

竹材の耐候処理技術に関する研究(第2報)

— 促進耐候性試験による各種処理竹材の評価 —

小谷公人*・二宮信治*・木口 実**

*別府産業工芸試験所 **農林水産省森林総合研究所

Improvement of Weather Resistance of Bamboo Culm Surfaces (II)

Kimito KOTANI*・Shinji NINOMIYA*・Makoto KIGUCHI**

*Beppu Industrial Art Research Division

**Forest and Forest Product Research Institute (FFPRI)

要旨

竹材に各種表面処理を行い促進耐候性試験を1000時間まで実施し、色差変化、撥水度保持率、目視判定によって美観保持期間の改善による耐候性の向上を検討した。その結果、(1)油抜竹では、各種W剤表面処理による耐候性の向上効果は認められなかった。(2)青竹は、油抜竹と比較して色差変化及び撥水度保持率の変化が少なく美観保持期間は優れていた。(3)青竹の熱処理は、美観保持期間を改善し耐候性の向上が認められた。(4)竹材の耐候性試験においても、木材同様に促進試験1000時間が屋外暴露1年に相当した。(5)各種竹材の美観保持期間は、油抜竹で約4ヵ月、青竹で約6ヵ月、青竹熱処理で約1年であった。(6)合理的な耐候性の向上が期待できるメンテナンス処理は、1年のうち、油抜竹で2月・6月・10月、青竹で6月・12月、青竹熱処理で6月が最も適当であると推定した。

1. 緒言

竹材のエクステリア利用を進める上で、品質や耐候性を向上させることと、容易な施工や環境負荷の少ない廃棄などが総合的に製品に付与できれば、新たな需要を産み出すことが可能と考えた。そのためには、まず、屋外における紫外線などの太陽光や雨水による気象劣化と温湿度変化の気候条件下で発生するカビによる汚染などの生物劣化を美観保持という観点から改善する処理法を検討し、できるだけ環境付加が少なくコスト的にも実用性のある技術開発と製品化を進める必要がある。

前報¹⁾では、実際の屋外暴露試験(JIS K5400準拠)による美観変化を把握し、表面処理による耐候性の向上を目的として実験を行った。その結果、竹材の目視上の美観保持は、色差 ΔE^* 10以内、撥水度保持率KR 80%以上が許容基準値であることを明らかにした。また屋外暴露の美観変化は、油抜竹では6～9月の夏期の間にかびなどの微生物発生による黒色化の汚染が顕著で、青竹では微生物汚染による黒色化は抑制され、光劣化にともなう表面の粗化や剥落を含む銀灰色化が特徴的であった。市販のワックス・コーティング剤には、1年間にわたる美観保持の優位性は認められなかった。青竹を熱処理した竹材は、7月～11月の4ヵ月間の屋外暴露において、色差 ΔE^* 9.5、撥水度保持率KR 89.6%で、無処理の青竹に比べ色差・撥水度保持率とも改善されて美観保持効果が認められた。これは、熱処理によって溶融した青竹材表面のワックス

成分の皮膜層形成²⁾による物理的な紫外線遮へい作用と竹材表皮面に含まれ抗菌性を示すとされるベンゾキノン誘導体の化学的な作用とが相互作用したものと推定される。

このように、屋外暴露試験においては、気象劣化と生物劣化が相互に作用して美観変化が進行しているとされているために、長期間にわたる実験とその目視上の観察評価で各劣化の影響を検討しなければならない。

そこで本研究は、気象劣化作用とかび等の生物劣化作用を個別の劣化作用として捉え、各種処理竹材の気象劣化のみを比較的短期間に検討することができる促進耐候性試験(JIS K5400)に準じて実験を行った。この実験は、紫外線と水の擬似的な気象環境下で、油抜竹の各種ワックス・コーティング剤処理及び青竹の熱処理の効果を検討することで、竹材における屋外暴露試験と促進耐候性試験の相関を見出し、竹材における耐候性試験の実験方法の確立及び竹材エクステリア製品における耐候性向上をはかる上でのメンテナンス処理期間の提案を目的として行った。

