

# 屋外暴露したこけら葺き屋根の化学的劣化性状と各種影響要因の評価

DC-11014 石橋 朗

## 1. はじめに

日本の伝統的屋根葺き構法の一つであるこけら葺き屋根は、天然資源の減少や多額の費用、職人の不足、耐久性に難があるなどの問題から減少傾向にある。また、日本の高温多湿、全国の様々異なる気候が存在しているためこけら材の使用が難しいのも事実である。しかし、文化的価値があり観光資源として期待されるこの構法は、国際化が進む現代社会において保全保護のニーズはより高まっていると言える。そのため日本の伝統建築物の魅力の一角を担うこけら葺き屋根は保護していくべきである。こけら葺き屋根構法を保全していく上で最も問題となっているのが維持費であり、葺き替えごとにかかるコストが大きな負担である。そして現在こけら材を保護する上で有効とされているのが改質処理である<sup>1)~4)</sup>。改質処理により耐久性を向上することが出来れば吹き替えサイクルの長期化につながり、結果こけら葺きのコスト削減につながる。

そこで本研究では 2010 年から行われている既往の研究に引き続き色差と本年度から山梨で屋外暴露している試験体に見られるカビ類の発生や紫外線の分解による質量減少などの化学的劣化現象を加えた観点から、2010~2014 年までの劣化状況を踏まえ、こけら材の劣化の状態を調査することで、よりこけら葺きの葺き替えサイクルの長期化やコストの削減をするための可能性を導き出すことを本研究の目的とする。

表 1 使用材料

記号	Aas45	Aas90	Ans170	Ank50	Mas35	Mas80	nw	Caw40	Ans170n	試験体写真 (山梨)
種類	秋田 人工杉	秋田 人工杉	秋田 天然杉	秋田 天然栗	宮崎 人工杉	宮崎 人工杉	自然林 さわら	秩父 人工さわら	秋田 天然杉	
樹年齢	45	90	170	50	35	80	—	40	170	
平均厚(mm)	3.4	3.6	3.3	3.4	3.6	3.5	2.7	—	2.5	
密度(g/m <sup>3</sup> )	0.35	0.29	0.33	0.53	0.31	0.33	0.36	—	0.31	
年輪数(個)	23.2	17.8	56.5	35.4	20.2	34	11.4	—	15.4	

表 2 こけら材改質処理条件

	No	種類	色	回数	効果
山梨試験体	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期シリコン溶液による撥水対策
	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の検証
	4	無・有機ステイン系	白	クリア/黒	防カビ効果と白化による反射の検証
	5	柿渋液	茶	4回	柿タンニンによる防腐対策
	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)	なし	0回	銅板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	3~4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. 研究概要

### 2.1 山梨におけるこけら葺き屋外暴露試験 (研究 1)

#### 2.1.1 既往の研究結果と試験体の現状

表 1 に本実験で使用されている使用材料の木材の種類・樹齢・平均厚・密度・年輪数を示す。表 2 には使用材料に施されている改質処理条件、表 3 に山梨県で屋外暴露している試験体に起こっている問題、行う実験内容を表 4 に示す。この実験を行っていくことで最終的にこけら材を保護するうえで塗装処理や銅板効果がこけら葺きの葺き替え

