

屋外暴露した改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価

1. 材料施工・7 有機系材料

こけら板、劣化、屋外
色彩変化、紫外線

準会員○ 直井優太*¹ 正会員 田村雅紀*²
正会員 後藤治*³ 正会員 山本博一*⁴

1. はじめに

日本の伝統的屋根葺き構法であるこけら葺きはコストや耐久性の問題から年々減少傾向にある。しかしこのような伝統構法は保護していくべきである。京都などに健在する伝統的価値のある町並みをどのように保護すべきか日本でも多くの議論されてきた。これらは文化的価値があり観光資源としての期待もあるため保護保全のニーズはあると言える。こけら葺きに関しても保護の対象として議論し後世に残すべきである。こけら葺きの保護にあたって大きな問題となるのは維持費である。葺き替えのたびにコストが掛かるのは大きな負担である。そこで改質処理を行うことで、耐久性の向上できれば葺き替えサイクルの長期化につながり結果コストの削減になる。そこで本研究では特にこけら葺きの初期劣化状況を調査し劣化の原因を検証するとともに、改質処理によりどの程度劣化を遅らせることができるのかを検証する。

2. 研究概要

2.1 使用材料と実験概要

表 1 に本実験の使用材料、表 2 に実験要因および試験項目について示す。表 1 は今回使用する試験体の種類である。試験体は杉や栗の樹齢や産地の異なる計 7 種類を使用した。こけら葺きは檜、さわら、杉、榎などが使用されるが重要文化財等はほとんどにさわらのこけら葺きが使用されている。表 2 の実験概要として表面塗装処理条件を示す。こけら葺きの葺き替えサイ

クルを長くするために試験体の表面に塗装を施しその表面の耐久性が向上するかを実験する。

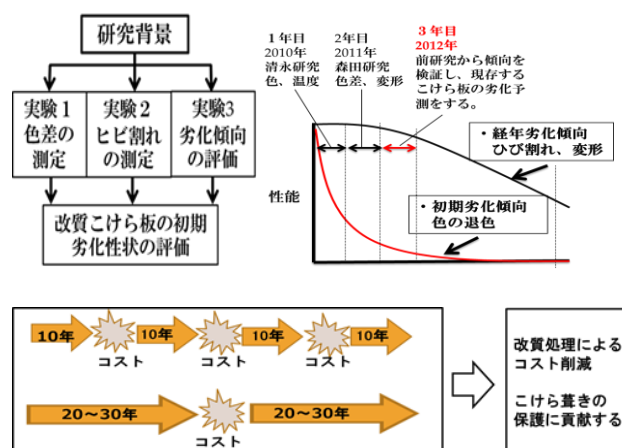
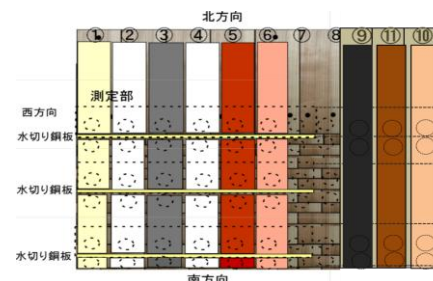


図 1 初期劣化性状の評価



備考) 2009 年 11 月山梨演算にて施工。2013 年 1 月時点までの評価
改質処理は表 2 の処理 1～11 を左から順に施した。

図 2 こけら葺き材改質位置

表 1 こけら葺き材種類

記号	種類
Aas45	秋田杉人工 樹齢約 46 年
Aas90	秋田杉人工 樹齢約 88 年
Ans 175	秋田杉天然 樹齢約 170 年
Ank50	秋田栗天然 樹齢約 50 年
Mas35	宮崎杉人工 樹齢約 35 年
Mas80	宮崎杉人工 樹齢約 80 年
Sa	秩父人工さわら
(備考)3.4 の塗装回数はクリアの塗装をした後、それぞれ黒、白の塗装を計 2 回。 *9～11 は施工時期 3 ヶ月遅いため他の塗料と分けて検証した。	

