

## 4. 難燃処理剤の含浸方法の開発

燃え止まり型の耐火集成材について、構造部材である心材（木材）の周囲を被覆する難燃処理木材が燃え止まり層としての性能を十分に発揮するためには、難燃処理剤が内部まで均一に含浸した木材を燃え止まり層に使用することが重要と考えられる。

そこで、4.1～4.4の調査・研究、実験を行い、材料の種類（樹種・辺材率・インサイジング加工の有無など）や難燃処理剤の加圧注入条件（加圧時間・後排気時間など）の違いによる含浸量の変化について確認した。

### 4.1 難燃処理剤の含浸方法の調査

これまでに行われている防腐防蟻剤などを含浸させ、耐久性等を向上させる手法を調査し、効率的な難燃処理剤の含浸方法を検討した。表 4.1 に調査結果をまとめる。

表 4.1 既往の研究の調査結果と本事業への応用

	発表年	題名	著者	出典	研究結果の概要	本事業において、 研究内容を応用した点
1	1986	インサイジング刃物の 圧入力（第2報）	中村嘉明 西本孝一	木材学会誌 Vol.32 No.1	6種類の刃物について、傾斜角を変えたインサイジング処理を行い、圧入力を検証している。	新たなインサイジング設備を導入することが困難と判断した。
2	1987	インサイジングによる CCAの浸透（第1報） 6種類の刃物による 浸透の差異	中村嘉明 西本孝一	木材学会誌 Vol.33 No.10	6種類のインサイジング用刃物を用いて、薬液の浸透に及ぼす刃物の形状・寸法の影響を検証。インサイジング刃物として望ましい形状を見出している。	
3	1987	インサイジングによる CCAの浸透（第2報） 木材10種の浸透の 差異	中村嘉明 西本孝一	木材学会誌 Vol.33 No.11	10樹種の木表面に長弧型刃物でインサイジング処理を行い、樹種別の薬剤の浸透を検証。傾斜インサイジング法を採用することで、いずれの樹種でも浸透面積の拡大効果を確認している。	
4	1991	500W炭酸ガスレーザーによる 木材のインサイジング	服部順昭 井田晃史 喜多山繁 野口昌巳	木材学会誌 Vol.37, No.8	炭酸ガスレーザーによる、樹種ごとの浸透性改善効果を検証している。	

5	1992	圧縮処理木材の液体浸透（第1報） 吸液量に及ぼす圧縮変形およびその回復の影響	飯田生穂 高山千香子 宮川修 今村祐嗣	木材学会誌 Vol.38 No.3	横圧縮変形による閉鎖壁孔の破壊および開口が発生し、横圧縮をしていない材料と比較して、吸液量が増大することを確認している。	越井木材工業において圧縮加工を過去に検討し、インサイジング処理で圧縮加工と同等の効果が見られることが確認できたため、インサイジング処理を活用することとした。
6	1992	難注入性木材の液体浸透（I）	谷川充 古野毅 城代進	木材保存 Vol.18-5	針葉樹5種の液体浸透について、注入方法や組織構造の面から考察している。	易注入材であるサザンイエローパインの利用を検討した。
7	1994	薬剤処理方法による浸透の相違	酒井温子	木材保存 Vol.20-3	薬剤処理方法による注入量や浸透の相違について、検討し、組織構造と併せて考察している。浸透性が良いスギ辺材については、高い注入量を得るためには「前排気」が必要で、浸透性が悪いベイマツ心材では高い注入量を得るために「加圧」が効果的としている。	前排気を行ってから加圧注入処理を行うこととした。
8	1994	木材のレーザーインサイジング円柱材への水溶性染料の注入	服部順昭 安藤恵介 喜多山繁 中村嘉明	木材学会誌 Vol.40, No.12	レーザーインサイジングが円柱材への薬液注入の前処理として役立つか否かを検討。樹種によって浸潤状態の違いが見られた。スギとベイマツにおいて	通常のインサイジングと比較して、処理に費用が要するレーザーインサイジング処理の導入は困難と判断し

