

木質外装材におけるアクリルシリコン系透明保護塗材を用いた紫外線劣化による退色防止の検証

DB15164 下地 啓太

1. はじめに

日本では古来より国産材の木が建築に多く用いられてきた。しかしながら国内に豊富な資源を有するにもかかわらず、現代では伝統的建築でよく見られる外装木材の文化は失われつつある。その理由の一つとして、木材を窯業系サイディングやモルタル外壁のスタッコといった住宅への普及率の高い材料と比較した場合、耐候性能だけでなく寸法安定性や施工性が劣っていることが挙げられる。そのため、外装木材における劣化の一般的な解決策として、表面に保護塗装を施し、材料そのものに耐久性を付与する方法が存在する。そういった塗料の多くは塗材自身が様々な色を持っていることが一般的だが、無垢材や CLT といった木質材料の素地をそのまま使用した、あらかし仕上げが好まれている事実も存在する。図 1 に本研究のフローを示す。研究 1,2 は既往の研究にて作成された屋外暴露試験体を計測し、こけら葺き屋根の劣化傾向の観察を行った。この結果から外装材として木が退色してゆく過程を把握し、研究 3 として杉板にアクリルシリコン系のクリア塗装を施した試験体を屋外にて半年間の暴露試験を行い、JISZ8730 表色系 XYZ 三刺激値に基づき L^* 、 a^* 、 b^* 値と色差 ΔC^*ab にて退色の評価を行う。さらに研究 4 では、木材の屋外暴露初期に見られる黄色変化について検証を行う。

2. アクリルシリコン系クリア塗装を用いた木材の退色防止の検証

2. 1 使用材料と実験概要

表 1 に研究 3 の使用材料と試験体の暴露条件を示す。試験体に杉を選択したのは、建造物に使用される木材として一般的であり、使用量が多いためである。また、実際に外装材として使用される場面を想定して試験体は

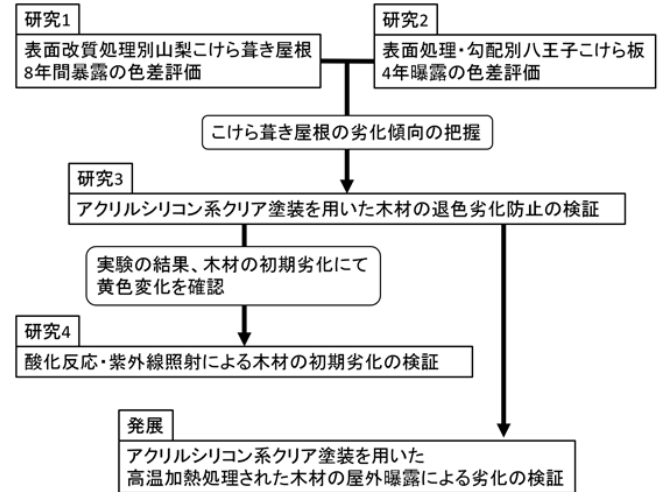


図 1 研究フロー

表 1 暴露試験の使用材料と条件 (研究 3)

試験体		角度	塗装条件	
杉板 (寸法 : mm) 300×60×14 辺材、心材		0° 45° 90°	未塗装	
			市販木材保護塗料(乳白色)	
			アルキド樹脂塗料(ブラウン)	
			アクリル シリコン系 透明保護塗料	UV 吸収剤 0.3%
				UV 吸収剤 0%
				UV 吸収剤 1%
防腐・防カビ材				
防水材無し				
こけら 板	さわら	0° 45° 90°	未塗装	
	天然杉		アクリル シリコン系 透明保護塗料	UV 吸収剤 0.3%
	人工杉			

この図は、暴露試験台の東側立面図を示しています。試験台の全高は1000mm、全幅は900mmです。試験体（杉板）は、左側に傾斜（45°）と水平（0°）の2つの位置で設置されています。傾斜位置の試験体の下端は、試験台の左端から500mmの高さに位置しています。右側には、試験台の右端に垂直（90°）に設置された試験体の断面図が示されています。図中の寸法はすべてmm単位です。