2. 実験方法

2.1 供試竹材

竹材は、大分県産マダケ(*Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc.)の青竹及び油抜竹を用いた。油抜竹は、既にNaOH0.03%溶液中で20分程度煮沸脱脂処理されていた。試験片は、幅38×長さ135×厚さ約8mmの割竹とした。

Table 1 促進耐候性試験における各種処理条件

試験記号	竹材区分	表面処理条件		
		処理法	主成分又は処理条件	性状
W0	油 抜 竹	無処理	—	—
W1		表面 塗布 (2回)	フッ素樹脂	液体
W2			シリコンワニス・オイル	//
W3			シリコン樹脂・フッ素樹脂	//
W4			フッ素樹脂・シリコン	//
W5			シリコン・テフロン	//
W6			シリコン・カルナバロウ	//
W7			フオンプリン他	//
W8			フッ素系撥水剤	//
W9			カルナバロウ・UV吸収剤	固形
W10			フッ素樹脂	ゲル
A0	青	無処理	—	—
AH	竹	熱処理	105℃熱風乾燥機中で1h	—

2.2 表面処理

油抜竹では、表示成分の異なる10種の市販のワックス・コーティング剤(以下W剤=W1~W10)の美観保持効果を比較するために、各種W剤を各々2回塗布したものと無処理(W0)とを調整した。青竹は、無処理(A0)と熱風乾燥機中で105℃で1時間の熱処理し表皮層の油脂成分を溶出させたもの(以下青竹熱処理材=AH)を比較した。表面処理の条件をTable 1に示す。各条件ごとに試験片の繰り返し数は3とした。

2.3 促進耐候性試験

促進耐候性試験はJIS K 5400に基づき、キセノン式ウェザーメーター(ATLAS社製: Ci35A)を用いて、連続的に紫外線を含む光を照射し、照射中に断続的に散水を繰り返す方法で積算照射時間1000時間まで行った。光源は3500W水冷キセノンロングアーク灯(340nm放射照度0.35W/m²; 340nmランプ放射量約125kJ/m²/100h)、散水は脱イオン水(水温30℃; 散水量0.2l/min; 散水時間及び間隔18min/120min)、ブラックパネル温度は63±3℃、槽内温度は40℃(乾球)30℃(湿球)であった。

2.4 劣化評価

劣化の評価は、促進耐候性試験100, 200, 300, 500, 1000時間の5段階での経時変化を色彩色差計による色差 ΔE^* 、接触角測定装置による接触角 θ を測定し換算した撥水度保持率KR、及び目視判定で行った。

2.4.1 色差

色彩色差計(ミノルタ製: CR300)により、CIE L*a*b*表色系における色差を求めた。色差は、油抜竹の試験前の

平均色測値を基準値(L^{*}₀, a^{*}₀, b^{*}₀)として、各処理条件試験片の試験時の平均色測値(L^{*}₁, a^{*}₁, b^{*}₁)との色差(ΔE^*)を次式で求めた。

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_0 - L^*_1)^2 + (a^*_0 - a^*_1)^2 + (b^*_0 - b^*_1)^2}$$

今回、基準値とした油抜竹の試験前の平均色測値は、L^{*}₀=73.26, a^{*}₀=2.54, b^{*}₀=25.06であった。

2.4.2 撥水度保持率

接触角測定装置(協和界面科学製: CA-Z)により、精製水滴下後5秒後の接触角 θ を測定した。また、試験前接触角値(θ_0)と試験時の接触角値(θ_1)を各々測定し、次式で撥水度保持率(KR)を求めた。

$$\text{撥水度保持率 } KR(\%) = \theta_1 / \theta_0 \times 100$$

2.4.3 目視判定

目視判定は、試験片表面状態の変化を記録し、総合的に美観保持が保たれていると判断できるものを○、美観が損なわれているが表皮面に剥落等の著しい欠損がないものを△、表皮面の剥落や割裂があり美観がほとんど損なわれたと判断したものを×とする3段階評価で行った。

