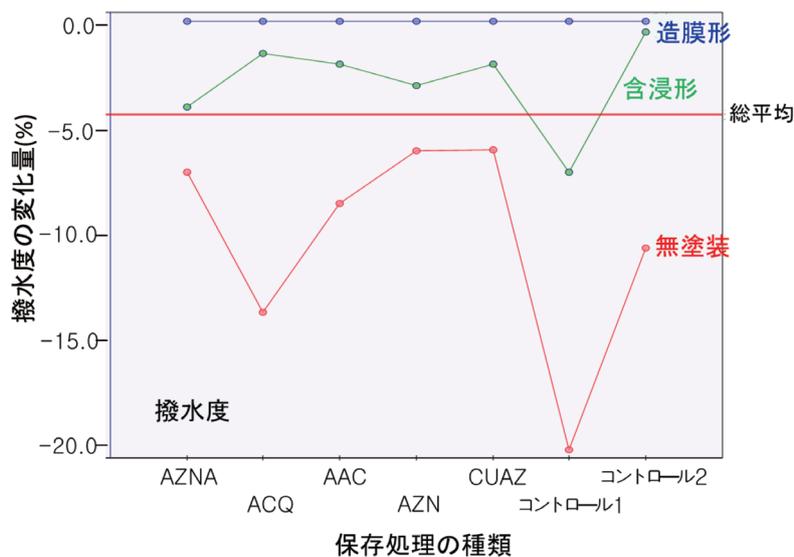


Fig. 5. 保存処理の種類と塗装の種類との2因子交互作用グラフ (撥水度)

Table 7. 銅系薬剤の溶脱性に及ぼす塗装の効果

塗装の種類 薬剤の種類	木粉 1g あたりの Cu 残存量 (mg)					
	造膜形		含浸形		無塗装	
	表層	内層	表層	内層	表層	内層
ACQ	11	9.0	16	12	7.1	8.4
CUAZ	4.6	4.8	3.4	4.8	3.2	4.2
無処理	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

内層部にかかわらず Cu 量は ACQ 処理区 > CUAZ 処理区であった。製材の JAS (JAS 1083 : 2019) における K4 相当の保存処理では、ACQ は銅・アルキルアンモニウム化合物として 5.2 kg/m³ 以上、CUAZ では銅・シプロコナゾール化合物として 2.0 kg/m³ 以上の吸収量基準を満たしていることが求められる。木材保存剤の品質が規定されている JIS K 1570 : 2013 (日本規格協会 2013) によると、ACQ (JIS K 1570 では ACQ-1 に相当) の有効成分である CuO と BKC (N-アルキルベンジルジメチルアンモニウムクロリド) の配合比 (質量分率) は CuO 53 ~ 59% に対して BKC が 41 ~ 47%、有効成分の合計量が 16% 以上とされている。一方、CUAZ の有効成分である CuO とシプロコナゾールの配合比は CuO 98.6 ~ 99% に対してシプロコナゾール (α -(4-クロロフェニル)- α -(1-シクロプロピルエチル)-1H-1, 2, 4-トリアゾール-1-エタノール) は 1.0 ~ 1.4%、有効成分の合計量が 11% 以上とされている。これらの吸収量基準と有効成分の配合比の差により、同じ銅系薬剤であり同じ保存処理性能区分であっても、ACQ 処理区と CUAZ 処理区とで Cu 量に大きな差が生じたと考えられた。

次に各塗装区における Cu 量の比較について述べる。無塗装区では ACQ、CUAZ 処理ともに Cu 量は表層部 < 内層部となった。薬剤を木材に処理した場合、木材の外部から薬剤が浸透していくため表層部の方が内層部よりも薬剤量が多くなる、つまり Cu 量は表層部 > 内層部である。今回の試験片は薬剤処理・乾燥後に全て表面をプレーナーがけしたため、最も Cu 量が多い表層部分が欠損した状態であった。無塗装区では 1008 時間の耐候性試験により、撥水度が ACQ 処理では 75%、CUAZ 処理では 89% に低下しており、耐候性試験時の水スプレーにより Cu が溶脱により表層部から減少し、表層部 < 内層部となったと考えられる。一方、造膜形塗装区では Cu 量は ACQ 処理では表層部 > 内層部、CUAZ 処理では表層部と内層部がほぼ同量で

