

## 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状の評価

伝統的木造建築、こけら葺き、汚れ、ひび割れ、色彩

森田泰代\*1, 田村雅紀\*2, 後藤治\*3, 山本博一\*4, 清永美奈子\*5

### 1. はじめに

こけら葺きは伝統的木造建築に用いられている、屋根の葺き方の一種である。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、半分の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自体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目指す。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。そうする事により、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<sup>1)</sup>。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。

### 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。<sup>2)3)</sup>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に実験に使用した材料の種類を示す。使用材料として樹齢の異なる人工林木の秋田県産杉や宮城県産杉、天然林木の秋田県産栗、長野県産さわら等、計7種類を使用している。栗材は秋田で用いられた実績があるため、広葉樹だが使用した。重要文化財等ほとんどには、さわらが用いられている。全部のこけら台に、使用材料ごとに任意の記号を振った。以下、その記号で試験体を呼ぶ。

### 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の表面に塗装を施し、その表面の耐久性が向上するか実験する。塗装する薬剤は、現在建物の耐久性向上のため使用されている薬剤を用いることとする。薬剤を塗った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。

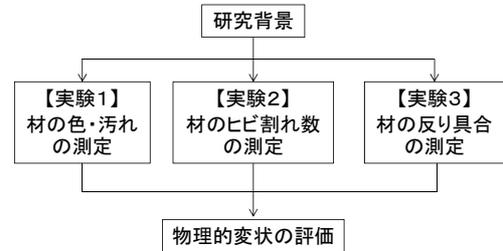


図1 研究の流れ

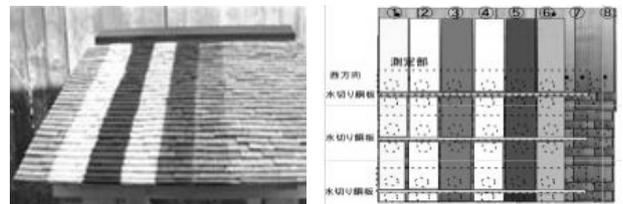


写真1 塗装処理後の試験体 図2 水切り銅板の位置

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       | 23.25     | 593.1       |
| Aas 90  | 人工秋田杉 (90yr)  | 89.8       | 17.80     | 595.4       |
| Ans 170 | 天然秋田杉 (170yr) | 9.49       | 56.50     | 751.6       |
| Ank 50  | 天然秋田栗 (50yr)  | 9.13       | 35.40     | 832.3       |
| Mas 35  | 人工宮崎杉 (35yr)  | 11.19      | 20.20     | 831.9       |
| Mas 80  | 人工宮崎杉 (80yr)  | 9.83       | 34.00     | 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    | シロキサ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ｲﾝﾃﾞｰ増大による紫外線対策 |
| 処理③ | 無・有機ｲﾝｸ系     | 黒   | ｸﾘｱ/黒 | 防ｶﾞｰ効果と黒化による熱吸収検証            |
| 処理④ | 無・有機ｲﾝｸ系     | 白   | ｸﾘｱ/白 | 防ｶﾞｰ効果と白化による反射対策             |
| 処理⑤ | 柿渋液          | 茶   | 4回    | 柿ﾀﾝﾝ(糖のｲｽﾃﾙ結合+芳香族分子)による防腐対策  |
| 処理⑥ | 木酢液          | 茶   | 4回    | ﾘｸﾞﾝ、ﾌｪ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。

\*1 工学院大学建築系学科・学部生 \*2 工学院大学建築学部・准教授 \*3 工学院大学建築学部・教授  
\*4 東京大学・教授 \*5 工学院大学大学院建築学専攻・修士

### 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3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の時間軸に対する色彩の変化を示す。図4のb) c)のa\*値、b\*値のグラフを見ると、共に値が下がり、0に収束している事がわかる。これは色が落ち、無彩色に近づいていることを表す。一部値が高くなっている部分は、天候によるものと推測する。雨が降ると材が濡れることにより、色味が出てくる。そのために値が高くなったと考えられる。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、塗装が剥離し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とが読み取れる。これは塗装した薬剤が黒で材よりも暗い色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、塗装直後から値の変化がほぼ見られない。一部値が下がっている部分があるが、図4のb) c)と同様に、天候によるものと推測する。雨により材が濡れることで材の色が暗くなり、明度が下がったものと考えられる。

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b) c)のa\*値 b\*値は両方の値がほぼ同じ動きをしている。図5のa)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。

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、値が小さいままである。図6のb)に記載されている式を用いて、色彩・彩度