3. 結果及び考察

3.1 油抜竹の無処理及びW剤表面処理の経時変化

油抜竹の無処理及びW剤表面処理の経時的な色差変化をFig. 1に示す。無処理W0と各W剤表面処理とも、試験300時間までは色差5~6前後と色差変化の少ない傾向を示していたが、試験500時間で色差5~11と各W剤間のばらつきが大きくなり、W3・W4・W7以外のW剤処理は色差が無処理よりも高い値を示し、試験1000時間では色差16~19となり、W剤による色差変化の抑制効果は認められなかった。

同様に、撥水度保持率KRの経時変化をFig. 2に示す。撥水度保持率は、無処理W0が試験300時間までほとんど変化がなかったのに対し、各種W剤は試験300時間まではKR 80%を維持したものの、試験500時間ではW1及びW7が無処理W0同様のKR 90%を維持したのみで、他のW剤はKR 80%を維持できなかった。試験1000時間では、無処理及び全てのW剤処理で、接触角 θ 20度以下となり測定できなかったため、試験500時間から1000時間の間に急激なKRの低下が認められた。

経時的な目視観察では、試験300時間までは、無処理及び各W剤処理とも美観変化として、明度が高くなりながら徐々に表皮面の組織が水滴痕を残し白色化していた。試験500時間では逆に各種W剤処理の方が表皮面の水滴痕が顕著で、無処理同様に表皮層の割裂痕が生じていた。試験1000時間ではW剤処理と無処理の観察上の相違は認められず、ともに表皮層組織のほとんどが銀白色化し、表層組織の剥落や竹材表皮面の細かな割裂痕が全面に生

