外装用難燃処理木材の経年劣化を考慮した防火性能評価に関する研究

EVALUATION OF DURABILITY OF REACTION-TO-FIRE PERFORMANCE OF FIRE-RETARDANT TREATED WOODEN FACADES BY ACCELERATED WEATHERING TEST

中村美紀 — * 1 兼松 学 — * 2
西尾悠平 — * 2 吉岡英樹 — * 3
萩原伸治 — * 1 杉田敏之 — * 4
清水 賢 — * 5 野口貴文 — * 6

Miki NAKAMURA — * 1 Manabu KANEMATSU — * 2
Yuhei NISHIO — * 2 Hideki YOSHIOKA — * 3
Shinji HAGIHARA — * 1 Toshiyuki SUGITA — * 4
Ken SHIMIZU — * 5 Takafumi NOGUCHI — * 6

キーワード：

難燃処理木材, 促進劣化試験, 薬剤溶脱, コーンカロリメータ試験, 燃えひろがり, ファサード試験

Keywords:

Fire-Retardant treated wood, Accelerated weathering test, Fire-Retardant leaching, Cone Calorimeter test, Burning and spreading, Façade test

In this study, it was aimed to discuss a method to evaluate the reaction-to-fire performance of fire-retardant-treated wood which was used as building facades taking an aging deterioration into consideration. Accelerated weathering test method and the reaction-to-fire performance of fire-retardant treated wood were examined. As a result of the accelerated weathering test, it was confirmed that the initial performance was deteriorated in the Reaction-to-fire test. In the contrary, regarding the façade tests, specimens evaluated by accelerated weathering test showed a little effect.

1. はじめに

2000年の建築基準法改正や2010年の公共建築物等木材利用促進法施行により、建物の外装材として木材を使用する事例が増加する傾向がある。木材は可燃物であるため、使用する際は難燃処理することが求められることが多い。しかし、難燃処理木材を外装材として使用する場合、雨にさらされることで薬剤が溶脱し、所要の性能を維持できなくなることが懸念される。薬剤の溶脱を防止する方法として、表面塗装によって溶脱を防止する方法と薬剤自体の溶脱を抑える方法の2通りが考えられる。原田ら¹⁾により、表面塗装を施すことで薬剤溶脱がある程度抑制可能であることを確認されている。しかし、無塗装の耐溶脱性薬剤に関しては、河原崎ら²⁾により、屋外暴露によって難燃処理木材が当初の性能を維持できないことが確認されており、難燃処理木材において、経年劣化による薬剤溶脱を考慮した防火性能を評価する手法の確立が課題となっている。

北欧では経年劣化を考慮した促進劣化試験として NT FIRE 053 Method A³⁾ (以下、NT FIRE) が確立されているが、日本国内においては外装用に難燃処理木材を使用した際の劣化試験方法が確立されていない。また、北欧は日本と気象条件が異なり、国内で運用するためには試験方法の検討が必要である。

そこで本研究では、国内における外装用難燃処理木材の経年劣化を考慮した防火性能評価方法を確立することを目的とした。「2. 促進劣化試験方法の検討」では、乾湿繰り返しサイクルの促進劣化試験を行い、NT FIRE 及び暴露試験と比較し、劣化状況が同等で、促進倍率が高くなる促進劣化試験の検討を行った。「3. 防火性能評価方法の検

討」では、「2. 促進劣化試験方法の検討」の促進劣化サイクルにおいて実規模での促進劣化試験を行った後、ISO5660-1 発熱性試験 (CCM 試験) 及び JIS A 1310 ファサード試験の結果から防火性能評価の検討を行った。

2. 促進劣化試験方法の検討

既報^{4),5)}において、著者らは日本の気象条件を考慮し、建材試験センター規格 JSTM J 7001 に準拠し、耐久試験を実施する際の散水時間を10分から30分に変更した促進劣化試験を実施した。促進劣化前後で発熱性状に大きな差異はなく、薬剤溶脱を目的とした促進劣化試験として取り扱うためには試験条件を検討する必要がある。

