木材保護塗料の耐候性能向上に及ぼす 素地粗面化処理の影響

片岡 厚*, 石川 敦子*, 小林 正彦*, 伊神 裕司*,
松村ゆかり*, 松永 浩史*, 松永 正弘*, 神林 徹*,
木口 実*

The effects of surface roughening of substrate wood on the improvement of weatherability of wood preservative semi-transparent coatings

Yutaka KATAOKA*, Atsuko ISHIKAWA*, Masahiko KOBAYASHI*, Yuji IKAMI*,
Yukari MATSUMURA*, Hiroshi MATSUNAGA*, Masahiro MATSUNAGA*,
Toru KANBAYASHI*, Makoto KIGUCHI*

Surface roughening of substrate wood prior to coating may increase the coating weight and therefore improve the weatherability performance of wood preservative semi-transparent coatings (WPs). In this paper, we tested this hypothesis and examined relationships among the extent of surface roughening, the increase in coating weight and the performance of WPs. Sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) heartwood rough-sawn (saw-textured) specimens were prepared by band-saw and subjected to coating with a penetrating-type WP. It was found that the arithmetic average roughness (Ra) as well as the coating weight for rough-sawn surfaces could be increased by controlling the feed speed during band-sawing. The coated specimens were then exposed to accelerated weathering for up to 2500 hours. The results showed that there were positive and high correlations between coating weight and color stability, and between coating weight and water repellency. Such effects, however, were not always observed when thick-coating was applied to smooth-planed surfaces. These results indicate that the weatherability of WPs depends not only on the coating weight but also the penetrability of wood by WPs.

Keywords ; wood preservative semi-transparent coatings (WPs), weatherability, rough-sawn, saw-textured, penetrability

* 国立研究開発法人森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

Corresponding author : Yutaka Kataoka (ykataoka@ffpri.affrc.go.jp)

木材保護塗料の耐候性を向上させるには、木材素地を粗面化して塗布量を増やすことが効果的であるとされている。本研究ではこの仮説を検証するとともに、粗面化の程度と塗布量及び耐候性能との関係について理解を深めることを目的とした。スギ心材の粗面化処理として帯鋸製材によるラフソーン（粗挽き）仕上げの効果を検討した結果、製材時の送材速度を制御することで、素地表面の算術平均粗さ（Ra）と含浸形木材保護塗料の塗布量を増やせることが示された。次いでこれらの塗装試片を促進耐候性試験に供したところ、塗布量と変色抑制効果の間及び塗布量と撥水性維持効果の間にそれぞれ高い正の相関が認められた。一方、平滑面に厚塗りして単に塗布量を増やしただけでは、このような効果が得られない場合があった。以上の結果から、木材保護塗料の耐候性向上には、塗布量だけではなく木材素地の塗料浸透性を高めることが重要であることが示された。

キーワード：木材保護塗料，耐候性，ラフソーン，粗挽き仕上げ，浸透性

1. はじめに

最近、公共建築物や商業ビルの外装など木材のエクステリア利用が増えており、木材の外部用塗装に対する要求水準が高まりつつある。木材保護塗料の耐候性能とその評価法については、日本建築学会の建築工事標準仕様書（JASS 18）及び材料規格に記載があり¹⁾、キセノンランプ法促進耐候性試験を480時間実施して評価することとされている。これは一定レベルの性能を担保できるものの、長期耐候性の評価には適していない。このため、2014年、（公財）日本住宅・木材技術センターの優良木質建材等認証（AQ）において、塗装した木質建材の耐候性評価方法が提案され、キセノンランプ法促進耐候性試験の2500時間までの評価により耐候性を3段階にクラス分けし、耐候性塗装木質建材として認証する制度が始まった²⁾。このように、木材保護塗料塗りの長期耐候性を評価するシステムが整ったところであり、塗装性能の向上に向けた研究を加速すべき段階にある。

