

平成 25 年度林野庁委託事業

C L T 等新製品・新技術利用促進事業のうち
耐火部材開発

単板積層材（LVL）を用いた耐火構造部材耐火性能把握

一般社団法人 全国 L V L 協会

本事業は、平成 25 年度林野庁委託事業 C L T 等新製品・新技術利用促進事業のうち耐火部材開発を受けて、一般社団法人全国 LVL 協会を中心として木質耐火部材の開発に取り組んだ事業です。

2015. 3. 13

一般社団法人 全国 L V L 協会

目次

・ 目次	3
・ 実施体制	5
・ 委員会体制	7
・ 事業概要	9
1. 開発の目的・背景	11
2. 単板積層材 LVL とは	15
3. 準不燃単板積層材 LVL について	19
4. 難燃薬剤を注入した LVL の防火性能確認試験	21
5. 難燃薬剤注入 LVL を用いた耐火被覆材による耐火構造 柱・梁の開発	39
6. 難燃薬剤を注入した LVL の薬剤注入状態及び薬剤分布状況確認	121
7. LVL を用いた燃え止まりを期待した部材の耐火試験	139
8. 木質耐火被覆材を意匠として用いるためのデザインの検証実施	179
9. まとめ	193
10. 今後の課題	195

「実施体制」

○事業実施主体： 一般社団法人全国LVL協会

○開発協力：

(独) 東京大学生産技術研究所
桜設計集団一級建築士事務所
国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部
(独) 建築研究所防火研究グループ
秋田県立大学木材高度加工研究所
広島県立総合技術研究所林業技術センター
(一社) 日本ツーバイフォー協会
(一社) 日本木造住宅産業協会

○試験協力：

(独) 建築研究所
(一社) 日本建築総合試験所
(一社) 建材試験センター 西日本試験所
広島県立総合技術研究所林業技術センター
公益財団法人秋田県木材加工推進機構
丸菱油化工業(株)

○技術協力：

丸菱油化工業(株)
バイオマス科学研究所(株)
石巻合板工業(株)
株オーシカ
株オロチ
株キーテック
株河本組
株東亜理科

「委員会体制」

○委員長

東京大学生産技術研究所 - 腰原幹雄

○委員

桜設計集団 - 安井昇

国土交通省国土技術政策総合研究所 - 鈴木淳一

独立行政法人建築研究所 - 水上点晴

広島県立総合技術研究所 - 藤田和彦

秋田県立大学木材高度加工研究所 - 中村 昇

ビルディングランドスケープ - 山代悟

丸菱油化工業(株) - 亀岡祐史

菊水化学工業株式会社 - 加藤圭一

竹中工務店 - 永盛洋樹

(株)オーシカ - 辻健、中井聡

(株)オロチ - 長谷川広一

(株)キーテック - 大石哲也

石巻合板工業(株) - 高橋利信 古川 透

丸菱油化工業(株) - 亀岡祐史

日本ツーバイフォー建築協会 - 坂部芳平

日本木造住宅産業協会 - 高木郷

ダウ化工株式会社 - 今田勝仁 木村吉晴

(株)日新 - 松下清

メッツァリーツ コーポラティブ メッツァウッド ケルト - 田邊公彰

○一般社団法人全国 LVL 協会

事務局長 - 井上國雄

技術部長 - 李元羽

技術課長 - 成田敏樹

技術課長 - 宋昌錫 (PM)

「事業概要」

○ 事業目的

近年需要が高まる耐火建築物に求められる耐火構造部材の一部である耐火被覆材を木質化することで、木造建築物のみならず鉄筋コンクリート構造や鉄骨構造にも採用可能な木質耐火被覆材を用いる耐火構造部材を開発する。

木質耐火被覆材は平成 24・25 年度林野庁補助事業で開発及び国土交通大臣認定を取得した内装用単板積層材（LVL）を製造する技術を採用し、被覆材としての応用を試みた。

○ 実施項目

- ① 難燃薬剤を注入したLVLのコーンカロリメーター防火性能確認試験
- ② 難燃薬剤を注入したLVLを耐火被覆材として用いる1時間耐火仕様柱の性能確認試験
- ③ 難燃薬剤を注入したLVLの薬剤注入状態及び薬剤分布状況確認
- ④ 高密度木材を耐火被覆材とする1時間耐火構造（柱・梁）の性能確認試験
- ⑤ 木質耐火被覆材を意匠として用いるためのデザインの検証実施

○ 実施内容・成果

- ① 難燃薬剤を注入した単板積層材のコーンカロリメーター防火性能確認試験
→ 処理前の基材（LVL）の性能や薬剤処理した材料の防火性能を様々なパターンで防火性能を検証した。
- ② 難燃薬剤を注入した単板積層材を耐火被覆材として用いる1時間耐火仕様柱の性能確認試験
→ 耐火被覆材と荷重支持部材（柱）の関係を検証するために約27仕様の予備試験及び3仕様の実大耐火試験を行い実大試験用の仕様を決定した。
- ③ 難燃薬剤を注入した単板積層材の薬剤注入状態及び薬剤分布状況確認
→ 薬剤処理被覆材の信頼性を裏付けるための薬剤分布状況を確認した。
- ④ 高密度木材を耐火被覆材とする1時間耐火構造（柱・梁）の性能確認試験
→ 処理費用が掛かる薬剤処理被覆材より安価な高密度無処理木質材料が耐火被覆材としての可能性があるかを実験的に検証した。
- ⑤ 木質耐火被覆材を意匠として用いるためのデザインの検証実施
→ 簡単に表面加工が可能な木質被覆材に意匠性を与えることで構造性能及び意匠性を両方持たせるためのデザインの検証及び加工による検証を実施した。

1. 開発の目的・背景

2014 年度には、赤羽の集合住宅（東京都、設計：KUS）、大分県立美術館（大分県、設計：坂茂）が竣工し、さまざまな都市木造建築を実際に体験することができるようになってきた。また、耐火木造建築のための 1 時間耐火の壁（間仕切壁・外壁）については、8 月に建設省告示第 1399 号「耐火構造の構造方法を定める件」に具体仕様が追加され、木質構造でもせっこうボードによる一般被覆型耐火部材を一般的に用いることができるようになった。

都市木造は、構造、防耐火の技術の基礎技術の整備がすすんだ現在、第 2 ステージにはいったと考えることができる。この第 2 ステージでは、技術主導であった開発から魅力ある建物のための技術開発が重要になったことを意味する。これまでの技術開発は、都市を構成する鉄骨造や鉄筋コンクリート造の建物に対して「木造でもできる」を目指していたが、これからは「木造だからできる」という木造建築の魅力を考えなければならない。

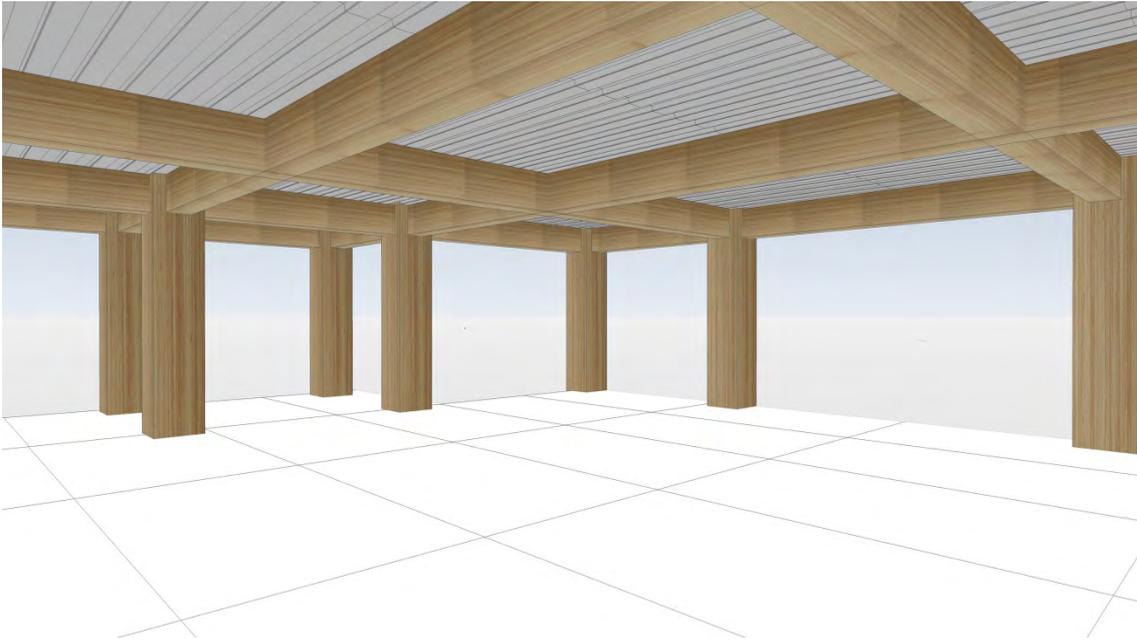
また、木造建築を都市に建つ建築として考える場合には、なんでもかんでも木造で建てるという木造純血主義ではなく、適材適所の概念で鉄筋コンクリート造、鉄骨造と横並びになって混構造でも魅力ある建築を考えていく必要がある。

本開発では、この視点にたち、これまで継続的に開発してきた LVL 部材に対して、構造性能、防耐火性能を維持しながら、さらに魅力ある LVL 建築のための部材開発を目指すこととしている。

平成 24・25 年度林野庁の内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業で開発した、準不燃性能を持つ単板積層材（以下 LVL）を耐火被覆材として用いる建築物の耐火部材の 1 つである耐火柱の開発を行うことで木質材料を建築物の構造方法に係らなく幅広く使える技術を提案した。

LVL 等の利用は建築分野でのシェアは少なく、燃え代設計の対象にはなっているが、防耐火性能検証等にはデータの蓄積が少ないため防耐火部材として活用されていない。本開発事業では、平成 24・25 年度林野庁補助事業で開発した薬剤を注入する技術を用いる準不燃性能を持つ LVL で耐火被覆をする 1 時間耐火柱を開発することで中規模以上の建築物の分野を開拓できることから様々な建築の木造化に役立つ。被覆をする対象部材としては木材、鉄骨等を計画しており、対象構造を木造だけではなく鉄骨造にも適応させることで都市の木造化及び新たな分野への木材利用拡大を可能とした。





2. 単板積層材 LVL とは

1 LVL（単板積層材）とは

LVL は、ロータリーレースまたはスライサーで切削した単板を、その繊維方向をほぼ平行にして積層接着したものです。現行の LVL の JAS においては、造作用と構造用の 2 区分があります。

構造用 LVL の用途は、主に建築物の耐力上主要な部位である梁、柱、土台、筋交い等です。造作用 LVL の用途は建築用については間柱や野縁、階段部材といった内部造作材料、建築用以外では家具、ドア等フラッシュパネルの枠材や梱包用資材があります。

単板の繊維方向を平行にして接着するのが基本ですが、造作用にあつては、直交する単板を規定の範囲内で入れることが可能で、ある程度面的にも使えます。構造用にあつては、直交する単板を入れる場合はその位置が限定されており、同時にその枚数も限定されています。よって、JAS における構造用 LVL は軸方向にはその強さが発揮されますが、軸方向と直交する方向では強度を保持しにくく、面で使うよりも軸で使うことに主眼が置かれてきました。

2 LVL の特徴

1) 高い寸法安定性

材料となる単板は十分に乾燥させてから接着するため、製品も十分乾燥したものができます。よって、乾燥収縮が起きにくく、製材等と比較して曲がりや反りなどの狂いが起きにくくなっています。狂いが生じにくいということは、施工現場において間柱、垂木、野縁等の羽柄材のロットアウト率を低くすることや、壁や天井のゆがみや段差の発生など引

き渡し後のクレームを減らすのに有効と言えます。(逆に、十分乾燥されているということは、濡れると膨張しやすいということを意味しています。使用される方は十分ご注意ください。)

2) 強度のばらつきが小さい

LVL は薄い単板を積層接着しているのです。節などの欠点が分散されることもあり、製材あるいは集成材と比較してエレメントが小さい分強度のばらつきも小さくなっています。強度性能が工学的に保証された信頼性の高い木質材料、すなわち優れたエンジニアードウッドであると言えます。

3) 用途に応じてどのような寸法でも製造可能

単板を縦継ぎすることでどのような長さでも、また積層数を変えることでどのような断面寸法の製品も製造することができます。つまり、間伐材のような小径丸太からでも、単板が取得できれば大きな断面の LVL を製造することができます。大断面から小断面まで、サイズにおいては高い自由度があります。

残念ながら JAS において湾曲材の規定がないので、構造用集成材が得意とする湾曲材は LVL では JAS による格付ができません。

4) 不燃、防虫、防腐、防蟻などの薬剤処理が容易

「単板」という薄い材料を使用しているため、接着剤に薬剤を混ぜる方法による処理（接着剤混入法—防虫、防腐、防蟻のみ）あるいは接着前の単板への加圧注入による処理で、断面に対して均一に薬剤が浸透した製品が製造できます。多数ある接着層を中心に薬剤が浸透するため、難注入材にも対応が可能です。当然、加圧注入による処理も可能です。

5) 積層面が持つ模様の魅力

薄い単板を積層しているため、切断面にはしましまの模様が出来ます。この模様は他の木材及びエンジニアードウッドではないため、内装材としての利用が注目され始めています。現在は準不燃認定も取得され内装制限がかかる居室にも内装材として使うことが可能です。



図1 LVL 用の単板



図2 2次接着を終えた LVL

3. 準不燃単板積層材 L V L について

(H24/25 年度林野庁補助事業の成果の概要)

1 開発概要

1.1 開発概要

- ①国産材(B材)の有効活用のためには合板、単板積層材の利用が活性化される必要がある。
- ②単板積層材を建築用内装部材として開発することで、積層面を表しにした新しい模様の内装材を幅広く提案することが出来る。
- ③内装材として必要な準不燃性能を持たせることで安全な材料として供給しながら国産木材利用の活性化を図る。

1.2 事業成果

①について

- ・広島県立総合技術研究所でスギ単板に不燃薬剤注入試験実施。
- ・バイオマス科学研究所で単板及び L V L 製品への不燃薬剤注入試験実施（減圧加圧法）

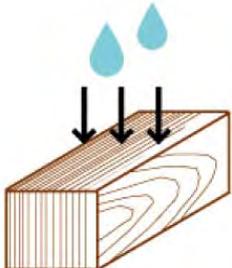
②について

- ・①の試験で結果が良かった試験体に接着剤を塗布し、薬剤が入った単板と接着剤の相性及び接着性能を確認した。

③について

- ・単板処理、製品処理及び薬剤塗布による準不燃処理した L V L の模型箱試験を日本建築総合試験所で実施した。
- ・単板処理、製品処理した L V L に関しては合格水準より高く、薬剤塗布に関しては少し

下回る結果が得られた。

内容		①製品含浸タイプ
製品概要	処理方法	 不燃薬剤をLVL(製品)へ減圧・加圧注入
	表面塗装	要
意匠性	触感	一般的なポリウレタン同等
	色味	クリア、白木風、焦げ茶等で選択可能
加工性	切断	可
	サネ・仕口加工	可
	切断面の準不燃処理	現場処理不要

国産スギの単板及び製品LVLに不燃薬剤注入による準不燃化に成功し、大臣認定取得することが出来た。この事業で得られた成果を今年度の事業に応用することにした。



4. 難燃薬剤を注入したLVLの 防火性能確認試験

エンジニアードウッドである単板積層材（以下LVL）は木質系材料であることから、他の工業製品に比べて物性のばらつきがある。それは、生産時に使われる各地域の原木、製造メーカーの製品基準、使う時期など様々な要素がばらつきに影響する可能性がある。また、難燃薬剤を注入した材料に関しては使用する薬剤の種類及び生産時期による防火性能の変化の可能性もあると考えられる。

耐火被覆として用いる難燃薬剤処理した単板積層材の信頼性及び防火性能の確認を幾つかのパラメーターでコーンカロリメーター試験による確認を行った。試験体として難燃処理に用いた難燃薬剤の種類及び生産時期等が違う5種類及び製造メーカーが異なる3種類の試験体をパラメーターとして試験を行った。

試験は性能評価機関及び民間会社の2カ所で同じロットの生産品による試験を実施し、試験機及び試験施設による試験結果のばらつきを確認することで、試験体の信頼性を確保できる根拠資料とした。

試験結果としては、試験体ごとに少し防火性能や燃え方の違いなどがグラフから読み取れたが、今回求めていた準不燃性能を持つ材料の性能評価の合格基準を大幅に上回る高い性能があることを確認することが出来た。

- ・コーンカロリメーター試験に用いた試験体仕様

1～5 薬剤処理LVL

- ① ㈱キーテック生産スギ単板積層材 (LVL)
 - ・丸菱油化工業㈱不燃薬剤注入 (W200) FEB. 処理
- ② ㈱キーテック生産スギ単板積層材 (LVL)
 - ・丸菱油化工業㈱不燃薬剤注入 (W200) OCT. 処理
- ③ ㈱キーテック生産スギ単板積層材 (LVL)
 - ・丸菱油化工業㈱不燃薬剤注入 (W200) DEC. 処理
- ④ ㈱キーテック生産スギ単板積層材 (LVL)
 - ・丸菱油化工業㈱不燃薬剤注入 (W2-50)
- ⑤ ㈱キーテック生産スギ単板積層材 (LVL)
 - ・㈱オーシカ不燃薬剤注入

6～8 無処理LVL

- ⑥ ㈱キーテック生産 スギ単板積層材 (LVL)
- ⑦ 石巻合板工業㈱生産 スギ単板積層材 (LVL)
- ⑧ ㈱オロチ生産 スギ単板積層材 (LVL)

試験場所：(一財) 日本建築総合試験所、
丸菱油化工業㈱ 研究所

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kW/m ²	備考
①-1	175.36	31.35	22.32	2.19	6.32	
①-2	174.99	31.10	22.85	2.85	9.10	裏面

基材	薬剤
キーテック	ノンW-200

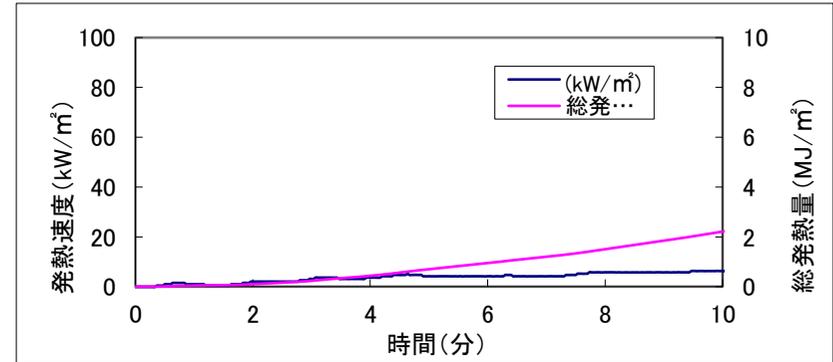
試験体No. ①-1



試験前



試験後



チャート

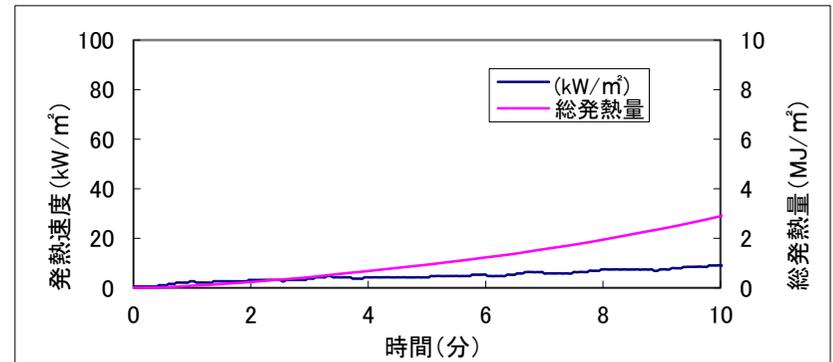
試験体No. ①-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 ①キーテック生産 スギ単板積層材(LVL) F-12

試験年月日:平成27年 2月 16日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	2.0	7.62	なし	0	発炎なし	図-1
B	2.6	8.22	なし	0	発炎なし	図-2
C	2.2	7.70	なし	0	発炎なし	図-3

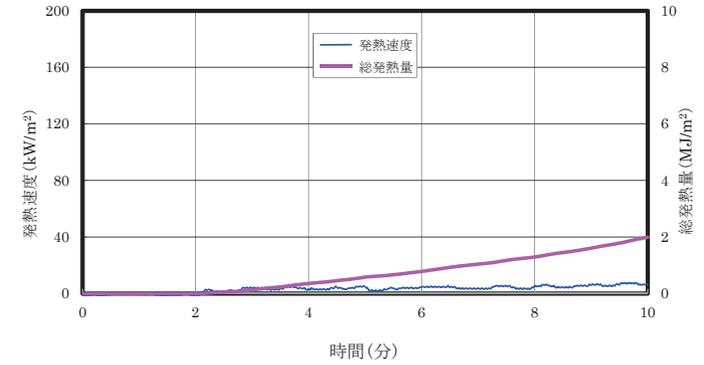


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

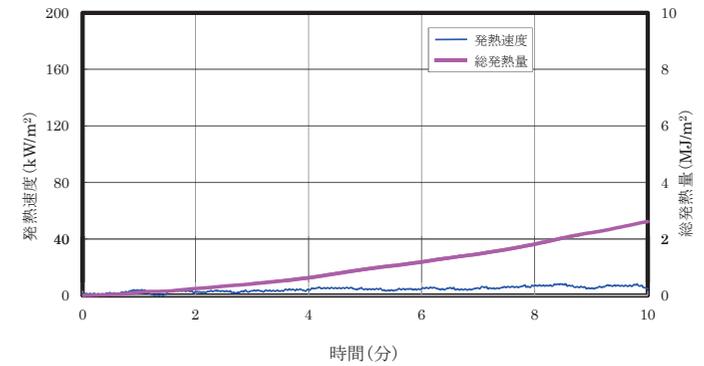


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

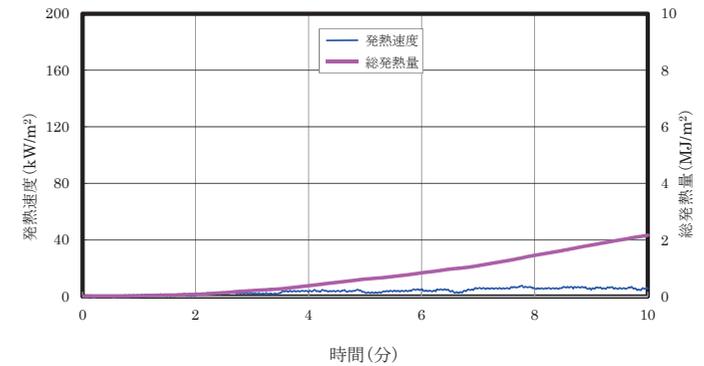


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kW/m ²	備考
②-1	163.63	31.00	19.77	1.69	4.64	
②-2	161.24	31.35	20.81	1.90	5.98	裏面

基材	薬剤
キーテック	ノンW-200

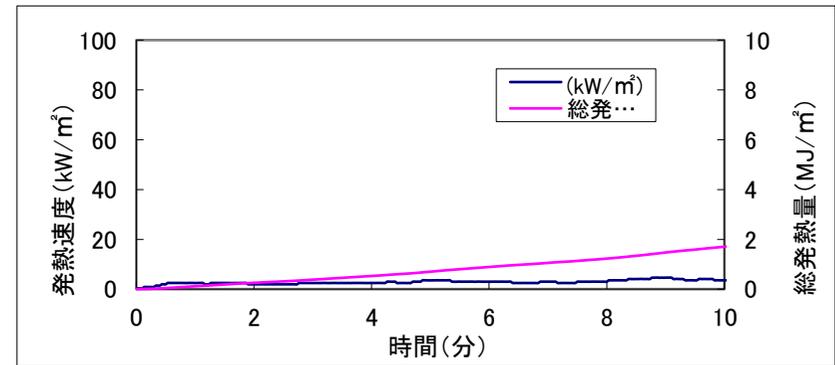
試験体No. ②-1



試験前



試験後



チャート

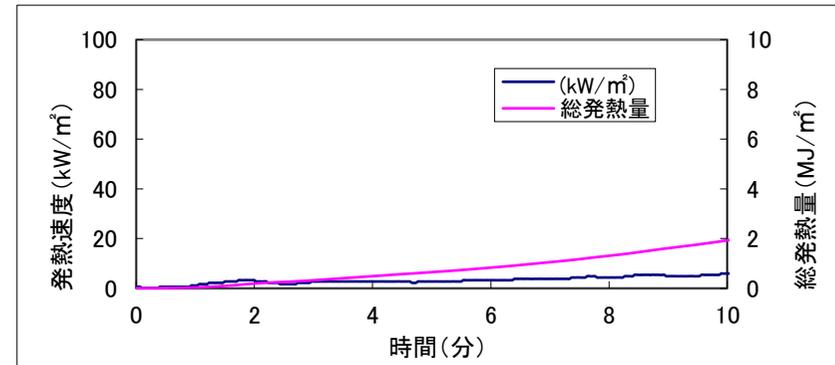
試験体No. ②-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 ②キーテック生産 スギ単板積層材(LVL) W200-38

試験年月日:平成27年 2月 16日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	1.7	5.92	なし	0	発炎なし	図-1
B	3.4	9.08	なし	0	発炎なし	図-2
C	1.4	6.89	なし	0	発炎なし	図-3

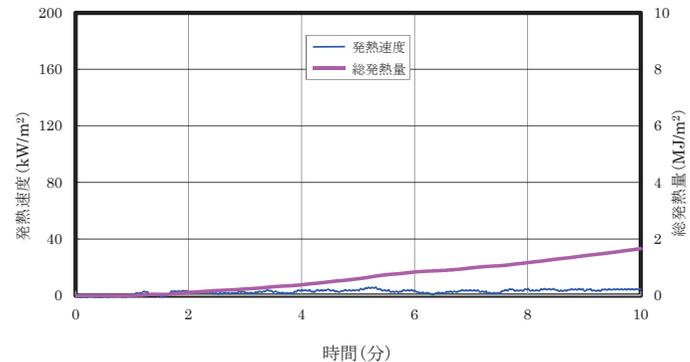


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

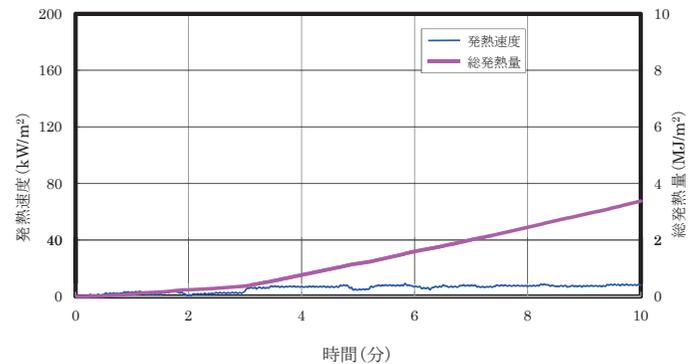


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

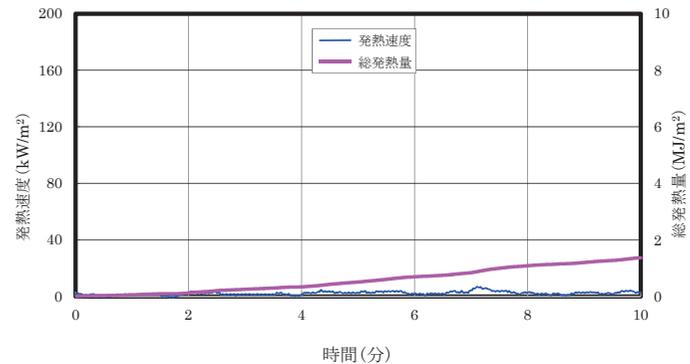


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kw/m ²	備考
③-1	173.97	29.60	26.18	5.21	13.23	
③-2	164.18	29.60	28.20	11.17	89.44	裏面

基材	薬剤
キーテック	ノンW-200

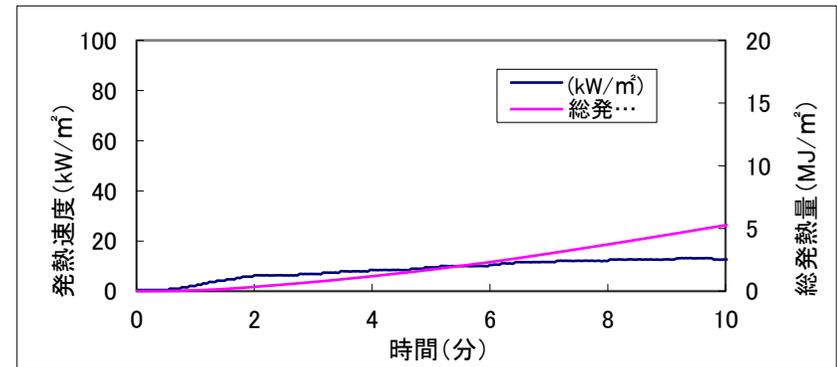
試験体No. ③-1



試験前



試験後



チャート

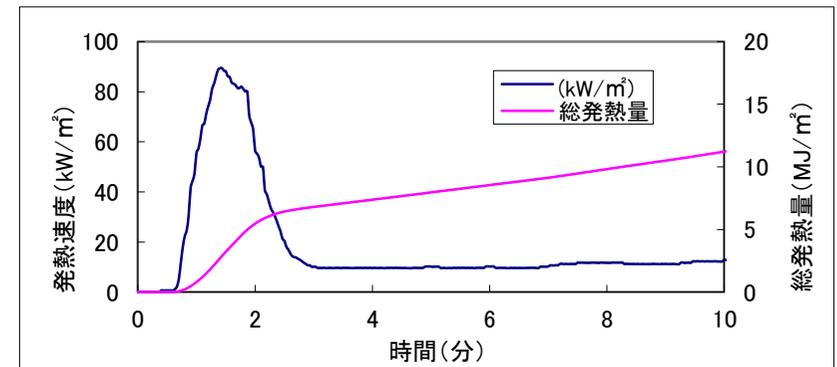
試験体No. ③-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 ③キーテック生産 スギ単板積層材(LVL)

試験年月日:平成27年 2月 19日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	2.4	8.18	なし	0	発炎なし	図-1
B	3.3	9.47	なし	0	発炎なし	図-2
C	4.0	10.32	なし	0	発炎なし	図-3

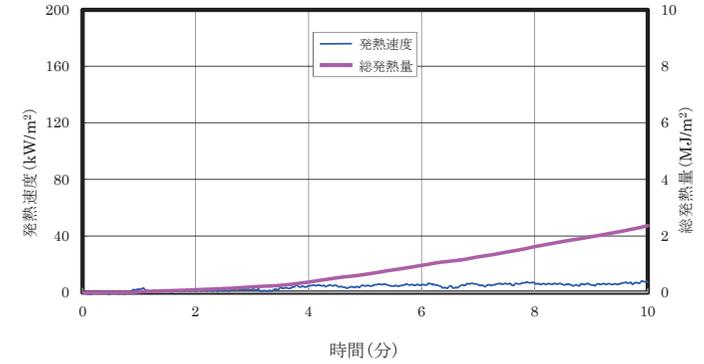


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

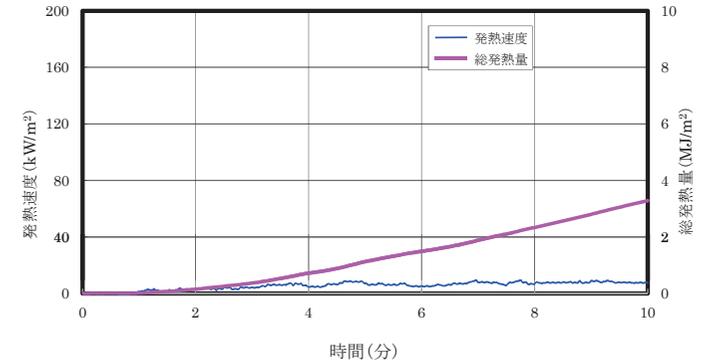


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

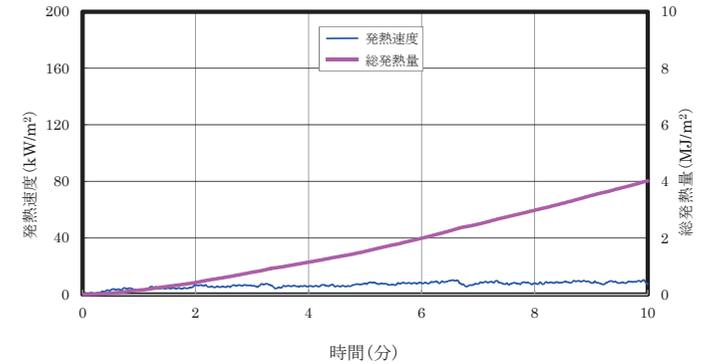


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kw/m ²	備考
④-1	167.11	31.00	24.21	5.10	3.89	
④-2	168.52	31.20	25.56	5.63	14.69	裏面

基材	薬剤
キーテック	ノンW2-50

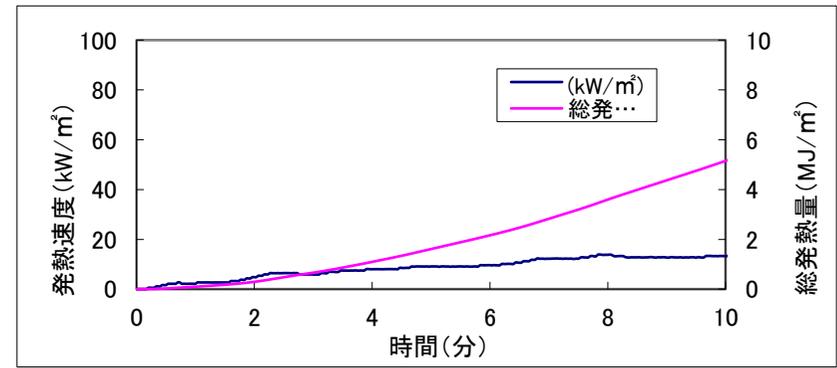
試験体No. ④-1



試験前



試験後



チャート

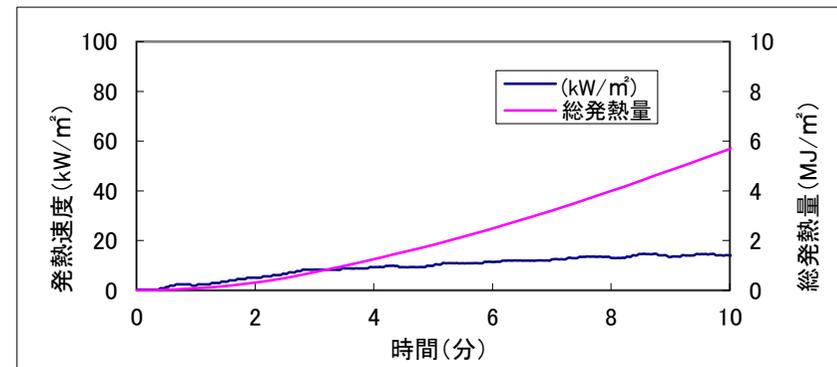
試験体No. ④-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 ④キーテック生産 スギ単板積層材(LVL) K-26

試験年月日:平成27年 2月 16日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	3.4	10.52	なし	0	発炎なし	図-1
B	4.9	13.51	なし	0	発炎なし	図-2
C	3.6	11.76	なし	0	発炎なし	図-3

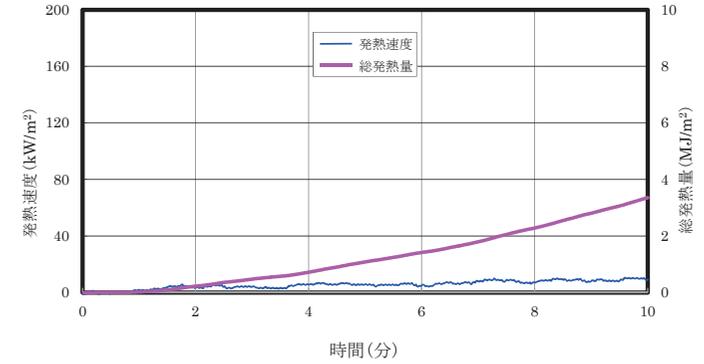


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

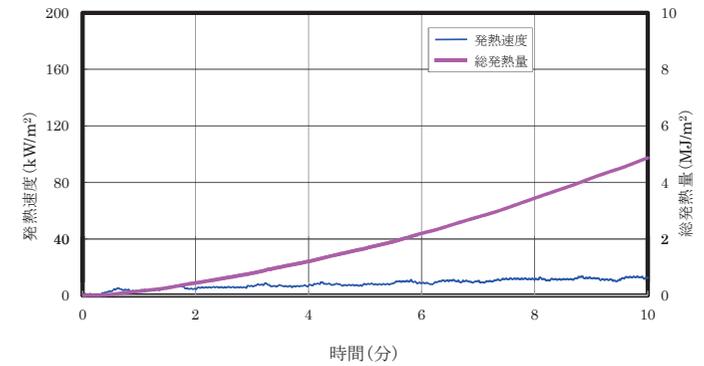


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

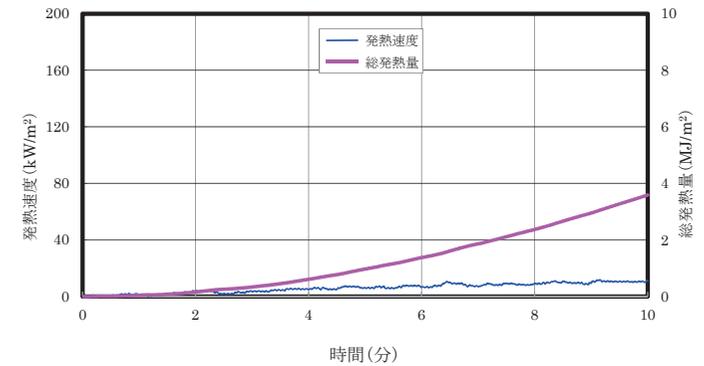


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kW/m ²	備考
⑤-1	173.47	31.15	19.75	2.80	6.53	
⑤-2	179.79	31.05	26.88	7.45	66.11	裏面

基材	薬剤
キーテック	オーシカ品

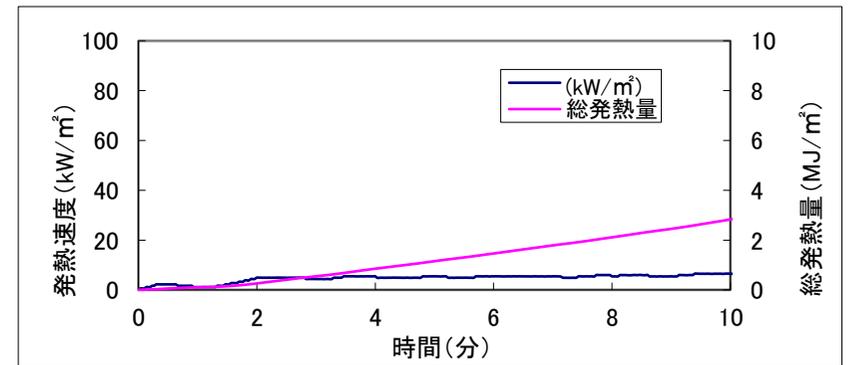
試験体No. ⑤-1



試験前



試験後



チャート

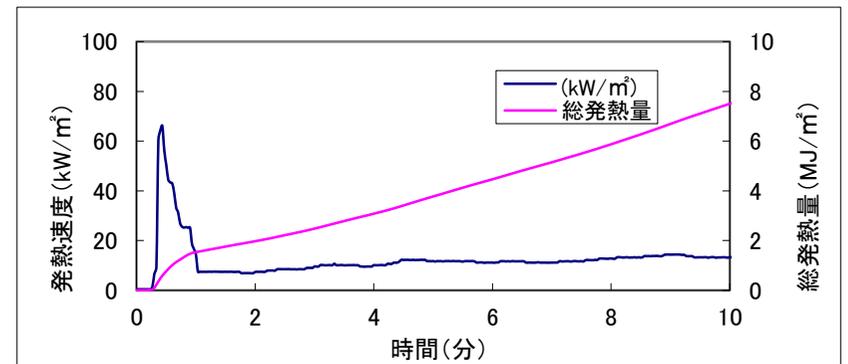
試験体No. ⑤-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 ⑤キーテック生産 スギ単板積層材(LVL) オーシカ

試験年月日:平成27年 2月 17日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	6.4	37.85	なし	0	18~32 39~47	図-1
B	4.2	39.37	なし	0	21~31	図-2
C	3.3	8.85	なし	0	発炎せず	図-3

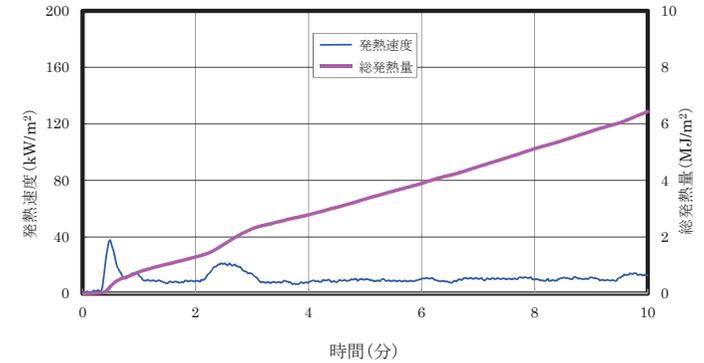


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

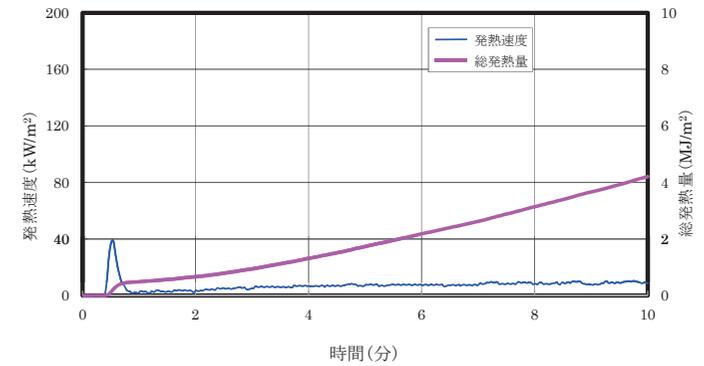


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

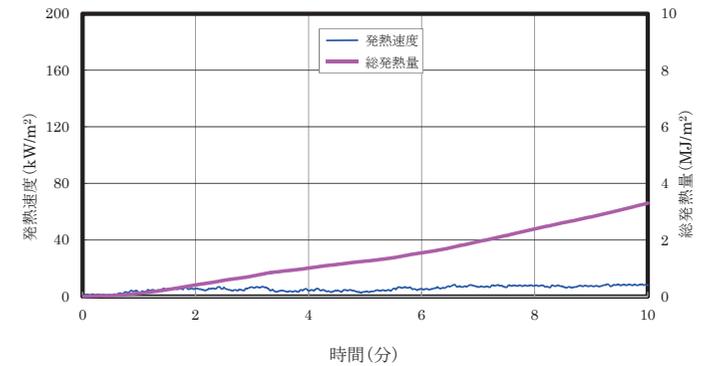


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kW/m ²	備考
⑥-1	144.67	30.00	37.40	45.95	223.82	
⑥-2	136.01	29.90	38.97	48.39	199.82	裏面

基材	薬剤
キーテック	なし

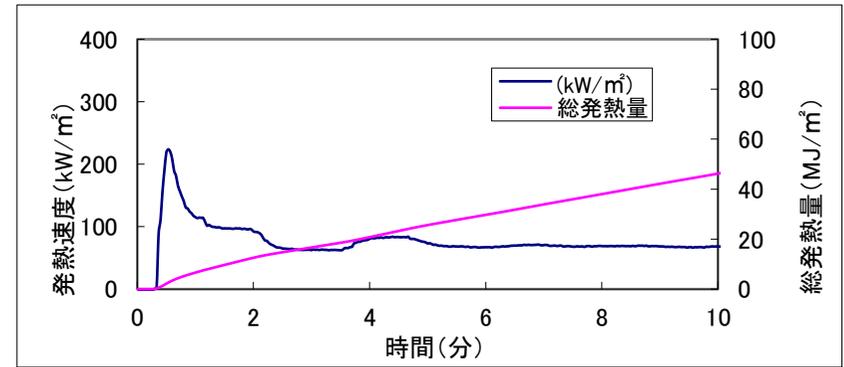
試験体No. ⑥-1



試験前



試験後



チャート

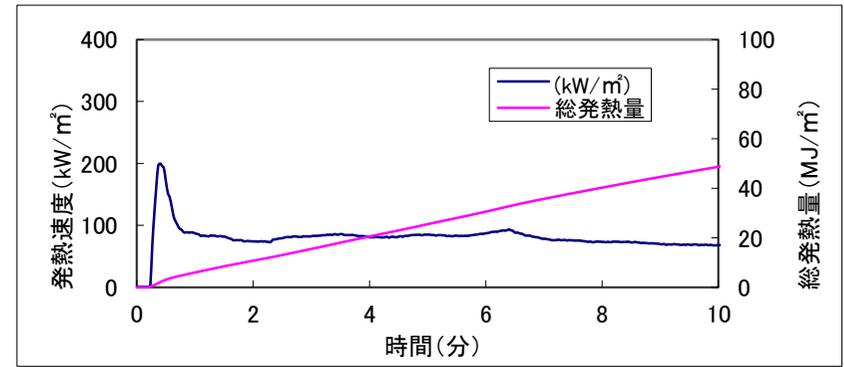
試験体No. ⑥-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 (株)キーテック生産 スギ単板積層材(LVL) K-1

試験年月日:平成27年 2月 17日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	40.6	170.92	なし	0	20~600	図-1
B	39.0	180.77	なし	0	21~600	図-2
C	42.9	173.30	なし	0	13~600	図-3

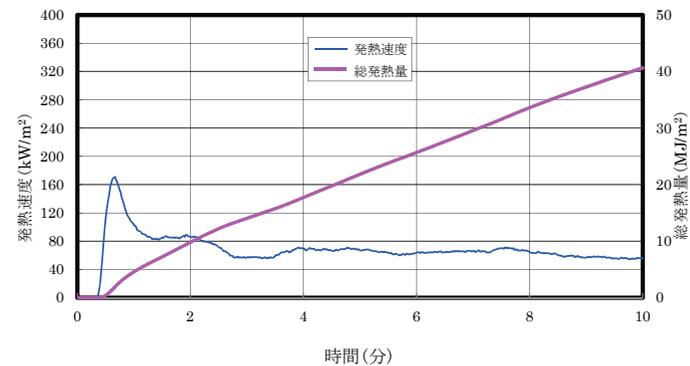


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

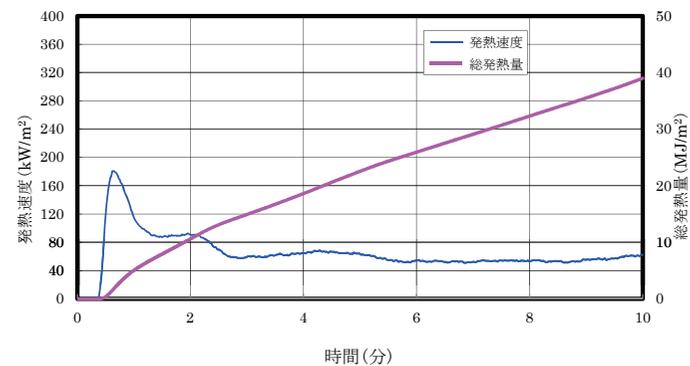


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

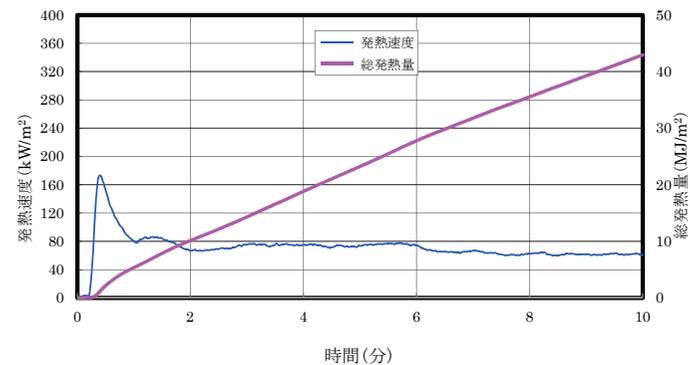


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kW/m ²	備考
⑦-1	121.44	29.80	36.36	47.45	249.61	
⑦-2	121.22	29.75	35.20	47.74	198.99	裏面

基材	薬剤
石巻合板工場	なし

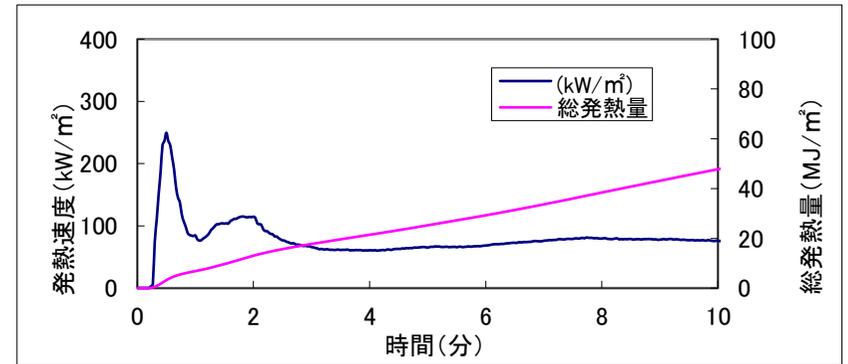
試験体No. ⑦-1



試験前



試験後



チャート

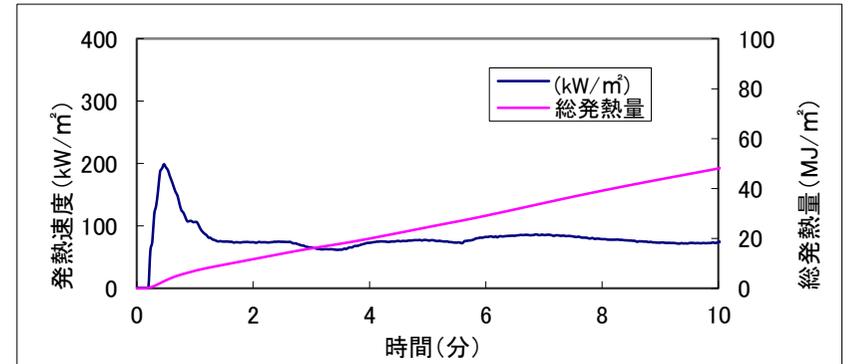
試験体No. ⑦-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 石巻合板工業株式会社 生産 スギ単板積層材(LVL) I-1

試験年月日:平成27年 2月 17日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	41.2	212.22	なし	7	18~600	図-1
B	42.8	207.08	なし	5	14~600	図-2
C	43.1	167.69	なし	0	14~600	図-3

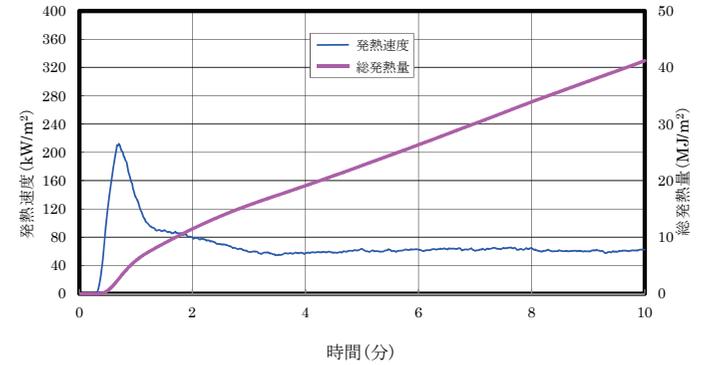


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

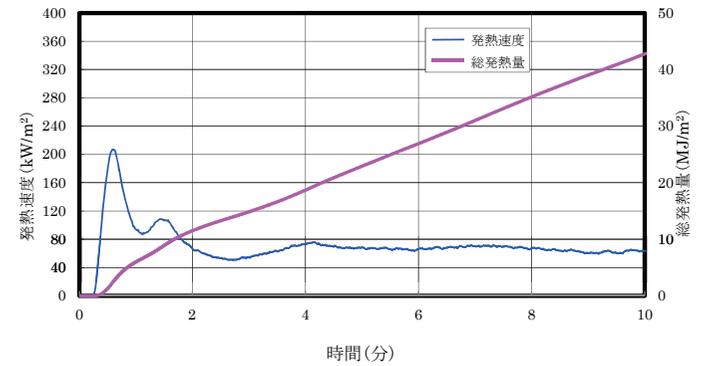


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

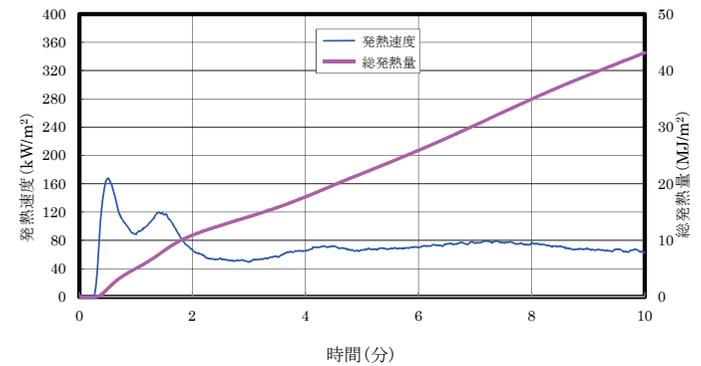


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

CCM試験結果

10分加熱

No.	重量 g	厚み mm	加熱減量 g	総発熱量 MJ/m ²	最大発熱速度 kW/m ²	備考
⑧-1	132.56	29.65	37.95	46.61	249.18	
⑧-2	131.45	29.60	36.01	46.44	231.16	裏面

基材	薬剤
オロチ	なし

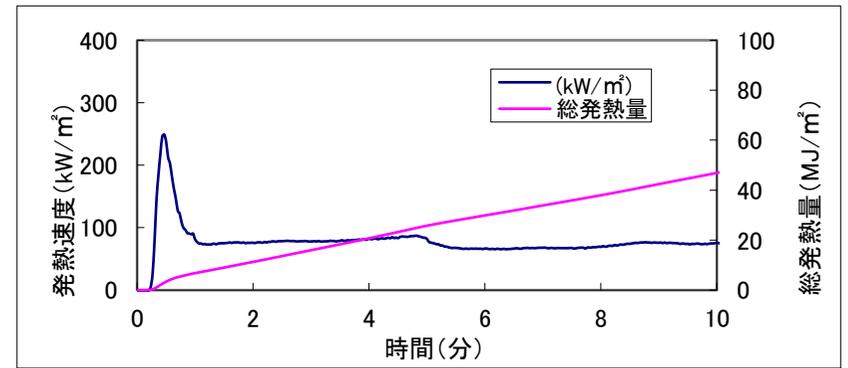
試験体No. ⑧-1



試験前



試験後



チャート

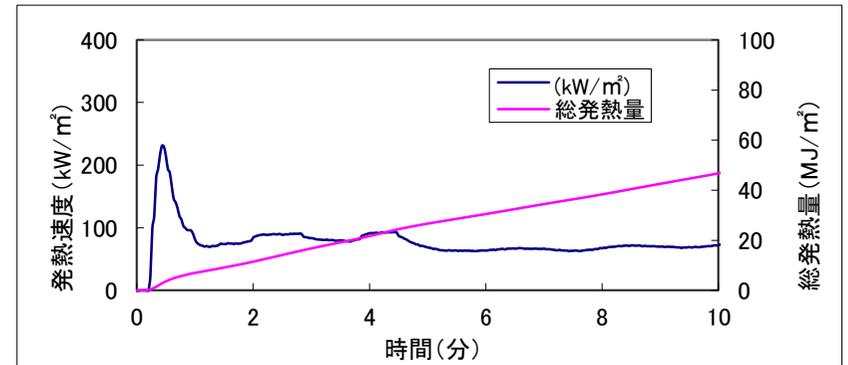
試験体No. ⑧-2



試験前



試験後



チャート

発熱性試験 (株)オロチ生産 スギ単板積層材(LVL) 0-1

試験年月日:平成27年 2月 19日

輻射強度 : 50 kW/m²

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	防火上有害な 変形の有無	最高発熱速度が継続して200kW/m ² を超過した時間	着火時間 [秒]	備考
A	39.0	145.06	なし	0	9~600	図-1
B	37.9	197.88	なし	0	10~600	図-2
C	43.8	158.51	なし	0	11~600	図-3

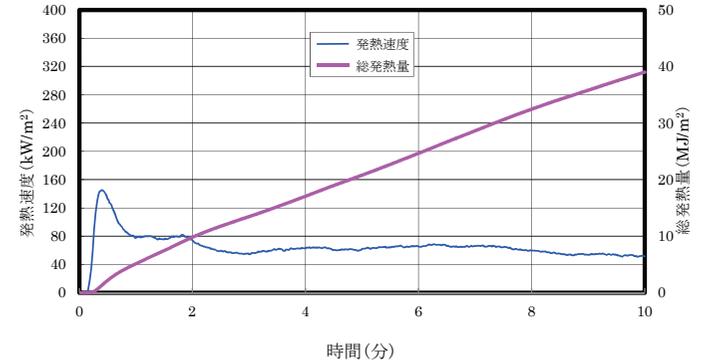


図-1 発熱速度及び総発熱量 (試験体A)

