

木材の防災・難燃化処理

長野 司郎

熊本大学工学部技術部

1 はじめに

木材は環境負荷の少ない循環可能な資源として評価されるが、杉材等の国産材は未だ有効利用されていない。これを有効利用するために杉材の水分透過性改善による乾燥性向上および、各種薬剤の注入性促進等の高機能化木材への改質が不可欠である。杉は繊維方向に多数連なる仮導管と呼ばれる通水要素で主として構成されている。この仮導管は長さ4～5mm程度で両端は閉じており、その側面にある有縁壁孔によって隣

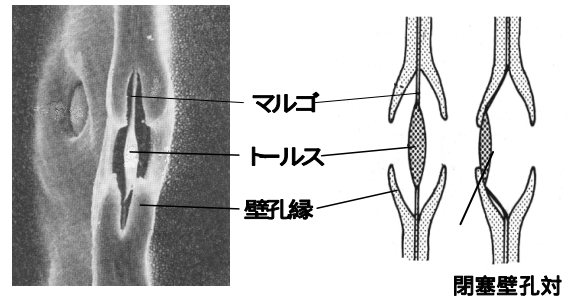


図1 有縁壁孔

接の仮導管と連結している。有縁壁孔は図1に示したように壁孔縁と、トールスおよび薄い網目状のマルゴと呼ばれる壁孔膜で構成されている。杉の育成中はこの壁孔膜が毛細管として働き、各仮導管相互間の水分透過性が保たれる。ところが、中心部から年輪を重ねて肥大成長して芯材部が形成される過程で、壁孔膜は壁孔縁に次第に固着して閉鎖状態（図の閉塞壁孔対）になって、内部の水分等を保持しようとする。そのため、水分の透過性は著しく阻害されるので芯材部の乾燥が困難で、薬剤注入も容易ではない。

そこで、導爆線（紐状爆薬）の水中爆発によって発生する水中衝撃波を利用して杉材の強度等本来の特性を損なわず、壁孔膜のみを選択的に破壊し、水分の透過性改善を試みた。また、衝撃波処理して乾燥した杉材に防災・難燃剤を注入して発熱性試験を行い防災・難燃効果を調べた。

本報では杉丸太材の衝撃波処理実験及び防災・難燃剤注入実験結果について報告する。

2 杉丸太材の衝撃波処理実験

2.1 試験丸太材

図2のように長さ4mの丸太から1m間隔で処理材と未処理材を交互に隣同士で採取し、処理効果を比較する場合に極力試験材の個体差が無いように考慮した。基準マークは評価試験用に処理材と未処理材を製材する際に試験材方向を一致させたためである。

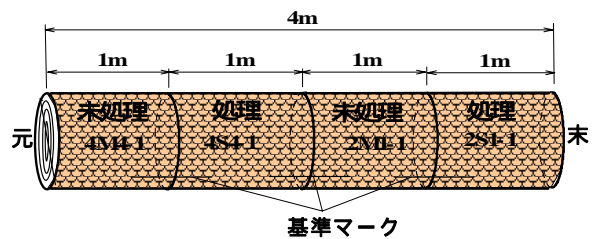


図2 試験丸太材の採取法

2.2 実験方法

図3に実験方法を示す。導爆線と丸太を図のように平行に配置し、(1)図の1, 2, 3, 4方向から各1回、合計4回処理する場合（4Sタイプ）と、(2)1および2方向からそれぞれ1回、合計2回処理する場合（2Sタイプ）の2種類とした。導爆線から

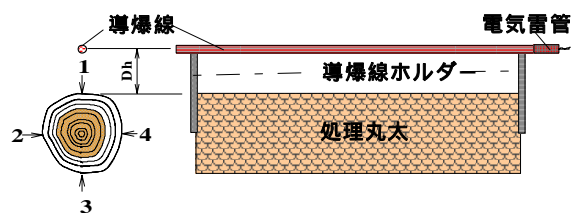


図3 衝撃波処理実験方法

丸太材表面までの距離は $Dh = 100\text{ mm}$ 一定とした。
 4 Sタイプ試験材記号は 4 M 4 - 1、4 S 4 - 1、2 Sタイプは 2 M 1 - 1、2 S 1 - 1 等とした。M は未処理、S は衝撃波処理したことを意味する。

