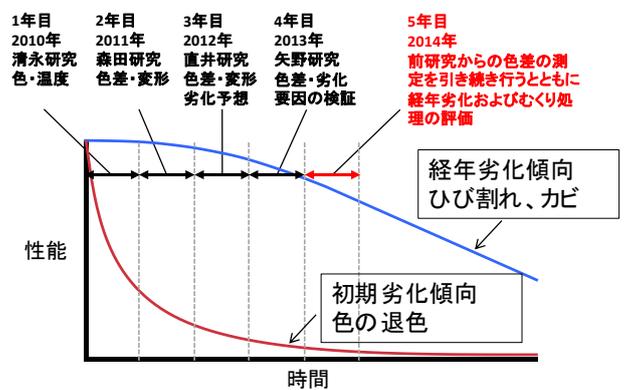
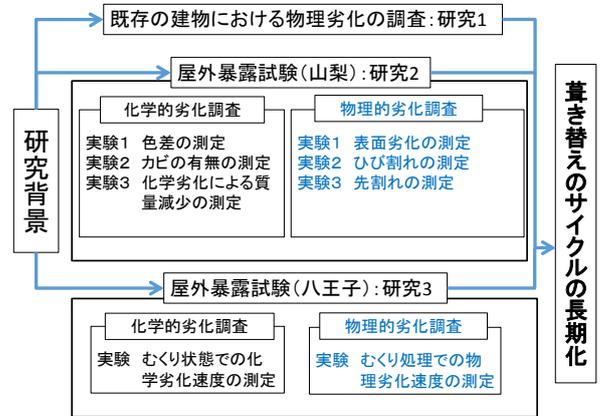


屋外暴露したこけら葺き屋根の物理的経年劣化とむくり処理の評価

DB11132 柴田 圭

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、職人不足から年々減少傾向にある。しかし、こけら葺き屋根は保護していくべきである。こけら葺きには文化的価値がある。さらに、観光資源としても期待できるため保全保護するニーズはある。現在でもこけら葺きの保全保護方法が専門家により議論されている。こけら葺きを保護していく上で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かかるため、大きな負担である。そこでこけら葺きの保護方法の一つである改質処理有効^{2)~5)}である。改質処理により、耐久性が向上して、葺き替えのサイクルの長期化とコストの削減にもなる。そこで本研究(図 1)では既存のこけら葺き屋根の物理劣化を調査分析(研究 1)した上で、施工 5 年目となる山梨のこけら葺き屋根の経年劣化状態の測定(研究 2)を加えてむくり処理状態での物理劣化の評価を行う。(研究 3) 既存の屋根部のむくり処理による物理的劣化の評価を行う。効果的な改質処理を確立しこけら材の葺き替え周期の長期化を狙う。



2. 研究概要

2.1 既存の建物における物理劣化の調査(研究 1)

表 1 に既存のこけら葺き屋根における調査分析結果を示す。

表 1 既存のこけら葺き屋根における物理的劣化の調査分析結果(研究 1) (調査期間 2013/9~2014/9)

a) 京都市 冷泉家(2012)		b) 京都府京都市 銀閣寺(2007)	
A 部分にひび割れという劣化がおきている。	B 部分にひび割れがおきている。	C 部分に芯腐れという劣化がおきている。	D 部分にひび割れ、E の部分に先割れという劣化がおきている。
c) 富山県高岡市 勝興寺(2012)		e) 京都市 高台寺(2011)	
F 部分に先割れがおきている。先割れが最終的になると写真のように楕円になる	G 部分の芯腐れが原因で修繕が必要なほど劣化している。	H 部分に表面剥離という劣化と H の部分ひび割れがおきている。	J 部分に表面剥離がおきている。K 部分は紫外線による日焼けによる色が黒くなっている。

備考 □ の年代は現物試料の撮影年を示す。

図 1 研究フロー、既往の研究のまとめ

既存の建物を調査することによって以下の知見が、得られた。こけら葺き屋根材には、物理劣化と化学劣化に大別され、化学劣化とは、カビなどの外的要因により起こる劣化だが、物理劣化は部材自体が劣化することである。また、物理的劣化は、4つの定義に分かれる。表2に4つの劣化の定義とその内容を示す。図2に物理劣化過程の概念図を示す。

