

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の評価

河原崎 政行, 菊地 伸一^{*1}, 田坂 茂樹^{*2}, 土橋 常登^{*2}, 鈴木 秀和^{*2}

Chemical distributions in lengthwise direction of product-size fire retardant treated wood and fire performance evaluation by the model-box test

Masayuki KAWARASAKI, Shin'ichi KIKUCHI, Shigeki TASAKA,
Tsuneto TUCHIHASHI, Hidekazu SUZUKI

Fire retardant treated wood has been used for interior finish in rooms that require materials with low flammability, and demand for them is expected to increase in the near future. However, there is a problem about the quality control for fire retardant treated wood products, because of variations in fire retardant chemical retention in the wood. This study investigated the chemical distributions in the lengthwise direction of product-size fire retardant treated wood. We also evaluated the fire performance of product-size fire retardant treated wood by the model-box test, and compared the results to the criteria for fire performance materials in the Building Standards Law of Japan. We found that the average chemical distribution in the lengthwise direction of 1900mm-long fire retardant treated wood was $\pm 43\text{--}58\text{kg/m}^3$. The model-box test results showed that the average chemical retention of specimens should be 73kg/m^3 to satisfy the criterion for flame-resistive material, and 120kg/m^3 to satisfy the criterion for quasi-noncombustible material. These results were similar to cone calorimeter test results.

Key words: fire retardant treated wood, chemical distributions, model-box test, chemical retention, fire performance

薬剤処理木材, 薬剤分布, 模型箱試験, 薬剤固形分量, 防火性能

薬剤処理木材は, 防火上の制限が適用される内装に使用され, 今後需要拡大が予想されている。しかし, 薬剤処理木材は, 注入された薬剤量に材間および材内のバラツキがあるため, 品質管理が問題になっている。そこで, 本研究では, 製品に近い長尺の薬剤処理材について, 長手方向の薬剤固形分量の変動を検討するとともに, 中規模の燃焼試験である模型箱試験により防火性能を評価した。その結果, 長さ 1900mm の薬剤処理木材の長手方向の薬剤固形分量の変動は, 信頼度 95%において平均値 $\pm 43 \sim 58\text{kg/m}^3$ であることが分かった。模型箱試験の結果では, 試験材料の平均薬剤固形分量が 73kg/m^3 で難燃材料, 120kg/m^3 で準不燃材料の基準を満たし, 燃焼発熱性試験の評価とほぼ同じ結果であった。

1. はじめに

平成 22 年 10 月に「公共建築物等木材利用促進法」が施行されたことにより, 現在, 公共施設等の構造部材や内装材料への木材の利用が積極的に進められている。しかし, 公共施設等は大規模で不特定多数が集まる用途であるため, 火災時の人命安全性確保のために建築基準法で防火上の制限が適用される。それらの建築物の内装では, 多くの部分で一定の防

火性能を有する防火材料が求められ, 通常の木材が使用できないことが多い。そのような防火性能が要求される内装の木質化には, これまで薬剤処理により基準性能を付与した防火木材が使用されており, 今後の需要の高まりが予想されている。

しかし, 防火木材については, 現在製品としての問題がいくつか指摘されており, その一つに品質管理がある。一般的に, 防火木材は燃焼を抑制するリ

ン酸系やホウ素系等の薬剤の水溶液を、木材内に一定量含浸させることで基準の防火性能を付与している。しかし、木材は不均質な天然材料であるため、全ての板材に対して、同様そして均一に薬液を注入することが非常に難しい。そのため、処理後の板材では、材間ならびに材内で注入した薬剤量が変動しており、それに起因して防火性能のバラツキが生じている。防火木材を生産する場合には、このような薬剤量の変動を考慮して品質管理をする必要がある。しかし、現在、品質管理が不十分なために、一部の製品で基準の性能を満たさないケースが発生している¹⁾。