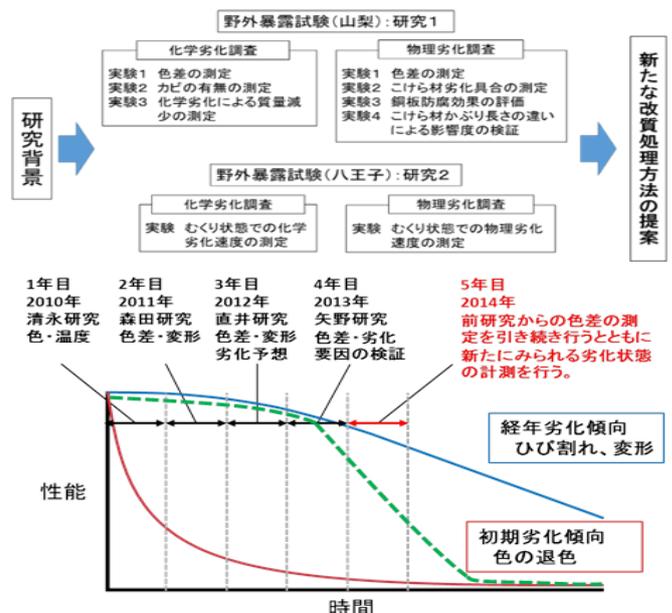


図 1 研究背景と既往の研究の調査による劣化状況

表 3 こけら材化学劣化の問題点と解決策

問題	芳香核成分の光分解による色劣化	単分子化によるカビ類の繁殖	光劣化による木材成分の溶出
内容	太陽光による芳香核成分の分解は色劣化の主な要因である。これは建築物の景観に影響する上に、分解された成分をカビ類が好むため防ぐ必要がある。	色劣化に加えカビ類が繁殖するとさらなる景観の悪化と耐久性に影響が出てくる可能性があるため防ぐ必要がある。	木材の持つリグニンや抽出成分が太陽光により劣化すると単分子化し、雨や風などで溶出しやすくなり木材の質量が減少することでひび割れの原因となる。
解決策	山梨県にある改質処理された試験体を今後さらに色差計測をしていくことで、現在効果が高いとみられる対紫外線効果のある高耐久アクリルシリコン系、フッ素系遮熱塗料の正確な耐用年数を計測する。	こけら材を改質処理ごとに画像解析を行っていくことで各改質処理のカビの発生状況を確認することでカビ対策に有効な改質処理を示すことができる。	画像解析を行っていくことで改質処理ごと、銅板の有無による影響も踏まえ質量減少の進行状況を見ていくことで有効な改質処理を示していく。
写真	 a) 山梨における色差劣化写真	 b) こけらのカビと苔の発生	 c) 山梨と京都における質量減少

表 4 実験の要因と水準

項目	要因	水準
研究 1	カビ発生割合(改質処理)	処理方法(表 2 の 11 種)
	カビ発生割合(雨水流入度)	位置(上, 中, 下)
	カビ発生割合(分解材)	銅板上下(上, 中, 下)
	質量減少(改質処理)	処理方法(表 2 の 11 種)
	質量減少(雨水流入度)	位置(上, 中, 下)
研究 2	質量減少(分解材)	銅板上下(上, 中, 下)
	色差測定	秩父人工さくら (Caw)
	色差測定(むくり高さ別)	0cm, 1cm, 2cm, 3cm
	色差測定(方位別紫外線量)	北, 中, 南
	色差測定(こけら屋根の施工条件)	竹釘, 鉄釘

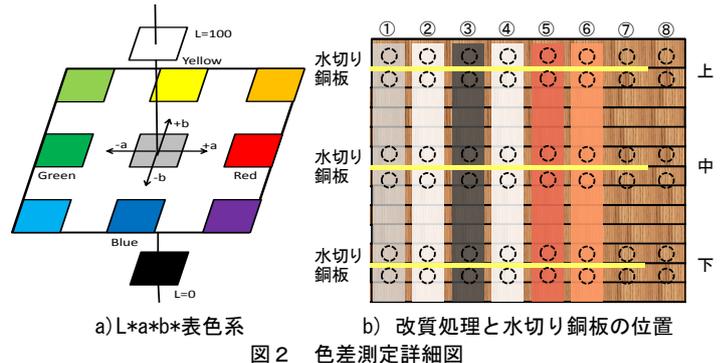


図 2 色差測定詳細図

表 5 実験項目と内容

	実験項目	内容	
研究 1 (山梨)	塗材と材の紫外線による表面退色度(実験 1)	JIS Z8730 表面退色 XYZ 三刺激値より $L^*a^*b^*$ 値による評価	色差計 CR13 使用
	銅板のイオン溶出の影響(実験 2)	銅板の上下部による色の変化度の検証	
	化学劣化によるこけら材の変化(実験 3)	光分解によって単分子化したこけら材の質量減少の進行度の評価 単分子化によるカビ類の発生量の調査	画像解析ソフト (AreaQ) 使用
研究 2 (八王子)	こけらのむくり状態における化学劣化速度の評価(実験 4)	JIS Z8730 表面退色 XYZ 三刺激値より $L^*a^*b^*$ 値による評価	色差計 CR13 使用
		鉄釘と竹釘によるこけら材の化学劣化への影響	
		試験体の角度別紫外線量の測定	紫外線測定器

