

平成29年度 林野庁委託事業

平成29年度

都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業

木質耐火部材開発事業報告書

平成30年3月

木質耐火部材開発委員会

<目次>

| | |
|--|----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 事業概要 | 2 |
| 2.1 事業の目的 | 2 |
| 2.2 事業の実施 | 2 |
| 2.3 事業実施体制 | 4 |
| 2.3.1 委員会構成員 | 4 |
| 2.3.2 委員会の開催 | 4 |
| 2.3.3 実験・見学会 | 5 |
| 3. 本事業の研究目的（これまでの実験から得られた課題） | 6 |
| 3.1 難燃薬剤の最適注入条件 | 6 |
| 3.2 難燃処理単板を接着するための接着剤の検討 | 6 |
| 3.3 難燃処理 LVL ならびに耐火集成材の製造方法の検討 | 6 |
| 3.4 難燃処理 LVL を被覆材とする耐火集成材の耐火性能の検討 | 6 |
| 4. 1 時間耐火性能を得るための単板への最適な難燃薬剤吸収量の選定 | 7 |
| 4.1 経緯・目的 | 7 |
| 4.2 試験方法 | 7 |
| 4.2.1 試験材料 | 7 |
| 4.2.2 注入処理 | 7 |
| 4.2.3 重量測定と薬剤吸収量の算出 | 9 |
| 4.3 試験結果 | 9 |
| 4.3.1 スギ辺材単板と心材単板の単板密度 | 9 |
| 4.3.2 スギ辺材単板と心材単板の難燃薬剤吸収量の差異 | 10 |
| 4.3.3 スギ辺材、心材の単板密度と薬剤注入量の関係 | 11 |
| 4.4 まとめ | 12 |
| 5. 難燃処理単板を接着するための接着条件ならびに接着剤の検討 | 13 |
| 5.1 経緯・目的 | 13 |
| 5.2 試験内容 | 13 |
| 5.2.1 難燃処理 LVL の現場製造条件の検証 | 13 |
| 5.2.1.1 レゾルシノール樹脂系接着剤による現場製造試験（1 回目） | 13 |
| 5.2.1.1.1 製造条件 | 13 |

| | | |
|-------------|-----------------------------------|-----------|
| 5.2.1.1.2 | 現場作業状況 | 14 |
| 5.2.1.1.3 | 接着性能およびホルムアルデヒド放散量評価結果 | 14 |
| 5.2.1.2 | レゾルシノール樹脂系接着剤による現場製造試験（2回目） | 16 |
| 5.2.1.2.1 | 製造条件 | 16 |
| 5.2.1.2.2 | 現場作業状況 | 17 |
| 5.2.1.2.3 | 接着性能およびホルムアルデヒド放散量評価結果 | 17 |
| 5.2.2 | 難燃処理 LVL を使用した構造用集成材への 2 次接着条件の検証 | 18 |
| 5.2.2.1 | TW-36 による 2 次接着の検証 | 18 |
| 5.2.2.1.1 | 接着条件 | 18 |
| 5.2.2.1.2 | 2 次接着面の接着性能について | 19 |
| 5.2.2.1.2.1 | 1 時間耐火試験後の試験体および耐火試験前の試験体の状況確認 | 19 |
| 5.2.2.1.2.2 | 2 次接着面のブロックせん断試験およびナイフテスト評価結果 | 20 |
| 5.2.2.2 | 接着剤の再選定と難燃処理 LVL の単板構成の検討 | 22 |
| 5.2.2.2.1 | 難燃処理 LVL の製造と接着性能評価 | 22 |
| 5.2.2.2.2 | 難燃処理 LVL 製造条件 | 22 |
| 5.2.2.2.3 | 接着性能評価結果 | 23 |
| 5.2.2.2.4 | 難燃処理 LVL の 2 次接着 | 23 |
| 5.2.2.2.5 | 2 次接着条件 | 23 |
| 5.2.2.2.6 | 小断面耐火集成材の 2 次接着面の接着性能評価結果 | 24 |
| 5.3 | まとめ | 26 |
| 5.3.1 | 難燃処理 LVL の製造について | 26 |
| 5.3.2 | 難燃処理 LVL を使用した 2 次接着について | 26 |
| 6. | 難燃処理 LVL の製造工程の改善 | 27 |
| 6.1 | 経緯・目的 | 27 |
| 6.2 | 検証内容 | 27 |
| 6.2.1 | 《事前工程》 | 27 |
| 6.2.2 | 《横ハギ工程》 | 27 |
| 6.2.2.1 | 状況・所見 | 28 |
| 6.2.3 | 《縦継ぎ工程》 | 28 |
| 6.2.3.1 | 縦継ぎ用接着剤 | 28 |
| 6.2.3.2 | 状況・所見 | 28 |
| 6.2.3.3 | 結果 | 30 |
| 6.2.4 | 《プレス(積層接着)工程》 | 30 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.2.4.1 | 積層用接着剤 | 30 |
| 6.2.4.2 | 状況・所見 | 31 |
| 6.2.4.3 | 結果 | 32 |
| 6.3 | まとめ | 33 |
| 7. | 難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた耐火集成部材の性能検証 | 34 |
| 7.1 | 薬剂量、接着剤種類、単板の構成を変化させた難燃処理 LVL 被覆小断面柱の 1 時間加熱試験 | 34 |
| 7.1.1 | 目的 | 34 |
| 7.1.2 | 実験概要 | 34 |
| 7.1.3 | 実験結果 | 38 |
| 7.1.4 | まとめ | 46 |
| 7.2 | 大断面柱加熱試験 | 47 |
| 7.2.1 | 目的 | 47 |
| 7.2.2 | 実験概要 | 47 |
| 7.2.3 | 実験結果 | 50 |
| 7.2.4 | まとめ | 55 |
| 8. | まとめ（結論と今後の課題） | 56 |
| 8.1 | 本事業により明らかになったこと | 56 |
| 8.2 | 今年度検討結果の総括と今後の課題 | 57 |

1. まえがき

日本において、森林資源を活用し、林業・木材産業を成長させるために、新たな木材需要の創出などに着目し、多くの事業が実施されている。その中の一つとして、都市部の建築物等の木質化、木造化による木材利用が期待されている。建築物等の木質化、木造化による木材の利用を促進させるためには、それらを支える新たな製品、技術の開発などが肝要であり、中高層建築物等の木造化では、柱、梁などの主要構造部を対象とした木質耐火部材の開発は重要なテーマである。

平成 28 年度林野庁補助事業であった「新たな木材需要創出総合プロジェクト事業」の「都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及」に区分された課題として「木質耐火部材開発」が採択された。この事業では、難燃薬剤を使用した木質耐火部材の課題であるラミナ内に難燃薬剤を均等に固着させる技術や難燃薬剤処理されたラミナ相互を貼り合わせる接着方法などを改善することを目的として実施した。その検討結果として、中高層建築物等の木造化に向けた木質耐火部材として、難燃薬剤を注入した単板を積層接着した LVL（難燃処理 LVL）を活用する新たな製品・技術の開発を行った。この事業により、従来の難燃薬剤を使用した木質耐火部材と比べ、単板内に難燃薬剤が均等になるよう処理することが容易になり、耐火集成材の燃え止まり層の厚さを薄くできる可能性も示された。中高層建築物等の柱、梁などの主要構造部に用いられる 1 時間の耐火性能を有する難燃処理 LVL を使用した木質耐火部材の設計仕様の見通しが示された。

それらの成果を踏まえ、平成 29 年度は、製品化に向けた製造コストの低減などに鑑みて、難燃処理 LVL に用いる単板に難燃薬剤を浸透させる場合の最適化、難燃薬剤を注入した単板を貼り合わせた難燃処理 LVL の接着剤および接着方法などの最適化などの課題をあげ、事業を実施した。本事業では、難燃薬剤を単板に注入させる生産ラインの条件などを考慮した難燃処理 LVL の製造管理や難燃処理 LVL を貼り合わせた木質耐火部材の製造工程など、品質管理に配慮した製品化に向けた検討も実施された。本事業で設置した木質耐火部材開発委員会には、木材の難燃化を専門とする有識者や難燃処理 LVL を使用した木質耐火部材の生産管理の統計処理を専門とする有識者などにもご参画いただき、多角的な検討を実施した。

本事業の成果が、都市の木質化等に向け、中高層建築物等の木造化の木質耐火部材の技術として活用され、新たな木材需要創出の一助となれば幸いである。

平成 29 年 3 月 12 日
木質耐火部材開発委員会
委員長 大宮 喜文

2. 事業概要

2.1 事業の目的

公共建築物等木材利用促進法の施行に伴い、大規模耐火木造建築への関心が高まり、耐火性能を有する木質耐火部材の開発が進められている。申請者は平成 28 年度の都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業において、共同提案者である大成建設株式会社とともに、杉材の単板に難燃薬剤を注入し、積層接着した LVL を燃え止まり層に用いた 1 時間耐火集成材の開発に取り組んできた。本仕様は単板に難燃薬剤を注入するため、均一な薬剤処理が可能となり、また燃え止まり層に不燃処理と同等の防火性能を付与することで、燃え止まり層の厚さを既存の耐火木質部材よりも薄くすることができる。そのため製造コストの低減につながり、従来の製品よりも安価な製品の製造が期待できる。平成 28 年度は主に難燃薬剤の単板への最適注入方法、難燃処理単板を接着するための接着剤の選定、並びに難燃処理 LVL の製造方法の検討を進め、得られた知見を元に設計を行った耐火集成材の仕様にて、目的とした 1 時間の耐火性能が得られることを明らかにした。

一方で製品化に向けた課題としては、①難燃処理 LVL における最適な難燃薬剤吸収量の選定、②難燃処理 LVL の接着剤の検討、③難燃処理 LVL の製造工程の改善が必要であり、更なる合理化、低コスト化を目指す上で、これらの課題の解決は必要不可欠であると考えられる。

本事業では前年度の結果より得られた上述の課題に取り組み、これらを改善した耐火集成部材における耐火性能の検証を行うことを目的として活動を行う。

2.2 事業の実施

難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた耐火集成部材の耐火性能を検証するため、下記の課題に取り組んだ。

(1) 1 時間耐火性能を得るための単板への最適な難燃薬剤吸収量の選定

平成 28 年度事業にてスギ辺材単板に難燃薬剤を $300\text{kg}/\text{m}^3$ を処理した LVL を用いることで、耐火集成部材として 1 時間の耐火性能を付与出来ることが明らかとなった。スギ辺材単板は薬剤の浸透性が高く、そのため難燃薬剤の吸収量のコントロールが難しい。しかし更なる低コスト化を図る上では、難燃薬剤の吸収量を適正值に抑えることが求められる。そのため、難燃薬剤吸収量のコントロールを図るべく、スギ心材単板の使用、ならびに注入条件の見直しを実施した。

(2) 難燃処理 LVL の接着剤の検討

平成 28 年度事業において、難燃薬剤処理されたスギ単板を接着する場合には、レゾルシノール樹脂を使用することで安定した接着性能を有する LVL が製造出来る可能性を見出した。そこで実際にレゾルシノール樹脂を使用して、既存ラインでの LVL 現場製造が可能かどうか、既存ラインの作業性に合わせた接着剤主剤の選定および糊液配合、接着条件等の検討を行った。また一方で、製造した難燃処理 LVL を耐火被覆材として構造用集成材に 2 次接着する際のレゾルシノール樹脂についても検討を行った。

(3) 難燃処理 LVL の製造工程の改善

平成 28 年度事業において難燃処理単板の接着には、フェノール樹脂よりもレゾルシノール樹脂が有効と判断された。しかし、LVL の製造販売を行うオロチ社では従来、通常の LVL 用の単板の接着にはフェノール樹脂を使用しており、実大材量産機はその仕様に基づき設計がされている。常温接着を主とするレゾルシノール樹脂は粘度や可使時間など性質が異なることから、使用上の問題点を明らかにするため実大材量産機を使用し連続生産の可能性についての検証を行った。

(4) 難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた耐火集成部材の性能検証

難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた耐火集成部材について以下の性能を把握することを目的に耐火試験を実施した。

- ①難燃処理 LVL の接着性向上のための対策（薬剤量、接着剤種類、単板の構成）が耐火集成部材の耐火性能に及ぼす影響
- ②接着性を改良した難燃処理 LVL を被覆材とする大断面木柱の 1 時間の耐火性能把握



写真 2.2-1 各耐火性能試験における試験体の様子

左から①小断面木柱、②大断面木柱

2.3. 事業実施体制

2.3.1 委員会構成員

本事業を推進する為に、学識経験者、各メーカー等で構成される委員会を設置し、共同で事業に取り組むことによって効果的な事業の実施を図った。

委員会の構成員を表 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.1-1 委員会の構成員

| 氏名 | 所属 |
|-------------|----------------------|
| 大宮 喜文 (委員長) | 東京理科大学 理工学部 建築学科 教授 |
| 郡司 天博 | 東京理科大学 理工学部 先端化学科 教授 |
| 安井 清一 | 東京理科大学 理工学部 経営工学科 講師 |
| 神谷 匠 | 林野庁 林政部 木材産業課 |
| 森田 仁彦 | 大成建設株式会社 |
| 若山 恵英 | 大成建設株式会社 |
| 道越 真太郎 | 大成建設株式会社 |
| 池畠 由華 | 大成建設株式会社 |
| 松尾 浩樹 | 大成建設株式会社 |
| 鳥羽 展彰 | 銘建工業株式会社 |
| 植田 成治 | 株式会社オーシカ |
| 清水 淳一 | 株式会社オロチ |
| 日景 孝 | 秋田グルーラム株式会社 |
| 内野 吉信 | ジャパン建材株式会社 |
| 松本 義勝 | 越井木材工業株式会社 |
| 山口 秋生 (事務局) | 越井木材工業株式会社 |
| 内藤 俊介 (事務局) | 越井木材工業株式会社 |
| 佃 夏恵 (事務局) | 越井木材工業株式会社 |
| 羽田 隆之 (事務局) | 越井木材工業株式会社 |

2.3.2 委員会の開催

事業を円滑に推進するため、表 2.3.2-1 に示す通り 2 回の委員会と 2 回のワーキンググループ (WG) を実施した。

表 2.3.2-1 委員会およびワーキンググループの実施

| | 日時 | 場所 | 主な審議事項 |
|--------------|---------------------|-------------------|--|
| 第 1 回 委員会 | 平成 29 年 6 月 23 日 | フクラシア 品川高輪口 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 事業計画の決定 ・ 今後の試験計画について |
| 第 1 回 WG | 平成 29 年 9 月 8 日 | フクラシア 東京ステーション | <ul style="list-style-type: none"> ・ 難燃処理 LVL の接着剤の検討結果について |
| 第 2 回 WG | 平成 29 年 11 月 8 日 | フクラシア 東京ステーション | <ul style="list-style-type: none"> ・ 実大材量産機による難燃処理 LVL の製造について |
| 第 2 回 委員会 | 平成 30 年 2 月 21 日 | フクラシア 東京ステーション | <ul style="list-style-type: none"> ・ 大断面木柱の耐火性能試験について |

2.3.3 実験・見学会

事業を円滑に推進するため、表 2.3.2-1 に示す通り 2 回の耐火試験を実施した。

表 2.3.3-1 実験・見学会の実施

| | 日時 | 内容 | 場所 |
|----|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| 実験 | 平成 29 年 10 月 4 日 10 月 11 日 | 難燃処理 LVL の接着性向上のための対策が耐火集成部材の耐火性能に及ぼす影響の検証 | 大成建設(株) 技術センター 防耐火実験棟 多目的炉 |
| 実験 | 平成 30 年 1 月 15 日 1 月 19 日 | 接着性を改良した難燃処理 LVL を被覆材とする大断面木柱の 1 時間の耐火性能把握 | 大成建設(株) 技術センター 防耐火実験棟 多目的炉 |

3. 本事業の研究目的（これまでの実験から得られた課題）

本事業の研究では、これまでに参加企業各社が共同で行った試験の結果から得られた知見をもとに、各検証を行った。下記に平成 28 年度の実験から得られた結果の概要をまとめる。

3.1 難燃薬剤の最適注入条件

スギ単板における薬剤吸収量に影響を与える因子として、加圧時間、薬剤濃度、単板密度、設備要因が挙げられた。この内、より薬剤吸収量に直接的な影響を及ぼすと考えられる加圧時間と薬剤濃度の管理を行い、適正な薬剤吸収量を確保することが必要と判断された。

3.2 難燃処理単板を接着するための接着剤の検討

難燃処理単板の接着について、フェノール樹脂では安定した接着性能を得ることが出来ず、レゾルシノール樹脂を使用すれば一定の接着性能が得られることがわかった。

3.3 難燃処理 LVL ならびに耐火集成材の製造方法の検討

難燃処理 LVL を実大材量産機で製造する際の課題として、各ライン設備への難燃薬剤の染み出しによる付着物の増加が挙げられた。これらの付着物は除去作業が必要になり生産性、工程ロスにつながる可能性が挙げられた。

3.4 難燃処理 LVL を被覆材とする耐火集成材の耐火性能の検討

小断面梁の耐火性能試験を実施し、検討仕様（被覆材：難燃処理 LVL 25mm 厚×2 層を相じゃくり型で接着、化粧材：スギ板 5mm 厚）において、荷重支持層の炭化は無く、1 時間の耐火性能を有すると判断された。しかし被覆材である難燃処理 LVL の一部に接着が不十分な箇所が見られた。接着不良は加熱時の難燃処理 LVL の脱落に繋がる可能性があるため、対策が必要と判断された



写真 3.4-1 試験前の試験体



写真 3.4-2 難燃処理 LVL の接着不良

4. 1 時間耐火性能を得るための単板への最適な難燃薬剤吸収量の選定

4.1 経緯・目的

これまで難燃処理 LVL には薬剤吸収量確保の観点からスギ辺材単板のみを使用してきた。その結果、平成 28 年度事業においてはスギ辺材単板に難燃薬剤を 300kg/m^3 処理した LVL を用いることで、耐火集成部材として 1 時間の耐火性能を付与出来ることが明らかとなった。しかしながら、スギ辺材単板は薬剤の浸透性が高いがゆえに、難燃薬剤の吸収量のコントロールが難しく、注薬缶内圧力や加圧時間などの注入条件のみでは対応が難しい。一方で耐火集成材の製品化に向けて更なる低コスト化を図る上では、難燃薬剤の吸収量を適正值に抑えることが求められる。

そこで本章では、薬剤の浸透性が辺材よりも低いことが知られている心材の単板を用い、辺材との注入性の比較を行うとともに、注入条件の見直しを行うこととした。

4.2 試験方法

4.2.1 試験材料

スギ単板は全て、株式会社オロチから手配したスギ辺材単板とスギ心材単板を使用した。単板は長さ $1,300\text{ mm}$ × 幅 $1,368\text{ mm}$ × 厚さ 3.8 mm で仕入れを行ったが、そのままのサイズでは難燃薬剤を処理する注薬缶に投入が出来ないため、幅方向にカットし、試験材料は全て長さ $1,300\text{ mm}$ × 幅 682 mm × 厚さ 3.8 mm とした。単板の含水率は針式含水率計を用いて抜き取りで測定を実施し、辺材単板と心材単板のいずれも 10% 未満であった。

4.2.2 注入処理

単板への薬剤注入処理はリン酸ホウ酸系難燃薬剤の 40% 作業液を用いて、越井木材工業株式会社にて実施した。注薬缶は内容積 10.7 m^3 のものを用い、表 4.2.2-1 の圧力条件にて注入処理を行った。この時、加圧工程の工程時間は最大圧となる 1.60 MPa まで到達した時点で終了とした。注薬缶への単板の投入枚数や注入処理日は各回で異なるため、表 4.2.2-2 に示した。この内、スギ辺材単板については本委託事業締結前のデータとなるが同条件での比較のために記載する。

表 4.2.2-1 注入処理における圧力条件

| 工程 | 時間 | 圧力 (MPa) |
|-----|------|----------|
| 減圧① | 40 分 | -0.08 |
| 加圧 | 1 秒 | 1.60 |
| 減圧② | 40 分 | -0.08 |