そこで本研究では、防火木材における品質管理手法の確立のために、製品に近い長尺の薬剤処理木材について、処理後における長手方向の薬剤量の変動状態を検討した。さらに、中規模の燃焼試験法である模型箱試験により、長尺の薬剤処理木材の防火性能を評価した。

2. 試験方法

2.1 処理材の長手方向における薬剤量変動の検討

2.1.1 試験材料

試験材料は、木材にはスギの長尺材（厚さ 18×幅 105×長さ 1900mm）を 60 枚用い、薬剤にはリン酸・ホウ素系薬剤を用いた。処理前のスギ材の含水率は、9.5～12.0%（高周波型含水率計で測定）であり、含水率、質量および体積から求めた全乾密度は 310～400kg/m³であった。薬剤は、濃度 20.1%の水溶液として注入処理に用いた。スギ材への薬液の注入は、減圧加圧注入処理装置を用いて行った。注入条件は、減圧を -0.1MPa（ゲージ圧）で 40 分間、加圧を 1.47MPa（ゲージ圧）で 2 時間

とした。スギ材に注入された薬液量は、スギ材の処理前後の質量および体積を基に、以下の式により算出した。

$$\text{注入薬液量 (kg/m}^3\text{)} = \{ \text{処理後のスギ材の質量 (kg)} - \text{処理前のスギ材の質量 (kg)} \} / \text{処理前のスギ材の体積 (m}^3\text{)}$$

処理後のスギ材は、注入薬液量から 500kg/m³（範囲 446～546kg/m³）、600 kg/m³（範囲 557～646 kg/m³）、700 kg/m³（範囲 657～746kg/m³）、800kg/m³（範囲 752～847kg/m³）の 4 水準に分け、各水準から 7 枚を試験材料とした。

2.1.2 長手方向の薬剤固形分量の測定

試験材料は、40℃で 48 時間乾燥させた後、一方の端から長さ方向に 100mm 間隔で切断し、18 片の小片を採取した。各小片は質量を測定するとともに、長尺材の端から 1, 3, 7, 11, 15, 17, 18 番目の小片については、全乾法により含水率を求めた。その他の小片については、実測した小片の含水率を基に、直線補間によって含水率を推定した。そして、小片の質量、含水率および体積から全乾密度を求め、以下の式により小片の薬剤固形分量を算出した。

$$\text{小片の薬剤固形分量 (kg/m}^3\text{)} = \text{小片の全乾密度 (kg/m}^3\text{)} - \text{処理前のスギ長尺材の全乾密度 (kg/m}^3\text{)}$$

2.2 模型箱試験による処理材の燃焼性の評価

2.2.1 試験材料

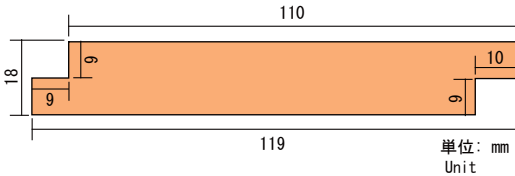
試験材料は、スギ材を、リン酸・ホウ素系薬剤を注入した薬剤処理木材とした。概要を第 1 表に示す。試験材料の寸法は、厚さ 18×幅 119×長さ 910mm

第 1 表 試験材料の概要

Table 1. Specifications of samples.

種類 Type	品質 Grade	木材の全乾密度 Dry density of wood (kg/m ³)			薬剤固形分量 Chemical retention (kg/m ³)			含水率 Moisture content (%)		
		平均 ave.	最小 min.	最大 max.	平均 ave.	最小 min.	最大 max.	平均 ave.	最小 min.	最大 max.
処理材A Treated A	小節 little knots	350	350	360	73	60	88	9.2	6.3	12.5
処理材B Treated B	小節 little knots	330	290	370	120	88	146	11.5	6.2	13.4

