

竹材の耐候処理技術に関する研究(第1報)

小谷公人*・玉造公男*・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 (I)

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

*Beppu Industrial Art Research Division

**Forest and Forest Product Research Institute

要旨

竹材のエクステリア利用を進める上で、屋外暴露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、青竹の方が油抜竹に比べ美観変化が少なかった。油抜竹では、カビなどの微生物汚染による黒色化の汚染が、6月から9月の間に顕著に発生した。青竹は、光劣化にともなう表面の粗化や剥落を含む銀灰色化であった。ワックス・コーティング剤には、美観保持効果がなかった。油脂青竹は、7月～11月の4カ月間の屋外暴露において、微生物汚染による黒色化及び光劣化による銀灰色化や表面割れが認められず、美観を保持していた。竹材の美観保持の許容基準値は、色差10以内、撥水度保持率80%以上であった。

1. 緒言

近年、エクステリア材として木材をはじめとする自然素材利用への関心が急速に高まり、木材においてはさまざまな研究^{1), 2)}がなされている。ある民間のシンクタンクは、2010年には、エクステリア関連市場は10兆円に拡大し、木材等の自然素材も住宅外構材や造園景観材として数倍の市場拡大が予測される³⁾としている。しかし、エクステリア関連市場における竹材は、近年、ユニット化された塩化ビニル製などの合成樹脂垣根に大きく市場を奪われ、竹材の垣根材としての需要は低迷している。合成樹脂製は、竹材と比較して製品単価自体は高価だが、美観上の変色や劣化が少くメンテナンスや修繕が発生しにくいことと、ユニットシステム化による施工時間の短縮などによって、トータルコスト面で優れている⁴⁾。このような状況の中で、竹材製品を景観材や住宅外構材に需要を見出すためには、従来よりも品質・耐候性を向上させる美観保持期間の改善と容易な施工や取り扱いなどが求められる。

竹材の耐候性についての研究は少なく、筆者らが紫外線照射エネルギーによる光化学反応で竹材表面の塗膜付着性を改善⁵⁾し、塗料を塗布した油抜竹材で試みた報告⁶⁾があるにすぎない。この報告は、一般的に木材保護塗料と呼ばれる塗料を透明系の造膜型塗料・浸透型塗料・半造膜型塗料の3タイプに区分し、南面45度2年間の屋外暴露試験によって、塗膜劣化や竹材変色を観察測定したもので、結果として造膜型塗料のみが美観上の変色許

容範囲とした色差(ΔE^* =10)を示した。しかし、その後も屋外暴露を継続したところ、造膜型塗料の竹材においても、部分的な塗膜剥離と竹材表面の割れが進み、暴露5年目には、造膜型塗料の残存する面積は1/3以下⁷⁾となり、剥離した部分は微生物汚染などによって黒色に変化していた。つまり、このような塗料塗膜による竹材の耐候処理では、初期の美観劣化は改善されるが、3年以上の長期にわたる用途においては、自然な美観劣化よりも汚いという印象になると予想される。

また、京都の竹材店での聞き取り調査⁴⁾では、竹垣に使用する竹材は青竹が9割近くを占め、その理由は、青竹の色調が好まれるということの他に、経験的に油抜竹よりも青竹の方がカビによる変色劣化を受けにくいことを上げていた。

これらのことから、竹材の耐候性を客観的に把握し、美観保持期間を向上させる新たな処理技術を研究する必要があると考え、本研究では、表面処理としてワックス・コーティング剤や青竹油脂等について、以下の検討を行ったのでその結果を報告する。

- (1) 実大材竹垣による美観変化の観察
- (2) 竹材種及び処理剤の美観変化の把握
- (3) ワックス・コーティング剤及び青竹熱処理の効果

2. 実験方法

2.1 実大材竹垣による美観変化の観察

2.1.1 供試竹材及び竹垣竹の調整

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。青竹は、割竹(幅4cm×長さ180cm×厚さ約0.8cm)と丸竹(直径約3cm×長さ180cm)を用い、油抜竹は、割竹を用いた。