暴露試験台東側立面図 (寸法 : mm)

表 2 試験体測定項目 (研究 3)

項目	実験要因	実験水準
研究 3 アクリルシリコン系クリア塗材を用いた木材の退色劣化防止の検証	退色経過測定	L^* , a^* , b^* $\Delta C^*ab = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$
	退色経過特性	0-6 ヶ月
	暴露 角度	0°, 45°, 90°
	暴露 水分量	水分量 (%)
	暴露 紫外線量	紫外線量 (mw/cm ²)
	暴露 質量変化	質量 (g)

表 3 初期劣化促進試験の材料と試験項目

試験体	要素	促進試験項目	時間 (h)
杉 (寸法 : mm) 30×30×5	光 空気 水分 (試験 A)	紫外線 (UV-A365nm)	1.5/ 3
		浸水	2
		水蒸気	2
		O ₂ 養生	36
		乾燥 (160℃加熱)	24/ 48
	熱 (試験 B)		

柾目、追い柾、板目の水準を設け、色の比較のため辺材、心材と分けた。ここでは未塗装とアクリルシリコン系透明塗装標準仕様の柾目辺材試験体の劣化進行に着目し、比較・評価を行う。

2. 2 実験内容と方法

表2に試験体の測定項目、図2に曝露試験体と測定箇所を示す。研究3の試験項目は、継続的な屋外曝露により試験体の退色を観察するため、色差計を用いて計測を行い、色彩値(L^* , a^* , b^*)にて評価する。その際、重量と含水率も共に計測する。また、研究1,2から木が退色する主な要因は紫外線であると考え、月ごとに紫外線量の測定を正午に行う。角度によって受ける紫外線量も異なるため、 0° 、 45° 、 90° のそれぞれの角度にて紫外線量の測定を行う。

本研究の実験は半年間の曝露試験にて行い、定期的に試験体の色彩値、含水率、試験体重量の測定に加え、時期ごとの紫外線量(UV-A)を測定する。今回は試験体辺材と心材それぞれ三ヵ所の色彩値の平均を算出し、評価を行う。

2. 3 曝露実験結果

2. 3. 1 八王子での紫外線量測定

図3に本研究の屋外曝露試験を実施した工学院大学八王子キャンパスにて測定した、快晴時月ごとの紫外線量グラフを示す。このグラフはX軸を測定月、Y軸をUV-A(315nm~400nm)の照射量を表し、グラフより 0° と 45° の角度において強い紫外線を受けていることがわかる。紫外線量照射量のピークは6月にあり、12月になると全体量が減少する。加えて、9月ごろになると太陽高度が下がる影響で 0° と 90° の照射量の逆転が見られる。グラフ中空欄の9月は台風などで測定日の天候が雨や曇りの日が多く、快晴時の紫外線測定が出来なかった。

2. 3. 2 曝露26週間杉試験体の目視による退色確認

図4に屋外曝露26週間が経過したa)未塗装とc)UV吸収剤を0.3%含有したアクリルシリコンクリア塗装を施した杉試験体の写真と、b)、d)にそれぞれの拡大写真を示す。図中左から曝露をしていない保存試験体、曝露 0° 、 45° 、 90° で並べている。図a)とb)の双方を比較すると、塗装を施したものは黄色く木質色を残している一方で、未塗装のものは黒く無彩色に近い色に変化していることが明らかである。加えて屋外曝露によって、辺材と心材の色の差がほとんど無くなっていることが確認できる。

未塗装の試験体に注目すると、辺材と心材の区別がわからないほど退色が進行し、シルバーグレーに変色している。 90° で曝露を行った試験体のみ劣化の進行が遅いことに加え、心材と辺材で劣化の速度が異なることがわかる。未塗装拡大写真より、紫外線や雨によってダメー

