

## 4. 難燃薬剤の最適注入条件の確立

### 4.1 経緯・目的

難燃処理 LVL を燃え止まり層とする耐火集成材を開発するにあたり、LVL を構成するスギ単板に不燃処理相当の難燃薬剤を処理する必要がある。単板に難燃薬剤を加圧注入することで、内部まで均一にムラなく難燃薬剤を注入することができるが、一方で単板間での薬剤吸収量のバラつきが大きく、また薬剤が過剰に注入されるものが発生する。

そこで本章では、難燃薬剤の加圧注入時の加圧時間を変動要因とし、適正な薬剤吸収量が確保できる最適な注入条件を検証すべく、試験を実施した。

### 4.2 試験方法

#### 4.2.1 試験材料

スギ単板は全て、株式会社オロチから手配したスギ辺材乾燥単板を使用した。単板は長さ 1,300 mm×幅 1,368 mm×厚さ 3.8 mm で仕入れを行ったが、そのままのサイズでは難燃薬剤を処理する注薬缶に投入が出来ないため、幅方向にカットし、試験材料は全て長さ 1,300 mm×幅 682 mm×厚さ 3.8 mm とした。単板の含水率は針式含水率計を用いて抜き取りで測定を実施し、いずれも 10% 未満であった。

#### 4.2.2 注入処理

単板への薬剤注入処理はリン酸ホウ酸系難燃処理薬剤を用いて、越井木材工業株式会社にて実施した。注薬缶は内容積 10.7 m<sup>3</sup> のものを用い、表 4.2.2-1 の圧力条件にて注入処理を行った。この時、加圧工程の工程時間は 5 分～300 分までの 7 パターンで計 8 回（30 分は 2 回）実施した（表.4.2.2-2）。また注薬缶への単板の投入枚数、並びに難燃薬剤濃度については各回で異なっており、濃度については最大で 1.4% の差異があった（表.4.2.2-2）。加圧時間については時系列で実施した順番に表中に示した。

表 4.2.2-1 注入処理における圧力条件

工程	時間	圧力 (MPa)
減圧①	40分	-0.08
加圧	5分～300分	1.50
減圧②	40分	-0.08

表 4.2.2-2 注入処理における加圧時間と圧力条件

加圧時間	サイズ (mm)			数量 (枚)	薬剤濃度 (%)
	長さ	幅	厚み		
①300分	1,300	682	3.8	580	39.0
②120分	1,300	682	3.8	780	39.0
③60分	1,300	682	3.8	561	38.3
④30分	1,300	682	3.8	585	38.3
⑤5分	1,300	682	3.8	554	38.3
⑥30分	1,300	682	3.8	450	38.9
⑦10分	1,300	682	3.8	453	38.9
⑧15分	1,300	682	3.8	710	37.6



写真 4.2.2-1 注薬缶外観



写真 4.2.2-2 スギ単板投入様子

### 4.2.3 重量測定と薬剤吸収量の算出

単板の重量測定は供試単板全数を測定した。測定は注入処理日の前後 2 日以内で、注入前重量と注入後重量を測定し、注入前単板の密度、薬剤注入量、ならびに薬剤吸収量を下式にて算出した。薬剤吸収量はリン酸ホウ酸系難燃処理薬剤の注入処理によって不燃性能が得られると判断される  $300\text{kg/m}^3 \pm 10\%$  の範囲 ( $270 \sim 330\text{kg/m}^3$ ) を基準として選別を実施した。

$$\text{単板密度} = \frac{\text{注入後重量 (kg)}}{\text{単板体積 (m}^3\text{)}}$$

$$\text{薬剤注入量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{注入後重量 (kg)} - \text{注入前重量 (kg)}}{\text{単板体積 (m}^3\text{)}}$$

$$\text{薬剤吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \text{薬剤注入量 (kg/m}^3\text{)} \times \text{薬剤濃度 (\%)}$$