表 4.2.2-2 スギ辺材、心材単板枚数と注入日

| 単板 | サイズ (mm) | 素材手配枚数 | 対象注入枚数 | 注入日 |
|------|---------------|--------|--------|---------------------|
| スギ辺材 | 1,300×682×3.8 | 2,306 | 1,385 | 平成 29 年 5 月 23、24 日 |
| スギ心材 | 1,300×682×3.8 | 810 | 292 | 平成 29 年 8 月 29 日 |

※ 対象注入枚数：スギ辺材は密度 0.295～0.354 の範囲のものを対象として注入したため、注入性の評価は同密度範囲の 292 枚の心材単板とで行う



写真 4.2.2-1 注薬缶外観



写真 4.2.2-2 注薬後の辺材単板

4.2.3 重量測定と薬剤吸収量の算出

単板の重量測定は注入前後の重量について表 4.2.2-2 の対象枚数を測定した。測定は注入処理日の前後 2 日以内で、注入前重量と注入後重量を測定し、注入前の単板密度、薬剤注入量、ならびに薬剤吸収量を下式にて算出した。

$$\text{単板密度 (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{注入前重量 (kg)}}{\text{単板体積 (m}^3\text{)} \times 1000}$$

$$\text{薬剤注入量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{注入後重量 (kg)} - \text{注入前重量 (kg)}}{\text{単板体積 (m}^3\text{)}}$$

$$\text{薬剤吸収量 (kg/m}^3\text{)} = \text{薬剤注入量 (kg/m}^3\text{)} \times \text{薬剤濃度 (\%)}$$

4.3 試験結果

4.3.1 スギ辺材単板と心材単板の単板密度

スギ辺材単板と心材単板の単板密度を図 4.3.1-1 に、平均比重を表 4.3.1-1 に示す。

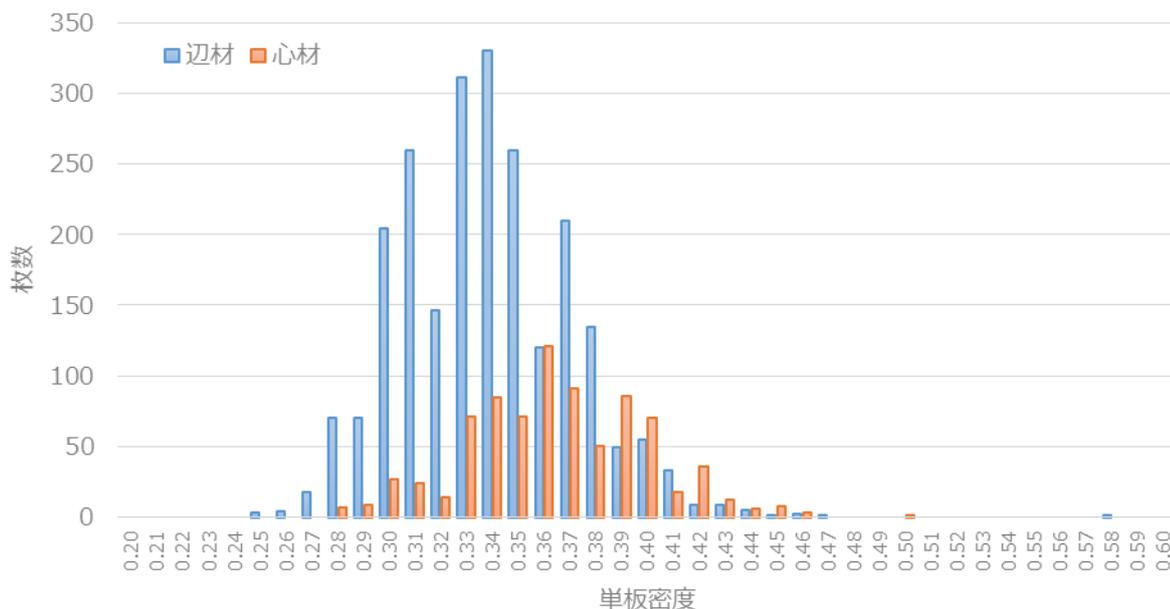


図 4.3.1-1 スギ辺材単板と心材単板の単板密度ヒストグラム

表 4.3.1-1 スギ辺材単板と心材単板の平均密度

| 単板 | 枚数 | 平均密度 (g/cm ³) | 最大密度 (g/cm ³) | 最小密度 (g/cm ³) | 標準偏差 |
|----|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------|
| 辺材 | 2,306 | 0.34 | 0.58 | 0.25 | 0.0327 |
| 心材 | 810 | 0.36 | 0.50 | 0.28 | 0.0345 |

スギ辺材単板の平均密度は 0.34、心材の平均密度は 0.36 を示し、サンプル数は辺材に比べて少ないものの、心材単板の方が高い密度を示した。一方で標準偏差は同等の値を示しており、単板密度のバラつきは同程度であると考えられた。

4.3.2 スギ辺材単板と心材単板の難燃薬剤吸収量の差異

スギ辺材は密度 0.295～0.354 の範囲のものを対象として注入処理を実施したため、同密度範囲の心材単板のみを抽出し、それらの難燃薬剤の薬剤吸収量を図 4.3.2-1 に、薬剤平均吸収量を表 4.3.2-1 示す。

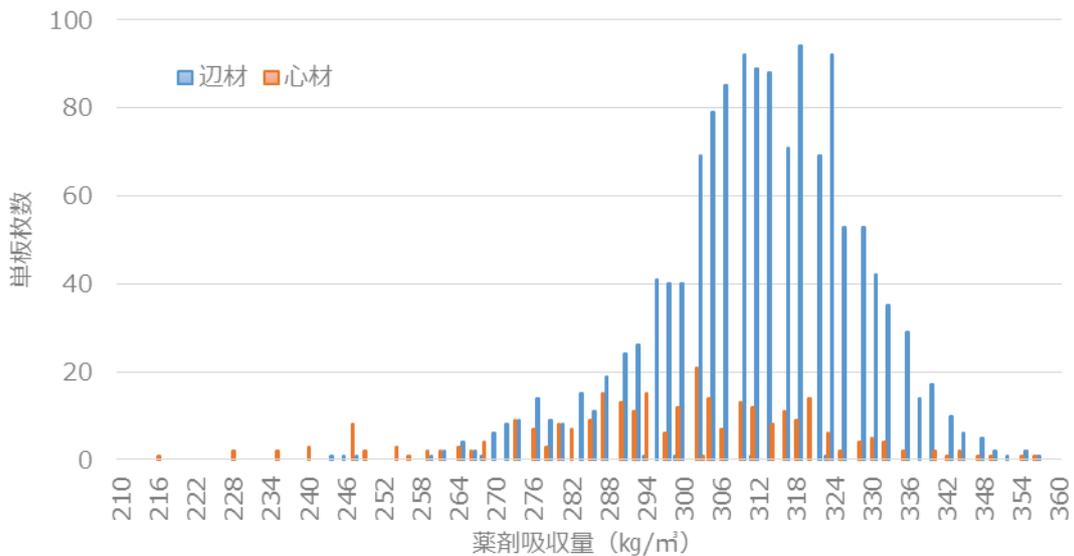


図 4.3.2-1 スギ辺材単板と心材単板の難燃薬剤吸収量ヒストグラム

表 4.3.2-1 スギ辺材単板と心材単板の難燃薬剤平均吸収量

| 単板 | 平均吸収量 (kg/m ³) | 最大吸収量 (kg/m ³) | 最低吸収量 (kg/m ³) | 標準偏差 |
|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| 辺材 | 312 | 357 | 244 | 15.88 |
| 心材 | 297 | 356 | 216 | 23.81 |

難燃薬剤の平均吸収量はスギ辺材で 312kg/m^3 に対して、心材では 297kg/m^3 を示し、 15kg/m^3 心材の方が低い結果となった。このことは辺材よりも心材の液体浸透性が低いこと、さらに心材単板は浸透性が低い節の発生が多くなるため、辺材よりも低い値を示したものと考えられる。一方で、難燃薬剤吸収量のヒストグラム、ならびに薬剤吸収量の標準偏差から、辺材に比べ心材は薬剤吸収量のバラつきが大きいことが明らかとなった。

4.3.3 スギ辺材、心材の単板密度と薬剤注入量の関係

4.3.2 と同じく、密度 $0.295\sim 0.354$ の範囲の辺材単板と心材単板のみを抽出し、それらの難燃薬剤の薬剤注入量との相関を図 4.3.3-1 に示す。

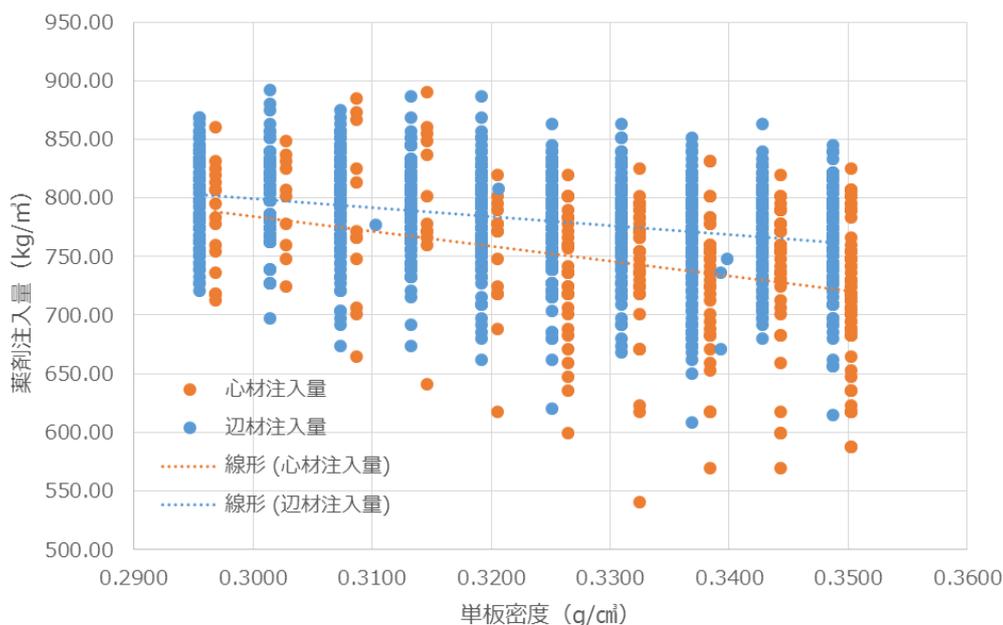


図 4.3.3-1 単板比重と薬剤注入量の関係

辺材単板、心材単板ともに単板密度の増加に伴い、薬剤注入量の減少が認められた。また単板密度に対しての薬剤注入量の減少は心材単板の方が顕著であることが明らかとなった。また薬剤注入量のバラつきについても心材単板の方が顕著であり、特に単板密度が高いものでバラつきが大きくなる傾向が確認された。

4.4 まとめ

適正な薬剤吸収量を確保できる条件を検証すべく、スギ心材単板を用いて難燃薬剤の注入性検証試験を実施した。一般に木材における心材部は辺材部よりも浸透性が低いことが知られていることから、辺材単板と心材単板の比較検証を行ったが、難燃薬剤の平均吸収量においては、心材単板の方が低い値を示したものの、1時間耐火性能の指標となる $300\text{kg}/\text{m}^3$ 程度の薬剤吸収量は心材単板でも十分に確保できることが明らかとなった。

また辺材単板と心材単板では単板密度のバラつきは同程度であったが、同じ単板密度範囲における難燃薬剤吸収量は、心材単板の方でバラつきが大きいことが明らかとなった。このことは同じ単板密度範囲でも辺材より心材の方が薬剤注入量に対して強い負の相関を示している事が影響していると思われる。

今回の結果から安定的且つ、均一的な薬剤量の管理を目指す上では、単板密度、注入性ともにバラつきが少ないという点において、心材よりも辺材の方が LVL の基材として扱いやすいと考えられる。しかしながら、心材の平均薬剤吸収量は辺材と大きくは変わらない値を示しており、これらは単板を積層して製造を行う LVL として使用する場合、そのバラつきを抑えられる可能性があると考えられる。

難燃処理 LVL への心材単板の利用においては当然ながら、接着性の検証や耐火性能の検証については十分に行う必要があるものの、難燃処理薬剤の作業液濃度の管理や LVL 製造における辺材心材の単板構成の検討も併せて行うことによって、ある程度の難燃薬剤量のコントロールは可能と考えられる。またスギ心材の利用は材料の安定供給面や材料コスト面を考慮する上でも重要な意味があり、今後においても積極的な検討課題として取り上げていく必要がある。

5. 難燃処理 LVL の接着剤の検討

5.1 経緯・目的

通常、LVL を製造する接着剤にはフェノール樹脂系接着剤を使用するが、平成 28 年度の委託事業において、株式会社オロチにて難燃薬剤処理されたスギ単板を使用して現場製造試験を行った結果、パンクが生じて LVL 製造が出来なかった。難燃薬剤処理された単板を接着する場合には、フェノール樹脂系接着剤での接着が困難であることが分かってきたため、同年度の委託事業においてフェノール樹脂系接着剤に替えてレゾルシノール樹脂系接着剤を使用し、ラボレベルでの検証を行った結果、安定した接着性能を有する LVL を製造出来る可能性を見出した。今年度では、実際にレゾルシノール樹脂系接着剤を使用して、既存ラインでの LVL 現場製造が可能かどうか、既存ラインの作業性に合わせた接着剤主剤の選定および糊液配合、接着条件等の検討を行った。また一方で、製造した難燃処理 LVL を耐火被覆材として構造用集成材に 2 次接着する際のレゾルシノール樹脂系接着剤についても検討を行った。

5.2 試験内容

5.2.1 難燃処理 LVL の現場製造条件の検証

一つ目の課題として、難燃薬剤処理されたスギ単板を使用した LVL の製造について、通常の LVL 製造に使用されるフェノール樹脂系接着剤に替えてレゾルシノール樹脂系接着剤を選定し、現場製造ラインでの製造条件および製造品の接着性能について検証を行った。

5.2.1.1 レゾルシノール樹脂系接着剤による現場製造試験（1 回目）

レゾルシノール樹脂系接着剤は常温で硬化するため可使時間が短く、通常フェノール樹脂系接着剤を使用している LVL 製造工場いきなり試験を行うことは難しい。そこでその前段階として、柴工業株式会社において現場試験を実施した。

5.2.1.1.1 製造条件

現場での LVL 製造条件を表 5.2.1.1.1-1 に示す。

柴工業株式会社では、8ply を一度に熱圧するホットプレスを使用している。その他、柴工業株式会社のロールコーターは溝無しタイプであり、合板工場や LVL 工場と同じ糊液配合では塗布量の確保が困難であったため、糊液配合時に充填剤（ホット P-2：株式会社オーシカ）を使用し、粘度を高め設定することで目標塗布量を確保した。

表 5.2.1.1.1-1 製造条件

| | |
|------|--|
| 製造場所 | 柴工業株式会社 |
| 難燃薬剤 | 処理量300kg/m ³ |
| 被着材 | 難燃薬剤処理スギ単板 (3.8×682×1300mm) |
| 単板構成 | 8ply |
| 接着剤 | 試作品TW-28 (レゾルシノール樹脂系接着剤：株式会社オーシカ) |
| 糊液配合 | TW-28/D用硬化剤30S/水/ホットP-2=100/12.6/15.4/10 |
| 塗布量 | 150～200g/m ² (片面塗布) |
| 塗布方法 | ロールコーター (糊液供給は手動) |
| 堆積時間 | 10分以内 |
| 熱圧条件 | 140℃×0.8MPa×20分 (8ply×4セット/1プレス) |

5.2.1.1.2 現場作業状況

前述したとおり、レゾルシノール樹脂系接着剤はフェノール樹脂系接着剤と比較して可使時間が短い。主剤の種類や糊液配合条件、雰囲気温度等でも違いがあり、TW-28は比較的可使時間の長いタイプの接着剤であるが、同接着剤を使用して今回の糊液配合条件で作業を進めるにあたり、高温環境下では約60～90分程度で固化してしまう危険性がある。本現場試験の際、雰囲気温度は25～30℃程度であったため、安全を見て糊液を60分以内で使いきれるように主剤10kgとし、使い切るごとに配合して作業を行った。

以上の結果、現場での作業は概ね順調に進み、パンク等の発生も無く順調にLVLの製造を行うことが出来た。

5.2.1.1.3 接着性能およびホルムアルデヒド放散量評価結果

後日、製造したLVLの接着性能およびホルムアルデヒド放散量について、単板積層材の日本農林規格に準じて評価を行った。尚、接着性能評価は温水浸せき剥離試験により評価した。評価結果を表5.2.1.1.3-2に示す。

<温水浸せき剥離試験(要約)>

試験片作成方法：各試料より、1辺が75mmの正形状のものを作成。

試験方法：試験片を70±3℃の温水中に2時間浸せきした後、60±3℃の恒温乾燥器にて100～110%の範囲となるように乾燥。

その後、試験片の4側面における剥離の長さを測定し、同一接着層における剥離の長さの合計を算出する。

評価基準 : 試験片の同一接着層における剥離した部分の長さが、それぞれの側面において3分の1以下であること。

<ホルムアルデヒド放散量測定（要約）>

試験片作成方法 : 表面積が 450cm² (両木口面 (B種構用単板積層材にあつては、長さ方向の木口面とする。) を除く。) となるよう採取する。

採取した試験片は、ホルムアルデヒドを透過しない自己接着アルミニウムテープ又はパラフィンを用いて、両木口面を密封する。

試験方法 : アクリルデシケーター法による。

内容量が約 40L のアクリル樹脂製容器の底の中央部に 20mL の蒸留水を入れた捕集水容器を置き、その上に試験片をのせ、20±1℃で 24 時間放置して、放散するホルムアルデヒドを蒸留水に吸収させて試料溶液とする。試料溶液中のホルムアルデヒド濃度の測定は、アセチルアセトン吸光光度法によって測定する。

評価基準 : 表 5.2.1.1.3-1 に示す。

表 5.2.1.1.3-1 ホルムアルデヒド放散量の基準

| 性能区分 | 平均値 (mg/L) | 最大値 (mg/L) |
|-------|---------------|---------------|
| F☆☆☆☆ | 0.3 | 0.4 |
| F☆☆☆ | 0.5 | 0.7 |
| F☆☆ | 1.5 | 2.1 |
| F☆ | 5.0 | 7.0 |



写真 5.2.1.1.3-1 小口シール済みホルムアルデヒド放散量測定用試験片 (右)
および剥離試験片 (左)

表 5.2.1.1.3-2 LVL の温水浸せき剥離試験およびホルムアルデヒド放散量測定結果

| 試験 No. | 接着剤 | 塗布量 | 堆積時間 | 熱圧時間 | 最大剥離長さ (mm) | 剥離試験合否 | 剥離率 (n=4) | ホルムアルデヒド放散量 |
|--------|-------|------------------|-----------|-----------------------|-------------|--------|-----------|-------------|
| A1 | TW-28 | 150 ～ 200g | 10分 以内 | 140℃ 0.8MPa 20分 | 0 | 合格 | 0.0% | 0.1mg/L |
| A2 | | | | | 0 | 合格 | 0.0% | 0.0mg/L |
| A3 | | | | | 0 | 合格 | 0.0% | 0.0mg/L |
| A4 | | | | | 0 | 合格 | 0.0% | 0.0mg/L |
| A5 | | | | | 0 | 合格 | 0.0% | 0.0mg/L |

以上の結果より、温水浸せき剥離試験においては、剥離することなく良好な接着性能を示した。また、ホルムアルデヒド放散量測定結果についても、すべての試験片で 0.1mg/L 以下となり、F☆☆☆☆であることが確認できた。

5.2.1.2 レゾルシノール樹脂系接着剤による現場製造試験 (2回目)

レゾルシノール樹脂系接着剤を使用した LVL 現場製造において、柴工業株式会社で良好な検証結果が得られたため、次の段階として量産製造を目標に株式会社オロチにて同接着剤を使用した現場製造を実施した。