ジを受けた表面が荒れ、隙間にチリ・ホコリの付着が確認できる。

次にアクリルシリコンクリア塗装を施した試験体に注目すると、角度によって大きな差は見られないものの、曝露を行っていない保存試験体と比較すると黄色が強く変色しており、辺材と心材の色の違いがあいまいになるように変化している。拡大画像からは、塗装を施すことにより、木材表面が保護され、曝露約半年が経過した段階でも細胞をはっきり観察することが出来る。



a) 曝露試験体 b) 測定箇所
図2 曝露試験体の様子と測定箇所

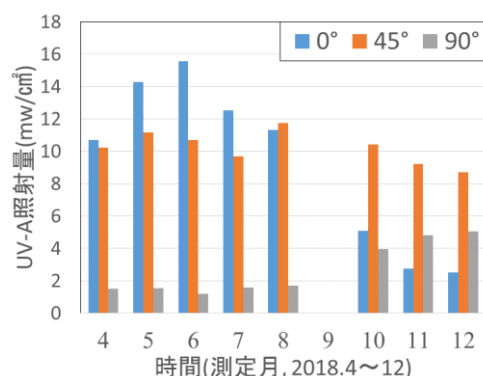
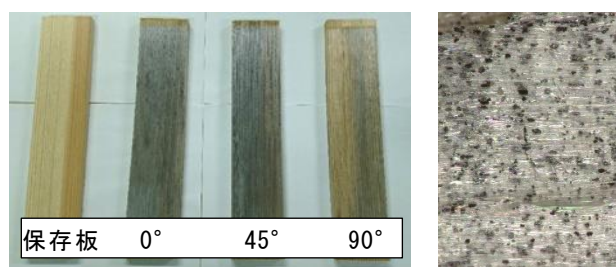
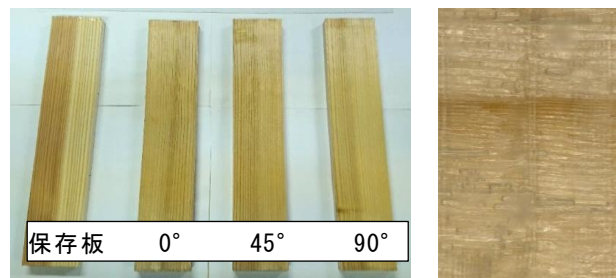


図3 4~12月快晴時UV-A照射量(測定場所:八王子)



a) 未塗装柾目材 b) 未塗装拡大写真



c) アクリルシリコンクリア塗装柾目材 d) 塗装拡大写真

図4 屋外曝露26週間経過の杉試験体

2. 3. 3 曝露 26 週間杉試験体の色彩値による退色確認

図 5 に曝露 26 週目における未塗装柃目材とアクリルシリコンクリア保護塗装柃目材の色彩値をまとめたグラフを示す。X 軸に屋外曝露の経過時間(週)、Y 軸にそれぞれの色彩値をとる。表 2 に示した ΔC^*ab を用いて色彩値 a^* と b^* の初期値からの変化量を求める。

はじめに、図 5a),b)より、未塗装の L^* 値は減少していくのに対し、塗装を施した試験体は屋外曝露による大きな変化は見受けられない。また塗装の有無に関わらず、 L^* は異なる曝露角度による数値の違いは確認できない。

次に図 5c),d)より、未塗装試験体は曝露開始約 1 週間で赤みが強くなり、その後減少傾向に転じている。塗装試験体は a^* 値 +5.0 前後にて一定になるのに対し、未塗装試験体は約 10 週目でマイナスとなり緑に変色する動きを見せた。また、 a^* 値において 90° で曝露した未塗装試験体は他のものと比べて変化量が小さいことがわかる。

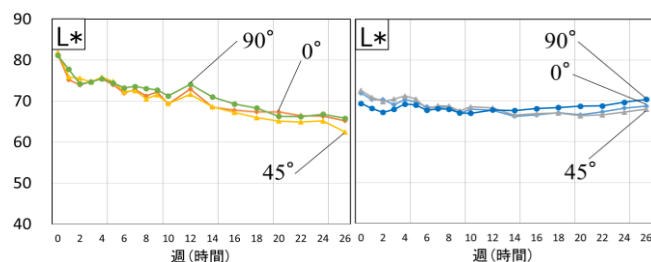
図 5e),f)より、木質色の黄色の変化は曝露条件によって大きく異なることがわかる。未塗装試験体は曝露 1 週間で b^* 値が大きく上昇し、次第に下がっていることが見て取れる。一方で塗装試験体は初期色からわずかに上昇がみられるが、およそ曝露 5 週目に b^* 値がピークとなり、そこから大きな数値の変動は見られない。また、 b^* 値においても 90° の変化量は少ないことがわかる。