## 4.3 試験結果

### 4.3.1 加圧時間の違いによる単板薬剤吸収量への影響

各加圧時間別の単板薬剤吸収量の枚数分布を図 4.3.1-1 に、基準内となった単板枚数を表 4.3.1-1 示す。

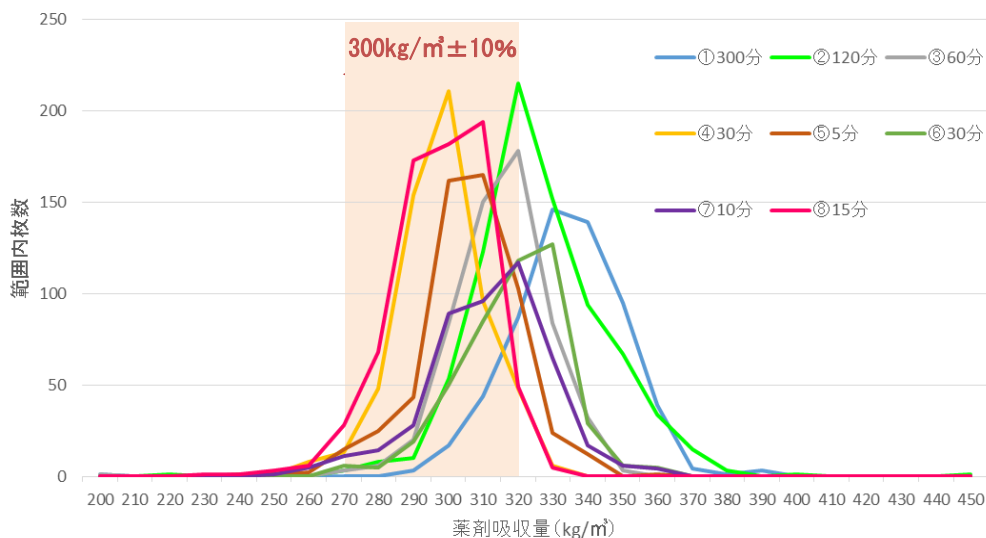


図 4.3.1-1 各加圧時間別の単板薬剤吸収量の枚数分布

表 4.3.1-1 各加圧時間別の基準内単板枚数

加圧時間	注入枚数 (枚)	基準内枚数 (枚)	基準内枚数 割合
①300分	580	151	26%
②120分	780	412	53%
③60分	561	441	79%
④30分	584	570	98%
⑤5分	554	513	93%
⑥30分	450	283	63%
⑦10分	453	355	78%
⑧15分	710	694	98%

加圧時間を変更し、合計 8 回の注入を行った結果、最も基準内の枚数割合が高くなったのは④30分と⑧15分であった。30分を超える加圧時間においては、基準よりも薬剤注入量が多く入る単板枚数が増える傾向が認められた。加圧時間 30分については④と⑥で 2 回注入を実施したが、それぞれ単板における薬剤吸収量の傾向が異なっており、変動要因として設定した加圧時間以外の要因による影響が考えられた。

#### 4.3.2 単板密度の違いによる薬剤吸収量への影響

注入処理の各回に供試した単板密度を表 4.3.2-1 に示す。各注入回に供試した単板密度は最大値で多少のバラつきが認められるものの、平均値、中央値ともにほぼ同じ値を示しており、また標準偏差においても違いが認められなかった。そのため、各注入回に供試した全単板 4673 枚のデータを全て纏め、単板密度と薬剤吸収量の関係を図 4.3.2-1 に示した。その結果、単板密度と薬剤吸収量の間には弱い負の相関が認められた ( $R^2=0.0981$ )。

薬剤吸収量基準となる  $300\text{kg}/\text{m}^3 \pm 10\%$  の範囲から外れたものは主に単板密度が  $0.25 \sim 0.40$  のもので、 $330\text{kg}/\text{m}^3$  以上の薬剤吸収量が得られていることが明らかとなった。しかしながら、基準内となる単板密度についても同じく  $0.25 \sim 0.40$  の範囲に集中しており、単板密度による薬剤吸収量のコントロールは難しいものと考えられた。

