

令和2年度 林業成長産業化総合対策補助金等  
(都市の木造化に向けた木質耐火部材等の利用促進事業のうち都市の木造化等  
に向けた木質の防耐火部材等の新たな製品・技術の開発)

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時間耐火梁大断面)  
実績報告書

令和3年 3月  
一般社団法人全国 LVL 協会

## 目次（案）

1. はじめに	-- P01
2. 開発された耐火部材	-- P03
2. 1 LVL 被覆耐火梁	-- P03
3. 被覆材の製造	-- P08
3. 1 性能評価試験用の含浸	-- P09
3. 2 被覆材の2次接着	-- P14
4. 1時間耐火性能の検討	-- P15
4. 1 性能評価試験1回目	-- P16
4. 2 性能評価試験2回目	-- P43
5. 本耐火構造の運用	-- P69
5. 1 (梁) 化粧材	-- P69
5. 2 (柱) 荷重支持部材樹種の追加	-- P69
5. 3 (梁) 荷重支持部材樹種の追加	-- P70
6. 開発製品の販売促進ツール	-- P75
7. まとめと今後の課題	-- P78
8. 別添資料	-- P79
8. 1 難燃薬剤の性能発揮メカニズム	-- P79
8. 2 被覆材塗装の薬剤溶脱試験	-- P85

## 事業実施体制

会議名	令和2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	中井 聡 建材事業部
13.		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
14.		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
15.		株式会社ウッドワン	菅田啓子 技術開発部
16.		丸菱油化工業株式会社	亀岡祐史 研究本部 主席研究員
17.		株式会社ザイエンス	茂山知己 技術開発部 マネージャー
18.		シネジック株式会社	寺澤正広 R&D推進室 リーダー
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
22.		セメダイン株式会社	久住 明 技術部 専任部長
23.		セメダイン株式会社	橋向秀治 技術部開発グループ グループリーダー
24.		セメダイン株式会社	紺野 誠 技術部開発グループ 研究員
	オブザーバー		
25.		林野庁	塩田 彩 林政部木材産業課木材製品技術室住宅資材企画係長
26.		桜設計集団	加來千紘
27.		ビルディングランドスケープ	西澤高男
28.			久松慶子
29.			春日広樹
30.		丸菱油化工業株式会社	中嶋貴裕 研究本部 研究第1グループ
	事務局		
30.		全国LVL協会	李 元羽 技術部長
31.			成田敏基 技術課長
32.			崔 華暉

## 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。

本年度は、これまで研究を続けて来た LVL 被覆 1 時間耐火構造の活用範囲拡大のため、既存より大断面の仕様の性能を確認し実用化を試みたものである。

部材寸法として、梁断面について 105mm×210mm から 210mm×900mm まで拡大、柱断面について 150mm 角から 400mm 角までの適用範囲の拡大を試みた。

また、仕上げ材としての活用拡大を図るため、梁については被覆層に化粧材を貼った仕様を試みた。柱については使用樹種の拡大を試みた。

## 2. 開発した耐火部材

### 2. 1 LVL 被覆耐火梁

本事業では、LVL 被覆 1 時間耐火構造（梁・大断面）の大臣認定取得を目標として仕様を検討、性能評価試験を行い、大臣認定番号を取得した。図 2.1 に開発した梁を示した。木製の梁の側面を 60mm 厚の難燃薬剤処理スギ LVL で被覆、下面を 60mm 厚と 30mm 厚の同材料で被覆している。特徴をあげる。

- ・荷重支持部材と被覆材をすべて国産材で構成可能である。
- ・被覆材は現場用ウレタン接着剤とビスと木栓で留め付ける。工場でも組立られ、現場でも施工が可能である。
- ・そのため、万が一火災を受けても、外側の被覆材を剥がして新しい被覆材を健全な荷重支持部材に取り付け、再度耐火構造とすることができる。
- ・被覆材の LVL をそのまま表しでもでき、要望に応じて厚み 15mm までの木の化粧材を貼ることも可能である。

被覆材と留め付け方法は既に認定を取得している柱と昨年度に性能評価試験に合格した 1 時間耐火構造（梁・小断面）と共通化、コスト削減と施工負担を減らしている。運用についても柱と同様の考え方になり、荷重支持部材の小断面と大断面それぞれの性能評価試験に合格することによって、断面寸法の範囲内で運用する。本事業では大断面の性能評価試験に合格し、小断面から大断面を包含する認定番号を取得した。樹種に関して、被覆材はスギ、荷重支持部材はカラマツであり、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（梁・柱）の概要を示した。尚、別添資料に難燃薬剤の性能発揮メカニズムの詳細を記した。

### LVL 被覆 1 時間 耐火構造 **梁**

木製梁の側面を難燃処理を施した厚さ 60mm のスギ LVL で囲み、底面には 60mm と 30mm の同じ LVL を重ねて 1 時間耐火の性能を実現しました。



図 2.1 LVL 被覆耐火梁



## 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。



※本誌記事に基いた概要化設計、施工のため  
具体的な内容についてはお問い合わせください。

一般社団法人 全国LVL協会

〒135-0063 東京都江東区新木場1-7-22 新木場タワー1階  
TEL 03-5724-8887 / Fax 03-5534-2979 mail@lvl.or.jp

001/03

全国LVL協会



1時間耐火を実現

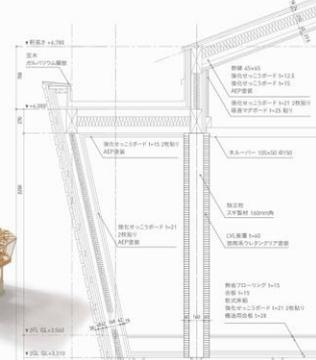
LVL被覆  
1時間耐火柱



難燃素材処理LVLによる  
耐火被覆で1時間耐火柱を  
初めて採用した建築物。

宇治たがね園 保育ルーム  
敷地面積 : 1,447.24㎡  
建築延床面積 : 281.42㎡  
建築床面積 : 259.27㎡  
用途 : 木造一部RC造(木造等型耐震)  
用途 : 幼稚園(保育施設、教育施設)  
階数 : 地上2階  
用途地域等 : 準防火地域(準防火区域)  
耐火要件 : 耐火建築物  
設計 : 株式会社アトラス

LVL被覆1時間耐火構造材は、  
難燃素材で処理したスギLVLで  
構造材を被覆した耐火部材です。  
耐火建築物の柱と梁を  
木材だけでつくること  
が可能になりました。



# LVL被覆 1時間 耐火構造 梁

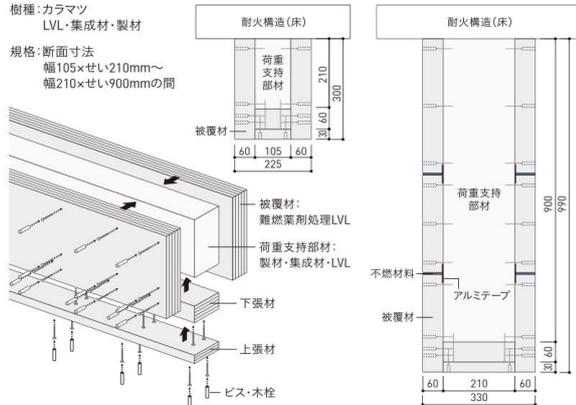
木製梁の側面を難燃処理をした厚さ60mmのスギLVLで囲み、底面には60mmと30mmの同じLVLを重ねて1時間の耐火性能を実現しました。



## 梁の仕様

樹種：カラマツ  
LVL・集成材・製材

規格：断面寸法  
幅105×せい210mm～  
幅210×せい900mmの間



※2022年1月以降に下記の樹種がすべて使えるようになる予定です。  
スギ・カラマツ・ホワイトウッド・ヒノキ・ベイマツ・スプルース・アカマツ・ラジアータバイン・ダフリカカラマツ

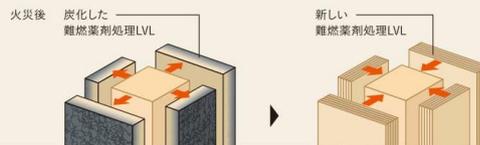
## 【すべて木製の耐火構造(柱・梁共通)】

荷重支持部材の周りを取り囲む被覆材、すべて木材です。  
荷重支持部材は製材・集成材・LVLどれでも使え、  
樹種は、柱はスギとカラマツ、梁はカラマツのみです。



## 【火災後の取り換えが可能(柱・梁共通)】

万が一火災が起きた後も、外側の耐火被覆材をはがして  
新しい被覆材を現場で取り付けることができます。



## 耐火構造性能評価試験

(一財)日本建築総合試験所の耐火炉で  
載荷加熱試験を行いました。荷重支持  
部材には炭化が見られませんでした。



## 柱の仕様

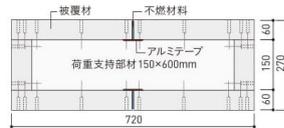
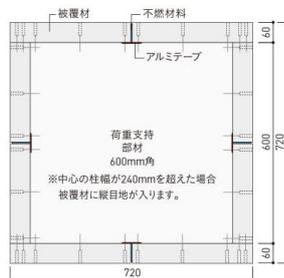
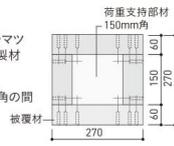
樹種：スギまたはカラマツ  
LVL・集成材・製材

規格：断面寸法  
150～600mm角の間

荷重支持部材：  
製材・集成材・LVL

被覆材：  
難燃薬剤処理LVL

ビス・  
木柱



※2021年6月以降に下記の樹種がすべて使えるようになる予定です。  
スギ・カラマツ・ホワイトウッド・ヒノキ・ベイマツ・スプルース・アカマツ・ラジアータバイン・ダフリカカラマツ

# LVL被覆 1時間 耐火構造 柱

木製柱の周りを難燃処理をした  
厚さ60mmのスギLVLで囲むことで、  
1時間の耐火性能を実現しました。



### 木の内装を実現（柱・梁共通）

耐火被覆材のLVLをそのまま表しとすることができ、化粧材として厚み15mmまでの木材を貼ることもできます。被覆材LVLを表しとする時は別途指定の溶剤系ウレタン塗装をする必要があります。

厚み15mmまでの  
木の化粧材を  
貼ることができます。



### 耐火構造として使用可能（柱・梁共通）

鉄骨造、RC造、木造等の構造形態を問わず、上から数えて4階までの柱・梁として使うことができます。



### 現場施工が可能（柱・梁共通）

被覆材は現場用接着剤とビスを使って柱に取り付けます。工場つけることが基本ですが、現場施工もできます。

### 大臣認定（一時間耐火構造）

(柱)FP060CN-0805(1)：  
りん窒素系薬剤処理  
単板積層材被覆／木柱

FP060CN-0805(2)：  
木材・りん窒素系薬剤処理  
単板積層材被覆／木柱

(梁)FP060BM-0634(1)：  
りん窒素系薬剤処理  
単板積層材被覆／木製はり

FP060BM-0634(2)：  
木材・りん窒素系薬剤処理  
単板積層材被覆／木製はり

(一般社団法人 全国LVL協会が取得しています。)



試験後の断面（耐火柱）



試験後の断面（耐火梁）

### 燃えどまる理由

未処理木材の場合

未処理木材

可燃性ガス

放射熱

熱源

熱源に暴露されると木材表面で熱分解(260℃付近)が起こる。この時、可燃性ガスが発生。

クラック

可燃性ガスに引火し、炎を伴い燃焼する。同時に、木材表面では炭化が進み、大きなクラックができる。

熱源が離れても熱分解温度以下までは炭化の進行が進む。炭化層はもろく、崩れやすい。

「リン酸系」  
難燃薬剤  
処理木材の場合

難燃薬剤処理木材

不燃性ガス

放射熱

熱源

熱源に暴露されると木材表面で難燃剤の熱分解(200℃前後)が起こり不燃性ガスが発生し、可燃性ガスを希釈し木材の燃焼を抑える。

脱水炭化発泡層

難燃剤が木材のセルロースから脱水し、脱水炭化発泡層を形成。木材内部への酸素を遮断し、熱の侵入を押さえる。

熱源が離れると、炭化発泡層のみが残る。層は薄く強固な層である。

本事業実施期間内の 2021 年 2 月 12 日に、梁の認定番号をいただいたので報告する。

FP060BM-0634 (1) : りん室素系薬剤処理単板積層材被覆／木製はり

FP060BM-0634 (2) : 木材・りん室素系薬剤処理単板積層材被覆／木製はり

**認 定 書**

国住指第 3059 号  
令和 3 年 2 月 12 日

一般社団法人全国 LVL 協会  
会長 中西 宏一 様



国土交通大臣 赤羽

下記の構造方法等については、建築基準法第 68 条の 25 第 1 項（同法第 88 条第 1 項において準用する場合を含む。）の規定に基づき、同法第 2 条第 7 号及び同法施行令第 107 条第 1 号（はり：1 時間）の規定に適合するものであることを認める。

記

1. 認定番号  
FP060BM-0634(1)
2. 認定をした構造方法等の名称  
りん室素系薬剤処理単板積層材被覆／木製はり
3. 認定をした構造方法等の内容  
別添の通り

(注意) この認定書は、大切に保存しておいてください。

**認 定 書**

国住指第 3060 号  
令和 3 年 2 月 12 日

一般社団法人全国 LVL 協会  
会長 中西 宏一 様



国土交通大臣 赤羽

下記の構造方法等については、建築基準法第 68 条の 25 第 1 項（同法第 88 条第 1 項において準用する場合を含む。）の規定に基づき、同法第 2 条第 7 号及び同法施行令第 107 条第 1 号（はり：1 時間）の規定に適合するものであることを認める。

記

1. 認定番号  
FP060BM-0634(2)
2. 認定をした構造方法等の名称  
木材・りん室素系薬剤処理単板積層材被覆／木製はり
3. 認定をした構造方法等の内容  
別添の通り

(注意) この認定書は、大切に保存しておいてください。

### 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 B 種構造用 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/m<sup>3</sup>～140kg/m<sup>3</sup> 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。

