

伝統的木造建築に用いる柿葺き材の物性分析と改質処理による
持続的保全技法に関する研究 その2 こけら台の屋外暴露試験の概要

1.材料施工ー 7. 有機系材料・工法・工事
伝統的木造建築、屋根、柿葺き、屋外暴露試験

準会員 ○ 清永美奈子*1 正会員 田村雅紀*2
正会員 後藤治*3 非会員 山本博一*4
正会員 高塚里美*5

1. はじめに

その1に続き、伝統的木造建築の屋根材として古来から用いられてきたこけら材に関して、天然材が不足してきたこと、こけらを作製することができる伝統職人が激減してきた社会環境を踏まえ、その新しい持続的な保全技法を開発するために、こけら材の改質処理をおこなう。そして、実際の屋根材となるこけら台を作製し、伝統工法を用いた建物が多く残っており、近くには茅葺き集落も存在する山梨県甲州市塩山で2009年12月から2020年の1月の10年間に渡り屋外暴露試験を実施した。

暴露試験においては、天候、気温・湿度、部材内部の温湿度、紫外線強度、表面の退色度、表面の水分量等の材料物性評価を行い、継続的にその分析を行う。

なお、今回の暴露試験では、こけら台の初期状態を測定するため、表面に塗装処理を施し、その表面の長期耐久性も実験・評価を行うための最初の確認をおこなった。また、同時に室内促進試験を実施しており、促進劣化による評価の結果と、暴露試験による結果との相関を検討することも視野にいれる。

2. 試験概要

2.1 使用材料

使用材料を表1に示す。記号はこけら台の記号であり、秋田杉、宮崎杉の天然林材、人工林を中心に、重要文化財等でもちいられているさわら材、その他、広葉樹で強度があり伝

統的にもちいられてきた栗材などによる、全7種類のこけら材を使用した。

図1にこけら台の試験概要を、写真1にこけら台の状況写真を、表2に表面塗装処理条件を示す。こけら台には、アクリルシリコン系の塗布剤による現代的技術をもちいたもの、建材の防汚剤等にもちいたれてきた渋柿液、木酢液などの伝統的材料ももちいる。また、こけら材の伝統技法として、水切り用の銅板をしくが、これが夏による熱の保持による劣化、保水による腐食の促進要因になる可能性があるため、定間隔ごとに、銅板を敷いた。以上の8水準の塗装状態と銅板の有無の影響がみられるような試験体を作製し、その表面および内部の長期耐久性に関わる実験・評価を行った。

2.2 試験項目

表3に試験項目を示す。屋外暴露気象データは、気象観測装置により、2020年の1月をはじめとする2030年1月までの10年間に渡り連続測定をする。こけら表面紫外線強度、こけら表面温度、こけら表面退色度は、1-2週間おきに測定を継続し、こけら内部温湿度は内部センサーによる自動測定とする。また、こけら表面水分量測定、木材組織劣化度なども適宜実施する。

2.3 屋外暴露気象データ

2009年12月から2020年1月までの10年間暴露したときの天候、風速、雨量を測定を開始している。測定により、暴露環境を客観的に示し、天候や雨量が劣化状況に与える影響を分析する。

表1 使用材料と測定部厚さ

記号	種類	屋根厚さ／セル深(mm)
As46	秋田杉 樹齢約46年	39/17mm
As90	秋田杉 樹齢約90年	41/18mm
As170	秋田杉 樹齢約170年	37/20mm
Ak50	秋田栗 樹齢約50年	37/19mm
Ms35	宮崎杉 樹齢約35年	51/24mm
Ms80	宮崎杉 樹齢約80年	43/22mm
S	さわら	35/17mm

表2 表面塗装処理条件

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	シヤリ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・有機ステイン系	黒	ｸﾘｱ/黒	防カビ効果と黒化による熱吸収検証
4	無・有機ステイン系	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(銅板水切り)	—	0回	銅板水切りの蓄熱影響検証
8	なし	—	0回	基準試験体