表 4.3.2-1 注入処理各回別の単板密度

単板密度	①300分	②120分	③60分	④30分	⑤5分	⑥30分	⑦10分	⑧15分
平均値	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.33	0.33	0.33
最大値	0.64	0.59	0.40	0.39	0.39	0.43	0.44	0.47
最小値	0.27	0.23	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.26
中央値	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33
標準偏差	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

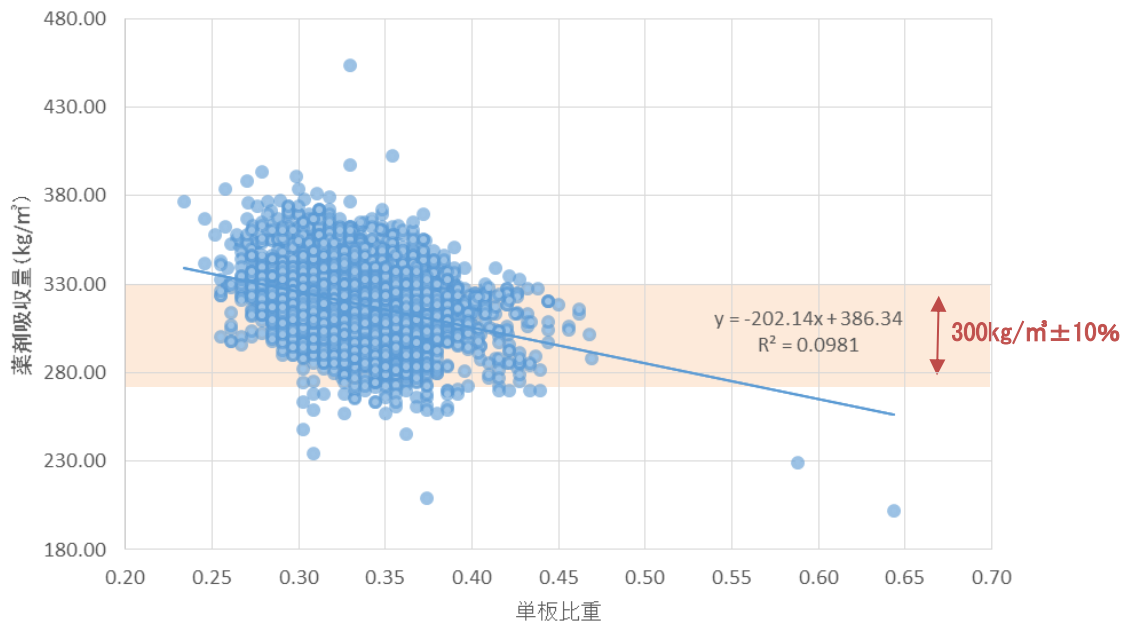


図 4.3.2-1 単板密度と薬剤吸収量の関係

#### 4.3.3 注薬缶内における単板投入位置による薬剤吸収量への影響

注薬缶内における単板投入位置による薬剤吸収量への影響を検証するために、⑧15分の単板について図 4.3.3-1 の通りに 140 枚を 1 バンドルとして注薬缶内に投入を行い、バンドル単位での平均薬剤吸収量を測定した（図 4.3.3-2）。その結果、注薬缶の入り口側から 2 バンドル目にあたる No. 560～421 のバンドルが他のバンドルと比較して若干高い平均吸収量を示したが、他と比べて有意差は認められなかった。また表 4.3.3-1 に各バンドルの平均単板密度を示したが、No. 560～421 のバンドルの平均単板密度は他バンドルと同程度であり、単板密度が影響している可能性は低いと考えられた。No. 560～421 のバンドル平均薬剤吸収量が高くなった要因としては、バンドルが投入された位置に注薬缶内を加圧す