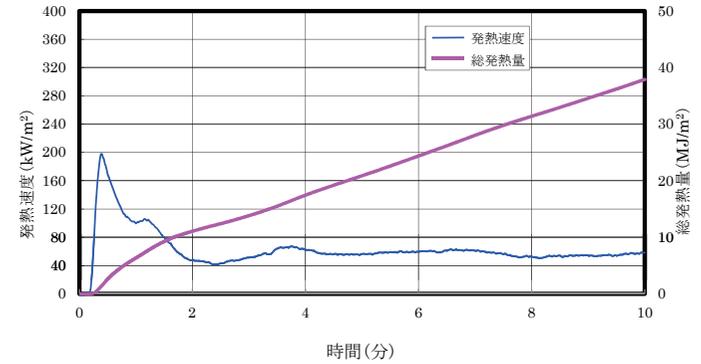


図-2 発熱速度及び総発熱量 (試験体B)

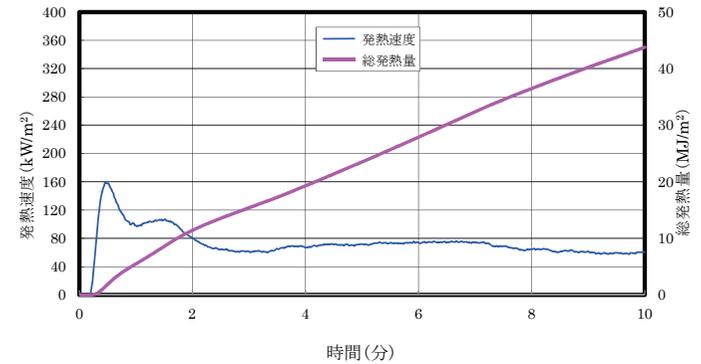


図-3 発熱速度及び総発熱量 (試験体C)

5. LVL を用いた耐火被覆材による 耐火構造柱・梁の開発

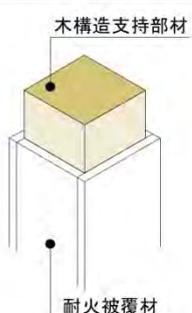
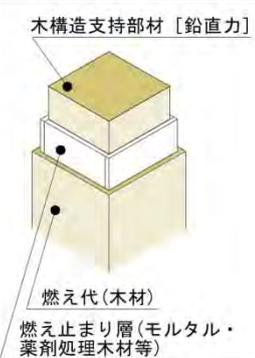
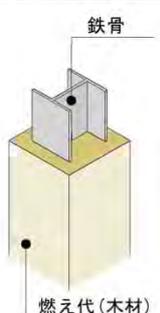
1. 開発目標

現在、木造による耐火構造は、表 1.1 のように、①被覆型、②燃え止まり型、③鋼材内蔵型が提案され、1 時間耐火構造について、①～③すべてで実用化されている。耐火構造は、所定の火災後、消火によらずに崩壊しない性能を有することが求められる。木材は着火してもなかなか燃え進まないが、一旦着火すると燃焼を阻害するものがない限り燃焼しつづけるため、消火をしない限り、部材が鉛直力支持能力を失い建物崩壊につながる。そこで、提案されている木質耐火構造は、①はそもそも木材に着火させないために耐火被覆するタイプ、②及び③は表面の木材には一旦着火するものの燃焼を阻害する工夫を断面構成に施して、途中で燃焼をとめるものである。現状、木質耐火構造を使った木造建築は、約 3500 棟建設されているが、そのほとんどが①被覆型であり、もっとも普及している工法といえる。

この①被覆型で用いられる耐火被覆は、強化せっこうボードやケイ酸カルシウム板など不燃系の材料に限られているが、本開発では、これら不燃系の材料と同様に現場で施工ができる木質系の耐火被覆材を開発することを目標とした。本開発では、主要構造部のうち、まずは「柱」「梁」の線材について検討することとした。その際、独立した「梁」よりも、独立「柱」のほうが建物内での使用頻度が高いことを考慮して、まずは「柱」について、1 時間耐火構造に相応しい L V L を用いた木質系耐火被覆材を開発することとした。

なお、検討する構造躯体は、原則として「木造」とするが、「木造」で見通しがついた仕様について、鉄骨造への流用可能性について並行して検討することとした。

表 1.1 木質耐火構造の種類の一例

	方策1(被覆型)	方策2(燃え止まり型)	方策3(鉄骨内蔵型)
概要			
構造	木造	木造	鉄骨造+木造
特徴	木構造部を耐火被覆し燃焼・炭化しないようにする	加熱中は燃え代が燃焼し、加熱終了後、燃え止まり層で燃焼を停止させる	加熱中は燃え代が燃焼し、加熱終了後、燃え代木材が鉄骨の影響で燃焼停止する
樹種	制限なし	スギ、カラマツ等	ペイマツ・カラマツ
部位	外壁・間仕切壁・柱 床・はり・階段・屋根	柱・はり	柱・はり
実績	約3500棟	約5棟	約5棟

2. 耐火実験の進め方

1 時間耐火構造の性能を確認するためには、大臣認定取得のための性能評価試験で用いられる耐火炉等で、1 時間加熱後に炉内で試験体を放置して、構造躯体の非損傷性が確保されることを確認する必要がある。性能評価試験では、柱長さ 3.5 m 程度の実大規模の載荷加熱試験で性能を確かめるが、検討したい被覆材等のバリエーションが多く、実験装置も限られている上、実験費用もかかるため、以下の流れで検討を進めることとした。検討の流れを図 2.1 に示す。

- (1) 被覆材の仕様、加熱面数等をパラメーターとした 1 m 長さの短柱で 1 時間耐火構造の性能確保の見通しを立てる。この際、載荷は行わず、非損傷性に影響する木構造部の炭化性状を確認した（写真 2.1）。
- (2) (1) の実験で見通しが良かった仕様について、柱長さ約 3.5 m の実大試験体を用いた載荷加熱実験（性能評価試験と同じ試験方法）で 1 時間耐火構造の性能（非損傷性）確認を実施した（写真 2.2）。
- (3) また、(1) で見通しが良かった仕様について、構造躯体を鉄骨造とした場合に耐火被覆材の厚さ、性能をどこまで低減し、合理化できそうかについても検討することとした。
- (4) 実大載荷加熱実験、短柱実験結果より、1 時間耐火構造の被覆として性能を有する仕様の選定と、今後に向けての技術開発上の課題を整理した。

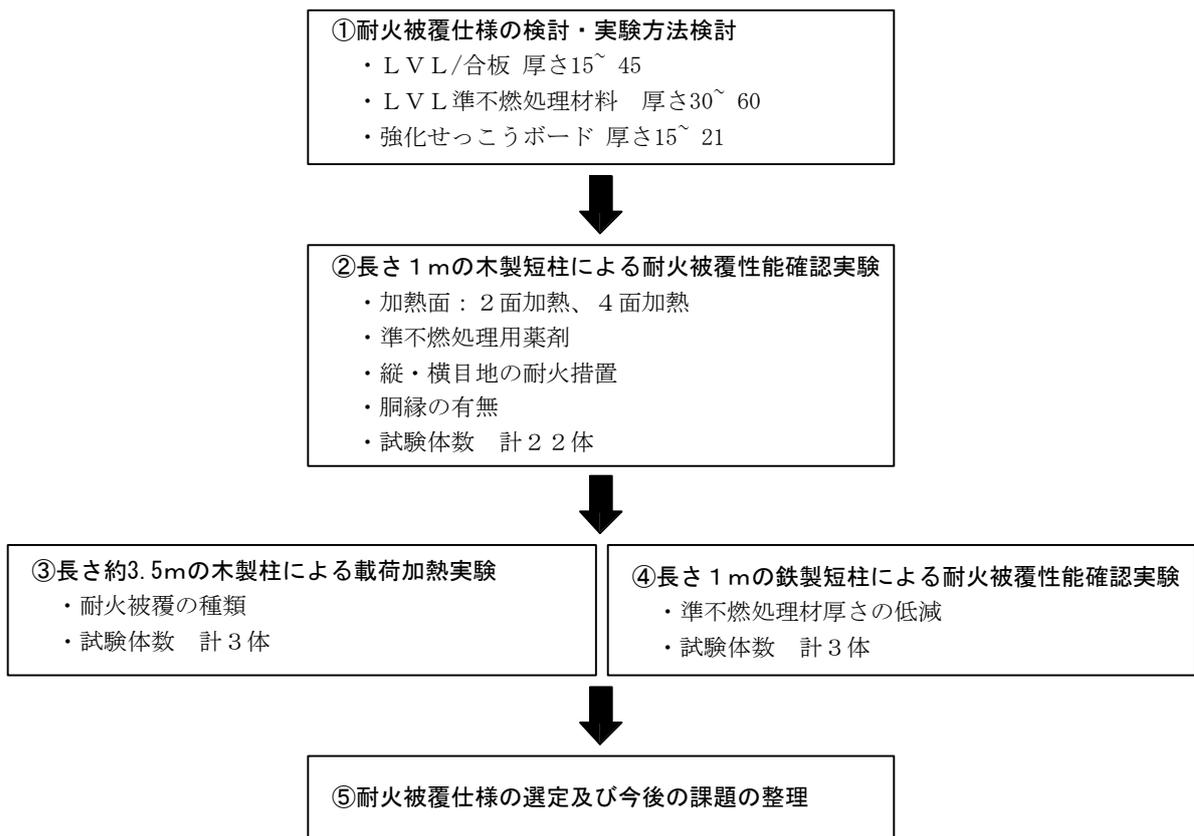


図 2.1 本事業における 1 時間耐火構造に相応しい木質系耐火被覆材の開発の流れ



写真 2.1 短柱による加熱実験の試験体と耐火炉の様子



写真 2.2 建物一層分の長さの柱による載荷加熱実験の試験体と耐火炉の様子

3. 耐火被覆仕様の検討

現状、耐火被覆するタイプの木製柱、梁の1時間耐火構造は、(一社)日本木造住宅産業協会が大臣認定を取得した「強化せっこうボード2枚張り」が代表的である。また、鉄骨造の耐火被覆としても乾式の場合は、せっこうボードやケイ酸カルシウム板が使われている。

そこで、本事業では、耐火構造の被覆として、木造、鉄骨造よらずに、これまで使われてきた強化せっこうボードについて、LVLによる耐火被覆材に置き換えることを目標に検討を進めることとした。その際、下張り、上張りのすべてをLVLに置き換える場合と、下地に強化せっこうボードを用いながら表面材にLVLによる耐火被覆を用いる場合について検討することとした(表3.1)。

耐火被覆材の施工においては、現場での施工を考慮して、LVLや集成材等に使用される、レゾルシノール樹脂系接着剤、フェノール樹脂系接着剤、水性高分子イソシアネート樹脂系接着剤は、現場接着に適さないため使用せずに、木造住宅の根太ボンド等に仕様されている、「ポリウレタン樹脂系接着剤」と木ねじで固定することとした。なお、ポリウレタン樹脂系接着剤は熱可塑性のため、高温になると接着力が低下するという弱点がある。そのため、木ねじで機械的に固定することを前提として、接着剤は補助的な役割として使用することとした。

表 3.1 既存の被覆型大臣認定仕様と本事業での耐火被覆材の仕様の検討

	柱	耐火被覆材(単位:mm)		
		下張り	上張り	総厚
他社の耐火構造大臣認定仕様	木製	強化せっこうボード厚21	強化せっこうボード厚21	42
検討仕様1(準不燃LVLのみ)	木製	準不燃LVL厚50~60		50~60
検討仕様2(準不燃LVL+LVL)	木製	準不燃LVL厚30~45	LVL/合板 厚15~45	60~75
検討仕様3(強化せっこうボード+LVL)	木製	強化せっこうボード厚15~21	LVL/準不燃LVL30~45	45~66

また、本事業で使用した木材の難燃処理薬剤は以下の1)～3)の3種類である。

1)丸菱油化工業社製 ノンネンW200 (以後、W200 と呼ぶ)

(主成分：リン酸グアニジン系、有効成分 20%となるように加水) 目標注入量：120～130kg/m³

2)丸菱油化工業社製 ノンネンW2-50 (以後、W2-50 と呼ぶ)

(主成分：リン酸カルバメート系、有効成分 20%となるように加水) 目標注入量：120～130kg/m³

3)オーシカ社製 TX-495 (以後、オーシカ製と呼ぶ)

(主成分：ホスホン酸化合物、有効成分 20%となるように加水) 目標注入量：120～130kg/m³)

4. 実験方法の検討

火災時に柱は4面から加熱を受ける。その際、出隅は隣り合う2面からの加熱を受けるため、温度が上昇しやすく耐火上の弱点になりやすい。そこで、まずは耐火被覆材の基本的な被覆性能を把握するために、出隅の隣り合う2面加熱の影響を排除した表裏の2面加熱を受ける試験体(以後、2面加熱と呼ぶ)を用いた実験から始めることとした。2面加熱の試験体を1時間加熱しその後炉内で放置し、柱の非損傷性の低下につながる構造部分(荷重支持部)の燃焼・炭化の有無の確認を行った(図4.1①)。この2面加熱の実験より、一般部(以後、平部と呼ぶ)の耐火被覆性能について見通しがついた仕様について、すべての面が加熱を受ける試験体(以後、4面加熱と呼ぶ)を製作し、平部に加えて出隅部の被覆性能について検討した(図4.1②)。4面加熱で見通しがついた仕様について、約3.5mの試験体を製作し、柱断面に長期許容応力度に相当する荷重を載荷しながら1時間加熱し、その後、炉内で放置して構造部分(荷重支持部)が燃焼せず、非損傷性を確保できることを確認した(図4.1③)。

あわせて、木製柱の4面加熱で見通しのついた仕様について、躯体をH鋼として、鉄骨

造への耐火被覆の流用可能性について短柱の加熱実験で見通しをつけることとした。

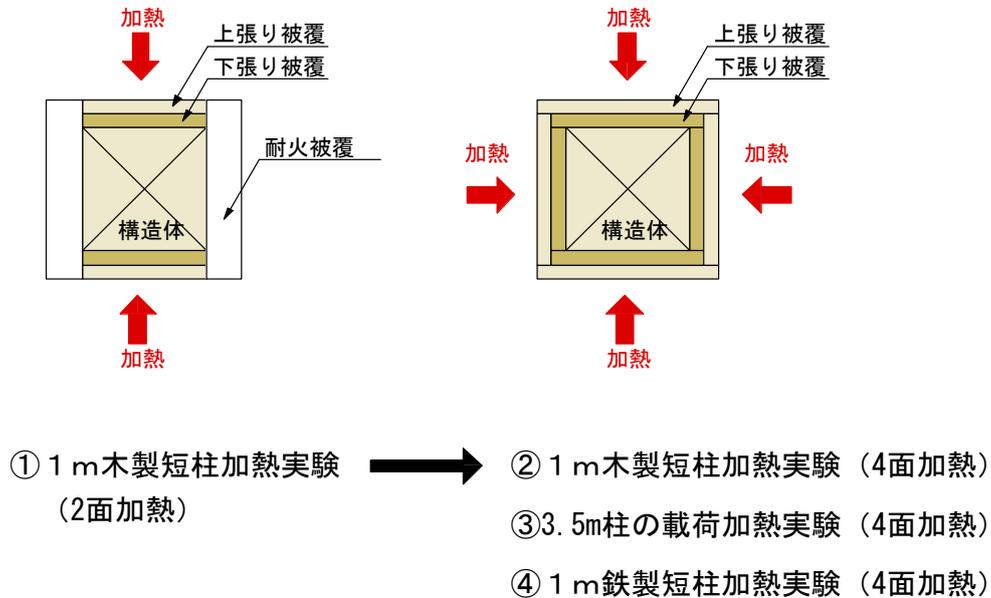


図 4.1 実験での加熱条件の設定

5. 長さ 1 m の木製短柱による耐火被覆性能確認実験

5.1 2面加熱

耐火被覆材の基本的な被覆性能を把握するために、防耐火上弱点となりやすい、隣り合う面から同時に加熱を受ける柱の出隅の影響を排除した試験体を用いた 1 時間の加熱実験を行った。主な実験パラメーターは、①耐火被覆材構成、②LVL 用の難燃薬剤種類、③目地の有無である。

(1) 実験方法

実験は、独立行政法人建築研究所（表 5.1.2-1 の実験①～③）及び一般財団法人建材試験センター西日本試験所（表 5.1.2-1 の実験⑥）の水平炉を用いて、IS0834 標準加熱曲線

に準じた1時間加熱を行った。その後、試験材内部の温度が下降傾向を示すか、試験体の燃焼により実験継続が困難になるまで炉内で放置冷却した。

試験体は、耐火炉のバーナー吹き出し口の正面に配置しないようにして、炉内に3～6体同時に設置し、同時に加熱することとした(図5.1.1-1)。隣り合う試験体間の距離は概ね1.0～1.3mであった。

放置冷却終了後、すみやかに脱炉し、燃焼継続している部分があれば注水消火した。その後、試験体を温度測定点付近で上下に切断し燃焼状況を確認した。実験装置の概念図を図5.1.1-1に示す

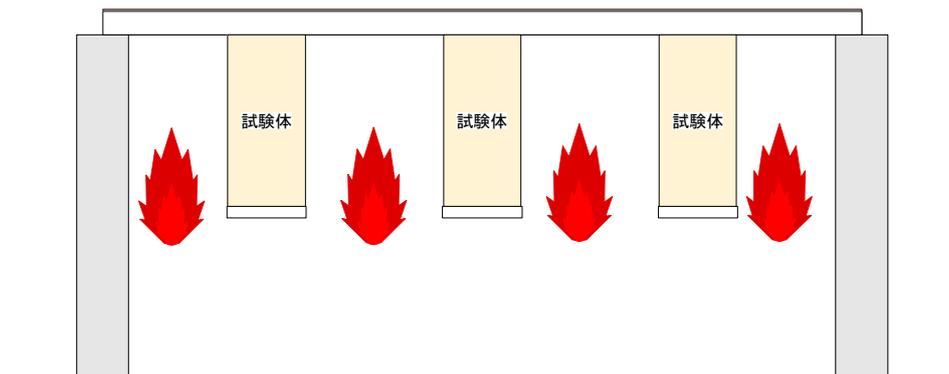


図 5. 1. 1-1 水平炉を用いた1時間耐火構造性能確認実験の試験装置概念

耐火性能の評価は、耐火被覆材と構造体の木材間の温度が概ね260℃を越えず、すべての測定点の温度が下降傾向にあることと、目視にて構造体に燃焼痕がないことにより行うこととした。

(2) 試験体

試験体一覧を表5.1.2-1に、試験体図を図5.1.1-2～図5.1.2-15に示す。試験体は長さ1mとし、構造体のスギLVLまたはスギ集成材の向かい合う2面を表5.1.2-1の下張り及び上張りの耐火被覆材で被覆した。耐火被覆材の設計においては、1時間加熱終了後に、上

張りの耐火被覆材の可燃物がほぼ消失すれば、加熱終了後は下張りの準不燃処理した LVL または強化せっこうボードで燃焼を停止し、構造躯体の燃焼を阻止できると考えた。すなわち、上張りの準不燃処理していない LVL では、炭化速度を 0.6~0.8mm/分と考えて、1 時間で 36~48mm 燃えるとして、その範囲で厚さを設定した。準不燃処理した LVL のみの試験体や上張りに準不燃処理した LVL では、炭化速度は処理していない場合よりも低下すると考えて 25~30mm 燃えるとして厚さを設定した。

先行する実験で十分な耐火性能を確認できた仕様については続く実験において、耐火被覆をどこまで合理化（薄く）できるかについて検討した。

また、実験⑥では、構造体の断面が大きくなった場合には、耐火被覆材に目地が発生することを考えて、縦目地、横目地について、目地を突きつけ又はあいじゃくりとし、目地裏の当て木の有無による目地部の耐火性能を系統的に調べた。

耐火被覆材の留め付けは、現場で施工可能とするために、ポリウレタン系樹脂接着剤と木ねじで留め付けた。木ねじのねじ頭の熱橋の影響を低減するために、深さ 30mm 以上埋め込み木栓をした。

なお、すべての木材の含水率はすべて 15%以下になるように調整した。

表 5. 1. 2-1 試験体仕様一覧と実験結果概要

試験体名	躯体	耐火被覆		実験結果
		下張り	上張り	
実験①-1	スギ LVL150×300	LVL準不燃60		○
実験①-2	スギ LVL150×300	LVL準不燃30	LVL45	○
実験①-3	スギ LVL150×300	強化PB21	LVL45	△
実験①-4	スギ LVL150×300	強化PB21	LVL準不燃30	○
実験②-1	スギ LVL150×300	LVL準不燃50		○
実験②-2	スギ LVL150×300	LVL準不燃30	LVL30	○
実験②-3	スギ LVL150×300	強化PB21	LVL45	×
実験②-4	スギ LVL150×300	強化PB15	LVL準不燃30	×
実験③-3	スギ集成材 150×300	LVL準不燃60「才」		○
実験③-4	スギ集成材 150×300	LVL準不燃30「才」	LVL45	×
実験③-5	スギ集成材 150×300	LVL準不燃60「W2」		○
実験③-6	スギ集成材 150×300	LVL準不燃30「W2」	LVL45	×
実験④-1	スギ集成材 150×300	LVL準不燃60 縦目地(直留め)		○
実験④-2	スギ集成材 150×300	LVL準不燃60 縦目地(胴縁留め)		×
実験④-3	スギ集成材 150×300	LVL準不燃60 横目地(胴縁留め)		○

※ LVL準不燃=準不燃処理LVL(特記なきは薬剤がW200(丸菱油化社製))

※ LVL準不燃の後の「才」はオーシカ社製の薬剤、「W2」はW2-50(丸菱油化社製)

※ 実験結果の○は躯体の燃焼が全くなかったもの、△は躯体が部分的に燃焼したもの、×は躯体全体に燃え込んだもの

表 5.1.2-2 試験体断面一覧及び実験結果概要 (2 面加熱)

①-1	○	①-2	○	①-3	△
①-4	○	②-1	○	②-2	○
②-3	×	②-4	×	③-3	○
③-4	×	③-5	○	③-6	×
⑥-1	○	⑥-2	×	⑥-3	○