表 2 こけら材改質処理条件

No	種類/塗布回数	色	回数	効果
1	高撥水シリコン系	クリア	2 回	シリコン結合基を有する無機シリコン溶液の撥水対策
2	高耐久アクリルシリコン系	白	2 回	アクリル含有シリコンの結合エネルギー増大による紫外線対策
3	無・有機シリコン系	黒	クリア/黒	防カビ効果と黒化による熱吸収検証
4	無・有機シリコン系	白	クリア/白	防カビ効果と白化による反射対策
5	柿渋液	茶	4 回	柿タンニン[糖のエステル結合+芳香族分子]による防腐対策
6	木酢液	茶	4 回	リグニン、フェノール成分塗装による防腐対策
7	なし (銅版水切り)	なし	0 回	銅版水切りの蓄熱影響検証
8	なし	なし	0 回	基準試験体
9	フッ素樹脂系遮熱塗料	黒	3 回 ～ 4 回	赤外線を反射し吸収熱量の減少。汚れの付着による遮熱効果の低下を防ぐ
10	フッ素樹脂系遮熱塗料	茶		
11	フッ素樹脂系遮熱塗料	肌色		

2.2 実験内容と方法

表3に表面塗装処条件、表4に実験項目と方法を示す。各項目について試験体の9種類の塗装表面と2種類の無塗装表面の計11種類の表面状態を評価する。また重要文化財等のこけら葺きには、銅板の有無で耐久性に変化がでるのかどうかを検証する。図2の様に処理8以外には銅板が3ヶ所に差し込まれている。実験1は色彩計を用いて各種試験体の表面の色彩を計る。実験2の実験方法は各試験体のひび割れを目視で測定し計測する。実験3の雨水時吸水劣化は雨による色彩変化が最も現れると予想される次期で（施工から9ヶ月目）雨水による含水時と乾燥時で明度がどの程度変化するかを比較した。

2.3 こけら板の色彩劣化特性

色を測定する方法は色差計を用いL*a*b*で評価する。L*は明度を表し、色相・彩度を表す式座標をa*b*で表す。色の明度L*は0～100で表され、色相・彩度を表す式座標a*b*は-60～60で表される。今回はMas35のデータを用い、2009年12月～2012年12月に測定したものを使用している。図5はMas35の改質処理ごとの時間変化に対応する色彩の特性を示す。図3のL*値のグラフは材が汚れて暗くなり、明度が下がっていることを表す。白は塗装の剥離が進んでいないため、塗装直後から変化がほぼ見られない。塗装なしの物に関しては一度明度が上昇してから下降していく傾向が確認された。塗装をした物も剥離や汚れが進み塗装なしの物に値が近づく傾向が確認された。

