コロイダルシリカーホウ酸溶液によって無機質複合化処理した スギ単板とコナラ単板の難燃性評価[†]

後 藤 崇 志* 古 野 毅**

Evaluation of Fire Retardancy of Wood-Mineral Composed Veneers Made with Sugi and Konara Using the Colloidal Silica-Boric Acid System

by

Takashi GOTO* and Takeshi FURUNO**

Wood-mineral composed (WMC) veneers were manufactured with Japanese cedar (Sugi : *Cryptomeria japonica*) and Japanese oak (konara : *Quercus serrata*) using the colloidal silica-boric acid system for the purpose of enhancing the fire retardancy of veneers. The evaluation of fire retardancy was experimented by two burning tests with oxygen index (OI) and microburner methods. In addition, the residual char produced after the OI-burning test was observed by electron probe X-ray microanalysis (EPMA).

Weight percent gains (WPGs) for sugi (sapwood and heartwood) and konara veneers were about 50% and 14%, respectively. Ratios of fixation of unleached inorganic substances in WMC veneers were about 80% for sugi and 62% for konara.

OI Values of untreated veneers were 22% regardless of wood species and the presence of leaching procedure, whereas WMC veneers of sugi and konara showed OI values of about 57% and 33%, respectively. The burning time and the percent weight of residual char were increased by combination of wood and silicate. As a result of EPMA observation, carbonized cell walls of untreated veneers became thinner, showing an abnormal shrinkage of tracheids and vessels. In the case of WMC veneers of sugi and konara, silica bodies filled up the lumina of tracheids and vessels or sometimes coated the lumen surfaces, and the abnormal shrinkage of cells and the thinning of cell walls hardly occurred. Also, the distribution of silica in the carbonized walls of tracheids, vessel, and wood fibers was found interestingly, giving a fire retardant effect to WMC veneers together with boron compound. The correlation between WPG and OI was recognized and consequently the evaluation of fire retardancy with WPG would be possible.

In the burning test of WMC veneers with a microburner, the increase in temperature on the upper side of specimen was slow. The ignition of WMC sugi veneer was not recognized in 30 minutes and the carbonized area on the under side of specimen was small. When WMC sugi veneer was directly exposed to fire and OI values estimating from the linear regression equation were more than 60%, the fire retardancy could be evaluated to be better.

Key words : Sugi veneer, Konara veneer, Wood-mineral composed veneer, Colloidal silica, Boric acid, Weight percent gain, Oxygen index, EPMA observation, Fire retardancy

1 緒 言

島根県内の森林資源で蓄積量の多いスギ材と、用途がチップ用材などに限られているコナラ材^{1), 2)}を合板、LVLなどに利用するためにロータリー単板を製造した。これらの木質材料を構造用として利用するためには、構成エレメントへの難燃性付与による耐火性能の向上が重要な因子のひとつとなりうる。³⁾構成エレメントとなる単板は、厚みが約3mmで裏割れが生じており、薬品処理が容易である。⁴⁾そして、合板やLVLでは処理単板を選択的に断面設計することが可能である。

既報の研究では、水ガラス-ホウ素化合物系溶液⁵⁾あるいはケイ酸塩-ホウ素化合物系溶液⁶⁾による難燃性の改良を試みている。これらの処理により難燃性は向上したが、前者はアルカリ溶液であるため木質部の劣化と不溶

性無機質の形成率が低いという問題が認められている。⁷⁾しかし、後者でケイ酸塩としてコロイダルシリカ溶液を用いた場合、処理溶液のpHは中性であり木質部を劣化させることなく耐蟻性、耐光性などの改良が達成されている。⁷⁾

そこで、合板やLVLなどに耐火性能を付与するために、コロイダルシリカーホウ酸溶液による無機質複合化処理を行い、単板への難燃性の付与とその評価を試みた。

無機質複合化処理した単板の難燃性の評価は、既報⁶⁾に準じて酸素指数による燃焼性試験により行った。また、燃焼後の炭化試験片をEPMA(X線微小部分分析法)により観察して無機物の固着状態を確かめた。しかし、この燃焼性試験は火災再現性が乏しいと考えられるため、ミクロバーナーを用いた実証的な燃焼性試験をあわせて行っ

