

令和元年度 林業成長産業化総合対策補助金等
(平成 31 年度木材産業・木造建築活性化対策のうち中高層建築物を中心とした
CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着事業)

地域材の難燃薬剤処理 LVL を用いた
被覆型耐火工法開発
(1 時間耐火梁小断面)
実績報告書

令和 2 年 3 月

一般社団法人全国 LVL 協会

目次

1. はじめに	--	P1
2. 開発された耐火部材		
2. 1 LVL 被覆耐火梁	--	P3
2. 2 難燃薬剤の性能発揮メカニズム	--	P7
3. 被覆材の製造		
3. 1 仕様検討用の含浸	--	P13
3. 2 性能評価試験用の含浸	--	P15
3. 3 被覆材の2次接着	--	P18
4. 1時間耐火性能の検討		
4. 1 小断面梁・仕様検討1回目	--	P20
4. 2 小断面梁・仕様検討2回目	--	P38
4. 3 性能評価試験1回目	--	P61
4. 4 性能評価試験2回目	--	P90
4. 5 大断面梁・仕様検討	--	P117
5. まとめと今後の課題	--	P142

1. はじめに

2000年の建築基準法改正から2005年に耐火建築物としての都市木造が登場以降、木質系耐火部材の大臣認定取得により、数多くの都市木造が実現されてきた。都市木造実現から10年以上が経過し、一般被覆型、鋼材内蔵型、燃えどまり型の木質系耐火部材は、初期の認定仕様から実物件の現場での課題を反映して、防耐火性能だけでなく、施工性、意匠性を考慮した改良がすすめられている。

LVLを用いた木質系耐火部材では、基礎的な研究開発として単板への薬剤含侵処理による準不燃材料の実現に成功しており、この技術を応用した木質系耐火部材の開発を行ってきた。また、これからの木質系耐火部材開発においては、既存の技術との違いを明確にした開発目標が重要なため、本研究では、既存の木質系耐火建築に用いられてきた部材の特徴・課題を踏まえ、以下の特徴をもつ木質系耐火部材を目指すものとしている。

- ・木質系材料のみの構成による耐火部材

既存の木質系耐火部材は、せっこうボードなどの無機材料を被覆層として用い、その上に、仕上げ材として木質材料を付加することが多い。しかし、木造建築では、無機材料や鋼材を用いない木質系耐火部材が期待されている。

木質系材料による被覆は、被覆層の厚みによっては将来的に、火災後の鉛直荷重支持以外の構造機能を付加することが可能である。

- ・現場施工による新設・交換可能な燃えしろ・燃えどまり層

被覆材が仕上げ材を兼ねるため、施工時の養生に手間がかかるほか、施工時の損傷、汚れに対して修復が困難であった。また、火災後の建物の修復においても交換可能な耐火被覆となる。

- ・鉄骨造の耐火被覆として使用可能な木質系被覆材

内部の木材の耐火性能を満足できるのであれば、ほぼ同一の仕様で鉄骨造の耐火被覆材としても使用が可能である。

- ・仕上げ材として特徴のある耐火部材

LVLは、通常の板目面を仕上げ面とするだけでなく、製造によって生まれる特徴的な積層面を仕上げ面とすることができる。積層面を仕上げ面とする内装材としては、準不燃材料として既に実用化されており多くの建築で用いられるようになっている。

本研究では、木造の柱、梁の線材が中心であるが、被覆材の基本性能、部材の断面構成による弱点になりやすい箇所が整理されれば、今後さまざまな部位への適用も可能である。特に、柱・梁の線材と壁・床の面材の両方が実現可能なLVLでは、面材への適用も期待される。現在は、燃えしろ設計を用いてLVLの壁をあらわしで用いる準耐火建築にとどまるが、今後、LVLの特徴的な意匠性を生かした耐火建築物の実現につながることを期待している。

事業実施体制

令和元年度	全国LVL協会 技術部会 防耐火委員会		
1.	委員長 東京大学生産技術研究所	腰原幹雄	教授
2.	委員 桜設計集団	安井 昇	代表
3.	ビルディングランドスケープ	山代 悟	建築家
4.	藤田K林産技術士事務所	藤田和彦	所長
5.	国土技術政策総合研究所	成瀬友宏	建築研究部 防火基準研究室 室長
6.	国土技術政策総合研究所	鈴木淳一	建築研究部 防火基準研究室 主任研究官
7.	国土技術政策総合研究所	水上点晴	建築研究部 防火基準研究室 主任研究官
8.	日本ツーバイフォー建築協会	木本勢他	技術部
9.	日本木造住宅産業協会	高木 郷	技術開発委員
10.	日本建築総合試験所	小宮祐人	試験研究センター
11.	三商株式会社	加藤圭一	マテリアル事業部 製品開発室 副室長
会員会社			
12.	株式会社オーシカ	池田尊子	中央研究所 技術主任
13.	セイホク株式会社	佐藤 様	品質保証部部長
14.	株式会社ウッドワン	牧野克己	構造システム営業部 東京分室
15.	株式会社ウッドワン	石川純一	構造システム営業部 東京分室
16.	丸菱油化工業株式会社	亀岡祐史	研究本部
17.	株式会社ザイエンス	茂山知己	技術開発部 マネージャ
18.	シネジック株式会社	寺澤正広	営業本部 / R&D推進室
19.	株式会社オロチ	滝田哲也	品質管理部 課長
20.	ニチアス株式会社	菅原公平	建材事業本部 担当部長
21.	光洋産業株式会社	西尾直記	大阪支店 営業部
オブザーバー			
23.	桜設計集団	加來千紘	
24.	ビルディングランドスケープ	春日広樹	
25.	林野庁	竹本央記	林政部木材産業課木材製品技術室 課長補佐
26.	林野庁	平山翔一	林政部木材産業課木材製品調査班木材製品調査担当専門職
事務局			
27.	全国LVL協会	小原文悟	事務局長
28.	全国LVL協会	李 元羽	技術部長
29.	全国LVL協会	成田敏基	技術課長

2. 開発した耐火部材

2. 1. LVL 被覆耐火梁

本事業では、1時間耐火構造・小断面梁の大臣認定取得を目標として仕様を検討、性能評価試験を行った。図 2.1 に開発した梁を示した。被覆材・被覆方法はすでに大臣認定を取得している1時間耐火構造（柱）の認定と共通仕様とした。部品と施工方法の共通化により、コスト削減と施工負担を減らすことを目標とした。運用についても柱と同様、荷重支持部材が小断面と大断面それぞれの大員認定番号を取得し、断面寸法の範囲内で運用する。「超」大断面までの運用、木材の化粧材付きの運用については、来年度以降にそれぞれ性能確認試験を行って運用を可能にすることを予定している。本事業では小断面の性能評価試験に合格し、来年度の認定番号取得をほぼ確定した。樹種に関して、被覆材はスギ、荷重支持部材はカラマツとし、すべて国産材での耐火構造を実現できる。次ページ以降に LVL 被覆耐火構造の概要を示した。



LVL被覆
1時間
耐火構造

梁

Debut.

木製梁の側面を難燃処理を施した
厚さ60mmのLVLで挟み、
底面には60mmの下張材と
30mmの上張材LVLを重ねて
1時間耐火の性能を実現しました。

※2020年3月現在 性能評価試験合格
2020年6月以降 大臣認定取得予定

図 2.1 LVL 被覆耐火梁



写真は兵庫県建設事務所より提供。撮影：LVLプロダクトグループ

LVL被覆 1時間耐火構造(柱・梁)

すべて木製の
耐火構造を実現。



全国LVL協会

0010



一般社団法人 全国LVL協会

〒121-0003 東京都千代田区千代田1-7-27 新日本橋タワー1階
TEL 03-4742-0387 FAX 03-3254-2937

LVL被覆 1時間 耐火構造 柱

本製品の覆りを耐火試験を施した
厚さ40mmのLVLで覆むことで、
1時間耐火の性能を実現しました。



【木の内装を装飾（800A）】

耐火被覆材のLVLをそのままするこ
とができます。化粧材として厚み15mmまで
の木材を貼ることもできます。床、壁、調
理棚、天井などを貼る時は防火接着剤の
追加使用を要します。

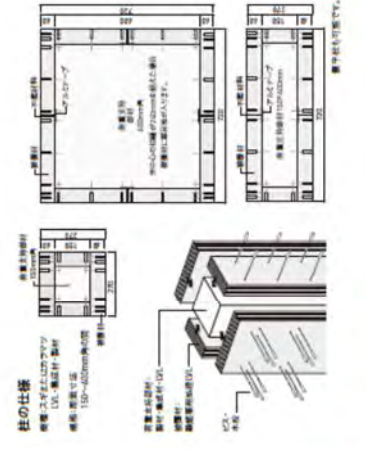


【大径固定（一時間耐火構造）】

- (特)
PP600N-3005(1):
リム固定式耐火構造
耐火被覆材（LVL）/木材
- PP600N-3005(2):
本体・リム固定式耐火構造
耐火被覆材（LVL）/木材
（一部固定、一部リム固定構造となります）
- (英)
2025年3月以降、大径固定工法が標準仕様となります。

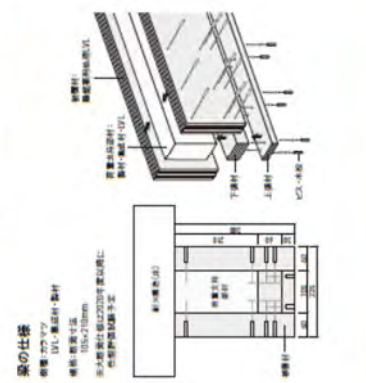
【火災後の取り換えが可能な耐火構造（800B）】

万一火災が発生した後も、外側の耐火被覆材をはがして
新しい耐火被覆材を現場で取り付けることができます。



【すべて木製の耐火構造（800C）】

耐火被覆材の内装の覆りも耐火被覆材、すべて木材です。
中心部は耐火被覆材・LVLでも構いません。
中心部は耐火被覆材、柱はスチールボルト固定、化粧材のみです。



LVL被覆 1時間 耐火構造 梁 Debut.

本製品の側面を耐火試験を施した
厚さ40mmのLVLで覆み、
標準には40mmの下張り材と
30mmの上張り材LVLを覆むと
1時間耐火の性能を実現しました。
※2025年3月以降、側面耐火試験仕様
2025年3月以降、大径固定工法が標準仕様となります。

耐火性能試験
 (一部)は日本建築学会耐火試験の耐火試験で、
 耐火試験結果を認めています。
 耐火被覆材には防火化の免状は必要ありません。

耐火性能試験結果
 耐火試験の結果、1時間耐火性能を実現しました。
 (一部)は日本建築学会耐火試験の耐火試験で、
 耐火試験結果を認めています。

耐火性能試験結果
 耐火試験の結果、1時間耐火性能を実現しました。
 (一部)は日本建築学会耐火試験の耐火試験で、
 耐火試験結果を認めています。

耐火性能試験結果
 耐火試験の結果、1時間耐火性能を実現しました。
 (一部)は日本建築学会耐火試験の耐火試験で、
 耐火試験結果を認めています。

耐火性能試験結果
 耐火試験の結果、1時間耐火性能を実現しました。
 (一部)は日本建築学会耐火試験の耐火試験で、
 耐火試験結果を認めています。

耐火性能試験結果
 耐火試験の結果、1時間耐火性能を実現しました。
 (一部)は日本建築学会耐火試験の耐火試験で、
 耐火試験結果を認めています。

2. 2 難燃薬剤の性能発揮メカニズム

被覆材のスギ LVL に含浸した、リンチツソ系の難燃薬剤（商品名：W2-50、丸菱油化工業製）は木材中において難燃性能を発揮する。性能発揮メカニズム資料を記した。本資料については、既に LVL 協会にて性能評価試験を終えた 1 時間耐火構造（柱）の大臣認定申請が国交省に受理される段階で同時に添付した資料である。

2. 2. 1 リン化合物の難燃化効果

①脱水炭化作用

特にセルロース等の水酸基を含む材料に対して効果が高く、水酸基-OH から水 H₂O を引き抜き（脱水）、材料中の酸素 O と水素 H を減少させることで炭素 C の割合が増える。これが炭化促進効果となり、この炭素を多く含む炭化層はグラファイト（黒鉛）の組成に近づくことで熱分解しにくくなる。この強固な炭化層が材料表面を覆うことで、材料内部への熱や酸素の供給を阻害するバリア層となる。

②吸熱作用

リン化合物が高温により熱分解する反応が吸熱反応であり、材料温度を低下させる。

③希釈効果

リン化合物の熱分解による生成物はアンモニア等の不燃性ガスであり、材料の熱分解生成物の可燃ガスや雰囲気中の酸素を不燃性ガスで希釈することにより燃焼を妨げる。

2. 2. 2 木材におけるリンチツソ系難燃薬剤の作用

2. 2. 2. 1 未処理木材と難燃処理木材の炭化進行の概要

(1)未処理木材の炭化

未処理木材の表面が加熱を受ける場合の模式図を図 2.1 に示した。

- A：熱源に曝されることにより、木材表面で熱分解（260℃付近）が起こる。
- B：木材の熱分解により可燃ガスが発生し、そのガスに引火することにより炎を伴い燃焼する。木材表面では炭化が進み、ひび割れが生じる。
- C：熱源が離れても熱分解温度以下になるまで炭化が進行し、可燃ガスによる燃焼や赤熱が残る。ひび割れ部の炭化深く、炭化層は脆い。

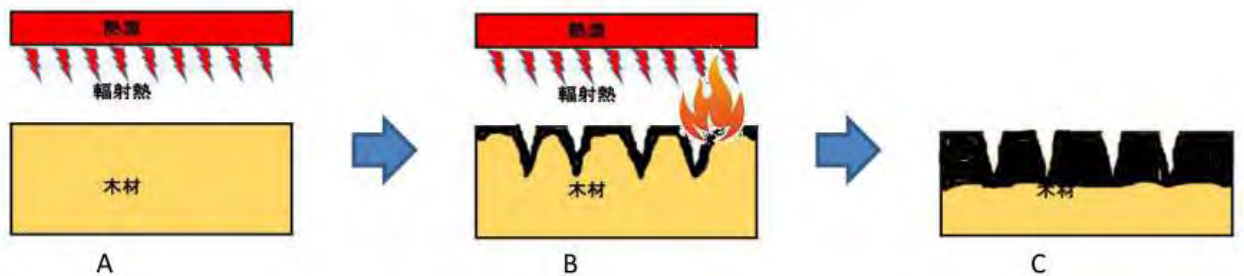


図 2.1 未処理木材の表面が加熱を受ける場合の模式図

(1)難燃処理木材の炭化

難燃処理木材の表面が加熱を受ける場合の模式図を図 2.2 に示す。

- D：熱源に曝されることにより、木材表面で難燃剤の熱分解（200℃付近）が起こる。
- E：難燃剤の脱水作用により、脱水炭化発泡層が形成される。通常の炭化層に比べて硬質な脱水炭化発泡層により木材内部への酸素の供給を遮断し、熱の侵入を抑える。木材より発生する可燃性ガスを、難燃剤の熱分解により発生する不燃性ガスが希釈することにより、燃焼を抑制する。
- F：熱源が離れると温度も下がり、脱水炭化発泡層が残る。脱水炭化発泡層は未処理木材の炭化層に比べて薄く強固な層である。

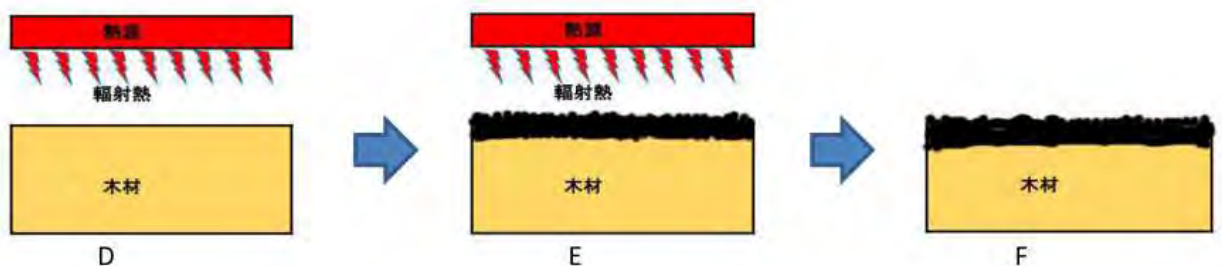
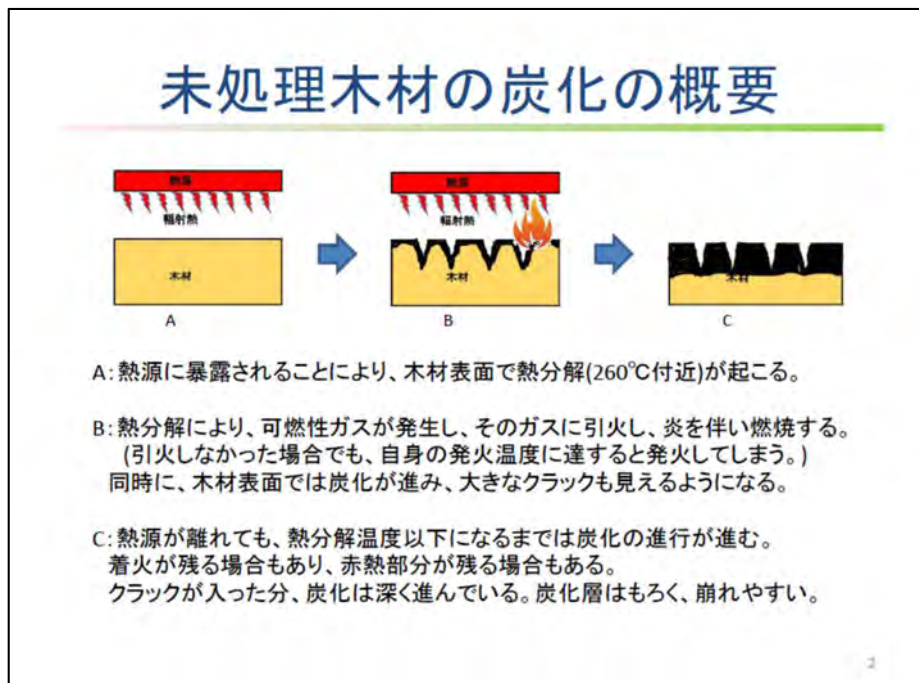


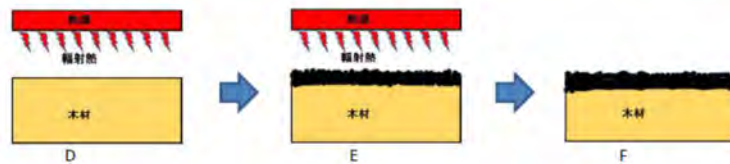
図 2.2 難燃処理木材の表面が加熱を受ける場合の模式図

2. 2. 3 説明資料

下に性能発揮メカニズムの説明資料を記載した。



難燃処理木材の炭化の概要



D: 熱源に暴露される事により、木材表面で難燃剤の熱分解(200°C前後)が起こる。

E: 同時に難燃剤の脱水炭化作用が起こり、脱水炭化発泡層の形成がなされる。炭化発泡層の効果により、木材内部への酸素の供給を遮断し、熱の侵入を押さえる。また、木材より発生する可燃性のガスを、難燃剤の熱分解により発生する不燃性のガスで希釈し、一般的に見られる木材の燃焼を抑制する。

F: 熱源が離れると、熱もすぐにより下がり、炭化層のみが残る。未処理木材の炭化層よりも、薄い層である。また、炭化層は、強固な層である。

3

リン化合物の難燃化効果

リン化合物が材料を難燃化する効果としては、一般的に①②③が挙げられる。

①脱水炭化作用

特にセルロース等の水酸基を含む材料に対して効果が高い。水酸基-OHから水H₂Oを引き抜き(脱水)、材料中の酸素Oと水素Hを減少させることで炭素Cの割合が増える。これが炭化促進効果となる。

②吸熱作用

リン化合物自身が高温により熱分解する反応が吸熱反応となっており、材料温度を低下させる効果。

③希釈効果

難燃剤がリン・窒素系化合物の場合、リン化合物の熱分解による生成物がアンモニア等の不燃性ガスであり、材料の熱分解生成物の低分子量の可燃性ガスや雰囲気中の酸素を不燃性ガスで希釈することにより燃焼を妨げる。

1時間耐火試験の様な高温と長時間の試験では、材料に与えられる熱量に対して②③の効果は限定的であり、主に効果を示すのは①の脱水炭化作用と考えられる。

4

脱水炭化作用のメカニズム

脱水炭化作用は一般に分子内脱水と呼ばれる化学反応による作用である。

・難燃剤を使用していない木材の場合

加熱により木材の温度が260°Cを超えると炭化を開始し、熱分解により低分子量の生成物が可燃性ガスとなって燃焼することで、さらに木材が加熱されるサイクルが継続する。

・リン・窒素系難燃剤で処理された木材の場合

未処理木材よりも低温の200°C付近で、リン酸の作用によりセルロースの脱水反応が生じる。

リン酸は高温によりメタリン酸→ポリメタリン酸となるが、どの状態のリン酸であっても脱水反応を生じさせる作用がある。

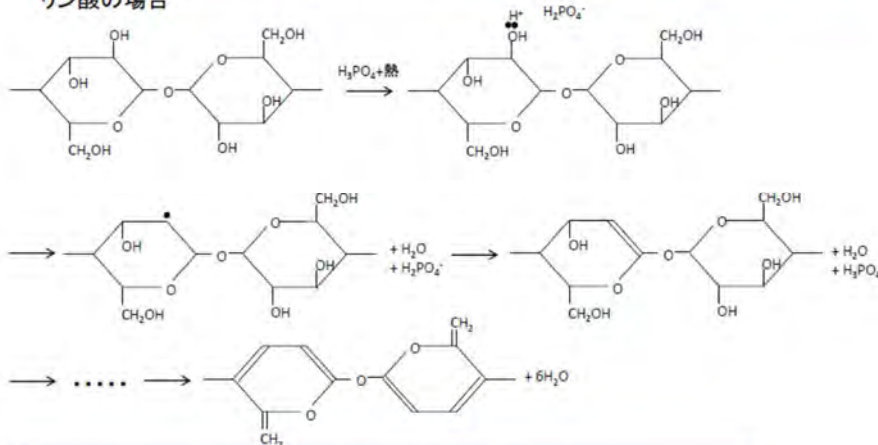
脱水反応により水酸基-OHから水H₂Oを引き抜き(脱水)、材料中の酸素Oと水素Hを減少させることで炭素Cの割合が増える。この炭素を多く含む炭化層はグラファイト(黒鉛)の組成に近づくことで、熱分解しにくい状態となる。

この強固な炭化層が材料表面を覆うことで、材料内部への熱や酸素の供給を阻害するバリア層として作用している。

さらに窒素成分が熱分解によりアンモニア等の不燃性ガスとなり、熔融したリン酸を発泡させ、炭化したセルロースを含む炭化発泡層が断熱層として作用する。

脱水炭化作用のメカニズム

リン酸の場合



燃え止まり効果のメカニズム

- ・リン・窒素系難燃剤で処理された木材が長時間加熱され続ける場合

難燃剤で処理された木材が加熱されると、初期の挙動として前述の様に脱水炭化作用と炭化発泡層の形成によって燃焼が抑制される。

その後も高温環境下に長時間置かれたとしても、炭化層はグラファイト状のために熱分解反応や酸化反応の速度は遅く、再燃が抑制されている。

炭化層内部の木材は熱伝導しにくく、長時間の加熱によりゆっくりと内部温度は上昇する。木材内部に徐々に熱が伝わることで木材内部に残った未反応の難燃剤が加熱されると窒素成分の不活性ガスを発生させ、リン成分が表面に出ることで再燃が抑制される。

耐火に必要な難燃剤の量

脱水炭化作用に対してリン酸は反応によって消費されないのだが、耐火試験においては外部からの加熱による昇温速度に対抗して、脱水炭化反応の速度が必要となる。そのためには、多量の難燃剤を使用することが有効であり、耐火試験に必要となる難燃剤の量は試験を積み重ねることで、決定しているのが現状である。



平成29年12月1日実施
大断面1時間耐火柱の試験

試験後の被覆材(難燃処理LVL)

3 被覆材の製造

被覆材として採用した難燃薬剤処理 LVL は、平成 28 年度に開発した 1 時間耐火構造の柱の被覆材と同じ仕様とした。具体的には、厚 30mm のスギ LVL に減圧加圧法により難燃薬剤を含浸した。難燃薬剤は丸菱油化工業製のりん・窒素系 W2-50 とした。含浸量は 130kg/m³～140kg/m³ を目標とした。含浸後に乾燥したスギ LVL をレゾルシノール樹脂で 2 次接着し、2 枚合せて厚 60mm とした。

8 月に建研で行った試験体に使用した被覆材はすでに製作していた被覆材の一部を使用した。含浸量は 130kg/m³～140kg/m³ である。11 月に日総試で実大予備試験の試験体に使用した被覆材は、9 月に茨城県小美玉市の森久の注入釜を使用して含浸、乾燥した。1 月および 2 月に日総試で行った性能評価試験の試験体に使用した被覆材、1 月に秋田で行った大断面梁試験体に使用した被覆材は 11 月に森久で含浸した。30mm 厚の難燃薬剤処理 LVL を 2 次接着する工程は大阪府堺市の株式会社オーシカの大阪工場で行った。接着剤はレゾルシノール樹脂を用い、温度 20℃で圧縮圧 1.0MPa、24 時間以上とした。解圧後、厚みは削らずに長さや幅の寸法を荷重支持部材の断面寸法に合わせてカットし、試験体製作を行う東亜理科に搬入した。

3. 1 仕様検討用の含浸

3. 1. 1 試験体と含浸条件

含浸のための減圧加圧を行った注入釜の最大加圧圧力が 1.3MPa と今まで使用していた注入釜より性能がよいこともあり、様々な圧力条件で 150kg/m³ 以上の含浸量が達成できるかどうかの検討も行った。含浸は 2019 年 9 月 19 日から 2 日間行った。

材料：スギ B 種構造用 LVL 厚 30 (実寸 29.7mm) ×幅(320,125)×長 2600 28 枚



写真 3.1.1 含浸前の LVL 含水率測定



写真 3.1.2 ステンレス枠に入った LVL



写真 3.1.3 含浸釜に投入された LVL



写真 3.1.4 加圧スケジュール

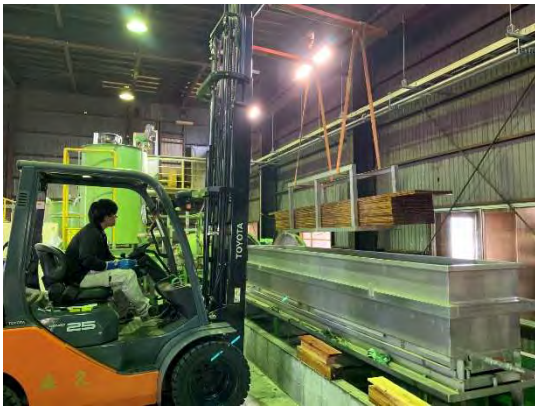


写真 3.1.5 解圧直後の LVL

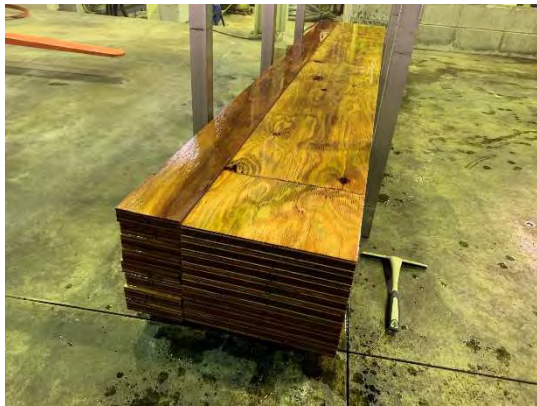


写真 3.1.6 含浸直後の LVL

3. 1. 2 結果

表 3.1.1 に含浸結果を示した。

表 3.1.1 含浸結果

番号	種類	厚さ mm	幅 mm	長さ mm	かさ比重	質量 kg/m ²	体積 m ³	含浸後 重量		薬剤量 W2-W1 kg	薬剤量 kg/m ³	含浸量 ① kg/m ³	乾燥後 重量 W3 kg	比重	含浸量 ②		含水率 %		
								W1 kg	W2 kg						kg/m ³	kg/m ³	左	中	右
↓ 2800 × 305 × 30																			
1		29.7	320.0	2,600.0	0.506	15.04	0.02471	12.51	28.35	15.84	641.03	141.0	15.260	0.618	111.29	12.0%	9.0%	8.0%	
2		29.7	320.0	2,600.0	0.505	14.99	0.02471	12.47	28.53	16.06	649.93	143.0	15.290	0.619	114.12	6.0%	8.0%	10.0%	
3		29.7	320.0	2,600.0	0.500	14.86	0.02471	12.36	28.59	16.23	656.81	144.5	15.240	0.617	116.55	9.0%	10.0%	8.0%	
4		29.7	320.0	2,600.0	0.500	14.86	0.02471	12.36	28.58	16.22	656.40	144.4	15.290	0.619	118.57	7.0%	9.0%	9.0%	
5		29.7	320.0	2,600.0	0.496	14.74	0.02471	12.26	28.15	15.89	643.05	141.5	15.140	0.613	116.55	6.0%	9.0%	8.0%	
6		29.7	320.0	2,600.0	0.495	14.69	0.02471	12.22	28.31	16.09	651.14	143.3	15.120	0.612	117.36	5.0%	10.0%	4.0%	
7		29.7	320.0	2,600.0	0.507	15.07	0.02471	12.54	28.50	15.96	645.88	142.1	15.230	0.616	108.86	9.0%	10.0%	9.0%	
8		29.7	320.0	2,600.0	0.508	15.08	0.02471	12.55	28.53	15.98	646.69	142.3	15.200	0.615	107.24	6.0%	10.0%	9.0%	
9		29.7	320.0	2,600.0	0.506	15.02	0.02471	12.50	28.67	16.17	654.38	144.0	15.480	0.626	120.60	9.0%	9.0%	9.0%	
10		29.7	320.0	2,600.0	0.510	15.13	0.02471	12.59	28.48	15.89	643.05	141.5	15.470	0.626	116.55	6.0%	12.0%	6.0%	
11		29.7	320.0	2,600.0	0.506	15.02	0.02471	12.50	28.34	15.84	641.03	141.0	15.440	0.625	118.98	6.0%	6.0%	9.0%	
12		29.7	320.0	2,600.0	0.506	15.02	0.02471	12.50	28.58	16.08	650.74	143.2	15.450	0.625	119.38	9.0%	7.0%	9.0%	
13		29.7	320.0	2,600.0	0.514	15.28	0.02471	12.71	28.76	16.05	649.52	142.9	15.640	0.633	118.57	9.0%	9.0%	10.0%	
14		29.7	320.0	2,600.0	0.512	15.20	0.02471	12.65	28.65	16.00	647.50	142.5	15.640	0.633	121.00	3.0%	9.0%	4.0%	
15		29.7	320.0	2,600.0	0.511	15.18	0.02471	12.63	28.86	16.23	656.81	144.5	15.670	0.634	123.03	9.0%	9.0%	5.0%	
16		29.7	320.0	2,600.0	0.517	15.35	0.02471	12.77	28.77	16.00	647.50	142.5	15.870	0.642	125.45	9.0%	9.0%	4.0%	
↓ 2800 × 125 × 30																			
17		30.0	125.0	2,600.0	0.473	14.18	0.00975	4.61	11.08	6.47	663.59	146.0	5.780	0.593	120.00	4.0%	3.0%	4.0%	
18		30.0	125.0	2,600.0	0.479	14.37	0.00975	4.67	11.12	6.45	661.54	145.5	5.800	0.595	119.90	3.0%	4.0%	3.0%	
19		30.0	125.0	2,600.0	0.472	14.15	0.00975	4.60	11.11	6.51	667.69	146.9	5.790	0.594	122.05	3.0%	4.0%	3.0%	
20		30.0	125.0	2,600.0	0.491	14.74	0.00975	4.79	11.30	6.51	667.69	146.9	5.900	0.605	113.85	3.0%	4.0%	3.0%	
21		30.0	125.0	2,600.0	0.489	14.68	0.00975	4.77	11.15	6.38	654.36	144.0	5.860	0.601	111.79	3.0%	4.0%	3.0%	
22		30.0	125.0	2,600.0	0.488	14.65	0.00975	4.76	11.24	6.46	664.62	146.2	5.900	0.605	116.92	3.0%	6.0%	3.0%	
23		30.0	125.0	2,600.0	0.481	14.43	0.00975	4.69	11.28	6.59	675.90	148.7	5.880	0.603	122.05	3.0%	3.0%	3.0%	
24		30.0	125.0	2,600.0	0.479	14.37	0.00975	4.67	11.34	6.67	684.10	150.5	5.870	0.602	123.08	3.0%	4.0%	3.0%	
25		30.0	125.0	2,600.0	0.478	14.34	0.00975	4.66	11.29	6.63	680.00	149.6	5.820	0.597	118.97	3.0%	4.0%	3.0%	
26		30.0	125.0	2,600.0	0.475	14.25	0.00975	4.63	11.06	6.43	659.49	145.1	5.850	0.600	125.13	3.0%	4.0%	3.0%	
27		30.0	125.0	2,600.0	0.476	14.28	0.00975	4.64	11.00	6.36	652.31	143.5	5.820	0.597	121.03	3.0%	3.0%	3.0%	
28		30.0	125.0	2,600.0	0.476	14.28	0.00975	4.64	11.19	6.55	671.79	147.8	5.810	0.596	120.00	3.0%	3.0%	3.0%	

3. 2 性能評価試験用の含浸

11 月初旬の小断面梁耐火試験の良好な結果を受け、性能評価試験用の含浸を茨城県の森久で、性能評価元の日本建築総合試験所の立ち合いのもと行った。含浸は 2019 年 11 月 13 日から 15 日に行った。

3. 2. 1 試験体と含浸条件

材料：スギ B 種構造用 LVL

厚 30×幅 170×長 3200 32 枚

厚 30×幅 410×長 3200 32 枚 計 64 枚

乾燥条件：70℃ 3 週間



写真 3.2.1 スギ LVL 検品



写真 3.2.2 1枚ずつ署名されたスギ LVL



写真 3.2.3 難燃薬剤を入れた缶

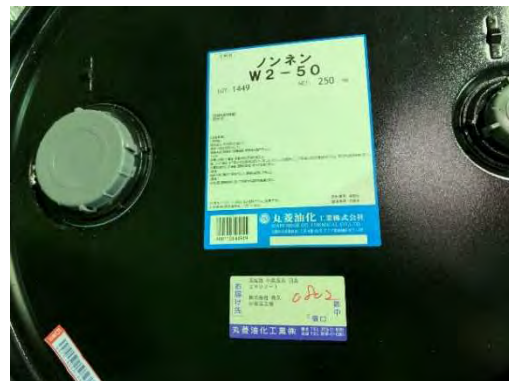


写真 3.2.4 難燃薬剤



写真 3.2.5 薬液濃度確認



写真 3.2.6 釜に投入された LVL



写真 3.2.7 含浸釜

運転設定				
合浸工程	計測値	設定値	経過時間	残り時間
から養生	-0.092	0.005	2 00 00	20000
養生	-0.092	0.005	2 30 00	00000
加圧ステップ1	0.250	0.020	0 10 00	00000
加圧ステップ2	0.500	0.020	0 10 00	00000
加圧ステップ3	0.750	0.020	0 10 00	00000
加圧ステップ4	1.000	0.020	0 10 00	00000
加圧ステップ5 END	1.200	0.020	2 00 00	00000
バット加圧強度	0.0	5.0	142℃	
メニュー	停止	印刷	00:35	2018/11/14 13:40:30