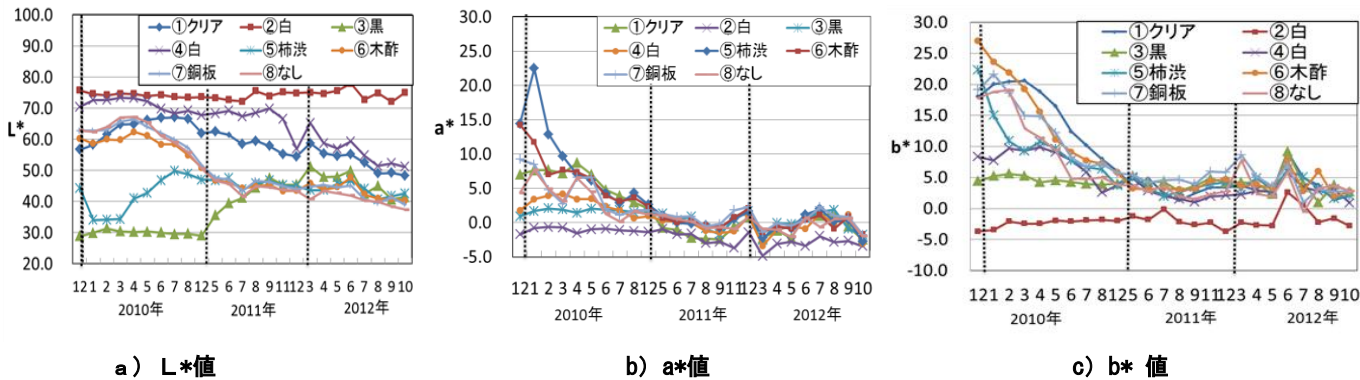


図3 改質処理ごとの時間変化に対応する色彩値の特性 Mas35（宮崎杉 35年）

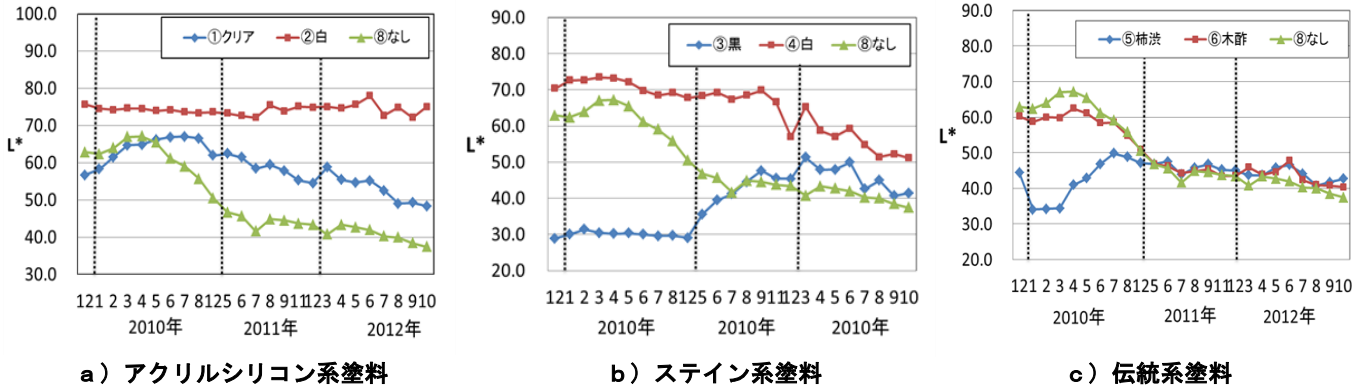


図4 塗料種類別表面保護効果 (L*比較)

2.4 塗装種類別保護効果

図4は塗装種類ごとに分け、それぞれを塗装なしの物と比較し種類ごとにどのような表面保護効果があるかを検証した。塗装はそれぞれアクリルシリコン系、ステイン系、伝統塗料系の3種類に分けている。アクリルシリコン系は塗装なしの物と比べて、明度を保持していることがわかる。アクリルシリコン系は色彩保持の面からみて塗装種類別では最も性能が高いと言える。白の塗料に関しては実験開始から三年たった今でも明度はほとんど変化していないという結果になった。三種類の中でも一番性能が良かったと言える。ステイン系はアクリルシリコン系にはやや劣るものの塗装なしに比べて保護効果がみられた。白は2年、黒は8ヶ月を経過したところで徐々に劣化し、現在は塗装なしと同じ状態に近づいている。伝統塗料系は約6ヶ月程度保持したもののその後は剥離が進み塗装なしと同じ状態になり表面保護効果は見られない。

表4 実験項目と実験方法

	検証項目	測定項目
実験1	色差の測定	色差計を用いjisZ8701表面色XYZ三刺激値よりL*a*b*表色系に変換し評価。 (2009～2013年)3年3ヶ月におけるL*a*b*変化
実験2	ひび割れの測定	こけら先端部(紫外線暴露部分)の組織劣化・単分子化溶脱によるひび割れ単位長さあたりひび割れ本数(本/cm)
実験3	雨水時吸水劣化性状・汚れ度予測劣化メカニズムの検証	初期劣化発生時期(施工後9ヶ月2010年9月)降雨時L*a*b*:データ、塗装なしと比較し保護期間を特定する。

