

研究論文

木材への穿孔加工と難燃化処理への応用

福田聡史*¹、柴田美代子*¹、太田幸伸*¹Deep-Thin-Drilling Process for Wood
and Its Application for Fire-Retardant TreatmentSatoshi FUKUTA*¹, Miyoko SHIBATA*¹ and Yukinobu OHTA*¹Industrial Technology Division, AITEC*¹

穿孔加工とは、材料の裏面から表面近傍まで直径 1mm 程度のドリルによって施す深穴加工である。本報では、木材の難燃化処理のための難燃剤水溶液の含浸処理に対して、注入量の向上と、注入処理時間の短縮および長尺な材料への均質な薬液の浸透による品質の安定化を目的として、木材への穿孔加工の効果を検討した。染料水溶液の含浸処理により注入量とその注入形態を調べたところ、穿孔試料では注入量が向上し、より均質な溶液の浸透が認められた。また、含浸性の悪い樹種ほど穿孔の効果は顕著であった。難燃剤水溶液の含浸処理では、穿孔加工により含浸処理時間が短縮できることが示された。難燃剤の注入固形分量は処理剤水溶液の濃度に比例して増加し、コーンカロリメータによる難燃性能の評価では、リン酸系・ホウ酸系難燃剤とともに処理剤の注入量に応じて建築基準法に定める「難燃」から「不燃」レベルの制御が可能であった。

1. はじめに

著者らはこれまで、木材の「乾燥・圧密同時処理」など、木材へ「穿孔加工」を施すことによって得られる透過性の改善に着目して、生産性を考慮した木材の圧密加工プロセスを開発してきた^{1)~3)}。穿孔加工とは、材料の裏面から表面近傍まで直径 1mm 程度のドリルによって施す深穴加工であり、既報¹⁾では、木材内部の水や蒸気の排出を目的として適用した。この穿孔加工は逆に、液体の注入、つまり木材の化学修飾などを目的とした含浸処理に適用することができる。薬液の浸透を目的とした同様の加工として、住宅の柱材などには一般的に、ナイフ状の刃を表面に十数ミリ圧入するインサイジング加工が施される。このインサイジング加工と比較して穿孔加工では、試料の木口断面全体をより均質に処理できることが期待できるため、圧密加工を前提とした樹脂含浸処理²⁾や難燃化処理に適していると考えられる。

木材の難燃化処理に関する研究・開発事例は古くから報告されているが、近年の建築基準法の一部改正を契機に再び脚光を浴びることとなり、多方面でその応用研究⁴⁾⁵⁾、商品化が開始された。木材の難燃化は、上述のとおり処理剤の含浸処理によって可能だが、処理剤の注入性と難燃性能およびその後の耐候性（耐水性）が課題となっていた。そこで本研究では、穿孔加工を応用することによって、実用を考慮した長尺な材料を主眼に、注入性

の向上と均質な処理（品質の安定化）、さらに含浸処理時間の短縮化を検討した。また、建築基準法に定めるコーンカロリメータ試験により試料の性能を評価した。

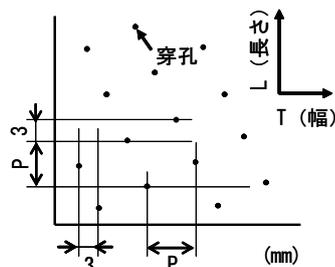
2. 実験方法

2.1 穿孔加工

穿孔加工は、既報⁶⁾の装置を用い図 1 に示すとおり所定の穿孔間隔でドリル加工を施した。ドリル径は 1.2mm とした。

2.2 染料水溶液の含浸処理

試料は、ヒノキ材 (*Chamaecyparis obtusa*)、カラマツ材 (*Larix kaempferi*)、ブナ材 (*Fagus crenata*)、スギ材 (*Cryptomeria japonica*) の気乾材 (L: 2000、R: 17~20、T: 110 (mm)) とし、心材、辺材の区別はせず、