					は浸透断面積率はそれぞれ約 96%、90%となり、円柱材への薬液注入の前処理として、レーザーインサイジングが適していることを確認している。	た。
9	1994	木材中への薬液浸透法（圧縮前処理法、マイクロ波加熱法、立木注入法）の検討	飯田生穂	木材保存 Vol.20-6	圧縮前処理法とマイクロ波加熱法において浸透促進効果が認められ、圧縮前処理法ではかなりの浸透量増加を確認している。	越井木材工業において圧縮加工を過去に検討し、インサイジング処理で圧縮加工と同等の効果が見られることが確認できたため、インサイジング処理を活用することとした。
10	1995	圧縮処理木材の液体浸透（第3報）吸液量に及ぼす圧縮変形およびその回復の影響	飯田生穂 池内晃 今村祐嗣	木材学会誌 Vol.41 No.9	圧縮法による木材の浸透性改善効果について、樹種の影響を検討している。 SEM 観察により閉鎖壁孔およびチロースの破壊を確認している。 ⇒浸透性促進効果に影響。	
11	2001	針葉樹材中における液体浸透の動的挙動	河合厚 飯田生穂 石丸優	木材学会誌 Vol.47 No.6	光学顕微鏡に CCD カメラを取り付け、仮道管への液体浸透挙動を観察し、木材中への液体浸透機構を明らかにしている。	木材中への液体浸透機構についての知見を得た。
12	2003	接着性能に及ぼす防腐薬剤の影響（第4報）防腐処理およびインサイジングによ	宮崎淳子 中野隆人	木材学会誌 Vol.49, No.3	防腐処理されたラミナを接着したときの接着性能を検討した。防腐処理による表面の落ち込みや、インサイジングによるラミナ表面粗さの増大により、	乾燥後にモルダールで表面切削して、インサイジングによって生じる表面粗さを解消することとした。

		る接着性能への影響			接着性能が低下することを確認している。	
13	2003	注入性向上のための圧縮処理技術の実用化と普及	西岡久寛	日本木材保存協会第19回年次大会	ロールプレス方式による圧縮加工により薬剤の浸透性が向上することを確認している。	越井木材工業において圧縮加工を過去に検討し、インサイジング処理で圧縮加工と同等の効果が見られることが確認できたため、インサイジング処理を活用することとした。
14	2011	大断面スギ心材の乾燥と薬剤注入（1）注入時の含水率とインサイジングが薬剤浸潤に及ぼす影響	酒井温子 他12人	木材保存 37（1）	大断面無垢スギ心材への注入技術の検討を行っている。注入時の含水率が低いほど、薬剤注入量や浸潤度が高くなる傾向を示している。またインサイジングにより、製材JASに定めらる浸潤度の基準に合格する確率が高まることを確認している。	十分に人工乾燥されたKD材を用いて注入処理を行うこととした。
15	2012	長尺の薬剤処理木材における材内の薬剤分布と模型箱試験による防火性能評価	河原崎政行 菊地伸一 田坂茂樹 土橋常登	林産試験場報 541号	長さ1900mmのスギ材について、注入処理後における長手方向の薬剤固形分量を検討している。注入薬液量水準500~700kg/m <sup>3</sup> の処理剤では薬剤固形分量は木口に近い部分で大きくなっ	インサイジング処理などを行うことで、出来る限り注入薬液量を高めて、木口付近と中央部の薬剤分布を均等化させることとした。

			鈴木秀和		ている。また長手方向の変動範囲は±43～58kg/m <sup>3</sup> の範囲になっている。この変動範囲は、注入薬液量が増加しても大きな変化はないとしている。	
16	2013	難燃処理木材の溶脱法による薬剤固形成分量の計測手法に関する研究	上川大輔	木材保存 Vol.39-2	難燃処理木材中の薬剤量を計測する方法として、処理材から切り出された小片を水に浸漬し、薬剤を溶脱させて重量現象より薬剤量を算出する方法を提案している。乾燥温度や抽出成分溶脱の影響も検討している。	ラミナ内部での薬剤量分布を検証するために当該技術を応用した。
17	2014	異なる条件で乾燥させたスギ辺材における有縁壁孔の閉鎖状態と薬液浸透性の関係	坂上弘樹	日本木材保存協会第30回 年次大会	乾燥温度が異なるスギ材に対して減圧処理で薬液を注入したところ、乾燥温度が高いものほど、浸潤度および注入量が低下する傾向を示すことを確認している。	一般流通品の人工乾燥材を利用したため、乾燥温度を制御することが出来なかった。
18	2014	難燃薬剤注入木材を使用した耐火集成材に関する研究	上川大輔	日本木材保存協会第30回 年次大会	難燃処理剤注入木材の薬剤量分布について、溶脱法を用いて評価している。レーザーインサイジング処理材と無処理材に分布の違いを検証している。	ラミナ内部での薬剤量分布を検証するために当該技術を応用した。

## 4.2 難燃処理剤の注入に適した材料の選定

### 4.2.1 経緯・目的

難燃処理剤の注入に適した材料を選定するため、辺材率、インサイジング加工、樹種を変更して注入処理を行い、厚さ方向に難燃処理剤が内部まで含浸しやすい条件を決定する。樹種に関しては、耐火集成材で多く使用されているスギと防腐処理などで浸潤度が高いサザンイエローパイン（以下、SYP）を対象とした。

