

各種処理竹材の美観維持期間とエクステリア竹材製品の提案

—竹材の耐候処理技術に関する研究(第3報)—

小谷公人・二宮信治・大内成司・久津輪勝男
別府産業工芸試験所

Improvement of Weather Resistance of Bamboo Culm Surfaces (III)

Kimito KOTANI・Shinji NINOMIYA・Johji OUCHI・Katsuo KUTSUWA
Beppu Industrial Art Research Division

要旨

竹材における各種表面処理剤や材料処理技術を用いたこれまでの各種処理竹材の屋外暴露試験と促進耐候試験等の結果を総括し、各種処理の実用上の美観維持期間を推定した。その結果、(1)油抜竹では、紫外線照射による表面改質処理を行った造膜型塗料による塗装処理は美観維持期間2~3年と推定でき、市販油抜竹の0.5年以下に比べて優れていた。(2)青竹では、105°Cの雰囲気下で1時間熱処理して竹自身の油脂分で表面を被覆する油脂膜処理が美観維持期間1~2年と推定でき、市販青竹の1年以下に比べて優れていた。(3)実用化を考慮すれば、青竹の油脂膜処理を乾燥工程と兼ねて導入することが望ましいと判断した。

また、この処理技術を製品利用するためエクステリア竹材製品の提案として、450×900mmを1モジュールとするユニット化フェンスを試作した。

1. はじめに

国内における竹材産業界では、資源としての竹はあっても、素材としての竹材生産量が減少する傾向¹⁾が続いている。これは輸入竹材の影響と伐採技能者の減少によるものとされているが、竹材としての付加価値を持ち得る製品開発が進み難い現状²⁾も無視できない。特に、建築土壁用下地材(小舞竹)の需要の減少や造園資材としての竹垣のプラスチック代替製品の市場参入により、これまで直径の大きな竹材(大径竹)を定期的に消費していた製品用途が失われていることは、深刻である。

これらの状況を背景に、本研究では、やさしい本物を志向する生活者の要求と、成長市場との予測がなされている住宅外構材・造園景観材の市場に照準を絞り、新たな付加価値を持ち得るエクステリア竹材製品を開発することにより、竹材産業界の課題である大径竹の需要を生み出す製品開発を目的とする。(Fig.1)

木材においては、劣化気象因子と劣化機構³⁾や耐候処理技術⁴⁾が種々報告され、またエクステリアウッドの耐候・耐久化処理の現状を諸外国との比較で検討した報告⁵⁾もある。木製サッシ⁶⁾や透明系造膜塗料⁷⁾などでも耐候性の評価が検討されている。

竹材の耐候処理技術は、エクステリア竹材製品の新たな付加価値を生み出す技術課題として重要であるにもかかわらず、国内における検討はほとんど行われておらず、経験則によるものが継承されている状況が続いてきた。これまでも、木材用に市販されている一般的な木材保護塗料を竹材に適応しても同様な効果を得れない事例などが技術相談として寄せられている。

そこで本研究は、これまでに当センターでの研究において報告⁸⁾⁻¹⁰⁾してきた表面処理剤および基材処理の各種処理の実験結果を比較考察し、エクステリア竹材製品を開発する上で必要となる竹材の耐候処理を現状で総括するものである。つまり、竹材における劣化因子を整理し、木材との違いも含めて耐候処理の効果を美観維持期間として推定することで、今後の竹材の耐候処理技術を検討する参考となることを期待している。

また、コスト等も含めて実用化の可能性を検討し、耐候処理として用いる上での製造工程を提案するとともに、その処理技術を用いてユニット化が可能なエクステリア竹材製品の試作開発を行ったので、その提案も合わせて報告する。

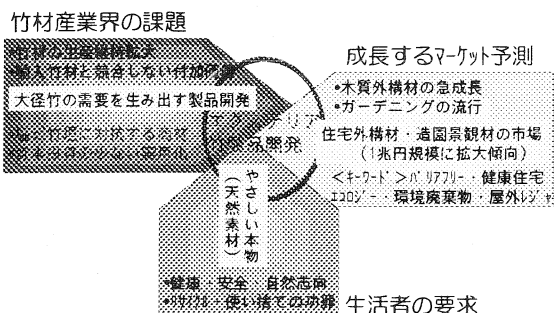


Fig.1 研究の背景

2. 劣化因子とその影響

屋外における竹材の劣化因子は、Fig.2に示すように日射光、雨水、温湿度変化などの気象劣化と、カビ、虫、腐朽菌などの生物劣化が挙げられる。この気象劣化と生物劣化が相互に作用し合って竹材を劣化させる。