そこで、小試験片を用いて薬剤溶脱の促進劣化試験として適した試験サイクルの検討を行うこととした。

2.1 促進劣化試験サイクルの検討

2.1.1 試験体

試験体は厚さ18mm、幅123mm、長さ500mmの本実加工を施したスギ材とした。試験体は薬剤濃度20%、圧力1.2MPa、加圧時間17~18時間に設定した装置 (注薬缶) 内にて減圧・加圧注入によりリン酸アミノ樹脂系の難燃処理を施しており、劣化防止のために塗布量100ml/m²でパラフィンの主成分とする塗料を塗装した。なお、塗装は薬剤溶脱防止ではなく、意匠性を目的として使用した。また、試験体端部からの薬剤溶脱を防止するために、試験体端部にアルキド樹脂を塗布し、その上をシーリング材でコーティングした。薬剤注入量は難燃材料に相当する80kg/m³以上とした。

¹⁾ (一財) 建材試験センター
(〒103-0012 東京都中央区堀留町1丁目10番15号 JL日本橋ビル8階)
²⁾ 東京理科大学
³⁾ 国土交通省国土技術政策総合研究所
⁴⁾ ミサワホーム(株)
⁵⁾ 越井木材工業(株)
⁶⁾ 東京大学

¹⁾ Japan Testing Center for Construction Materials

²⁾ Tokyo Univ. of Science

³⁾ National Institute for Land and Infrastructure Management, NILIM

⁴⁾ Misawa Homes Co., Ltd.

⁵⁾ Koshii & Co., Ltd.

⁶⁾ The Univ. of Tokyo

2.1.2 実験概要

試験装置概要を図 1 に示す。恒温恒湿槽内部に散水ノズルを設置し、散水乾燥の繰り返し試験を実施した。散水量は JSTM J 7001 と同様 1 L/m²・min とし、乾燥は試験機内を 80℃50%RH に設定し実施した。

試験水準を表 1 に示す。試験水準は、JSTM J 7001 の試験サイクルから冷却工程を除き、NT FIRE を参考に散水時間と乾燥時間の割合を 4 : 3 に設定した。総散水量は NT FIRE とほぼ同量とし、試験サイクルは散水から開始することとした。総散水及び総乾燥時間を一定とし、繰り返しサイクル数を 4, 20, 60 回と変化させて実験を実施した（試験水準 J4, J20, J60）。また、比較対象として、試験サイクルを 4 回に設定した NT FIRE に準拠した試験水準（以下、NT FIRE-4）も合せて実施した。各水準 4 体で試験を行い、試験体は繊維方向を横向きに設置した。

促進劣化試験後に試験体を端部から 100mm 内側の部分を 100 mm 角のサイズに切り出して、ISO 5660-1 に準拠したコーンカロリメータ試験（以下、CCM 試験）を実施し、発熱性状を確認した。試験前は 23℃50%RH の環境下で 24 時間の試験体質量差が 0.5%未満になるまで養生した。CCM 試験は加熱強度 50 kW/m²、加熱時間 20 分で実施し、酸素消費法により発熱速度を求めた。また、促進劣化試験後の試験体と比較するために、薬剤処理を施していない水準「無処理」、薬剤処理を施し促進劣化試験を行っていない水準「劣化なし」に関しても CCM 試験を実施した。

2.1.3 実験結果と考察

CCM 試験時間あたりの総発熱量の結果を図 2 に示す。総発熱量 8 MJ/m² は防火材料の評価基準値として示した。

「NT FIRE-4」と「J4」はサイクル数及び総散水量が同程度であったが、単位時間あたりの散水量が少なく総散水時間の長い「NT FIRE-4」の方が総発熱量は 2 倍ほど高くなった。これは、難燃処理木材の促進劣化は単位時間あたりの散水量の影響より、総散水時間の影響を受けたことを示唆している。「NT FIRE-4」と「J60」の結果を比較すると、CCM 試験 20 分間の総発熱量は、ほぼ同等であり、促進劣化作用としては同程度を有すると判断することができる。

「J4」、「J20」、「J60」の試験結果を比較すると、繰り返しサイクル数が多い「J60」で最も促進劣化作用が大きくなった。既往の研究¹⁾より、木材中の薬剤溶脱は木材細胞への水の侵入性に起因すると報告があることから、サイクル数が多いほど、1 サイクルでの乾燥時間が短く、試験体が湿潤となる傾向を示し、結果として薬剤の溶脱が進んだものと考えられる。