2.5 木材に対する紫外線の影響

図7は紫外線の透過メカニズムを説明した図である。屋外における木材の劣化要因として太陽光に含まれる紫外線の影響が大きいといわれている。木材は基本的には非常に良く光を吸収する物質である。木は紫外線の波長を吸収すると細胞破壊が起きる。特にリグニンと言う木の色素を持つ細胞が破壊されると色素の溶脱が起きる。本研究でもこけら板の明度が一時的に上昇する現象が確認されているが、その要因は紫外線による細胞破壊に伴う色素の溶脱が原因だと考えられる。つまり明度の上昇を遅らせることが細胞の破壊を遅らせることを意味する。図8は改質による紫外線に対する表面保護効果を説明した図である。また試験体の周辺で紫外線強度の実測を行った。測定範囲はU V-B (315~280nm) の波長である。(315~280nm) の波長は木材に含まれる細胞のリグニンにもっともダメージを与える波長域である。このU V-B (315~280nm) 紫外線の強度をmW/c m²で表す。実際の測定結果は紫外線強度のピーク時と考えられる正午で480~380mW/c m²であった。

2.6 遮熱塗料による表面保護効果

図7は遮熱塗料を塗装した物と塗装なしの物の表面色差の変化をグラフ化したものである。試験体に黒、茶、肌色の三種の遮熱塗料をを塗装する。それぞれの色落ちの程度を色差計を用いて計測し、遮熱塗料を装しなかったものと比較する。このグラフから遮熱塗料を塗装したものは3色ともほとんど色の变化がないことがわかる。対して塗装なしは1年程で明度が落ち汚れていることがわかる。この結果は遮熱塗料の表面保護効果

により紫外線の吸収にともなう細胞の破壊を防ぎ表面の劣化を防いだことが考えられる。塗料なしのは紫外線の吸収により細胞が破壊され劣化し汚れが付着したことが考えられる。

2.7 含水時の塗料による影響と明度変化

図5はこけら板の乾燥時と含水時の明度の変化のグラフである。こけら板のは雨などにより含水した場合表面の色差にどのような影響があるかを検証した。含水時のデータは雨が降った翌日に計測したデータを使用した。劣化が進み色素が溶脱しているものは雨を給水して黒くなりやすいことが確認された

2.8 こけら板の表面塗装剥離

写真1はこけら板の表面劣化の一つであり表面塗装の剥離が確認できた。色のついた塗装表面は剥離により色が落ちてこけら板の表面が露出し外部からの影響を受けやすくなると考えられる。この表面塗装剥離は色のついた塗装に関しては色差測定によりどの程度剥離たかが確認できる。最も表面剥離していたAnk50 (秋田県 50 年) は変形など他の劣化も多く確認された。

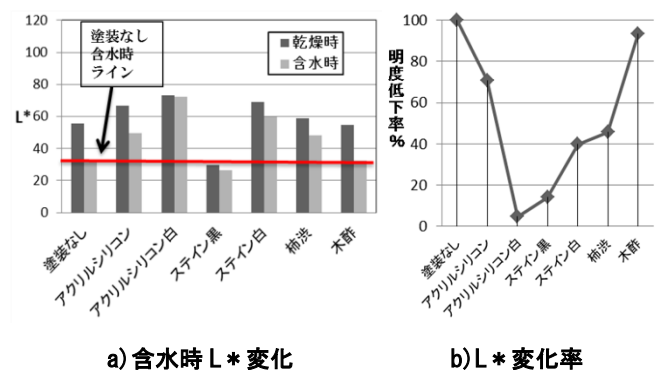
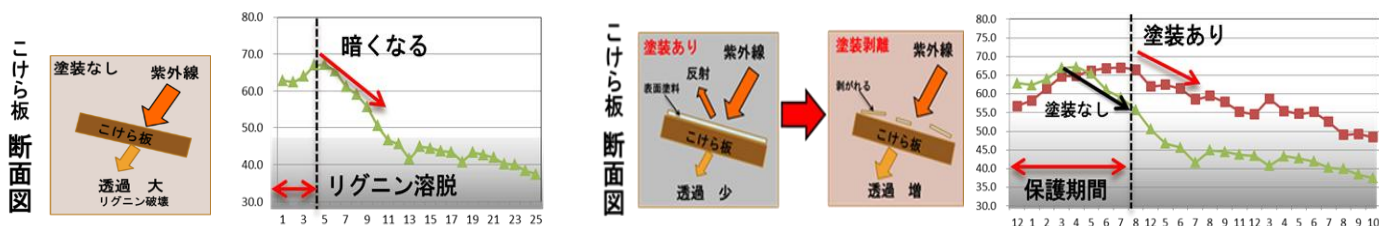


