

竹材の腐朽菌・変色菌の発生とその抑制に関する研究(第2報)

小谷公人*・古曳博也*・二宮信治**・鈴木 憲太郎***
 *別府産業工芸試験所 **材料開発部 ***農林水産省森林総合研究所

Studies on Control and Growth of Fungi or Mold in Bamboo Culms(Ⅱ)

Kimito KOTANI*・Hiroya KOHIKI*・Shinji NINOMIYA**・Kentarō SUZUKI***
 *Beppu Industrial Art Research Devison **Material Development Devison
 ***Forest and Forest Product Research Institute

要旨

竹材の腐朽を抑制する処理として、加圧注入法による竹材の注入性を把握する目的で、有節丸竹材の割裂発生と注入性及び加圧注入法(ベセル法・OPM法)や各種竹材形状が注入性に及ぼす影響について実験を行った。その結果、有節丸竹材において竹稈割裂が発生する圧力は青竹1.3MPa、油抜竹0.7MPaであり、丸竹材の薬液浸透は木口からの通道組織による毛細管浸透が支配的であった。注入法は、加圧総計時間の長いベセル法が丸竹注入に有効であった。竹材形状では、有節よりも無節(節抜き材)の方が初期注入量は高かったが平衡注入量は変わらなかった。

1. 緒言

国内の竹材消費量¹⁾はこの20年で半減したが、平成7年で約13万ton(気乾体積換算=16万m³)と推定され、竹材種別ではモウソウチク45%、マダケ23%、輸入竹材23%、マダケやクロチク等のその他が9%となり、地域別では九州地域からの供給が50%を占め、鹿児島県(モウソウチクシェア74%)、大分県(マダケシェア74%)が代表的な竹材生産県となっている。これまで国内における竹材消費の多くは、農水産業用資材や造園用資材などの消耗品的な利用であった。しかし、近年では、中国から輸入された竹材フローリングが市販されはじめ、また、商業店舗や公共施設、公園緑地等でも建築内装部材や垣根材として、その特徴的な美観を文化的にも再認識し、積極的に利用する傾向が高まりつつある。竹材の美観的な特徴を活かして利用する場合、品質保持や耐久性が問題となり、「割れ・虫・かびは、竹の三悪」と呼ばれている。

前報²⁾では、近年の各種薬剤の効力を検討した。防かび剤を用いてかび抵抗性試験(JIS Z 2911準拠)を行い、木材同様の10分間の浸漬や指定濃度では、薬効を期待できず、竹材の場合、薬液付着量が望める8時間程度の浸漬や指定濃度よりも高濃度に調整した薬液を必要とすることを明かにした。また、防腐剤効力試験(旧JIS A 9302準拠)においても、試験片注入量は青竹で180kg/m³と低く、油抜竹では400kg/m³であり、木材用防腐剤の一般的な濃度では、防腐効力が得られにくい結果となった。

実際の竹材需要の中で薬液処理が望まれている竹材は、竹稈直径3~4cmの節有丸竹材や建仁寺垣などに用いる巾

約4cmの割竹であり、竹材の美観上の特長が優先されるために表皮や節はそのまま用いることが多い。そこで今回は、これまであまり検討がされていなかった丸竹材による加圧注入実験を行い、以下の点について検討した。

- ①節有実大材での割裂発生、注入性の把握
- ②注入法・竹材性状が注入性に及ぼす影響

2. 実験

2.1 実大材注入実験

2.1.1 供試竹材

製竹業者が出荷する状態(長さ5m以上)の大分県産マダケの青竹及び油抜材の2種を購入し供試竹材とした。油抜材は、既にNaOH0.02%溶液で20分程度煮沸脱脂されていた。試験材形状は、節のついたままの竹稈直径約4cmの丸竹材を長さ180cmとし、長さ方向の中央(木口から90cm部位)に節がくるように揃えて、供試竹材を切断し試験材とした。試験材本数は、青竹及び油抜材ともに各10本とした。

2.1.2 試験材体積及び平均含水率の推定

試験材個々の体積を求めるために、Fig.1に示す方法で推定した。つまり、試験材を切り取った両端材(A材、B材)それぞれの容積重を求め、これらの平均値を試験材容積重と推定し、試験材重量をこの推定試験材容積重で除算することで試験材体積とした。また、含水率は、試験材から任意に選んだ各6個体の各両端材を加熱減圧乾燥機(105℃、-80kPa)で恒量にし含水率を求め、これらの平均値を試験材平均含水率(MC)とした。