※実験結果の○は躯体の燃焼が全くなかったもの、
△は躯体が部分的に燃焼したもの、×は躯体全体に燃え込んだもの

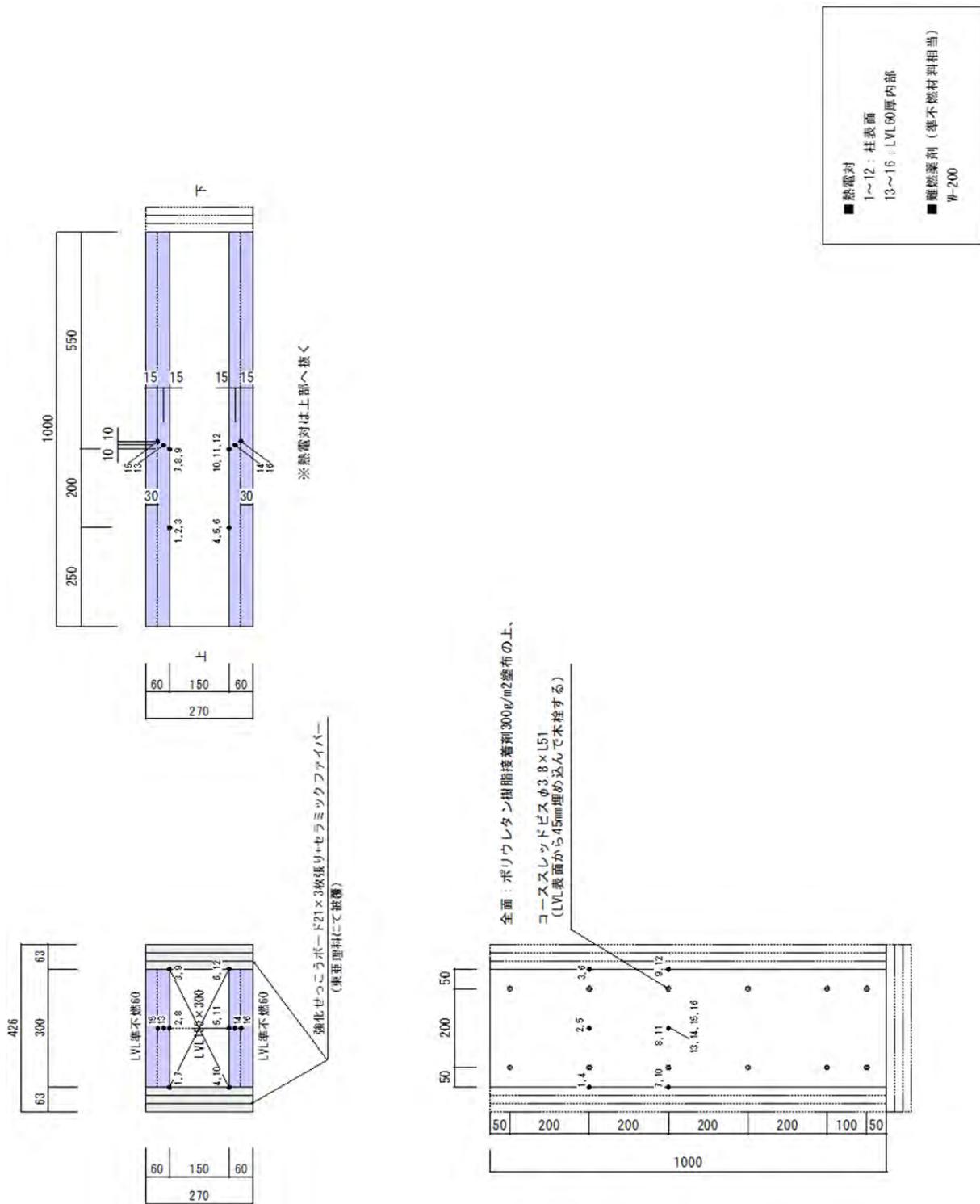


図 5.1.2-1 実験①-1 試験体図

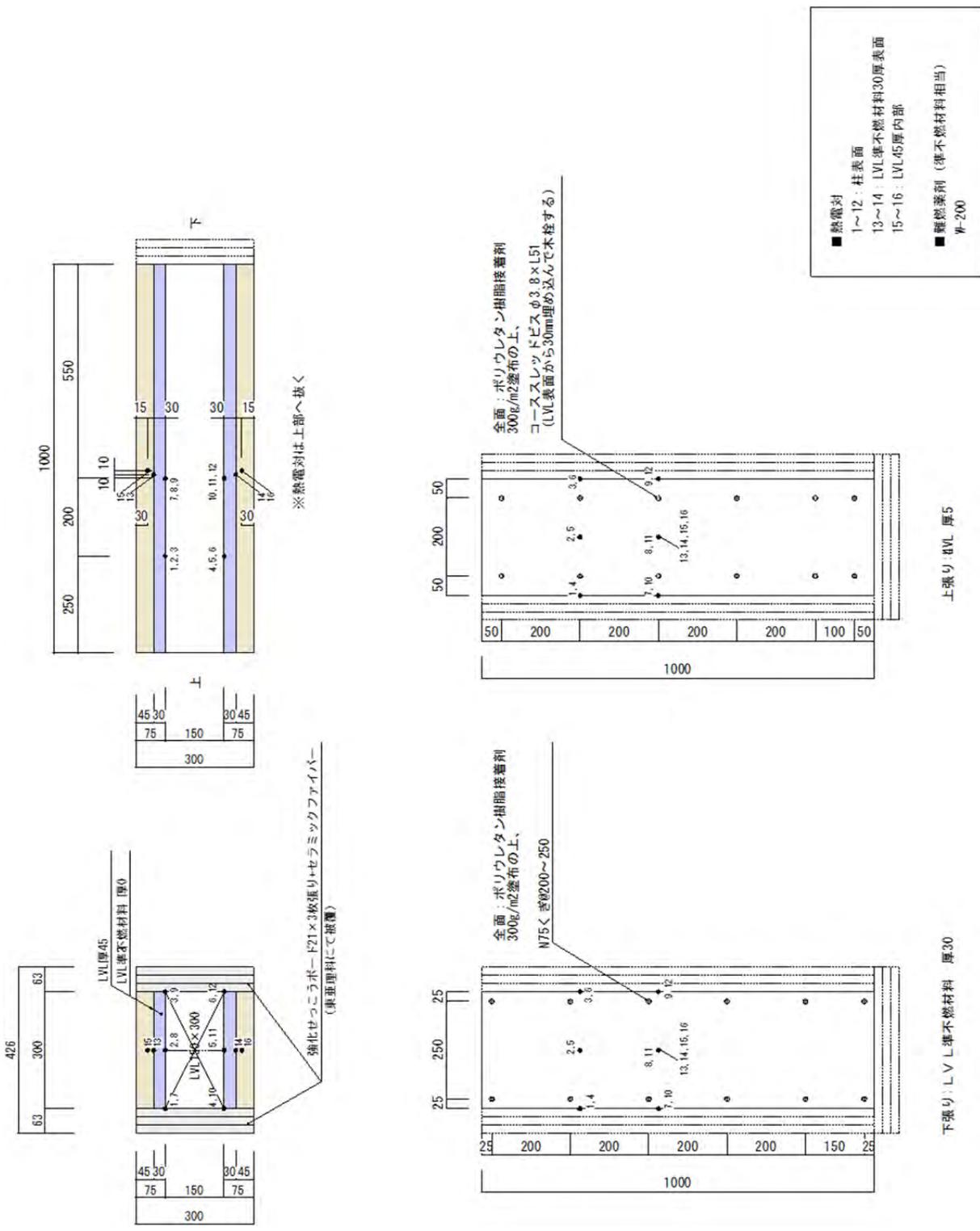


図 5. 1. 2-2 実験①- 2 試験体図

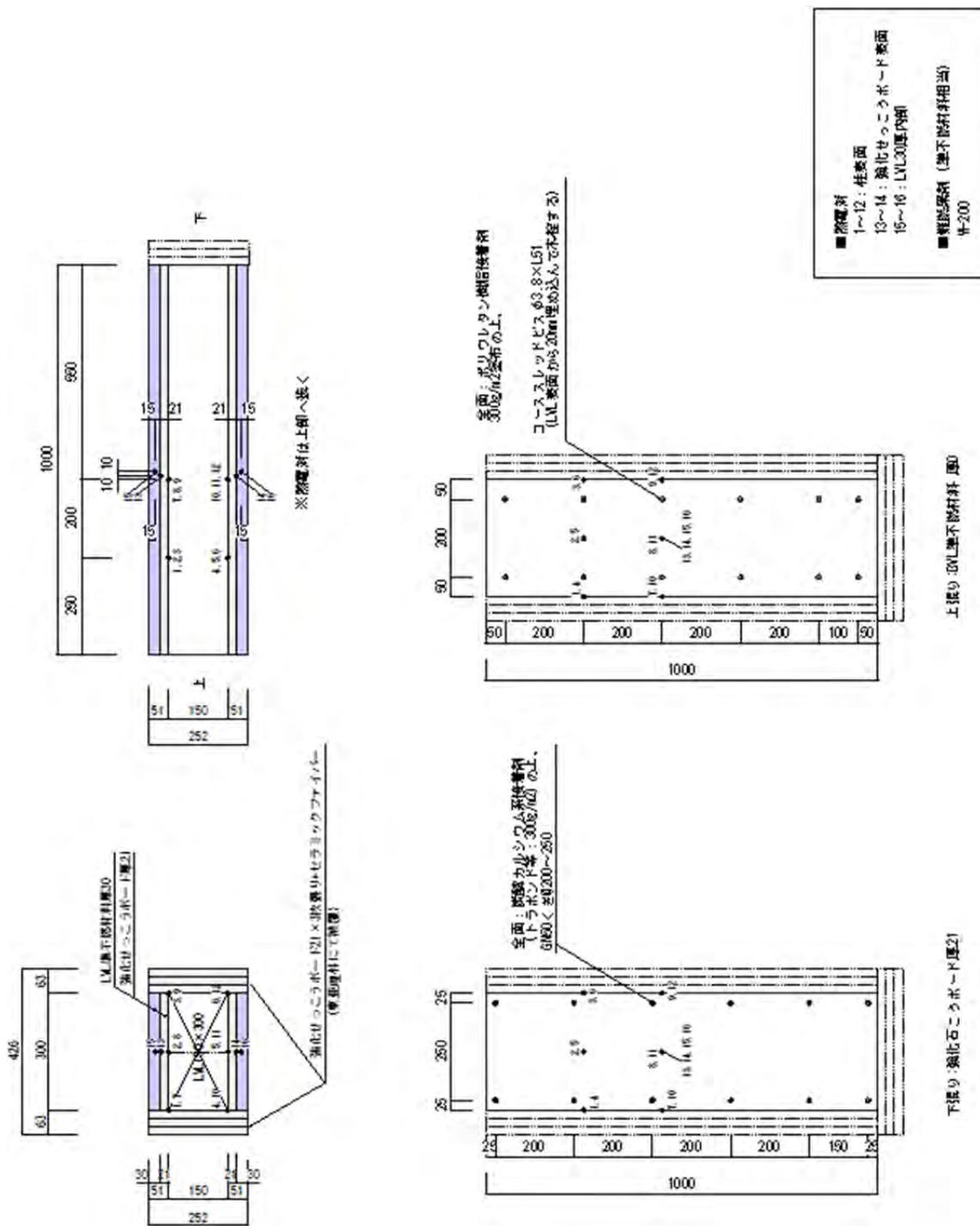


図 5.1.2-4 実験①-4 試験体図

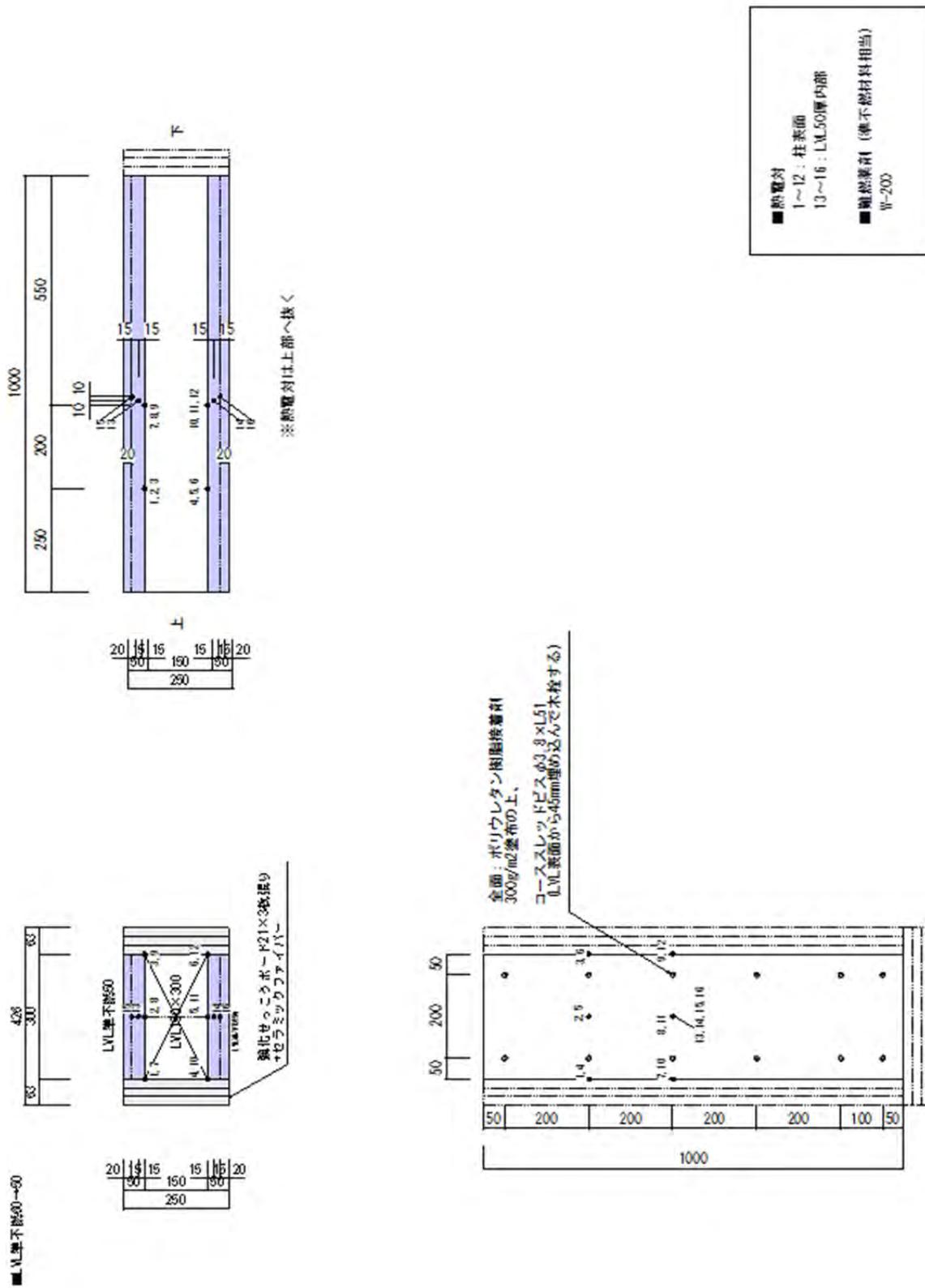


図 5.1.2-5 実験②-1 試験体図

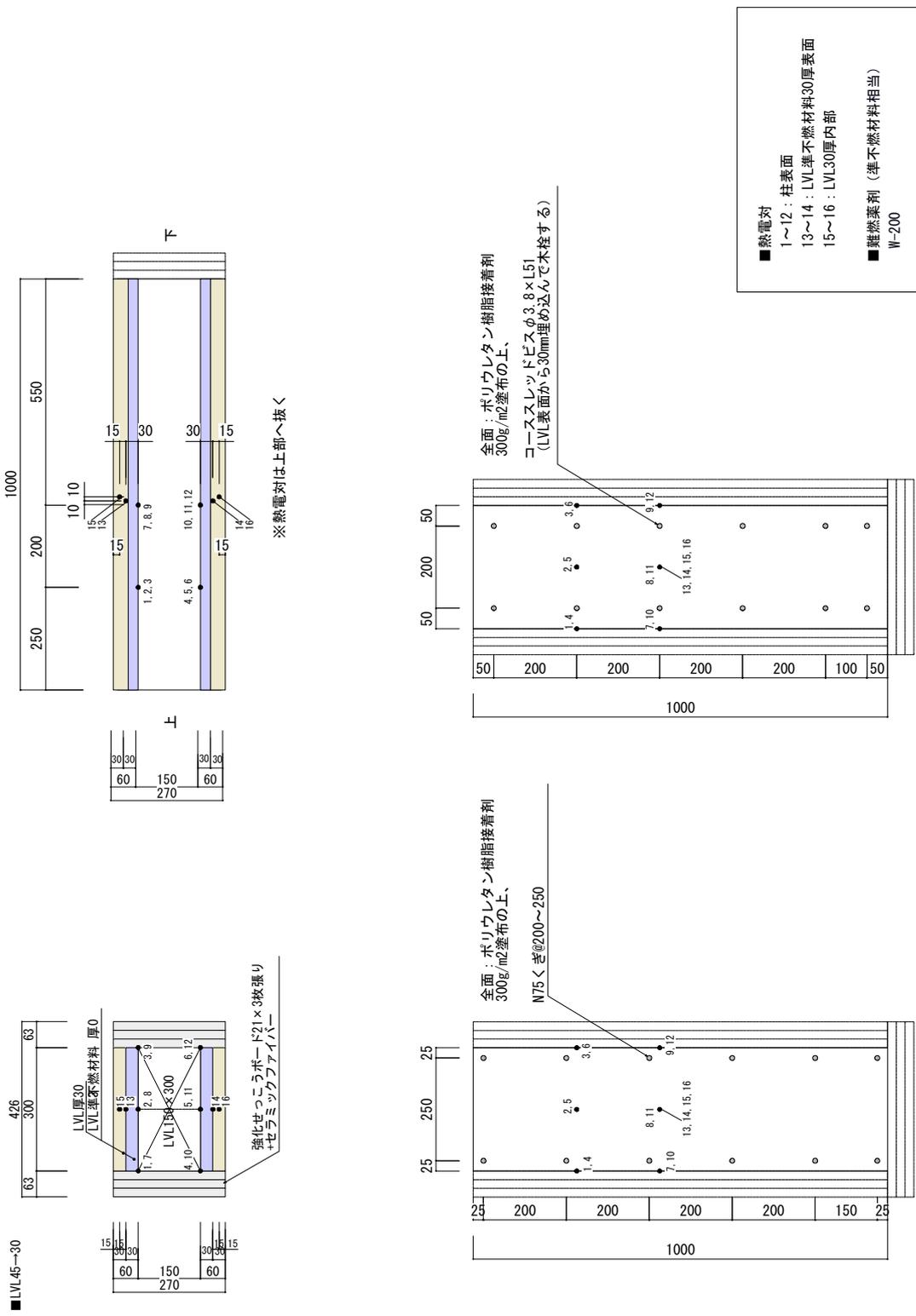


図 5.1.2-6 実験②-2 試験体図

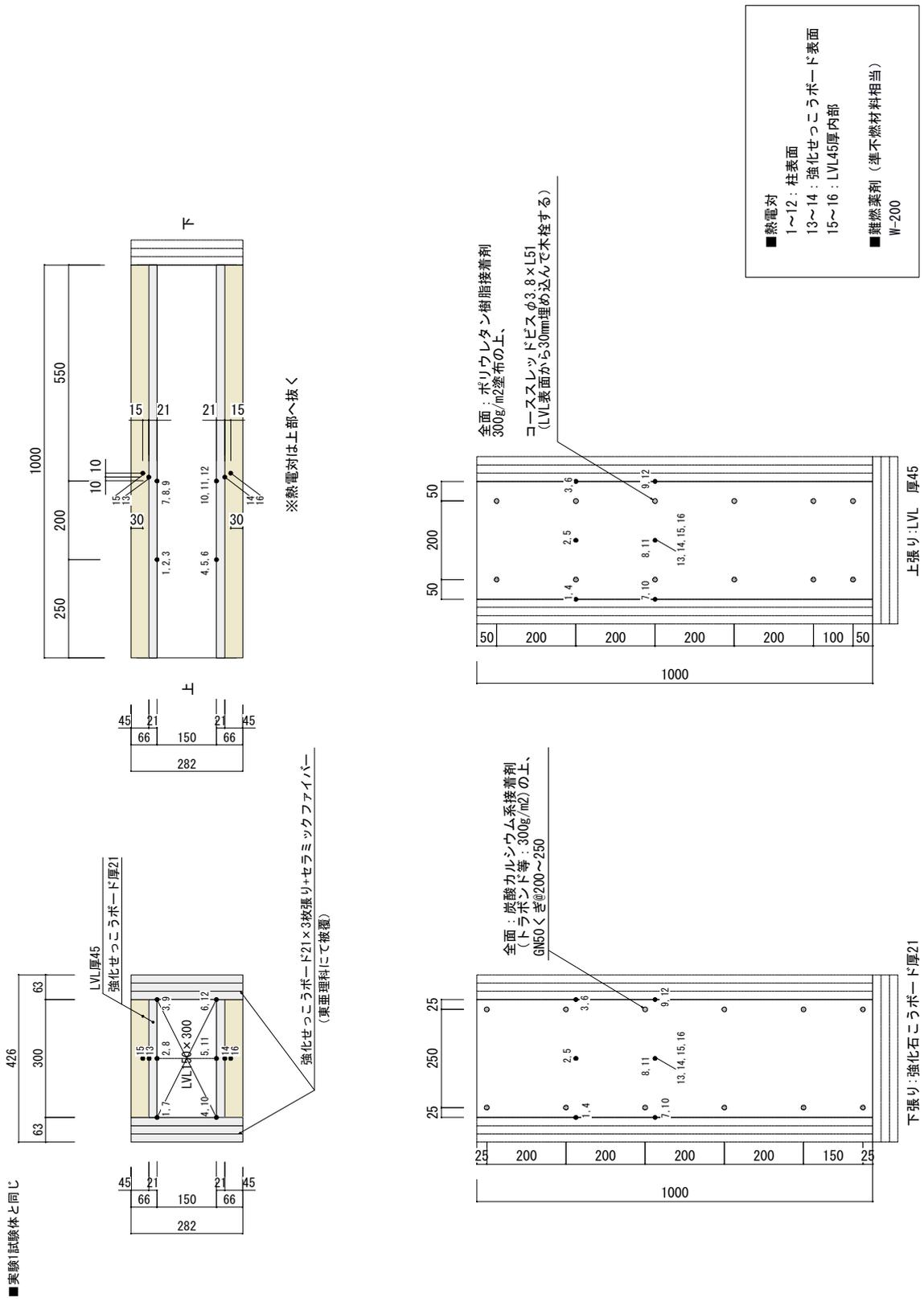


図 5.1.2-7 実験②-3 試験体図

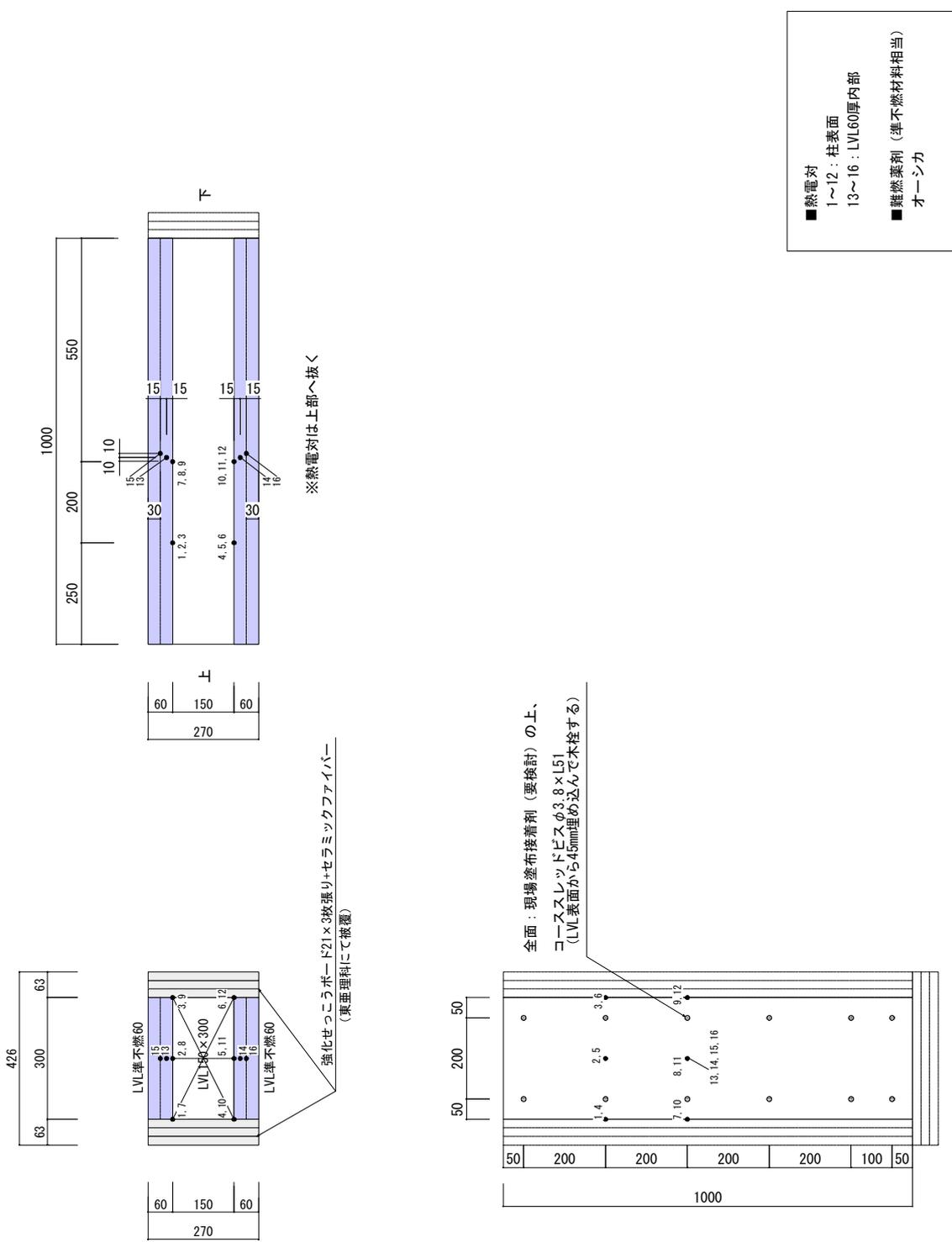


図 5.1.2-9 実験③-3 試験体図

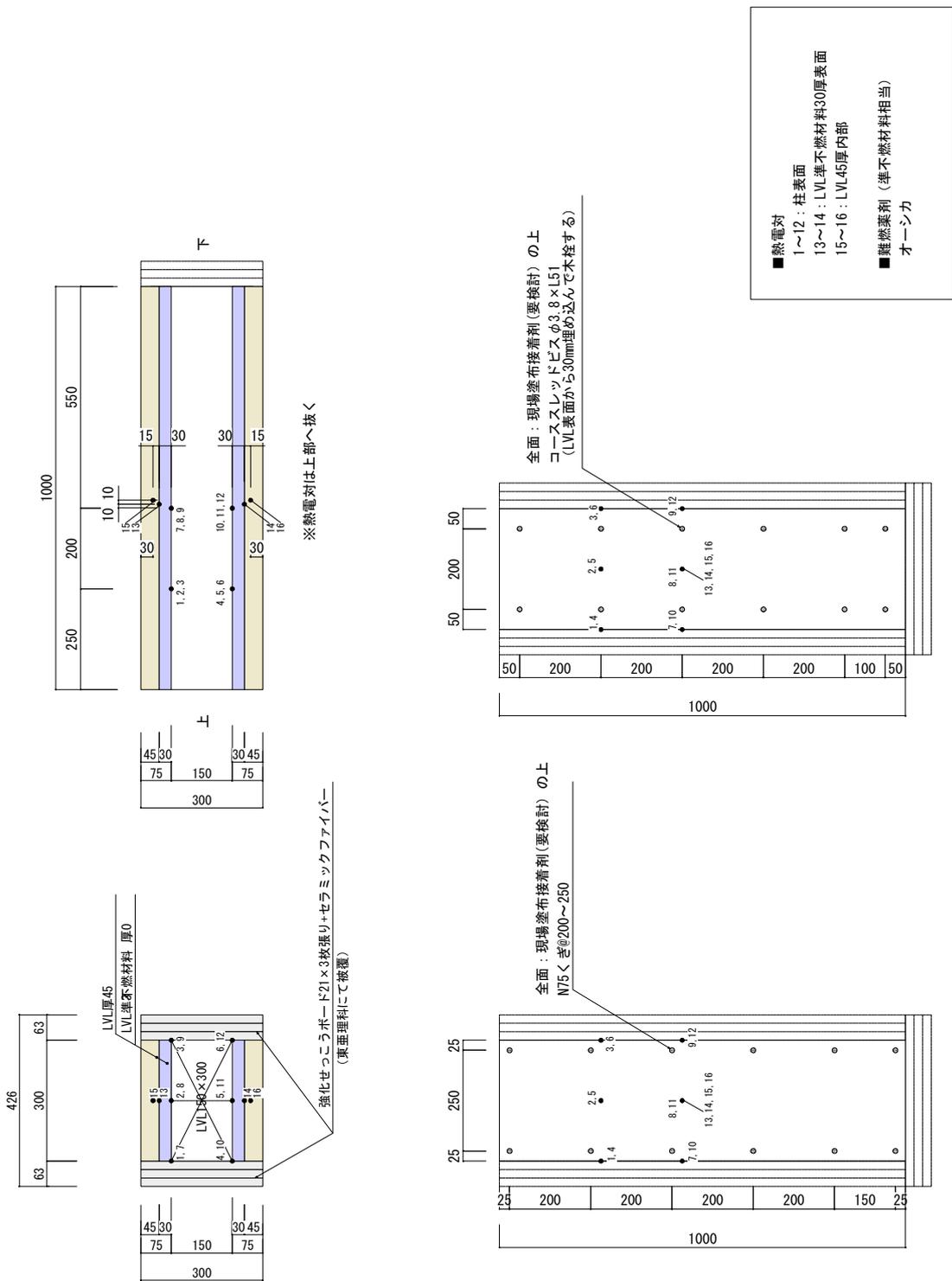


図 5.1.2-10 実験③-4 試験体図

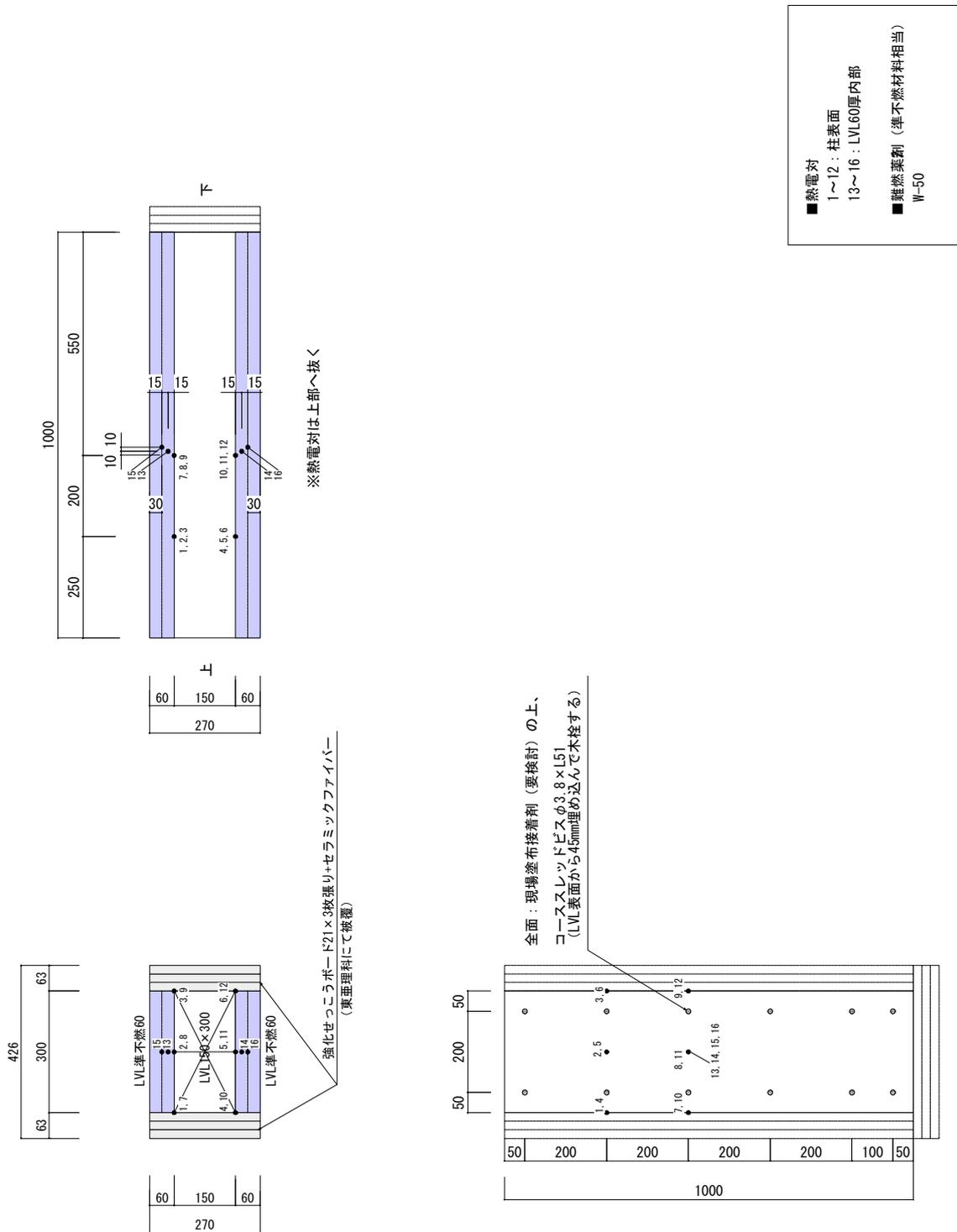


図 5.1.2-11 実験③-5 試験体図

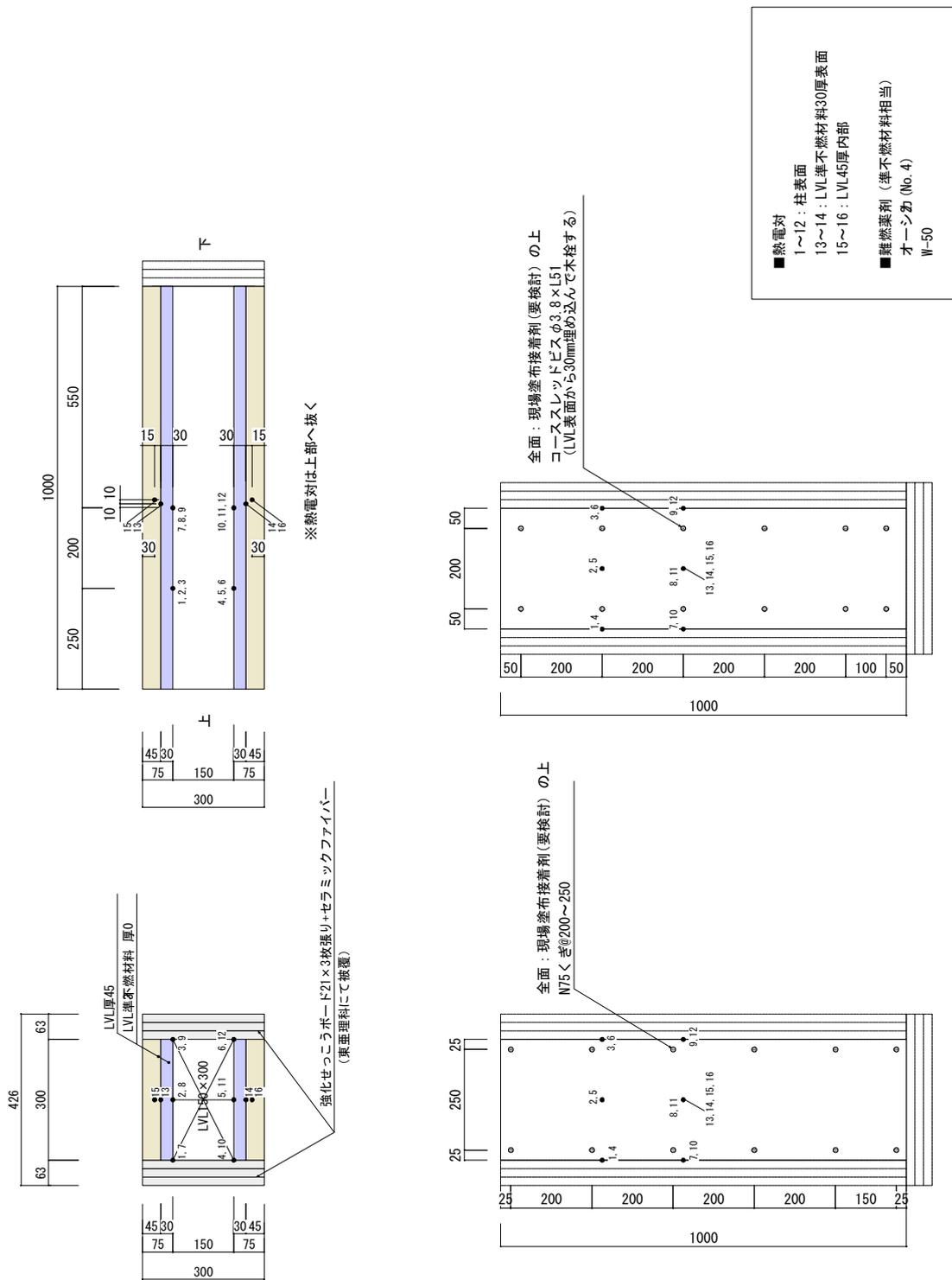


図 5.1.2-12 実験③-6 試験体図

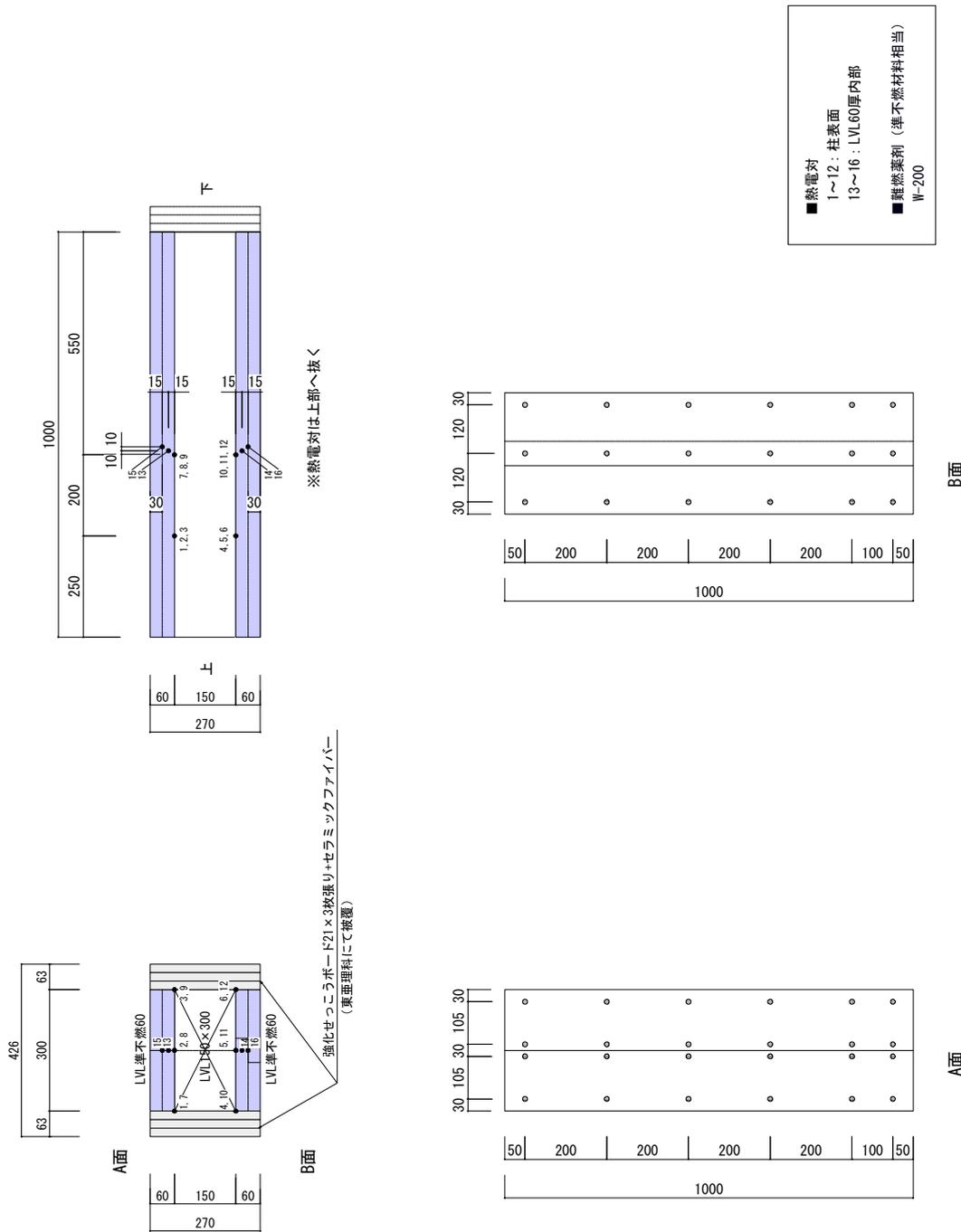


図 5.1.2-13 実験⑥-1 試験体図

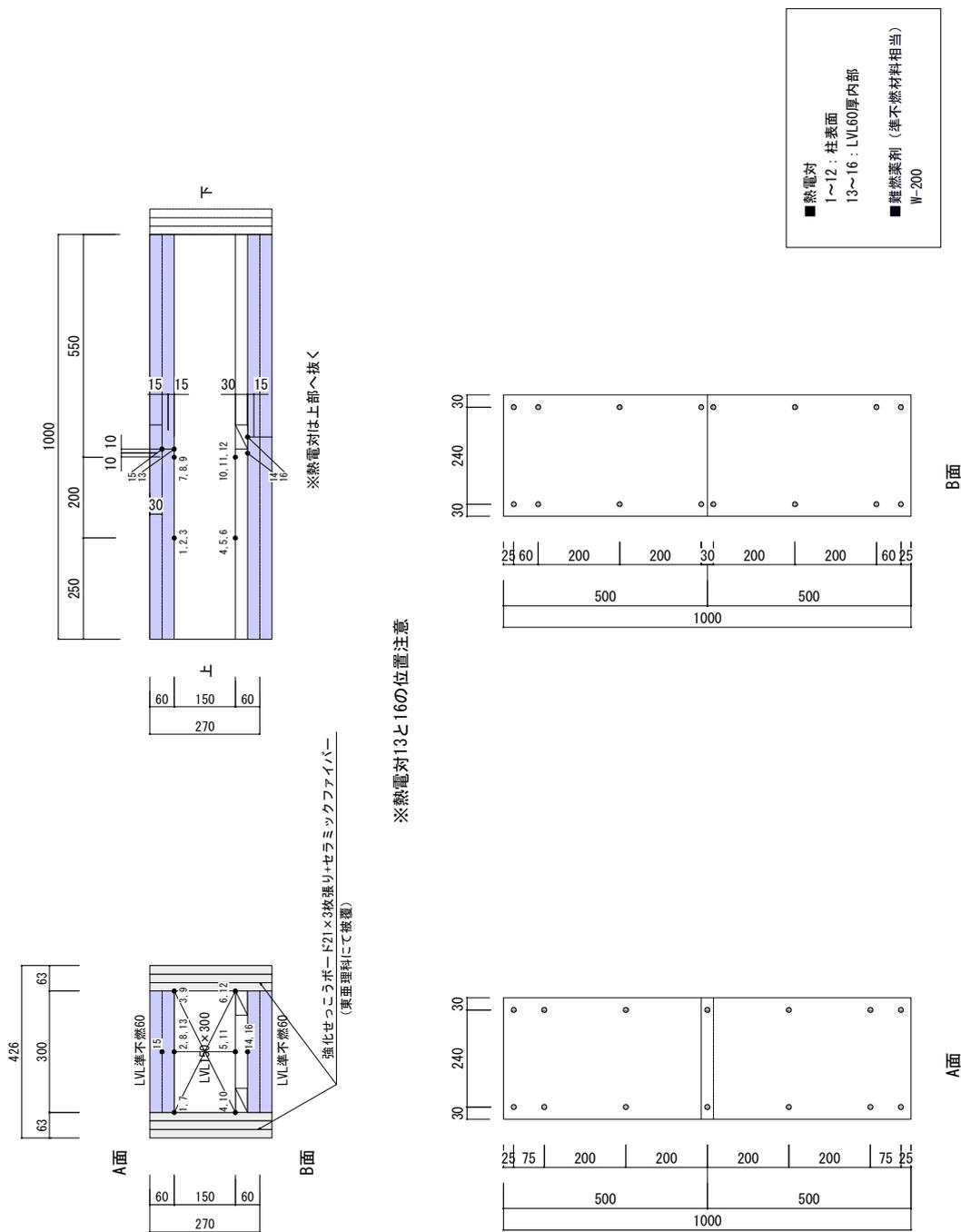


図 5.1.2-15 実験⑥-3 試験体図

(3) 実験結果及び考察

実験結果を表 5.1.2-1 の右欄（凡例は表下の欄外）に、各部の温度推移を図 5.1.3-1～図 5.1.3-19 に、実験時の写真を写真 5.1.3-1～19 に示す。

これによると、上張材が準不燃処理していない LVL の場合、厚さが 30mm 以下（0mm も含む）であれば 1 時間加熱中に可燃物がすべて燃焼し、その後、放置中に下張材の準不燃処理した LVL で燃焼を停止することが可能であった（実験①-1、実験②-1、実験②-2、実験③-3、実験③-5）。一方で、上張材の準不燃処理していない LVL の厚さが 45mm になると、薬剤によっては、燃焼が停止せず構造体が燃焼することがある（実験①-3、実験③-4、実験③-6）。これは、1 時間加熱中に上張材が燃焼し、加熱終了後も燃焼・赤熱して、発熱源として残存し、下張材や構造材の燃焼の要因となるためと考えられる。この傾向は特に、下張材が強化せっこうボードの場合に顕著に見られた。

a. 温度推移

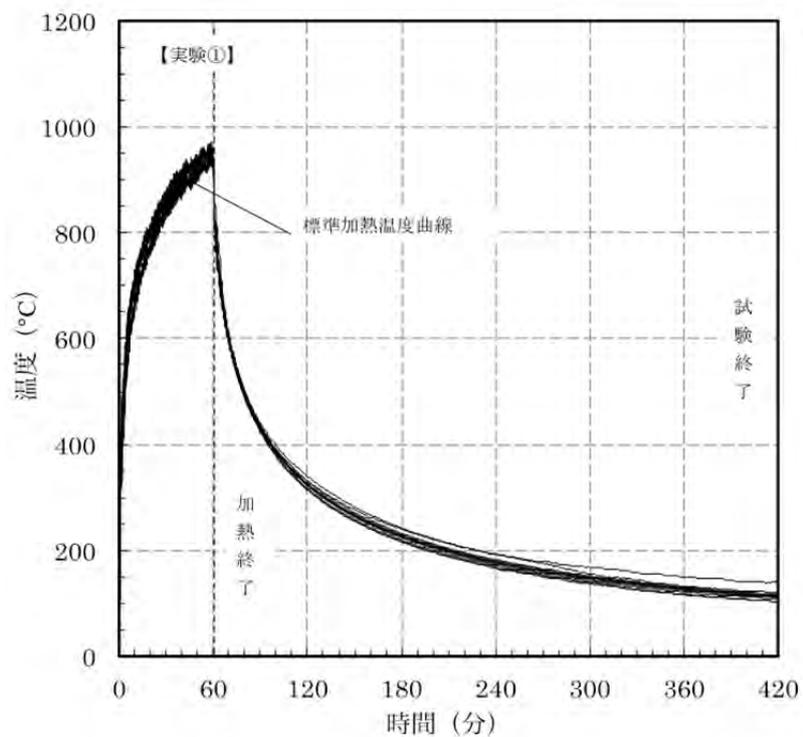


図 5.1.3-1 実験①炉内温度推移

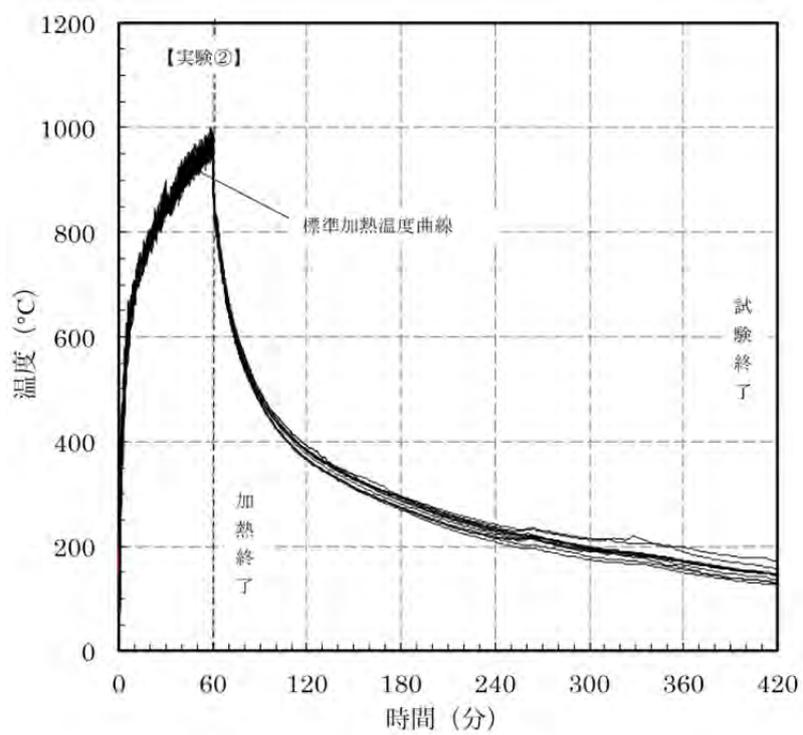


図 5.1.3-2 実験②炉内温度推移

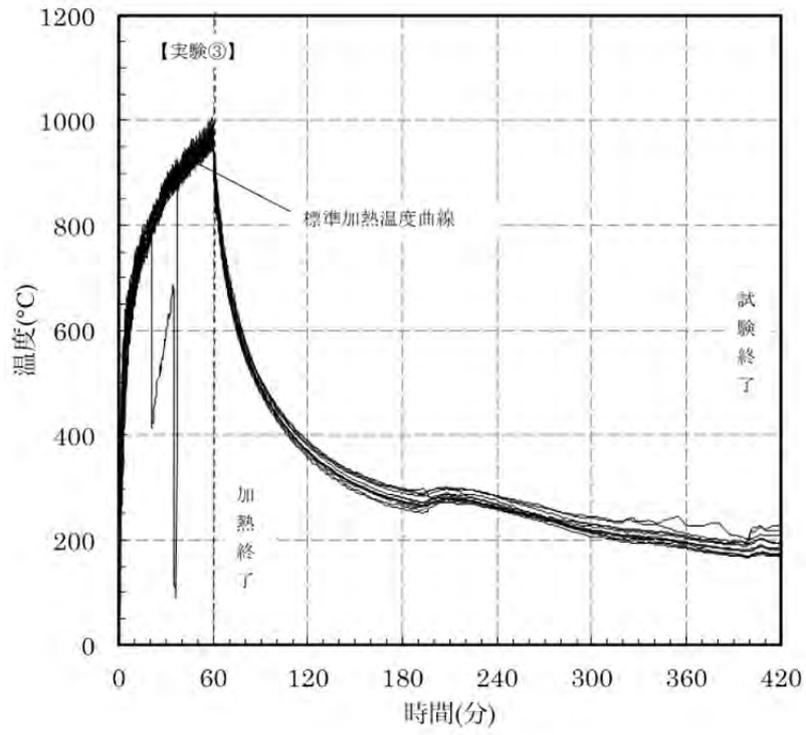


图 5.1.3-3 実験③炉内温度推移

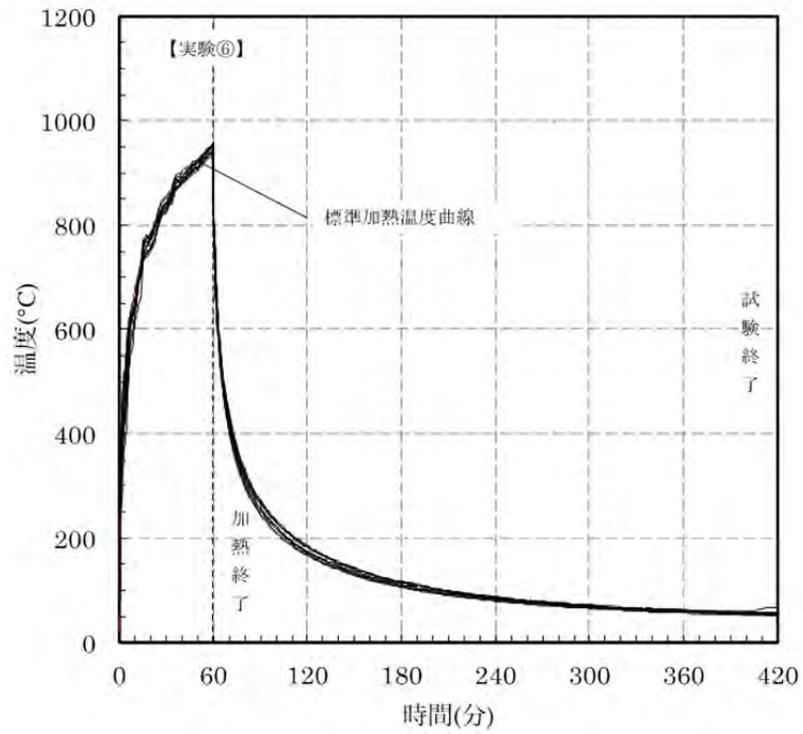


图 5.1.3-4 実験⑥炉内温度推移

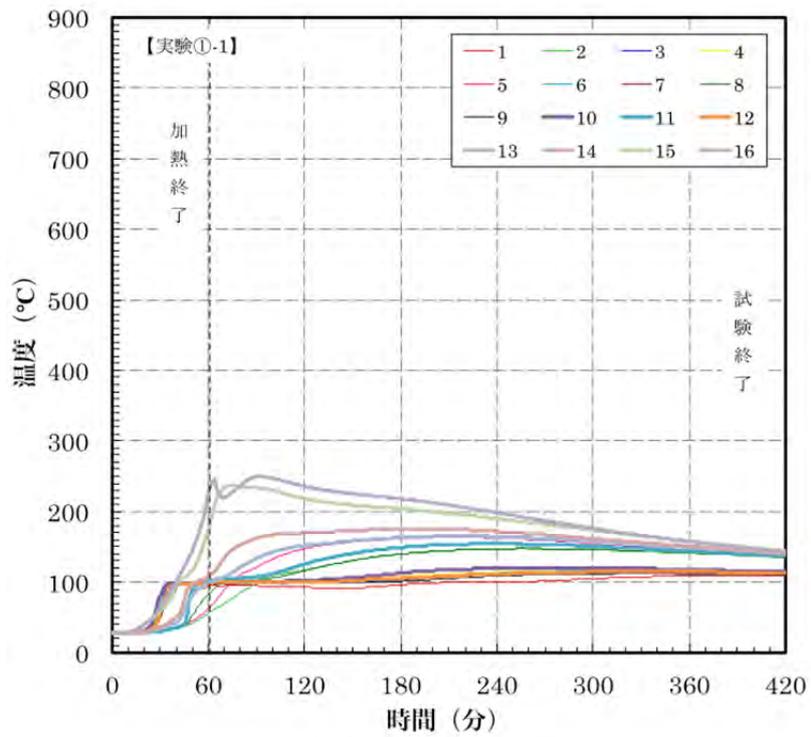


図 5.1.3-5 実験①-1 部材温度推移

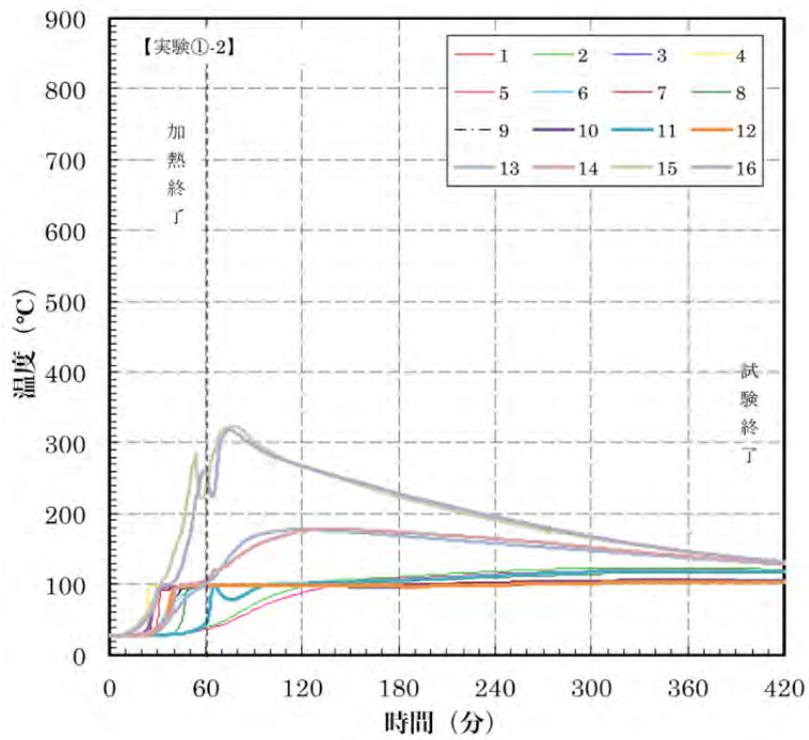


図 5.1.3-6 実験①-2 部材温度推移

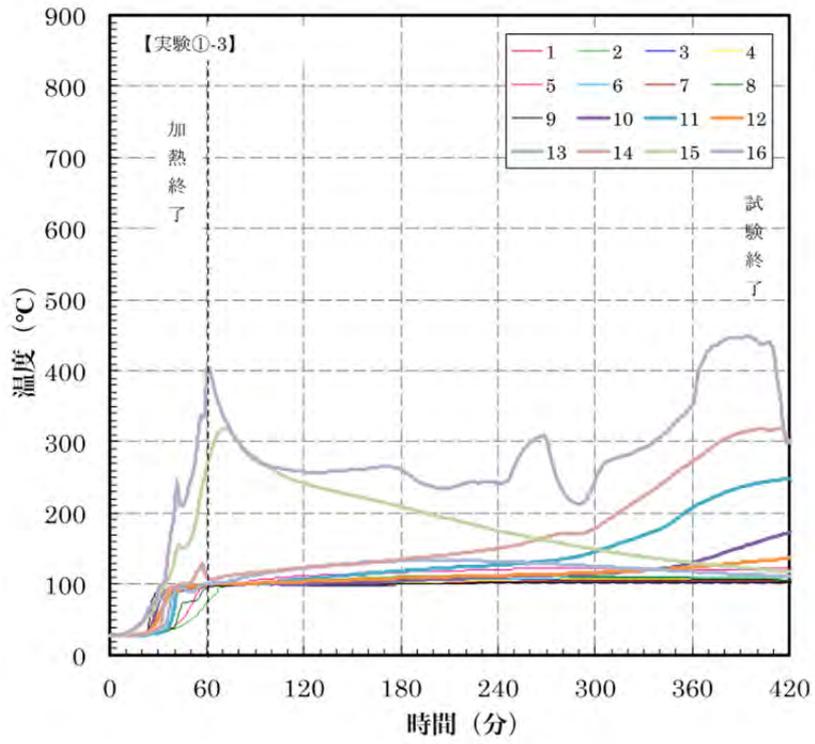


図 5.1.3-7 実験①-3 部材温度推移

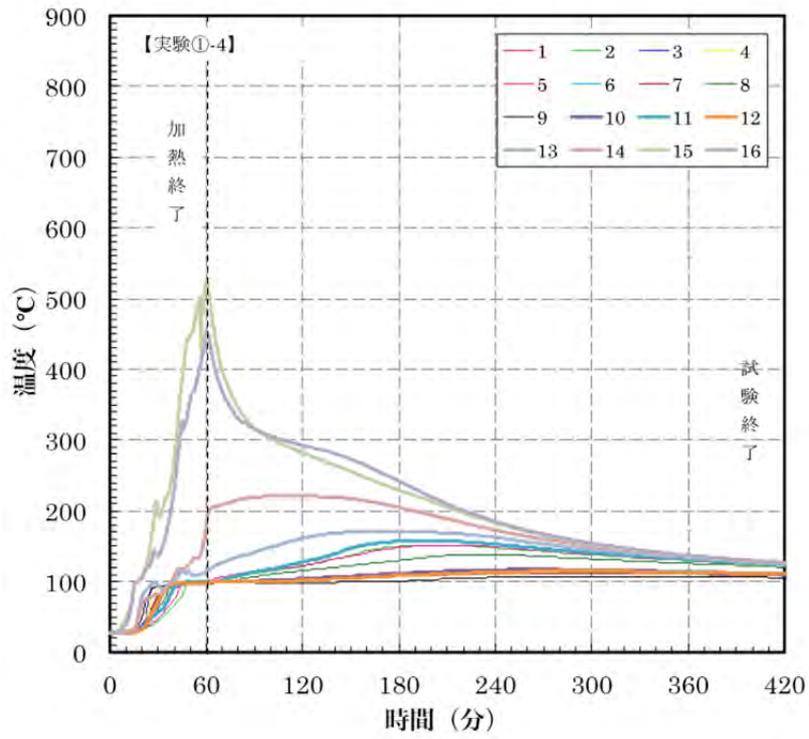


図 5.1.3-8 実験①-4 部材温度推移

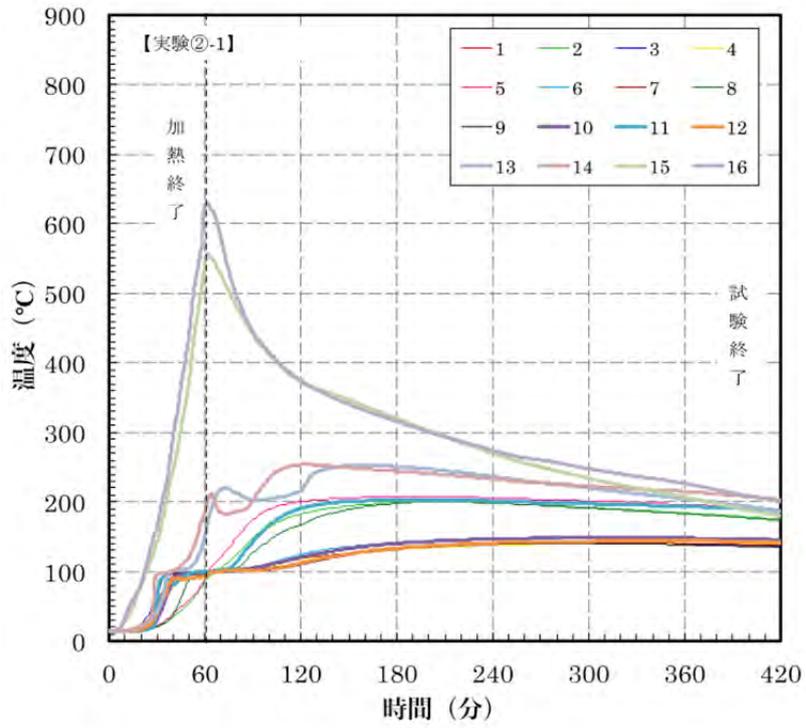


図 5.1.3-9 実験②-1 部材温度推移

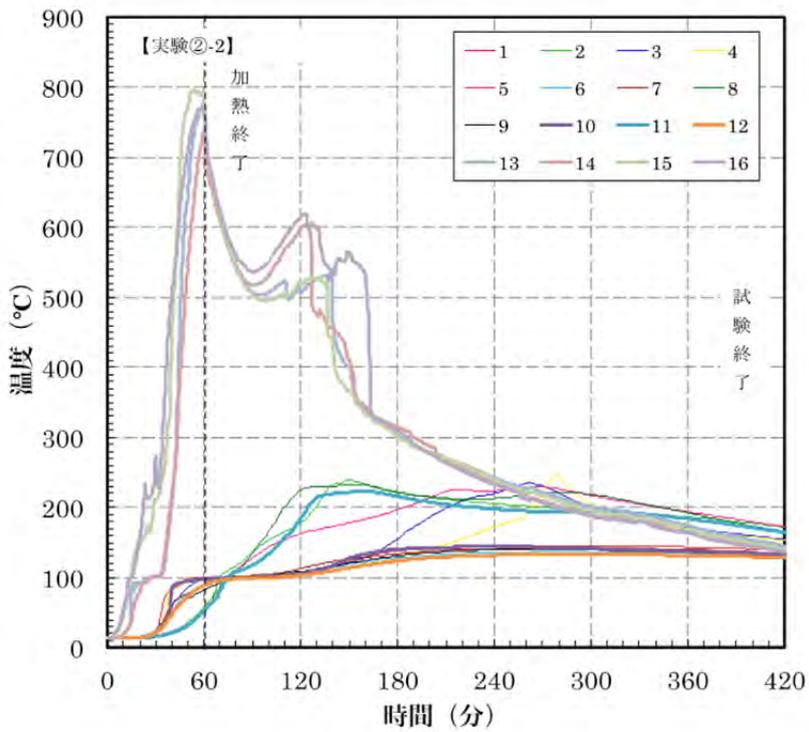


図 5.1.3-10 実験②-2 部材温度推移

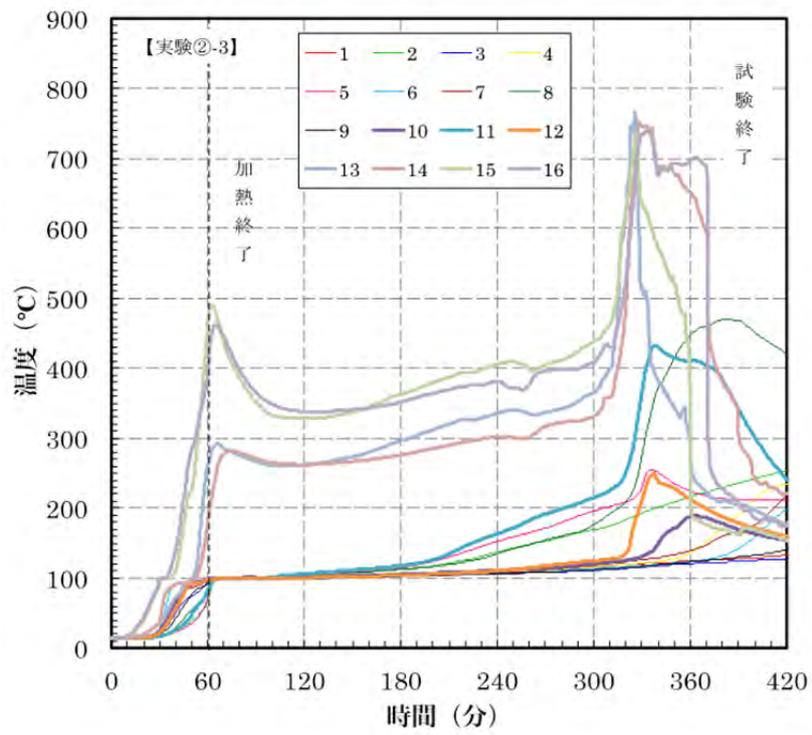


図 5.1.3-11 実験②-3 部材温度推移

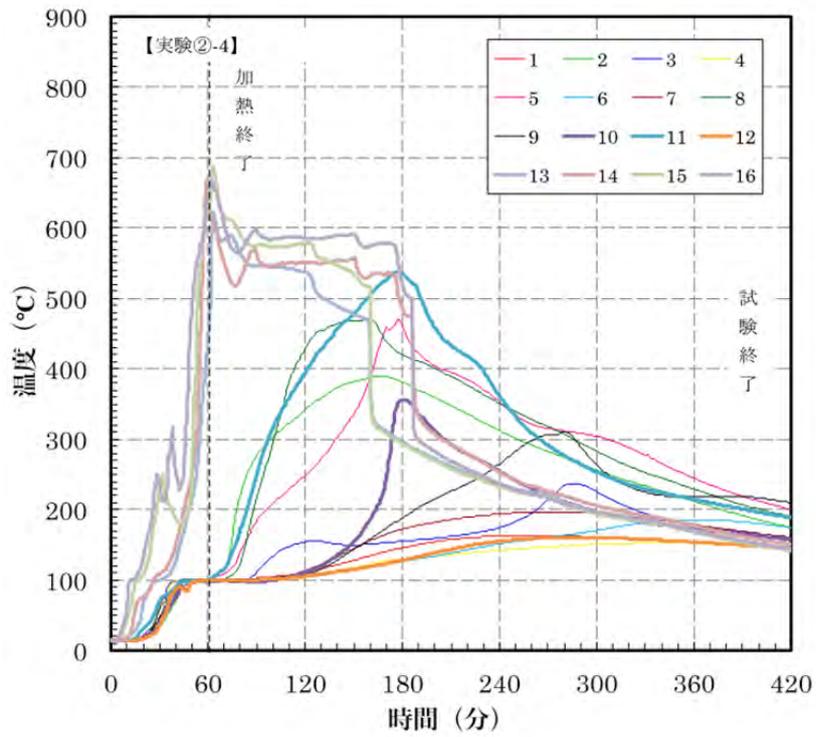


図 5.1.3-12 実験②-4 部材温度推移

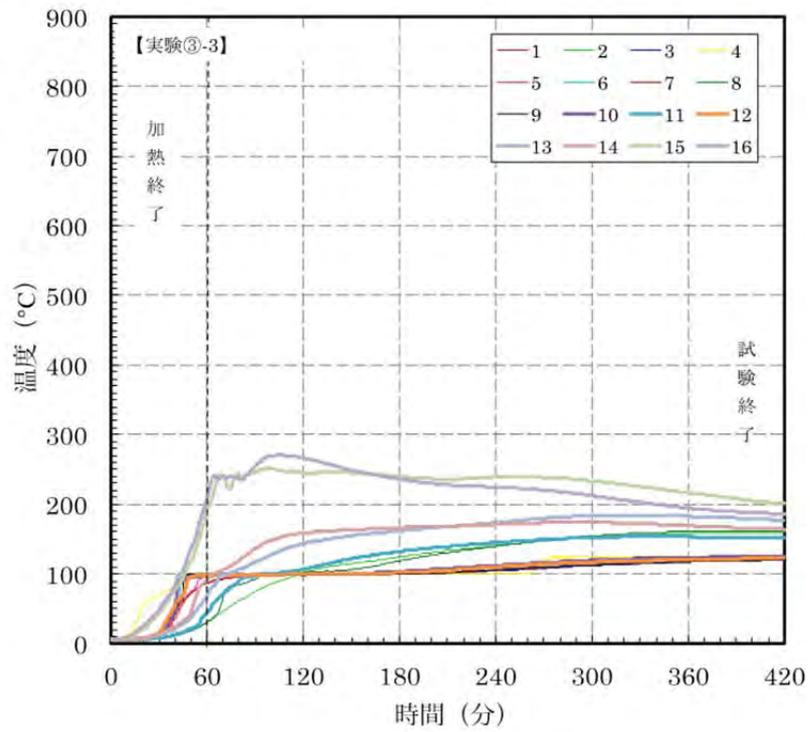


図 5.1.3-13 実験③-3 部材温度推移

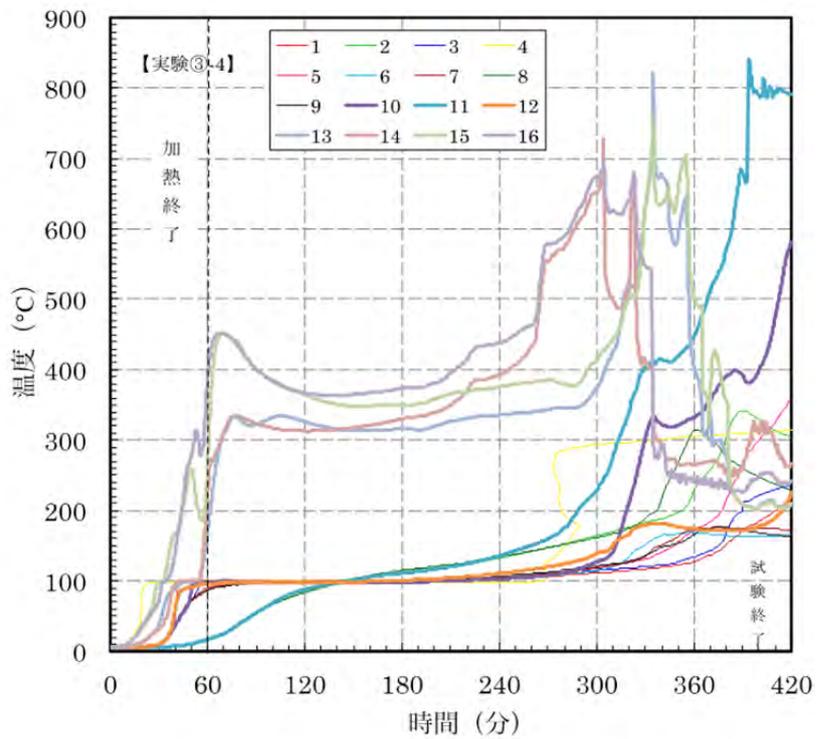


図 5.1.3-14 実験③-4 部材温度推移

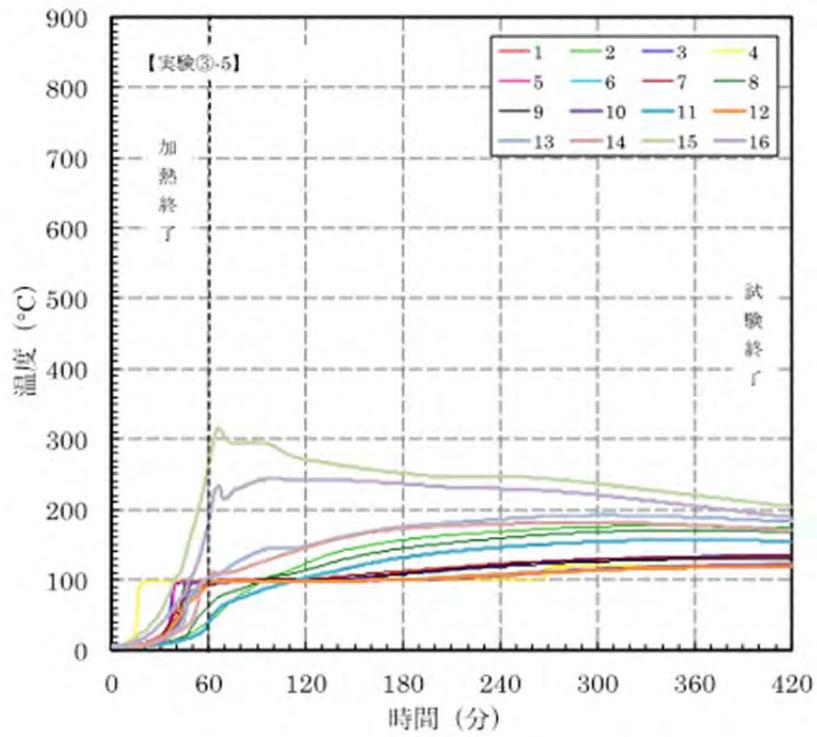


図 5.1.3-15 実験③-5 部材温度推移

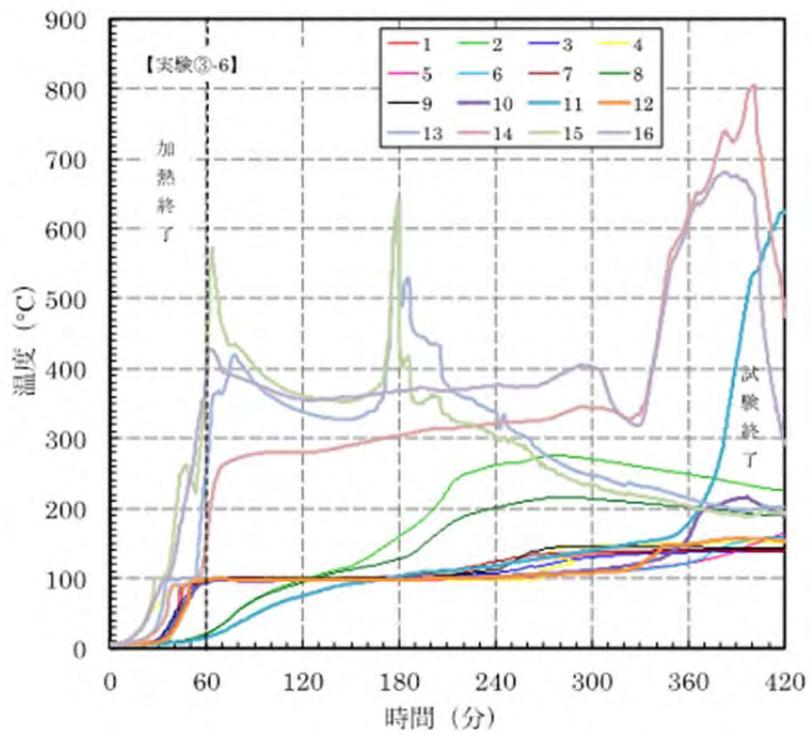


図 5.1.3-16 実験③-6 部材温度推移

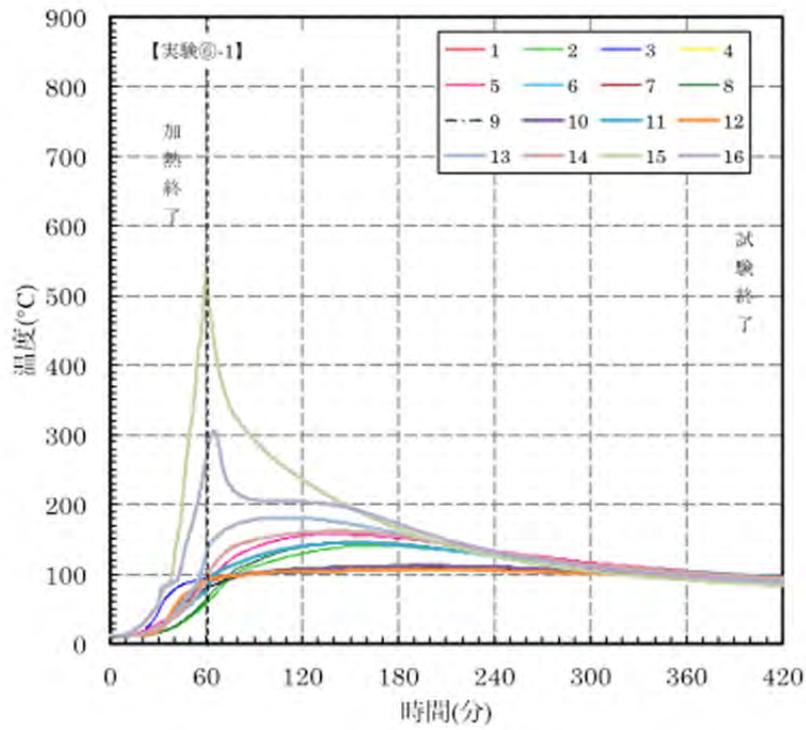


図 5.1.3-17 実験⑥-1 部材温度推移

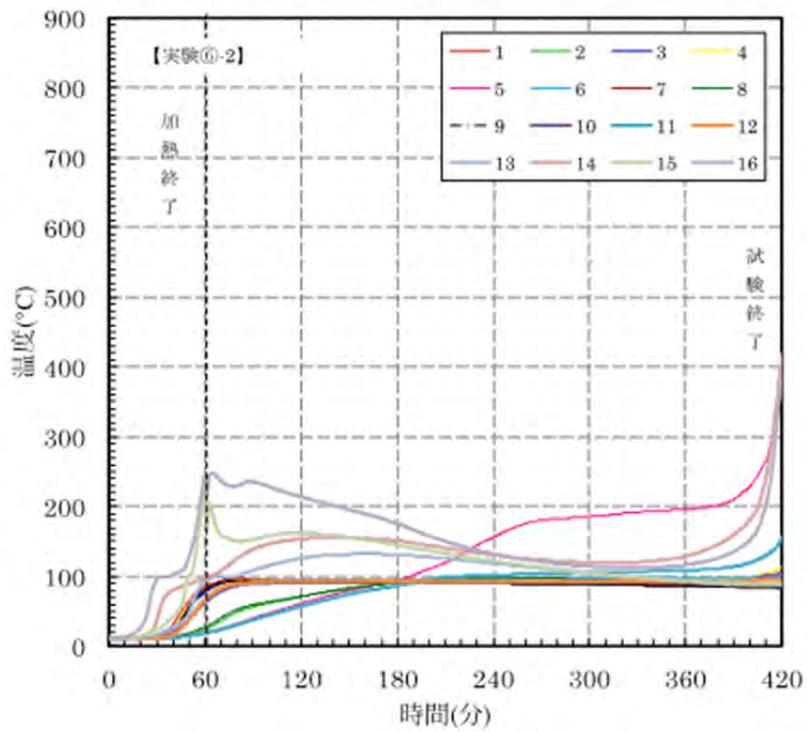


図 5.1.3-18 実験⑥-2 部材温度推移

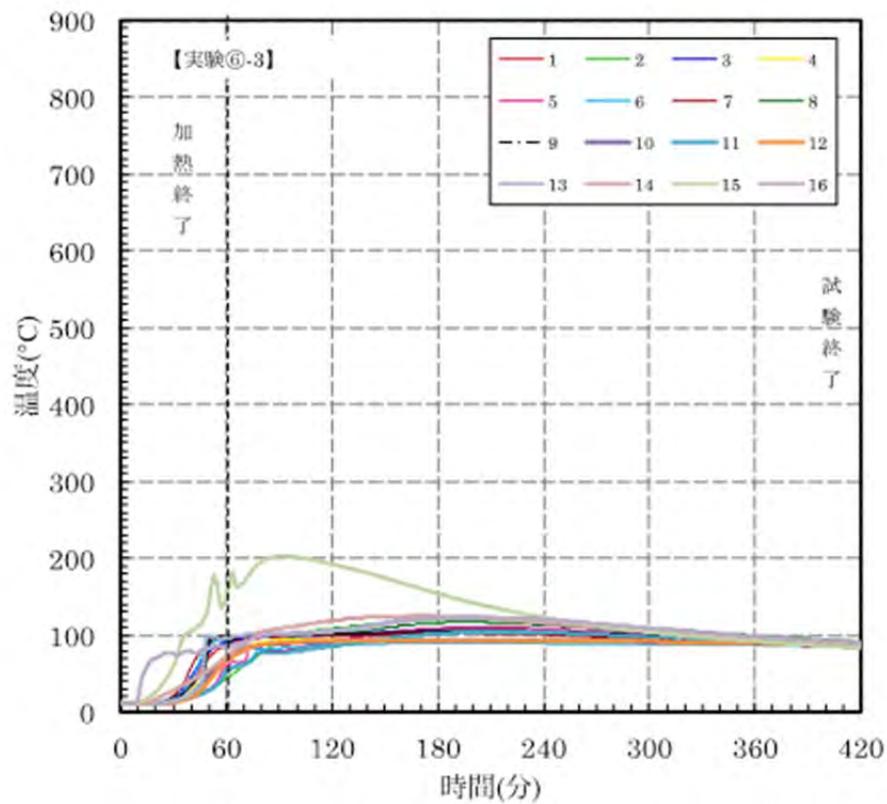


図 5.1.3-19 実験⑥-3 部材温度推移

b. 実験時写真



写真 5. 1. 3-1 加熱前の試験体の様子



写真 5. 1. 3-2 加熱中の試験装置全景



写真 5. 1. 3-3 加熱放置終了後の試験体の様子①



写真 5. 1. 3-4 加熱放置終了後の試験体の様子②



写真 5. 1. 3-5 試験体①-1 炭化状況



写真 5. 1. 3-6 試験体①-2 炭化状況

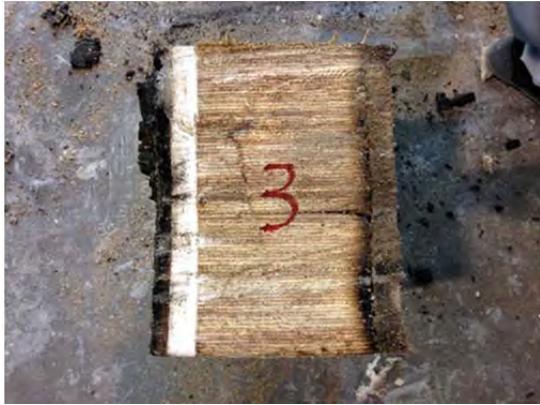


写真 5. 1. 3-7 試験体①-3 炭化状況



写真 5. 1. 3-8 試験体①-4 炭化状況



写真 5. 1. 3-9 試験体②-1 炭化状況



写真 5. 1. 3-10 試験体②-2 炭化状況



写真 5. 1. 3-11 試験体②-3 炭化状況



写真 5. 1. 3-12 試験体②-4 炭化状況

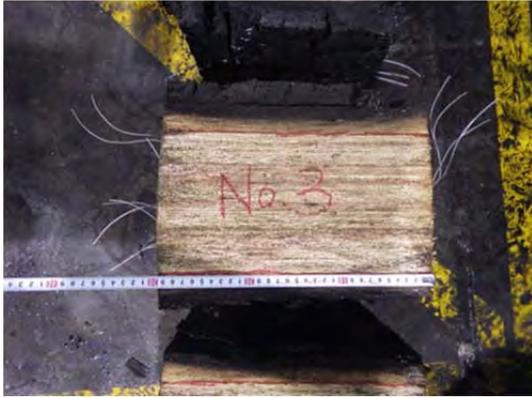


写真 5. 1. 3-13 試験体③-3 炭化状況



写真 5. 1. 3-14 試験体③-4 炭化状況



写真 5. 1. 3-15 試験体③-5 炭化状況



写真 5. 1. 3-16 試験体③-6 炭化状況



写真 5. 1. 3-17 試験体⑥-1 炭化状況



写真 5. 1. 3-18 試験体⑥-2 炭化状況



写真 5. 1. 3-19 試験体⑥-3 炭化状況

5.2 4面加熱

2面加熱で、1時間耐火構造の耐火被覆としての耐火性能を確認できた仕様について、隣り合う面から2面加熱を受ける出隅も含めて、耐火性能を確認できるように、すべての面が加熱を受ける4面加熱で実験を行った。

(1)実験方法

実験は、独立行政法人建築研究所（表 5.2.2-1 の実験②、実験③）及び一般財団法人建材試験センター西日本試験所（表 5.2.2-1 の実験④）の水平炉を用いて、IS0834 標準加熱曲線に準じた1時間加熱を行った。その後、試験材内部の温度が下降傾向を示すか、試験体の燃焼により実験継続が困難になるまで炉内で放置冷却した。

試験体は、耐火炉のバーナー吹き出し口の正面に配置しないようにして、炉内に3～6体同時に設置し、同時に加熱することとした（図 5.2.1-1）。隣り合う試験体間の距離は概ね1.0～1.3mであった。

放置冷却終了後、すみやかに脱炉し、燃焼継続している部分があれば注水消火した。その後、試験体を温度測定点付近で上下に切断し燃焼状況を確認した。実験装置の概念図を図 5.2.1-1 に示す。

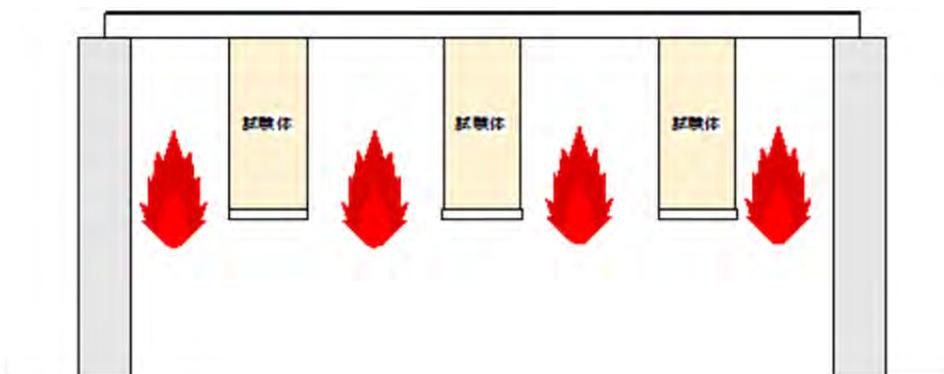


図 5.2.1-1 水平炉を用いた1時間耐火構造性能確認実験の試験装置概念

耐火性能の評価は、耐火被覆材と構造体の木材間の温度が概ね 260℃を越えず、すべての測定点の温度が下降傾向にあることと、目視にて構造体に燃焼痕がないことにより行うこととした。

(2) 試験体

試験体は 5.1 の 2 面加熱で 1 時間耐火構造の耐火被覆としての耐火性能を確保できた仕様とした。耐火被覆材の留め付けは、現場で施工可能とするために、ポリウレタン系樹脂接着剤と木ねじで留め付けた。加熱時の木ねじのねじ頭からの熱橋の影響を低減するために、ねじ頭を上張り表面から深さ 30mm 以上埋め込み、木栓をした。また、出隅が防耐火上弱点となるため、出隅の耐火被覆材が加熱中に開かないように、出隅部の木ねじ間隔を狭くした (図 5.2.2-1~図 5.2.2-7)。

また、実験④では上張りの仕様の自由度を検討するために、上張りをスギ LVL 厚 30mm の場合 (実験④-1)、スギ製材厚 30mm の場合 (実験④-3)、スギ LVL 厚 30mm の出隅部を意匠的に面取りしたもの (実験④-2) とした。

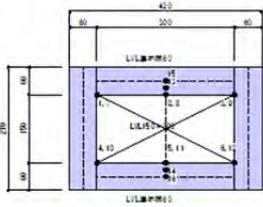
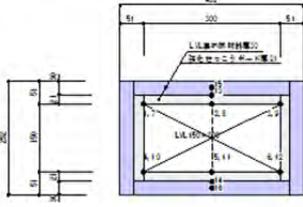
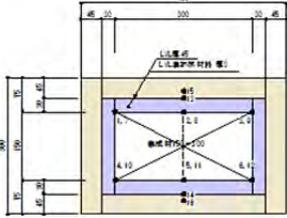
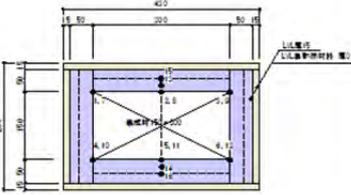
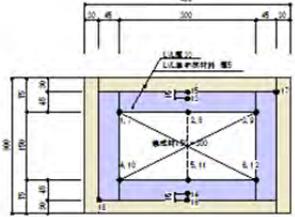
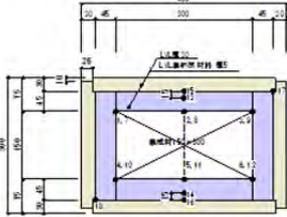
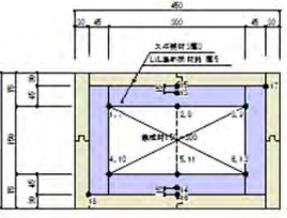
なお、すべての木材の含水率はすべて 15%以下になるように調整した。

表 5.2.2-1 試験体仕様一覧と実験結果概要

試験体名	躯体	耐火被覆		実験結果	
		下張り	上張り	平部	出隅部
実験②-5	スギLVL150×300	LVL準不燃60		○	×
実験②-6	スギLVL150×300	強化PB21	LVL準不燃30	×	×
実験③-1	スギ集成材150×300	LVL準不燃30	LVL45	×	×
実験③-2	スギ集成材150×300	LVL準不燃50	LVL15	×	×
実験④-1	スギ集成材150×300	LVL準不燃45	LVL30	○	×
実験④-2	スギ集成材150×300	LVL準不燃45	LVL30(出隅意匠)	○	×
実験④-3	スギ集成材150×300	LVL準不燃45	スギ製材30	○	×

※実験結果の○は躯体の燃焼が全くなかったもの、×は躯体全体に燃え込んだもの

表 5.2.2-2 試験体断面一覧及び実験結果概要 (4 面加熱)

<p>②-5 ○ ×</p> 	<p>②-6 × ×</p> 	<p>③-1 × ×</p> 		
<p>③-2 × ×</p> 	<p>④-1 ○ ×</p> 	<p>④-2 ○ ×</p> 		
<p>④-3 ○ ×</p> 				

