

簡易な木材保存処理技術の開発

2008 年度～2010 年度

伊丹哉恵・尾崎健一郎*・大林育志

要 旨

物理的な手法による前処理法や、温冷浴法等を組合せた低コストな木材保存処理法を検討した。その結果、物理的前処理法として円柱材ではインサイジング、板材では圧縮した横溝加工で黒色酸性染料溶液の注入量が向上した。前処理による副次的な性能変化では、円柱加工材が加工の種類ごとに割れ方に違いが認められた。保存剤の未浸潤部分の露出の仕方にも違いが生じたことから、木材の劣化速度に影響を与える可能性が示唆された。板材では、供用後まで残留する軽微な変化が生じるものの、美観や耐久性が損なわれるような割れが発生することはほとんどなかったことから有効と考えられた。温冷浴法ではビニール温室で室内より注入性は向上したものの、JAS 規格の薬剤浸潤度の適合基準を満たした試験体はごくわずかであった。このことから、さらに液温を高め、温浴と冷浴の温度差を広げて注入性を向上させる工夫が必要であると考えられた。

I はじめに

県産材の需要拡大を図るためには、屋外での利用を進める必要がある。このため、保存処理で耐久性を付与することが欠かせない。現在最も一般的な保存処理法は加圧式処理法で、木材を密閉耐圧容器（注薬缶）中に入れ、加圧や減圧の操作を行って薬液を注入する方法（中村 1998）である。しかし、特別な装置を必要とし施設費が高い（矢田 1998）。そこで、物理的な手法による木材保存の前処理法を検討するとともに、温冷浴法（屋我ほか 1997）を活用した低コストな木材保存処理技術を開発する。

II 方法

1. 前処理法の検討

（1）物理的な手法による前処理の検討

材料として、円柱加工材と板材を使用した。円柱加工材は直径 100 mm×長さ 200 mmのスギ未乾燥材を用い、表-1 の 3 条件を設定した。これら 3 条件

の円柱加工材それぞれにホットプレスで 95 mm、90 mm、85 mmの圧縮の有無を組み合わせた。95 mmと 90 mmは円周を等分する 3 方向から、85 mmは直交する 2 方向から平板プレスを用いて圧縮を行った。試験体は加工種ごとに 5 本とした。試験体は木口をシリコンでシールし、減圧 30 分、浸漬 60 分の条件で黒色酸性染料溶液（以下染料溶液）を含浸させた。圧縮の前後と注入の前後で試料を秤量し、それぞれの差から圧縮による水分の圧搾量と染料溶液の注入量を算出した。また、圧縮部の直径も併せて測定した。

表-1 前処理法の材料（円柱加工材）

処理名	処理内容
インサイジング	密度約 8300 個/m ² で穿孔した
背割り	深さ 50 mmの背割りを施した
無処理	_____

板材は幅 100 mm×長さ 100 mm×厚さ 15 mmのスギ心材を用い、表-2、写真-1 の 5 条件を設定した。これら 5 条件の板材それぞれに 13 mmまでの横圧縮

Kanae ITAMI, Ken'ichiro OSAKI, Yasuyuki OHBAYASHI: Liquid penetration into wood using easy method

*現新城設楽農林水産事務所



穿孔 4000 個/m² 穿孔 8000 個/m² 横溝加工 縦溝加工 無処理

写真-1 板材の前処理

表-2 前処理法の材料（板材）

処理名	処理内容
縦溝加工	繊維方向に 30 mm 間隔で深さ 6 mm の溝を施した
横溝加工	繊維直交方向に 30 mm 間隔で深さ 6 mm の溝を施した
穿孔 4000	密度約 4000 個/m ² で深さ 10 mm まで穿孔した
穿孔 8000	密度約 8000 個/m ² で深さ 10 mm まで穿孔した
無処理	——

日に地上約 80 cm の高さで水平に設置した（写真-2）。試験体は加工種ごとに 5 体ずつとし、円柱加工材の背割り部分と板材の加工面を下面とした。暴露開始後 1 ヶ月、3 ヶ月、6 ヶ月、12 ヶ月後に、円柱加工材は割れの多さ、最大の割長および割幅、板材は繊維方向中央の端部における厚み、各方向の反りの大きさ、割れの多さを測定した。割れの多さは 2 cm のメッシュを材にあてて、割れの含まれるメッシュの数で評価した。また、円柱加工材は 12 ヶ月経過後最大の割長の中央部で鋸断し、割れの深さを測定して最大割深とした。

の有無を組み合わせた。試験体は加工種ごとに 3～4 枚とした。試験体は木口をシリコンでシールし、円柱加工材と同様に染料溶液を含浸させて、注入の前後で試験体を秤量し染料溶液の注入量を算出した。また、注入後の接線方向の反りの大きさを測定した。なお、穿孔加工には愛知県産業技術研究所の機器を使用した。

（2）前処理による副次的な性能変化

材料として、円柱加工材と板材を使用した。円柱加工材は直径 100 mm × 長さ 500 mm のスギ未乾燥材を用い、1.（1）と同様に 3 条件を設定した。板材は幅 100 mm × 長さ 500 mm × 厚さ 15 mm のスギ心材を用い、1.（1）のうち横溝加工、穿孔 4000、穿孔 8000、無処理の 4 条件を設定し、それぞれに 13 mm までの横圧縮の有無を組み合わせた。これらの試験体を当センター内の開放地において、2009 年 7 月 27



写真-2 暴露試験

2. 簡易な設備による木材保存処理技術の開発

（1）温冷浴法に基づく効果的な処理法の開発
ア ビニール温室による効果

材料として、円柱加工材と板材を用いた。円柱加工材は直径 100 mm × 長さ 200 mm のスギ未乾燥材を用い、1.（2）と同様に 3 条件を設定した。板材は幅 100 mm × 長さ 100 mm × 厚さ 15 mm のスギ心材を用い、1.（2）と同様に 4 条件を設定し、それぞれに 13

mmまでの横圧縮の有無を組み合わせた。試験体は加工種ごとに5体とし、木口をシリコンでシールした。これらの試験体を、ビニールを一重、二重に張った温室と常温の室内で染料溶液に浸漬し(写真-3、図-1)、浸漬前、浸漬1日、2日、4日、8日後に秤量し、染料溶液の注入量を算出した。8日目の秤量終了後試験体を風乾させ、円柱加工材、板材ともに繊維方向の中央で鋸断し、浸潤度を染料溶液の浸潤面積を測定し算出した。円柱加工材は2009年7月27~8月4日(以下夏)、2010年2月15~23日(以下冬)、2010年5月10~18日(以下春)、板材は2009年8月11~19日(以下夏)、2010年1月4~12日(以下冬)、2010年4月19~

27日(以下春)に実施した。円柱加工材と板材の温冷浴中の平均液温と室温、最高最低液温と室温、新城市気温(気象庁ホームページより引用)は、図-2のとおりであった。円柱加工材、板材ともに、液温の平均温度、最高温度、最低温度はいずれの季節もビニール二重温室、ビニール一重温室、室内の順に高かった。液温の最高温度と最低温度の差は、ビニール二重温室、ビニール一重温室、温室の順に大きかった。

イ マルチ敷設による温室効果
2.(1)アと同じ条件を設定した円柱加工材と板材を、床面にマルチングをしてさらに温室効果を高めたビニール一重および二重温室と常温の室内で染料溶液に浸漬し、2.(1)アと同様に浸漬前、浸漬1日、2日、4日、8日後に秤量し、染料溶液の注入量を算出した。2.(1)アと同