サイクルの長期化・コストの削減につなげるために耐久性の向上に影響しているのかどうかを検証目的とする。

図 1 にもあるように 2010 年から試験体を暴露して行われている。温度・変形・劣化予測・勾配別暴露などを研究してきており、材種によって温度差があることや約半年で色が落ちてしまうこと、勾配による紫外線吸収量の差と色落ちの関係の発見がされている。初期劣化は終了しているため今まで行ってきた色差の測定に加え、計測開始から 5 年目に入って目立ち始めてきている化学劣化の影響によるカビ類の発生や単分子化したこけら材の分解と溶出だけでなく、京都にて暴露されているこけら材や高円寺に使用されているこけら材にも同様のカビの発生によるこけら材の分解、質量減少などの劣化がみられたためそれらの調査も踏まえ実験を行っていく。そのため今後の劣化の進行度に意識を向けて測定を行う。今回で 5 年目となった本実験であるが、山梨で屋外暴露されて

いるこけら葺き試験体の劣化状況と現状では、色差劣化はほぼ終了しており  $L^*a^*b^*$ の値はそれぞれ収束してきている。現在では色差の劣化よりもカビ類の発生と単分子化によるこけら材の分解、溶出などの化学劣化が目立ち始めている。これらの化学劣化は耐久性、景観性に大きな影響を与えるため今後重点的に測定していく必要がある。また色差測定にもこの化学劣化が影響する可能性があるため注意する必要がある。

### 2.1.2 色差測定結果

図 3 に色差測定の実験開始時からの測定結果の 1 例を示す。色差は色差計を用いて  $L^*a^*b^*$ 値より算出する。 $L^*$ 値は色の明度を表し  $a^*b^*$ 値は色相と彩度に位置するものを表す。 $L^*a^*b^*$ 表色系による色差は(1)の  $\Delta E^*$ の式に、色彩の差は(2)の  $\Delta C^*$ の式によって求める。

それぞれの塗装処理と材料により若干差があるものの、実験開始から 5 年目になるので色差劣化の数値は、

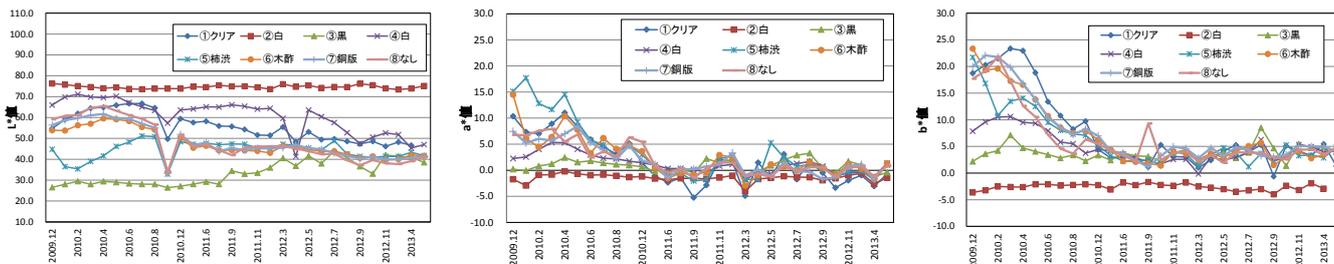


図3 Aas45（秋田人工杉 45年）におけるL\*a\*b\*値

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \dots (1)$$

$$\Delta C_{ab}^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \dots (2)$$

ここに、 $\Delta L^*$ : L\*a\*b\*表色系における色差、 $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ : JIS Z 8729<sup>5)</sup>

L\*a\*b\*表色系における二つの物体色の CIE 明度 L\*の差及び色座標 a\*, b\*の差、 $\Delta C_{ab}^*$ : 2色間の ab クロマの差、 $\Delta E_{ab}^*$ : L\*a\*b\*表色系による色差

収束してきており、目立った変化は見られなくなっている。現状残すことができている改質処理は紫外線対策効果のある高耐久アクリルシリコン系と赤外線反射、遮熱効果のあるフッ素樹脂系遮熱塗料である。よって改質処理が落ちる主な原因は紫外線によってこけら材が単分子化することでこけら材の表面ごと流れ落ちることによるものだと考えられる。

また、今後計測していくうえで気を付けなければならないのがカビの影響である。化学劣化が進行し、試験体全体にカビの発生が目立ち始めているため、カビの色が色差測定に影響を出す可能性があるため、今後の色差の数値の変化とカビの影響との関係には注意していく必要がある。