難燃薬剤の含浸、乾燥は茨城県小美玉市の株式会社森久の注入釜を使用した。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坂工場で行った。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 性能評価試験用の含浸

性能評価試験用の含浸を茨城県の森久で行った。性能評価を実施する日本建築総合試験所の web 立ち合いのもと行った。含浸は 2020 年 5 月 18 日から 21 日の 4 日間かけて行った。

#### 3. 1. 1 試験体と含浸条件

材料：スギ B 種構造用 LVL

厚 30×幅 420×長 2400 48 枚

厚 30×幅 310×長 2400 132 枚 計 180 枚

乾燥条件：70℃ 3週間



写真 3.1.1 スギ LVL 検品



写真 3.1.2 含浸釜



写真 3.1.3 難燃薬剤と薬剤タンク



写真 3.1.4 難燃薬剤



写真 3.1.5 LVL を釜に投入

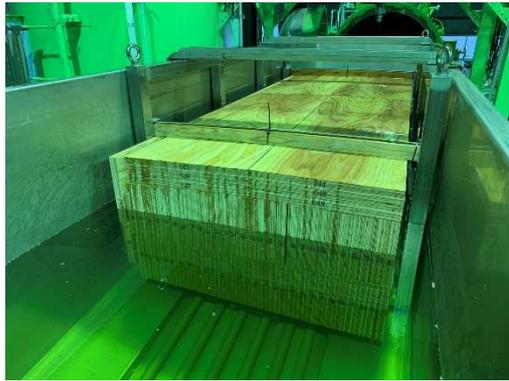


写真 3.1.6 釜に薬液を満たす



写真 3.1.7 含浸釜

運転設定				
工程	計測値	設定値	経過時間	残存時間
から真空	0000	00 15	0 00 00	000000
真空	-0092	0003	2 00 00	200000
加圧ステップ1 END	1200	00 10	2 00 00	03 138
加圧ステップ2	0000	00 15	0 00 00	000000
加圧ステップ3	0000	0 100	0 00 00	000000
加圧ステップ4	0000	00 20	0 00 00	000000
加圧ステップ5	0000	00 20	0 00 00	000000
バット加温温度	00℃	30	280℃	

写真 3.1.8 含浸スケジュール



写真 3.1.9 含浸直後のLVL



写真 3.1.10 LVL吊り上げ



写真 3.1.11 重量測定



写真 3.1.12 乾燥釜に投入されるLVL

### 3. 1. 2 結果

表 3.1.1 に含浸結果を示した。132kg/m<sup>3</sup> から 140kg/m<sup>3</sup> 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 3.1.1 含浸結果

番号	種類	厚さ mm	幅 mm	長さ mm	かさ比重	含水率 %			体積 m <sup>3</sup>	初期	含浸後	薬剤量 W2-W1 kg	薬剤量 kg/m <sup>3</sup>	含浸量	乾燥後	比重	含浸量	含水率 %		
						W1	W2	最終		W3	②			左	中		右			
						kg	kg	kg/m <sup>3</sup>		kg	kg/m <sup>3</sup>			kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>		kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
1	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.479	9.0	10.0	9.0	0.03024	14.50	33.54	19.04	629.63	<b>138.50</b>	18.160	0.601	121.03	6.0	12.0	9.0
2	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.480	10.0	11.0	10.0	0.03024	14.52	33.18	18.66	617.06	<b>135.70</b>	18.140	0.600	119.71	5.5	11.0	9.0
3	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.472	10.0	9.0	10.0	0.03024	14.28	33.74	19.46	643.52	<b>141.50</b>	18.220	0.603	130.29	10.0	12.0	12.5
4	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.478	13.0	11.0	10.0	0.03024	14.44	33.44	19.00	628.31	<b>138.20</b>	18.200	0.602	124.34	11.0	12.5	12.0
5	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.469	11.0	10.0	11.0	0.03024	14.18	33.30	19.12	632.28	<b>139.10</b>	18.300	0.605	136.24	12.0	14.0	12.5
6	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.470	12.0	13.0	12.0	0.03024	14.20	33.30	19.10	631.61	<b>138.90</b>	18.260	0.604	134.26	10.0	12.0	12.5
7	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.458	11.0	11.0	9.0	0.03024	13.84	32.78	18.94	626.32	<b>137.70</b>	17.500	0.579	121.03	12.0	12.5	12.0
8	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.466	13.0	12.0	10.0	0.03024	14.08	32.66	18.58	614.42	<b>135.10</b>	17.700	0.585	119.71	10.0	11.0	12.5
9	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.464	10.0	10.0	12.0	0.03024	14.04	33.10	19.06	630.29	<b>138.60</b>	17.900	0.592	127.65	12.0	13.0	12.5
10	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.471	13.0	12.0	10.0	0.03024	14.24	33.02	18.78	621.03	<b>136.60</b>	18.000	0.595	124.34	12.0	13.0	12.0
11	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.479	12.0	13.0	12.0	0.03024	14.50	33.32	18.82	622.35	<b>136.90</b>	18.200	0.602	122.35	8.0	10.5	8.5
12	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.479	13.0	13.0	10.0	0.03024	14.48	33.36	18.88	624.34	<b>137.30</b>	18.220	0.603	123.68	8.5	12.0	9.5
13	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.468	11.0	13.0	9.0	0.03024	14.14	33.42	19.28	637.57	<b>140.20</b>	18.100	0.599	130.95	12.0	12.0	13.0
14	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.477	12.0	15.0	10.0	0.03024	14.42	33.32	18.90	625.00	<b>137.50</b>	18.280	0.604	127.65	10.0	12.0	12.0
15	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.471	14.0	11.0	10.0	0.03024	14.24	33.19	18.95	626.65	<b>137.80</b>	18.060	0.597	126.32	12.0	12.0	13.0
16	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.472	14.0	12.0	11.0	0.03024	14.28	33.26	18.98	627.65	<b>138.00</b>	18.800	0.622	149.47	12.0	12.5	12.5
17	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.489	16.0	12.0	10.0	0.03024	14.80	32.78	17.98	594.58	<b>130.80</b>	18.280	0.604	115.08	12.0	12.0	13.0
18	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.489	17.0	13.0	11.0	0.03024	14.80	32.90	18.10	598.54	<b>131.60</b>	18.320	0.606	116.40	11.0	12.0	12.5
19	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.477	13.0	12.0	9.0	0.03024	14.42	33.42	19.00	628.31	<b>138.20</b>	18.080	0.598	121.03	10.0	12.0	12.0
20	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.479	12.0	12.0	10.0	0.03024	14.50	33.40	18.90	625.00	<b>137.50</b>	18.060	0.597	117.72	7.5	9.0	9.5
21	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.492	13.0	12.0	8.0	0.03024	14.88	33.76	18.88	624.34	<b>137.30</b>	18.740	0.620	127.65	12.0	13.0	12.5
22	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.495	11.0	13.0	8.0	0.03024	14.96	33.72	18.76	620.37	<b>136.40</b>	18.740	0.620	125.00	11.0	12.5	13.0
23	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.474	9.0	10.0	10.0	0.03024	14.32	33.26	18.94	626.32	<b>137.70</b>	18.200	0.602	128.31	8.5	10.5	10.0
24	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.476	10.0	10.0	11.0	0.03024	14.40	33.22	18.82	622.35	<b>136.90</b>	18.280	0.604	128.31	11.0	11.0	10.0
25	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.464	9.0	11.0	9.0	0.03024	14.04	32.90	18.86	623.68	<b>137.20</b>	17.680	0.585	120.37	11.0	12.0	11.5
26	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.466	10.0	12.0	9.0	0.03024	14.08	32.78	18.70	618.39	<b>136.00</b>	17.740	0.587	121.03	13.0	12.0	11.0
27	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.462	10.0	11.0	10.0	0.03024	13.96	32.86	18.90	625.00	<b>137.50</b>	17.680	0.585	123.02	12.0	14.0	13.0
28	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.468	12.0	14.0	11.0	0.03024	14.16	32.74	18.58	614.42	<b>135.10</b>	17.800	0.589	120.37	12.0	12.5	12.0
29	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.483	12.0	12.0	12.0	0.03024	14.60	33.58	18.98	627.65	<b>138.00</b>	18.520	0.612	129.63	9.0	10.0	9.5
30	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.488	13.0	15.0	13.0	0.03024	14.76	33.52	18.76	620.37	<b>136.40</b>	18.560	0.614	125.66	10.0	12.0	7.0
31	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.479	10.0	12.0	11.0	0.03024	14.48	32.06	17.58	581.35	<b>127.80</b>	17.980	0.595	115.74	12.0	13.0	11.5
32	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.482	13.0	13.0	12.0	0.03024	14.58	32.24	17.66	583.99	<b>128.40</b>	18.080	0.598	115.74	12.0	14.0	12.5
33	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.462	10.0	11.0	11.0	0.03024	13.98	32.44	18.46	610.45	<b>134.20</b>	17.780	0.588	125.66	10.0	12.0	11.0
34	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.470	11.0	13.0	13.0	0.03024	14.22	32.50	18.28	604.50	<b>132.90</b>	17.920	0.593	122.35	10.0	10.5	12.0
35	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.480	12.0	14.0	12.0	0.03024	14.52	32.64	18.12	599.21	<b>131.80</b>	18.240	0.603	123.02	12.0	10.5	12.5
36	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.485	11.0	15.0	11.0	0.03024	14.66	32.68	18.02	595.90	<b>131.00</b>	18.220	0.603	117.72	12.0	13.5	12.0
37	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.474	11.0	11.0	12.0	0.03024	14.34	32.64	18.30	605.16	<b>133.10</b>	18.600	0.615	140.87	11.0	11.0	12.0
38	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.479	12.0	14.0	14.0	0.03024	14.50	32.78	18.28	604.50	<b>132.90</b>	18.660	0.617	137.57	12.0	13.0	11.0
39	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.472	10.0	12.0	12.0	0.03024	14.28	33.06	18.78	621.03	<b>136.60</b>	18.880	0.624	152.12	12.0	13.0	12.0
40	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.476	11.0	13.0	12.0	0.03024	14.38	32.94	18.56	613.76	<b>135.00</b>	18.800	0.622	146.16	10.0	11.0	12.0
41	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.487	9.0	14.0	12.0	0.03024	14.72	33.22	18.50	611.77	<b>134.50</b>	18.900	0.625	138.23	12.0	13.0	12
42	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.485	8.0	14.0	12.0	0.03024	14.68	33.24	18.56	613.76	<b>135.00</b>	18.880	0.624	138.89	10.0	12.0	11.0
43	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.484	10.0	14.0	11.0	0.03024	14.64	33.98	19.34	639.55	<b>140.70</b>	19.220	0.636	151.46	12.0	12.5	12.0
44	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.490	13.0	15.0	13.0	0.03024	14.82	34.12	19.30	638.23	<b>140.40</b>	19.420	0.642	152.12	12.0	13.0	12.0
45	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.472	12.0	11.0	11.0	0.03024	14.26	34.20	19.94	659.39	<b>145.00</b>	19.060	0.630	158.73	12.0	12.5	13.0
46	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.478	11.0	12.0	11.0	0.03024	14.46	34.14	19.68	650.79	<b>143.10</b>	19.100	0.632	153.44	12.0	13.0	12.5
47	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.483	10.0	11.0	8.0	0.03024	14.60	34.26	19.66	650.13	<b>143.00</b>	19.500	0.645	162.04	12.0	13.5	12.0
48	LVL	30.0	420.0	2,400.0	0.483	10.0	10.0	11.0	0.03024	14.60	34.28	19.68	650.79	<b>143.10</b>	19.480	0.644	161.38	12.0	12.5	12.5