写真-3 温冷浴に用いたビニール温室

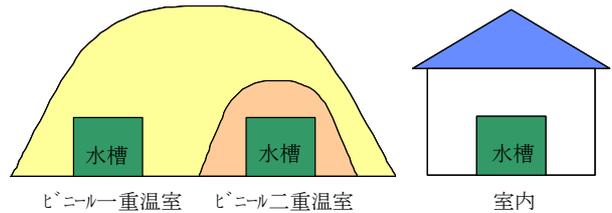
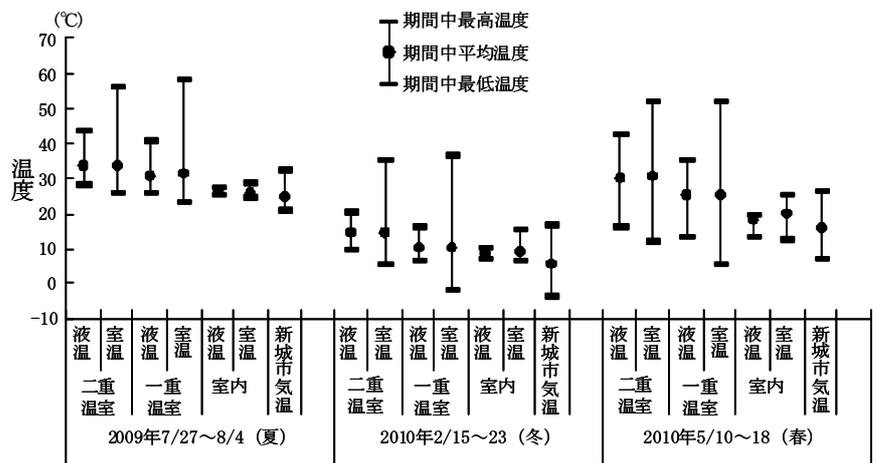
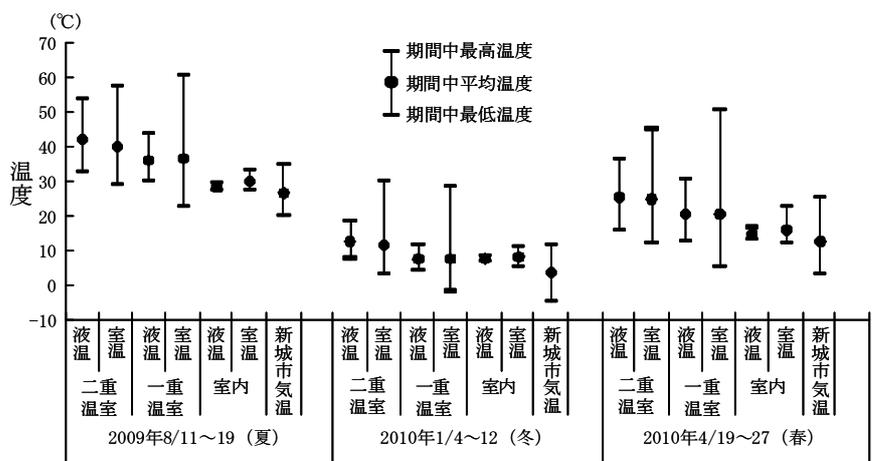


図-1 温冷浴に用いた水槽の設置場所



浸漬した温度条件と測定時期
円柱加工材



浸漬した温度条件と測定時期
板材

図-2 温冷浴中の平均、最高、最低温度

様に試験体の染料溶液の浸潤面積を測定し、浸潤度を算出した。円柱加工材は2010年7月26日～8月3日、板材は2010年8月9～17日に実施した。円柱加工材と板材の温冷浴中の平均液温と室温、最高最低液温と室温、新城市気温は、図-3のとおりであった。円柱加工材試験中の液温の平均温度、最高温度、最低温度は、ビニール二重温室、ビニール一重温室、室内の順に高く、ビニール二重温室と室内の平均液温の差は11.5℃であった。ビニール二重温室の最高液温は48.5℃で、マルチをしていない2009年夏は44.0℃であった。板材試験中の液温の平均温度、最高温度、最低温度は、ビニール二重温室、ビニール一重温室、室内の順に高く、ビニール二重温室と室内の平均液温の差は13.9℃であった。ビニール二重温室の最高液温は51.5℃で、マルチをしていない2009年夏は54.0℃であった。

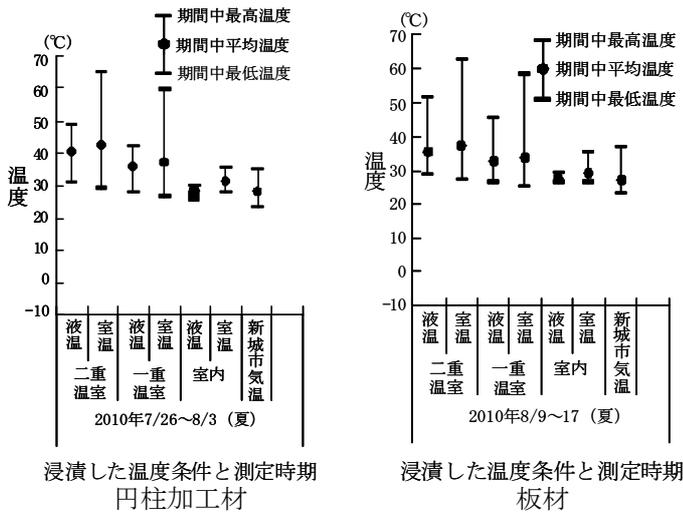


図-3 マルチを敷設した場合の平均、最高、最低温度

III 結果と考察

1. 前処理法の検討

(1) 物理的な手法による前処理の検討

円柱加工材への染料溶液注入量を図-4、圧縮による水分の圧搾量を図-5、染料溶液注入前後の直径変化量を図-6に示した。注入量は加工の種類によって注入量に変化が認められ (Two-way ANOVA, $p < 0.001$)、インサイジング加工により有意に増加した。一方、圧

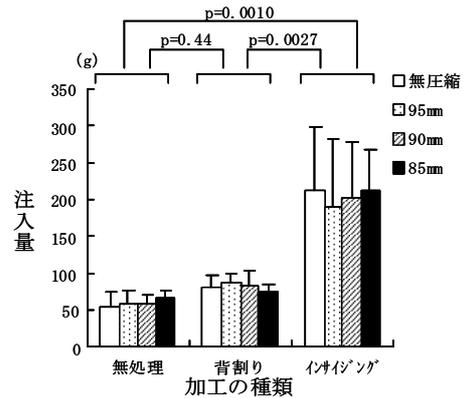
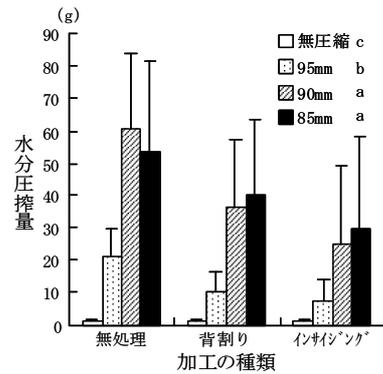