写真 3.2.8 含浸スケジュール



写真 3.2.9 含浸直後の LVL



写真 3.2.10 LVL吊り上げ



写真 3.2.11 重量測定

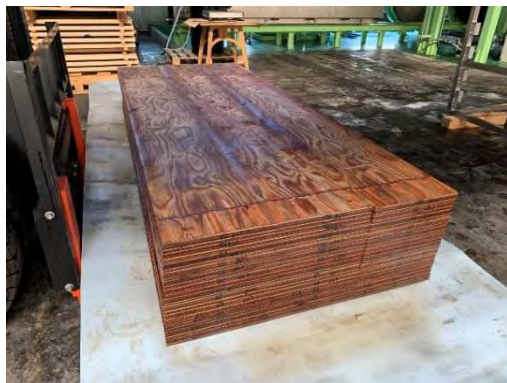


写真 3.2.12 乾燥釜に投入される LVL

3. 2. 2 結果

表 3.2.1 に含浸結果を示した。135kg/m³ から 140kg/m³ の範囲に含まれる試験体を本番仕様の被覆材として採用した。

表 3.2.1 含浸結果

番号	種類	厚さ mm	幅 mm	長さ mm	かさ比重	質量 kg/m ²	含水率			体積 m ³	初期 重量 W1 kg	含浸後 重量			含浸量 ① kg/m ³	乾燥後 重量 W3 kg	比重	含浸量 ②			含水率 %		
							%	%	%			W2 kg	W2-W1 kg	薬剂量 kg/m ³				kg/m ³	左	中	右	左	中
1	LVL	300	1200	2400.0	0.491	14.72	12.0%	15.0%	14.0%	0.00864	4.24	9.78	5.54	641.20	141.1	5.040	0.583	92.59	9.5%	14.0%	11.5%		
2	LVL	300	1200	2400.0	0.484	14.51	13.5%	15.0%	13.5%	0.00864	4.18	9.78	5.60	648.15	142.6	5.000	0.579	94.91	9.0%	14.0%	12.5%		
3	LVL	300	1200	2400.0	0.507	15.21	14.0%	15.5%	14.5%	0.00864	4.38	9.62	5.24	606.48	133.4	5.140	0.595	87.96	11.5%	11.0%	13.5%		
4	LVL	300	1200	2400.0	0.502	15.07	13.5%	15.0%	13.0%	0.00864	4.34	9.68	5.34	618.06	136.0	5.080	0.588	85.65	10.0%	10.5%	13.5%		
5	LVL	300	1200	2400.0	0.507	15.21	14.5%	14.0%	14.5%	0.00864	4.38	9.80	5.42	627.31	138.0	5.160	0.597	90.28	12.0%	13.0%	11.0%		
6	LVL	300	1200	2400.0	0.502	15.07	12.0%	14.0%	13.0%	0.00864	4.34	9.74	5.40	625.00	137.5	5.140	0.595	92.59	11.0%	14.5%	12.0%		
7	LVL	300	1200	2400.0	0.488	14.65	12.0%	13.0%	14.5%	0.00864	4.22	9.66	5.44	629.63	138.5	5.020	0.581	92.59	11.0%	11.0%	9.0%		
8	LVL	300	1200	2400.0	0.484	14.51	14.5%	14.0%	13.5%	0.00864	4.18	9.64	5.46	631.94	139.0	5.020	0.581	97.22	11.0%	14.5%	8.0%		
9	LVL	300	1200	2400.0	0.488	14.65	12.5%	15.0%	13.0%	0.00864	4.22	9.72	5.50	636.57	140.0	5.060	0.586	97.22	12.5%	15.5%	8.0%		
10	LVL	300	1200	2400.0	0.486	14.58	13.5%	14.5%	14.5%	0.00864	4.20	9.76	5.56	643.52	141.6	5.000	0.579	92.59	12.0%	12.0%	9.0%		
11	LVL	300	1200	2400.0	0.486	14.58	14.0%	15.0%	14.0%	0.00864	4.20	9.80	5.60	648.15	142.6	5.000	0.579	92.59	10.5%	15.0%	8.5%		
12	LVL	300	1200	2400.0	0.481	14.44	14.0%	15.0%	13.0%	0.00864	4.16	9.76	5.60	648.15	142.6	4.960	0.574	92.59	12.5%	12.5%	8.5%		
13	LVL	300	1200	2400.0	0.514	15.42	13.0%	14.5%	14.5%	0.00864	4.44	9.70	5.26	608.80	133.9	5.140	0.595	81.02	12.5%	15.0%	8.0%		
14	LVL	300	1200	2400.0	0.514	15.42	14.5%	13.0%	14.0%	0.00864	4.44	9.72	5.28	611.11	134.4	5.140	0.595	81.02	9.0%	12.5%	10.5%		
15	LVL	300	1200	2400.0	0.493	14.79	14.5%	14.5%	13.5%	0.00864	4.26	9.52	5.26	608.80	133.9	5.060	0.586	92.59	12.0%	11.5%	9.0%		
16	LVL	300	1200	2400.0	0.484	14.51	13.5%	13.0%	13.5%	0.00864	4.18	9.44	5.26	608.80	133.9	4.980	0.576	92.59	9.5%	13.5%	13.5%		
17	LVL	300	1200	2400.0	0.488	14.65	13.5%	15.5%	14.0%	0.00864	4.22	9.84	5.62	650.46	143.1	5.060	0.586	97.22	11.0%	9.0%	12.0%		
18	LVL	300	1200	2400.0	0.495	14.86	13.0%	13.0%	13.5%	0.00864	4.28	9.78	5.50	636.57	140.0	5.100	0.590	94.91	10.5%	11.0%	12.0%		
19	LVL	300	1200	2400.0	0.488	14.65	14.5%	14.0%	13.0%	0.00864	4.22	9.74	5.52	638.89	140.6	5.040	0.583	94.91	12.5%	15.0%	9.0%		
20	LVL	300	1200	2400.0	0.493	14.79	13.0%	15.0%	14.5%	0.00864	4.26	9.64	5.38	622.69	137.0	5.020	0.581	87.96	11.0%	13.5%	12.5%		
21	LVL	300	1200	2400.0	0.493	14.79	14.0%	14.5%	14.0%	0.00864	4.26	9.72	5.46	631.94	138.0	5.020	0.581	87.96	9.0%	9.5%	10.0%		
22	LVL	300	1200	2400.0	0.486	14.58	14.0%	15.5%	14.0%	0.00864	4.20	9.66	5.46	631.94	139.0	4.960	0.574	87.96	10.0%	10.5%	12.5%		
23	LVL	300	1200	2400.0	0.505	15.14	14.0%	13.5%	13.0%	0.00864	4.36	9.64	5.28	611.11	134.4	5.060	0.586	81.02	10.5%	10.5%	9.5%		
24	LVL	300	1200	2400.0	0.507	15.21	13.5%	15.5%	14.0%	0.00864	4.38	9.66	5.28	611.11	134.4	5.100	0.590	83.33	9.5%	14.5%	8.5%		
25	LVL	300	3150	2400.0	0.496	14.87	13.5%	15.5%	14.5%	0.02268	11.24	25.16	13.92	613.76	135.0	13.640	0.601	105.82	11.5%	13.0%	10.0%		
26	LVL	300	3150	2400.0	0.494	14.81	14.0%	13.5%	14.5%	0.02268	11.20	25.00	13.80	608.47	133.9	13.720	0.605	111.11	11.0%	12.5%	10.5%		
27	LVL	300	3150	2400.0	0.499	14.97	13.5%	14.0%	13.5%	0.02268	11.32	25.02	13.70	604.06	132.9	13.840	0.610	111.11	10.5%	14.0%	13.5%		
28	LVL	300	3150	2400.0	0.490	14.71	14.0%	13.0%	14.5%	0.02268	11.12	25.32	14.20	626.10	137.7	13.580	0.599	108.47	9.5%	10.5%	12.0%		
29	LVL	300	3150	2400.0	0.484	14.52	14.0%	15.5%	13.5%	0.02268	10.98	25.20	14.22	626.98	137.9	13.160	0.580	96.12	9.5%	11.5%	13.0%		
30	LVL	300	3150	2400.0	0.481	14.42	14.0%	14.0%	14.0%	0.02268	10.90	25.16	14.26	628.75	138.3	13.160	0.580	99.65	9.0%	9.0%	9.0%		
31	LVL	300	3150	2400.0	0.494	14.81	14.5%	15.0%	14.0%	0.02268	11.20	25.36	14.16	624.34	137.4	13.560	0.598	104.06	11.0%	11.5%	11.5%		
32	LVL	300	3150	2400.0	0.498	14.95	14.0%	15.5%	13.0%	0.02268	11.30	25.60	14.30	630.51	138.7	13.740	0.606	107.58	9.0%	11.0%	12.5%		
33	LVL	300	3150	2400.0	0.496	14.89	14.5%	13.5%	13.0%	0.02268	11.26	25.52	14.26	628.75	138.3	13.660	0.602	105.82	10.0%	14.0%	12.5%		
34	LVL	300	3150	2400.0	0.494	14.81	13.5%	12.5%	14.0%	0.02268	11.20	25.48	14.28	629.63	138.5	13.720	0.605	111.11	11.0%	14.5%	8.5%		
35	LVL	300	3150	2400.0	0.495	14.84	12.5%	14.0%	13.0%	0.02268	11.22	25.36	14.14	623.46	137.2	13.660	0.602	107.58	11.5%	15.0%	13.0%		
36	LVL	300	3150	2400.0	0.493	14.79	13.0%	13.0%	13.0%	0.02268	11.18	25.30	14.12	622.57	137.0	13.680	0.603	110.23	9.0%	10.0%	13.5%		
37	LVL	300	3150	2400.0	0.493	14.79	14.0%	14.0%	14.0%	0.02268	11.18	24.70	13.52	596.12	131.1	13.540	0.597	104.06	10.5%	9.0%	10.5%		
38	LVL	300	3150	2400.0	0.510	15.29	12.0%	13.0%	14.5%	0.02268	11.56	24.78	13.22	582.89	128.2	13.800	0.608	98.77	11.5%	14.5%	13.0%		
39	LVL	300	3150	2400.0	0.499	14.97	13.0%	14.5%	14.0%	0.02268	11.32	24.64	13.32	587.30	129.2	13.740	0.606	106.70	10.0%	13.5%	12.5%		
40	LVL	300	3150	2400.0	0.517	15.50	13.0%	14.0%	14.0%	0.02268	11.72	25.56	13.84	610.23	134.3	14.160	0.624	107.58	9.5%	11.5%	11.0%		
41	LVL	300	3150	2400.0	0.509	15.26	13.0%	15.0%	13.0%	0.02268	11.54	25.08	13.54	597.00	131.3	13.760	0.607	97.88	11.0%	14.5%	12.0%		
42	LVL	300	3150	2400.0	0.517	15.50	13.5%	13.0%	13.5%	0.02268	11.72	25.08	13.36	589.07	129.6	13.960	0.616	98.77	9.5%	11.0%	8.0%		
43	LVL	300	3150	2400.0	0.483	14.50	13.0%	14.0%	13.5%	0.02268	10.96	24.90	13.94	614.64	135.2	13.420	0.592	108.47	9.0%	13.0%	9.0%		
44	LVL	300	3150	2400.0	0.491	14.74	14.5%	14.5%	13.5%	0.02268	11.14	24.82	13.68	603.17	132.7	13.500	0.595	104.06	10.0%	13.0%	13.0%		
45	LVL	300	3150	2400.0	0.492	14.76	12.5%	14.0%	14.0%	0.02268	11.16	24.88	13.72	604.94	133.1	13.560	0.598	105.82	9.0%	13.5%	9.5%		
46	LVL	300	3150	2400.0	0.486	14.58	13.5%	14.5%	13.5%	0.02268	11.02	25.10	14.08	620.81	136.6	13.560	0.598	111.99	9.5%	11.5%	10.5%		
47	LVL	300	3150	2400.0	0.489	14.68	14.0%	14.5%	14.5%	0.02268	11.10	25.02	13.92	613.76	135.0	13.640	0.601	111.99	12.0%	9.0%	12.0%		
48	LVL	300	3150	2400.0	0.486	14.58	13.0%	13.0%	13.5%	0.02268	11.02	24.90	13.88	611.99	134.6	13.480	0.594	108.47	11.5%	14.0%	9.5%		
49	LVL	300	3150	2400.0	0.489	14.66	14.0%	13.5%	13.0%	0.02268	11.08	24.70	13.62	600.53	132.1	13.500	0.595	106.70	12.0%	10.5%	12.5%		
50	LVL	300	3150	2400.0	0.501	15.03	14.5%	15.5%	13.0%	0.02268	11.36	24.74	13.38	589.95	129.8	13.680	0.603	102.29	10.5%	10.5%	13.0%		
51	LVL	300	3150	2400.0	0.496	14.89	13.5%	15.0%	14.5%	0.02268	11.26	24.74	13.48	594.36	130.8	13.620	0.601	104.06	10.0%	15.0%	11.0%		
52	LVL	300	3150	2400.0	0.510	15.29	13.0%	15.5%	13.5%	0.02268	11.56	25.24	13.68	603.17	132.7	14.040	0.619	109.35	10.0%	11.5%	8.5%		
53	LVL	300	3150	2400.0	0.505	15.16	12.0%	14.5%	14.5%	0.02268	11.46	25.12	13.66	602.29	132.5	13.880	0.612	106.70	12.5%	12.0%	11.0%		
54	LVL	300	3150	2400.0	0.509	15.26	13.0%	13.0%	14.5%	0.02268	11.54	25.04	13.50	595.24	131.0	13.920	0.614	104.94	10.5%	10.0%	10.0%		
55	LVL	300	3150	2400.0	0.510	15.29	12.0%	13.0%	13.0%	0.02268	11.56	24.66</											

3. 3 被覆材の2次接着

含浸し乾燥したスギ LVL を60mm厚の被覆材とするため、耐火性能の高いレゾルシノール樹脂を使用して2次接着を行った。2次接着はオーシカ大阪工場で行った。

接着剤：レゾルシノール樹脂系

塗布量：300±30g/m² 以下

圧縮圧：0.98 MPa (10kgf/cm²)

養生期間：解圧後 24 時間以上



写真 3.3.1 2次接着前のLVL



写真 3.3.2 レゾルシノール樹脂塗布



写真 3.3.3 圧縮



写真 3.3.2 被覆材

4. 1時間耐火性能の検討

本事業では、1時間耐火構造・小断面梁の大臣認定取得を目標として仕様を検討、性能評価試験に合格した。表 2.1 に検討した耐火構造の仕様一覧を示した。2019年8月に建築研究所の水平炉にて、難燃薬剤処理 LVL を側面 60mm 厚、下面を 90mm 厚とした梁を検討、1時間耐火の性能を有する可能性が得られた。荷重支持部材の樹種は当初スギを想定していたが、非住宅案件で使用されることが多い、標準で得られる強度等級区分がスギより高いカラマツとした。運用上、被覆材の縦目地を増やした仕様にて、11月に大阪の日本建築総合試験所の水平炉で性能評価試験を想定した梁の耐火試験を行い、良好な結果を得た。これらの仕様を総合的に判断した結果、11月の仕様を本番仕様とし、2020年1月と2月に性能評価試験を大阪の日本建築総合試験所で行った。2回とも1時間耐火構造の性能を有した。また、大断面梁での確認試験を2020年1月に秋田の水平炉で行い、良好な結果を得た。被覆材の横目地を設けても問題ないこと、梁上端の耐火構造が木造を想定した仕様にした場合に LVL の被覆材と石膏ボード被覆の取り合いが耐火性能上問題ないことを確認した。

表 4.1 検討した耐火梁の仕様一覧

		(参考)1H耐火柱	1H耐火(梁)		実施				
進捗			開発目標		予備試験 @建研8/20	予備試験 @GBRC池田11/5	予備試験 @秋田 1/15	本試験1体目/2体 @GBRC 1/30	本試験2体目/2体 @GBRC 2/27
結果・予定		2019.5月 認定番号取得	3面加熱 今年検討(小断面) 来年で降検討(大断面)	小断面 予備試験 性能 ○(360分)	小断面 予備試験 性能 ○(1320分)	大断面 予備試験 性能 ○(480分)	小断面 性能評価 性能 ○(1320分)	小断面 性能評価 性能 ○(1320分)	
仕様	部位	独立柱	耐火床+下側面3面	耐火床(ALC100mm厚)+下側面3面表し (大断面@秋田での床は、24mm合板+ビス留め+耐火床告示仕様(25mm+21mm石膏ボード))					
	長さ	制限なし(実質4Mまで)	制限なし 構造計算による	曲げスパン5.7M		曲げスパン5.1M			
	荷重支持部材	樹種	スギ・カラマツ	樹種指定なしで要望中 (指定の場合カラマツ)	カラマツ	カラマツ	カラマツ	カラマツ	
		断面	150角~600角 扁平柱可能(150×600)	105×210 ~ 240×1200(試験可能 断面 せい1000まで)	最小断面105×210	105×210	210×700	105×210	
	使用環境	使用環境C以上		使用環境C	使用環境C	使用環境A	使用環境C		
被覆材 難燃薬剤含浸 スギLVL	厚み	60mm	60mm	60mm(側面) 90mm(下面)	60mm(側面) 90mm(下面)	60mm(側面) 90mm(下面)	60mm(側面) 90mm(下面)		
	幅 (最大)	360mm		300mm	300mm	400mm	300mm		
	含浸量	最小142kg/m ³ 以上 平均146kg/m ³ 以上	柱と同程度	含浸量130~140kg/m ³					
	横目地	無	無(~せい300) 有(せい300-1200)	無	無	有(2か所)	無		
	縦目地	無(~240角) 有(240角-600角)	3か所まで?	有 中心1か所	有 3か所 (1/4点、中心)				
	床との 目地	—		つきつけ	つきつけ				
	留付具	ビス+木栓	ビス+木栓	ビス+木栓	ビス+木栓				
	接着剤	現場用ウレタン樹脂	現場用ウレタン樹脂	現場用ウレタン樹脂	現場用ウレタン樹脂				
化粧材	樹種	木材	木材	無	無				
	厚み	0~15mm	0~15mm						
塗装		ほぼすべての種類	ほぼすべての種類	無	無	無	塗装300g/m ²		

4. 1 小断面梁・仕様検討1回目

4. 1. 1 はじめに

令和元年5月に大臣認定を取得したLVL被覆1時間耐火構造(柱)の被覆方法を基本として1時間耐火梁の耐火試験を実施した。被覆材厚は60mmとし、現場用ウレタン樹脂とビスにて梁に取り付けた。

4. 1. 2 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した3面加熱の試験体は、建築研究所の水平炉を使用し、一般社団法人日本建築総合試験所の「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して載荷加熱試験を行った。図1-1に水平炉の試験装置図を示した。試験実施日は令和元年8月20日であった。

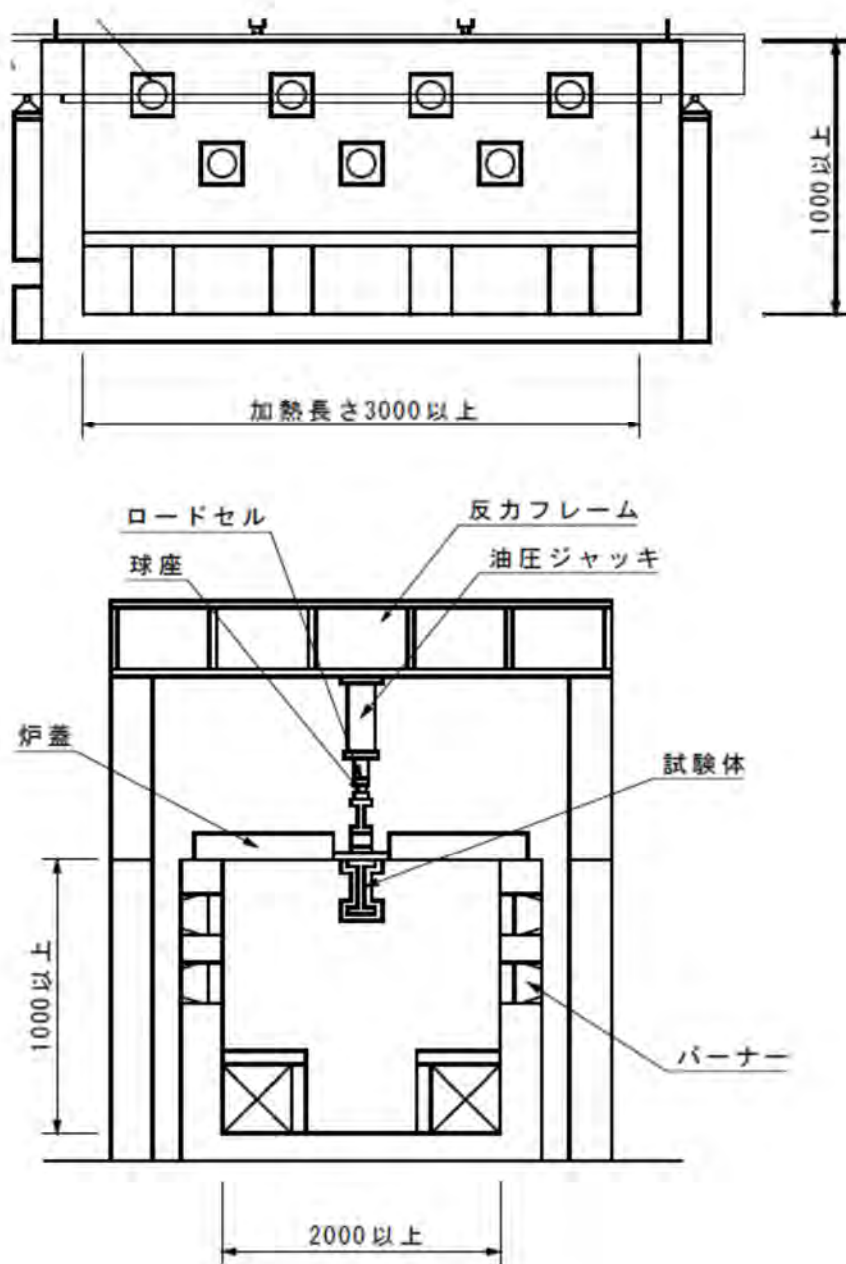


図 1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合、または内部温度が炭化温度を大幅に超えた場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重は、集成材 E105-F300 の基準曲げ強度($F_b=11.0\text{N/mm}^2$)より長期許容曲げ応力度がはりにかかるよう、算出した。3等分点4点荷重のうち、1か所あたり 4.72kN を載荷した。

(3) 測定項目

①試験体内部温度

②炉内温度

③軸方向収縮(変形)量

④炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて乾燥した後の重量から、含水率を測定した。

⑥その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 1. 3 試験体概要

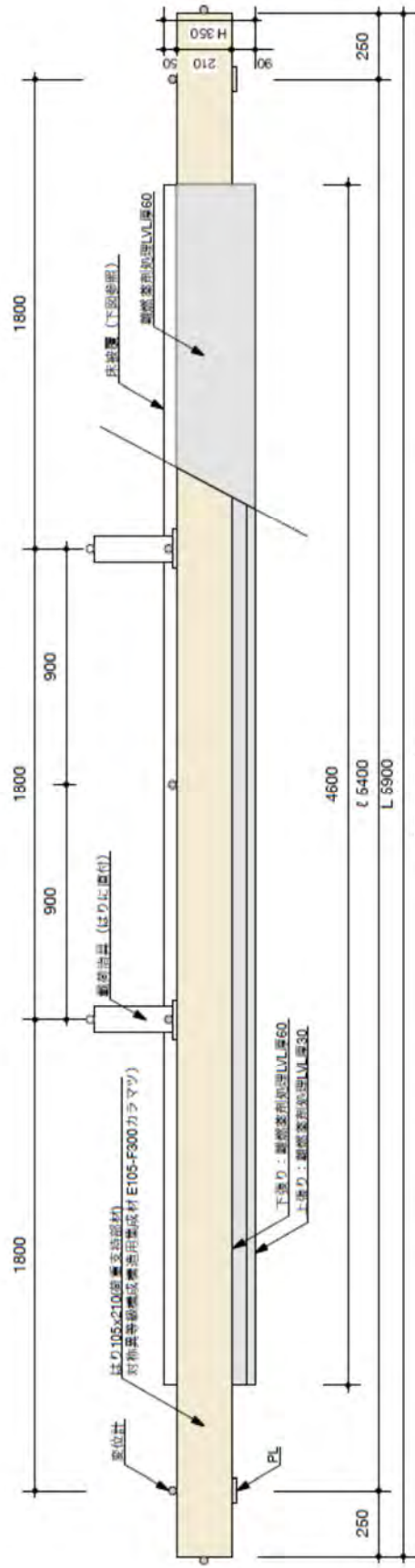
試験体は断面寸法 105×210 mmの異等級構成構造用集成材を構造部材とし、載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を表 3-1～2 と図 3-1～3 に、製作時の様子を写真 3-1～2 に示した。

表 3-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

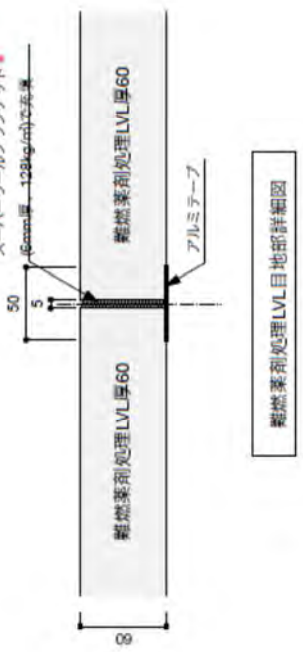
項目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 異等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 カラマツ・密度 0.55g/cm³(気乾、実測値)・断面寸法 105×210
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 130-140kg/m³・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 3-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
留付材	[1]被覆材留付用 [1]-1 ねじ <ul style="list-style-type: none">・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの)・寸法 φ3.8 mm×L51 mm・留付間隔 200 以下 [1]-2 接着剤 <ul style="list-style-type: none">・材質 ウレタン系樹脂接着剤・塗布量 300g/m² [1]-3 木栓 <ul style="list-style-type: none">・材質 ブナ(広葉樹)・寸法 φ10
表面塗装	[1]アクリル・ウレタン樹脂系塗料 <ul style="list-style-type: none">・塗布量 300g/m²



立断面



●具体的には
 新日本セーマルセラミックス(株)
 スーパーウォールプラス 128kg/m³ 6mm厚

メーカーによると、
 ・プラス(1200°C)とHT(1300°C)では、この使用目的では性能に大差はない
 ・供給はプラスの方がしやすい(国内製)
 とのことです。

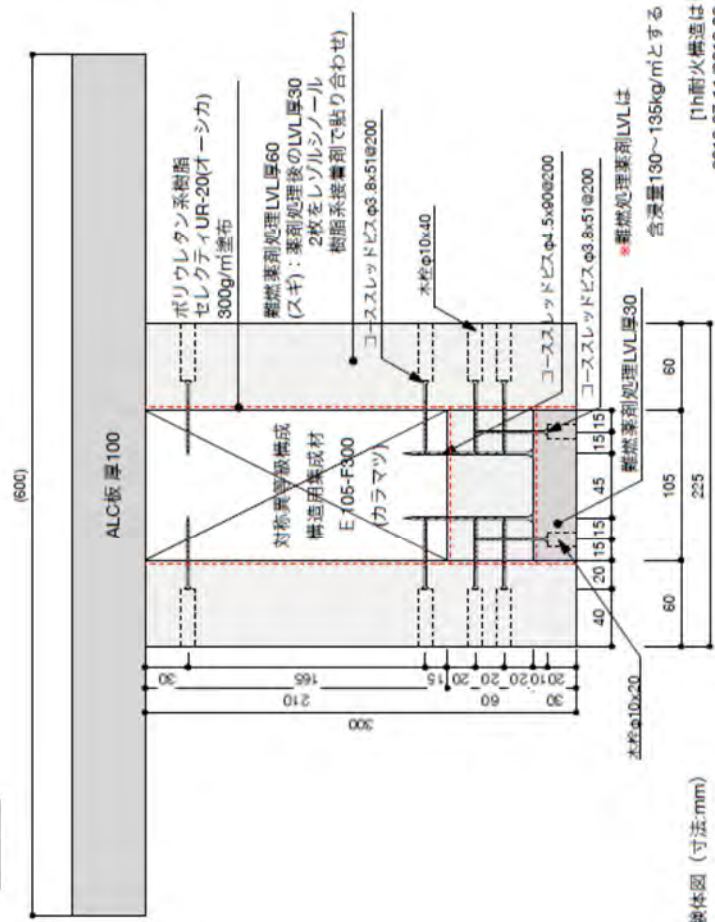
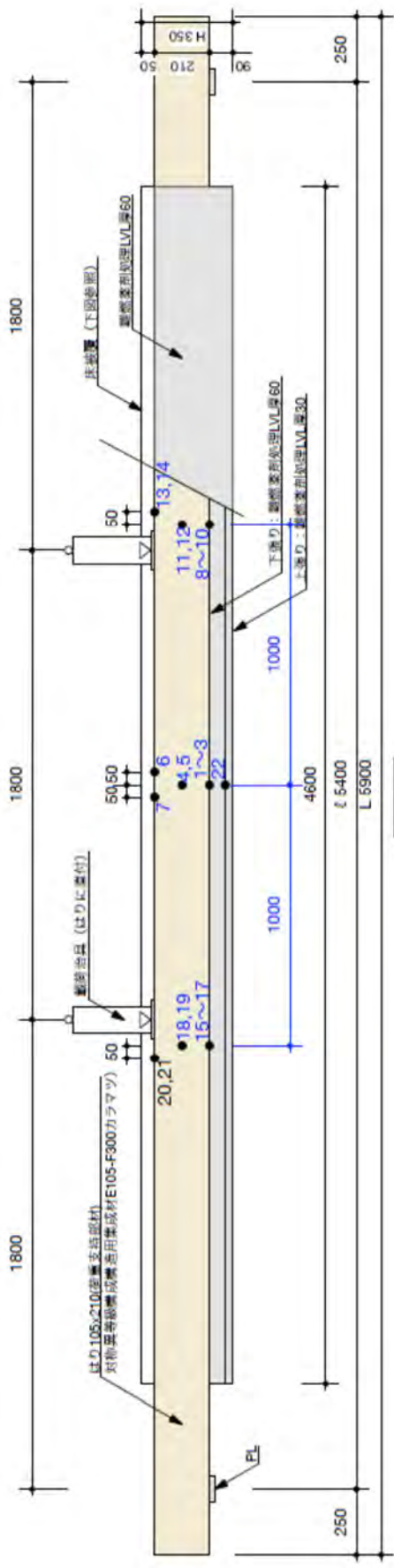


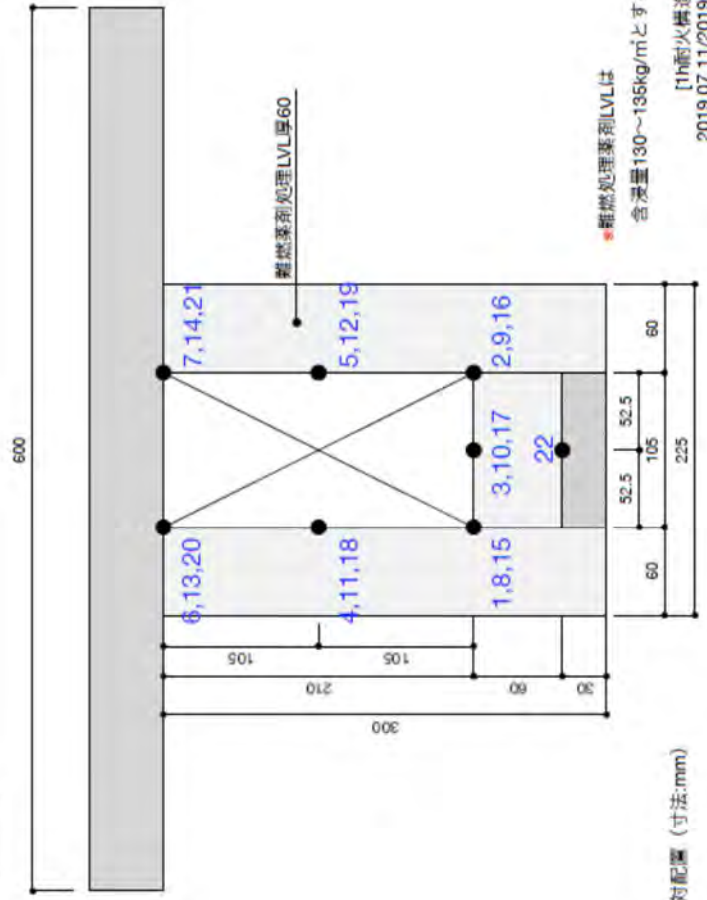
図-1 試験体1 試験体図 (寸法:mm)

●難燃薬剤処理LVLは
 含炭量130~135kg/m³とする
 [1h耐火構造はり]
 2019.07.11/2019.08.19

図 3-1 試験体の構造及び寸法



立面図



- 1~7 : はり表面温度 (はり中央部)
- 8~14 : はり表面温度 (はり右載荷部)
- 15~21 : はり表面温度 (はり左載荷部)
- 22 : 下張材表面温度 (はり載荷部/下張材目地部)

●難燃処理薬剤LVLは
含浸量130~135kg/m³とする
[1h耐火構造はり]
2019.07.11/2019.08.19

図-3 試験体1 熱電対配置 (寸法:mm)

図 3-3 試験体の構造及び寸法

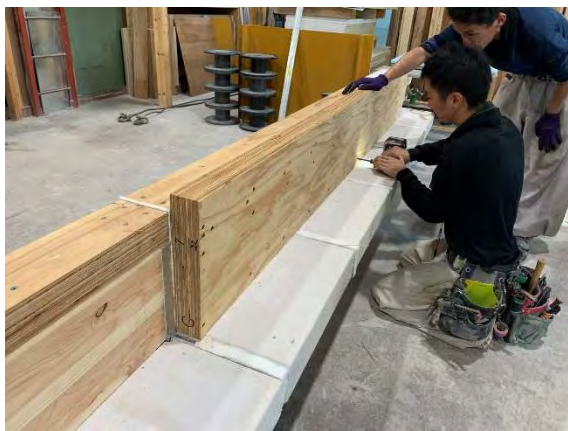
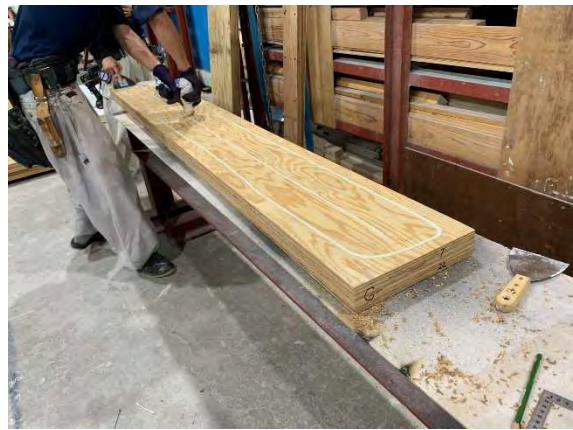


写真 3-1 製作時の様子

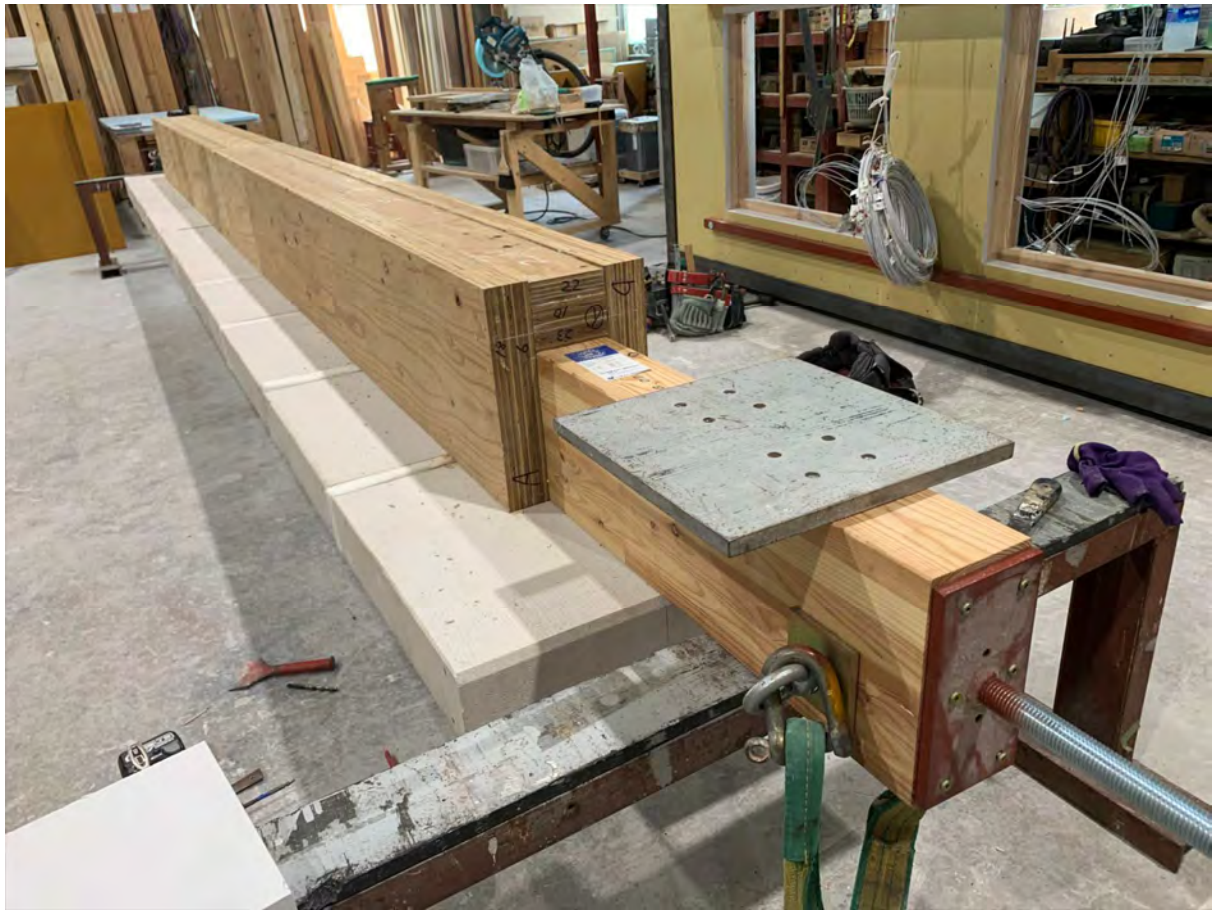


写真 3-2 製作時の様子

4. 1. 3 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後360分で各計測点の温度の下降と変形速度の安定を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図4-1、軸方向収縮量測定結果を図4-2、熱電対の内部温度曲線を図4-3に示す。記録写真を写真4-1～写真4-28に示す。

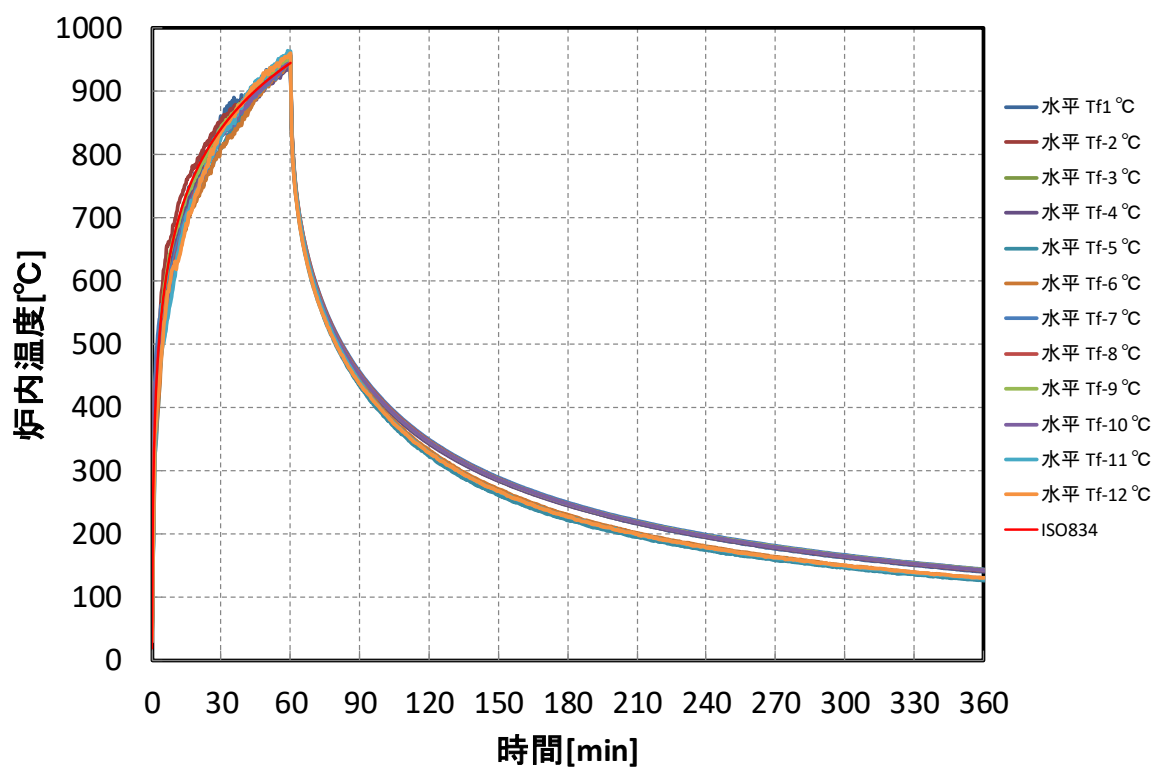


図 4-1 加熱温度測定曲線

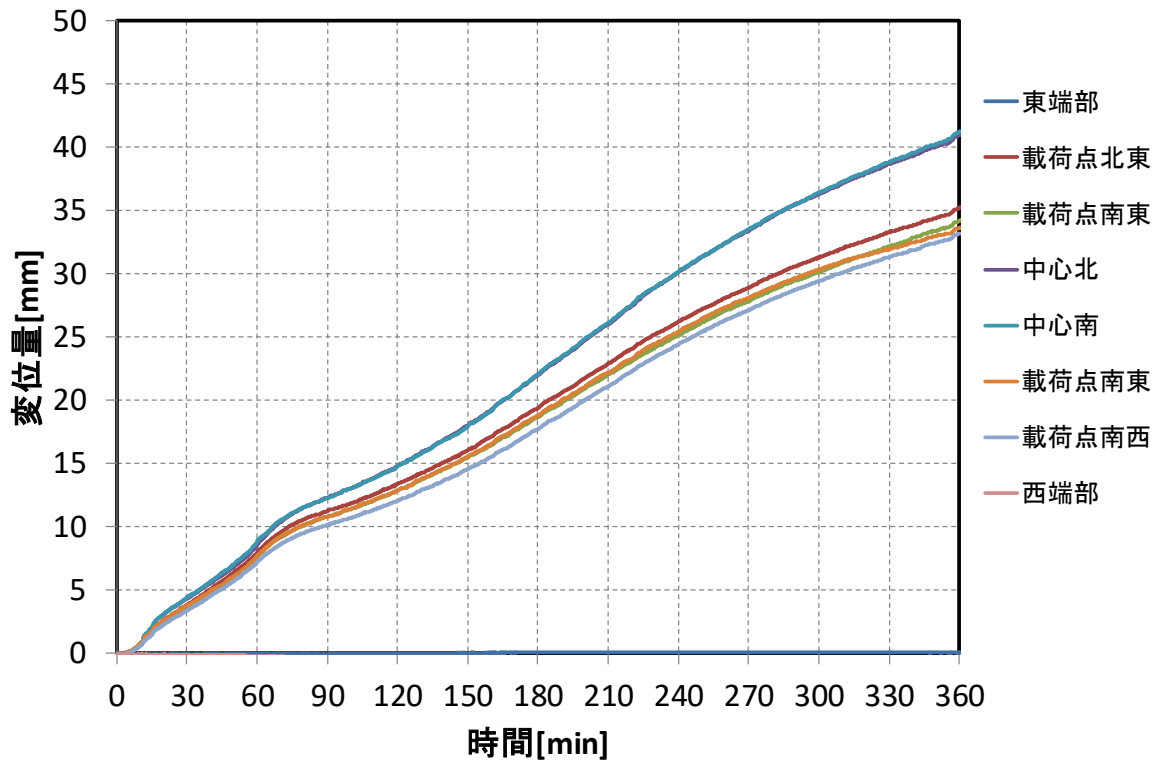


図 4-2 軸方向収縮量測定曲線

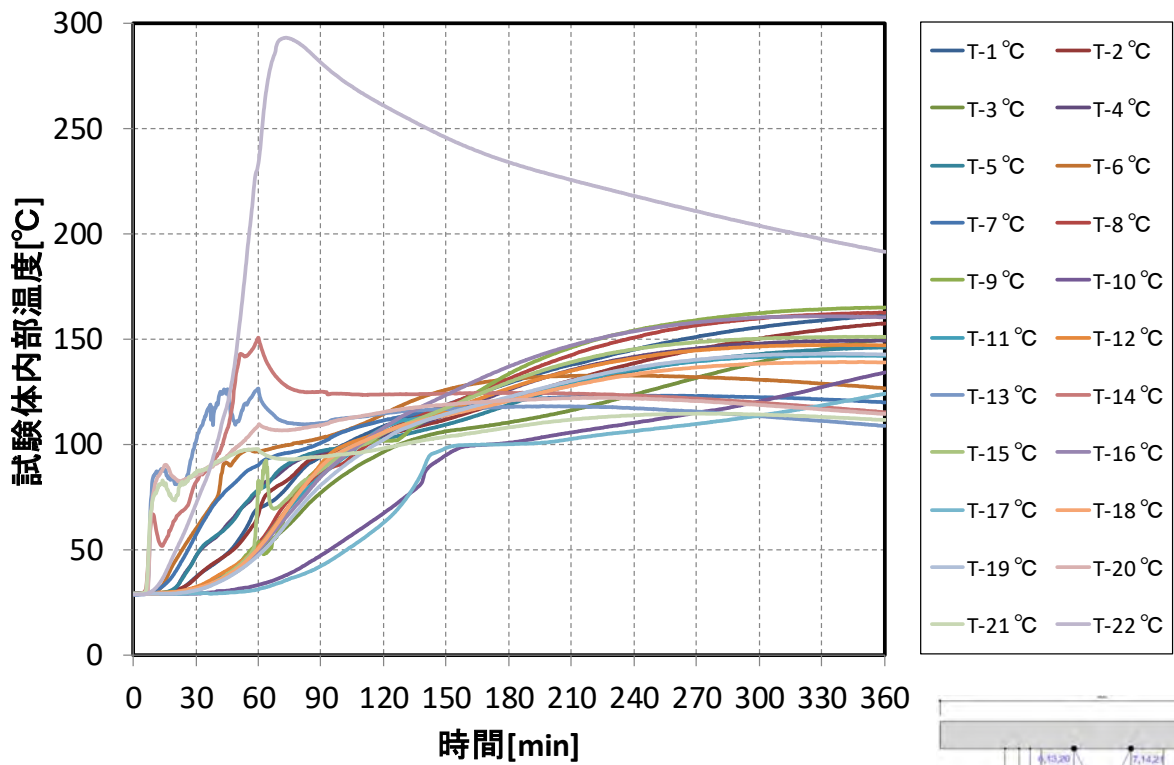
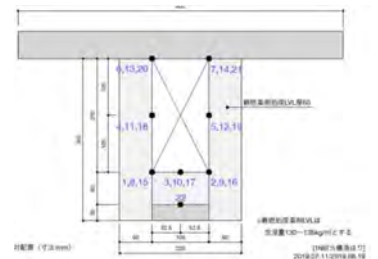