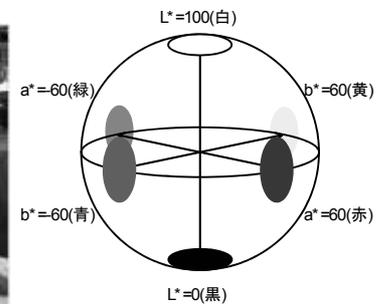


写真2 こけら板の測定状況 図3 L\*a\*b\*表色系の概念図

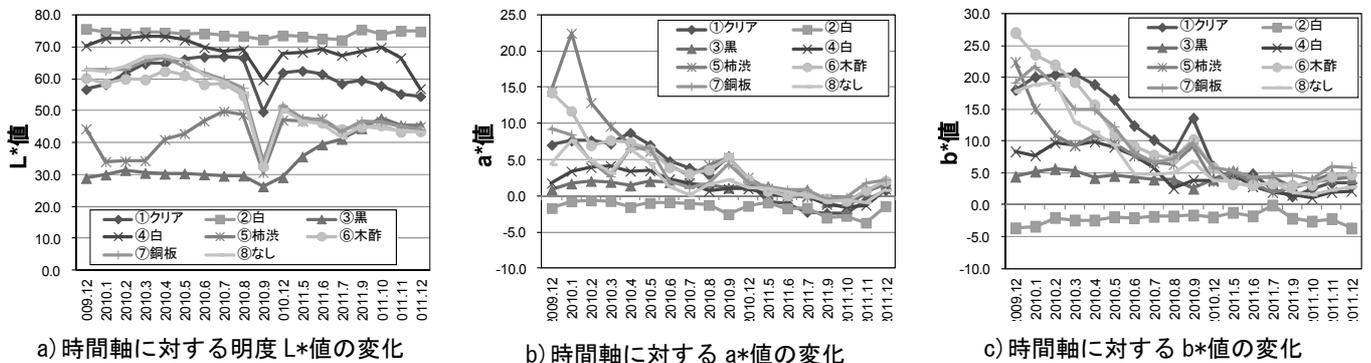


図4 Mas35 (宮崎杉 35年)・時間軸に対する色彩値の変化

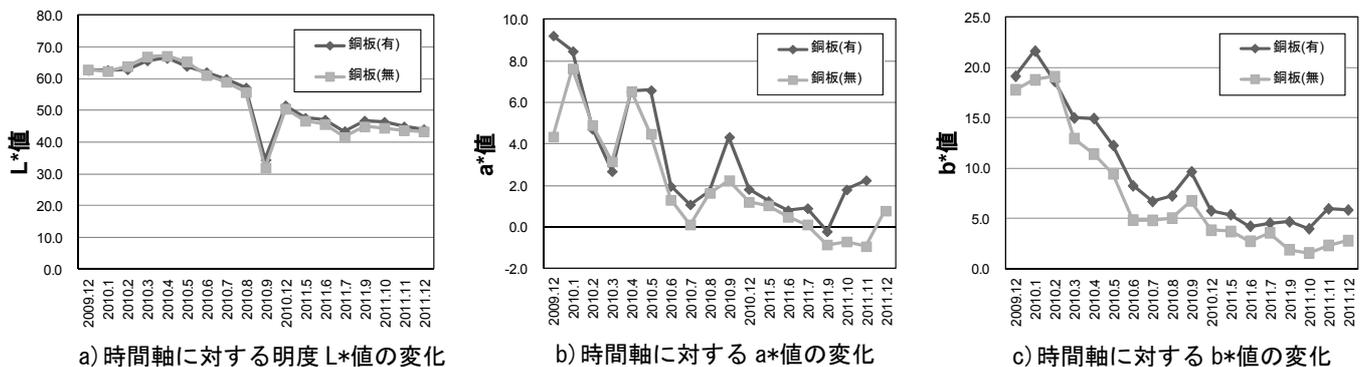
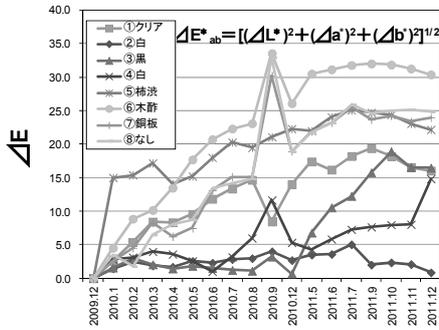
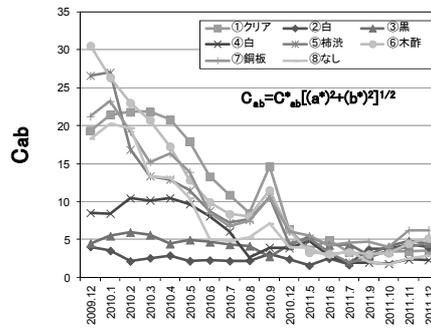


図5 Mas35 (宮崎杉 35年)・銅板による時間軸に対する色彩値の変化



a) 時間軸に対する色差の変化



b) 時間軸に対する ab クロマの変化

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。材の中で一番材が平で変化がみられない。               |
| 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  | 材の中で一番色が残っている。材が浮き始め、少し表面が凸凹している。                 |

