

10 年以上の屋外暴露をした改質柿葺き材に関する劣化性状の定量評価と劣化判断指標の検討

DB18183 竹内 秀人

1. はじめに

近年、地球温暖化などの環境問題が注目されるなか、低炭素社会の実現が掲げられている。木材は炭素の貯蔵、二酸化炭素排出削減の効果があり低炭素化へ貢献している。¹⁾木材の活用がますます期待される。

柿葺きは伝統的木造建築に用いられており、屋根の葺き方の一種である。薄く短い板を重ねて葺き、鹿苑寺舍利殿や慈照寺観音殿などの伝統的建築にも用いられている。ところが柿葺きの耐用年数は約 25～30 年であり、伝統的技術を持つ職人の減少や長期経済性の点で課題があり、表面保護などの現代技術の適用²⁾を含めた検討が必要である。そこで改質木質屋根材の劣化状況を調査し、改質処理別に劣化状況の違いを検証、葺き替えの長期化を目指す。

2. 山梨県 12 年長期暴露試験体の調査

2.1 山梨柿葺き試験体

表 1 は今回使用する試験体の種類であり、樹種・樹齢・天然・人口などにより計 9 種類を使用した。表 2 は今回使用する試験体に施した改質処理条件である。試験体は 2009 年に山梨県甲州市塩山にて施工³⁾され現在まで屋外暴露されている。

2.2 実験内容と方法

表 1 の各使用材料に表 2 の表面処理をした試験体を色 彩変化や貫入強度、含水率などにより漏水・破損につながる劣化状況を評価する。試験項目は表 3 のとおりである。

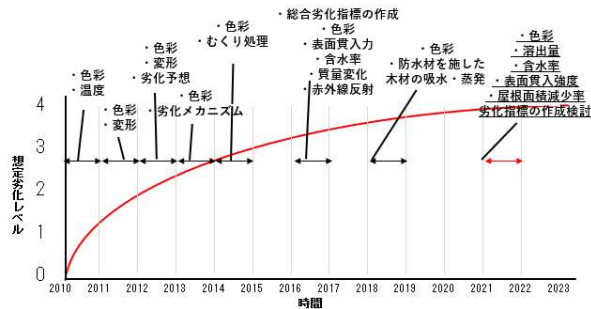
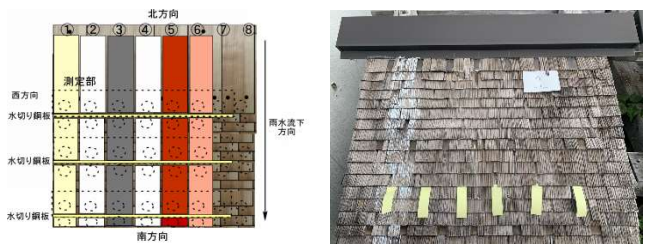


図 1 研究背景と目的



a) 柿葺き材改質処理 b) 暴露状況(2021 年)

図 2 柿葺き材試験体概要
(2009 年施工～2021 年暴露試験中)

表 1 柿葺き材試験体の使用材料特性

記号	樹種	産地	人工・天然	樹齢
Aas45	杉	秋田	人工	46 年
Aas90				88 年
Ans170		宮崎	天然	170 年
Mas35				35 年
Mas80	栗	秋田	天然	80 年
Ank50				50 年
Sa40				40 年

表 2 柿葺き材試験体に施した表面処理条件

No.	種類	色
1.	高撥水シリコン系	クリア
2.	高耐久アクリルシリコン系	白
3.	無・有機ステイン系	黒
4.	無・有機ステイン系	白
5.	柿渋液	茶
6.	木酢液	茶
7.	なし (銅板水切り)	—
8.	なし	—

表 3 試験項目

想定劣化レベル	試験項目	試験内容
1	表面色彩耐食性	柿材の表面の汚れ、退色をコニカミノルタ色差計を用いて測定 ²⁾ する。L*a*b*色空間により判断 (耐食性)
2	弱部体積変化	切り取り試験体を立体的に測定 (cm ³)。現在の試験体が施工当時の試験体に比べどれだけ破損しているかを削れた部分の体積を計測し定量的な評価基準の構築を検討
3	破損状態含水率	切り取り試験体を含ませ、乾燥の速度 (g/min) と質量の変化 (g) を測定 (耐露性・防水性)
4	破損状態貫入強度	フォースゲージを用いて 1mm 貫入時の表面貫入力 (N) を調査して劣化状況の判断 (耐風・耐衝撃性)
	破損状態画像解析	LIA32 を使用し劣化状況を画像解析。試験体中に占める櫛引や破損領域の面積の割合 [%] を調査し表面処理や使用材料による劣化の状況を比較