### 2.1.3 画像解析によるこけら材の化学劣化状態測定

図4の a), b) に画像解析ソフトの画像、c), d) にはその結果をまとめたグラフをそれぞれ示す。今回実験1で使用されてきた山梨のこけら材の試験体が計測5年目となったため、カビ類の発生、単分子化による質量の減少のような化学劣化症状が出てきているため、それらを解析し現在の劣化状態の数値化と、今後数年間を通して計測していくための指標を作っていく。最終的にはこけら材の産地や年数、改質処理によって化学劣化症状の速度の違いを求めることをこの実験の目的とする。a), b) の画像では画像内の赤く表示されている箇所がこけら材の正常な状態の部分を示し、青く表示されている箇所がカビの発生、および質量減少が進行している部分を示す。また解析にあたり画像内の距離を出すために2×2 cmにカットしたスチレンボードを用いて写真を撮影して行く。カビ類の発生はかなり進行しており、8つの試験体の測定結果をまとめた結果、いずれの箇所も銅板の下段のほうがカビの発生が少ない結果となった。また質量減少に関してはあまり進行していないため、目視で試験体を確認し、質量減少の進行状況

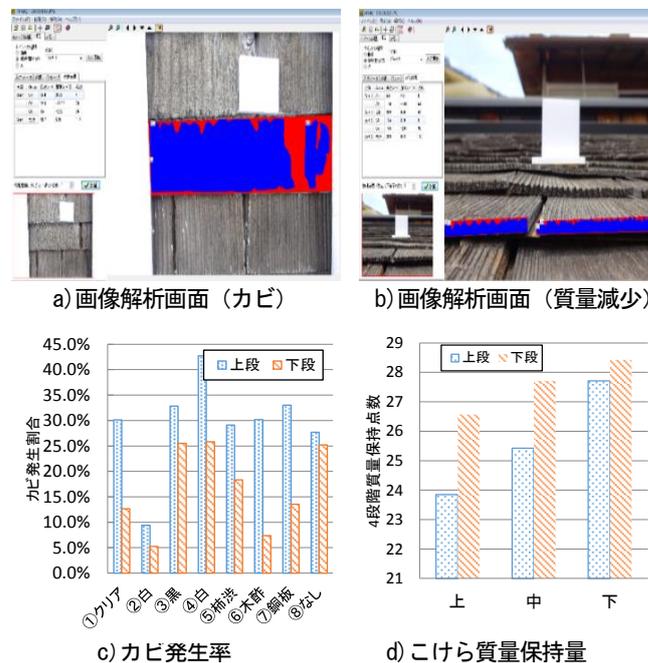


図4 こけら葺き材の表面の画像解析状況と結果

を4段階評価したものを加点方式でグラフに表した。カビ類の発生と質量減少のどちらも色差と同じく試験体2列目にほどこされている高耐久アクリルシリコンの効果が高いことが結果としてわかった。このことからカビの発生や質量減少においても紫外線が重要な原因であることがわかる。

## 2.2 こけら葺き材のむくり状態での屋外暴露試験 (研究2)

### 2.2.1 むくりによる負荷応力別紫外線量測定

図5に試験体画像と測定の様子、測定結果を示す。研究2では研究1で使われているこけら材の施工方法とはことなる「むくり」を付けた施工方法が劣化速度に与える影響を検証することを目的としている。この実験ではむくませた状態のこけら材をベニヤ板を用いて作成した試験体に木ねじで固定した状態で屋外暴露することで経過を調査し行っていく。試験体はそれぞれむくらせる高さを調節し0cm、1cm、2cm、3cmの4つを作成し、それぞれに3cm×30.5cmのこけら板4枚を施工したものに、竹釘と鉄釘それぞれを打ち込んだものを南北で位置を変えたのも2枚と釘なし2枚を比較して経過観察を行っていく。

今回実験を行った中で測定を行ったのは設置時とその2か月後の2回である。全体的に南側に向けられている部分のほうが色の変化が多いことがわかる。また、高さ3 cmの試験体のほうが図を見てわかるように紫外線量が多く、最も負荷応力がかかっていることもあるため色の変化が大きいのがわかる。予想以上に鉄釘の色素がこけら材に流れ出ているため、鉄釘をさしこんでいる箇所の色差の変化は大きいことが見て取れる。今後この色素が化学劣化にどのような影響を与えるか注視いく必要が感じられた。

### 3. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) 研究1において、アクリルシリコン系の改質処理が材にかかわらず高い効果を持っていた。これはカビ類の発生や質量減少にも有効であることが確認できた。塗料が剥離した部分においてはカビの発生がみられたので塗料内部でカビが発生している可能性があるため今後注視する必要がある。
- 2) カビ類の発生において銅板の下部のほうが劣化現象の進行が遅かったため、銅板の効果を確認できた。
- 3) 質量減少においては全体的に進行してはならず一部で質量減少が確認できた。またカビの発生と同様に銅板下のほうが進行が遅い傾向がある。
- 3) 八王子で行っているむくり状態での暴露試験では、高さ別で紫外線量が違うことが確認できた。また鉄釘の色素の溶脱による色差の変化が見られた。それらに応じて $\Delta C^*$ 値の変化も一番大きいことが確認できた。