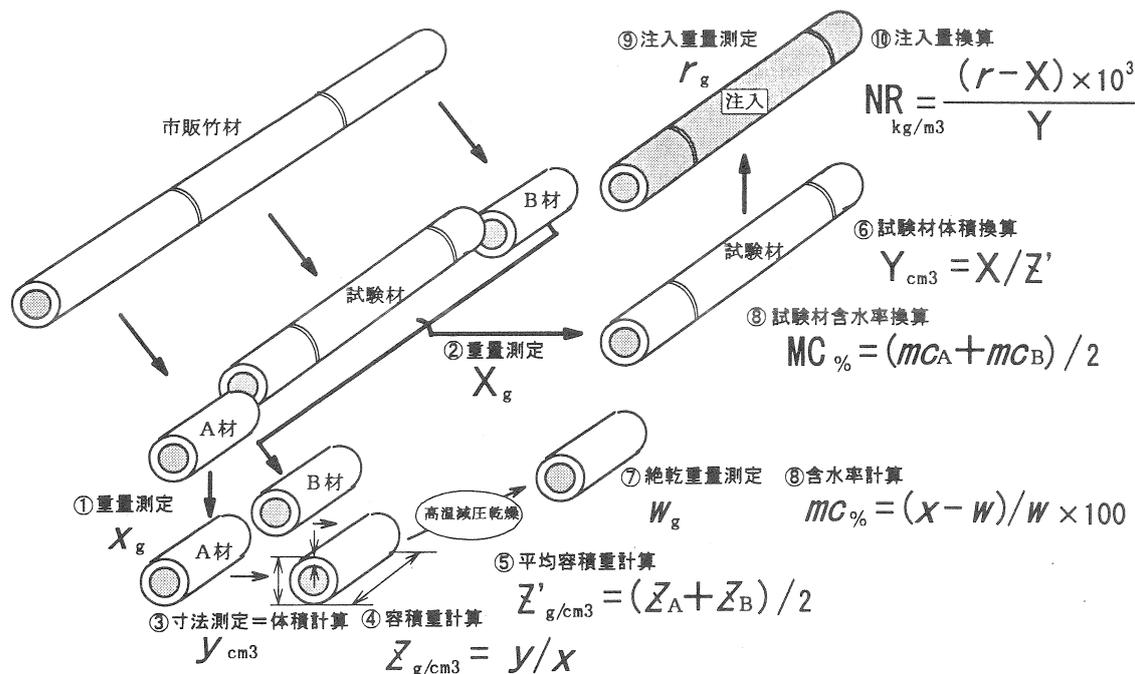


Fig.1 試験材体積・含水率・注入量の測定

2.1.3 注入処理と注入性評価

注入方法は、ベセル法を用いた。処理条件が節有丸竹材の割裂発生や注入量に及ぼす影響を検討するために、前排气時間と加圧圧力を変えたTable 1に示す条件で注入処理した。供試薬液は、(株)サイエンス製CuAz0.8%を用いた。加圧時間は240分として、加圧工程開始後、20, 60, 120分時と終了時に試験材の割裂発生本数及び重量を測定し、割裂発生率と注入量の経時変化を調べるとともに、20, 60分時に各1本、120分時に3本を抜き取り浸潤度を調べた。浸潤度は、注入終了後ラップし1週間以上放置した試験材を、繊維方向中央部から切断し、切断した試験材をさらに半割にした。その半割試験材の一方で木口から浸潤している繊維方向の浸潤距離比を、もう一方は繊維

方向に20cmごとに切断して断面の浸潤面積比を呈色反応試薬(クレマゾール0.1%)を用いて観察し、目視評価を行った。浸潤距離は試験材の中央までの長さに対して、浸潤面積は断面積に対して、浸透や浸潤が各々1/3以下を×, 2/3以下を△, 2/3以上を○とする3段階評価で記録した。