るための加圧ポンプの液入口があり、設備的な要因で付近の注入圧力が高まっている可能性が考えられた。

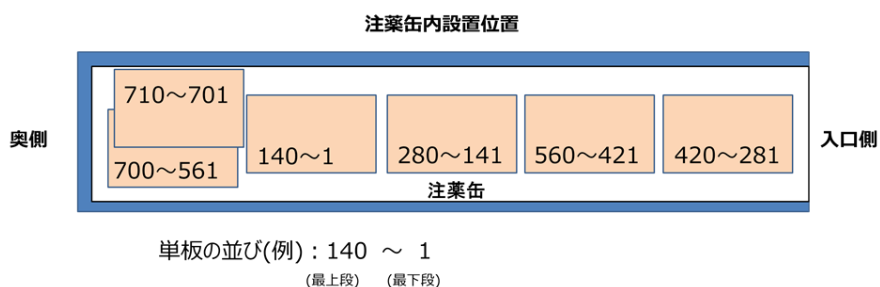


図 4.3.3-1 ⑧15 分における注薬缶内単板バンドル投入位置

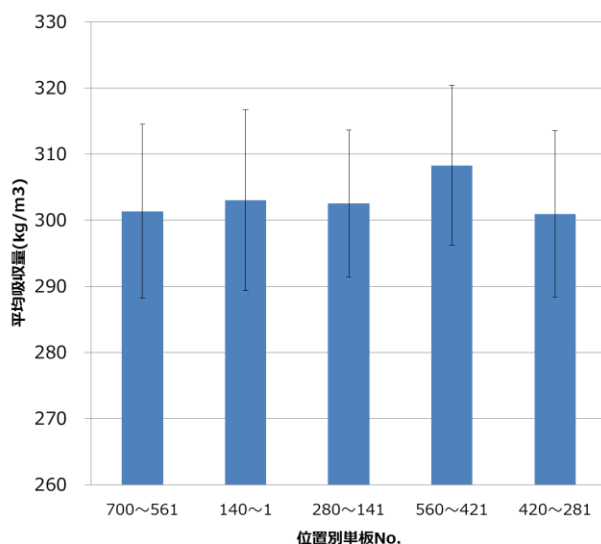


図 4.3.3-2 ⑧15 分における単板バンドル別平均薬剤吸収量  
※エラーバーは標準偏差を示す

表 4.3.3-1 ⑧15 分におけるバンドル単位の平均単板密度

単板No.	バンドル平均 単板密度	平均 薬剤吸収量 (kg/m <sup>3</sup> )
700~561	0.32	301.34
140~1	0.33	303.03
280~141	0.34	302.49
560~421	0.33	308.27
420~281	0.33	300.94



写真 4. 3. 3-1 注薬缶における加圧ポンプの液入口

#### 4.3.4 加圧時間の違いによる単板薬剤注入量への影響

加圧時間の単板薬剤吸収量への影響については4.3.1にて確認を行い、各加圧時間における基準内単板枚数の比較を行った。しかし8回の注入において薬剤濃度は最大で1.4%の差があり、その差が薬剤吸収量ならびに基準内単板枚数に影響があると判断されたため、薬剤濃度による影響を除外し、加圧時間の違いによる薬剤注入量の比較を行った（表4.3.4-1、図4.3.4-1）。図4.3.4-1における加圧時間30分については④と⑥の測定値を合算してプロットしている。平均薬剤注入量は加圧時間が長いほど高い値を示す傾向が見られ、5分～15分程度でも800kg/m<sup>3</sup>以上の薬剤注入量が得られている。また標準偏差においては加圧時間によって多少前後するものの、加圧時間が長い条件よりも短い条件でバラつきが低減する傾向が認められた。

表 4. 3. 4-1 加圧時間別の薬剤注入量

薬剤注入量 (kg/m <sup>3</sup> )	①300分	②120分	③60分	④30分	⑤5分	⑥30分	⑦10分	⑧15分
平均値	869.58	849.36	835.96	790.61	812.00	830.67	813.88	804.85
最大値	1019.64	1163.59	920.13	878.58	943.88	943.88	932.01	902.32
最小値	517.69	587.79	546.14	670.81	641.12	694.55	664.87	623.32
中央値	869.70	845.70	837.02	789.53	813.28	834.06	819.21	807.34
標準偏差	41.49	48.37	35.11	32.21	37.90	38.91	43.99	36.10