2.1.2 竹垣及び表面処理

割竹で建仁寺垣、丸竹であやめ垣を製作した。Table 1に各種の実験条件を示す。各竹垣に用いた竹材の半分を各種の表面処理を施し残りを無処理とした。加圧注入用 水性防虫防カビ剤 (以下P剤) は注入済みの竹材を購入した。油性防虫防カビ剤 (以下S剤) と市販のフッ素シリコン樹脂系ワックス・コーティング剤 (以下W剤) は、暴露試験地に設置完了した直後に現場塗布した。塗布は、表面部のみで竹材の側面や裏面は塗布しなかった。W剤塗布にはスポンジ、S剤塗布には筋交い刷毛を用いた。塗布回数は2回とし、1回目の塗布から約1時間後に2回目を塗布した。

2.1.3 屋外暴露試験

竹垣は、東西を向くように建仁寺垣は両面ばりとし、地面から垂直に設置した。設置完了日は、1996年12月25日であった。地面と接することによる腐朽の影響を避けるために、竹垣材底部は地面から空間を開ける方法と煉瓦の上に置く方法で設置した。美観の変化を観察する目的で3カ月ごとに写真撮影しながら、1年間暴露を行い、現在も継続中である。

2.2 竹材種及び処理剤の経時変化の把握実験

2.2.1 供試竹材

2.1.1同様に青竹及び油抜竹の割竹(幅4cm×長さ30cm×厚さ約0.8cm)を用いた。繰り返し数は4とした。

2.2.2 表面処理

P剤は油抜竹のみとしたが、青竹及び油抜竹の無処理と比較するために、W剤とS剤は青竹と油抜竹に塗布した。塗布条件は各々2.1.2同様とした。

2.2.3 屋外暴露試験及び太陽光紫外線照度の測定

Table 1 実大材竹垣材と処理条件

処理記号	竹材種	形状	処理法	処理剤	竹垣種
DP	油抜竹	割竹	加圧注入	水性防虫防カビ剤	建仁寺垣
DC	"	"	無処理	—	"
AW	青竹	"	現場塗布	液ワックス・コーティング剤	"
AC	"	"	無処理	—	"
RS	"	丸竹	現場塗布	油性防虫防カビ剤	あやめ垣
RC	"	"	無処理	—	"

JIS K5400における屋外暴露試験方法に基づき、当所敷地内の傾斜暴露架台に取り付け、南面45度で屋外暴露を1997年1月から1998年1月までの1年間行った。

また、屋外暴露架台付近の太陽光紫外線照度(以下UV照度)の季節変動を把握するために、紫外線照度計(オーク社製:UV-M02)により、春分、夏至、秋分、冬至の前後一週間程度の晴天に近い日のUV照度を1時間間隔で測定した。ピーク波長は420nm, 360nm, 250nmの3点とし、東西南北の各方位で地表面に対し垂直、水平、45度の3角度で測定を行った。

2.2.4 美観保持の評価

美観保持を経時的に求めるために、約150・300・360日目に色彩色差計(ミノルタ製:CR300)により、CIE $L^*a^*b^*$ 表色系における色差(ΔE^*)を求めた。各竹材種別の室内放置竹材平均色測値(L^*_0, a^*_0, b^*_0)と各暴露竹材平均色測値(L^*_1, a^*_1, b^*_1)を測定し次式で色差とした。

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

また、測定時に写真撮影によって美観状態を記録した。

2.3 ワックス・コーティング剤及び青竹熱処理の効果

2.3.1 供試竹材

2.1.1同様の青竹と油抜竹の割竹(幅4cm×長さ12cm×厚さ約0.8cm)を用いた。各条件ごとに繰り返し数は3とした。

2.3.2 各種W剤と青竹の処理

油抜竹では、表示成分の異なる各種の市販W剤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とを調整した。各種W剤の表示成分をTable 2に示す。青竹は、無処理と熱風乾燥機中で105℃で1時間の熱処理し表皮層内の油脂成分を溶出させたもの(以下油脂青竹)及び加圧タンク中で圧力0.5MPa/cm²の蒸気加圧(蒸気温度=約150℃)を1時間行ったもの(以下炭化青竹)を調整した。