2.2 散水・乾燥・繰り返しサイクル数が薬剤溶脱に与える影響

「2.1 促進劣化試験の検討」より、繰り返しサイクル数が多い試験水準「J60」が高い発熱性状を示し、「NT FIRE-4」と比較しても遜色ないことが確認された。しかし、それぞれの試験水準が薬剤溶脱に与える影響については明らかとならなかった。そこで、促進劣化試験中の薬剤残存率及び含水率を求めることにより、促進劣化試験の散水時間・乾燥時間・繰り返しサイクル数が薬剤溶脱に与える影響を同定することを試みた。

2.2.1 試験体

試験体は厚さ 18 mm、幅 110mm、長さ 495mm のスギの板材とし、難燃薬剤処理及び塗装方法については「2.1.1 試験体」と同様の手順で

行った。薬剤注入量は 130±10 kg/m³ の範囲に収まるように選別した。

2.2.2 実験概要

乾燥散水繰り返し試験を行い、試験体を促進劣化させる。試験は、「2.1.2 実験概要」同様に図 1 の試験装置を用い、散水量は 1 L/m²・min とし、乾燥は試験機内を 80℃50%RH に設定し実施した。なお、試験サイクルは JSTM J 7001 と同様に乾燥から開始することとした。

試験水準は、散水時間、乾燥時間及び繰り返しサイクル数が劣化に影響するかを確認するため、散水時間のみを変化させた水準（D20-W30-C4, D20-W50-C4）、散水時間とサイクル数を変化させた水準（D5-

図 1 実験装置概要図

表 1 試験水準

試験水準		J4	J20	J60	NT FIRE-4
1 サイクルの時間 [h]		52.5	10.5	3.5	168
繰り返しサイクル数 [回]		4	20	60	4
散水	散水時間 [h]	30	6	2	96
	散水量 [L/m ² ・min]	1			0.3
	総散水量 [L/m ²]	7200			6912
乾燥	乾燥時間 [h]	22.5	4.5	1.5	72
	乾燥温度 [℃]	80			60
薬剤注入量	平均値	139.3	130.5	139.0	138.8
	最小値	103.4	102.8	103.4	101.1

図 2 CCM 試験時間あたりの総発熱量結果

表 2 各試験水準の概要

試験水準	合計試験時間 (乾燥：散水)[hr]	薬剤注入量 [kg/m ³]
D20 - W10 - C12	360 (240 : 120)	125.5～139.4
D20 - W30 - C4	200 (80 : 120)	125.4～138.9
D20 - W50 - C4	280 (80 : 200)	131.6～140.0
D5 - W10 - C12	180 (60 : 120)	123.1～138.3
D5 - W30 - C4	140 (20 : 120)	120.3～137.2
D1.5 - W2 - C60	210 (90 : 120)	125.4～138.8

D[乾燥時間]-W[散水時間]-C[サイクル回数]

W10-C12, D5-W30-C4)、乾燥時間のみを変化させた水準 (D5-W10-C12, D20-W10-C12) に、「2.1」で実施した試験水準 J60 (D1.5-W2-C60) を加えた計 6 水準で実施した。なお、D は乾燥時間 [hr]、W は散水時間 [hr]、C はサイクル数を示す。また、「D20-W50-C4」は乾燥時に 80℃ に設定した乾燥炉を用い、散水工程と乾燥工程で試験機を入れ替えた。試験体は各水準 4 体とした。各試験水準の概要を表 2 に示す。

促進劣化試験前後に 60℃ で 7 日間乾燥させ、試験前質量 $W_{\text{before}}[\text{kg}]$ と試験後質量 $W_{\text{after}}[\text{kg}]$ を測定し、試験後の薬剤残存量と薬剤残存率を式 (1)、(2) より算出した。また、1/4 試験時間ごとに試験体を 1 体取り出し、試験時間ごとの薬剤残存量を求めた。

$$\text{薬剤残存量}[\text{kg}/\text{m}^3] = \text{薬剤注入量}[\text{kg}/\text{m}^3] - \frac{W_{\text{before}}[\text{kg}] - W_{\text{after}}[\text{kg}]}{\text{試験体体積}[\text{m}^3]} \quad \text{式(1)}$$

$$\text{薬剤残存率}[\%] = 100 \times \frac{\text{薬剤残存量}[\text{kg}/\text{m}^3]}{\text{薬剤注入量}[\text{kg}/\text{m}^3]} \quad \text{式(2)}$$