2.3 柿材試験体の表面色彩退色の測定(レベル1)

Aas45 の長期暴露をしている中で継続的に測定してきた色彩値を、色彩計を用いて JIS Z 8721 の $L^*a^*b^*$ 表色系により評価する。図 3 より、高耐久アクリルシリコン系の塗料以外の塗料は剥離しており、 $L^*a^*b^*$ が同じ値に近づいている。施工当時と最新のデータを表面処理ごとのばらつきでみると L^* 値は 14.9 から 3.3 と小さくなっている。

2.4 柿材試験体の弱部体積変化(レベル2)

表 4 に示す切り取り試験体を用いる。この切り取り試験体を 3d 画像解析にて立体的に計測し、溶出した体積の割合を求めることで劣化状況定量的に評価する。試験体は使用木材ごと、改質処理別に採取した。改質処理別の試験体は銅板上から採取したものを“U”、銅板下から採取したものを“D”とし、暴露前の試験体の想定体積に対する現在溶出していない材の体積の割合を試験体残存率とし図 4 に示す。図 4 より樹齢が長いほど溶出部が少ない傾向にある。また白のステイン系の塗料と木酢液を塗布した箇所は溶出部が少なく、表面処理をしていない箇所は溶出部が多い。

2.5 柿材試験体の含水試験(レベル3)

表 4 に示す切り取り試験体を用いる。試験体を含水させたのち、45℃の乾燥機にいれ 10 分ごとに取り出し、電子天秤を用いて質量を測定する。また、乾燥状態の試験体の質量を $g1[g]$ 、含水状態の試験体の質量を $g2[g]$ とし初期含水比率 $G(-)$ (式 (1)) とする。図の曲線の勾配を近似的に求め質量変化勾配 $K(\%/min)$ (式 (2)) とする。また劣化の指標 $R(\%/min)$ (式 (3)) とし、図 4 に定量的に判断した劣化状況を示す。

$$G=(g2-g1)/g1 \cdots \text{式 (1)}$$

$$K=\text{質量変化 } W(\%) / \text{時間 } t(\text{min}) \cdots \text{式 (2)}$$

$$R=G \cdot K \cdots \text{式 (3)}$$

使用木材による試験結果を樹種別にみると、秋田杉・宮崎杉ともに樹齢が長いものほど含む水の割合が多かった。劣化度においてもその影響が大きく、樹齢が長いものほど内部の劣化の度合いが大きいが推測できる。また図 5(a) より Sa の乾燥速度が他の試験体と比較し明らかに急速であり劣化度としても大きな数値を出している。これは内部の空隙が多い状態であることにより、水を保持する組織が少ないことによると推測する。

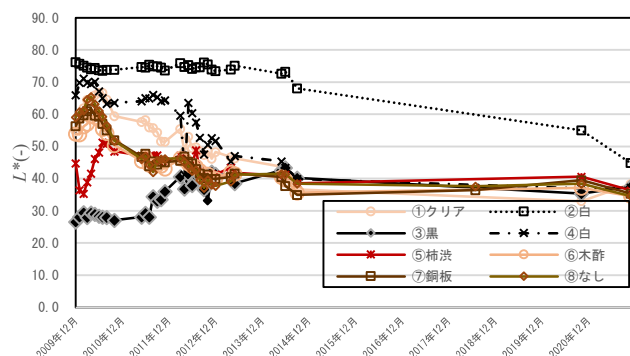
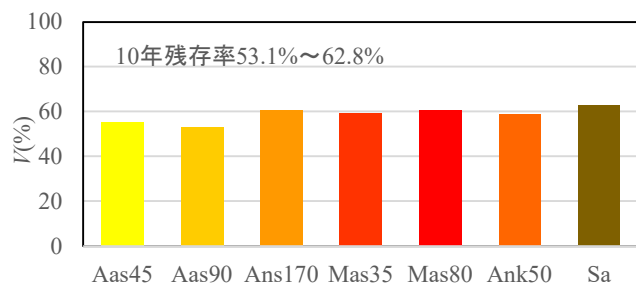