5.2.1.2.1 製造条件

現場での LVL 製造条件を表 5.2.1.2.1-1 および 5.2.1.2.1-2 に示す。

柴工業株式会社との現場製造条件の相違点は、株式会社オロチではロールコーターが溝付きタイプで比較的糊液粘度が低くても塗布量を確保しやすいことと、単板 2 枚ずつの熱圧を繰り返して 8ply に仕上げるタイプのホットプレスであることの 2 点が挙げられる。従って、糊液配合では充填剤 (ホット P-2) の添加を行わず糊液を調整した。また熱圧時間は合計 10 分で行った。

表 5.2.1.2.1-1 製造条件

| | |
|------|---|
| 製造場所 | 株式会社オロチ |
| 難燃薬剤 | 処理量250～300kg/m ³ |
| 被着材 | 難燃薬剤処理スギ単板 心材および辺材 (3.8×1360×2730mm：横接ぎ、縦継ぎあり) |
| 単板構成 | 8ply |
| 接着剤 | 試作品TW-28 (レゾルシノール樹脂系接着剤：株式会社オーシカ) |
| 糊液配合 | TW-28/D用硬化剤30S/水=100/12.6/15.4 |
| 塗布量 | 200～250g/m ² (片面塗布) |
| 塗布方法 | ロールコーター (糊液供給は手動) |
| 堆積時間 | 2分以内 |
| 熱圧時間 | 10分 (8plyの合計) |

表 5.2.1.2.1-2 単板構成 詳細

| 試験No. | スカーフジョイント用接着剤 | 単板 |
|-------|--------------------|----|
| B | レゾルシノール樹脂系接着剤TW-28 | 心材 |
| C | フェノール樹脂系接着剤D-117 | 心材 |
| D | フェノール樹脂系接着剤D-117 | 辺材 |

5.2.1.2.2 現場作業状況

接着剤塗布方法は、固化防止対策として、同一糊液を長時間放置しないようロールコーターに糊止めを設置、糊液をライン上で循環せずに作業を行った。溝付きロールコーターのため、ホット P-2 の添加無しでも目標塗布量を確保することが出来た。しかし、通常使用しているフェノール樹脂系接着剤と比較して TW-28 の糊液粘度が高いにも関わらず、塗布後に糊液が垂れる現象が生じた。

現場試験時の工場内雰囲気温度は 20℃以下で、糊液も 20℃以下をキープしていた。糊液は初期粘度が約 3.0Pa・s であり、1~2 時間後には 2 倍程度まで上昇したが、固化する様子は認められなかったため糊止めの使用をやめ、フェノール樹脂系接着剤の場合と同様に糊液の循環ラインを使用した。今回の場合においては、現場試験が終了するまで接着剤固化によるライントラブルは発生しなかった。

5.2.1.2.3 接着性能およびホルムアルデヒド放散量評価結果

後日、製造した LVL の接着性能およびホルムアルデヒド放散量について、単板積層材の日本農林規格に準じて評価を行った。尚、接着性能評価は温水浸せき剥離試験により評価した。試験方法、判定基準は前述 5.2.1.1.3 項に記載の内容と同一である。評価結果を表 5.2.1.2.3-1 に示す。

表 5.2.1.2.3-1 現場製造 LVL の温水浸せき剥離試験およびホルムアルデヒド放散量測定結果

| 実験No. | 積層用接着剤 | スカーフジョイント用接着剤 | 被着材 | 最大剥離長さ (mm) | 剥離試験合否 | 剥離率 (n=4) | ホルムアルデヒド放散量 | |
|-------|--------|---------------|------|-------------|---------|-----------|-------------|-------|
| | | | | | | | | |
| B-1 | TW-28 | TW-28 | スギ心材 | 14 | 合格 | 0.2% | - | - |
| B-2 | | | | 15 | 合格 | 0.2% | 0.2mg/L | F☆☆☆☆ |
| B-3 | | | | 7 | 合格 | 0.1% | - | - |
| B-4 | | | | 15 | 合格 | 0.2% | 0.1mg/L | F☆☆☆☆ |
| C-1 | | D-117 | | 0 | 合格 | 0.0% | - | - |
| C-2 | | | | 0 | 合格 | 0.0% | 0.1mg/L | F☆☆☆☆ |
| C-3 | | | | 0 | 合格 | 0.0% | - | - |
| C-4 | | | | 0 | 合格 | 0.0% | 0.1mg/L | F☆☆☆☆ |
| D-1 | スギ辺材 | 0 | 合格 | 0.0% | - | - | | |
| D-2 | | 0 | 合格 | 0.0% | 0.1mg/L | F☆☆☆☆ | | |

以上の結果より、温水浸せき剥離試験において剥離はほとんどなく、良好な接着性を示した。スカーフジョイント用接着剤として、フェノール樹脂系接着剤のディアノール D-117（株式会社オーシカ製）を使用した場合と、積層用と同じ TW-28 を使用した試験を実施したが、積層部の接着性能には性能差は認められなかった。また被着材としてスギ材の心材と辺材についても比較試験を実施したが、この点においても性能差は認められなかった。ホルムアルデヒド放散量測定結果は、すべての試験片で 0.2mg/L 以下となり、F☆☆☆☆であることが確認できた。

5.2.2 難燃処理 LVL を使用した構造用集成材への 2 次接着条件の検証

木質耐火部材を製造するにあたり、接着剤に求められる課題として、耐火被覆材となる難燃処理 LVL の製造の他に、その製造した難燃処理 LVL と木質構造用部材との 2 次接着性も重要となる。2 次接着に求められる作業性と耐火に対する耐久性を考慮し、接着剤としてはレゾルシノール樹脂系接着剤を使用して検証を行った。

5.2.2.1 TW-36 による 2 次接着の検証

平成 26 年度に実施された「CLT 等新たな製品・技術の開発促進事業」において、難燃薬剤処理されたスギラミナの接着について検討が行われており、試作品のレゾルシノール樹脂系接着剤の中から TW-36（株式会社オーシカ製）が選定されている。最初は、この TW-36 を使用して難燃処理 LVL と構造用集成材との 2 次接着を実施し、大断面耐火集成材を製造した。

5.2.2.1.1 接着条件

現場での 2 次接着条件を表 5.2.2.1.1-1 に示す。

表 5.2.2.1.1-1 2 次接着条件

| | |
|------|---|
| 製造場所 | 秋田グルーラム株式会社 |
| 難燃薬剤 | 処理量300kg/m ³ |
| 被着材 | 難燃処理LVL（25mm厚：柴工業株式会社製造品） |
| 構成 | 5mmスギ単板+25mm難燃処理LVL+25mm難燃処理LVL+大断面構造用集成材 |
| 接着剤 | 試作品TW-36（レゾルシノール樹脂系接着剤：株式会社オーシカ） |
| 糊液配合 | TW-36/D用硬化剤＝100/15 |
| 塗布量 | 約800g/m ² （片面塗布） |
| 塗布方法 | 手作業 |
| 堆積時間 | 10分以内 |
| 冷圧 | 1.0MPa×1晩（常温） |

一般的にレゾルシノール樹脂系接着剤の硬化剤としては、パラホルムアルデヒドを主原料とした粉末硬化剤に、水を添加したスラリー状のものを使用するか、ホルマリンを主原料とした液状硬化剤を使用する。今回は、平成 26 年度に実施された「CLT

等新たな製品・技術の開発促進事業」での検証結果より、難燃薬剤処理された材料に対しては、水を添加せずに粉末硬化剤を使用する配合がより良い接着性能が得られると判断した。その他注意事項として、TW-36 は特に温度が高くなる夏場の可使時間が短い。そこで、糊液配合は少量ずつをこまめに作成し、糊液配合から貼り上げまでの時間を極力短くして作業を行った。

5.2.2.1.2 2次接着面の接着性能について

2次接着が完了した大断面耐火集成材について、後日1時間耐火性能試験を実施したが、加熱試験中に外側のLVLが早期に脱落、内側のLVLも加熱試験中には脱落しなかったものの、加熱試験後には簡単にはがせる状態であった。そこで耐火試験前後の難燃処理LVLの2次接着について状況確認を行った。

5.2.2.1.2.1 1時間耐火試験後の試験体および耐火試験前の試験体の状況確認

まず、耐火試験後の集成材と難燃処理LVLとの2次接着部位について確認したところ、ノミを入れると簡単にはがせる程度の状況であった。剝離した難燃LVLの2次接着部の接着層を目視で確認すると、木部破断はほとんどなくLVL側には接着剤が残っていない状態であった(写真5.2.2.1.2.1-1参照)。

また、耐火試験前の試験体をカットしたところ、カットした時点で既に集成材と難燃処理LVLとが密着しておらず、接着層に隙間が出来ている箇所が認められた。難燃処理LVL側には接着剤の痕跡が認められずに界面ではがれている状態であった。尚、今回の2次接着は、難燃処理LVL側に接着剤塗布を行っているため、集成材側に転写した後、LVL側の界面ではがれている状況であることがわかった(写真5.2.2.1.2.1-2)。即ち、乾燥接着の影響は考え難い。



写真 5.2.2.1.2.1-1

耐火試験後に剝離したLVL表面



写真 5.2.2.1.2.1-2

耐火試験前のカットした試験体

5.2.2.1.2.2 2次接着面のブロックせん断試験およびナイフテスト評価結果

前述、耐火試験前の大断面耐火集成材から試験材をカットし(図 5.2.2.1.2.2-1 参照)、2次接着面のブロックせん断試験およびナイフテストを実施した。その結果を表 5.2.2.1.2.2-1 に示す。

<ブロックせん断試験>

各試験材の接着層より、試験面積 $25 \times 25\text{mm}$ の試験片切り出し、荷重速度 $2\text{mm}/\text{min}$.にて試験片を破断させ、せん断強さおよび木部破断率(目視により 10%刻みで読み取る)を求める。

<ナイフテスト>

5cm角にカットした試験材の接着層を常態で強制剥離し、木部破断率(目視により 10%刻みで読み取る)を求める。

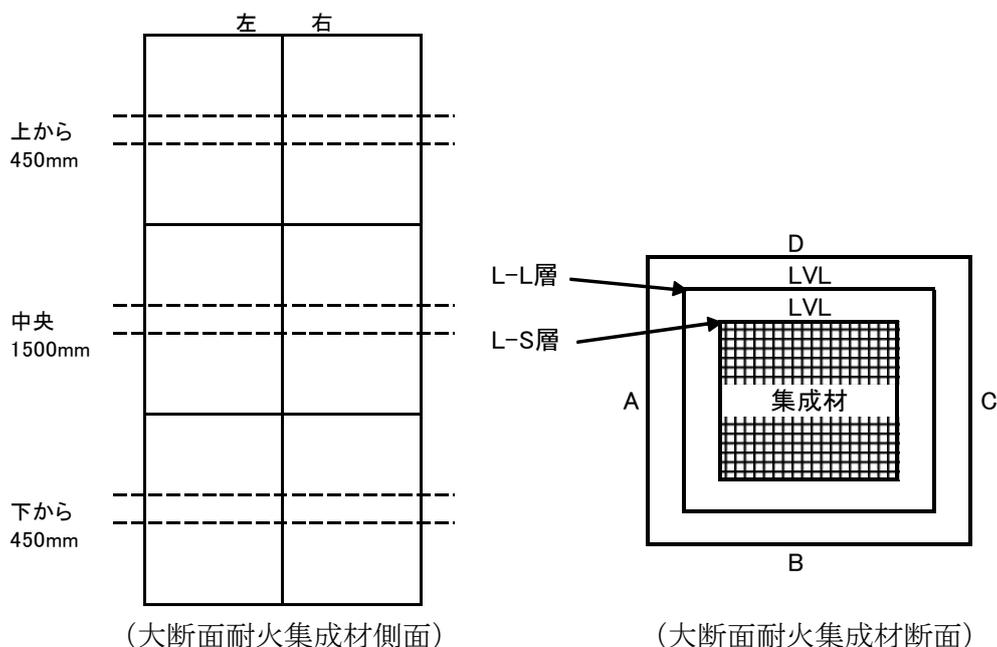


図 5.2.2.1.2.2-1 試験材採取箇所



写真 5.2.2.1.2.2-1 ブロックせん断試験片(左)およびナイフテスト試験片(右)

表 5.2.2.1.2.2-1 ブロックせん断試験およびナイフテスト結果

| 試験材 | | | ブロックせん断 | | ナイフ テスト (木破%) | |
|-----|--------|------|-------------|-----------|---------------------|----|
| 面 | 位置 | 接着層 | 強度 (MPa) | 木破 (%) | | |
| A | 上 | 左L-L | 1.1 | 83 | 100 | |
| | | 右L-L | 3.6 | 77 | 100 | |
| | 中央 | 左L-L | 3.0 | 67 | - | |
| | | 右L-L | 4.2 | 95 | 70 | |
| | 下 | 左L-L | 4.3 | 65 | 50 | |
| | | 右L-L | 4.5 | 80 | 90 | |
| | L-L層平均 | | | 3.5 | 78 | 82 |
| | 上 | 左L-S | - | - | 60 | |
| | | 右L-S | - | - | 0 | |
| | 中央 | 左L-S | 1.8 | 7 | - | |
| | | 右L-S | 0.4 | 80 | 90 | |
| | 下 | 左L-S | 4.1 | 20 | 20 | |
| | | 右L-S | 2.8 | 95 | 90 | |
| | L-S層平均 | | | 2.3 | 51 | 52 |

| 試験材 | | | ブロックせん断 | | ナイフ テスト (木破%) | |
|-----|--------|------|-------------|-----------|---------------------|----|
| 面 | 位置 | 接着層 | 強度 (MPa) | 木破 (%) | | |
| C | 上 | 左L-L | 3.8 | 60 | 100 | |
| | | 右L-L | 3.3 | 7 | 0 | |
| | 中央 | 左L-L | 2.3 | 80 | 80 | |
| | | 右L-L | 2.2 | 10 | 90 | |
| | 下 | 左L-L | 0.7 | 0 | 0 | |
| | | 右L-L | 0.9 | 7 | 0 | |
| | L-L層平均 | | | 2.2 | 27 | 45 |
| | 上 | 左L-S | 4.2 | 65 | 90 | |
| | | 右L-S | 1.2 | 13 | 80 | |
| | 中央 | 左L-S | 0.9 | 3 | 60 | |
| | | 右L-S | 2.3 | 0 | 10 | |
| | 下 | 左L-S | 0.5 | 90 | 90 | |
| | | 右L-S | 1.1 | 87 | 90 | |
| | L-S層平均 | | | 1.7 | 43 | 70 |

| 試験材 | | | ブロックせん断 | | ナイフ テスト (木破%) | |
|-----|--------|------|-------------|-----------|---------------------|----|
| 面 | 位置 | 接着層 | 強度 (MPa) | 木破 (%) | | |
| B | 上 | 左L-L | 3.9 | 90 | 100 | |
| | | 右L-L | - | - | 60 | |
| | 中央 | 左L-L | 4.4 | 87 | 100 | |
| | | 右L-L | 4.6 | 90 | 70 | |
| | 下 | 左L-L | 2.8 | 37 | 20 | |
| | | 右L-L | 2.4 | 3 | 90 | |
| | L-L層平均 | | | 3.6 | 61 | 73 |
| | 上 | 左L-S | 3.3 | 7 | 0 | |
| | | 右L-S | - | - | 0 | |
| | 中央 | 左L-S | 3.3 | 50 | 70 | |
| | | 右L-S | 3.0 | 75 | 40 | |
| | 下 | 左L-S | 1.0 | 30 | 30 | |
| | | 右L-S | 3.6 | 37 | 50 | |
| | L-S層平均 | | | 2.8 | 40 | 32 |

| 試験材 | | | ブロックせん断 | | ナイフ テスト (木破%) | |
|-----|--------|------|-------------|-----------|---------------------|----|
| 面 | 位置 | 接着層 | 強度 (MPa) | 木破 (%) | | |
| D | 上 | 左L-L | 2.6 | 97 | 100 | |
| | | 右L-L | 3.2 | 35 | 10 | |
| | 中央 | 左L-L | 3.5 | 63 | 90 | |
| | | 右L-L | 2.5 | 7 | 60 | |
| | 下 | 左L-L | 2.1 | 27 | 80 | |
| | | 右L-L | 2.9 | 77 | - | |
| | L-L層平均 | | | 2.8 | 51 | 68 |
| | 上 | 左L-S | 3.2 | 60 | 60 | |
| | | 右L-S | 4.0 | 70 | 80 | |
| | 中央 | 左L-S | 4.1 | 60 | 60 | |
| | | 右L-S | 3.2 | 50 | 100 | |
| | 下 | 左L-S | 3.9 | 47 | 50 | |
| | | 右L-S | 3.4 | 63 | - | |
| | L-S層平均 | | | 3.6 | 58 | 70 |

※表内「-」は試験前から剥がれていて、試験片を採取できなかったもの

※※ブロックせん断は各接着層ごとにn=4で実施、表内数値は平均値。ナイフテストはn=1。

耐火集成材の上中下の各断面、表面の4面、LVLとLVLの接着層、LVLと集成材の接着層の各組合せより試験片を切り出して、ブロックせん断試験とナイフテストを実施した結果、せん断強さや木部破断率の数値は様々で、特に傾向はみられなかった。全ての試験箇所を通じて、良好な破断状況を示す試験片があったり、木部破断率が0%で接着が不安定な箇所があったりという状況がみられた。

TW-36は可使用時間が非常に短いことから、①夏場の現場接着作業（作業時推定気温20～33℃）であったために可使用時間が短くなったことと、②難燃薬剤による接着阻害作用（接着剤が薬剤との接触により変質する）により、部分的に難燃処理LVL側の界面で接着が不安定となった箇所が発生した可能性が高いと考えられた。参考までにTW-36の温度別可使用時間目安を表5.2.2.1.2.2-2に示す。

表 5.2.2.1.2.2-2 TW-36 の可使時間目安

| | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| 温度条件 | 5℃ | 10℃ | 15℃ | 20℃ | 25℃ | 30℃ | 35℃ |
| 可使時間 | 120分以上 | 120分以上 | 80～90分 | 20～25分 | 15～20分 | 10～15分 | 5分以内 |

5.2.2.2 接着剤の再選定と難燃処理 LVL の単板構成の検討

前項 5.2.2.1 において、TW-36 の 2 次接着の性能が不安定だったことより、難燃処理 LVL の積層接着にも使用している TW-28 を使用した、2 次接着試験を実施した。更に、接着剤の検討だけでは安定した接着が困難な場合も想定し、難燃処理 LVL の単板構成について、今までどおりの全層薬剤処理単板を使用した LVL に加えて、表裏単板のみを接着に影響の無い薬剤無処理単板に変更した LVL の製造について検討を行った。

5.2.2.2.1 難燃処理 LVL の製造と接着性能評価

全層薬剤処理単板を使用した難燃処理 LVL と表裏単板を薬剤無処理単板とした難燃処理 LVL は、柴工業株式会社にて製造した。

5.2.2.2.2 難燃処理 LVL 製造条件

製造条件を表 5.2.2.2.2-1 および 5.2.2.2.2-2 に示す。

表 5.2.2.2.2-1 製造条件

| | |
|------|--|
| 製造場所 | 柴工業株式会社 |
| 難燃薬剤 | 処理量 250kg/m ³ 、300kg/m ³ |
| 被着材 | 難燃薬剤処理スギ単板 辺材、薬剤無処理スギ単板 心材 (3.8×682×1300mm) |
| 構成 | 8ply |
| 接着剤 | 試作品 TW-28 (レゾルシノール樹脂系接着剤：株式会社オーシカ) |
| 糊液配合 | TW-28/D 用硬化剤 30S/水/ホット P-2 = 100/9/11/10～13 |
| 塗布量 | 160g/m ² 以上 (片面塗布) |
| 塗布方法 | ロールコーター |
| 堆積時間 | 10分以内 |
| 熱圧条件 | 140℃×0.8MPa×20分 (8ply×4セット/1プレス) |