塗装性能を向上させる方法としては、塗料の改良のほか、塗装基材である木材を前処理して、塗装適性、寸法安定性、耐紫外線性等を高める方法も重要である³⁾。著者らは、予め木材の表面を粗面化して浸透性を高め、その後塗装することによって、単位面積当たりの塗り付け量（塗布量）を増やし、性能を向上させる方法に着目してきた⁴⁾。その一例として製材によるラフソーン（粗挽き）仕上げの表面を塗装する方法がある³⁾。これは欧米で良く使用される方法であるが⁵⁾、日本で多用

される半透明の含浸形塗料の適用性については知見が不足している。伊佐治は、ラフソーン仕上げの木材や粗目で研磨処理して粗面化した木材を塗装し、塗布量や耐候性能が向上する傾向が見られたことを報告した^{6,7)}。しかし粗面化の程度と塗布量及び性能との関係については未だ不明点が多い。

本研究では、木材保護塗料の耐候性能向上に及ぼす粗面化処理の効果について理解を深め、性能向上に役立てることを目的とした。帯鋸製材によるラフソーン仕上げの効果に着目し、製材時の送材速度を調節することで材表面の粗面化の程度を変化させ、その影響が表面構造や塗装時の塗布量にどのように現れるのか検討した。さらに、これらの塗装試片をAQと同じ2500時間までのキセノンランプ法促進耐候性試験に供し、粗面化処理と塗布量の影響が耐候性能にどのように現れるのか検討した。

2. 試料と方法

2.1 試料と表面処理

木材試料には、スギ（*Cryptomeria japonica* D.Don）心去り平角（150×70×2000mm）を4本、その平角から板材（10×70×2000mm）を製材した。製材には、鋸幅125mm、鋸厚1.05mm、あさり幅1.87mm、歯喉角27°、歯端角43°、歯背角20°の帯鋸を用い、鋸車回転数は700rpm、送材速度は10、20、30m/minの3段階とした。板材はラフソーン（粗挽き）仕上げのまま、繊維（L）方向145mm又は72mm毎に細断し、温度22℃、RH

65%の条件で40日間調湿した。そのうち辺材を含まないものを粗面化試片として以下の実験に用いた。一部の試片は、製材後にプレーナ処理で表面を平滑化し、対照試片とした。

粗面化試片は送材速度10, 20, 30m/minの3条件について、まさ目（比較的まさ目に近い追いまさ目を含む）試片を各6枚使用した。平滑化試片は塗装を2条件で行うため（通常の塗布量、粗面化並みの塗布量）、各条件についてまさ目試片を6枚用意した。これらの試片のうち各3枚は、表面粗さ分析用試片として同分析に供した後、塗装を施し、暗所に保管した。残り各3枚は、促進耐候性試験用試片として塗装を施した後、促進耐候性試験に供した。

2.2 表面粗さ分析

表面粗さ分析用の粗面化試片と平滑化試片は、乾燥後、無塗装のまま接触式の表面粗さ測定（サーフコーダ SE3500）に供し、算術平均粗さ（Ra）を計測した。測定にはダイヤモンド針を用い、先端半径2.0 μ m、開き角60°、荷重0.75mN、測定長50mm、走査1mm/sの条件で実施した。走査は試片の中央付近で繊維方向に対して垂直に行った。データはカットオフ値（ λc ）2.5mmでガウシアンフィルタ処理した（JIS B0601）。表1に試片の表面処理条件とRaを示す。表面粗さ分析の後、試片は塗装に供した。

2.3 塗装と塗布量

乾燥後の粗面化試片と平滑化試片は、ブラウン色系の油性含浸形の木材保護塗料（JASS 18 M307）を用いて、刷毛塗りによる2回塗り塗装に供した。なお下塗りの後、1昼夜静置してから上塗りした。塗布量は、塗装前と塗装直後（ウェット状態）の試片の質量差を塗布面積で除すことにより算出した。粗面化試片の塗装にあたっては塗料の吸い込みが大きかったため、試片表面が一定レベルに濡れるまで、塗料を浸み込ませた。具体的には、表面に塗料の液面反射が生じ、その反射が平滑化試片への通常塗り（メーカー推奨量）と同レベルに達するまで塗料を塗った。一方、平滑化試片については、通常塗り試片に加え、その約2倍の塗布量（粗面化並塗布量）を厚塗りした試片も調製した。塗装後の試片は2週間養生した後、測色や撥水度等の初期値測定に供した。表1に、表面粗さ分析用試片と促進耐候性試験用試片の平均塗布量を示す。