※実験結果の○は躯体の燃焼が全くなかったもの、×は躯体全体に燃え込んだもの

※平部の実験結果を左側に、出隅部の実験結果を右側にそれぞれ示している。

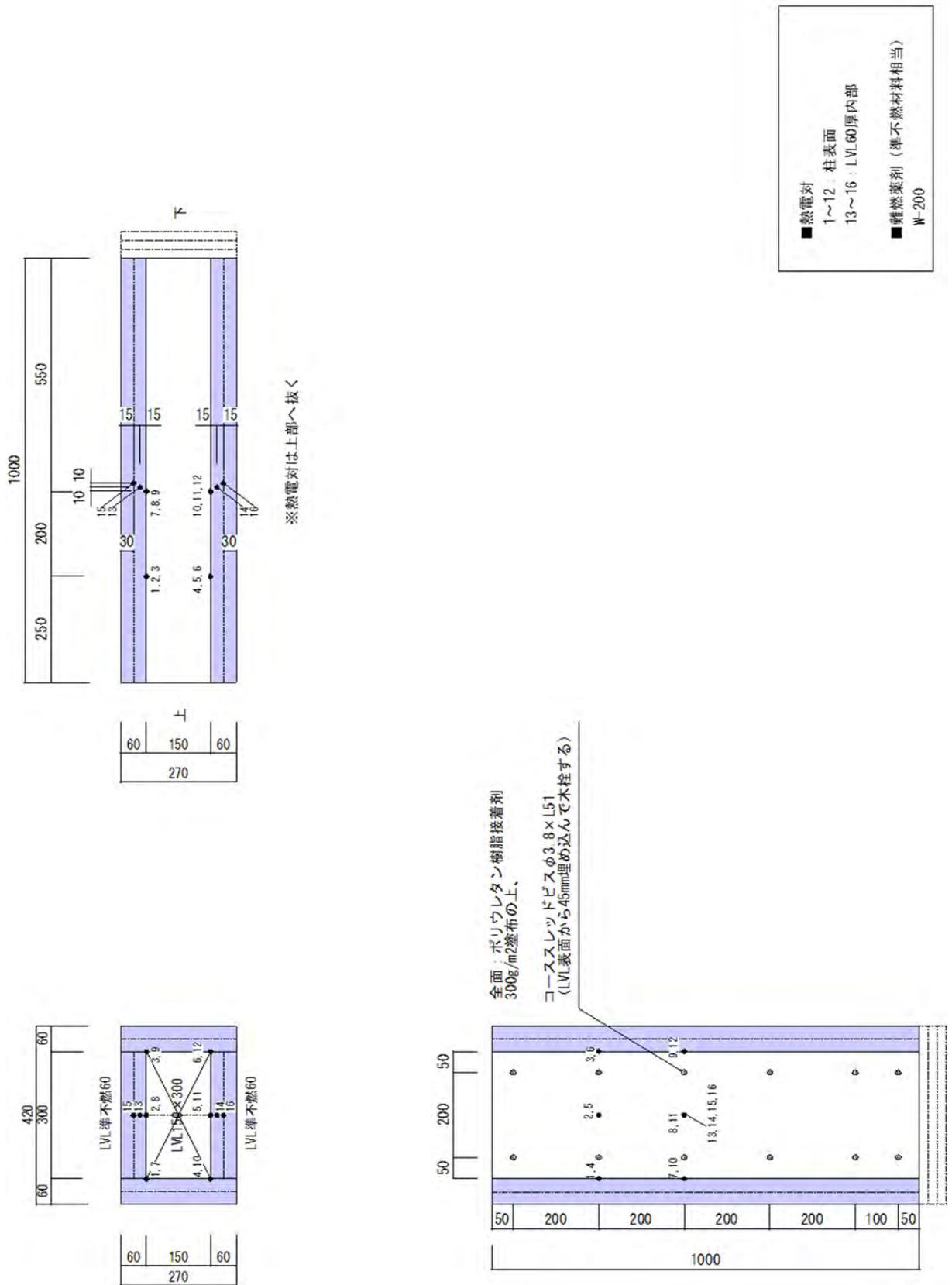


図 5.2.2-1 実験②-5 試験体図

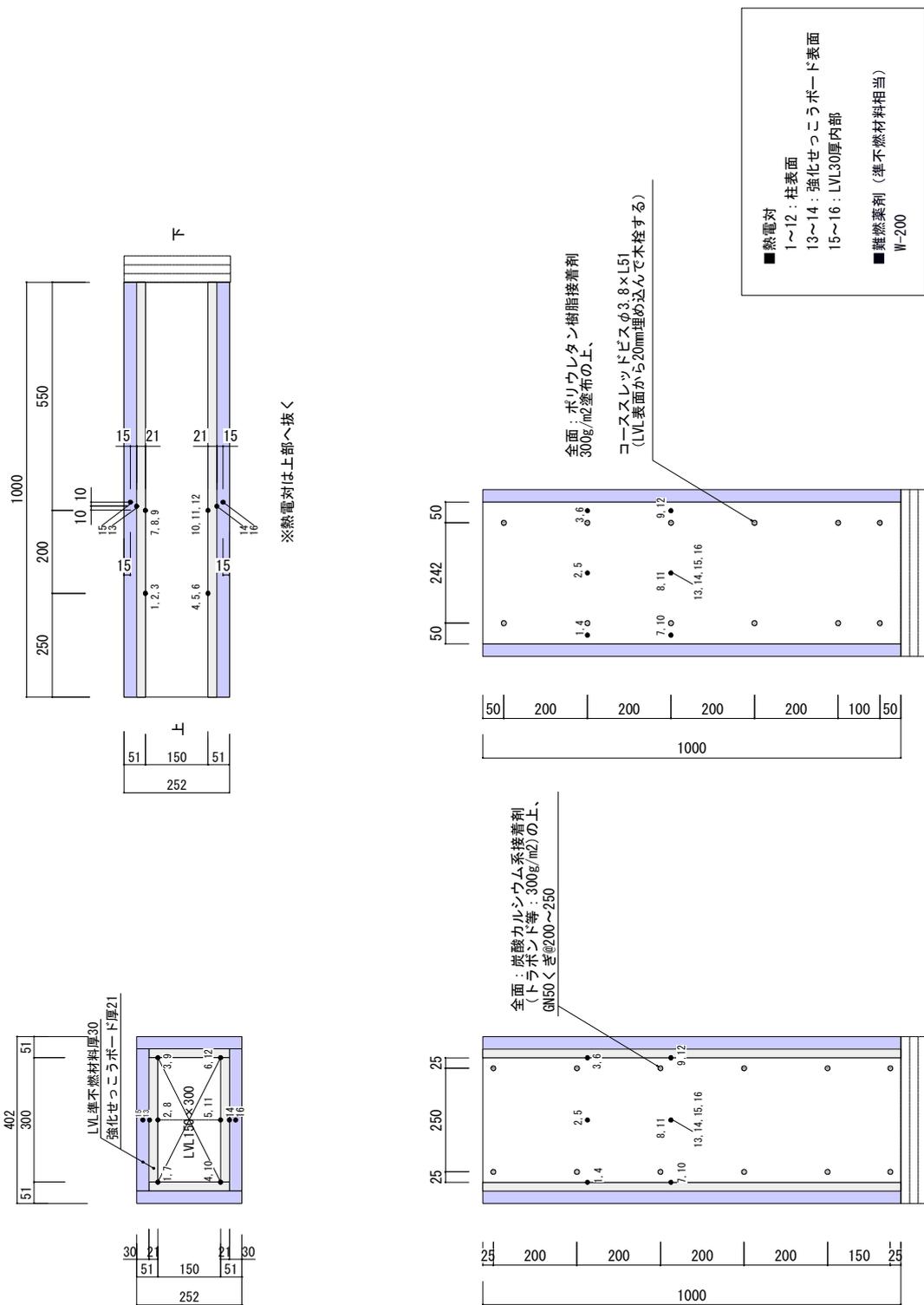


図 5.2.2-2 実験②-6 試験体図

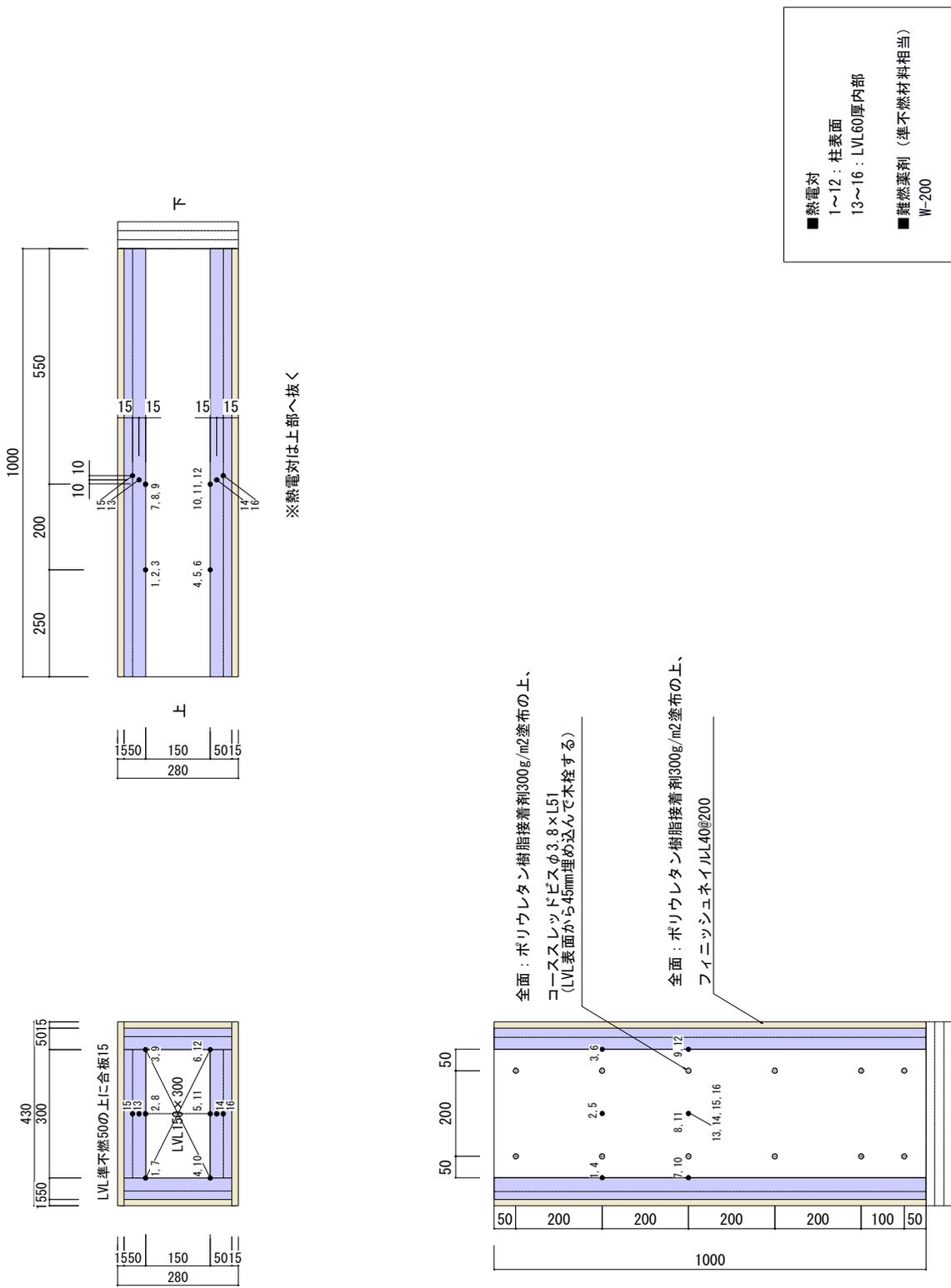


図 5. 2. 2-3 実験③-1 試験体図

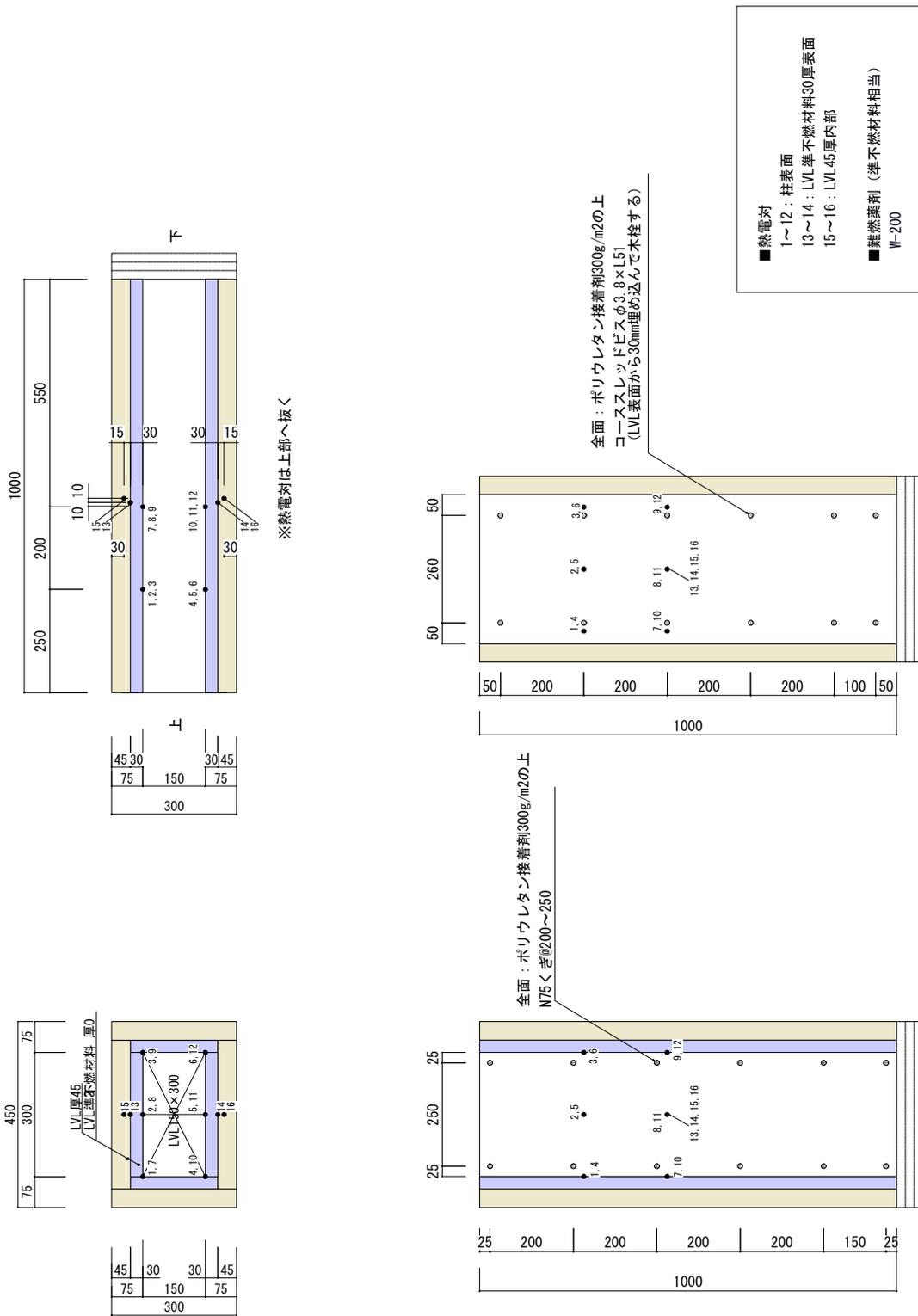


図 5. 2. 2-4 実験③- 2 試験体図

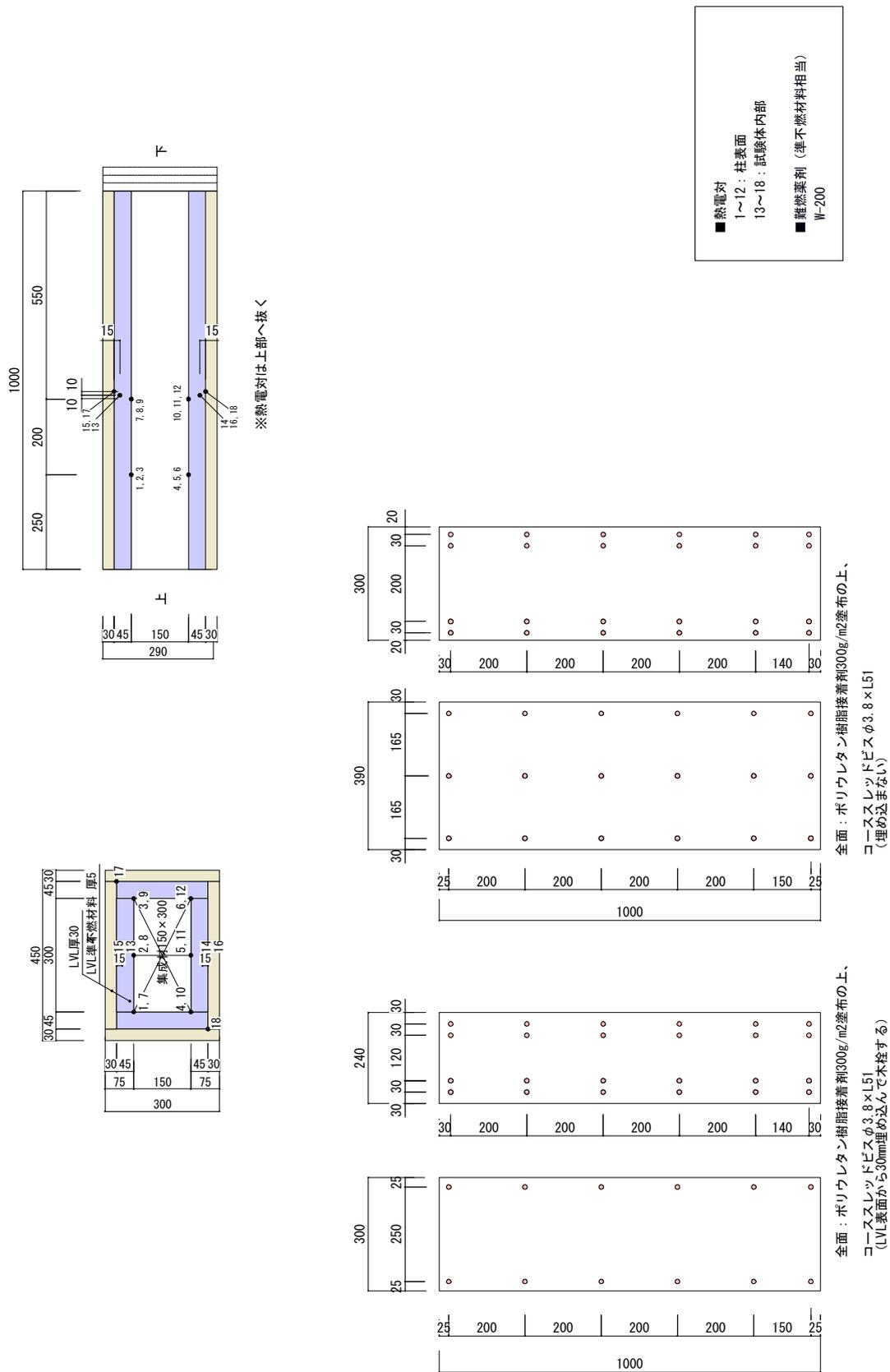


図 5. 2. 2-5 実験④-1 試験体図

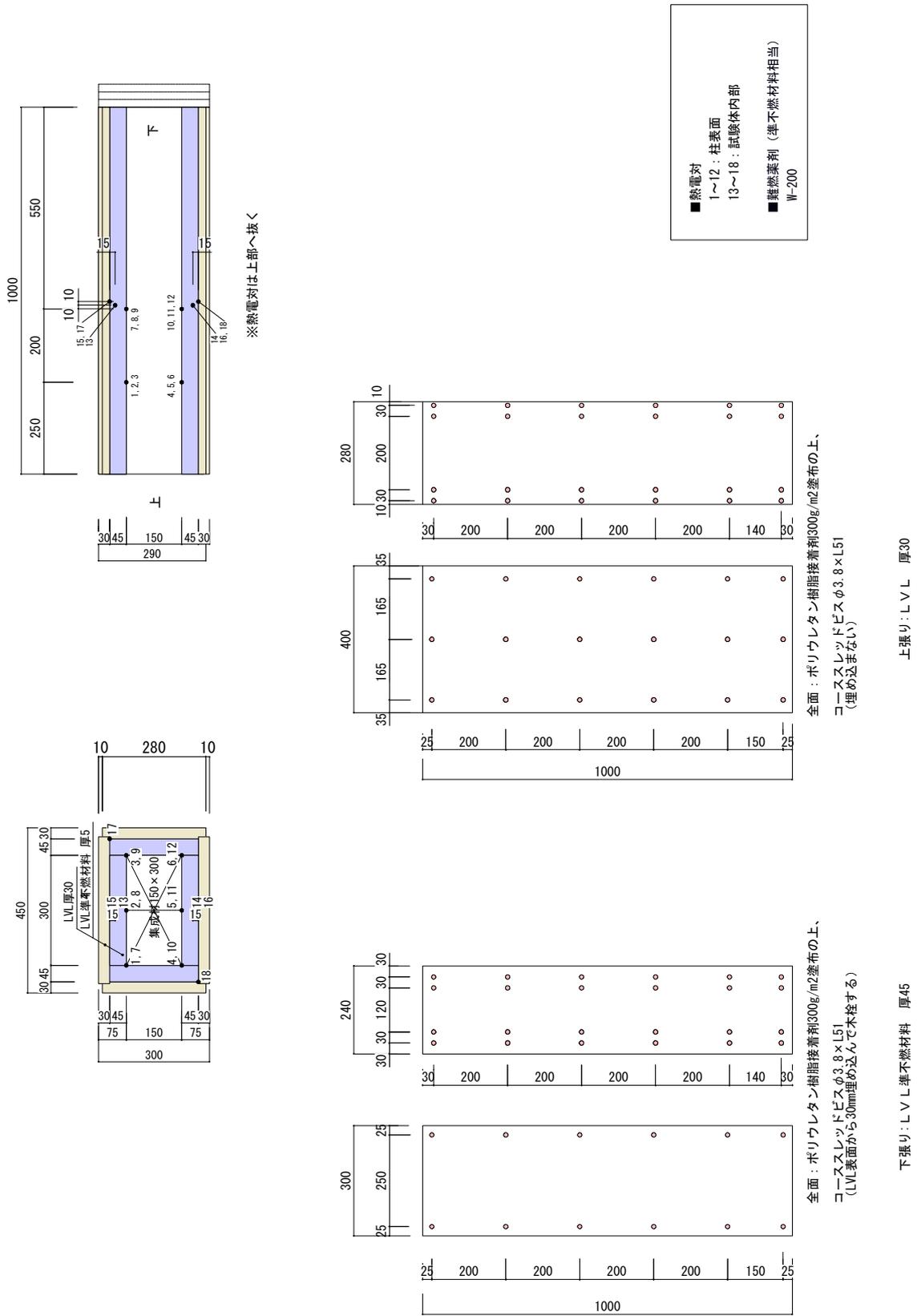


図 5. 2. 2-6 実験④- 2 試験体図

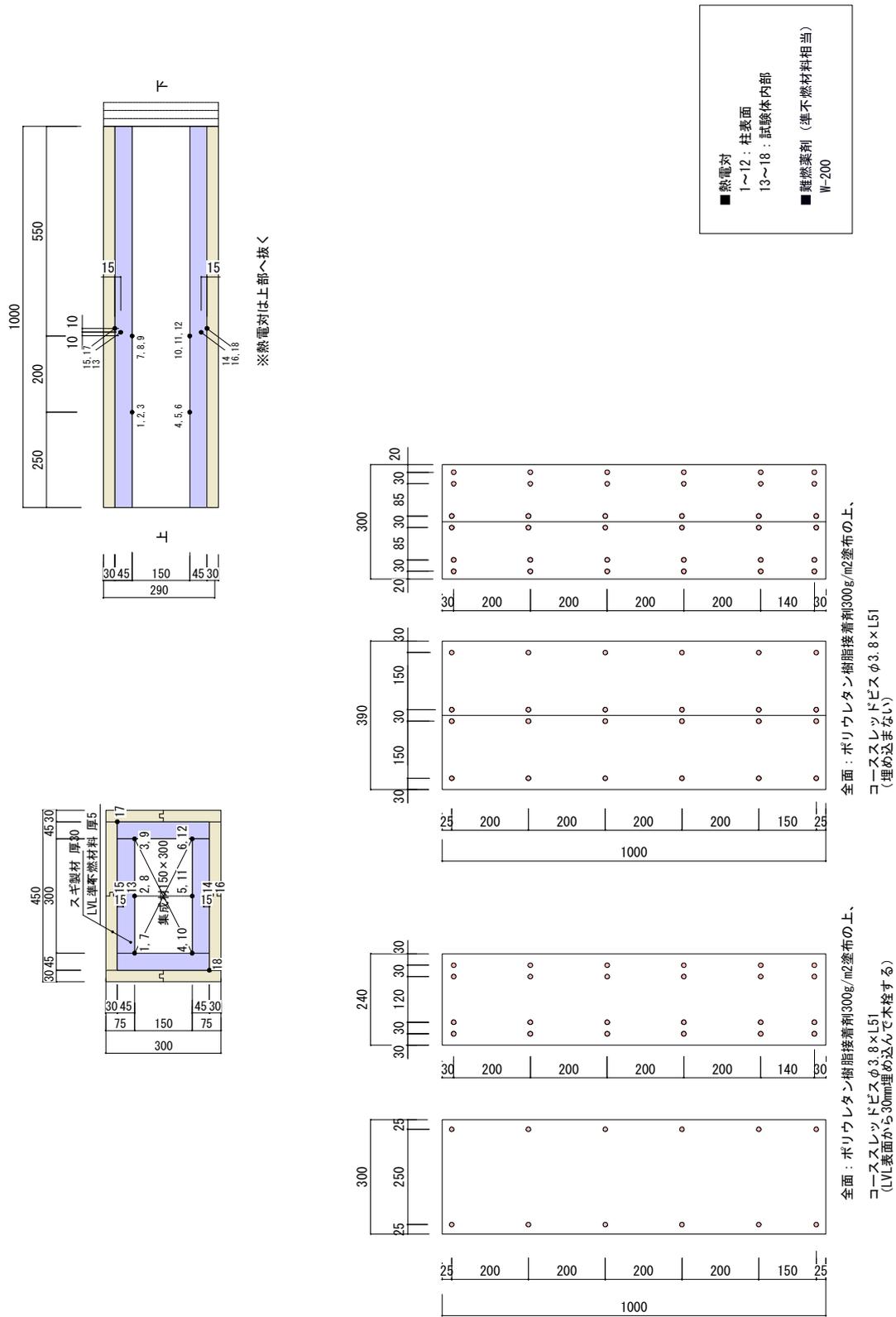


図 5.2.2-7 実験④-3 試験体図

(3) 実験結果及び考察

実験結果を表 5.2.2-1 の右欄（凡例は表下の欄外）に、各部の温度推移を図 5.2.3-1～図 5.2.3-7 に、実験時の写真を写真 5.2.3-1～写真 5.2.3-19 に示す。

これによると、すべての試験体で、出隅部からの熱侵入で構造体の燃焼が起こった。温度推移を見ると、1 時間加熱から数時間放置した後に構造体の出隅部の燃焼が始まっている。これは、上張りが加熱中にほぼ燃焼したのち、熱伝導で下張りが高温になり熱分解を始めることで、ポリウレタン系樹脂接着剤の接着力の低下と、木ねじの保持力の低下が生じるためと考えられる。平部については、2 面加熱実験とほぼ同じ性状を示しており、出隅部の耐火被覆材の開きをどのように制御するかが要点といえる。

出隅部の耐火被覆材の開きへの対処方法として、たとえば以下の 2 手法が考えられる（図 5.2.3）。いずれも平部の耐火性能が確保されており、出隅部のみ若干耐火性能が足りない仕様（燃え込みが限定的な仕様）に対応できると考えられる。

まず、[準不燃 LVL の胴縁を設ける] タイプは、出隅の耐火被覆が開いた場合に直接構造体が露出しないように、準不燃 LVL の胴縁を設けるものである。これにより、出隅の対角線方向の準不燃処理した材料の厚さが増し、出隅部分のみ補強が可能となる。この胴縁は、施工上、構造体の不陸調整の役割も担うことができる。[仕上材を設ける] タイプは、平部について耐火性能を確保できている準不燃 LVL（厚さ 60mm）に対して、仕上げ木材（厚 15 程度）をさらに設けて、構造体全体の加熱を抑制するものである。仕上げ木材は 0.8～1mm / 分で燃え進むため、厚さ 15mm であれば 15～20 分程度、下張りの準不燃 LVL の加熱時間が短縮される。なお、上張り材の厚さを大きくしすぎると加熱終了時に赤熱した炭化層が残存し、それが発熱源となり、下張りが燃焼、熱分解し、構造体に影響を与える可能性があるため、1 時間耐火構造の性能を有する下張りに付加する仕上げ木材は厚 15mm 程度が適当と考えられる。

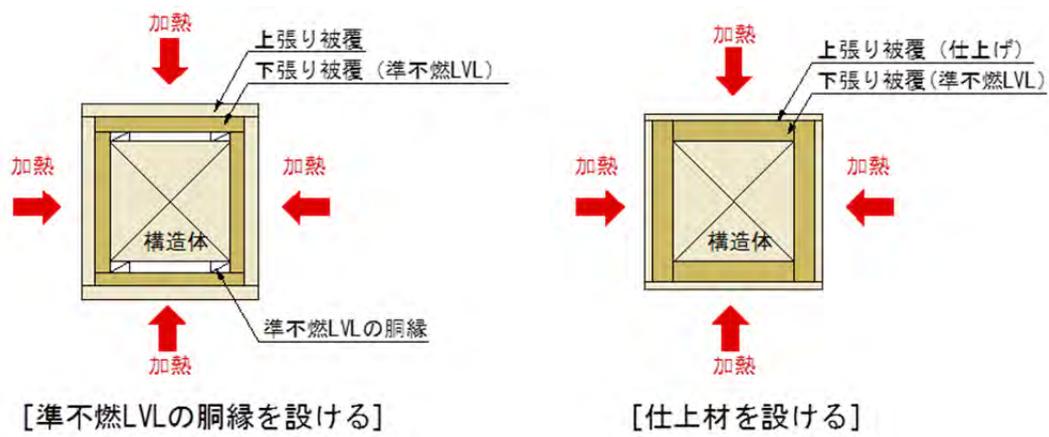


図 5. 2. 3 出隅部の耐火補強の考え方の一例

a. 温度推移

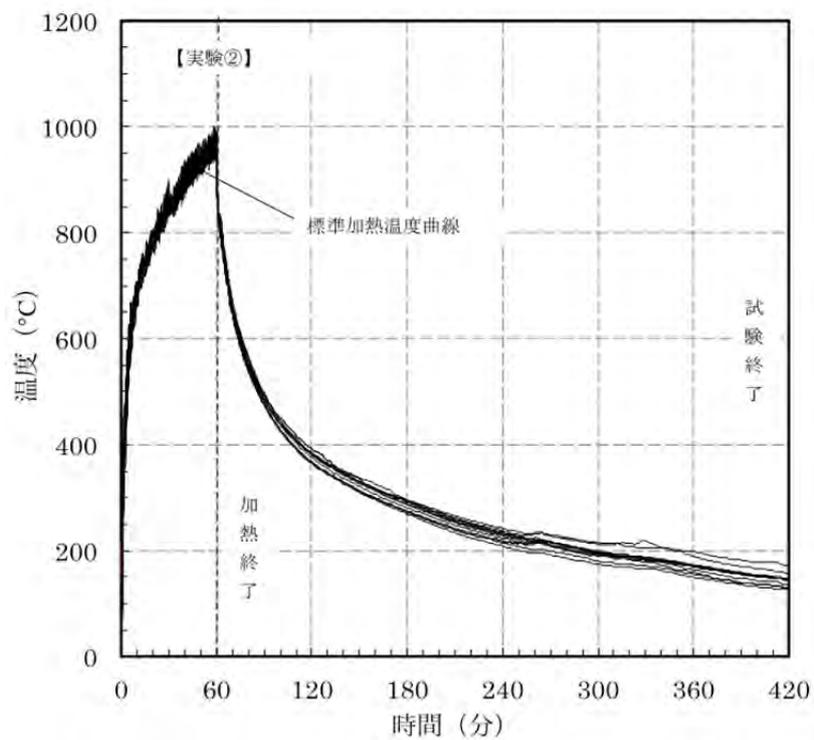


図 5.2.3-1 実験②炉内温度推移

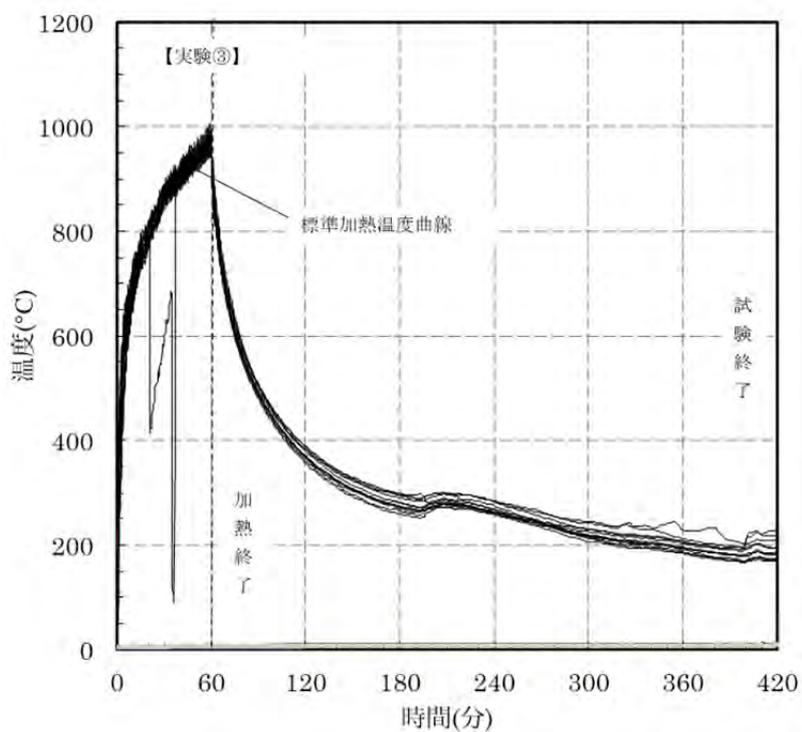


図 5.2.3-2 実験③炉内温度推移

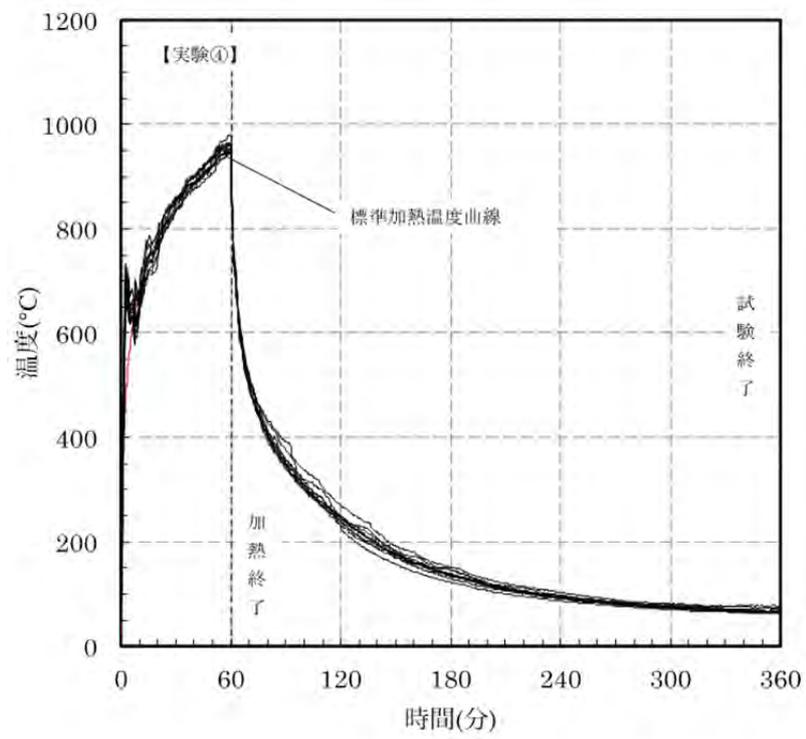


图 5.2.3-3 実験⑥炉内温度推移

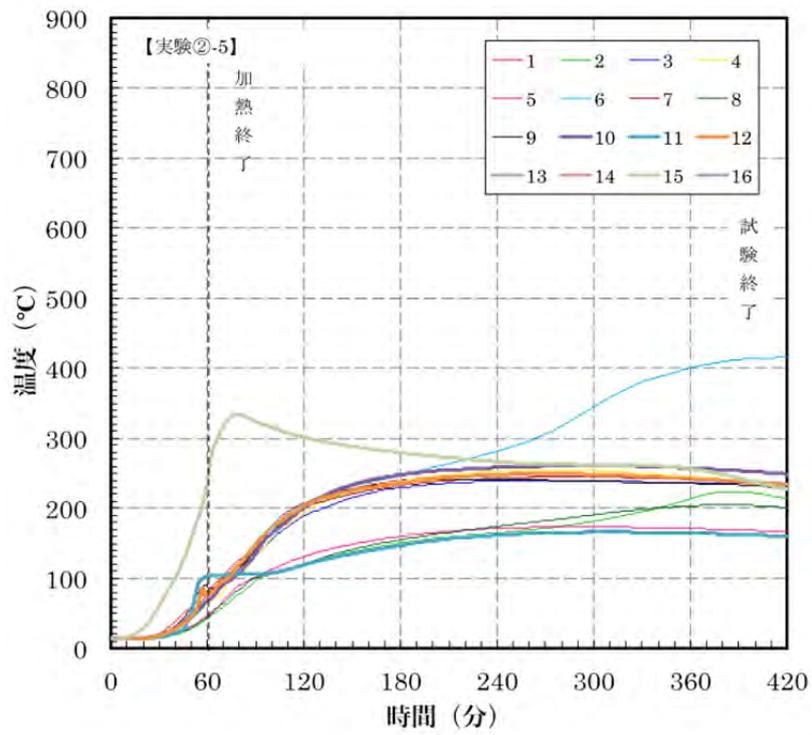


図 5.2.3-4 実験②-5 部材温度推移

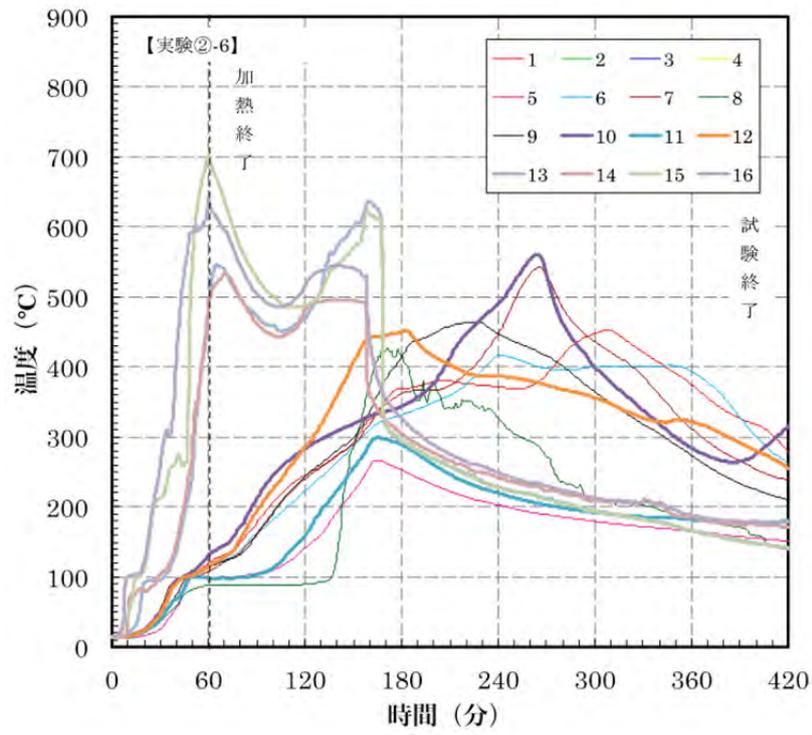


図 5.2.3-5 実験②-6 部材温度推移

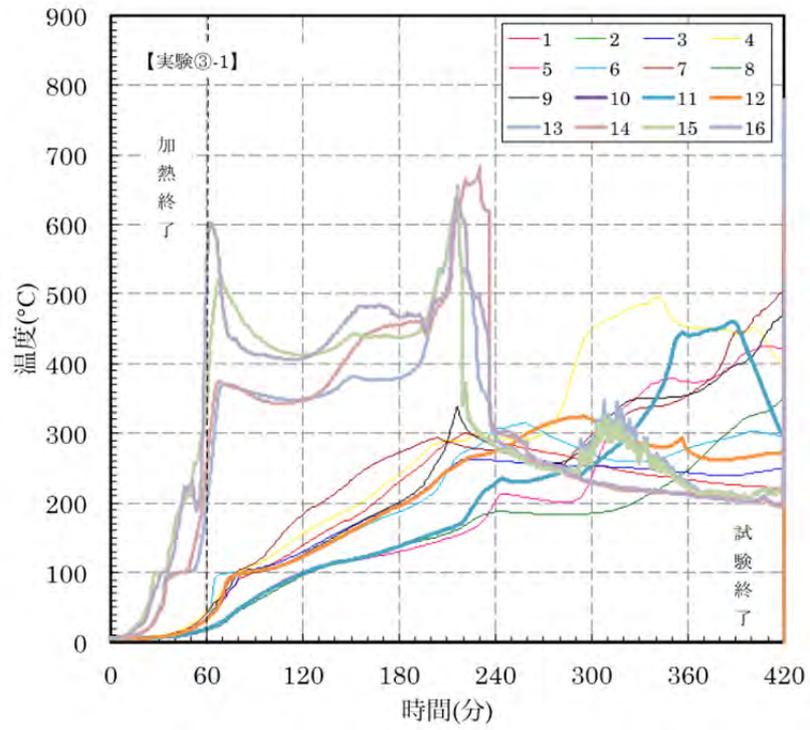


図 5.2.3-6 実験③-1 部材温度推移

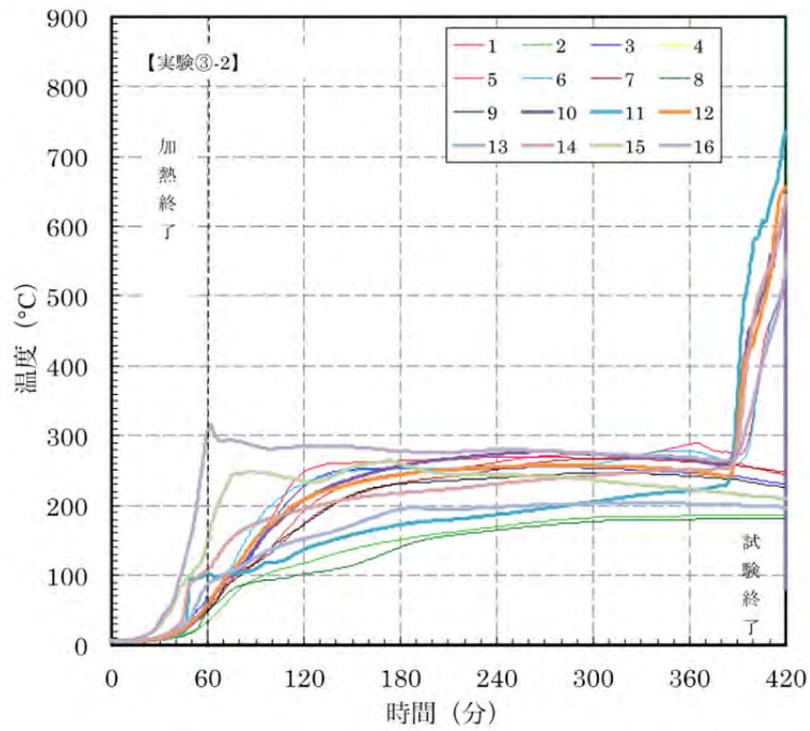


図 5.2.3-7 実験③-2 部材温度推移

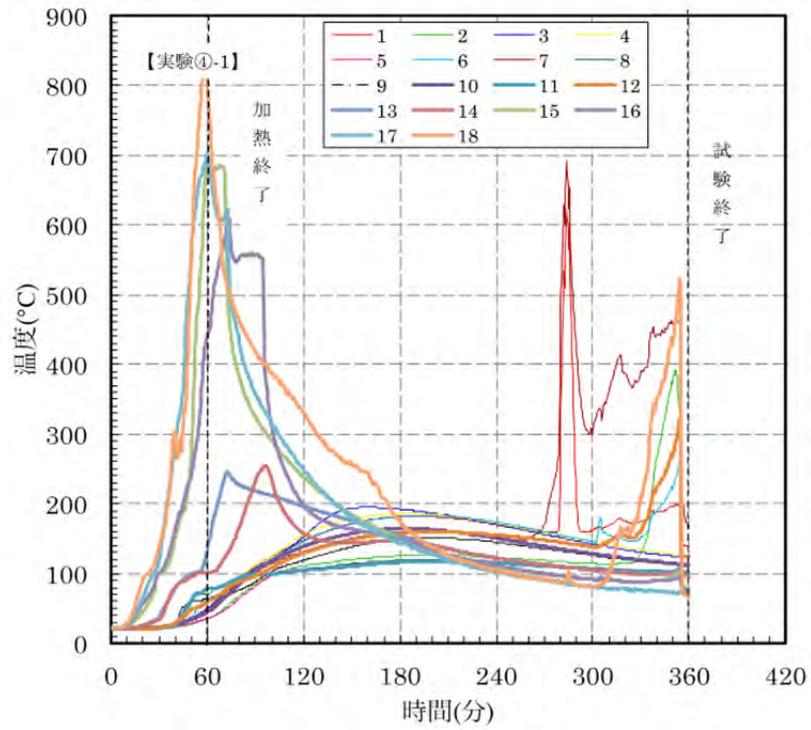


図 5. 2. 3-8 実験④-1 部材温度推移

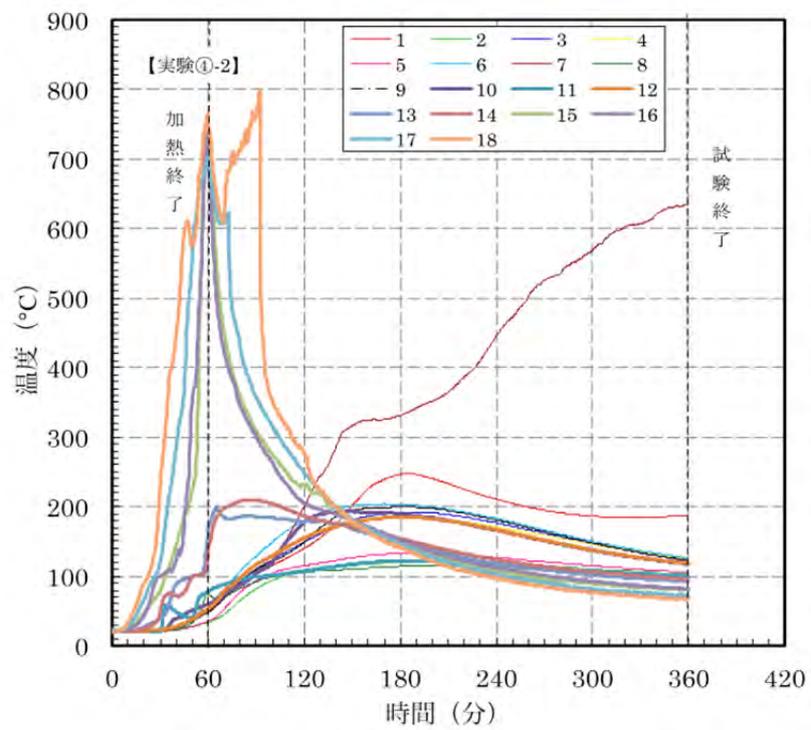


図 5. 2. 3-9 実験④-2 部材温度推移

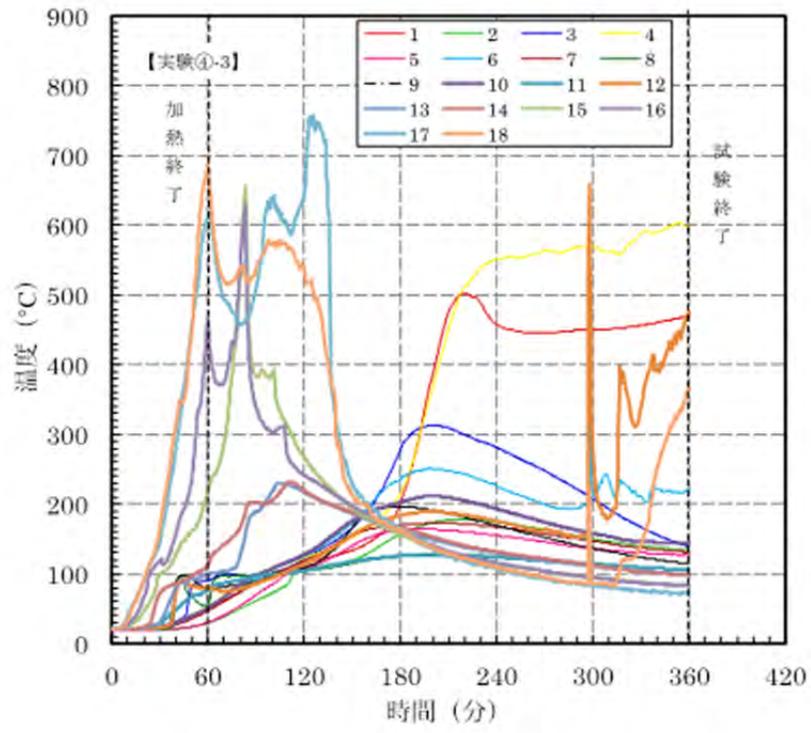


图 5.2.3-10 実験④-3 部材温度推移

b. 実験時写真



写真 5. 2. 3-1 加熱前の試験体の様子



写真 5. 2. 3-2 加熱中の試験装置全景



写真 5. 2. 3-3 加熱放置終了後の試験体の様子①



写真 5. 2. 3-4 加熱放置終了後の試験体の様子②



写真 5. 2. 3-5 試験体②-5 炭化状況



写真 5. 2. 3-6 試験体②-6 炭化状況



写真 5. 2. 3-7 試験体③-1 炭化状況



写真 5. 2. 3-8 試験体③-2 炭化状況



写真 5. 2. 3-9 試験体④-1 炭化状況



写真 5. 2. 3-10 試験体④-2 炭化状況



写真 5. 2. 3-11 試験体④-3 炭化状況

6, 長さ約 3.5mの木製柱による載荷加熱実験

短柱実験（2面加熱、4面加熱）で1時間耐火構造の耐火被覆としての性能を有すると考えられる仕様について、実際の建物に即した、長さ約 3.5m の柱について、載荷しながら加熱し、柱の非損傷性を検討した。

(1)実験方法

実験は、一般財団法人日本建築総合試験所の柱炉を用いて、IS0834 標準加熱曲線に準じた1時間加熱を行った。その後、試験材内部の温度が下降傾向を示すか、試験体の燃焼により実験継続が困難になるまで炉内で放置冷却した。載荷荷重はそれぞれの試験体の構造体の断面に長期許容応力度が生じる荷重として、150×300mm の試験体は 167kN、150×150mm の試験体は 83kN とした。

放置冷却終了後、すみやかに脱炉し、燃焼継続している部分があれば注水消火した。その後、試験体を温度測定点付近で上下に切断し燃焼状況を確認した。実験装置の概念図を図 6.1 に示す。

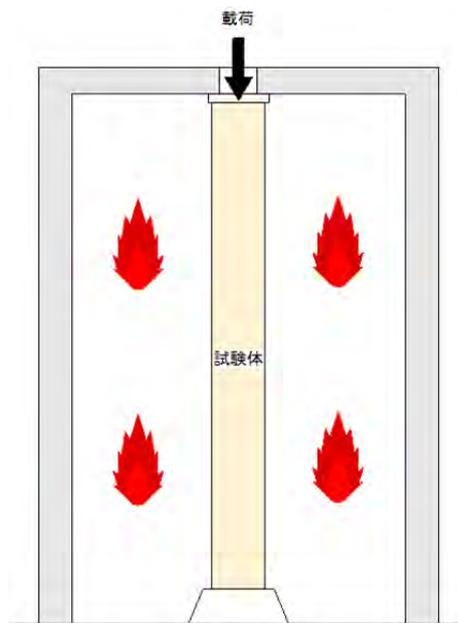


図 6.1 柱炉を用いた 1 時間耐火構造性能確認実験（載荷加熱実験）の試験装置概念

耐火性能の評価は、耐火被覆材と構造体の木材間の温度が概ね 260℃を越えず、すべての測定点の温度が下降傾向にあること、日本建築総合試験所の防耐火性能試験・評価業務方法書に従い、軸方向収縮量が [試験体高さ] /100=34mm を越えないこと、軸方向収縮速度が、3× [試験体高さ] /1000=1mm/分を越えないこととした。

(2) 試験体

試験体は、構造体の柱長さ 3428mm、断面 150×300mm 又は 150×150mm として、その外側に耐火被覆材をポリウレタン系樹脂接着材(300g/m²)と木ねじで留め付けた(図 6.2-1~3)。

なお、すべての木材の含水率はすべて 15%以下になるように調整した。

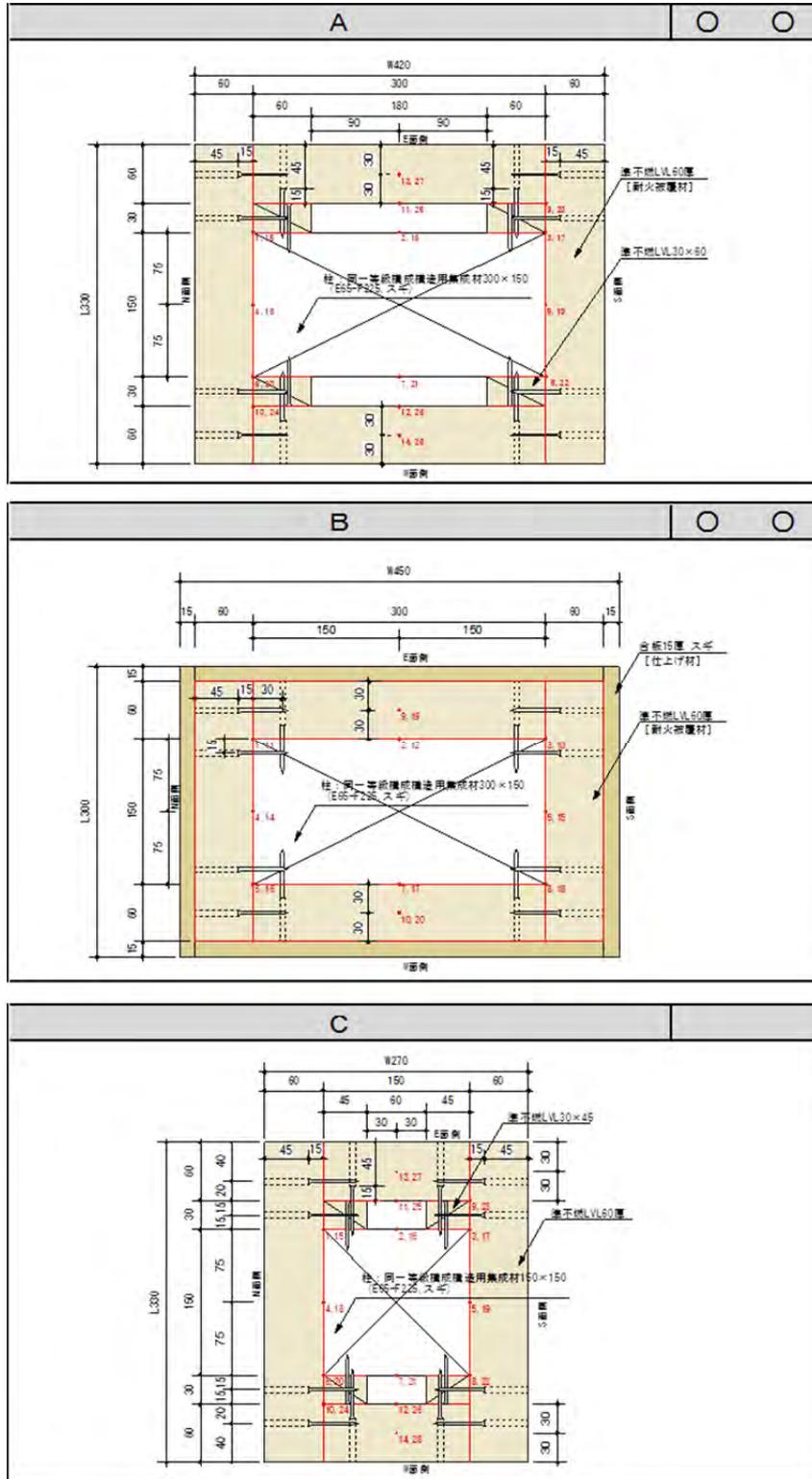
表 6.1 試験体仕様一覧と実験結果概要

試験体名	躯体(鉄骨)	耐火被覆		実験結果	
		下張り	上張り	平部	出隅部
実験A	スギ集成材150×300	準不燃胴縁30×60	LVL準不燃60	○	○
実験B	スギ集成材150×300	LVL準不燃60	構造用合板15	○	○
実験C	スギ集成材150×150	準不燃胴縁30×60	LVL準不燃60		