2.2 こけら葺き屋根における既往の研究

研究1と伝統的木造建築の屋根部にみられる生物劣化の特徴に関する研究¹⁾よりこけら材の物理的劣化には主にひび割れ、表面剥離、先割れ、芯腐れがある。

既往の研究²⁾によると色彩計を用いて表面に塗装したこけら材を測定したところL*値はほとんど変化がない。半年暴露しただけでa*値とb*値変化していた。目視でも明らかに色が退色して、塗装が剥離していた。また、育成環境やこけら材の種類によって温度の差がある。

既往の研究³⁾によると色差計を用いて測定した結果、塗装直後と比較し、色味が落ちるにつれ、無彩色に近づき汚れている。また、銅板の有無による色、汚れの変化はなかった。また、年輪数が多いとひび割れ数が多くなり、秋田杉よりも宮崎杉の方が、ひび割れが発生しにくい。変形アスペクト比は自然林木の方が値は小さく、材が反りにくい。

既往の研究⁴⁾より、これまでの研究から確認された施工直後の6ヶ月の明度上昇傾向は、紫外線ダメージによりリグニンの分解が生じ細胞が破壊され、その後、雨などによりこけら板の色味の成分が溶脱したために発生したものと考えられる。その後、カビや汚れが付着し黒色に変化するというメカニズムが紫外線の観点から予測できた。既往の研究⁴⁾では色差を計測したところ、どの材も調査開始から四年目を迎えた現在では色素溶脱、表面塗料の剥離、カビや汚れの付着による変色により、収束する傾向が見られる。塗料の観点から見ると、高耐久アク

リルシリコン系は現在でも色を保っているが、所々塗装が剥離している。よって表面保護にも効果的ともいえる。こけら材の種類別では、ほとんど差はなくL*a*b*共に最終的には同じ値に収束することがわかった。また、遮熱塗料を塗装したものは、3色ともほとんど色の変化がない。遮熱塗料の表面保護効果により紫外線の吸収を防ぎ表面の劣化を防いだことが考えられる。以上から、既存の研究で確認された初期劣化が終わり現在は経年劣化が移行している。

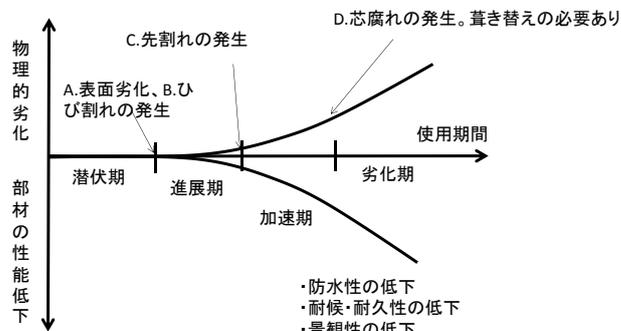


図2 こけら葺き屋根の物理劣化過程概念図

表2 こけら材の物理的劣化の定義(研究1)

劣化事象	劣化要因	劣化過程	定義
A. 表面劣化	熱、雨、そり	潜伏期	熱、雨、そりにより、下部材から浮き上がる。
B. ひび割れ	紫外線、熱	進展期	紫外線、熱、雨によりひび割れが起こる。
C. 先割れ	熱、雨	加速期	熱、雨により端部から先割れて楯状に劣化する。
D. 芯腐れ	金釘の腐食	劣化期	金釘の腐食により、こけら材内部から腐る。

表3 使用材料(研究2、3)

研究2	記号	種類		
	AaS45	秋田人工杉	樹齢約45年	密度 0.35(g/cm ³)
AaS90	秋田人工杉	樹齢約90年	密度 0.29(g/cm ³)	
AnS170	秋田天然杉	樹齢約170年	密度 0.33(g/cm ³)	
AnK90	秋田天然栗	樹齢約90年	密度 0.51(g/cm ³)	
MaS35	宮崎人工杉	樹齢約35年	密度 0.31(g/cm ³)	
MaS80	宮崎人工杉	樹齢約80年	密度 0.33(g/cm ³)	
CnW	秩父天然さわら	—	—	
AnSk170	秋田天然杉	樹齢約170年	密度 0.33(g/cm ³)	