2.4 促進耐候性試験

促進耐候性試験用の粗面化試片と平滑化試片は、塗装後、アトラス社製 Ci4000を用い、キセノンランプ法（JIS K5600-7-7）の方法1（屋外光シミュレーション）、標準の放射照度（波長300～400nmにおいて60W/m²）、サイクルA（各サイクル120分間のうち脱イオン水噴霧は18分間、

表1 粗面化条件、表面粗さ、塗装と塗布量、及び測色初期値

Table 1 Description of roughening process, surface roughness, wood preservative semitransparent coatings and initial color parameters

	帯鋸製材の送材速度	算術平均粗さ	塗装（共通）	平均塗布量 ^{b)} （表面粗さ分析用 試片）	平均塗布量 ^{b)} （促進耐候性試験 用試片）	測色初期値 （促進耐候性試験用試片）		
	Feed speed during band-sawing	Mean arithmetic average roughness	Coating（for all）	Mean coating weight ^{b)} （specimens for surface rough- ness anaysis） （wet, g/m ² ）	Mean coating weight ^{b)} （specimens for accelarated weathering） （wet, g/m ² ）	Initial color parameters （specimens for accelar- ated weathering）		
	(m/min)	(Ra, μm)				L*	a*	b*
ラフソーン A (rough-sawn A)	10	20.9	油性、 含浸形、	227	242	45.0	17.1	28.8
ラフソーン B (rough-sawn B)	20	25.6	不揮発分 ^{a)} 27%、 2 回塗り	252	261	44.7	16.7	28.2
ラフソーン C (rough-sawn C)	30	29.5	oil-based、 penetrating-type、	263	274	44.4	16.7	28.4
平滑化 D (planed D)	—	3.1	non-volatile content ^{a)} 27%、	119	121	46.6	19.7	33.1
平滑化 E (planed E)	—	—	twice application	—	261	44.2	16.4	29.0

注) a) 不揮発分（質量分率）は、各塗料を室温で放置後、加熱（50℃）し恒量になるまで揮発成分を蒸発させ測定した。

b) 塗布量は、刷毛塗り直後の表・側面の質量増から求めた。

Note) a) Nonvolatile content (mass fraction) was calculated by weighing the residue of paints that were first dried at room temperature and then heated at 50℃ to constant mass.

b) Coating weight was measured immediately after brush coating in gram wet paint per unit area of the front and side faces.

ランプは常に点灯), ブラックスタンダード65±2℃, 槽内38±3℃の条件で, 2500時間までの促進耐候性試験に供した。これはつくば市における南向き傾斜45°の屋外暴露試験の約2年分に相当し⁸⁾, 南向き垂直(90°)の屋外暴露試験の約4年分に相当する。試験期間中は色差(JIS K 5600-4-6)と撥水度(森林総研法)の変化を経時評価し, スキャナーにより外観の変化を記録した。

2.5 測色

日本電色工業製 NF-333を用い, JIS K5600-4-6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) を測定した⁹⁾。色差 (ΔE^*_{ab}) は(1)式により各パラメータの変化量 (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) から計算した。測色条件は, 光源を D65, 視野角を 10°, 測色部の直径を 8 mm とし, 定位 2 箇所における測定値を平均した。表 1 に, 促進耐候性試験用試片の測色初期値を示す。

図1 スギ心材試片の算術平均粗さ (Ra) と油性含浸形木材保護塗料の塗布量との関係。

Fig. 1 Relationship between the arithmetic average roughness (Ra) and the coating weight of oil-based penetrating wood preservative semi-transparent coating for sugi heartwood specimens.