表 5.2.2.2.2-2 単板構成 詳細

| 試験No. | 薬剤処理方法 | 薬剤処理量 |
|-------|--------|---------------------|
| E | 全層処理 | 300g/m ³ |
| F | 全層処理 | 250g/m ³ |
| G | 表裏無処理 | 300g/m ³ |
| H | 表裏無処理 | 250g/m ³ |

単板への薬剤処理方法と単板構成を変更したことに加え、この日は気温が高く製造雰囲気温度が 30℃を超えたため、ライン固化防止対策として、可使時間延長のために糊液配合において硬化剤添加量を削減した。結果、作業性として可使時間に問題はなかったものの、気温の高さが原因で糊液粘度も低下し、前回より塗布量の確保が難しく、塗布量はやや低めの設定となった。

5.2.2.2.3 接着性能評価結果

試験体が少なく、多くの試験材が取れなかったため、ここでは温水浸せき剥離試験による接着性能評価結果のみを表 5.2.2.2.3-1 に示す。試験方法、判定基準は前述 5.2.1.1.3 項に記載の内容と同一である。

表 5.2.2.2.3-1 接着性能評価結果

| 試験片 No. | 薬剤処理量 | 最大剥離長さ (mm) | 剥離試験合否 | 剥離率 (n=2) |
|---------|-------------|-------------|--------|-----------|
| E | 全層処理 300kg | 0 | 合格 | 0.0% |
| F | 全層処理 250kg | 9 | 合格 | 0.3% |
| G | 表裏無処理 300kg | 0 | 合格 | 0.0% |
| H | 表裏無処理 250kg | 7 | 合格 | 0.3% |

以上の結果より、各薬剤処理量、単板構成においても合格判定となり、良好な評価結果が得られた。

5.2.2.2.4 難燃処理 LVL の 2 次接着

次に、柴工業株式会社で製造した前述 4 種類の LVL を使用して 2 次接着を行い、小断面耐火集成材を製造し、2 次接着面の接着性能評価を行った。

5.2.2.2.5 2 次接着条件

接着条件を表 5.2.2.2.5-1 に示す。

表 5.2.2.2.5-1 2 次接着条件

| | |
|------|---|
| 製造場所 | 銘建工業株式会社 |
| 難燃薬剤 | 処理量250kg/m ³ 、300kg/m ³ |
| 被着材 | 難燃処理LVL (25mm厚、柴工業株式会社製造品) (薬剤処理量250kg、300kg、全層処理、表裏無処理) |
| 構成 | 5mmスギ単板+25mm難燃処理LVL+25mm難燃処理LVL+小断面構造用集成材 |
| 接着剤 | 試作品TW-36、TW-28 (レゾルシノール樹脂系接着剤：株式会社オーシカ) |
| 糊液配合 | 主剤/D用硬化剤 = 100/15 |
| 塗布量 | 約800g/m ² (片面塗布) |
| 塗布方法 | 手作業 |
| 堆積時間 | 10分以内 |
| 冷圧条件 | 1.0MPa×1晩 (常温) |

5.2.2.2 項でも記載したとおり、TW-36 の 2 次接着評価結果がよくなかったことから、接着剤主剤として TW-28 を追加し小断面耐火集成材の製造を行った。

5.2.2.2.6 小断面耐火集成材の 2 次接着面の接着性能評価結果

製造した小断面耐火集成材から試験材をカットし（図 5.2.2.2.6-1 参照）、2 次接着面のブロックせん断試験およびナイフテストを実施した。更に今回は、耐火集成材としてのホルムアルデヒド放散量の測定も行った（写真 5.2.2.2.6-2 参照）。尚、ホルムアルデヒド放散量測定方法は検査機関のアドバイスにより集成材の日本農林規格に準じて実施した。これらの結果を表 5.2.2.2.6-1 に示す。

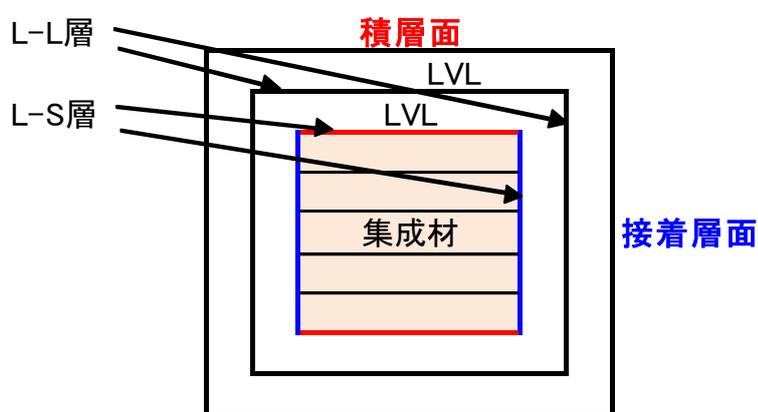


図 5.2.2.2.6-1 試験体断面および試験片採取箇所

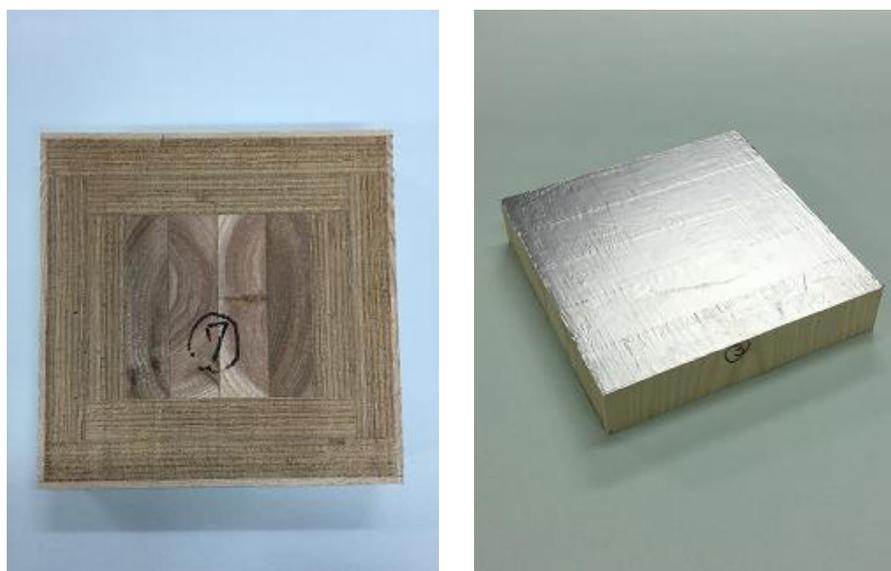


写真 5.2.2.2.6-1 ホルムアルデヒド放散量測定用試験片
(左：シール前、右：シール後)

表 5.2.2.2.6-1 ブロックせん断試験、ナイフテスト
およびホルムアルデヒド放散量測定結果

| 単板構成 | 接着剤 | 接着面 | | 薬剤処理量250kg | | | | 薬剤処理量300kg | | | |
|-------|-------|------|------|------------|--------|--------|-------------|------------|--------|--------|-------------|
| | | | | 平均值 | | ナイフテスト | ホルムアルデヒド放散量 | 平均值 | | ナイフテスト | ホルムアルデヒド放散量 |
| | | | | 強度 (MPa) | 木破 (%) | | | 強度 (MPa) | 木破 (%) | | |
| 全層処理 | TW-28 | 接着層面 | L-L層 | 4.4 | 100 | 100 | 0.2mg/L | 4.2 | 100 | 100 | 0.2mg/L |
| | | | L-S層 | 4.4 | 100 | 100 | | 5.5 | 100 | 100 | |
| | | 積層面 | L-L層 | 3.9 | 100 | 100 | F☆☆☆☆ | 3.6 | 100 | 100 | F☆☆☆☆ |
| | | | L-S層 | 5.5 | 100 | 100 | | 3.0 | 100 | 100 | |
| 表裏無処理 | TW-28 | 接着層面 | L-L層 | 5.9 | 100 | 100 | 0.2mg/L | 6.1 | 100 | 100 | 0.2mg/L |
| | | | L-S層 | 6.1 | 100 | 100 | | 6.2 | 100 | 100 | |
| | | 積層面 | L-L層 | 5.8 | 100 | 100 | F☆☆☆☆ | 4.0 | 100 | 100 | F☆☆☆☆ |
| | | | L-S層 | 8.6 | 100 | 100 | | 6.6 | 100 | 100 | |
| 全層処理 | TW-36 | 接着層面 | L-L層 | 3.8 | 90 | 100 | 0.2mg/L | 3.0 | 45 | 100 | 0.2mg/L |
| | | | L-S層 | 2.6 | 100 | 100 | | 4.0 | 60 | 80 | |
| | | 積層面 | L-L層 | 3.4 | 100 | 100 | F☆☆☆☆ | 3.3 | 80 | 100 | F☆☆☆☆ |
| | | | L-S層 | 6.4 | 95 | 40 | | 3.4 | 85 | 90 | |
| 表裏無処理 | TW-36 | 接着層面 | L-L層 | 4.5 | 100 | 100 | 0.2mg/L | 5.2 | 100 | 100 | 0.2mg/L |
| | | | L-S層 | 6.2 | 100 | 100 | | 7.0 | 100 | 100 | |
| | | 積層面 | L-L層 | 6.2 | 100 | 100 | F☆☆☆☆ | 5.5 | 100 | 100 | F☆☆☆☆ |
| | | | L-S層 | 6.5 | 100 | 100 | | 6.6 | 100 | 100 | |

※ 表内、黄色の部分は、界面破断のあった試験片 (TW-36の全層処理に集中)

各単板構成、薬剤処理量の組み合わせにおいて製造した難燃処理 LVL を使用して、2次接着面の接着性能評価を行った結果、ブロックせん断試験およびナイフテスト共に、全層処理 LVL を TW-36 にて接着した試験体に集中して、界面剥離が見られた。表裏無処理 LVL を使用した試験体の接着は、接着剤の種類に関わらず良好であった。尚、TW-28 を使用した試験体では全層処理 LVL も良好な接着性能を示した。TW-28 は TW-36 より可使用時間が長いこと、および組成的に比較的難燃薬剤による接着剤変質の影響を受けなかったことが要因ではないかと思われる。

以上の結果から、今後、全層処理 LVL を使用して耐火集成材の被覆材とする際には、2次接着には TW-28 を使用したほうが良いと考えられる。一方で難燃処理 LVL の表裏材を無処理材にした場合には、接着剤が薬剤の影響を受けにくくなるため、どちらの接着剤を使用しても良好な2次接着性能が得られるだろう。

ホルムアルデヒド放散量測定結果は、すべての試験体で 0.2mg/L 以下で F☆☆☆☆ となった。但し、耐火集成材のホルムアルデヒド放散量は、被覆材と構造用集成材のホルムアルデヒド放散量、そして2次接着に使用する接着剤の使い方やホルムアルデヒド放散量によって左右されるため、今後もデータ収集が必要であると考えられる。

5.3 まとめ

難燃処理 LVL の接着について、LVL 自体の製造方法と、製造した LVL の 2 次接着方法について検討を行った結果をまとめる。

5.3.1 難燃処理 LVL の製造について

平成 28 年度の委託事業において、フェノール樹脂系接着剤による難燃処理単板の接着を試みたが、パンクが生じて LVL の製造が出来なかった。そこで今回は、レゾルシノール樹脂系接着剤を使用し、現行ラインを使用した現場での製造試験を試みた結果、安定した接着性能を有する LVL を製造することが可能となった。

本事業では、規模および製造ラインの異なる 2 箇所の現場で製造を行った。もともとレゾルシノール樹脂系接着剤は主に集成材工場で使用されており、硬化時間が短くても使用可能な自動混合ラインに合わせて設計されている。今回は、長時間にわたり同一糊液を循環して使用できるフェノール樹脂系接着剤のラインに合わせてレゾルシノール樹脂系接着剤を使用するために、比較的硬化時間の長い品番を選定し、糊液配合により粘度と硬化時間を調整した。比較的気温の低い季節であれば、問題なく使用できることがわかったが、真夏の 30℃や 35℃を超えるような季節にも使いこなせるようにするには、現状のままでは難しい。

この課題を解決するには、LVL 製造ラインにも自動混合機を導入するか、糊液を冷却出来るロールコーターや循環設備の導入などの検討が必要である。または、既存ラインをそのまま利用するには、接着性能を維持して且つ硬化時間を延長できるような樹脂の設計や糊液配合を検討することが必要である。

5.3.2 難燃処理 LVL を使用した 2 次接着について

以前より難燃薬剤処理材の接着用として検討されてきた、レゾルシノール樹脂系接着剤の試作品 TW-36 を使用して検討を開始したが、今回初めて 30℃を超える作業環境下を体験し、TW-36 では糊液配合から硬化するまでの時間が短すぎ、特に時間を要する大断面集成材への接着には不向きであることが判明した。

本事業では、これに代わる接着剤として比較的硬化時間の長い試作品 TW-28 でも 2 次接着試験を実施し、同接着剤により夏場でも安定した接着性能が得られることがわかった。また別の視点からは、製造する LVL の単板構成において、表層の単板を接着性能に影響の出ない薬剤無処理単板に変更することにより、耐火性能を維持しつつ 2 次接着性能も損なうことがない耐火部材を製造できる可能性を見出した。

前者の方法では、LVL 製造現場において、単板の仕組みを気にすることなく製造できるメリットがあるが、硬化時間が比較的長いために、TW-36 とは逆に気温が低い冬場の保温に気をつける必要がある。後者においては、LVL 製造現場で表層部が無処理材となるように単板を仕組む手間がある反面、2 次接着を行う集成材工場においては、特別に難燃処理材のために接着剤を変更することなく、普段使用しているレゾルシノール樹脂系接着剤を使用できる可能性がある。

6. 難燃処理 LVL の製造工程の改善

6.1 経緯・目的

昨年度までの実大材量産機（以下、実機）における難燃処理単板の積層接着ではパンク等の接着不良の発生が課題であった。

そこで接着剤に焦点をあて実験したところ、フェノール樹脂よりもレゾルシノール樹脂のほうが難燃処理単板を接着するのに有効ではないかとの結果を得ることができた。

しかし、オロチ社では従来単板の接着にはフェノール樹脂を使用しており、実機はそれに基づき設計がされている。また、常温接着を主とするレゾルシノール樹脂は粘度や可使時間が違うなど性質が異なることから、使用上の問題点を明らかにするため実機で実際に使用し連続生産の可能性を検証することとした。

6.2 検証内容

6.2.1 《事前工程》

リン酸ホウ酸系薬剤をスギ心材乾燥単板に 300 kg/m^3 を目標に注入し、伊賀プレカット社にて中温送風乾燥、その後オロチ社に搬送(図 6.2.2-1)。

※ 注入量バラツキ有。心材使用初めて。辺材参考程度有。

6.2.2 《横ハギ工程》 '17/10/26 実施



図 6.2.2-1 着荷した薬注単板



図 6.2.2-2 電気式含水率計による測定値



図 6.2.2-3 横ハギ工程

・含水率判定…抜取り簡易法(電気式含水率計・高密度(H)用)で計測した(図 6.2.2-2)。

表 6.2.2-1 合否判定基準

| 合否基準 | 全乾平均値(狙い含水率) | 電気式 平均値 | 電気式 最高値 |
|------|--------------|----------------|----------------|
| オロチ案 | 5% | 12%(MR-200(H)) | 15%(MR-200(H)) |

表 6.2.2-2 測定結果

| 含水率測定法 | 平均値 | 最高値 | 最低値 | 合否判定 |
|----------------|--------|-------|------|------|
| 電気式(MR-200(H)) | 約 7.6% | 約 10% | 約 6% | 合格 |

※一番上と一番下の単板は高含水率のため除いた。

6.2.2.1 状況・所見

薬剤処理単板は重く硬いが壊れやすいこともあり送風乾燥時のハンドリングダメージでかなり割れており、細く割れた部分は除去して横ハギ工程で成形を行った(図 6.2.2-3)。

6.2.3 《縦継ぎ工程》 '17/10/30 実施

・含水率判定…3山の上から3枚ずつを縦継ぎ前に抜取り簡易法(電気式含水率計・高密度(H)用)で計測した。

表 6.2.3-1 測定結果

| 部位 | 含水率測定法 | 平均値 | 最高値 | 最低値 | 合否判定 |
|----|----------------|--------|-------|------|------|
| 心材 | 電気式(MR-200(H)) | 約 6.7% | 約 8% | 約 6% | 合格 |
| 辺材 | 電気式(MR-200(H)) | 約 8% | 約 10% | 約 7% | 合格 |

6.2.3.1 縦接ぎ用接着剤

● レゾルシノール樹脂(TW-28)

・配合

レゾルシノール(TW-28)：硬化剤(スラリー)(スリー内訳：D用硬化剤30S・水)

・粘度測定

…製糊時粘度と1時間経過時の使用粘度を粘度計(リオン株、VT-04F)で計測した。

表 6.2.3.1-1 測定結果

| 粘度測定 | 糊液粘度 | 糊液温度 | 場内温/湿度 |
|--------|---------|-------|-------------|
| 製糊時 | 20dPa・s | 16.6℃ | 19.0℃/31%RH |
| 1時間経過時 | 18dPa・s | 20.8℃ | 18.1℃/29%RH |

● フェノール樹脂(D-117)

・配合

フェノール(D-117)：スカーフ接着基本配合副資材(小麦粉・水等)

・粘度測定…製糊時粘度を粘度計(リオン株、VT-04F)で計測した。

表 6.2.3.1-2 測定結果

| 粘度測定 | 糊液粘度 | 糊液温度 | 場内温/湿度 |
|------|--------|-------|-------------|
| 製糊時 | 7dPa・s | 18.9℃ | 18.2℃/29%RH |

6.2.3.2 状況・所見

縦継ぎ機での接着で以下のことがわかった。

● レゾルシノール樹脂(TW-28)

〈塗布〉

・硬化、固化が早く可使時間が短いので、接着剤を循環させながらトゥルーダ塗布をす

る装置では粘度が上がりポンプアップできない、装置内で固まってしまう等注意が必要であった。

実際にレゾルシノール樹脂を縦継ぎ機に投入したところ、2 kgずつ製糊し継ぎ足しながら使用していた 2 時間は粘度も大きく変わることなく使えることがわかった(表 6.2.3.1-1)。

ただし、レゾルシノール樹脂は 30℃を超えると硬化が進み、40℃を超えると著しく上昇することなので、場内温度、糊液温度が 20℃程度であったことが条件の一つとなつたと思われる。

〈接着〉

- ・縦継ぎ接着については、試験的に行った無処理単板の接着では問題がなかったのだが、難燃処理単板では薬剤注入で高密度になっていることもあるのか、スカーフカット部に接着剤があまり浸透しておらず、スカーフ接合部では接着剤のはみ出しも多く見られた(図 6.2.3.2-1、図 6.2.3.2-2)。

また、接着剤のはみ出し、単板のワレ部分からの染みだし、さらに硬化も早く接着性も強いことから熱圧縮の際に熱板に単板くずや単板自体が貼りつき、接着が続けられず、頻繁に付着物を熱板から除去する作業が生じた(図 6.2.3.2-5、図 6.2.3.2-6)。

除去作業後、縦継ぎ再開し 1~2 枚は接着するがその後には接着不十分になるため、この付着物は熱圧縮の際の熱伝達を妨げる、圧縮している単板が熱板に貼りつきはがすような力を与えてしまうなど縦継ぎ接着を阻害する原因の一つではないかと思われる。

● フェノール樹脂(D-117)

〈塗布〉

- ・フェノール樹脂 D-117 は、従来使用しているフェノール樹脂と同等の粘度なので、塗布装置で問題になることはなかった(表 6.2.3.1-2)。

〈接着〉

・前回縦継ぎ接着工程上問題のない接着が可能であったフェノール樹脂 D-17S の廃番により同等性能である D-117 を使用したが、前回実績のプレス条件ではやや接着が甘かったので、プラス 10℃から 30℃とプレス温度を変えて接着したところ、スカーフ接合部の単板はやや黒ずみ、接着剤も黒くなるが、次の積層接着工程に送れる品質の接着を確認できた(図 6.2.3.2-3、図 6.2.3.2-4)。