図 4-3 内部温度測定曲線 (全データ)



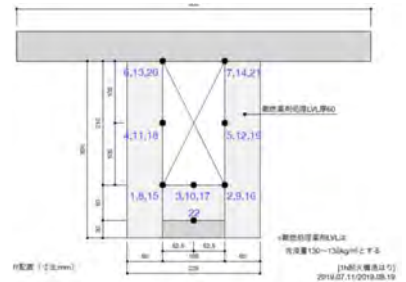
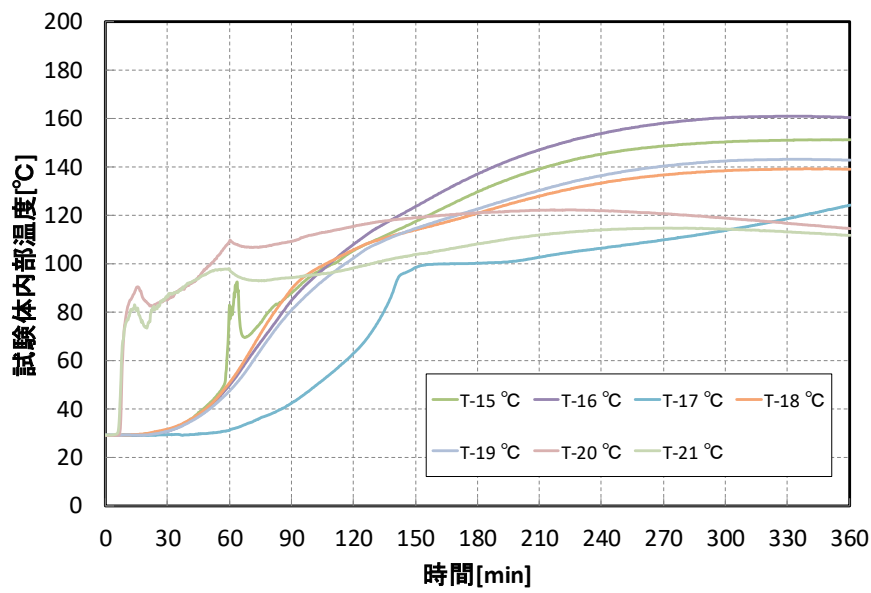
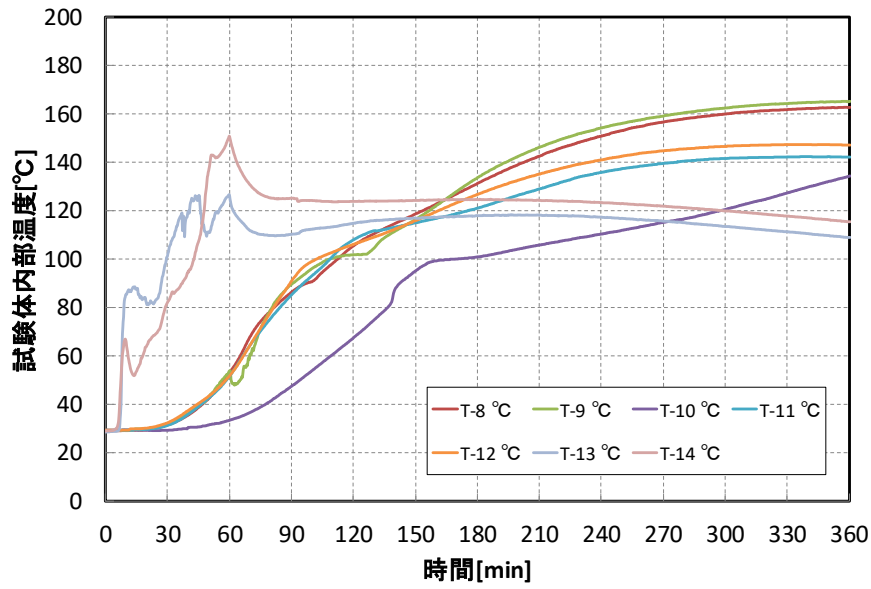
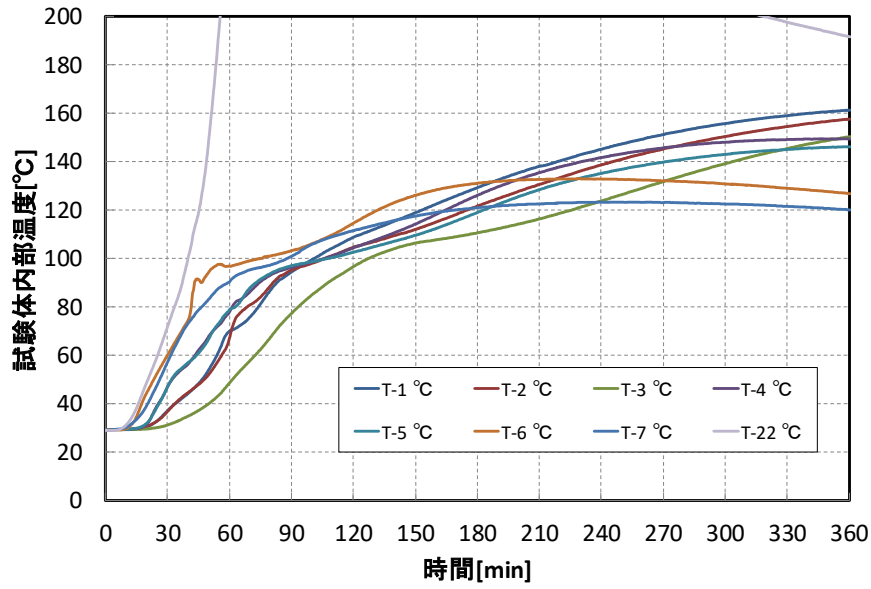


図 4-3 内部温度測定曲線 (部位毎)



写真 4-1 試験前 側面



写真 4-2 試験前 下面



写真 4-3 载荷と変位計



写真 4-4 端部支持状況



写真 4-5 加熱 10 分 薬剤の滴下



写真 4-6 加熱 10 分 滴下した薬剤

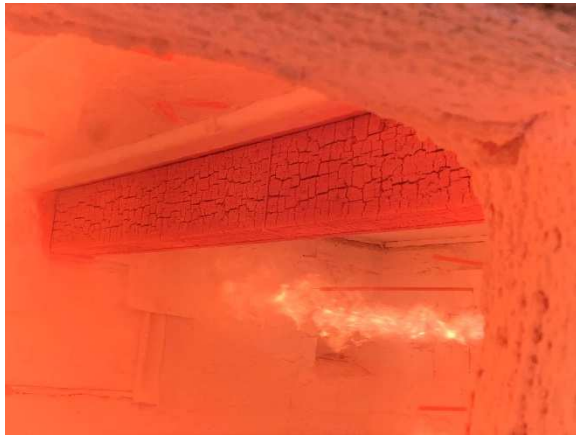


写真 4-7 加熱 59 分



写真 4-8 加熱 61 分 加熱停止直後



写真 4-9 加熱 360 分脱炉

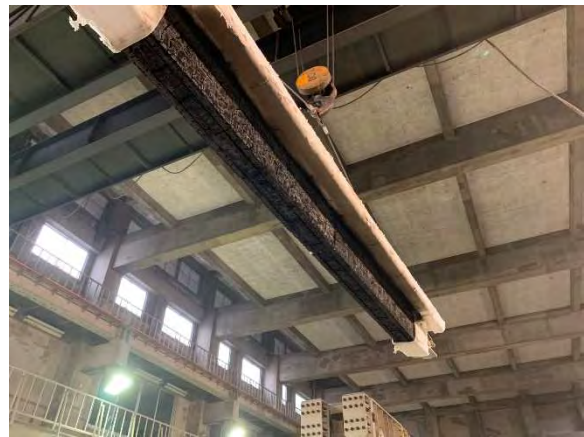


写真 4-10 脱炉直後 下面



写真 4-11 試験後側面

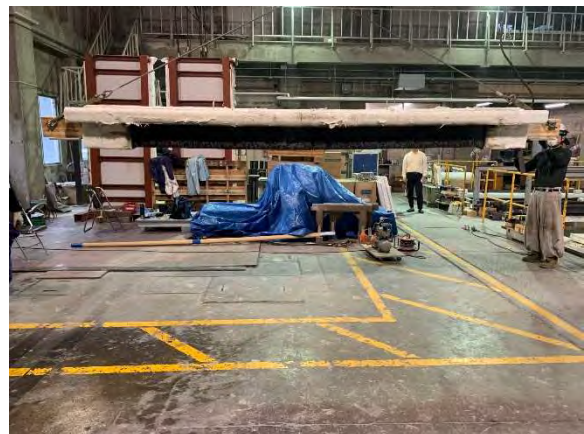


写真 4-12 試験後側面



写真 4-13 側面目地開き 20mm



写真 4-14 下面目地開き 18mm



写真 4-15 下面隅部開き 15mm



写真 4-16 側面と床の開き 8mm

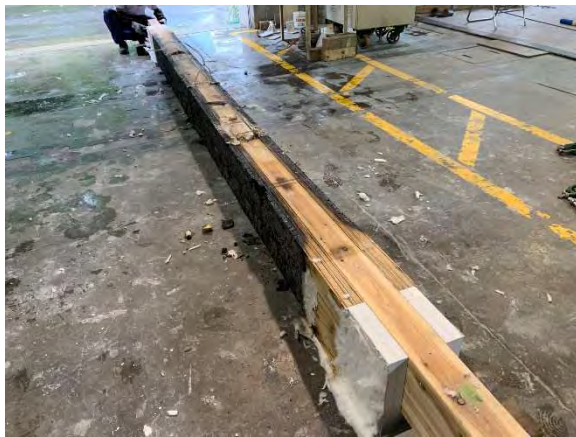


写真 4-17 ALC を剥がしたあと



写真 4-18 中間点の炭化度合



写真 4-19 载荷点下の炭化度合



写真 4-20 下面の炭化



写真 4-21 下面中間点



写真 4-22 下面載荷点下



写真 4-23 下面 突きつけ部



写真 4-24 下面 30mm 被覆を剥がした



写真 4-25 下面



写真 4-26 断面（載荷点下）被覆材剥がれ

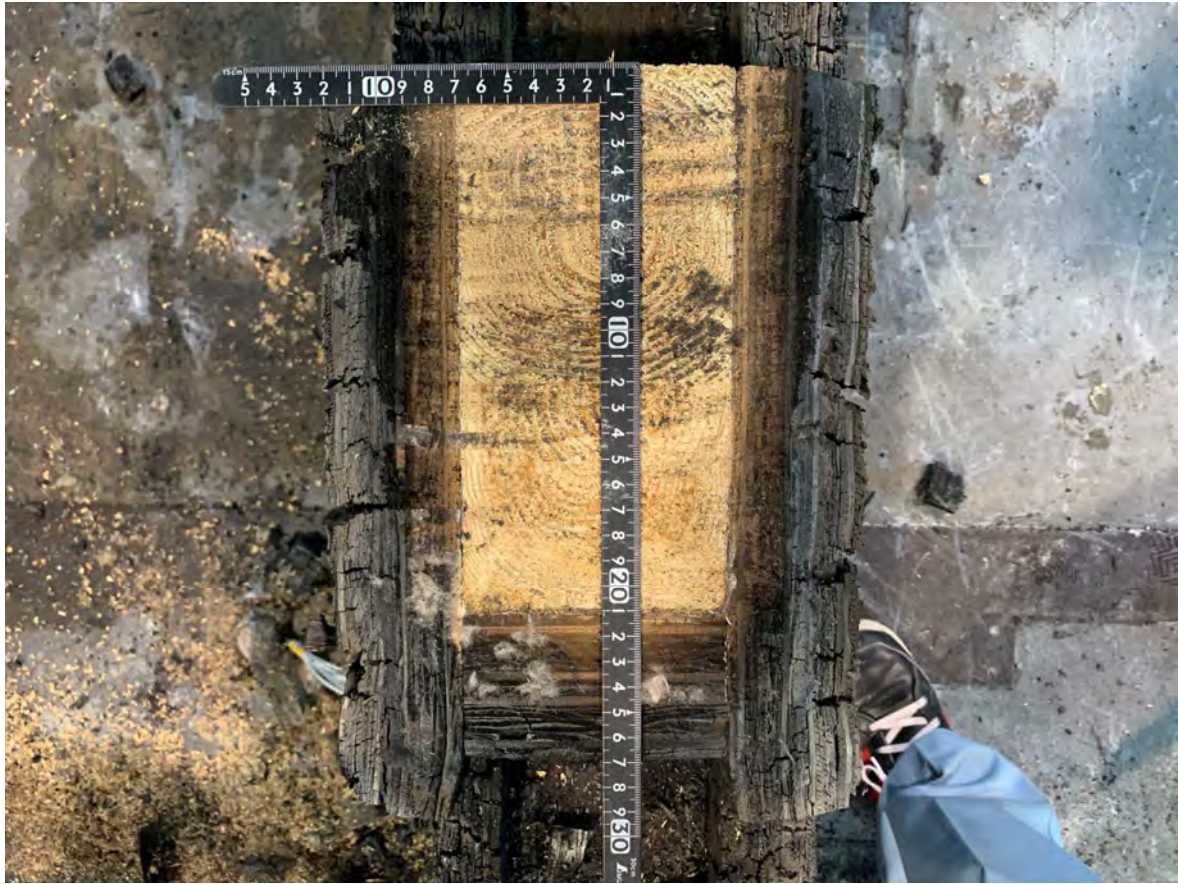


写真 4-27 断面（中間点 アルミ箔あり）



写真 4-28 断面（載荷点下）

(2) 考察

9時44分に加熱開始して一時間後である10時44分に加熱を終了した。加熱10分で被覆材表面から難燃薬剤が発泡・滴下し、水平炉底面に若干落ちているのが観察された。載荷点直下の床と被覆材間の荷重支持部材表面温度が上がっているのが観察され、加熱15分で20番は90℃に、加熱60分で14番は150℃まで上昇していた。載荷されることで床の600mm長で切られているALC板と2400mm長のLVL被覆材の間に若干の隙間が生じ、熱が入ったことが考えられる。加熱終了後は急激に温度が上がることなく、他部の温度に最終的に追従していた。この目地を強化する必要があると考える。

加熱開始後360分で脱炉した。隅部の最高温度は載荷点直下の9番で165℃、下部の平部の最高温度は中間点の3番で150℃、側面の平部の最高温度は4番の149℃であった。どの部位においても炭化の恐れがあると思われる260℃を超えていなかった。下部の平部は360分になっても温度が上がり続けており、本番試験では温度が下がる傾向がみられるまであと60分か90分ほどかかるかと推測された。

熱電対を設置した中間点、載荷点直下の断面を切って、荷重支持部材に炭化があるかを確認した。60mm厚の被覆材のうち平部では20mm前後、隅部では10mm前後を残して燃えとまっていることが確認できた。荷重支持はりの炭化は見られなかった。

(3) 次回の仕様について

今回は11月に大阪日本建築総合試験所で予備試験を行う予定である。縦目地は今回は1カ所であったが、1/4点の3カ所に増やすことを考えている。横目地の有無（はりせい方向に継ぎ手を設けるか）、加熱途中に見られた床と被覆材の目地の強化方法を検討する必要がある。

4. 2 小断面梁・仕様検討2回目

4. 2. 1 はじめに

令和元年8月に建築研究所で試験を行ったLVL被覆1時間耐火構造(梁)の仕様に基づき、実際の運用を想定した仕様の1時間耐火梁の耐火試験を大阪池田市の日本建築総合試験所で実施した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は $140\text{--}145\text{ kg/m}^3$ とし、30mm厚の単板積層材を2次接着して、現場用ウレタン樹脂とビスにて梁に取り付けた。仕様に関して前回との大きな違いは、目地を中間点と四分の一点の計3か所に増やしたのと、梁下面の2層被覆の目地をずらさずに同位置としたことである。

4. 2. 2 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した3面加熱の試験体は、日本建築総合試験所の水平炉を使用し、一般社団法人日本建築総合試験所の「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して載荷加熱試験を行った。図1-1に水平炉の試験装置図を示した。試験実施日は令和元年11月5日であった。

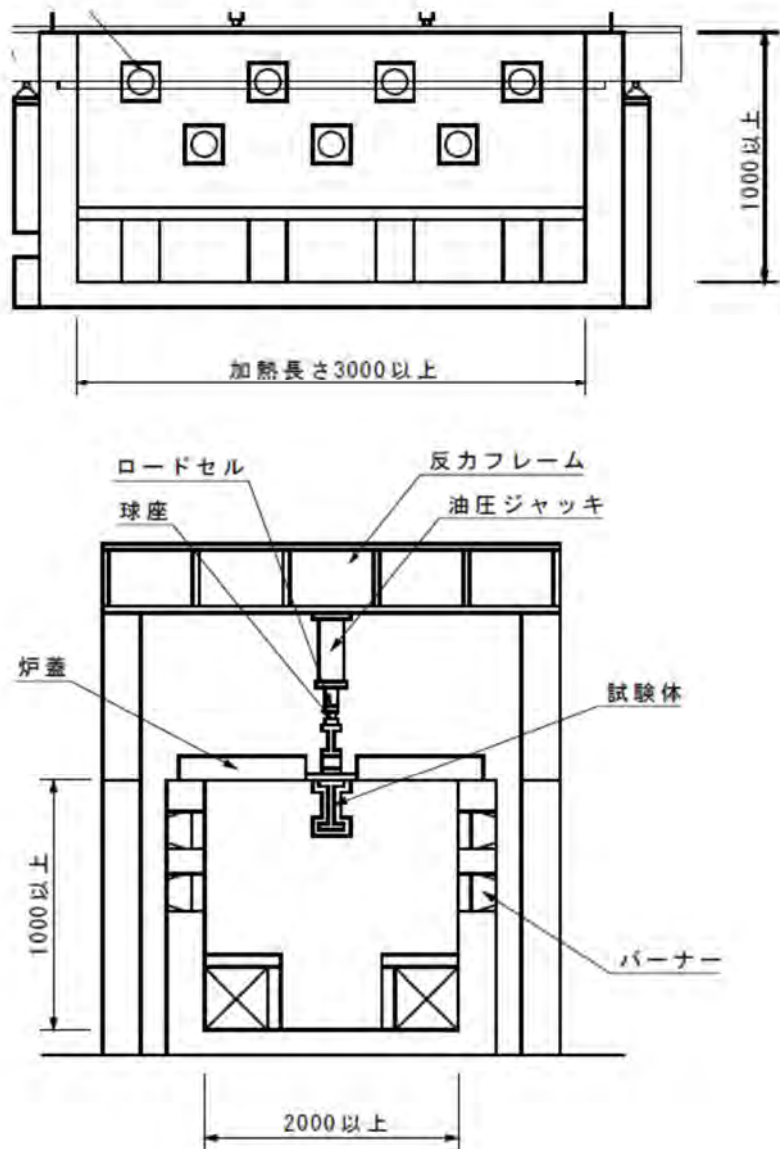


図 1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。たわみ変形が進み、載荷の継続が困難となった場合、または内部温度が炭化温度を大幅に超えた場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重は、集成材 E105-F300 の基準曲げ強度($F_b=11.0\text{N/mm}^2$)より長期許容曲げ応力度がはりにかかるよう、算出した。3等分点4点荷重のうち、1か所あたり 4.72kN を載荷した。

(3) 測定項目

①試験体内部温度

②炉内温度

③軸方向収縮(変形)量

④炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて乾燥した後の重量から、含水率を測定した。

⑥その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 2. 3 試験体概要

試験体は断面寸法 240×240 mmの同一等級構成構造用集成材を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を製作時の様子を表 3-1～2 と図 3-1～3、写真 3-1～2 に示す。

表 3-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 同一等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 カラマツ・密度 0.55g/cm³(気乾)・断面寸法 105×210
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 130-135kg/m³・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 3-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
留付材	<p>[1]被覆材留付用</p> <p>[1]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none">・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの)・寸法 φ3.8 mm×L51 mm・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none">・材質 ウレタン系樹脂接着剤・塗布量 300g/m² <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none">・材質 ブナ(広葉樹)・寸法 φ10
表面塗装	<p>[1]アクリル・ウレタン樹脂系塗料</p> <ul style="list-style-type: none">・塗布量 300g/m²

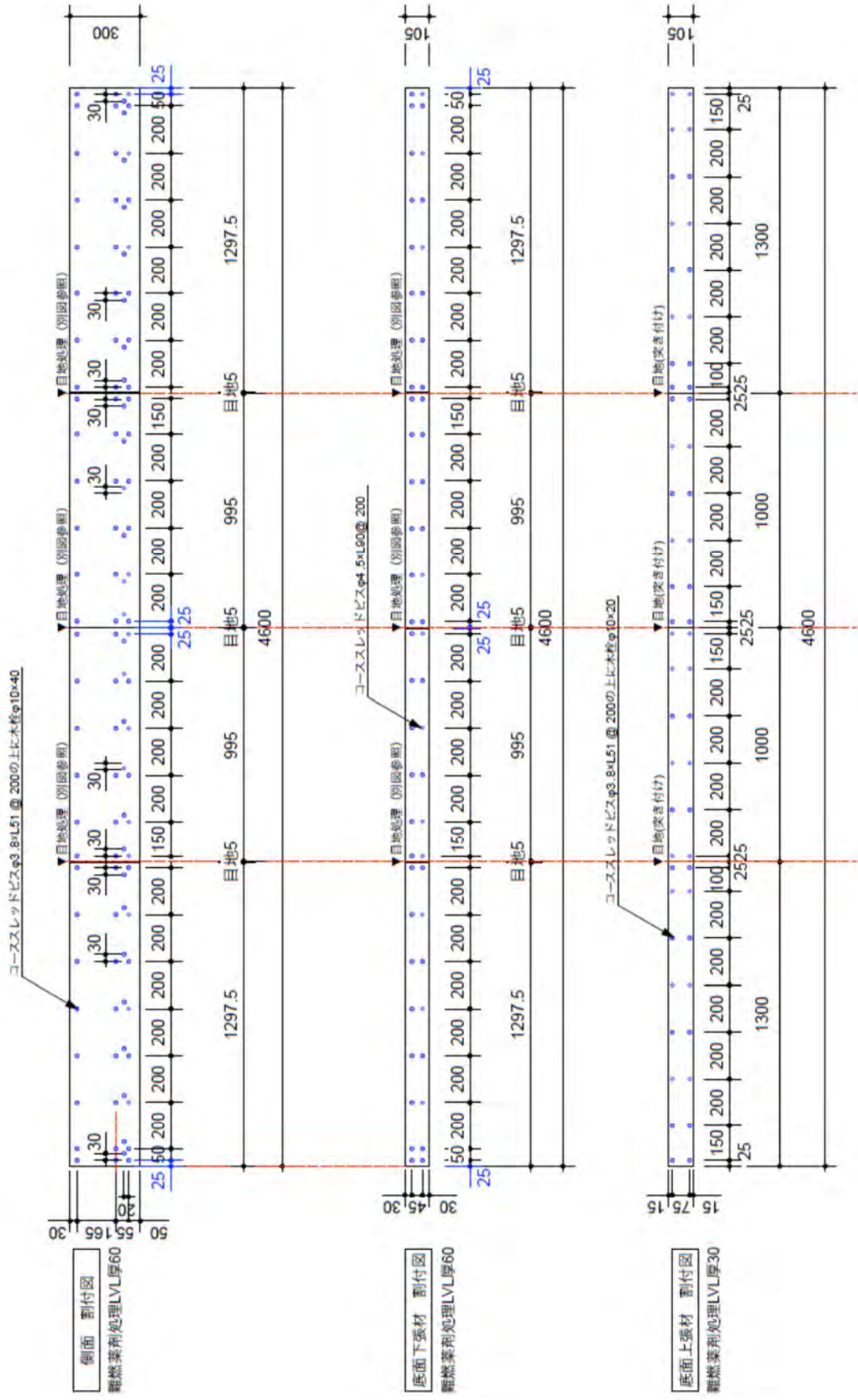
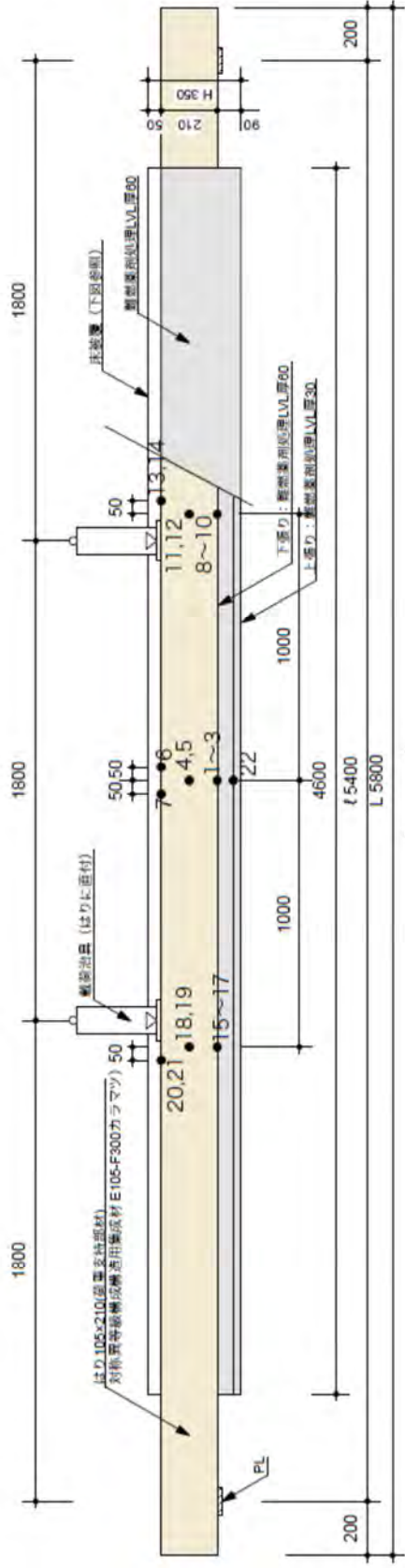


図-2 試験体1 割付図 (寸法:mm)

図 3-2 試験体の構造及び寸法



立面図

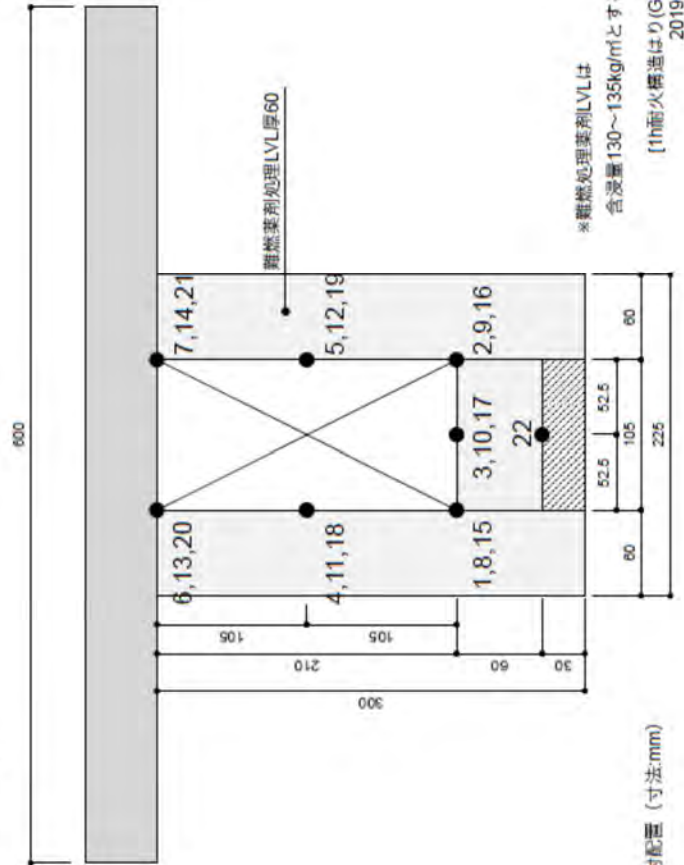


図-3 試験体1 熱應對配置 (寸法:mm)

- 1~7 : はり表面温度 (はり中央部)
- 8~14 : はり表面温度 (はり右載荷部)
- 15~21 : はり表面温度 (はり左載荷部)
- 22 : 下張材表面温度 (はり載荷部/下張材目地部)

*難燃処理薬剤LVLは
含浸量130~135kg/m³とする
[1h耐火構造はり(GBRC)]
2019.10.12

図 3-3 試験体の構造及び寸法

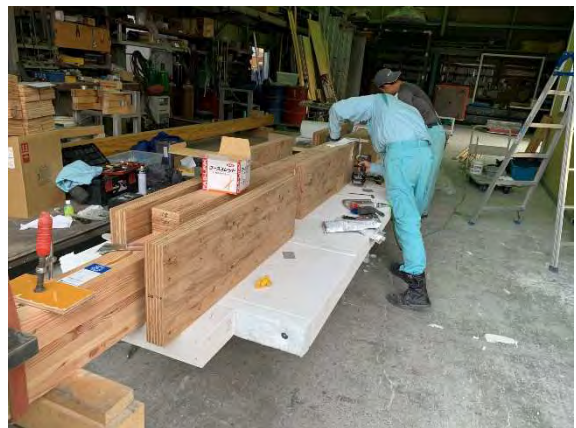


写真 3-1 製作時の様子



写真 3-2 製作時の様子

4. 2. 3 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後360分で各計測点の温度の下降と変形速度の安定を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図4-1、たわみ量測定結果を図4-2、熱電対の内部温度曲線を図4-3に示す。記録写真を写真4-1～写真4-36に示す。

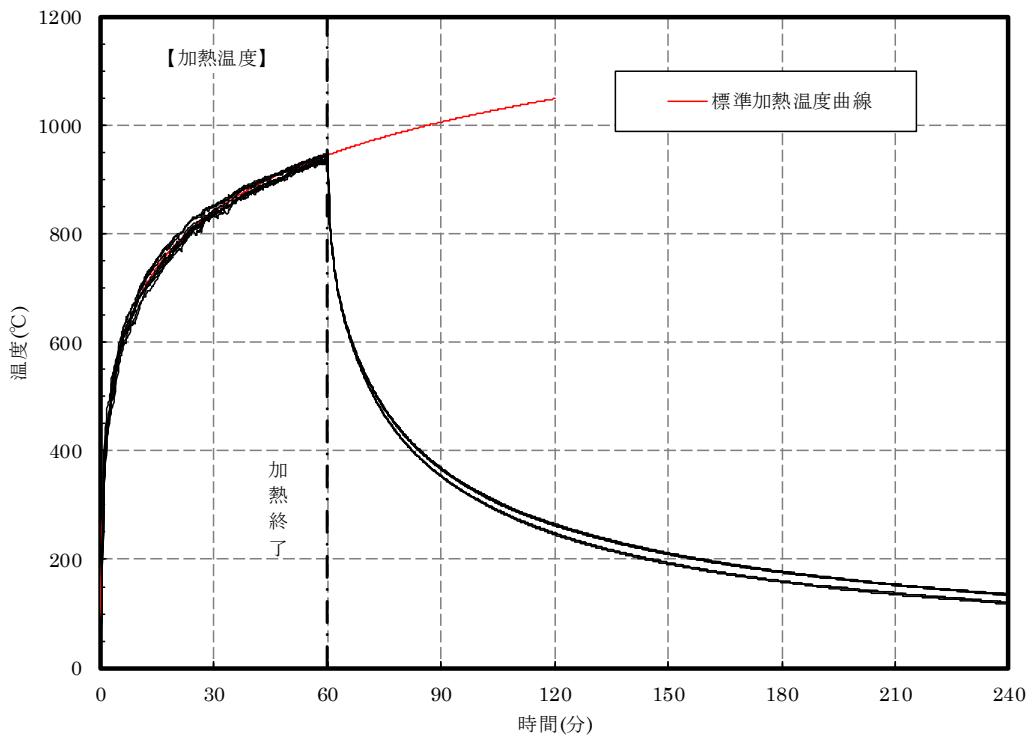
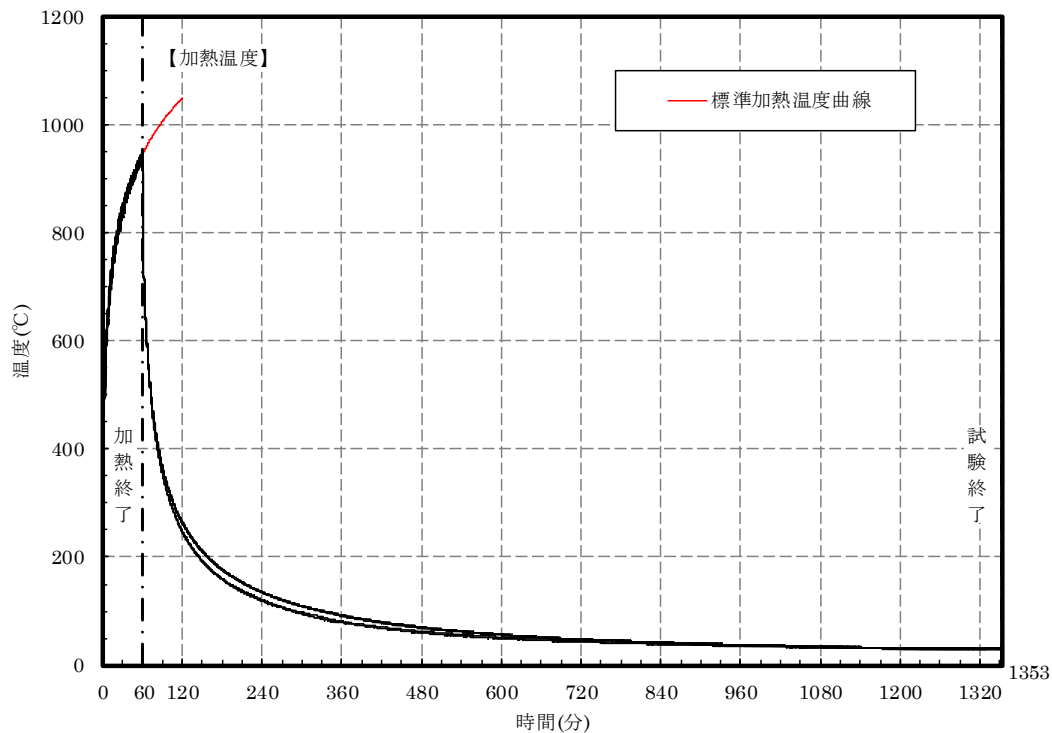