実験実施日と実験場所を下記に示す。

実施日 : 平成 26 年 10 月 20 日～平成 26 年 11 月 15 日

実施場所 : 越井木材工業株式会社

### 4.2.2 試験方法

難燃処理剤が厚さ方向に均一に注入されている場合、表面を切削しても、残った試験体の密度が変化することはないが、不均一の場合、密度は変化する。このことに着目し、本試験では、難燃処理剤注入後の試験体を、図 4.1 に示すように表裏面をプレーナーで 1mm ずつ切削し、切削毎に密度を測定し、切削前の密度と比較した。

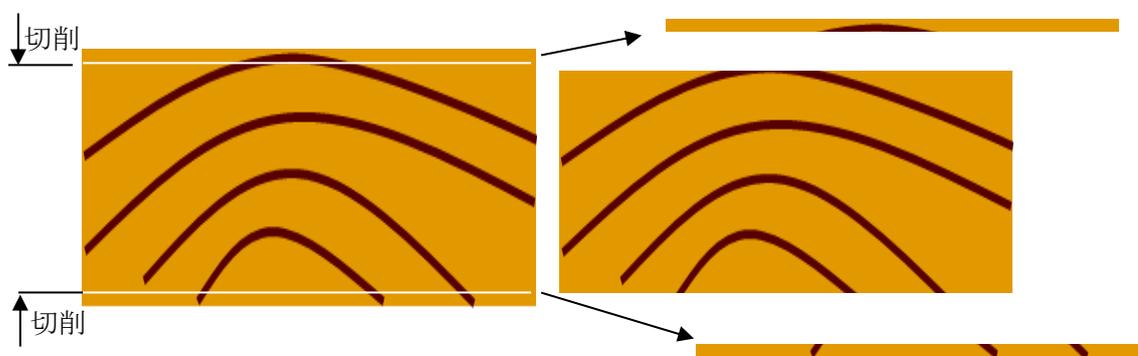


図 4.1 試験方法

#### (1) 試験体の仕様

試験体は、材種、インサイジング処理の有無、辺材率が異なる 4 体を制作し、条件 1 と 2 の比較により辺材率の大小、条件 1 と 3 の比較によりインサイジング処理の有無、条件 1 と 4 の比較により材種が、難燃処理剤の含浸に及ぼす影響を確認する。表 4.2 に試験体の一覧を示す。

表 4.2 試験体の概要

条件 No	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4
材種	スギ	スギ	スギ	SYP
寸法	20(厚さ)×120(幅)×1000(長さ)mm			
難燃処理剤	FX (リン酸アミノ樹脂系)			
インサイジング	なし	なし	あり 4000 穴/m <sup>2</sup> 深さ 10mm (両面)	なし
辺材率(%)	0	100	0	0
減圧圧力(MPa)	0.08MPa 以下			
加圧圧力(MPa)	1.5MPa			
減圧時間(min)	40			
加圧時間(hr)	10			

#### (4) 測定方法

##### ①表面切削後に試験体に残っている薬剤量の推定方法

薬剤量の測定方法を下記に示す。

- 1) 注入前の重量を素材の重量とし試験材の比重を計算する。
- 2) 注入処理後に人工乾燥を行い、含水率 20%以下の状態で、初期重量を測定する。
- 3) 試験体の表裏を 1mm ずつ、自動かんな盤にて切削する。
- 4) 切削後の試験体の重量を測定する。
- 5) 4)で測定した重量から素材の重量 (= "1") の比重に表面切削後の試験体の体積を乗じた値) を引いて、試験体に残っている薬剤量 (以降、残存薬剤量と呼ぶ) を推定する。
- 6) 3)~5)を繰り返す。

##### ②薬剤残存率の算定方法

表面切削による薬剤量の減少度合いを、切削前の薬剤量に対する切削後の薬剤量の比で表すこととした。この比を薬剤残存率  $R$  と呼び、下式により求めた。

$$\text{薬剤残存率 } R = \frac{X_d}{X_0} \times 100 \quad [\%]$$

$X_d$  :  $d$ [mm]切削後に試験体に残存している薬剤量[kg/m<sup>3</sup>]

$X_0$  : 切削前の薬剂量[kg/m<sup>3</sup>] (=注入量[kg/m<sup>3</sup>]×難燃処理剤の濃度)