表4 研究項目と内容

研究	項目	内容
研究1	既存のこけら葺き屋根の調査	既存のこけら葺き屋根を調査。物理劣化を定義する。
研究2	表面劣化の測定(実験1)	色差計を用い、JIS Z8730 表面色XYZ三刺激値より評価L*、a*、b*値による測定。改質処理ごと反りが大きい一箇所を測定。変形アスペクト比を算定。X=長さ Y=高さ 変形アスペクト比=X/Y(%)
	ひび割れの測定(実験2)	改質処理ごとのひび割れ本数を測定。
	先割れの測定(実験3)	フォースゲージにより端部せん断力測定。
研究3	むくり処理での暴露試験	こけら材のたわみ長さは0、1、2cmむくり処理を行う。こけら材の固定には金釘と竹釘を使い本数は2、4本とする。0、1、2ヶ月後とこけら材に曲げ試験を行う。

表5 こけら葺き材改質処理条件

研究2	No	種類	色	回数
	1	高撥水シリコン系	クリア	2
2	高耐久アクリルシリコン系	白	2	
3	無・有機矽イン系	黒	クリア/黒	
4	無・有機矽イン系	白	クリア/白	
5	柿渋液	茶	4	
6	木酢液	茶	4	
7	なし(銅版水切り)	なし	0	
8	なし	なし	0	
9	フッ素樹脂系遮熱塗料	黒	3~4	
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		

備考 AnS170(基準)のみ、No, 9~10の改質処理を行っている。水きり銅板は葺き足から、3mmほど出して差込している。

表6 実験要因と水準

要因	水準
こけら材種類	秩父人工さわら(CaW)
釘種類	金釘、竹釘
試験体種類	たわみ長さ0cm試験体(H0)、1.0cm試験体(H1)、2.0cm試験体(H2)
暴露期間	12ヶ月

表7 むくり処理試験体の実験水準(研究3)

たわみ長さ0cm試験体(T0)		たわみ長さ1cm試験体(T1)		たわみ長さ2cm試験体(T2)	
記号	釘本数(片側)	記号	釘本数(片側)	記号	釘本数(片側)
OS1	1	1S1	1	2S1	1
OS2	2	1S2	2	2S2	2
OB1	1	1B1	1	2B1	1
OB2	2	1B2	2	2B2	4

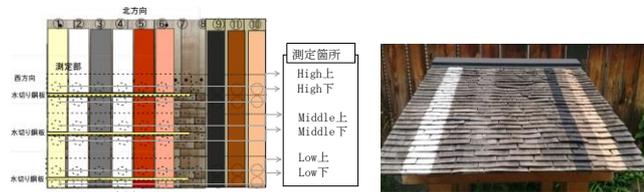


図4 こけら葺き材暴露詳細図 試験体写真(研究2)(山梨)

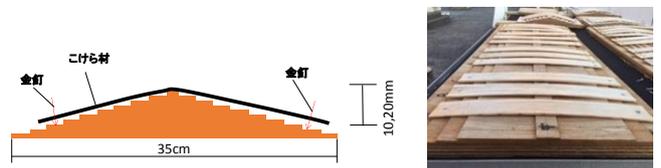


図5 むくり処理試験体図(研究3)(八王子)