2.3.3 暴露試験

屋外暴露試験は、2.2.3同様とし暴露期間を1997年7月1日から11月16日までの108日間とした。

Table 2 油抜竹処理に供試した各W剤の成分と性状

処理記号	表示成分 (溶剤を除く)	剤の性状
W0	(無処理)	—
W1	フッ素樹脂	液体
W2	シリコンワニス・シリコンオイル	"
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	アミン系シリコン・カルナバロウ	"
W7	フオンブリン他	"
W8	フッ素系撥水剤	"
W9	カルナバロウ・UV吸収剤	固形

2.3.4 劣化評価

屋外暴露試験と促進暴露試験の劣化状態を比較するため、色差、撥水保持率、目視判定で評価を行った。

色差は、2.2.4同様の測定条件で求めた。

撥水保持率は以下のように行った。試験片を接触角測定装置(協和界面科学製:CA-Z)により、精製水滴下後5秒後の接触角を測定した。暴露前接触角値(θ_0)と暴露後接触角値(θ_1)を測定し、次式で撥水度保持率(KR)を求めた。

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

目視判定は、カビの発生や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○、美観が損なわれたと判断したものを×とする2段階評価で行った。

3. 結果及び考察

3.1 実大材竹垣による美観変化の観察結果

実際に竹垣が設置される場所は、一日中太陽光を浴びる場所ではなく、壁際や植栽された木々の周辺部などが多い。この実験は、より実際的なカビ等の微生物汚染や竹材自体の表面粗化などを相対的な美観変化として観察することで把握しようとするものである。屋外暴露直後、6カ月、1年の記録写真をFig.1(1)~1(3)に示す。暴露後3カ月での顕著な変化は、青竹建仁寺垣の緑色からの乾燥と光変色による黄白色化であり、美観劣化としての変化は観察できない。暴露6カ月で、油抜竹の節部や表面部にカビ等の微生物汚染による黒色への変色が一部で発生していた。油抜竹は、暴露9カ月で大きく黒色化する微生物汚染が進み、汚染による変化が最も顕著に観察された。暴露1年では、青竹建仁寺垣に一部変色の進行が観察されたが、これは、油抜竹のような微生物汚染とは異なり、竹材表面の光劣化にともなう粗化や剥落によるものと考えられ、銀灰色への変色であった。このことから、油抜竹の変色が梅雨期から夏期の間急速に黒色化する変色であるのに対し、青竹は初期の緑色から乾燥や脱色による黄白色への変色の後に表面の光劣化にともなう銀灰色化であって、美観上への影響は、黒色化の方が大きいといえる。

薬剤処理の効果は、無処理と比較して何れの条件においても汚染を抑制する顕著な美観保持効果は確認できなかった。また、西向き面における変化も観察したが、東向き面とほぼ同等な経時変化を示していた。青竹の表皮組織劣化は、東向き面に比べて進行していなかった。これは、直射日光の影響を受けにくい状態であることによるものと考えられる。

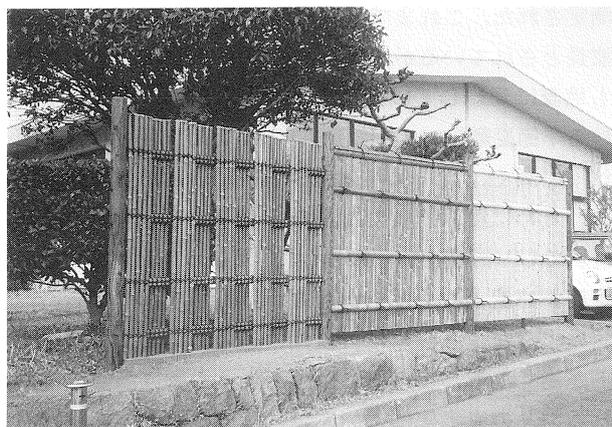


Fig. 1(1) 暴露直後の竹垣(1996年12月)

