

屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状の評価

1. 材料施工

16. 部位別材料・仕上げ・性能評価 a. 屋根

準会員 ○ 森田泰代^{*1}

正会員 田村雅紀^{*2}

正会員 後藤治^{*3}

正会員 清永美奈子^{*4}

伝統的木造建築、こけら葺き、汚れ、ひび割れ、色彩

1. はじめに

こけら葺き屋根は伝統的木造建築に用いられている。しかし近年職人や天然林木の減少により、維持・保全が困難となっている。こけら葺きの葺き替えサイクルは約 25 年であるが、10 年で葺き替えなければならない状態に陥った家も存在する。こけら葺きの伝統的木造建築を日本の歴史として後世に残していく必要があると考えている。そこでこけら葺き屋根の耐久性を向上することにより、葺き替え周期の長期化を狙う。周期を長期化することにより、材の使用量を抑制することができる。そしてこけら葺き屋根の、新しい維持・保全システムの確立を目指す²⁾。本研究では実験を行うために実際にこけら葺き屋根を葺き、時間経過に伴う塗装剥離状態や材の汚れ、物理的変状を評価する。

て樹齢の異なる人口林の秋田県産杉や宮城県産杉、自然林の秋田県産栗、長野県産さわら等、計 7 種を使用している。全部のこけら台に、材料ごとに任意の記号を振った。以下、その記号で試験体と呼ぶ。

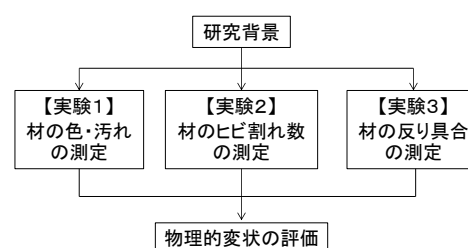


図1 研究の流れ

2. 研究概要

2.1 屋外暴露条件

図1に研究の流れを示す。本実験は山梨県甲州市にすでに組み立てられている、屋外暴露試験体を用いる。²⁾³⁾こけら葺き屋根を維持・保存するためには、こけら葺き屋根の耐久性を向上させる必要がある。そのため表面に保護効果のある薬剤を塗装し、各試験体の耐久性を評価する。本実験は2009年12月から2020年1月の10年間の長期耐久性向上実験である。私は施工後2年間の物理的変状と表面保護効果のデータを測定し、評価する。

2.2 こけら台の種類

表1に実験に使用するこけら台の種類を示す。材料とし

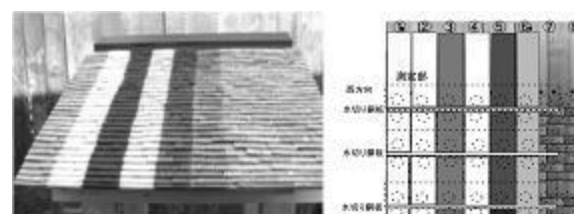


写真1 塗装処理後の試験体 図2 水切り銅板の位置

表3 実験項目と方法

	実験項目	実験方法
実験1	こけら板の色彩・汚れ測定	色差計を用いて値を測定
実験2	こけら板の端部ひび割れ劣化測定	定めた箇所のひび割れ数を目視で測定
実験3	こけら板の変形アスペクト比測定	定めた箇所の板の長さ、下段の材からの距離を測定

表1 こけら台の種類

記号	種類	平均幅 (cm)*1	年輪数 (個)*2	屋根長さ (cm)*3
Aas 45	人工秋田杉(45yr)	9.50	23.2 5	593.1
Aas 90	人工秋田杉(90yr)	89.8	17.8 0	595.4
Ans 170	天然秋田杉(170yr)	9.49	56.5 0	751.6
Ank 50	天然秋田栗(50yr)	9.13	35.4 0	832.3
Mas 35	人工宮崎杉(35yr)	11.19	20.2 0	831.9
Mas 80	人工宮崎杉(80yr)	9.83	34.0 0	928.0
Sn	天然さわら			750.2

表2 表面塗装処理条件

No	種類/塗布回数	色	回数	効果
処理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
処理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ポキシ-増大による紫外線対策
処理3	無・有機スチレン系	黒	クリア/黒	防カビ効果と黒化による熱吸収検証
処理4	無・有機スチレン系	白	クリア/白	防カビ効果と白化による反射対策
処理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
処理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
処理7	なし(銅板水切り)	—	0回	銅板水切りの蓄熱影響検証
処理8	なし	—	0回	基準試験体