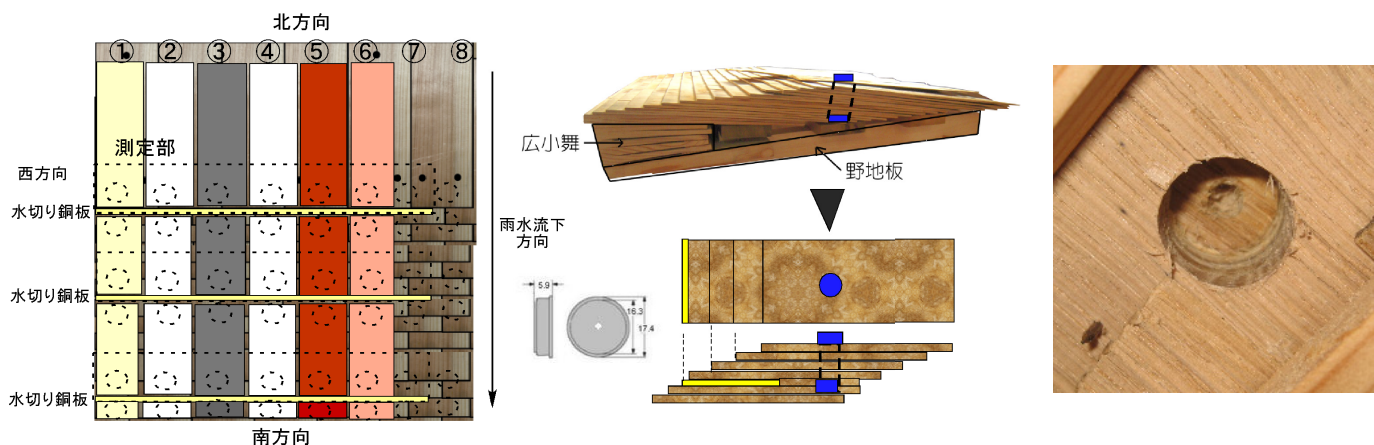


図1 こけら台暴露試験の概要



写真1 こけら台暴露試験状況



表3 屋外暴露試験項目と内容

試験項目	内容
屋外暴露気象データ	山梨県塩山市において、2009年12月～2020年1月（暴露期間：10年間）における天候、風速、雨量の測定を行う
こけら表面紫外線強度	こけら台における屋根面（日差しあり・なし）の日射垂直面の平均紫外線強度($\mu\text{W/cm}^2$)を、月2回の割合で測定する
こけら表面温度	赤外線放射温度計を用い、8種類の表面材料改質部分に対し、温度を測定する。また、銅板の蓄熱の影響を表面温度より評価する
こけら表面退色度	材表面の汚れ、退色をコニカミノルタ色彩計(CR-13)を用いて測定する。JIS Z 8701 表面色 XYZ 三刺激値より $L^*a^*b^*$ 表色系に変換し、評価する
こけら内部温湿度	温湿度センサーを用いて、こけら屋根の内部に孔をあけて、木材の吸放湿の影響をみると同時に、外部の温度($^{\circ}\text{C}$)・相対湿度(%RH)を12回/24時間自動測定する
こけら表面水分量測定	電気伝導率評価式水分計を用い、気象状況を考慮した保水状態を水分量で測定・評価する、材の種類により、微細空隙構造が相違するため、その影響を評価する
木材組織劣化度	示差熱・熱重量分析(島津 TG-DTA)を用い、紫外線等劣化による有機成分の熱的抵抗性を評価する。セルロース以外のリグニン等は、熱劣化の要因となるため、材種により影響がでるといえる