とし、各種類 58 枚用いた。試験材料の薬剤固形分量は、処理材 A では平均 73kg/m^3 、処理材 B では平均 120kg/m^3 とした。また、試験材料は、第 1 図に示す加工を行い、材料間の幅方向の継ぎを合じやり継ぎとした。



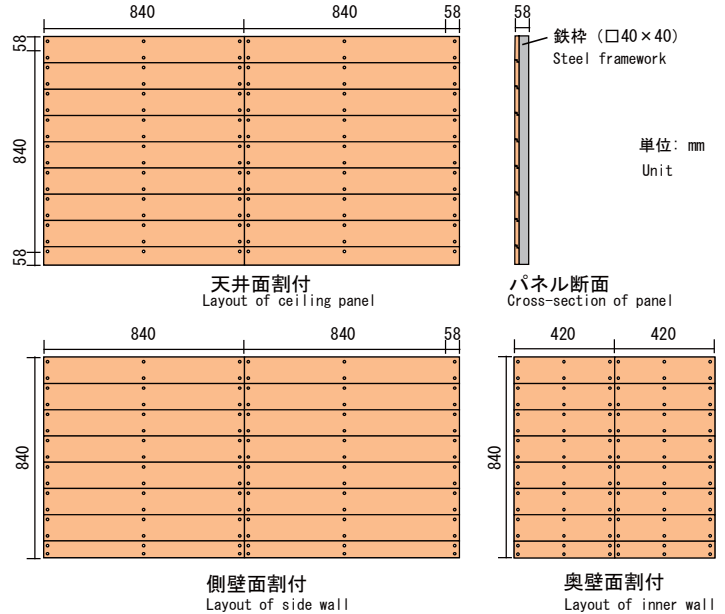
第 1 図 試験材料の横断面
Fig. 1. Cross section of specimen.

2.2.2 燃焼試験

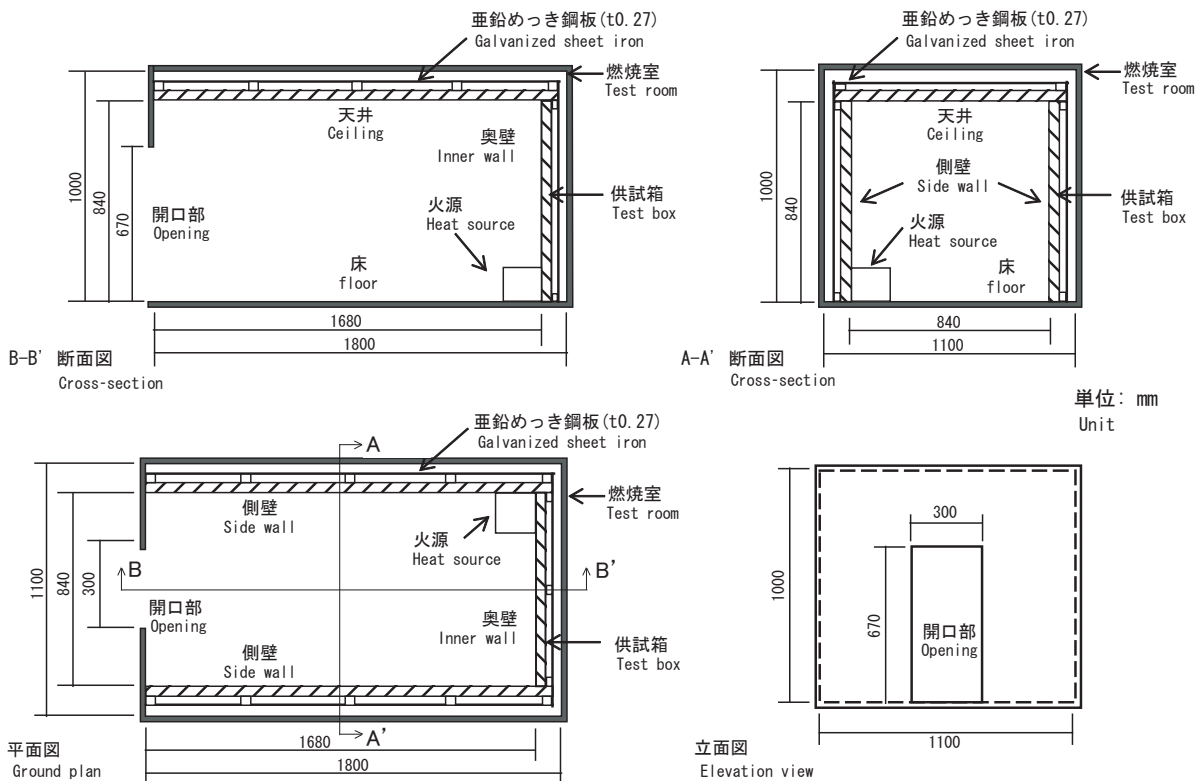
燃焼試験は、(財)日本建築総合試験所の業務方法書²⁾の模型箱試験に基づいた。試験材料は、第 2 図に示すようにビスで鉄枠に固定し、天井、奥壁および 2 つの側壁となるパネルを製作した。そして、それら 4 枚のパネルを箱状 (内寸: 幅 840 × 長さ 1680 × 高さ 840mm) にくみ上げ、その外側を厚さ 0.27mm の亜鉛めっき鋼板で覆い供試箱とし