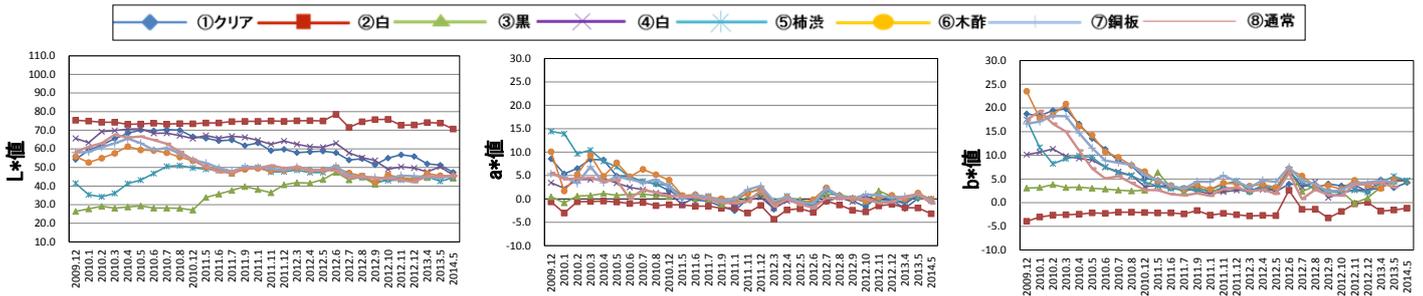


図6 改質処理ごとの時間変化に対応する色彩値の特性(AaS90)(研究2)

2.3 施工5年目のこけら葺き屋外暴露試験(研究2)

2.3.1 使用材料と実験概要(研究2)

表3に本実験の使用材料、表4に実験項目について示し、図4a)に暴露台詳細図を、図4b)にこけら材葺き断面図を示す。試験体は樹齢の異なる人工林の秋田産杉や宮崎産杉、自然林の秋田産栗、長野産さわら等、計7種類を山梨の実験で使用する。表5の実験概要として表面塗装処理条件を示す。これは2009年から暴露してある試験体である。表面に塗装処理を施すことによりこけら葺きの葺き替えサイクルが長くなり表面の耐久性が向上するのかを検証するとともにどの塗装処理の劣化具合が少なく効果的であるかを検証する。

2.3.2 実験内容と方法

表4に実験項目と方法を示す。すべての実験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、葺き替えのサイクルを長くするため、こけら材の劣化を抑制に効果があるといわれている銅板を使用し、銅版の有無で耐久性に変化がでるのかどうかを検証する。図4a)の示してある通りに処理8以外には銅板が3ヶ所に差し込まれている。その銅板の上下を測定箇所としている。

2.4 5年目のこけら葺き屋外暴露試験結果(研究2)

2.4.1 表色退色度の測定結果(実験1)

図6に改質処理ごとの時間変化に対応する色彩値の特性を示す。既存の研究で示した通り、L*値、a*値、b*値ともに収束している。表3に示した高耐久アクリルシリコン系を塗布した測定部のL*値、a*値、b*値は高く、他の測定部と比べて劣化が遅い。

図7に改質処理ごとのL*値における相対値(%)を示す。図6では、⑧なしのグラフが基準体となっており、⑧なしのグラフを上回れば、その改質処理に効果的である。逆に下回れば、

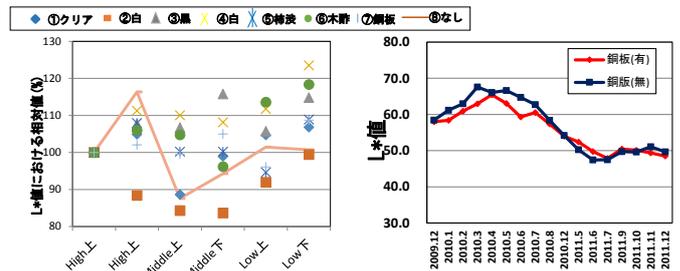


図7 L*値の相対値(%) (AaS90)

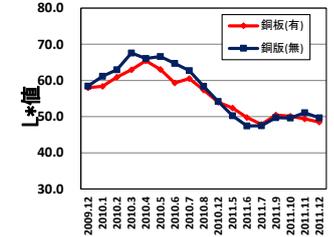


図8 銅板の有無L*値の特性(AaS90)

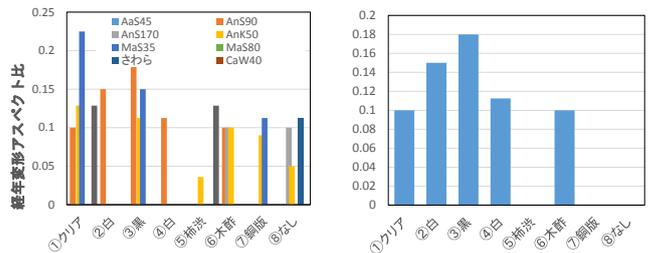


図9 山梨試験体における経年変形アスペクト比(研究2)

