

平成23年 3月 15日

平成21-22年度
江間忠研究助成事業報告書・概要

1. 研究プロジェクト名

高品質な不燃木材の創出とその技術を用いた耐火壁の開発

2. 研究領域

木材の耐火性能向上に関する技術

3. 研究代表者氏名 杉元 宏行

独立行政法人 産業技術総合研究所 サステナブルマテリアル研究部門
〒463-8560 名古屋市守山区下志段味穴ケ洞 2266-98
mobile: 052-736-7542 fax:052-736-7533

4. 研究概要

4. 1 背景と目的

平成12年度の建築基準法改正を機に、木質材料の不燃化に関する研究が多くなされるようになった。昨今では、国土交通大臣の不燃認定を受けた木質建材も多く見られる。しかし、市販されている不燃木材の特徴として、①白華現象や、それによる塗膜剥離、②長大な製品製造に応じた大型設備の要求、③不燃認定に必要な薬液量が不明な点などの問題が顕在化してきており、不燃木材の信頼や魅力の低下が起きてしまっている。

このような状況の中、これまで当研究グループでは次のような研究開発を行ってきた。上記①の問題については、潮解性の低い不燃薬剤の製造に成功し、不燃認定をクリアしている。また、②および③の問題に対して、不燃薬液を含浸した単板を積層した合板と集成材の開発を行った。この材料は、製材では無く単板へ薬液含浸を行うため、均質に薬液を含浸可能であること、また、材料寸法の制限が少なくなり、大断面の柱材や、長大な壁材の製造可能であることといった特徴を有している。

しかし、実用化に当たって、不燃認定の薬液最適条件（研究課題（1））、吸湿乾燥繰り返し（研究課題（2））や耐候性（研究課題（3））等の評価が必要となってくる。また、目的の構造材には、1時間耐火（研究課題（4））のクリアが求められている。そこで、本研究では、上記の研究課題（1）～（4）をクリアすることにより、不燃木材および耐火壁作成に関する技術の確立を目指す。これらの検討により、高耐候性の不燃性能を持つ不燃木材およびそれを用いることで可能となる不燃木材のみの耐火壁を作製することが可能となる。

ここで、研究課題（1）不燃認定の薬液最適条件については、他の研究課題の性能を満足する物でなければいけない。研究課題（2）については、単板の樹種、単板の配向および接着剤の種類によって、接着性能が規定の性能を満足しなくなる可能性があるため、それぞれについて接着性能を調査する必要がある。研究課題（3）については、塗料の差による検討を行う。研究課題（4）では、上記研究課題をクリアした物について1時間耐火を満たすかどうか、研究課題（1）での裏面温度を調査することで検討する。

4. 2 研究報告

4. 2. 1 不燃性能最適化実験

4. 2. 1. 1 試験片の調製

試験片は、単板の調製、薬液の単板への含浸、単板の接着という工程によって調製した。具体的な条件については、以下に示す。

a. 単板の調製

試験片の原材料として、京都府産スギおよびヒノキの単板を使用した。これまでの研究で樹種としてスギを用いてきたが、燃焼時の繊維方向の収縮がより小さいと経験的に知られるヒノキも比較材料として用いた。原木から所要のサイズの乾燥単板（繊維方向（L）950mm×幅（T）310mm×厚さ（R）3mm）を作製した。

b. 不燃薬液の含浸

単板を 60℃の送風乾燥機で 1 週間静置したものを乾燥条件とした。なお、スギは、心、辺、移行材に分類した。含浸条件としては、まず、アスピレーターによって減圧を 30min 行い、その後、コンプレッサーにより 0.7MPa まで加圧し 30min 保持し、さらにその後 1.2MPa で 30min 加圧した（加圧時間を含めて 3h30m）。また、これらの加減圧時の薬液温度は 50℃に保持した。薬液含浸時の単板の槽内配置として、平積みおよび立て積みの 2 種類について検討した。含浸後、60℃の送風乾燥器内にて 1 週間静置し、乾燥単板とした。

含浸による重量増加率は、平積み含浸で、スギ 90%、ヒノキ 43%であった。一方、立て積み含浸では、スギの心材 89.6%、移行材 103.5%、辺材 144.5%、ヒノキ 92.8%であった。これまでの我々の研究から、同一薬剤を用いた場合少なくとも 80%以上の含浸率がなければ不燃性能をクリアしないことが判っている。平積みによる含浸では薬液量が不十分であったことから、以後の検討には立て積み含浸を行ったものを用いた。平積みが立て積みに含浸量の面で劣る理由として、自重による単板間の密着により薬液が入りにくくなったと考えられる。これまでの検討から、同含浸条件で無垢材への薬液含浸が可能であったことから、単板への含浸機構が無垢材とは異なる可能性があり、その解明にはより詳細な検討が必要と考えられる。