a)材料改質状況



b)紫外線強度測定



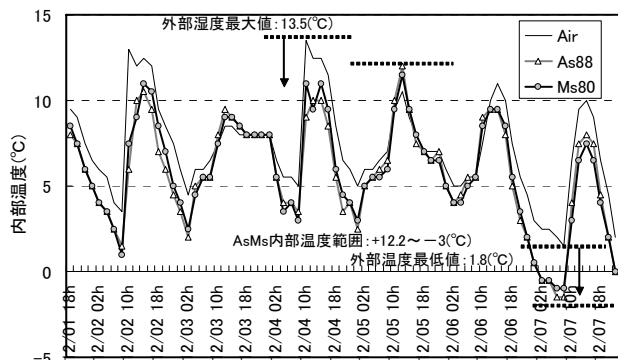
c)表面温度測定



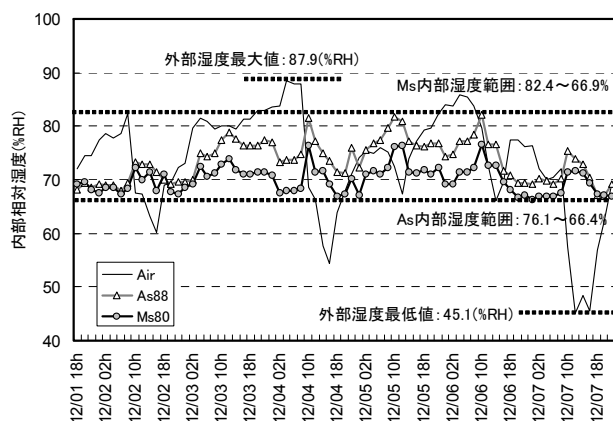
d)表面退色度測定



e)内部温湿度測定



a) 内部温度



b) 内部湿度

図1 厳寒期におけるこけら台内部の温湿度計測例
(秋田 As90 および宮崎 Ms80 シリーズ)

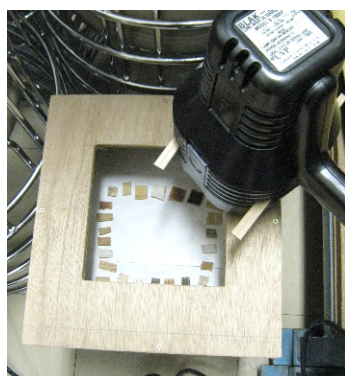


写真2 紫外線促進劣化試験

2.4 表面水分量の計測

長期に渡り、吸水性に関わる材質の劣化度を評価するために、測定を継続する。今後、改質処理、材種ごとにデータを整理する。

2.5 紫外線強度

屋根面への日差しの有無、日射垂直面の平均紫外線強度

を月2回ほど測定する。季節間の紫外線強度の違いを把握し、材の劣化度の評価要因とする。なお、室内促進劣化試験との相関も図る。

なお、12月15日正午では、平均紫外線強度は(日影、日射、日射垂直面) = (696、1056、3590 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$])であった。この値は冬の日の平均紫外線強度なので、夏の場合では紫外線強度が高くなると思われる。その時の材の劣化状況に違いがあるかを調査するために紫外線強度の測定を行う。同時に、室内実験として、紫外線照射器を用いて、促進紫外線劣化試験(紫外線カーボンーク式、365nm、220W/m²)を実施中である。

2.6 内部温湿度の計測

図1にこけら台の内部温度、内部湿度の測定例を示す。12月は厳寒期に含まれる。測定の結果、内部温度は外気より全体に低く、特に最低気温が保持水分の影響によるのか、氷点下を下回る場合があることがわかった。内部湿度に関しては、木材に一般にいわれる調湿作用の影響が確認され、平均湿度75%程度で外気の湿度変化の変動よりも振幅が小さく変化する状態が継続したことが確認できた。

図1の計測例は12月のある1日なので、雨の日の場合や梅雨の時期、夏の時期によって、結果が変わってくると考えられる。また、10年間という長い期間の暴露試験なので、劣化状態によっても変わっていくのかを今後の計測でわかるのではないかと考えられる。

2.7 表面温度の計測

図2に、2009年12月15日正午(天候晴れ、気温7度、湿度59%、日陰面)に測定した平均表面温度を示す。縦軸は表面温度、横軸は表面塗装の色や種類を示している。全試験体の黒色表面の平均が12.8度であり、その他の表面温度よりも高い値であった。その他は、11度前後と安定していた。なお、黒色の場合は日射により1分程度で10度程度温度があがり、熱吸収性が高いことが確認された。夏では日射は強いので、黒色表面は表面温度がさらに高くなり、またその他の表面温度は冬に比べ、ばらついてくるのではないかと考えられる。よって、表面温度の高さにより、熱劣化が起きるか、また銅版の有無で温度の高さにどの程度違いがあるのかを調べる。