また、1/4 試験時間ごとの試験体質量を測定し、試験直後の木材質量に対する含水率を式 (3)、(4)、(5) より算出した。

$$\text{木材質量に対する含水率}[\%] = 100 \times \frac{\text{水分量}[\text{g}]}{\text{木材質量}[\text{g}]} \quad \text{式(3)}$$

$$\text{木材質量}[\text{g}] = (1000 \times W_{\text{before}})[\text{g}] - \text{薬剤注入量}[\text{g}] \quad \text{式(4)}$$

$$\text{水分量}[\text{g}] = \text{取出し直後の質量}[\text{g}] - (\text{木材質量}[\text{g}] + \text{薬剤残存量}[\text{g}]) \quad \text{式(5)}$$

促進劣化試験後に「2.1.2 実験概要」と同様に CCM 試験を実施し、各水準の発熱性状を確認した。

2.2.3 実験結果と考察

各試験水準の試験時間ごとの木材質量に対する含水率を図 3 に、薬剤残存率を図 4 に、難燃処理木材で促進劣化試験を行っていない試験体 (劣化なし) を加えた CCM 試験時間あたりの総発熱量及び薬剤残存量を図 5 に示す。なお、含水率 30% は繊維飽和点の目安となる値、CCM 試験の総発熱量 8 MJ/m² は防火材料の評価基準値として示した。

図 5 において、試験時間が長くなり薬剤残存量少ないにも関わらず、総発熱量が増加しない水準があるが、これは試験体数が各水準の各試験時間で 1 体であったため、ばらつきが出たと考える。

図 3 及び図 4 より、促進劣化試験中に含水率を高く維持している水準ほど、薬剤残存率が低い結果となった。

「D20-W10-C12」は他の水準に比べて含水率は低い状態が続いたが、10 分間の総発熱量は比較的高い値を示した。図 3 に示す含水率は材内の平均値を示しており、材内の表裏で水分分布が生じたと考えられる。「D20-W10-C12」は 1 サイクルの散水時間が短く乾燥時間が長い水準のため、表層部は含水率が繊維飽和点を超え、表層部の溶脱量が増長したと推測される。

「D20-W30-C4」及び「D20-W50-C4」は、1 サイクルでの散水・乾燥時間が長く、十分に吸収した水分が乾燥時に内部から表層部へ拡散したと考える。そのため、薬剤も水分と共に表層部へ移動し、発熱性状が抑えられたと推測される。

乾燥時間が短い水準「D5-W10-C12」、「D5-W30-C4」、「D1.5-W2-C60」は、乾燥時に木材中の水分が十分乾燥されず、含水率が高くなった。

以上、薬剤残存率及び含水率の測定結果より、高含水率状態を維持

し、乾湿の繰り返しサイクル数が多い試験水準で劣化作用が強いと推測される。

2.3 まとめ

「2.1 促進劣化試験の検討」及び「2.2 散水・乾燥・繰り返しサイクル数が薬剤溶脱に与える影響」より、促進劣化作用が高く、乾湿の繰り返しサイクル数が多い試験水準「D1.5-W2-C60」を「3. 防火性能評価方法の検討」で実施する試験水準とした。

3. 防火性能評価方法の検討

外装材の防火性能を評価する上では、材料の発熱性状だけでなく、通気層等の構法を含めた防火性能も重要となる。本項では、促進劣化試験後の試験体に対し、CCM 試験及び JIS A 1310 建築ファサードの燃えひろがり試験 (以下、ファサード試験) を実施し、外装用難燃処

図 3 木材質量に対する含水率

図 4 薬剤残存率

図 5 CCM 試験結果

表 3 試験体概要

試験水準		平均薬剤注入量 (最小～最大) [kg/m ³]	平均薬剤残存量 (最小～最大) [kg/m ³]	試験体数
無処理	ファサード	—	—	1
	CCM	—	—	2
難燃処理	ファサード	164 (119～196)	—	1
	CCM	未計測	—	3
低注入	ファサード	51 (40～63)	—	1
	CCM	45 (40～50)	—	4
JSTM -60	ファサード	118 (101～164)	未計測	1
	CCM	142 (128～164)	未計測	7
JSTM -180	ファサード	128 (100～167)	102 (63～141)	1
	CCM	135 (134～135)	101 (66～126)	5
NT FIRE -4	ファサード	126 (106～188)	未計測	1
	CCM	136 (134～139)	未計測	8
NT FIRE -12	ファサード	139 (108～174)	106 (60～131)	1
	CCM	132 (130～133)	101 (94～108)	8