[†] 原稿受理 平成15年6月26日 Received June 26, 2003

* 正会員 島根県中山間地域研究センター 〒690-3405 島根県飯石郡赤来町, Shimane Pre. Mountainous Region Res. Center, Iishi-gun, Shimane, 690-3405

** 正会員 島根大学総合理工学部材料プロセス工学科 〒690-8504 松江市西川津町, Dept. of Natural Resources Process Eng., Shimane Univ., Nishikawatsu-cho, Matsue, 690-8504

た。そして、酸素指数の値が実証的な燃焼性試験において難燃性を示しうるものなのかどうかを検討した。

2 実験方法

2・1 単板

島根県産のスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 辺材と心材およびコナラ (*Quercus serrata* Thunb.ex Murray) のロータリー単板を供試した。寸法を 210 (L) × 110 (T) × 3.5 (R) mm に調整し、スギ辺材 34 枚、心材 27 枚、コナラ 47 枚を供試した。

気乾状態の単板を 60℃ で 24 時間予備乾燥し、続いて 50℃ で 24 時間の真空乾燥 (P_2O_5 在中) を施して全乾状態とした。全乾時の重量などを測定した後、蒸留水中に約 1 週間浸せきさせて飽水状態に調製し、無機質複合化処理を施した。

2・2 無機質複合化溶液の調製と浸せき処理

無機質複合化溶液は、既報⁹⁾に準じてコロイダルシリカ溶液 (Snow Tex 30, 日産化学工業(株)製) にホウ酸を重量比で 5% 加え 30 分間かく拌して調製した。なお、コロイダルシリカ溶液の pH は 10.92 のアルカリ性であったが、重量比 5% のホウ酸を添加すると pH は 6.47 の中性付近となり、既報⁷⁾と同様にこの処理による木質部の劣化は生じないことを確認している。

飽水状態の単板を室温下で溶液中に 24 時間浸せきした。その後、30 分間風乾し、単板中に含浸したコロイダルシリカをゲル化して固着させるために 2・1 節と同様に乾燥を行った。そして、全乾状態の無機質複合体 (以下、WMC と記す) 単板の重量などを測定して重量増加率 (%) (以下、WPG と記す) を算出した。

2・3 溶脱処理

溶脱処理は JIS K 1571-1998 に準じ、水中かく拌による溶脱操作を 8 時間施し、次に 60℃ の揮発操作を 16 時間施した。これを 1 サイクルとして計 10 サイクルの処理を行った。製造した WMC 単板のうちスギ辺材 9 枚、心材 7 枚、コナラ 11 枚、さらに各無処理単板 12 枚を処理した。

溶脱処理終了後に WPG を求め、溶脱処理前後のそれらより不溶性無機質の固着率 (%) を算出した。

2・4 酸素指数による燃焼性試験

酸素指数 (OI, 単板が有炎燃焼を維持するのに必要な酸素と窒素の混合ガスの最小酸素濃度 (容量 %)) による燃焼性試験は、JIS K 7201-1999 に準じ、Fig. 1 に示すような燃焼性試験器 (スガ試験機(株)製 ON-1 型) により行った。

単板は全乾状態に調製し、WMC 単板と無処理単板、さらに溶脱処理を施したそれらを供試した。WMC 単板 1 枚から 100 (L) × 50 (T) × 3.5 (R) mm 寸法のものを 4 枚ずつ切り出し、各条件 16 枚を試験した。なお、供試した WMC 単板の WPG は、WMC 前の全乾時密度を利用して、寸法 100 (L) × 50 (T) × 3.5 (R) mm の推定全乾重量を算出しこれを用いて検討している。

試験は室温約 10℃、燃焼用ガラス円筒内温度約 20℃ の温度条件のもと、単板をガラス円筒内に繊維方向を垂直に設置して行った。OI の初期値は既報の値^{6), 8)}などを参考とし、それ以後は試験結果や WPG を参考に 0.5% 刻みで変更した。着火前に約 30 秒間混合ガスを円筒内に流して雰囲気を作った。着火源は LP ガスを使用し、

Fig. 1. Diagram of burning test by oxygen index method.