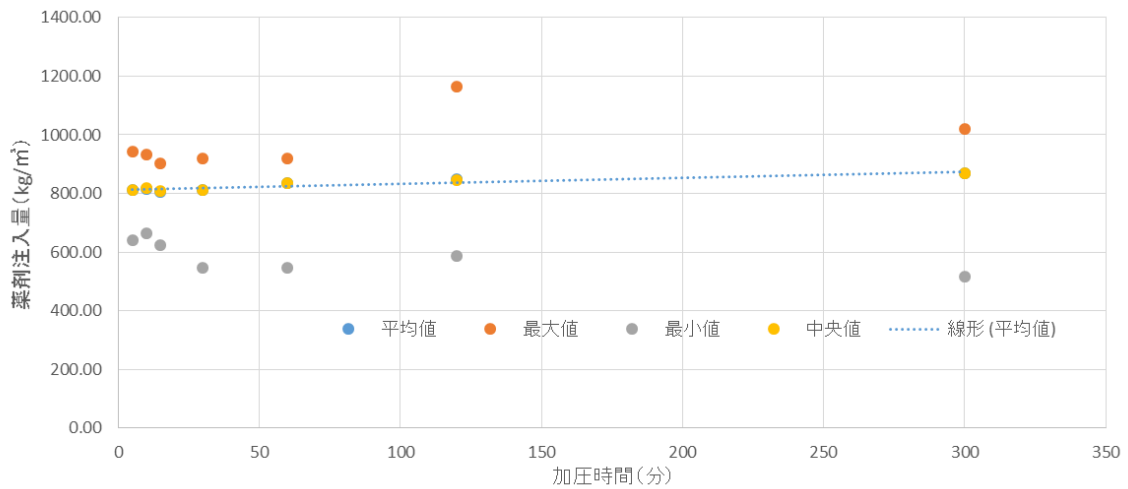


図 4.3.4-1 加圧時間との薬剤注入量との関係

#### 4.4 考察

適正な薬剤吸収量を確保できる最適な注入条件を検証すべく、難燃薬剤の加圧注入時の加圧時間を変動要因として検証を行った結果、60分以上の加圧時間と30分以下の加圧時間では後者でバラつきが少なく、適正な薬剤吸収量が確保できる傾向が認められた。30分以下の加圧時間においては5分、10分、15分、30分で実施しているが、薬剤吸収量に明確な違いは認められず、加圧時間としては5分で十分な薬剤吸収量が得られるものと判断された。

一方で加圧時間以外に薬剤吸収量に影響を与える因子として、薬剤濃度、単板密度、設備要因などが挙げられた。この内、薬剤濃度による影響が最も顕著であると考えられ、加圧時間別の平均薬剤注入量を確認したところ、最低でも800kg/m<sup>3</sup>以上の平均薬剤注入量が得られることが明らかとなった。このことは薬剤吸収量として300 kg/m<sup>3</sup>をターゲットとする場合、計算値として薬剤濃度は37.5%に設定することが望ましく、生産における品質管理要素として薬剤濃度が重要であると考えられた。

単板密度、ならびに設備要因については本検証結果によって明らかとなった傾向を把握し考慮する必要があると判断されるが、まずはより薬剤吸収量に直接的な影響を及ぼすと考えられる加圧時間と薬剤濃度の管理にて、適正な薬剤吸収量を確保することが必要と判断された。一方で今後、同じ30分の加圧時間におい



て薬剤吸収量や薬剤注入量に差が見られていることから、気温、湿度、作業液温度などといった複数の要素による影響も考慮する必要があると考えられた。

これらの結果から、適正な薬剤吸収量を得るための最適な注入条件としては加圧 1.50MPa、5 分～30 分、薬剤濃度 37.5%が最も有効であると考えられた。