熱板の付着物はレゾルシノール樹脂の硬い赤茶色のものとは違い、黒っぽいものも付着していた。しかし、それは比較的軽い感じのものでまだ除去しやすかった(図 6.2.3.2-7)。

(スカーフ接合部画像)



図 6.2.3.2-1
レゾ接合



図 6.2.3.2-2
レゾ接合(木破少ない)



図 6.2.3.2-3
フェノ接合



図 6.2.3.2-4 フェノ
接合(木破多い)

(スカーフ機熱板画像)

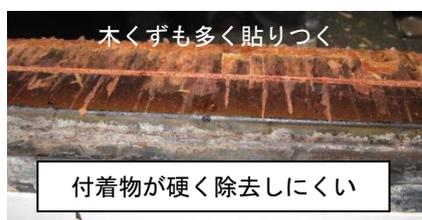


図 6.2.3.2-5
レゾ使用中の熱板



図 6.2.3.2-6 レゾ使用中
の熱板(木片貼りつく)



図 6.2.3.2-7 フェノ使用
中の熱板(黒い付着物)

6.2.3.3 結果

本縦継ぎ機での接着はレゾルシノール樹脂(TW-28)は困難であり、フェノール樹脂(D-117)であれば次の積層接着工程に送れる品質の接着が可能であった。

6.2.4 《プレス(積層接着)工程》 '17/10/31 実施

・含水率判定…1山目の上から2枚をプレス前に抜取り簡易法(電気式含水率計・高密度(H)用)で計測した。

表 6.2.4-1 測定結果

| 部位 | 含水率測定法 | 平均値 | 最高値 | 最低値 | 合否判定 |
|----|----------------|--------|-------|------|------|
| 心材 | 電気式(MR-200(H)) | 約 6.3% | 約 8% | 約 6% | 合格 |
| 辺材 | 電気式(MR-200(H)) | 約 9.2% | 約 10% | 約 9% | 合格 |

6.2.4.1 積層用接着剤

● レゾルシノール樹脂(TW-28)

・配合

レゾルシノール(TW-28)：硬化剤(スラリー)(スラー内訳：D用硬化剤30S・水)

・粘度測定1…製糊時粘度を粘度計(リオン株、VT-04F)で計測した。

表 6. 2. 4. 1-1 測定結果(製糊時粘度)

| | | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|
| 測定時間 | 8:30 | 9:25 | 10:20 |
| 粘度/温度 | 35dPa・s/13.7℃ | 31dPa・s/14.1℃ | 30dPa・s/14.2℃ |
| 測定時間 | 11:15 | 11:50 | 12:40 |
| 粘度/温度 | 31dPa・s/16.6℃ | 30dPa・s/15.1℃ | 31dPa・s/15.7℃ |

・粘度測定 2

…使用経過粘度を循環用樋の出口で受け取り、粘度計(リオン株、VT-04F)で計測した。



図 6. 2. 4. 1-1 循環糊粘度計測の様子

表 6. 2. 4. 1-2 測定結果(循環使用粘度)

| | | | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 測定時間 | 10:00 | 10:50 | 11:30 | 12:45 |
| 粘度/温度 | 50dPa・s/14.0℃ | 47dPa・s/14.5℃ | 52dPa・s/15.5℃ | 65dPa・s/16.5℃ |

6. 2. 4. 2 状況・所見

プレス機での接着で以下のことがわかった。

〈原板(縦継ぎ単板) 搬送〉

・薬剤処理単板は重く硬いため針刺し持ち上げが難しく引っ掛ることが多いのだが、前工程の縦継ぎ接着が不十分なものは薬剤処理単板の脆さから特に搬送時に割れが生じ、補修をしながらの塗布装置挿入となった。



図 6. 2. 4. 2-1 割れの補修跡

〈塗布〉

・レゾルシノール樹脂は硬化、固化が早く可使用時間が短いのでスプレッタと離れた場所にある製糊場からの搬送は行わず、スプレッタ横の循環タンクに製糊した接着剤を投入した。

通常スプレッタと循環タンクの間を接着剤は常に循環し粘度は上昇していくが、フェノール樹脂なら使用可能な状態である。だが今回はレゾルシノール樹脂なので原則的にスプレッタ上部の糊溜まりの接着剤が塗布により減ったら、再び糊溜まりに継ぎ足していく方法を試みた(図 6. 2. 4. 2-2)。

しかし、製糊時粘度約 30dPa・s で問題視されなかったレゾルシノール樹脂はスプレッタ上部の糊溜まりに供給したところ液垂れを起こし、間隙調整を行った後もスプレッタ上側ロール、ドクターロールの端部から使用中ずっと液垂れを起こしていた(図 6. 2. 4. 2-3)。そこで液垂れした接着剤を、樋を使って循環タンクへ戻し、通常時と似た接着剤の循環使用を行いながら使用経過粘度を観察した(図 6. 2. 4. 2-4、表 6. 2. 4. 1-2)。



図 6.2.4.2-2 スプレッダ上部糊溜まり



図 6.2.4.2-3 スプレッダ端部の液垂れ



図 6.2.4.3-4 樋で受け戻し循環

循環タンク内の接着剤の量が少なくなったら 10 kg ずつ継ぎ足し続け、経過粘度を樋の出口で受け計測していったところ、最大で 65dPa・s だったが、塗布や接着剤供給には問題が見られず、今回製造の約 4 時間では連続使用可能であることがわかった。

ただし、縦継ぎ工程時同様、場内温度、糊液温度が約 20℃ 以下であったことが条件の一つではないかと思われる。

〈接着〉

・熱圧縮時にパンク音は確認されず、出来上がった大板についてもフェノール樹脂では感じられないほど硬く強固に接着がされており、簡易ナイフテストや目視では良好な接着状態であった。



図 6.2.4.2-5 木口の泡吹きの状態

熱圧縮後の大板の木口から前回のような泡状の吹き出しは無かったが、大板の表面には薬剤の染み出しのようなものが散見された。また熱圧縮中のハギ目などの透き間からは接着剤か薬剤かの染み出しがあり、熱板に付着し終了後に除去作業が必要だった(図 6.2.4.2-5、図 6.2.4.2-6)。

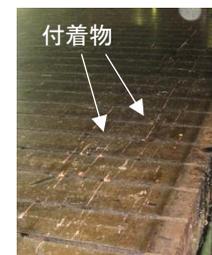


図 6.2.4.2-6 熱板の付着物

6.2.4.3 結果

本プレス機でのレゾルシノール樹脂(TW-28)を用いた積層接着は簡易ナイフテスト、目視において良好な接着状態が確認された。

レゾルシノール樹脂(TW-28)の塗布装置連続使用について、接着剤の搬送経路を短くし、10 kg ずつ継ぎ足しを繰り返す供給方法であれば、接着剤を循環させる連続使用も今回の約 4 時間の製造においては可能であった。

6.3 まとめ

今回の実機での製造検証において、本縦継ぎ機でフェノール樹脂(D-117)であれば次の積層接着工程に送れる品質の接着が可能である。本プレス機での積層接着はレゾルシノール樹脂(TW-28)を用いることで良好な接着状態が確認され、今回の約4時間については連続製造が可能であることがわかった。

ただし、レゾルシノール樹脂は硬化、固化が早く可使時間が短いので、スプレッタ横のタンクへ製糊した接着剤を投入し、継ぎ足しを繰り返す供給方法で製造しなければならない。

また、レゾルシノール樹脂は30℃を超えると硬化が著しく進む性質なので、今回実施した時期の場内温度や糊液温度が約20℃以下であったことを踏まえ、夏の気温下でも使用できる配合や塗布、循環使用方法を探る必要があると考えられる。

さらに、製造過程における析出物の低減、連続生産のための製造条件の見直しが今後の課題である。

7. 難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた耐火集成部材の性能検証

本章では、難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた耐火集成部材について以下の性能を把握することを目的に実施した耐火試験の詳細を示す。

- ①難燃処理 LVL の接着性向上のための対策（薬剤量、接着剤種類、単板の構成）が耐火集成部材の耐火性能に及ぼす影響
- ②接着性を改良した難燃処理 LVL を被覆材とする大断面木柱の 1 時間の耐火性能把握

7.1 薬剤量、接着剤種類、単板の構成を変化させた難燃処理 LVL 被覆小断面柱の 1 時間加熱試験

7.1.1 目的

難燃処理 LVL を被覆層に用いる場合、難燃薬剤が構造材や化粧材との接着に影響を与えることが過去の実験で明らかになっている。そこで、接着性を向上させるために、昨年度までの仕様に以下の追加仕様を加え、小断面柱の 1 時間加熱試験を行った。

表 7.1.1-1 難燃処理 LVL の仕様

| 条件 | 昨年度仕様 | 追加仕様 |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 難燃薬剤量 | 300kg/m ³ | 250kg/m ³ |
| 接着剤種類（レゾルシノール系） | TW-36 | TW-28 |
| 難燃処理 LVL 単板の構成 | 全層難燃処理単板 | 表層のみ無処理単板 |

7.1.2 実験概要

(1) 試験体

試験体断面の構成を図 7.1.2-1 に示す。本研究で開発している部材の断面構成は、化粧材、難燃処理 LVL の被覆材、荷重支持部材からなる。試験体は 8 体で、8 体共通の諸元を表 7.1.2-1 に示す。荷重支持部材は□120mm×高さ 1150mm のスギ集成材で、厚さ 25mm の難燃処理 LVL を相じゃくりで 2 層接着した。LVL 単板はレゾルシノール系接着剤 TW-28 を用いて接着した。化粧材は厚さ 5mm のスギ板とした。試験ケースを表 7.1.2-2 に示す。難燃薬剤量は 250kg/m³、300kg/m³、荷重支持部材、被覆材、化粧材の接着にはレゾルシノール系接着剤 TW-28 または TW-36 を使用した。また、LVL は難燃薬剤を含浸させた単板で全て構成するもの（全層）と、難燃処理 LVL と化粧材、荷重支持部材の接着性を高めるために表層を無処理単板としたもの（コア：図 7.1.2-2 参照）の 2 種類とした。なお、難燃薬剤を含浸させた単板には辺材を用い、無処理単板には心材を用いている。試験体の接着は 9 月に行った。

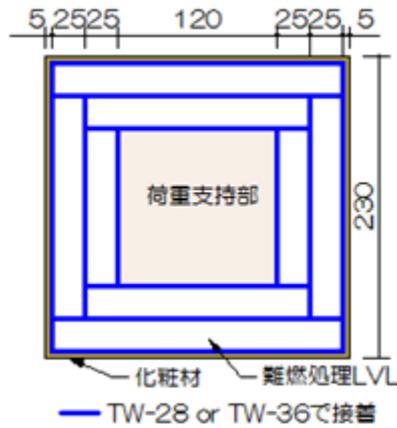


図 7.1.2-1 試験体断面の構成

表 7.1.2-1 試験体諸元一覧 (共通条件)

| | | | |
|--------|-----------|------|-------------------|
| 荷重支持部材 | 構造用集成材 | 材料 | スギ |
| | | | E65-F255 (同一等級構成) |
| | | 断面寸法 | 120mm×120mm |
| 被覆材 | 難燃処理LVL*1 | 材料 | スギ |
| | | 厚み | 50mm (25mm×2枚) |
| | | 薬剤種類 | リン酸・ほう酸系 |
| | | 接着剤 | レゾルシノール (TW-28) |
| 化粧材 | | 材料 | スギ |
| | | 厚み | 5mm |

*1: 単板に難燃薬剤を注入してから積層してLVLを製作

表 7.1.2-2 試験ケース

| 試験体 | S250_28 | S250C_28 | S250_36 | S250C_36 | S300_28 | S300C_28 | S300_36 | S300C_36 |
|-------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 薬剤量(kg/m ³) | 250 | | | | 300 | | | |
| 接着剤種類*1 | TW-28 | | TW-36 | | TW-28 | | TW-36 | |
| 単板の構成*2 | 全層 | コア | 全層 | コア | 全層 | コア | 全層 | コア |

*1: 荷重支持部材、被覆材、化粧材の各層の接着剤でレゾルシノール系 *2: 25mmの難燃処理LVLの製作に単板 3.8m×8枚を使用する。「全層」は全て難燃処理単板で製作、「コア」は接着性を高めるために両側の表層を無処理単板とした

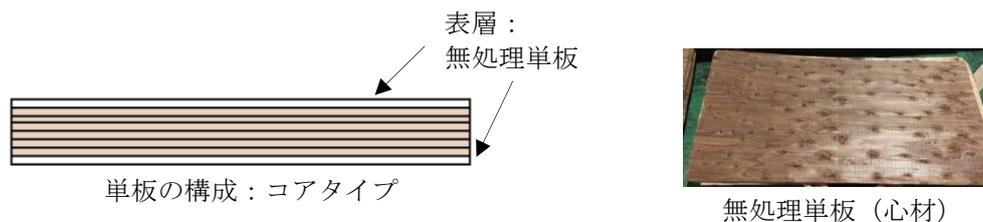


図 7.1.2-2 「コアタイプ」の単板の構成

(2) 実験方法および測定項目

実験は ISO-834 に準拠して 1 時間の加熱を行い、燃え止まるまで炉内で放置した。放冷中の炉内温度は過去に燃え止まり型耐火木造柱の 1 時間耐火試験を試験機関で受験した際の炉内温度を参考に制御した (10/4 は 2017 年度夏季の受験時の放冷温度、10/10 は 2015 年冬季の受験時の温度)。柱試験体は図 7.1.2-3、図 7.1.2-4 に示すように 1 回の試験で 4 体の試験体を加熱した。載荷は行っていない。炭化の進行状況の目安とするために、荷重支持部材の周囲および難燃処理 LVL 層の間にシース型熱電対 ϕ 1.6mm を柱中央高さ 1 断面に設置した (図 7.1.2-5)。

(3) 実験実施日および場所

実験は以下のスケジュールで大成建設多目的炉を用いて行った。

- ・薬剂量 300kg/m^3 : 2017 年 10 月 4 日 (切断 10 月 6 日)
- ・薬剂量 250kg/m^3 : 2017 年 10 月 10 日 (切断 10 月 11 日)

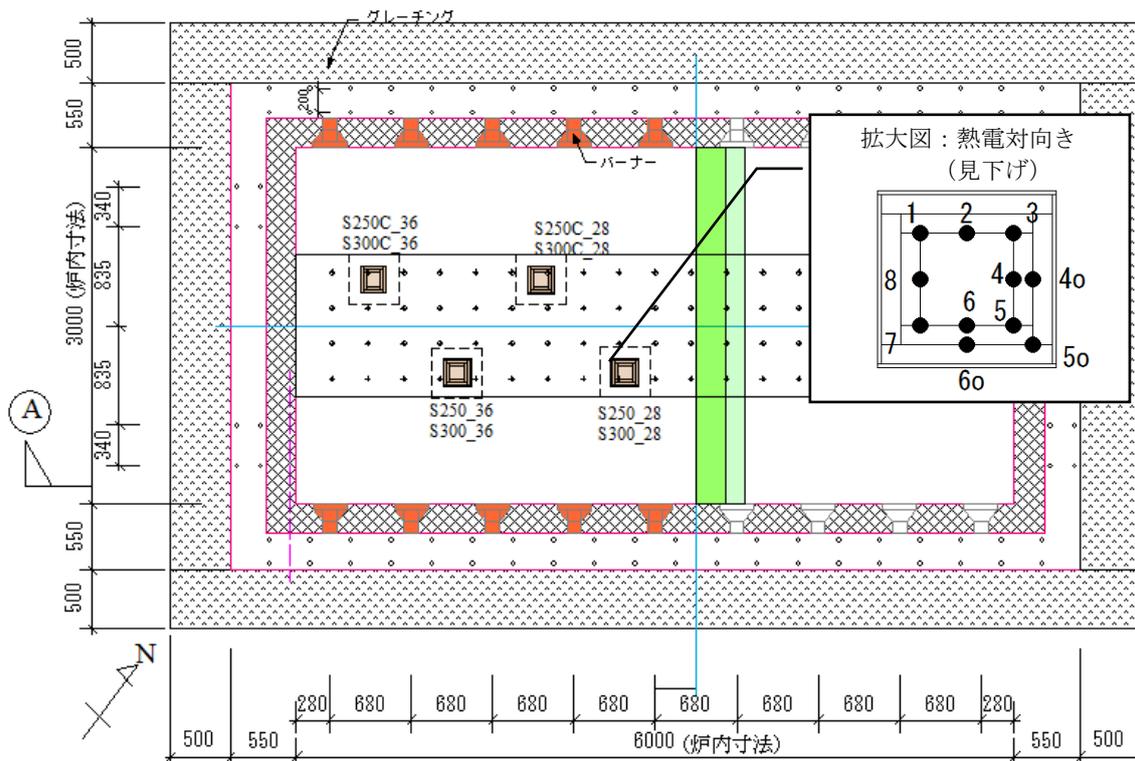


図 7.1.2-3 試験体配置図 (平面図)

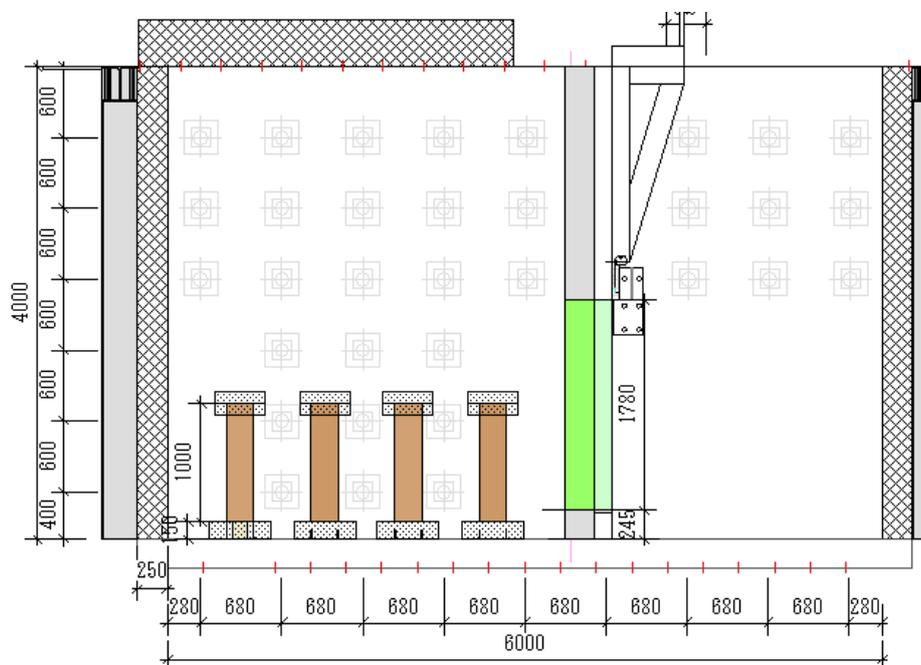


図 7.1.2-4 試験体配置図 (A-A断面図)