ここで、木材中の薬剤の密度分布が一定と仮定した場合、切削前後の薬剤の密度の差が単位体積あたりの薬剂量の減少量に等しい。

$d$ [mm]切削後に試験体に残存している薬剂量  $X_d$  は、下式により推定した。

$$X_d = X_0 - (D_0 - D_d)$$

$D_0$  : 切削前の試験体の密度[kg/m<sup>3</sup>]

$D_d$  :  $d$ [mm]切削後の試験体の密度[kg/m<sup>3</sup>]

$$D_d = W_d / (t_d \times A)$$

$W_d$  :  $d$ [mm]切削後の試験体の重量[kg]

$t_d$  :  $d$ [mm]切削したあとの試験体の厚さ[m]

$A$  : 試験体の表面積[m<sup>2</sup>] (=試験体の幅×長さ)

#### 4.2.3 試験結果

試験結果を図 4.2 に示す。以下の結果から条件 3 のインサイジング加工が最も薬剤の残存率が高い傾向を示した。次に条件 2 のスギ辺材の残存率が高く、条件 4 の SYP はスギ心材よりも低い結果を示した。

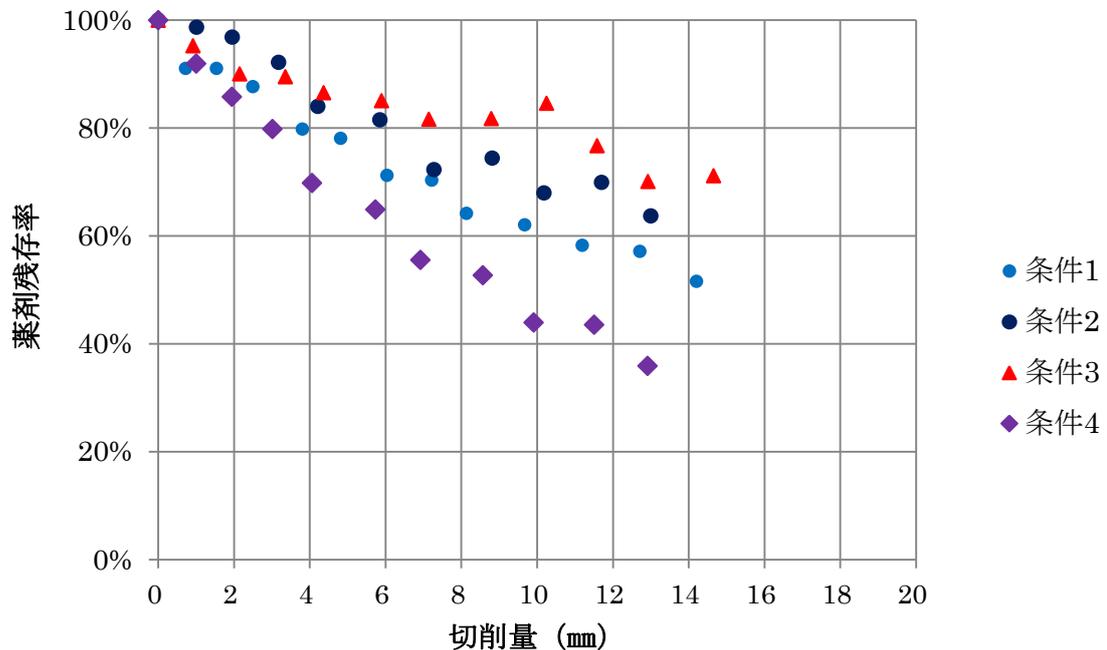


図 4.2 薬剤残存率

#### 4.2.4 考察

- 1) 薬剤の残存率は厚さ方向に進むに連れて、減少する傾向が認められた。
- 2) 薬剤の残存率は素材によって異なり、インサイジング処理を行ったものが、最も薬剤残存率が高かった。
- 3) スギ以外の樹種として、薬剤の浸潤が容易と思われた SYP では薬剤の残存率が低かった。

このことから、薬剤をより多く残存させるためにはインサイジング処理を行うことが最適と判断された。

## 4.3 難燃処理剤を木材内部まで均一に含浸させる手法の開発

### 4.3.1 経緯・目的

難燃処理剤の注入を行う際に、最も均一に含浸させる手法を開発するため、注入処理条件を変更して注入処理を行い、厚さ方向に難燃処理剤が内部まで含浸しやすい処理条件を決定する。

実験実施日と実験場所を下記に示す。

実施日 : 平成 26 年 10 月 20 日～平成 26 年 11 月 15 日

実施場所 : 越井木材工業株式会社

### 4.3.2 試験方法

4.2 と同様に、表裏面をプレーナーで 1mm ずつ切削し、切削毎に密度を測定し、切削前の密度と比較した。

#### (1) 試験体の仕様

試験体は、加圧時間、後排気の有無、養生時間が異なる 4 体を制作し、条件 1 と 2 の比較により加圧時間の大小、条件 1 と 3 の比較により後排気の有無、条件 1 と 4 の比較により養生期間が、難燃処理剤の含浸に及ぼす影響を確認する表 4.3 に試験体の一覧を示す。