*1 () の中は樹齢を表している。平均幅はこけらの小口部分の長さである。*2 平均幅に対する年輪数。
*3 屋根長さはひび割れ、変形アスペクト比で測定した箇所の長さを足したもの。

2.3 実験内容と方法

表 2 に表面塗装処条件、表 3 に実験項目と方法を示す。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 6 種類と、無塗装の 2 種類の計 8 種類を評価する。以下薬剤の種類を 1～8 の番号で示す。写真 1 は塗装当初の写真である。左から処理 1 から順に塗装されている。重要文化財等のこけら葺きには、水切りのために銅板が差し込まれている。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ために、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。色彩・汚れを評価するほかに、材のひび割れや変形アスペクトも評価する。

3. 実験結果および考察

3.1 屋外暴露 2 年後のこけら板の色彩劣化特性

写真 2 にこけら板の測定状況を、図 3 に $L^*a^*b^*$ の概念図を示す。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、測定を始めた 2009 年 12 月～2010 年 12 月、2011 年 5 月～12 月に測定したものを使用している。

図 4 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 4 の a) b) の a^* 値、 b^* 値のグラフを見ると、共に値が 0 に収束している事がわかる。これは

色が落ち、無彩色に近付いていることを表す。

図 4 の a) の L^* 値のグラフについて値が下がっているものは材が汚れて暗くなり、明度が下がっていることを表す。しかし処理 3 だけは値が上がっている。これは塗装した薬剤が黒で材よりも暗い物を使用しているためである。塗装が剥離し始めたことにより、材自体の明るい色が現れ値が高くなった。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。

図 5 には Mas35 の銅板による時間軸に対する色彩の変化を示す。銅板の有無による色・汚れの変化がするのかが評価する。塗装してない部分（処理 7・8）を比較した。図 5 の a) b) の a^* 値 b^* 値は両方の値がほぼ同じ動きをしている。5 の c) の L^* 値だけは両方のグラフが重なり合っていて、まったく同じ下がり方をしている。これは銅板の有無は、汚れや色には関係ないことを示している。