図 4-1 加熱温度測定曲線

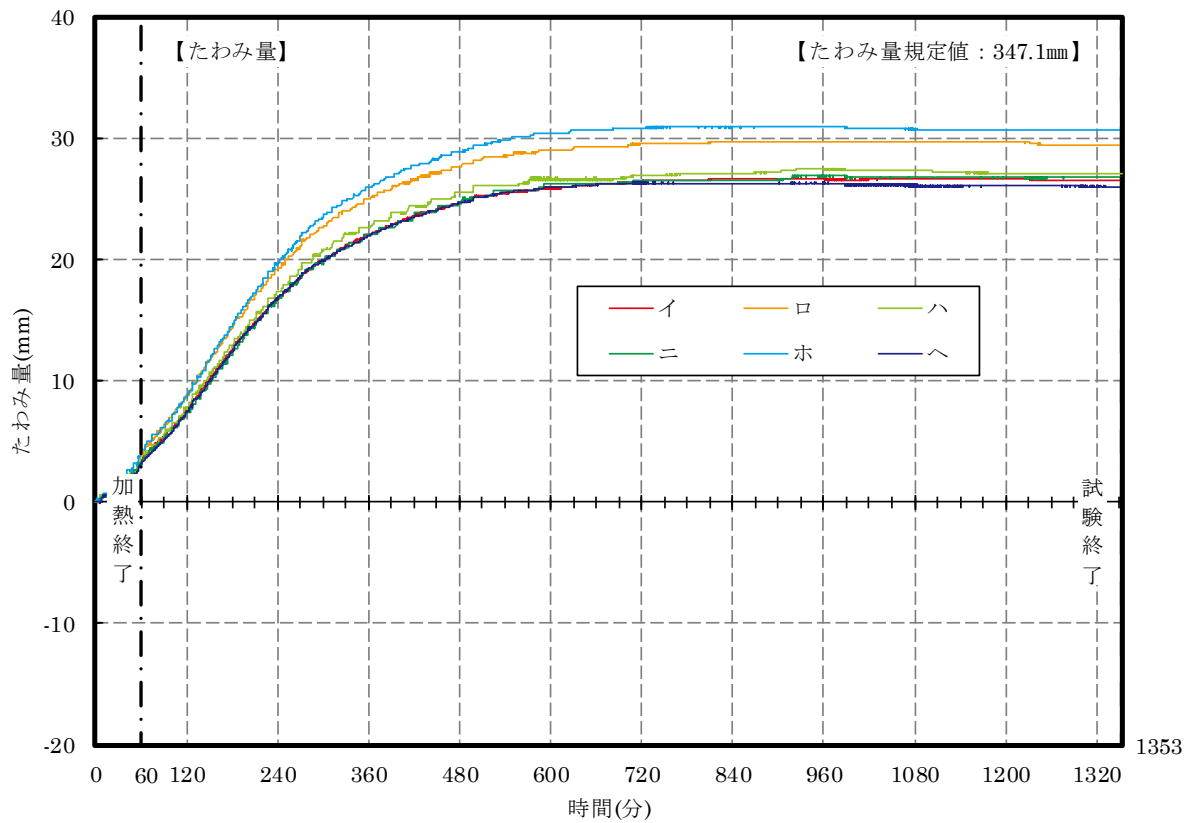
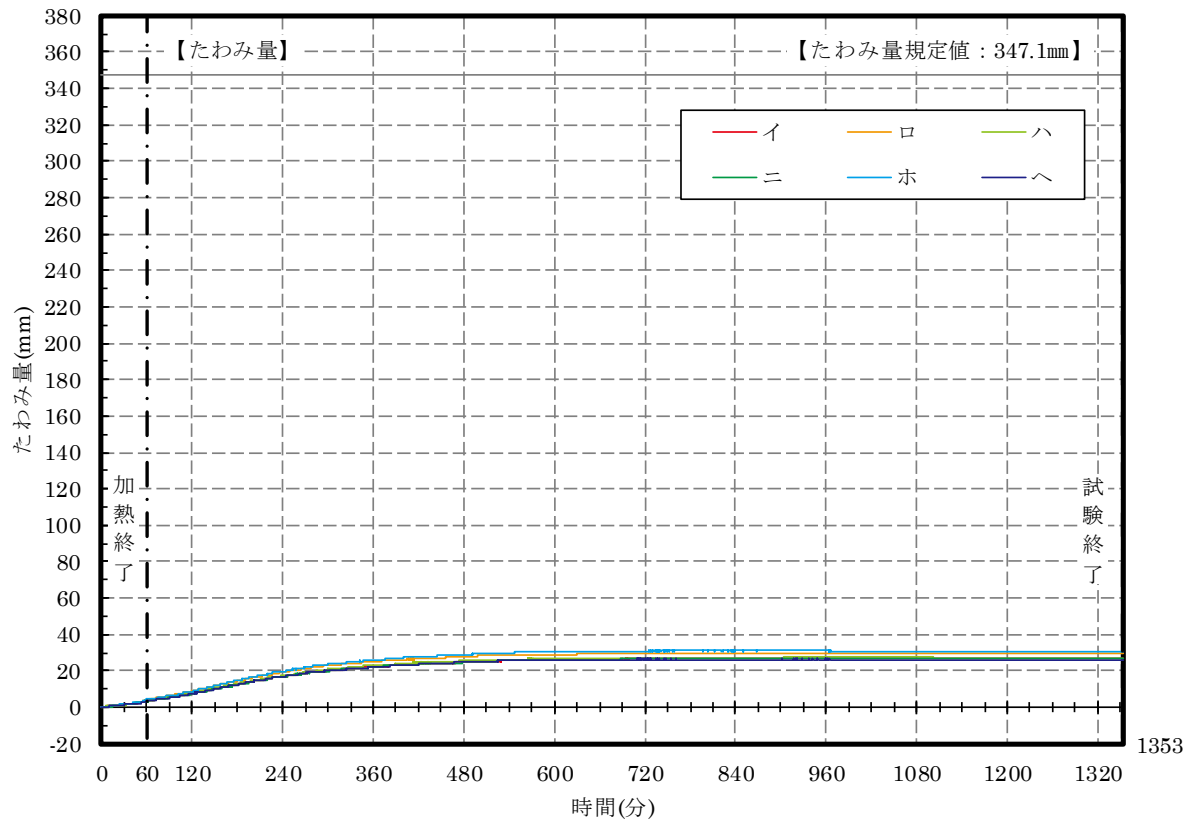


図 4-2 たわみ量測定曲線

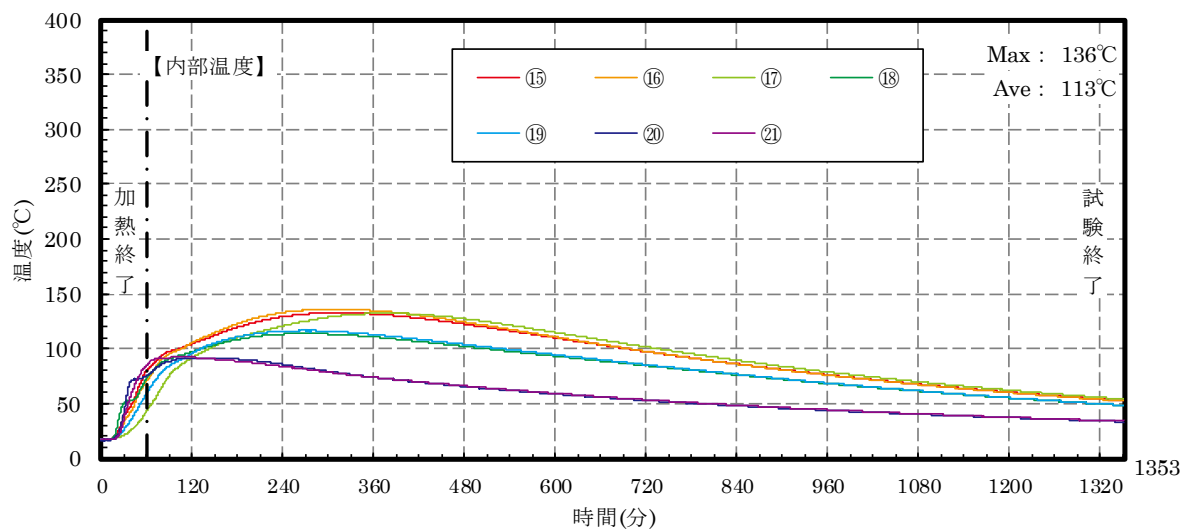
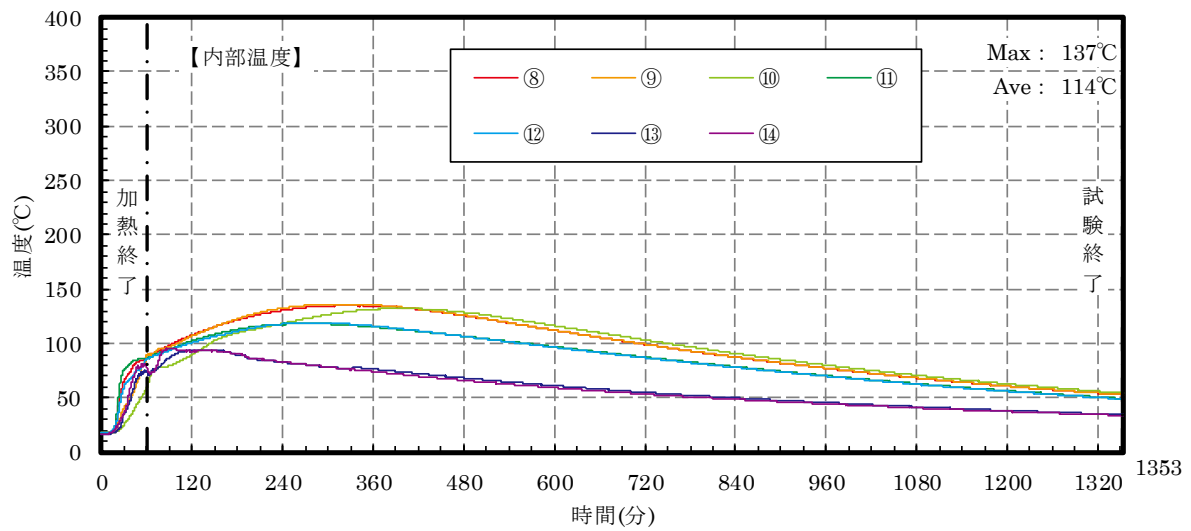
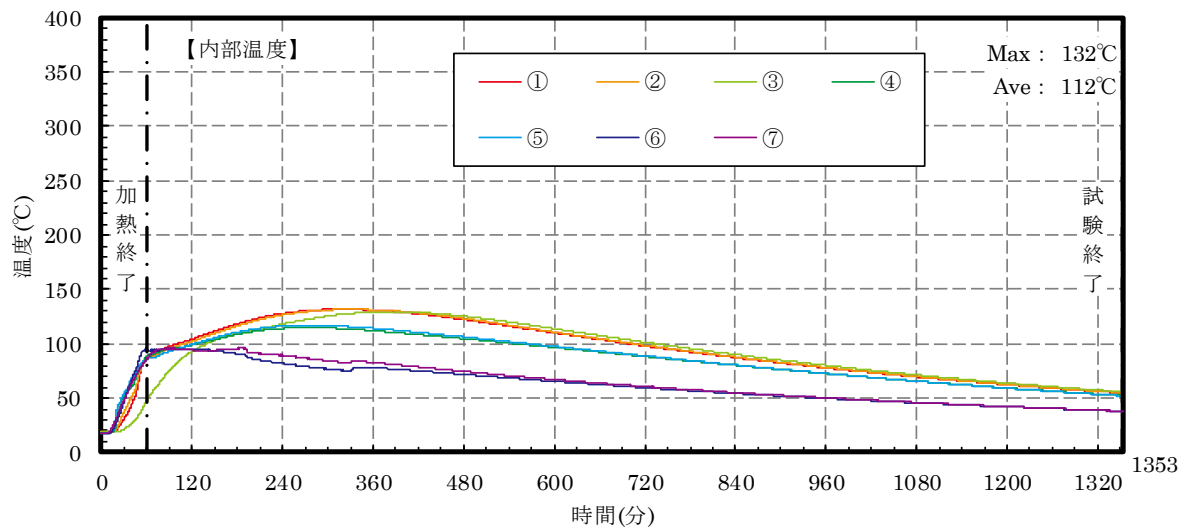


图 4-3 内部温度測定曲線 (部位毎)

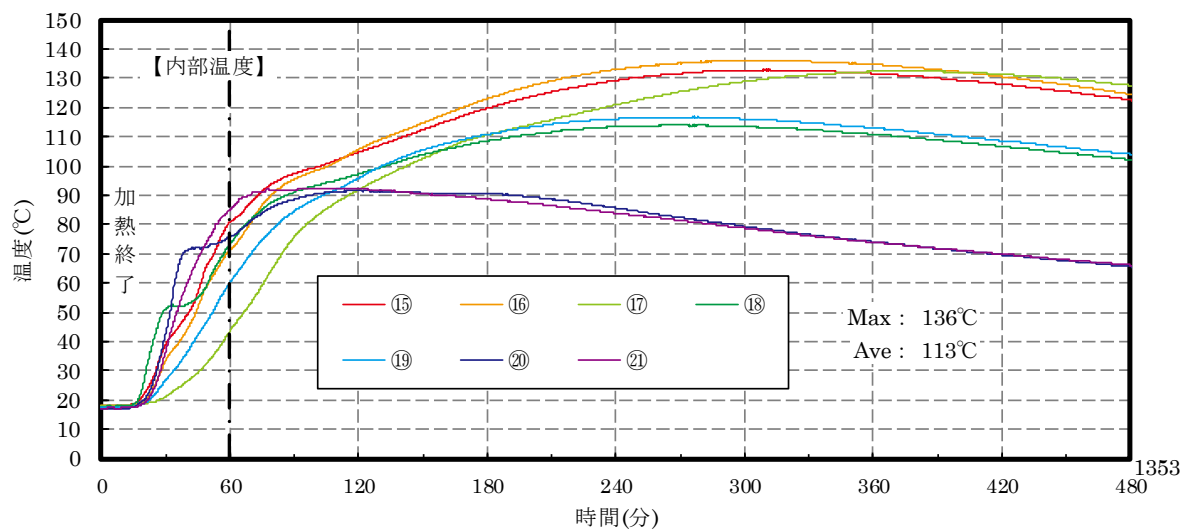
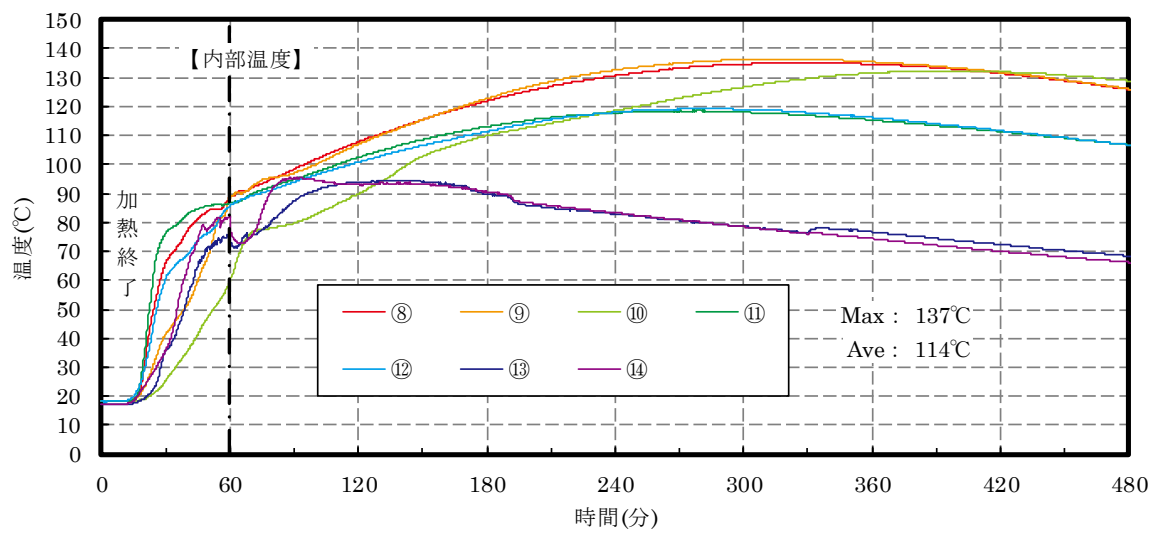
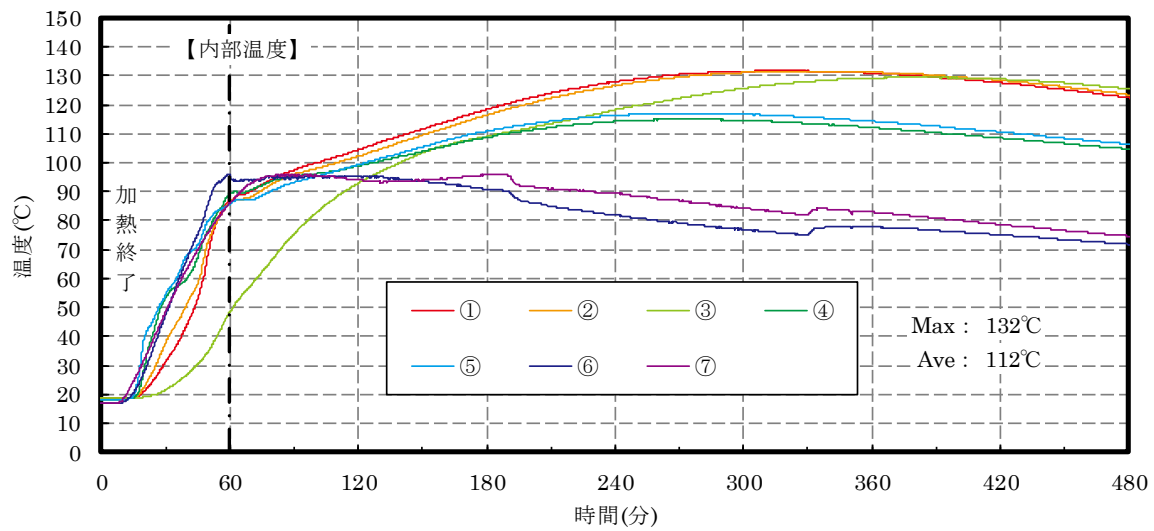


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

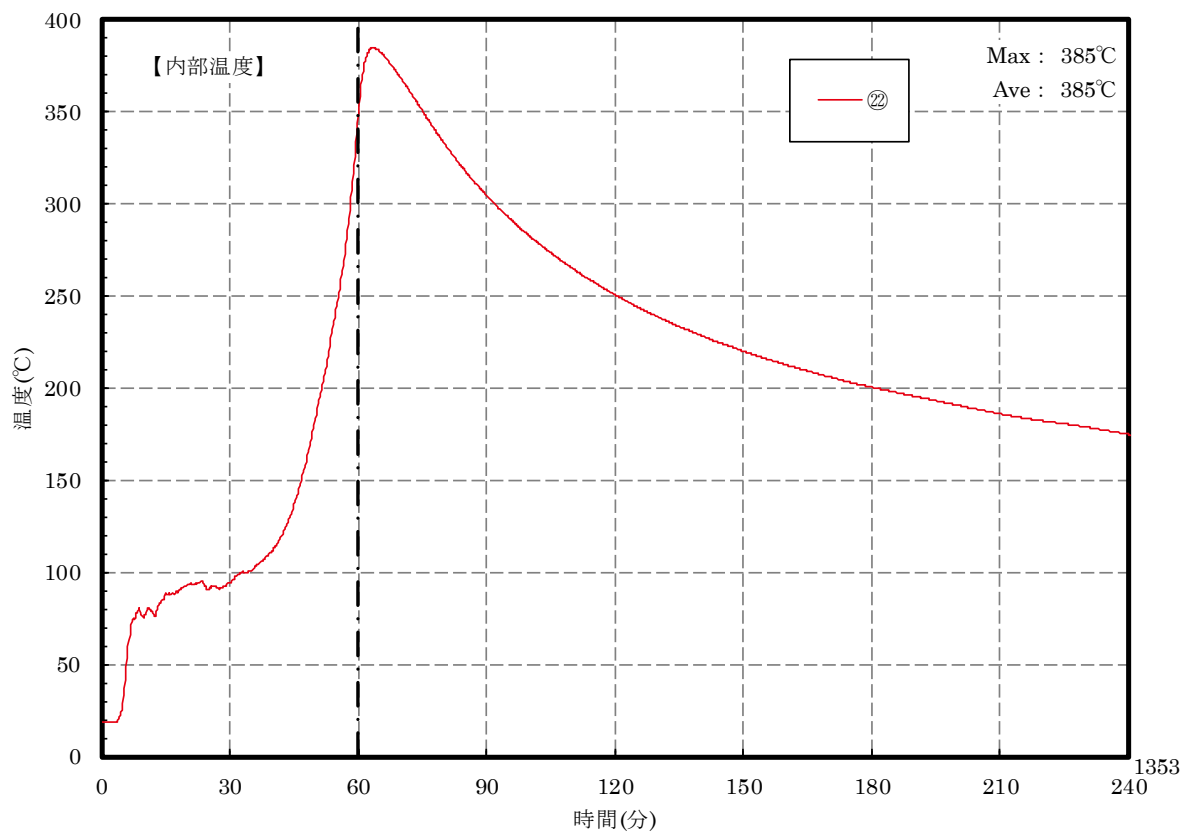
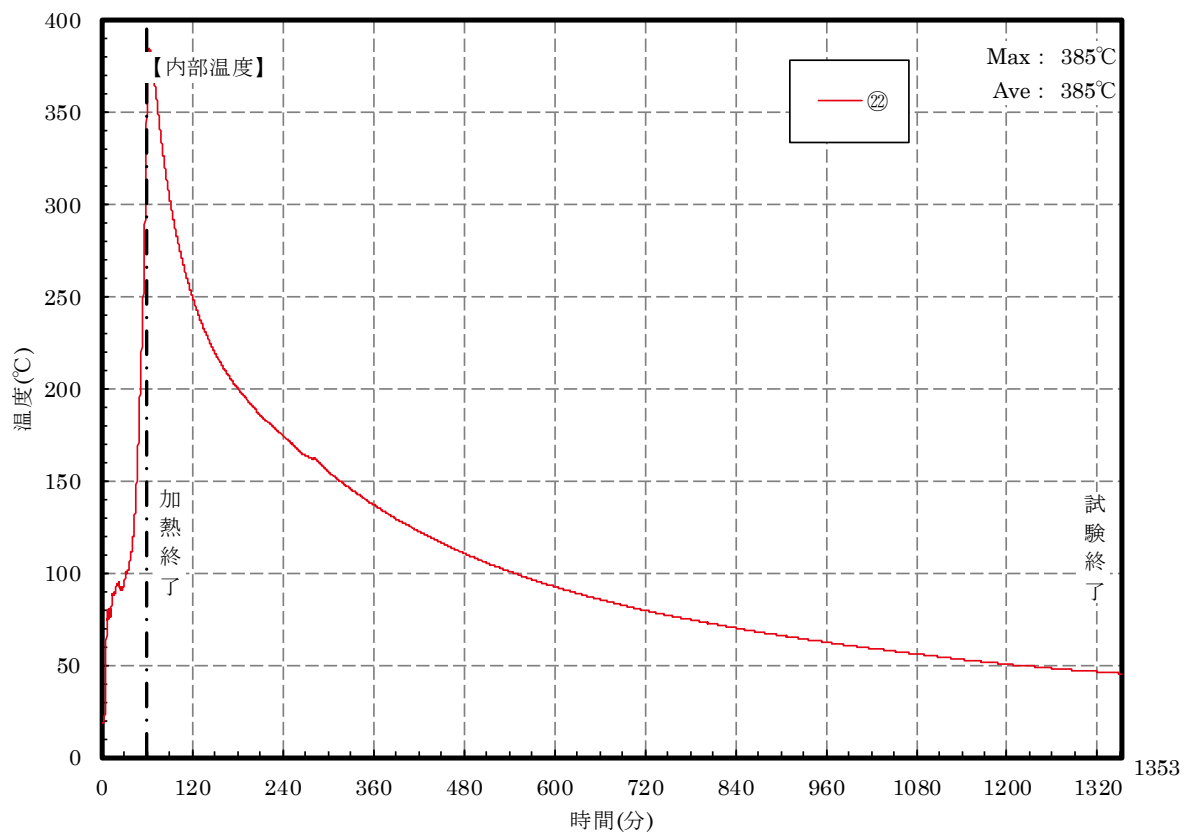


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)



写真 4-1 水平炉全景



写真 4-2 端部被覆状況



写真 4-3 載荷と変位計



写真 4-4 端部支持状況



写真 4-5 試験前 梁側面



写真 4-6 試験前 梁下面



写真 4-7 加熱 3 分

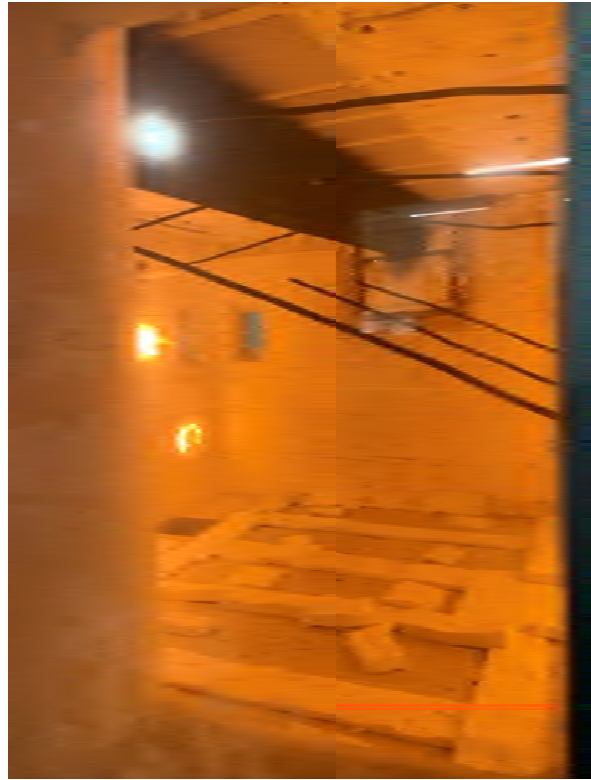


写真 4-8 加熱 8 分 表面の薬剤発泡

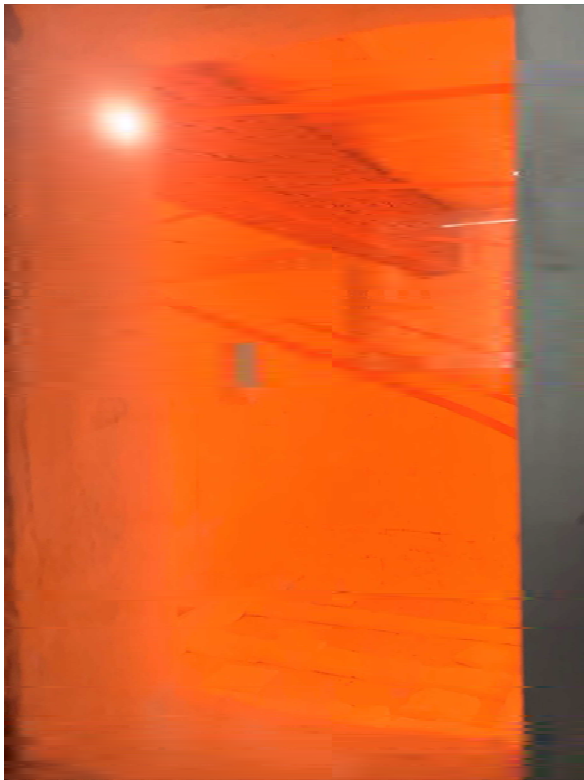


写真 4-9 加熱 46 分

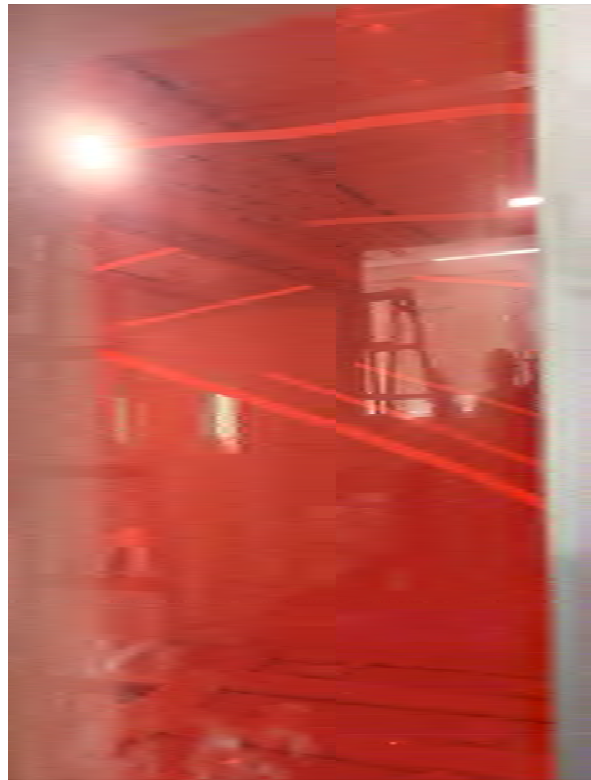


写真 4-10 加熱 61 分 加熱停止直後



写真 4-11 加熱 2200 分脱炉



写真 4-12 脱炉直後 全景



写真 4-13 側面南側端



写真 4-14 側面目地南側



写真 4-15 側面目地中間点



写真 4-16 側面目地北側



写真 4-18 側面北側端



写真 4-17 下面南側端



写真 4-19 下面目地南側



写真 4-20 下面目地中間点



写真 4-21 下面目地北端



写真 4-22 下面北側端



写真 4-23 下面被覆材剥がれ



写真 4-24 下面被覆材剥がれ

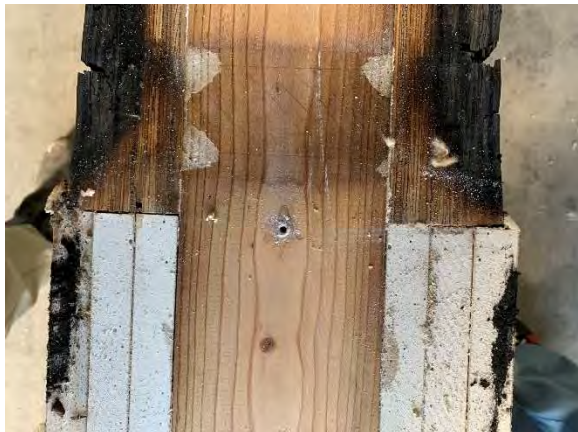


写真 4-25 梁上面端部



写真 4-26 梁上面全景



写真 4-27 加力治具



写真 4-28 加力治具を外した後



写真 4-29 梁下面 30mm 被覆を剥がし



写真 4-30 2層目表面での薬剤発泡



写真 4-31 梁下面 30mm 被覆は曲がって炭化



写真 4-32 木栓 (下面・側面)



写真 4-33 断面 (加力点下)



写真 4-34 断面 (ALC 目地下)



写真 4-35 断面（中間点 アルミ箔あり）



写真 4-36 被覆材下部の炭化は梁隅部まで残り 10mm 程度

(2) 考察

10時30分に加熱開始して一時間後である11時30分に加熱を終了した。加熱10分で被覆材表面で難燃薬剤が発泡しているのが観察された。载荷点直下の床と被覆材間の荷重支持部材表面温度は、8月の建研での予備試験時のように目立って温度が上昇することはなかった。

加熱開始後1320分(22時間)で脱炉した。隅部の最高温度は中間点の9番で137℃、下部の平部の最高温度は中間点の10番で132℃、側面の平部の最高温度は4番の149℃であった。どの部位においても炭化の恐れがあると思われる260℃を超えておらず、また8月の予備試験時に比べても低い温度であった。一番遅く最大温度に達したのは下部の平部10番で、400分で温度が下がり始めた。

たわみ量に関しては、加熱開始から変形がすすみ、加熱をとめても加熱中と同様の速度で変形がすすみ、最終的に720分から840分で変形の増加が止まった。

熱電対を設置した中間点、载荷点直下、ALC目地下の断面を切って、荷重支持部材に炭化があるかを確認した。60mm厚の被覆材のうち平部では20mm前後、隅部では10mm前後を残して燃えどまっていることが確認できた。荷重支持はりの炭化は見られなかった。

縦目地を中間点と1/4点の3カ所に集中させても1時間耐火の性能に問題ないことがわかった。

4. 3 性能評価試験 1 回目

4. 3. 1 はじめに

令和元年 1 月に日本建築総合試験所で試験を行った LVL 被覆 1 時間耐火構造（梁）の仕様に
基づき、性能評価試験のうち 1 体目を大阪池田市の日本建築総合試験所で実施した。難燃処理単
板積層材の薬剤注入量は $130\text{-}140\text{ kg/m}^3$ とし、30 mm 厚の単板積層材を 2 次接着して、現場用ウレ
タン樹脂とビスにて梁に取り付けた。

4. 3. 2 実験概要

1 時間耐火性能を目標に製作した 3 面加熱の試験体は、日本建築総合試験所の水平炉を使用し、
一般社団法人日本建築総合試験所の「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して載荷加熱試験を行
った。図 1-1 に水平炉の試験装置図を示した。試験実施日は令和 2 年 1 月 30 日であった。

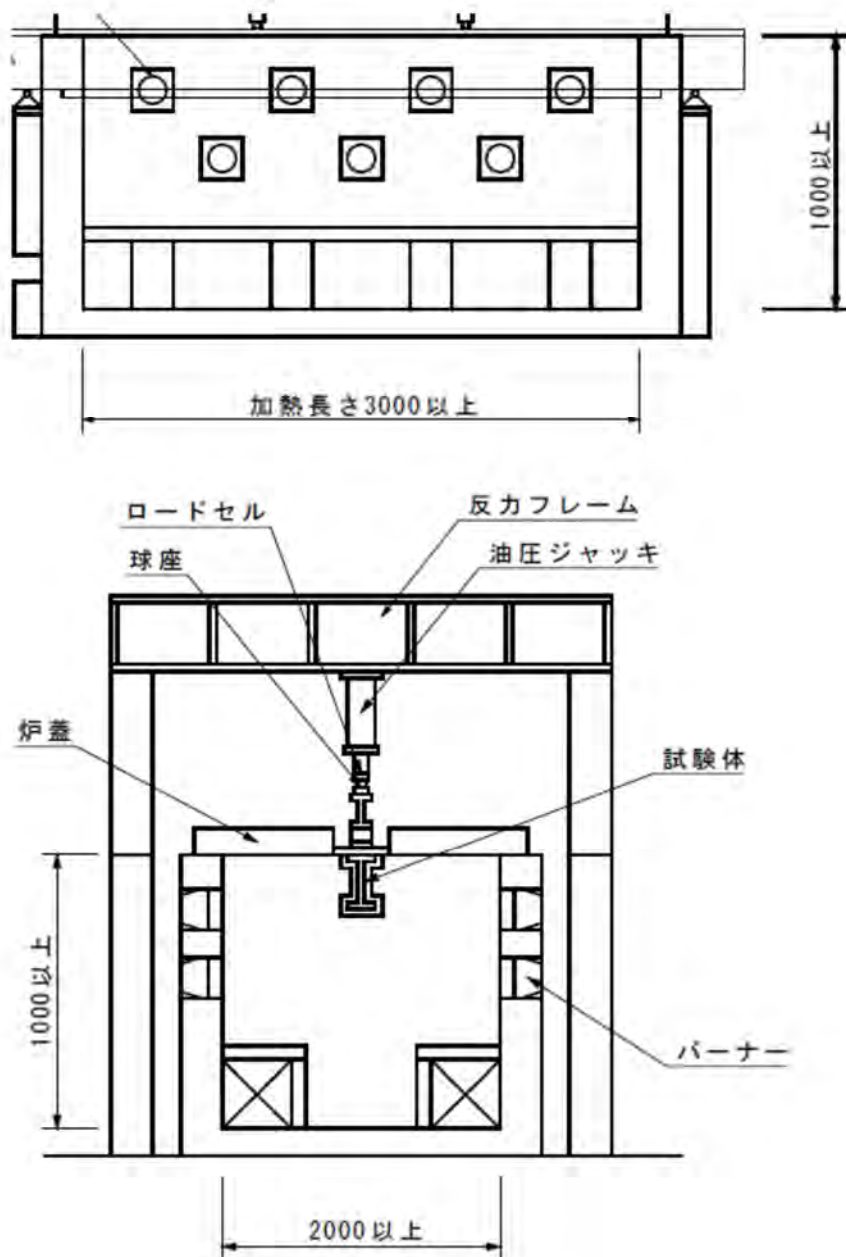


図 1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。たわみ変形が進み、載荷の継続が困難となった場合、または内部温度が炭化温度を大幅に超えた場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重は、集成材 E105-F300 の基準曲げ強度($F_b=11.0\text{N/mm}^2$)より長期許容曲げ応力度がはりにかかるよう、算出した。3等分点2点載荷のうち、1か所あたり 4.72kN を載荷した。

(3) 測定項目

①試験体内部温度

②炉内温度

③軸方向収縮(変形)量

④炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて乾燥した後の重量から、含水率を測定した。

⑥その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 3. 3 試験体概要

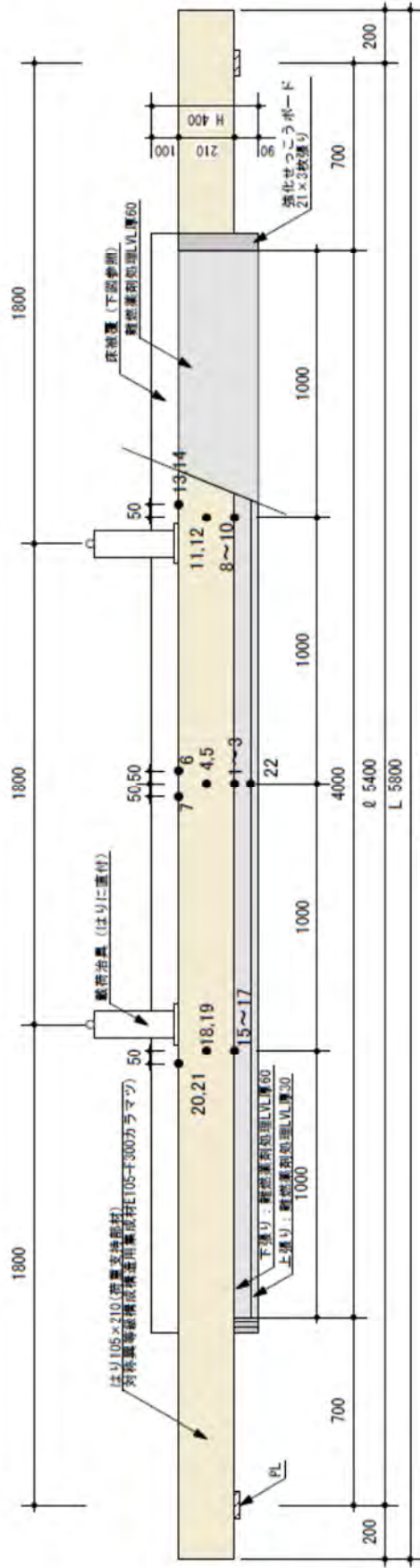
試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を製作時の様子を表 3-1～2 と図 3-1～3、写真 3-1～2 に示す。

表 3-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

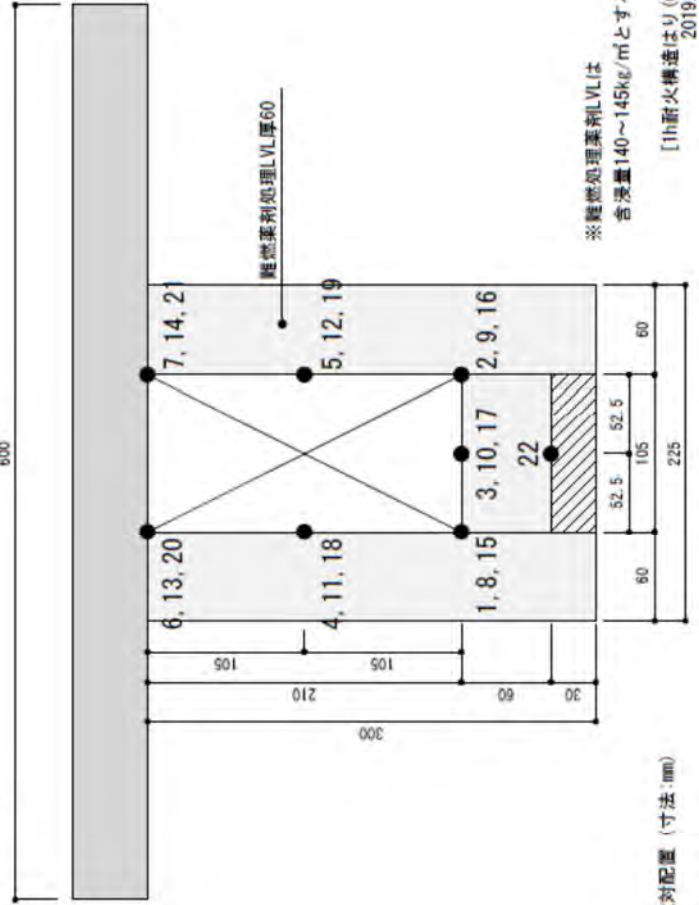
項 目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none"> ・材質 対象異等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの) ・樹種 カラマツ ・密度 0.59g/cm³(気乾、実測値) ・断面寸法 105×210
被覆材	<ul style="list-style-type: none"> ・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材 ・薬剤含浸量 130-140kg/m³ ・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 3-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
留付材	<p>[1]被覆材留付用</p> <p>[1]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ4.2 mm×L51 mm ・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300g/m² <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ブナ(広葉樹) ・寸法 φ10
表面塗装	<p>[1]アクリル・ウレタン樹脂系塗料</p> <ul style="list-style-type: none"> ・塗布量 300g/m²