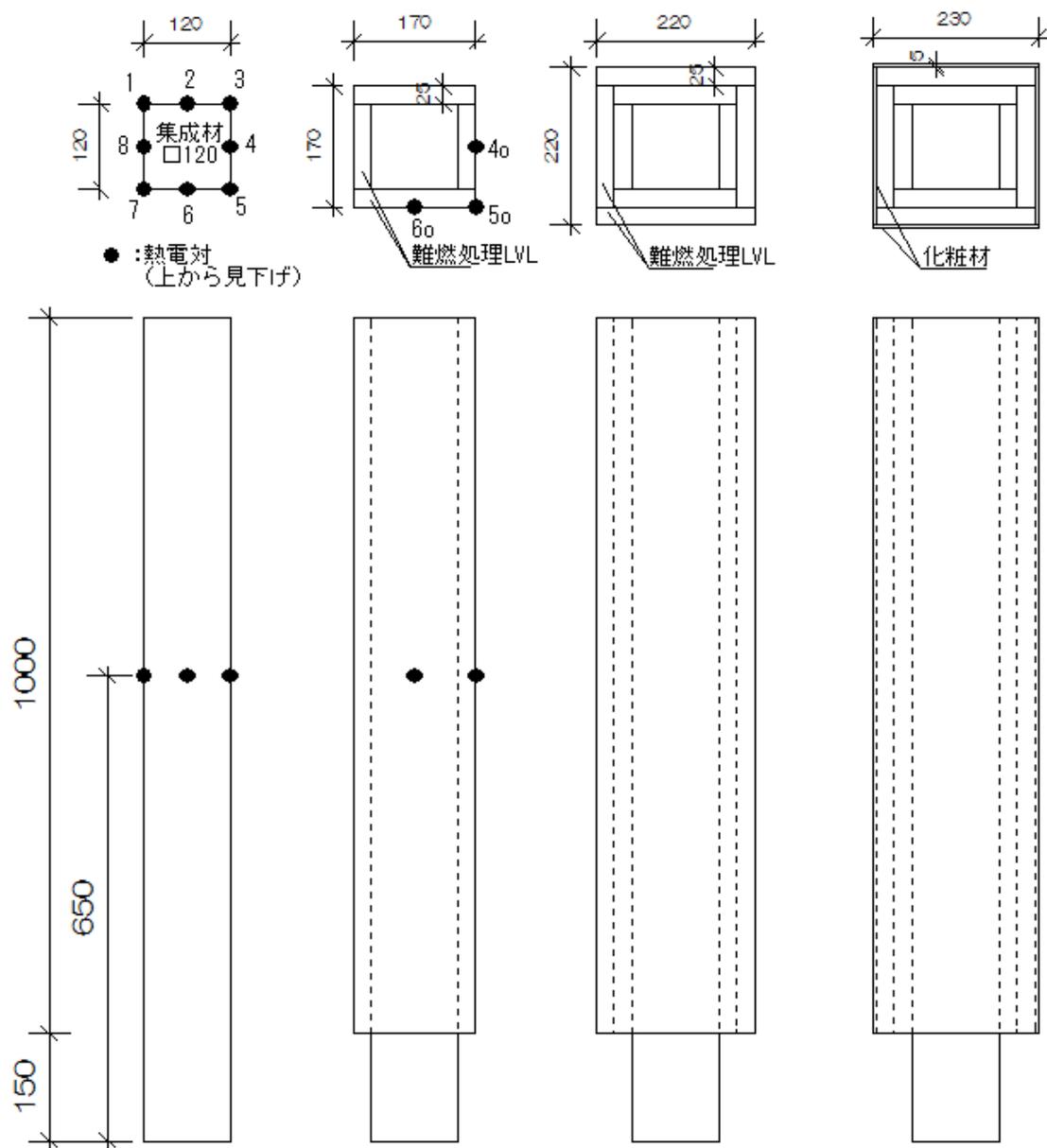


図 7.1.2-5 試験体平面図および断面図、熱電対位置

7.1.3 実験結果

(1) 薬剤量 300kg/m^3

S300_28、S300C_28、S300_36、S300C_36 の試験後の状況を写真 7.1.3-1 に示す。試験開始から約 6 時間後に炉内の状況を確認した時点で、S300C_28 および S300_36 は荷重支持部材が焼失し、S300_28 および S300C_36 は、若干煙が出ていたため試験体に散水を行った。

制御温度と炉内温度を図 7.1.3-1、荷重支持部材周りの温度を図 7.1.3-2～図 7.1.5-

に、難燃処理 LVL 層中央深さの温度を図 7.1.3-6～図 7.1.3-7 に示す。いずれの試験体も着火後 2 時間～3 時間で荷重支持部材温度が木材の炭化温度 260℃を越えた。

試験中に過去の試験で見られたような被覆層の大きな脱落はみられなかった。薬液含浸が「コア」のみの場合、無処理単板が延焼経路になることも考えられたが、「コア」の荷重支持部材温度上昇が早い傾向はなかった。「全層」では「コア」よりも温度のばらつきが生じており接着性能の影響があると考えられる。

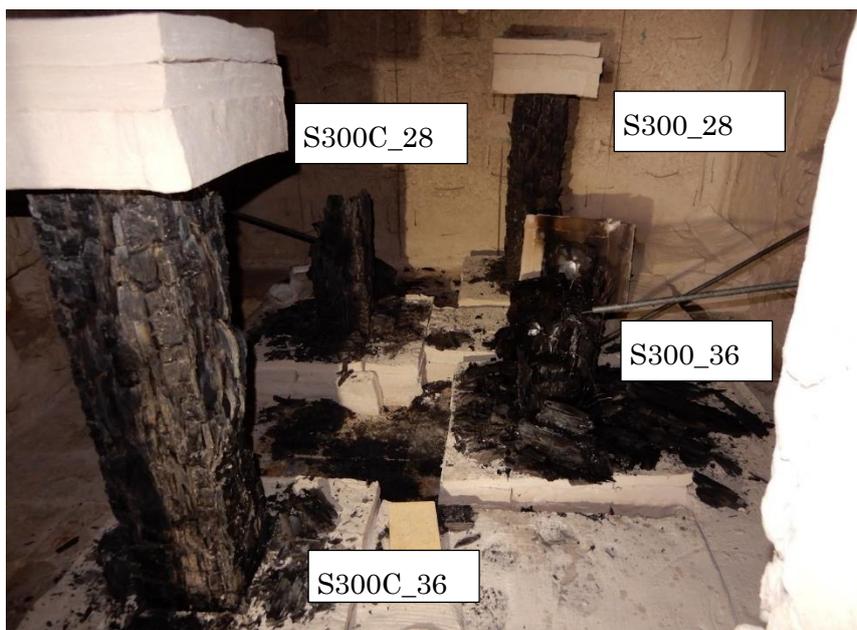


写真 7.1.3-1 試験翌日の試験体の状況 (薬剂量 300kg/m³)

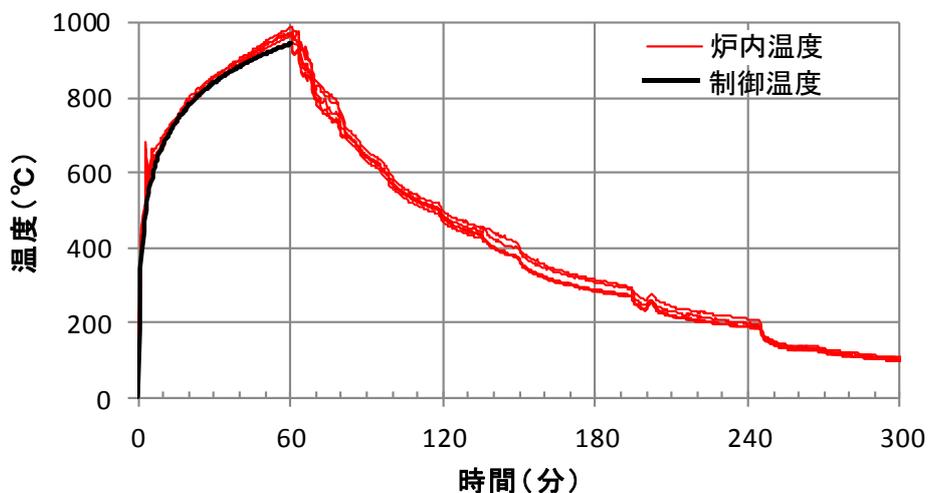


図 7.1.3-1 制御温度と炉内温度

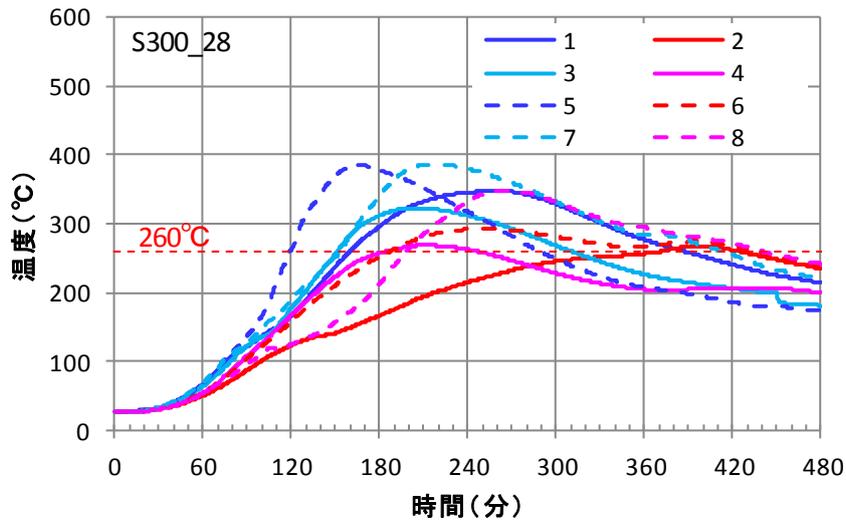


図 7.1.3-2 S300_28 の荷重支持部材周りの温度

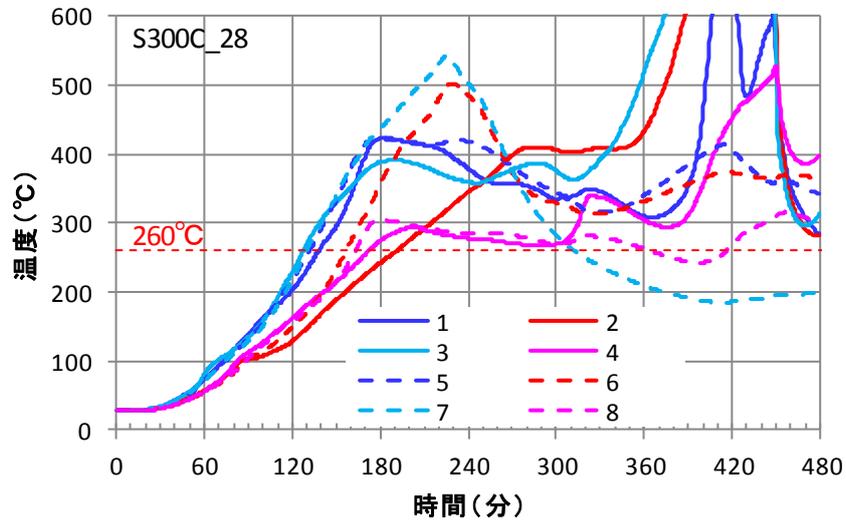


図 7.1.3-3 S300C_28 の荷重支持部材周りの温度

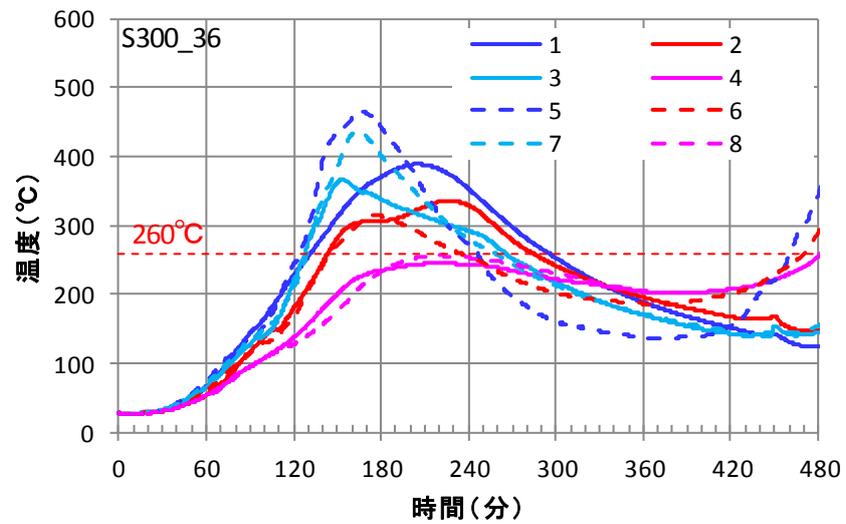


図 7.1.3-4 S300_36 の荷重支持部材周りの温度

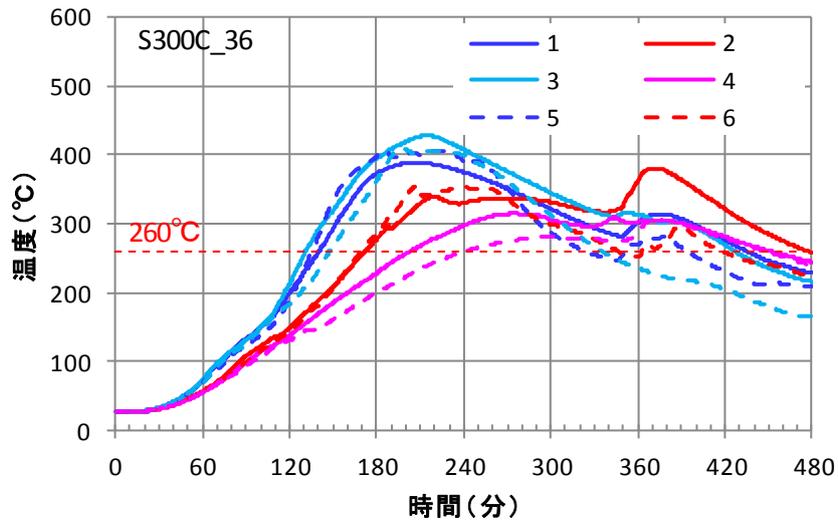


図 7.1.3-5 S300C_36 の荷重支持部材周りの温度

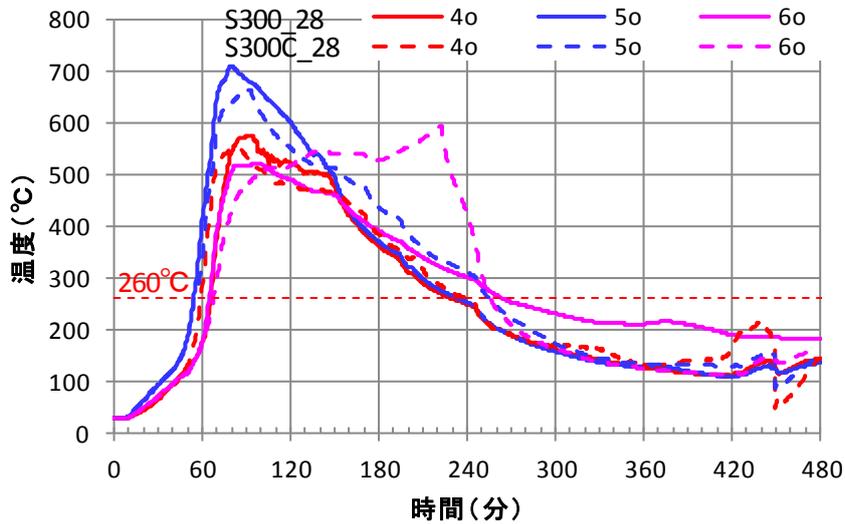


図 7.1.3-6 S300_28 および S300C_28 の難燃処理 LVL 層中央深さの温度

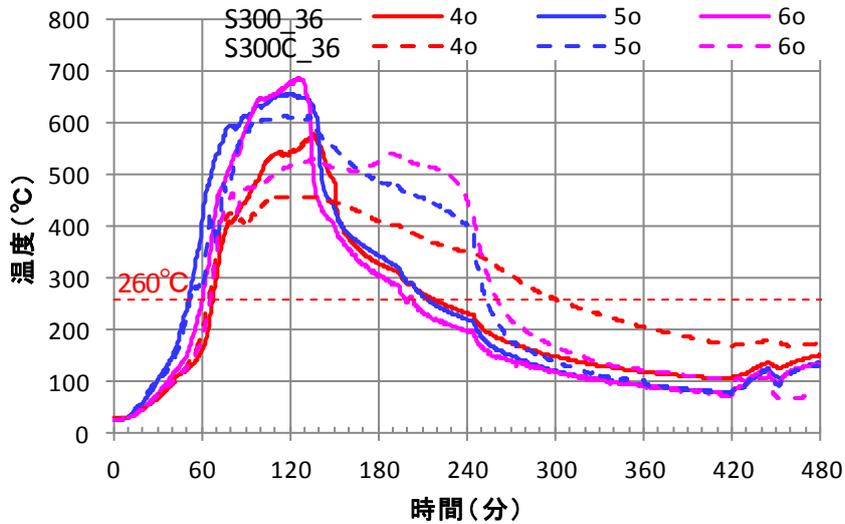


図 7.1.3-7 S300_36 および S300C_36 の難燃処理 LVL 層中央深さの温度

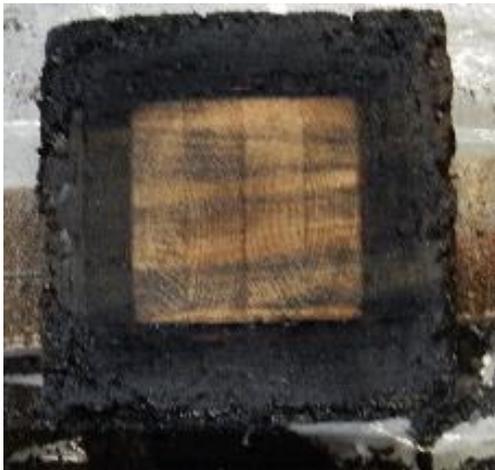


写真 7.1.3-2 S300_28 試験体断面



写真 7.1.3-3 S300C_36 試験体断面

(2) 薬剂量 250kg/m^3

S250_28、S250C_28、S250_36、S250C_36 の試験後の状況を写真 7.1.3-4 に示す。薬剂量 300kg/m^3 の試験体で荷重支持部材に炭化が見られたため、薬剂量 250kg/m^3 の試験体については 2017 年夏季の認定試験時の放冷温度よりも低い 2015 年冬季認定試験の放冷温度を参考に炉内温度を制御した。制御温度と炉内温度を図 7.1.3-8 に示す。S250_36 は荷重支持部材が焼失していた。S250_28、S250C_28 および S250C_36 の断面写真を写真 7.1.3-5～7.1.3-7 に示す。薬剂量 250kg/m^3 の試験体の荷重支持部材周りの温度を図 7.1.3-9～図 7.1.3-12 に、難燃処理 LVL 層中央深さの温度を図 7.1.3-13～図 7.1.3-14 に示す。

薬剂量 300kg/m^3 の試験体と同様にいずれの試験体も荷重支持部材周りの温度が木材の炭化温度以上となった。断面写真より明らかであるが、被覆層はほぼ炭化していた。薬剂量 300kg/m^3 の試験体と同様に薬剂量 250kg/m^3 の場合においても、「コア」の方が各計測点の温度のバラツキが小さい。