2.1 気象劣化

木材ではこの劣化因子の中で、気象劣化の日射光に含まれる紫外線の影響が大きいといわれている。地上に到達する紫外線は一般的に300~400nmといわれているが、300nm付近の短波長はエネルギーが強く、リグニンなどが光分解の主役と考えられている³⁾。

竹材の表皮に紫外線を照射すれば、C-C結合が光分解し、C=O結合等の光酸化が増加し、表皮組織層の粗化やクラックが生じる¹¹⁾ことから、表層における紫外線の光化学反応による分解は、剥落風化を引き起こすと考えられる。日射光に含まれる紫外線も雨水や温湿度変化と同様に季節変動し、300nm付近の短波長の紫外線は、春から夏場にかけて地表に到達する¹²⁾。また、年間を通して最大日射量となる屋外暴露の角度は、東京付近では30度とされているが、屋外暴露試験は一般的に45度で行われている。竹垣などの利用においては、90度の垂直暴露が最も実際に近い条件であり、垂直暴露の場合、前述の夏場における短波長の影響を受けるのは、日射光が朝夕に正面から当たる東面と西面であることも考慮する必要がある。

雨水や温湿度も、水分と熱と捉えれば光酸化反応を促進する働きを持つとされ、日射光との複合作用が劣化機構を複雑なものとしている。竹材においても、紫外線照

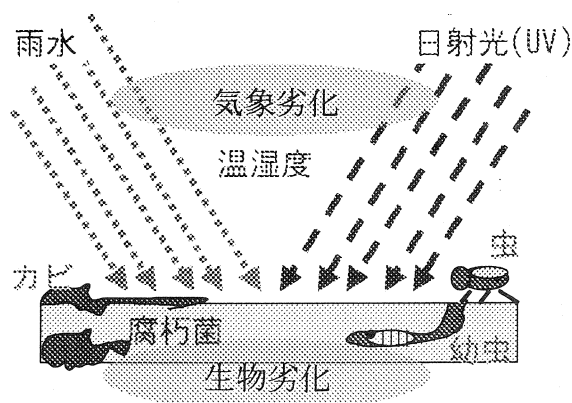


Fig.2 竹材の劣化因子

Table 1 竹材の劣化因子とその影響

因子 影響	生物劣化			気象劣化		
	カビ	虫	腐朽菌	日射(紫外線)	雨水	温湿度変化
強度劣化	—	内部侵食	組織分解	—	成分溶脱	膨潤収縮・割れ
美観劣化	表層汚染	侵入脱出孔痕	—	表層剥落	溶出・塵汚染	—

射で表皮層が粗化されると、それまで疎水性であった表皮面が水のぬれ広がる性質を示し親水性となる¹¹⁾。ぬれ広がることと剥落が重なり、表層組織成分の溶脱、水分の滞留、温湿度変化による竹材の膨潤や収縮が起こる。その結果、竹材内に応力が発生し基材割れも起こると考えられる。また、凍結や積雪などの影響も考慮しなくてはならない。

2.2 生物劣化

竹材において、木材よりも顕著な劣化因子は、生物劣化である。これは竹材中の糖分とデンプンが木材のそれに比べて多いことが要因と考えられている。竹材中の糖分やデンプンは季節変動することが確認されており、マダケでは6月頃、モウソウチクでは3月頃がこれら養分の最も蓄積量の多い時期で10wt%前後含まれている¹³⁾¹⁴⁾。逆に蓄積量が少ない時期はマダケでは12月頃、モウソウチクでは9月頃となり、発筍期に由来するものとされている。

カビは、高温多湿となる梅雨期~夏にかけて、吸湿性の糖とデンプンを栄養源として多く発生する。カビの発生する限界温湿度と竹材含水率の関係は、湿度70%で、30°Cの場合における含水率11%付近にあると推定される¹⁵⁾。

竹材の害虫は、チビタケナガシクイムシ、タケトラカミキリ、ヒラタキクイムシが代表的なものである。虫害は、その生育環境として温度20°C以上となる季節の4~8月の間に成虫となって竹材内部から飛び出して活動し、産卵する。主に竹材中の糖分を栄養源として消化し、消化できないセルロースなどを粉末にして排出する¹⁶⁾。