立面図



※耐燃薬剤処理LVLは
含浸量140~145kg/mとする
[1h耐火構造はり(GBRC)]
2019.11.21

図-3 試験体1 熱電対配置 (寸法:mm)

- 1~7 : はり表面温度 (はり中央部)
- 8~14 : はり表面温度 (はり右載荷部)
- 15~21 : はり表面温度 (はり左載荷部)
- 22 : 下張材表面温度 (はり載荷部/下張材目地部)

図 3-3 試験体の構造及び寸法

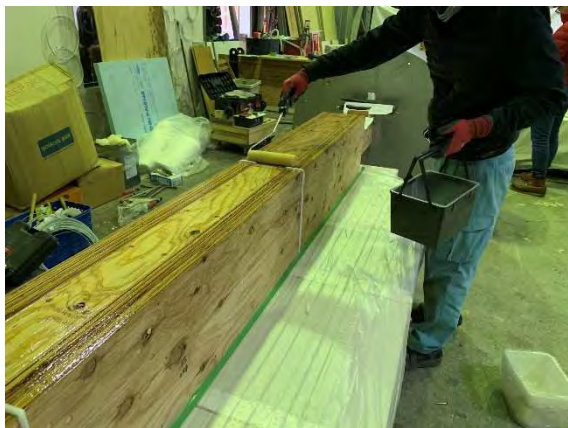
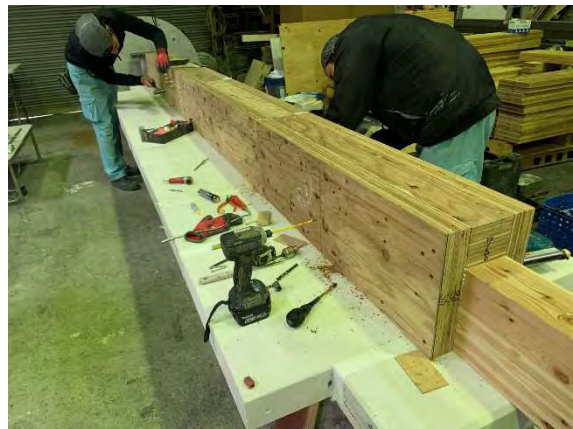
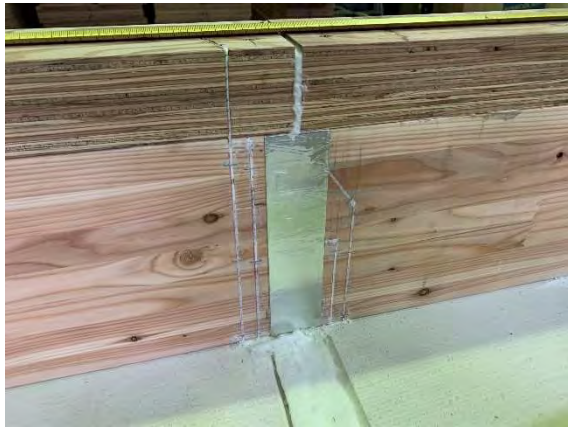


写真 3-1 製作時の様子

4. 3. 3 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後1320分で各計測点の温度の下降と変形速度の安定を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図4-1、たわみ量測定結果を図4-2、熱電対の内部温度曲線を図4-3に示す。記録写真を写真4-1～写真4-36に示す。

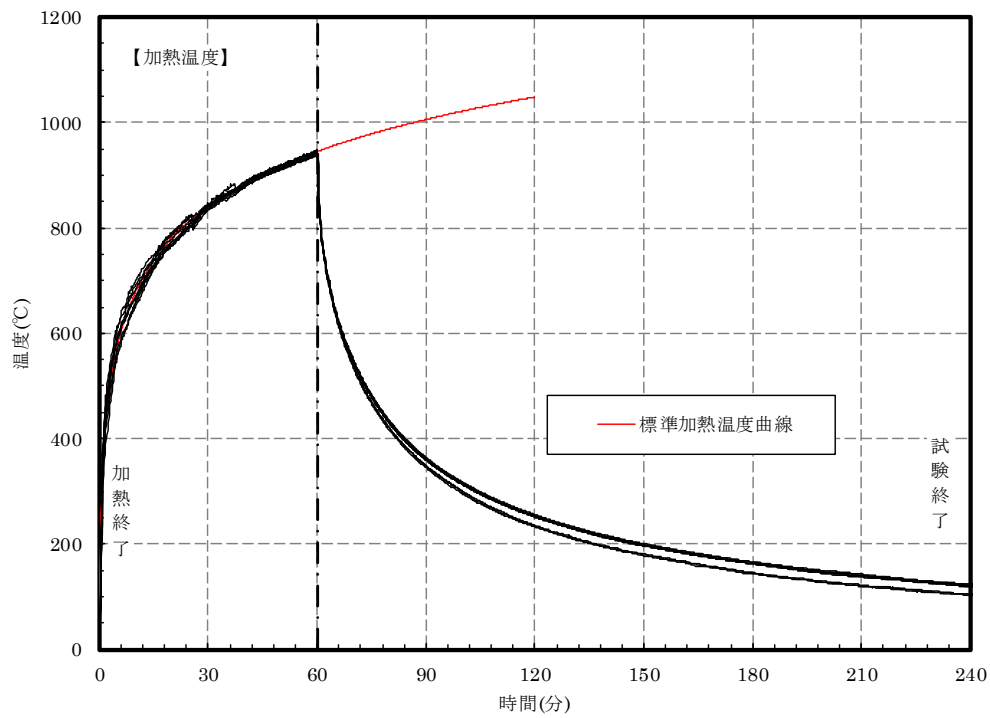
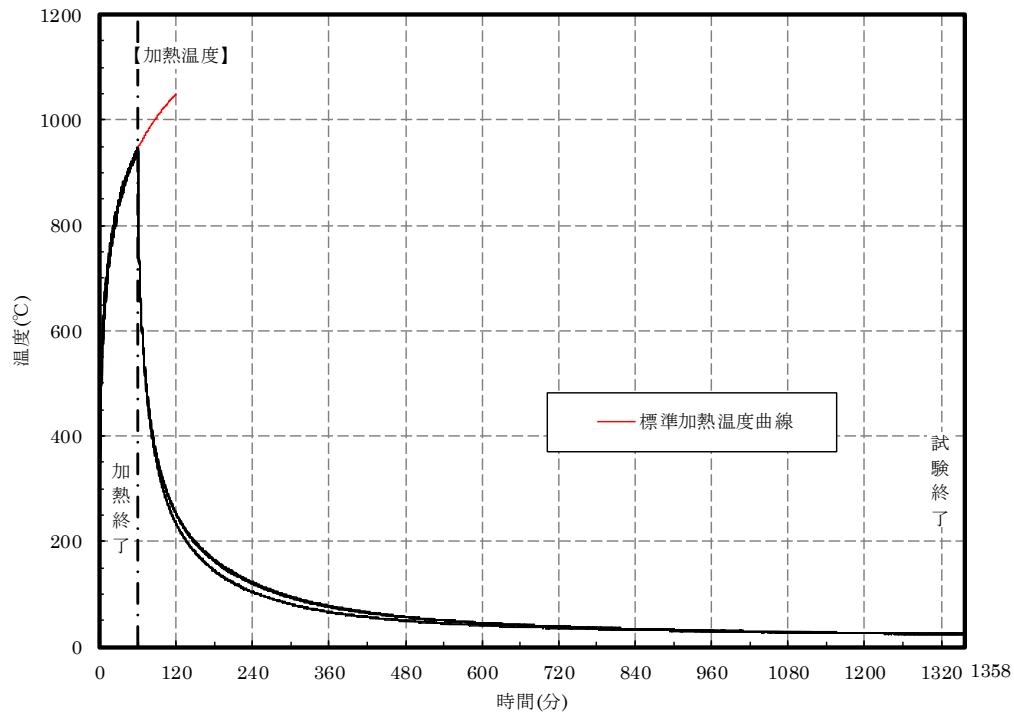


図 4-1 加熱温度測定曲線

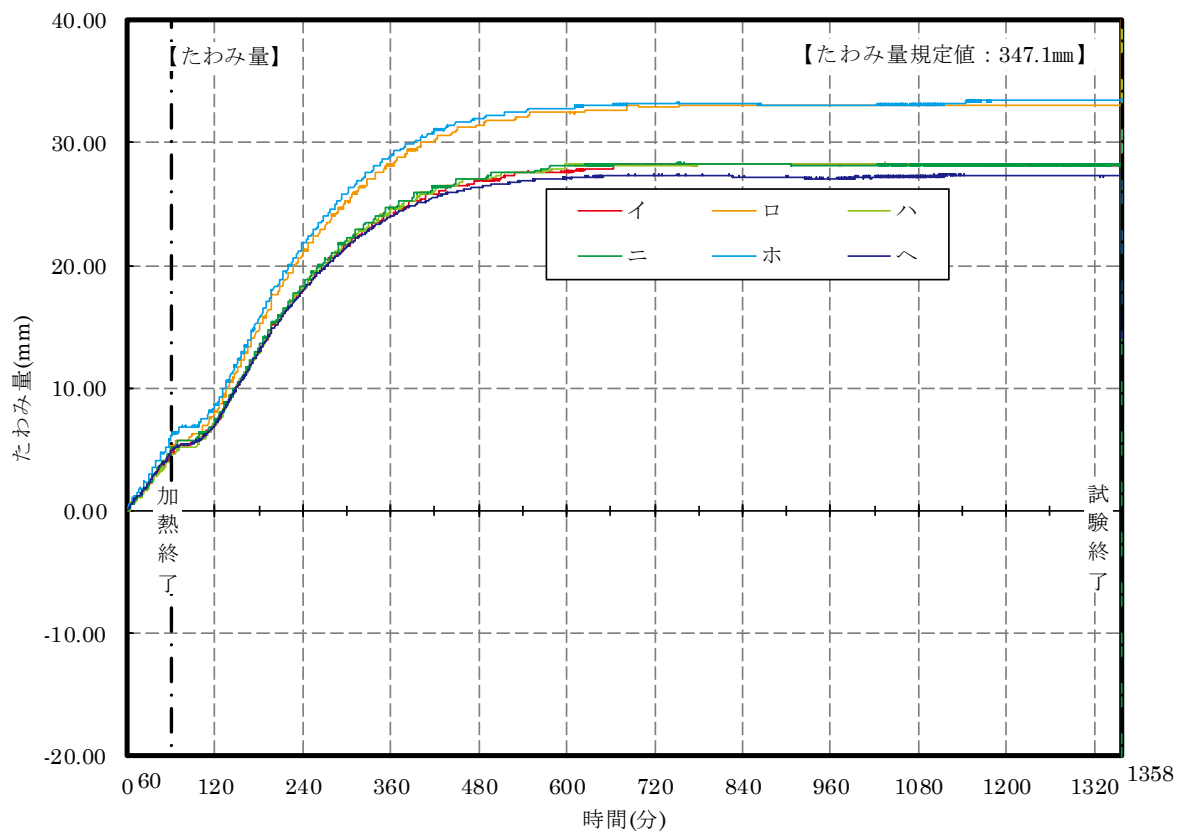
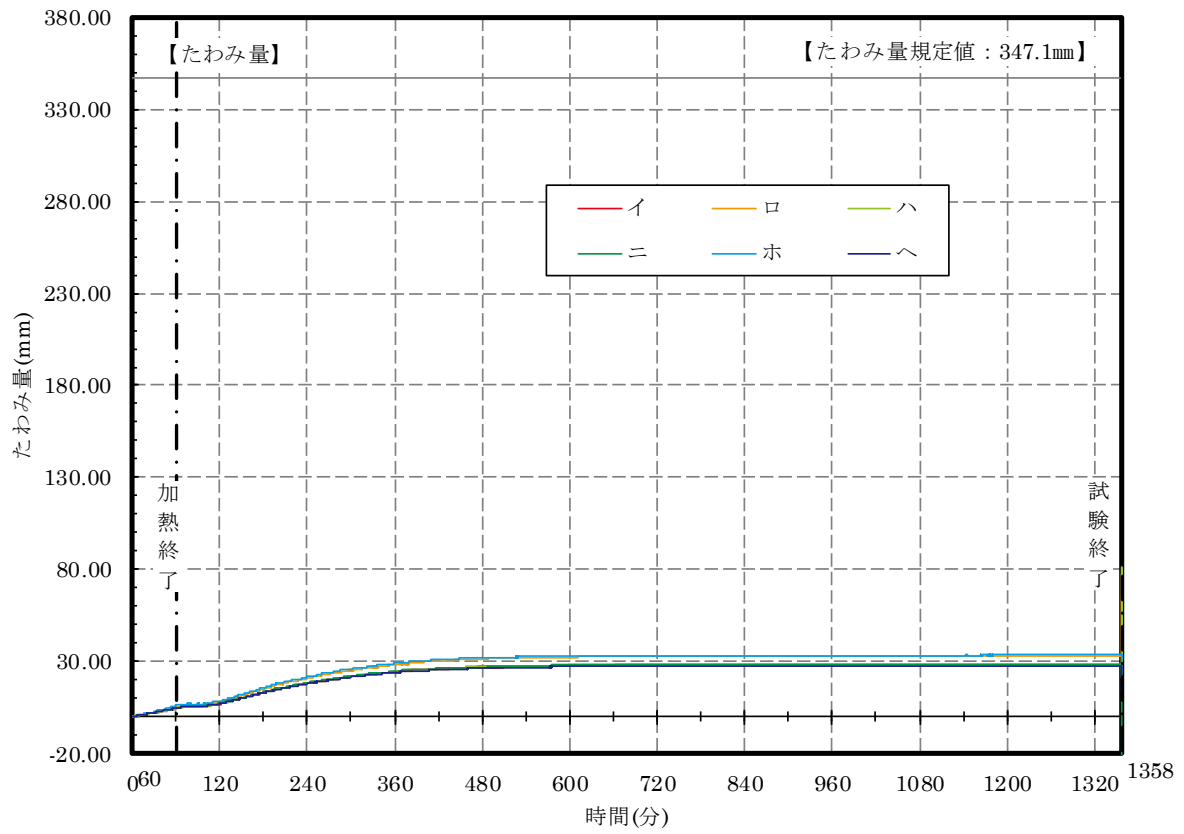


図 4-2 たわみ量測定曲線

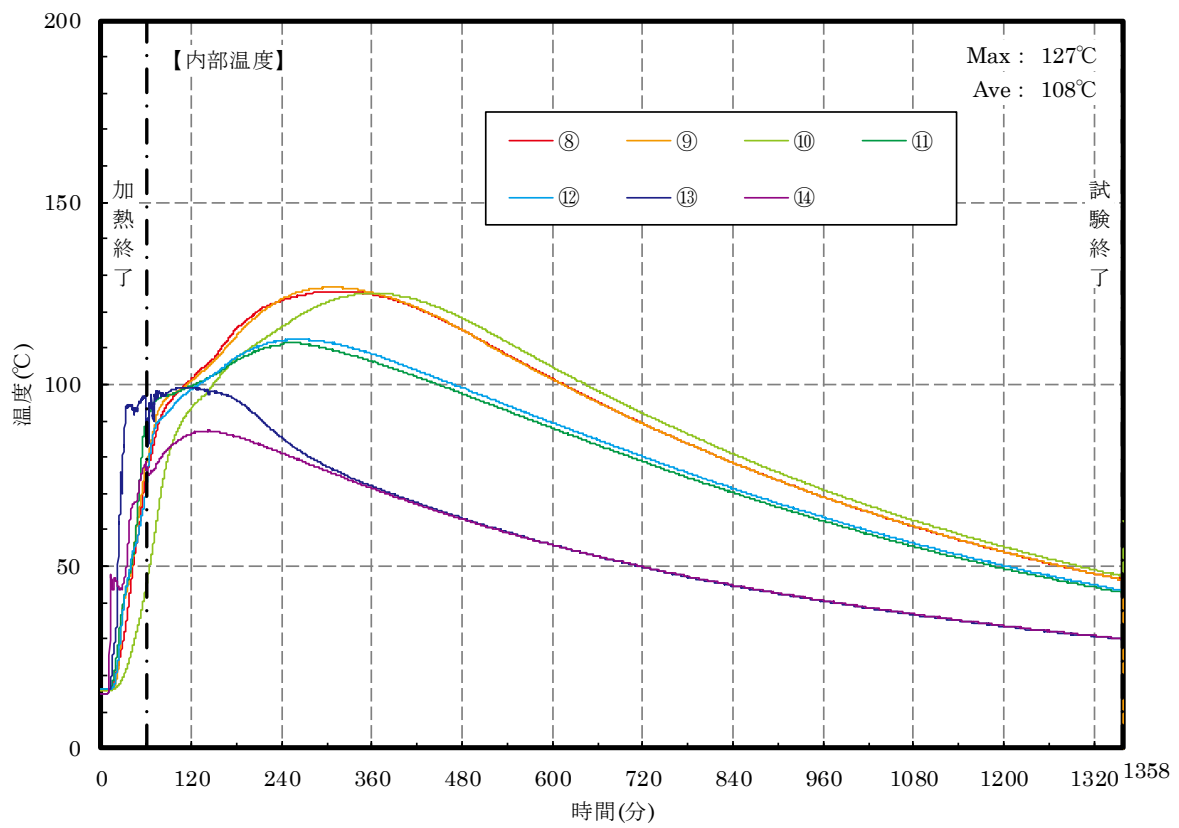
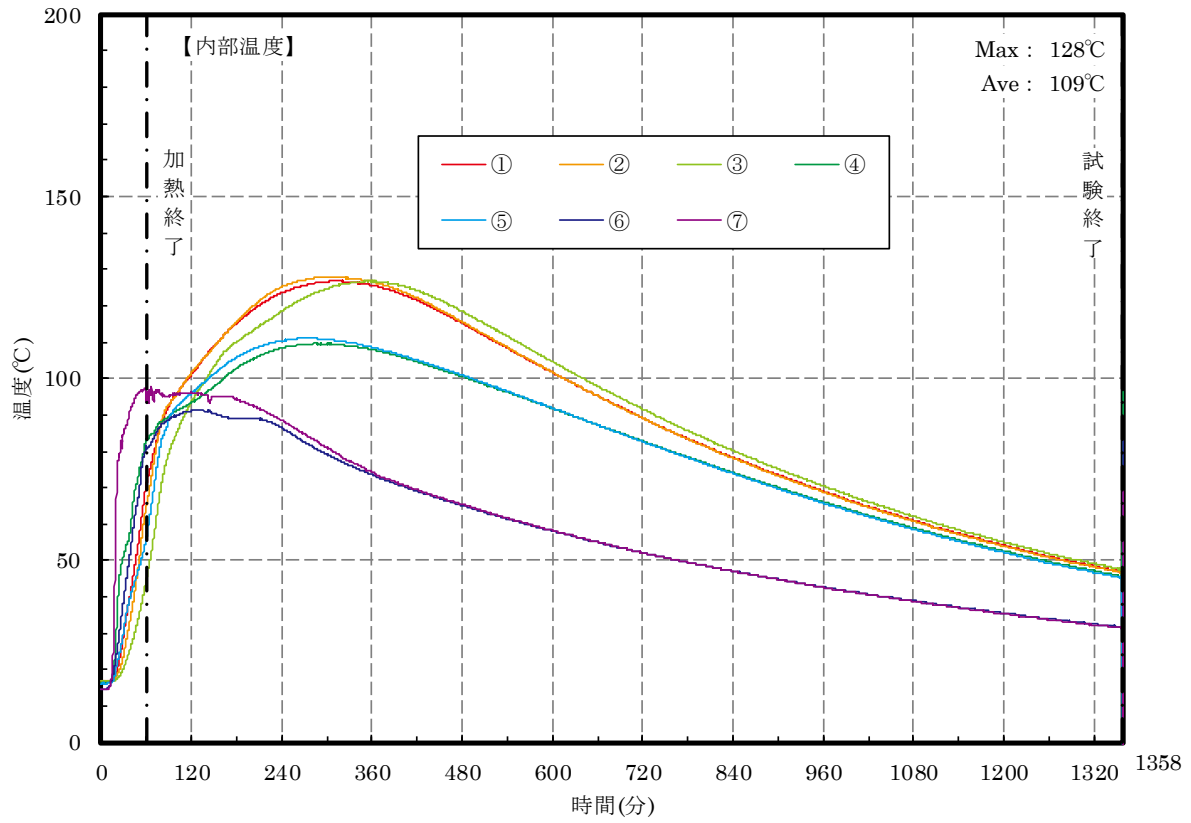


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

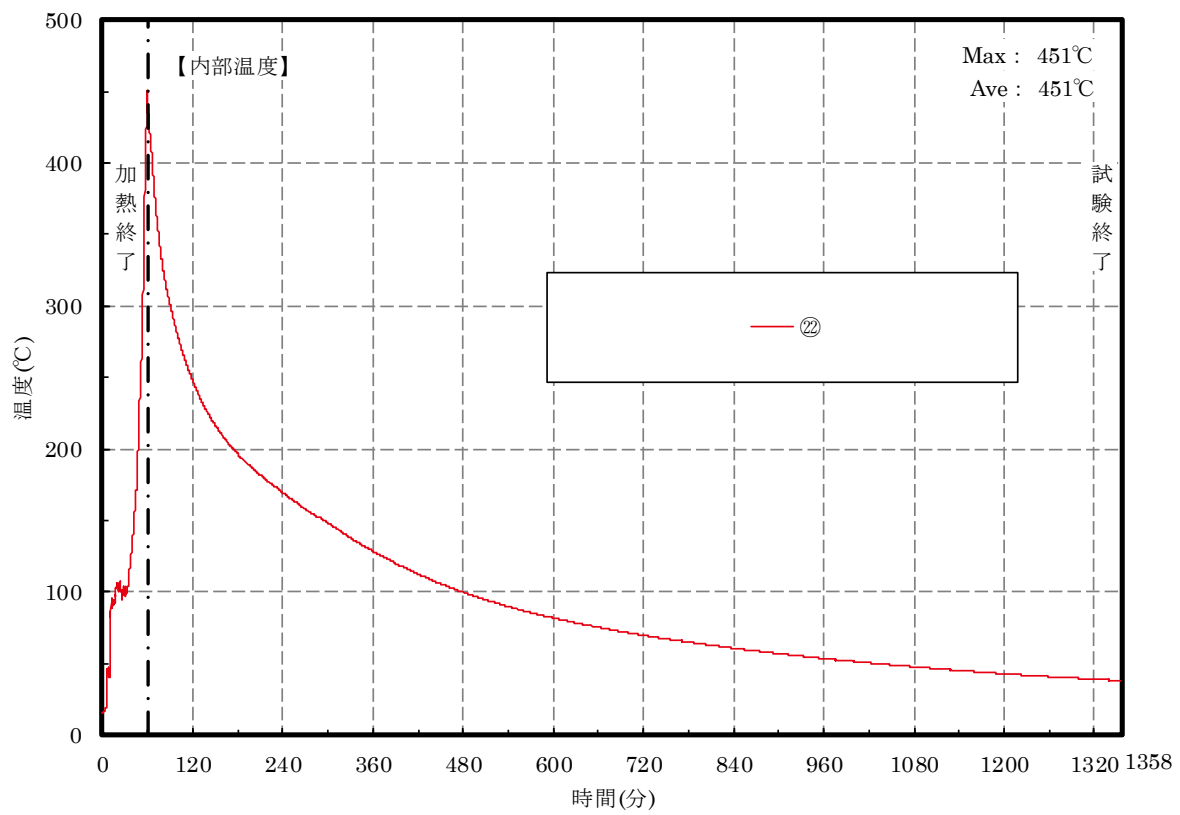
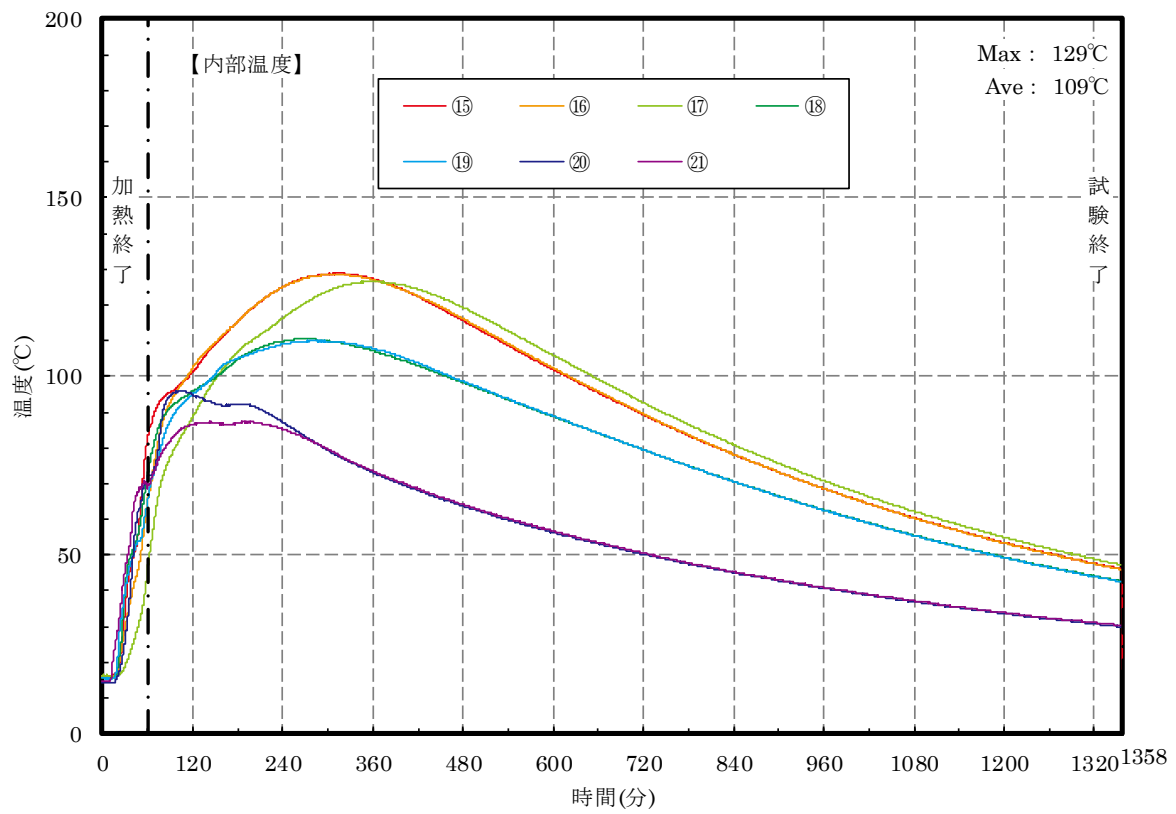


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

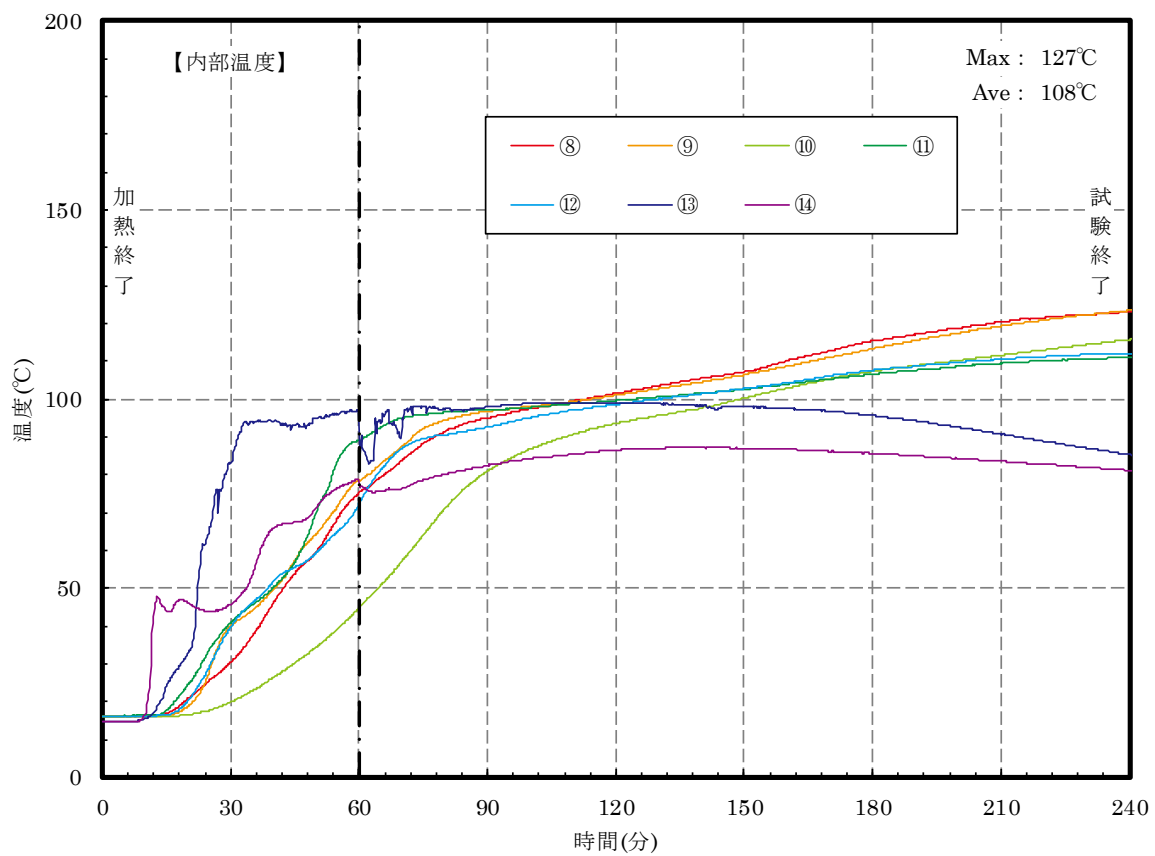
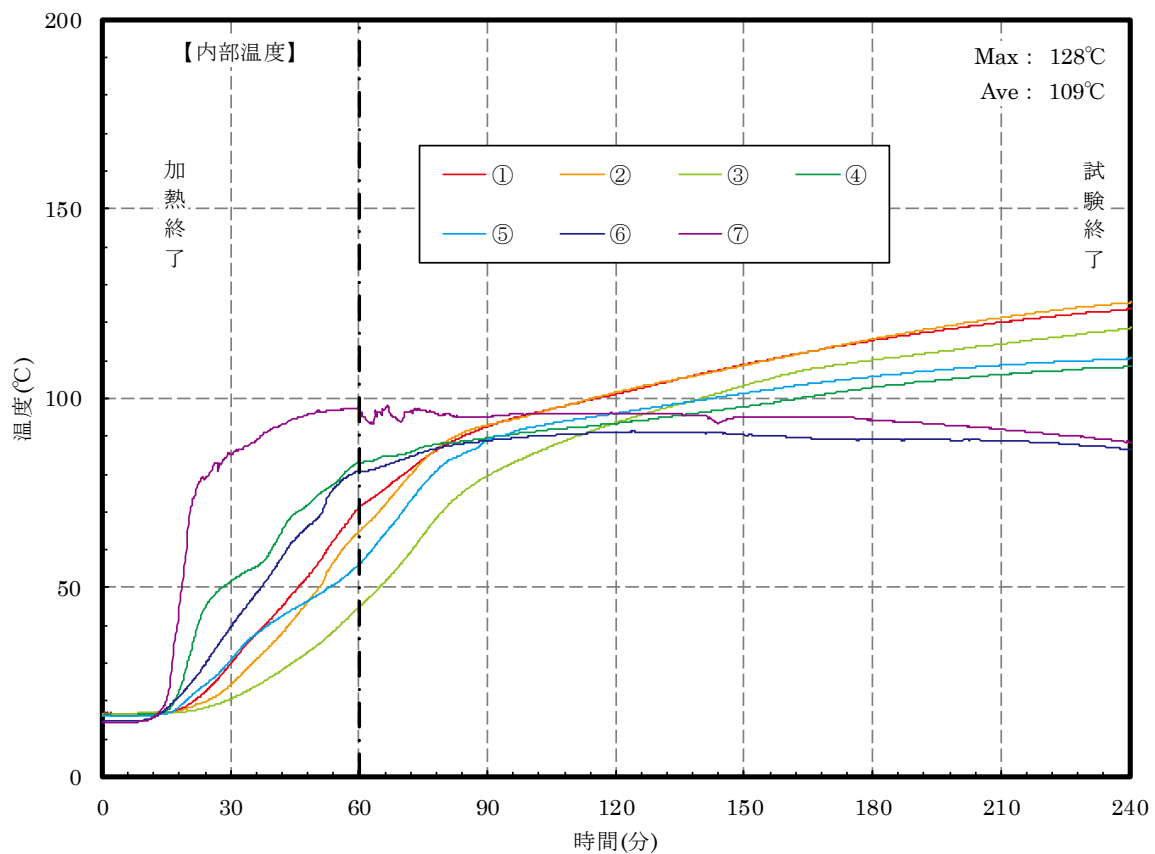


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

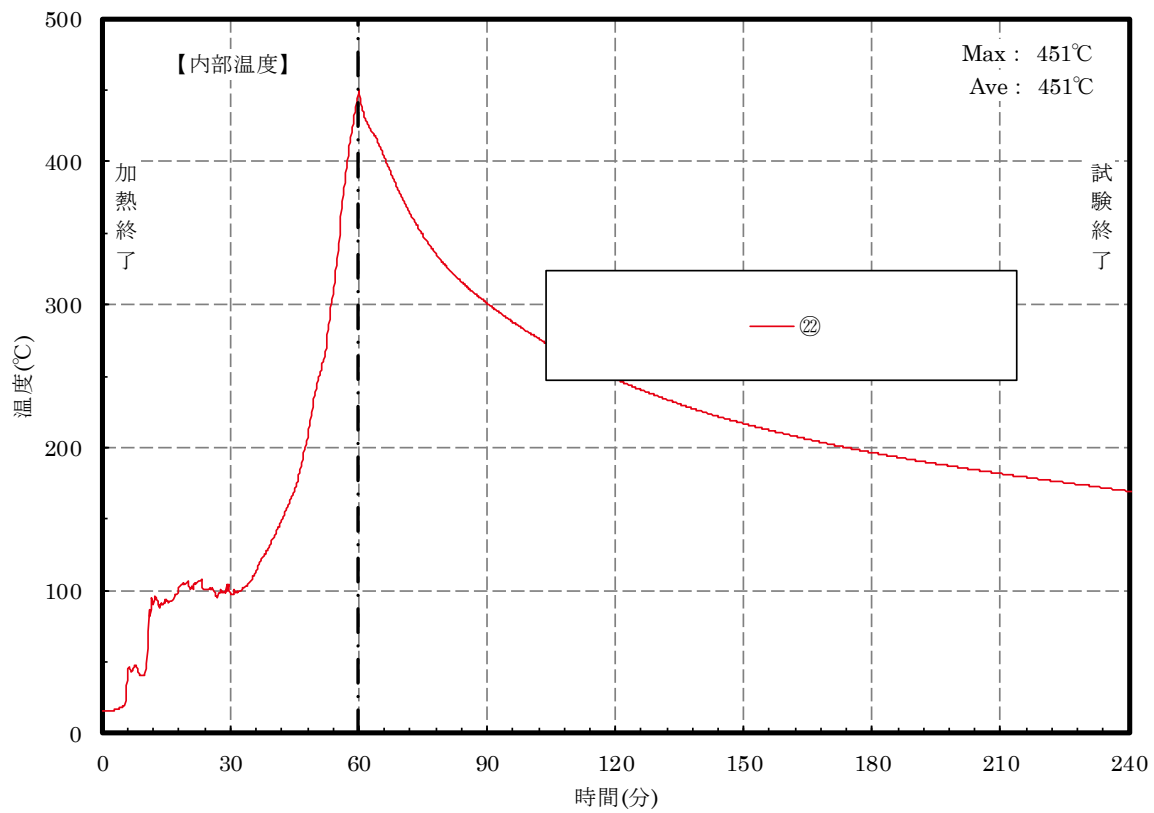
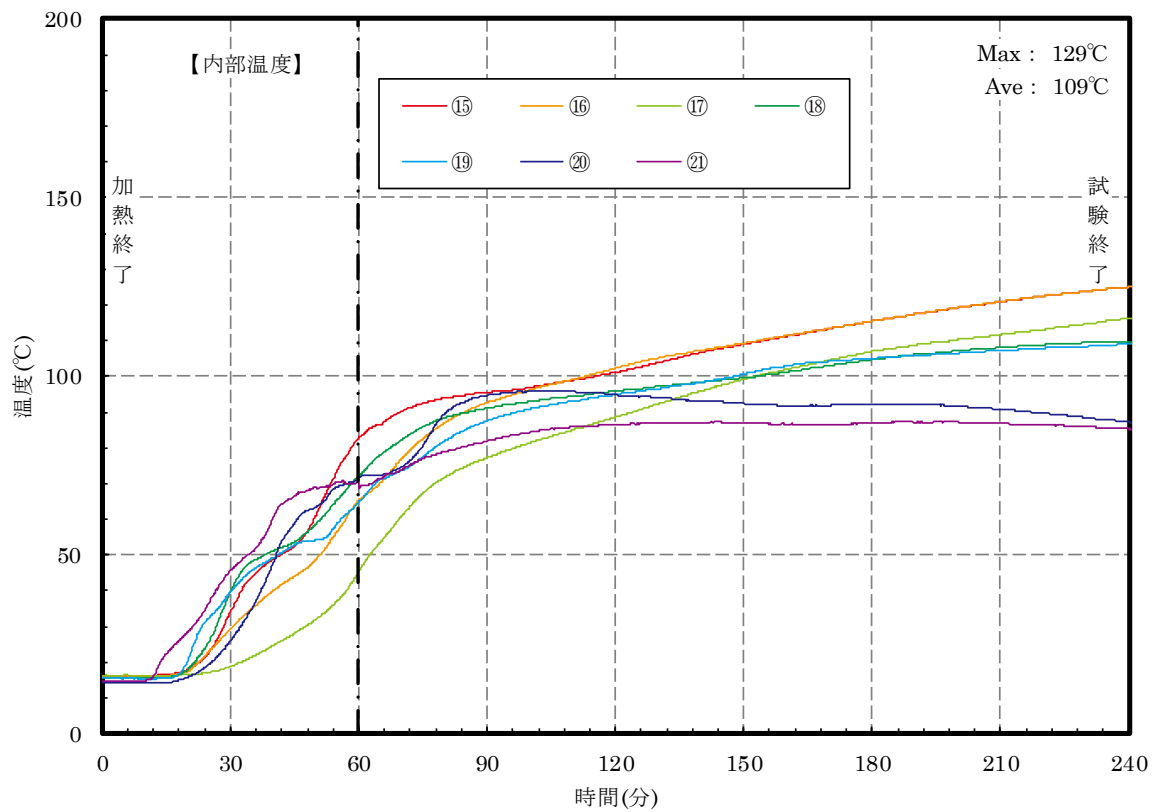


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)