最後に図 5g),h)より、未塗装試験体の色彩値の変化量は塗装試験体に比べて大きく、バラつきがあることが分かる。未塗装試験体の ΔC^*ab が曝露開始 1 週間で急激に変化し、その後 5 週目で塗装試験体とほぼ同じ数値まで減少しているのは、 a^* 、 b^* のグラフより、初期劣化により急上昇した色彩値が退色することで初期色に近い色に変化しているということが分かる。

これらのグラフを比較し、未塗装試験体の色彩値は曝露経過とともに減少していくが、塗装試験体の色は全体的に安定していることが分かる。加えて 90° の角度にて曝露を行った未塗装試験体は他角度と比較すると a^* と b^* の色味を示す数値のみ変化量が小さいことがわかる。

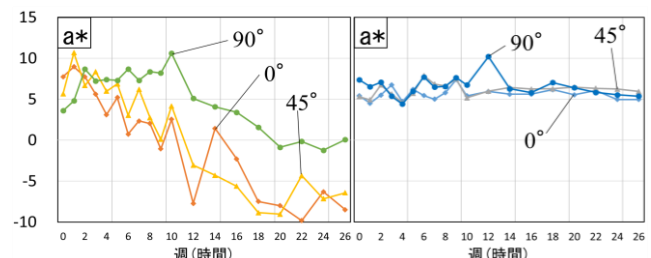
2. 3. 4 曝露 26 週間こけら材の色彩値による退色確認

図 6 に伝統建築物仕様であるこけら板を 26 週間屋外曝露した結果を示す。こけら板試験体は作製から数年間の保存期間があり、黄色変化した状態から曝露を開始した。a), b)より、屋外曝露によって未塗装試験体は白く変色していく傾向があり、 90° のみ数値が大きく変えている。また c), d)より、こけら板も杉板と同じように、塗装によって表面色の退色が抑制されていることが分かる。塗装を施した試験体の ΔC^*ab は曝露開始 2 週間で初期劣化が終了し、その後表面色を保っていることがグラフより見て取れる。