図-4 円柱加工材への染料溶液注入量



凡例の異なる英字は $p < 0.05$ で有意に値が異なることを示す

図-5 円柱加工材の水分圧搾量

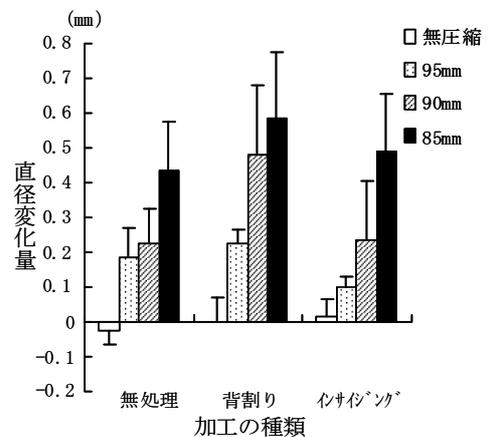


図-6 円柱加工材の染料溶液注入前後の直径変化量

縮の効果および加工の種類と圧縮の相互作用は認められなかった ($p = 0.40$, $p = 0.30$)。水分圧搾量は圧縮の条件によって変化が認められ (Two-way ANOVA, $p < 0.001$)、90 mm圧縮まで圧縮量に従って増加した。加工の種類の効果および加工の種類と圧縮の交互作用は認められなかった ($p = 0.18$, $p = 0.16$)。直径は圧縮の条件によって変化が認められ (Two-way ANOVA, $p < 0.001$)、

強く圧縮するほど直径の変化量は大きくなったものの、無圧縮と85 mm圧縮との平均値の差は0.42~0.47 mmとわずかであった。これらのことから、注入性向上にはインサイジング加工は有効であると考えられる。また、注入性は圧縮では向上しないものの、90 mm圧縮までは水分を圧搾でき、変形も軽微であるため木材の乾燥性向上に資するものと考えられる。

板材への染料溶液注入量を図-7、染料溶液を注入した後の接線方向の反りの大きさを図-8に示した。注入量は加工と圧縮によりそれぞれ有意に増加した (Two-way ANOVA, $p < 0.01$)。注入量は圧縮により全ての処理区で増加し、加工の種類では穿孔加工や横溝で増加した。しかし、圧縮と加工の種類の交互作用は認められなかった ($p = 0.91$)。板の反りは圧縮により有意に増加した (Two-way ANOVA, $p < 0.01$)。加工の種類の効果および加工の種類と圧縮の交互作用は認められなかった ($p = 0.14$, $p = 0.88$)。これらのことから、板材では軽微な変形が発生するも

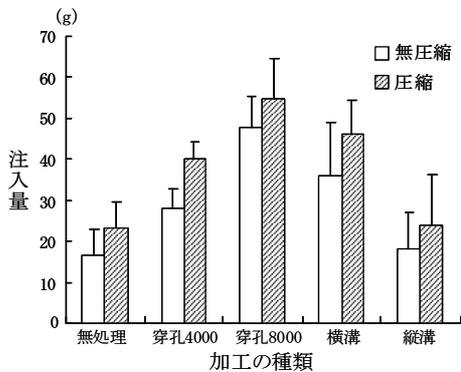


図-7 板材への染料溶液注入量

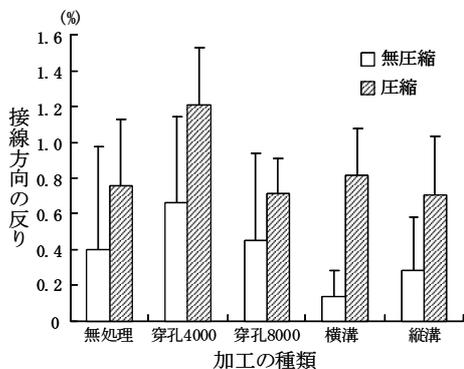


図-8 板材の染料溶液注入後の接線方向の反りの大きさ

の、穿孔や横溝と圧縮の組み合わせにより注入性の向上が図れるものと考えられる。

(2) 前処理による副次的な性能変化の検証

円柱加工材の最大割長、最大割幅、表面の割れの多さの推移を図-9、暴露後12ヶ月目の円柱加工材の最大割深を図-10に示した。割れは、全処理区で暴露開始直後の変化が最も大きかった。また、割れはインサイジングで多かった。最大割長は無加工、背割

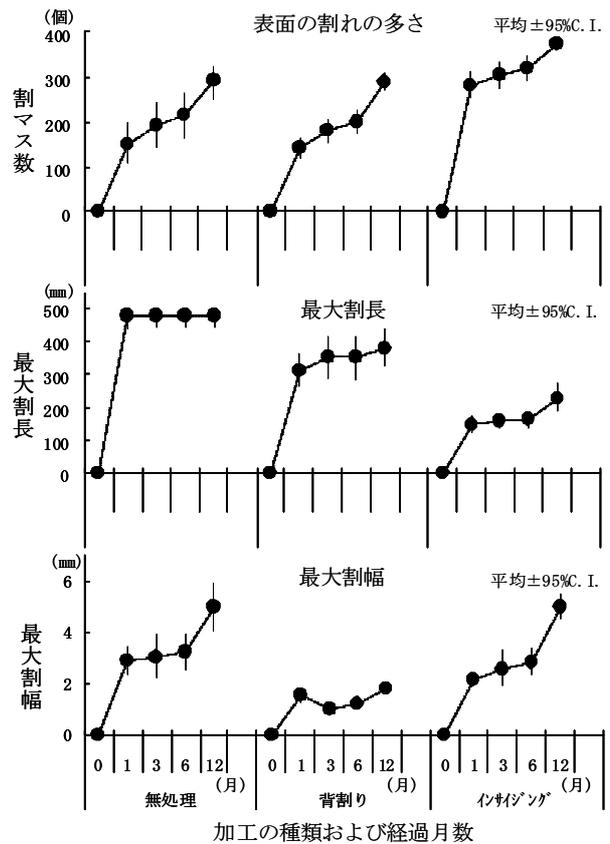
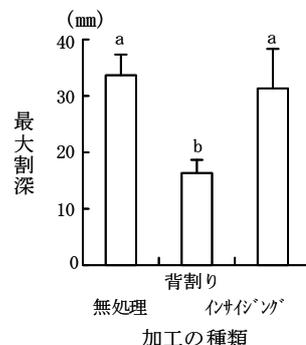


図-9 円柱加工材の表面の割れの多さ、最大割長、最大割幅の推移



図中の異なる英字は $p < 0.01$ で有意に値が異なることを示す

図-10 暴露12ヶ月後の円柱加工材の最大割深

り、インサイジングの順に長く、特に無加工では平均約 500 mmで暴露直後に試験体をほぼ縦貫した。最大割幅と最大割深は背割りが無加工とインサイジング比べて小さく差が認められたが、無加工とインサイジングの間に差は認められなかった。これらのことから、大半の割れが暴露開始直後に形成され、その後緩やかに増加、増大し、割幅が広いほど割れも深くなることが示唆される。また、加工の種類が割れ方に大きく影響し、割れ方の違いは保存剤の未浸潤部分の露出の仕方にも違いを生じて木材の劣化速度に影響を与える可能性が示唆される。