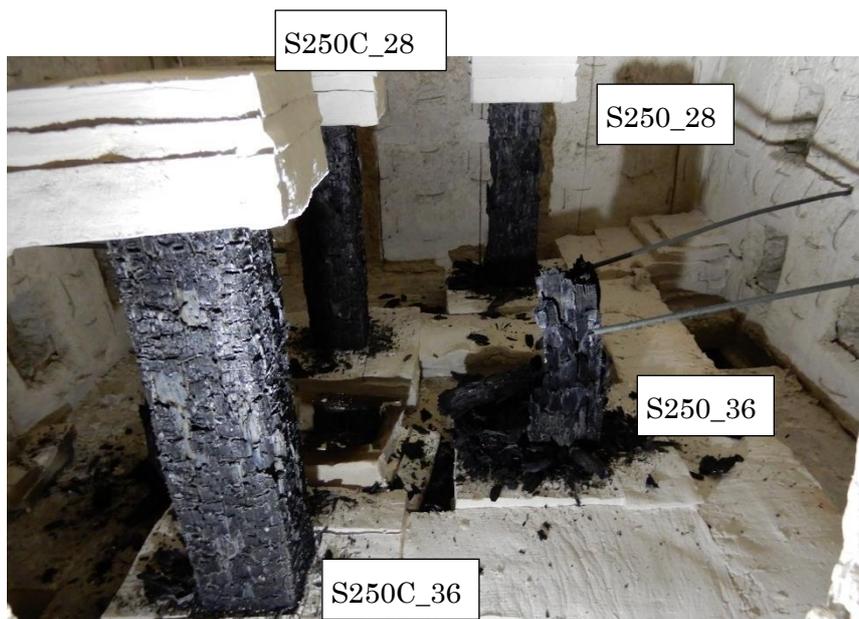


写真 7.1.3-4 試験翌日の試験体の状況（薬剂量 250kg/m³ の試験体）

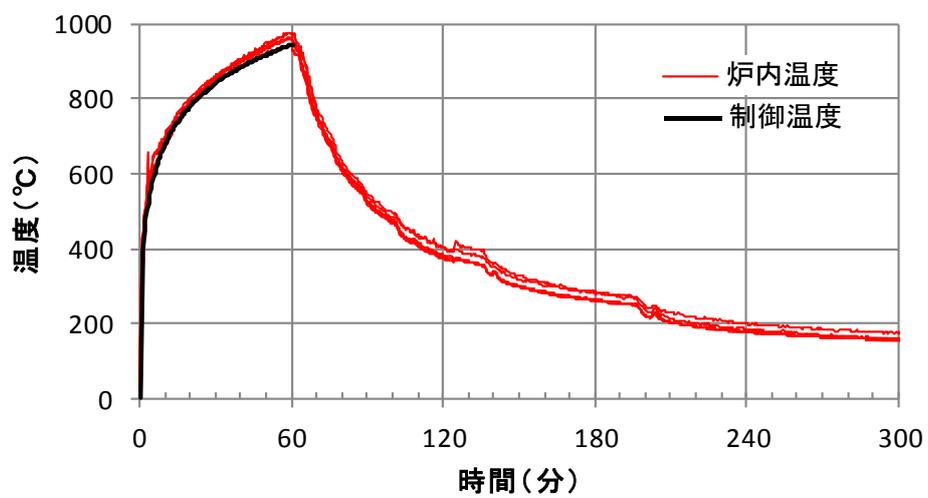


図 7.1.3-8 制御温度と炉内温度

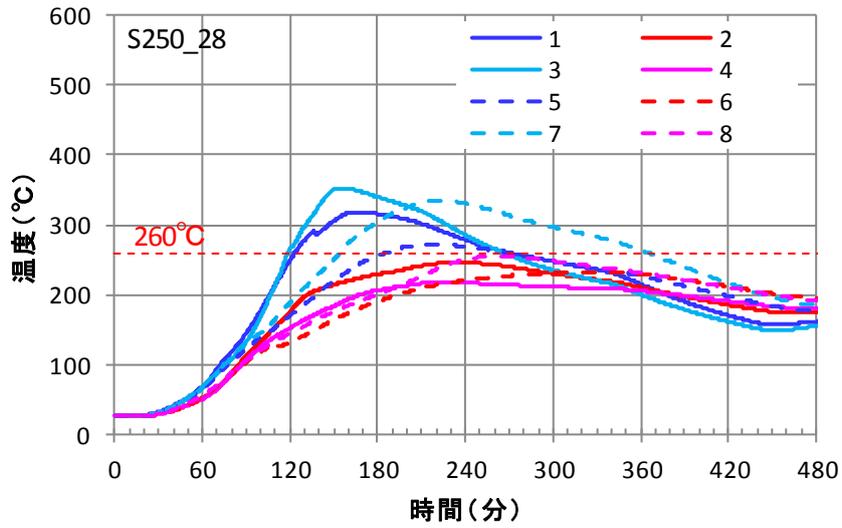


図 7.1.3-9 S250_28 の荷重支持部材周りの温度

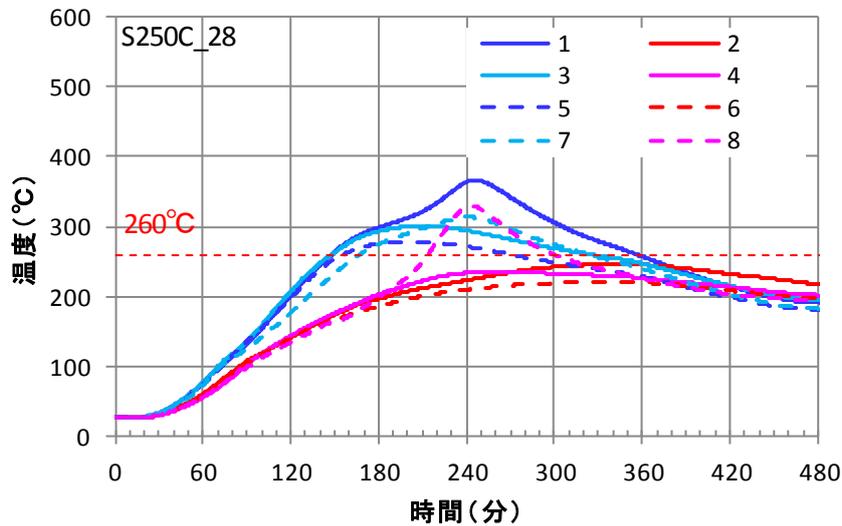


図 7.1.3-10 S250C_28 の荷重支持部材周りの温度

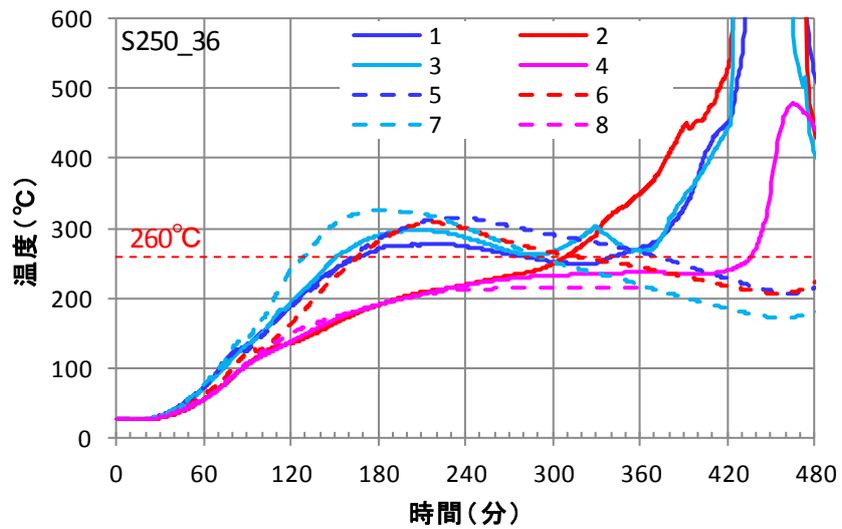


図 7.1.3-11 S250_36 の荷重支持部材周りの温度

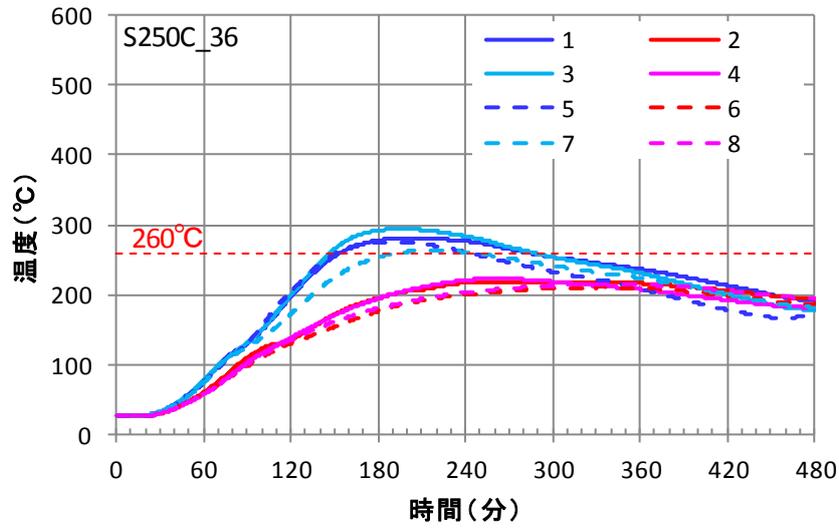


図 7.1.3-12 S250C_36 の荷重支持部材周りの温度

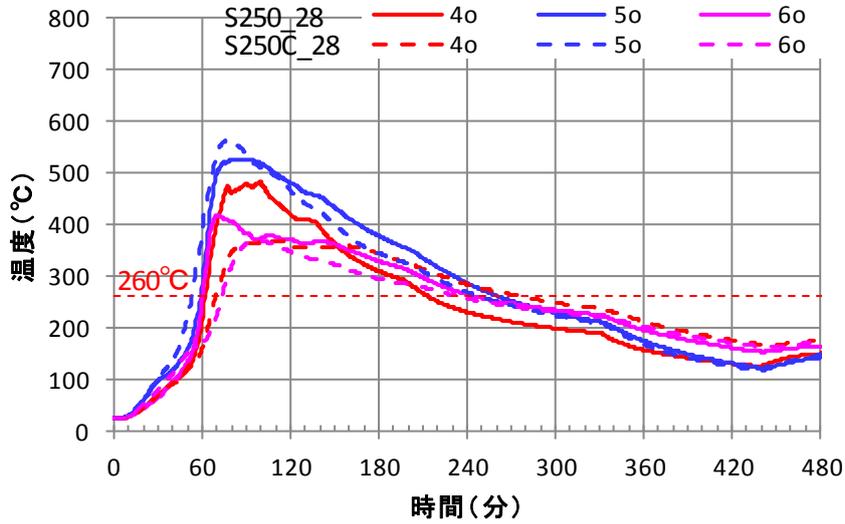


図 7.1.3-13 S250_28 および S250C_28 の難燃処理 LVL 層中央深さの温度

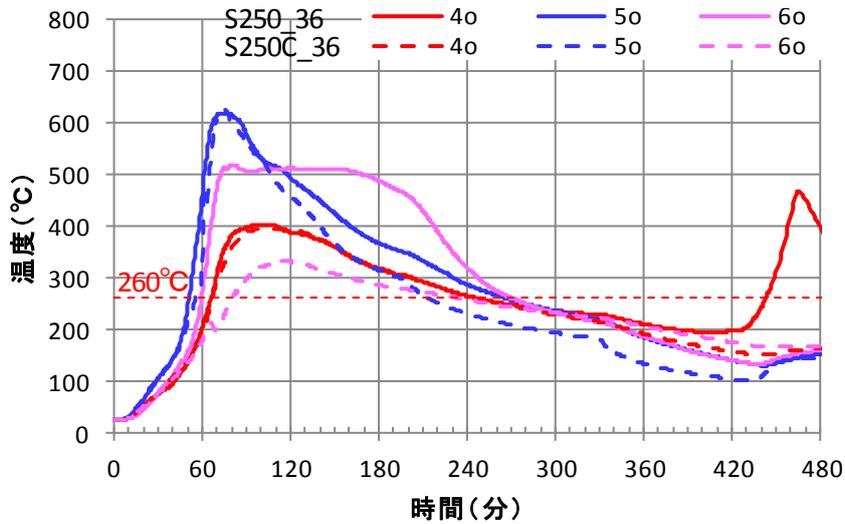


図 7.1.3-14 S250_36 および S250C_36 の難燃処理 LVL 層中央深さの温度

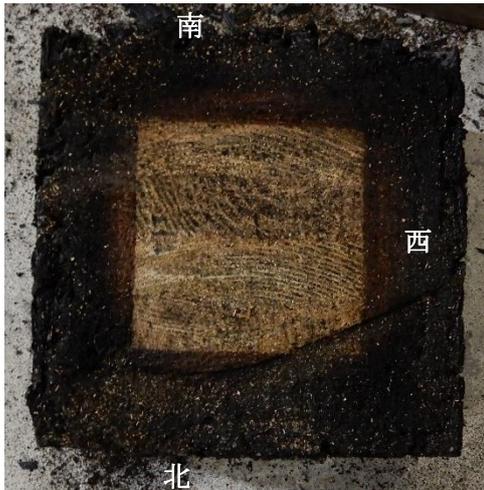


写真 7.1.3-5 S250_28 断面



写真 7.1.3-6 S250C_28 断面



写真 7.1.3-7 S250C_36 断面

7.1.4 まとめ

薬剤量 300kg/m^3 、難燃 LVL 被覆厚 50mm とした過去の試験では難燃 LVL 層に $5\sim 10\text{mm}$ の未炭化部分が残存したが、今回の試験では難燃 LVL 層がほぼ炭化した。2015 年認定試験を実施した試験体との違いは、LVL の接着成型時不具合改善のため単板の乾燥を十分に行ったことによる含水率の低下のみである。LVL の含水率の低下により炭化しやすくなったことが考えられるが、前述の LVL 製作上の理由、また木材という材料は基本的に水分をできる限り減らして使うことが鉄則であるため、1 時間の耐火性能を得るために難燃 LVL 被覆層厚を厚くする必要があることがわかった。

7.2 大断面柱 1 時間加熱試験

7.2.1 目的

7.1 で検討した接着剤、難燃処理 LVL の構成により製作した柱の耐火性能を確認するため、難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた大断面柱（荷重支持部材□600mm）1 時間の加熱試験を実施した。

7.2.2 実験概要

(1) 試験体

試験体の諸元を表 7.2.2-1 に示す。試験体の断面構成は、化粧材、難燃処理 LVL の被覆層、荷重支持部材からなる。試験体は計 2 体で、難燃処理 LVL の厚みと薬剤量をパラメータとした。なお、難燃処理 LVL は 7.1 の短柱の実験で耐火性能を確認した表層が無処理単板の構成とした。接着剤はレゾルシノール TW-28 とし、試験体の接着は 12 月に行った。

表 7.2.2-1 試験体諸元一覧

| 試験体 No. | | L250C_60 | | L300C_70 | |
|---------|----------|----------------|----------------------|----------------------|--|
| 荷重支持部材 | 構造用集成材 | 材料 | スギ | | |
| | | | E65-F255（同一等級構成） | | |
| | 断面寸法 | 600mm×600mm | | | |
| 被覆材 | 難燃処理 LVL | 材料 | スギ | | |
| | | 厚み | 60mm（30mm×2 枚）*1 | 70mm（35mm×2 枚）*1 | |
| | | 薬剤種類 | リン酸・ほう酸系 | | |
| | | 薬剤量 | 250kg/m ³ | 300kg/m ³ | |
| | | 接着剤 | レゾルシノール（TW-28） | | |
| 化粧材 | 材料 | スギ | | | |
| | 厚み | 5mm | | | |
| 接着剤 | | レゾルシノール（TW-28） | | | |
| 外形寸法 | | 730mm | 750mm | | |

*1：接着性を高めるために両側の表層を無処理単板とし、難燃薬剤を注入した単板 3.8mm を積層し、目標の厚みの LVL を製作した。

(2) 実験方法

試験は ISO-834 に準拠して 1 時間の加熱を行い、燃え止まるまで炉内で放置した。柱試験体は図 7.2.2-1、図 7.2.2-2 に示すように耐火炉に設置した。載荷は行っていない。

熱電対は荷重支持部材の周囲および難燃処理 LVL 層の間に図 7.2.2-3 に示す位置に設置した。

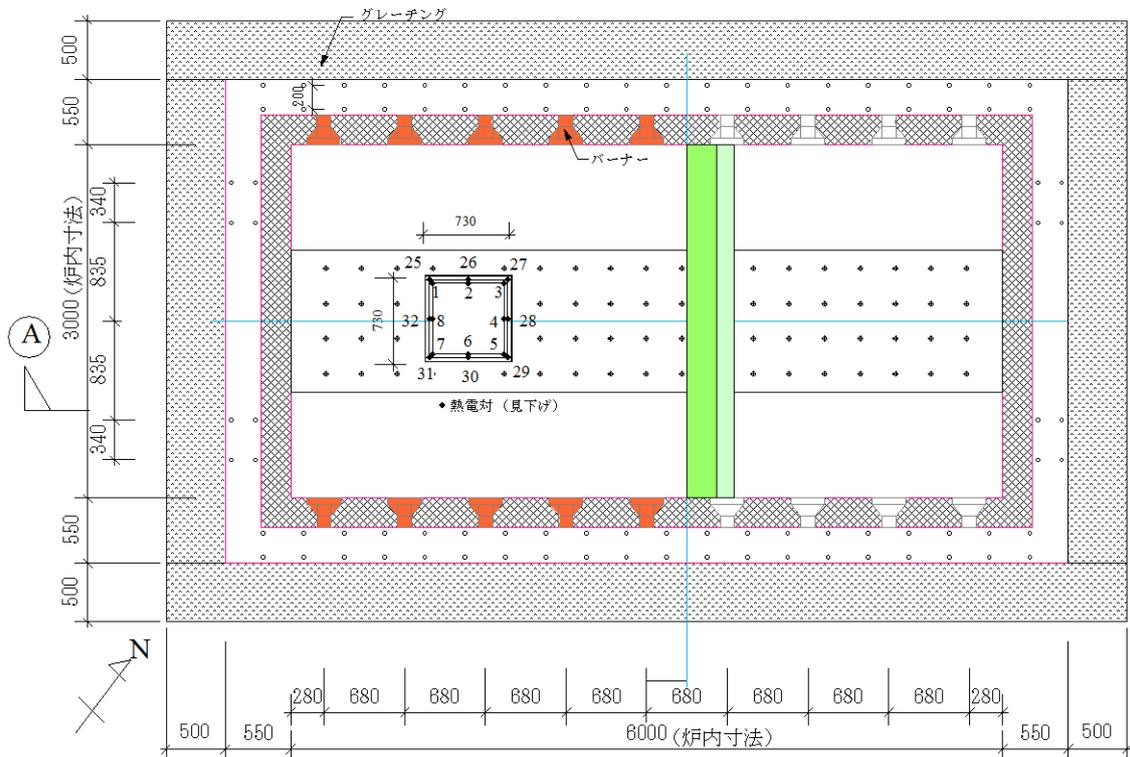


図 7.2.2-1 試験体配置図 (平面図 : L250C_60)

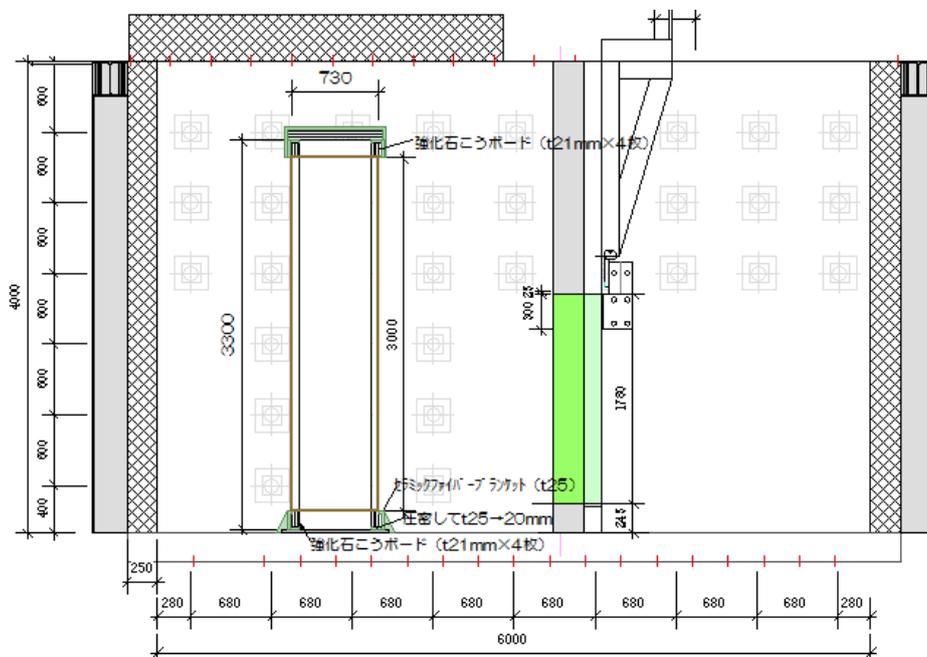


図 7.2.2-2 試験体配置図 (A-A断面図 : L250C_60)