た。供試箱は、燃焼室 (内寸: 幅 1100 × 長さ 1800 × 高さ 1000mm) の内部に入れ、正面を幅 300 × 高さ 670mm の開口を有するパネルでふたをした (第 3 図)。

供試箱への加熱は、火源にプロパンバーナーを用



第 2 図 試験材料の構成パネルへの割付
Fig. 2. Specimen layout of component panel.



第 3 図 模型箱試験装置
Fig. 3. Model box-test apparatus.

い、ガス流量を調整することで強度を 40kW とした。バーナーは、供試箱内の左隅に配置し、内部から供試箱を加熱した。加熱時間は、処理材 A では 5 分間、処理材 B では 10 分間とし、加熱中は排気ガス中の酸素、一酸化炭素、二酸化炭素の濃度等を連続的に測定し、酸素消費法により発熱速度と総発熱量を算出した。

3. 結果と考察

3.1 処理材の長手方向における薬剤量変動の検討

同一処理材から採取した小片の薬剤固形分量を第 2 表に示す。同一処理材の小片の薬剤固形分量は、全ての処理材で広範囲に分布していた。さらに、各処理材について、小片の薬剤固形分量の標準偏差を基に、正規分布に基づく信頼度 95% の信頼区間の境界値を算出した。その結果、各注入薬液量水準における境界値の平均値は、500kg/m³ 水準では 57kg/m³、600kg/m³ 水準では 58kg/m³、700kg/m³ 水準では 46kg/m³、800kg/m³ 水準では 43kg/m³ であった。境界値は、注入薬液量の水準間で明確な差が認められないことから、長手方向の薬剤固形分量の変動範囲は、注入薬液量が増加しても大きく変化しないと考えられた。なお、上記の小片の薬剤固形分量は、算出方法から処理前のスギ材の長手方向における全乾密度の変動が誤差として含まれている。例えば、小片に節等があり全乾密度が高い場合は、実際よりも薬剤固形分量が高く算出され、逆に無節で全乾密度が低い場合は、薬剤固形分量は低く算出される。

このことから、上記の長尺材の長手方向における薬剤固形分量の変動範囲は、密度の誤差の分だけ更に広がる可能性がある。また、一部の処理材において、小片の薬剤固形分量の最大値または最小値が他と大きく異なる値を示しているが、これも同様に誤差の影響が考えられた。