腐朽菌は、カビとは異なり竹材内部に侵入し、主にセルロースやヘミセルロースの分解吸収を行うものを褐色腐朽菌と総称し、リグニンも含めて分解するものを白色腐朽菌と呼ぶ。マダケ油抜材の腐朽による重量減少率は、褐色腐朽菌のオオウズラタケで11%、白色腐朽菌のカワラタケで16.5%であり¹⁷⁾、木材ではスギ、カラマツ、ラジアタパインの辺材部と同程度とされ、耐朽性は屋外で2.5年以下に区分される¹⁸⁾。よって、マダケ丸竹の場合、直接土壤中に埋没させたり接地した使用状況では、地中部よりも地際部の腐朽が激しく2年程度で折れてしまう。

2.3 劣化の影響

これらの劣化因子が竹材に与える影響を大別すると

Table 1に示したように、強度劣化と美観劣化に区分することができる。竹材はその形状からしても中空で肉厚の少ない材料であることから、これまでは屋外において強度劣化が致命傷となる用途での使用は少なく、むしろ植木支柱のごとく一定期間その機能を果たせば、朽ち果てることを長所とした消耗品的用途での利用が行われてきた。今後、竹材を高耐久が必要となる屋外での構造材や接地外構材として利用するならば、木材同様に防腐・防虫処理や寸法安定化処理が必要となる。

一方の美観劣化は、現在では竹材の屋外利用における重要な技術課題であり、特に生物劣化のカビ汚染と日射光による表層剥落は、竹材の美観を1年足らずのうちに著しく損ねている。この美観劣化は、カビと日射光の複合した外的作用によって、竹材表面が影響を受けるものとして捉えることができ、竹材美観劣化を抑制する表面処理を検討する必要がある。よって、今回の耐候処理技術は、主に竹材の美観劣化を対象としたものである。

3. 実験した表面処理剤及び基材処理

この美観劣化を抑制する実験として、これまでに塗料、塗布薬剤、ワックス・コーティング剤等の表面処理剤による処理と、竹材自体を改質する基材処理を行った。

3.1 表面処理剤

3.1.1 塗料⁸⁾

木材の場合、耐候処理として一般的なのが塗料を用いる塗装処理で、これらは、木材保護着色塗料(WPスチン=Wood Preservative Stains)と総称されている。この塗料は、樹脂とともに着色顔料、防腐・防虫剤、撥水剤などを添加したもので、表面から浸透するタイプのものが一般的である。竹材の場合は、この浸透型の塗料では、表皮面でぬれ広がらず、ほとんど浸透しないために、使用した場合の効果は木材と異なる。

また、合成樹脂ペイントやフタル酸樹脂、ポリウレタン樹脂、フッ素樹脂、シリコン樹脂、ポリブタジエン樹脂などの防虫・防カビ剤は添加されていないが高耐候性目的で調整された造膜型の樹脂塗料も、竹材表皮面と塗料塗膜との付着性が悪く剥離しやすいために、竹材表皮面を機械的に粗化し投錨性を改善するか、ぬれ広がりやすい親水性の性状に改質する基材処理が必要となる。

3.1.2 塗布薬剤

竹材表面にもぬれ広がるような溶剤を使用し、防虫・防カビ剤を添加したクリヤータイプの塗布薬剤が市販されている。この塗布薬剤は、主に現場塗布作業に用いられ、竹垣のメンテナンスに使用されている実績を持つものである。

3.1.3 注入薬剤

防虫を目的とした加圧注入処理用の水溶性薬剤で、硼砂ホウ酸系薬剤と逆性石鹼(AAC)を主成分とする。加圧注入により内部まで浸潤し、硼砂ホウ酸系薬剤は消化毒として作用し、AACは接触毒として作用する。近畿地方では室内用の銘竹材、大分では小舞竹(土壁用下地材)に使用されるプラントが稼動しており、屋外での美観劣化についての把握を行う目的で供試した。

3.1.4 ワックス・コーティング剤

カルナバロウなどの天然油脂、シリコン樹脂、フッ素樹脂などに撥水剤や紫外線吸収剤を添加し、表層に被膜を形成することで基材自体の劣化を抑制する。一般的には自動車などの金属塗面に使用することが多く、防カビ剤などは含まれていない。