写真 2 測定状況

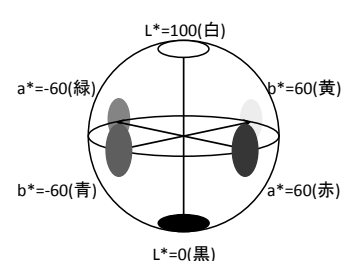


図 3 $L^*a^*b^*$ 表色系概念図

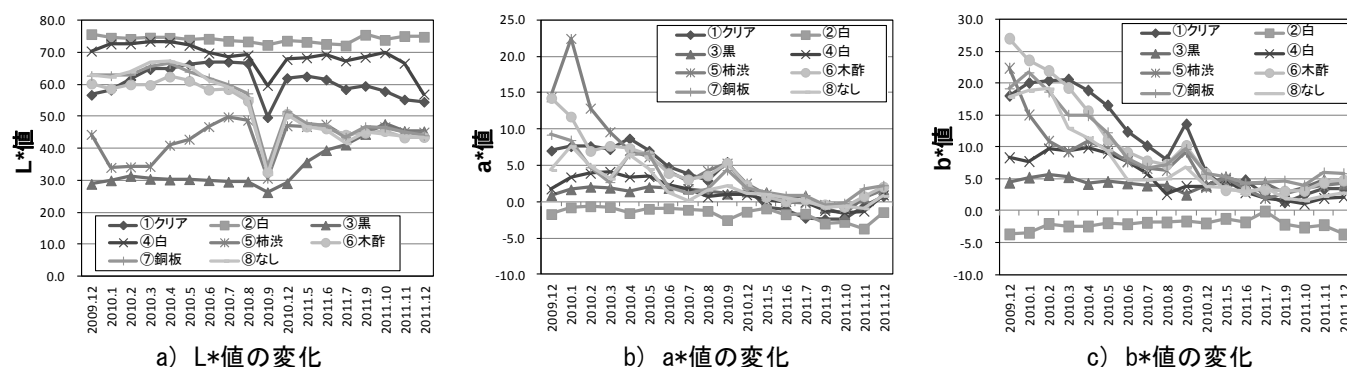


図 4 Mas35 (宮崎杉 35 年)・改質処理ごとの時間変化に対応する色彩値の特性

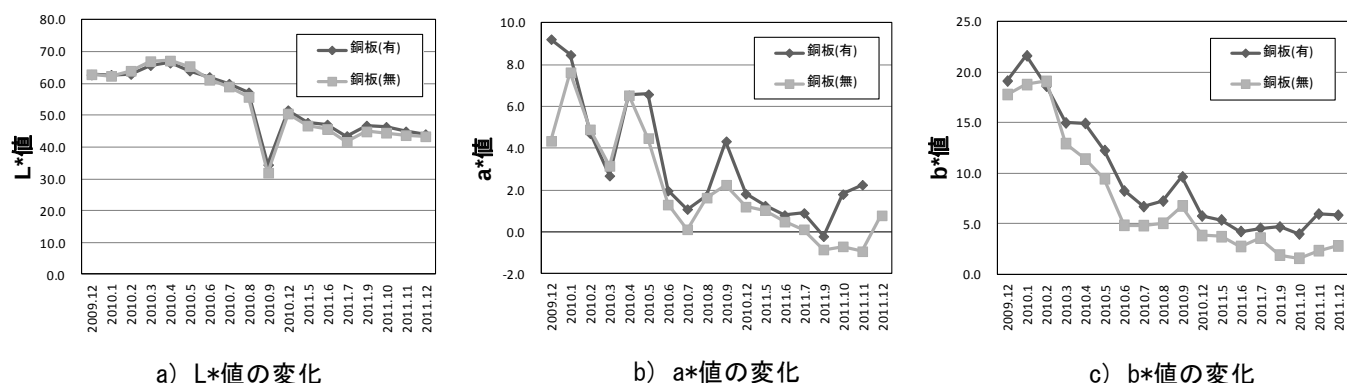


図 5 Mas35 (宮崎杉 35 年)・銅板有無による時間変化に対応する色彩値の変化 (改質処理無し)

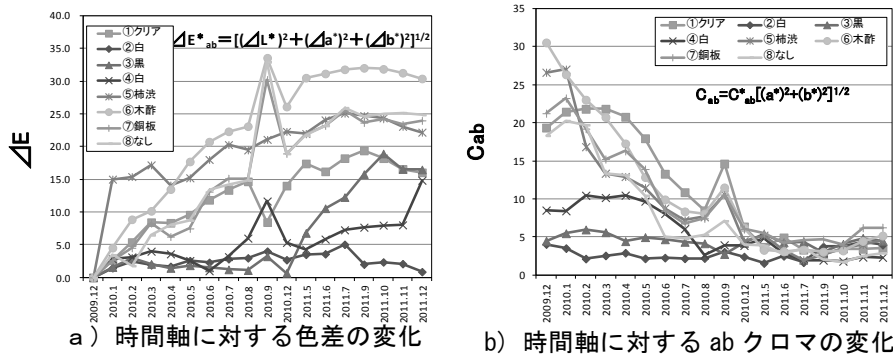


図 6 Mas35 (宮崎杉 35 年)・塗装後からの変化

表 3 色彩及び材質の劣化

種類	劣化内容
Sn	処理 3 以外の薬剤は剥離している。材の中で一番板が平で変化がほぼみられない。
Mas80	処理 2 は残っており、処理 3・4 はほぼ剥離している。一部の材が浮き始めた。
Ms35	処理 2 は残っているが、処理 3・4 は剥離し始めた。一部の材が浮き始めた。
Ank50	処理 2 は剥離しているが、処理 3・4 は残っている。全体的に材が浮いて反っており、表面が凸凹している。
Ans170	処理 2・4 は。処理 3 が僅かに残っている。一部の材が浮き始めた。
Aas90	処理 3 は剥離し始めたが、処理 2・4 は材がうねり、全体的に歪んでいる。
Aas45	材の中で一番板が残っている。材が浮き始め、少し表面が凸凹している。

図 6 には色差と ab クロマの変化を示す。色差を求めることにより、塗装後と現在の材の値の差から、塗装後から色がどの程落ちたのかを読み取ることが出来る。図 6 の a) に記載している式を用いて色差は求められる。色差のグラフは時間が経つにつれ、値が大きくなっていく事がわかる。これは塗装が剥離し材が汚れ、塗装後と現在の材を比較して色が大きく変化しているという事を表す。一番塗装の剥離が見られない白は、塗装後から色の変化も少ないため値が変化しない。図 6 の b) に記載されている式を用いて、色彩・彩度を表す ab クロマ (C_{ab}) は求められる。色味が落ちて無彩色に近づいていることがわかる。