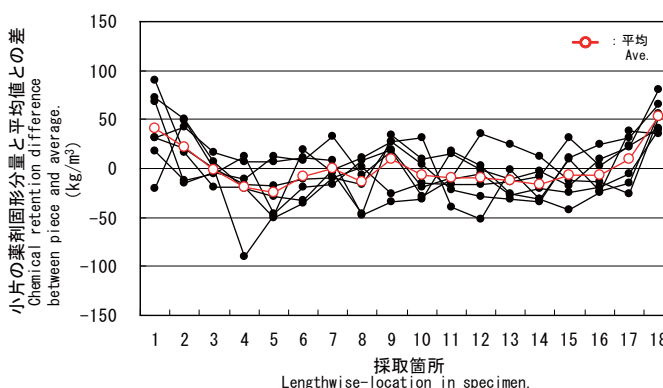
注入薬液量水準ごとに、処理材内における小片の薬剤固形分量の平均値との差を求め、採取箇所との関係を第 4～7 図に示す。小片の薬剤固形分量は、全ての処理材において大きくばら

第 2 表 小片の薬剤固形分量
Table 2. Chemical retention in pieces.

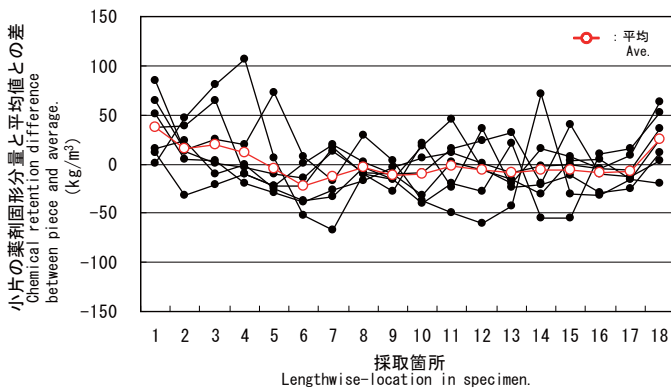
注入薬液量水準 Amount level of chemical solution	番号 No.	注入薬液量 Chemical solution amount (kg/m ³)	薬剤固形分量 (kg/m ³) Chemical retention				95%信頼区間*) 95% confidence interval*)
			平均 ave.	最大 max.	最小 min.	標準偏差 SD	
500kg/m ³	1	490	82	134	37	24	±46
	2	490	81	171	30	36	±71
	3	507	83	155	30	35	±69
	4	546	91	171	1	37	±72
	5	479	80	121	55	20	±39
	6	446	57	125	28	25	±49
	7	468	68	124	21	27	±54
	平均 ave.		489	78	143	29	29
600kg/m ³	1	613	103	175	42	40	±78
	2	602	98	161	60	24	±48
	3	585	98	205	31	47	±92
	4	579	99	139	66	19	±38
	5	629	101	147	63	22	±44
	6	646	108	192	76	25	±49
	7	557	92	155	63	28	±55
	平均 ave.		602	100	168	57	29
700kg/m ³	1	696	118	172	76	24	±47
	2	657	110	181	79	25	±48
	3	679	111	163	81	24	±46
	4	746	124	223	88	32	±62
	5	713	128	178	78	25	±49
	6	663	113	141	63	19	±38
	7	718	126	157	96	16	±31
	平均 ave.		696	119	174	80	23
800kg/m ³	1	830	138	203	95	24	±46
	2	752	130	173	103	18	±35
	3	763	134	175	101	17	±34
	4	847	141	175	96	28	±55
	5	785	142	177	98	21	±41
	6	780	133	182	108	21	±40
	7	802	143	186	84	24	±47
	平均 ave.		794	137	182	98	22