P: 穿孔間隔

図 1 穿孔条件

*1 工業技術部 応用技術室

表 1 試料調製条件

樹種	厚さ (mm) (穿孔深さ (mm))	穿孔間隔 (mm)	難燃剤 (濃度 (%))	
スギ材	22 (19)	12	リン酸系 〔10 20 30 40〕	
	38 (34)			
カラマツ材	22 (19)	7		ホウ酸系 〔16 32〕
		12		

試験体数は3とした。木口の一端はエポキシ接着剤によりシールし、一般的に多用される長さ4mの木材を想定した。穿孔加工はピッチ12mmの貫通孔とした。含浸は濃度1%の酸性染料（黒色）水溶液を、減圧（50mmHg以下×30min）後、加圧（1MPa×1h）で処理した。含浸後は、処理前後の質量差から注入量を求め、乾燥させた後に約半分の厚さまでかんな加工して注入形態を観察した。

2.3 難燃処理剤の水溶液の含浸処理

試料の調製条件を表1に示す。コーンカロリメータ試験においては、試料の厚さが結果に及ぼす影響が多岐にわたることから、スギ材において厚さは2条件とし、上記の染料水溶液の含浸試験において極めて注入量の少なかったカラマツ材は7mmの穿孔間隔を追加した。試料の長さ（L）、幅（T）はそれぞれ500、110mmとし、難燃処理剤は市販のカルバミルポリリン酸アンモニウムを主成分とするリン酸系難燃処理剤水溶液（以下リン酸系）およびホウ砂、ホウ酸を主成分とするホウ酸系難燃処理剤水溶液（以下ホウ酸系）を用いた。含浸時の溶液温度はそれぞれ約20、60℃とした。含浸条件は上記染料

水溶液と同じとし、加圧時間は一部の試料で19hとした。含浸後は、処理前後の質量差から注入量、乾燥後の絶乾質量から注入固形分量を求めた。

2.4 難燃性能の評価

含浸後の試料は、絶乾状態および温度20℃、湿度65%の環境下で十分時間養生して気乾状態に調湿し、所定の寸法（L：100、R：20、35、T：100（mm））に調製した後、コーンカロリメータCONEIII（東洋精機製作所製）を用いてISO 5660-1: 2002 Reaction-to-fire tests -Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)に準じて実施した。この試験方法は、火災初期の熱に相当する50kWの輻射熱を試料に与え、その難燃性を試料の発熱量から評価する方法であり、排煙中における酸素濃度から発熱速度、その積分値として総発熱量を求めるものである。

3. 実験結果

3.1 染料水溶液の含浸処理

染料水溶液の浸透形態を図2に、水溶液の注入量を図3に示す。全ての樹種で穿孔加工により注入量は増加した。特に心材部を含んでいるスギ材やカラマツ材など、含浸性の悪い樹種ほどその効果は顕著であった。

ヒノキ材は、穿孔なしの試料では、シールを施していない表面から一定長さのみ浸透が認められた。一般に木材は木口面からの液体の注入量がその大半を占めるが、今回の試料は、厚さが比較的薄いうえに、繊維方向が厚さ、幅方向に傾斜していたため斑な注入形態を示した。穿孔ありの試料では、ほぼ全体が均質に着色された。