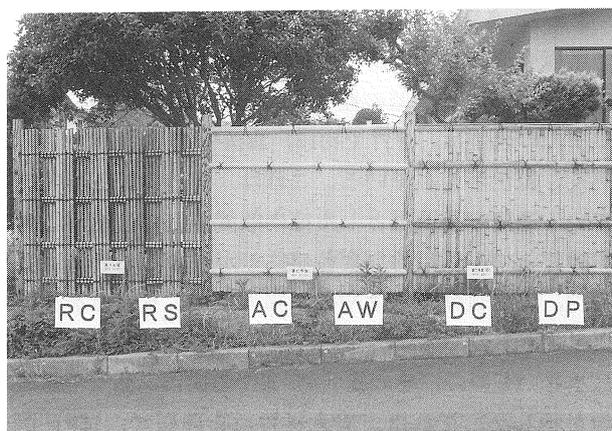


Fig. 1(2) 暴露6カ月の竹垣(1997年6月)



Fig. 1(3) 暴露1年の竹垣(1997年12月)

3.2 竹材種及び処理剤の経時変化の把握

3.2.1 太陽光紫外線の影響

紫外線の影響を検討するために、実際の暴露架台付近のUV照度を波長、暴露角度、季節変動等の条件で測定した。波長別照度では、可視光に近い420nmの波長が高い値を示すが、250nm付近をピークとする短波長も夏期の水平面で $0.97\text{mW}/\text{cm}^2$ 、冬期の45度面で $0.95\text{mW}/\text{cm}^2$ の照度が

測定された。これまで地表に達する紫外線は290nm以上の波長とされているが、何らかの理由で250nm付近の紫外線も地表に到達しているものと考えられる。南面45度における季節変動をFig. 2に示す。12時のUV照度は、春期や秋期が高く、夏期は冬期よりも低い。しかし日照時間が長いために積算照度では夏期が高くなる。夏期の暴露角度別のUV照度をFig. 3に示す。夏期の南面暴露では、水平面が45度よりもピーク照度、積算照度ともに高い。竹垣のような垂直暴露は、夏期の場合、南面より東面や西面が高くなる、よって、竹垣のような垂直暴露で使用される製品の光劣化については、45度暴露が促進試験の意味を持ち、今後竹材における相対的な促進性を検討し、明確にする必要がある。

3.2.2 各種処理竹材の経時変化

南面45度の屋外暴露架台で1年間暴露試験した各種処理竹材における色差の経時変化をFig. 4に示す。暴露150日までの色差は、青竹で約13、油抜竹で8で、青竹の方が高く、変色が進んでいる。これは、青竹の緑色が乾燥していく過程で基準値とした室内放置のものと同様の試験片とで、経時的な変色値に差が生じることによるもので、表皮組織の粗化や微生物汚染による変色が進行したというものではなかった。油抜竹は、150日までの色差は小さいものの、その後300日までの間に急激な色差の増加を示した。これは、実大材竹垣と同様に、150日から300日の間が気象上の梅雨期と夏期にあたりカビ等による微生物汚染で急激な黒色の変色が進んだことによるものであった。300日から360日までの色差の変化がほとんどないことから、屋外暴露では、梅雨期や夏期の温湿度や日射の影響が大きく変色に関与し、特に竹材の場合はカビなどによる生物汚染がこの季節に急激に発生することがわかる。また、処理剤別では、青竹における顕著な色差の差異は認められず、3.1の実大材竹垣実験の結果を支持するものであった。油抜竹の場合、S剤で表面処理を行ったものが無処理や他の薬剤処理に比べ色差変化が少なかった。S剤は、京都などの庭園竹垣に使用しているものであり、その表面観察では、微生物汚染による黒色化とは異なり、表皮組織の粗化剥落に近い灰褐色の変色であることから、生物汚染による美観劣化は抑制していると考えられる。

3.3 ワックス・コーティング剤及び青竹熱処理の効果

これまでの実験で、微生物汚染による黒色化が美観劣化の大きな要因であり、それが夏期中に発生していたことから、微生物汚染への効果を比較検討する目的で、各種W剤及び青竹熱処理の色差、撥水保持率、目視判定を行った。その結果をTable 3に示す。色差は10前後を美観保持範囲⁸⁾として考えれば、各W剤は20~25を示し全て