理木材の防火性能評価方法の検討を行う。促進劣化試験として、「2. 促進劣化試験方法の検討」を基に試験サイクルを変更した試験（改良型 JSTM）及び NT FIRE の 2 つを実施した。

3.1 試験体概要

試験体概要を表 3 に示す。厚さ 18 mm、幅 123mm、長さ 1000mm の本実加工を施したスギ材を用い、ファサード試験用の試験体を作製する。試験体は薬剤濃度 20%、圧力 1.2MPa、加圧時間 17～18 時間に設定した装置（注薬缶）内にて減圧・加圧注入によりリン酸アミノ樹脂系の難燃処理を施しており、劣化防止のために塗布量 100 ml/m² でパラフィン系を主成分とする塗料を塗装した。なお、塗装は薬剤溶脱防止ではなく、意匠性を目的として使用した。試験体端部からの薬剤溶脱を防止するため、改良型 JSTM では試験体端部にアルミテープを貼り、NT FIRE ではアルキド樹脂を塗布しシーリング材を施した。

3.1.1 改良型 JSTM

建材試験センター規格 JSTM J 7001 を基に、「2. 促進劣化試験方法の検討」で実施した試験水準「D1.5-W2-C60」（以下、JSTM）の散水乾燥サイクルに変更して試験を行う。サイクル回数は 60 回「JSTM-60」及び 180 回「JSTM-180」の 2 水準を実施した。実験装置概要を図 6 に示す。試験体は「3.1 試験体概要」で示したスギ材を用いて W1980×H1980mm を 2 体施工した。実施工に従い試験体を垂直に設置し、散水時の試験体表面への散水量を 1 L/m²・min とし、乾燥時の試験体表面温度が 80℃ となるように赤外線ランプを照射した。「JSTM-180」においては、促進劣化試験前後に 60℃ で 7 日間乾燥させ試験体質量を測定し、薬剤残存量を式(1)より算出した（表 3）。

3.1.2 NT FIRE

北欧規格 NT FIRE 053 Method A に準拠し試験を行った。サイクル回数は 4 回「NT FIRE-4」及び 12 回「NT FIRE-12」の 2 水準で実施した。散水装置概要を図 7 に示す。試験体は「3.1 試験体概要」で示

図 6 JSTM 実験概要⁶⁾

図 8 CCM 試験結果

したスギ材を用いて W1000×H2080mm を 4 体施工した。散水工程では試験体を 18° 傾けて設置し、試験体表面への散水量を 0.3 L/m²・min とした。乾燥工程では試験体を水平に設置し、乾燥炉を用い温度を 60℃ に設定した。「NT FIRE-12」においては、促進劣化試験前後に 60℃ で 7 日間乾燥させ、薬剤残存量を式(1)より算出した（表 3）。

3.1.3 評価基準用水準

促進劣化試験後の試験体の防火性能と比較するために、薬剤処理を施していない試験水準「無処理」、薬剤処理を施し劣化を行っていない試験水準「難燃処理」を設けた。また、著しく経年劣化が進行した状態を想定し、薬剤注入量を 50 kg/m³ 程度まで下げて難燃処理を施した試験水準「低注入」を設けた。

3.2 CCM 試験

促進劣化試験後に「2.1.2 実験概要」と同様に CCM 試験を実施し、各水準の発熱性状を確認した。

3.2.1 実験結果

CCM 試験結果を図 8 に示す。なお、CCM 試験の総発熱量 8 MJ/m² は防火材料の評価基準値であるため、基準値として示した。

促進劣化試験を行っていない試験水準では、薬剤注入量が多い順に総発熱量が低い傾向（難燃処理<低注入<無処理）を示し、薬剤処理を行うことで発熱量が抑えられることが確認された。また、難燃処理を施したのみの試験体「難燃処理」では準不燃材料相当の性能を有する結果となった。