3.2 基材処理

3.2.1 紫外線改質処理¹¹⁾

高強度の紫外線エネルギーを竹材表面に照射することで表面性状を改質し、竹材表皮の塗膜付着性を改善する処理技術である。付着不良層(Weak Boundary layer)として存在する竹材のワックス成分を光分解し、さらに塗料の付着に有利な光酸化による官能基の生成や表面粗化を非接触で行うもので、塗膜付着率をほぼ100%に改善する。この処理では、既に竹材が脱脂され乾燥していることが処理時間の短縮や塗膜付着率の安定につながることを確認しており、油抜竹に高耐候性を有する造膜型塗料の適応をはかる塗装前処理と位置付けている。

3.2.2 油脂膜処理

青竹表面に存在するワックス成分を、3.2.1とは逆に、竹材表面を自己コーティングしている膜状成分と捉えて耐候性の向上をはかる処理である。つまり、表面のワックス成分の融点を超える温度で熱処理し、表面に融着させる。今回の処理実験では、約80℃以上に融点があることを確認し、実際の熱処理では、青竹の乾燥をはかる工程と組み合わせる目的で、熱風乾燥機中で105℃、1時間の熱処理を行い放冷した。

3.2.3 高圧蒸気処理

竹材を加圧飽和蒸気の雰囲気中で、水熱処理するもので、一般的には加圧蒸気缶内で0.49MPa(5kgf/cm²)の圧力で20分程度の処理が行われ、主に竹材の熱変色を期待した着色目的で汎用化している。また、この処理を行った場合、水熱処理の影響で竹材中の成分の変化や溶脱等が考えられ、竹材の虫害被害が軽減していることから、屋外での利用においても、美観劣化の程度を把握する必要があると考え供試材とした。今回の供試材の処理条件は、0.49MPa(5kgf/cm²)の圧力下の缶内雰囲気温度150℃で1時間であった。

Table 2 美観維持期間の評価基準 (期間単位=年)

試験方法	色差 ΔE^*	撥水度保持率 KR	目視判定
屋外暴露試験	10以内の期間	60%以内の期間	○と判定した期間
促進暴露試験	-	60%以内の時間/1000	○と判定した時間/1000

Table 3 推定した各種耐候処理の美観維持期間 (期間単位=年)

		表面処理剤						
		無処理	塗料			塗布薬剤	注入薬剤	ワックス・コーティング剤
			浸透型	半造膜型	造膜型			
基材処理	油抜竹	< 0.5	-	-	-	0.5~1	< 0.5	< 0.5
	青竹	< 1	-	-	-	1	< 1	< 1
	紫外線改質処理	-	< 0.5	1	2~3	-	-	-
	油脂膜処理	1~2	-	-	-	-	-	-
	高圧蒸気処理	< 0.5	-	-	-	-	-	< 0.5

4. 美観維持期間の評価基準

実験したこれらの耐候処理は、マダケを供試材料とし、JIS K 5400に基づき、屋外暴露試験および促進暴露試験等で耐候性を確認した。劣化評価は、木材における塗装材の塗り替え基準に用いた劣化評価方法¹³⁾を一部参考にしながら、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、経時変化を測定し美観劣化の評価を行った。

美観維持期間の推定は、これまでの美観劣化の評価結果から、色差で10以内、撥水度保持率で60%以内として、目視判定を行った実験については美観が維持されていると判断された○の判定を指標とした。促進暴露試験では、カビなどの生物汚染等を受けないことから色差は対象とせず、屋外暴露1年に相当する促進暴露試験時間が約1000時間に相当する¹²⁾ことから、Table2に示す評価基準を参考とした。

5. 美観維持期間の推定

年単位で、美観維持期間を推定した結果をTable3に示す。市販の油抜竹は0.5年未満、青竹は1年未満と推定した。各種処理のうち、美観維持期間が明らかに改善したと思われるものは、基材処理として紫外線改質処理後に造膜型塗料を塗装処理したものと、青竹の油脂膜処理であった。

5.1 造膜型塗料の塗装処理

各種造膜型塗料を塗装処理した竹材の屋外暴露3年での劣化状況をFig.2に示す。造膜型塗料の中でも樹脂種別では、透明系のポリブタジエン樹脂塗料と顔料を添加し着

色したアミノアルキド樹脂塗料が優れていた。透明塗料であるポリブタジエン樹脂塗料は、表皮面側部から塗膜剥離が生じている。木材保護着色塗料の1種であるアミノアルキド樹脂塗料は、一部基材割れから塗膜剥離や塗膜の浮き上がりが生じ、その部分はカビや基材の変色で黒色化していたが、比較的健全であった。