板材の繊維方向および接線方向の反りの大きさと表裏各面の割れの多さの推移を図-11、暴露前と暴露後 12 ヶ月の板の厚さの変化量を図-12 に示した。表裏各面の割れ、繊維方向の反りは全処理区において時間の経過と共に増加した。接線方向の反りは 1 ヶ月後に最大となり、その後減少した処理区が多く見られた。繊維方向の反りはいずれの処理区も圧縮で大きくなったが、接線方向の反りには一定の傾向は見られなかった。表面の割れは、横溝と圧縮の組み合わせで比較的少なかつただけでその他では違いが小さく、全体的にばらつきが大きかった。裏面の割れは横溝以外の加工で圧縮した方が少なかつただけで、全体的にばらつきは大きかった。圧縮前の板材の厚さは、圧縮材が 15.18 ± 0.022 mm (平均 $\pm 1s.e.$; 以下同)、無圧縮材が 15.19 ± 0.019 mm で、有意な違いは認められなかった (paired t-test, $p=0.87$)。厚さは圧縮により減少し、12 ヶ月経過後には圧縮材で 14.76 ± 0.035 mm、無圧縮材で 14.89 ± 0.016 mm と圧縮で有意に小さく (paired t-test, $p<0.01$)、12 ヶ月経過後でも圧縮による変形が残留することが認められた。しかし、12 ヶ月経過後で圧縮の有無の平均の差は約 0.13 mm であり、ごく軽微であった。これらのことから、板材の前処理は供用後まで残留する軽微な変化が生じるものの、美観や耐久性が損なわれるような割れが発生することはほとんど無いので有効と考えられる。

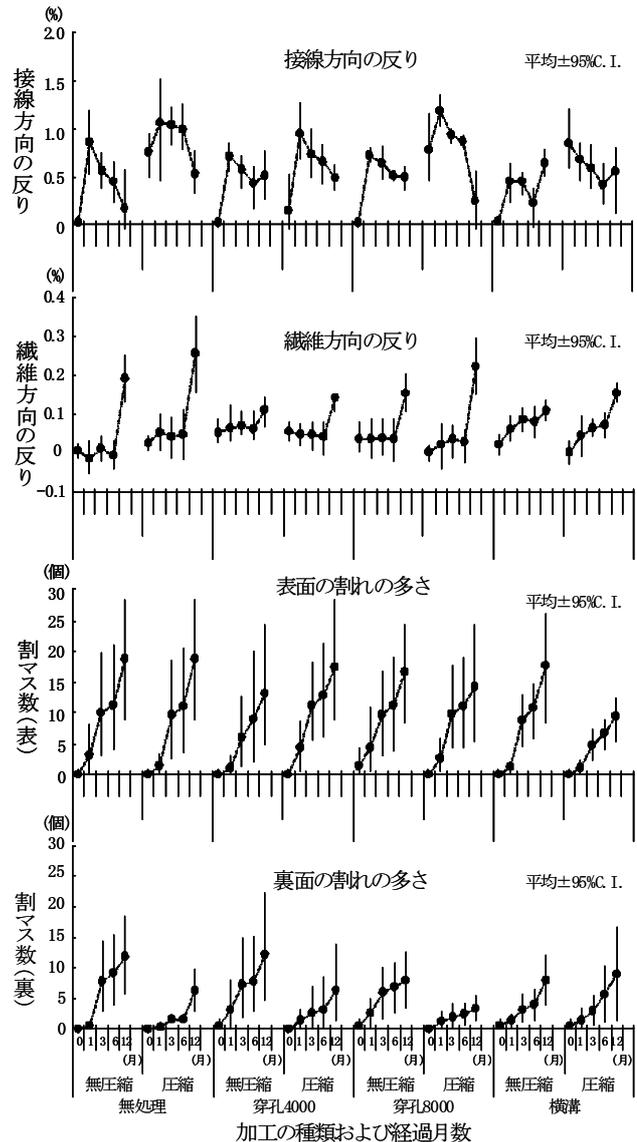


図-11 板材の接線方向および繊維方向の反りの大きさと表裏各面の割れの多さの推移

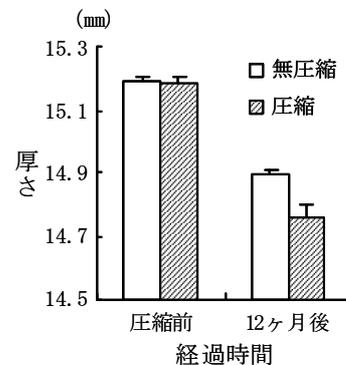


図-12 暴露前と暴露後 12 ヶ月の板の厚さの変化量

2. 簡易な設備による木材保存処理技術の開発

(1) 温冷浴法に基づく効果的な処理法の開発

ア ビニール温室による効果

円柱加工材の染料溶液注入量の経時変化を図-13、浸漬8日後の染料溶液注入量を図-14、浸漬8日後の染料溶液の浸潤度を図-15に示した。注入量はいずれの季節、温冷浴設備、加工の種類で浸漬1日後が最も多く、その後は緩やかに増加した。浸漬8日後の注入量は、いずれの季節も加工の種類により変化が認められ (Two-way ANOVA, 夏 $p < 0.001$, 冬 $p < 0.01$, 春 $p < 0.001$)、インサイジングで増加した。ビニール温室内はいずれの季節でも室内に比べてやや多かったものの、ビニール一重と二重で差はなく、温冷浴設備による効果は認められなかった (夏 $p = 0.45$, 冬 $p = 0.71$, 春 $p = 0.09$)。また、温冷浴設備と加工の種類による交互作用は認められなかった (夏

$p = 0.84$, 冬 $p = 0.99$, 春 $p = 0.85$)。季節ごとの注入量は、夏が冬に比べて浸漬した染料溶液の温度が高かったにも関わらず、注入量は少なく、春に比べても少なかった。浸潤度はいずれの季節も注入量とほぼ同様の傾向を示し、加工の種類により変化が認められ (Two-way ANOVA, 夏 $p < 0.001$, 冬 $p < 0.01$, 春 $p < 0.001$)、インサイジングで高くなった。温冷浴設備では春のみ変化が認められ ($p < 0.01$)、温室で高くなる傾向にあったが、夏と冬では差は認められなかった。浸潤度は全体にばらつきが大きく、最も浸潤度が高かった春のビニール二重温室浸漬、インサイジング加工の試験体でも73.6%で、JAS規格の薬剤浸潤度の適合基準は満たさなかった (写真-4)。これらのことから、円柱材ではビニール温室による一定の効果は認められたものの、液温の上昇と浸潤度に明確な関連は認められず、簡易な温冷浴の手法として確立するには至