3 衝撃波処理効果の評価試験

3.1 試験材の製材および乾燥

衝撃波処理後の丸太を図 4 のように未処理材とともに、初期含水率測定用小片（長さ 20 mm、以下 20 mm 小片と記す）、SEM 写真観察用小片（以下 50 mm 小片）と、各種評価試験材（420 mm を 2 枚）を採取できるように、5 層の板に製材した。試験材番号は一回目の衝撃波作用面から 1 層目、2 層目・・・、最下層 5 層目となる。3 層目は図からわかるように丸太の中心（髓）を含む層である。製材された試験材は乾球温度 0、湿球温度 70 で 3 時間蒸煮後、乾球温度 70、湿球温度 65 で蒸気乾燥し、乾燥特性を比較した。図 5 に処理材と無処理材の乾燥特性を示しているが、明らかに処理材の方が乾燥時間が短縮されている。

3.2 注入性評価試験

衝撃波処理効果の評価試験法の 1 つとして染色液による注入性評価試験を実施した。乾燥された 5 層の板それぞれから $25 \times 25 \times 100\text{ mm}$ の試験片（A, B, C）を、処理材と未処理材それぞれに対して製作した。このとき処理材、未処理材は隣接し、軸方向も一致するように採取した。採取された各試験片は木口面のみをシリコンシールし、染色液のメチレンブルー四水和物（Methylene Blue Tetrahydrate）の 1% 水溶液（イオン交換水）を使用して注入実験を行った。実験は、0.2 Mpa の圧力下および大気圧下で 2 時間それぞれ注入し、注入前後の試験片の重量を測定して、単位体積当たりの染色液の注入量を比較した。

3.3 注入性評価試験結果

図 7 に結果の代表例を示す。図は衝撃負荷を 4 回与えた場合（4 Sタイプ）および 2 回（2 Sタイプ）衝撃負荷を与えた場合についての結果の代表例を示している。図から、いずれの場合も処理材の注入量は未処理材よりも大きくなっており（約 2 倍）衝撃波処理効果が大きいことが確認された。これは A, B, C 試験片についても同様であった。また、5 層の試験片全てにおいて同様な傾向であった。以上のように水中衝撃波を木材に負荷することによって水分の透過性が向上し、乾燥時間を約半分に短縮でき、また同時に薬剤の注入性は約 2 倍に向上することが明らかになった。

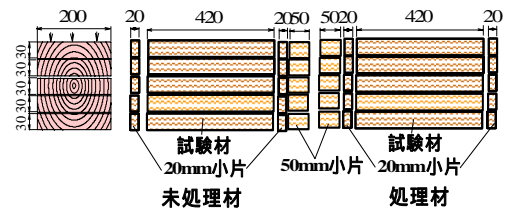


図 4 試験材の製材

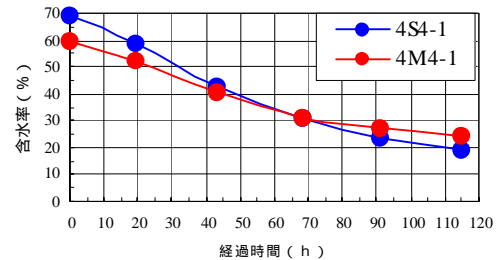


図 5 乾燥特性

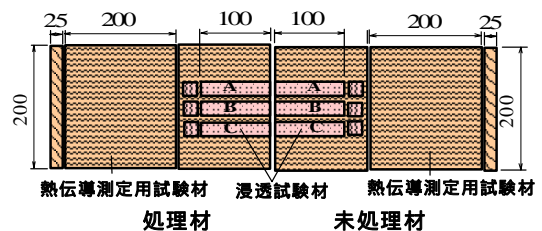


図 6 注入性評価試験片の製作

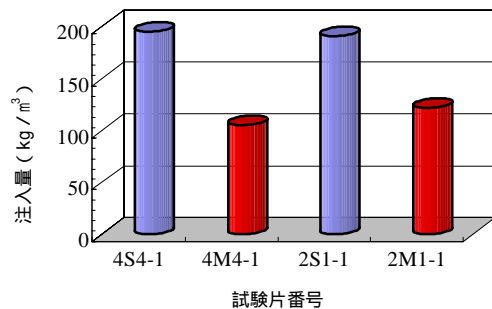


図 7 注入性評価試験結果

4 杉材の防災・難燃化処理実験

4.1 コーンカロリメーター試験について

今回は火災の際に有害な煙を発生せず、発火（炎）を遅らせて避難する時間的な猶予を得るための防災・難燃性に優れた木材の開発を目的とした。そのために、薬剤を注入した木材の防災効果を確認する発熱性試験を行った。建築基準法における不燃材の認定試験は種々あるが、今回はコーンカロリメーター試験による木材の不燃性試験を行った。この試験はコーン状の輻射電気ヒーターで、 50 kW/m^2 の輻射熱を試験時間中、試験体表面に均一に照射する方法で発熱性試験を行う。建築基準法では次の要件を満たす場合に不燃材と認定される。