c. 単板接着

接着剤として、イソシアネート系、メラミン系、レゾルシノール系接着剤をそれぞれ使用した。イソシアネート系接着剤として、アイカ製アイボン A U X 500/A U H - 8 を用い、塗布量約 500 g/m² 片面 ロール塗布にて行い、堆積時間 10 分以内とした。その後、約 1.0MP a にて 60 分間冷圧プレスを行った。メーカー推奨の塗布量（360g/m²）を超えたが、単板全面に塗料をいきわたらせる事を優先させた。メラミン系接着剤としてアイカ製メラミン樹脂に小麦粉 10 部、硬化剤 10 部をそれぞれ添加した。塗布量は約 220 g/m² 片面 ロール塗布にて行い、堆積時間 15 分以内とした。その後、約 1.0MP a にて 60 分以上冷圧し、約 1.0MP a にて 80℃で 12 時間熱圧した。尚、ここで、メーカー推奨熱圧温度は 120℃程度であるが、不燃薬液の単板からの吹き出しを考慮し、80℃とし、その分長時間の熱圧時間を与えた。レゾルシノール系としては、アイカ製 PR-10 に PRH1A15 部添加したのものを用いた。塗布量は 300 g/m² とし、堆積時間は 10 分以内とした。その後、60℃の熱板プレスで約 1.0MP a にて 12 時間熱圧プレスを行った。

積層数は 10 層とした。配向による差異を調べるため、繊維配向を揃えたもの（配向）、表層の 2 枚目のみ交差させたもの（一部）、全て交差させたもの（交差）の 3 種類の試験片を作成した。

4. 2. 1. 2 発熱性試験

ISO5660-1に準じた試験方法を基に判定を行った。試験は、東洋精機製コーンカロリメーターを使用した。ここで、加熱開始から20分間の総発熱量が8MJ/m²以下であること、加熱開始後20分間防火上有害な裏面まで貫

通する亀裂及び穴がないこと、加熱開始後20分間最高発熱速度が10秒以上継続して200kW/m²を超えないことをそれぞれ満たしているものが不燃材料と認定される。

表1. コーンカロリー試験での総発熱量 (MJ/m²)

| 樹種 | スギ | | | ヒノキ | | | |
|----|------|---------|------|---------|---------|------|---------|
| | 接着剤種 | イソシアネート | メラミン | レゾルシノール | イソシアネート | メラミン | レゾルシノール |
| 配向 | | 1.13 | 7.96 | 6.25 | 8.66 | 3.62 | 3.98 |
| 一部 | | 9.18 | 3.63 | 3.33 | 14.90 | 2.81 | 3.65 |
| 交差 | | 7.45 | 4.09 | 2.98 | 10.74 | 4.53 | 3.35 |

総発熱量の結果を表1に示す。これらの値から、イソシアネート系接着剤を用いた試料が、スギ配向を除いて規定値の8MJ/m²を超える結果となった。次に、最大発熱量について示した図が図1である。この図でも、規定値の200kW/m²を超えるものではないが、やはりイソシアネート系の値は高い。そこで、イソシアネート系接着剤を使用した場合に発熱が進む機構について調べるために、ヒノキ一部配向試料の発熱速度と時間の関係を、メラミン系のもものと比較したものが図2である。イソシアネート系の発熱速度は、500sec付近および1150sec付近に極大値をもつピークが確認された。接着剤種の違いによって発熱速度が異なり、また、その発熱は断続的なピークを持つことから、発熱は接着層ごとに生じていると推察された。

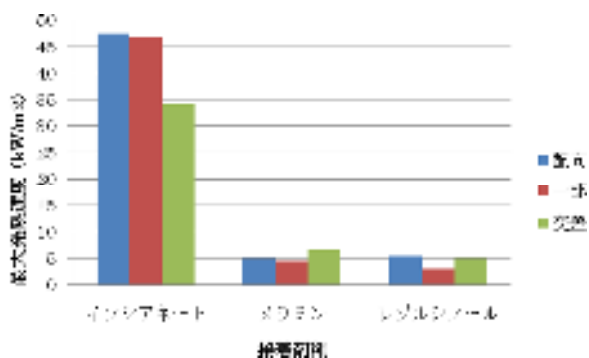


図1 配向および接着剤種によるヒノキの最大発熱速度の差

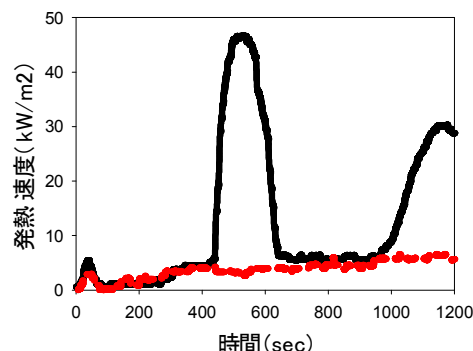


図2 イソシアネート系接着剤使用試料（実線）とメラミン系接着剤（破線）使用試料の発熱速度

4. 2. 2 吸湿乾燥実験

前節では、接着剤の差異による発熱性について調査を行った。ここでは、吸湿乾燥で生じる単板の寸法変化によって、接着剤がその接着力を保持出来るか調査する。使用する単板は、前節で用いた不燃単板と接着剤である。試験は、JAS合板試験に準じて行った。単板の積層は3層とし、引張り方向に対して3層とも繊維方向に配向させたものをL試料、中の層を交差させたものをCとした。吸湿乾燥は、ハストチャンバーを用い、105°C 4時間の環境に試験片を静置し、その後105°Cの送風乾燥器内にて12時間静置することにより行った。比較として20°C60%RH下で1週間静置した試料を気乾試料として準備した。吸湿乾燥過程によって、スギで5%、ヒノキで12%の重量減少が見られた。これは、薬液が溶脱したものと考えられる。