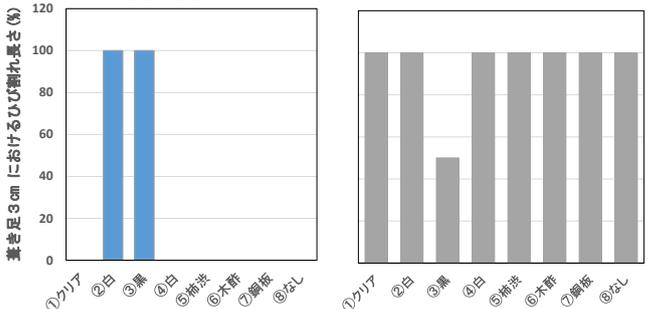


図10 山梨試験体におけるひび割れ長さ(%) (研究2)

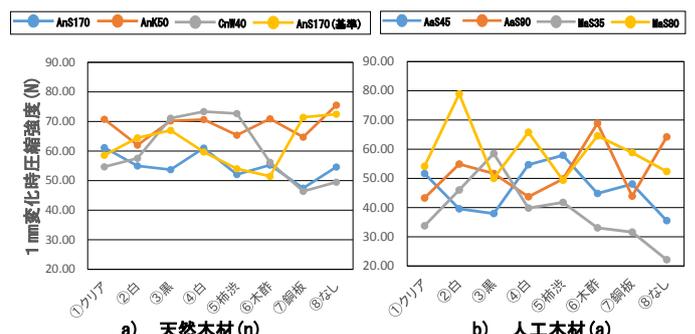


図11 フォースゲージによる圧縮強度試験結果(研究2)

効果的ではない。図8では、AaS90の銅板有無のL*値の特性を示している。試験体下部に向け、銅板有が値を高く、銅版防腐効果は多少効果的である。

2.4.2 物理劣化 A・表面劣化の測定結果(実験2)

図9に山梨試験体における経年変形アスペクト比の算定結果を示す。経年アスペクト比算定には、図12の式を用いる。改質処理ごとに一番表面が劣化している箇所を測定し、その結果が図9である。図9a)より、AaS45、MaS80、CaW40の3つは表面劣化がおきていない。また、図9a)より、AaS90の測定結果を抜粋したのが図9b)である。ほかの試験体と比べ、一番経年変形アスペクト比が大きく、表面劣化している。

2.4.3 物理劣化 B・ひび割れの測定結果(実験2)

図10に山梨試験体におけるひび割れ総数(%) (AnS90、CaW40)を示す。銅板に挟まれた、試験体の1列を測定箇所として測定した。ひび割れ長さが3cmを100%とし、その割合をグラフ化した。AnS90はひび割れが少なく、CaW40は発生している。

2.4.4 先割れの測定結果(実験2)

図11にフォースゲージによる圧縮強度の測定値を示す。縦軸が、圧縮強度を、横軸が改質処理を示している。天然林よりも人工林は先割れが発生しにくい。

2.5 むくり処理状態での暴露試験(研究3)

2.5.1 使用材料と実験概要(研究3)

表4に実験項目、表6、7に実験要因と水準について示し、図5a)にむくり処理イメージ図を、図5b)に試験体写真を示す。

常にこけら材に応力がある状態での劣化の進行具合を検証する。使用する釘本数による応力の変化を検証するため、複数試験体を用意する。図12a)に示す試験方法で、曲げ試験を行う。

2.5.2 実験内容と方法

表4に実験項目と内容を示す。ベニヤ板を図5の通りに作成し、その上にこけら材を葺く。実験水準は、表6、7に示す。図12b)にこけら材曲げ試験の様子を示す。

2.5.3 試験体 H1、H2 の曲げ試験実験結果

図13にa)1S1の0ヶ月、1ヵ月後の曲げ試験の結果、b)残留たわみ量、c)残存耐力値を示す。図14にa)2S1の0ヶ月、1ヵ月後の曲げ試験の結果、b)残留たわみ量、c)残存耐力値を示す。試験体名である1S1は、たわみ1cm、鉄釘1本留めという意味である。たわみ長さが長いほどこけら材の組成化が顕著になり、母材劣化に繋がる。残存耐力率も同様である。