カラマツ材は穿孔ありの試料の場合でも溶液の含浸

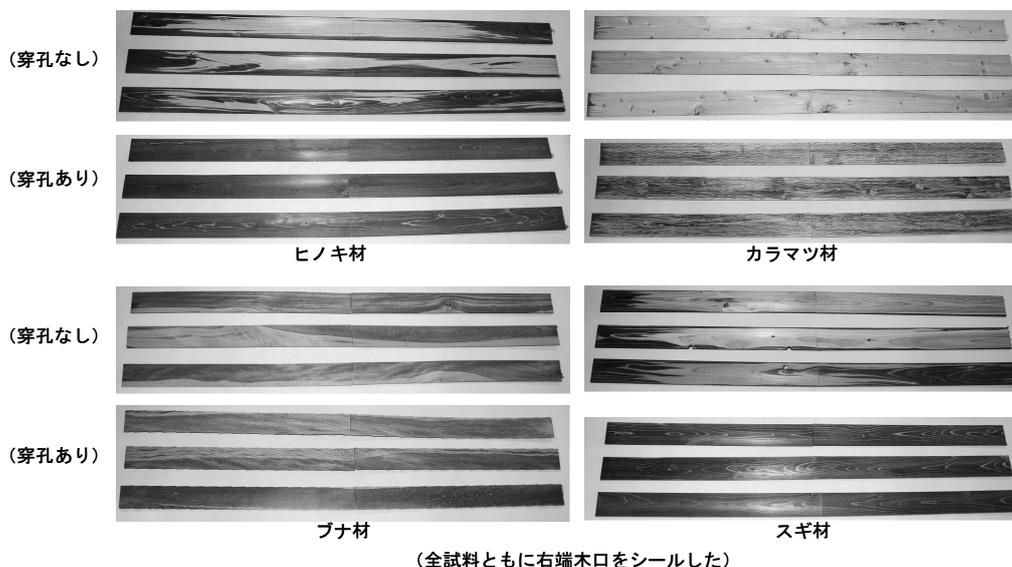


図2 染料水溶液の浸透形態

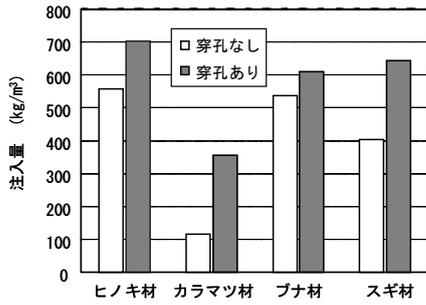


図3 染料水溶液の注入量

が困難であり、木口および穿孔から繊維方向に 1~2cm 程度の浸透しか認められなかった。穿孔によって繊維断面が多く暴露された分、注入量は増大した。

ブナ材は、ヒノキ材よりも著しく木理が交錯していたため、ヒノキ材と同様の理由で穿孔なしの試料であっても斑に着色される傾向が見られたが、穿孔試料はより均質に染色されていた。

スギ材もヒノキ材と同様に、繊維方向の傾斜の影響はみられるものの、浸透形態に穿孔の有無の明確な差異が認められ、穿孔ありの試料では全体がほぼ均質に染色された。ただし微視的には、晩材部には着色が見られなかった。

3.2 難燃剤水溶液の含浸処理

染料水溶液を含浸した結果から、注入量に対して穿孔の効果が発著であったスギ材、カラマツ材に対して難燃剤を含浸処理した。はじめに、含浸工程における加圧時間の影響を調べた。図4に加圧時間 1h, 19h の注入量を示す。穿孔なしの試料は、加圧時間の延長によって一定の注入量の増加は認められるものの、穿孔試料はさらに注入量が多く、穿孔間隔が狭いほど注入量は多かった。これより、穿孔加工により含浸処理時間が短縮できることが示唆された。

図5に溶液濃度と注入固形分量の関係を示す。処理剤の種類による顕著な注入量の差は見られなかった。リン酸系難燃剤は、特に高濃度ではその溶液の粘度が高くな

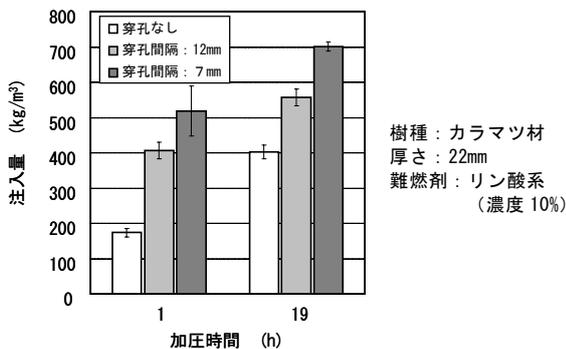


図4 含浸工程における加圧時間の影響

るため、注入量への影響が懸念されたが2つの樹種ともに注入固形分量は溶液濃度に比例した。カラマツ材はスギ材と比較しても注入量は全体的に低く、穿孔間隔 7mm では 12mm よりもやや向上した。