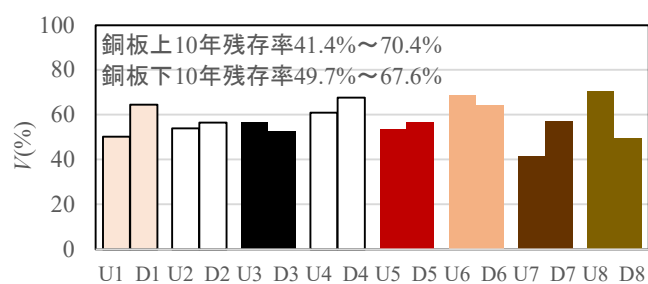
図 3 長期暴露試験体の色彩変化(Aas45) (レベル1)

表 4 切り取り試験体例と表面凹凸の測定データ(レベル2)

Aas45 (評価範囲 10.5mm×12.8mm、残存体積 55.1%)	
Aas90 (評価範囲 15.2mm×15mm、残存体積 53.1%)	
Ans170 (評価範囲 9.4mm×12.8mm、残存体積 60.5%)	
Mas35 (評価範囲 9.7mm×13mm、残存体積 59.2%)	
Mas80 (評価範囲 11mm×12.5mm、残存体積 60.5%)	
Ank50 (評価範囲 14.1mm×13mm、残存体積 59.0%)	
Sa (評価範囲 5.9mm×8.7mm、残存体積 62.8%)	

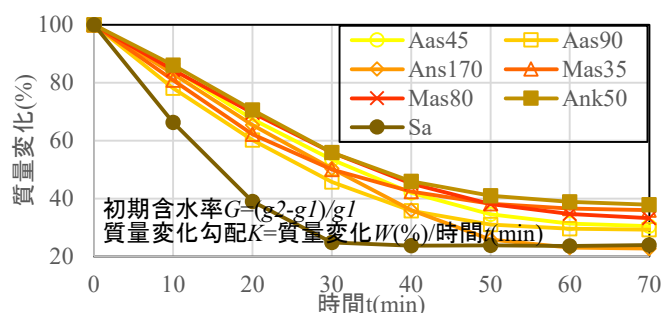


a) 使用材料別の試験体残存率 I(%)

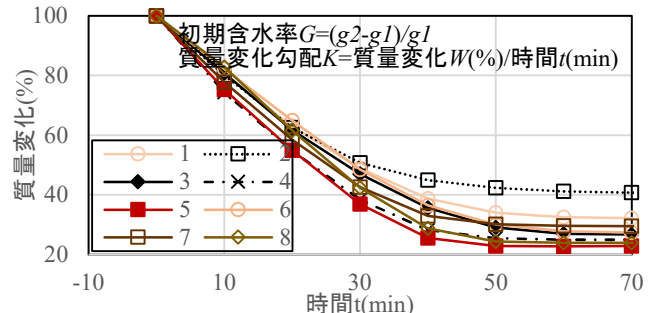


b) 改質処理別の試験体残存率 I(%)

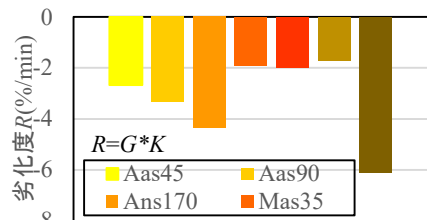
図4 使用材料・改質処理別の試験体残存率 I(%)の比較(レベル2)



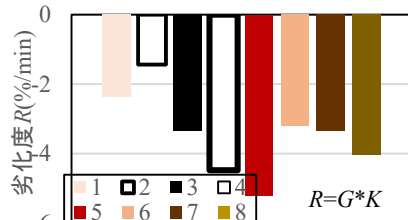
a) 時間経過ごとの質量変化(使用木材料)



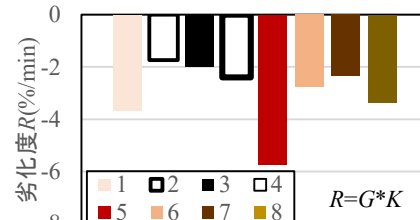
b) 時間経過ごとの質量変化(表面処理別)