点火器の炎の大きさを 16mm 程度として単板に約 5 秒ずつ 2, 3 回の着火を試みた。着火部位は、上端木口から裏割れのない LT 面にかけて 6mm 下がったあたりの位置とした。

このような着火方式により、単板に着火して有炎燃焼を 3 分間維持するか、もしくは単板が 60mm 以上燃焼する時の最小 OI を求めた。また、燃焼時間、残炭率 (%)、⁹⁾燃焼挙動などもあわせて観察した。

2・5 EPMA による炭化試験片の観察

EPMA 観察は既報⁶⁾のとおり、観察用の炭化試験片を OI による燃焼性試験後の炭化した単板より採取した。炭化した単板から横断面が 3 × 5mm 程度の小ブロックを採取し、破断面を観察面とした。イオンスパッタリング装置 (日本電子製 JFC-1100) を用いて真空中で金蒸着を施して EPMA (日本電子製 JEOL JXA733) により観察した。細胞内腔や細胞壁中の無機質の存在と分布を二次電子像で観察し、またケイ素 (Si) の X 線像も観察した。

2・6 ミクロバーナーによる燃焼性試験

ミクロバーナーによる燃焼性試験は、2 枚の単板を積層した試験体を水平に設置し、試験体の下面を加熱してその際の上面温度を熱電対により測定した。

試験体は、節など欠点のないスギ辺材単板 (上面: 温度測定面) と、WMC 単板あるいは無処理単板 (下面: 加熱面) をレゾルシノール樹脂 (大鹿振興(株)製 大鹿レジン D-33N) によりホットプレスで接着して製造した。試験体寸法は 200 (L) × 100 (T) × 6 (R) mm、供試体数は加熱面の違いによって無処理スギ辺材 5 体、無処理コナラ 5 体、WMC スギ辺材 5 体、WMC スギ心材 9 体、WMC コナラ 5 体とした。

試験は、室温約 10℃ のもとで周囲を風防で取り囲んで行った。ミクロバーナーの口径直径は 10mm で LP ガスを利用し、試験体下面との距離は 100mm とした (Fig. 2)。なお、ミクロバーナーの炎の先端付近の温度は試験開始後 7 分間で 400℃ に達し、その後は試験終了時まで 430 ~ 450℃ で平衡状態であった。

WMC スギ心材のうち 4 体については意図的にその距離を 80mm に近づけて直接火炎を当てて試験し、WPG と OI の回帰直線式より推定される OI 値との関係を比較

Fig. 2. Diagram of burning test by microburner method.

検討した。温度測定は、試験体上面中央部1ヵ所とその左右70mmの位置2ヵ所の合計3ヵ所とし、K熱電対温度計（TYPE K JIS 2400mm, 直径8mm）により3秒間隔で測定した。なお、熱電対による熱損失は全て同等であるとみなして検討した。

3 結果と考察

3.1 無機質複合化単板のWPGと固着率

3.1.1 WPG WMC単板の溶脱処理前のWPGはスギ辺材53.3%, スギ心材50.2%, コナラ14.1%となり、溶脱処理後はスギ辺材で40%以上、コナラで10%程度となった（Fig. 3）。WPGは溶脱処理前後ともスギ辺材単板で大きくなっているが、これは樹種の組織構造が影響しているものと考えられる。針葉樹材であるスギ材の主要構成細胞は仮道管でその比率は97.2%⁹⁾を占めている。広葉樹材であるコナラ材の場合、組織構造がほとんど同様であるミズナラ材と比較すると、道管は12.6%⁹⁾しか占めておらず、空隙が少ないことが影響しているものと考えられる。供試単板の全乾時密度を測定した結果、スギ0.30g/cm³, コナラ0.66g/cm³となりコナラ単板が約2倍大きいことから伺える。

スギ材の心材部には心材成分が沈着¹⁰⁾しており、また石川ら¹¹⁾によると壁孔の破壊率は心材のほうが辺材よりも小さいため、ホウ素含有量も心材が小さくなったと報

Fig. 3. Weight percent gains (WPGs) of WMC veneer before and after leaching. Error bars represent a standard deviation.