表 3.1.2 含浸結果

番号	種類	厚さ mm	幅 mm	長さ mm	かさ比重	含水率 %			体積 m <sup>3</sup>	初期 重量 W1 kg	含浸後 重量		薬剤量 W2-W1 kg/m <sup>3</sup>	含浸量 最終 W3 kg/m <sup>3</sup>	乾燥後 重量 W3 kg	比重	含浸量 ② kg/m <sup>3</sup>	含水率 %		
						左	中	右			W2	kg						左	中	右
49	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.471	11.0	11.0	9.0	0.02232	10.52	25.24	14.72	659.50	145.00	14.080	0.631	159.50	12.0	12.5	11.5
50	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.470	10.0	10.0	10.0	0.02232	10.50	25.06	14.56	652.33	143.50	14.020	0.628	157.71	12.0	13.5	12.5
51	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.466	10.0	11.0	11.0	0.02232	10.40	24.96	14.56	652.33	143.50	13.840	0.620	154.12	12.5	12.5	12.0
52	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.472	10.0	12.0	11.0	0.02232	10.54	24.90	14.36	643.37	141.50	13.860	0.621	148.75	13.0	13.5	12.0
53	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.473	12.0	12.0	12.0	0.02232	10.56	25.44	14.88	666.67	146.80	13.980	0.626	153.23	11.0	12.5	12.5
54	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.465	11.0	12.0	12.0	0.02232	10.38	25.30	14.92	668.46	147.00	13.840	0.620	155.02	12.0	13.5	12.0
55	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.468	11.0	12.0	9.0	0.02232	10.44	25.20	14.76	661.29	145.40	13.880	0.622	154.12	12.0	11.0	12.5
56	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.478	14.0	14.0	13.0	0.02232	10.66	25.46	14.80	663.08	145.80	14.040	0.629	151.43	13.0	13.0	12.0
57	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.470	13.0	11.0	10.0	0.02232	10.50	24.74	14.24	637.99	140.30	14.020	0.628	157.71	8.5	14.0	9.5
58	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.468	13.0	11.0	10.0	0.02232	10.44	24.88	14.44	646.95	142.30	14.100	0.632	163.98	12.0	14.0	12.0
59	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.471	13.0	13.0	11.0	0.02232	10.52	24.64	14.12	632.62	139.10	13.860	0.621	149.64	12.0	13.0	12.5
60	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.474	11.0	12.0	11.0	0.02232	10.58	24.58	14.00	627.24	137.90	13.700	0.614	139.78	9.5	11.5	13.0
61	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.473	12.0	10.0	12.0	0.02232	10.56	24.62	14.06	629.93	138.50	13.840	0.620	146.95	12.0	13.0	12.0
62	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.464	12.0	12.0	11.0	0.02232	10.36	24.42	14.06	629.93	138.50	13.660	0.612	147.85	12.0	11.0	13.0
63	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.471	11.0	11.0	11.0	0.02232	10.52	24.58	14.06	629.93	138.50	13.720	0.615	143.37	11.0	12.0	13.0
64	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.468	15.0	12.0	12.0	0.02232	10.44	24.90	14.46	647.85	142.50	13.720	0.615	146.95	10.0	12.0	11.0
65	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.464	15.0	13.0	10.0	0.02232	10.36	24.78	14.42	646.06	142.10	13.740	0.616	151.43	11.0	12.0	12.0
66	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.461	14.0	12.0	10.0	0.02232	10.28	24.60	14.32	641.58	141.10	13.640	0.611	150.54	12.0	13.5	11.0
67	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.470	15.0	13.0	9.0	0.02232	10.50	24.54	14.04	629.03	138.30	13.680	0.613	142.47	12.0	14.0	12.0
68	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.478	15.0	11.0	8.0	0.02232	10.68	24.78	14.10	631.72	138.90	13.860	0.621	142.47	7.0	11.0	12.5
69	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.480	13.0	10.0	8.0	0.02232	10.72	24.60	13.88	621.86	136.80	13.880	0.622	141.58	8.5	12.5	9.0
70	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.481	13.0	10.0	7.0	0.02232	10.74	24.52	13.78	617.38	135.80	13.860	0.621	139.78	8.5	11.5	9.0
71	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.482	14.0	13.0	7.0	0.02232	10.76	24.54	13.78	617.38	135.80	13.860	0.621	138.89	11.0	10.0	12.0
72	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.463	11.0	13.0	9.0	0.02232	10.34	24.48	14.14	633.51	139.30	13.480	0.604	140.68	12.0	12.5	12.0
73	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.470	12.0	14.0	9.0	0.02232	10.48	24.42	13.94	624.55	137.40	13.640	0.611	141.58	7.5	11.5	8.0
74	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.467	13.0	15.0	10.0	0.02232	10.42	24.34	13.92	623.66	137.20	13.620	0.610	143.37	12.0	12.5	12.5
75	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.476	13.0	12.0	8.0	0.02232	10.62	24.44	13.82	619.18	136.20	13.740	0.616	139.78	11.0	12.0	13.0
76	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.474	10.0	13.0	10.0	0.02232	10.58	24.64	14.06	629.93	138.50	13.740	0.616	141.58	12.0	12.5	12.0
77	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.478	9.0	12.0	9.0	0.02232	10.66	24.56	13.90	622.76	137.00	13.860	0.621	143.37	13.0	13.5	10.0
78	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.479	11.0	12.0	10.0	0.02232	10.70	24.60	13.90	622.76	137.00	13.900	0.623	143.37	10.5	10.0	9.5
79	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.486	11.0	12.0	10.0	0.02232	10.84	24.62	13.78	617.38	135.80	13.960	0.625	139.78	12.5	13.0	10.5
80	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.479	12.0	13.0	10.0	0.02232	10.70	24.62	13.92	623.66	137.20	13.900	0.623	143.37	6.0	13.0	12.0
81	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.476	10.0	10.0	10.0	0.02232	10.62	24.32	13.70	613.80	135.00	13.880	0.622	146.06	10.0	13.0	12.0
82	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.476	11.0	13.0	12.0	0.02232	10.62	24.40	13.78	617.38	135.80	13.920	0.624	147.85	10.0	13.0	10.0
83	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.478	13.0	15.0	12.0	0.02232	10.66	24.18	13.52	605.73	133.20	13.840	0.620	142.47	12.0	13.0	11.0
84	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.470	11.0	12.0	10.0	0.02232	10.50	24.50	14.00	627.24	137.90	13.720	0.615	144.27	12.0	13.0	12.0
85	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.466	10.0	14.0	10.0	0.02232	10.40	24.36	13.96	625.45	137.50	13.620	0.610	144.27	12.0	13.0	13.0
86	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.463	11.0	13.0	8.0	0.02232	10.34	24.22	13.88	621.86	136.80	13.520	0.606	142.47	12.0	13.0	11.0
87	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.464	11.0	14.0	9.0	0.02232	10.36	24.38	14.02	628.14	138.10	13.480	0.604	139.78	9.5	11.0	8.0
88	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.485	13.0	12.0	10.0	0.02232	10.82	25.20	14.38	644.27	141.70	13.640	0.611	126.34	12.0	12.5	12.0
89	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.478	14.0	16.0	10.0	0.02232	10.68	25.02	14.34	642.47	141.30	13.560	0.608	129.03	10.5	12.0	13.0
90	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.476	14.0	15.0	10.0	0.02232	10.62	24.68	14.06	629.93	138.50	13.320	0.597	120.97	13.0	13.5	12.0
91	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.477	14.0	16.0	11.0	0.02232	10.64	24.62	13.98	626.34	137.70	13.300	0.596	119.18	11.0	12.0	10.5
92	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.484	15.0	12.0	10.0	0.02232	10.80	25.08	14.28	639.78	140.70	14.060	0.630	146.06	7.5	12.5	8.5
93	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.478	13.0	14.0	10.0	0.02232	10.68	24.86	14.18	635.30	139.70	13.820	0.619	140.68	10.0	13.5	9.5
94	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.470	14.0	15.0	10.0	0.02232	10.50	24.54	14.04	629.03	138.30	13.640	0.611	140.68	8.0	14.0	10.0
95	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.472	15.0	15.0	10.0	0.02232	10.54	24.56	14.02	628.14	138.10	13.620	0.610	137.99	12.0	12.5	13.0
96	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.473	9.0	12.0	9.0	0.02232	10.56	24.68	14.12	632.62	139.10	13.780	0.617	144.27	10.0	11.0	11.0
97	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.477	12.0	14.0	11.0	0.02232	10.64	24.58	13.94	624.55	137.40	13.800	0.618	141.58	12.0	13.0	12.5
98	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.470	13.0	13.0	11.0	0.02232	10.48	24.28	13.80	618.28	136.00	13.680	0.613	143.37	12.5	9.0	8.5
99	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.475	13.0	11.0	10.0	0.02232	10.60	24.94	14.34	642.47	141.30	13.640	0.611	136.20	11.0	12.0	12.5
100	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.474	14.0	11.0	11.0	0.02232	10.58	24.70	14.12	632.62	139.10	13.680	0.613	138.89	8.5	13.0	11.0
101	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.477	14.0	11.0	11.0	0.02232	10.64	24.60	13.96	625.45	137.50	13.700	0.614	137.10	7.0	10.5	9.0
102	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.476	11.0	11.0	11.0	0.02232	10.62	24.66	14.04	629.03	138.30	13.700	0.614	137.99	12.0	11.0	12.5
103	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.473	9.0	10.0	12.0	0.02232	10.56	24.56	14.00	627.24	137.90	13.700	0.614	140.68	11.0	12.0	12.0
104	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.487	12.0	13.0	8.0	0.02232	10.86	25.22	14.36	643.37	141.50	14.180	0.635	148.75	10.0	11.0	11.0
105	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.475	10.0	12.0	10.0	0.02232	10.60	24.38	13.78	617.38	135.80	13.520	0.606	130.82	10.0	11.0	12.0
106	LVL	30.0	310.0	2,400.0	0.487	14.0	13.0													

表 3.1.3 含浸結果

番号	種類	厚さ mm	幅 mm	長さ mm	かさ比重	含水率 %			体積 m <sup>3</sup>	初期 重量 W1 kg	含浸後 重量 W2 kg	薬剤量 W2-W1 kg	薬剤量 kg/m <sup>3</sup>	含浸量 最終 kg/m <sup>3</sup>	乾燥後 重量 W3 kg	比重	含浸量 ② kg/m <sup>3</sup>	含水率 %		
						左	中	右										左	中	右
						115	LVL	300										3100	2,400.0	0.474
116	LVL	300	3100	2,400.0	0.474	10.0	12.0	12.0	0.02232	10.58	24.94	14.36	643.37	<b>141.50</b>	13.880	0.622	147.85	12.0	14.0	12.5
117	LVL	300	3100	2,400.0	0.469	9.0	12.0	13.0	0.02232	10.46	24.86	14.40	645.16	<b>141.90</b>	13.740	0.616	146.95	12.0	12.5	12.0
118	LVL	300	3100	2,400.0	0.471	12.0	9.0	11.0	0.02232	10.52	24.84	14.32	641.58	<b>141.10</b>	13.780	0.617	146.06	12.0	12.5	12.0
119	LVL	300	3100	2,400.0	0.465	10.0	11.0	11.0	0.02232	10.38	25.02	14.64	655.91	<b>144.30</b>	13.740	0.616	150.54	12.0	12.5	12.0
120	LVL	300	3100	2,400.0	0.469	9.0	14.0	10.0	0.02232	10.46	24.78	14.32	641.58	<b>141.10</b>	13.780	0.617	148.75	12.0	12.5	13.0
121	LVL	300	3100	2,400.0	0.465	9.0	11.0	10.0	0.02232	10.38	24.72	14.34	642.47	<b>141.30</b>	13.620	0.610	145.16	13.0	12.0	12.5
122	LVL	300	3100	2,400.0	0.468	10.0	14.0	13.0	0.02232	10.44	24.54	14.10	631.72	<b>138.90</b>	13.500	0.605	137.10	12.0	13.0	12.0
123	LVL	300	3100	2,400.0	0.464	12.0	11.0	12.0	0.02232	10.36	24.46	14.10	631.72	<b>138.90</b>	13.480	0.604	139.78	10.0	14.0	12.0
124	LVL	300	3100	2,400.0	0.462	13.0	14.0	16.0	0.02232	10.32	24.40	14.08	630.82	<b>138.70</b>	13.440	0.602	139.78	12.0	11.0	12.0
125	LVL	300	3100	2,400.0	0.473	13.0	17.0	17.0	0.02232	10.56	24.62	14.06	629.93	<b>138.50</b>	13.640	0.611	137.99	11.0	13.0	12.5
126	LVL	300	3100	2,400.0	0.470	12.0	14.0	14.0	0.02232	10.48	24.16	13.68	612.90	<b>134.80</b>	13.480	0.604	134.41	12.0	12.5	11.0
127	LVL	300	3100	2,400.0	0.463	11.0	13.0	16.0	0.02232	10.34	24.02	13.68	612.90	<b>134.80</b>	13.440	0.602	138.89	12.0	14.0	12.5
128	LVL	300	3100	2,400.0	0.461	10.0	14.0	15.0	0.02232	10.28	23.96	13.68	612.90	<b>134.80</b>	13.320	0.597	136.20	12.0	12.5	12.0
129	LVL	300	3100	2,400.0	0.461	11.0	13.0	13.0	0.02232	10.28	23.96	13.68	612.90	<b>134.80</b>	13.260	0.594	133.51	10.0	12.0	11.0
130	LVL	300	3100	2,400.0	0.470	12.0	16.0	13.0	0.02232	10.50	24.42	13.92	623.66	<b>137.20</b>	13.640	0.611	140.68	12.0	10.0	12.5
131	LVL	300	3100	2,400.0	0.470	13.0	15.0	12.0	0.02232	10.48	24.34	13.86	620.97	<b>136.60</b>	13.600	0.609	139.78	12.0	12.5	12.0
132	LVL	300	3100	2,400.0	0.471	13.0	16.0	11.0	0.02232	10.52	24.56	14.04	629.03	<b>138.30</b>	13.740	0.616	144.27	12.0	13.0	11.0
133	LVL	300	3100	2,400.0	0.463	12.0	13.0	14.0	0.02232	10.34	23.82	13.48	603.94	<b>132.80</b>	13.280	0.595	131.72	10.0	12.5	13.0
134	LVL	300	3100	2,400.0	0.464	12.0	12.0	12.0	0.02232	10.36	23.54	13.18	590.50	<b>129.90</b>	13.220	0.592	128.14	12.0	12.5	11.0
135	LVL	300	3100	2,400.0	0.462	10.0	13.0	13.0	0.02232	10.32	23.56	13.24	593.19	<b>130.50</b>	13.280	0.595	132.62	12.0	14.0	12.0
136	LVL	300	3100	2,400.0	0.470	12.0	14.0	14.0	0.02232	10.48	23.68	13.20	591.40	<b>130.10</b>	13.400	0.600	130.82	11.0	12.0	12.0
137	LVL	300	3100	2,400.0	0.487	14.0	14.0	13.0	0.02232	10.86	24.44	13.58	608.42	<b>133.80</b>	13.800	0.618	131.72	12.0	12.5	12.0
138	LVL	300	3100	2,400.0	0.484	12.0	14.0	12.0	0.02232	10.80	24.26	13.46	603.05	<b>132.60</b>	13.800	0.618	134.41	8.5	13.5	9.0
139	LVL	300	3100	2,400.0	0.488	11.0	14.0	11.0	0.02232	10.90	24.46	13.56	607.53	<b>133.60</b>	13.980	0.626	137.99	12.0	10.5	11.0
140	LVL	300	3100	2,400.0	0.493	14.0	15.0	15.0	0.02232	11.00	24.46	13.46	603.05	<b>132.60</b>	13.940	0.625	131.72	12.0	12.5	10.0
141	LVL	300	3100	2,400.0	0.482	13.0	14.0	13.0	0.02232	10.76	24.20	13.44	602.15	<b>132.40</b>	13.660	0.612	129.93	10.0	12.0	13.0
142	LVL	300	3100	2,400.0	0.476	13.0	14.0	13.0	0.02232	10.62	24.04	13.42	601.25	<b>132.20</b>	13.560	0.608	131.72	12.0	13.0	11.0
143	LVL	300	3100	2,400.0	0.479	13.0	14.0	14.0	0.02232	10.70	23.94	13.24	593.19	<b>130.50</b>	13.660	0.612	132.62	11.0	13.0	13.5
144	LVL	300	3100	2,400.0	0.483	14.0	13.0	14.0	0.02232	10.78	24.14	13.36	598.57	<b>131.80</b>	13.680	0.613	129.93	10.0	11.0	12.0
145	LVL	300	3100	2,400.0	0.471	11.0	11.0	13.0	0.02232	10.52	24.16	13.64	611.11	<b>134.40</b>	13.440	0.602	130.82	10.0	12.0	11.0
146	LVL	300	3100	2,400.0	0.475	12.0	14.0	12.0	0.02232	10.60	23.98	13.38	599.46	<b>131.80</b>	13.540	0.607	131.72	10.0	12.0	10.5
147	LVL	300	3100	2,400.0	0.475	11.0	12.0	12.0	0.02232	10.60	24.04	13.44	602.15	<b>132.40</b>	13.560	0.608	132.62	10.0	11.0	12.0
148	LVL	300	3100	2,400.0	0.478	11.0	13.0	12.0	0.02232	10.66	24.02	13.36	598.57	<b>131.60</b>	13.540	0.607	129.03	12.0	13.0	12.0
149	LVL	300	3100	2,400.0	0.469	11.0	15.0	11.0	0.02232	10.46	23.76	13.30	595.88	<b>131.00</b>	13.360	0.599	129.93	10.0	12.0	12.5
150	LVL	300	3100	2,400.0	0.467	11.0	14.0	14.0	0.02232	10.42	23.56	13.14	588.71	<b>129.50</b>	13.260	0.594	127.24	12.0	12.5	10.0
151	LVL	300	3100	2,400.0	0.472	14.0	14.0	13.0	0.02232	10.54	23.56	13.02	583.33	<b>128.30</b>	13.300	0.596	123.66	11.0	12.0	13.0
152	LVL	300	3100	2,400.0	0.463	10.0	12.0	13.0	0.02232	10.34	24.10	13.76	616.49	<b>135.60</b>	13.280	0.595	131.72	8.0	12.0	10.0
153	LVL	300	3100	2,400.0	0.461	12.0	11.0	11.0	0.02232	10.30	23.98	13.68	612.90	<b>134.80</b>	13.220	0.592	130.82	9.0	12.0	12.0
154	LVL	300	3100	2,400.0	0.463	12.0	15.0	12.0	0.02232	10.34	24.02	13.68	612.90	<b>134.80</b>	13.240	0.593	129.93	12.0	12.0	12.0
155	LVL	300	3100	2,400.0	0.485	14.0	16.0	13.0	0.02232	10.82	23.88	13.06	585.13	<b>128.70</b>	13.420	0.601	116.49	12.0	13.5	12.0
156	LVL	300	3100	2,400.0	0.475	14.0	16.0	15.0	0.02232	10.60	23.54	12.94	579.75	<b>127.50</b>	13.200	0.591	116.49	10.0	11.0	12.0
157	LVL	300	3100	2,400.0	0.471	14.0	17.0	15.0	0.02232	10.52	23.58	13.06	585.13	<b>128.70</b>	13.120	0.588	116.49	10.0	12.0	9.5
158	LVL	300	3100	2,400.0	0.475	15.0	18.0	14.0	0.02232	10.60	23.60	13.00	582.44	<b>128.10</b>	13.120	0.588	112.90	12.0	14.0	12.5
159	LVL	300	3100	2,400.0	0.479	14.0	14.0	12.0	0.02232	10.70	24.46	13.76	616.49	<b>135.60</b>	13.580	0.608	129.03	13.0	13.0	12.0
160	LVL	300	3100	2,400.0	0.475	13.0	14.0	15.0	0.02232	10.60	24.18	13.58	608.42	<b>133.80</b>	13.400	0.600	125.45	10.0	11.0	12.0
161	LVL	300	3100	2,400.0	0.472	14.0	15.0	15.0	0.02232	10.54	24.28	13.74	615.59	<b>135.40</b>	13.440	0.602	129.93	11.0	11.0	11.5
162	LVL	300	3100	2,400.0	0.475	14.0	16.0	15.0	0.02232	10.60	25.22	14.62	655.02	<b>144.10</b>	14.020	0.628	153.23	11.0	13.0	12.0
163	LVL	300	3100	2,400.0	0.460	12.0	16.0	14.0	0.02232	10.26	24.92	14.66	656.81	<b>144.40</b>	13.680	0.613	153.23	12.5	12.5	10.0
164	LVL	300	3100	2,400.0	0.456	12.0	16.0	14.0	0.02232	10.18	24.74	14.56	652.33	<b>143.50</b>	13.540	0.607	150.54	12.0	10.0	12.0
165	LVL	300	3100	2,400.0	0.463	12.0	16.0	13.0	0.02232	10.34	24.70	14.36	643.37	<b>141.50</b>	13.660	0.612	148.75	12.0		