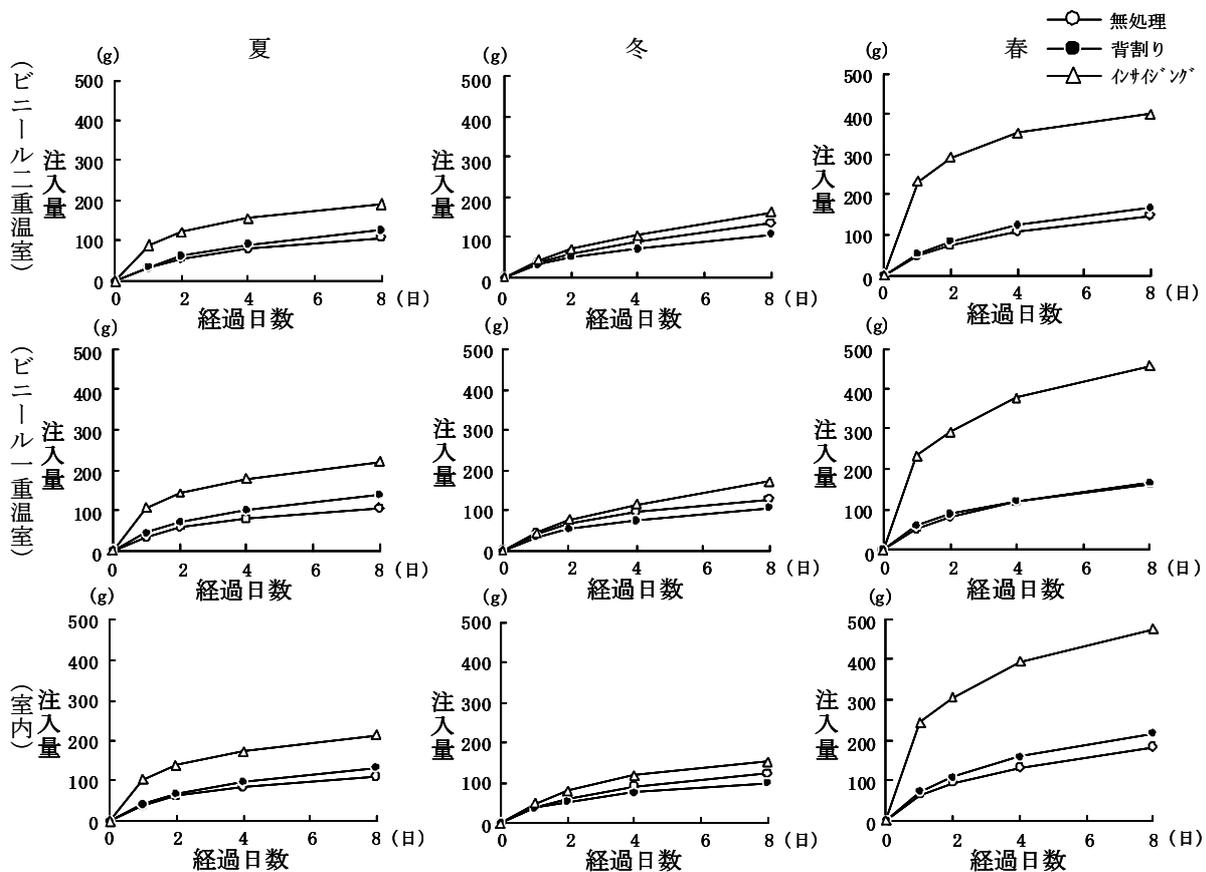


図-13 円柱加工材の染料溶液注入量の経時変化

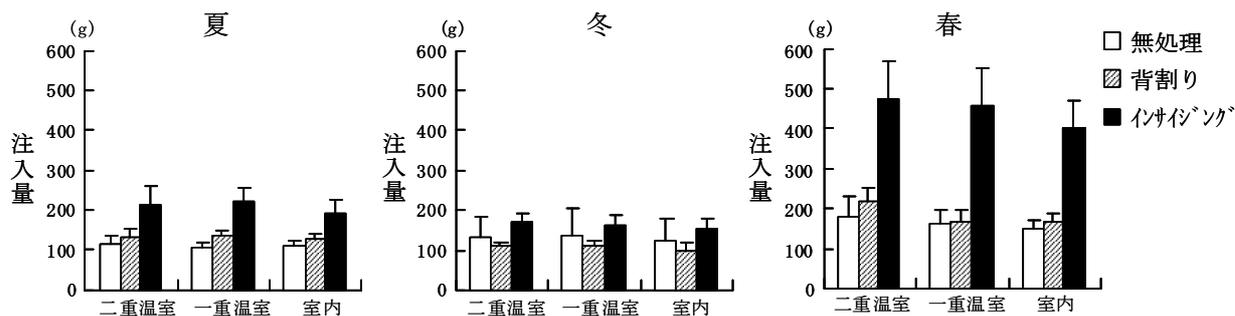


図-14 円柱加工材の浸漬8日後の染料溶液注入量

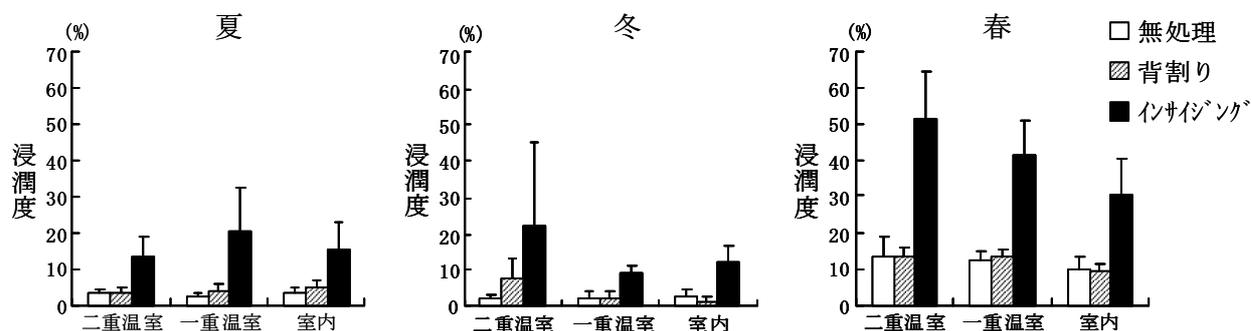


図-15 円柱加工材の浸漬8日後の染料溶液の浸潤度

らなかった。また、スギ辺材の場合、薬液注入量は含水率の低下に伴い増加する（鹿野ら 2004）ことから、今回浸漬前の含水率は測定していないものの、スギ未乾燥材を用いたため試験体の含水率が注入量に影響したことが考えられ、浸漬前の含水率の調整も必要であることが示唆される。



写真-4 鋸断した円柱加工材

写真-4 鋸断した円柱加工材

板材の染料溶液注入量の経時変化を図-16、浸漬8日後の染料溶液注入量を図-17、染料溶液の浸潤度を図-18に示した。注入量は円柱加工材と同様にいずれの季節、温冷浴設備、加工の種類で浸漬1日後が最も多く、その後は緩やかに増加した。浸漬8日後の注入量は、圧縮、無圧縮ともにすべての季

節で加工の種類により変化が認められ（Two-way ANOVA, $p < 0.001$ ）、横溝加工で最も増加した。温冷浴設備では圧縮、無圧縮ともに夏と春で注入量に変化が認められ（ $p < 0.01$ ）、注入量はビニール温室で室内より増加する傾向にあった。一方、ビニール一重と二重の注入量はほぼ同じであった。また、温冷浴設備と加工の種類による交互作用はいずれの季節でも認められなかった（無圧縮夏 $p = 0.28$ 、無圧縮冬 $p = 0.63$ 、無圧縮春 $p = 0.44$ 、圧縮夏 $p = 0.78$ 、圧縮冬 $p = 0.87$ 、圧縮春 $p = 0.67$ ）。季節間では、注入量が夏、春、冬の順で多く、染料溶液の液温が高いほど多くなる傾向が認められた。浸潤度は、いずれの季節でも圧縮、無圧縮ともに加工の種類により変化が認められ（Two-way ANOVA, $p < 0.01$ ）、穿孔加工で高くなった。温冷浴設備では、圧縮、無圧縮ともに春で浸潤度に変化が認められ（ $p < 0.001$ ）、ビニール温室で室内より高くなったものの、ビニール一重と二重で差は認められなかった。夏は温冷浴設備により浸潤度に変化が認められ

たが ($p < 0.000$)、春とは逆の傾向を示し、浸潤度は室内やビニール二重温室で高くなった。また、温冷浴設備と加工の種類による交互作用はいずれの季節でも認められなかった (Two-way ANOVA, 無圧縮夏 $p=1.00$, 無圧縮冬 $p=0.40$, 無圧縮春 $p=0.11$, 圧縮夏 $p=0.66$, 圧縮冬 $p=0.97$, 圧縮春 $p=0.24$)。浸潤度は全体にばらつきが大きく、最も浸潤度が高かった春のビニール二重温室浸漬、圧縮穿孔 8000 の試験体でも 66.1%で、JAS 規格の薬剤浸潤度の適合基準は満たさなかった。これらのことから、板材でもビニール温室による一定の効果が認められたものの、液温の上昇と浸潤度に明確な関連は見られず、簡易な温冷浴の手法として確立するには至らなかった。また、注入量が多かった横溝加工の浸潤度が低い値を示したのは、溝から染料液が浸