告している。しかし、本研究においては辺心材でWPG, さらに後述のとおり難燃性などに大きな違いは認められていない。これは、材料が単板であり裏割れも存在するため、処理溶液が辺心材単板に同等に含浸しやすかったためと思われる。既報¹²⁾では厚さ3mm程度のスギ挽き板に同じ処理を施している。このWPGは辺材30.8%, 心材24.1%と報告しており、本研究と比較すると、単板は含浸性が高いことがわかる。

なお、体積膨潤率はスギ辺材2.4%, スギ心材4.4%, コナラ5.4%となり、挽き板のようにWPGと明確な比例関係は認められなかった。これは、WMC単板では割れの拡大やあばれの発生が観察されたことから、これらの影響があるものと考えられる。

3.1.2 不溶性無機質の固着率 Fig. 3における溶脱処理前後のWPGから不溶性無機質の固着率を求めた結果をTable Iに示す。スギ辺心材単板で80%以上と大きくなり、溶脱処理前のWPGと相関関係（ $R = 0.43 \sim 0.85$ ）が認められた。したがって、細胞内腔あるいは細胞壁に固着した無機質の絶対量が多いほど固着率は大きくなり、特に単板の内層部に形成される無機質が固着率に影響するものと考えられる。

既報¹²⁾での固着率は、約94%であると報告している。しかし、本研究ではそれより小さい値を示した。これは単板の裏割れや製造工程で生じた微細な割れなどが影響しているものと考えられる。合板やLVLに構成する際は、裏割れの生じている面は接着される。したがって、裏割れ部分からの無機質の溶脱は生じないわけであるが、この点についてはさらなる検討を要する。

3.2 酸素指数による燃焼性試験結果

3.2.1 OI OIはFig. 4に示すとおり、全ての無処理単板では樹種による違いや溶脱処理の影響は認められず、吉村ら⁸⁾の報告と同様に22%となった。WMC単板では、一般に着火が困難となりOIを高く設定しないと着火できず、また燃焼を維持できない傾向が認められた。WMC単板のOIは著しく向上してスギ辺材56.5%, スギ心材57.0%, コナラ32.5%となった。着火が困難であることは木材の燃焼における発熱や発煙を抑制することに有効であることから、WMC単板の高い難燃性が示された。溶脱処理によってOIは低下し、それぞれ32.0%, 31.0%, 24.5%となった。それでも、無処理単板より高いOIを示しており、WMC単板の難燃性は溶脱処理後でも保持されていた。

3.2.2 燃焼時間 単板への着火が確認された後、有炎燃焼¹³⁾を継続した平均時間をTable IIに示す。

WMC単板の燃焼時間は無処理単板よりも20～70秒

Table I. Fixations of insoluted inorganic substances in WMC veneer after leaching.

	Sugi sapwood	Sugi heartwood	Konara
Fixation(%)			
Average	80.4	84.6	62.8
SD	1.8	1.6	7.2
No. of specimens	7	9	11
SD : Standard deviation			

Fig. 4. Oxygen indexes of WMC veneer before and after leaching and untreated veneer. Error bars represent a standard deviation.

Table II. Burning time of untreated and WMC veneers in the burning test with the oxygen index method.

Treatments	Sugi sapwood	Sugi heartwood	Konara
Untreated			
before leaching	182	155	376
Untreated after leaching	202	205	428
WMC			
before leaching	201	227	415
WMC after leaching	188	210	439

WMC : Wood-mineral composed

程度長くなっていることがわかる。溶脱処理後も無処理単板より長い燃焼時間を示している。

無処理スギ辺心材単板は、赤色の大きな炎を生じながら激しい有炎燃焼を示し大量の煙が発生した。無処理コナラ単板では、小さな炎でゆっくりと燃焼した。

WMC単板は、上端木口面から側面へ延焼して有炎燃焼となるものが大半であり、単板のLT面が先行的に燃焼するものはほとんどみられなかった。火炎は非常に小さく緑色を呈し、燃焼速度も緩やかで燃焼時間は長くなった。また、煙の発生はほとんど観察されなかった。

WMC単板では、単板製造時LT面に繊維直角方向に付いたガンギローラーの針傷跡の部分で燃焼の進行が止まるものが多数認められた。これはこの針傷がインサイジング効果¹⁴⁾を付与し、単板内層部への無機質の固着を促したためと考えられる。

溶脱処理後のWMC単板は、単板表層部分の無機質が溶脱されているため着火は比較的容易であった。しかし、単板内層部の無機質は固着しているため燃焼速度は溶脱処理前のものと大きく変わらず、燃焼時間は溶脱処理前よりわずかに短い結果となった。そして、炭化物は赤熱燃焼¹³⁾が長く続いていた。

3・2・3 残炭率 単板の燃焼に関与した部分における炭化重量割合⁶⁾として求めた残炭率をFig. 5に示す。無処理スギ辺心材単板は10%程度、無処理コナラ単板は2.5%ほどであったが、WMC単板では著しく向上し、WMCスギ辺心材単板は34.2%、心材単板28.7%、WMCコ

Fig. 5. Percent weights of residual chars in the burning test with the oxygen index method. Error bars represent a standard deviation.