あった。造膜形塗装区では 1008 時間の耐候性試験後も、すべての保存処理区で撥水度が 100% を保っており (Fig. 4)、塗膜の保護により ACQ、CUAZ 処理ともに Cu の溶脱が抑えられたと考えられる。含浸形塗装区では ACQ 処理で表層部 > 内層部、CUAZ 処理で表層部 < 内層部であった。1008 時間の耐候性試験後の撥水度は ACQ 処理で 97%、CUAZ 処理で 96% と僅かに低下しており、ACQ、CUAZ 処理ともに無塗装区より少量ではあるが含浸形塗装区でも Cu が溶脱したと考えられる。上述のとおり、Cu 量は耐候性試験前の時点で、ACQ 処理が CUAZ 処理よりも約 2 倍多く含まれているため、ACQ 処理では耐候性試験後も表層部 > 内層部であったが、CUAZ 処理は表層部 < 内層部という結果となったと推察される。

以上のことから、塗装により薬剤溶脱が抑えられることが明らかとなり、保存処理により塗装の性能が向上するだけでなく、塗装の撥水効果により保存処理薬剤の溶脱を抑える、保存処理と塗装との相乗効果が示唆された。

3.3 保存処理と塗装との相性評価

各試験において、保存処理と塗装の種類との関係を検討した結果、1008 時間の耐候性試験においては、色差に関してはいずれの保存処理においても造膜形塗装が高い色差抑制効果を示した (Fig. 1)。一方、光沢度に関しては造膜形塗装では光沢度の低下がほとんどなく、特に銅系薬剤の ACQ と CUAZ ならびに AZNA は造膜形、含浸形ともに光沢度の変化がほとんど認められなかった (Fig. 3)。撥水度に関しては、無処理及びすべての保存処理において造膜形塗装が 100% の撥水度を保った。また含浸形塗装ではすべての水溶性木材保存剤と含浸形塗装との相性は、それらの対照区であるコントロール 1 (水浸漬) との相性よりも良いという結果を得た。

以上の結果から、今回用いたすべての保存処理材に

対して造膜形塗装が色差、光沢度、撥水度の観点から相性が良いことが明らかとなり、保存処理と塗装の相乗効果が認められた。なお、実使用を考えた場合、塗り替え時には造膜形塗装は塗膜の剥離作業が必要になるため、長期使用を想定するケースでは、塗り替え頻度は増えるが含浸形塗装も選択が可能と考えられる。今後、本研究の成果が活用され、美観を維持しつつ長持ちする外構部材が広く提供されることを期待したい。

謝 辞

インサイジング加工を実施いただきました佐々木木材防腐(株)、スギ材をご提供くださいました(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材加工・特性研究領域の山下香菜・主任研究員、材料の切削加工を実施いただきました同研究領域木工室 普入二郎室長、下澤茂樹室員に深謝いたします。本研究は平成30年度CLT等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業「大径材原木を活かす高機能建築材料の研究・開発」(受託元:日本木材防腐工業組合)において実施しました。