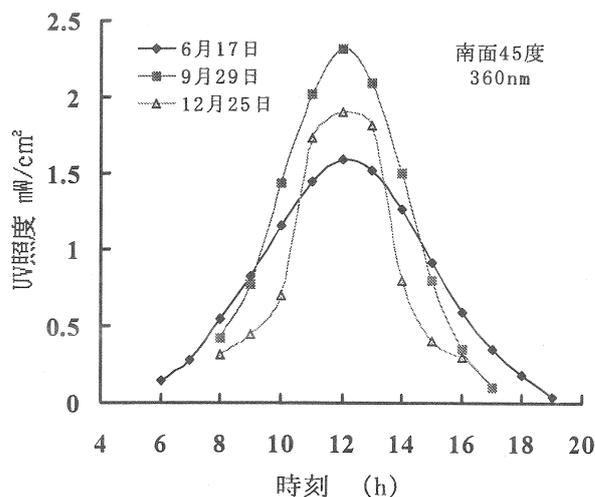


Fig. 2 南面45度のUV照度と季節の関係

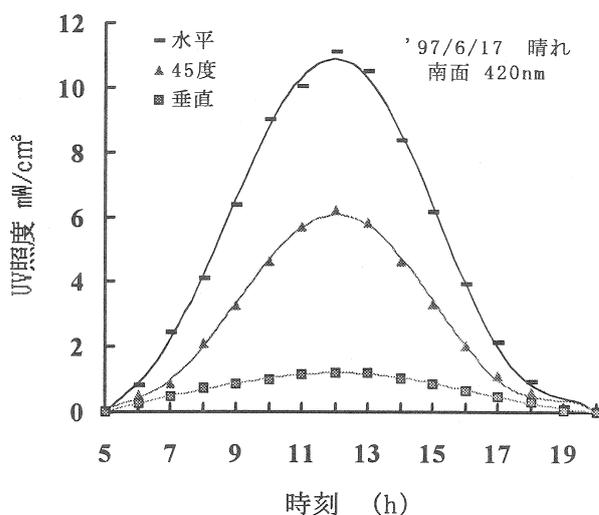


Fig. 3 南面暴露のUV照度と暴露角の関係

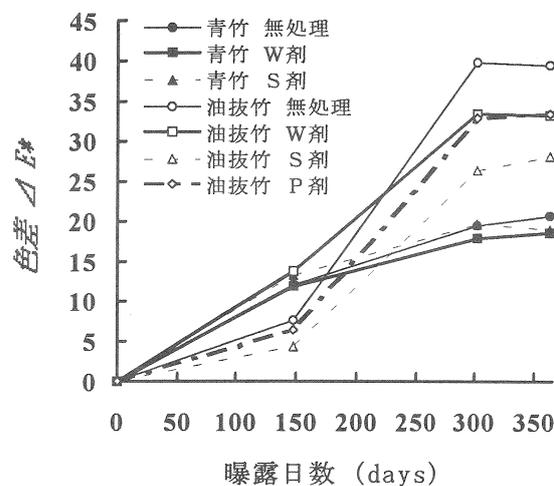


Fig. 4 各種処理竹材の色差の経時変化

が美観保持ができない結果となった。撥水度保持率は、無処理に比べれば高いものの40~53%であり、撥水効果を期待したものの結果として竹材表面では、その効果を発揮できなかった。無処理においてカビの発生が顕著であったことから、成分の異なる各種のW剤であっても、カビなどの微生物汚染を抑制する効果は得られなかった。今後は、W剤を基剤として、それに微生物を抑制する薬剤を添加することも検討する必要がある。

青竹における各処理の色差は、青竹無処理で13.1、油脂青竹が9.5、炭化青竹が17.8であった。美観保持範囲内とされるのは油脂青竹のみであった。撥水度保持率は、青竹無処理80.5%、油脂青竹89.5%、炭化青竹34.6%であった。目視判定で美観保持していたと判定できるのは、青竹無処理と油脂青竹で、油脂青竹については、ほとんど美観上の劣化と思われる変化は観測できなかった。炭化青竹については、繊維方向の微細な表面割れが激しく発生していた。

青竹が、油抜竹と比べて微生物汚染による変色が少ないのは、脱脂してしまう成分の中に何らかの耐候性物質が含まれているためと推定できる。最も一般的に考えられるのは、竹材中のワックス成分⁹⁾の影響となるが、モウソウチク抽出物の中にキノン系抗菌成分¹⁰⁾が含まれているという報告もあり、詳細な点については詳しい検討が必要であろう。