3. まとめ

1) 研究2の試験体は、既存の研究と2014年5月の測定結果から初期劣化から徐々に経年劣化に移行しているが、本研

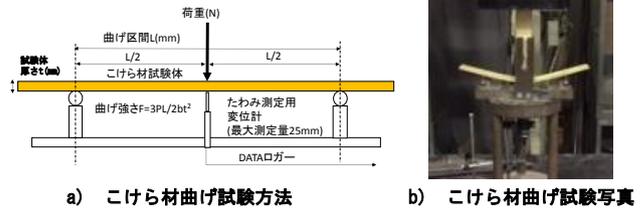


図12 こけら材曲げ試験概要

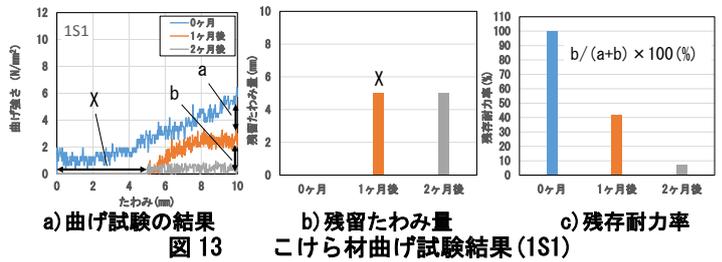


図13 こけら材曲げ試験結果(1S1)

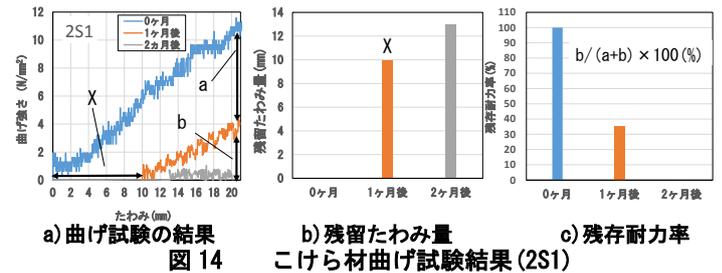


図14 こけら材曲げ試験結果(2S1)

究で定義した物理劣化の中で発生していない事象があるため今後とも暴露試験を行い、経過観察する必要がある。

- 2) 反りなどの表面劣化とひび割れの発生は、必ずしも同期しない。CnWのようにひび割れが発生したため、反りが抑制される知見が結果から得られた。
- 3) 研究3の試験体1S1は、暴露試験1ヵ月後では、残存耐力率は60%低下し、2ヵ月後では10%を下回っている。
- 4) 研究3の試験体2S1は、1S1と比較して残留たわみ量は2倍近く値に違いがあり、たわみ長さが大きいほど残留たわみ量は大きい。

参考文献

- 1) 藤井義久、藤原裕子、木川りか、伝統的木造建築の屋根部にみられる生物劣化の特徴に関する研究、pp.204-205,3-4 保存科学 No.52、2013
- 2) 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、pp.123-126、学術講演会研究発表集、日本建築学会、2009
- 3) 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、pp.33-36、日本建築学会関東支部研究報告集、2012
- 4) 直井優太、田村雅紀屋外暴露した改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価、pp.207-220、日本建築学会関東支部研究報告集、2013
- 5) 矢野裕侑、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初期劣化要因と安定化状態の評価、pp.29-64、日本建築学会関東支部研究報告集、2014

謝辞

本研究は、東京大学山本博一教授、工学院大学後藤治教授との共同研究であり、研究実施にあたり有限会社熊谷産業、伝匠舎石川工務所に多くの助力を得た。また本研究は、平成26年度科研費基盤A(代表:山本博一東京大学教授)、工学院大学UDM・研究、H26年度科研費(A:23680681 田村雅紀)の一部であり、深謝の意を表す。