写真 4-1 試験前



写真 4-2 試験前



写真 4-3 加熱 7 分 難燃薬剤の発泡

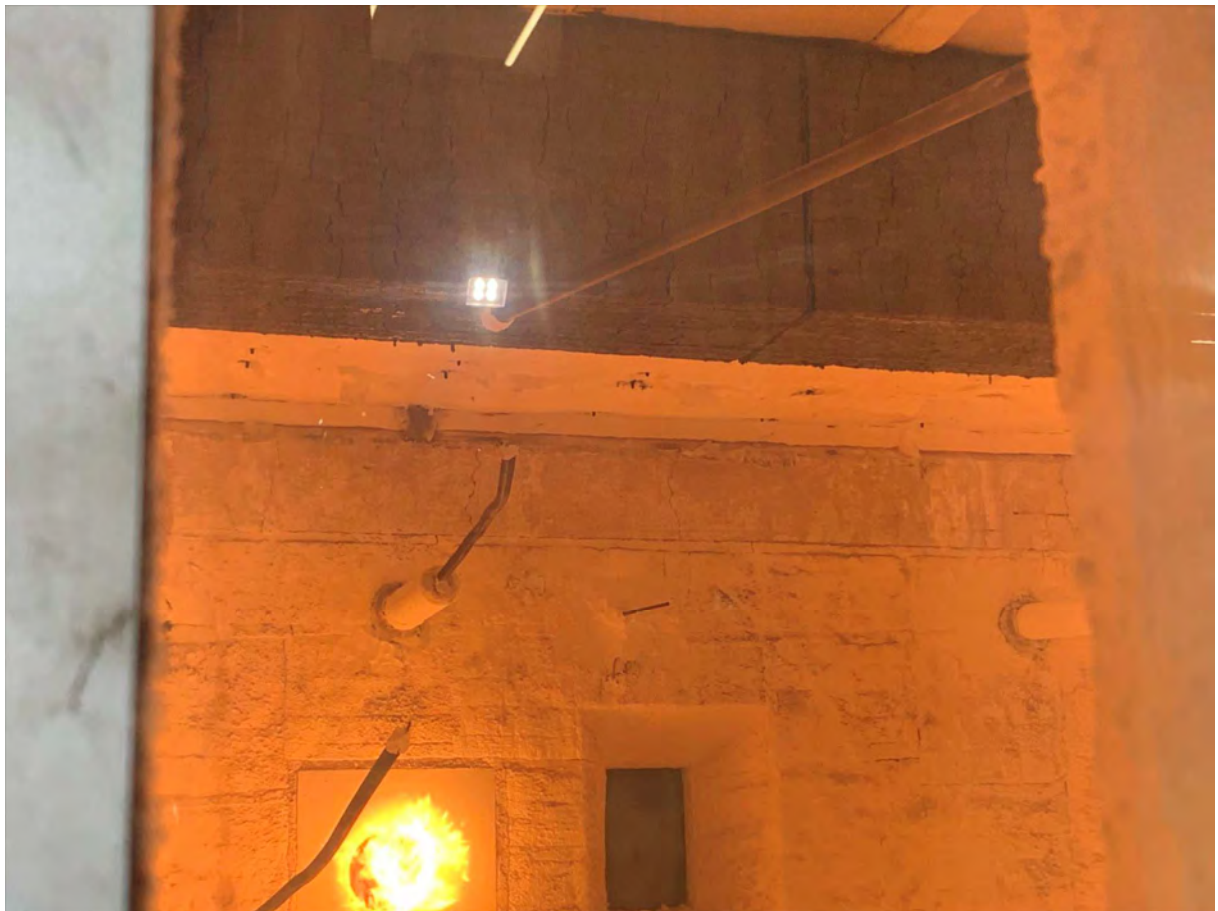


写真 4-4 加熱 13 分 表面での難燃薬剤の発泡が止まる



写真 4-5 加熱 49 分



写真 4-6 53 分 被覆材一部脱落



写真 4-7 59分 加熱停止直前



写真 4-8 脱炉 西側



写真 4-9 側面の脱落 西側



写真 4-10 下面の脱落



写真 4-11 東側



写真 4-12 側面の脱落 西側



写真 4-13 試験後



写真 4-14 梁上面



写真 4-15 被覆材脱落部



写真 4-16 脱落部の被覆材炭化具合は他と変わらない



写真 4-17 側面南西端

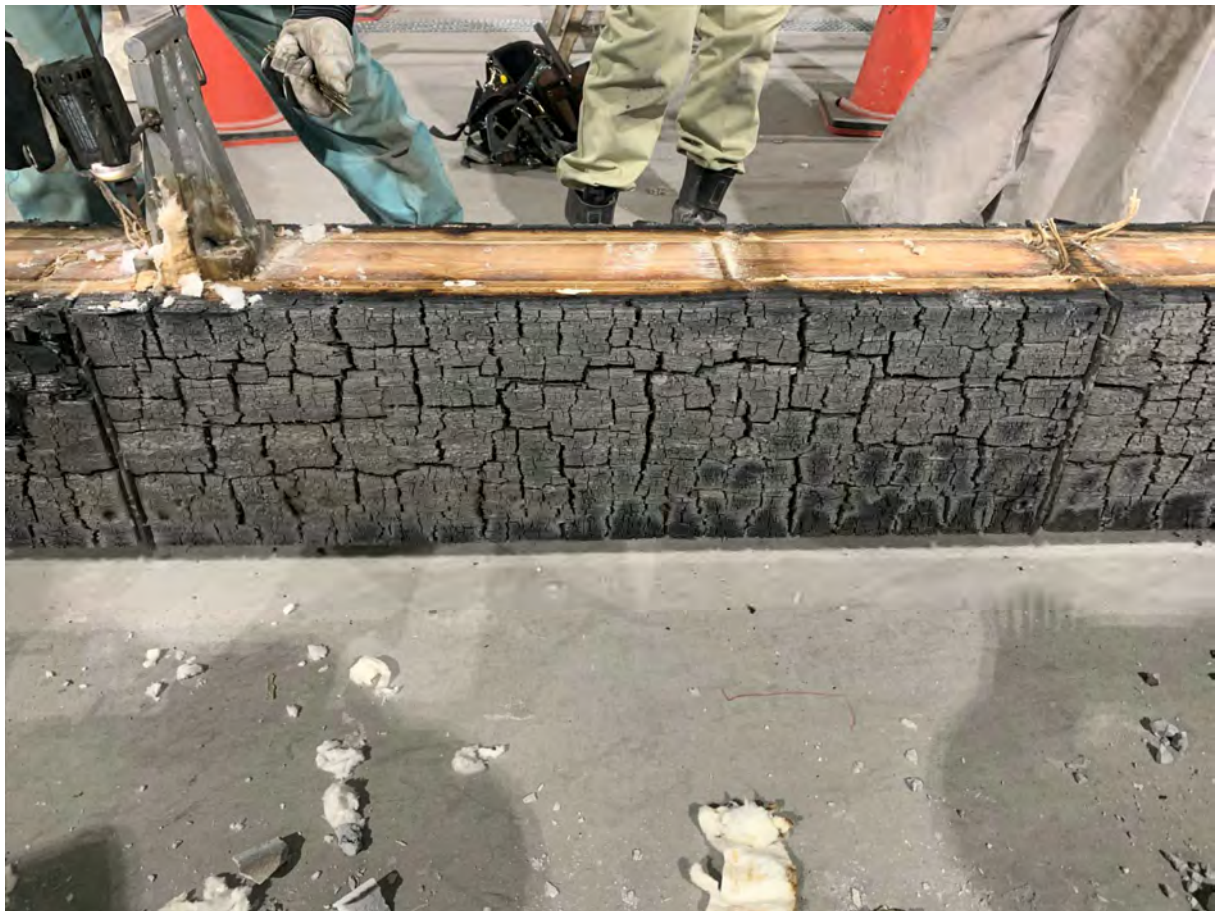


写真 4-18 側面南西中間点



写真 4-19 側面 西中間目地



写真 4-20 側面 北西中間点



写真 4-21 側面 北西目地



写真 4-22 側面 北西端部



写真 4-23 断面切断



写真 4-24 荷重支持部材に炭化無し 側面南東部



写真 4-25 断面 中間点



写真 4-26 断面 中間点



写真 4-27 断面 南側



写真 4-28 断面 南側

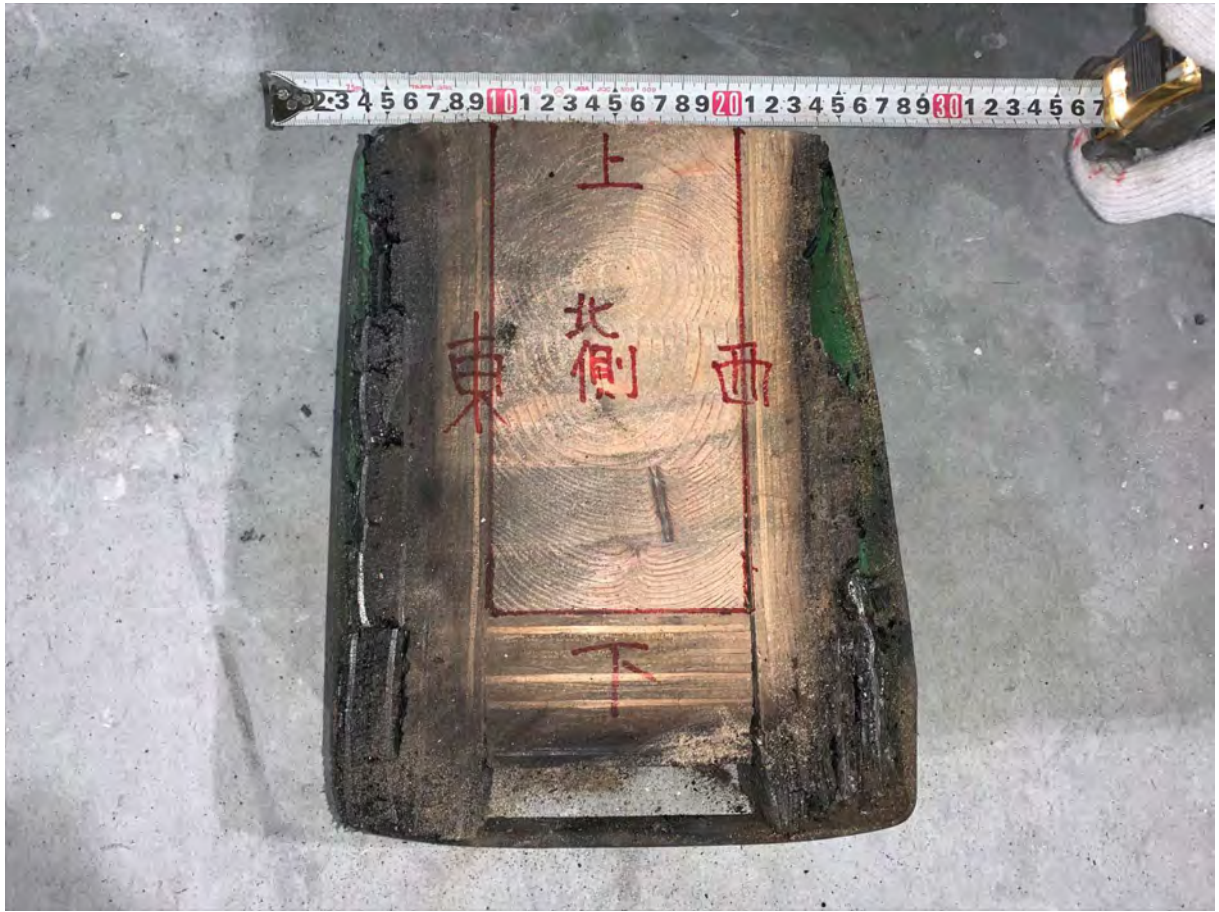


写真 4-29 断面 北側



写真 4-30 断面 北側

(2) 考察

10時29分に加熱開始して一時間後である11時29分に加熱を終了した。加熱7分で被覆材表面において難燃薬剤が発泡しているのが観察された。加熱停止直前の53分で、側面の被覆材の一部が脱落しているのが確認されたが、脱炉後に確認したところ、2次接着部がはがれたのではなく外側の20mmほどが脱落しただけで、炭化の進み具合は他部位とほとんど変わらなかった。

加熱開始後1320分(22時間)で脱炉した。荷重支持梁のうち、隅部の最高温度は1/4点の15番で129℃、下部の平部の最高温度は1/4点の3番で127℃、側面の平部の最高温度は12番の112℃であった。どの部位においても炭化の恐れがあると思われる260℃を超えておらず、また11月の予備試験時に比べても全体的に10度ほど低い温度であった。一番遅く最大温度に達したのは下部の平部17番で、360分で温度が下がり始めた。

たわみ量に関しては、加熱開始から変形がすすみ、加熱をとめても加熱中と同様の速度で変形がすすみ、最終的に720分で変形の増加が止まった。

熱電対を設置した中間点、載荷点直下の断面を切って、荷重支持部材に炭化があるかを確認した。60mm厚の被覆材のうち平部では20mm前後、隅部では10mm前後を残して燃えどまっていることが確認できた。荷重支持はりの炭化は見られなかった。

11月の予備試験時と同様、縦目地を中間点と1/4点の3カ所に集中させても1時間耐火の性能に問題ないことがわかった。

4. 4 性能評価試験 2 回目

4. 4. 1 はじめに

令和元年 1 月に日本建築総合試験所で試験を行った LVL 被覆 1 時間耐火構造（梁）の仕様に
基づき、性能評価試験のうち 2 体目を大阪池田市の日本建築総合試験所で実施した。難燃処理単
板積層材の薬剤注入量は $130\text{-}140\text{ kg/m}^3$ とし、30 mm 厚の単板積層材を 2 次接着して、現場用ウレタ
ン樹脂とビスにて梁に取り付けた。

4. 4. 2 実験概要

1 時間耐火性能を目標に製作した 3 面加熱の試験体は、日本建築総合試験所の水平炉を使用し、
一般社団法人日本建築総合試験所の「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して載荷加熱試験を行
った。図 1-1 に水平炉の試験装置図を示した。試験実施日は令和 2 年 2 月 27 日であった。

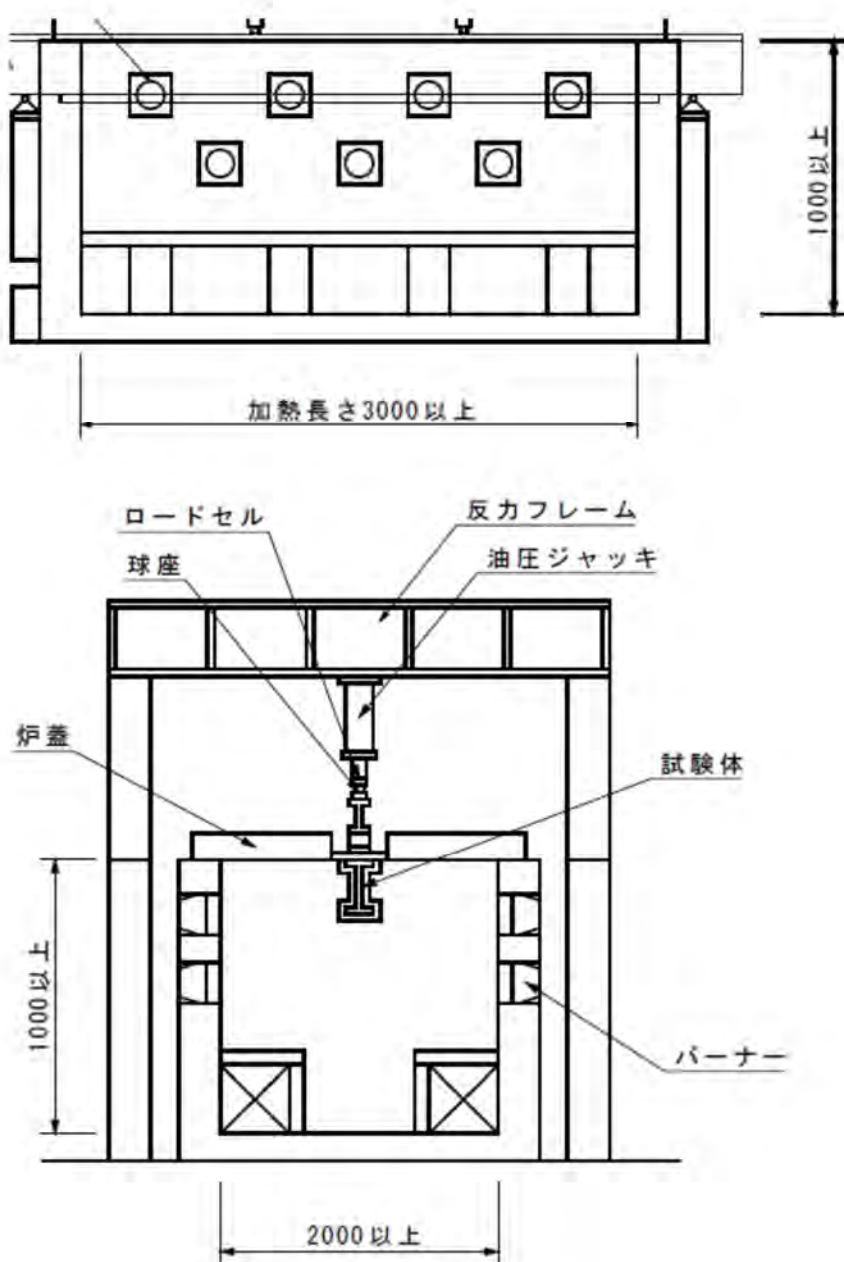


図 1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。たわみ変形が進み、载荷の継続が困難となった場合、または内部温度が炭化温度を大幅に超えた場合に試験を中止する事とした。

(2) 载荷方法

試験荷重は、集成材 E105-F300 の基準曲げ強度($F_b=11.0\text{N/mm}^2$)より長期許容曲げ応力度がはりにかかるよう、算出した。3等分点2点载荷のうち、1か所あたり 4.72kN を载荷した。

(3) 測定項目

①試験体内部温度

②炉内温度

③軸方向収縮(変形)量

④炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて乾燥した後の重量から、含水率を測定した。

⑥その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 4. 3 試験体概要

試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を製作時の様子を表 3-1～2 と図 3-1～3、写真 3-1～2 に示す。

表 3-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 対象異等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 カラマツ・密度 0.59g/cm³(気乾、実測値)・断面寸法 105×210
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 130-140kg/m³・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 3-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
留付材	<p>[1]被覆材留付用</p> <p>[1]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none">・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの)・寸法 φ4.2 mm×L51 mm・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none">・材質 ウレタン系樹脂接着剤・塗布量 300g/m² <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none">・材質 ブナ(広葉樹)・寸法 φ10
表面塗装	<p>[1]アクリル・ウレタン樹脂系塗料</p> <ul style="list-style-type: none">・塗布量 300g/m²

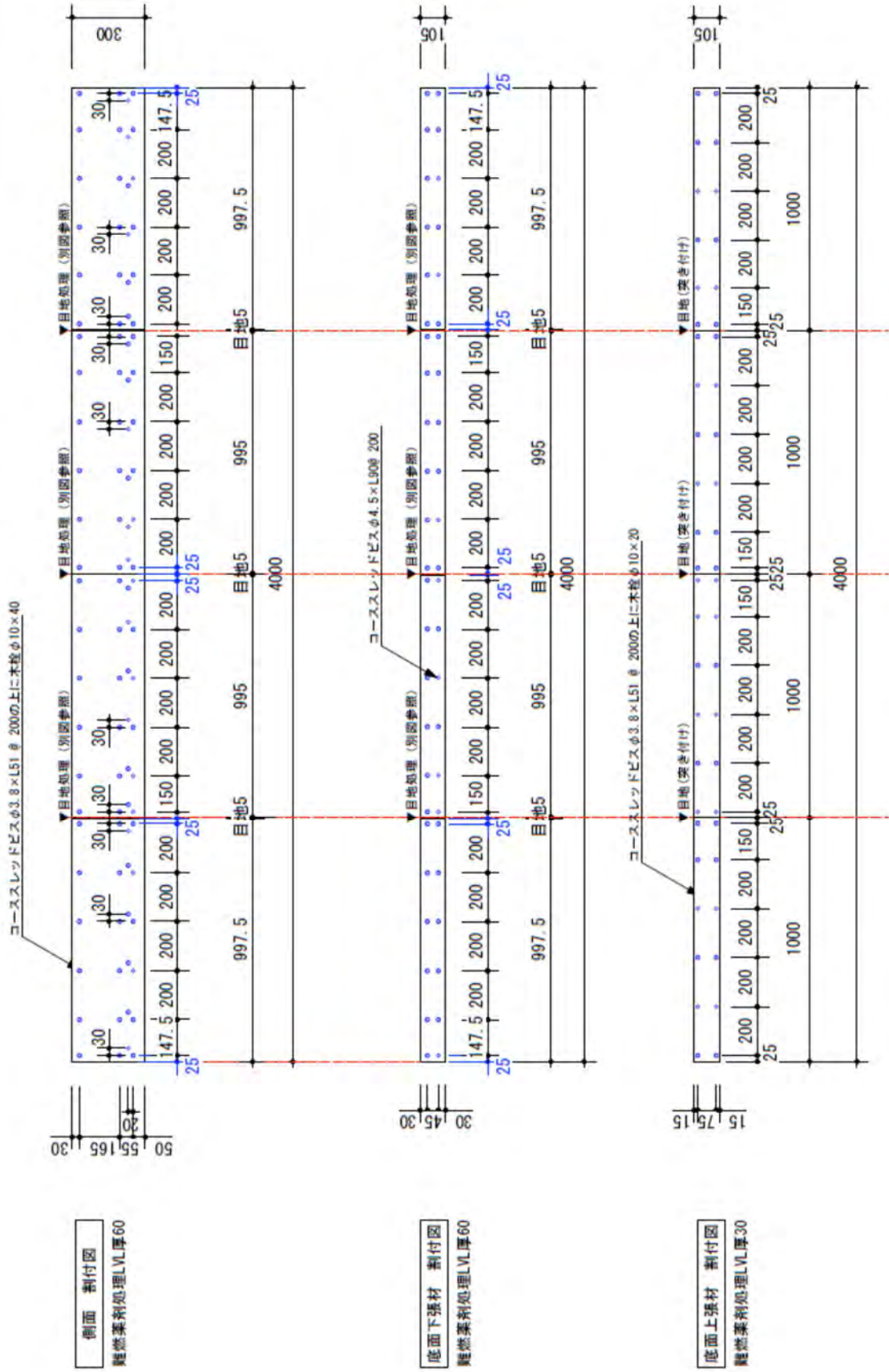
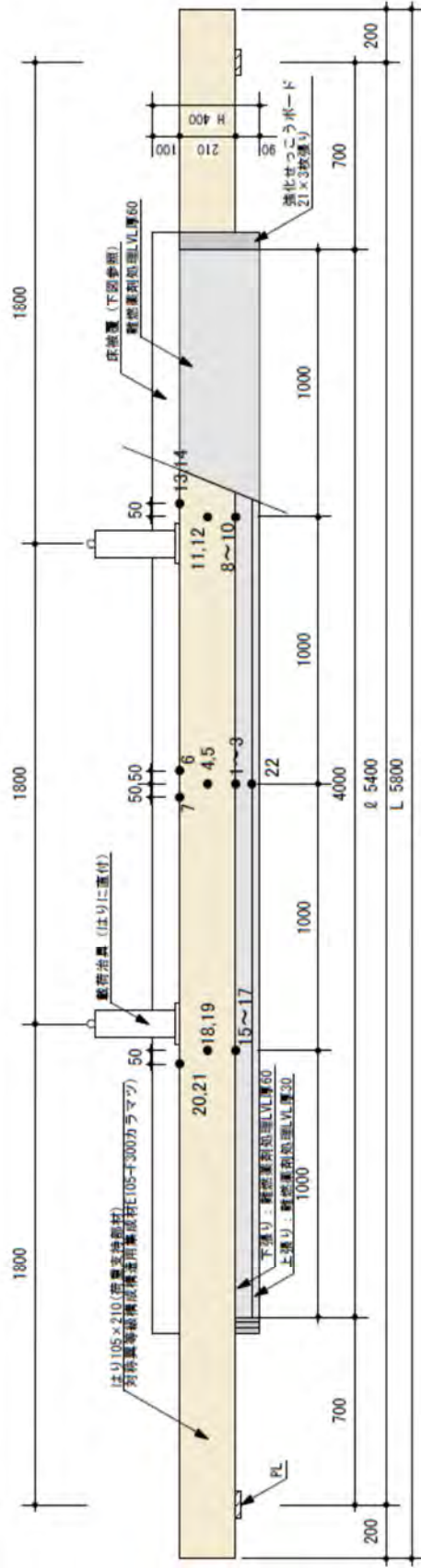
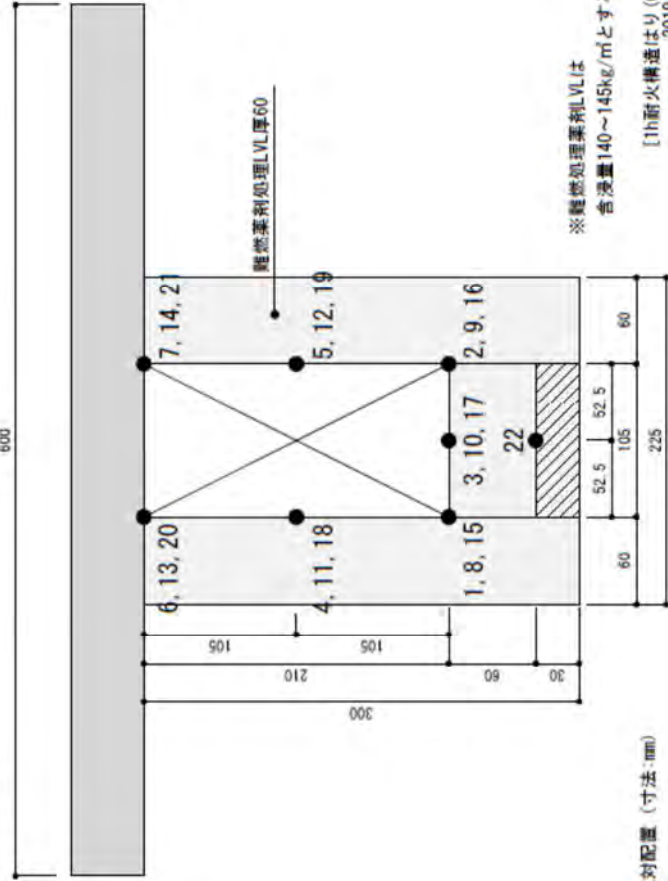


図-2 試験体1 割付図 (寸法:mm)

図 3-2 試験体の構造及び寸法



立面図



- 1~7 : はり表面温度 (はり中央部)
- 8~14 : はり表面温度 (はり右載荷部)
- 15~21 : はり表面温度 (はり左載荷部)
- 22 : 下張材表面温度 (はり載荷部/下張材目地部)

※難燃薬剤処理VLは
 合計量140~145kg/mとする
 [1h耐火構造はり (GBRC)]
 2019.11.21

図-3 試験体1 熱電対配置 (寸法:mm)

図 3-3 試験体の構造及び寸法

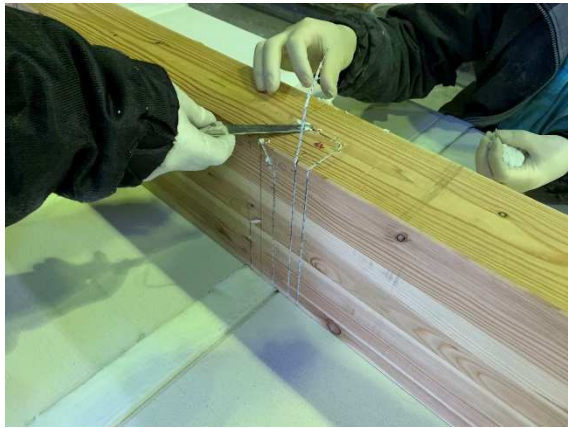


写真 3-1 製作時の様子

4. 4. 3 結果および考察

(1) 実験結果

加熱開始後1320分で各計測点の温度の下降と変形速度の安定を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図4-1、たわみ量測定結果を図4-2、熱電対の内部温度曲線を図4-3に示す。記録写真を写真4-1～写真4-36に示す。

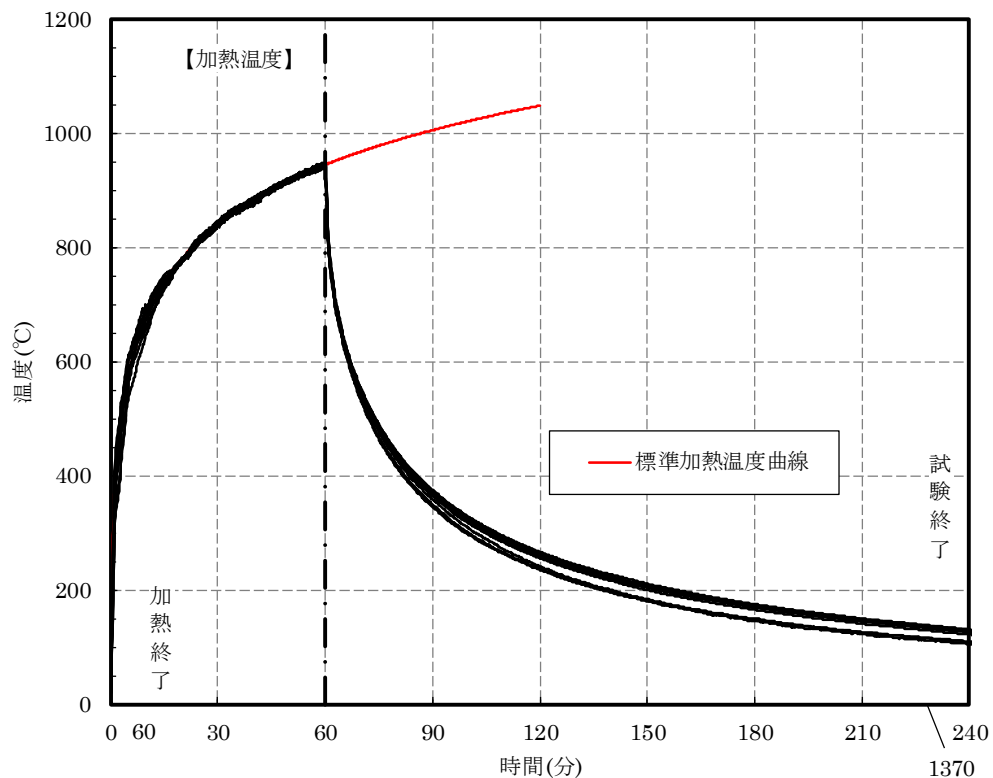
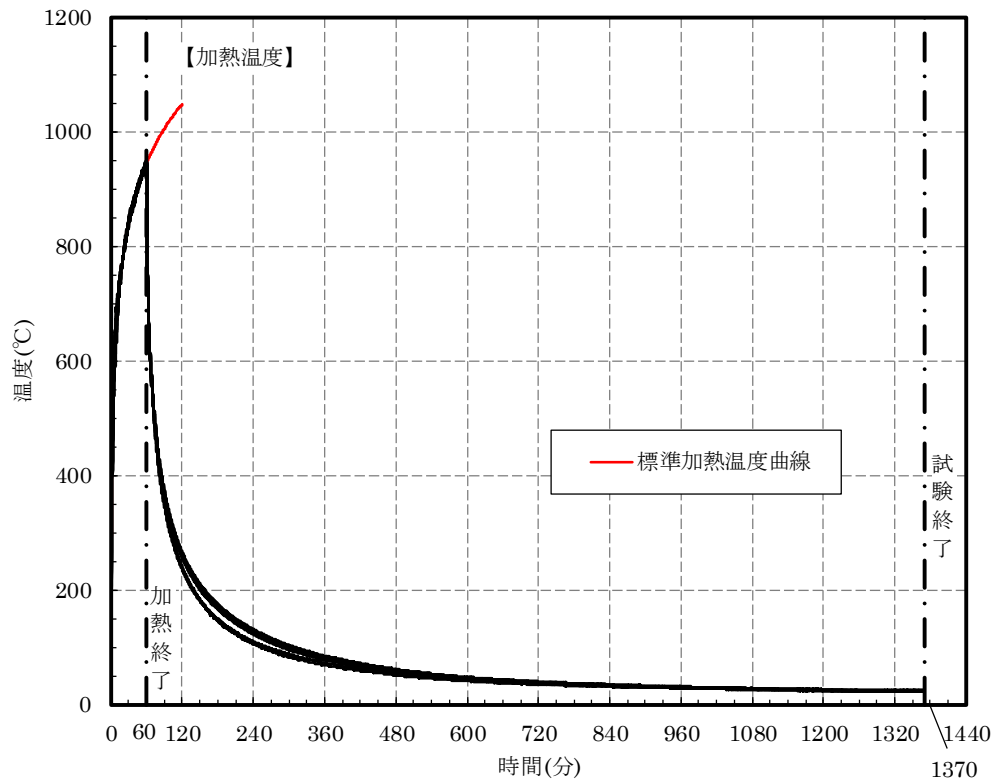


図 4-1 加熱温度測定曲線

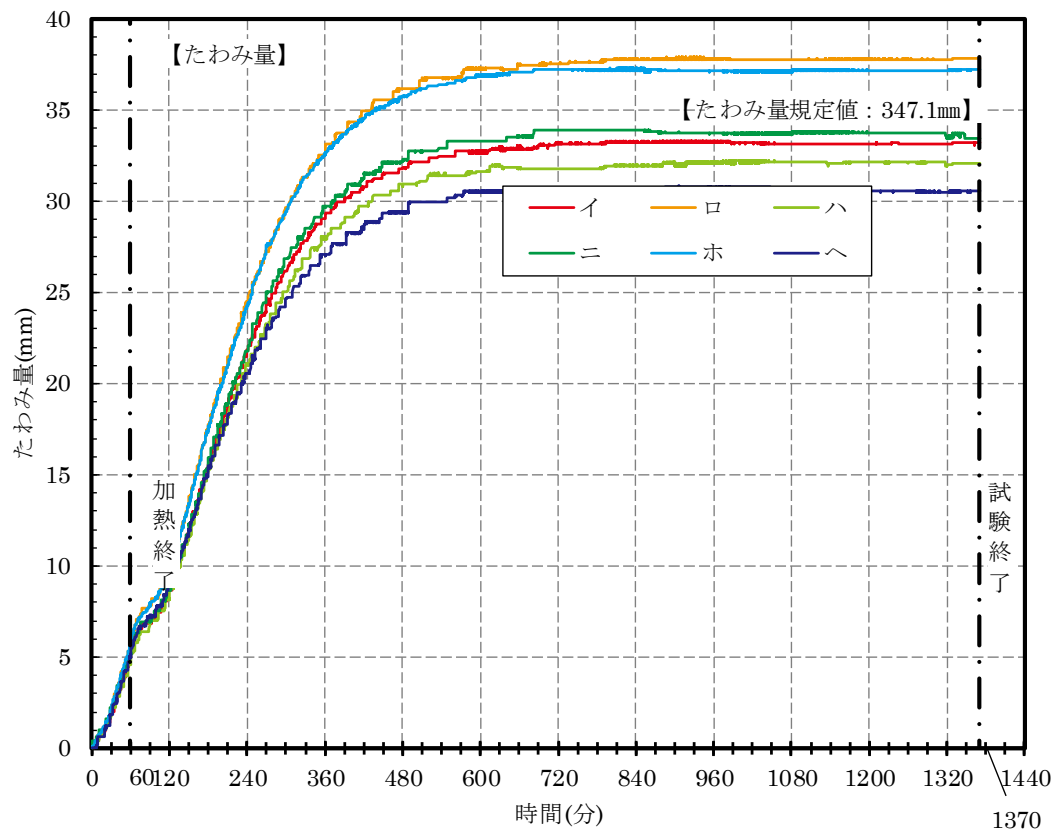
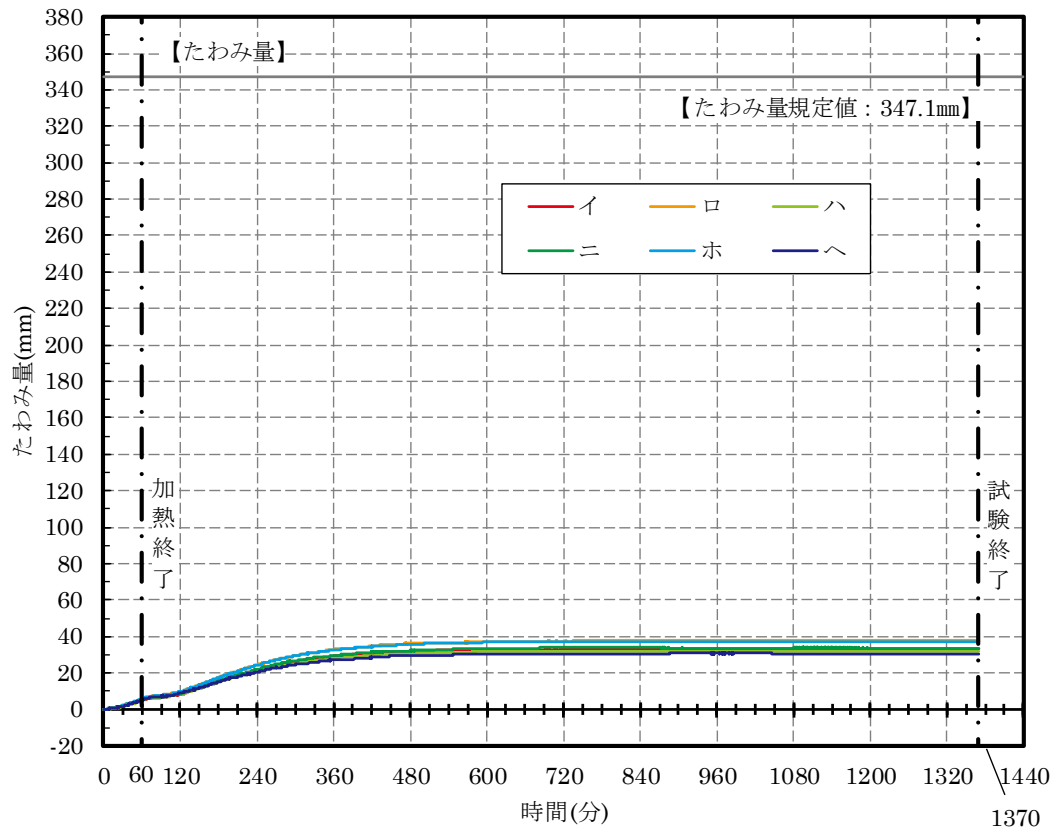


