

竹材の腐朽菌・変色菌の発生とその抑制に関する研究(第1報)

小谷公人*・古曳博也*・二宮信治**
*別府産業工芸試験所 **材料開発部

Study on Control and Growth of Fungi or Mold in Bamboo Culms(I)

Kimito KOTANI*・Hiroya KOHIKI*・Shinji NINOMIYA**

*Beppu Industrial Art Research Division **Material Development Division

要旨

竹材におけるカビや腐朽菌の抑制処理を検討するために、近年開発された市販薬剤を用いて一般的な処理条件下でJISに準じた抑制効力試験を行った。かび抵抗性試験(JIS Z 2911)については、薬剤浸漬時間10分での抑制効力は低く、浸漬時間8時間で一部の薬剤に抑制効力が認められた。また、青竹と油抜竹との比較では、油抜竹に抑制効力が認められた。防腐効力試験(JIS A 9302)は、減圧注入2時間で防腐処理したが、腐朽菌の抑制効力が低かった。これらは、竹材の薬剤吸収量が木材に比べて低いためであると考えられ、竹材における菌の抑制においては、薬剤吸収量を高める注入処理法を再検討する必要があることを示唆した。

1. 緒言

本県は、マダケに関して竹林面積・竹材生産量とも全国比で4割近くを占有する国内有数の竹材供給県である。また、そのマダケを素材とした竹工芸品の製造も生産高で全国シェア30%を越え、それらを販売する竹製品関連商社も県内に数多く立地し、全国的にも類を見ない竹材関連産業が集約された地域といえる。

平成6年の林野庁統計によれば、国内の総竹林面積は11.5万haで、筍用竹林を除いた竹材用竹林面積は7.1万haであり、その57%が九州地域に集中している。竹材生産量は年間約11.3万ton¹⁾で、都道府県別では、鹿児島県3.9万ton、大分県1.4万ton、熊本県1.2万tonと上位3県で全国シェアの58%を占める。このように竹を資源として捉えれば、九州地域に集中的に自生する地域資源として、その有効活用が過疎地域を含む農山村地域の独自産業や雇用を形成する一助になる可能性を秘めている。

また、竹材利用における近年の傾向²⁾は、「早生木質系資源」という観点からか、建築材をはじめとする工業的部材利用^{3), 4)}が各地で試みられて、竹材の材料性能を向上させる技術開発や素材としての耐久性に関心が高まりつつある。

竹材の耐久性については、特にその生物劣化として、腐朽菌による組織成分の分解、かび(変色菌や軟腐朽菌の一部)による表面汚染、乾材害虫(タケカミキリ・ヒゲタケガシクイ等)による食害などにより強度低下や美観劣化をとまなうことが竹材の課題とされており、これまでにいくつかの報告⁵⁾がある。

竹材に発生するかびについては、岩本らが発生する菌種⁶⁾、発生しやすい竹材の部位⁶⁾、発生環境としての温湿度の影響⁷⁾、pHとの関係⁸⁾、防かび効力⁹⁾、竹材成分との関係¹⁰⁾等について報告している。また、王ら¹¹⁾はスギやベイツガ等の針葉樹と比べ、ゴムノキやモウソウチクはかび感受性が顕著であるとしている。竹材の腐朽については、芝本ら¹²⁾がウスバタケによる竹材部位別の腐朽性をモウソウチクを用いて実験した結果、半径方向では内部側が腐朽しやすく、繊維方向では竹稈の中上層部が腐朽しやすいとしている。

竹材にかびや腐朽菌が発生しやすい要因としては、竹材の組織と成分組成が、木材と異なった状態で構成されているためであると推察できる。竹材の組織¹³⁾は、表皮側ほど韌皮繊維の集合体である維管束細胞の面積密度が高く、逆に内皮側内層部は柔細胞の面積比が高くなる。この柔細胞内には水溶成分である多糖類のペントザン¹⁰⁾やデンプンが多く存在し、これらの成分がかびや腐朽菌の栄養源となるとともに、高湿な環境下では材中に水分を吸湿し、菌の発生しやすい環境をつくるものと考えられる。