しかし、節部を持つ供試材では節部から発生した基材われによって塗膜剥離が進行していることも同時に観察できる。また、他の各種樹脂塗料が3年でほとんどが完全に塗膜剥離を起こしていることも考慮し、美観維持期間2

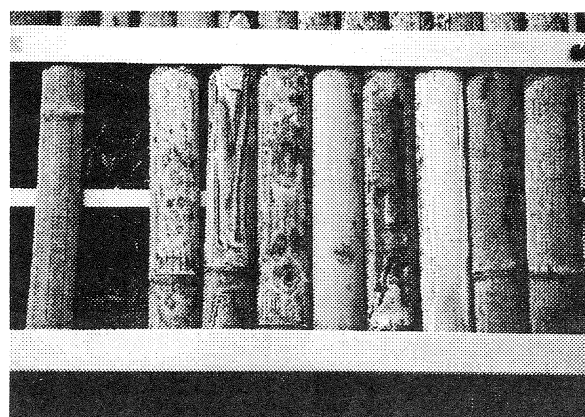


Fig.2 暴露3年の各種造膜塗料の劣化状況

~3年と推定した。

5.2 油脂膜処理

塗布薬剤、注入薬剤、ワックス・コーティング剤の表面処理剤や高圧蒸気処理は、1年目の梅雨期から秋にかけての屋外暴露で、表皮の剥落風化や割れとカビ汚染が発生し変色したのに対し、油脂膜処理は色差 $\Delta E^*=9.5$ 、撥水

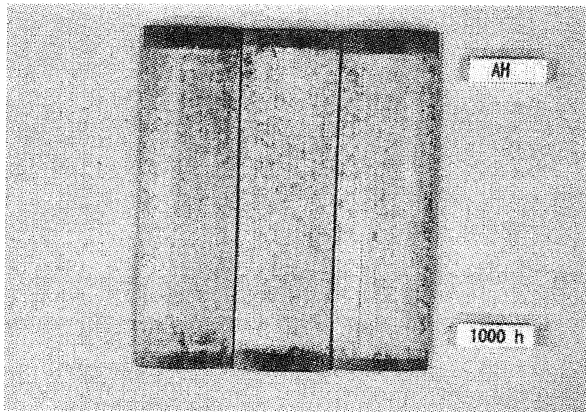


Fig.3 促進耐候試験1000時間の油脂膜処理の劣化状況

度保持率 $KR=89.6\%$ で評価基準を上回った。また、促進耐候試験においても促進試験時間1000時間で撥水度保持率 $KR=64.8\%$ を示し、評価基準1年以上となる。Fig.3に促進耐候試験1000時間の油脂膜処理の劣化状況を示す。

この処理は青竹自身に含まれるワックス成分に依存するため、その融着状態に竹材個々の異差が生じやすいことも考慮し、美観維持期間1~2年と推定した。

5.3 実用化の検討

現状の竹産業界で実用化を前提に、コストとメンテナンスの観点も合わせて検討すれば、塗装処理では紫外線改質処理装置や塗装装置の設備投資や処理工程が2工程となる処理コストと、塗膜剥離による美観劣化が進行した後のメンテナンスが困難であることが短所となる。

一方、油脂膜処理は100℃程度の熱風乾燥機で乾燥と同時に処理が行えることと、塗料などの原材料を必要としないこと、メンテナンスにおいても全体が同様な劣化傾向を示すため、塗布薬剤で美観劣化の抑制も可能であり、美観維持期間を伸ばす現場メンテナンスにも対応できると考えられる。よって、実用化は、油脂膜処理が有望であると考えられる。

6. エクステリア竹材製品の製造

耐候処理技術として油脂膜処理を導入したエクステリア竹材製品の試作開発を試み、その製造工程も含めて検討したので提案する。エクステリア竹材製品は、ガーデニング・フェンスとした。

6.1 処理技術の導入

ユニット化フェンスの製造工程をFig.4に示す。荒割りされた竹を表面を洗浄後、乾燥と油脂膜処理を兼ねて85~105℃程度の熱風乾燥を行い、既定寸法形状に加工し、必要に応じてフェンスフレームとなるスギなどの木材部材とともに既存の防虫・防カビ処理を行う。その竹材フレーム部材を組立加工しユニットを製造する。