*) 標準正規分布に基づく信頼度 95% における範囲

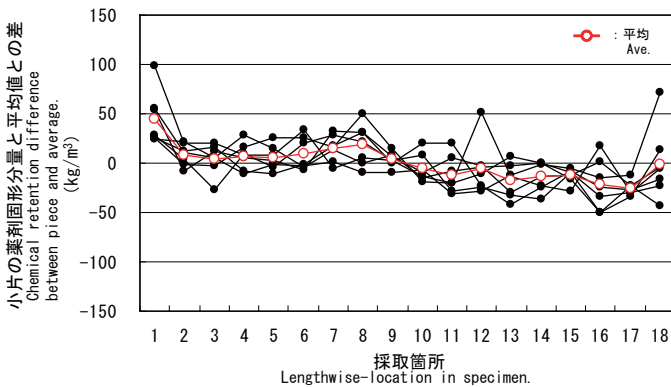
*) The Range is according to 95% coefficient of confidence in normal distribution.



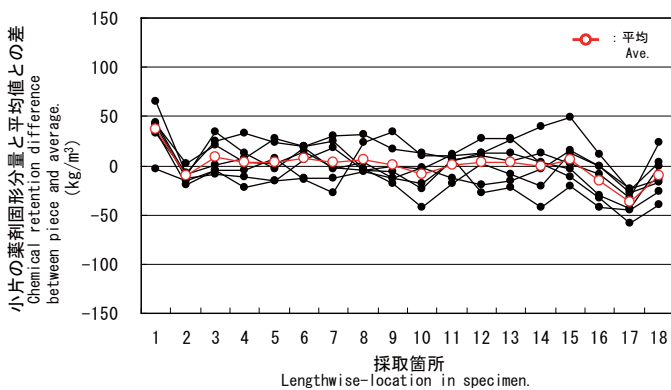
第 4 図 試験材料内の小片の薬剤固形分量の変動 (注入薬液量水準 : 500kg/m³)
Fig. 4. Variations of chemical retention of specimens. (Chemical solution levels : 500kg/m³).



第 5 図 試験材料内の小片の薬剤固形分量の変動
(注入薬液量水準：600kg/m³)
Fig. 5. Variations of chemical retention specimens.
(Chemical solution levels : 600kg/m³).



第 6 図 試験材料内の小片の薬剤固形分量の変動
(注入薬液量水準：700kg/m³)
Fig. 6. Variations of chemical retention specimens.
(Chemical solution levels : 700kg/m³).



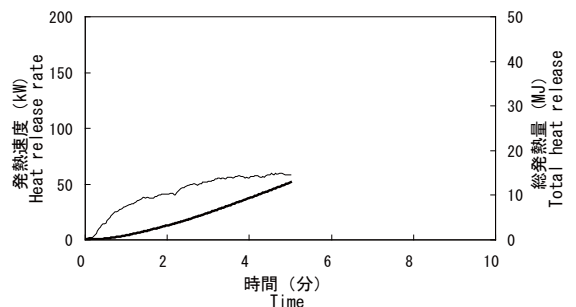
第 7 図 試験材料内の小片の薬剤固形分量の変動
(注入薬液量水準：800kg/m³)
Fig. 7. Variations of chemical retention of specimens.
(Chemical solution levels : 800kg/m³).

ついていた。

統計的手法を用いて有意差検定（有意水準 5%）を行った結果，注入薬液量水準 500，600 および 700 kg/m³ の処理材では，両端に位置する小片の薬剤固形分量が，内側の小片よりも高いことが分かった。木材の浸透性には異方性があり，木口面は板目面や柃目面よりも数倍大きいことが知られている³⁾。長尺材の注入処理では，繊維方向に長いため，多くの部分は主に柃目面・板目面の繊維直交方向から薬液が注入されると考えられる。しかし，注入薬液量水準 500～700 kg/m³ の処理材では，繊維直交方向から注入された薬液のみでは材内が飽和状態に至らず，浸透性の高い木口面からの薬液が注入したため，木口近辺の小片の薬剤固形分量が高くなったと考えられた。