竹材のかびや腐朽を抑制するために、これまで薬剤が用いられてきたが、近年の環境保全や安全性への配慮から、従来使用されてきた有機錫系や塩素化フェノール系の防かび剤、砒素やクロムを含む防腐剤の使用制限が進行する状況下であり、これに替わる各種新規薬剤が市販または実用化^{14), 15)}されている。これらの多くは、木材使用を目的とするもので、有効成分は低毒性でありなが

ら抑制効力は従来品と同程度とされているが、竹材における使用についてはほとんど検討がなされていない。また、竹材に使用する場合、製竹材製造工場では、薬剤中に浸漬する方法で行われるが、その浸漬時間も木材に準じた処理時間が一般的である。

そこで今後、竹材の耐久性を向上させ信頼性の高い素材とする上で必要となる薬剤処理を再検討する必要があると考え、現在市販されている防かび剤や実用化された防腐剤を用いて、一般的に行われている処理条件による抑制効力をJIS試験法に準じて評価することとした。

2. 実験

2.1 かび抑制評価試験

2.1.1 供試材料

竹材は、大分県産マダケ (*Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc) を使用した。この竹材は、5月下旬から6月上旬に伐採された竹齢3年生以上のものであり、伐採後数日経過した青竹と既にNaOH 0.02~0.04%水溶液中で20分煮沸脱脂し天日乾燥させた油抜竹の2種を用いた。実験時の含水率は、青竹50.7%、油抜竹10.3%であった。供試材料寸法は、表皮及び内皮のついた状態で、繊維方向50mm×接線方向20mm×厚さ5-8mmの試験片とした。試験片数は1条件あたり6個とした。

2.1.2 薬剤浸漬処理

供試薬剤及び処理条件をTable 1に示す。有効成分が明らかにされた薬剤については、その成分を明記した。供試薬剤には、大別して①有機錫系及び塩素化フェノール系以外の水溶性防かび剤②竹材用に市販されている防虫防かび兼用薬剤③塗布用及び塗料添加型防かび剤の3タ

イプと、比較対照剤として硫酸銅を用い、薬剤指定濃度範囲内で調整した薬液とした。薬剤処理は、処理時間を10分及び8時間の2条件とし、薬液中に試験片を浸漬し浮き上がらないよう金網をのせて所定時間浸漬後、引き上げ薬液を軽く拭き取り14日間以上風乾した。また、展着剤処理は、アクリルスチレン共重合エマルジョン(コニシボンド糊製CZ-125)を水と1:1の重量比で混合したものを展着剤として、水溶性薬剤を指定濃度範囲内で混入し、同様に処理した。塗料添加型薬剤Dは、2液型ポリウレタン樹脂塗料をシンナーで50%希釈したものに混入し用いた。この展着剤処理及び塗料混入処理は浸漬時間10分とした。

2.1.3 薬液付着量の測定

処理条件下における竹材の薬液吸収性を把握するために、各試験片の処理前重量(W0)と処理後重量(W1)を測定し、次式により薬液付着量を求め、その平均値を薬液付着量(RL)とした。

$$\text{薬液付着量(g)} \quad RL = W1 - W0$$

2.1.4 かび抵抗性試験

各処理を行った試験片は、JIS Z 2911¹⁹⁸¹の一般工業製品の試験に準じた。試験片は内皮側を上に向けて培地上に置き、試験片上に供試菌を混合接種し4週間培養した後、目視観察で評価値及び推定発育菌種名を記録した。

2.2 腐朽菌抑制評価試験

2.2.1 供試材料

2.1で用いたものと同じ青竹及び油抜竹を使用した。この試験の供試材料寸法は、竹材で形式的に可能な寸法を優先し繊維方向(Lx)20mm×接線方向(Wx)20mm×厚さ(Hx)5-8mmとした。実験時の含水率は、青竹53.1%、油抜竹