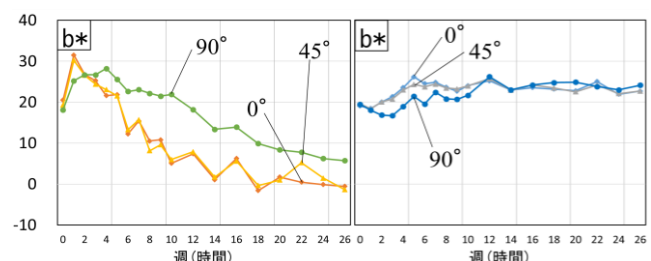
a) 柃目辺材-未塗装 L^* 値

b) 柃目辺材-塗装 L^* 値



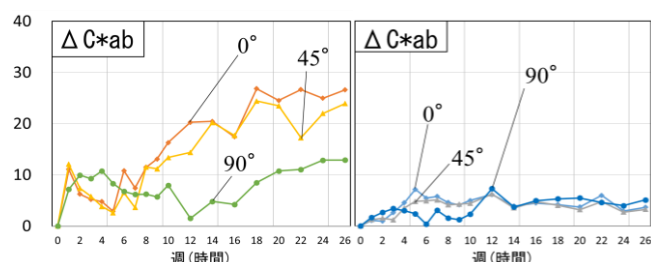
c) 柃目辺材-未塗装 a^* 値

d) 柃目辺材-塗装 a^* 値



e) 柃目辺材-未塗装 b^* 値

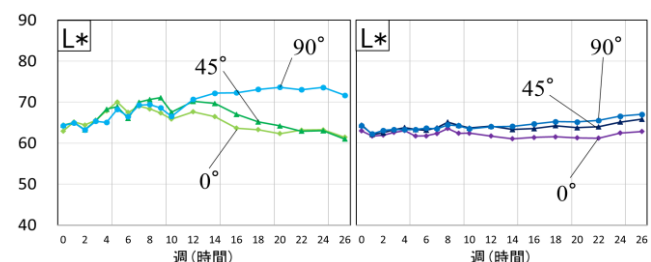
f) 柃目辺材-塗装 b^* 値



g) 柃目辺材-未塗装 ΔC^*ab

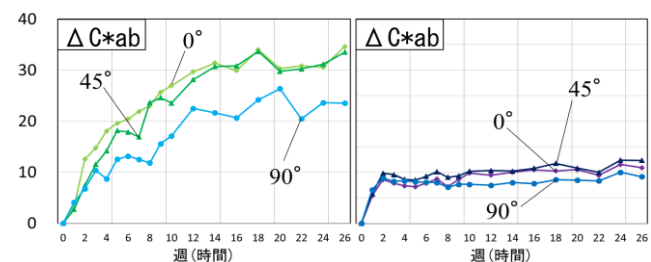
h) 柃目辺材-塗装 ΔC^*ab

図 5 屋外曝露 26 週間経過杉試験体の色彩値グラフ



a) さわら-未塗装 L^* 値

b) さわら-塗装 L^* 値



c) さわら-未塗装 ΔC^*ab

d) さわら-塗装 ΔC^*ab

図 6 屋外曝露 26 週間経過こけら板試験体の色彩値グラフ

3. 酸化反応・紫外線照射による木材初期劣化の検証

3. 1 使用材料と実験概要

表3に研究4で使用した試験体の材料と、促進試験の項目、試験を行う時間を示す。本研究では、研究3の測定結果より得られた、紫外線や雨といった屋外環境下にて退色が進行する前の初期劣化として黄色変化を表す b^* 値の急上昇について、主にこういった屋外環境要因が初期劣化に関係しているのか検証を行う。

3. 2 実験内容と方法

促進試験の項目として、紫外線照射と水中、水蒸気中、高酸素中での養生を繰り返す試験(以下試験A)と、 160°C 中での加熱養生試験(以下試験B)の2つに分けて行う。試験Aでは、紫外線ランプを用いて生材への照射を行い、その後表に示した項目での養生を行う。ここまでの1サイクルを計3回行うことで色の変化の確認を行う。試験Bでは紫外線照射は行わず、生材を 160°C 中にて24時間、48時間でそれぞれ養生を行い、色の変化を観察する。

3. 3 劣化促進試験結果

3. 3. 1 目視による木材初期劣化の確認

図6にそれぞれの促進試験を行った後の試験体の拡大画像を示す。生材の初期色から比較を行うと、どの促進試験においても変色が見られる。紫外線照射後に水蒸気、加熱を行った試験体の変色は比較的強く、一方で高酸素養生を行ったものはほとんど変化が見られなかった。

3. 3. 2 色彩値による木材初期劣化の確認

図7に紫外線照射と各促進試験を繰り返し行った際に測定した色彩値を示す。紫外線照射と促進試験を繰り返した試験Aの結果より a^*b^* 値グラフから紫外線照射によってわずかに無彩色に近づき、促進試験を行うことで色彩値の急激な増加が確認できる。さらにグラフより、高酸素中にて養生を行った試験体はいずれの色彩値もほとんど変色を示さなかった。試験Bの結果からは、加熱により表面明度は落ちるが a^*b^* 値ともに向上が見られる。