### 3. 2 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/m<sup>2</sup> 以下

圧縮圧：0.98 MPa (10kgf/cm<sup>2</sup>)

養生期間：解圧後 24 時間以上



写真 3.2.1 2次接着前のLVL



写真 3.2.2 レゾルシノール樹脂塗布



写真 3.2.3 圧縮中



写真 3.2.4 60mm 厚被覆材

#### 4. 1時間耐火性能の検討

本事業では、1時間耐火構造・大断面梁の大臣認定取得を目標とし、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1月に秋田県木材高度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小断面と同じカラマツとした。2020年7月と9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。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ていることを報告する。

表 4.1 検討した耐火梁の仕様

		(参考)1H耐火柱	1H耐火(梁)			
進捗			開発目標	本試験1体目/2体 @GBRC 7月	本試験2体目/2体 @GBRC 9月	
結果・予定		2019.5月 認定番号取得	本年度検討(大断面)			
仕様	部位	独立柱	3面被覆			
	長さ	制限なし(実質4Mまで)	制限なし			
	荷重支持部材	樹種	スギ・カラマツ	カラマツ	カラマツ	カラマツ
		断面	150角~600角	105×210	最大断面	
			扁平柱可能(150×600)	~	210×900	
	被覆材 スギLVL 難燃含浸量 150kg/m <sup>3</sup> 以上	厚み	60mm	60mm	60mm	
		横目地	無	有	有	
		縦目地	無(~240角) 有(240角-600角)	有	有	
		留付具	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	
	化粧材	樹種	木材	木材	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	塗装	

#### 4. 1 性能評価試験 1回目

令和元年1月に秋田県立大学木材高度研究所で試験を行った LVL 被覆1時間耐火構造（梁大断面）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難燃薬剤注入量は  $132\text{--}138\text{ kg/m}^3$  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. 1. 1 実験概要

3面加熱の試験体を製作し、一般社団法人日本建築総合試験所の水平炉を使用し、同試験所の「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7月14日であった。

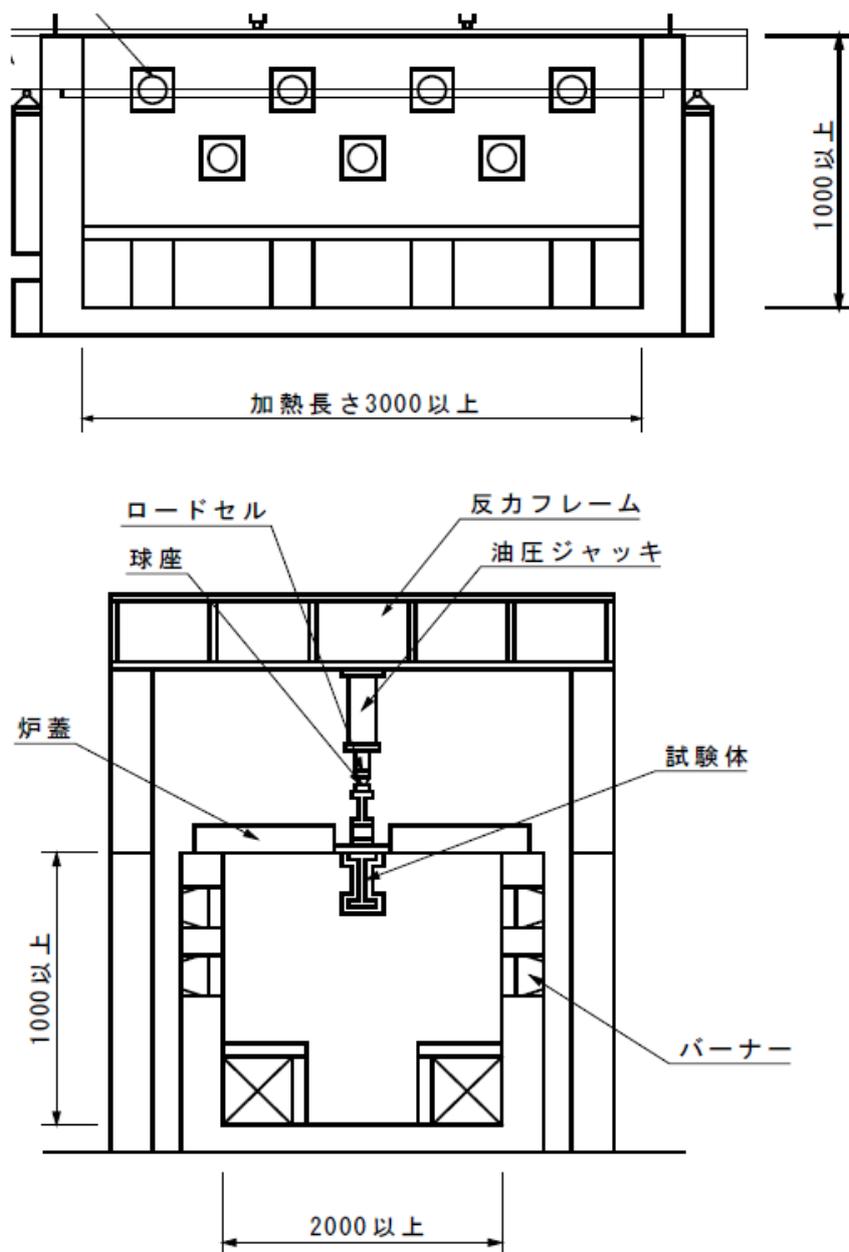


図 1-1 試験装置図

### (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 E95-F270 の基準曲げ強度( $F_b=27.0\text{N/mm}^2$ )より寸法調整係数を掛けた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137.0kN 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. 1. 2 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うち主なものの一覧と、製作時の様子を表 3-1～2 と図 3-1～4、写真 3-1 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"> <li>・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)</li> <li>・樹種 カラマツ</li> <li>・密度 0.48g/cm<sup>3</sup>(気乾、実測値)</li> <li>・断面寸法 210×900</li> </ul>
被覆材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材</li> <li>・薬剤含浸量 132-138kg/m<sup>3</sup></li> <li>・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)</li> </ul>

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"> <li>・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの)</li> <li>・寸法 φ3.8 mm×L51 mm</li> <li>・留付間隔 200 以下</li> </ul> <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材質 ウレタン系樹脂接着剤</li> <li>・塗布量 350g/m<sup>2</sup></li> </ul> <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材質 ブナ(広葉樹)</li> <li>・寸法 φ10</li> </ul>
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"> <li>・塗布量 300g/m<sup>2</sup></li> </ul>