Table 1 供試薬剤(防かび剤)と処理条件

処理名 薬剤記号	供 試 薬 剤			浸漬 10min		浸漬 8 h		展着剤 10min	
	薬 剤 区 分	溶媒	濃度%	青竹	油抜竹	青竹	油抜竹	青竹	油抜竹
A	木材用・ベンゾチアゾール系+チオリア系	水	1~0.5	○1	○1	○1	○1	○1	○1
B	木材用・有機チソイイ竹系+有機沃素系	水	2	○2	○2	○2	○2	○2	○2
C	竹材用・有機沃素系+キノ	水	10~6.7	○9.3	○9.3	○9.3	○9.3	-	-
D	塗料添加型防かび剤	塗料	10	-	-	-	-	○10	○10
E	塗布型防かび処理剤	メタノール	100~50	○100	○100	○100	○100	-	-
F	竹材用・防虫防かび剤	水	6.7~5	○6.7	○6.7	○6.7	○6.7	○5	○5
J	硫酸銅 (対照剤)	水	2	-	-	○2	-	-	-
無処理	-	-	-	-	-	-	-	-	-
塗料	(対照処理)	シンナー	66	-	-	-	-	-	○
展着剤	(対照処理)	水	50	○	○	-	-	○	○
メタノール	(対照処理)	-	-	○	○	-	-	○	○
水	(対照処理)	-	-	-	-	○	○	-	-

注) ○は実施した処理条件 数字は処理濃度%

10.7%であった。試験片数は1条件あたり9個とした。

2.2.2 薬剤注入処理

供試した防腐薬剤は、大別して①従来から利用されているCCA(銅・クロム・砒素系薬剤)②近年JIS及びAQ認定された木材防腐剤¹⁶⁾のうちCuNaph(ナフテン酸銅), CuAz(銅-アゾール系薬剤)を用いた。薬剤の注入処理は、薬液中に試験片を浸漬し浮き上がらないよう金網をのせて減圧注入2時間とし、26日間以上風乾した。

2.2.3 薬剤吸収量の測定

処理条件下における竹材の薬液吸収性を把握するために、各試験片の寸法、注入前重量(W0)と注入後重量(W1)及び薬剤濃度(c%)を測定し、次式により仮体積(V0)、薬液注入量(WL)、薬剤吸収量を求め、その平均値を薬剤吸収量(RC)とした。

$$\text{仮体積 (cm}^3\text{)} \quad V0 = Lx \times Wx \times Hx$$

$$\text{薬液注入量 (kg/m}^3\text{)}$$

$$WL = (W1 - W0) / 1000 / V0 / 1000000$$

$$\text{薬剤吸収量 (kg/m}^3\text{)}$$

$$RC = WL \times c / 100$$

2.2.4 防腐効力試験

防腐効力試験方法は、JIS A 9302⁻¹⁹⁷⁶に準じた。供試菌種はオオウズラタケ、カワラタケ、ヒイロタケの3種を用い、耐候操作は油抜竹のみ行った。試験片は菌そうの広がった培養基中に表面を上にしてのせ、90日間腐朽操作を行った後取り出し、重量減少率(L%)及び防腐効力値(E)を算出し評価を行った。

3. 結果及び考察

3.1 かび抑制評価試験の結果

3.1.1 各処理条件における竹材の薬液付着量

薬液に浸漬した青竹及び油抜竹の薬液付着量(RL)をFig. 1に示す。薬剤種別では、水溶性の薬剤は同様なRLを示し、薬剤によるRLの優位性は認められなかった。メタノールを溶媒とした薬剤Eについては、水溶性薬剤に比べてRLが低い値を示したが、これは薬剤自体の低比重及び高揮発性の成分や溶媒の影響であると考えられる。

材種別では、青竹が油抜竹に比べRLが低く、青竹のRLは浸漬10分で油抜竹の40%、浸漬8時間で55%程度であった。特に浸漬10分では、顕著に青竹のRLが低かった。これは青竹の含水率が高く保湿状態であるために液体の吸収性が劣るものと考えられる。仮に、高含水率である青竹の試験片材中の水分が溶脱し処理液に置き換わる拡散吸収量を考慮しても、浸漬10分では処理液が若干吸収している程度で、有効成分の実効濃度(a.i)は、さらに微量となる。