2.2 注入法と竹材性状の比較実験

2.2.1 供試竹材

丸竹材の節の有無が注入性に及ぼす影響を検討するために、マダケの青竹及び油抜材の2種で、節を付けたままのものとして節を直径1cmの金属棒で抜いたものをそれぞれ供試した。試験材形状は、寸法を竹稈直径約3×長さ40cmとし、地上部側木口から10cmの部位に節がくるように揃えて、もう一節は任意とした2節入りの試験材とした。試験材本数は各5本とした。また、割竹試験材は、直径8cmの青竹及び油抜材の寸法を巾4×厚さ0.5~0.8×長さ40cmとし各6本供試した。

2.2.2 試験材体積及び含水率の推定

2.1.2に準じて各試験材体積を求めた。含水率も個々試験材ごとに求めた。

2.2.3 注入処理と注入性評価

注入装置は、森林総合研究所が試作した小型注入装置(東京クラッチドアー製)を用い、供試薬液はCuAz0.6%を用いた。ベセル法とOPM法を比較するために、処理条件となる前排气を-80KPaで30分とし、丸竹材は、加圧圧力0.56MPa, 減圧平衡圧力-80KPaとした。OPM法の加圧減圧サイクルは、それぞれ2分ずつとした。丸竹材では、各種竹

Table 1 実大材注入実験の処理条件

記号	竹材種	処理条件	
		前排气時間 (min)	加圧圧力 (MPa)
A-20	青竹	30	1.96
A-10		30	0.98
A-10+16		960	0.98
A-05		30	0.49
D-20	油抜竹	30	1.96
D-10		30	0.98
D-10+16		960	0.98
D-05		30	0.49

材の平衡注入量を調べる目的で、注入時間を720分とした。割竹は、割裂の発生がないと思われるので加圧圧力を0.76MPaとし、処理時間は、240分とした。加圧またはOPMの工程開始後、4, 8, 20, 60, 120, 240, 480, 720分後に重量を測定して、注入量を調べた。注入終了後、中央部を切断し、浸潤距離及び浸潤面積を調べた。

3. 結果及び考察

3.1 実大材注入実験の結果

3.1.1 実大材の含水率

供試材とした丸竹材の平均含水率は、青竹71%、油抜竹36%であった。部位的には、元部(地上部)ほど含水率が高く、裏部(先端部)に近づくにつれて含水率が低い傾向を示した。

3.1.2 処理条件による割裂発生率、割裂発生圧力

各処理条件における240分処理後の割裂発生率、注入量、浸潤距離、浸潤面積をTable 2に示す。割裂発生率は、加圧圧力を1.96MPaとした場合、青竹、油抜竹とも60分以内に90%以上に割れが発生したため、実験をこの時点で終了した。加圧圧力0.98MPaでは、青竹の割裂発生はなく、油抜竹では前排气時間に関係なく40~50%に割裂が発生した。割裂発生の圧力状況は、青竹が圧力上昇時の1.3~1.5MPa時点、油抜竹が0.7~0.8MPa時点に集中的に発生したため、これが、青竹と油抜竹の加圧圧力限界と考えられる。割裂は、節有であるために隔壁となっている節部の爆発的な破壊による竹稈の割裂であった。

3.1.3 処理条件と注入量の関係

加圧処理時間240分時の注入量は、圧力0.98MPaで青竹約150kg/m³、油抜竹約260kg/m³となり、前排气時間の影響は認められなかった。0.49MPaでは、青竹約120kg/m³、油抜竹約290kg/m³であった。各処理条件での注入量の経時変化をFig.2に示す。青竹の場合、加圧圧力は当初の浸透性に顕著な効果は認められないが、圧力が高ければ時間経過における浸透性の減衰が少ないのが分かる。油抜竹では、圧力による注入量の違いは認められなかった。