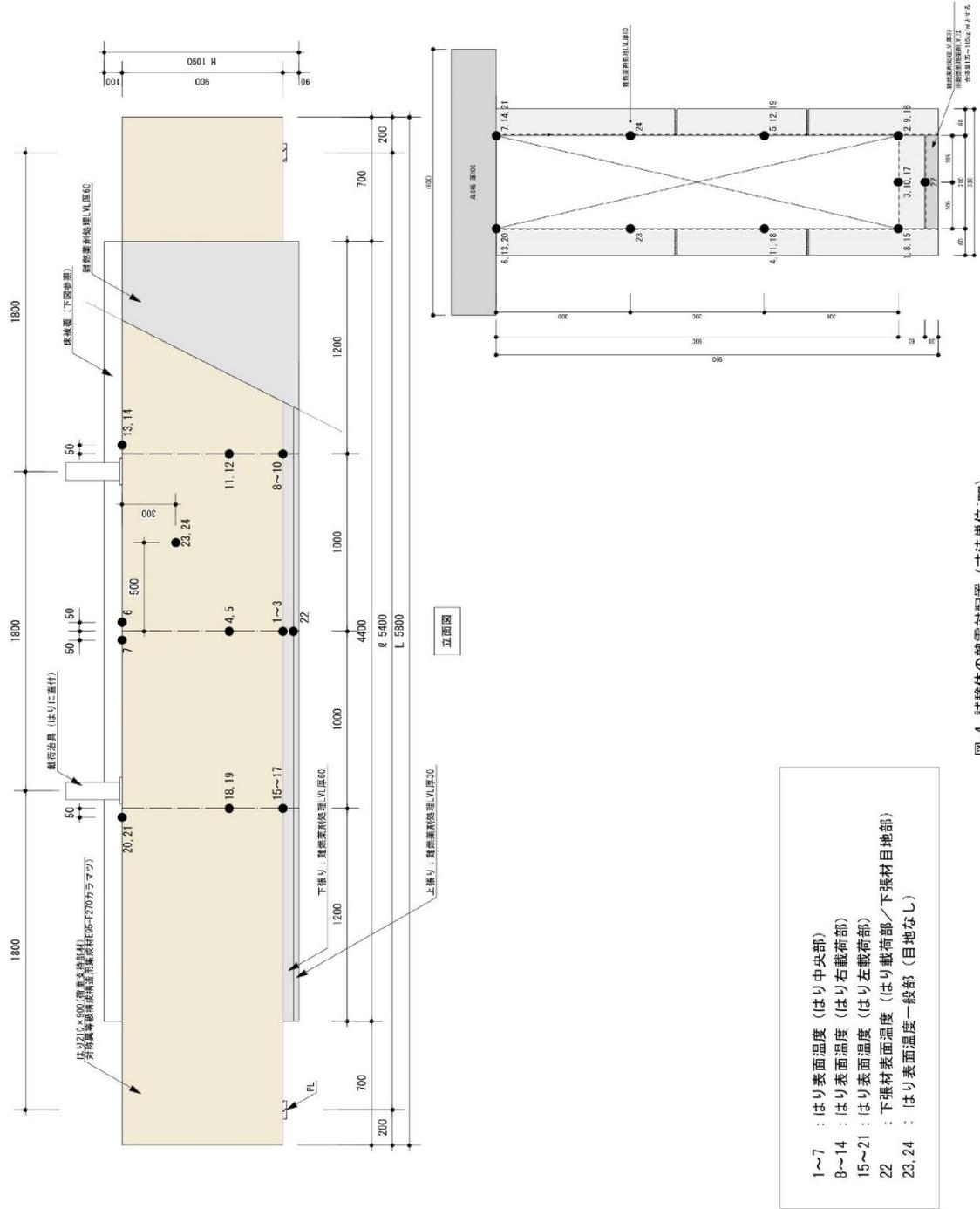


図 3-4 試験体の構造及び寸法

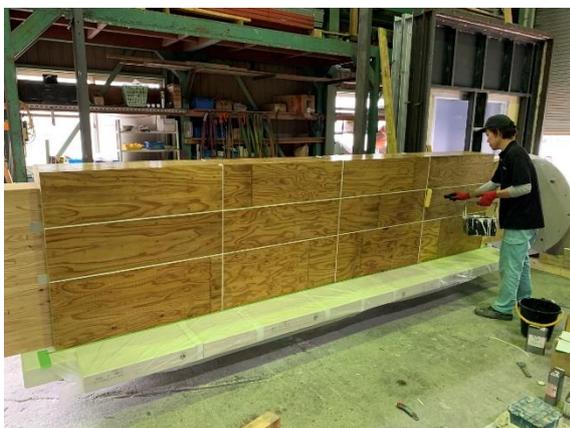
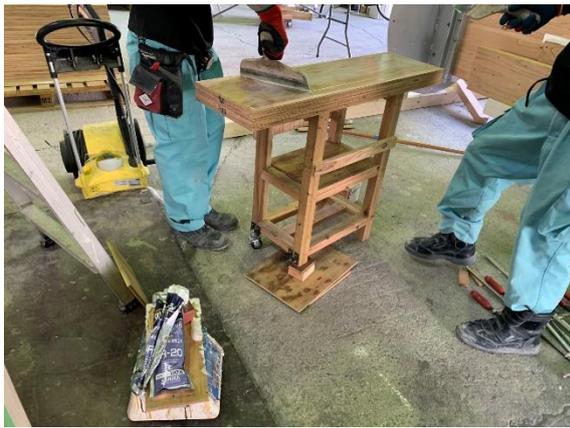
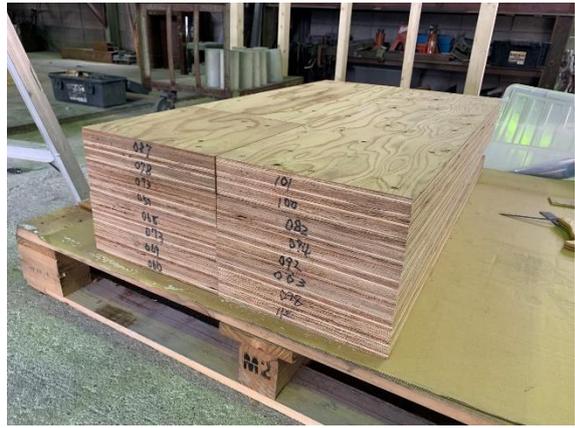


写真 3-1 製作時の様子

### 4. 1. 3 実験結果及び考察

#### (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4-26に示した。

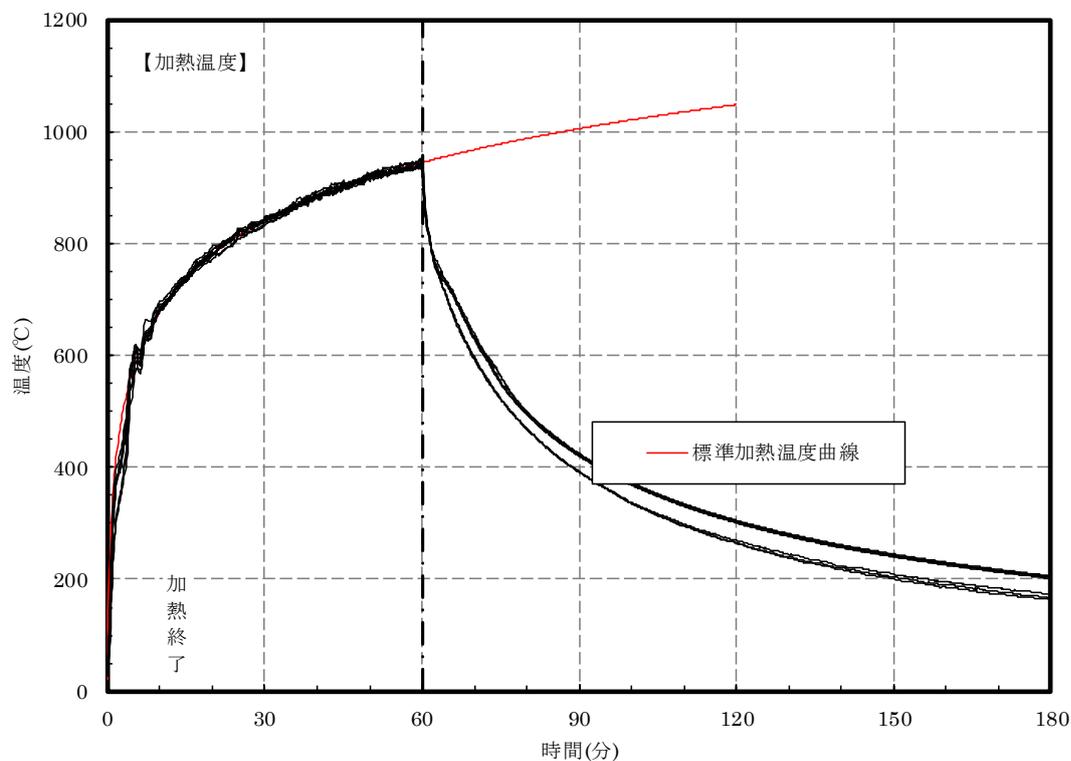
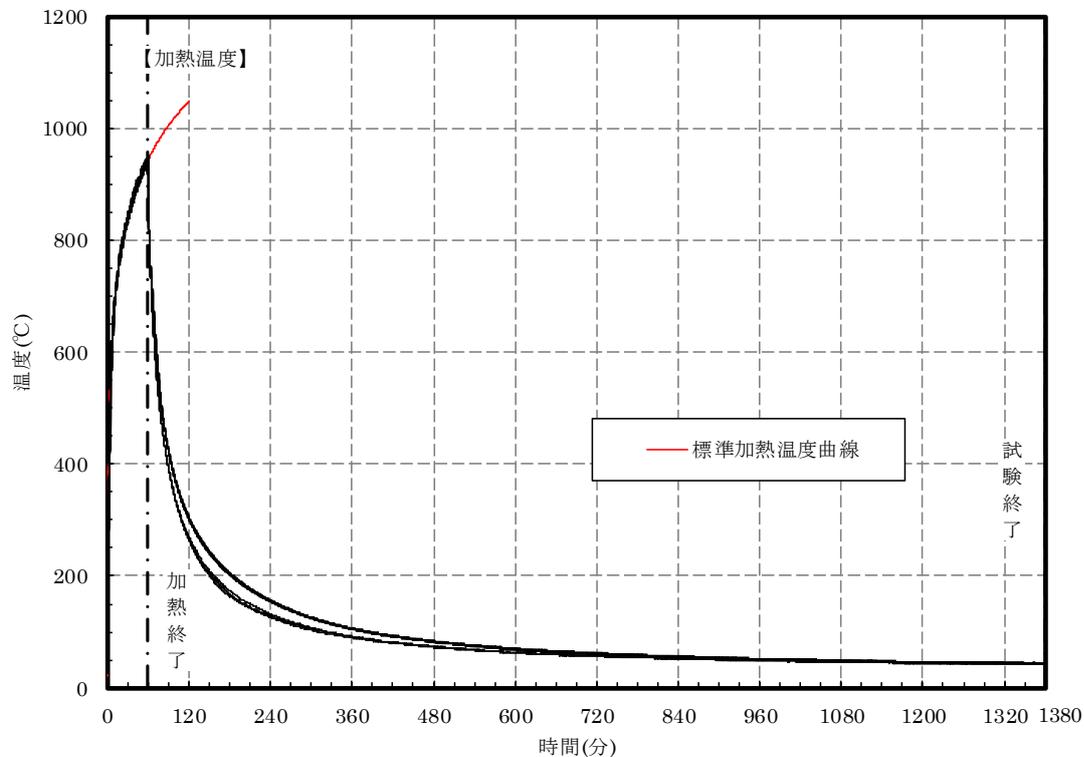


図 4-1 加熱温度測定曲線

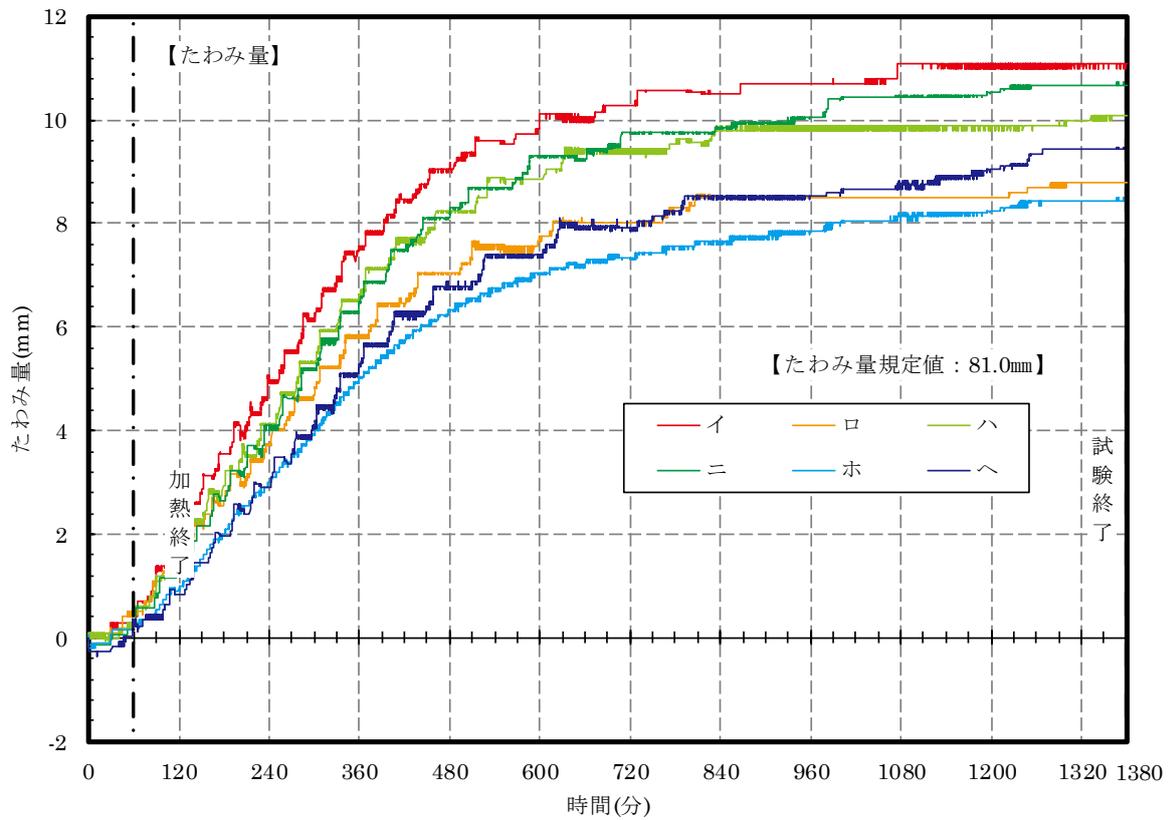
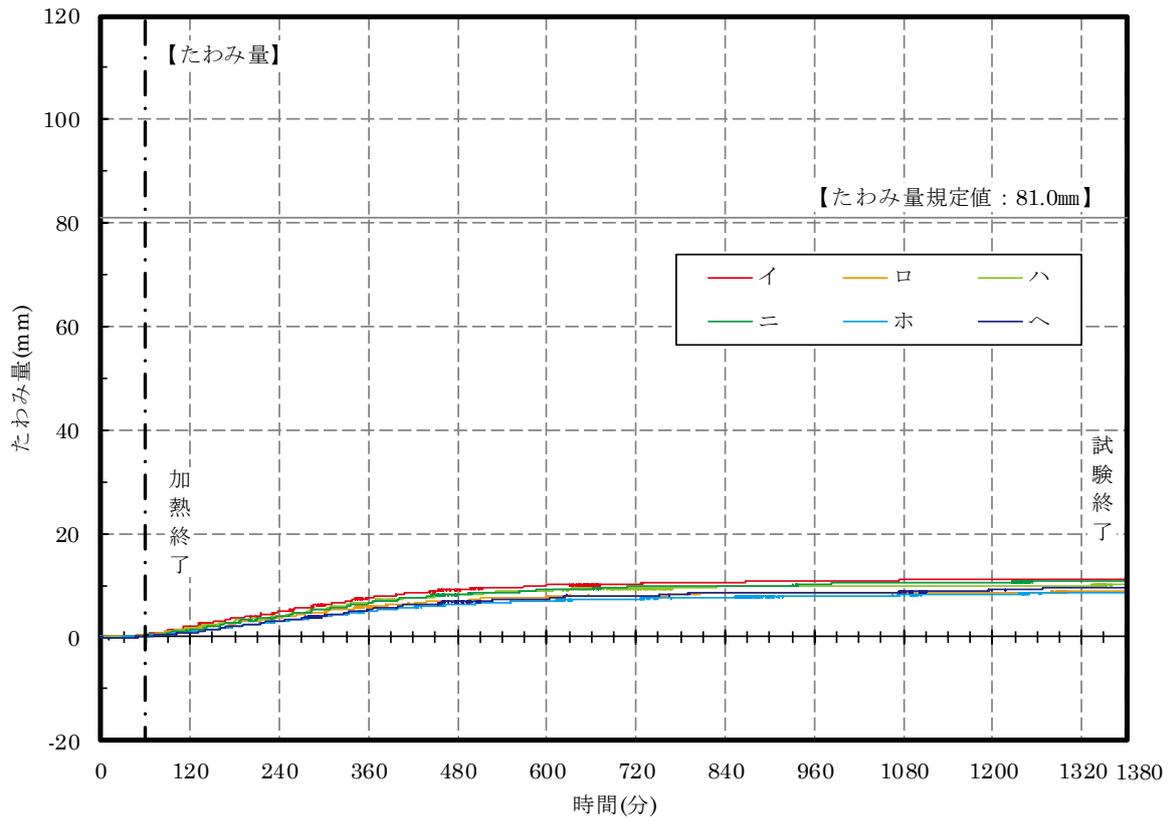