3.2 模型箱試験による処理材の燃焼性の評価

処理材 A の発熱速度と総発熱量の推移を第 8 図に示す。なお，図中の発熱速度にはガスバーナーの寄与分 40kW が含まれており，総発熱量もガスバーナーの寄与分を含んだ発熱速度の積算値を示した。発熱速度は，加熱開始から緩やかに増加した。発熱速度は，加熱終了時において約 60kW に達したが，ガスバーナーの寄与分 40kW を考慮すると，試験材料の燃焼はかなり少ないと考えられた。加熱時の供試箱は，加熱時間を通して，ガスバーナー周辺のみならず，加熱終了後のパネルの状態を第 10 図に示す。試験後のパネルは，天井の全面，および側壁と奥壁の天井に近い部



第 8 図 発熱速度と総発熱量の推移 (処理材 A)
Fig. 8. Profile of heat release rate and total heat release (treated sample A).

分とバーナー周辺のみが黒く変色しており、燃焼が広がっていないことが示された。また、試験材料の非加熱面は、貫通する亀裂および変色は無く、燃焼の痕跡は無かった。

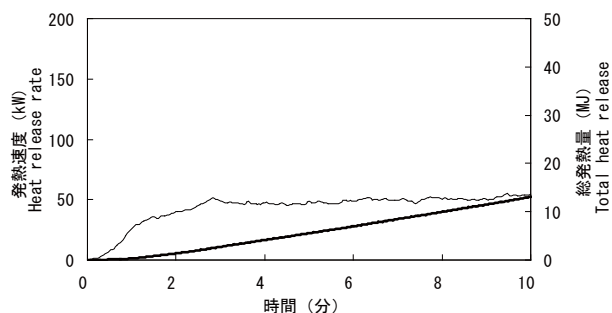


第 9 図 加熱終了時の供試箱の状態 (処理材 A)
Fig. 9. Appearance of test-box after heating (treated sample A).



第 10 図 加熱終了後の構成パネルの状態 (処理材 A)
Fig. 10. Appearance of component panel after heating (treated sample A).

処理材 B の発熱速度と総発熱量の推移を第 11 図に示す。発熱速度は、処理材 A と同様に、加熱時間を通して若干増加するのみであり、著しい増加は見られなかった。また、加熱終了時における発熱速度は、約 60kW であり、ガスバーナーの寄与分が大きな割合を占めた。加熱中の供試箱は、バーナーに接する奥壁および左側壁の一部で燃焼が見られたが、加熱終了時まで燃え広がることは無かった (第 12 図)。加熱終了時のパネルの状態を第 13 図に示す。全体的に処理材 A よりも黒く変色している部分が多いが、加熱時間が処理材 A の 2 倍であることが主な原因と考えられた。また、試験材料の非加熱面は、貫通する亀裂および変色はなく、燃焼の痕跡は



第 11 図 発熱速度と総発熱量の推移 (処理材 B)
Fig. 11. Profile of heat release rate and total heat release (treated sample B).



第 12 図 加熱中の供試箱の状態 (処理材 B)
Fig. 12. Appearance of test-box during heating (treated sample B).



第 13 図 加熱終了後の構成パネルの状態 (処理材 B)
Fig. 13. Appearance of component panel after heating (treated sample B).

無かった。

燃焼試験の結果を第 3 表に、防火材料の性能評価試験における判定値を第 4 表に示す。各処理材の結果について、性能評価試験の燃焼性に関わる判定値と比較すると、処理材 A は難燃材料の基準、処理

第 3 表 模型箱試験の結果

Table 3. Results of model-box-test.

試験材料 Specimen	平均 薬剤固形分量 Average chemical retention (kg/m ³)	加熱時間 Heating time (min)	最高 発熱速度*) Maximum heat release rate (kW)	総発熱量**) Total heat release (MJ)	
				5分間 5min	10分間 10min
処理材A	73	5	60	12.9	30.1
処理材B	120	10	61	13.1	

*) 火源の発熱速度を含む

**) 火源の総発熱量を含む

*) Values include heat release rate from heat source.