表 4.3 試験体の概要

条件 No	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4
材種	スギ			
寸法	20(厚さ)×120(幅)×1000(長さ)mm			
難燃処理剤	FX (リン酸アミノ樹脂系)			
インサイジング	なし			
辺材率(%)	0			
減圧圧力(MPa)	0.08MPa 以下			
加圧圧力(MPa)	1.5MPa			
減圧時間(min)	40			
加圧時間(hr)	10	20	10	10
後排気(min)	0	0	40	0
養生期間(day)	1	1	1	15

#### (4) 測定方法

4.2.2 の (4) と同様に行った。

#### 4.3.3 試験結果

試験結果を図 4.3 に示す。試験の結果から条件 2 の加圧時間を 20 時間に伸ばしたものが薬剤残存率が高かった、条件 1 および 3 と 4 に関してはほぼ同一で大きな差は認められなかった。

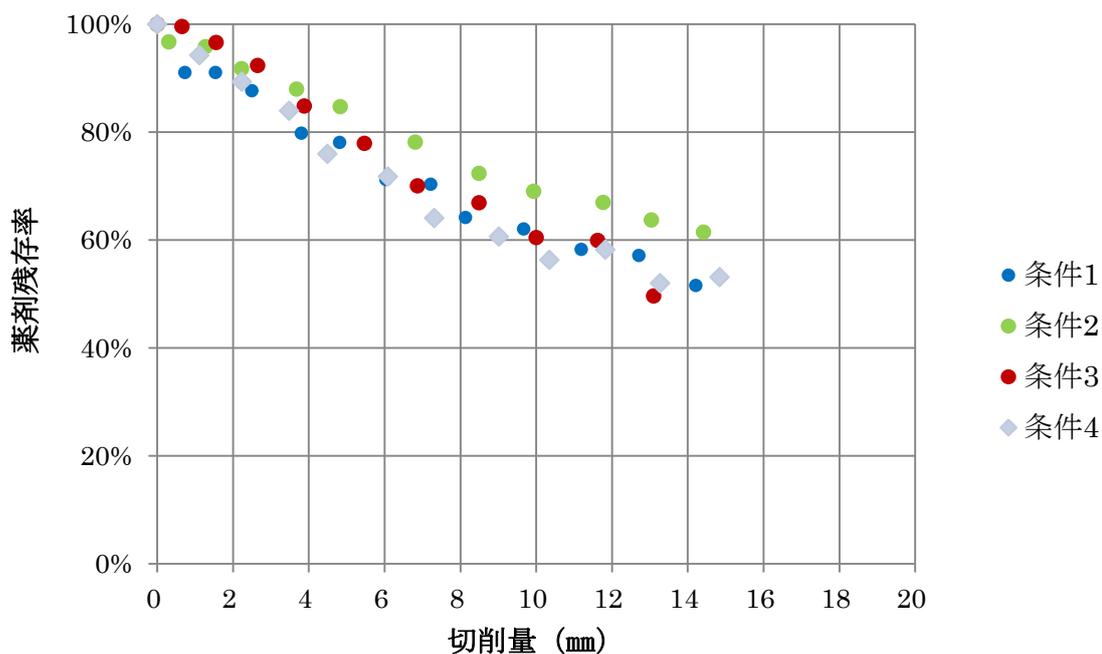


図 4.3 薬剤残存率

#### 4.3.4 考察

- 1) 難燃処理剤の残存率は厚さ方向に進むに連れて、減少する傾向が認められた。
- 2) 難燃処理剤の残存率は処理条件によって異なり、加圧時間を 20 時間に増したものが、最も薬剤残存率が高かった。それ以外の条件では基本となる条件 1 との際は認められなかった。

このことから、難燃処理剤をより多く残存させるためには加圧時間を増すことが最適と判断された。

## 4.4 難燃処理木材内部の薬剤量の断面分布

### 4.4.1 経緯・目的

難燃処理木材内の薬剤分布をより詳細に確認するため、下記条件で処理を行った試験片を断片にし、その部位ごとの推定薬剤量を確認した。

実験実施日と実験場所を下記に示す。

実施日 : 平成 27 年 1 月 9 日～平成 27 年 2 月 27 日

実施場所 : 越井木材工業株式会社

### 4.4.2 試験方法

#### (1) 試験材料

スギ 20(厚さ)×120(幅)×1000(長さ)mm N=3 (条件 3 のみ N=2)