図 4-2 たわみ量測定曲線

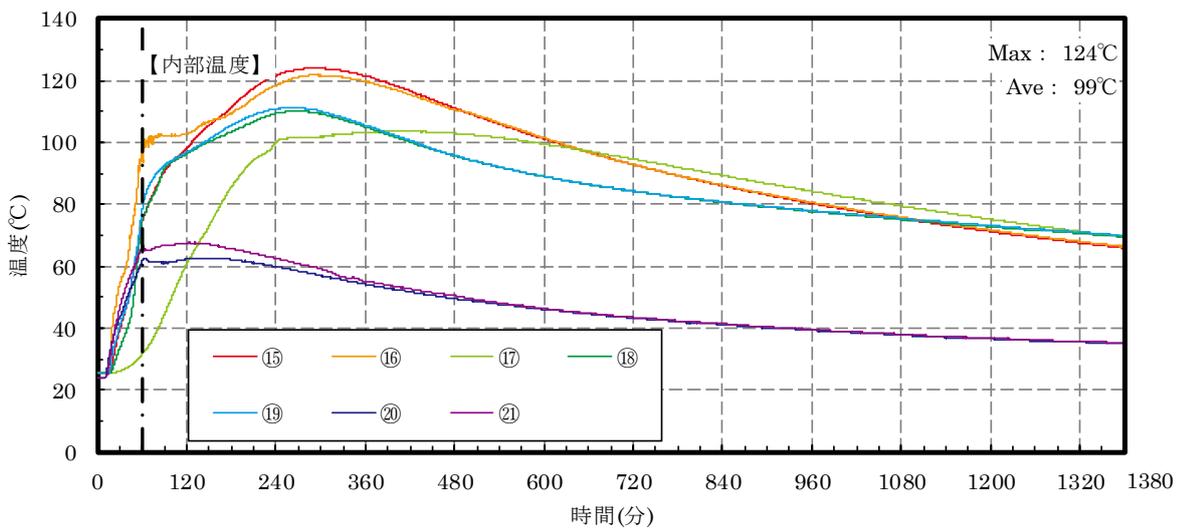
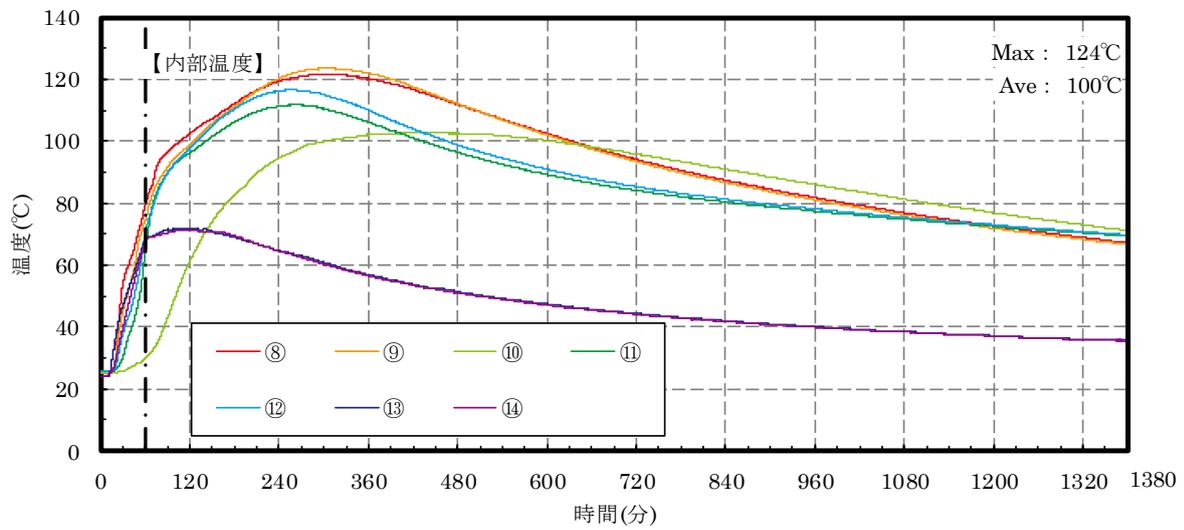
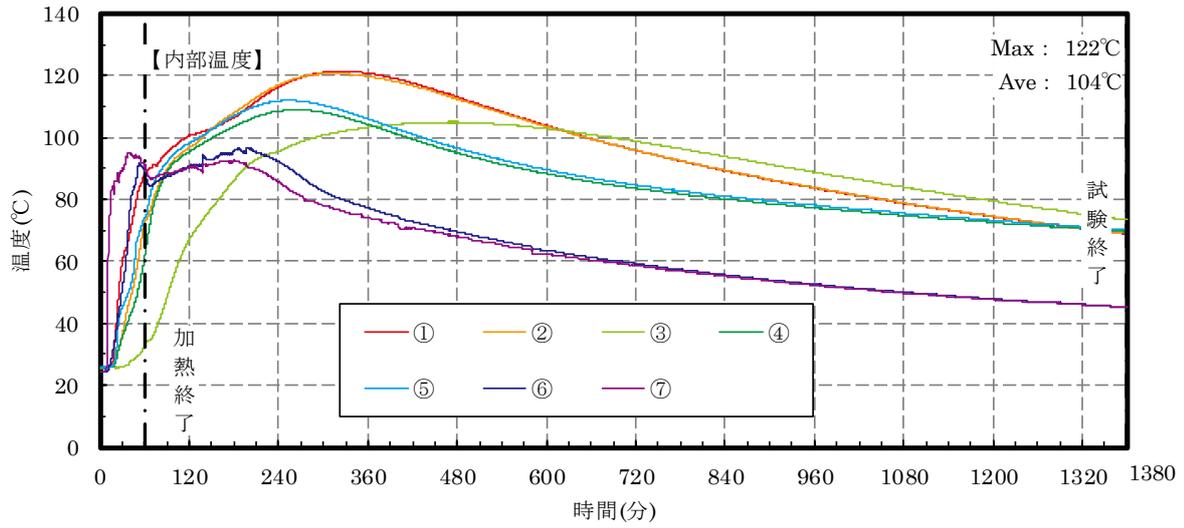


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

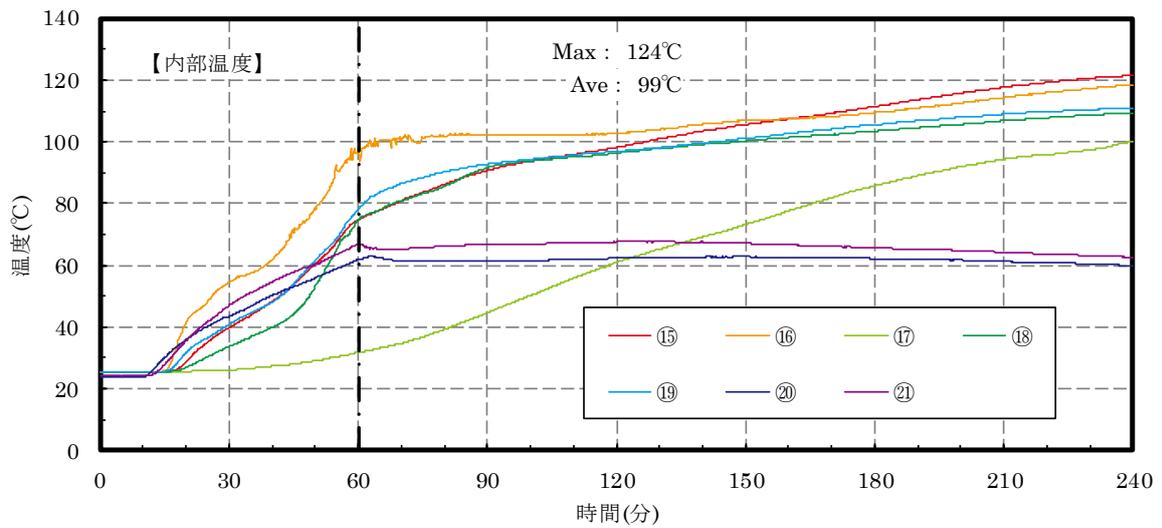
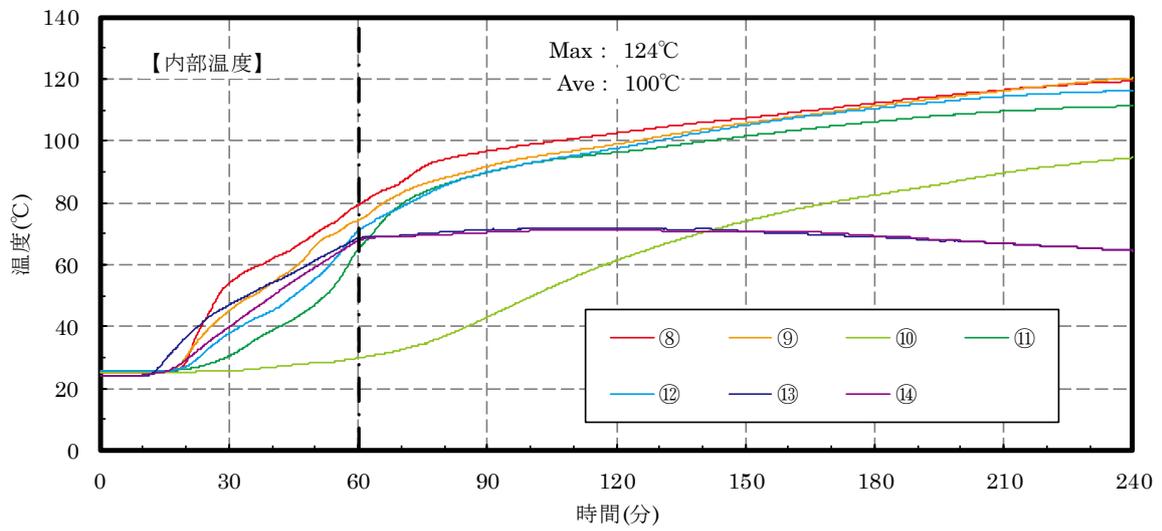
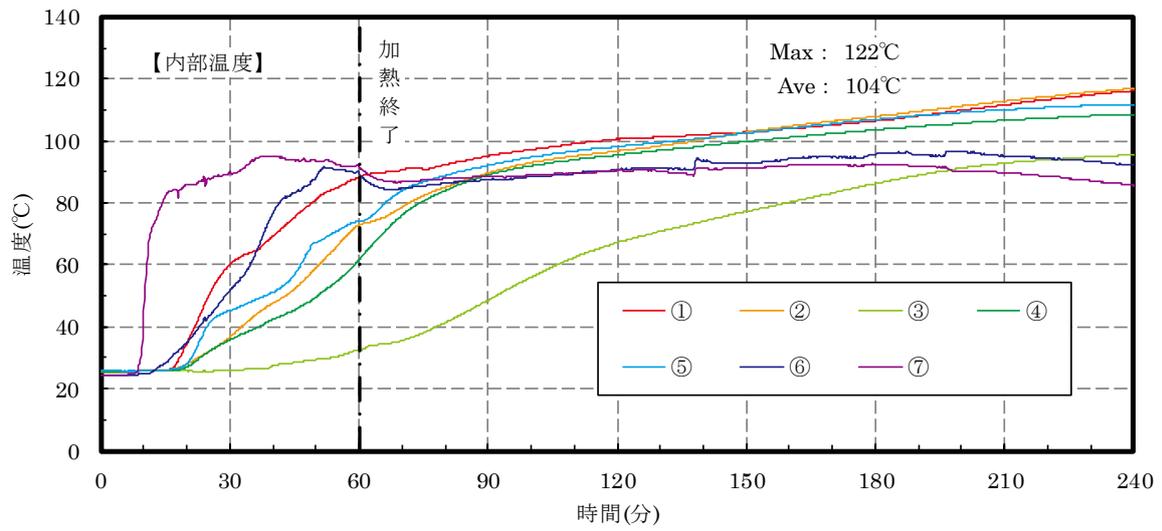