図 4-2 たわみ量測定曲線

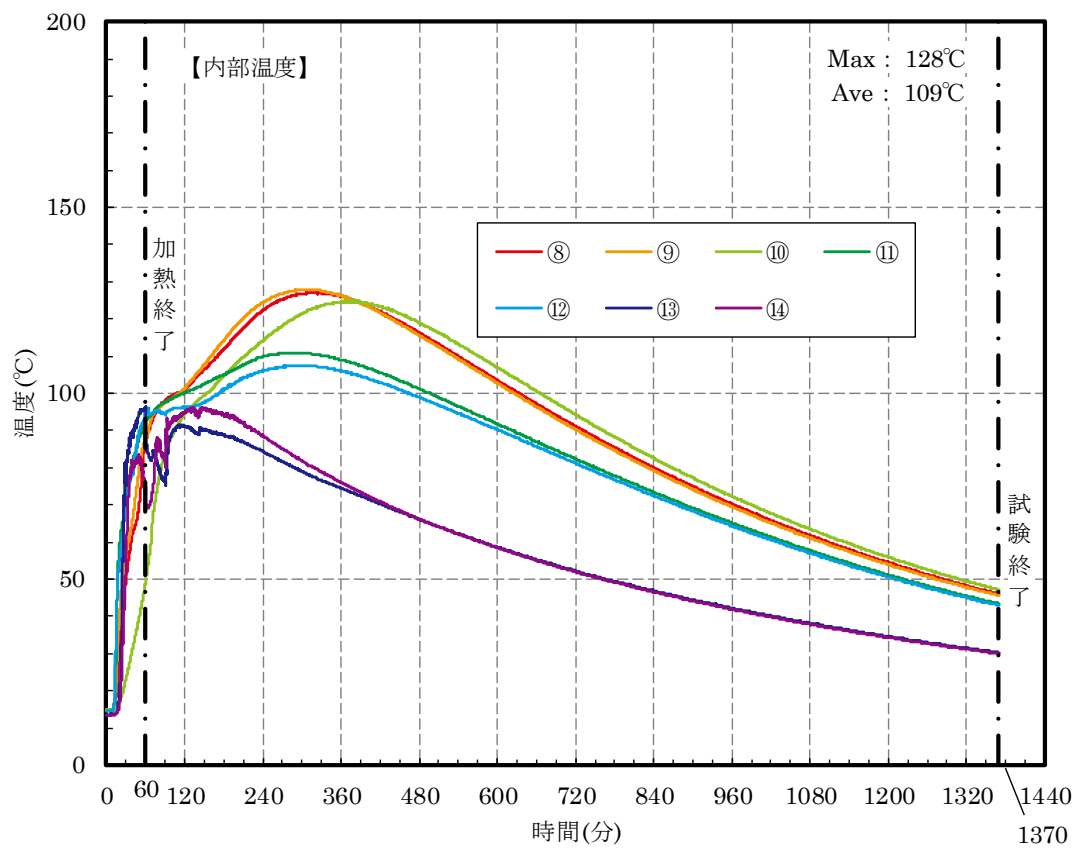
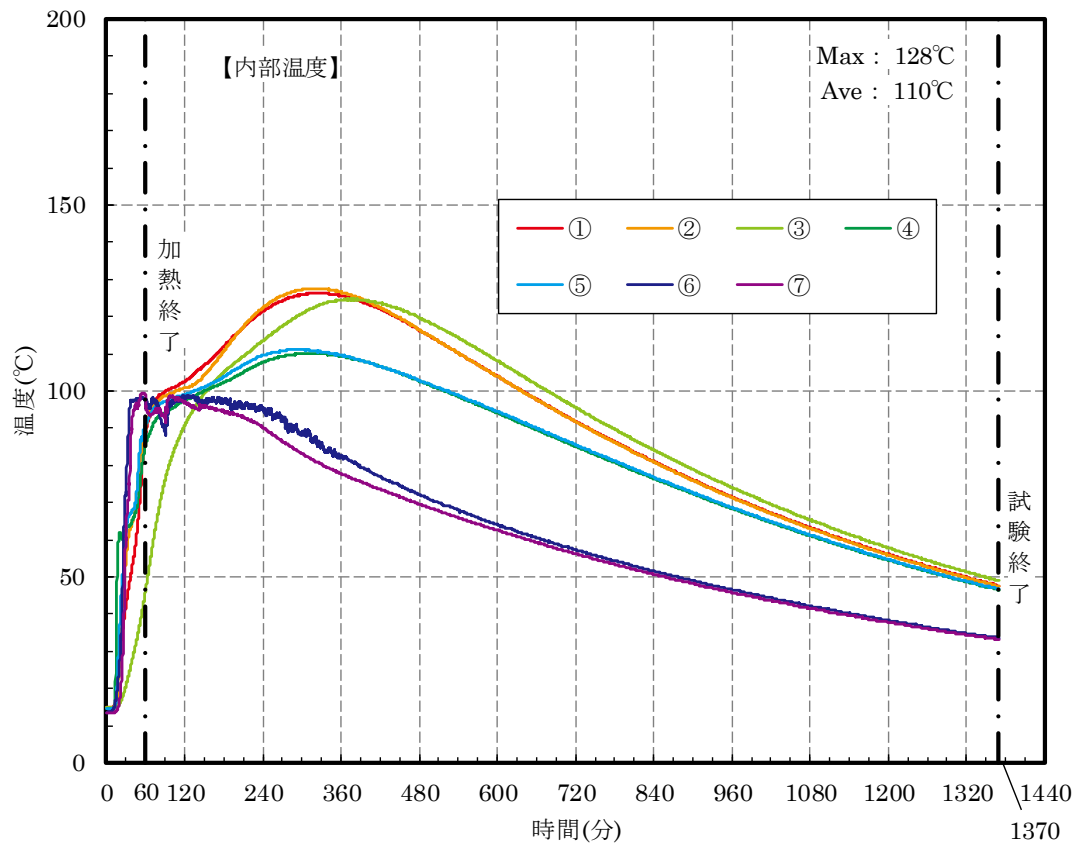


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

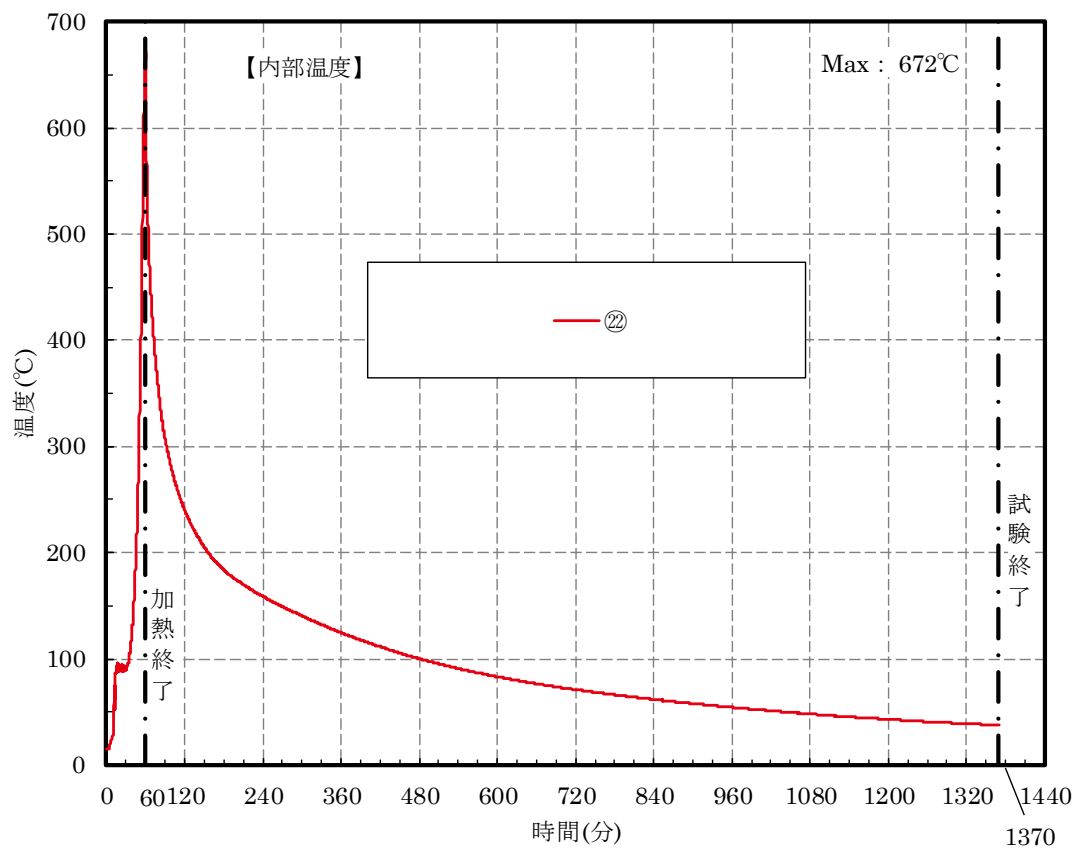
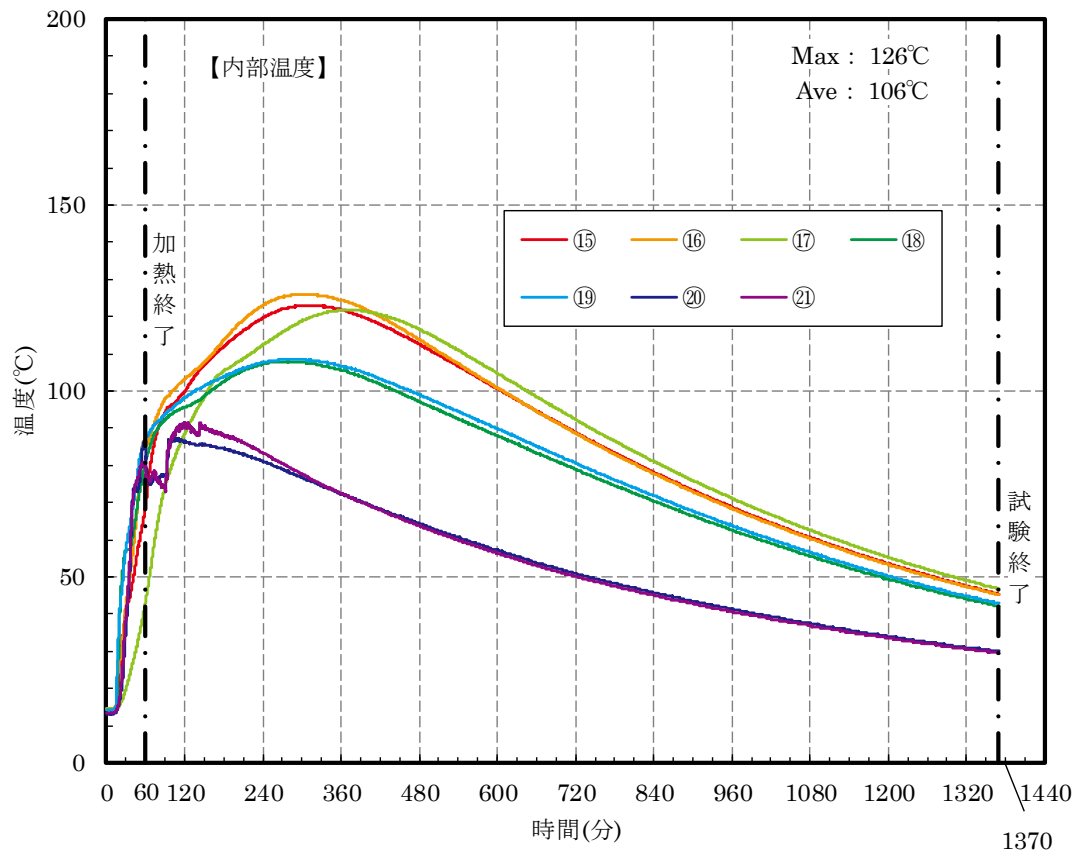


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

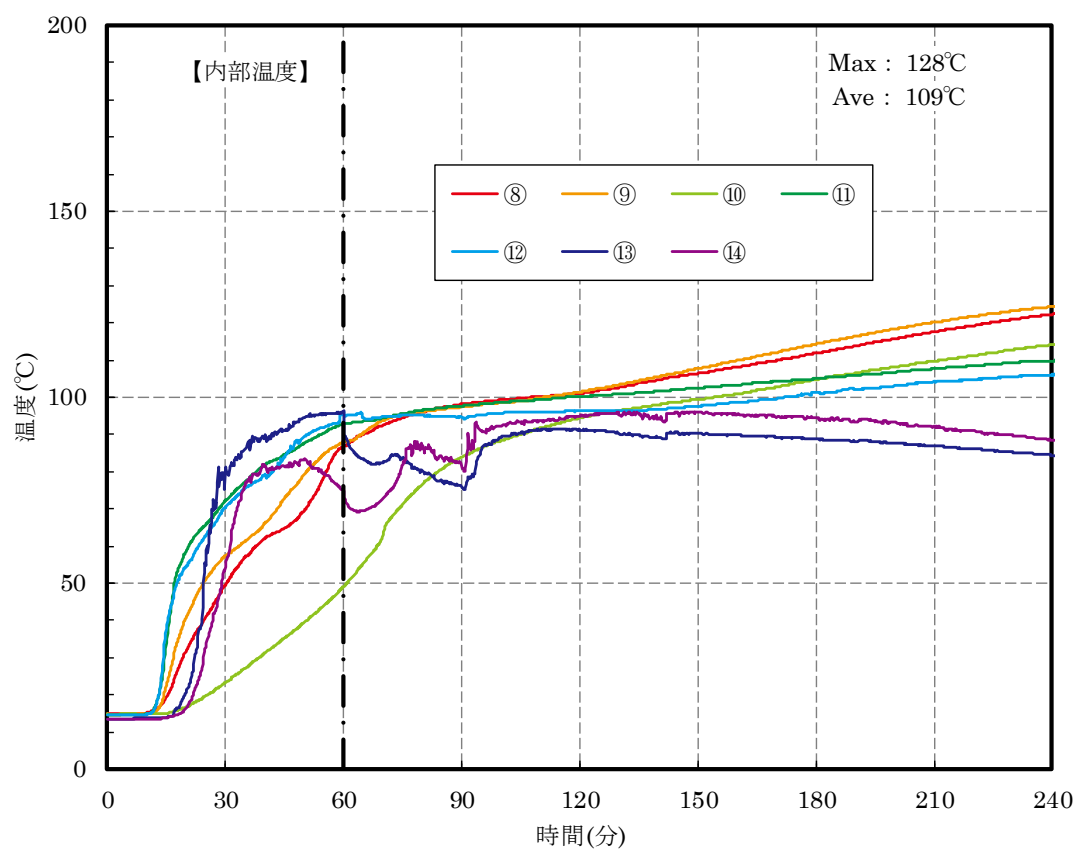
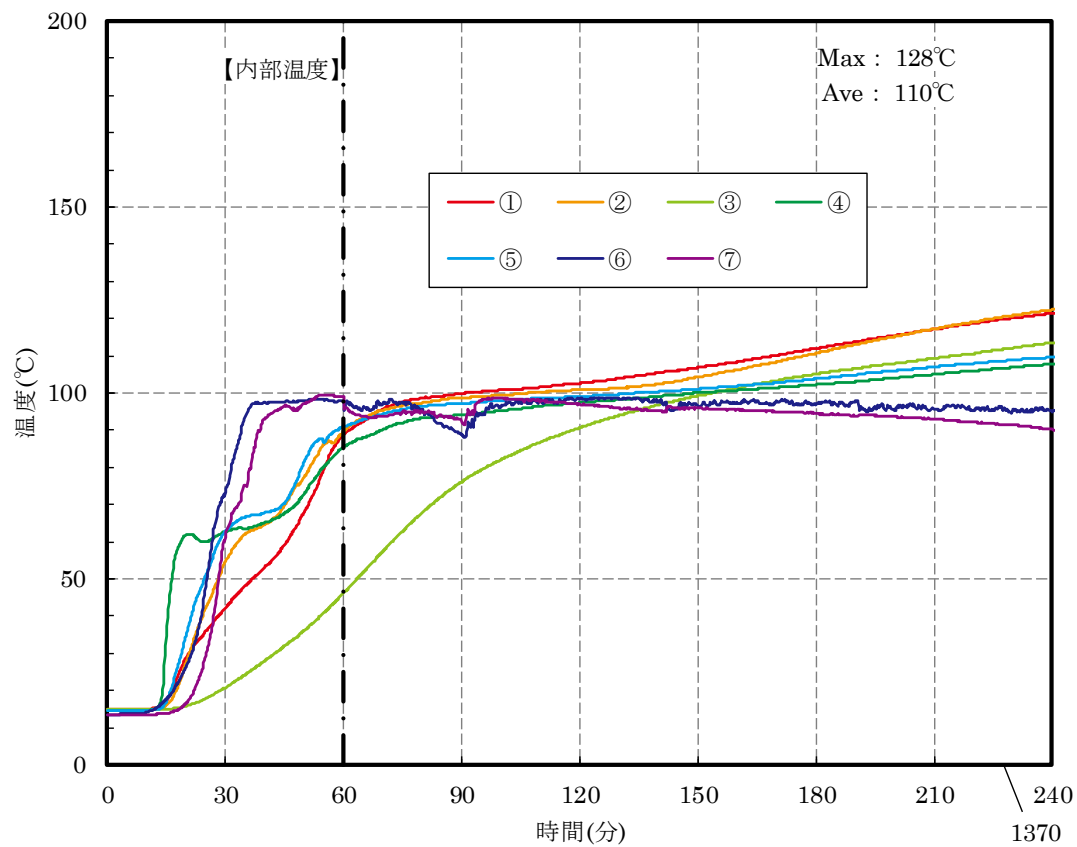


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

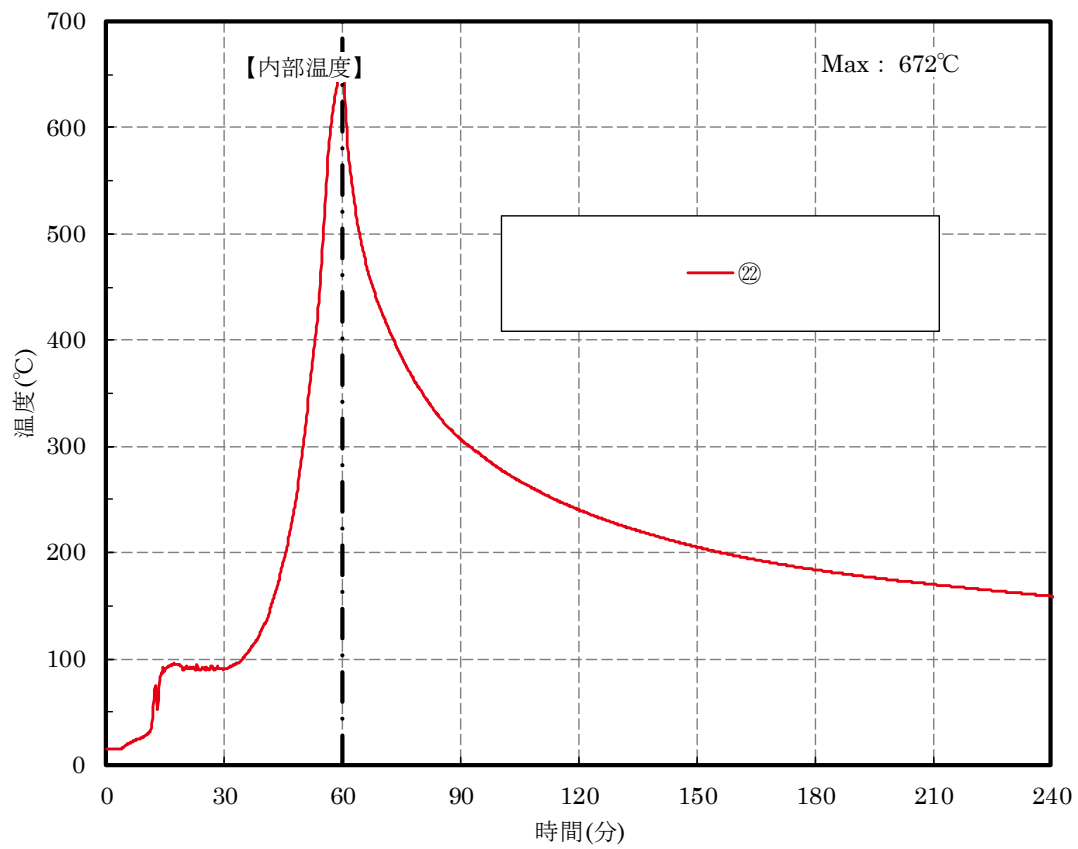
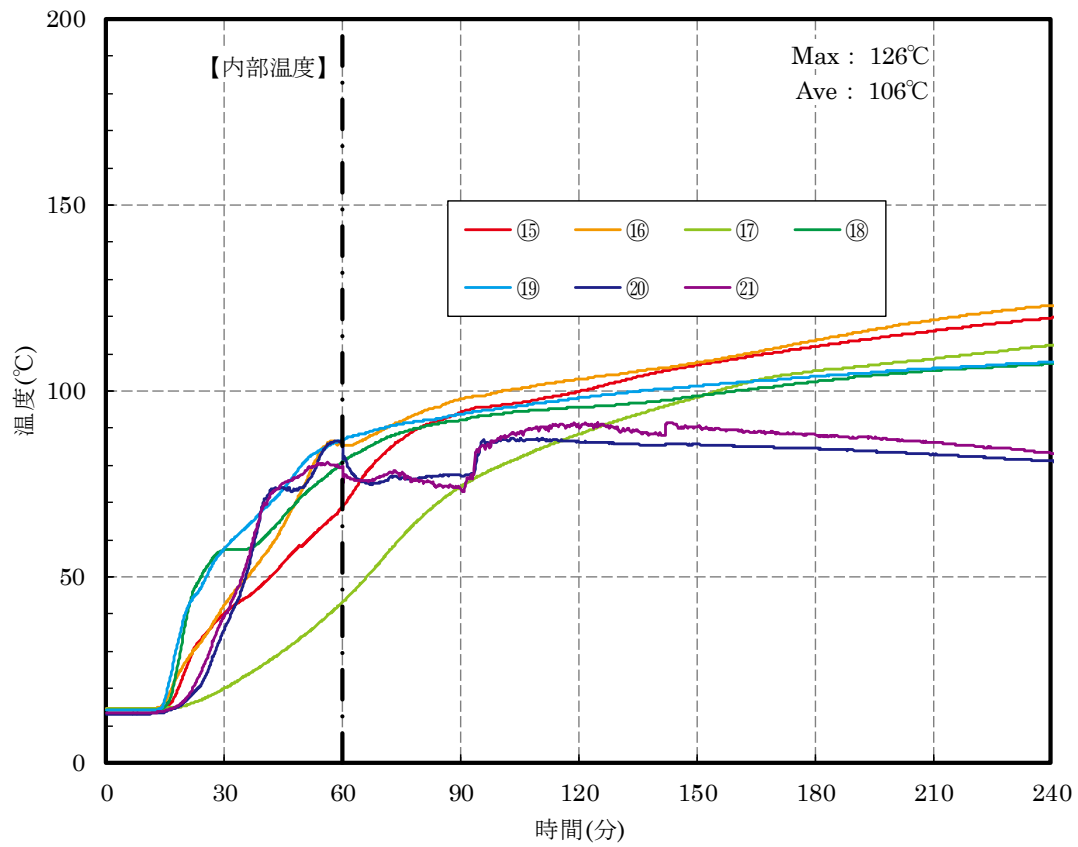


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)



写真 4-1 試験前



写真 4-2 試験前



写真 4-3 載荷と変位測定



写真 4-4 加熱 03 分



写真 4-5 加熱 57 分



写真 4-6 脱炉



写真 4-7 北側下面 30mm 被覆材脱落



写真 4-8 側面 北東 目地



写真 4-9 側面 北側中間点目地



写真 4-10 側面 南東 目地



写真 4-11 南側端部



写真 4-12 脱炉後の炉内 脱落した被覆材



写真 4-13 梁上面



写真 4-14 梁上面



写真 4-15 梁上面



写真 4-16 梁上面



写真 4-17 梁上面



写真 4-18 中間点切断



写真 4-19 断面 中間点



写真 4-20 断面 中間点



写真 4-21 断面 南側



写真 4-22 中間部 下面 30mm 厚を取った跡



写真 4-23 中間部 下面 30mm 厚を取った跡



写真 4-24 断面 北側



写真 4-25 断面 北側 2



写真 4-26 北側 2 被覆材



写真 4-27 北側 2 下面接着面

(2) 考察

10時12分に加熱開始して一時間後である11時12分に加熱を終了、加熱開始後1320分(22時間)で脱炉した。荷重支持梁のうち、隅部の最高温度は1/4点の2番および中間点9番で128°C(311分)、下部の平部の最高温度は1/4点の3番で125°C(366分)、側面の平部の最高温度は5番の111°C(278分)であった。どの部位においても炭化の恐れがあると思われる260°Cを超えていなかった。一番遅く最大温度に達したのは下部の平部3番で、366分で温度が下がり始めた。耐火床との接点は、いずれの場所も100°Cを超えず、加熱終了後に下がり始めていた。

たわみ量に関しては、加熱開始から変形がすすみ、加熱をとめても加熱中と同様の速度で変形がすすみ、最終的に840分で変形の増加が止まった。

熱電対を設置した中間点、载荷点直下の断面を切って、荷重支持部材に炭化があるかを確認した。60mm厚の被覆材のうち平部では20mm前後、隅部では10mm前後を残して燃えどまっていることが確認できた。荷重支持梁の炭化は見られなかった。

1月の性能評価試験時と同様、1時間耐火の性能に問題ないことがわかった。

4. 5 大断面梁の仕様検討

4. 5. 1 はじめに

令和元年11月に日本建築総合試験所で試験を行った LVL 被覆 1 時間耐火構造 (梁) の仕様に基づき、梁を大断面とした場合の 1 時間耐火梁の耐火試験を秋田県能代市の秋田県立大学・木材高度加工研究所で実施した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は $130\text{-}135\text{ kg/m}^3$ とし、30 mm 厚の単板積層材をレゾルシノール樹脂で 2 次接着、現場用ウレタン樹脂とビスにて梁に取り付けた。11月の小断面梁には無かった、側面の被覆材に横目地を設けた。梁上端にとりつく耐火床 (評価対象外) の仕様を、ALC100mm 厚でなく、耐火木造を想定して告示耐火構造仕様とした。24mm 厚針葉樹合板を梁にビスで直に留め付け、LVL 被覆勝ちで、石膏ボード (21mm 厚+25mm 厚 2 枚貼り) とした。耐火木造と難燃処理 LVL 被覆の取り合い部が 1 時間耐火性能を有するかの検証も同時に行った。

4. 5. 2 実験概要

1 時間耐火性能を目標に製作した 3 面加熱の試験体は、木材高度加工研究所の水平炉を使用し、一般社団法人日本建築総合試験所の「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して載荷加熱試験を行った。図 1-1 に水平炉の試験装置図を示した。試験実施日は令和 2 年 1 月 15 日であった。

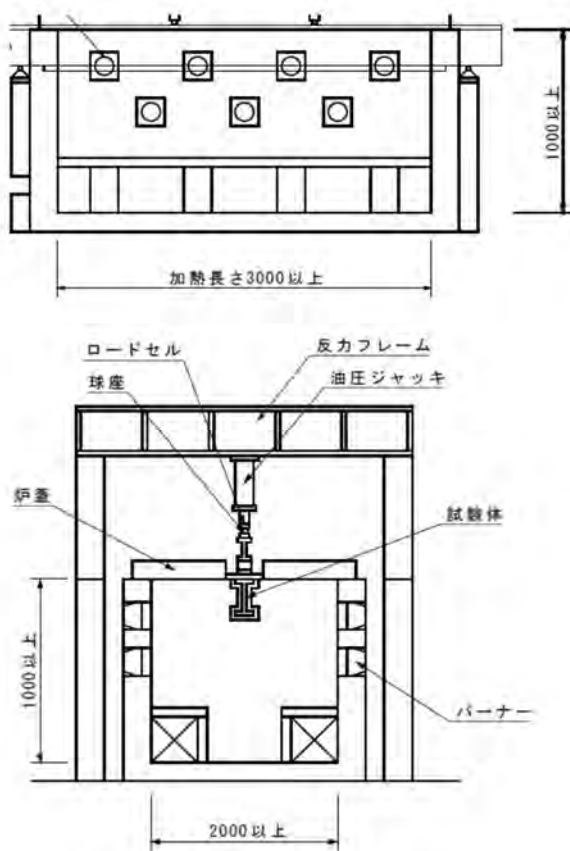


図 1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。たわみ変形が進み、載荷の継続が困難となった場合、または内部温度が炭化温度を大幅に超えた場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重は、集成材 E105-F300 の基準曲げ強度($F_b=11.0\text{N/mm}^2$)より長期許容曲げ応力度がはりにかかるよう、算出した。3等分点4点荷重のうち、1か所あたり 4.72kN を載荷した。

(3) 測定項目

- ①試験体内部温度
- ②炉内温度
- ③軸方向収縮(変形)量
- ④炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 5. 3 試験体概要

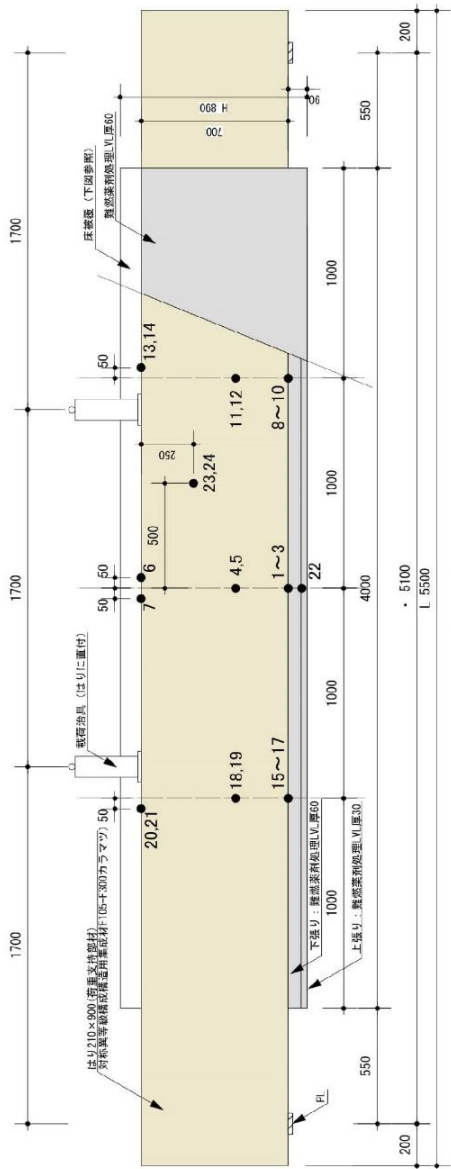
加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を製作時の様子を表 3-1～2 と図 3-1～4、写真 3-1～5 に示す。

表 3-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

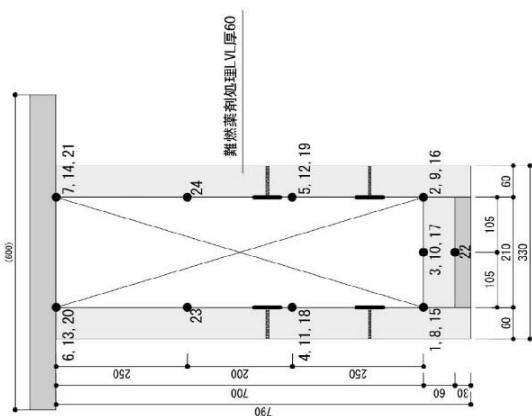
項 目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none"> ・材質 対称異等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの) ・樹種 カラマツ ・断面寸法 210×700
被覆材	<ul style="list-style-type: none"> ・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材 ・薬剤含浸量 130-135kg/m³ ・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 3-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
留付材	<p>[1]被覆材留付用</p> <p>[1]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ4.2 mm×L51 mm ・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300g/m² <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ブナ(広葉樹) ・寸法 φ10
表面塗装	無し



立面図



- 1~7 : はり表面温度 (はり中央部)
- 8~14 : はり表面温度 (はり右側部)
- 15~21 : はり表面温度 (はり左側部)
- 22 : 下張材表面温度 (はり左側部/下張材目地部)
- 23, 24 : はり表面温度一般部 (目地なし)

※難燃処理塗料(VL)は
含浸量135~140kg/mとする
[1]耐火構造はり(秋田県立大学)
2019.11.21

図-3 試験体1 熱電対配置 (寸法:mm)

図 3-1 試験体の構造及び寸法

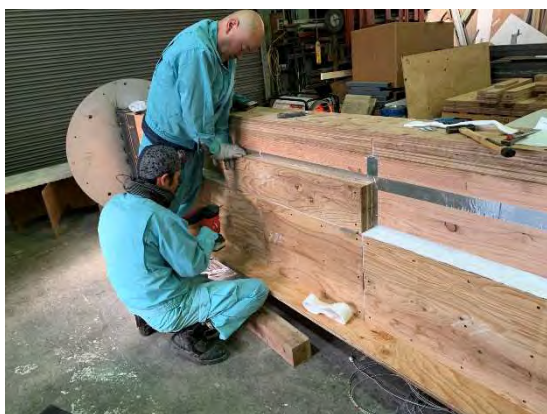
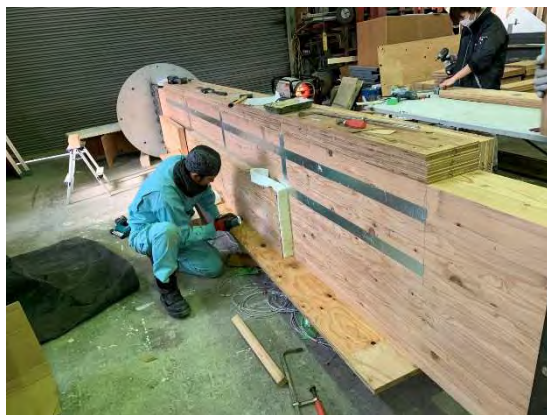
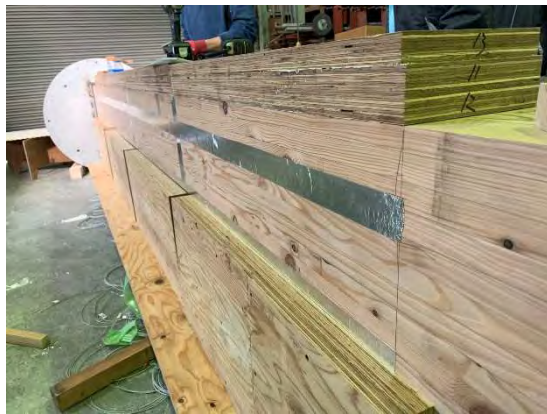
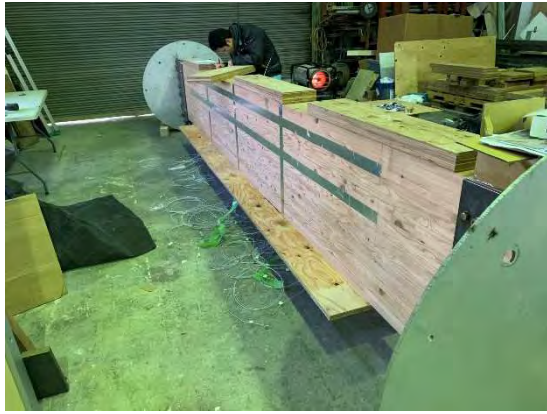


写真 3.1 製作時の様子

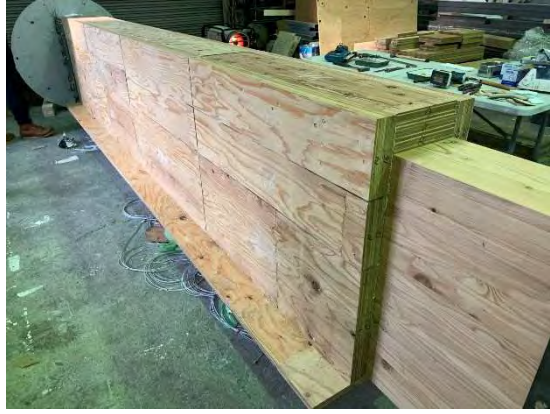
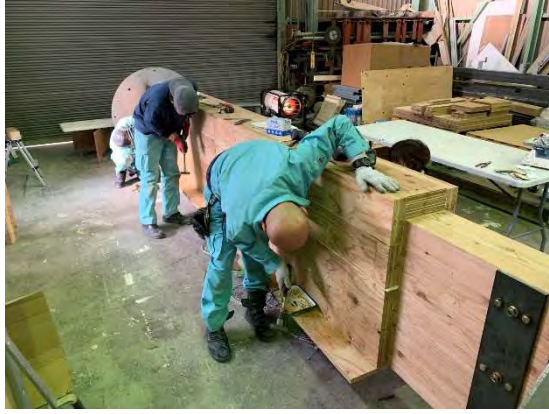


写真 3.2 製作時の様子



写真 3.3 製作時の様子



写真 3.4 製作時の様子

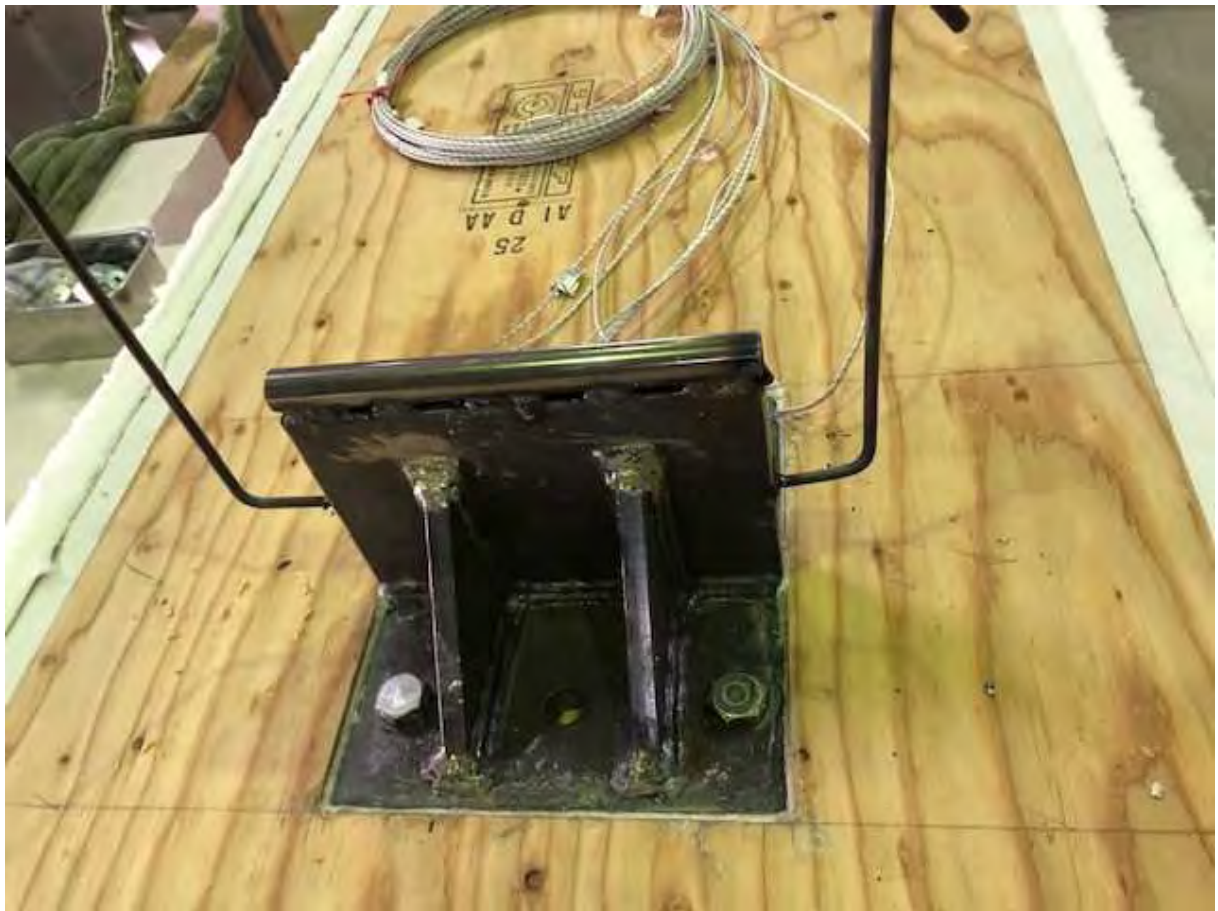
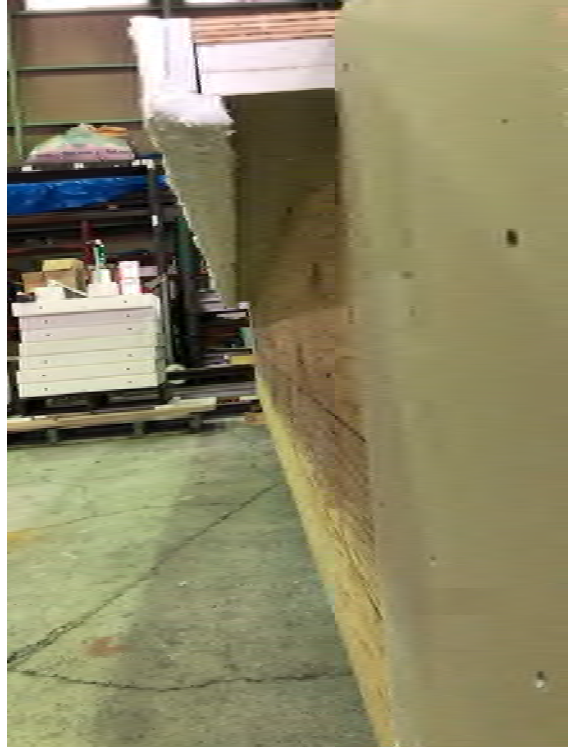