処理条件 2～3 に関してはインサイジング加工を行ったもので試験を実施した。  
エポキシ樹脂シーリング材

#### (2) 処理条件

処理条件を表 4.4 に示す。条件 1～4 までを設定し試験を行った。

表 4.4 試験体の概要

条件 No (試験体数)	条件 1 (N=3)	条件 2 (N=3)	条件 3 (N=2)	条件 4 (N=3)
材種	スギ			
寸法	20(厚さ)×120(幅)×1000(長さ)mm			
難燃処理剤	FX	FX	NB	FX
薬剂量(目標)(kg/m <sup>3</sup> )	100	170	250	250
インサイジング	なし	あり 〔4000 穴/m <sup>2</sup> 深さ 10mm (両面)〕	あり 〔4000 穴/m <sup>2</sup> 深さ 10mm (両面)〕	あり 〔4000 穴/m <sup>2</sup> 深さ 10mm (両面)〕
辺材率(%)	0			
減圧圧力(MPa)	0.08MPa 以下			
加圧圧力(MPa)	1.5MPa			
減圧時間(min)	40			
加圧時間(hr)	6	20	20	20

※「5 燃え止まり型耐火集成材の耐火性能試験」と同一の処理条件で注入処理を行った。

### (3) 試験方法

試験方法に関しては

- ・試験材を 2 分割し、一方を注入処理用の試験材とし両木口にエポキシ樹脂でシーリングを施し、もう一方をコントロール用試験材とした。
- ・注入処理用試験材に注入処理し、コントロールは注入処理用試験材に近い部分を厚さ 5mm に切り出し、コントロール用試験片と薬剂量測定用試験片とした。
- ・各試験片を厚さ方向 5mm 幅方向 10mm に分割し、全乾状態にしてコントロール用試験片と薬剂量測定用試験片の同一の箇所の密度差を薬剂量  $M_{(x,y)}$  と推定し、下記の計算式を用いて測定を行った。その際、マイナスの数値については値を 0 として測定を行った。

$$M_{(x,y)} = D_{(x,y)} - D_{0(x,y)} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$M_{(x,y)}$  : 試験片の推定薬剂量[kg/m<sup>3</sup>]

$D_{(x,y)}$  : 薬剂量測定用試験片の全乾密度[kg/m<sup>3</sup>]

$D_{0(x,y)}$  : コントロール用試験片の全乾密度[kg/m<sup>3</sup>]