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

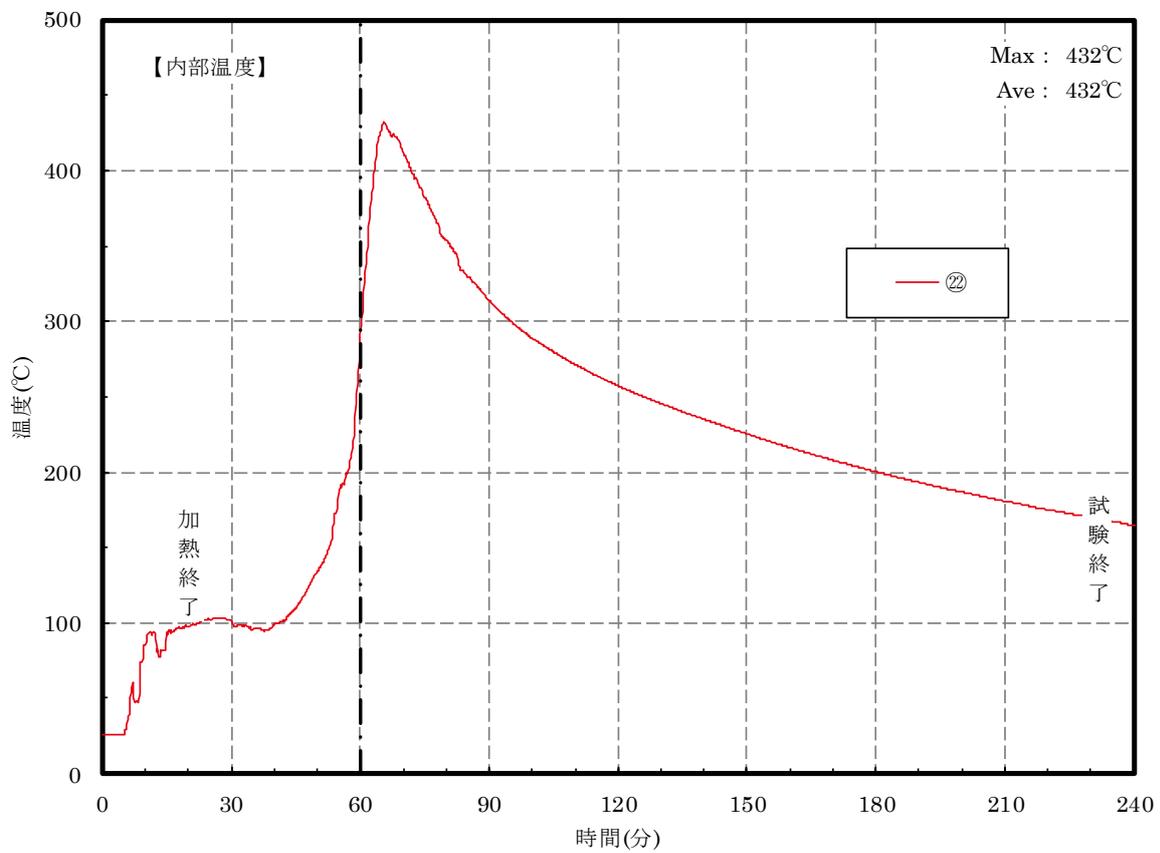
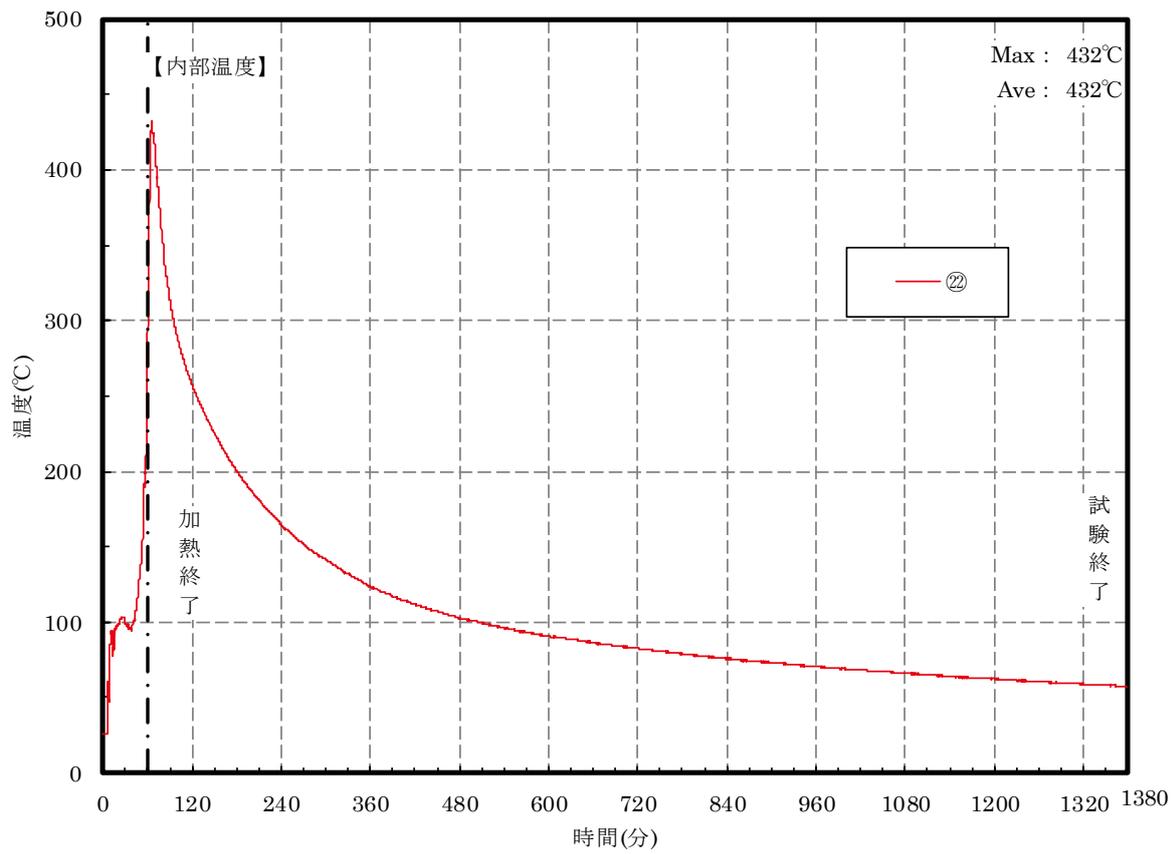


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位每)

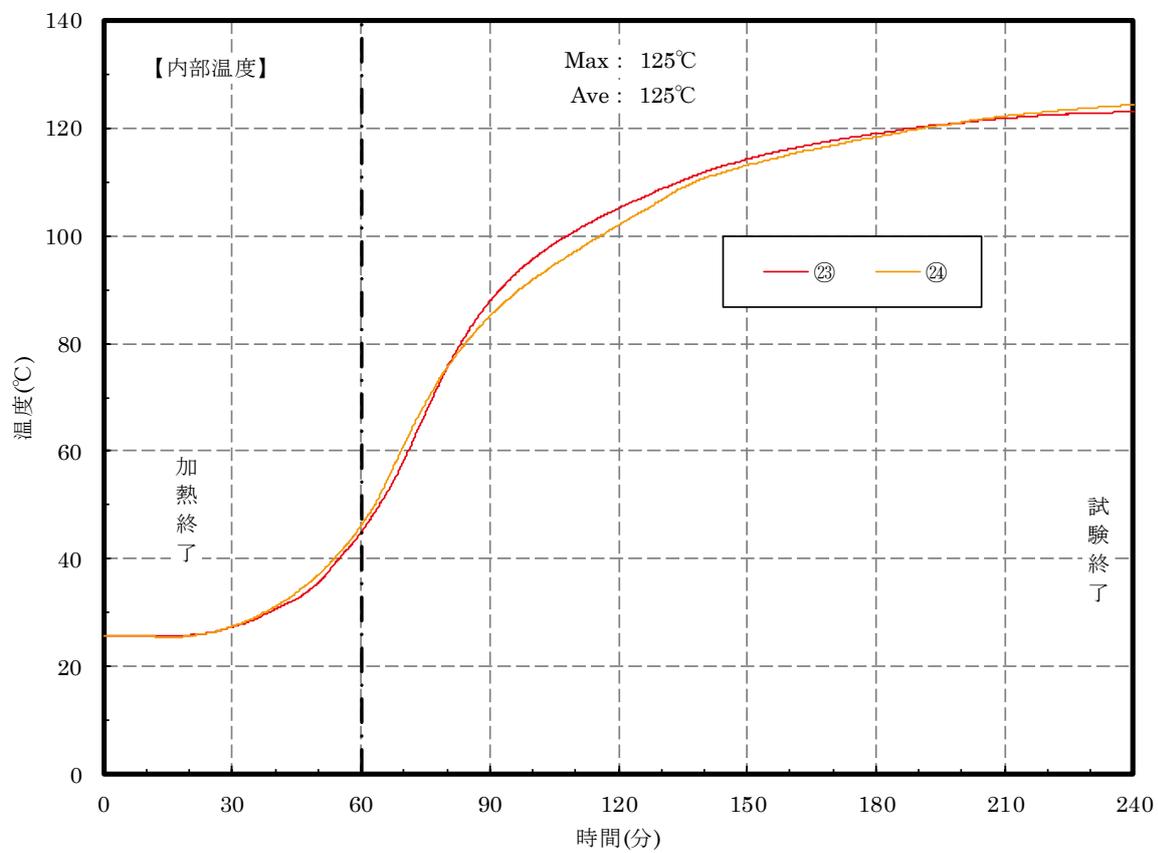
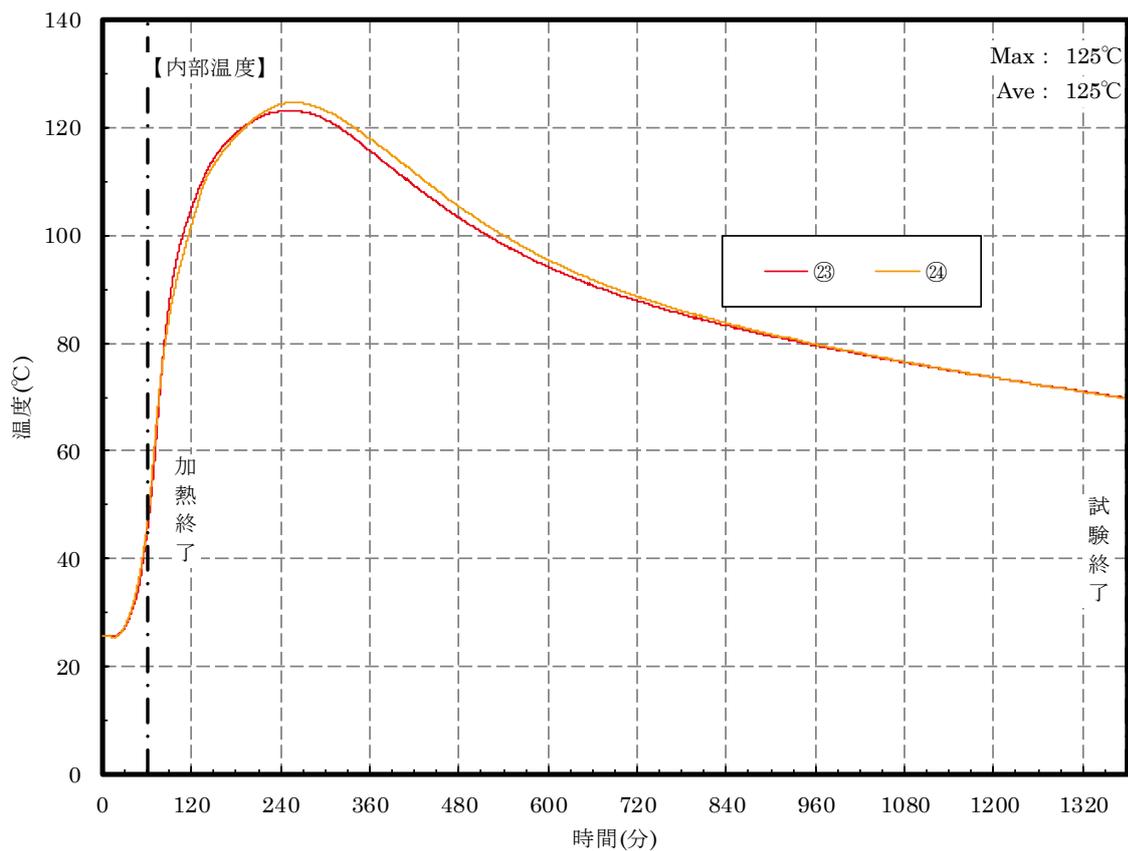


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)