木材で比較のかびやすいとされる南洋材では、高濃度

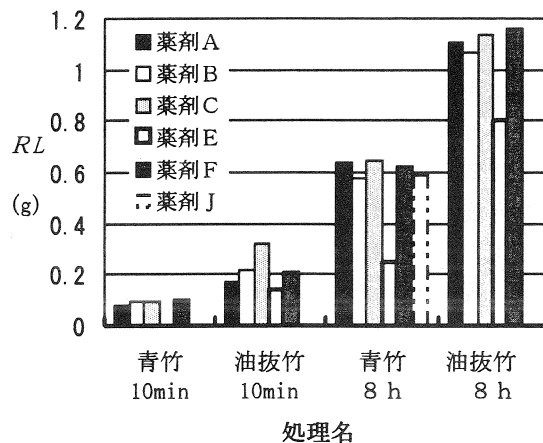


Fig. 1 各種薬剤処理の薬液付着量

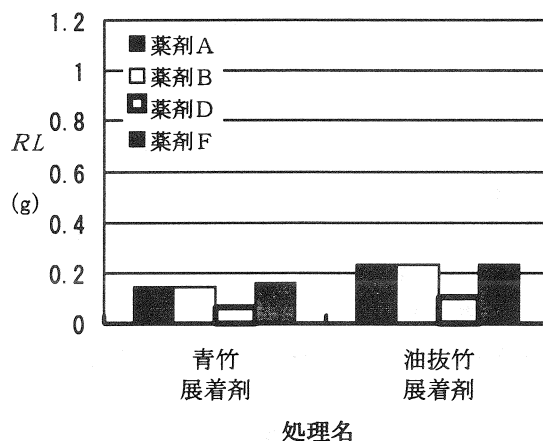


Fig. 2 塗料及び展着剤処理の薬液付着量

希釈の防かび剤使用量が600~690g/m³である¹⁷⁾ことから、浸漬10分の油抜竹のRLを単純に1m³当たりの付着量に換算した場合、約700g/m³となるが、本来の丸竹や長尺の割竹の表面積を考慮すれば、実際の付着量はこれよりも小さいと考えられる。このことから、油抜竹であっても短時間の浸漬処理では、十分なRLであるとは言えない。

塗料添加型薬剤D及び展着剤処理した竹材のRLをFig. 2に示す。展着剤に混入できた薬剤はA・B・Fで、薬剤Cは成分の一部が分離し展着剤との混和ができなかった。材種別では、青竹は展着剤の混入によってRLが50%程度増加したが、油抜竹は、ほとんど変わらなかった。展着剤処理は、竹材に吸収させるためではなく表面に防かび薬剤の被膜をつくることで、RLを増やし抑制効力を付与しようとするものであり、一部の竹材防かび処理にも用いられている。竹材表面の付着性は木材に比べ不活性であり、特に油抜竹の表皮上は油脂膜状の成分に覆われ疎

水性¹⁸⁾であることが、*RL*の増加につながらなかった一因と推察できる。また、塗料添加型薬剤Dは展着剤処理に比べ*RL*が低かった。これは、塗料粘度の影響と考えられ、希釈濃度を高めることで*RL*が増加する可能性はあるが、被膜の美観上及び付着強度上の問題が生じやすく検討が必要である。

3.1.2 各処理竹材のかび抑制効力

かび抵抗性試験の結果をTable 2に示す。無処理及び溶媒や塗料、展着剤のみで処理した各対照処理においては、かびが広範に繁殖し、試験片を全て覆っていた。

浸漬10分の青竹では、各薬剤ともかびを抑制することができなかった。これは、前述した*RL*が著しく低いためであると考えられる。浸漬8時間では、薬剤A・Fにかびの抑制効力が認められたが、薬剤B・C・Eにおいては*Rhizopus*の発生が見られた。硫酸銅Jは、かびの被覆に対する抵抗性が認められたが抑制効力は低かった。展着剤処理は浸漬処理10分に比べ*RL*の増加は認められたが、かびの抑制においては、逆に*Rhizopus*、*Aspergillus*、*Penicillium*が発生し抑制効力は劣っていた。塗料添加型薬剤Dは、試験片の70%程度を*Rhizopus*が被覆した。