- (1) 加熱開始後、要求時間内に総発熱量が 8 MJ/m^3 以下であること。
- (2) 加熱開始後、要求時間内に最高発熱速度が10秒間継続して 200 kW/m^2 を越えないこと。
- (3) 加熱開始後、要求時間内に防火上有害な裏面にまで達する亀裂、損傷がないこと。

この三つの要件で、(2)(3)は比較的容易に達成可能であるが、(1)の要件は炎が出ないようにしないと総発熱量の基準値(8 MJ/m^3)を越えてしまうので、かなり厳しい防災効果を要求される。木材の場合、炭化は進んでも発火しない防災剤の注入量を如何に増加させるかが重要である。

4.2 試験方法

4.2.1 試験材の作成

衝撃波処理された杉材を含水率20%程度まで乾燥後、更に15%程度まで調質乾燥し、図8のように $100\times 100\text{ mm}$ の試験材を作成した。厚さは通常建材として使用される11mm、15mm、20mmの3種類とした。

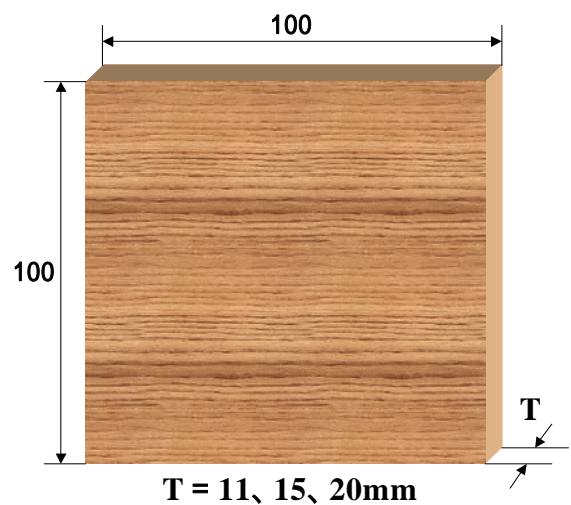


図8 発熱性試験用試験材

4.2.2 防災・難燃剤の注入

作成した試験材に図9の薬剤注入装置で2種類の防災・難燃剤を注入した。注入条件および注入量は表1の通りである。試験材番号の最後の数字は板の厚さを示す。シリカ系水溶液の場合は、粘土が高いので、注入条件を変えて発熱性試験を行った。

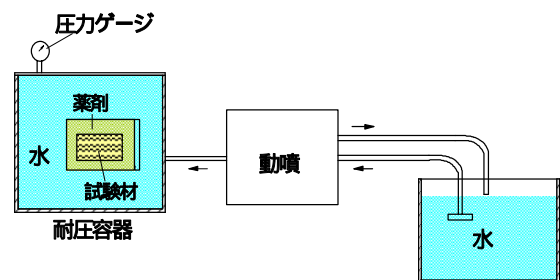


図9 薬剤注入装置

表1 注入条件

試験材番号	注入薬剤	注入条件	注入量 (kg/m^3)
LC145 - 20	シリカ系水溶液	0.5MPa 2時間加圧	109
LC145 - 11	"	0.1MPa減圧、1.5MPa 2時間加圧	717
LC145 - 15	"	"	634
LC145 - 20	"	"	677
PHN140 - 11	ホウ酸系水溶液	0.5MPa 2時間加圧	512
PHN140 - 15	"	"	513
PHN140 - 20	"	"	519