図5 含水時の塗料による明度変化のグラフ (mas35)



a) 塗装なし (劣化メカニズムとL値 の変化)

b) ステイン系塗装 (劣化メカニズムとL値 の変化)

図6 紫外線透過メカニズムと表面保護効果の比較 (MAS35)

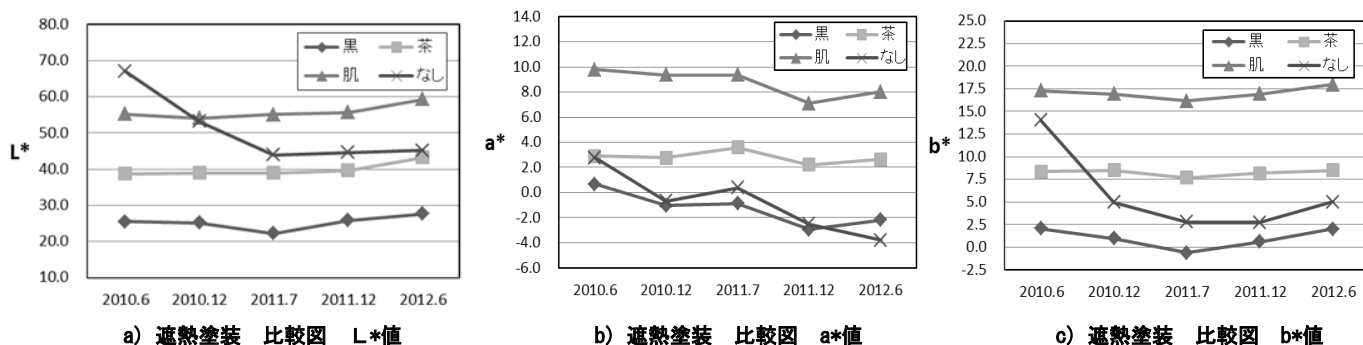


図7 遮熱塗料による表面保護効果 L*値 a*値 b*値 比較図 (人工さくら Sn)