c) 使用材料別の劣化度 R1

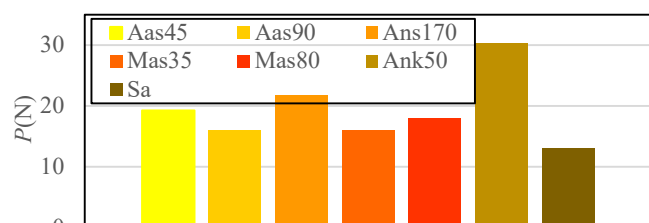


d) 改質処理別(銅板上)の劣化度 R2

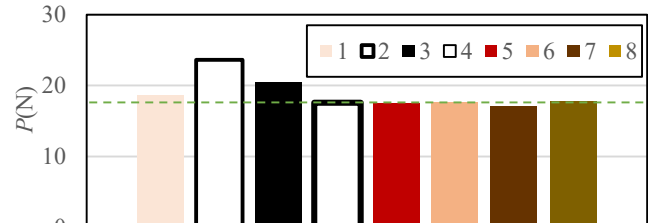


e) 改質処理別(銅板下)の劣化度 R3

図5 含水試験によって判断する木材内部の劣化度(レベル3)



a) 使用材料別の表面貫入強度 P(N)の比較

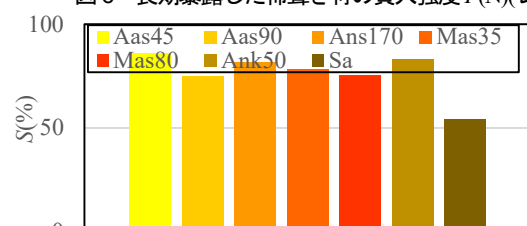


b) 改質処理別の表面貫入強度 P(N)の比較

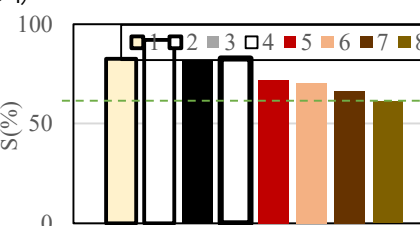
図6 長期暴露した柿葺き材の貫入強度 P(N)(レベル4)



a) 画像解析例



b) 使用材料別の健全部面積率 S(%)



c) 改質処理別の健全部面積率 S(%)

図7 長期暴露した試験体の画像解析によって測定した健全部面積率 S(%) (レベル4)

2.6 柿材貫入強度の測定(レベル4)

色彩値の計測に使用した箇所と同様の山梨県甲州市塩山にて暴露試験が行われている試験体に対し計測を行った。デジタルフォースゲージをそれぞれ使用木材ごと、処理種類ごとの測定場所に1mm程刺し込むことで、各位置の反発力を計測する。図6(a)より栗材の貫入強度は大きく、強度面では栗材の使用が屋根材の長期寿命につな

がるのではないかと考えられる。若干の差ではあるが秋田杉・宮崎杉のデータを見ると樹齢が長いほど貫入強度は大きい傾向にある。

図6(b)より、表面処理別の貫入強度を比較すると高耐久アクリルシリコン系塗料や、黒のステイン系塗料を施した箇所は比較的数字が大きいが、その他の数値は近い値を出している。

2.7 柿材試験体の健全領域の画像解析(レベル4)

図 7(a)に示した試験体全体領域の内、欠損している箇所(黒)・欠損状態ではない箇所(赤)を画像解析に用いその割合をピクセル数の比率によって求める。全体の領域に対する欠損状態ではない箇所(赤)の面積割合を健全部面積率 $S(\%)$ として図 7(b)(c)に示す。またこの実験では黒い領域を欠損部、赤い領域を健全部とする。

図 6 より使用材料別でみると秋田杉・宮崎杉においては樹齢が短いほど健全部面積率が大きい傾向にあり他の実験とは異なる結果である。Sa は貫入強度と同様に他の試験体に劣る結果となっている。

また改質処理別にみるとシリコン系塗料やステイン系の塗料は比較的健全部面積率が大きいのにに対し、改質処理をしていない箇所の欠損の割合が大きいことが確認できた。7 番の銅板あり・表面処理無しに比べ 8 番の銅板なし・表面処理無の試験体は約 5.2% 健全部面積率が低く、銅板の有効性が確認できた。

2.8 各評価要因を用いた重回帰分析

木材の劣化を定量的に評価するためにはある試験の数値から劣化の度合いを数値で表す必要がある。その 1 段階目としてある試験の値から他の測定項目の数値を算定していく。

各実験から得られた結果同士の相関性を調査し、相関性のある試験結果同士で重回帰分析を行い柿材の力学的特性の評価式を作成した。算定式を導く過程を以下の図 9 に示す。重回帰係数補正值(補正值) R^2 は重回帰分析が各データに対しどれだけ正確であるかを示すものであり基本的には最小で 0、最大で 1 を示す。