凡例) △: 粗面化 A (送材速度10m/min), ◇: 粗面化 B (同20m/min), ○: 粗面化 C (同30m/min), ×: 平滑化 D (通常塗り)

Legend) △: rough-sawn A (feed speed 10m/min), ◇: rough-sawn B (f.s. 20m/min), ○: rough-sawn C (f.s. 30m/min), ×: planed D (moderate coating weight).

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

2.6 撥水度評価

撥水度は森林総研法¹⁰⁾により, 塗装面の中央部に約 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。

2.7 スキャナーによる外観の記録

カラススキャナー (エプソン製 GT-X700) を無補正の条件で使用し, 塗装試片と色見本 (QPCard社製 QP201) を画像化した後, キャリブレーションソフト (QPCard 社製 QPcolorsoft 501) を使用して色調補正した。

3. 結果と考察

3.1 塗布量に及ぼす粗面化処理の影響

表 1 に, 表面粗さ分析用試片の算術平均粗さ

図2 木材保護塗料塗り (油性含浸形) されたスギ心材試片の促進耐候性試験2500時間までの色差変化。

Fig. 2 Changes in color difference during 2500 hours accelerated weathering for sugi heartwood specimens finished with oil-based penetrating wood preservative semi-transparent coating.

凡例) △: 粗面化 A (送材速度10m/min), ◇: 粗面化 B (同20m/min), ○: 粗面化 C (同30m/min), ×: 平滑化 D (通常塗り), -: 平滑化 E (厚塗り)

Legend) △: rough-sawn A (feed speed 10m/min), ◇: rough-sawn B (f.s. 20m/min), ○: rough-sawn C (f.s. 30m/min), ×: planed D (moderate coating weight), -: planed E (thick coat).

(Ra) と、これらの試片を油性含浸形の木材保護塗料で塗装した際の塗布量の値を示す。また図1に、Raと塗布量の関係を示す。なお図1には、平滑化試片のうち通常塗りのデータのみをプロットした。同図において、Raと塗布量の間には高い正の相関 ($R=0.90$) が認められた。Raと塗布量の値はいずれも平滑化試片の通常塗りD(×)で最小であったが、ラフソーンによる粗面化試片ではA(△:製材時の送材速度10m/min)、B(◇:同20m/min)、C(○:30m/min)の順に、Raと塗布量の値が大きくなる傾向が見られた。これは、送材速度を高めたことで、材表面の粗さが増加し、塗料の浸透性も高まったためであると考えられる。以上の結果は、帯鋸製材時の送材速度を調整することにより、ラフソーンによる粗面化処理の程度と木材保護塗料の塗布量とを制御し得ることを示唆している。

3.2 変色抑制効果に及ぼす粗面化処理の影響

図2に促進耐候性試験用試片の試験2500時間ま

での色差変化を示す。また表1には、これらの試片の塗布量と試験前の測色値を示す。ラフソーンによる粗面化試片A(△)、B(◇)、C(○)は試験1500時間後までいずれも色差5以下を維持し、2500時間後でも色差6程度の比較的小さな値に留まった。一方、平滑化試片の通常塗りD(×)は試験1500時間後、厚塗りE(ー)は2500時間後までに色差9を超えるなど、いずれも粗面化試片の塗装と比較して変色抑制効果が劣る結果となった。

以上の結果から、ラフソーンによる粗面化試片では平滑化試片への通常塗りと比較して塗布量が増加し、変色抑制効果が向上したことが示された。一方、平滑化試片に厚塗りして粗面化試片並みに塗布量を増やした場合には同様の効果は得られなかった。このことから、性能の向上には塗布量だけではなく、素地の浸透性を高めることが効果的であることが示唆される。

図3に、促進耐候性試験の前後における試片の

図3 塗装後及び促進耐候性試験2500時間後の試片の外観
Fig. 3 Appearance of finished specimens after coating and after 2500 hours of accelerated weathering.