油拔竹は、浸漬10分でも薬剤Aにかびの抑制効力が認められた。他の薬剤は*Rhizopus*の発生が見られた。浸漬8時間では、薬剤A・B・Fの抑制効力が高く薬剤C・Eについては*Rhizopus*のみ発生した。展着剤処理についても薬剤Aの抑制効力が高く、塗料添加型薬剤Dもかびの被覆を抑制していた。

これらの結果から、比較的抑制効力の高かった薬剤は、薬剤A・Fで、特に薬剤Aは青竹での浸漬10分と展着剤処理以外では抑制効力が認められた。その他の薬剤でも*Rhizopus*を除く菌種については、その発生が抑制されて

いることから、特定菌種の防かびには有効であるものと考えられる。また、*Rhizopus*については、薬剤抵抗力が強い^{19), 20)}とされており、竹材に発生する可能性も高い菌種^{6), 21)}であることから、竹材の防かび剤は、多様な菌種に抑制効力を有する薬剤が望まれる。

3.2 腐朽菌抑制評価試験の結果

3.2.1 竹材における防腐剤の注入量と薬剤吸収量

減圧注入2時間の薬液注入量(*WL*)をFig. 3、薬剤吸収量(*RC*)をFig. 4に示す。薬剤各種による*WL*の差はほとんどなく、材種別では青竹170kg/m³、油拔竹400kg/m³、油拔竹を耐候操作したもので360kg/m³であった。また、*RC*では、AQ認定の基準を満たしたものは、油拔竹及び油拔竹耐候操作のCCAとCuNaphだけであった。木材におけるブナの試験片では、減圧注入2時間で*WL*は200kg/m³以上及び木質建材認証制度において、AQ認定されている各薬剤の*RC*(CCA 3.5kg/m³、CuNaph 0.8kg/m³、CuAz 2.6kg/m³)を十分に満たす吸収性がある。

3.2.2 各種薬剤の腐朽菌抑制効力

各処理の腐朽菌による重量減少率(*L*)及び効力値(*E*)をTable 3に示す。無処理の*L*は、青竹でオオウズラタケ18%、カワラタケ18.5%、ヒイロタケ14.5%で、油拔竹ではオオウズラタケ11%、カワラタケ16.5%、ヒイロタケ7.5%であった。仮に、この値を竹材素材の耐久性とすれば、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の耐久性²⁰⁾と判断でき、耐朽性が小さいとされる素材に区分される。

薬剤別で菌種による*E*を比較すると、CCAは他の薬剤に比べてオオウズラタケの*E*が低く、褐色腐朽菌の抑制効力が劣っていた。CuAzは、どの菌種に対しても*E*

Table 2 かび抵抗性試験の結果

処理名 薬剤記号	浸漬 10min		浸漬 8 h		展着剤 10min	
	青竹	油拔竹	青竹	油拔竹	青竹	油拔竹
A	1R	3 /	3 /	3 /	1R/A	3 /
B	1R/P	1R	1R	3 /	1R/A	1A/P
C	1R/P	1R	2R/P	1R	-	-
D	-	-	-	-	1R/P	2R/A
E	1R/A	1R/A	1R	1R	-	-
F	1R/P	1R	3 /	3 /	1R/P	1R/A/Ch
J	-	-	1R/A/Ch	-	-	-
塗料	-	-	-	-	-	1A/P
展着剤	-	-	-	-	1A	1A
メタノール	1R/A/Ch	1R/A/Ch	-	-	-	-
水	-	-	1R/A/Ch	1R/A/Ch	-	-
無処理	1R/A	1R/A/Ch				