促進劣化試験を行った水準では、「難燃処理」の試験体と比べて発熱量が増加する結果となった。また、劣化サイクル数の増加に伴い総発熱量が大きくなり、「JSTM-180」及び「NT FIRE-12」では難燃材料の性能が維持できなくなるという結果となった。

「低注入」、「JSTM-180」、「NT FIRE-12」を比較すると、「低注入」は CCM 試験実施時の薬剤量が少なく、総発熱量が大きい結果となっ

図 7 NT FIRE 実験概要

I : exponentially accelerating flame spread, II : initial accelerating, III: initial deceleration, IV: decelerate for all time

図 9 燃え拡がり性状評価⁸⁾を参考に算出

3.2.2 燃え拡がり性状評価

燃えひろがり性状評価の結果、「無処理」はⅠ・Ⅱ、「低注入」は主にⅢ、「難燃処理」はⅣに属し、CCM 試験で難燃材相当以下と判断される「低注入」と「無処理」が異なる評価となった。一方、促進劣化後の試験体については、「JSTM-180」はⅠ～Ⅲに広く分布し、「NT FIRE-12」はⅡに属する結果となった。

3.3 JIS A 1310 ファサード試験

3.3.1 実験概要

表4 ファサード試験結果

試験体		各高さにおける最高温度 (℃)				
		500mm	900mm	1500mm	2000mm	2500mm
無処理	外装表面	949	798	679	568	514
	通気層	862	785	855	739	638
難燃処理	外装表面	837	636	414	293	250
	通気層	893	649	241	155	101
低注入	外装表面	877	763	530	377	307
	通気層	916	801	752	533	229
JSTM -60	外装表面	857	664	467	358	279
	通気層	766	633	236	156	112
JSTM -180	外装表面	851	643	468	359	290
	通気層	797	663	288	154	101
NT FIRE -4	外装表面	820	750	569	421	327
	通気層	836	677	598	210	122
NT FIRE -12	外装表面	844	665	523	324	274
	通気層	809	638	358	229	146

ファサード試験体は下地材の上に、胴縁（15mm 厚）を設け、その上に本実加工を施した幅 123mm のスギ材（18mm 厚）を横方向に張りつけて、図 10 のように施工した。なお、スギ材は薬剤注入量が少ない順に開口上から設置した。また、開口部周りはセラミックファイバーブランケットによって、通気層（胴縁）内部に開口噴出火炎が直接入らないように保護をした。

3.3.2 実験結果

各試験水準の外装表面及び通気層の最大温度及び燃え抜け高さを

図 10 装置概要 (JIS A 1310)

図 11 熱電対設置位置

図 12 試験後の状況（上：損傷状況、下：燃え抜け部）

表4に、試験水準「無処理」、「難燃処理」、「JSTM-180」におけるファサード試験後の損傷状況と燃え抜け範囲を図12に示す。また、各試験水準における各高さでの最大外装表面温度を図13に示す。なお、通気層温度は各高さで試験体左右及び中央の温度の内、最も高い値を示した。試験後の状態について、試験体中央部に燃え抜けずに木材が残っている箇所が多くあるが、これは胴縁が試験体中央に設置されており、そこに試験体をビスで固定しているため、燃え落ちずに残ったためである。

開口上端より2000 mm、2500 mmの高さにおいて、500℃を超えたのは、「無処理」及び「低注入」の通気層内部温度のみであった。また、促進劣化試験を行った試験体及び「難燃処理」では、開口上端より2000 mm、2500 mmの高さで計測温度が500℃を超えないことから、薬剤注入によって、燃えひろがり性が抑えられたと推察される。

燃え抜け高さに関しても、「無処理」では試験体上端まで燃え抜けているが、「難燃処理」では燃え抜けが開口上端から1300 mmまでとなっていることから、薬剤処理により燃えひろがり性が抑制したことが確認された。「難燃処理」と「JSTM-180」を比較すると、損傷状況に大きな差が見られず、促進劣化試験により薬剤が溶脱しても、薬剤がある程度残存していれば燃え広がり及び燃え抜けは抑えられると推察される。

3.4 CCM試験とファサード試験の比較

CCM試験ではJSTM及びNT FIREで促進劣化試験の実施期間を長くした方が発熱量は大きくなったが、ファサード試験では促進劣化試験の実施時間に関係なく、同様の結果となった。