2.8 物体色の計測

図3、4より、色彩計を用いてJIS Z 8721のL*a*b*表色系で評価する。結果、図4のa)より、表面塗装処理によ

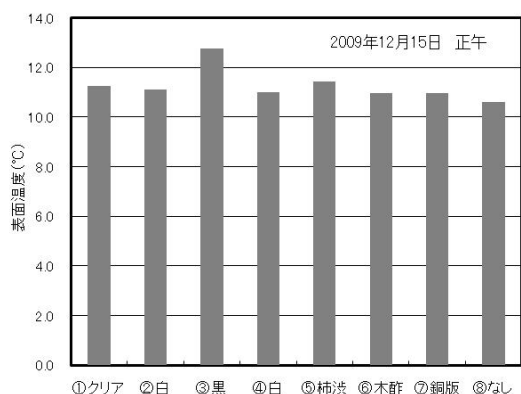


図2 こけら表面の平均表面温度

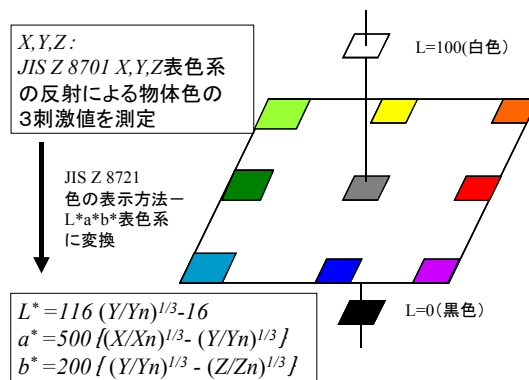
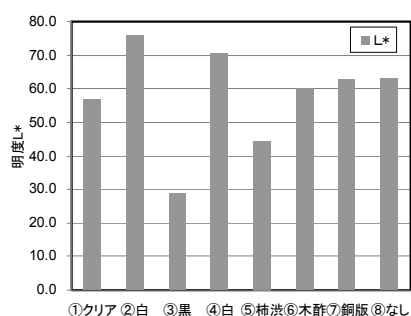
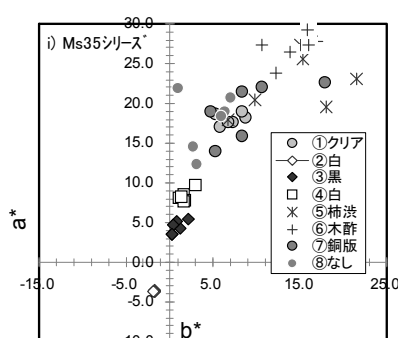


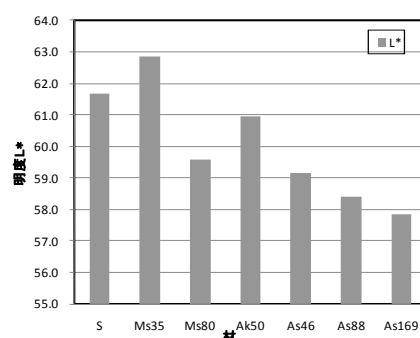
図3 $L^*a^*b^*$ 表色系の概念図



a) こけら各種処理のL*値の例



b) こけら各種処理のa*b*値の例



c) こけら台の塗装処理無のL*値の例

図4 こけら表面退色度の評価事例 (宮崎 Ms35 シリーズ)

り大きく明度 L^* が相違することが確認できる。また、c) では、若干ではあるが明度 L^* が相違することが確認できる。明度値の低下により退色・汚れが評価できる。また、 a^*b^* 値により色味の変化の影響を評価することができる。

2.9 組成構造変化の分析

TG-DTA 熱分析により、改質処理の違いを考慮し、長期的な材の劣化度を評価する。表面色や銅板による蓄熱・保水の影響により、リグニン等、植物繊維系有機物の熱抵抗が変化すると考えられる。

3. まとめ

本研究における山梨で開始した暴露試験は、2009年12月開始とし、2020年1月までの10年間に暴露期間とする。なお、これまでの検討の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 内部温度は外気より全体的に低くなることを確認できた。
- 2) 内部湿度は、外気の湿度変化の変動よりも振幅が小さく変化する状態が継続したことが確認できた。
- 3) 表面温度は、黒色表面が高く、その他の表面温度はほぼ同じ値であった。しかし、日射が強い夏ではもっと表面温度にば

らつきが出てくると考えられる。

- 4) 表面塗装処理により大きく明度 L^* が相違することが確認できた。また、こけら材ごとに若干ではあるが明度 L^* が相違することも確認できた。

今後は室内促進試験も実施し、促進劣化による評価結果と、暴露試験結果との相関を検討し、材料改質の効果を検証する。

謝辞

本研究に際し、有限会社熊谷産業 磯和亮治氏、株式会社石川工務所・柳通めぐみ氏、菊水化学工業株式会社 林昭人氏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。

- *1 工学院大学工学部建築学科・学部4年
- *2 工学院大学工学部建築都市デザイン学科准教授・博士(工学)
- *3 工学院大学工学部建築都市デザイン学科教授・博士(工学)
- *4 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授・博士(農学)
- *5 工学院大学工学研究科建築学専攻・修士1年・