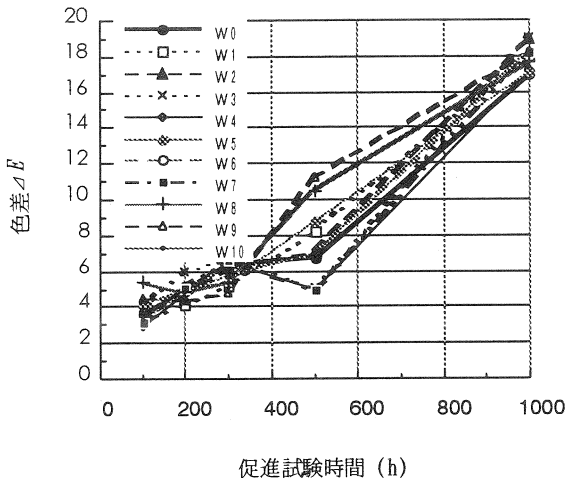


Fig. 1 油抜竹の各種W剤処理の色差変化

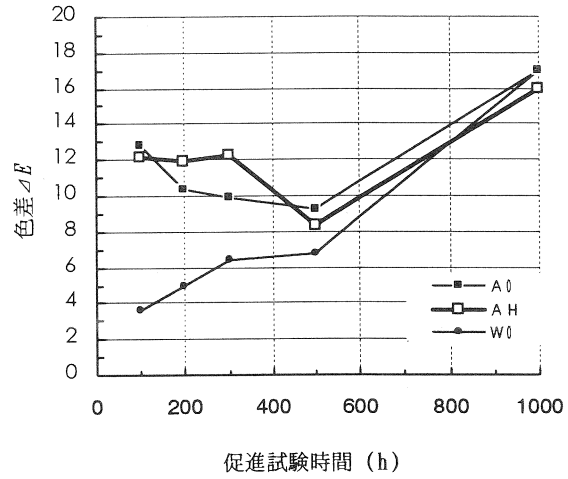


Fig. 3 青竹の熱処理の色差変化の比較

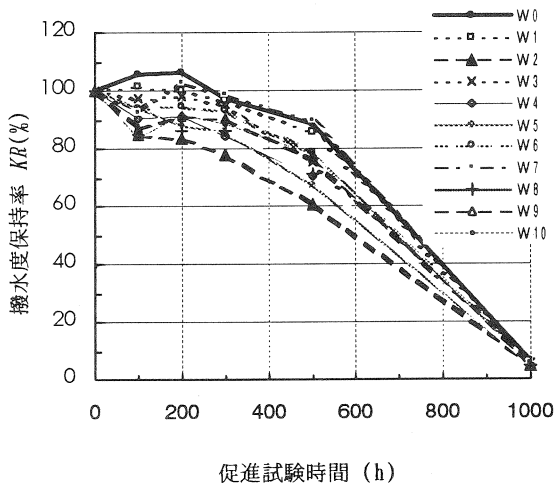


Fig. 2 油抜竹の各種W剤処理の撥水度保持率の変化

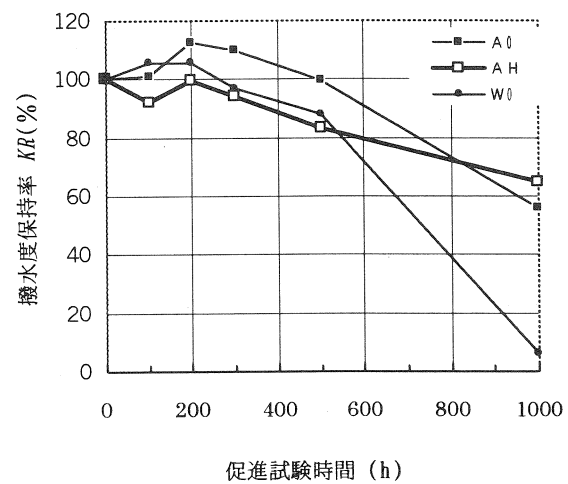


Fig. 4 青竹の熱処理の撥水度保持率の比較

じていた。よって目視判定では、無処理及び各W剤処理とも美観保持は試験300時間までが○、試験500時間を△、試験1000時間は×と判定した。

この結果は、各種W剤処理には基材である竹材表皮の材色変化を抑制する効果はなく、むしろ各W剤処理が無処理よりも初期接触角度が高いために、散水時に表面にできる比較的球形に近い水滴が逆に紫外線を集光して部分的な劣化を促進するレンズ効果が生じたためと考えられる。試験500時間では逆に水滴痕の部分劣化の影響が大きく色差変化の増加と撥水度保持率の低下を生じたと推定される。

竹材表面の耐候性向上にW剤表面処理を検討した背景には、竹材が木材と異なり、平滑で浸透性や塗膜附着性を期待できない表皮組織で形成されているため、自動車などに用いられるワックスコート表面処理が、基材の美観を損なわず耐候性の向上をはかる比較的容易な処理

方法であることに注目したからである。しかし、結果的には油抜竹における耐候性の向上においては、市販のW剤表面処理の効果は認められなかった。

3.2 青竹の無処理及び熱処理の経時変化

青竹の無処理A0及び熱処理AHと比較のために無処理油抜竹W0の経時的な色差変化をFig. 3に示す。色差は、試験前の油抜竹の平均測色値との差としているため、試験300時間まではA0とAHとも色差が10~12と高い値を示しているが、試験500時間までに徐々に低下し色差8~9となったことを示している。その後試験1000時間までに色差はW0同様に増加した。

同様に、撥水度保持率KRの経時変化をFig. 4に示す。撥水度保持率は、AHが試験500時間でW0同様にKR 85%程度までの低下したのに対して、A0は試験500時間でも初期値より高いKR値を示した。試験1000時間では、W0が接触角の測定不能でKR 0%に急激に低下したのに対しA0

とA Hとも低下したもののR 60%前後を保持していた。

経時的な目視観察では、試験300時間までは、無処理及び各W剤処理とも美観変化として、黄白色化が進み材色変化は起こるもののW0に見られたような表皮面の組織が水滴痕を残すような劣化は観察されなかった。試験500時間でも部分的に表皮面の割裂が見うけられたが表皮面の水滴痕などは生じていなかった。試験1000時間ではA0で白色化と光沢の減少及び割裂の発生が生じていたが、W0が表皮層組織のほとんどが銀白色化し、表層組織の剥落や竹材表皮面の細かな割裂痕が全面に生じていたことと比較すれば、表皮面が白色化していたが剥落はなかった。A Hでは、材色がA0同様に白色化しているが、光沢の現象も比較的少なく割裂痕もA0に比べ1試験片あたり数本程度で表皮面の性状は保持されていた。よって目視判定では、青竹の熱処理A Hは試験1000時間までを○、青竹の無処理A0は500時間までは○、試験1000時間を△と判定した。