ファサード試験において「無処理」、「難燃処理」、「低注入」を比較すると注入量の多い順で温度が低くなり、CCM試験の発熱量と同様の傾向を示した。しかし、開口上2000 mm、2500 mmの点において500℃を超えたのは「無処理」のみであり、CCM試験で難燃材料を満たさない試験水準においても燃え広がりの危険性が低いことが確認された(図8、図13)。

また、CCM試験による燃えひろがり性状評価の結果、「無処理」はⅠ・Ⅱ、「低注入」はⅢ、「難燃処理」はⅣに属していることから、促進劣化試験を行っていない試験体においては、ファサード試験と同様の評価となった。一方、促進劣化後の試験体については、「JSTM-180」はⅠ～Ⅲに広く分布し、「NT FIRE-12」はⅡに属し、ファサード試験結果と比較して燃えひろがる危険性が高いという評価となった(図9、図13)。これにより、促進劣化後の試験体においてはばらつきが見られ、CCM試験結果から燃えひろがり性状評価を行うことは難しいと推察された。

以上より、CCM試験の結果から燃え広がりを推測することはある程度可能であるが、燃え広がりを評価する上ではファサード試験の利用が適していると考えられる。

4. 結論

本研究では、難燃処理木材を対象に、促進劣化試験方法の検討及びコーンカロリメータ試験及びファサード試験による防火性能評価方法の検討を行い、以下の知見を得た。

- 1). JSTM J 7001 を基に主に散水量、散水時間、乾燥時間及び繰り返しサイクル数を変更した促進劣化試験を実施し、JSTM J 7001 と比較して難燃処理木材の薬剤溶脱がより進行する促進劣化

図13 各高さでの最大外装表面温度

サイクル(改良型JSTM J 7001)を開発した。

- 2). JSTM J 7001 を基にした促進劣化試験を行った結果、コーンカロリメータ試験の結果では劣化の影響は大きくなったが、JIS A 1310 ファサード試験における燃えひろがり性状の結果では劣化の影響は相対的に小さくなった。
- 3). 難燃処理木材の経年劣化を考慮した場合、コーンカロリメータ試験の結果から実際のファサードとしての燃え広がりを正確に予測することは困難であり、燃え広がりを正確に評価する観点からJIS A 1310 ファサード試験の利用が適していることが明らかとなった。

謝辞

本研究は、「住宅市場整備推進等事業費補助金」の助成により実施した。また、当該研究の一部は「先導補助金」の助成を受けた。試験実施に際し、山口秋生様、清水賢様(越井木材工業(株))、内川恒知様(JTCCM)、田村政道様、棚池裕様、松本悠実様、周彪様、趙玄素様(東京大学)、神田友輔様(東京理科大学)他のご協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 原田寿郎ほか：屋外曝露後の難燃処理塗装木材の耐候性と防火性能、木材保存 Vol.39-1、2013
- 2) 河原崎政行ほか：屋外暴露5年の薬剤処理防火木材の防火性能、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、2017
- 3) Birgit Östman and Lazaros Tsantaridis : Durability of the reaction to fire performance for fire retardant treated (FRT) wood products in exterior applications - a ten years report, Proceedings of 2nd International Seminar for Fire Safety of Facades, Lund, Sweden, 2016.
- 4) 中村美紀ほか：難燃処理木材ファサードの経年劣化を考慮した防火性能評価に関する基礎的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、2016
- 5) M.Nakamura et al. : Reaction-to-fire performance of fire-retardant treated wooden facades in Japan with respect to accelerated weathering, Proceedings of 2nd International Seminar for Fire Safety of Facades, Lund, Sweden, 2016.
- 6) 萩原伸治：建材試験センター規格(JSTM) 紹介 環境関係 その1—JSTM J 7001—、建材試験情報 10'04
- 7) 菊池亮一ほか：木造壁面上の火炎伝播における燃焼発熱性状について、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、1993
- 8) G. S. Cowles and E. Soja : Flame Spread Classification Method for Exterior Wall Claddings, International Fire Science and Engineering Conference, Edinburgh, Scotland, 1999

[2018年9月30日原稿受理 2018年10月30日採用決定]