6.2 ユニット化のサイズとバリエーション

ユニット化における1フレーム部材のサイズは、1800mmなどの規格モジュールから、DIYや通販などでのマーケットを想定し、普通自動車でも流通運搬可能なサイズとする。例えば、Fig.5に示すような450×900mmや、600×900mmを1フレーム部材として、割竹部材の配列でデザインバリエーションを広げる。

6.3 ユニット化フェンスの試作

実際に油脂膜処理した竹材を用いて、美観維持期間が向上したユニット化フェンスを試作した。Fig.6に示すように、取付金具などでガーデニングのポットを飾る機能を付加すれば、竹垣とは違ったエクステリア竹材製品のマーケットに対応することも可能であると考えられる。

7. まとめ

屋外における竹材の美観保持期間を改善する耐候処理技術は、劣化因子の影響のうち、日射光の紫外線による表皮層の剥落と梅雨期から夏にかけての高温多湿な気象環境下で発生するカビ汚染等の黒色化を抑制することで

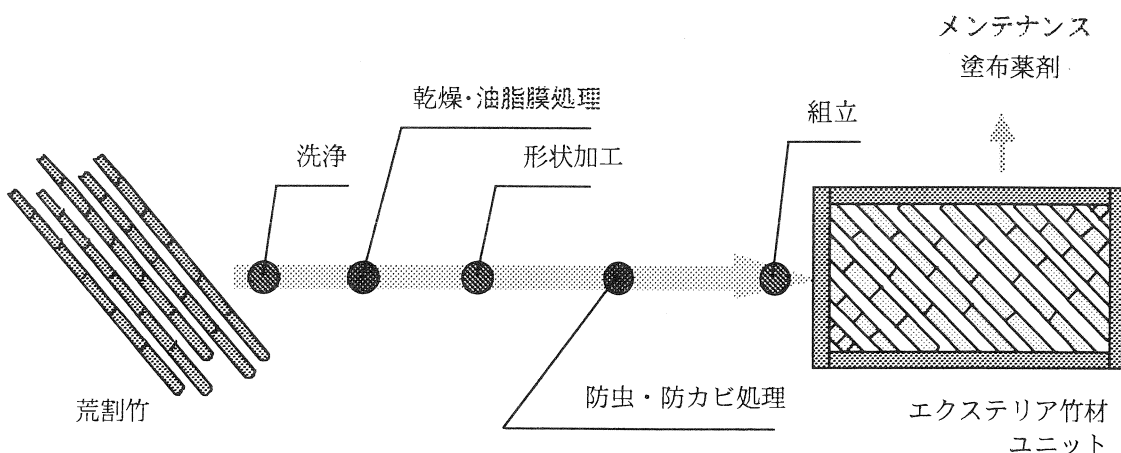


Fig.4 ユニット化フェンスの製造工程

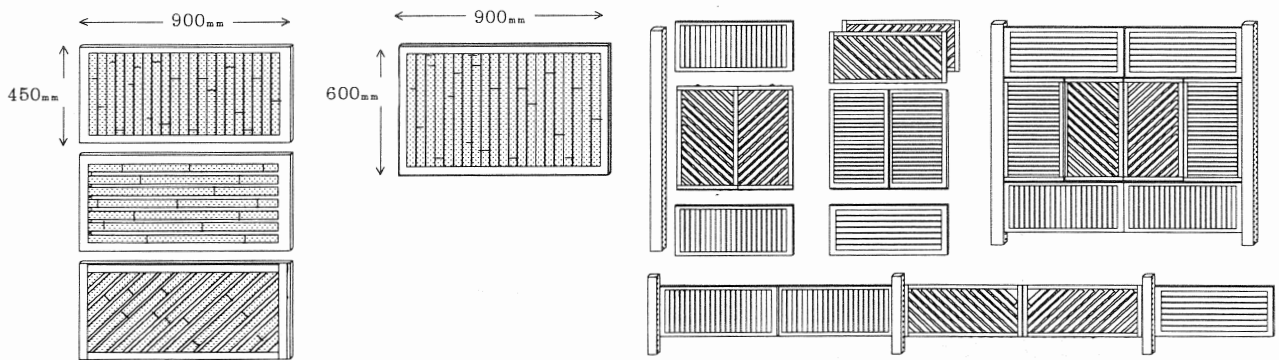


Fig.5 ユニット化のサイズとバリエーション

ア竹材製品の開発を促すことが出来るものとする。

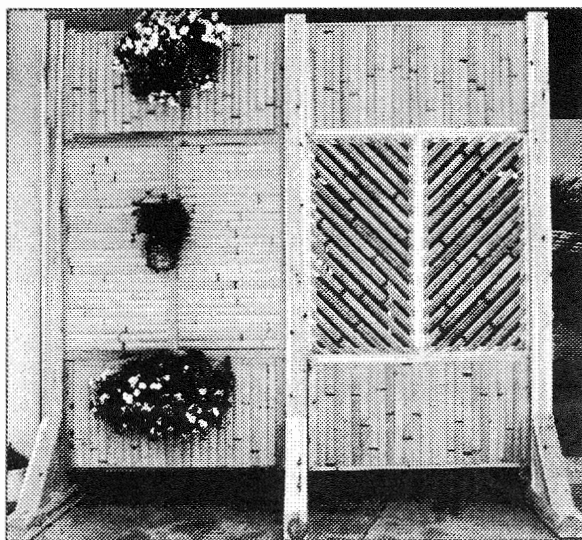


Fig.6 試作したユニット化フェンス

参考文献

- 1) 小谷公人：木材工業，51(1996)，p8-12
- 2) 小谷公人：Bamboo Voice，No.7(1999)，p2-8
- 3) 木口実：木材保存，19(1993)，p262-271
- 4) 木口実：木材保存，20(1994)，p55-62
- 5) 木口実：木材工業技術短信，17-1(1999)，p16-34
- 6) 木口実，鈴木雅洋，木下稔之，川村二郎：マテリアルライフ，9(1997)，p188-195
- 7) 木口実，片岡厚，土居修一，森満範，長谷川益夫，森田慎一，嘉手苅幸男，今村祐嗣：木材保存，23(1997)，p168-175
- 8) 中原恵，吉岡誠司，小谷公人，古曳博也：平成5年度産業科学技術センター研究報告，(1995)，p81-84