ナラ単板では29.0%となった。これは、細胞内腔あるいは細胞壁に固着している無機質が細胞壁の熱分解を抑制して炭化物の形成に寄与しているためと考えられる。溶脱処理後もWMCスギ辺心材単板では約30%を維持していることがみわかる。これは、3・2・2項のとおり、単板表層の無機質は溶脱するが、単板内層の無機質は固着しているため、残炭率は溶脱処理前と変わらず高い値になったものと考えられる。

3・2・4 WPGとOIとの関係 無処理あるいはWMCスギ辺心材単板のWPGとそれらのOIの間には強い相関関係が認められた(Fig. 6)。コナラ単板についても相関関係が認められており、相関係数は溶脱処理前0.93、溶脱処理後0.81であった。Fig. 6の回帰直線より、スギ辺心材単板についてWPGからOIは予測できることが可能となる。溶脱処理後のプロットで高いWPGでありながらOIが低いものが認められる。これは、前述のとおり、単板表層の無機質が溶脱され着火が容易となったことが影響していると考えられる。これらの燃焼時間は溶脱処理前と比較して短くはなっていない。

Fig. 6. Relationship between weight percent gain (WPG) and oxygen index.

3・3 炭化試験片の EPMA 観察

燃烧試験した炭化試験片を EPMA で観察した結果について、無処理スギ辺材単板の横断面の二次電子像を Fig. 7 に示す。仮道管全体が著しく異常に収縮し、また収縮しなかった仮道管部分が所々に散在している様子が見られる (Fig. 7A)。さらに注目されるのは細胞壁の薄壁化が進行していることであり、拡大像 (Fig. 7B) から明らかである。このことは、無処理単板では残炭率が小さくなり、炭化部分が容易に砕けやすいことを裏付けている。

WMC スギ辺材単板の横断面についての EPMA 観察を Fig. 8 に示す。仮道管内腔にシリカが点在するようにして充填、固着している様子がわかる (Fig. 8A)。別の部位では、試験片の表面付近あるいは試験片内部の早材部仮道管内腔に局所的にシリカが集中して存在しているのが認められた。コロイダルシリカ溶液系で含浸処理した無機質複合体ではシリカが固体状で内腔を充填すること (Fig. 8B) は既報で報告されている。⁶⁾ また、仮道管は全体的に均一に収縮しているが、無処理単板に見られたような異常な収縮は生じなかった。さらに、仮道管壁の薄壁化もみられず元の形態をほぼ保っていた (Fig. 8B)。X 線像 (Fig. 8C) からケイ素は細胞内腔を充填しているシリカのみならず、細胞壁にも分布していることが明らかである。既報⁶⁾と同様に細胞壁にシリカの他にホウ素化合物 (ホウ酸) も存在していることが考えられ、この両成分が難燃性を付与し、燃烧による細胞壁の薄壁化を阻止して残炭率と燃烧時間が無処理単板よりも多くなったと推察される。

Fig. 7. EPMA micrographs of secondary electron images on a transverse section of untreated sugi sapwood veneer.