3 まとめ

- 本研究で、以下のことが明らかになった。
- 1) 表面色の測定では、色が退色し、無彩色になってきていることが確認できた。
 - 2) 柿材の種類に関わらず白色の高耐久アクリルシリコン系塗料以外の改質処理は剥離しているため定期的に表面塗料の塗り替えをする必要がある。
 - 3) 樹齢が長いほど含水する水の量が多いことから内部の劣化は樹齢の長いものほど進行していると推測できる。
 - 4) 屋根面積は表面塗料を施していない箇所の屋根面積は最も減少しており、高耐久アクリルシリコン系塗料を塗布した箇所は最も屋根面積の減少率が低い。
 - 5) 高耐久アクリルシリコン系塗料は表面色彩保護と屋根面積維持に効果的な塗料である

参考文献

- 1) 林野省：なぜ木質バイオマスを使うのか、林野庁ホームページ、2020/9/1、2021/12/26
https://www.rinya.maff.go.jp/f/riyou/biomass/con_2.html
- 2) 柴田圭ほか、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、日本建築学会関東支部論文報告集、2015

謝辞

本研究は試験体の暴露地である石川工務所をはじめ協力関係者各位に助力を賜り感謝致します。

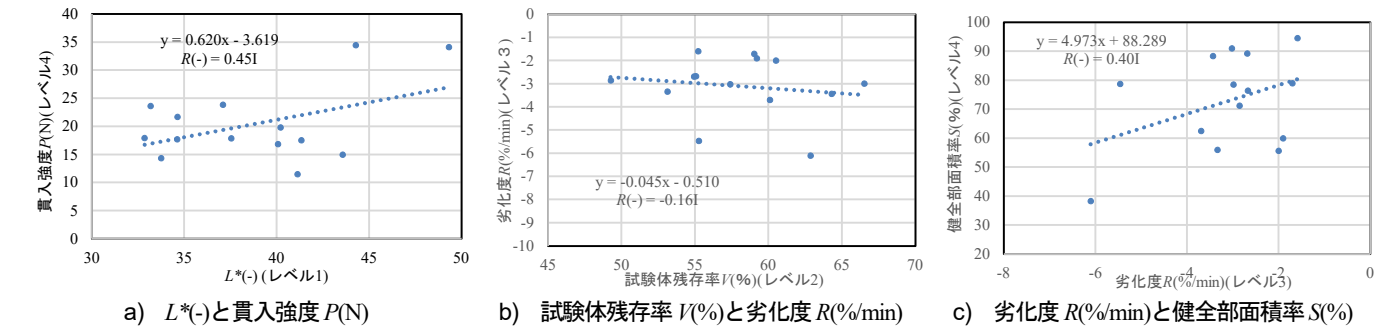


図 8 屋外暴露した柿試験体の各測定項目の相関図と相関係数

図 9 評価式の作成フロー

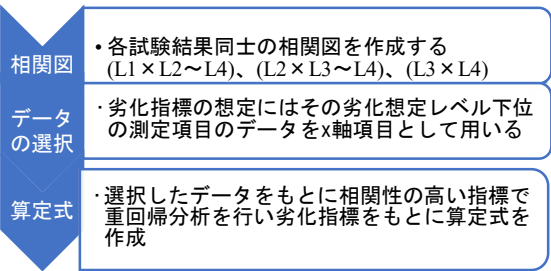


表 5 柿試験体の力学的特性を示す重回帰評価式

劣化想定レベル	劣化指標	重回帰評価式	補正值 $R^2(-)$
1	L^* 値(-)	$L^*(-), a^*(-), b^*(-)$ 値の色彩値の経時変化	-
2	試験体残存率 $I(\%)$	試験体体積率 $V(\%) = 60.88 - 0.07 \times L^*(-)$	-0.08
3	劣化度 $R(\%/min)$	劣化度 $R(\%/min) = -5.21 + 0.11 \times L^*(-) - 0.04 \times I(\%)$	0.04
4	貫入強度 $P(N)$	貫入強度 $P(N) = 3.67 + 0.43 \times L^*(-) + 0.22 \times I(\%) + 1.82 \times R(\%/min)$	0.11
4	健全部面積率 $S(\%)$	貫入強度 $P(N) = 24.71 + 0.68 \times L^*(-) + 0.26 \times S(\%)$ 健全部面積率 $S(\%) = 147.49 - 0.94 \times L^*(-) - 0.32 \times I(\%) + 6.24 \times R(\%/min)$	0.51 0.003