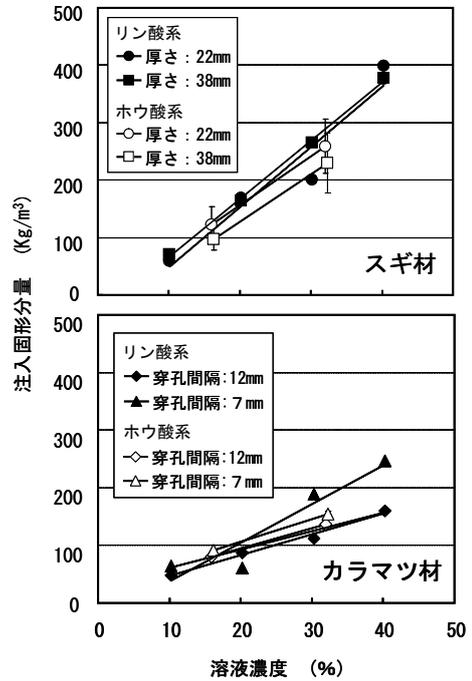


図5 溶液濃度と注入固形分量の関係

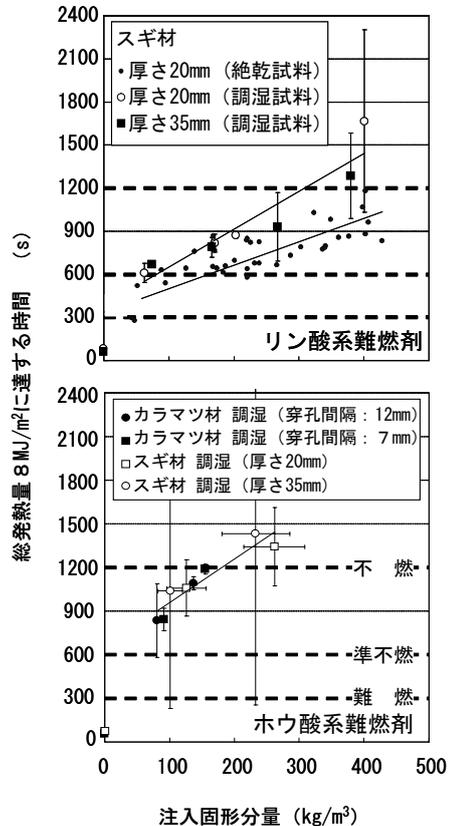


図6 注入固形分量と難燃性能

3.3 難燃性能の評価

図6に2種類の難燃剤について、その固形分注入量と難燃性能の関係を示す。難燃性能は、総発熱量が $8\text{MJ}/\text{m}^2$ に到達する時間を指標とした。この数値は、建築基準法によって耐火性能を等級区分する指標の一つとなっており、到達する時間が長いほど難燃性能が高い。図6に示すとおり 300, 600, 1200 秒がそれぞれ「難燃」、「準不燃」、「不燃」材認定の基準となっている。

はじめにリン酸系（図6（上））において、スギ材を用いて試料の厚さおよび調湿条件の影響について検討した。試料の厚さは、今回の2条件においては性能に影響しなかった。なお、難燃レベルを超える試料では試験後、試料を貫通する亀裂は観察されなかった。調湿試料は絶乾試料よりも性能が向上した。難燃処理剤は、リン酸系、ホウ酸系ともに、一般に吸湿作用があるため、水の蒸発潜熱が試験結果に及ぼすことが予想された。しかし、計算される水分量に相当する蒸発潜熱は、結果に現れた発熱量の差より小さかった。さらに別途、未処理の試料を用い、含水率を変化させて評価したところ、図7に示すとおり発熱速度がピークを示す時間は含水率によって変化し、含水率が高いほど後退するものの、試験時間 1200 秒における総発熱量に顕著な差異は見られなかった。従って、吸湿した水分は、結合水として処理剤と結びつくことによって一定の性能を発揮するものと予想される。その詳細な検証と機構の解明は、今後の課題である。