これらのことから、青竹の方が油抜竹に比べ美観保持期間が長いとする点については、明確にすることができた。また、熱処理により油脂の表面溶脱を促す処理は、乾式油抜（火抜き）と呼ばれる従来法の過程で行える比較的容易な処理であることから、今後その熱処理条件やその処理材の長期的な美観保持効果を更に検討していくこととしたい。

さらに今回の実験から、客観的な美観保持許容基準値

を推定すれば、目視判定との相関において、色差10以内、撥水度保持率80%以上を一つの目安とすることができると考えられる。微生物汚染による変色などの影響が無視できない自然素材においては、促進試験との相関が低いためにこのような屋外暴露試験の評価基準を示す報告¹¹⁾がなされており、今後、竹材においてもさらに詳細に検討した評価基準値を示す必要があると思われる。

4. 総括

竹材に各種処理を行い屋外暴露試験を1年間実施した結果以下のことが判明した。

- (1) 青竹、油抜竹では、青竹の方が美観変化が少ない。
- (2) 油抜竹の美観変化は、カビなどの微生物汚染による黒色化であった。その汚染は、気象環境に支配され6月から9月の間に最も汚染が顕著に発生した。
- (3) 青竹の美観変化は、光劣化にともなう表面の粗化や剥落を含む銀灰色化であり、微生物汚染の急激な進行による変色とは異なっていた。
- (4) S剤、P剤、W剤の各種薬剤の効果は、油抜竹に塗布したS剤を除いて、色差の経時変化は無処理のそれと変わらなかった。
- (5) S剤を塗布した油抜竹は、微生物汚染の黒色化が抑制されていたが、1年間の屋外暴露では銀灰色化した。
- (6) W剤は、各種成分の異なるものであっても、微生物汚染が全てに発生し、色差、撥水度保持率とも無処理と変わらなかった。
- (7) 油脂青竹は、7月~11月の4カ月間の屋外暴露において、微生物汚染による黒色化及び光劣化による銀灰色化や表面割れが認められず、美観を保持していた。
- (8) 竹材の美観保持の許容基準値は、色差10以内、撥水度保持率80%以上であった。

参考文献

- 1) 例えば 木口 実, 鈴木雅洋, 木下敏夫, 川村二郎: マテリアルライフ, 9-4(1997), p188
- 2) 例えば 木口 実ほか: 木材保存, 23-4(1997), p168
- 3) 川村二郎: 塗装技術講習会資料, (1997),
- 4) 小谷公人ほか: エクステリアバンパー調査報告会資料, (1996), 産業科学技術センター別府産業工芸試験所
- 5) 小谷公人, 川村二郎: Bamboo Journal, 13(1995), p76
- 6) 中原 恵, 小谷公人, 古曳博也: 日本木材加工技術協会第13回年次大会講演要旨集, (1995), p53
- 7) 小谷公人: 未発表

Table 3 各種処理竹材の色差, 撥水度保持率, 目視判定

処理記号	色差 (ΔE^*)	撥水度保持率 (KR%)	目視判定
W0	26.5	34.1	×カビ激
W1	24.6	40.5	×カビ大
W2	30.5	48.1	×カビ大
W3	19.4	42.2	×カビ大
W4	18.2	43.4	×カビ大
W5	24.8	48.6	×カビ大
W6	24.5	53.4	×カビ大
W7	23.3	42.9	×カビ大
W8	19.0	44.5	×カビ大
W9	22.8	48.5	×カビ大
青竹無処理	13.1	80.5	○光沢褪
油脂青竹	9.5	89.6	○
炭化青竹	17.8	34.6	×割れ激

- 8) (財)日本色彩研究所 編：カラーマッチングの基礎と応用，(1991)，p60，日刊工業新聞社
- 9) 森田慎一：日本産主要竹類の研究，青木尊重編，(1987)，p224，葦書房
- 10) 仁科淳良：FFI JOURNAL，No. 170(1996)，p53
- 11) 木口 実，鈴木雅洋，木下敏夫，川村二郎：木材工業，52-12(1997)，p612