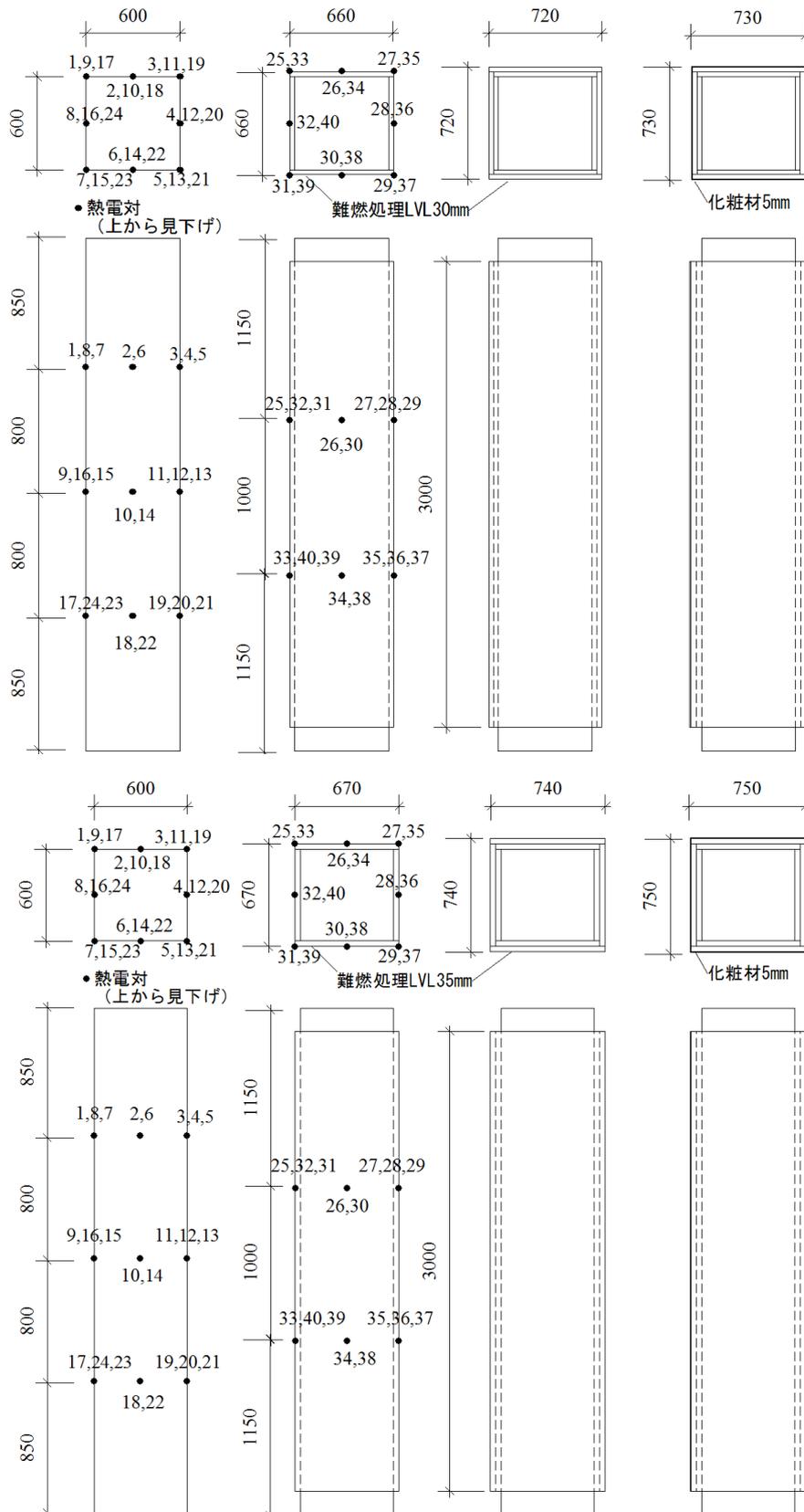


図 7.2.2-3 試験体平面図および断面図、熱電対位置 (上:L250C_60、下:L300C_70)

(3) 実験実施日および場所

実験は以下のスケジュールで大成建設多目的炉を用いて行った。

- ・ L250C_60 : 2018年1月15日
- ・ L300C_70 : 2018年1月18日
- ・ 試験体切断・確認 : 2018年1月19日

7.2.3 実験結果

(1) L250C_60

炉内温度を図 7.2.3-1 に、荷重支持部材温度を図 7.2.3-2～図 7.2.3-4 に、難燃処理 LVL の厚み中央の温度を図 7.2.3-5～図 7.2.3-6 に示す。

荷重支持部材温度を見ると、隅角部は 2 面より加熱を受けるので一般部と比較して 50℃程度温度が高く、温度のピークは約 4 時間半で約 200℃であった。

昨年度は薬剤量 300kg/m³、難燃処理 LVL 層の厚み 60mm の試験を実施し、難燃処理 LVL 層の脱落があり隅角部の温度のバラツキが大きい結果が報告されている。今年度は温度のバラツキは小さいため、木片の脱落が抑えられたと考えられる。

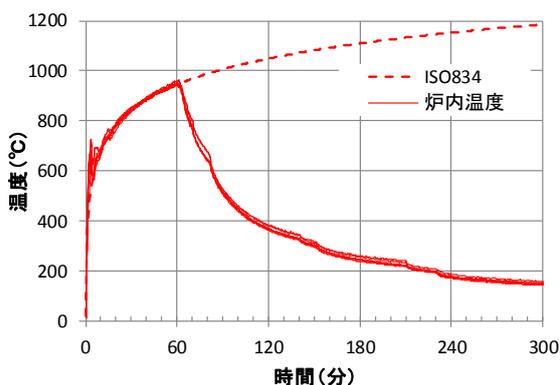


図 7.2.3-1 炉内温度

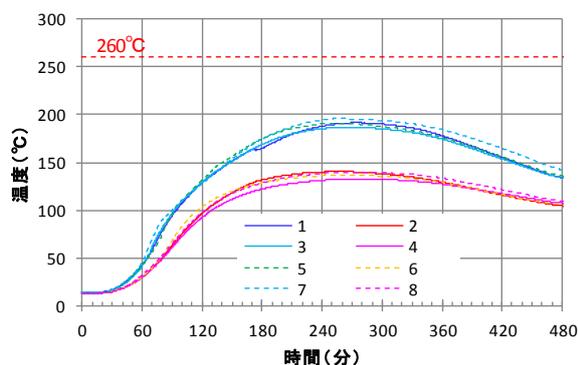


図 7.2.3-2 荷重支持部材温度(上段)

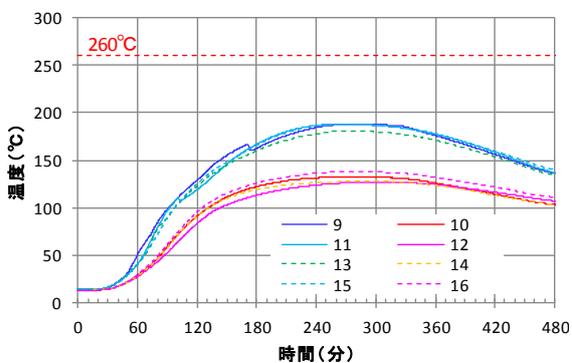


図 7.2.3-3 荷重支持部材温度(中段)

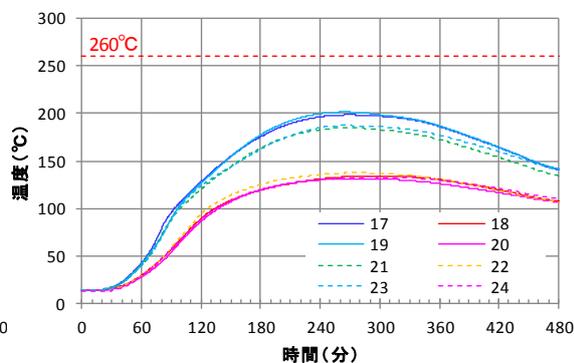


図 7.2.3-4 荷重支持部材温度(下段)

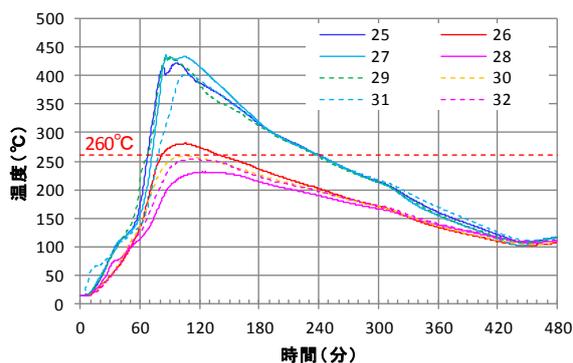


図 7.2.3-5 被覆厚み中央温度(上段)

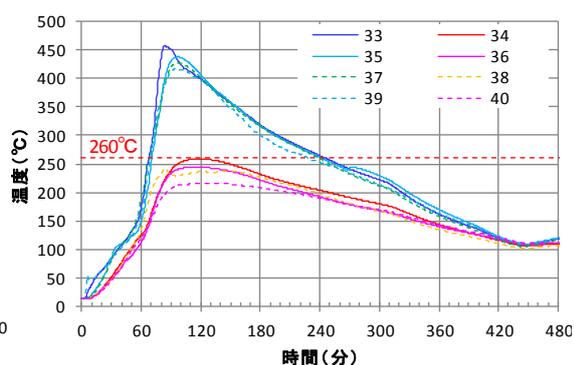


図 7.2.3-6 被覆厚み中央温度(下段)

次に、加熱終了後の試験体外観写真を写真 7.2.3-1 に、切断面の写真を写真 7.2.3-2 に示す。

被覆層は実験終了後も炭化層として保持されており、大きな木片の脱落はほとんど見られなかった。被覆層の未炭化部分の厚みは 10~25mm であった。また、薬剤を含浸していない単板を通じた燃えこみは発生しておらず、むしろ、薬剤を含浸していない単板の方が隣接する難燃処理単板よりも炭化が進んでいないことがわかる。また、燃焼経路を発生させる可能性のある LVL 単板内のパンクは以前よりも減少していた。



写真 7.2.3-1 加熱終了後の試験体 L250C_60



写真 7.2.3-2 L250C_60 の切断面

(2) L300C_70

炉内温度を図 7.2.3-7 に、荷重支持部材温度を図 7.2.3-8～図 7.2.3-10 に、難燃処理 LVL の厚み中央の温度を図 7.2.3-11～図 7.2.3-12 に示す。

荷重支持部材温度を見ると、温度のピークは約 4 時間半で約 180℃であった。被覆層の隅角部の温度は L250C_60 と同様に加熱後 1～2 時間で外側の被覆の隅角部が炭化したと考えられる。被覆が厚いため L300C_70 より荷重支持部材温度が低く温度のバラツキも小さい。

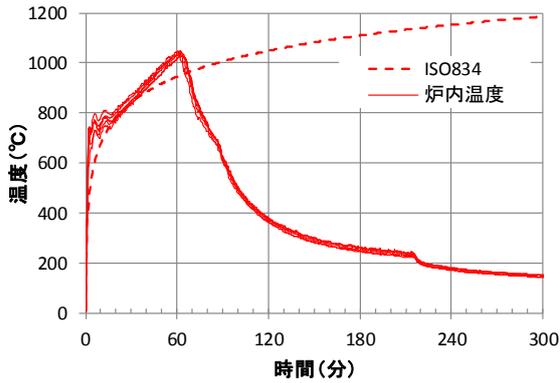


図 7.2.3-7 炉内温度

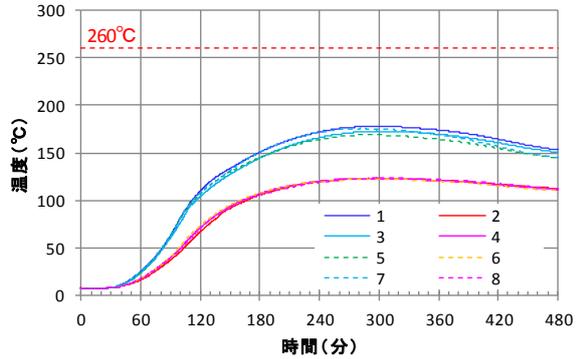


図 7.2.3-8 荷重支持部材温度(上段)

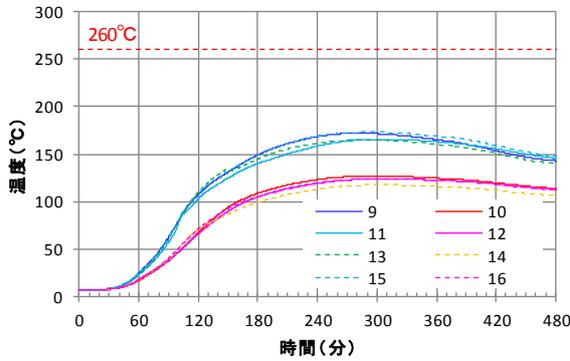


図 7.2.3-9 荷重支持部材温度(中段)

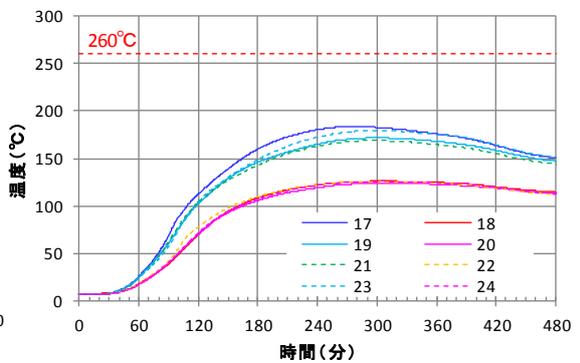


図 7.2.3-10 荷重支持部材温度(下段)

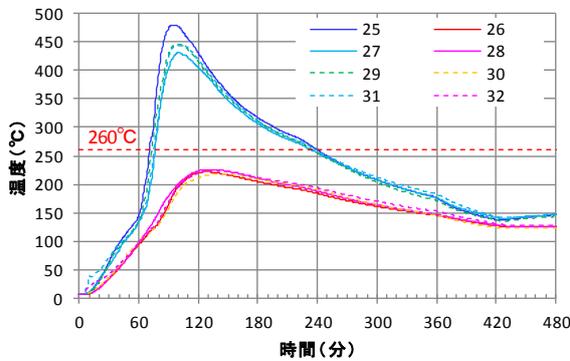


図 7.2.3-11 被覆厚み中央温度(上段)

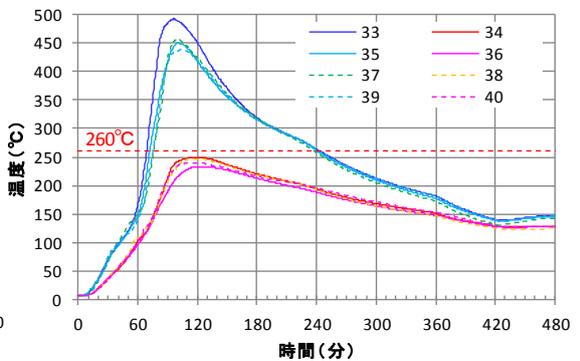


図 7.2.3-12 被覆厚み中央温度(下段)

次に、加熱終了後の試験体外観写真を写真 7.2.3-3 に、上段、中段、下段の切断面の写真を写真 7.2.3-4 に示す。

写真より、被覆層の未炭化部分の厚みは 10~30mm で荷重支持部材に炭化は発生しなかった。また、薬剤を含浸していない単板を通じた燃えこみは L250C_60 と同様に発生していない。

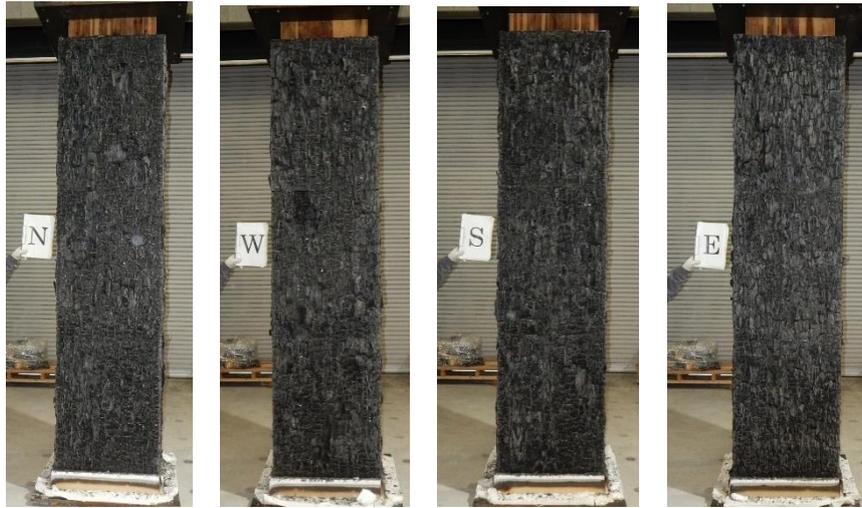


写真 7.2.3-3 加熱終了後の試験体 L300C_70



写真 7.2.3-4 試験体 L300C_70 の切断面

7.2.4 まとめ

難燃処理 LVL 層の表層の単板を無処理単板、接着剤をレゾルシノール系 TW-28 とし、薬剂量を 250kg/m^3 以上、厚みを 60mm 以上確保することで、被覆層が加熱中に脱落することなく、1 時間耐火の性能を有することがわかった。

8. まとめ（結論と今後の課題）

8.1 本事業により明らかになったこと

本事業における検討の結果から明らかになったことをまとめると、以下のとおりである。

（1）1時間耐火性能を得るための単板への最適な難燃薬剤吸収量の選定

単板における難燃薬剤吸収量をコントロールするための手段として、心材単板の利用を検討したが、平均吸収量で 300kg/m³程度を示し、辺材単板よりもバラつきが大きいことが確認された。辺材単板から心材単板への単純な切り替えでは薬剤吸収量のコントロールは難しいものの、難燃処理薬剤の作業液濃度の管理や LVL 製造における心材と辺材単板構成の検討などの対応が今後の課題と考えられた。

（2）難燃処理 LVL の接着剤の検討

レゾルシノール樹脂系接着剤を使用し、現行ラインを使用した現場での難燃処理 LVL の製造試験を試みた結果、安定した接着性能を有する LVL を製造することが可能となった。また 2次接着部においても、同じくレゾルシノール樹脂系接着剤を使用し、表層の単板を接着性能に影響の出ない薬剤無処理単板に変更することにより、耐火性能を維持しつつ 2次接着性能も損なうことがない耐火部材を製造できる可能性を見出した。

（3）難燃処理 LVL の製造工程の改善

実機での難燃処理 LVL の製造検証において、縦継ぎ接着はフェノール樹脂系接着剤、積層接着レゾルシノール樹脂系接着剤を用いることで良好な接着状態が確認され、連続製造が可能であることがわかった。今後はさらに、製造過程における難燃薬剤由来の析出物の低減や、各種接着剤の可使時間の対策など、安定した連続生産のための製造条件の検討が必要と考えられた。

（4）難燃処理 LVL を燃え止まり層に用いた耐火集成部材の性能検証

難燃処理 LVL 層の表層の単板を無処理単板、接着剤をレゾルシノール樹脂系接着剤とし、難燃薬剤吸収量を 250kg/m³以上、LVL 被覆厚を 60mm 以上確保することで、被覆層が加熱中に脱落することなく、1時間耐火の性能を有することが明らかとなった。

8.2 今年度検討結果の総括と今後の課題

各種検討の結果、耐火集成部材の燃え止まり層に用いている難燃処理 LVL の接着にレゾルシノール樹脂系接着剤を用い、更に LVL の表裏面の単板を無処理の素材単板を用いることで 2 次接着対策を講じたことが、大断面柱における 1 時間耐火加熱試験の結果となった。また同仕様の難燃処理 LVL の製造を製造実機ベースでも行い、ある一定のレベルでの連続生産が出来る目途がついたことも、今後の製造販売を検討する上で、大きな成果であったと考える。

今後は、耐火被覆の構成の見直しや難燃薬剤量の適正化などによるコストの削減、製造実機での更なる生産効率化を図り、性能面に加えて更に製造販売を意識した耐火集成部材の仕様の開発が課題と考える。早期に課題を克服し、1 時間耐火認定取得を目指したい。