引張りせん断強度の吸湿乾燥による影響を、接着剤種および単板配向別に示したものが図3である。ここで、単板配向を交差させたものの内、イソシアネート系試料の吸湿乾燥過程を履歴したものは、試験前の段階で既

に接着面で剥がれていた。このタイプの試験片は、105°C12時間の乾燥によっても剥がれたこと、繊維配向を揃えたものは剥がれていないことなどから、乾燥による収縮に接着力が保持できなかったと考えられる。また、接着剤によらず、配向させたものは吸湿乾燥させたものの方が気乾より高いせん断強度値を示した。

4. 2. 3 耐候性試験

各種塗料（水系ウレタン、非水系アルキド）を塗装した不燃試験片を、JIS K5600-7-7 における促進劣化試験方法に基づき、スガ試験機製スーパーキセノンウェザーメーターSX75 により、照射(照度 60W/m²、ブラックパネル温度 63°C、相対湿度 50%)102 分と照射 + 降雨(照度 60W/m²、温度 28°C、相対湿度 95%)18 分の条件で 600 時間まで行い、200 時間ごとに色差の測定を行った。その結果、色差変化は、水系ウレタン塗料が非水系アルキド塗料を下回った。また、未処理木材と比較した結果、不燃木材の色差変化がそれを下回った。

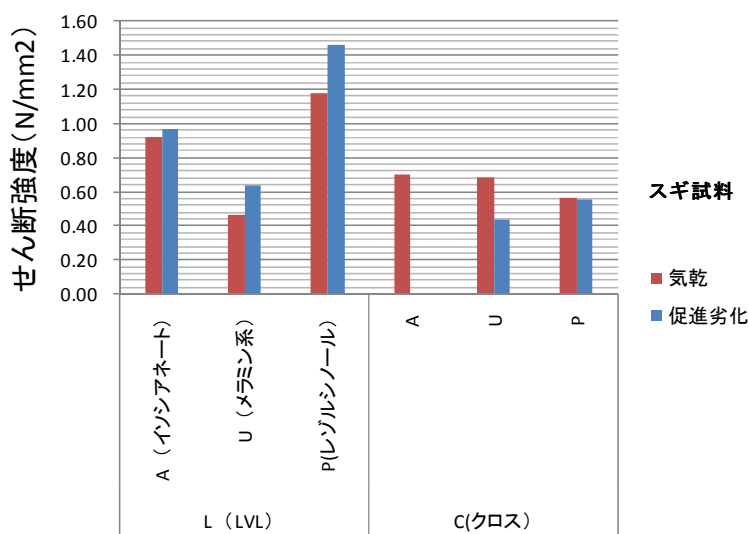


図3 種々の試験片の接着力試験引張せん断強度

4. 2. 4 コーンカロリー裏面温度評価

耐火性能として、ISO834 における性能を満たすために、裏面（非加熱面）での火炎および火炎が通りうる亀裂が生じているかを判断する必要がある。そこで、コーンカロリー試験の際に、裏面温度を計測するとともに、裏面への亀裂について目視を行った。その結果、全ての試験片において、裏面に達する亀裂は確認されず、裏面温度も 200°C を超えるものが無かった。しかしながら、不燃基準をクリアできないものについては、裏面温度が 100°C を超えており、不燃試験との相関がみられた。

4. 3 まとめ

薬液含浸条件については、樹種の影響を調べる目的で、スギおよびヒノキを試験材料として用いて比較検討を行った。その結果、スギについては、辺材、移行材、心材と重量増加率が低くなっていることが確認され、スギとヒノキでは、スギの重量増加率が高いことがわかった。これらの単板から作製された試料について発熱性試験を行った結果から、接着剤種が総発熱量および発熱速度に影響を及ぼすことが明らかになった。また、単板の樹種、単板の配向および接着剤の種類が、接着性能に及ぼす影響について接着力試験を行った結果、繊維方向では吸湿乾燥によってせん断強度が高くなる結果が得られた。また、イソシアネート系接着剤は、乾燥による収縮に接着力が対応できなかったと考えられた。次に塗料の差による検討を行った結果、不燃薬液を含浸させた木材には、水系ウレタン塗膜が好ましいことが示された。最後に、不燃試験時に裏面温度を調査した結果、裏面への亀裂はどの試験片にも見られなかった。また、全ての試験片の裏面温度においても 200°C 以下であった。また、総発熱量が高い試験片ほど裏面温度が高い結果となった。以上より、耐火に適した単板の含浸方法ならびに接着剤選定の指針が出来た。

今後の具体的な検討課題としては、より実用化を見据え、不燃単板への高い濡れ性を持つ接着剤の選定、他材料との接着による性能評価、性能とコストとのバランス等が挙げられる。