これは、前報の屋外暴露試験の結果を支持するもので、紫外線や雨水にともなう表皮面の組織成分の分解や剥落が起こりにくいことをし、青竹材の方が耐候性を維持できる期間が長いことが確認できた。また、青竹の表面に存在する熱処理で溶解し表皮面上に溶着する成分は、化学的な生物劣化の抑制とともに、表皮面を自己コーティングすることの物理的な気象劣化の抑制にも効果がある。ただ、その成分がどのようなもので、どのような機構で結果的に耐候性を向上させるのかについては、本研究では明確ではなく今後の課題である。

少なくとも、今後、コスト的面や環境負荷の少ないエクステリア竹材を検討する上で、青竹の熱処理による耐候性の向上は、促進耐候性試験1000時間程度までは有効であると考えられる。

3.3 促進耐候性試験と屋外暴露試験の関係

木材におけるこれまでの報告から、促進耐候性試験における1000時間は、紫外線の積算放射量及び材色や表面性状の変化から、実際の屋外暴露試験の約1年に相当するという相関が一般的に用いられている。

竹材においても促進試験1000時間＝屋外暴露1年間として考えれば、今回の実験を行った各種処理竹材の美観保持期間は、油抜竹の無処理及びW剤表面処理ともに4～6ヵ月の間、青竹の無処理で6～12ヵ月の間、青竹の熱処理材で1年以上ということになる。屋外暴露試験では、紫外線や雨水の影響以外にも、生物劣化や大気中の物質の付着等による汚染で美観保持期間がこれよりさらに低下することを考慮すれば、竹材においても促進耐候性試験1000時間が屋外暴露約1年間に相当すると推定することができ、促進耐候性試験は、屋外暴露試験との相関をもつ

試験方法として有効であると判断した。

3.4 メンテナンス処理期間の提案

これまでの結果と考察から、竹材エクステリア製品のメンテナンス処理期間を推定すれば、気象劣化の抑制による美観保持を目的とした耐候性の向上には、油抜竹は4ヵ月に1度、青竹で6ヵ月に1度、青竹熱処理材で1年に1度が目安となる。また、前報の屋外暴露試験でのかび等の発生と汚染による生物劣化が季節的に6月の梅雨期から9月までの夏期の間に顕著に発生したことを考え合わせれば、6月にメンテナンス処理を行うことで夏期の劣化を抑制する効果が高いことが考察できる。

つまり、6月にメンテナンス処理を必ず行うとすれば、油抜竹の場合は2月・6月・10月に油性防虫防かび塗布剤でメンテナンスを施すことで、合理的な美観保持期間の向上が期待できる。同様に、青竹ではメンテナンス処理の時期が6月と12月となり、青竹熱処理材では毎年6月に実施することが有効であると思われる。

4. 総括

竹材に各種表面処理を行い促進耐候性試験を1000時間まで実施し、色差変化、撥水度保持率、目視判定によって美観保持期間の改善による耐候性の向上を検討した。また、屋外暴露試験の結果との比較から、促進耐候性試験と試験時間と屋外暴露期間の関係及びメンテナンス処理実施を検討し、以下のことが判明した。

- (1)油抜竹では、各種W剤表面処理による耐候性の向上効果は認められなかった。
- (2)青竹は、油抜竹と比較して色差変化及び撥水度保持率の変化が少なく美観保持期間は優れていた。
- (3)青竹の熱処理は、美観保持期間を改善し耐候性の向上が認められた。(4)竹材の耐候性試験においても、木材同様に促進試験1000時間が屋外暴露1年に相当した。
- (5)各種竹材の美観保持期間は、油抜竹で約4ヵ月、青竹で約6ヵ月、青竹熱処理で約1年であった。(6)合理的な耐候性の向上が期待できるメンテナンス処理は、1年のうち、油抜竹で2月・6月・10月、青竹で6月・12月、青竹熱処理で6月が最も適当であると推定した。

参考文献

- 1) 小谷公人, 二宮信治, 古曳博也:平成9年度大分県産業科学技術センター研究報告, (1998), p139-144
- 2) 小谷公人, 川村二郎: Bamboo Jour., 13(1995), p76