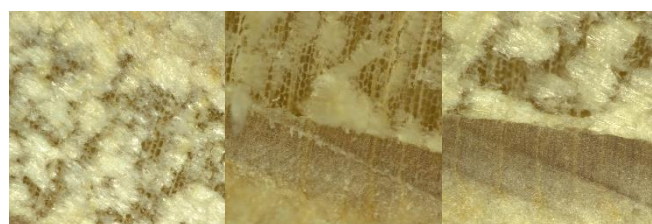
4. まとめ

アクリルシリコン系クリア塗材による木材の退色劣化防止試験により、以下の知見が得られた。

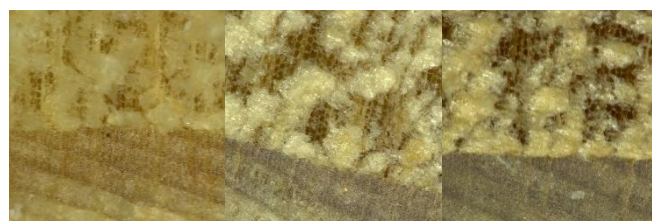
- 1) 紫外線吸収剤含有のアクリルシリコン系クリア塗装で木材表面を覆うことで木質外装材の退色への対抗策として有効であることが分かった。
- 2) 表面を塗装で覆うことにより、劣化して荒くなった木材表面へのチリ・ホコリの付着による汚れ防止に有効であることが分かった。
- 3) 木材の初期劣化である黄色変化は空気中の酸素濃度に依存せず、主に紫外線照射や酸化によって引き起こされるが、雨による水分や日射による熱といった

要素が初期劣化を促進することを把握できた。

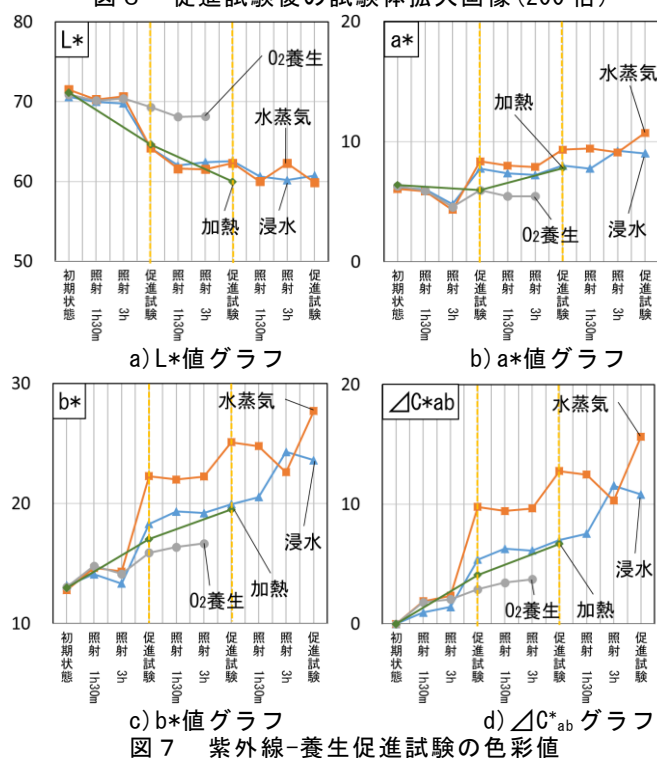
- 4) 図5のe), f)より、屋外曝露1週目の木材の黄色変化を示す b^* 値が増加することから、図7より紫外線と水蒸気、浸水によって劣化促進された試験体の色彩値が屋外曝露の初期劣化色に近いことが分かる。



a) 生材 b) UV-浸水養生 c) UV-O₂ 養生



d) UV-水蒸気養生 e) 160°C加熱 24h f) 160°C加熱 48h
図6 促進試験後の試験体拡大画像(200倍)



参考文献

- JIS Z 8729 色の表示方法— $L^*a^*b^*$ 表色系及び $L^*u^*v^*$ 表色系
JIS Z 8730 色の表示方法—物体色の色差
清永美奈子, 田村雅紀, 山本博一, 後藤治: 伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存技法に関する研究, 日本建築士学会学術発表学術発表論, pp.123-126, 日本建築士学会, 2009年
有害紫外線モニタリングネットワーク「観測データ公開」
URL: <http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/>
謝辞

本研究の実施にあたり、奈良研究所の奈良利男氏、株式会社セブンケミカルの島袋省三氏、内藤真弘氏にご協力賜りました。また、田村研究室3年生の北畠氏と原田氏にデータ処理及び実験のご協力いただきました。本研究関係者に厚く御礼を申し上げ、感謝の意を表します。