※実験結果の○は躯体の燃焼が全くなかったもの、×は躯体全体に燃え込んだもの

※集成材は同一等級構成構造用集成材E65-F255(スギ)とする

表 6.2 試験体断面一覧及び実験結果概要（载荷加熱実験）



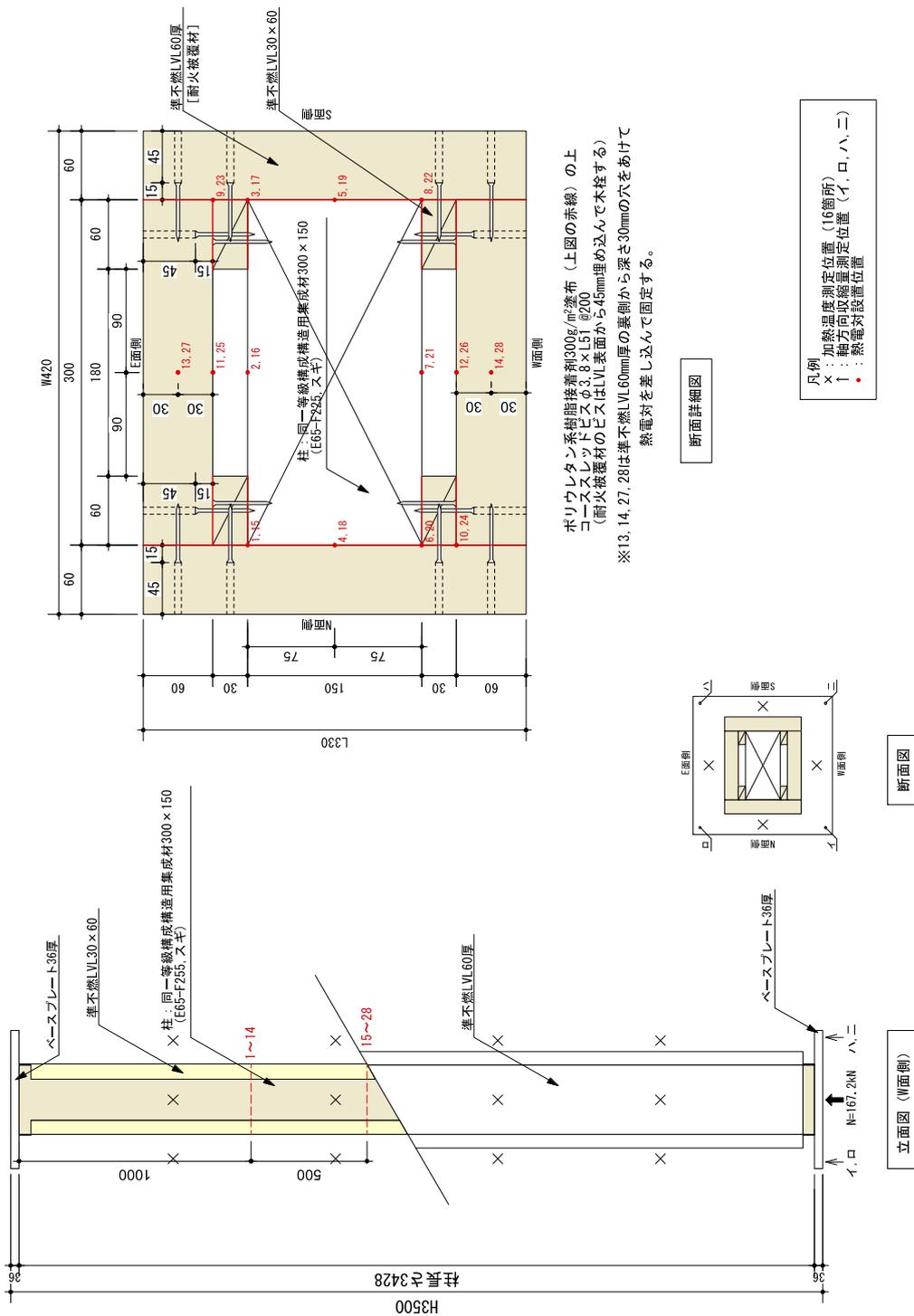


図 6.2-1 試験体Aの構造・寸法・温度測定位置(寸法単位 mm)

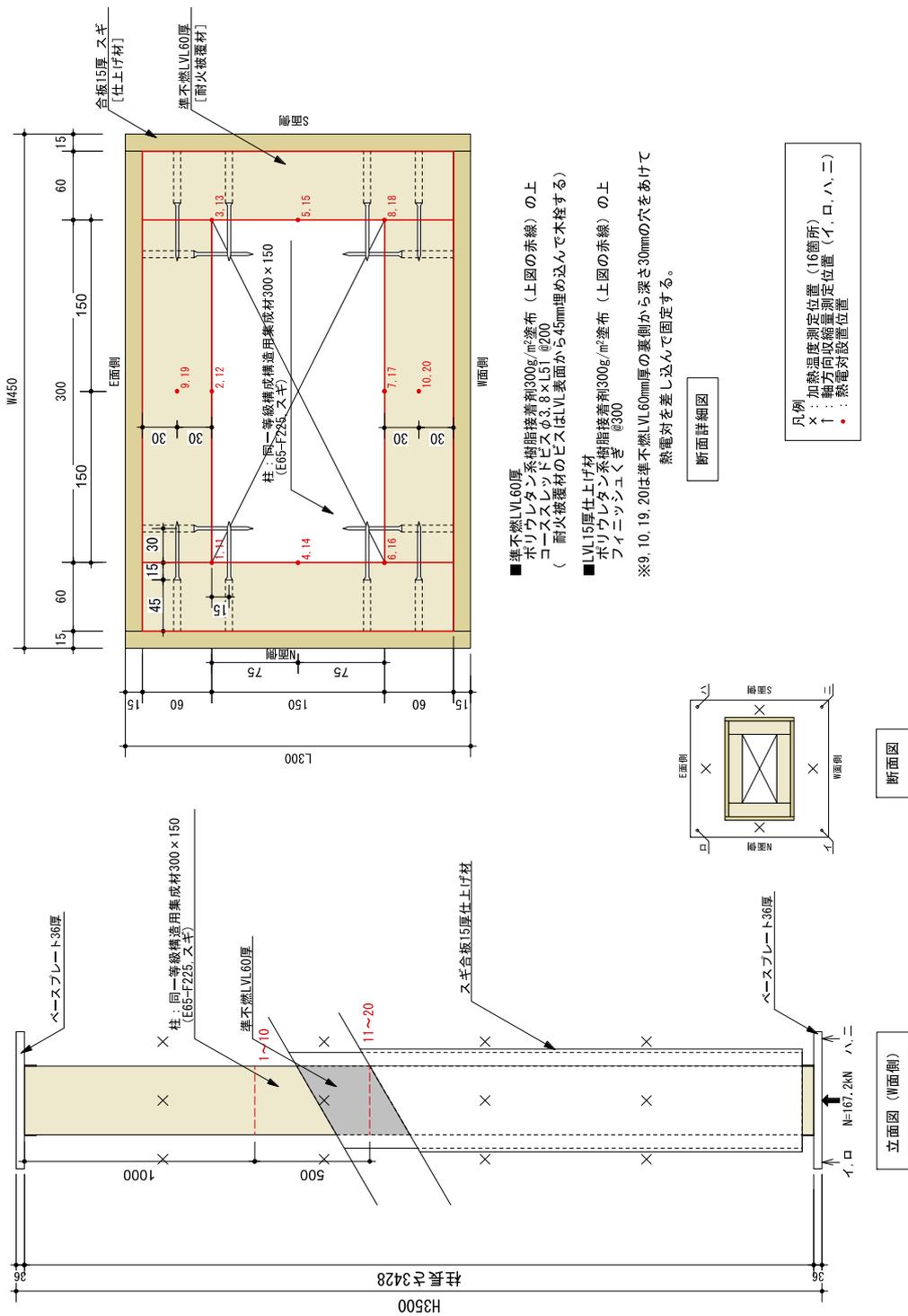


図 6.2-2 試験体Bの構造・寸法・温度測定位置(寸法単位 mm)

(3) 実験結果及び考察

実験結果を表 6. 2-1 の右欄（凡例は表下の欄外）に、各部の温度推移を図 6. 3-1～図 6. 3. 18 に、実験時の写真を写真 6. 3-1～写真 6. 3-7 に示す。

これによると、すべての試験体で、1 時間耐火構造の要求性能（非損傷性）を満足した。

試験体 A の実験経過を詳しくみると、構造体の柱周辺の温度（図 6. 3-7）を見ると、加熱開始約 270 分（放置開始約 210 分）に最高温度が約 150℃でピークを迎え、その後下降傾向を示した。準不燃 LVL 厚 60mm の加熱表面から 30mm の位置は 1 時間加熱終了時に約 300℃まで上昇しているが、加熱終了後は準不燃処理がなされているため、温度が急激に低下しており自己燃焼が継続しなかったことがわかる。このように、加熱終了時に可燃物や赤熱燃焼を継続する炭化層が残存していないことが耐火被覆層の燃焼が停止する要件といえる。

試験体 B 及び試験体 C もほぼ同様の傾向をしめしており、[準不燃 LVL の胴縁を設ける] タイプ及び [仕上材を設ける] タイプともに、平部、出隅両方の耐火性能を確保する補強方法として有効であることが実大規模で確認できた。

a. 温度推移

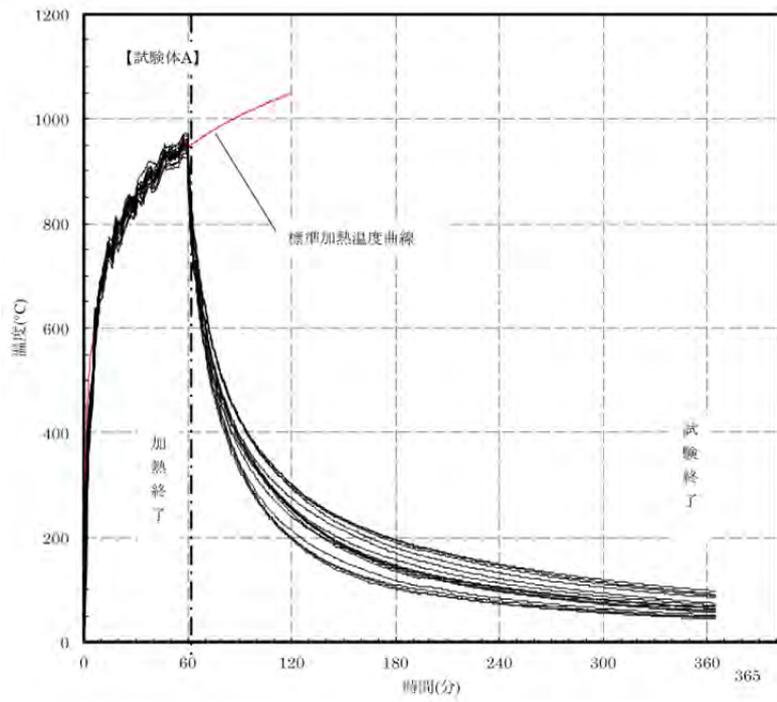


図 6.3-1 試験体 A 炉内温度推移

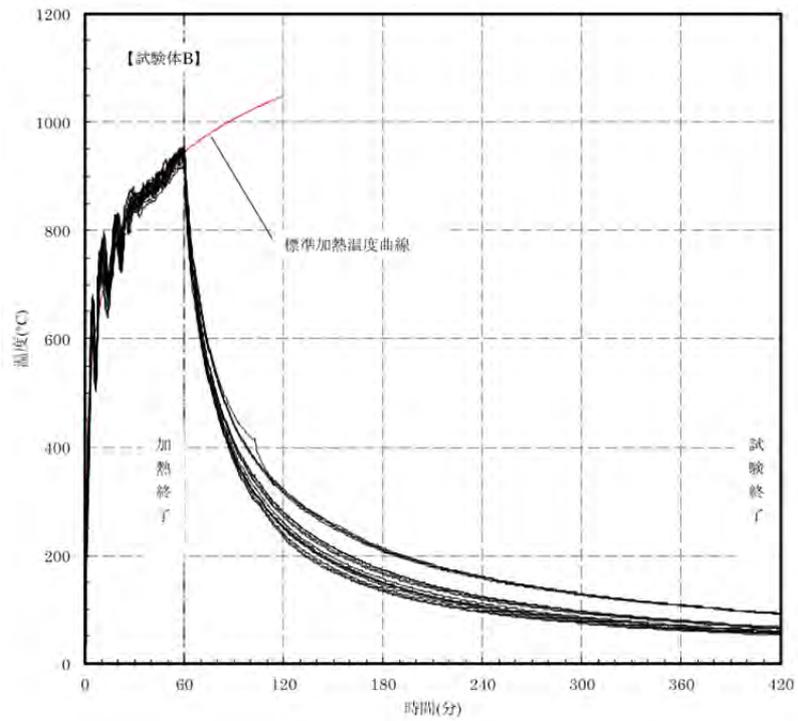


図 6.3-2 試験体 B 炉内温度推移

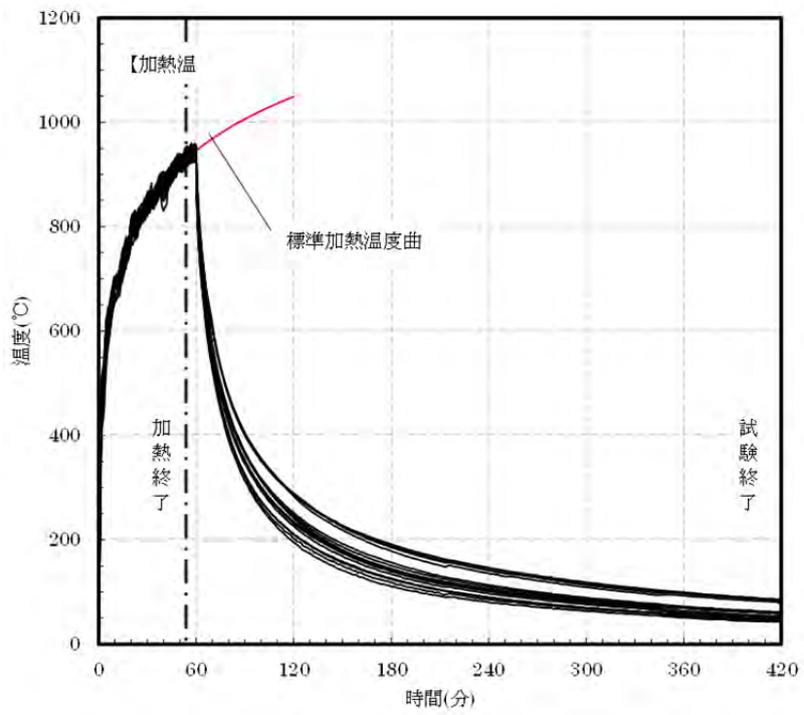


図 6.3-3 試験体 C 炉内温度推移

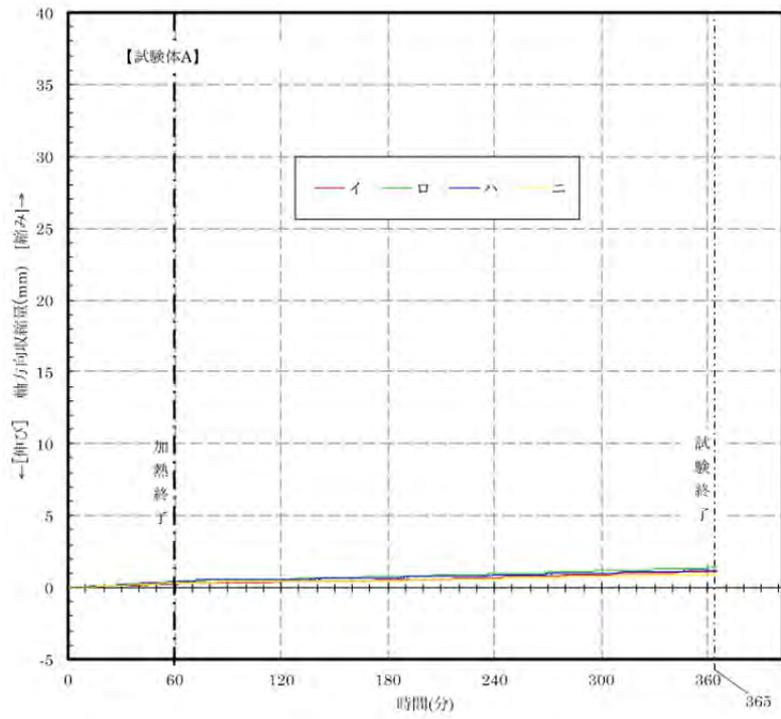


図 6.3-4 試験体 A 軸方向収縮量推移

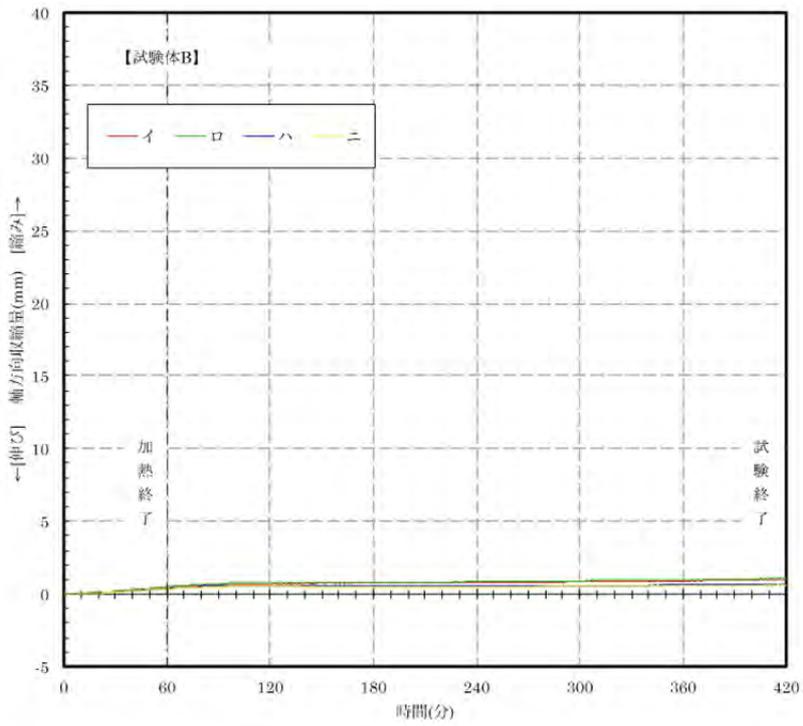


図 6.3-5 試験体 B 軸方向収縮量推移

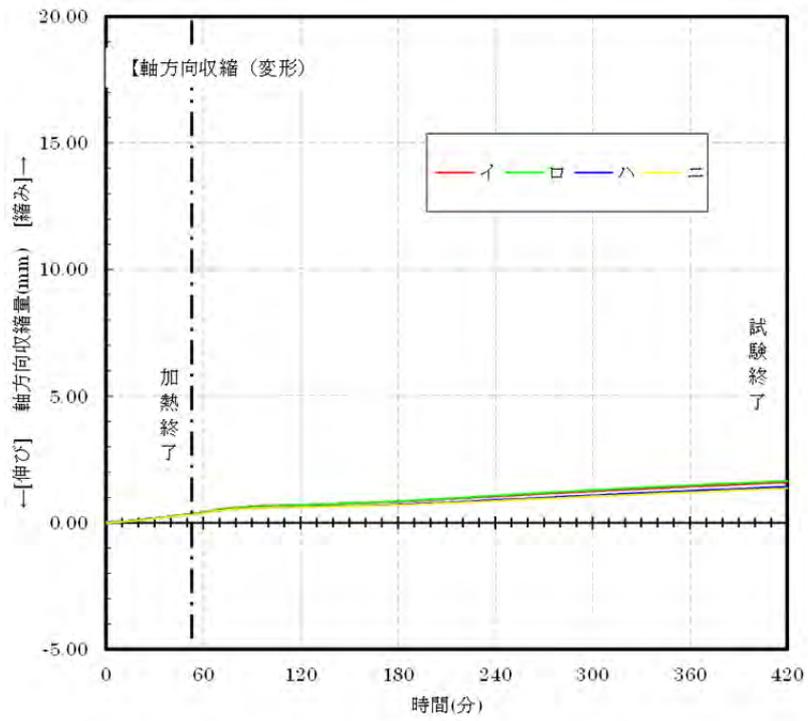


図 6.3-6 試験体 C 軸方向収縮量推移

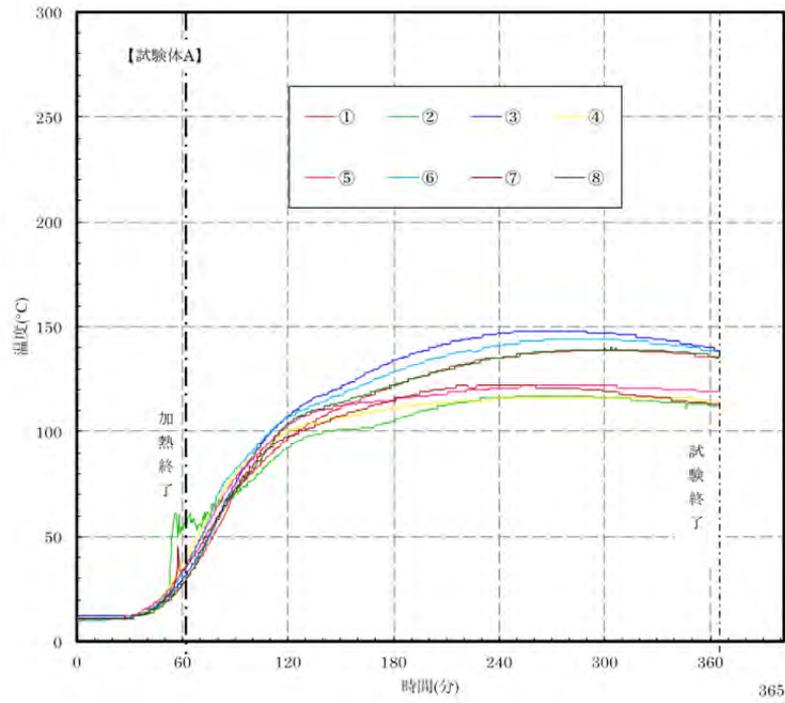


図 6.3-7 試験体 A 部材温度推移

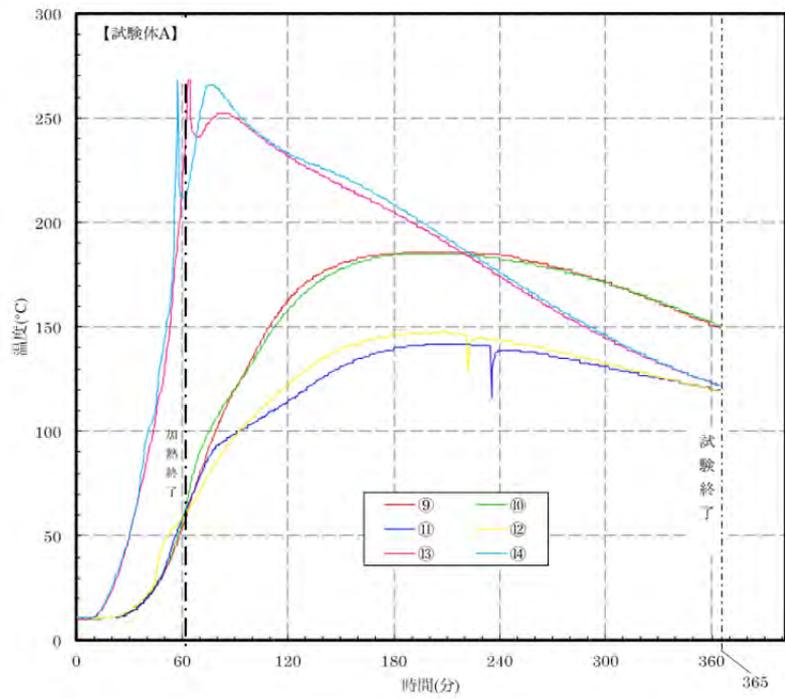


図 6.3-8 試験体 A 部材温度推移

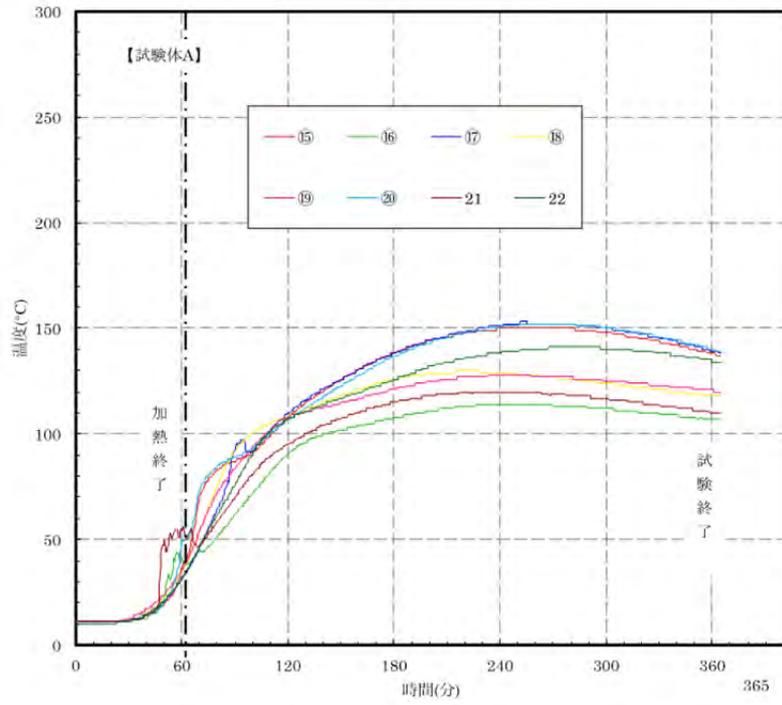


図 6.3-9 試験体 A 部材温度推移

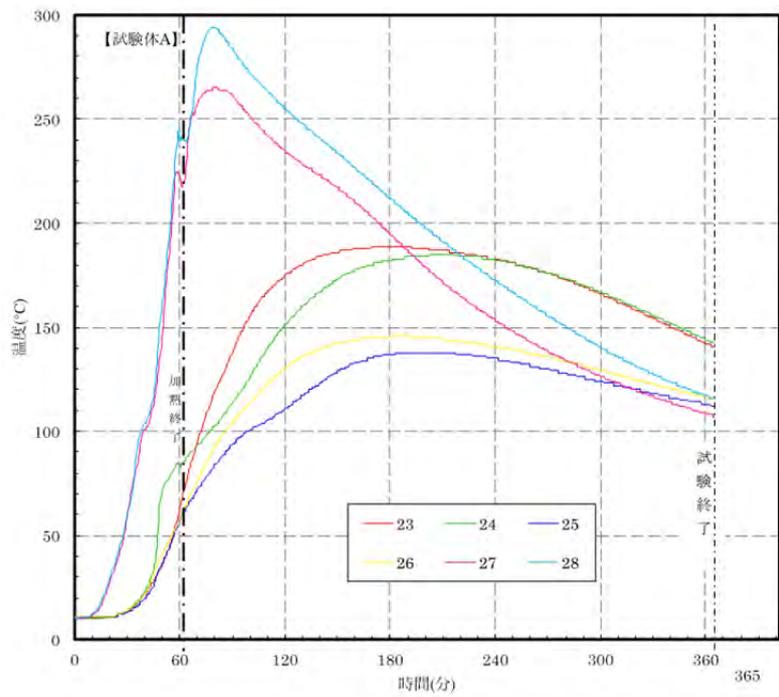


図 6.3-10 試験体 A 部材温度推移

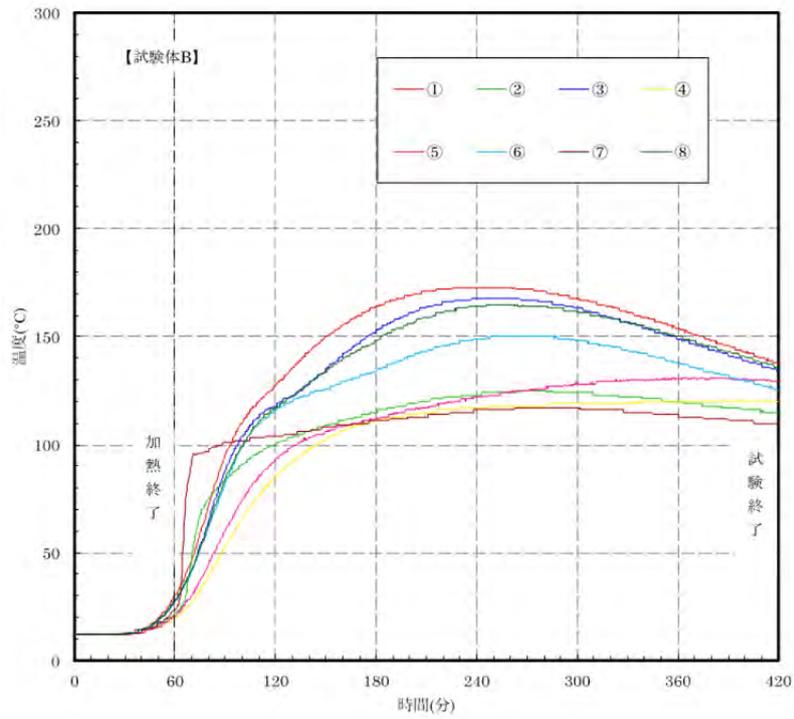


図 6.3-11 試験体 B 部材温度推移

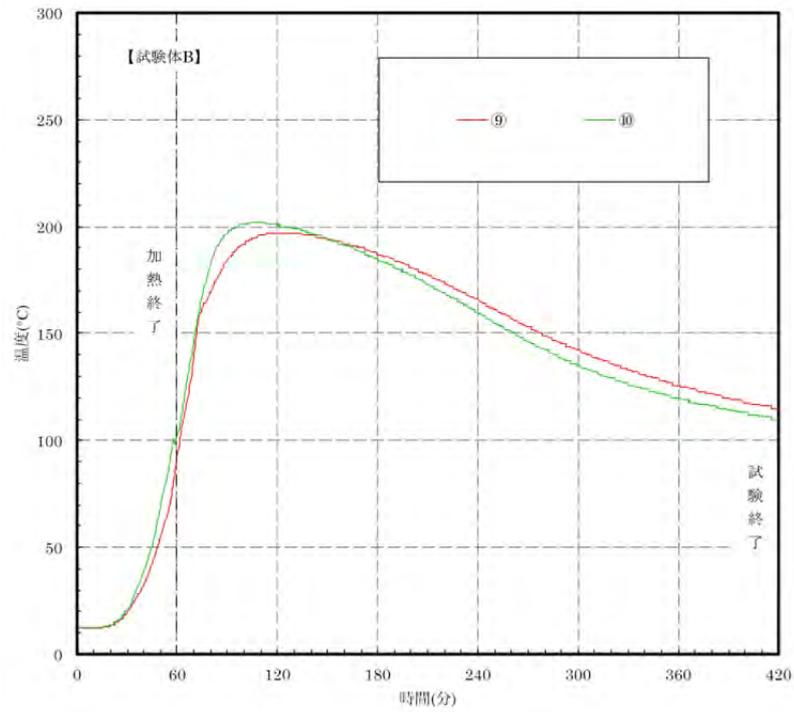


図 6.3-12 試験体 B 部材温度推移

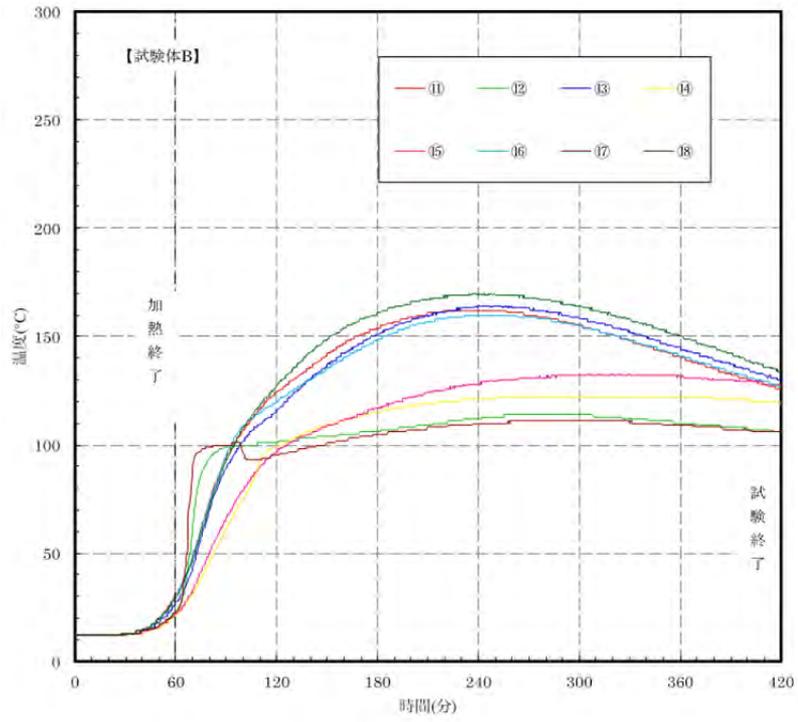


図 6.3-13 試験体 B 部材温度推移

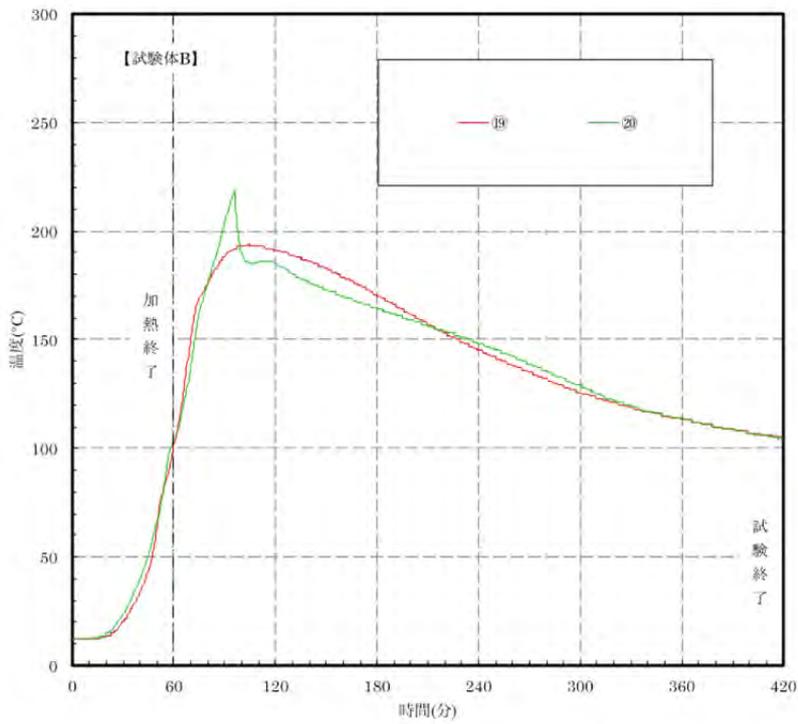


図 6.3-14 試験体 B 部材温度推移

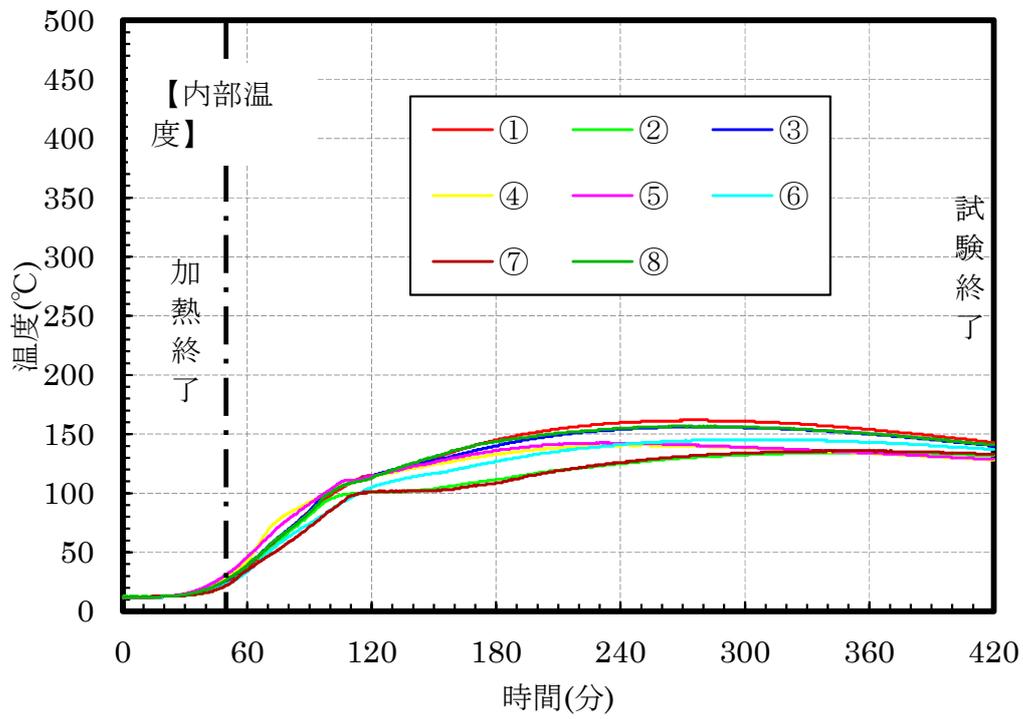


図 6.3-15 試験体 C 部材温度推移

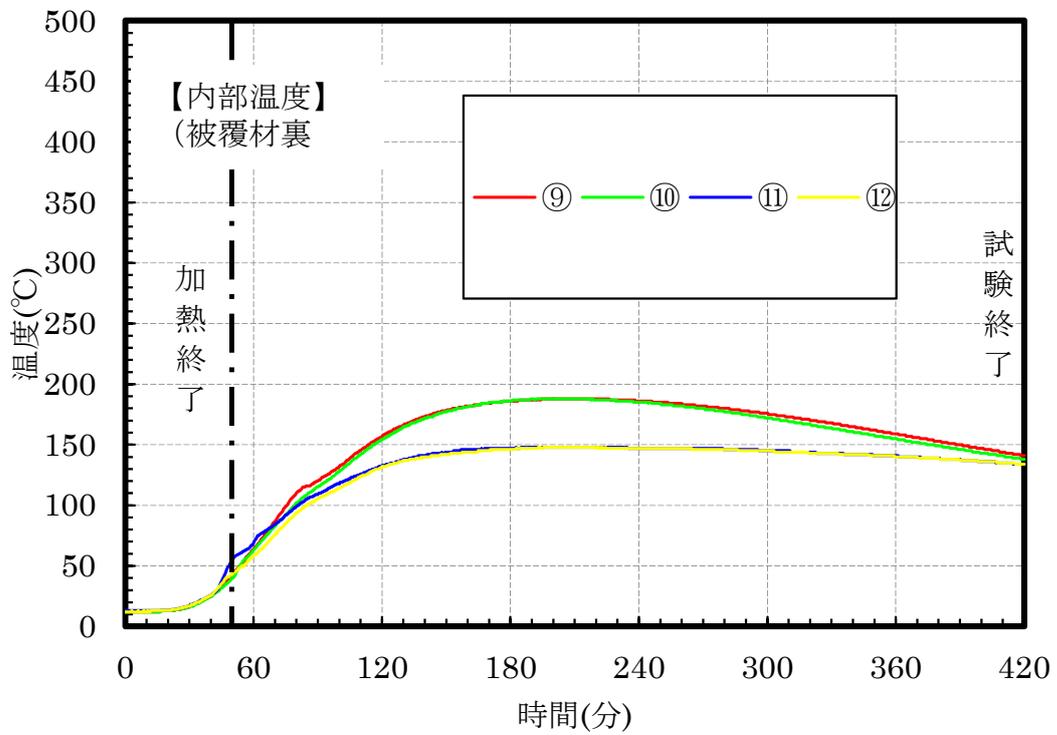


図 6.3-16 試験体 C 部材温度推移

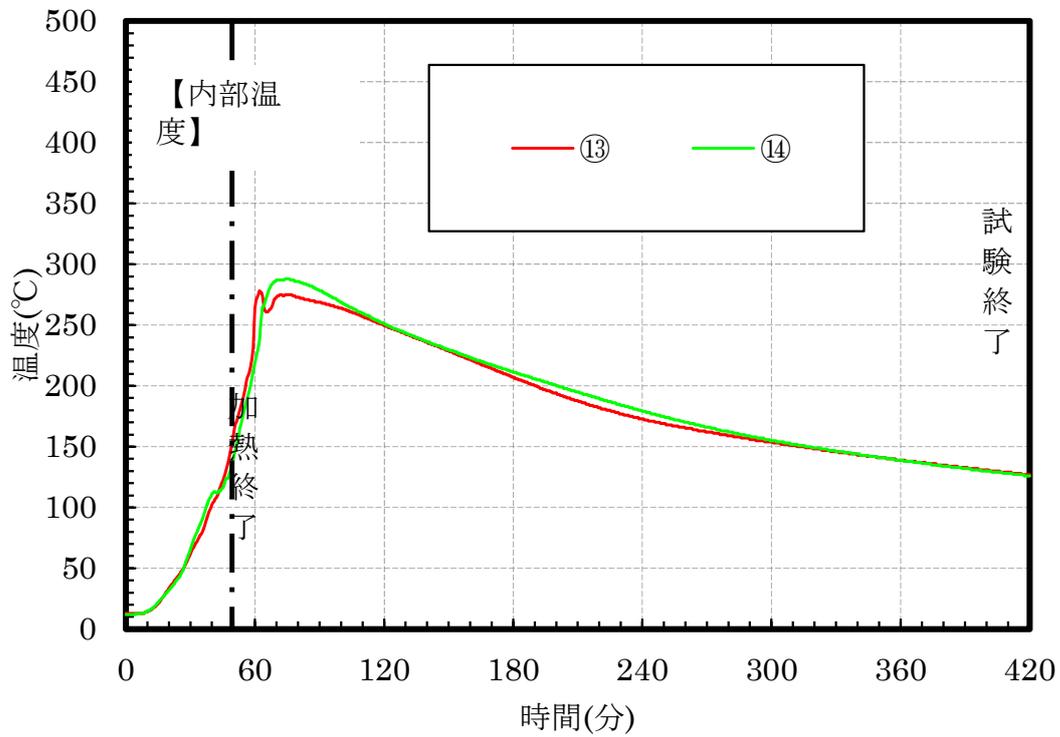


図 6.3-17 試験体 C 部材温度推移

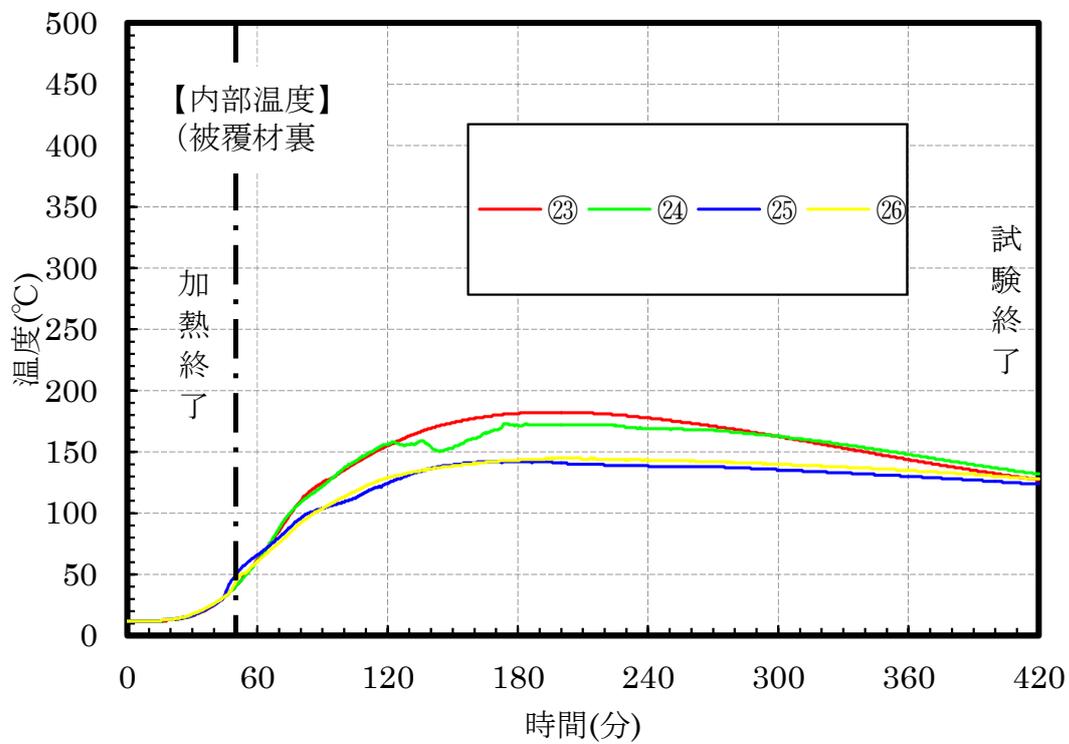


図 6.3-18 試験体 C 部材温度推移

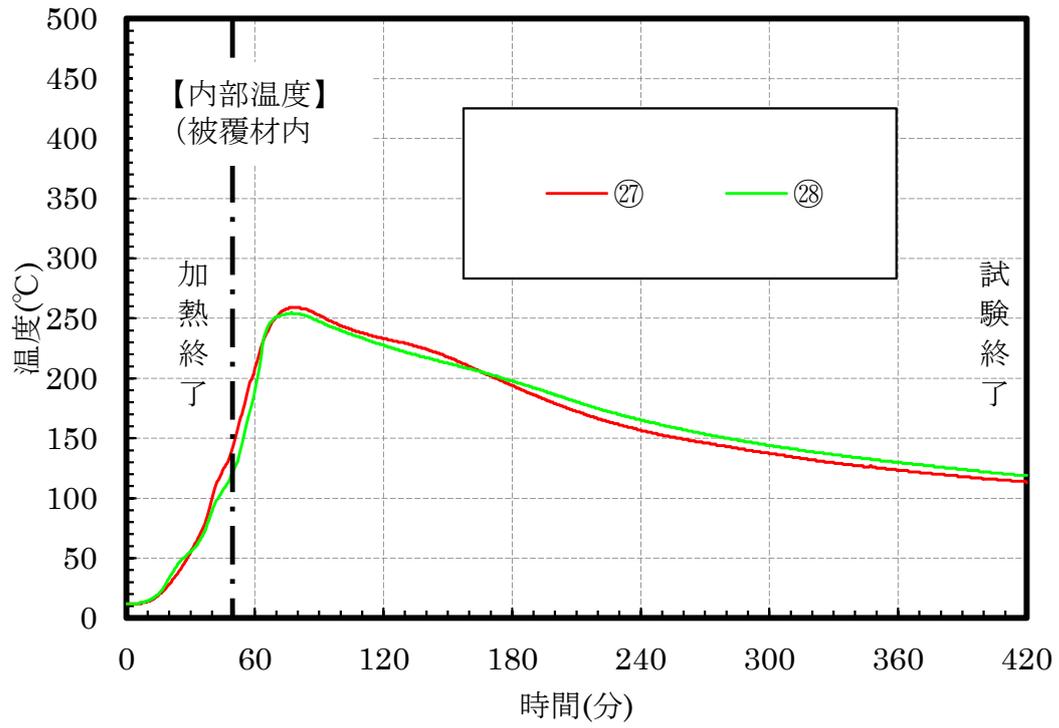


図 6.3-19 試験体 C 部材温度推移

b. 実験時写真



写真 6. 3-1 加熱前の試験体の様子



写真 6. 3-2 加熱中の試験装置全景



写真 6. 3-3 加熱放置終了後の試験体の様子①



写真 6. 3-4 加熱放置終了後の試験体の様子②



写真 6. 3-5 試験体 A 炭化状況



写真 6. 3-6 試験体 B 炭化状況

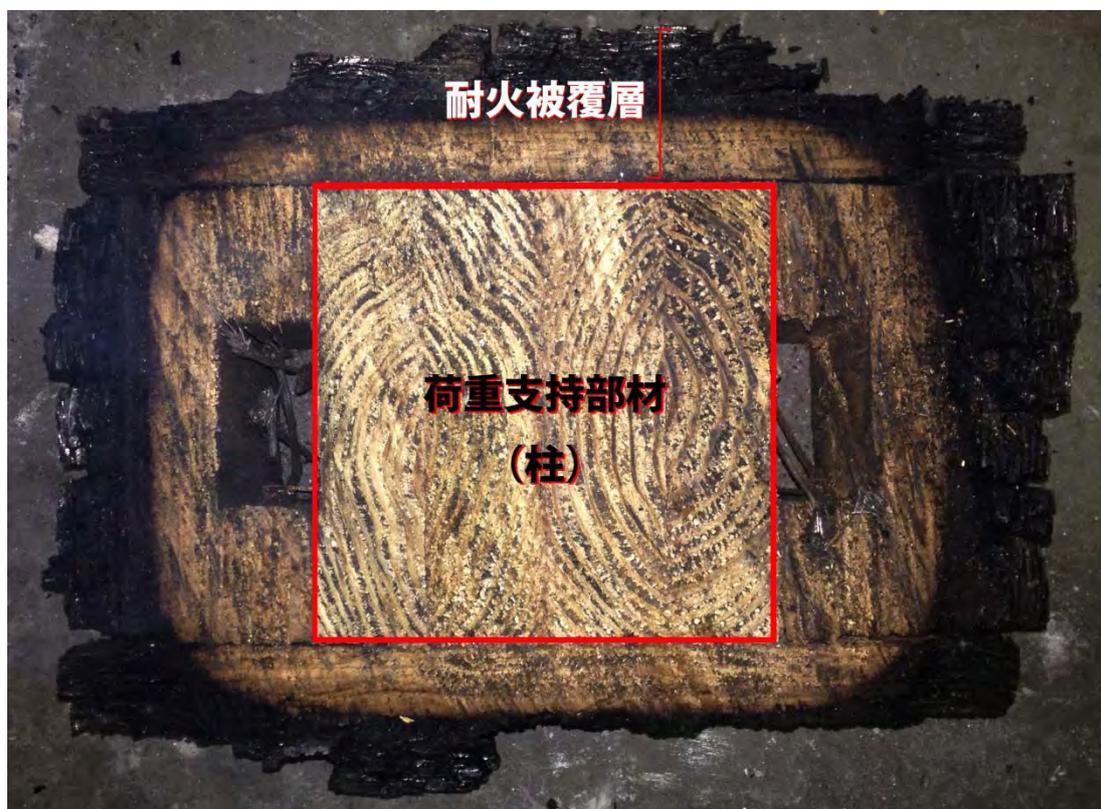


写真 6. 3-7 試験体 C 炭化状況

6. 難燃薬剤を注入したLVLの薬剤 注入状態及び薬剤分布状況確認

1 スギ LVL 製品注入の薬剤固定量の検証

1.1. はじめに

スギ LVL 製品への難燃薬剤注入について、長さ、幅及び厚さ方向にどの程度の薬剤が入っているか不明のため、小ブロックに分けて薬剤を溶脱し、それぞれの箇所の薬剤固定量の検証を行った。

1.2. 試験方法

LVL 製品注入材は、長さ 4m、幅 400mm、厚さ 30mm である。LVL 製品は 3 社 (K 社、O 社、I 社) で、薬剤 2 種類 (M 社製の W200、W2-50) の注入を目標薬剤固定量 120~130kg/m³ で行った。全部で 6 枚の 4m 材について、端部木口面から 100mm ピッチで幅 12mm の断面を長さ方向の中央まで計 41 断面採取した。図 1.1 に示すように、LVL 製品注入材の幅方向は 17 個 (K 社、O 社) 及び 19 個 (I 社) のブロックにして、厚さ方向を 6mm の 5 分割にした。なお、図では奥行方向で 30mm が 3 ブロックであるが、実際は 9 (K 社、O 社) 及び 11 (I 社) ブロックある。

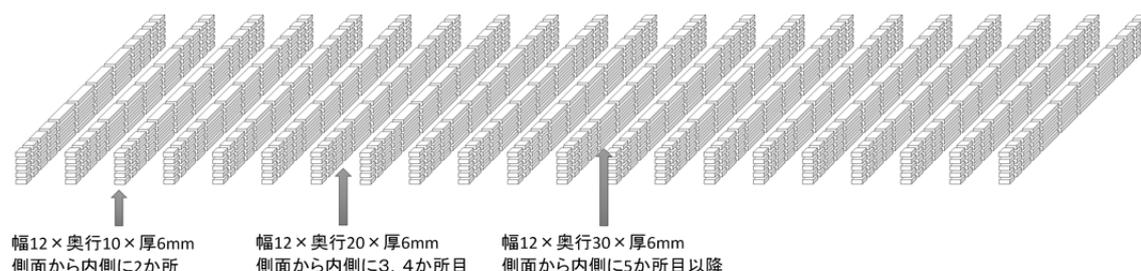


図 1.1 LVL 製品注入材の分割

写真 1.1 のように、それぞれ分割した小試験片をバラバラにならないように袋に入れて 103 度±1 度で 24 時間以上乾燥し、各重量を測定した。その後、写真 1.2 のように煮沸を 2 時間行い、さらに水に 1 時間浸漬し、再び 103 度±1 度で 24 時間以上乾燥して重量を測定した（写真 1.3 及び写真 1.4 参照）。溶脱前と溶脱後 2 回の重量の差を溶脱した薬剤の重量として、1m³ あたりに換算して薬剤固定量を計算した。密度の計算は、大きく寸法が異なっているもののみ測定し、残りは分割数による計算上の寸法により行った。



写真 1.1 小試験片を袋に入れ乾燥



写真 1.2 小試験片の煮沸状況



写真 1.3 小試験片の重量測定状況 1

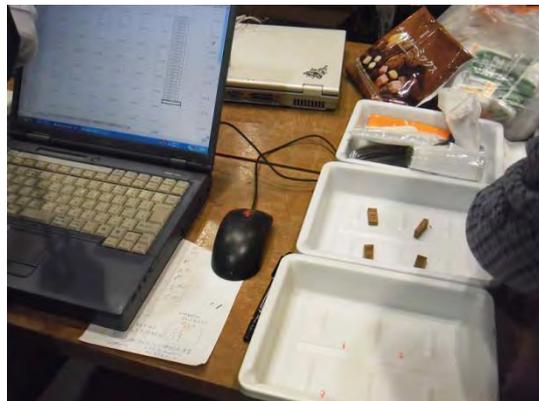


写真 1.4 小試験片の重量測定状況 2

1.3. 結果と考察

6 枚の LVL 製品注入材の薬剤固定量（小試験片の平均値）を表 1.1 に示す。表は-1 から-5 が厚さ方向に 5 分割したものを順に、上面から 1 層目、その下側に 2 層目、3 層目、4 層目、裏面を 5 層目として表した。また、各試験材の薬剤固定量分布を図 1.2-1 から図 1.7-5 に

示す。図も-1 から-5 が厚さ方向に 5 分割したものを順に、上面から 1 層目、その下側に 2 層目、3 層目、4 層目、裏面を 5 層目とした。1 層目と 5 層目、各層の側面及び木口面は、薬剤固定量は 100kg/m³ を超えているが、2 層目から 4 層目の内側は 100kg/m³ を下回っている個所が多かった。なお、I 社 W2-50 を除いて薬剤の種類や、製造 3 社による薬剤固定量の差は大きくはなかった。1cm 程度の試験片からの密度や薬剤固定量の推定のため、異常値が含まれているが、大まかに見て、製品注入材は周囲の数ミリ程度は薬剤が多く注入できているが、内部は注入量が少ないことが判明した。

表 1.1 各試験体の薬剤固定量の概要

LVL	薬剤	薬剤固定量 kg/m ³					
		1層目	2層目	3層目	4層目	5層目	平均
K社	W200	125	86	114	103	127	111
	W2-50	175	91	106	108	177	131
O社	W200	164	130	116	105	140	131
	W2-50	169	134	116	123	171	142
I社	W200	183	123	94	109	151	132
	W2-50	202	149	155	199	230	187