### 参考文献

- 1) 清永美奈子, 田村雅紀, 山本博一, 後藤治, 伝統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, 日本建築仕上学会学術発表論, pp. 123-126, 日本建築仕上学会 2009
- 2) 森田泰代, 田村雅紀, 後藤治, 清永美奈子: 屋外暴露した改質こけら葺き屋根の物理的変状の評価, pp. 33-36, 2011 年度研究発表会研究報告集, 日本建築学会関東支部, 2012 年
- 3) 直井雄太, 田村雅紀, 後藤治, 山本博一: 屋外暴露した改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 1, pp. 207-220, 日本建築学会関東支部, 2013
- 4) 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. 30-47, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2014
- 5) JIS ハンドブック, 色彩, JIS Z 8730, 2005

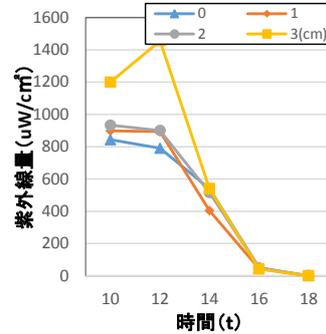
### 謝辞

研究実施に当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。本研究は工学院大学後藤研, 東京大学山本研との共同研究であり、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) による。

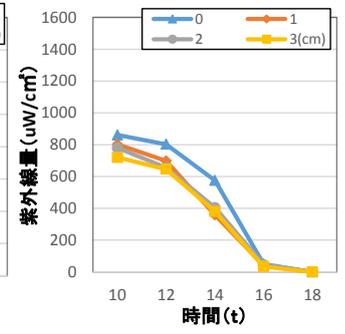


a) 八王子試験体暴露画像

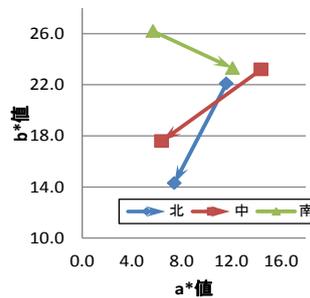
b) 紫外線測定画像



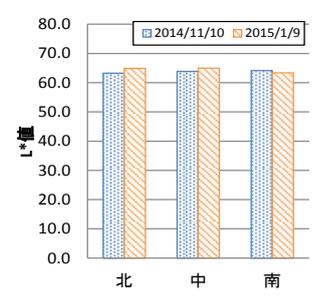
c) 紫外線量(南側)



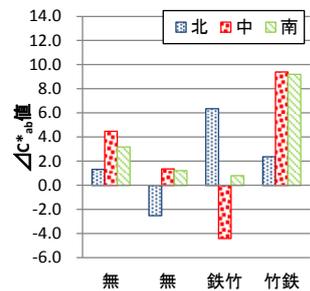
d) 紫外線量(北側)



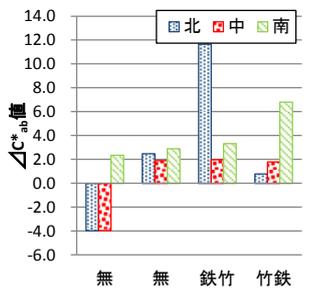
e) 屋外暴露による a\*b\*値の変化



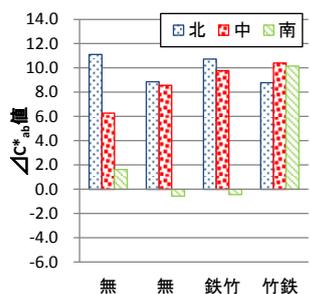
f) 屋外暴露による L\*値の変化



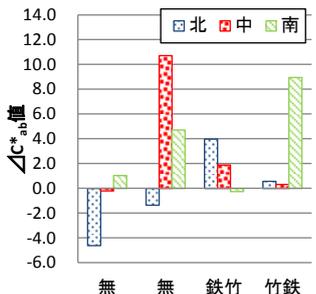
g)  $\Delta C^*$ 値(高さ 1 cm 試験体)



h)  $\Delta C^*$ 値(高さ 2 cm 試験体)



i)  $\Delta C^*$ 値(高さ 3 cm 試験体)



j)  $\Delta C^*$ 値(高さ 0 cm 試験体)

図5 むくり状態での試験体と紫外線, 色差グラフ