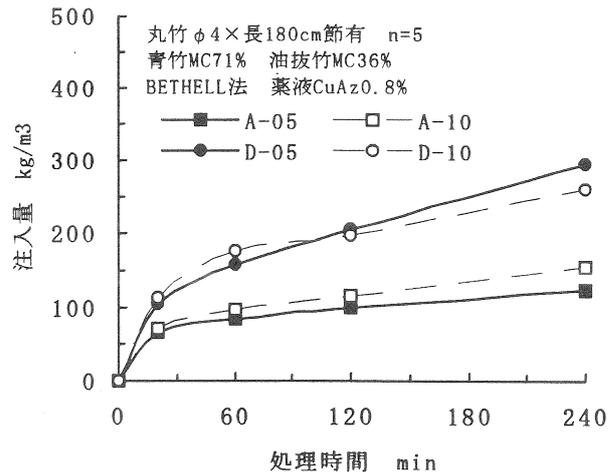


Fig.2 各種処理条件での注入量の経時変化

3.1.4 浸潤距離及び浸潤面積と浸透性

240分処理後の試験材の一部は、節間空隙内に薬液が溜まっていたものがあり、薬液が内部層へ浸みだした痕跡が認められた。長さ方向の浸潤距離を経時変化で見ると薬液の浸透は、両木口から内皮側に近い節管や道管によって浸透し柔細胞組織に浸潤しており、節部をこえると浸透性が低下する傾向が観察された。呈色反応で観察した結果では、木口からの距離で測定した場合は試験材個々のばらつきが大きく傾向がつかみにくい、薬液が浸潤していた節数を測定すると、青竹で2節目、油抜竹で3~4節目まで浸透している傾向が認められた。浸透している部位は、内皮側に近い部分が主であり、表皮側に近い部分の浸透は極端に少なかった。青竹、油抜竹の240分後の浸透状態を模式図で各々Fig.3(1), Fig.3(2)に示す。枝付節部では枝切口からの浸透が見られた。また、一部に枝の出していない地上部に近い節部位で、木口からの浸透が届いていない中央付近の節部にも呈色反応が認められた。これらは、竹材表皮面の吸水性が極端に劣る³⁾ことと通道組織の節部位での構造⁴⁾とに関係するものと考えられるが、現在のところ詳しいことは明らかではない。

Table 2 240分処理後の割裂発生率、注入量、浸潤度

竹材種 (MC%)	処理条件 記号	割裂 発生率 (n=10) (%)	平均注入量 /標準偏差 (n=5) (kg/m ³)	浸潤度		
				浸潤距離*	浸潤面積*	
				中央節部	中央節間	
青竹 (71%)	A-20	90 /60min	—	—	—	—
	A-10	0	154.3/19.0	△~×	△~×	×
	A-10+16	0	156.1/17.5	—	—	—
	A-05	0	123.9/26.3	△~×	△~×	×
油抜竹 (36%)	D-20	100 /60min	—	—	—	—
	D-10	50	259.3/26.9	○~△	○~×	×
	D-10+16	40	265.1/15.7	—	—	—
	D-05	0	293.9/52.4	○~△	○~×	×