透したものの、浸潤度測定断面までは達していなかったためと考えられる。

以上のことから、温冷浴法では一般に、溶液を吸収する上で温浴と冷浴の温度差による材内空気の収縮が重要な役割を果たすと言われている (栗崎ほか 2002) が、今回の方法ではビニール温室により液温を上げることはできたが、最高温度と最低温度の差が小さかったため、注入性の向上には繋がらなかったと考えられる。また、水槽内でも水面付近と底の部分では液温に差が見られたので、注入量のばらつきをなくするためには浸漬する水槽にも工夫が必要であると考えられる。これらの改善により、構造上主要でない部分に使用する木材において、前処理と簡易な温冷浴を組み合わせた薬剤注入は有効であることが示唆される。

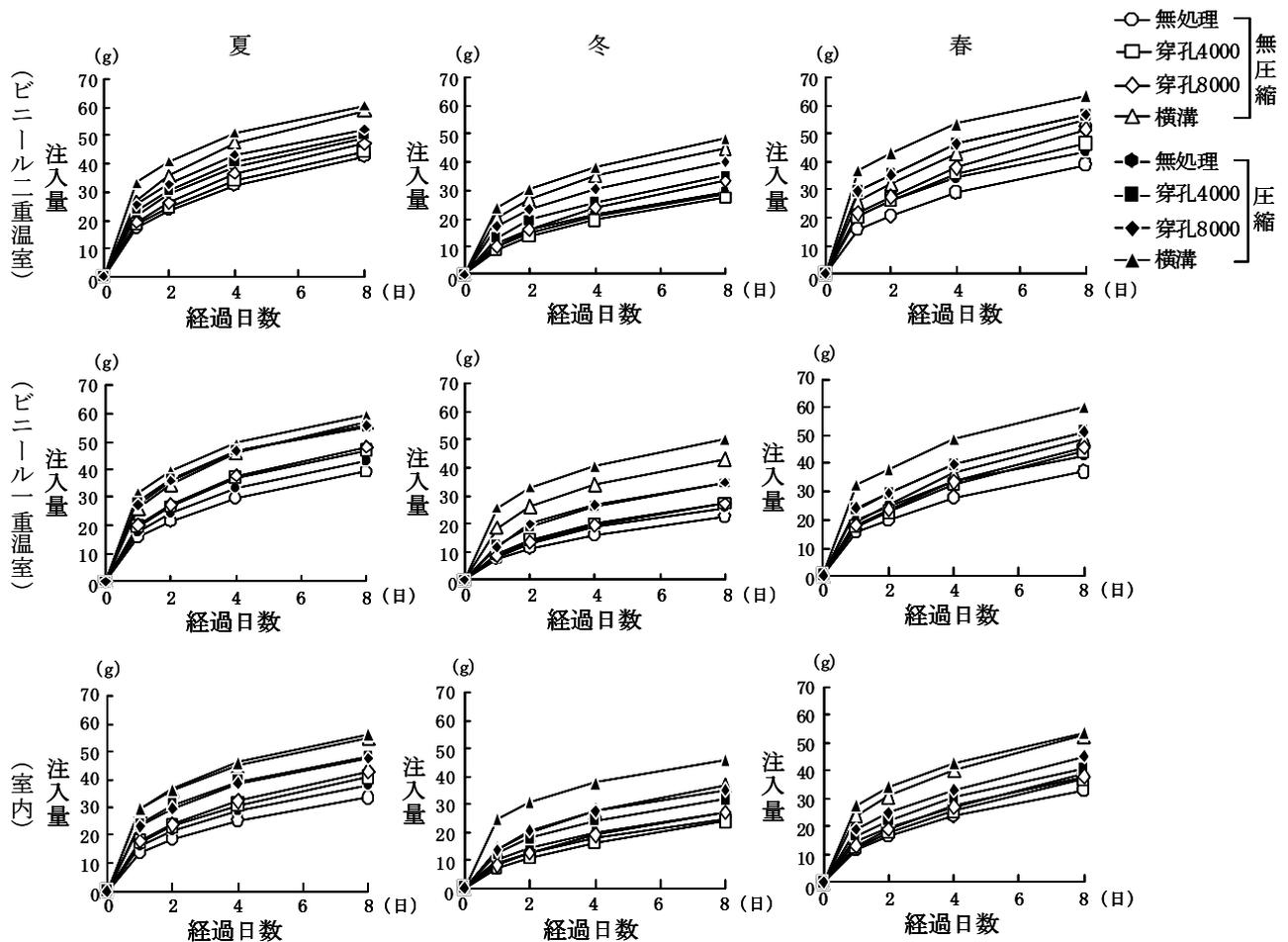


図-16 板材の染料溶液注入量経時変化

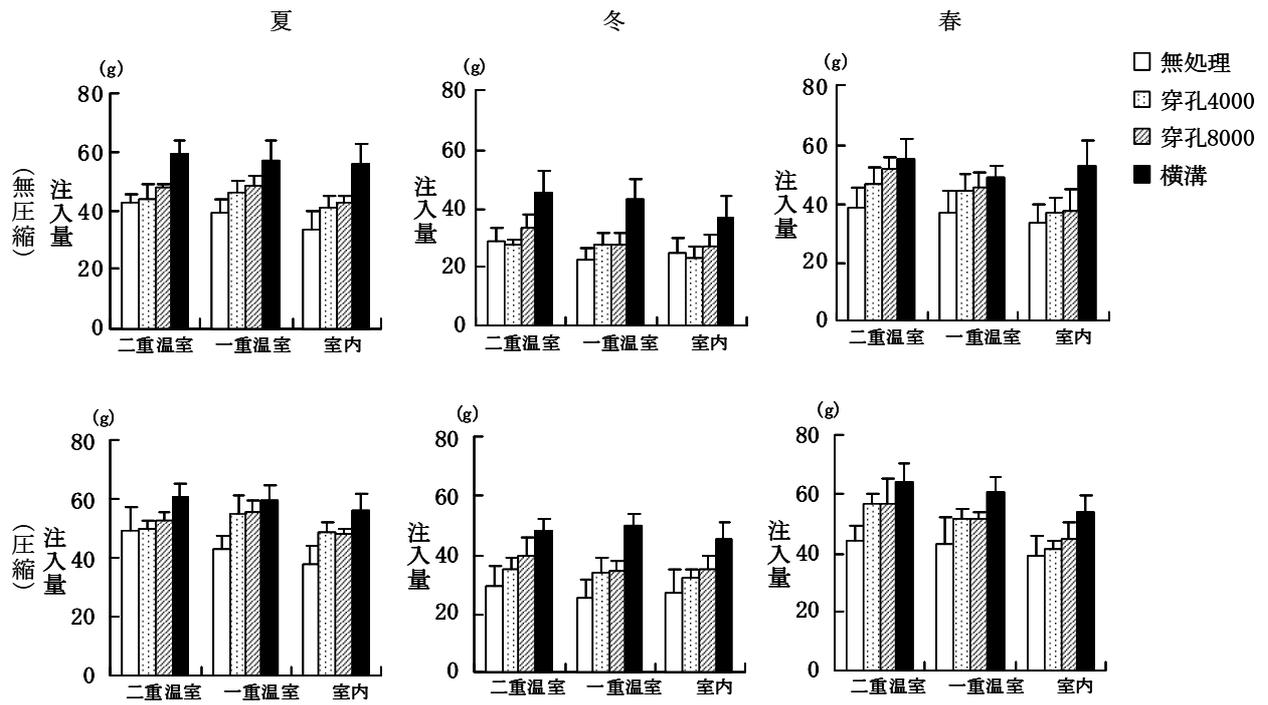


図-17 板材の浸漬8日後の染料溶液注入量

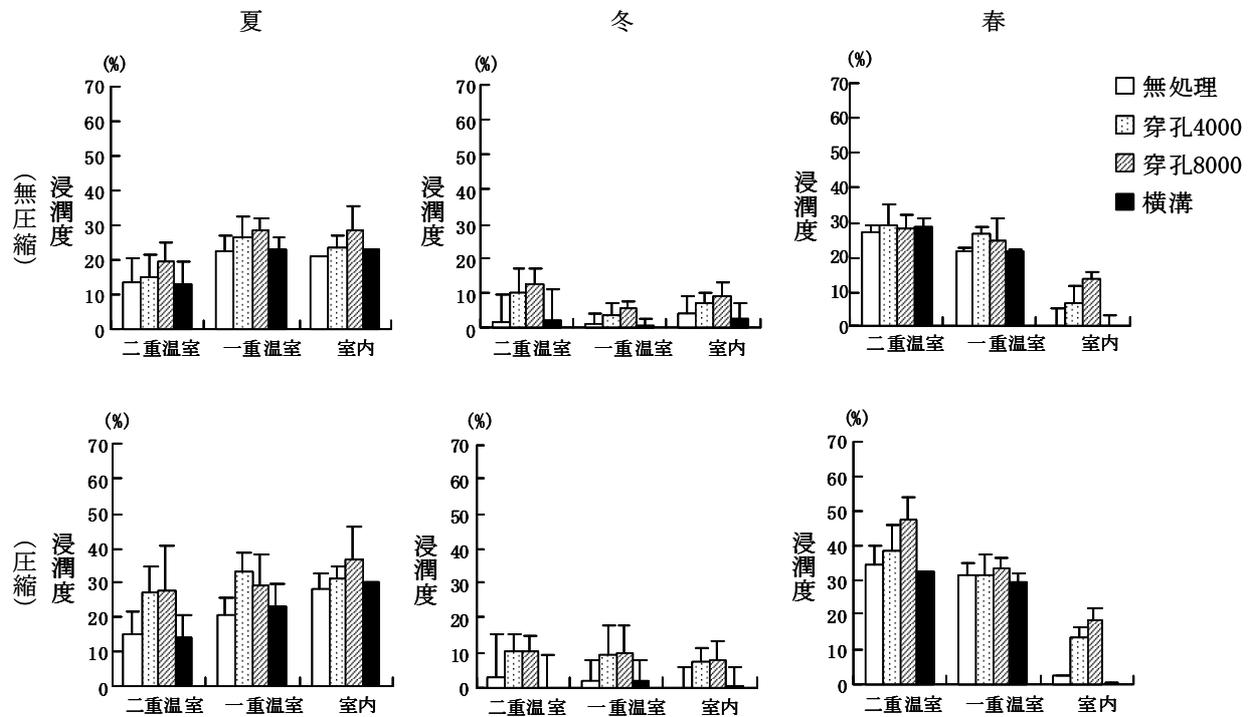


図-18 板材の浸漬8日後の染料溶液浸潤度

イ マルチによる温室効果

円柱加工材の染料溶液の注入量の経時変化を図-19、浸漬8日後の染料溶液注入量を図-20、浸漬8日後の染料溶液浸潤度を図-21に示した。いずれの温冷浴設備、加工の種類でも浸漬1日後の注入量が最も多く、その後は緩やかに増加した。