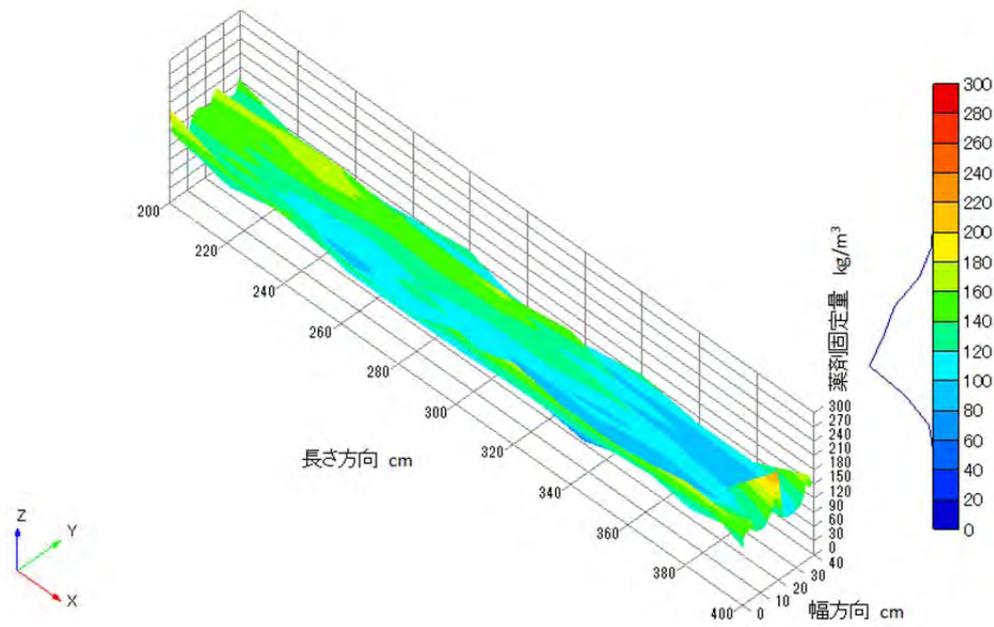


図 1.2-1 K 社 LVL1 層目の W200 薬剤固定量分布

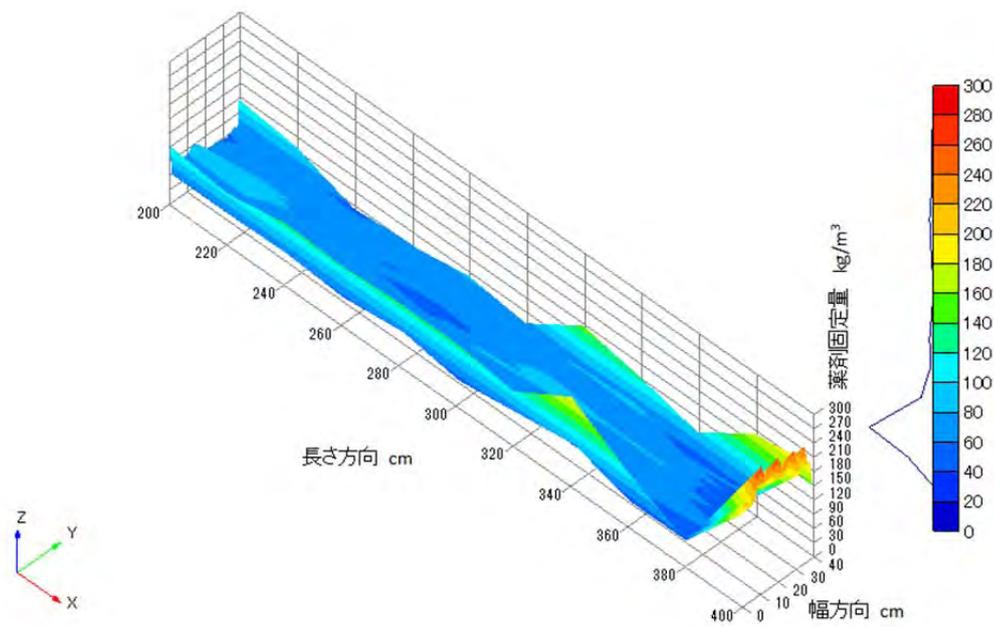


図 1.2-2 K 社 LVL2 層目の W200 薬剤固定量分布

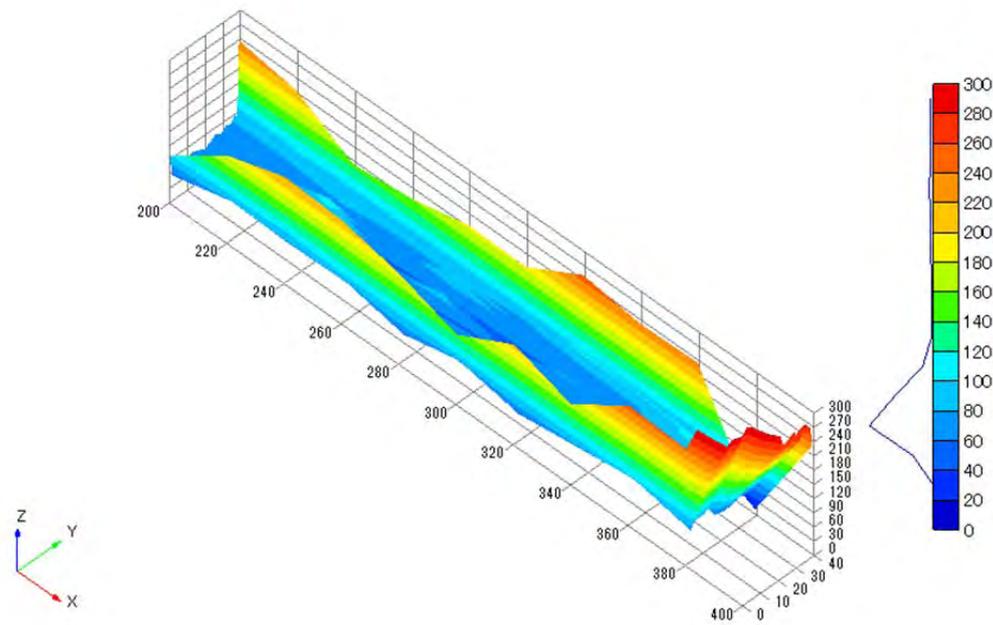


図 1.2-3 K 社 LVL3 層目の W200 薬剤固定量分布

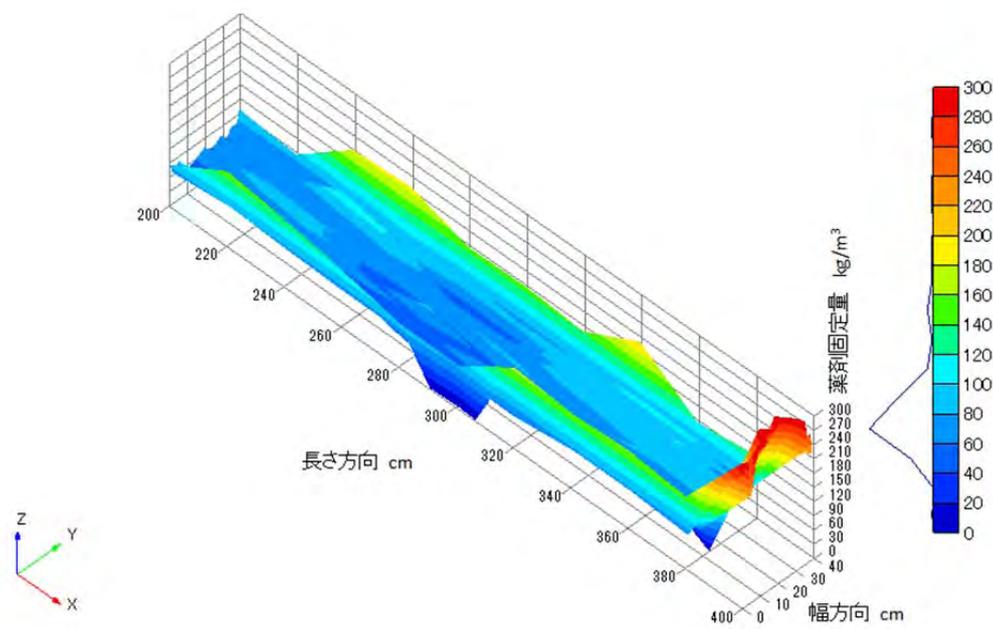


図 1.2-4 K 社 LVL4 層目の W200 薬剤固定量分布

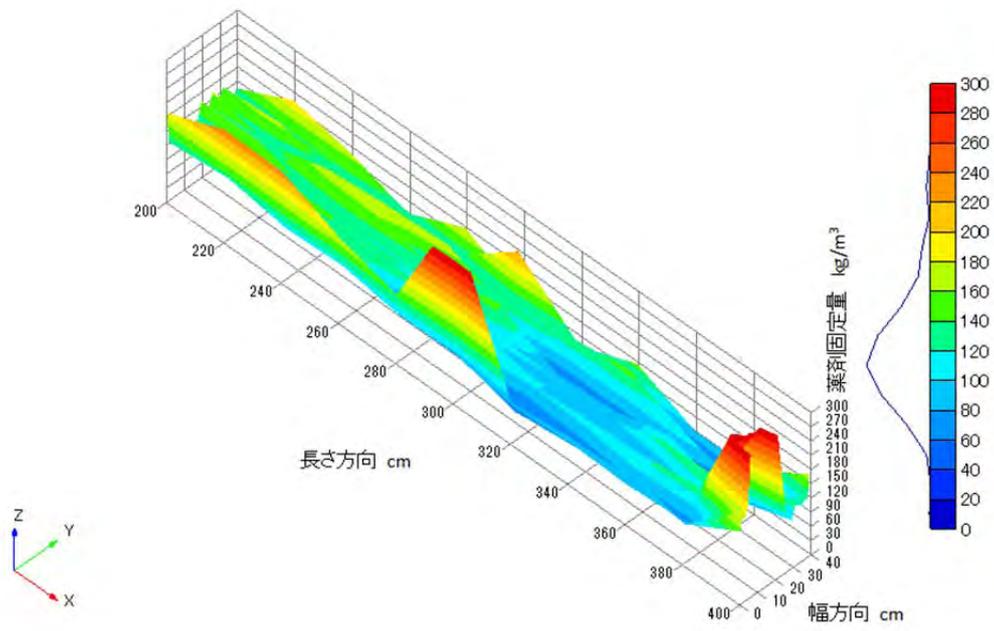


図 1.2-5 K 社 LVL5 層目の W200 薬剤固定量分布

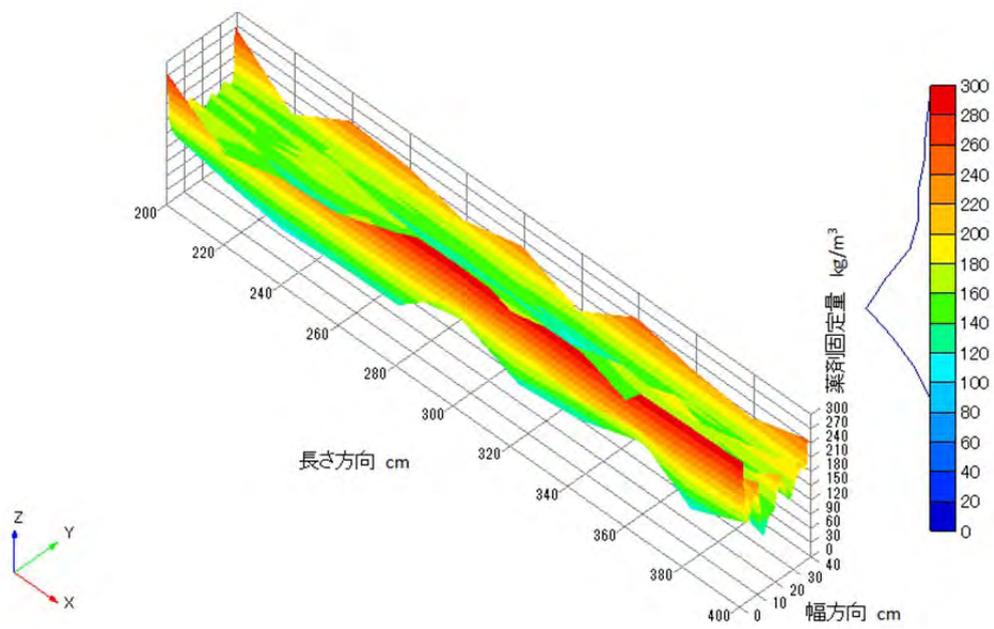


図 1.3-1 K 社 LVL1 層目の W2-50 薬剤固定量分布

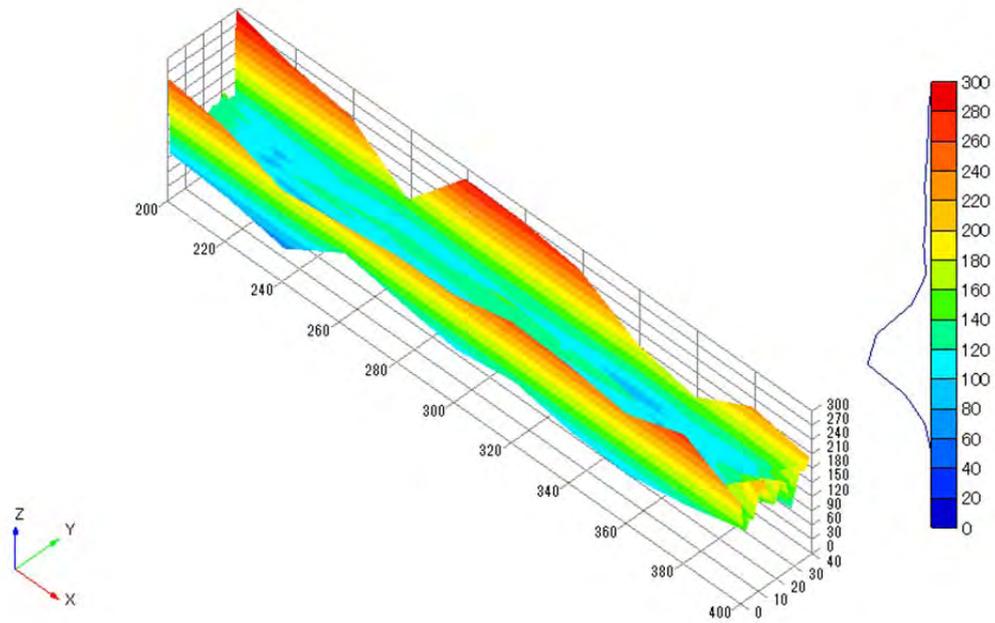


図 1.3-2 K 社 LVL2 層目の W2-50 薬剤固定量分布

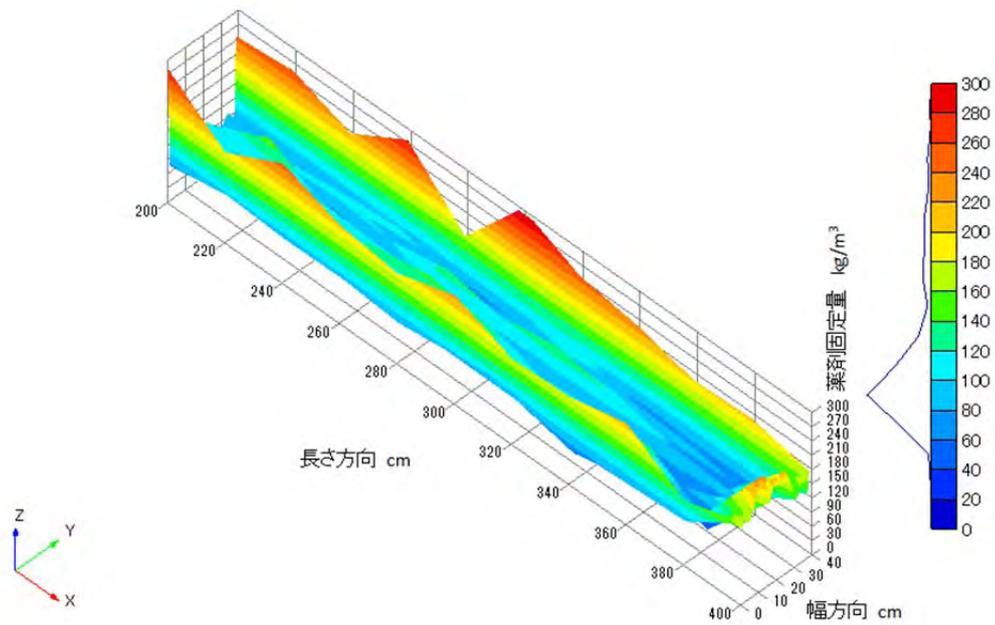


図 1.3-3 K 社 LVL3 層目の W2-50 薬剤固定量分布

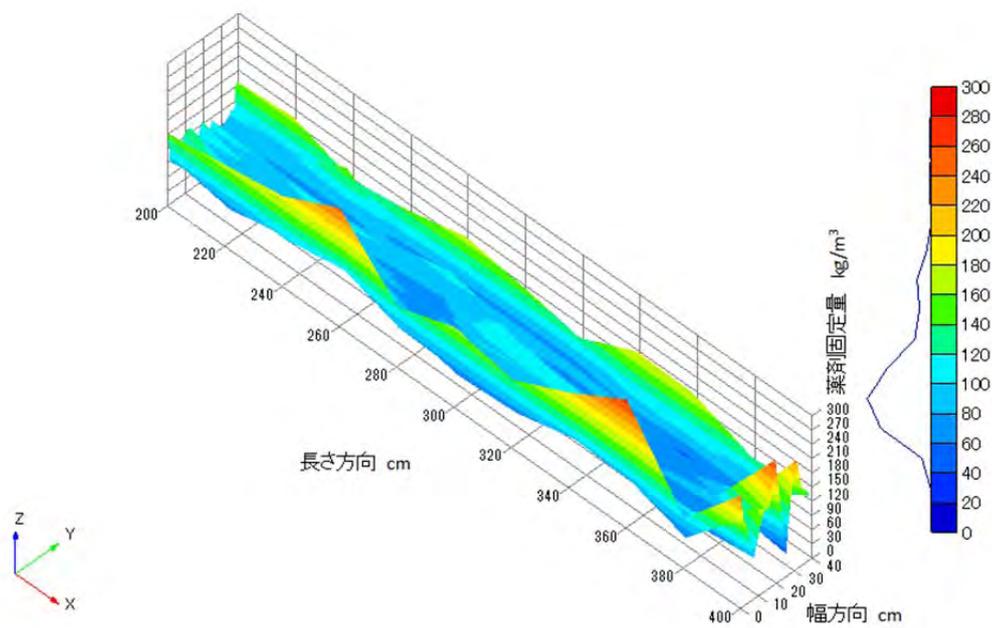


図 1.3-4 K 社 LVL4 層目の W2-50 薬剤固定量分布

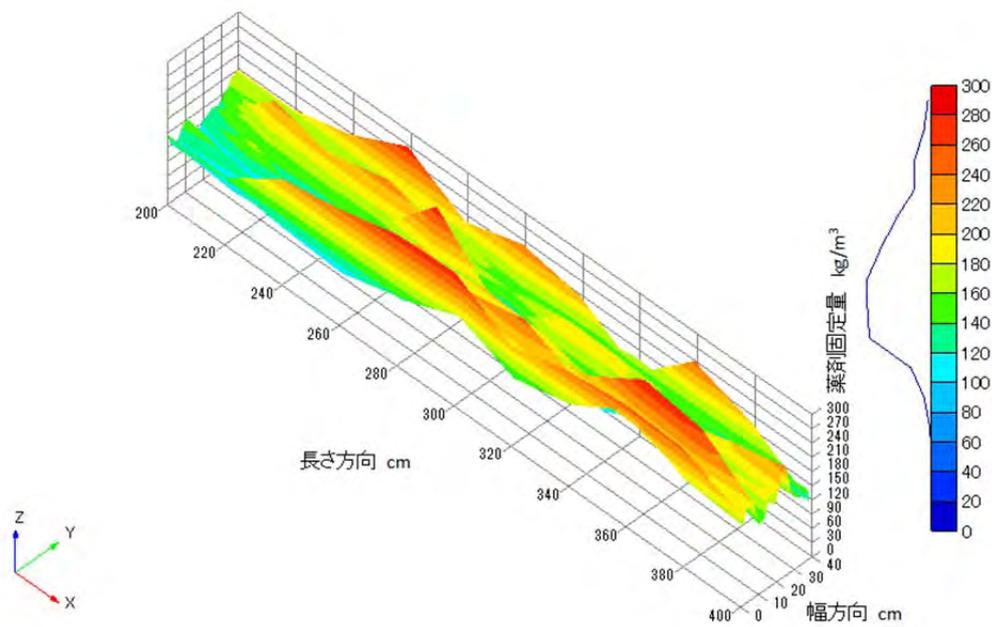


図 1.3-5 K 社 LVL5 層目の W2-50 薬剤固定量分布

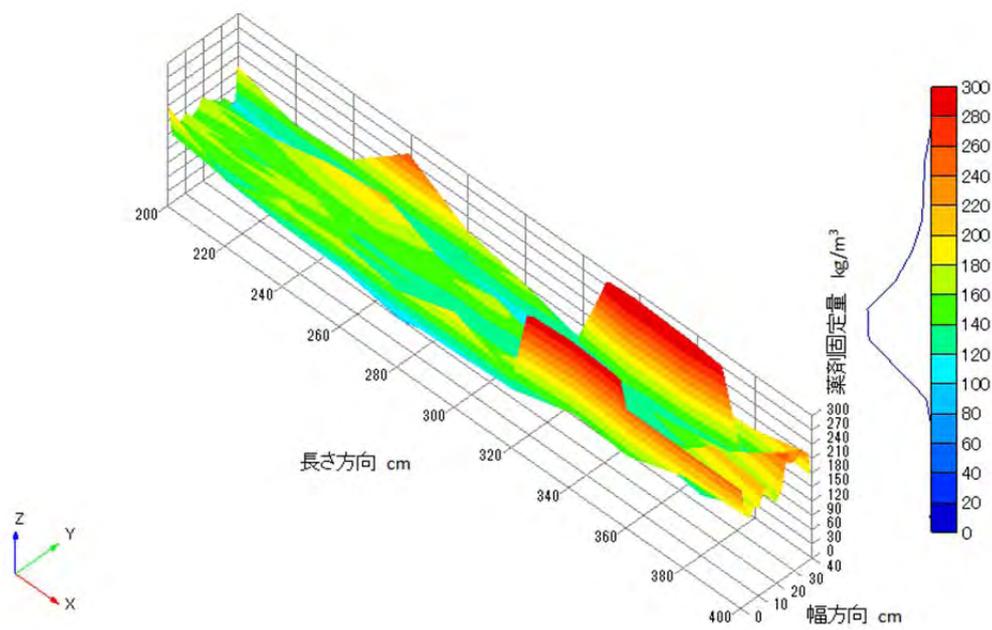


図 1.4-1 0 社 LVL1 層目の W200 薬剤固定量分布

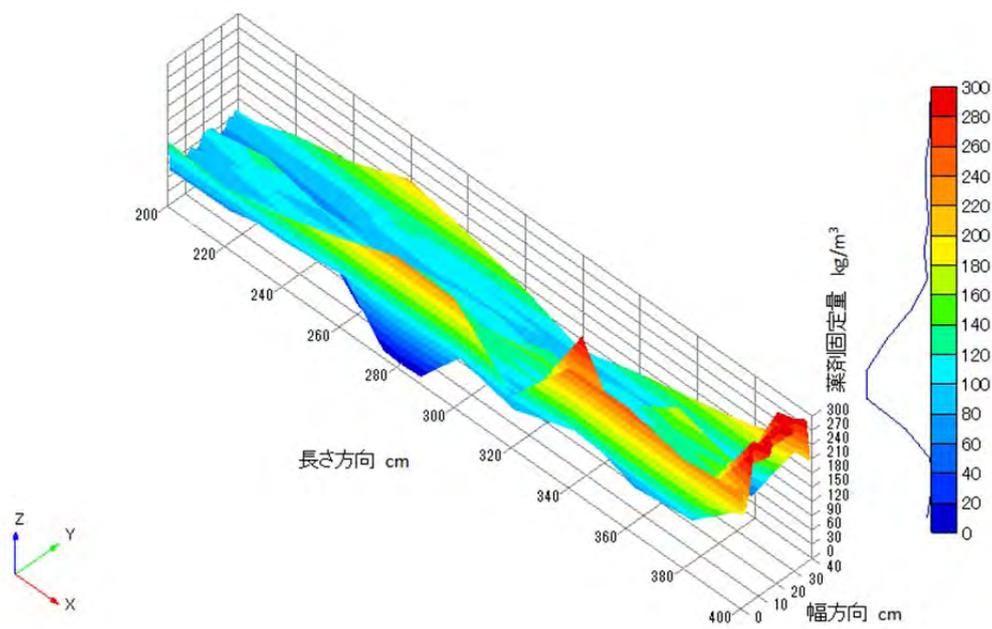


図 1.4-2 0 社 LVL2 層目の W200 薬剤固定量分布

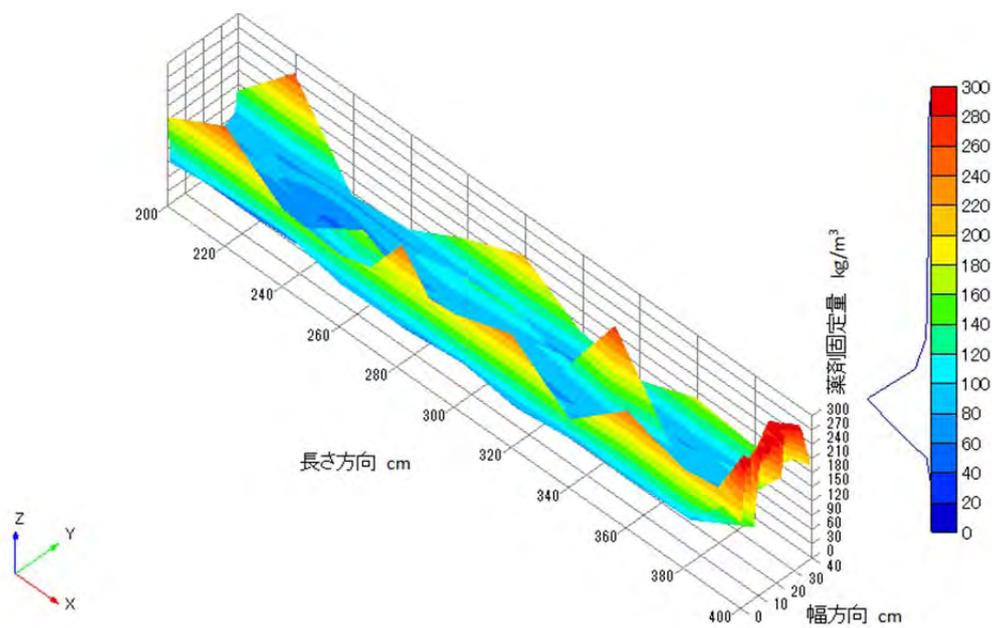


図 1.4-3 0 社 LVL3 層目の W200 薬剤固定量分布

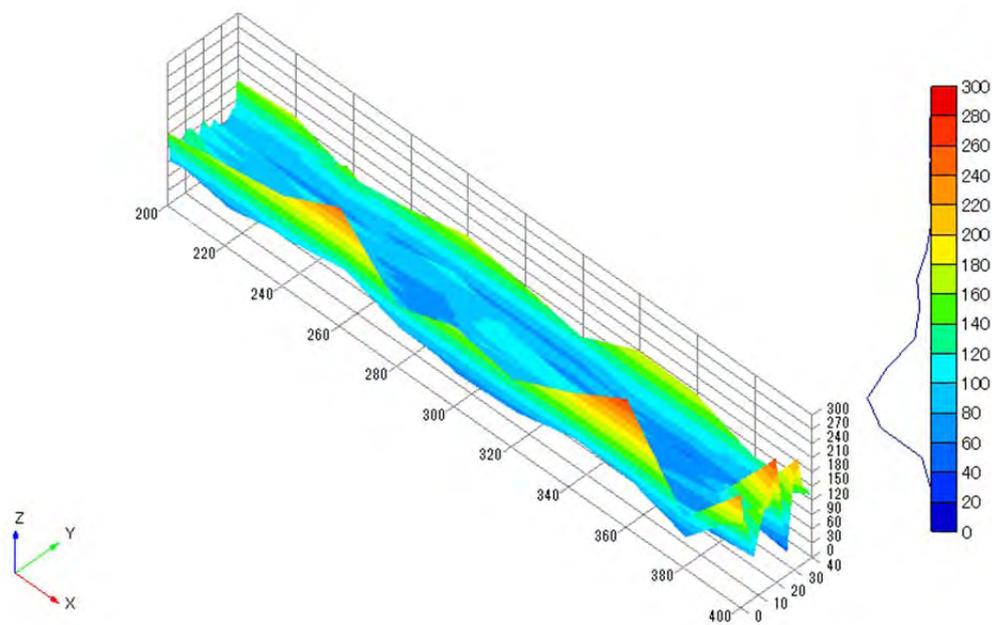


図 1.4-4 0 社 LVL4 層目の W200 薬剤固定量分布

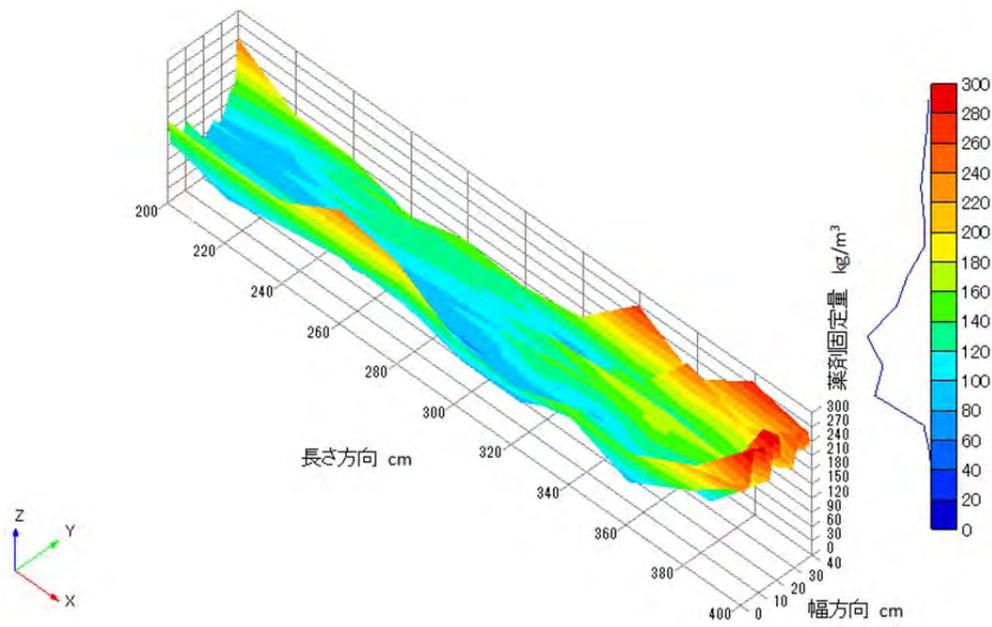


図 1.4-5 〇社 LVL5 層目の W200 薬剤固定量分布

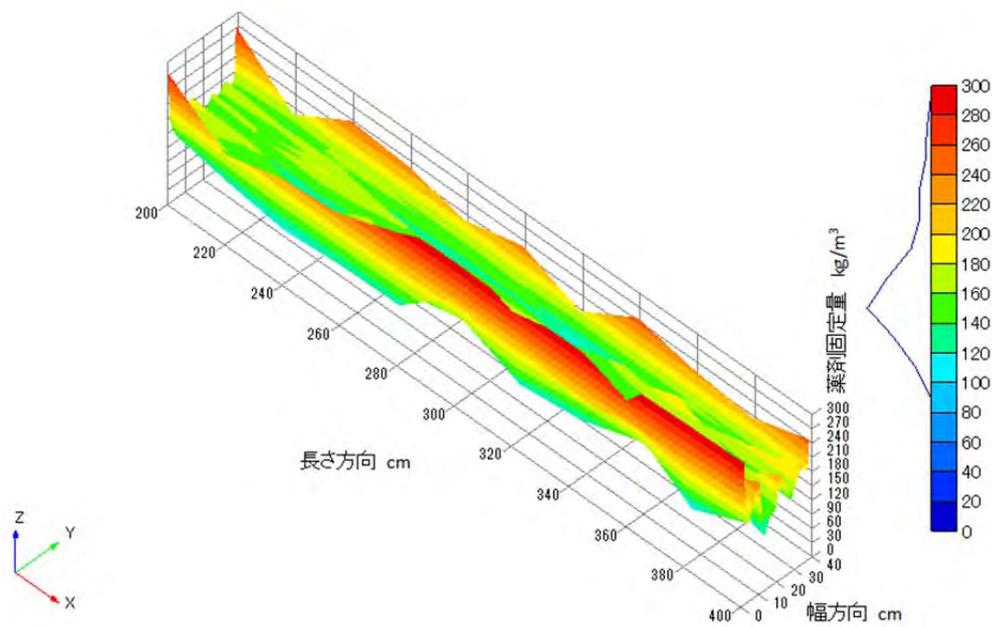


図 1.5-1 〇社 LVL1 層目の W2-50 薬剤固定量分布

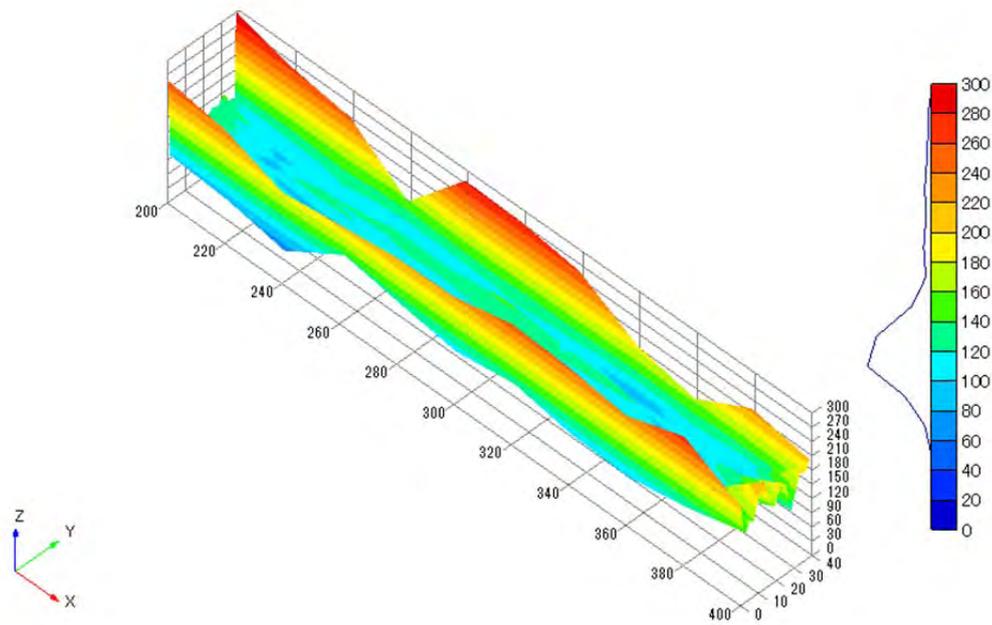


図 1.5-2 〇社 LVL2 層目の W2-50 薬剤固定量分布

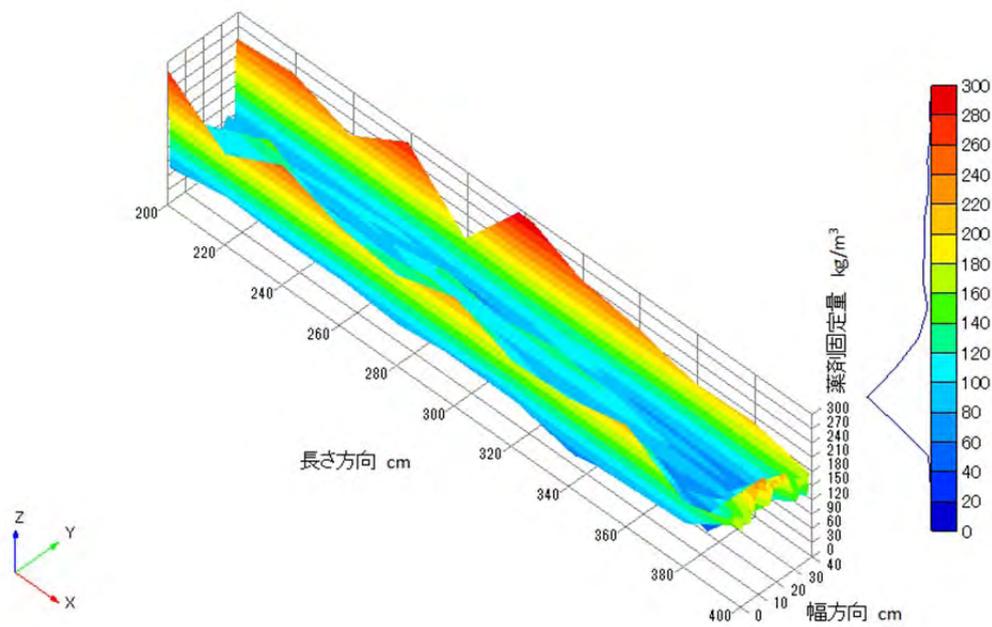


図 1.5-3 〇社 LVL3 層目の W2-50 薬剤固定量分布

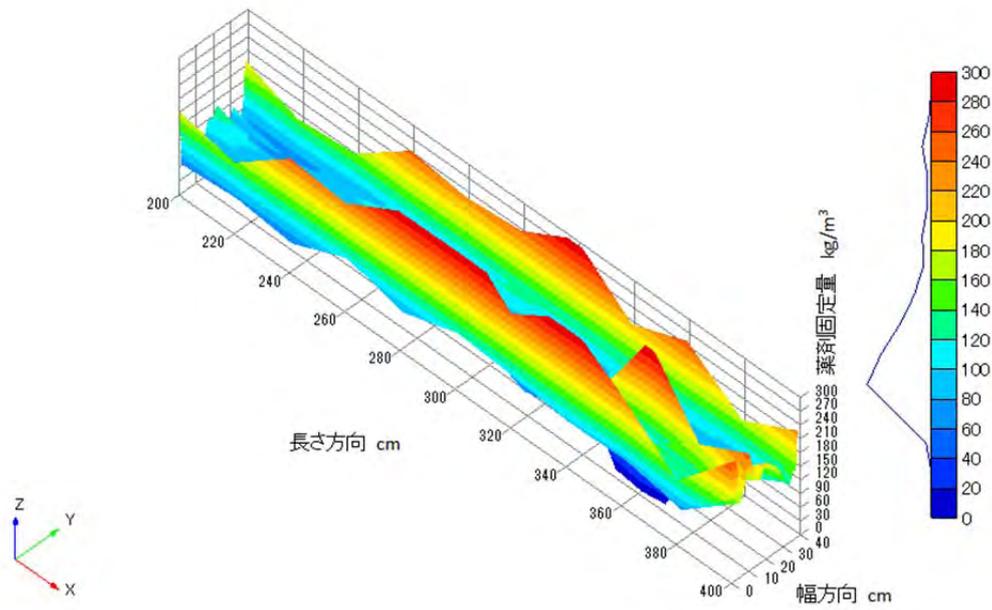


図 1.5-4 〇社 LVL4 層目の W2-50 薬剤固定量分布

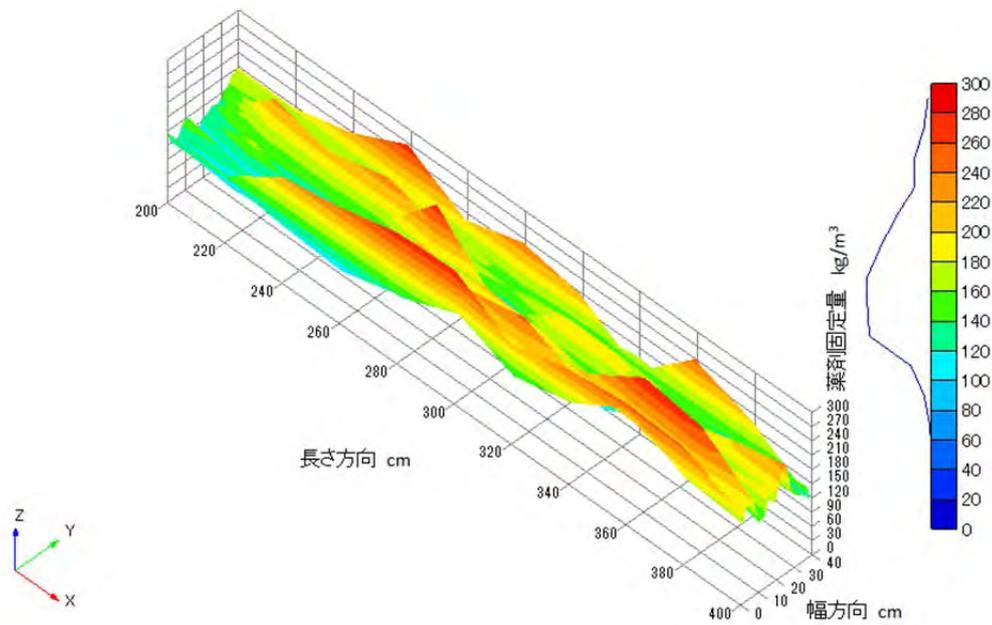


図 1.5-5 〇社 LVL5 層目の W2-50 薬剤固定量分布

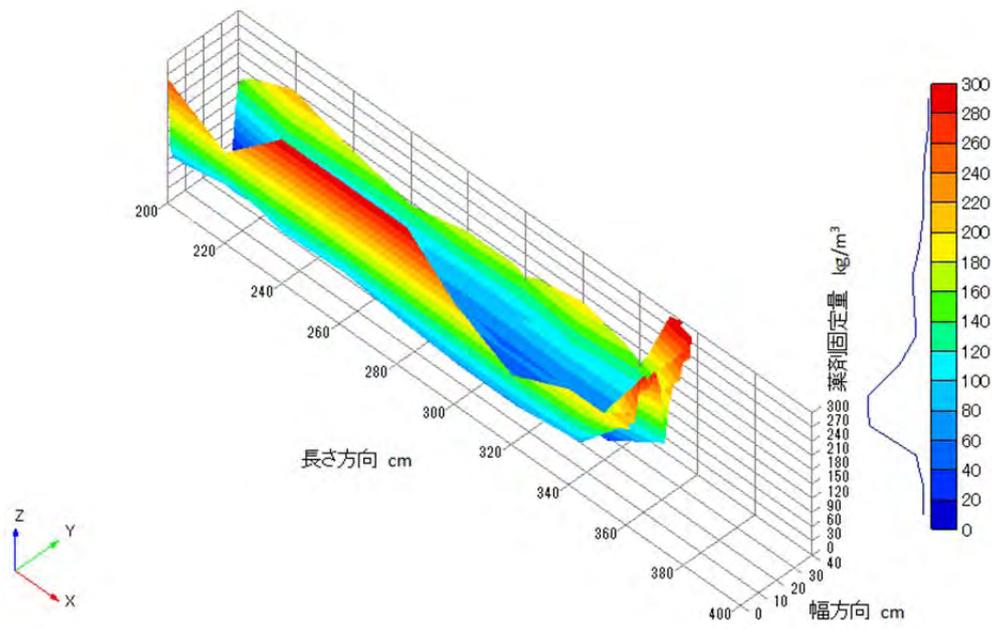


図 1.6-1 I 社 LVL1 層目の W200 薬剤固定量分布

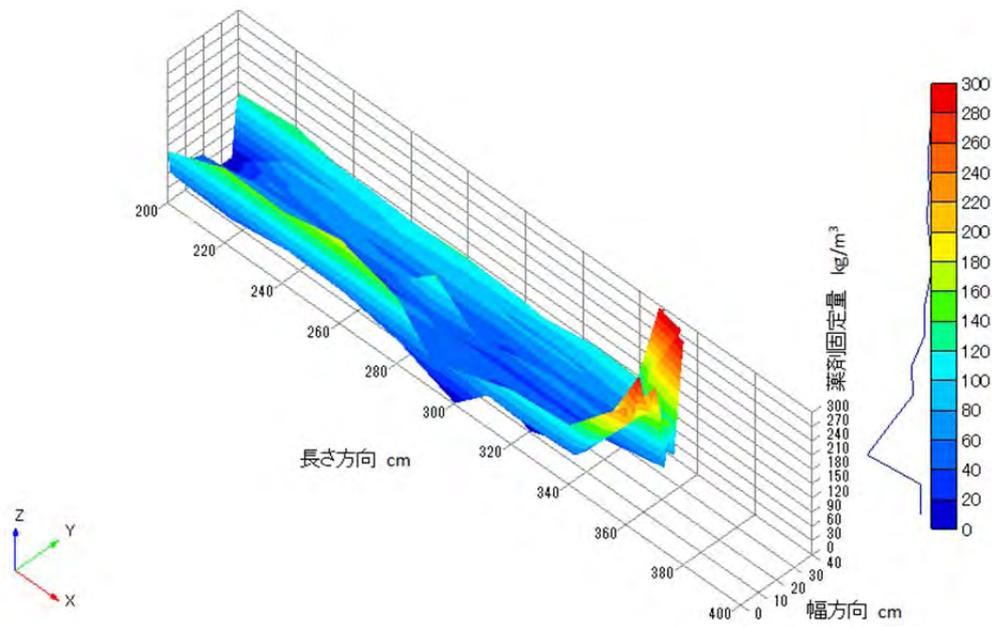


図 1.6-2 I 社 LVL2 層目の W200 薬剤固定量分布

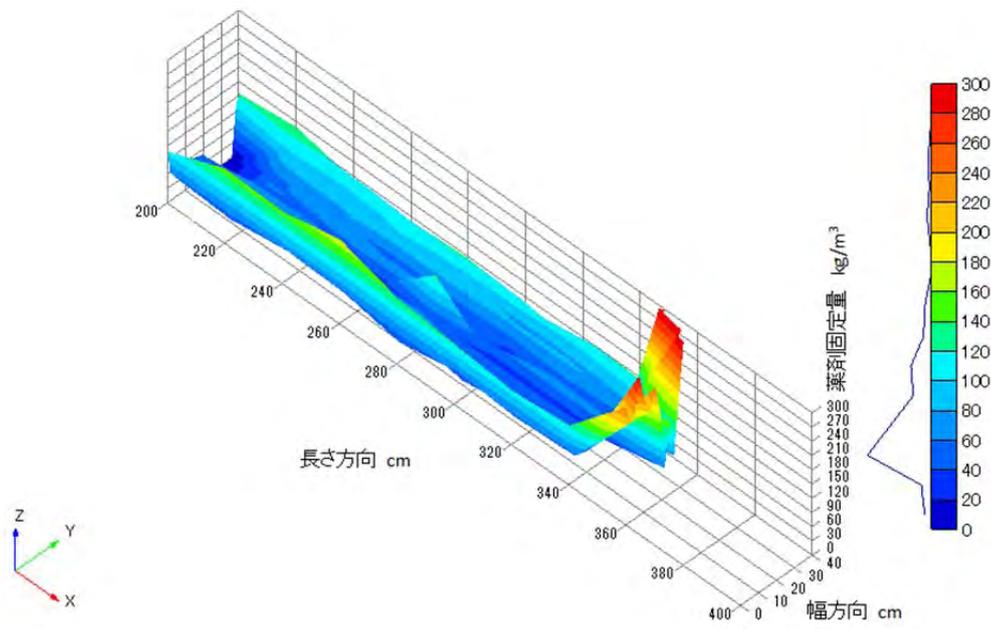


図 1.6-3 I 社 LVL3 層目の W200 薬剤固定量分布

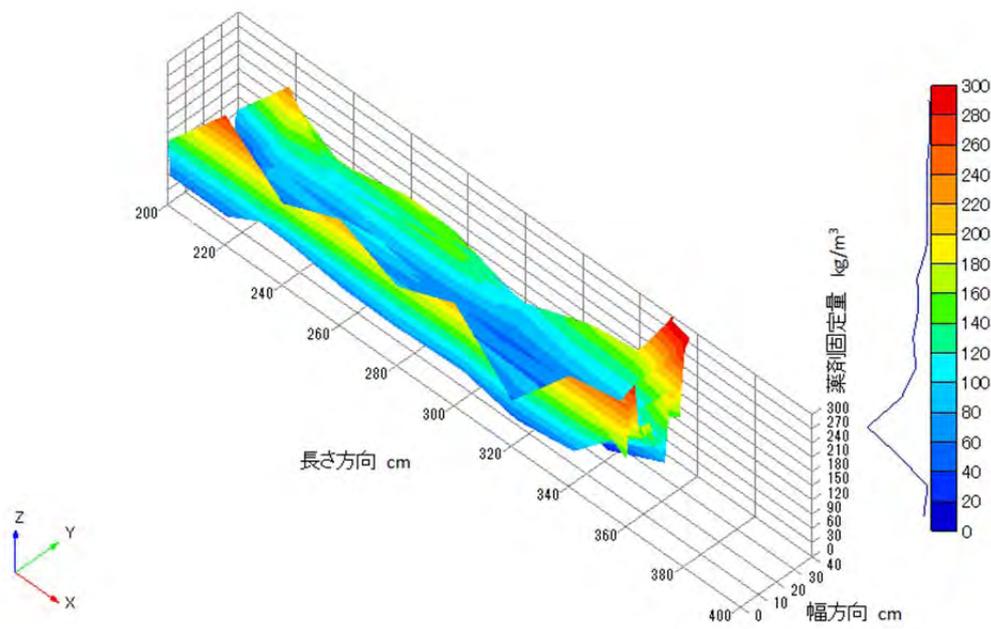


図 1.6-4 I 社 LVL4 層目の W200 薬剤固定量分布

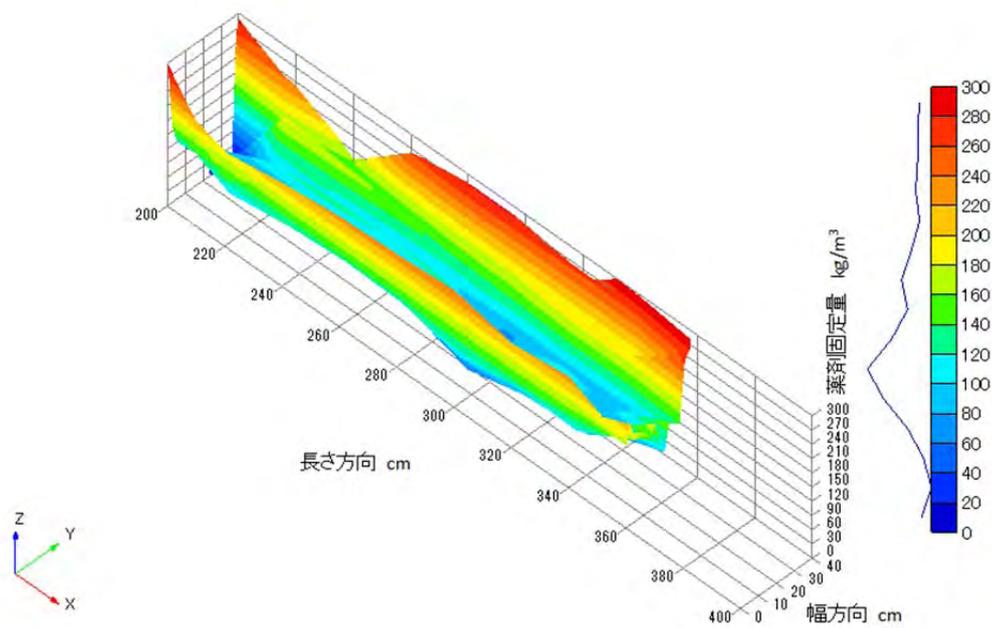


図 1.6-5 I 社 LVL5 層目の W200 薬剤固定量分布

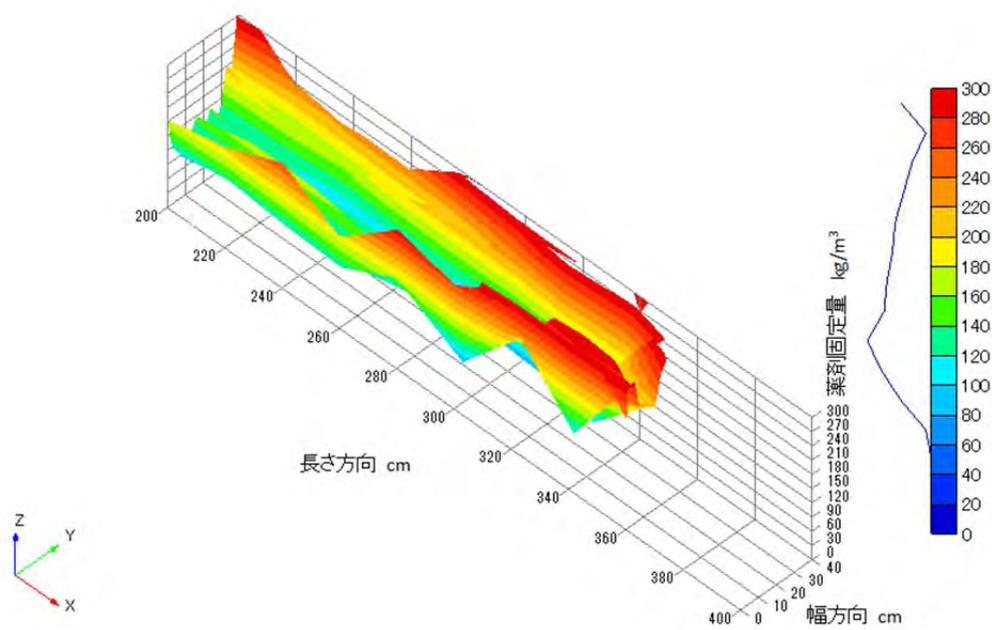


図 1.7-1 I 社 LVL1 層目の W2-50 薬剤固定量分布

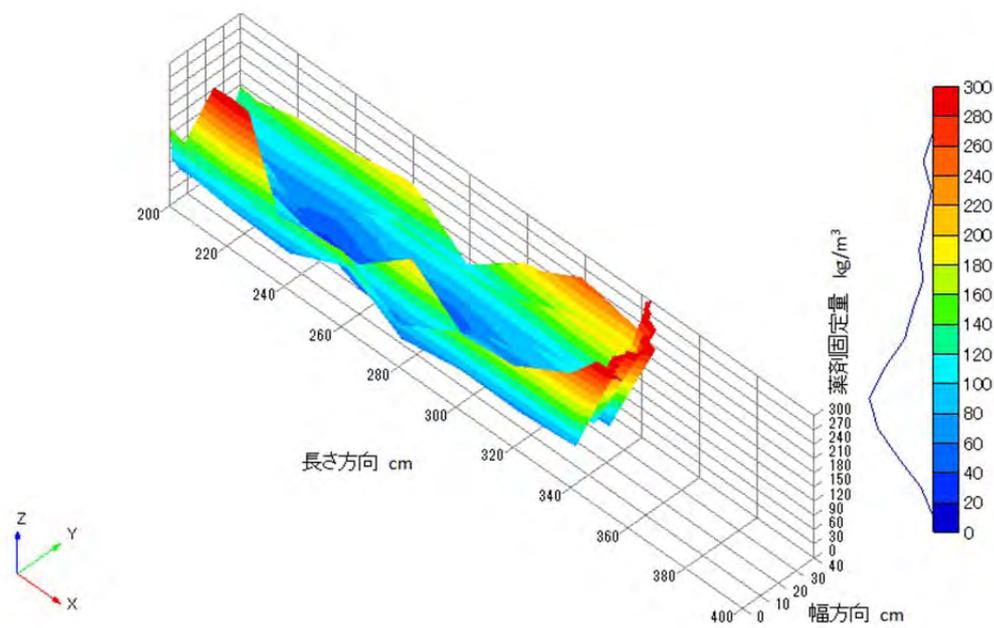


図 1.7-2 I 社 LVL2 層目の W2-50 薬剤固定量分布

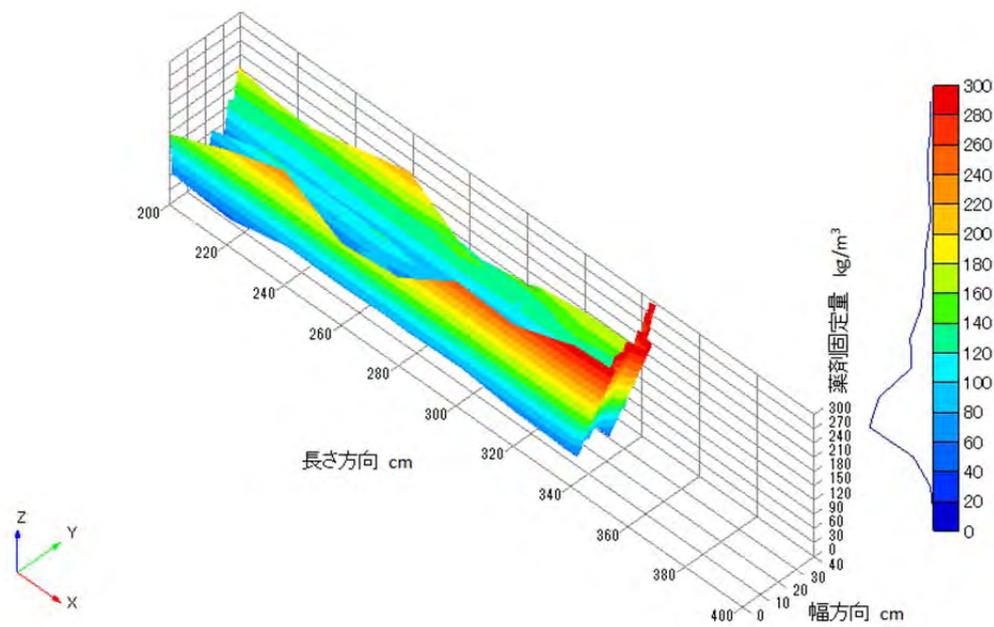


図 1.7-3 I 社 LVL3 層目の W2-50 薬剤固定量分布

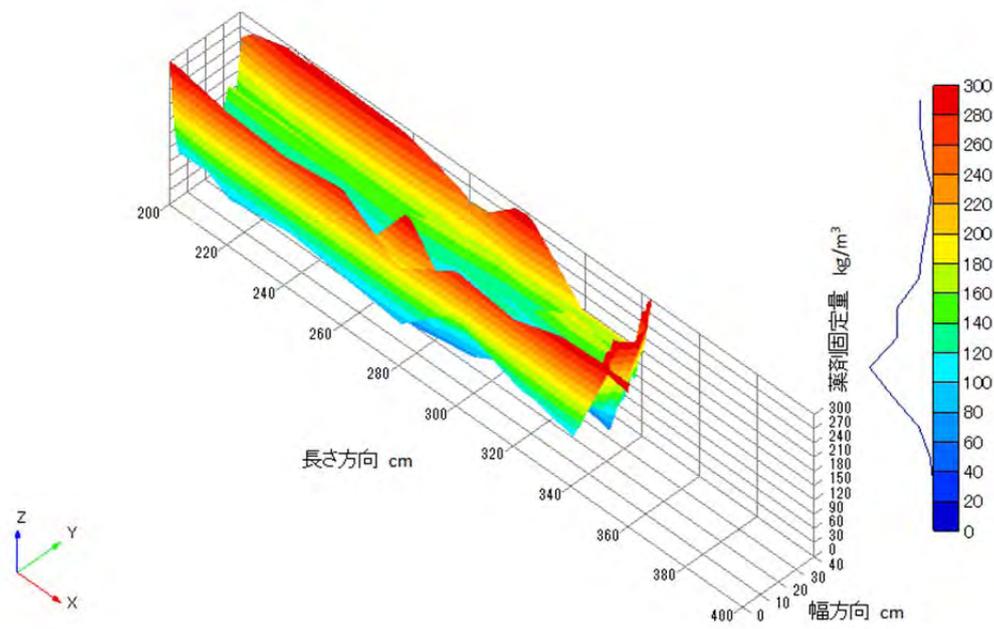


図 1.7-4 I 社 LVL4 層目の W2-50 薬剤固定量分布

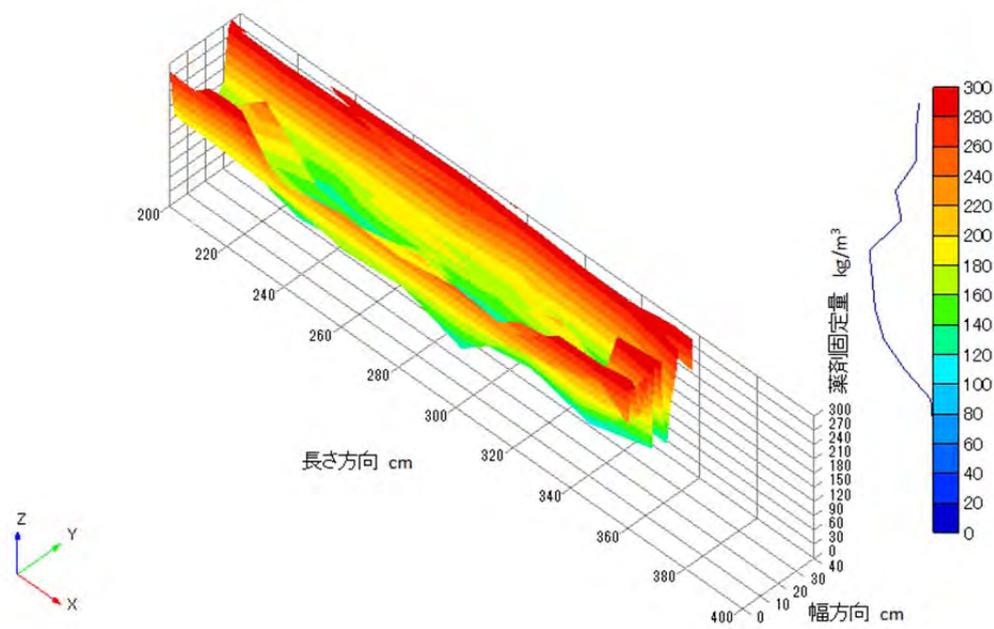


図 1.7-5 I 社 LVL5 層目の W2-50 薬剤固定量分布

7. LVL を用いた燃え止まりを期待した部材の耐火試験

1. 背景と目的

木材は魅力的な素材の1つであるが、コンクリートや鉄と比べると、大規模な建築ではあまり使われて来なかった。しかし、高度な加工技術や、複雑な構造に対するモデル解析により、木造建築の可能性が広がり、また、新しい材料の開発にともない、近年世界的に大きな変化が現れている。わが国では、2000年に建築基準法が改正され、耐火建築物を木造で建てられるようになったが、現在でも耐火木造のハードルは高い。木質系耐火構造の原理は、①被覆型、②燃え止まり型(図1参照)、③鋼材内蔵型(構造的には鉄骨造)の3種類が