*評価の表示
 ×=1/3以下
 △=2/3以下
 ○=2/3以上
 —=未測定

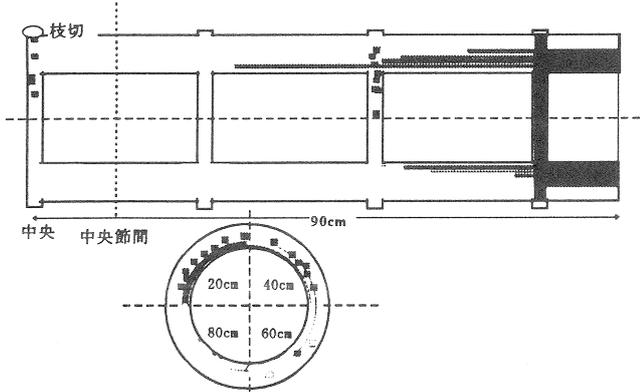


Fig.3(1) 青竹における薬液浸透の模式図

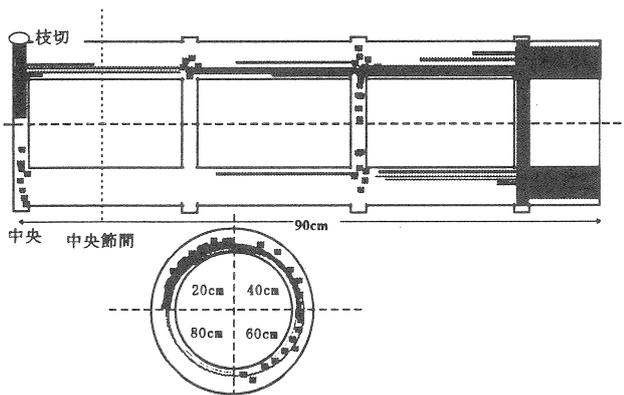


Fig.3(2) 油抜竹における薬液浸透の模式図

3.2 注入法・竹材性状比較実験の結果

3.2.1 注入法（ベセル法・OPM法）と注入量の関係

OPM法とベセル法による注入量の経時変化をFig.4に示す。OPM法は、液体の流動を促進させる目的で考えられ、高含水率材に有効⁵⁾とされているが、本実験ではベセル法よりも低い注入性を示した。また、含水率が9%と乾燥していた油抜竹の試験材の場合、ベセル法では発生しなかった表皮面の繊維方向の割裂が、OPM法では節の有無を問わずほとんど全ての試験材に発生した。これらのことから、OPM法の特徴である圧力変化は、注入性の改善よりもむしろ木口や節部に応力を発生させる要因となると考えられ、加圧時間の総計で圧力効果が期待できるベセル法の方が、注入性に有効な注入法であるといえる。

3.2.2 節の有無と注入量の関係

ベセル法での青竹及び油抜竹の節の有無と注入量の関係をFig.5(1)に示す。処理時間480分以降では、節有材が節無材の注入量を上回った。これは、処理時間720分時に節有の試験材の多くが、節間内部の空隙に薬液が溜まっていたため、節無材は480分時点で注入量の増加が停滞傾向にあることを合わせて考えれば、節有材注入量と節無材注入量が交差する点が、平衡注入時間と平衡注入量であると推定できる。この方法で推定すれば、青竹の平衡

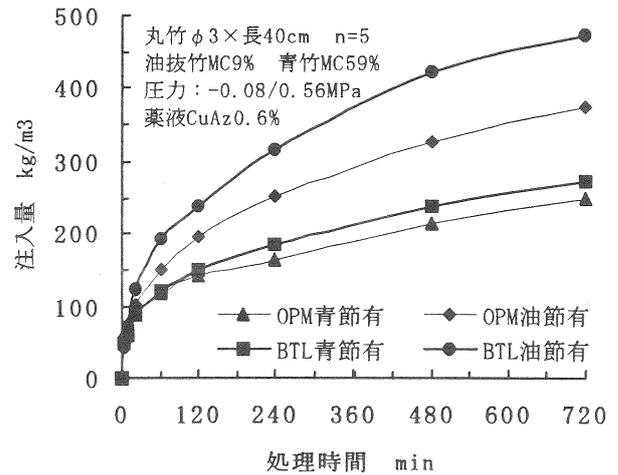


Fig.4 各竹材種及び注入法の注入性

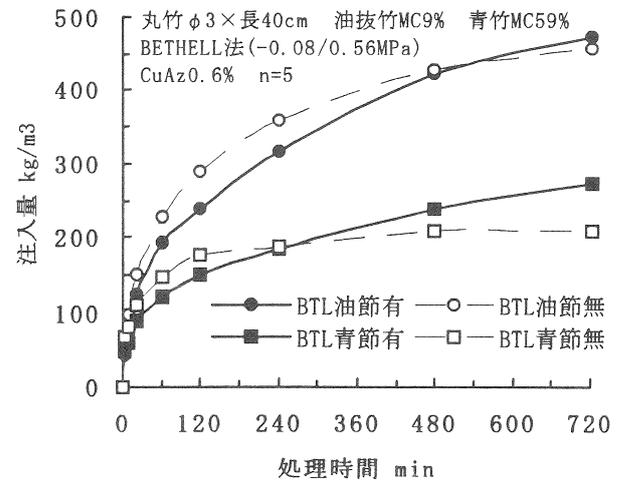


Fig.5(1) 各竹材種の節の有無と注入性

注入時間240分、平衡注入量約180kg/m³、油抜竹の試験材の平衡注入時間480分、平衡注入量約420kg/m³となる。この平衡注入量の結果は、前報の防腐効力試験での注入量とほぼ同等の値であり木材の平衡注入量に比べて低いことから、木材用市販防腐剤の成分濃度を約1.5倍～2倍にすれば、防腐処理におけるAQ認定基準⁶⁾の薬剤成分吸収量を満たすことになる。