図 4.4 に試験の手順を示す。

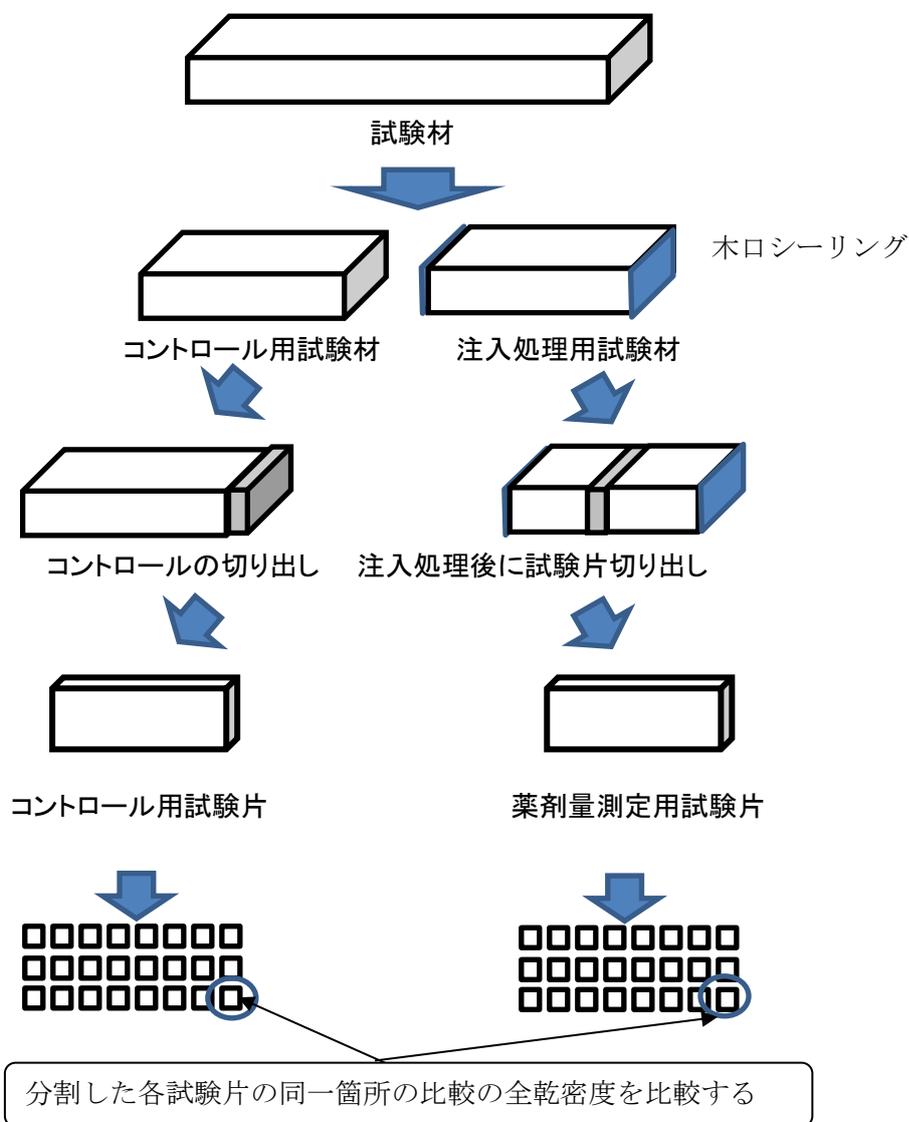


図 4.4 試験手順

#### 4.4.3 試験結果

試験から得られた木材内部の薬剤の分布と試験材の薬剤量を下図および写真(上：コントロール、下：薬剤量測定用、条件 1-1 および 2-1 は写真なし)に示す。数字は薬剤量(kg/m<sup>3</sup>)を示し、色が濃いほど薬剤量が多い事を示している。

試験の結果から、表層ほど薬剤量が多い傾向が認められた。条件 1 の処理では内部で薬剤のバラつきが認められ、内部では薬剤がない部分も認められた。インサイジングを施し薬剤量が増えた条件 2 では薬剤量が増え、条件 4、5 では薬剤量が更に増えたため、内部まで薬剤が浸透していることが認められた。

試験片内で測定部位によって薬剤分布にバラつきがあることが認められた。これに関してはコントロール用と薬剤量測定用の試験片の木目の位置がわずかに異なるため、素材の比重に差が生じたことやインサイジングの位置がコントロールと薬剤量測定用で同一になっていないことなどが原因と考えられた。

条件 1-1 薬剤量 (96.9kg/m<sup>3</sup>)

119	139	180	196	203	89	130	168	256	269	185	168
128	65	36	87	93	60	22	24	19	49	118	119
90	125	61	116	90	0	22	79	0	0	15	78
174	84	96	127	99	85	0	27	49	0	34	88

条件 1-2 薬剤量 (97.4kg/m<sup>3</sup>)



55	45	71	14	66	19	135	199	128	100	135	199
149	70	0	0	0	0	0	0	16	98	56	31
47	0	0	0	0	42	81	2	0	64	59	0
91	21	31	70	69	120	131	154	67	51	82	57

薬剤量(kg/m <sup>3</sup> )
0~50
51~100
101~200
201~300
301~400
401~

条件 1-3 薬剂量 (123.1kg/m<sup>3</sup>)



46	80	121	107	156	166	200	181	97	120	151	181
33	31	69	145	69	51	83	172	36	17	16	0
0	0	0	17	0	10	44	57	85	20	111	26
119	7	107	195	139	91	1	61	70	121	93	42

条件 2-1 薬剂量 (222.1kg/m<sup>3</sup>)

265	163	167	135	153	113	70	136	189	209	222	136
279	122	85	149	124	120	120	122	196	104	68	129
182	175	149	73	36	108	41	30	44	20	60	87
167	241	278	355	290	374	318	378	340	286	490	307

薬剂量(kg/m <sup>3</sup> )
0~50
51~100
101~200
201~300
301~400
401~

条件 2-2 薬剂量 (194.6kg/m<sup>3</sup>)



242	189	233	125	186	107	36	75	54	0	81	75
140	114	80	110	84	21	0	64	22	0	0	0
141	100	101	58	83	4	143	134	93	0	58	124
283	227	176	186	25	118	13	202	70	37	180	115

条件 2-3 薬剂量 (174.0kg/m<sup>3</sup>)