3.2 屋外暴露 2 年後の状態変化

3.2.1 表面の物理的变化

写真 3 は 2011 年の 12 月に試験体を撮影したものである。試験体の状態を物理的に見て施工直後の状態から変化した部分を比較した所、以下のように感じた。

塗装処理後の写真 2 と 12 月現在の写真 3 を比較してみると、塗装の剥離が一目瞭然である。薬剤はこけら材を保護し、材の耐久性を向上する目的のために薬剤を塗布した。それなのに塗装は 1 年半でほぼ剥離しまった。特に処理 5 の柿渋液と処理 6 の木酢液は全て剥離し、跡も残っていなかった。どの種類の木材も現在剥離のあまり見られない塗装は、白い薬剤のみである。特に処理 2 の高耐久性アクリル系の薬剤が剥離していない。処理 3 の黒も多少は残っているがほぼ剥離している。そして薬剤が剥離しただけでなく、材は汚れ黒ずんでしまっている。

3.2.2 こけら板のひび割れ性状

試験体を施工して 2 年経ち、材の断面にはひび割れが発生し始めた。定めた箇所のひび割れを測定し、その数を比較する。水切り銅板が差し込まれた 3 箇所の上下の板 6 列、銅板の差し込まれた箇所の中間 2 列の計 8 列を測定箇所として定め測定した。塗装がまだ剥離していない部分は表面が薬剤で覆われているため、ひび割れはほぼ存在しなかった。

図 7 の a) は定めた箇所の断面ひび割れの数と、屋の長さあたりの数をグラフに示す。人工林木の中では Aas170 が多いものの、人工林木よりも自然林木の方がひ



a) Ank50 (秋田栗 50 年) b) Mas35 (宮崎杉 35 年)

写真 3 屋外暴露試験体 (施工後 2 年) の色彩状態

び割れしていることがわかる。自然林木は細かく細いひびが入っていたが人工林木は大きめのひびが入っており、すでに材が割れている部分もあった。人工林木はひびが入ると、すぐ割れてしまう可能性があると考えられる。図 7 の b) は定めた箇所の板の長さを測定し、板 1 枚に対するひび割れ数を板の長さで割り、1cm あたりのひび割れ数を示す。人工林木は全体に少しずつヒビが入っていたが、自然林は特定の箇所にはひびが集中しており、ひびが入っていない箇所も多かった。そのため全体でみると数が多かった自然林は、単位長さあたり数にすると人工林木よりも数が少ない結果になった。

図 7 の c) 過去の論文¹⁾に記載されている材 1 枚あたりの年輪数 (個) を平均幅 (cm) で割り 1 cm あたりの年輪数を示す。Sn が省かれている理由は、過去の論文に Sn の年輪数や平均長さが記載されていないためである。

図 8 は、図 7 の c) で求めた単位長さあたりの年輪数と、単位長さあたりのひび割れ数を用い、杉材のみを一次関数で示した。単位長さあたりの年輪数が多いものほど、単位長さあたりのひび割れ数が増えることがわかる。これは年輪数が多いものほどひびが入りやすいことを表している。宮崎杉と秋田杉を比較してみると、宮崎杉は傾きが緩やかで、秋田杉は傾きが急である。これは秋田杉より宮崎杉の方がひび割れの発生が起きにくいことを表す。ひび割れには年輪数や幅に応じた限界量が存在する。しかし今回は一年目で、時間変化に伴うひび割れは初期段階なので、線形に変化する推定式で評価する。