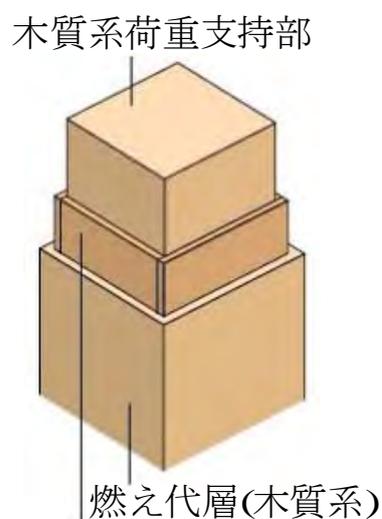


図1 燃え止まり型木質耐火部材

あるが、建築分野では木材を現わしにしたいという要望が強く、②が期待されている。燃え止まり層には、リン酸系やホウ酸系などの薬剤を注入した集成材・合板・単板積層材(LVL)が用いられている。これまで、②燃え止まり型木質耐火部材が開発されてきているが、燃え止まりのメカニズムの詳細は分っていない。また、製造に手間やコストがかかり、鉄骨(S)造や鉄筋コンクリート(RC)造に対し、競争力がないのが現状である。海外では①あるいは裸部材(スプリンクラーの設置義務を伴う場合が多い)が主であり、②、③という考え方はない。

劣化や陳腐化などにより、建物はいつか取り壊され、木質系耐火部材は産業廃棄物となる。燃え止まり層を分別しないと、リユースはもちろん、パーティクルボードやサーマル利用などのカスケード利用ができず、産廃業者により埋設処理される可能性が高い。木材

は、地球温暖化の抑制に寄与するエコな材料であるなら、薬剤や無機系の材料を用いない、燃え止まり型耐火部材の開発が強く望まれる。

木質系材料の燃え方を観察すると、繊維直交方向にき裂が生じ、そこから燃焼が深く進展してしまうことが分かる。そこで、き裂をなるべく生じさせず、均一に炭化層を形成することができれば、炭化層が断熱層となり、燃焼を奥深くまで進展させることがないと考えた。また、木質系材料のみで製造できれば、コスト削減に寄与し、他構造に対する競争力に繋がると考えられる。

そこで、木質系材料の燃え方に着目し、薬剤や無機系の材料に頼らず、S造やRC造と同等のコストを目指した、木質系材料のみを用いた燃え止まり型耐火部材の試作を目的とする。

2. 木質材料の燃え方

桁目材は、最初に繊維に直交方向にき裂が入り、その後繊維に平行方向にもき裂が入る。

板目材は、繊維に平行にき裂が入りやすく、き裂から火炎が発生する。

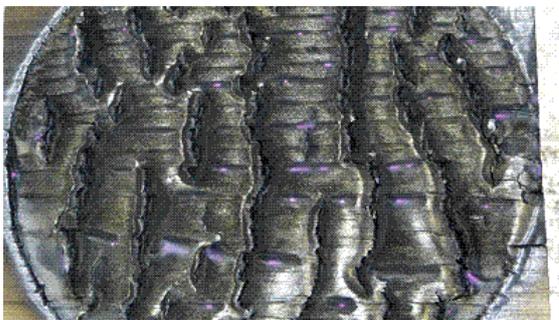


写真1 桁目材のき裂

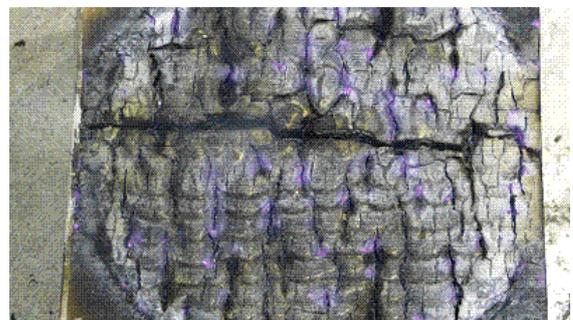


写真2 板目材のき裂

以下に、経過時間にもなう木材や木質材料の燃え方を示す。



写真3 柁目に近い材の燃焼(1)初期



写真4 柁目に近い材の燃焼(2)



写真5 柁目に近い材の燃焼(3)

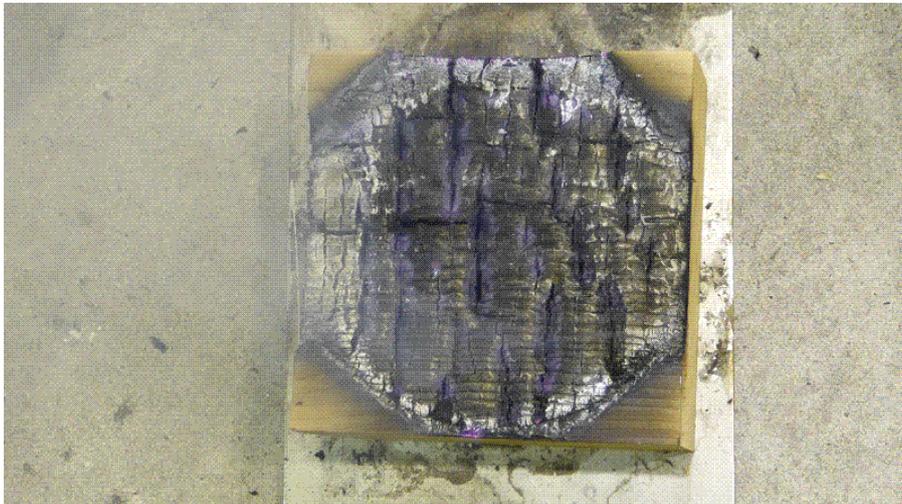


写真6 柁目に近い材の燃焼(4)

繊維に直交方向に入った大きなき裂



写真7 板目材の燃焼

繊維に平行に入った大きなき裂

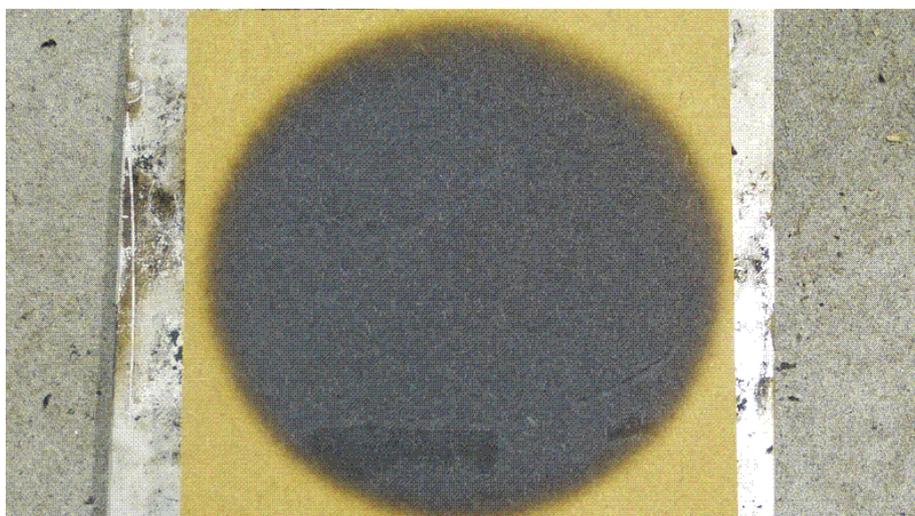


写真8 ファイバーボードの燃焼(1)初期



写真9 ファイバーボードの燃焼(2)

ランダムにき裂が入っている



写真10 LVL 積層面

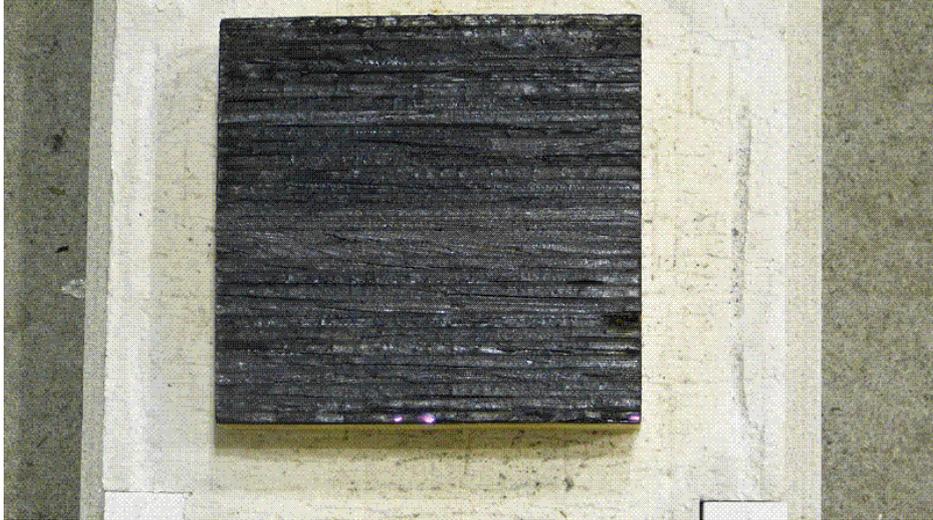


写真 11 LVL 積層面の燃焼(1)

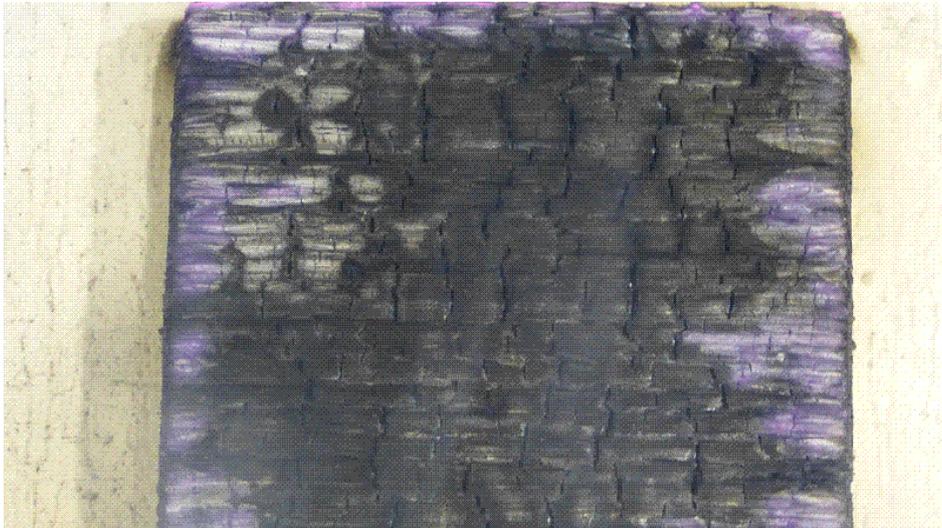


写真 12 LVL 積層面の燃焼(2)

製材に比べ、き裂が小さい



写真 13 LVL 木口面



写真 14 LVL 木口面の燃焼(1)

裏割れが開いているが、細かいので浅い

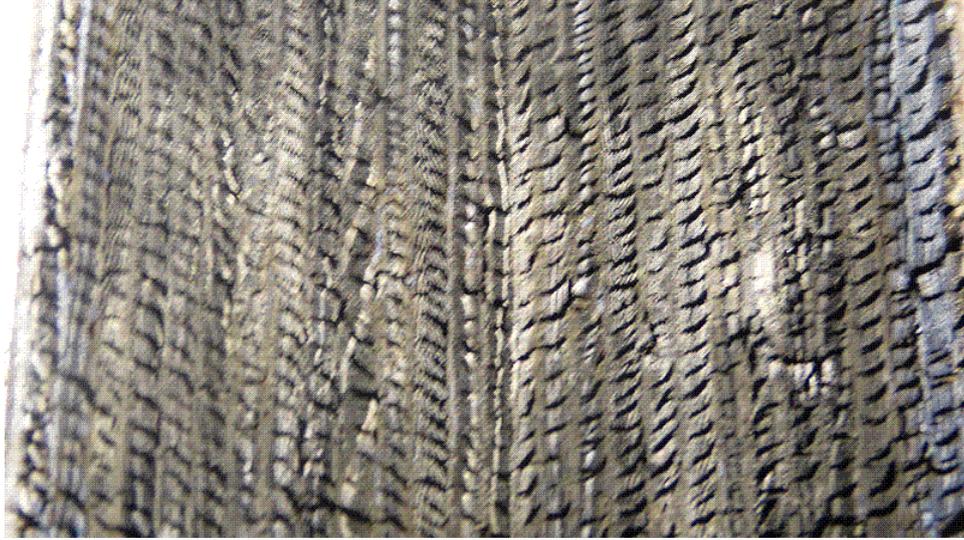


写真 15 LVL 木口面の燃焼(2)

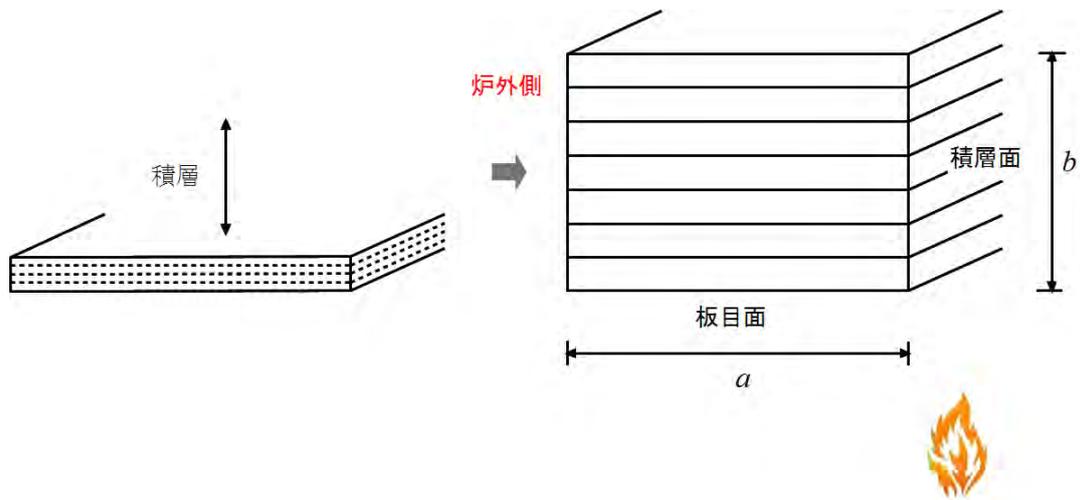
薬剤は使わず、LVLの積層面を使って、なるべく均一に炭化させ、大きなき裂を生じさせないようにする。つまり、燃え方をコントロールすることを考える。そして、燃え止まり層に、比重の高い製材（例えばカポール材）や高比重材のLVLを用いて、燃え止まらせる。表層にLVL積層面が出るのがいやな場合には、スギ等の集成材を張る。ただし、コーナー部は工夫が必要かも知れない。木質高度加工研究所（秋田県立大学）にある耐火炉で半割サイズの試験体を用いて1時間耐火の試験を行なう。

3. 試験体

3.1 梁

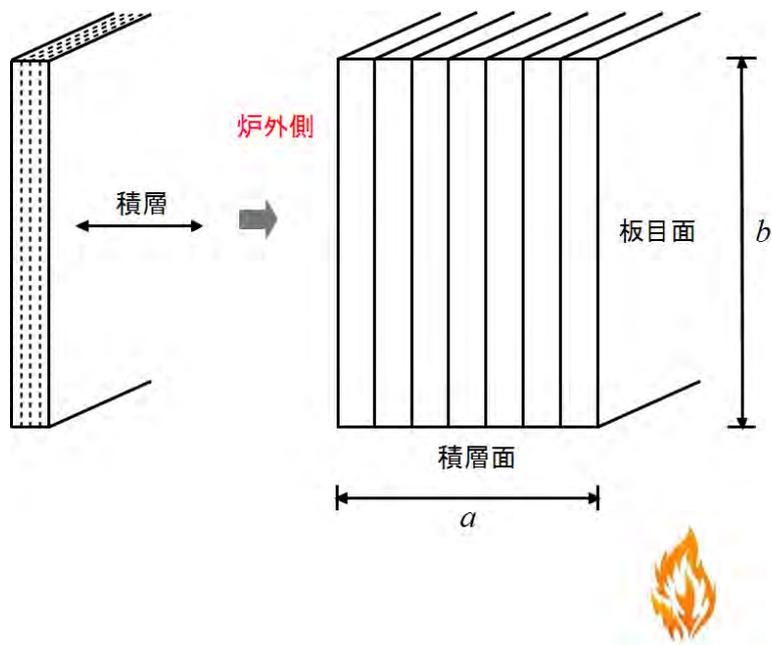
(1) すべて LVL で仕上げる場合

(a) 上下に積層



$a=370$ 、 $b=680$

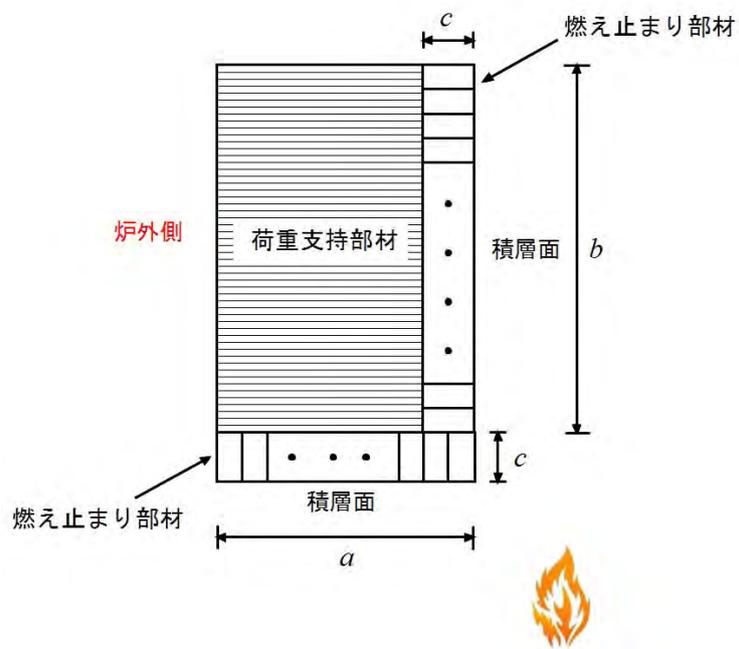
(b) 左右に積層



$a=370$ 、 $b=680$

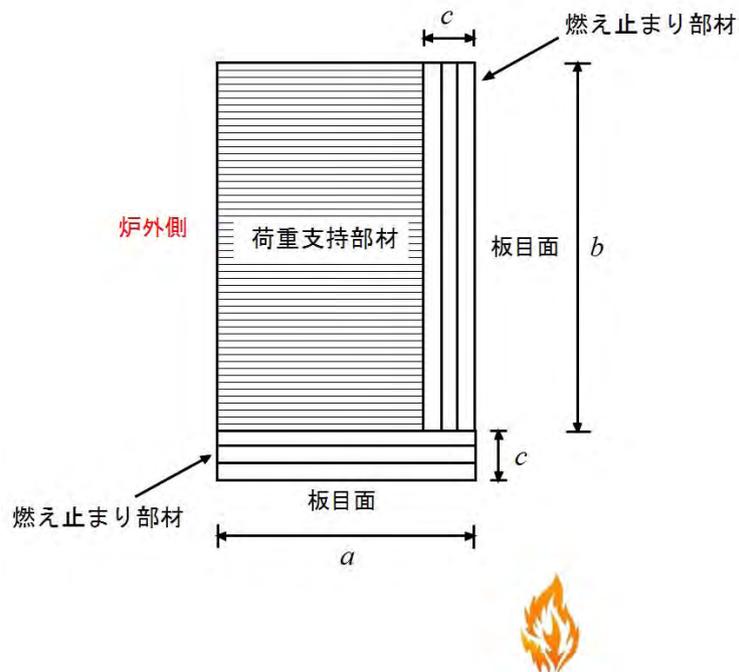
(2) 燃え止まり層をLVLで仕上げる場合

(a) 上下に積層



$a=290$ 、 $b=600$ 、 900 、 c (燃え代層+燃え止まり層)=80

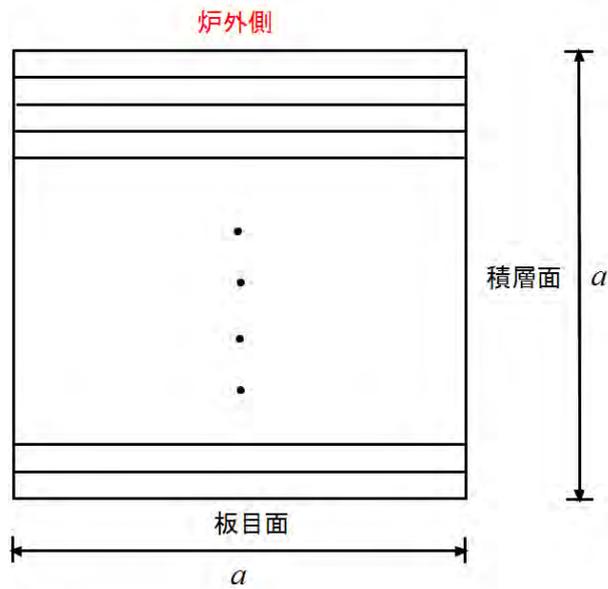
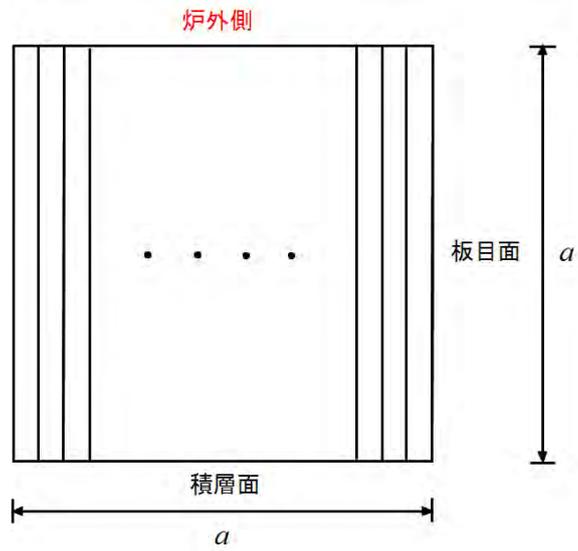
(b) 左右に積層



$a=290$ 、 $b=600$ 、 900 、 c (燃え代層+燃え止まり層)=80

3.2 柱

(1) すべてLVLで仕上げる場合



$a=370$

以上の試験体について、試験体名を表1にまとめて示した。

表1 試験体名 (単位: mm)

梁	加熱面	積層面					
	部位	樹種等	せい	幅	樹種等	せい	幅
	中心部材	LVL	600	210	スギ	600	210
	燃え代層			60	LVL		60
	燃え止まり層			20	LVL		20
	試験体名	B-CL600PL-L			B-CS600PL-L		
	加熱面	板目面					
	部位	樹種等	せい	幅	樹種等	せい	幅
	中心部材	LVL	600	210	スギ	600	210
	燃え代層			60	LVL		60
	燃え止まり層			20	LVL		20
	試験体名	B-CL600PL-G			B-CS600PL-G		
	加熱面	積層面			板目面		
	部位	樹種等	せい	幅	樹種等	せい	幅
	中心部材	スギ	900	210	スギ	900	210
燃え代層	LVL	60		LVL	60		
燃え止まり層	LVL	20		LVL	20		
試験体名	B-CS900PL-L			B-CS900PL-G			
柱	加熱面	積層面			板目面		
	部位	樹種等	幅		樹種等	幅	
	中心部材	LVL	210		LVL	210	
	燃え代層		60			60	
	燃え止まり層		20			20	
	試験体名	C-CL210PL-L			C-CL210PL-G		

4. 試験体の作成

試験体は、次に示す写真のように、LVL への接着剤の塗布、圧縮、加工・切削である。



LVL への接着剤の塗布



圧縮



加工・切削



仕上げ

4. 耐火試験

4.1 試験体の設置

本研究所にある耐火炉で、長さは短いが断面は実大サイズの試験体を用いて、IS0834 標準加熱曲線にしたがう 1 時間耐火試験を行なった。梁および柱試験体の設置の様子を図 2、3 および写真 16 に示した。

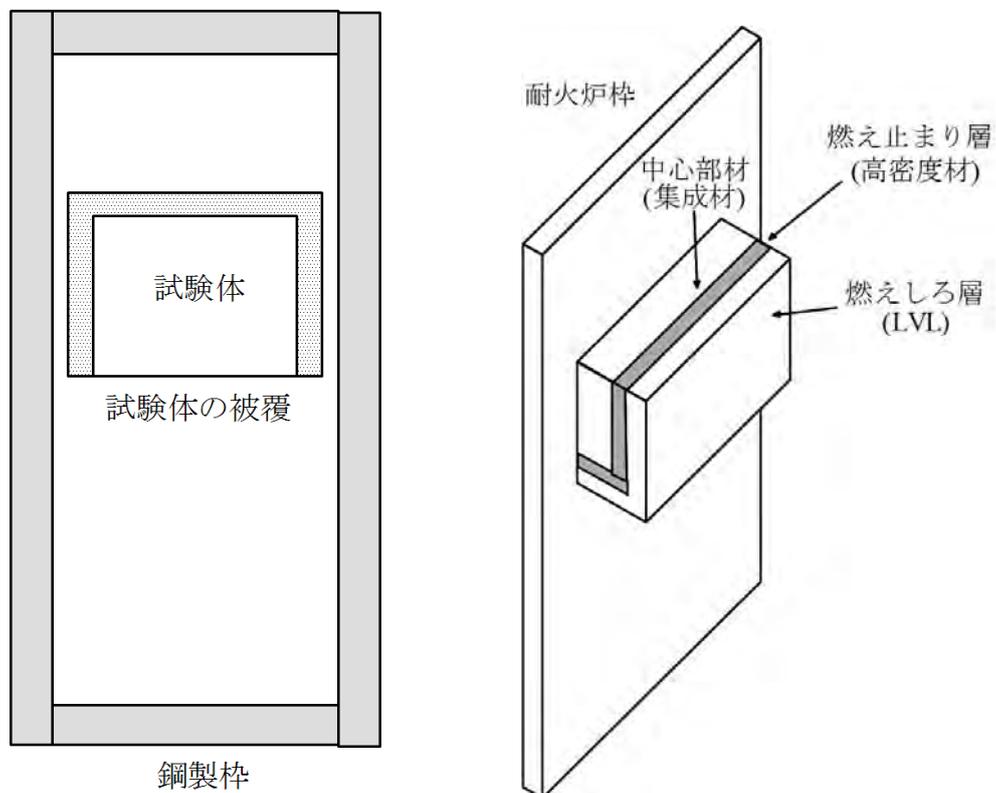


図 2 梁試験体

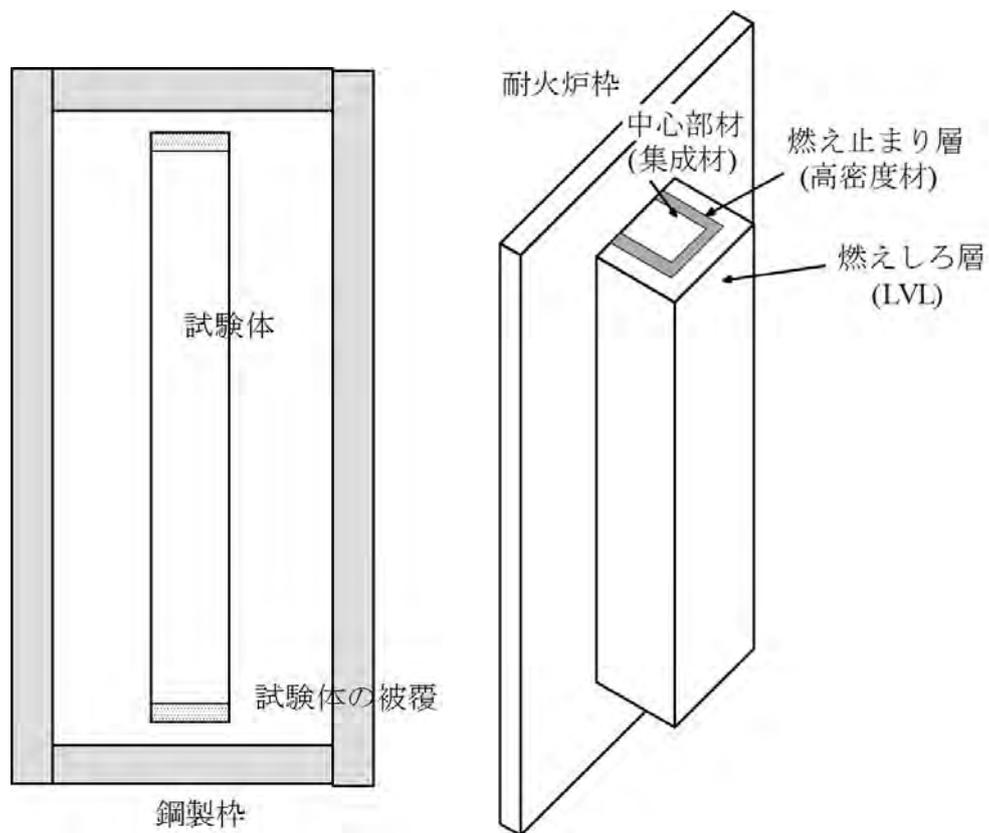


図3 柱試験体



写真 16 耐火炉に取り付ける枠に設置された試験体（左：梁、右：柱）

4.2 熱電対の設置位置

熱電対は、燃え代層の内側、燃え止まり層の内側、および中心部材の数箇所に設置した。長さ 150mm の木工用ドリルで径 3mm の孔を開け、そこから熱電対を挿入した。試験体 B-CL600PL-L における熱電対の設置位置を図 4 に、その他の梁試験体における設置位置については図 5 に示した。

データロガーにおける熱電対のチャンネル番号は、CH000～CH004 が耐火炉内の熱電対を表している。また、CH005、CH007 が想定した燃え代層の内側、CH009、CH0011 が想定した燃え止まり層の内側に位置している。また、CH014、CH015 が想定した中心部材の中央に当たる。

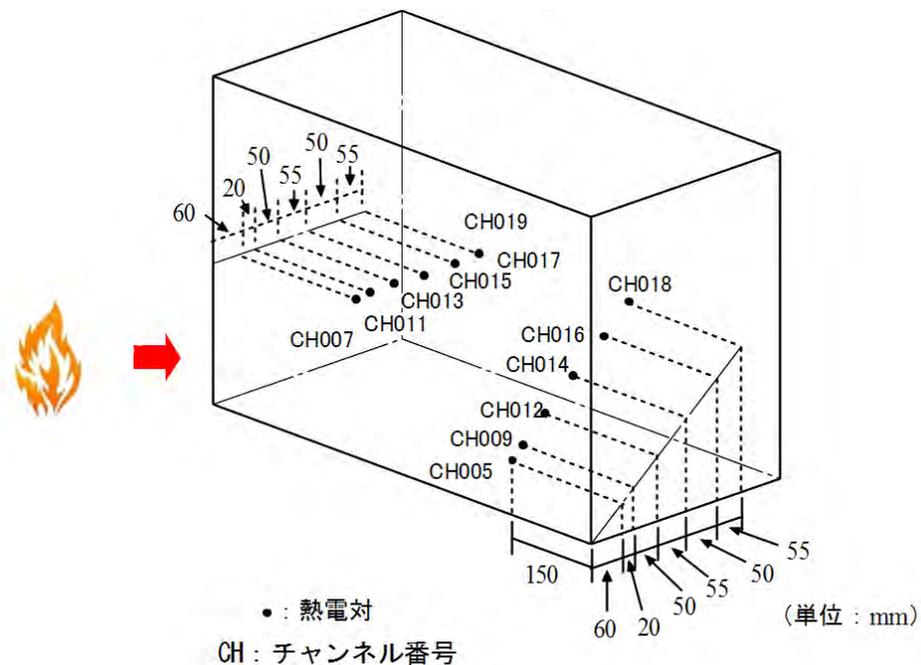


図 4 梁試験体 B-CL600PL-L における熱電対の設置位置

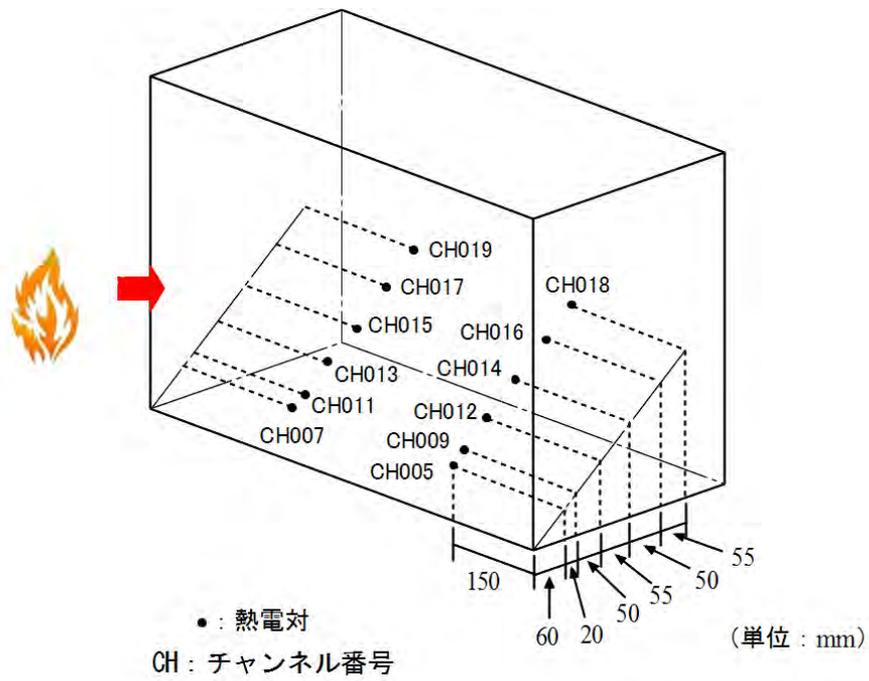


図5 その他の梁試験体における熱電対の設置位置

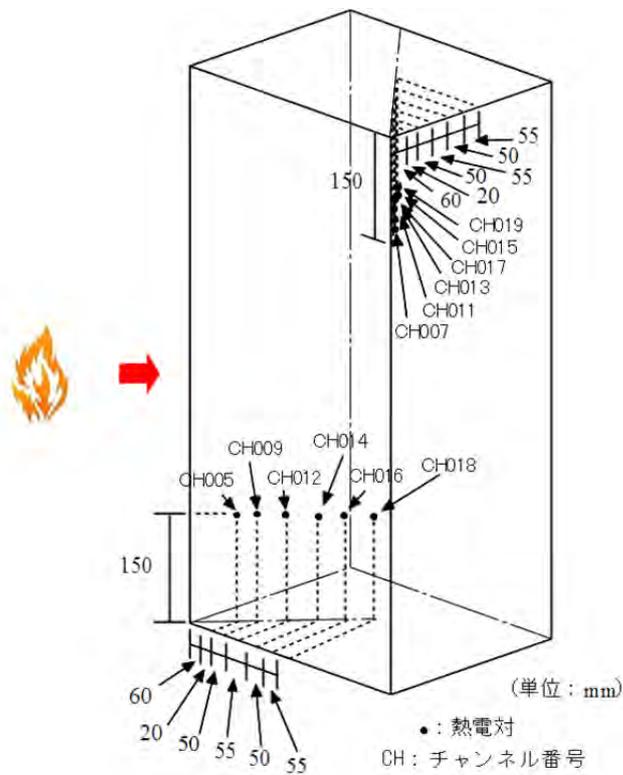


図6 柱試験体における熱電対の設置位置

4.3 結果

耐火炉内および試験体内部の温度の推移を図 7～14 に表した。また、脱炉後の写真 17～24 に示した。すべての試験体で、燃え止まらずに燃え抜けてしまった。脱炉後の写真を見ると、ほとんどの試験体で、大きなき裂が生じていることが分かるが、積層面加熱よりも板目面加熱の方が、き裂が小さい。

また、耐火炉の仕様上、試験体の側面や上下面を耐火被覆しているが、その部分から火が回り込んでしまったことが分かる。木口は板目面や柁目面に比べ燃えやすいこと、また、その部分は燃え進むにしたがい、耐火炉の外側から空気が入り込んでしまっているのではないかと思われ、燃え方が激しくなったと考えられる。