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、写真4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4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、材が汚れ黒ずんでしまっている。写真4を見てみると、材が反ってしまっている。これは Ank50 に限ったことではなく、他の試験体も同様に材の反りが見られる。

#### 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、材の断面にはヒビ割れが発生し始めた。定めた箇所でのヒビ割れを測定し、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、ヒビ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ヒビ割れの数を測定し、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 が多少多いものの、人工林木よりも自然林木の方がヒビ割れしていることがわかる。自然林木は細かく細いヒビが入っていたが、人工林木は大きめのヒビが入っており、すでに材が割れている部分もあった。人工林木はヒビが入ると、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枚に対するヒビ割れの数を板の長さで割り、1cmあたりのヒビ割れ



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



写真4 Ank50（秋田栗 50年）の反り

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ヒビが集中しており、ヒビが入っていない箇所も多かった。そのため全体で見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<sup>1)</sup>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1cmあたりの年輪数を示す。Snがグラフに含まれていない理由は、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多くなることがわかる。これは年輪数が多いものほどヒビ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。これにより、秋田杉より宮崎杉の方がひび割れが発生しにくいことがわかる。今後も測定していくことにより、傾きは更に急になるとと思われる。

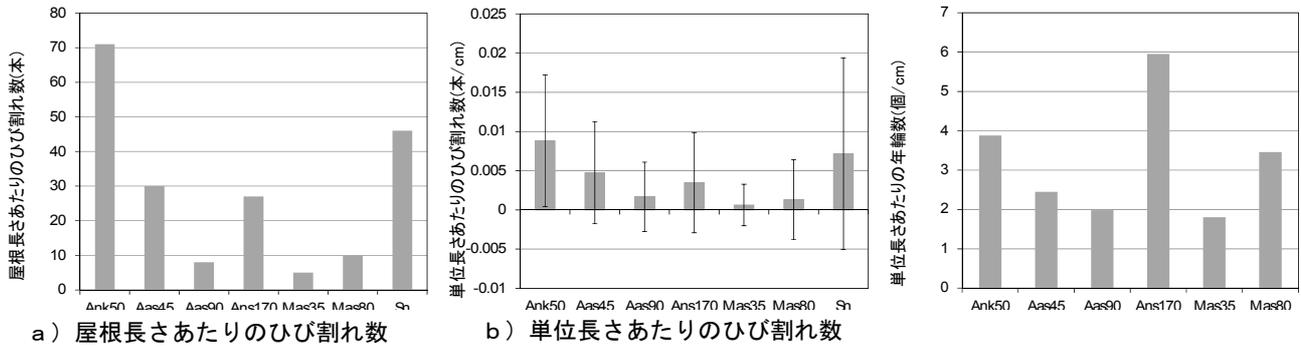


図7 Mas35（宮崎杉 35年）・断面ひび割れ数

### 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。ヒビ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、板の横の長さで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、现阶段では自然林木の方が反りにくいということがわかった。

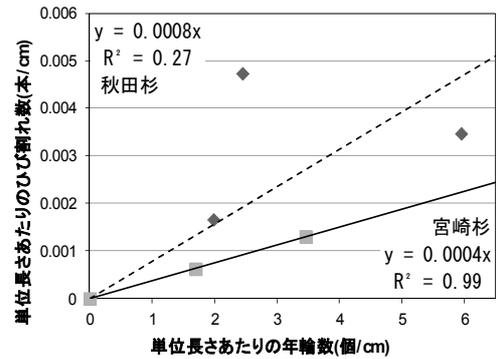
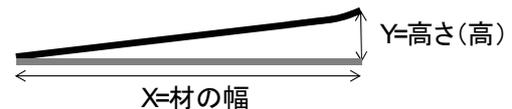


図8 単位ひび割れ数の測定による推定式



$$\text{変形アスペクト比} = X / Y (\%)$$

図9 変形アスペクト比

### 4. まとめ

- 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、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多くなる。秋田杉よりも宮崎杉の方がひび割れが発生しにくい。
- 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。

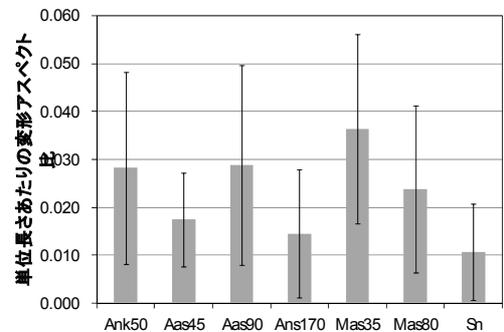


図10 単位長さあたりの変形アスペクト比

今後も材の色や汚れ、板のヒビ割れ性状や変形性状を測定し、色や材の変状を見ていく。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、本実験よりも詳しく検証していく。

### 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、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）、工学院大学UDM, P J 研究による。

### 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