3.2.3 各種処理条件の初期注入量と経時浸透性の関係

Fig.5(1)の処理時間(X)と注入量(Y)の関係を対数目盛としてFig.5(2)に示す。実大材注入実験で、丸竹の注入性は木口面からの繊維方向への浸透に依存していると考えられることから、毛細管浸透の式⁷⁾である次式を当てはめたところ、高い相関を示した。

$$Y = bX^a \quad (\text{すなわち } \log Y = a \log X + \log b)$$

常数aは時間経過における薬液の浸透性を示すもので、aの値が1に近いほど時間経過による薬液の浸透性の減衰が少ないことを意味している。常数bは竹材に薬液が接した

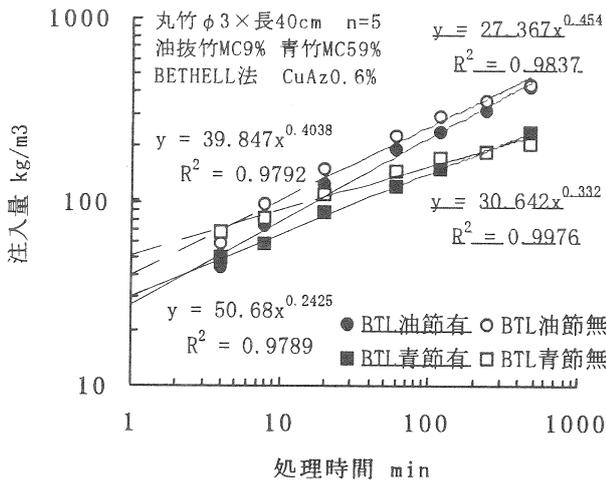


Fig.5(2) 注入量における回帰式と実測値の相関

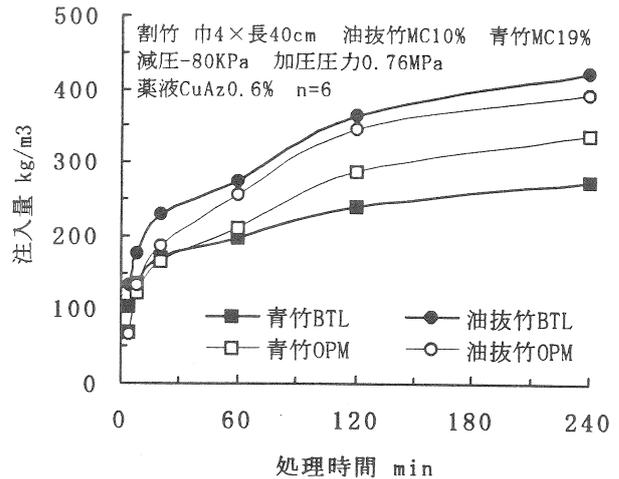


Fig.6 割竹の注入量の経時変化

Table 3 各処理条件と回帰式の常数a, b, 相関係数R²

竹材種	竹材形状	注入法	常数a	常数b	相関係数
青竹	丸竹節有	BETHELL	0.33	30.6	0.998
		OPM	0.24	44.4	0.993
	丸竹節無	BETHELL	0.24	50.7	0.979
		OPM	0.24	42.6	0.965
	割竹	BETHELL	0.23	81.4	0.982
		OPM	0.68	49.9	0.958
油拔竹	丸竹節有	BETHELL	0.45	27.4	0.984
		OPM	0.38	31.1	0.998
	丸竹節無	BETHELL	0.40	39.8	0.979
		OPM	0.35	47.0	0.988
	割竹	BETHELL	0.28	95.2	0.986
		OPM	0.41	48.0	0.944

直後 (X=1の時)の注入量を示すもので、bが大きければ当初の浸透性が大きいことになる。各処理条件の回帰式の常数をTable 3に示す。丸竹の場合は、青竹よりも油拔竹、OPM法よりもベセル法の方が時間経過における浸透性の減衰も少ないことが分かる。

3.2.4 割竹の注入量

割竹のOPM法とベセル法による注入量の経時変化をFig.6に示す。OPM法は、割青竹には有効で処理時間240分時点でベセル法が273kg/m³であるのに対し、338kg/m³を示した。浸潤度も、表皮層側を除いてほぼ100%近い浸透が認められた。気乾材である油拔竹では、顕著な優位性は認められなかった。これは、割竹の場合、注入は木口のみならず側面や内皮側からの浸透も考えられるため、液体の流動によって青竹の浸透性が改善されたと考えられる。青竹に比べ注入性の高い油拔竹では、この特徴が発揮できずベセル法の圧力効果であっても充分浸透可能であつ