Fig. 8. EPMA micrographs of secondary electron images (A and B) and a Si-K α X-ray map (C) on a transverse section of WMC sugi sapwood veneer

コナラ単板で無処理と WMC 単板の横断面の二次電子像を Fig. 9 に示す。無処理コナラ単板では、組織の異常収縮や破壊、亀裂が観察され、特に道管の変形による扁平化が顕著に認められた (Fig. 9A)。それとは対照的に WMC コナラ単板では組織構造の変形は非常に少なく、道管内腔にシリカが固体状に充填あるいは道管の内壁をコーティングするように付着していた (Fig. 9B)。道管以外の木部繊維などへのシリカの分布は非常に少なかった。

WMC コナラ単板の横断面について二次電子像とその部位の X 線像を Fig. 10 に示す。これは、細胞内腔へのシリカの分布が見られなかった晩材部小管管およびその周辺の木部繊維と軸方向柔細胞の炭化状態を示しているが、細胞壁の薄壁化は生じていなかった (Fig. 10A)。細胞内腔にシリカが存在していないにもかかわらず、道管壁や木部繊維壁にケイ素の分布が検出されたことが注目される (Fig. 10B)。このことは、コロイダルシリカ溶液

Fig. 9. EPMA micrographs of secondary electron images on transverse sections of untreated konara veneer (A) and WMC konara veneer (B).

Fig. 10. EPMA micrographs of a secondary electron image (A) and a Si-K α X-ray map (B) on a transverse section of WMC konara veneer.

の含浸処理中に拡散浸透によってシリカが細胞壁中に固着したことを意味している。この細胞壁中のシリカが存在がホウ酸とともに難燃性の向上に寄与していると考えられる。

3・4 ミクロバーナーによる燃焼性試験結果

3・4・1 燃焼面単板が及ぼす上面温度への影響 各単板について代表的な温度曲線の一例を Fig. 11 に示す。無処理コナラ単板は、大半が8分程度で有炎燃焼状態となった。無処理スギ辺心材単板も短いもので8分、長くても20分程度で有炎燃焼状態となって上面スギ辺心材単板に延焼するかもしれない試験体中央部が燃え抜けた。

これに対し、WMC単板では上面の温度上昇が約250～500秒のあたりで緩やかになっていることがみてわかる。WMC単板を燃焼面（試験体下面）に構成したものの大半は、30分間燃焼を続けても着火することはなかった。これは、ホウ素によって不活性な炭化層が形成され酸素と熱の供給を妨げ、¹⁵⁾可燃性ガスの発生を抑制しているためと考えられる。

燃焼される下面がWMCスギ辺心材単板のものでは、上面温度が60℃以上を記録することはなかった。しかし、WMCコナラ単板のものでは60～70℃以上を記録するものが認められた。これは、試験体下面に構成したWMCコナラ単板のWPGは12%程度で、スギ辺心材単板のそれは50%程度であったことから、WPGの低いコナラ単板では上面スギ辺心材単板への熱の伝導を抑制できなかったものと考えられる。

3・4・2 燃焼面単板のWPGと酸素指数の関係 燃焼面となる下面にWMCスギ心材単板を積層しミクロバーナーとの距離を80mmに近づけて燃焼性試験を行った結果を Fig. 12 に示す。なお、Fig. 6 中で得られたWPGとOIの回帰直線式より求めた推定OIを示している。これより、推定OIが60%以上になるならば、直接火炎が当たっても発炎することはない、上面温度の上昇を抑制していることがわかる。炭化層の形成部分も小さくなっていたので、高い難燃性を示すことがわかった。

上杉ら¹⁶⁾によると、LVLの炭化速度は毎分0.6～0.7mmと報告されている。本実験において供試した試験体

Fig. 11. Relationship between the burning time and temperature in the burning test with the microburner method, (burning distance 100mm).

Fig. 12. Relationship between the burning time and temperature in the burning test with the microburner method, (burning distance 80mm). Oxygen index (OI) values were estimated from Fig. 6.

は、加熱面に WMC 単板を積層しその上面に無処理スギ辺材単板を積層して厚さを 6mm に調整している。試験体は約 20 ～ 30 分間燃焼しても完全に炭化することなく、また燃え抜けることもなかった。単板の難燃性は向上しているので、一般的な LVL と同等以上の難燃性を付与することが可能になるものと期待される。

本実験は、2 枚の単板を積層してその下面を燃焼させ、上面の温度を測定して評価を試みている。WMC 単板の用途として構造用 LVL などを想定しており、WMC 単板を積層した LVL の燃焼性試験を実施して、実際の使用状況下により近い状態での耐火性の評価を行う必要がある。

4 ま と め

スギ辺材、心材単板とコナラ単板を製造し、難燃性の付与を目的としてコロイダルシリカーホウ酸溶液による WMC 単板を製造した。難燃性の評価として OI による燃焼性試験を行い、あわせて炭化試験片の EPMA 観察を行った。また、火災再現性を高めるためにマイクロバーナーによる燃焼性試験もあわせて行った。