評価値の表示

3 = かび発育が認められない

2 = かび発育面積が1/3以下

1 = かび発育面積が1/3以上

発生菌種の表示

A = *Aspergillus niger*

P = *Penicillium citrinum*

R = *Rhizopus stolonifer*

Cl = *Cladosporium*

cladosporioides

Ch = *Chaetomium globosum*

が40以上を示し安定していたが、抑制効力としては低い効力である。いずれにしても抑制効力を期待するには、もっとWZを向上させる必要があると考えられる。

油抜竹では、どの薬剤も青竹に比べてWZが高いため、Eも比較的高い値を示した。抑制効力が高いとするLを3%以内とすれば、CCAに安定した抑制効力が認められると考えられる。CuNaphは、他の薬剤に比べEが低く抑制効力が劣っていた。特に、オオウズラタケの耐候操作した試験片で無処理以上のLを示した。この場合、RCはAQ認定値以上であるのにLが高い値を示したと考え、これを竹材特有の現象であるとするれば、その要因を明らかにする必要があるが現段階では不明である。CuAzは、耐候操作したオオウズラタケのEが低かったがCCAに近い抑制効力をもつものと考えられる。

4. 総括

竹材におけるかびや腐朽菌の抑制を目的として、各種薬剤を用い青竹及び油抜竹を薬剤処理し、JISの試験法に準じて実験を行い薬剤の吸収性と菌の抑制効力について、以下の結果が得られた。

- 1) 防かび薬剤の浸漬処理では、青竹の薬剤付着量が油抜竹に比べて低かった。
- 2) 青竹の浸漬時間10分の処理条件では、すべての薬剤でかびが発生したが、浸漬時間8時間では、一部の薬剤にかびの抑制効力が認められた。
- 3) かび抑制効力が比較的高かった薬剤は、薬剤A及びFであった。
- 4) 防かび薬剤に展着剤を混入した場合、青竹では薬剤付着量が増加したが、油抜竹では変わらなかった。
- 5) 展着剤混入による薬剤のかび抑制効力の向上は認め