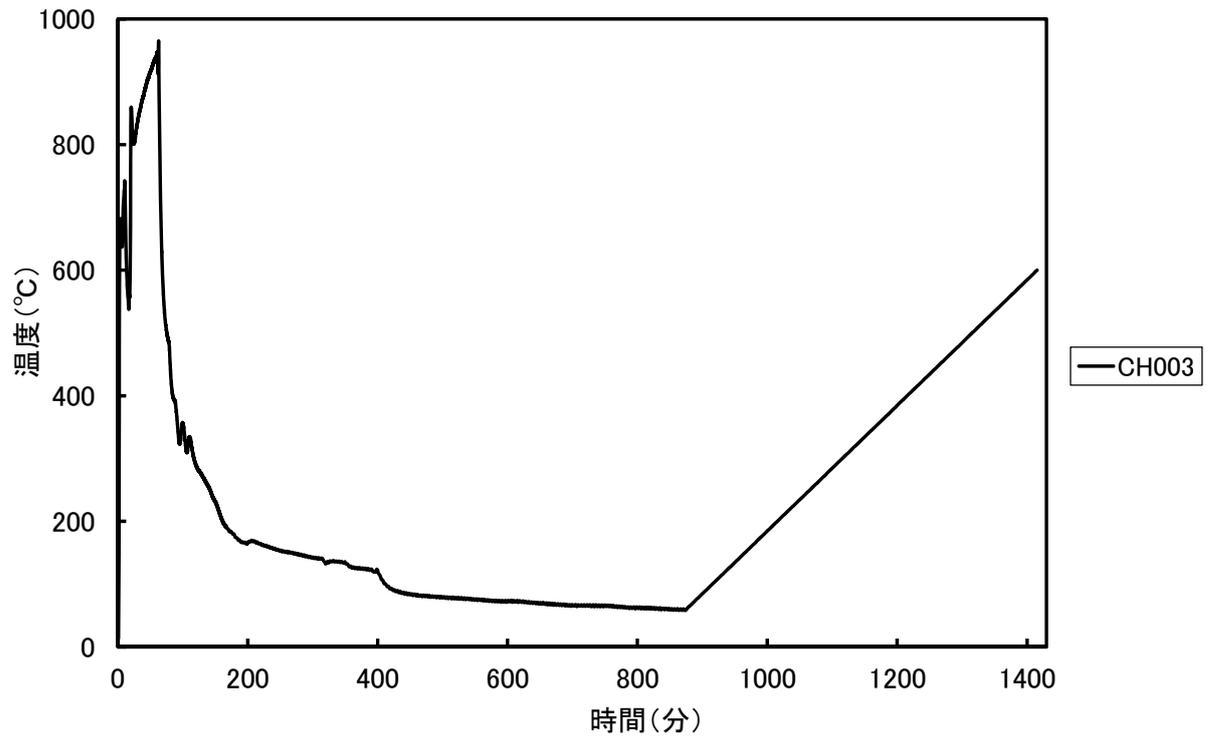


図 7-1 試験体 B-CL600PL-L における耐火炉内の温度推移

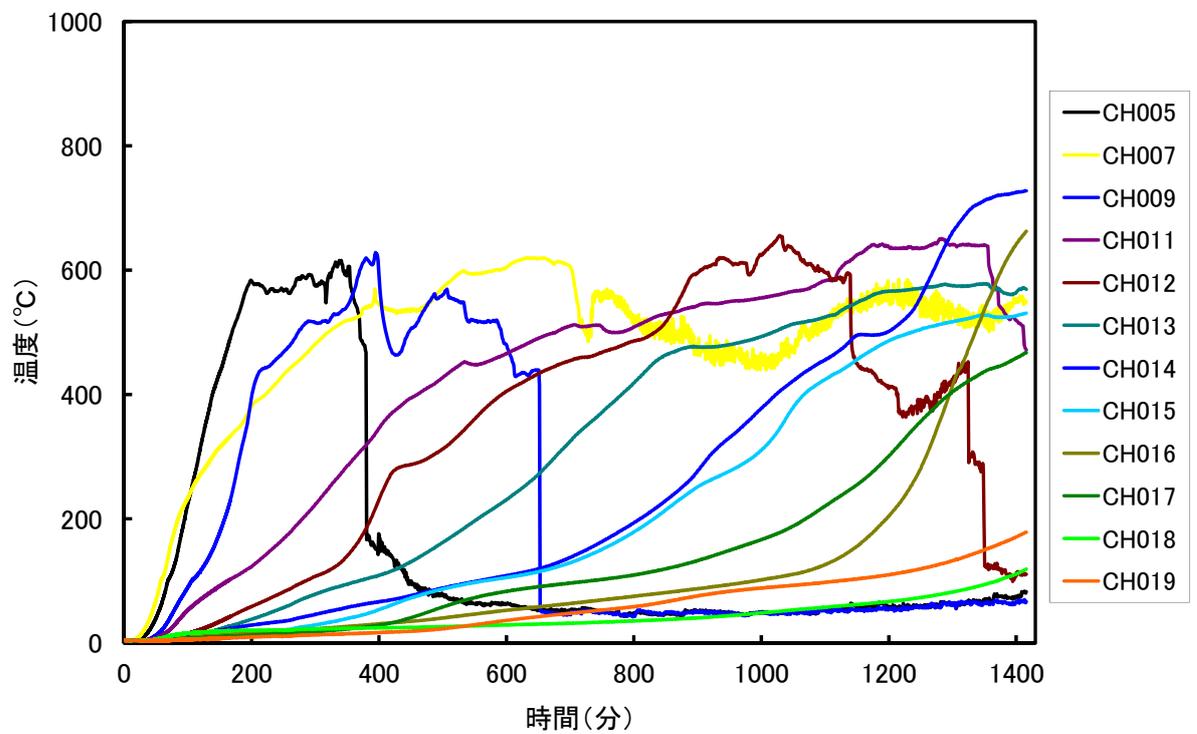


図 7-2 試験体 B-CL600PL-L における内部の温度推移



写真 17 試験体 B-CL600PL-L (積層面加熱) における脱炉後の状況

積層面の繊維に直交方向にかなり大きなき裂が入っている

二次接着で大きなき裂が生じており、圧縮圧不足や接着剤の温度管理に問題があった可能性も否定できないが、二次接着は欠点になるかも知れない。

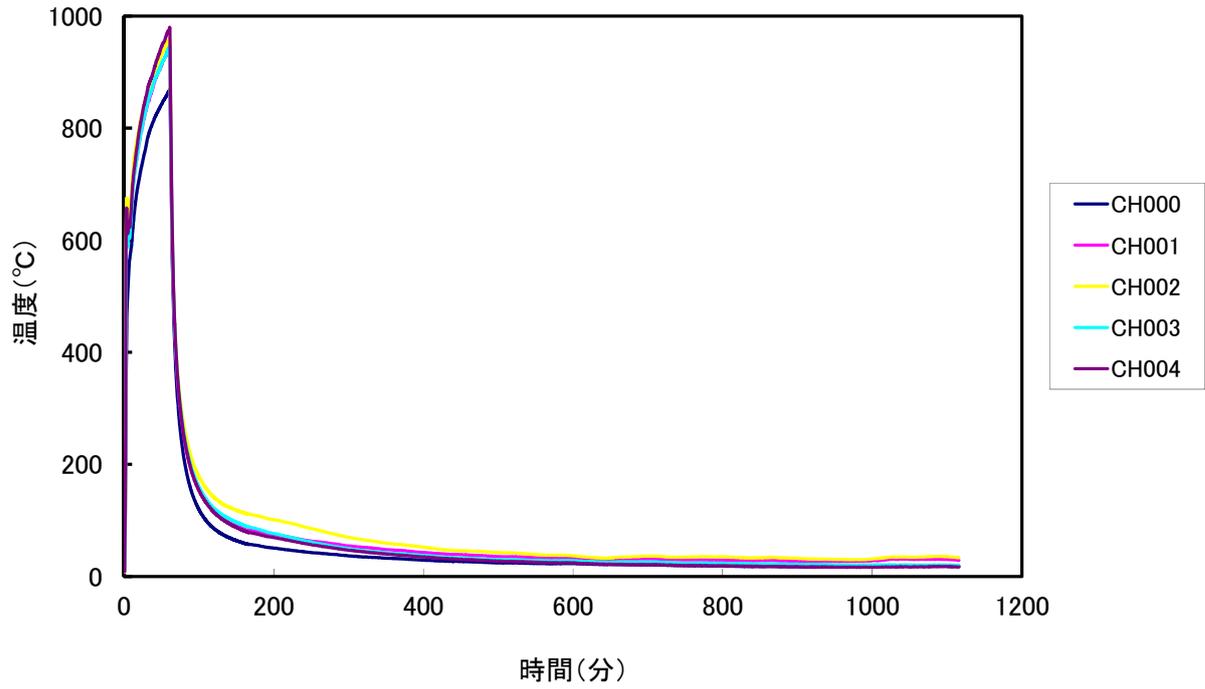


図 8-1 試験体 B-CL600PL-G における耐火炉内の温度推移

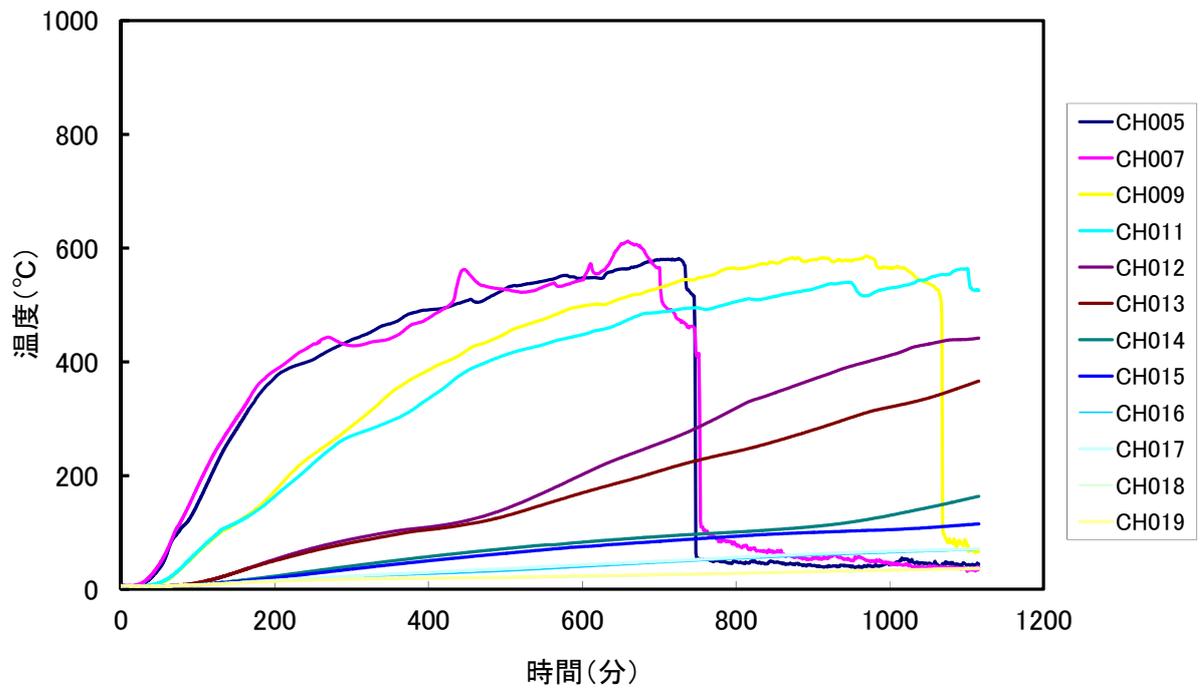


図 8-2 試験体 B-CL600PL-G における内部の温度推移



写真 18 試験体 B-CL600PL-G (板目面加熱) における脱炉後の状況

積層面のき裂に比べると小さいが、板目面の繊維に直交方向にもき裂が入っている

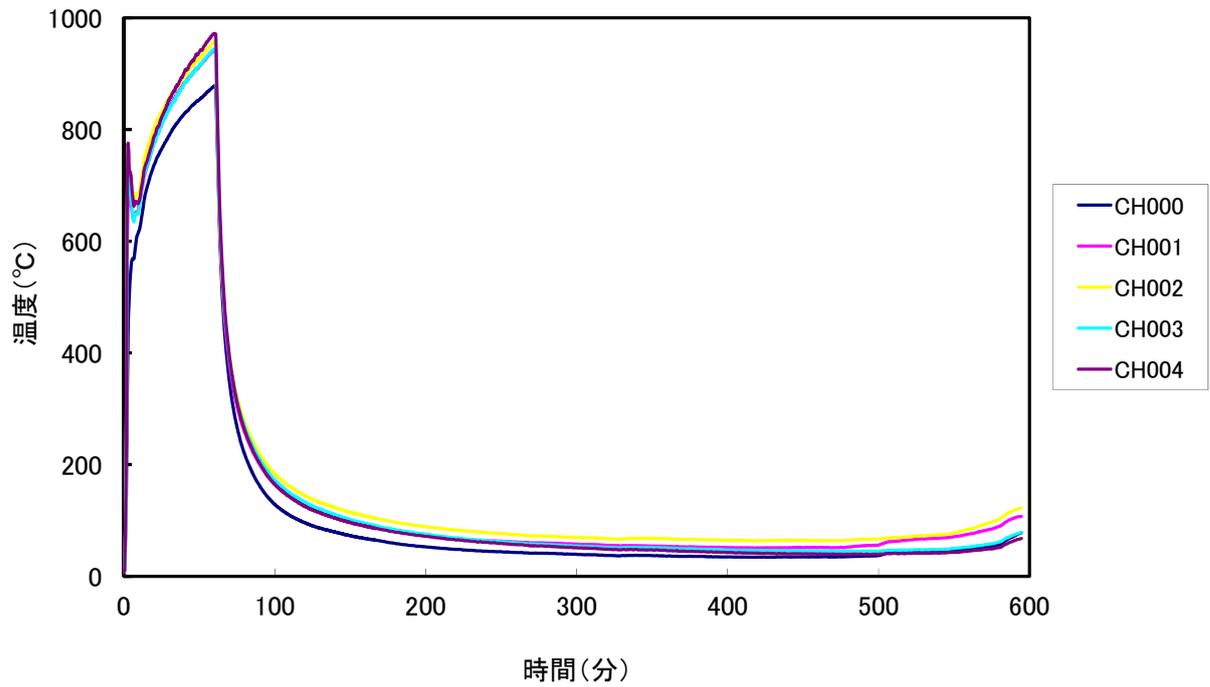


図 9-1 試験体 B-CS600PL-L における耐火炉内の温度推移

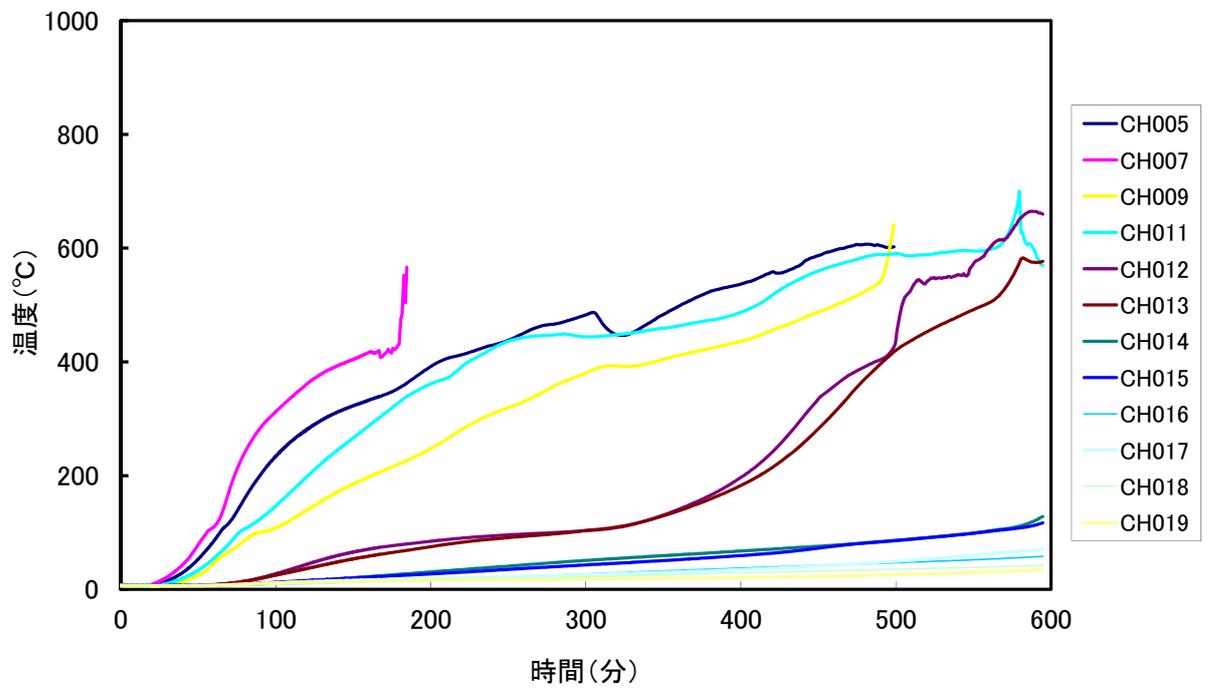


図 9-2 試験体 B-CS600PL-L における内部の温度推移



写真 19 試験体 B-CS600PL-L (積層面加熱) における脱炉後の状況

積層面の繊維に直交方向に大きなき裂が入っている

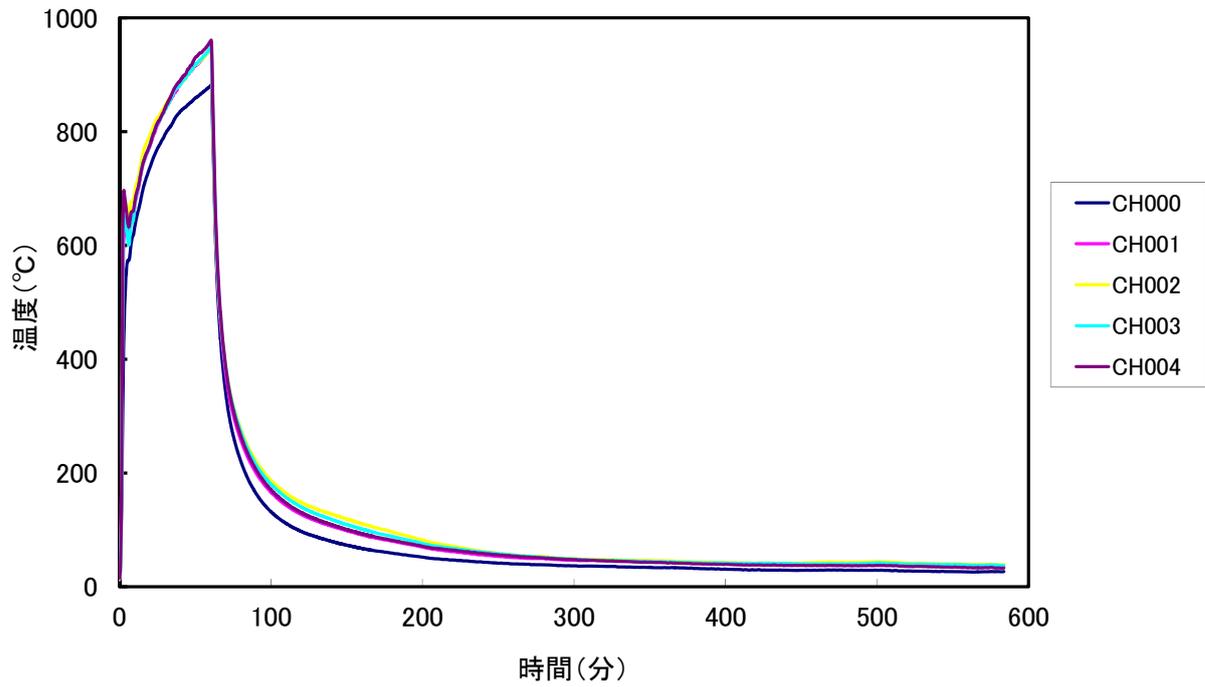


図 10-1 試験体 B-CS600PL-G における耐火炉内の温度推移

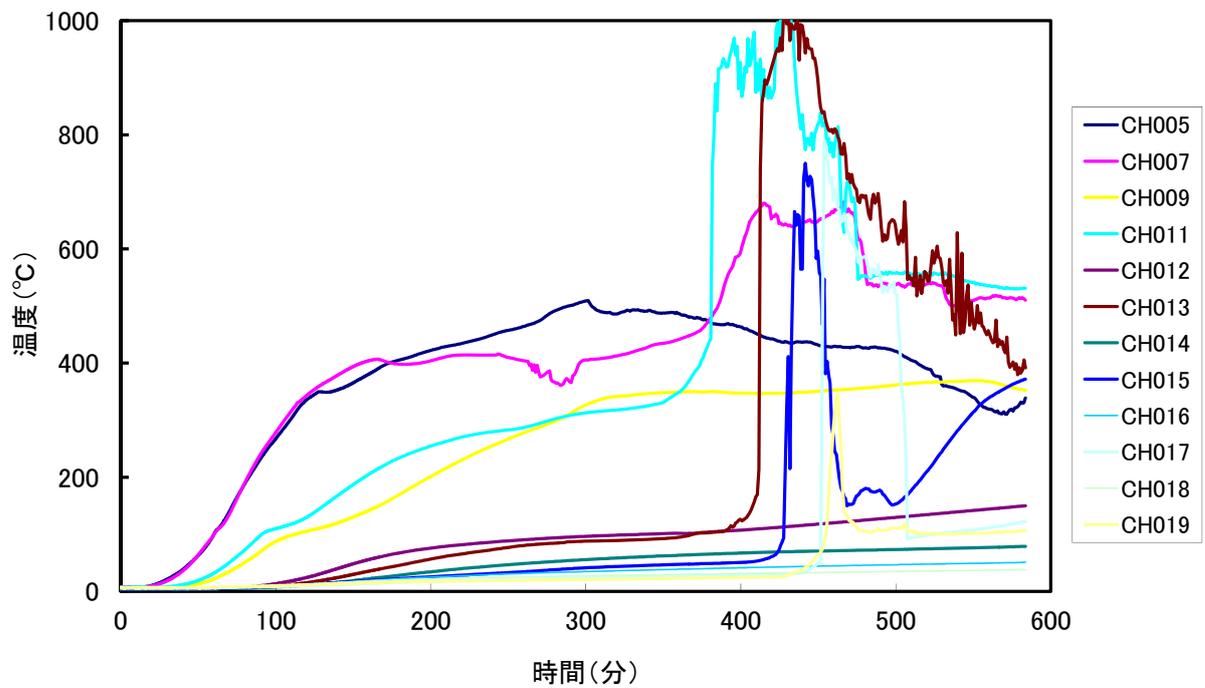


図 10-2 試験体 B-CS600PL-G における内部の温度推移



写真 20 試験体 B-CS600PL-G (板目面加熱) における脱炉後の状況

左側側面から火が回り込んでいる

き裂はほとんど入っていないが、加熱時間が短いためであると考えられる

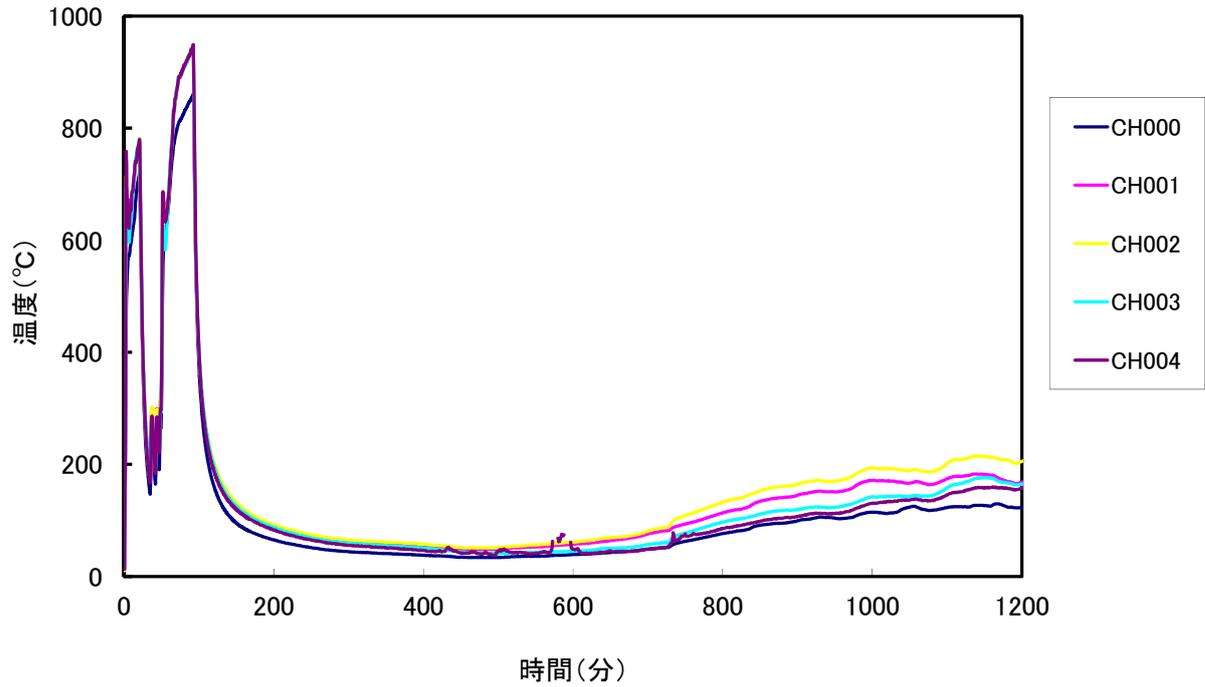


図 11-1 試験体 B-CS900PL-L における耐火炉内の温度推移
途中でガスが少なくなったため、装置がストップしてしまった
その後ガスを切り替えて再試験を行った

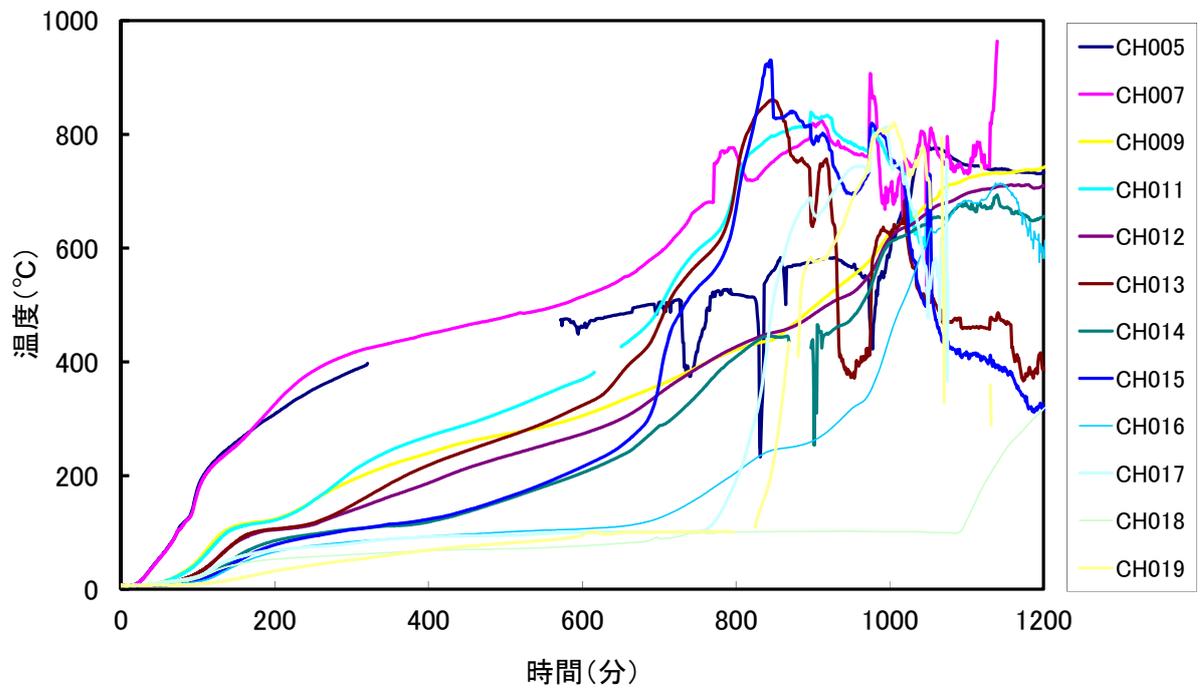


図 11-2 試験体 B-CS900PL-L における内部の温度推移



写真 21 試験体 B-CS900PL-L (積層面加熱) における脱炉後の状況

ほとんど形跡を残していないほど、燃え進んでいる

大きなき裂も見受けられる

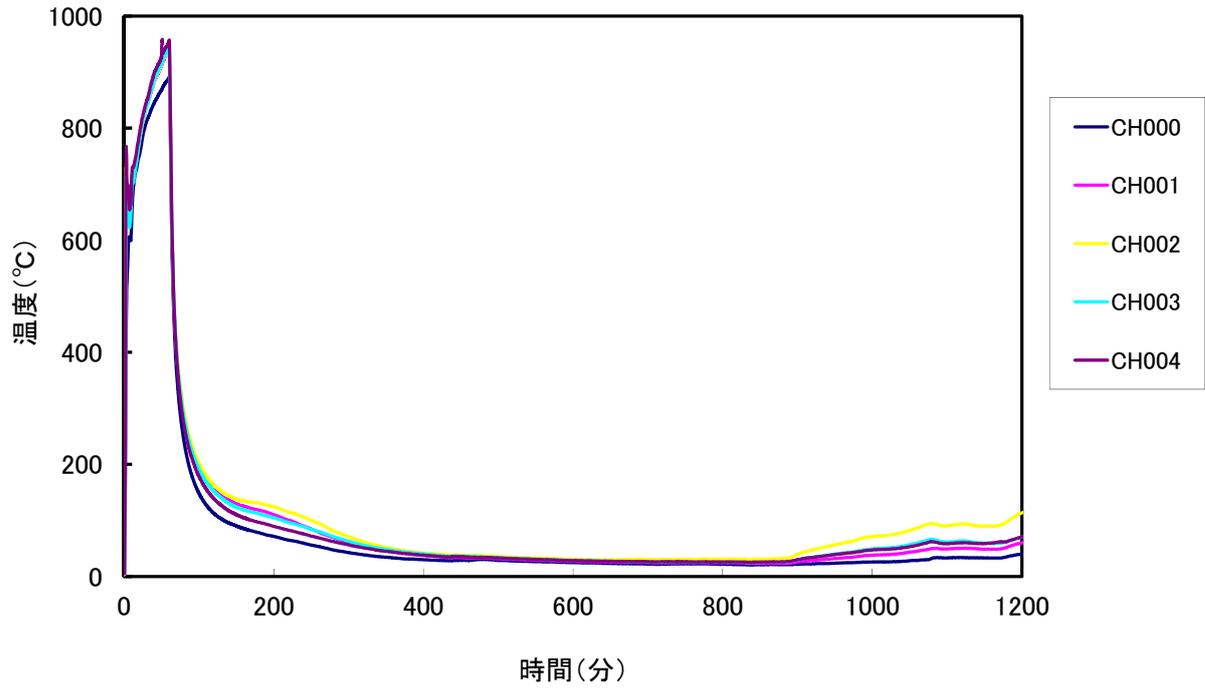


図 12-1 試験体 B-CS900PL-G における耐火炉内の温度推移

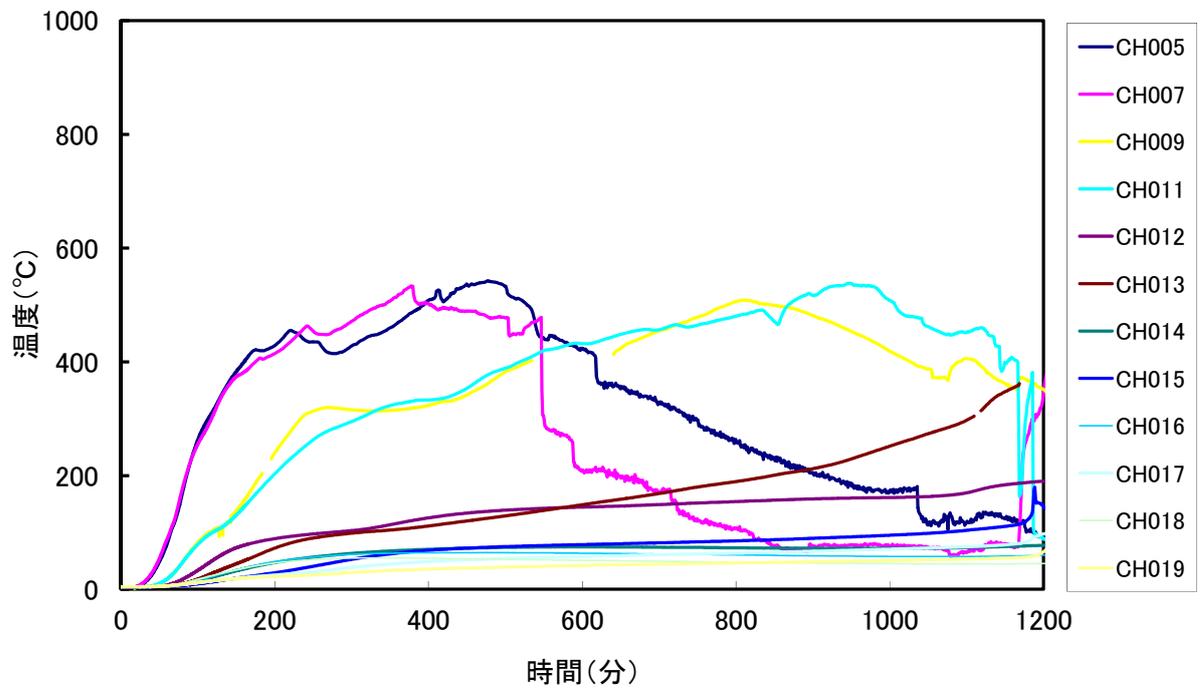


図 12-2 試験体 B-CS900PL-G における内部の温度推移



写真 22 試験体 B-CS900PL-G (板目面加熱) における脱炉後の状況

中央に相当大きなき裂が生じている、また、右上に火が側面から回り込んでいる

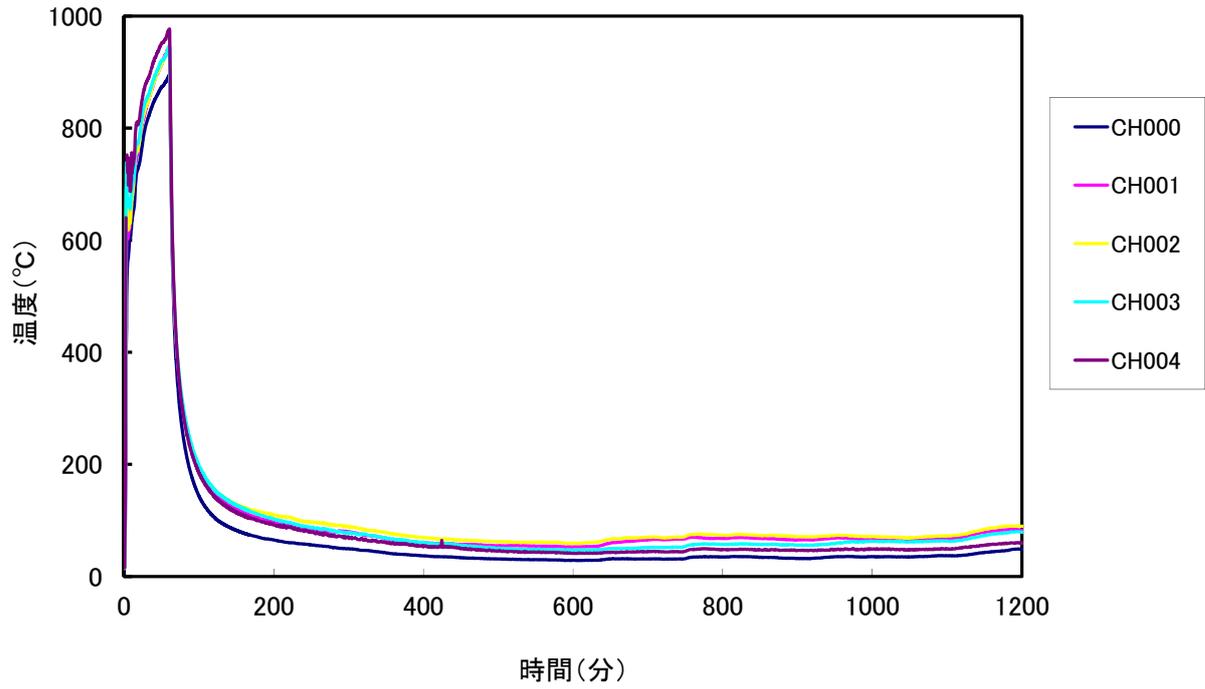


図 13-1 試験体 C-CL210PL-L における耐火炉内の温度推移

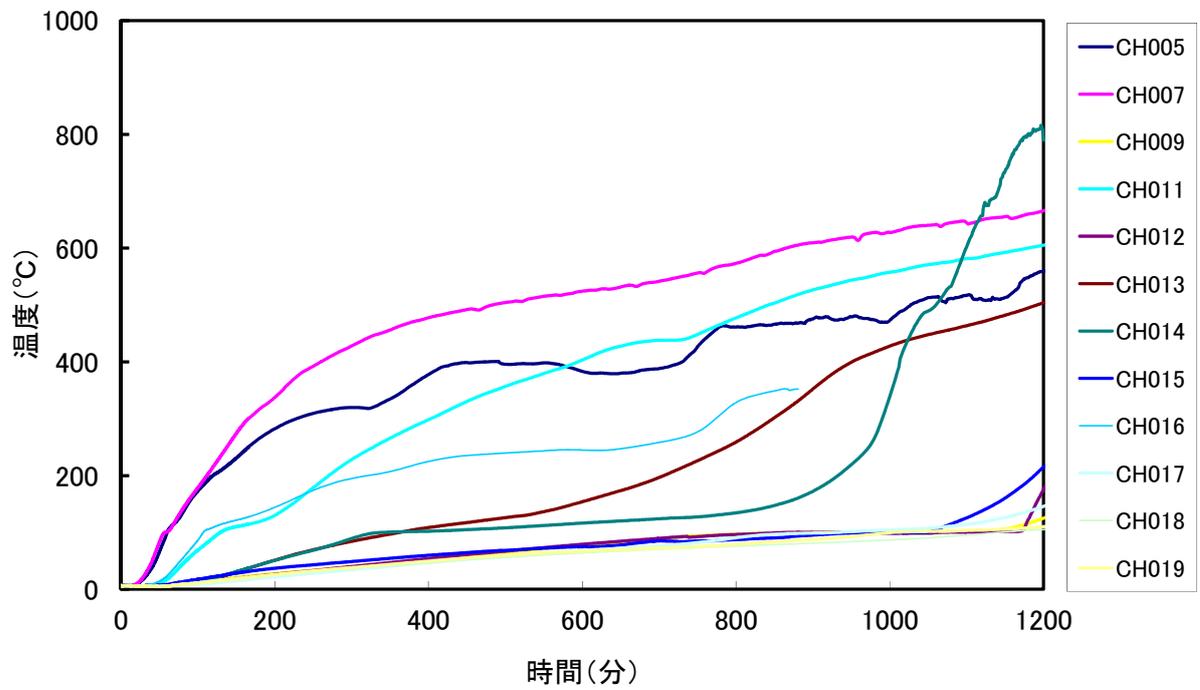


図 13-2 試験体 C-CL210PL-L における内部の温度推移



写真 23 試験体 C-CL210PL-L (積層面加熱) における脱炉後の状況

相当大きなき裂が入っている

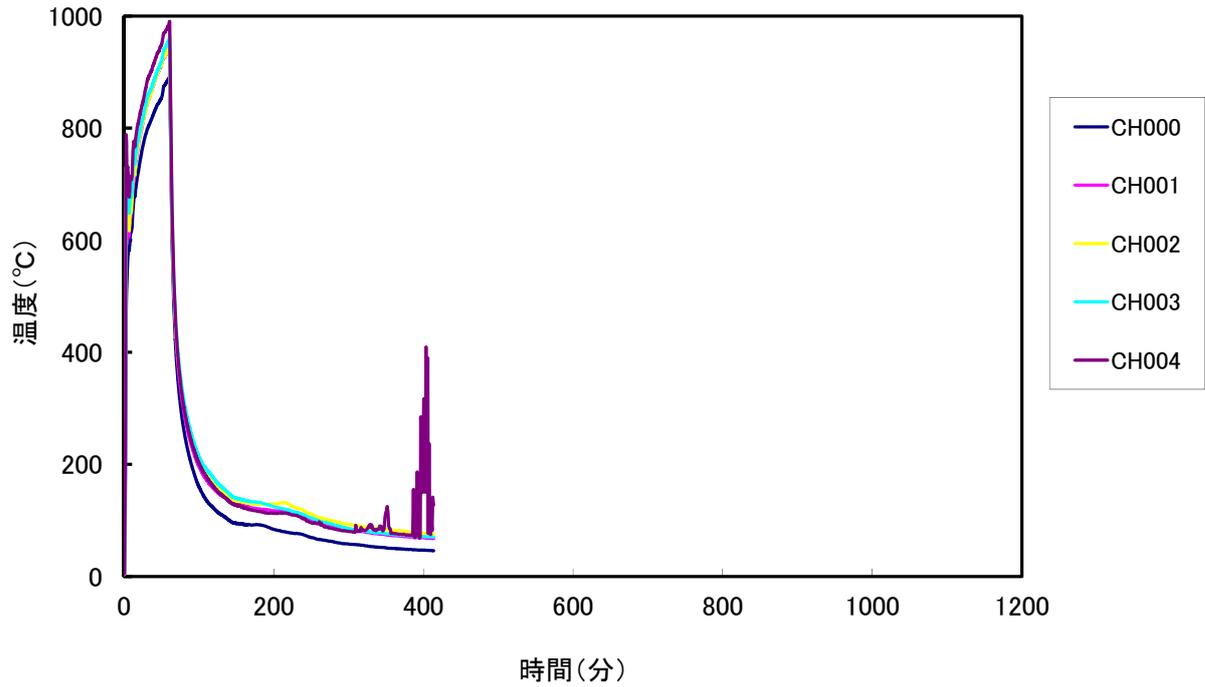


図 14-1 試験体 C-CL210PL-G における耐火炉内の温度推移

側面から火が回り込んでしまい、耐火炉の外側から火が確認できたため途中で試験を中止した

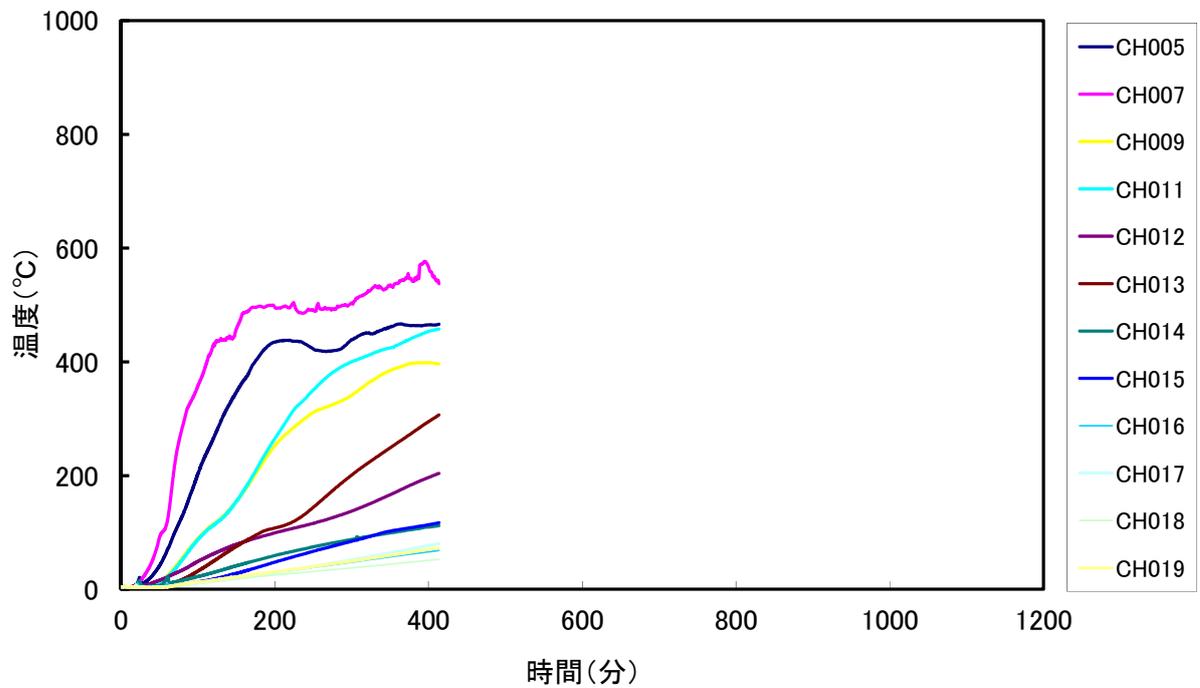


図 14-2 試験体 C-CL210PL-G における内部の温度推移



写真 24 試験体 C-CL210PL-G (板目面加熱) における脱炉後の状況

加熱時間が少ないためか、き裂がほとんど入っていない

5. まとめ

加熱終了後の赤熱の仕方をまとめると次のようになる。

(1) 加熱終了後、火炎が少しの時間続くが、その後消える。その時の様子を見ると、写真 25 に示すように、大きなき裂もなく、燃え止まりを期待する燃え方としては理想的な燃え方と思われる。

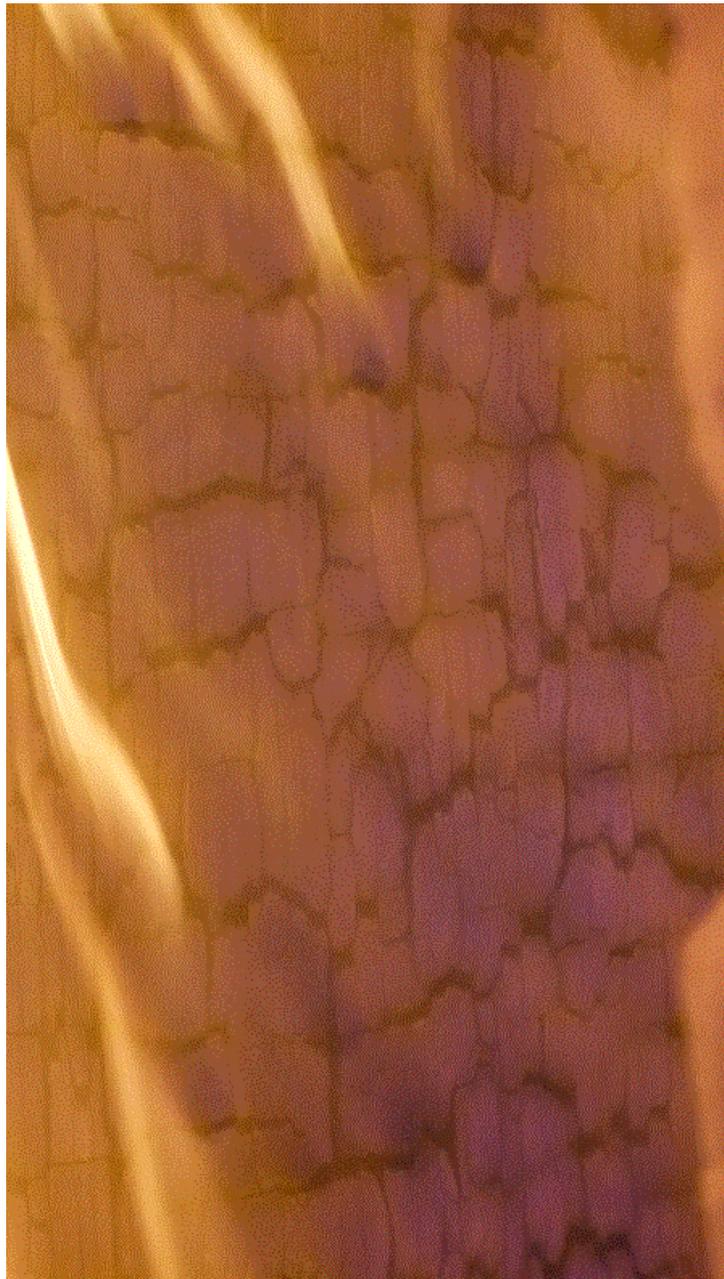


写真 25 加熱終了後の火炎の様子と燃え方

(2) 局部的に赤熱が生じているが、その後、耐火炉の外からの観察では、赤熱は見えなくなる。

(3) しばらくして、10時間くらいからであろうか、写真26に示すように、き裂から火炎が見えるようになる。つまり、表面的には炭化層を形成し、内部では500℃以上の温度が維持されることにより、木質部が分解され、き裂より酸素が供給されることにより、赤熱が進行していつてしまっていると考えられる。

(4) そのまま、最後まで燃え進んでしまう。



写真26 き裂から生じる火炎

以上より、薬剤や無機系の材料に頼らず木質系のみを用いて、燃え止まり型木質部材を開発するためには、次の事項が必要であろう。

- (a) き裂を生じにくくする仕組みが必要である。例えば、燃え止まり層にモルタルやせっこうボードを用いたものでは、燃え代層にき裂が生じたとしても、明らかにそこでき裂は止まる。このように、燃え代層と縁を切るような仕組みが必要である。言い換えれば、木質系燃え止まり部材を、単一の材料で構成することは難しいと考えられる。荷重を支持する中心部材、耐火時間を基に算出される炭化層、および炭化層と中心部材の縁を切る層で構成する部材の方が可能性が高いと思われる。
- (b) 加熱時に生じた表面の炭化層が落下しやすい仕組みが必要である。加熱時に生じた表面の炭化層が残っていると、それが断熱層になり、内部の熱が放熱しにくくなり、赤熱が生じやすくなる。
- (c) 内部になるべく蓄熱しない仕組みが必要である。これは、(b)と同様の理由である。このことを考えると、燃え代層はむしろ熱伝導率の低いスギの方がよかったかも知れない。
- (d) 2. で紹介したような小さな試験体と、耐火炉の試験体では、燃焼性状がまったく異なることに留意する必要がある。つまり、小さな試験体における結果が大きな試験体では真とならないかも知れないということである。したがって、燃え止まり部材を開発するためには、実大規模の試験を実施しなければならないと考えられる。しかし、実大規模の試験は費用や時間を必要とするため、実大規模の試験をしながら、燃え止まる理論的メカニズムを解明することが優先事項である。これなくして、薬剤に頼らない燃え止まり型木質系部材の開発は不可能であろう。

8. 木質耐火被覆材を意匠として用いるためのデザインの検証実施

1. 概要

LVL 耐火被覆材の表面仕上げの検討として、加工実験と塗装実験を行った。LVL 耐火被覆材はその開発当時から現しでの使用が大前提となるため、実際に広く普及するためには意匠的な検討も充分に行うことが不可欠である。

2. 加工実験

LVL には板目面が表にでてくる仕上げ（以下、板目 LVL）と積層面が表にでてくる仕上げ（以下、積層 LVL）の 2 種類がある。積層 LVL はその特徴的な表情から仕上げ材としての魅力を備えている反面、板目 LVL と比較して製造コストが高いという問題を抱えている。そこで、本実験に際しては板目 LVL に溝彫り加工を施すことで、コストを抑えながら仕上げ材としての魅力を増すことを目指した。

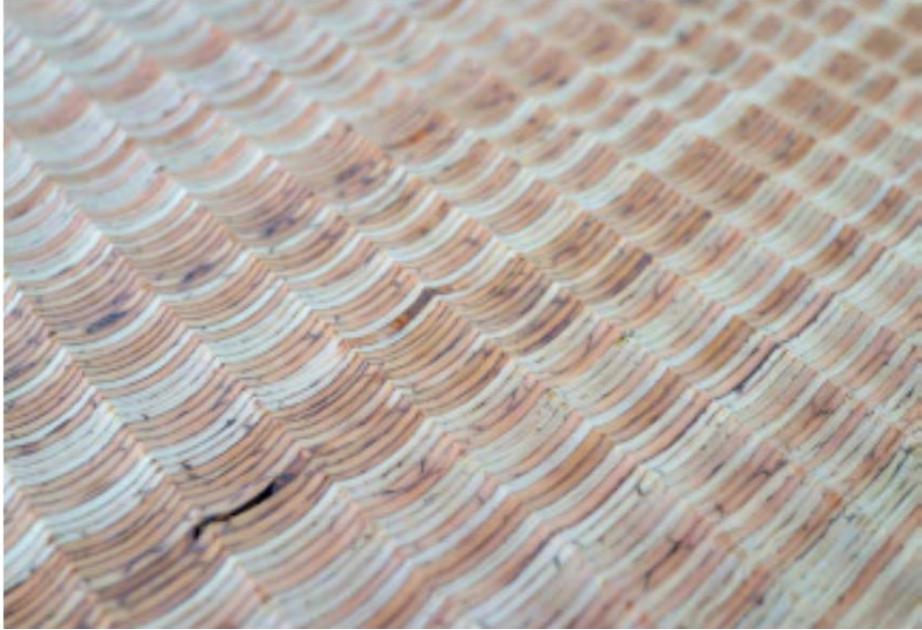


写真 1. 積層面への曲面加工



写真 2. 積層面への凹凸加工

(加工形状 3 種類) × (加工面・方向 3 種類) の合計 9 体の試験体を用意した。

(図 1、図 2)

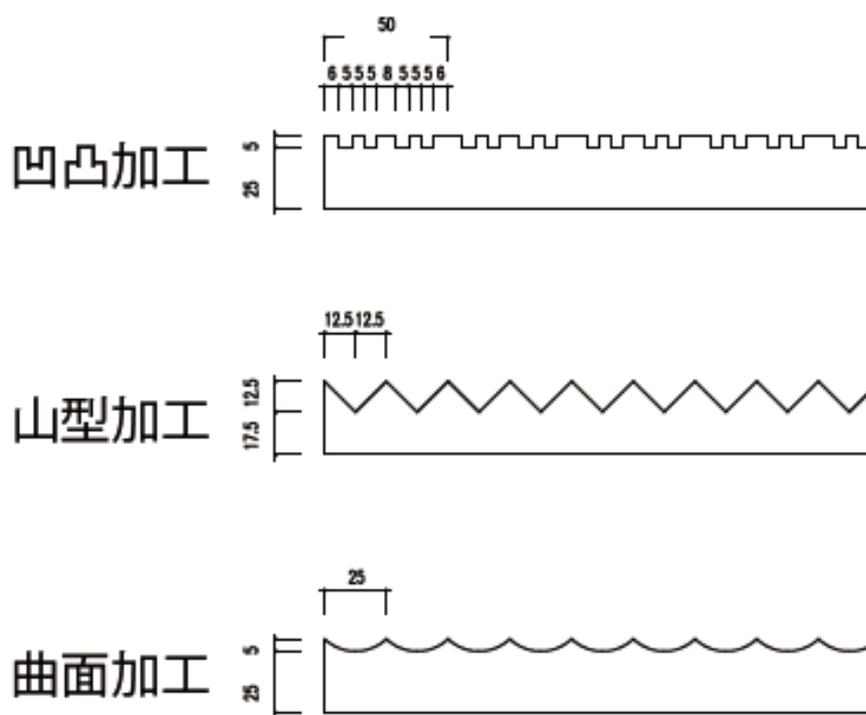


図 1. LVL 表面加工形状の種類

(寸法 : 1,000 × 400 × 30mm)

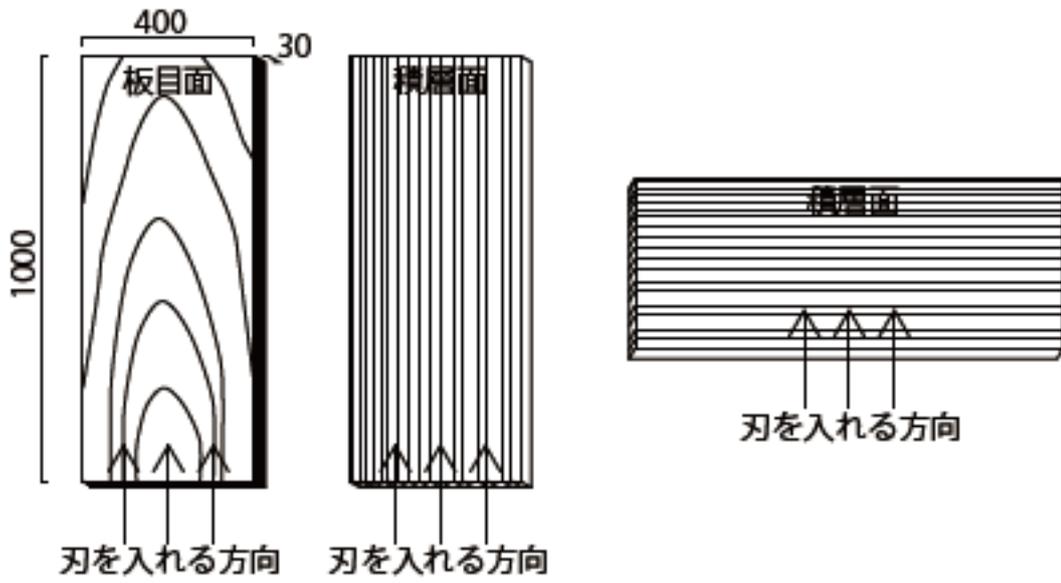


図2. LVL 加工面と刃の方向

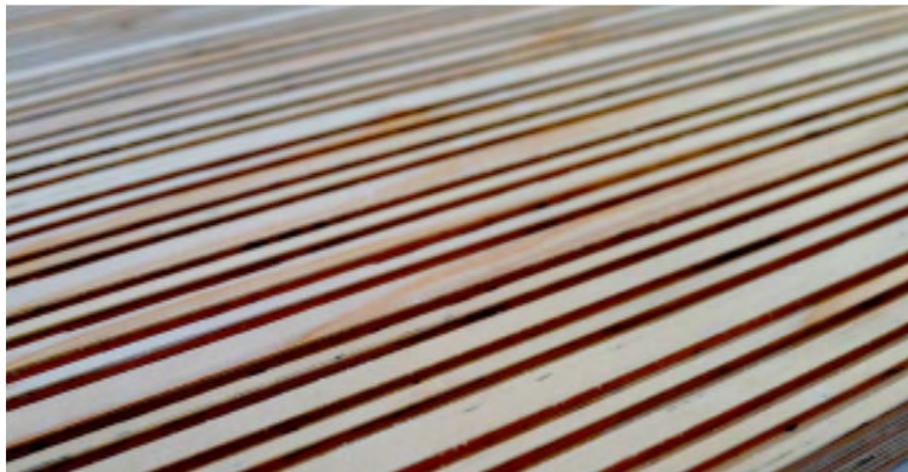


写真3. 板目面への凹凸加工

3. 塗装実験

加工後の試験体を使用して茶色・白色・クリアの合計3色の塗装を行った。結果として、茶色・クリアについては大きな問題は見られなかったが、白色については塗りムラが目立つこととなった。クリア塗装後は素地の状態よりも色が濃くなるが、経年変化によって徐々に色が濃くなっていくLVLの特徴との相性は良いような印象を受けた。

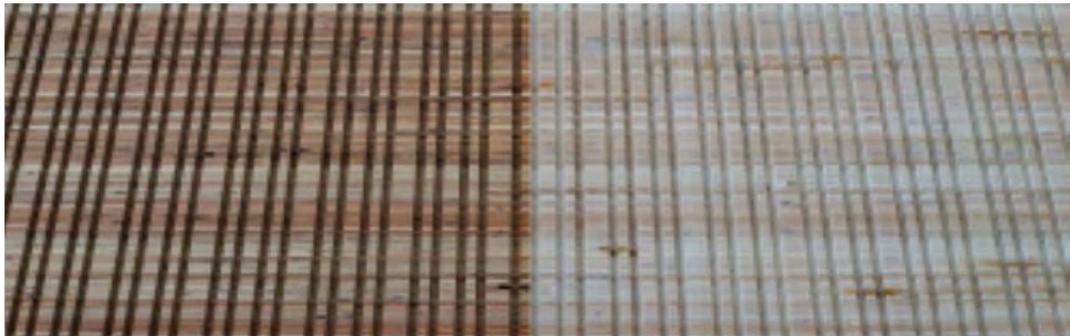


写真4. 積層面2×凹凸加工への白色塗装

4. 今後の課題

・内装制限

表面加工を施した「LVL 耐火被覆材」はその仕様によっては準不燃性能を満たさないと判断される場合があり、内装制限のかかる居室等で使用する際には注意が必要となる。

内装制限のかかる居室は、天井・壁（床面からの高さ1.2mを超える部分に限る）は難燃材料とする必要があるが、告示に定められた天井・壁の内装材の組み合わせを採用することにより、「LVL 耐火被覆材」を居室の内装仕上げに用いることが可能となる。具体的には、内装仕上げを難燃材料以上としなければならない居室においても、天井をせっこうボード等の準不燃材料とすることで壁の仕上げに「一定の条件」を満たした木材を使うことが出来るのだが、（平12 建告1439）この「一定の条件」の一つに「木材等の表面に火災伝播を著しく助長するような溝を設けられていないこと」という項目があるため、表面溝彫

り加工を施した「LVL 耐火被覆材」は上記告示による緩和措置は受けられない可能性がある。したがって今後の部材開発においては、この規定に抵触しない加工形状の検討が必要である。

- ・加工性

加工精度上、彫り込み幅の最小値はLVLを構成するプライ厚と同程度であることが必要と判断した。

積層LVLへの加工については、加工の方向によって部分的な欠けが生じるなどの問題が起きた。(写真2)刃の入れ始めと終わりの部分では特に影響が大きい。仮に溝彫り幅を変更した場合であっても、問題の完全な解消は難しいと予想される。より精度の高い加工が可能な形状の再検討を進めていきたい。

- ・意匠性

当初の目的である、「板目LVLの表面仕上げ材としての魅力増進」については一定の成果が得られた。木質耐火被覆は従来の耐火被覆材と比較して被覆層は分厚くなるため、表面加工を施す場合はさらにその厚みを増すこととなる。この分厚さをいかにして建築空間の魅力として昇華するかはさらなる検討が必要であるが、「彫り込むことが可能な耐火被覆材」という新しい素材の開発は設計者の創造性を喚起するきっかけになるのではないかと考えている。

表 1. LVL 表面塗装塗り分け表

LVL表面塗装 塗り分け表 ※1			
	板目面	積層面1 (積層面に対して 並行方向に加工)	積層面2 (積層面に対して 直交方向に加工)
凹凸加工	白色	クリア	茶色、白色 ※2
山型加工	茶色	白色	クリア
曲面加工	クリア	茶色	白色

※1 サンプル寸法は共通で1,000×400×30(mm)
塗り範囲は図〇〇参照のこと

※2 「凹凸加工×積層面2」は2枚、それ以外は1枚ずつで計10枚

表 2. 使用塗料と LVL 表面塗装塗り分け方法

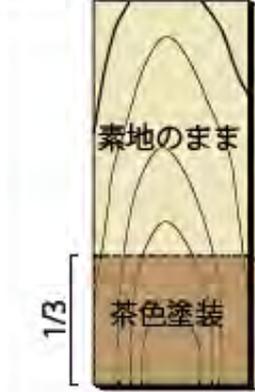
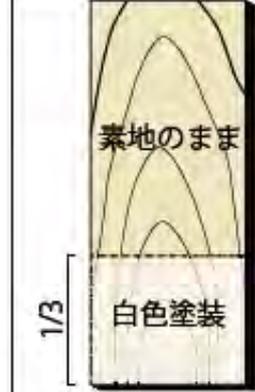
	クリア塗装	茶色塗装	白色塗装
使用塗料	ユニオンペイント クリアー	サンコーペイント M-520 目止めステイン ブラウン/クロ/イエロー	大谷 MC フィラー白
塗り分け の方法			



写真 5. 板目面×曲面加工へのクリア塗装



写真 6. 積層面 1 ×曲面加工への茶色塗装



写真7 板目面 曲面加工

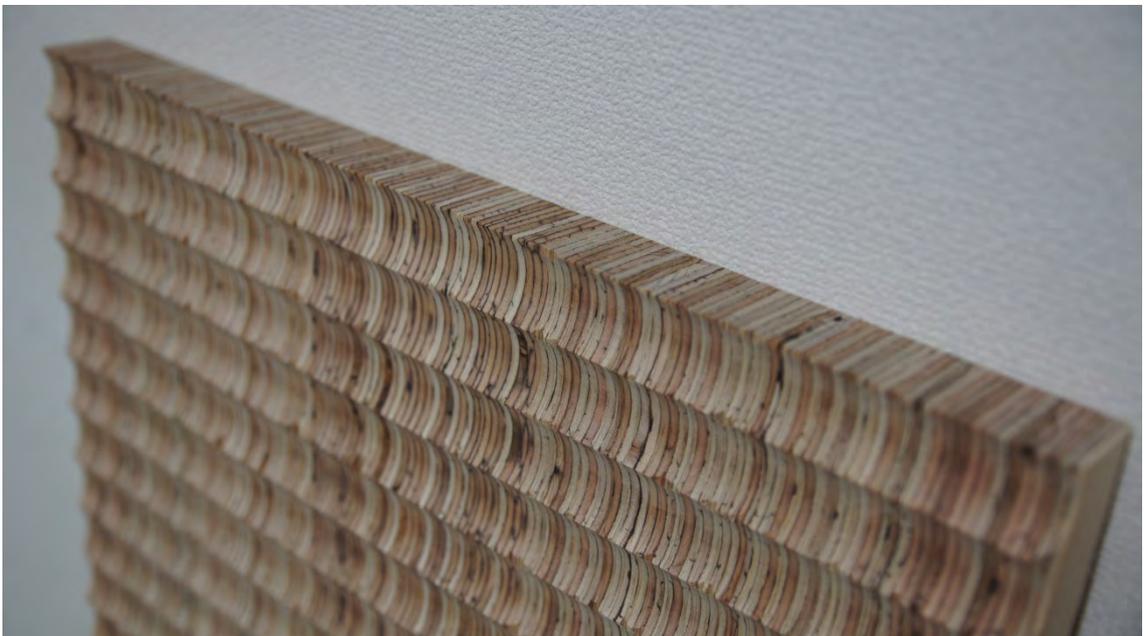


写真8 積層面 曲面加工



写真9 板目面 山型加工



写真10 積層面 凸凹加工



写真 11 積層面 曲面加工



写真 12 積層面 山形加工

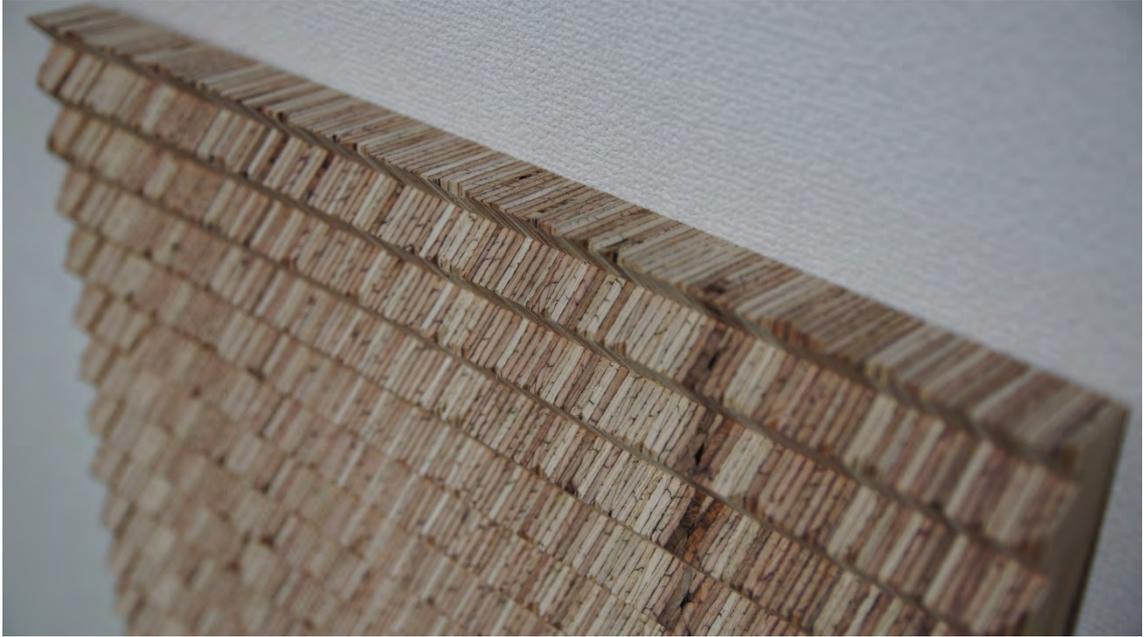


写真 13 積層面 山形加工



写真 14 積層面 凸凹加工

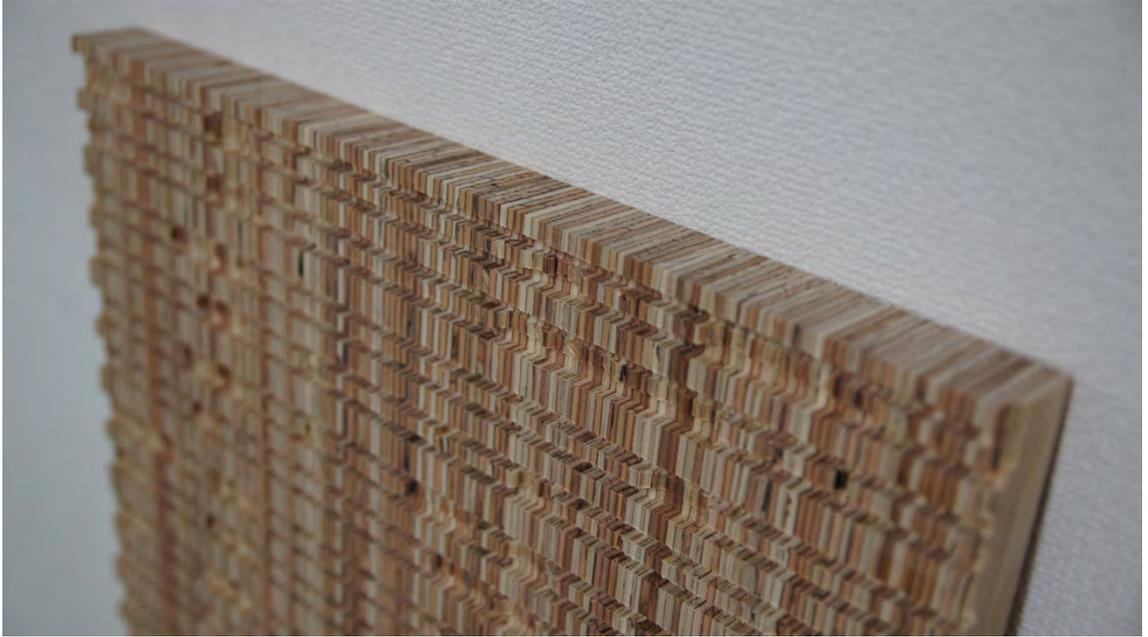


写真 15 積層麵 凸凹加工



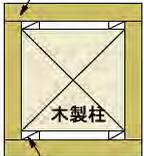
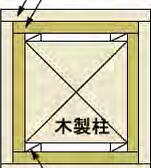
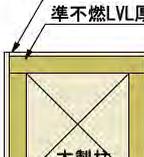
写真 16 板目面 凸凹加工

9. まとめ

本事業では、1 時間耐火構造柱の木質耐火被覆材を開発するために、①準不燃処理した LVL のみ、②準不燃処理した LVL + LVL (木材)、③強化せっこうボード+準不燃処理した LVL 又は LVL の 3 通りについて加熱実験を行い以下の成果を得た。

- ・ 1 時間耐火構造の柱の耐火被覆としての耐火性能を有する仕様は表 1 の通りである。
- ・ 載荷加熱実験より確認した仕様は限られているが、① 4 面加熱において、平部が耐火性能を有したものの出隅部の開きにより耐火性能が確保できなかった仕様、② 2 面加熱において平部が余裕をもって耐火性能を有している仕様については、本事業の検討より、[準不燃 LVL の胴縁を設ける] タイプまたは、[仕上げ材を設ける] タイプで出隅を防火補強すれば、耐火構造の要求性能を満足できる。
- ・ 木造の耐火被覆としての性能を有する仕様を鉄骨造に流用する際は、耐火被覆の厚さを低減できる。

表 1. 1 時間耐火構造の耐火被覆として性能を有する仕様とせっこうボードの大臣認定仕様一覧

<p>準不燃LVL</p> <p>◎</p>  <p>準不燃LVL厚60</p> <p>木製柱</p> <p>準不燃LVLの胴縁</p>	<p>準不燃LVL+LVL</p>  <p>LVL厚30</p> <p>準不燃LVL厚30</p> <p>木製柱</p> <p>準不燃LVLの胴縁</p>	<p>強化せっこうボード (木住協大臣認定)</p>  <p>強化せっこうボード厚21</p> <p>強化せっこうボード厚21</p> <p>木製柱</p>
<p>準不燃LVL+仕上げ</p> <p>◎</p>  <p>木材厚15</p> <p>準不燃LVL厚60</p> <p>木製柱</p> <p>準不燃LVLの胴縁</p>	<p>強化せっこうボード+準不燃LVL</p>  <p>準不燃LVL厚30</p> <p>強化せっこうボード厚21</p> <p>木製柱</p> <p>準不燃LVLの胴縁</p>	<p>準不燃LVL</p>  <p>準不燃LVL厚45</p> <p>鉄骨柱</p>

◎は載荷加熱実験で1時間耐火構造の性能を確認した仕様

10. 今後の課題

本事業では、木造、鉄骨造の柱に対して、1 時間耐火構造の要求性能を満足する LVL を用いた木質耐火被覆の開発を行った。今後の課題は以下の通りである。

- ・ 柱については、1 時間耐火構造を満足する仕様が明らかになったので、性能評価試験、大臣認定取得を行い実用化していく必要がある。
- ・ 梁について、柱の成果を基本的に流用できると考えられるが、特に梁底面の耐火被覆材は自重で落下する可能性があるため、その部分に特化して実験的な検討が必要であろう。
- ・ 目地部の防火的な対策が明らかにできたので、壁や床（天井）にも本事業の成果は流用できるので、面材としての活用の検討が必要であろう。