注入量は、加工の種類と温冷浴設備によりそれぞれ有意に増加した (Two-way ANOVA, $p < 0.000$)。また、注入量は加工の種類で変化が認められ、インサイジングで増加した。温冷浴設備では多重比較では十分な証拠は得られなかったものの、ビニール温室で増加する傾向にあった。しかし、温冷浴設備と加工の種類の交互作用は認められなかった ($p = 0.83$)。浸潤度は温冷浴設備と加工の種類によりそれぞれ有意に増加し (Two-way ANOVA, $p < 0.000$)、温冷浴設備と加工の種類の交互作用も認められた ($p < 0.001$)。ビニール二重温室のインサイジングで特に高くなった。しかし、最も浸潤度

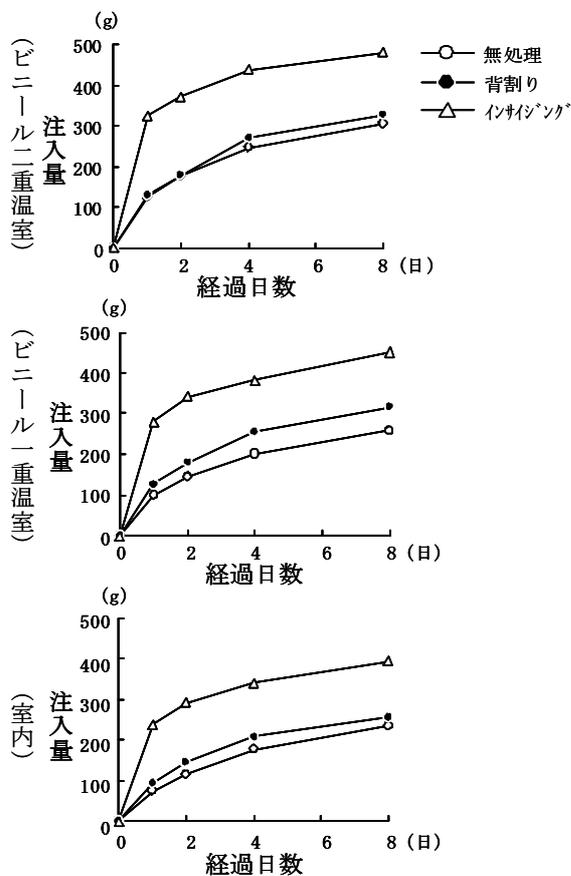


図-19 円柱加工材の染料溶液注入量の経時変化

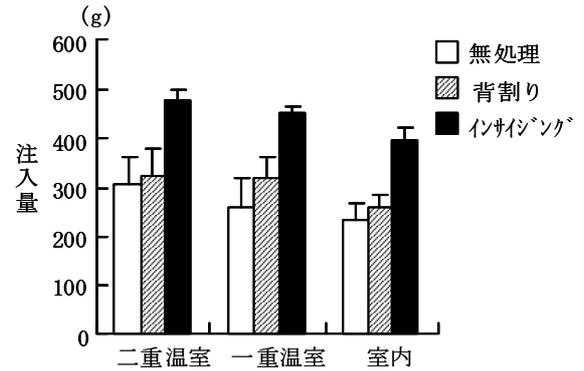


図-20 円柱加工材の浸漬8日後の染料溶液注入量

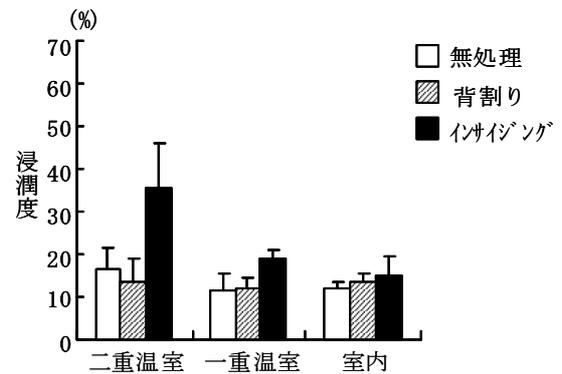


図-21 円柱加工材の浸漬8日後の染料溶液浸潤度

が高かったビニール二重温室浸漬、インサイジング加工を施した試験体で 52.7%であり、JAS 規格の薬剤浸潤度の適合基準は満たさなかった。これらのことから、マルチを敷いただけでは液温の著しい向上は見られず、染料溶液の注入量も改善しなかった。