写真 3.5 製作時の様子

4. 5. 3 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後360分で各計測点の温度の下降と変形速度の安定を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図4-1、たわみ量測定結果を図4-2、熱電対の内部温度曲線を図4-3に示す。記録写真を写真4-1～写真4-36に示す。

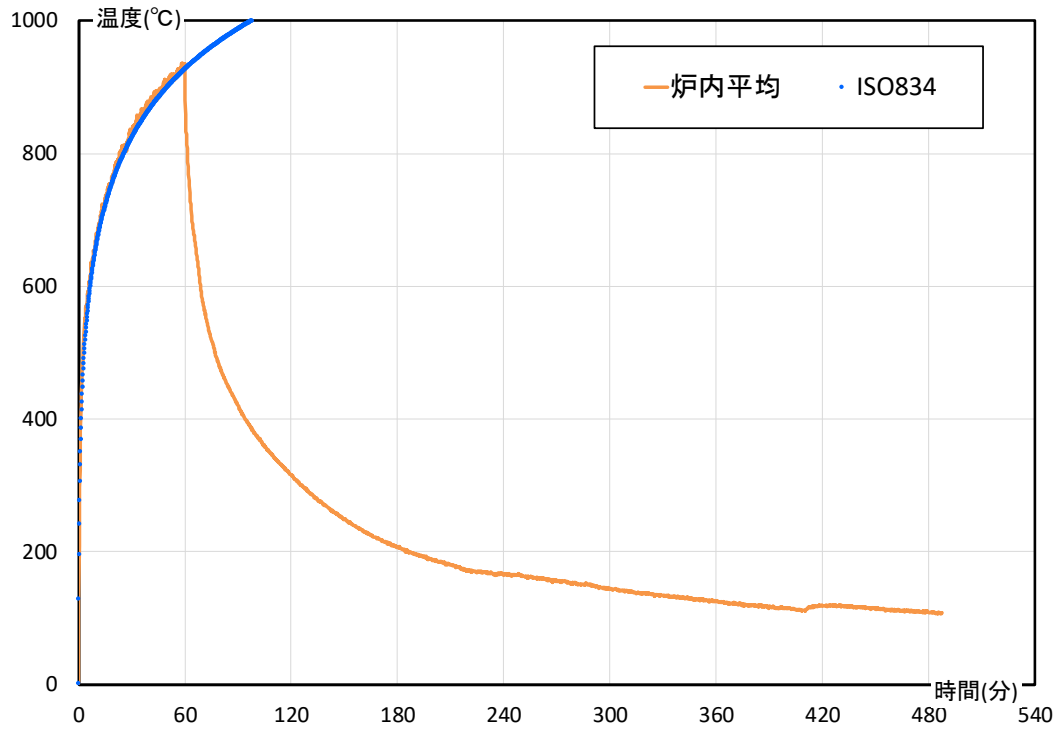


図 4-1 加熱温度測定曲線

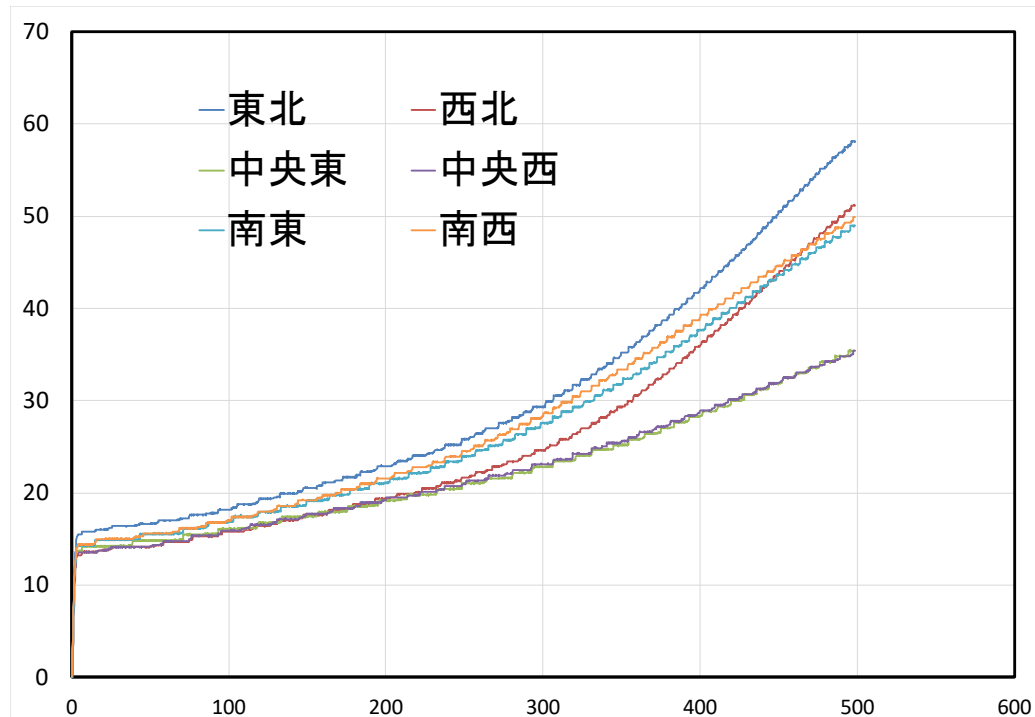


図 4-2 たわみ量測定曲線

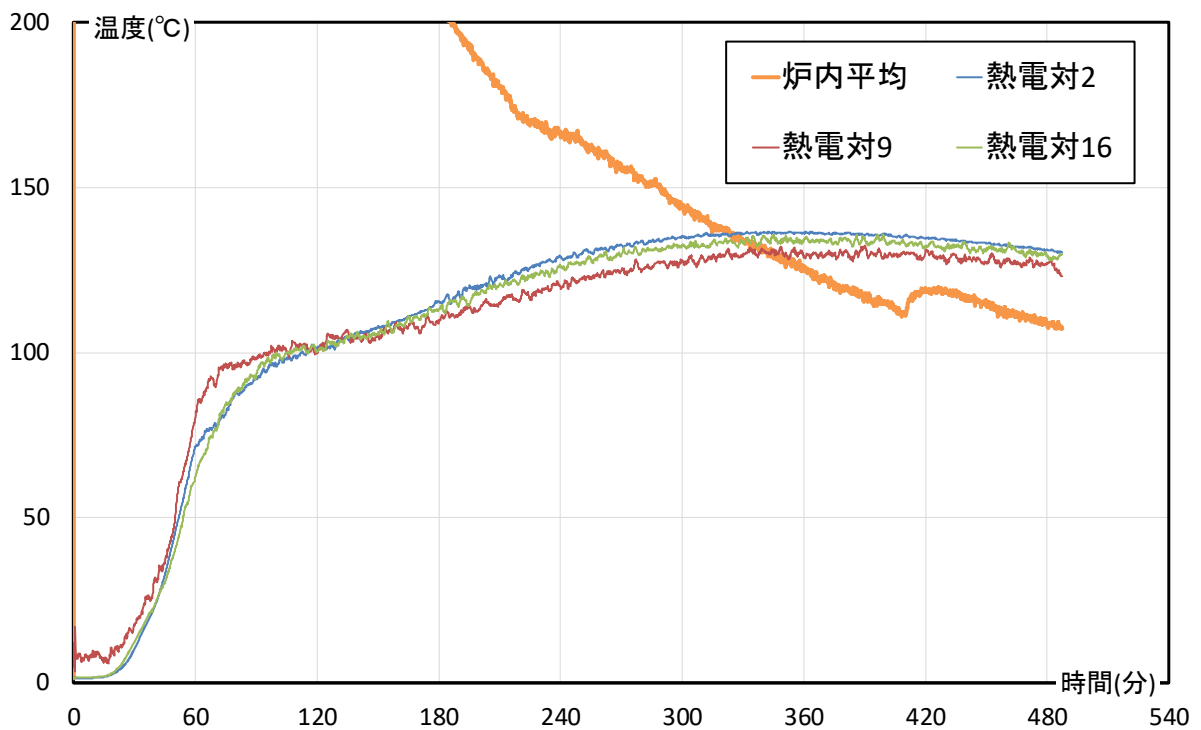
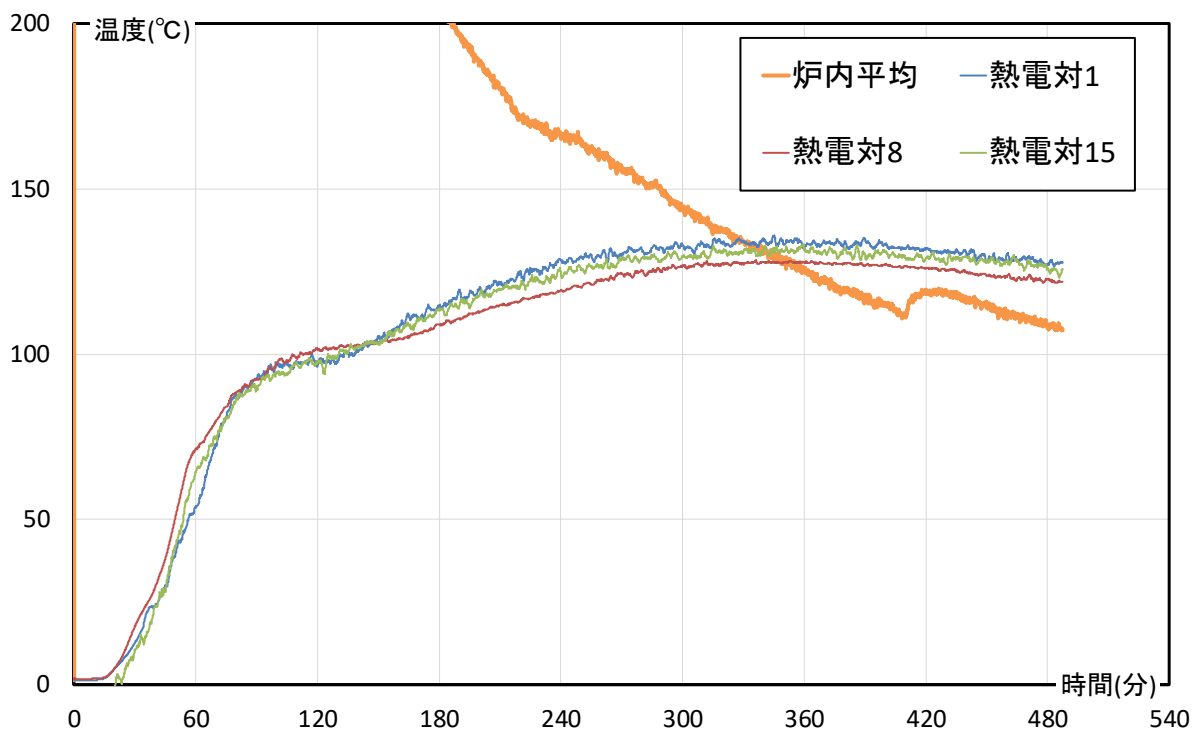


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

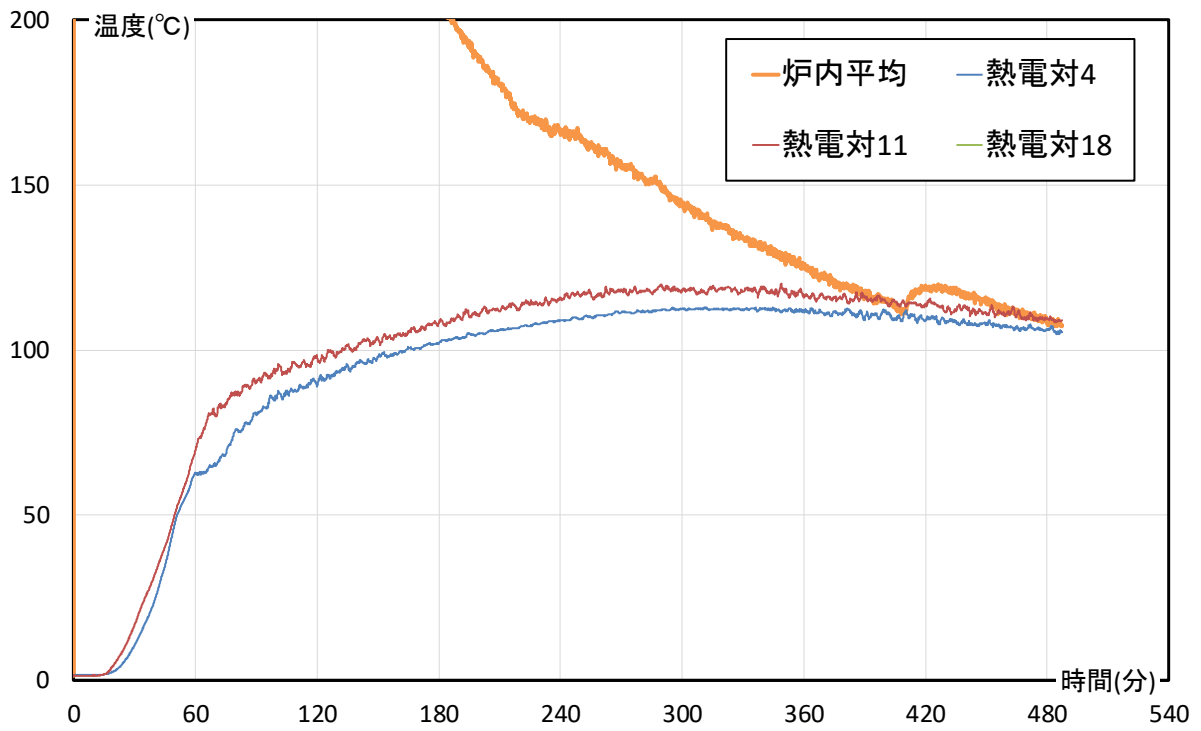
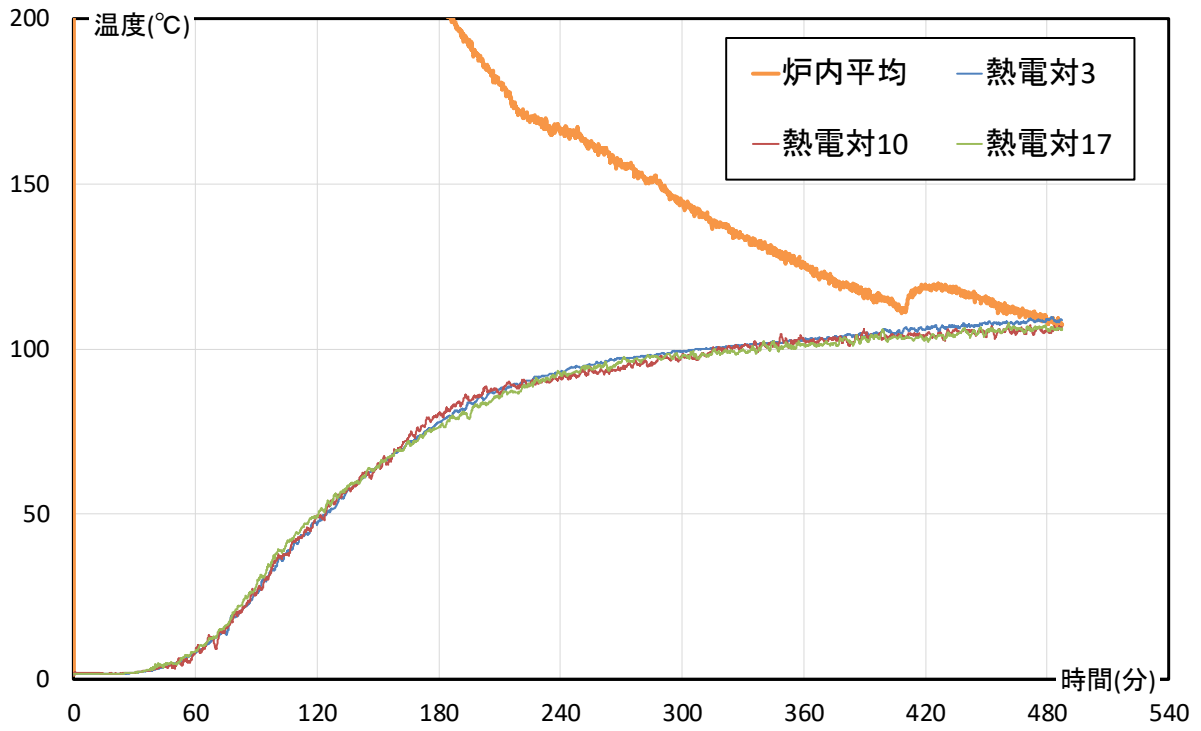


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

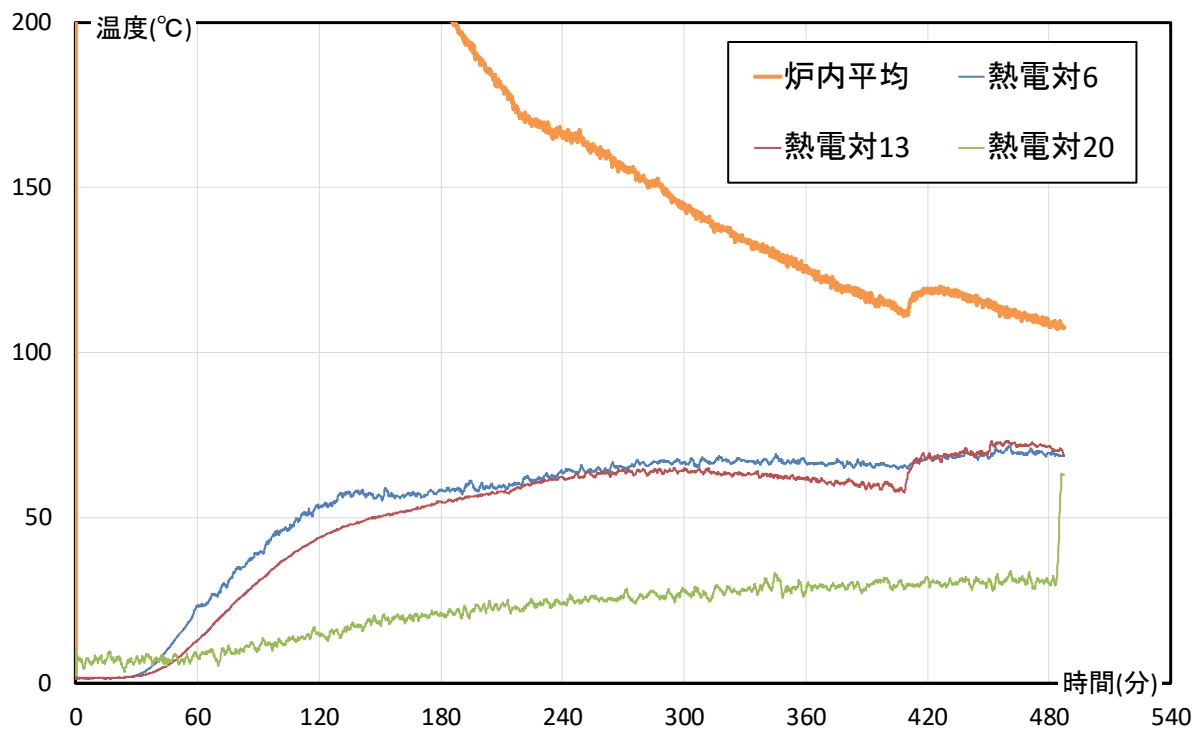
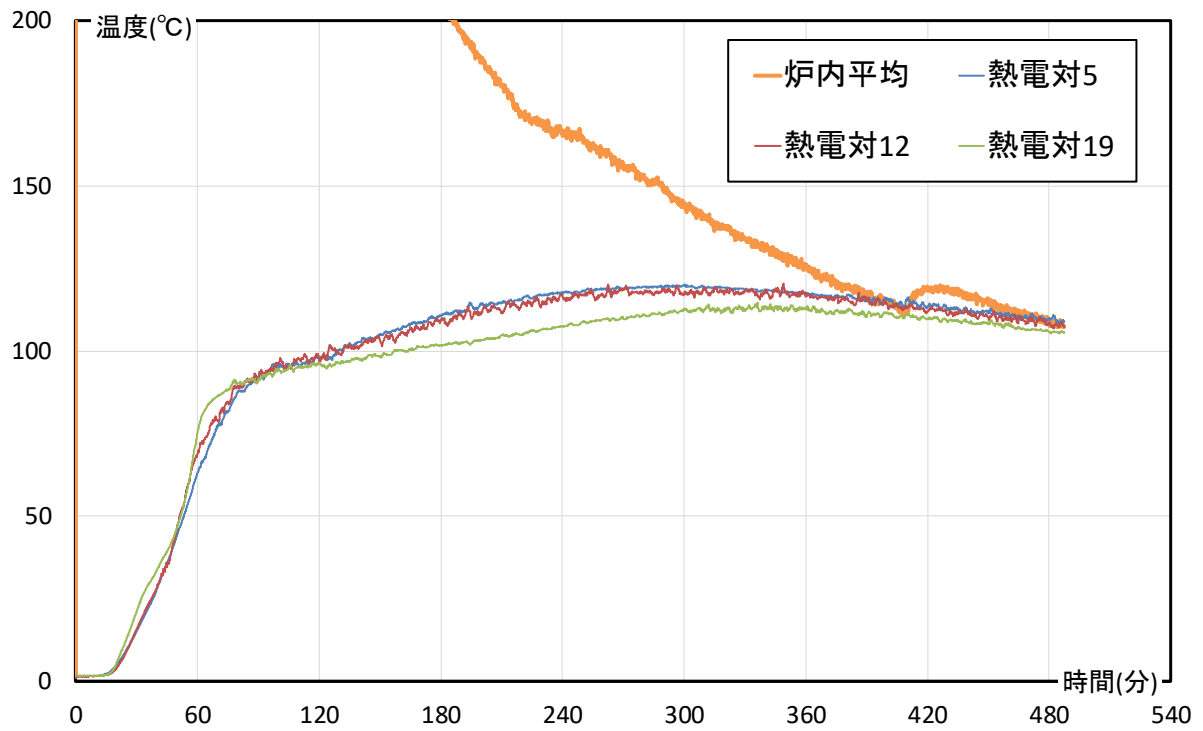


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

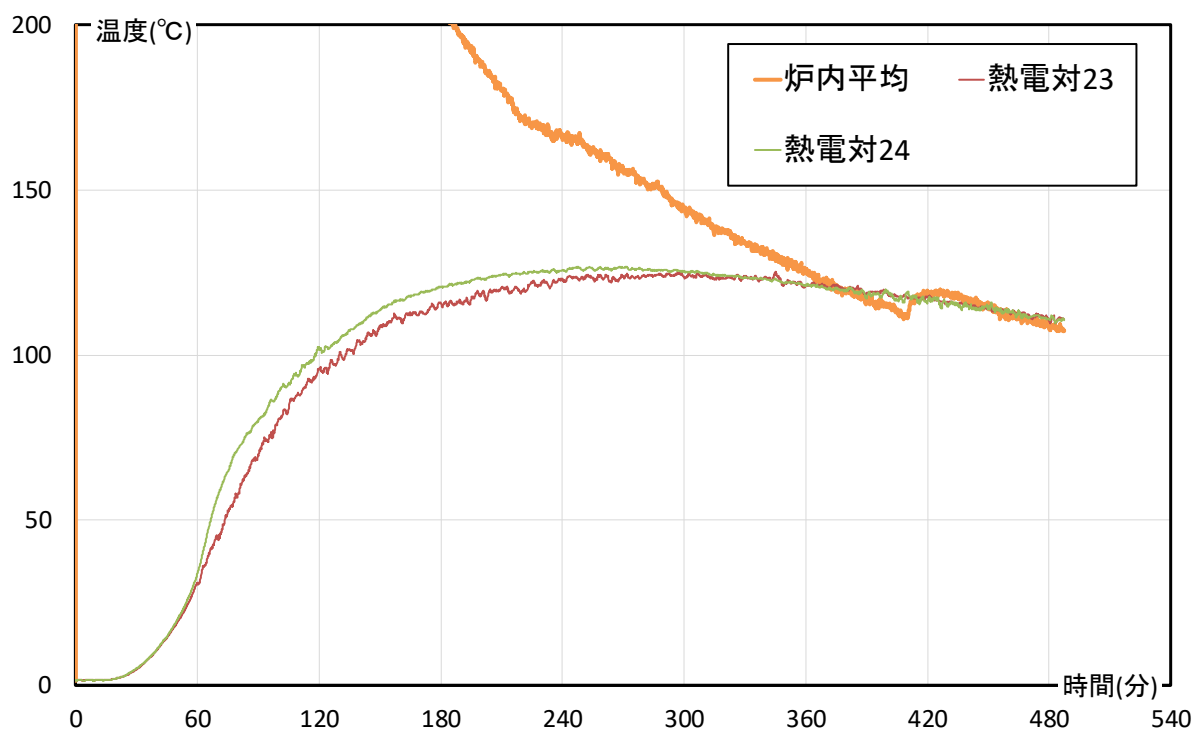
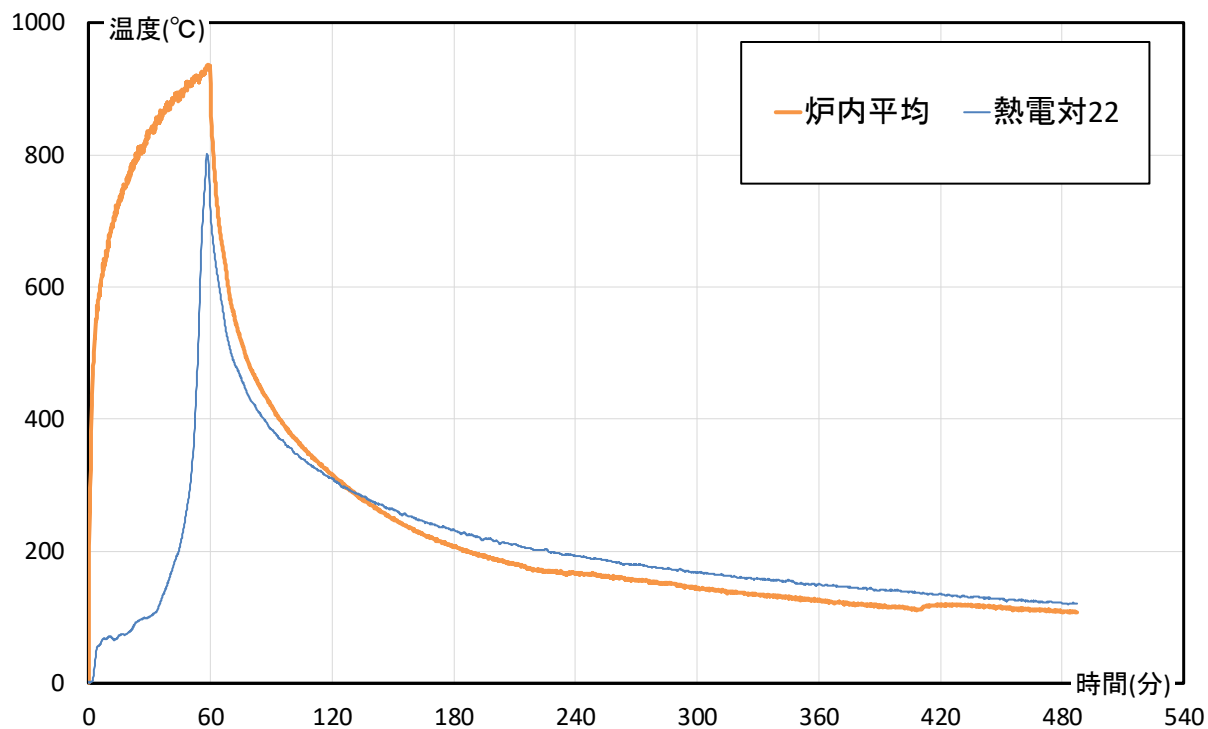


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位每)



写真 4-1 水平炉全景



写真 4-2 水平炉全景



写真 4-3 加力治具設置 (被覆前)



写真 4-4 荷重支持点



写真 4-5 荷重支持点



写真 4-6 荷重支持点



写真 4-7 床側面の被覆状況



写真 4-8 荷重支持点の被覆状況



写真 4-9 変位計設置状況（加熱中）



写真 4-10 加熱開始 5 分



写真 4-11 加熱開始 48 分

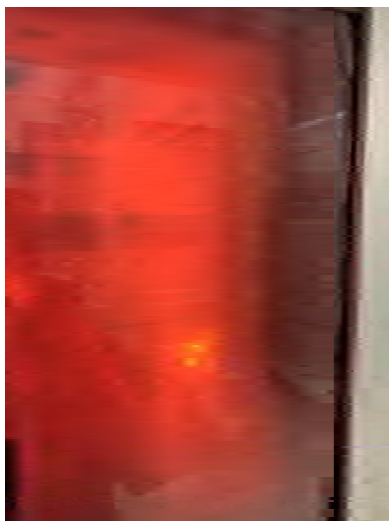


写真 4-12 58 分 梁下面被覆一部が落下
赤熱

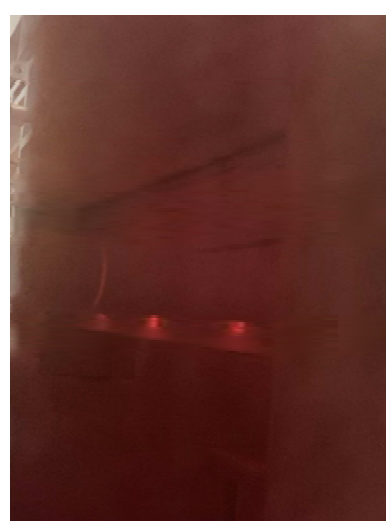


写真 4-13 65 分 側面の熱電対吸気部分が



写真 4-14 脱炉直後試験体



写真 4-15 脱炉直後試験体



写真 4-16 被覆材側面（西側）



写真 4-17 被覆材と石膏ボード境界（南側）



写真 4-18 被覆材下面（南側端）

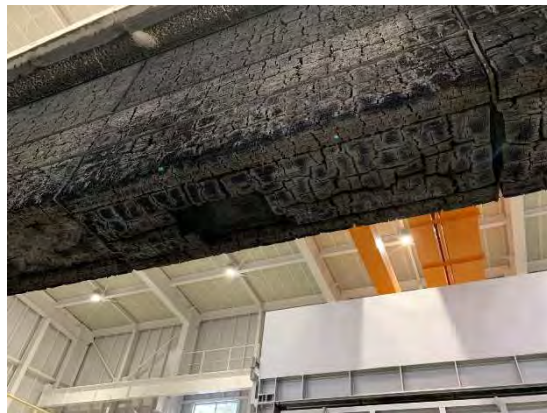


写真 4-19 被覆材下面（中間点南側）



写真 4-20 被覆材下面（中間点北側）58分に脱落



写真 4-21 被覆材下面（側端）脱落



写真 4-22 被覆材と石膏ボード境界（北側）



写真 4-23 床合板上側



写真 4-24 床合板の炭化（南西側 1/4 点）



写真 4-25 床側面（南西側 1/4 点）



写真 4-26 床側面ボード 1 枚はがし（南西側 1/4 点）



写真 4-27 床側面ボード 2 枚はがし



写真 4-28 合板下面と被覆材（南西側 1/4 点）



写真 4-29 床合板



写真 4-30 床合板下面 (南側)



写真 4-31 梁上面 (南側)

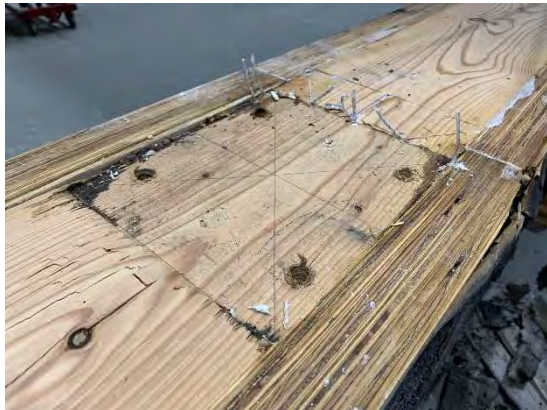


写真 4-32 加力治具の梁へのめりこみ (南側)



写真 4-33 被覆材目地 (南西側 1/4 点)

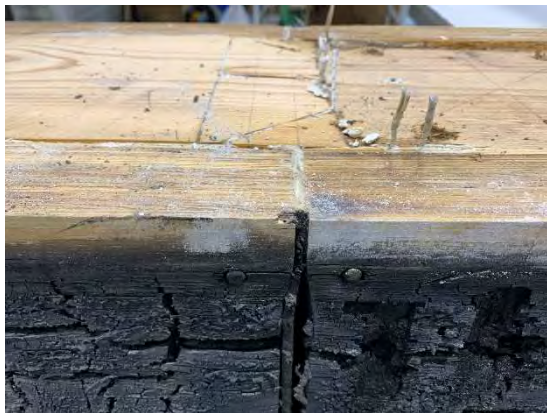


写真 4-34 被覆材目地 (南西側 1/4 点)



写真 4-35 被覆材目地部はがし (南西側 1/4 点)



写真 4-36 被覆材で健全部は 20mm ほど



写真 4-37 被覆材で健全部は 20mm ほど



写真 4-38 下面隅部

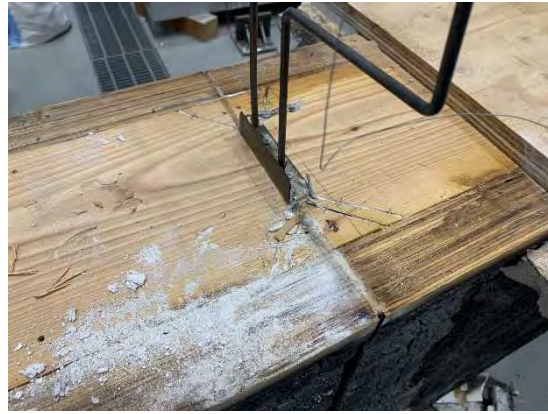


写真 4-39 梁上面 (中間点)



写真 4-40 被覆材目地 (西側中間点)



写真 4-41 被覆材はがし (西側中間点)



写真 4-42 被覆材西側



写真 4-43 被覆材はがし (西側中間点)

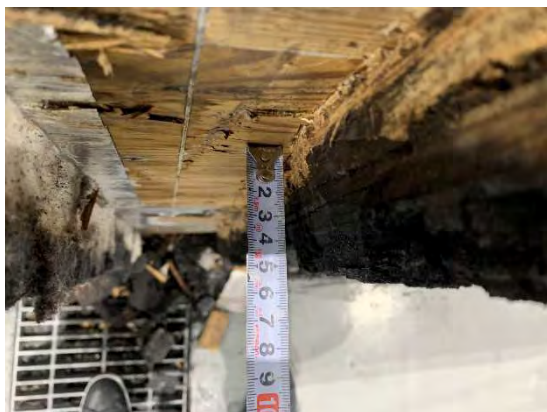


写真 4-44 被覆材で健全部は 20mm ほど



写真 4-45 被覆材で健全部は 20mm ほど



写真 4-46 梁下部隅部（西側中間点）



写真 4-47 西側中間点



写真 4-48 西側中間点炭化



写真 4-49 西側中間点炭化



写真 4-50 梁下部隅部（西側中間点）



写真 4-51 下からみたところ



写真 4-52 梁下部隅部（西中間点）



写真 4-53 加力治具の梁へのめりこみ（南）

(2) 考察

9時30分に加熱開始し一時間後の10時30分に加熱を終了した。加熱5分で被覆材表面で難燃薬剤が発泡しているのが観察された。

加熱開始後480分(8時間)で脱炉した。隅部の最高温度は1/4点の2番で137℃、下部の平部の最高温度は1/4点の3番で109℃、側面の平部の最高温度は24番の127℃であった。どの部位においても260℃を超えておらず、また11月の小断面予備試験時に比べても低い温度であった。下部の平部3,10,17番は、480分ではまだ温度が上昇していた。炉内温度も110℃とほぼ同一の温度であり、時間が経つにつれて温度が下がり始めると思われた。

たわみ量に関しては、加熱開始から変形がすすみ、加熱をとめても加熱中と同様の速度で変形が進んだ。200分くらいから中央以外の4点の変形が大きく進み始めた。脱炉したのちに床合板を取ったところ、加力治具が荷重支持梁に大きくめり込んでおり、梁自体の変形でなく、めり込みで変形が進んでいったことが考えられる。

熱電対を設置した中間点、載荷点直下の被覆材側面の片側を剥がし、荷重支持部材に炭化があるかを確認した。60mm厚の被覆材のうち平部では20mm前後、隅部では5mm前後を残して燃えどまっていることが確認できた。加熱最後の5分で下面の30mm被覆部分が脱落し、被覆材の2層目の中間点部分が直接熱を受けたため、発泡による被覆材の炭化が進んだことが考えられる。荷重支持はりの炭化は剥がした部分に関しては見られなかった。

床合板を21mmと25mm厚石膏ボードで被覆した被覆部を剥がして荷重支持梁を確認したところ、梁の炭化は見られなかった。LVL被覆と告示の耐火構造床の取り合いは1時間耐火の性能を有する可能性が高い。ただ、写真に示したように石膏ボード同士の目地から熱が入り、床合板の一部に炭化が見られたところがあった。梁構造の評価対象外ではあるが、注意した方がよいと思われる。

荷重支持梁を大断面とした仕様で縦目地を中間点と1/4点の3カ所に集中させても60mm厚の被覆すると1時間耐火の性能を有する可能性が高いことがわかった。

5. まとめと今後の課題

本事業では、①木質系材料のみの構成による、②現場施工による新設・交換可能である等の特徴を持つ、1時間耐火構造の梁の開発を、予備実験（試験体1体）→目地数を増やした予備実験（試験体1体）→国土交通大臣認定取得のための性能評価試験（1仕様、試験体2体）を3段階で実施した。この進め方とすれば、性能評価試験を実施する前に、着実に耐火上の弱点部分を把握、克服することができると考えた。

(1) 予備実験と性能評価試験の概要

予備実験では、1時間耐火柱と同一の被覆仕様とし、耐火性能を把握した。その結果、被覆層に設ける難燃薬剤処理した木材厚さを側面では60mm厚とした場合に1時間の耐火性能を有する可能性があること、下面側は60mmにさらに30mm厚の被覆層を設けることで荷重支持梁の温度上昇を確実に抑えられることを確認した。

続く予備実験では、各部の被覆厚と留付け材料と方法は同一とし、被覆材長さの縦目地を増やして不利側とした仕様として加熱実験を実施した。21時間放置して各部の温度が確実に下がったことを確認、1時間の耐火性能を有することが確認できた。

以上の予備実験の結果をもとに、性能評価試験（同仕様で2体実施）では、被覆層に設ける難燃薬剤処理した木材厚さを90mmとして、加熱試験を2体実施した。2体とも21時間後に各部の温度が下がった上で脱炉、試験体断面を切断した上で荷重支持梁に炭化がないことを確認、合格となった。

(2) 本事業の成果と今後の課題

本事業では、予備実験・本試験を3段階で実施し、1時間耐火構造（梁）の要求性能を満足する仕様を明確にした。性能評価試験において合格となり、来期の認定番号を取得して耐火柱と共に販売につなげていく道筋ができた。来年度以降は予備試験を行った大断面梁について性能評価試験を実施し、認定番号を取得できれば、本被覆工法だけで基本構造が完成でき、オール国産材の耐火構造が完成する。化粧材についても設計者が柔軟な運用ができるように確認試験を行っていきたい。すでに5000棟以上の実績がある石膏ボード被覆型の耐火木構造との併用を視野に入れて、設計折込を行っていきたい。