**) Values include total heat release from heat source.

第 4 表 防火材料の判定値

Table 4. Criterion for fire performance materials.

種類 Type	加熱時間 Heating time (min)	発熱速度 Heat release rate	総発熱量*) Total heat release (MJ)
準不燃材料 Quasi-noncombustible material	10	10秒以上継続して140kWを超えない	50
難燃材料 Fire retardant material	5	The maximum heat release rate shall not exceed 140kW for over 10 seconds	40

*) 火源からの寄与分を含む

*) Value includes addition from heat source.

材 B は準不燃材料の基準を満たした。過去に行った燃焼発熱性試験の結果⁴⁾では、ほぼ同じ厚さのスギ材は、同じ薬剤を用いた場合、薬剤固形分量 70kg/m³前後で難燃材料、120kg/m³前後で準不燃材料の性能が付与された。供試箱に用いた 58 枚の処理材の平均薬剤固形分量は、処理材 A が 73kg/m³、処理材 B が 120kg/m³であり、発熱性試験において難燃材料および準不燃材料の性能が得られた値とほぼ同じであった。

模型箱試験に用いた処理材は、長さ 910mm の長尺材であるため、前項に示したように長さ方向に薬剤固形分量の変動があり、さらに材間にも薬剤固形分量の変動がある。しかし、模型箱試験における評価は、発熱性試験と同じ結果となった。これらのことから、室内に使用される薬剤処理木材は、全体として一定量の薬剤固形分量が保持されれば、材内長手方向および材間の薬剤固形分量の変動が防火性能に大きく影響することはないと推察された。しかし、それらを明らかにするには、更に検討が必要である。

4. まとめ

本研究では、防火木材の課題の一つである品質管理について、管理方法を確立するためのデータ収集を目的として、製品に近い長さ 1900 mm 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の変動を検討するとともに、中規模の燃焼試験である模型箱試験により長尺の処理材の防火性能を評価した。

処理材の長手方向の薬剤固形分量の変動については、長さ方向に 100mm 間隔で切断して得られた小片の薬剤固形分量を全乾密度から算出し、検討した。その結果、同一処理材から採取した小片の薬剤固形分量は、信頼度 95%において平均値±43～58kg/m³の範囲に変動していた。また、処理材の長手方向における薬剤固形分量の変動範囲は、注入された薬液量水準間において、大きな差は無かった。さらに、小片の採取箇所と薬剤固形分量の関係を検討したところ、処理材の注入薬液量が 500～700 kg/m³では、木口に近い部分の薬剤固形分量が大きくなる

傾向があった。

模型箱試験については、試験材料に薬剤固形分量が異なる2種類の処理材を用いた。試験の結果、58枚の薬剤固形分量の平均値が73kg/m³で難燃材料、120 kg/m³で準不燃材料の基準を満たし、過去に行った発熱性試験による評価とほぼ同じ結果になった。

なお、本研究は林野庁「平成22年度地域材利用加速化緊急対策支援事業」の一環として、日本木材防腐工業組合からの委託により実施した。また、その一部は、(社)日本木材加工技術協会 第29回年次大会(2011年、岡山)で発表した。

文 献

- 1) 国土交通省：“報道発表資料 不燃木材に関する不燃材料の大臣認定仕様との不適合について(平成23年6月29日)”，
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000251.html
- 2) (財)日本建築総合試験所：“防耐火性能試験・業務方法書”，
<http://gbrc.or.jp/contents/documents/center/6Q1-009.pdf>
- 3) 伏谷ほか：“木材の物理”，文永堂出版株式会社，東京，1985，pp.21-57.
- 4) 菊地伸一，河原崎政行：木材工業 63 (1)，14-18 (2008).

—性能部 耐久・構造グループ—

—*1：利用部長—

—*2：(財)日本建築総合試験所—

(原稿受理：11.12.26)