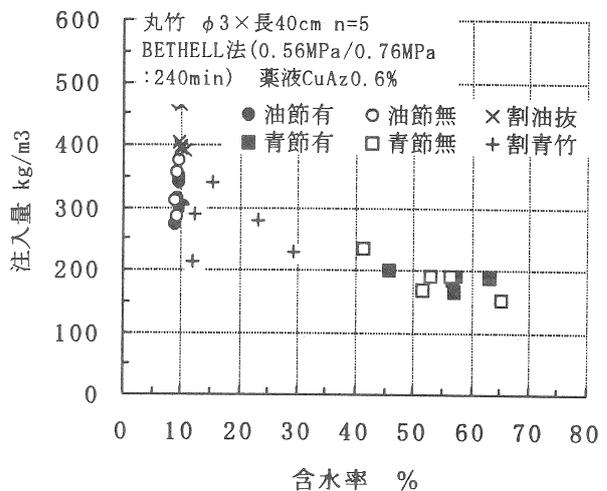


Fig.7 含水率と注入量の関係

たと考えられる。

3.2.5 各種竹材の含水率と注入量の関係

試験材個々の含水率と処理時間240分時の注入量の関係をFig.7に示す。油拔竹は、含水率が9~10%と安定していたが、注入量は丸竹の場合270~380kg/m³とばらつきが見られ、割竹では380kg/m³以上で安定している。その理由としては、油拔竹試験材個々の木口面積や節の位置等の要因に起因するものとも考えられるが本実験では、その点を明確にすることはできなかった。青竹は、試験材個々の含水率がばらついてはいたが、注入量は150~220kg/m³であり、含水率が低下すれば、若干注入量が増加する傾向が見られた。割青竹は含水率が丸竹よりもさらに低くなっていた。しかし、気乾材に近い含水率であっても、注入量が低いものがあり、これら注入量のばらつきを改善する方法については、今後さらに検討を進める必要があると思われる。

4. 総括

丸竹材他の加圧注入処理における注入性を検討し、以下の結果が得られた。

- (1) 丸竹材の含水率は、元部(地上部)ほど高く、裏部(先端部)に近づくにつれて低い傾向を示した。
- (2) 加圧注入処理において、丸竹有節材の割裂が発生する圧力は、青竹1.3MPa、油抜竹0.7MPaであった。
- (3) 青竹は、加圧圧力が高ければ処理時間経過における浸透性の減退が少ない。
- (4) 丸竹有節材の薬液浸透は、節を超えると浸透性が極端に低下し、部位的には主に内皮側に近い部分に浸潤し、表皮側の浸潤性は低かった。
- (5) 注入法では、加圧総計時間の長いベセル法の方が注入性が優れていた。
- (6) 節の有無は、初期注入量に影響するが、平衡注入量の向上は認められなかった。
- (7) 竹材の薬液注入性は、毛細管浸透の式である次式
$$Y = bX^a$$
(すなわち $\log Y = a \log X + \log b$)に高い相関を示した。
- (8) 市販竹材の平衡注入量は、青竹で180kg/m³、油抜竹は420kg/m³であった。
- (9) 竹材がA Q認定基準となる薬剤成分濃度を満たすためには、市販薬剤の成分濃度を青竹で2倍以上、油抜竹で1.5倍程度に調整する必要があった。

本研究の注入実験にあたっては、森林総合研究所木材化工部材質改良科の上杉三郎氏、西村健氏、(株)ザイエンス中央研究所の谷川充氏、新井野憲昭氏、元森林総合研究所の井上衛氏の協力を得た。ここにご協力いただいた各氏に深謝いたします。また、本研究をご支援いただいた機関、企業の関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺政俊：第37回全国竹の大会誌(滋賀県近江八幡市大会実行委員会 編)、竹産業の情勢報告(1996)、p13
- 2) 小谷公人、古曳博也、二宮信治：平成7年度大分県産業科学技術センター研究報告、(1996)、p106
- 3) 山之内清竜、遠矢良太郎：日本産主要竹類の研究(青木尊重 編著)、(1987)、p232、葦書房
- 4) 佐藤庄五郎：図説竹工芸、(1974)、p12、共立出版
- 5) 鈴木憲太郎、谷川 充：木材保存、20-3(1994)、p11
- 6) 鈴木憲太郎：木材活用事典(木材活用事典編集委員会 編)、(1994)、p364、産業調査会
- 7) 雨宮昭二、井上 衛：林業試験場研究報告、第170号(1964)、p143