引用文献

- Comité Européen de Normalisation (2018) Paint and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior wood-Part 6: Exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water, EN 927-6:2018.
- 土居 修一 (2016) 木材保存剤の変遷と今後の有り方—木造住宅の基準・仕様書・工法などのかかわりで—。木材保存, 42 (5), 242-258.
- 石川 敦子・片岡 厚・川元 スミレ・松永 正弘・小林 正彦・木口 実 (2014a) 塗装木材に関する屋外暴露試験と促進耐候性試験の相関。木材保存, 40 (2), 55-63.
- 石川 敦子・片岡 厚・川元 スミレ・松永 正弘・小林 正彦・木口 実 (2014b) 塗装木材に関する屋外暴露試験と促進耐候性試験の相関 (II) — L^* , a^* , b^* 値と光沢度の変化—。木材保存, 40 (5), 216-224.
- 岩崎 克己 (2003) 我が国におけるCCA木材保存剤の開発とその処理木材市場の盛衰の技術的背景。木材保存, 29 (2), 192-216.
- 金井 徹 (2009) エクステリア市場の現状と木製エクステリア。木材保存, 35 (3), 96-101.
- 片岡 厚 (2017) 木材の気象劣化と表面保護—気象劣化のメカニズム—。木材保存, 43 (2), 58-68.
- 片岡 厚・石川 敦子・小林 正彦・松永 正弘・松永 浩史・木口 実 (2015) スギ製遮音壁の耐候性—保存薬剤注入処理による塗装耐候性向上効果—。木材保存, 41 (2), 62-70.
- 木口 実 (1996) “住宅部材安全性能向上事業報告書(木製サッシ塗装技術開発事業)”。(財)日本住宅・木材技術センター, 86-92.
- 喜多山 繁 (2009) 木製遮音壁の開発と普及。住宅と木材, 32, 14-19.
- 「木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発」研究チーム (2010) “木製防護柵・遮音壁の耐久設計と維持管理指針(案)”。森林総合研究所第2期中期計画成果, 10, 1-53.
- 桃原 郁夫 (2018) 木材保存剤及び保存処理方法の多様化と今後。木材保存, 44 (3), 176-179.
- (財)日本住宅・木材技術センター (1998) “マニュアル作成事業報告書(木材保護着色塗料品質評価)”。117pp.
- 日本規格協会 (1999a) “塗料一般試験方法—第4部: 塗膜の視覚特性—第6節: 測色(色差の計算)”。JIS K 5600-4-6:1999.
- 日本規格協会 (1999b) “塗料一般試験方法—第4部: 塗膜の視覚特性—第7節: 鏡面光沢度”。JIS K 5600-4-7:1999.
- 日本規格協会 (2008) “塗料一般試験方法—塗膜の長期耐久性 第8節: 促進耐候性(紫外線蛍光ランプ法)”。日本産業規格 JIS K-5600-7-8:2008.
- 日本規格協会 (2013) 木材保存剤。日本産業規格, JIS K 1570:2013.
- 日本木材防腐工業組合 (2015) “屋外空間における木材利用ハンドブック”。78-79.
- (社)日本木材保存協会 (2008) “木製外構材のメンテナンスマニュアル”。38-39.
- 芝本 武夫 (1985) “木材保存の歩みと展望”。(社)日本木材保存協会, 3-126.
- 鈴木 憲太郎 (2000) 第5章 防除処理。“シロアリと防除対策”, (社)日本しろあり対策協会, 234-267.
- 製材の日本農林規格 (2019) 農林水産省告示第1920号.
- 山田 秀 (2004) “実験計画法—方法編—基盤的方法から応答曲面法, タグチメソッド, 最適計画まで”。日科技連, 293pp.
- 吉野 安里・柴田 直明 (2003) エクステリア部材の耐候性—防除処理の耐候性への影響—。日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集, 21, 48-49.

Verification on Synergy Effect between Wood Preservation and Coating in Outdoor Use

Wakako OHMURA^{1)*}, Atsuko ISHIKAWA¹⁾, Yuko ITOH²⁾, Toshiro HARADA³⁾,
Hironari OKI⁴⁾, Seiichi YASUI⁵⁾, Akio YAMAGUCHI⁶⁾, Tamao MORITA⁶⁾,
Yoshiaki SUGAI⁷⁾, Tomoaki SHIGEYAMA⁷⁾, Yuichi AKAHORI⁸⁾,
Daisuke TEDUKA⁹⁾, Chikai IGARASHI⁹⁾ and Tokio SEKIZAWA¹⁰⁾

Abstract

Long-term durability and aesthetic design are two highly desirable traits for outdoor-use wooden products and facilities. In this study, Sugi heartwood specimens treated with wood preservatives (AAC, ACQ, CUAZ, AZNA, AZN) were further finished with coatings (film forming type, penetrating type) and subjected to artificial weathering using fluorescent ultraviolet lamps and water (EN 927–6). The weather resistivity of the specimens was then evaluated by examining changes in color, gloss, and waterproof properties. Wood preservatives after weathering were also analyzed both in the outer and inner parts of the specimens. Change in color and decreases in water repellency of the coatings with wood preservatives were found to be lower than in untreated specimens, indicating that the performances of the coatings were enhanced in the presence of the wood preservatives. Leachability of the wood preservatives was found to be reduced with coatings, implying that the wood preservatives also benefitted from being used in conjunction with the coatings. The researchers therefore conclude that wood preservatives and coatings have a synergistic effect for long-term preservation and weatherproofing of wooden materials kept outdoors, when used together.

Key words: wood preservation, coating, outdoor use

Received 7 August 2019, Accepted 12 March 2020

1) Department of Wood Improvement, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Forest Soils, FFPRI

3) Principal Research Director, FFPRI

4) Gen Gen Cooperation

5) Tokyo University of Science

6) Koshii & Co., Ltd.

7) Xyence Co., Ltd.

8) Dainihon Wood-Preservation Co., Ltd.

9) Kanematsu Sustech Cooperation

10) Japan Wood Preservation Industry Association

* Department of Wood Improvement, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: murasan@ffpri.affrc.go.jp