4.3 発熱性試験結果

図10は、防火剤としてホウ酸系水溶液を注入した杉板の厚さを変えた場合の試験結果で、横軸に経過時間、縦軸に累積総発熱量を示している。図中発熱量が急増する部分(経過時間3分、9分、19分)は発炎した為である。ただし、経過時間3分では直ぐに消炎して発熱量の増加は緩やかになっており、防火効果が認められた。経過時間9分、19分以後の急激な発熱量増加は炭化が裏面まで達して発炎し激しく燃焼したためである。板厚の相違による防火効果は明確ではないが、炭化進行時間に影響すると推定される。図には建築基準法の不燃基準値を示しているが、図から準不燃材の要件をほぼ満足していることがわかる。図11はシリカ系防火剤の場合の結果である。この場合もほぼ準不燃材の要件を満たしている。ここで、板厚が11mmの場合が最も発熱量の増加が緩やかであることが注目されるが、板厚11mmの場合は板厚15、16mmの場合よりも防火剤の注入量が多いことから、防火効果に対しては注入量が重要であることが推察される。図12はシリカ系防火剤の場合の注入量の影響を調べた結果である。板厚は20mmである。図から注入圧力(注入量)の影響は明らかである。図13はホウ酸系防火剤とシリカ系防火剤の比較である。この場合、ホウ酸系防火剤の注入量はシリカ系防火剤よりもかなり少ないにも拘わらず、防火効果は大きいことがわかる。

5 まとめ

杉丸太材に水中衝撃波を負荷し、乾燥特性および水溶液の注入性を調べた結果、強度低下等本来の特性を損なうことなく、乾燥特性、注入性ととも格段に向上することが明らかになった。衝撃波処理された杉板に防火剤を注入し、発熱性試験を実施した結果、準不燃材の性能が得られた。また、ホウ酸系防火剤はシリカ系防火剤より優れた防火効果を示した。

本研究の一部は、平成15年度科学研究費補助金(奨励研究)により行った。

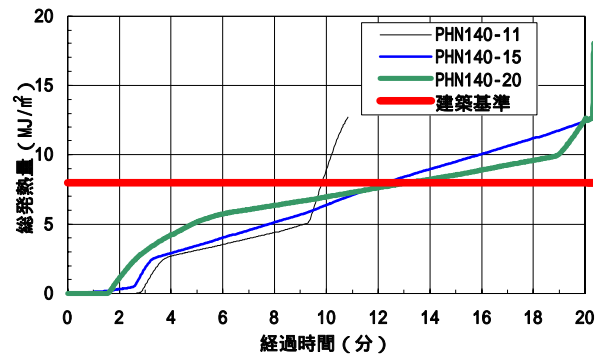


図10 ホウ酸系防火剤の結果

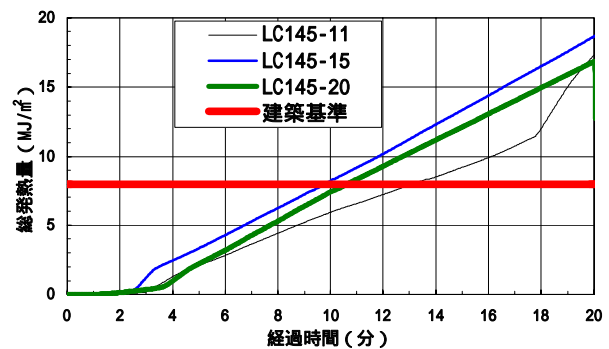


図11 シリカ系防火剤の結果

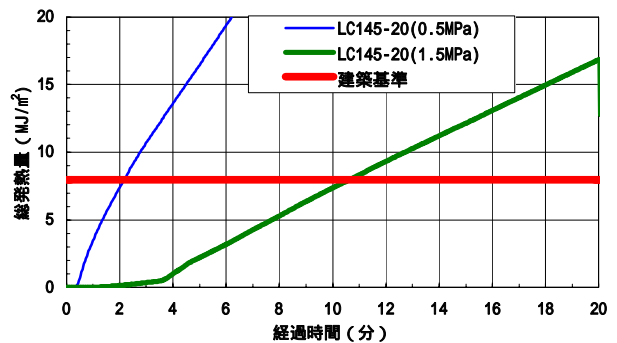


図12 防火剤注入量の影響

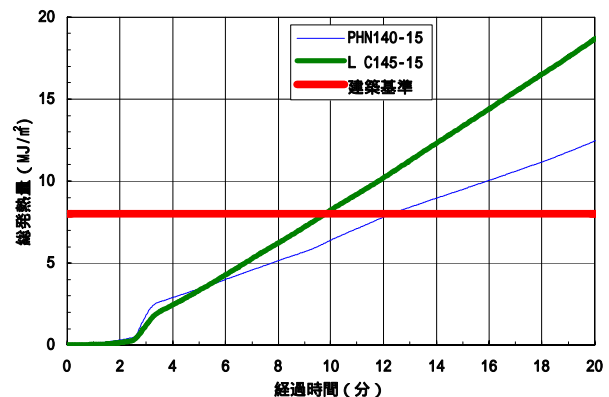


図13 防火剤の防火効果の比較