次にホウ酸系（図6（下））において、2つの樹種の違いについて検討した。カラマツ材は難注入性の樹種のため、穿孔条件は2条件とした。その結果、難燃性能は注入固形分量にのみ依存し、この2樹種においてその差は認められなかった。

以上、両難燃剤ともに難燃性能は注入固形分量に比例して向上し、注入量に応じて建築基準法に定める「難燃」から「不燃」レベルの制御が可能であった。処理剤の違いを比較すると、ホウ酸系ではリン酸系よりも少ない固形注入量で高い難燃性能が得られた。なお試料は、木口

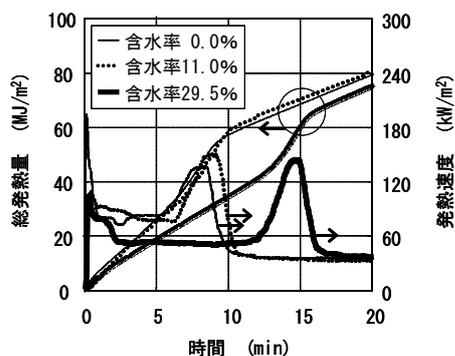


図7 発熱性に及ぼす含水率の影響

付近または中心部分のどちらから採取しても結果に顕著な違いは見られず、これは穿孔加工によって長さ方向に均質に処理できたためと考えられる。しかし、図6のエラーバーが示すとおり、本研究では性能（品質）の安定化を一つの目的としたものの、何らかの誤差要因によって難燃性能は大きく変化した。これには、試験中に生じる試料の表面割れによって発熱面積が変化することなどの要因が予想されるものの、今後原因の究明と対策が望まれる。

4. 結び

木材の難燃化処理においては、難燃処理剤の注入量の向上や、注入処理時間の短縮化および長尺な材料への均質な薬液の浸透による性能（品質）の安定化が課題となっているため、処理剤水溶液の含浸処理に対して、その均質な処理と注入量の向上を図るべく、木材への穿孔加工の効果を検討した。染料水溶液の含浸処理において、注入量とその注入形態を調べたところ、穿孔試料では注入量が向上し、より均質な溶液の浸透が認められ、難注入性の樹種・部位ほど穿孔の効果は顕著であった。また穿孔加工により、目的の注入量に対して含浸処理時間が短縮できることが示された。難燃剤の注入固形分量は処理水溶液の濃度に比例して増加し、コーンカロリーメータによる難燃性能の評価では、リン酸系・ホウ酸系難燃処理剤ともに処理剤の注入量に応じて建築基準法に定める「難燃」から「不燃」レベルの制御が可能であった。

木材の難燃化処理は、近年その関心が高まっていることから、本研究においても見られた難燃性能のばらつき要因や、力学的性質の把握をはじめ、実用面で現在必要とされている耐候性の向上、処理剤の溶脱防止など、今後の課題解決に向けた検討が望まれる。

文献

- 1) S. Fukuta, F. Asada, Y. Sasaki : *Forest Products Journal*, **58**(7/8), 82 (2008)
- 2) S. Fukuta, F. Asada, Y. Sasaki : *Journal of Wood Science*, **54**, 100 (2008)
- 3) S. Fukuta, F. Asada, Y. Sasaki : *Forest Products Journal*, **58**(10), 19 (2008)
- 4) T. Harada, Y. Nakashima, Y. Anazawa : *Journal of Wood Science*, **53**, 249 (2007)
- 5) 原田寿郎, 安藤恵介, 宮林正幸, 大内富夫, 宮本圭一, 上川大輔, 服部順昭 : 木材学会誌, **54**(3), 139 (2008)
- 6) 福田, 柴田, 太田 : 愛知県産業技術研究所研究報告, **8**, 64 (2008)