外観変化を示す。ラフソーンによる粗面化試片のうち B と C には試験2500時間後でも目立った欠陥が見られなかったが、A には晩材に沿って顔料が脱落したと思われる筋状の淡色化した領域が観察された。図1に示したように、粗面化試片 A は B や C と比較して帯鋸製材時の送材速度が低く、表面粗さと塗布量が小さかったため、顔料の脱落が先に起こったと考えられる。一方、平滑化試片のうち通常塗り D には筋状の淡色化が粗面化試片 A よりも顕著に見られ、さらに早材における顔料成分の脱落もしばしば観察された。これは図2において、平滑化試片 D の色差が、粗面化試片 A, B, C よりも大きかったことを裏付ける結果であると考えられる。他方、図3において平滑化試片の厚塗り E に目を向けると、含浸形には通常見られない、あたかも半造膜形塗料の劣化時に生じるような塗膜割れが観察された⁹⁾。これは、平滑面に極端な厚塗り（メーカー推奨値の約2倍の塗布量）を施したために、劣化しやすい塗膜が一時的に形成され、含浸形塗料としての本来の性能が発揮されなかった可能性を示唆している。このことは、図2の平滑化試片 E において高い変色抑制効果が得られなかった理由の一つで

図4 木材保護塗料の塗布量と促進耐候性試験2500時間後の色差との関係。

Fig. 4 Relationship between the coating weight of wood preservative semi-transparent coating and the color difference after 2500 hours of accelerated weathering.

凡例) 図1と同じ

Legend) Same as Fig 1.

あると考えられる。

図4に、促進耐候性試験用各試片の塗布量と試験2500時間後の色差との関係を示す。なお、平滑化試片は通常塗りのデータのみをプロットした。同図において塗布量と色差には高い負の相関 ($R = -0.95$) が認められ、塗布量が増えると変色が小さくなる傾向があることが示された。このことは、ラフソーンによる粗面化処理で木材保護塗料の塗布量を制御できれば、変色抑制効果を制御し得ることを示している。

3.3 撥水性維持効果に及ぼす粗面化処理の影響

図5に、促進耐候性用試片の試験2500時間までの撥水度変化を示す。同図においてラフソーンによる粗面化試片 A ($\triangle$), B ($\diamond$), C ($\circ$) はいずれも試験1500時間後まで撥水度99%以上の値を保ち、2500時間後でも90%以上の比較的高い値を維持した。一方、平滑化試片のうち通常塗り D ($\times$) は試験1500時間後まで撥水度90%以上の値を示し

図5 木材保護塗料塗り（油性含浸形）された試片の促進耐候性試験2500時間までの撥水度の変化。

Fig. 5 Changes in water-repellency index during 2500 hours accelerated weathering of specimens finished with oil-based penetrating wood preservative semi-transparent coating.

凡例) $\triangle$: 粗面化 A (平均塗布量242g/m²), $\diamond$: 粗面化 B (同261g/m²), $\circ$: 粗面化 C (同274g/m²), $\times$: 平滑化 D (同121g/m²), - : 平滑化 E (同261g/m²)

Legend) $\triangle$: rough-sawn A (mean coating weight 242g/m²), $\diamond$: rough-sawn B (m.c.w. 261g/m²), $\circ$: rough-sawn C (m.c.w. 274g/m²), $\times$: planed D (m.c.w. 121g/m²), - : planed E (m.c.w. 261g/m²).

ていたが、2000時間以降は急速に低下し、2500時間後までに塗り替え目安¹¹⁾とされる80%を下回った。これに対し平滑化試片の厚塗りE(-)では、粗面化試片と同様に比較的高い撥水度が維持されていた。

以上の結果は、変色抑制効果の場合とはやや異なるものであった。変色抑制効果に関しては、粗面化試片と平滑化試片の差が大きく、平滑化試片に厚塗りしても粗面化処理に劣る効果しか得られなかった。しかし、撥水性維持効果に関しては、平滑化試片の厚塗りによって粗面化試片と同等の効果が得られた。この理由として、図3で述べたように、平滑面への極端な厚塗りによって含浸形であるにもかかわらず塗膜が形成されたため、塗膜による保護効果が発現して撥水性維持効果が高まった可能性があると考えられる。