板材の注入量の経時変化を図-22、浸漬8日後の染料溶液注入量を図-23、浸漬8日後の染料溶液浸潤度を図-24に示した。いずれの温冷浴設備、加工の種類で浸漬1日後の注入量が最も多く、その後は緩やかに増加した。注入量は、圧縮、無圧縮とも加工の種類により変化が認められ (Two-way ANOVA, $p < 0.001$)、温冷浴設備によりばらつきはあるものの、横溝と穿孔加工が無処理に比べて増加した。しかし、温冷浴設備の効果及び加工の種類と温冷浴設備の交互作用は認められなかった (無圧縮 $p = 0.32$, 圧縮 $p = 0.12$, 無圧縮 $p = 0.45$, 圧縮 $p = 0.40$)。浸潤度は圧縮、無圧縮ともに温冷浴設備と加工の種類それぞれで変化が認め

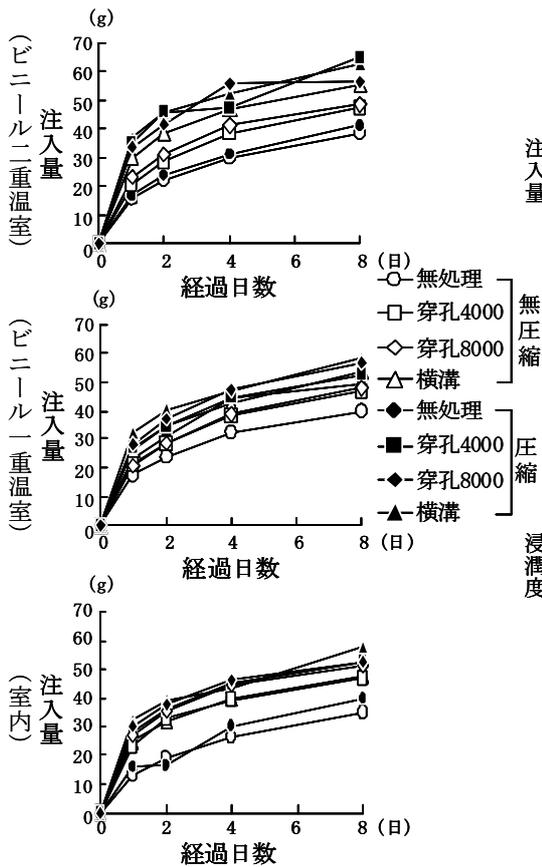


図-22 板材の染料溶液注入量の経時変化

られた (Two-way ANOVA, $p < 0.001$)。加工の種類では圧縮、無圧縮ともに穿孔加工で浸潤度が高くなった。注入量と傾向が異なるのは、横溝加工で溝から染料液が浸透したものの、浸潤度測定断面までは達していなかったためと考えられる。浸潤度が最も高かったビニール二重温室浸漬、圧縮穿孔 8000 加工の試験体で 80.1% と JAS 規格の薬剤浸潤度の適合基準を満たした。これらのことから、板材においては温室にマルチを敷いた場合、液温の著しい向上は見られなかったものの、染料溶液の注入量が向上する可能性が示唆される。

以上のことから、温冷浴法では材内空気と置換した温浴液蒸気が重要な役割を果たし、置換を行うには沸騰状態の温浴が効果的である (栗崎ほか 2002) ことから、さらに液温を高めるための工夫が必要であるとされる。

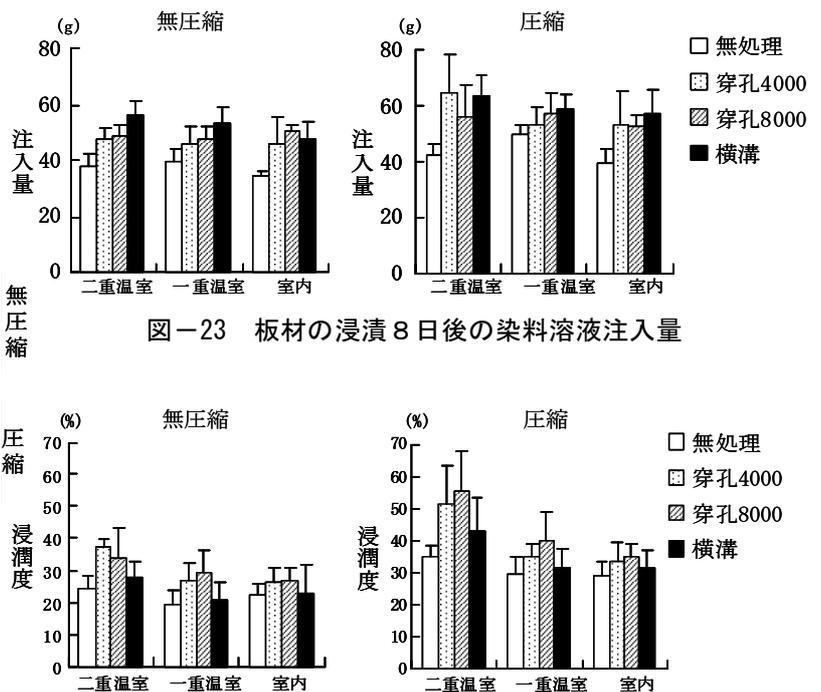


図-23 板材の浸漬 8 日後の染料溶液注入量

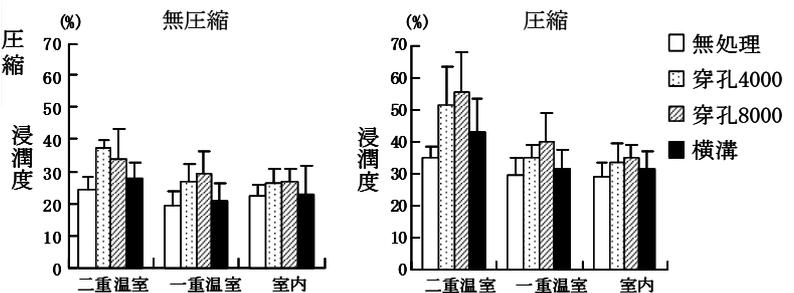


図-24 板材の浸漬 8 日後の染料溶液浸潤度

引用文献

- 中村嘉明 (1998) 加圧処理. (木材保存学入門. 西本孝一, 416pp, 社団法人日本木材保存教会, 東京) 179.
- 矢田茂樹 (1998) 各処理法の比較. (同上) 189.
- 鈴木憲太郎 (1997) 常圧処理法. (木材科学講座 12 保存・耐久性. 屋我嗣良・河内進策・今村祐嗣編, 224pp, 海青社, 滋賀) 141.
- 鹿野厚子・谷内博規 (2004) 木材の含水率が防腐剤注入量に及ぼす影響. 岩手林技セ研報No.12:13-17.
- 栗崎宏・水本克夫 (2002) 温浴液の沸点が温冷浴処理効果に及ぼす影響. 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集: 414.