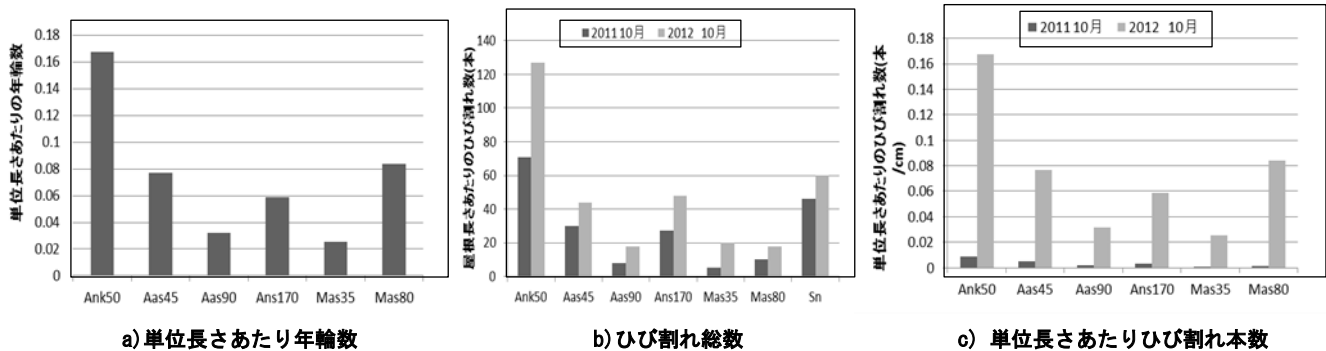


図 8 表面ひび割れ性状

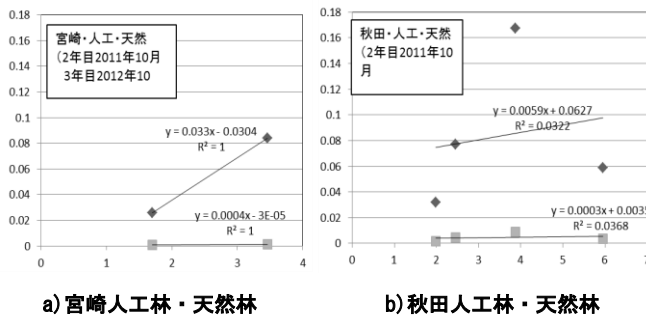


図 9 地域別暴露年数劣化予測

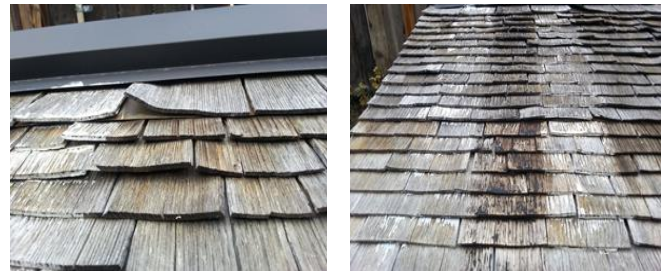


写真 1 表面剥離状況 Ask50 (秋田栗 50 年)

2.9 こけら板のひび割れの特性

こけら板の定めた箇所のひび割れを測定し、その数を比較する。図 8 の a は材の単位長さあたりの年輪数である。これまでの研究で年輪の多いものにひび割れが多く発生するのが分かっている。図 7 の b はひび割れの総数を昨年の結果と比較したものである。秋田栗は去年に引き続き多くひびが発生し変形も大きかった。全体的に塗装がまだ剥離していない部分は剥離した部分に比べてひび割れが少なかった。これは塗料がこけら板の表面を保護し紫外線や雨などから木材の細胞破壊を防ぎひび割れを防いだと考えられる。

2.10 地域別暴露年数劣化予測

図 9 は材の産地別でひび割れの傾向を検証したものである。宮崎杉は気候がよく成長が速い。そのため目が粗く単位当たりの年輪の数が少ないのが特徴である。一方の秋田杉は比較的、目が細かく単位当たりの年輪数が多い。年輪数が多いために秋田杉に多くひび割れが確認されてきたが、調査開始から 3 年が経過した現在は宮崎杉に多くひび割れが起きる傾向がありひび割れ発生までの周期が宮崎杉の方が遅いことが確認された。

3 まとめ

- 1) 実験開始直後から 4 ヶ月目まで L 値は上昇する傾向にある。
これは紫外線により、こけら板内に含まれるリグニンが破壊され、その成分が雨などで流れ本来的色が流れ出ることに
より発生する現象だと考えられる。
- 2) 紫外線によるリグニンの破壊を改質処理により遅らせることができた。特にアクリルシリコン系塗料、遮熱塗料による

表面塗装処理は効果的であった。一方伝統塗料系は効果が見られなかった。

- 3) フッ素樹脂系遮熱塗料は高い表面保護効果があることが確認できた。塗料の色や性能を上げることで実用化できる可能性があると見える。
- 4) 年輪数が多いとひび割れ数が増える。宮崎杉は秋田杉よりひび割れの発生が遅いといえる。

参考文献

- 1) 田村雅紀, 清永美奈子, 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, pp.123-126, 学術講演会研究発表論文集, 日本建築仕上学会, 2009
- 2) 森田泰代, 田村雅紀, 山本博一, 後藤治, 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状、日本建築学会関東支部 2011
- 3) 木口 実 木材の気象劣化と耐候処理 木材保存 Vol.19-6 1

謝辞

本研究に際し、熊谷産業、石川工務所、に多くの協力を頂いた。本研究は、科研費基盤(A) (文化財建造物の保存に必要な木材及び植物性資源の安定確保の基礎的要件に関する研究：代表山本博一)、工学院大学総合研究所研究費(伝統的建造物の維持保全に資する資材改質技法の開発：代表田村雅紀)による。

工学院大学工学部建築学科 4 年

-
- *1 工学院大学工学部建築学科 4 年
 - *2 工学院大学建築学部建築学科・准教授・博士 (工学)
 - *3 工学院大学建築学部建築デザイン学科・教授・博士 (工学)
 - *4 東京大学大学院新領域創成科学・教授・博士 (農学)