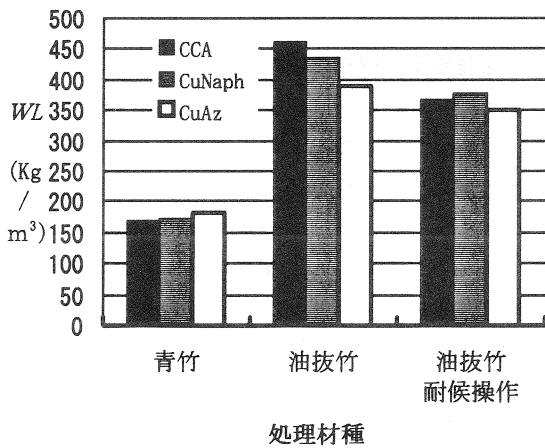


Fig. 3 各防腐剤の薬液注入量

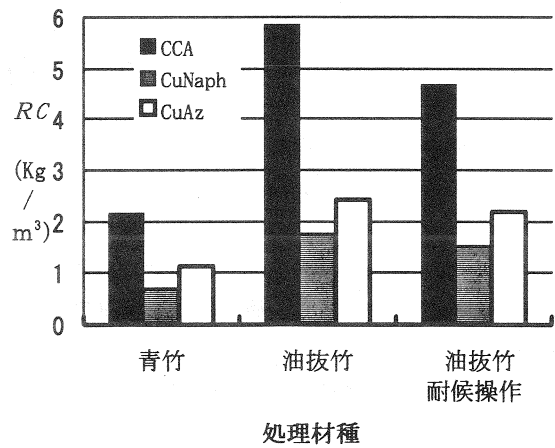


Fig. 4 各防腐剤の薬剤吸収量

Table 3 薬剤注入処理による竹材の防腐効力

菌種	処理名	青竹			油抜竹			油抜竹 耐候操作		
		RC kg/m ³	L %	E	RC kg/m ³	L %	E	RC kg/m ³	L %	E
オオウズラタケ	無処理	—	17.81	0	—	11.28	0	—	/	0
	CCA	2.09	13.81	22.46	5.82	3.72	67.02	4.64	4.46	61.49
	CuNaph	0.72	11.73	34.14	1.75	9.92	12.06	1.47	35.53	-206.82
	CuAz	1.14	10.11	43.23	2.35	5.95	47.25	2.13	8.67	25.13
カラタケ	無処理	—	18.63	0	—	16.28	0	—	/	0
	CCA	2.21	8.30	55.45	5.90	3.33	79.55	4.67	2.84	82.56
	CuNaph	0.68	10.65	42.83	1.72	7.90	51.47	1.53	9.02	44.59
	CuAz	1.14	8.70	53.30	2.46	5.14	68.43	2.17	3.28	79.85
ヒロタケ	無処理	—	14.51	0	—	7.63	0	—	/	0
	CCA	2.08	7.42	48.86	5.85	1.36	82.18	4.73	1.22	84.01
	CuNaph	0.66	9.81	32.39	1.74	4.79	37.22	1.52	6.29	17.56
	CuAz	1.08	7.38	49.14	2.46	3.86	49.41	2.23	0.64	91.61

られなかった。

- 6) 混合接種したかびのうち, *Rhizopus*の薬剤抵抗力が強かった。
- 7) 防腐剤の減圧注入処理でも, 青竹の注入量が油抜竹に比べて低かった。
- 8) 無処理の青竹及び油抜竹の耐久性は小さかった。
- 9) 防腐剤の腐朽菌抑制効力は, CCA > CuAz > CuNaphの順で効力が高かった。

以上のように, 薬剤処理でかびや腐朽菌の抑制がはかれるものの, 竹材の吸収性が極めて低いために, 木材同様の処理条件では, 付着量や注入量が低く抑制効力も思うように期待できない。竹材に薬剤処理する場合は, 処理時間を長くするか薬剤濃度を高くして処理する必要がある。今回の実験から, 今後竹材の薬剤吸収性を高める処理法及び処理条件の検討が必要である。

本実験を実施するにあたり, 森林総合研究所鈴木憲太郎氏にご指導, ご助言をいただいたことに深謝いたします。また, 薬剤を快くご提供くださった薬剤メーカー各社に謝意を表します。

参考文献

- 1) 小谷公人: 木材工業, 51-1(1996), 8
- 2) 中原 恵: 木材工業, 50-2(1995), 52
- 3) 例えば 守山久子: NIKKEI ARCHITECTURE, 1995 6 19, (1995), 134
- 4) 例えば ジェーン スティーブンス: AERA, 9.26(1994), 58
- 5) 井上嘉幸: 木材工業, 17(1962), 180
- 6) 岩本博道, 栗原一男: 発酵研究所報告, 11(1955), 125
- 7) 岩本博道, 栗原一男, 志賀正幸: 発酵研究所報告, 13(1957), 11
- 8) 岩本博道, 栗原一男, 志賀正幸: 発酵研究所報告, 13(1957), 21
- 9) 岩本博道, 栗原一男, 志賀正幸: 発酵研究所報告, 14(1958), 1
- 10) 岩本博道, 志賀正幸: 発酵研究所報告, 14(1958), 17
- 11) 王体科, 杉山慎吾, 大熊幹章, 善本知孝, 高塚春子: 木材保存, 15-6(1989), 33
- 12) 芝本武夫, 井上嘉幸: 東大演習林報, 47(1954), 189
- 13) 林業試験場 編: 木材工業ハンドブック(第2版), (1959), 910, 丸善
- 14) 中村嘉明: 防菌防黴誌, 14-10(1986), 523
- 15) 例えば 長野行紘, 白石徹治, 村上正人, 小寺学, ジェネット・ドライブイル: '94年度秋期日本木材学会生物劣化研究会講演集, (1994), 33
- 16) 木材活用事典編集委員会 編: 木材活用事典, (1994), 364, 産業調査会
- 17) 中村嘉明: 木材工業, 40-10(1985), 453
- 18) 小谷公人, 川村二郎: Bamboo Journal, 13(1995), 76
- 19) 鈴木憲太郎氏 私信
- 20) 奈良県林業試験場 編: 木材加工技術ハンドブック, (1991), 269
- 21) 古曳博也, 阿部優, 小谷公人, 寒竹慎一: 平成6年度大分県産業科学技術センター研究報告, (1995), 47