WMC 単板の WPG はスギ辺材単板で約 50%、コナラ単板で約 14% となった。溶脱処理を施した後も高い WPG を維持し、固着率はそれぞれ約 80%、62% となった。

OI による燃焼性試験の結果、OI は無処理単板では全ての単板が 22% であったが、WMC 単板ではスギ辺材単板で約 57%、コナラ単板で約 33% と大きくなった。溶脱処理後はそれぞれ 31%、24% 程度と低下したが、それでも無処理単板より高い難燃性を維持していた。

燃焼時間と残炭率は WMC 単板では改良されていた。溶脱処理後、単板表層の無機質は溶脱されるが、単板内層の不溶性無機質が効果的に作用し、燃焼時間と残炭率に著しい低下は認められなかった。

OI による燃焼性試験後の炭化試験片について、EPMA 観察を行った。無処理スギ辺材単板では、細胞壁の薄壁化が各所に認められ残炭率に影響を及ぼしていることがわかった。無処理コナラ単板では、道管の扁平化などが

認められた。しかし、WMC スギ辺材単板では、無機質は局所的あるいは分散して仮道管内腔に充填し、また細胞壁中にも広域的に固着していた。WMC コナラ単板では、無機質が道管の内腔を充填していた部位と道管内腔の内壁をコーティングするように付着している 2 種類の部位が観察された。

WPG と OI との間には強い相関関係が認められ、得られた回帰直線式によって WPG から OI を推定することが可能となった。

マイクロバーナーによる燃焼性試験の結果、WMC 単板では試験体上面の温度上昇は緩やかとなった。WPG の高い WMC スギ辺材単板では、30 分間燃焼しても着火は認められず、炭化の進行は抑制されていた。

WMC スギ心材単板を加熱面に積層し、マイクロバーナーとの距離を 80mm とし直接火炎を当てて試験を行った。その結果、WPG が 50% 以上の単板で WPG と OI との回帰直線式から求められる OI が 60% 以上になると、実際の火災に類似した状況下における難燃性がより高くなる傾向が認められた。

今後、WMC 単板を積層した LVL での耐火性の評価を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) 最新木材工業事典出版委員会, “最新木材工業事典”, p.60 (1999) (社) 日本木材加工技術協会.
- 2) 後藤崇志, 池淵 隆, 中山茂生, 島根県林技研報, **52**, 11 (2001).
- 3) 例えば, 坂本 功, “木造建築を見直す”, p.3 (2000) 岩波新書.
- 4) 林 知行, “高信頼性木質建材「エンジニアードウッド」”, p.152 (1998) 日刊木材新聞社.
- 5) 古野 毅, 田所隆治, 上原 徹, 材料, **44**, 292 (1995).
- 6) 古野 毅, 後藤崇志, 加藤定信, 材料, **50**, 383 (2001).
- 7) 古野 毅, 今村祐嗣, 浅田 修, 加藤定信, 材料, **48**, 245 (1999).
- 8) 吉村 貢, 三輪 明, 木材学会誌, **26**, 287 (1980).
- 9) 古野 毅, 澤辺 攻, “木材科学講座 2 組織と材質”, p.109 (1994) 海青社.
- 10) 城代 進, 鯨島一彦, “木材科学講座 4 化学”, p.20 (1993) 海青社.
- 11) 石川朝之, 堀内清史, 柴田博幸, 戸谷和光, 武田邦彦, 材料, **52**, 301 (2003).
- 12) 古野 毅, 栗生 剛, 松岡真吾, 井上唯師, 上原 徹, 材料, **46**, 401 (1997).
- 13) 木材活用事典編集委員会, “木材活用事典”, p.87 (1994) 産業調査会.
- 14) 井上嘉幸, “木材の劣化と防止法”, p.367 (1972) 森北出版.
- 15) 屋我嗣良, 河内進策, 今村祐嗣, “木材科学講座 12 保存・耐久性”, p.161 (1997) 海青社.
- 16) 上杉三郎, 原田寿郎, 前田 豊, 山田 誠, 木材学会誌, **45**, 57 (1999).