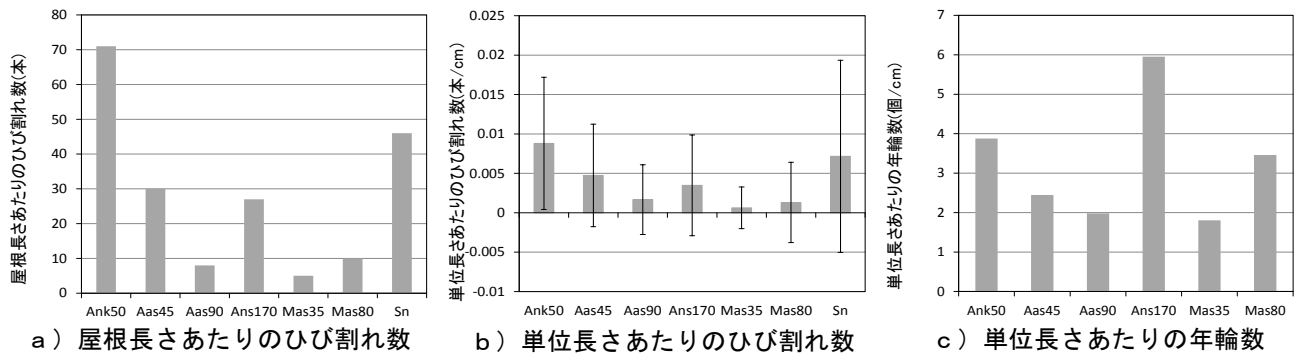


図 7 Mas35 (宮崎杉 35 年)・断面ひび割れ数

3.3 屋外暴露 2 年後のこけら板の変形状

図 9 に変形アスペクト比、図 10 に単位長さあたりの変形アスペクト比を示す。試験体を施工してから 2 年経ち、材が反り始めている。ひび割れを測定した箇所と同じ箇所の材の反りを調べて種類ごとに比較した。方法として、板の横の長ささと材が反り浮いている高さを測定し、長さを高さで割ったものをグラフに示し、比較する。

目で見える限りでは一番反りが酷いのは Ank50 だと思っていたが、図 10 を見ると実際に酷かったのは Mas35 という結果が出た。Ank50 は上部の材の一部が大きく反るだけで、全体的に反っているのは Mas35 だということがわかった。Sn は一番反りが少なく、見た目も綺麗である。人工林より自然林木の方が変形アスペクト比の値が小さい。測定の結果、現段階では自然林木の方が反りにくいというところがあった。

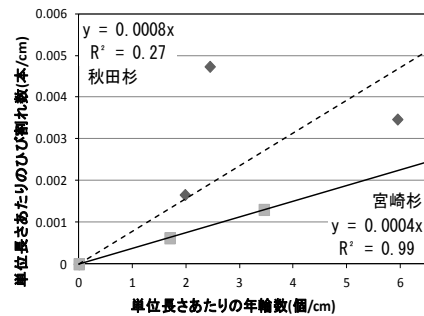


図 8 単位ひび割れ数の測定による推定式

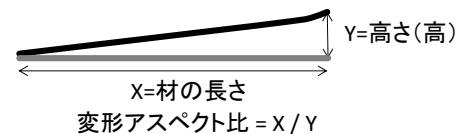


図 9 変形アスペクト比

4. まとめ・今後の予定

- 1) 色差計を用いて測定したところ、塗装直後と比較して色味が落ち無彩色に近づき、そして汚れていることがわかった。
- 2) 銅板の有無による色、汚れの変化はみられなかった。
- 3) 年輪数が多いとひび割れ数が増える。秋田杉よりも宮崎杉の方がひび割れの発生が起きにくい。
- 4) 変形アスペクト比は人工林と比較して、自然林木の方が値が小さく、材が反りにくい。
- 5) 今後も材の色や汚れ、板のヒビ割れ性状や変形状を測定し、材の色や汚れ、変状を見ていく。今後は材の一部を破壊する微破壊試験、破壊試験を行いたいと検討している。実際に塗装することにより、材が保護され耐久性が向上するのかなどを検証していく。

謝辞

本研究に際し、熊谷産業、株式会社石川工務所に多くの協力を頂いた。本研究は、H23 年度科研費基盤(A) (文化的価値のある伝統的木造建築物を維持するための植物性資材確保の基礎的要件の解明：代表山本博一・東京大学)、工学院大学 UDM, P J 研究による。

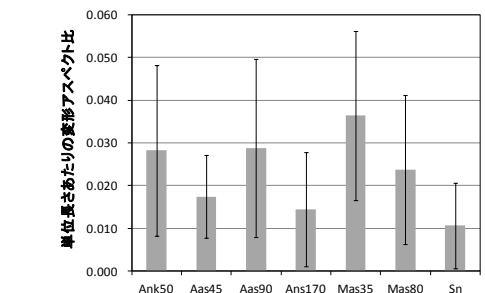


図 10 単位長さあたりの変形アスペクト比

参考文献

- 1) 田村雅紀、後藤治、山本博一、清永美奈子：伝統的木造建築に用いるこけら材の硬度維持・保存技法に関する研究その 3、2009 年大会学術講演会研究発表論文集 pp. 123-126
- 2) 清永美奈子、田村雅紀、後藤治、山本博一、高塚里美：伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存に関する研究その 5、2010 年大会学術講演会研究発表論文集、pp. 151-154
- 3) 清永美奈子、田村雅紀、後藤治、山本博一、高塚里美：伝統的木造建築に用いられるこけら材の高度維持・保存に関する研究その 6、2011 年大会学術講演会研究発表論文集、pp. 225-228

- *1 工学院大学建築学科・学部 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(博士)
- *4 工学院大学大学院工学研究科建築学専攻・修士 2 年