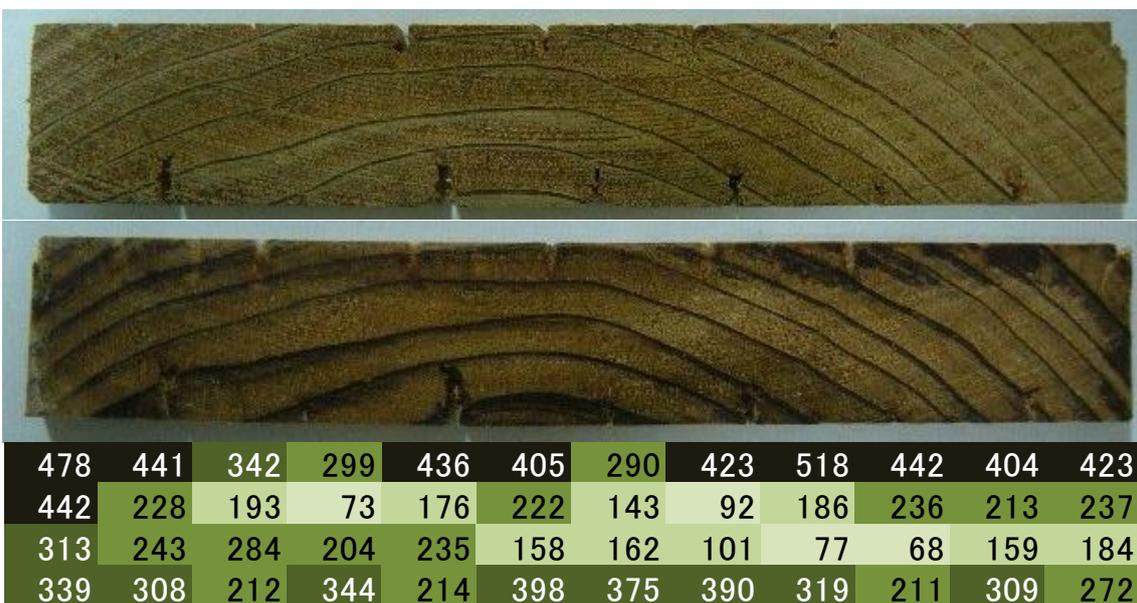
155	165	182	267	182	213	239	285	209	372	188	285
91	99	0	85	0	0	0	57	86	129	173	252
108	76	74	154	97	133	99	113	79	157	179	199
27	144	165	129	158	182	145	205	194	178	156	205

薬剂量(kg/m <sup>3</sup> )
0~50
51~100
101~200
201~300
301~400
401~

条件 3-1 薬剂量 (329.7kg/m<sup>3</sup>)



条件 3-2 薬剂量 (297.5kg/m<sup>3</sup>)



薬剂量(kg/m <sup>3</sup> )
0~50
51~100
101~200
201~300
301~400
401~

条件 4-1 薬剂量 (341.5kg/m<sup>3</sup>)



539	362	293	288	294	328	289	325	301	265	272	325
548	246	284	175	215	195	120	114	182	257	198	296
356	220	205	201	162	252	160	102	198	237	166	211
372	296	413	429	284	185	188	271	255	229	245	349

条件 4-2 薬剂量 (333.4kg/m<sup>3</sup>)



308	425	313	322	426	401	297	279	331	311	230	279
263	211	231	219	164	32	98	118	36	206	230	237
268	261	243	135	118	177	310	253	200	108	152	184
295	272	213	234	307	239	238	246	353	254	302	223

薬剂量(kg/m <sup>3</sup> )
0~50
51~100
101~200
201~300
301~400
401~

条件 4-3 薬剂量 (320.2kg/m<sup>3</sup>)



248	260	221	245	304	190	244	194	216	296	178	194
212	89	101	193	124	178	128	115	100	100	238	290
163	116	72	48	98	219	100	21	139	168	184	149
227	208	277	205	224	113	225	204	177	140	81	67

薬剂量(kg/m <sup>3</sup> )
0~50
51~100
101~200
201~300
301~400
401~

#### 4.4.4 考察

今回の測定結果から以下のことが示された。

- 1) 薬剂分布は処理条件によって異なるが、表層ほど薬剂濃度が高い傾向が認められた。
- 2) インサイジング処理や薬剂濃度によって木材内部の薬剂量に差が認められた。
- 3) 各部位での薬剂分布にバラつきが認められたが、これについてはコントロールと薬剂量測定用試験片の木目がわずかに異なることや、インサイジングの箇所が同一でないことから生じたと推察された。

#### 4.5 まとめ

今回の結果から難燃処理剤の含浸に関しては、素材にインサイジング加工を施し、加圧時間を 20 時間とすることで従来よりも含浸の均一性が改善されることが認められた。

薬剂の分布を確認した結果もこれを裏付ける結果となったことから、これらを耐火試験体の燃え止まり層の注入処理条件とした。