図6に、促進耐候性用各試片の塗布量と促進耐候性試験2500時間後の撥水度との関係を示す。平滑化試片は通常塗りのデータのみをプロットした。同図において塗布量と撥水度には高い正の相関($R=0.91$)が認められ、塗布量が増えるほど撥水性維持効果が高まる傾向が示された。図1及び図4の結果も踏まえれば、ラフソーンによる粗

図6 木材保護塗料の塗布量と促進耐候性試験2500時間後の撥水度との関係。

Fig. 6 Relationship between the coating weight of wood preservative semi-transparent coating and the water-repellency index after 2500 hours of accelerated weathering.

凡例) 図1と同じ

Legend) Same as Fig 1.

面化処理で木材保護塗料の塗布量を制御することにより、変色抑制効果に加えて撥水性維持効果も制御し得ると考えられる。

4. まとめ

木材保護塗料塗りの耐候性能を向上させるため、木材の表面を粗面化して浸透性を高め、その後塗装した際に、塗布量がどのように変化し、性能がどのように向上するのか検討した。帯鋸製材によるラフソーン（粗挽き）仕上げされたスギ心材に含浸形の木材保護塗料塗りを施した結果、製材時の送材速度の制御によって表面の算術平均粗さ(Ra)と塗装時の塗布量を増やせることを明らかにした。これらの試片を促進耐候性試験に供し、耐候性能に及ぼす粗面化処理と塗布量の影響について検討した結果、塗布量と変色抑制効果の間、及び塗布量と撥水性維持効果の間に高い正の相関が見られることを明らかにした。一方、粗面化処理を行わず、平滑面に厚塗りして塗布量を増やした場合には、撥水性維持効果は向上したものの変色抑制効果は向上しなかった。以上の結果から、木材保護塗料の耐候性能を向上させるには、塗布量だけではなく木材素地の浸透性を高めることが効果的であると考えられる。

謝辞

本研究は、科学研究費（基盤研究(C) No.25450250）の助成を受けて行われた。

引用文献

- 1) 日本建築学会：“建築工事標準仕様書・同解説 JASS 18 塗装工事（第8版）”，2013.
- 2) 木口実：優良木質建材等認証（AQ）「塗装木質建材－耐候性塗装木質建材」の概要，木材保存，**40**（6），256-260（2014）.
- 3) 片岡厚：屋外用の木材塗装に関する技術動向，塗装工学，**48**（1），28-39（2013）.
- 4) 片岡厚，石川敦子，小林正彦，伊神裕司，松村ゆかり，松永浩史，松永正弘，川元スミレ，木口実：木材保護塗料の耐候性能に及ぼす粗面化処理の影響，第65回日本木材学会大会研究発表要旨集，N17-P-F11（2015）.
- 5) Williams, R.S.: “Wood Handbook, Wood as an Engineering Material”, General Technical Report FPL-GTR-190, Chapter 16, USDA For-

est Service, 2010, pp. 1-37.

- 6) 伊佐治信一：木質外装材の表面仕上げが塗装後の耐候性能に及ぼす影響，第64回日本木材学会大会研究発表要旨集，N13-P-13（2014）。
- 7) 伊佐治信一：塗装をした粗挽き仕上げ材の耐候性能，林産試だより，2014年12月号，1-3（2014）。
- 8) 石川敦子，片岡厚，川元スミレ，松永正弘，小林正彦，木口実：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（2014）。
- 9) 片岡厚，木口実：水性木材保護塗料の耐候性

能評価（I）－屋外暴露2年間の保護性能－，木材保存，**35**（5），204-214（2009）。

- 10) 木口実，片岡厚，土居修一，森満範，長谷川益夫，森田慎一，金城勝，嘉手刈幸男，今村祐嗣：地域別暴露による木材保護着色塗料の耐候性評価，木材保存，**22**（3），150-158（1996）。
- 11) 財団法人日本住宅・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），平成10年3月。

（2015.11.30受付）

（2015.12.24受理）