- 9) 小谷公人，玉造公男，二宮信治，木口実：平成9年度産業科学技術センター研究報告，(1998)，p139-144
- 10) 小谷公人，二宮信治，木口実：平成10年度産業科学技術センター研究報告，(1999)，p157-160
- 11) 小谷公人，川村二郎：Bamboo Journal，13(1995)，p76-83
- 12) 栗原福次：高分子材料使い方ノート，日刊工業新聞社(1992)，p48
- 11) 小谷公人，川村二郎：Bamboo Journal，13(1995)，p76-83
- 13) 善本知孝，森田慎一：東大農学部付属演習林報告，74(1985)，p9-15
- 14) 二宮信治，小谷公人，古曳博也，中原恵：Bamboo Journal，15(1998)，p48-55
- 15) 岩本博道，栗原一男，志賀正幸：発酵研究所報告，13(1957)，p11-19
- 16) 井上嘉幸：木材工業，7(1962)，p180-184
- 17) 小谷公人，古曳博也，二宮信治：平成7年度産業科学技術センター研究報告，(1996)，p106-111
- 18) 今村祐嗣：木材保存入門 改訂版，日本木材保存協会(1998)，p80
- 19) 木口実，鈴木雅洋，木下稔之，川村二郎：木材工業，52(1997)，p612-617

可能であると考え、これまでに、各種の表面処理剤と基材処理を検討した結果、美観維持期間の明らかな改善がはかられた処理は、紫外線改質処理した竹に造膜塗料を塗装処理する技術と青竹表面のワックス成分を85~105℃の熱で融着させることで自己コーティングを行う油脂膜処理であった。

これまでの屋外暴露試験と促進耐候試験等の結果を総括し、美観維持期間を推定した。その結果、

(1)油抜竹では、紫外線改質処理を行い造膜型塗料による塗装処理の美観維持期間を2~3年と推定した。

(2)青竹では、105℃の雰囲気下で1時間熱処理した油脂膜処理の美観維持期間を1~2年と推定した。

(3)実用化を考慮すれば、青竹の油脂膜処理を乾燥工程と兼ねて導入することが望ましいと判断した。

また、この処理技術を製品利用するためのエクステリ竹材製品の提案として、450×900mmを1モジュールとするユニット化フェンスを試作した。

これによって、新たな付加価値を持ち得るエクステリ