写真 4-1 水平炉全景



写真 4-2 加力の様子



写真 4-3 座屈防止治具



写真 4-4 荷重支持梁



写真 4-5 炉内・梁側面



写真 4-6 炉内・梁下面



写真 4-7 加熱 3 分



写真 4-8 加熱 10 分



写真 4-9 加熱 17 分



写真 4-10 59 分 加熱停止直前



写真 4-11 脱炉 被覆材西側



写真 4-12 脱炉 被覆材東側



写真 4-13 被覆材下面



写真 4-14 被覆材下面脱落



写真 4-15 梁上端



写真 4-16 梁加力面はほとんどめり込み無し



写真 4-17 断面切断

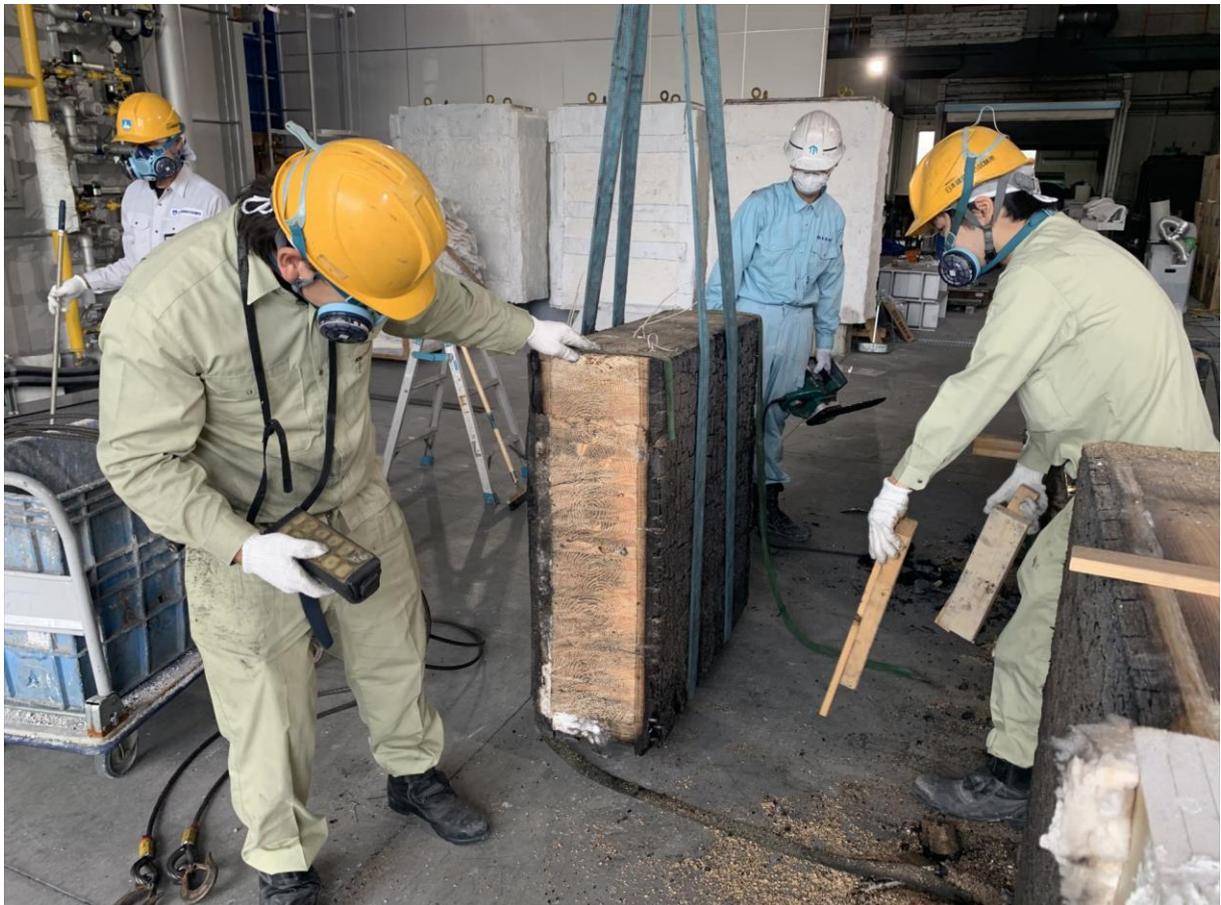


写真 4-18 断面



写真 4-19 中間点断面



写真 4-20 被覆材下面 (中間点)



写真 4-21 被覆材側面 (中間点)



写真 4-22 被覆材側面（中間点）



写真 4-23 被覆材側面（中間点）



写真 4-24 断面（北側）



写真 4-25 断面（南側）



写真 4-26 被覆材を剥がした梁表面（南側）

## (2) 考察

10時04分に加熱開始して一時間後である11時04分に加熱を終了した。加熱3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。被覆材は側面も下面も脱落することなく、60分で加熱を停止した。

加熱開始後1380分(23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9番で124℃(293分)、下部の平部の最高温度は1/4点の3番で105℃(468分)、側面の平部の最高温度は24番で125℃(257分)であった。どの部位においても炭化の恐れがある260℃を超えていなかった。小断面梁の性能評価試験時と比べると、最高温度は隅部128℃と大断面と同程度であったのに対し、温度が下がり始めたのは360分と小断面の方が早かった。

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、960分位で増加はほとんど止まったが、その後も若干増加した。

熱電対を設置した中間点と荷重点直下の断面を切断し、荷重支持部材に炭化があるかを確認した。荷重支持はりの炭化は見られなかった。60mm厚の被覆材のうち平部では30mm前後、隅部では20mm前後を残して燃えどまっており、小断面梁より余裕を残していたことがわかった。

目地については、縦目地と横目地の両方を設けても1時間耐火の性能に問題ないことがわかった。

## 4. 2 性能評価試験 2 回目

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難燃薬剤注入量は  $132\text{-}138\text{ kg/m}^3$  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. 2. 1 実験概要

3 面加熱の試験体を製作し、一般社団法人日本建築総合試験所の水平炉を使用し、同試験所の「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して荷重加熱試験を行った。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 9 月 14 日であった。

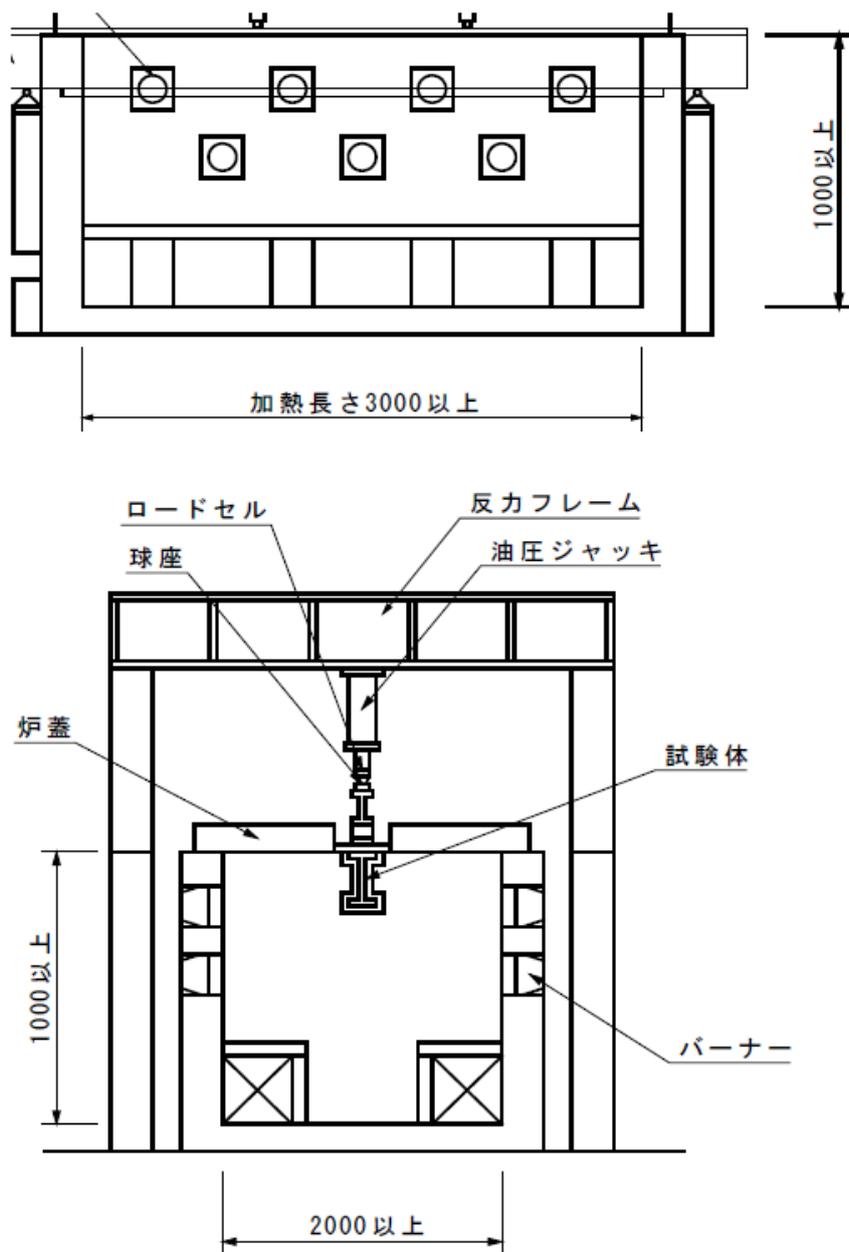


図 1-1 試験装置図

### (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 E95-F270 の基準曲げ強度( $F_b=27.0\text{N/mm}^2$ )より寸法調整係数を掛けた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137.0kN 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. 2. 2 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うち主なものの一覧と、製作時の様子を表 3-1～2 と図 3-1～4、写真 3-1 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"> <li>・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)</li> <li>・樹種 カラマツ</li> <li>・密度 0.48g/cm<sup>3</sup>(気乾、実測値)</li> <li>・断面寸法 210×900</li> </ul>
被覆材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材</li> <li>・薬剤含浸量 132-138kg/m<sup>3</sup></li> <li>・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)</li> </ul>

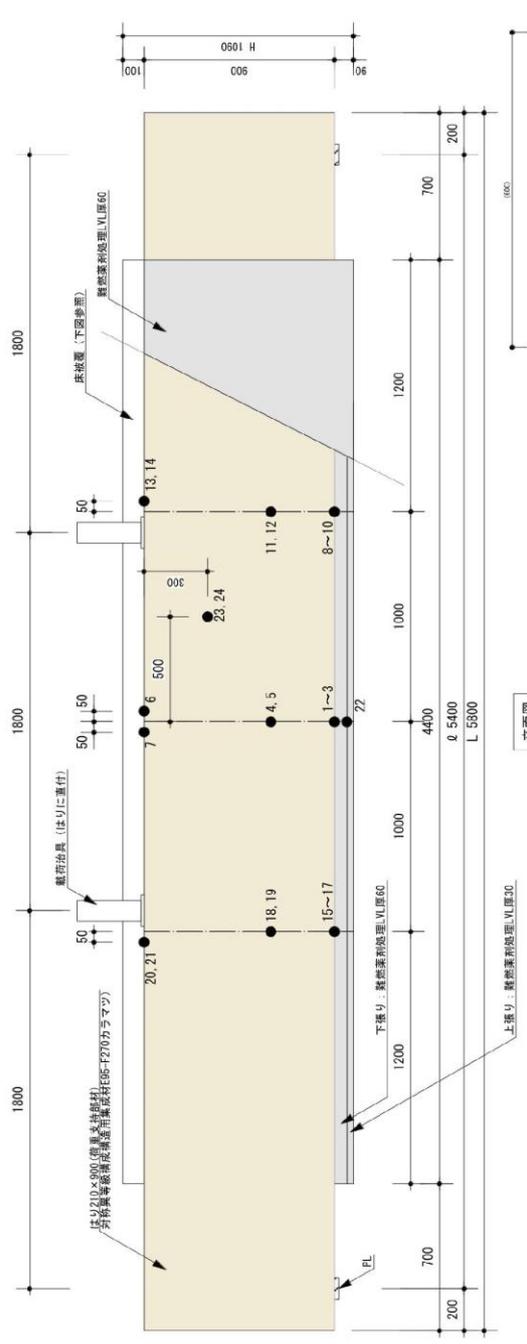
表 3-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

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"> <li>・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの)</li> <li>・寸法 φ3.8 mm×L51 mm</li> <li>・留付間隔 200 以下</li> </ul> <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材質 ウレタン系樹脂接着剤</li> <li>・塗布量 350g/m<sup>2</sup></li> </ul> <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材質 ブナ(広葉樹)</li> <li>・寸法 φ10</li> </ul>
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"> <li>・塗布量 300g/m<sup>2</sup></li> </ul>

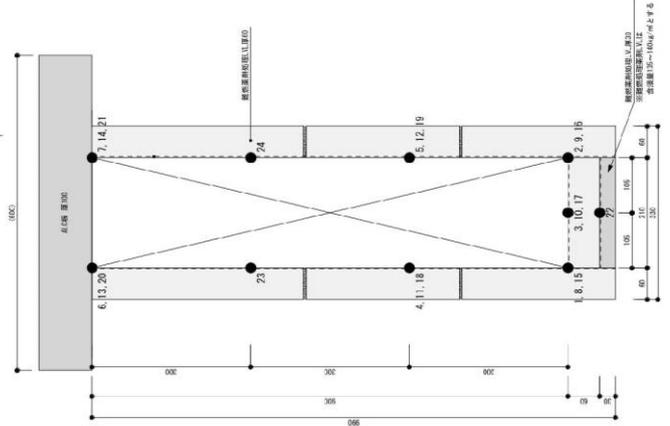








立面図



- 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)
- 23, 24 : はり表面温度一般部 (目地なし)

図-4 試験体の熱電対配置 (寸法単位:mm)

図 3-4 試験体の構造及び寸法

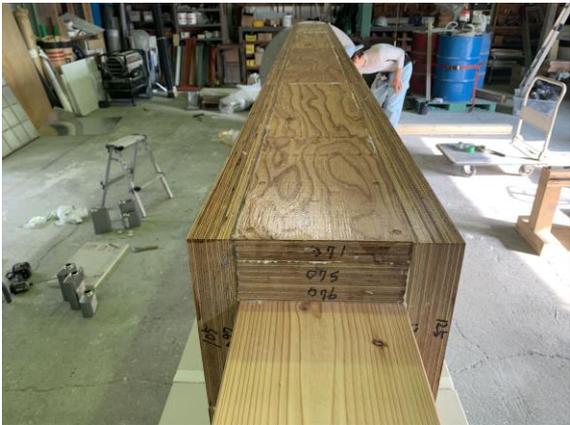
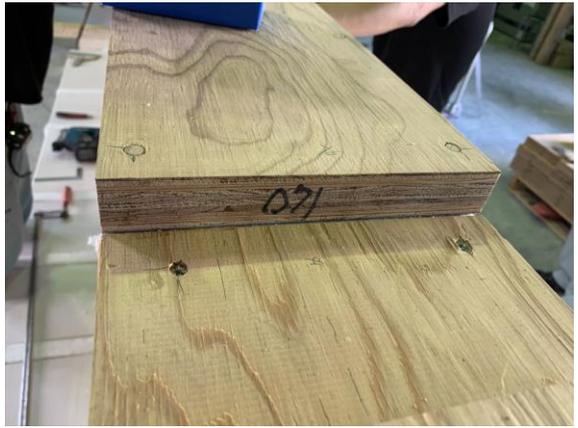


写真 3-1 製作時の様子

### 4. 2. 3 実験結果及び考察

#### (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4-26に示した。

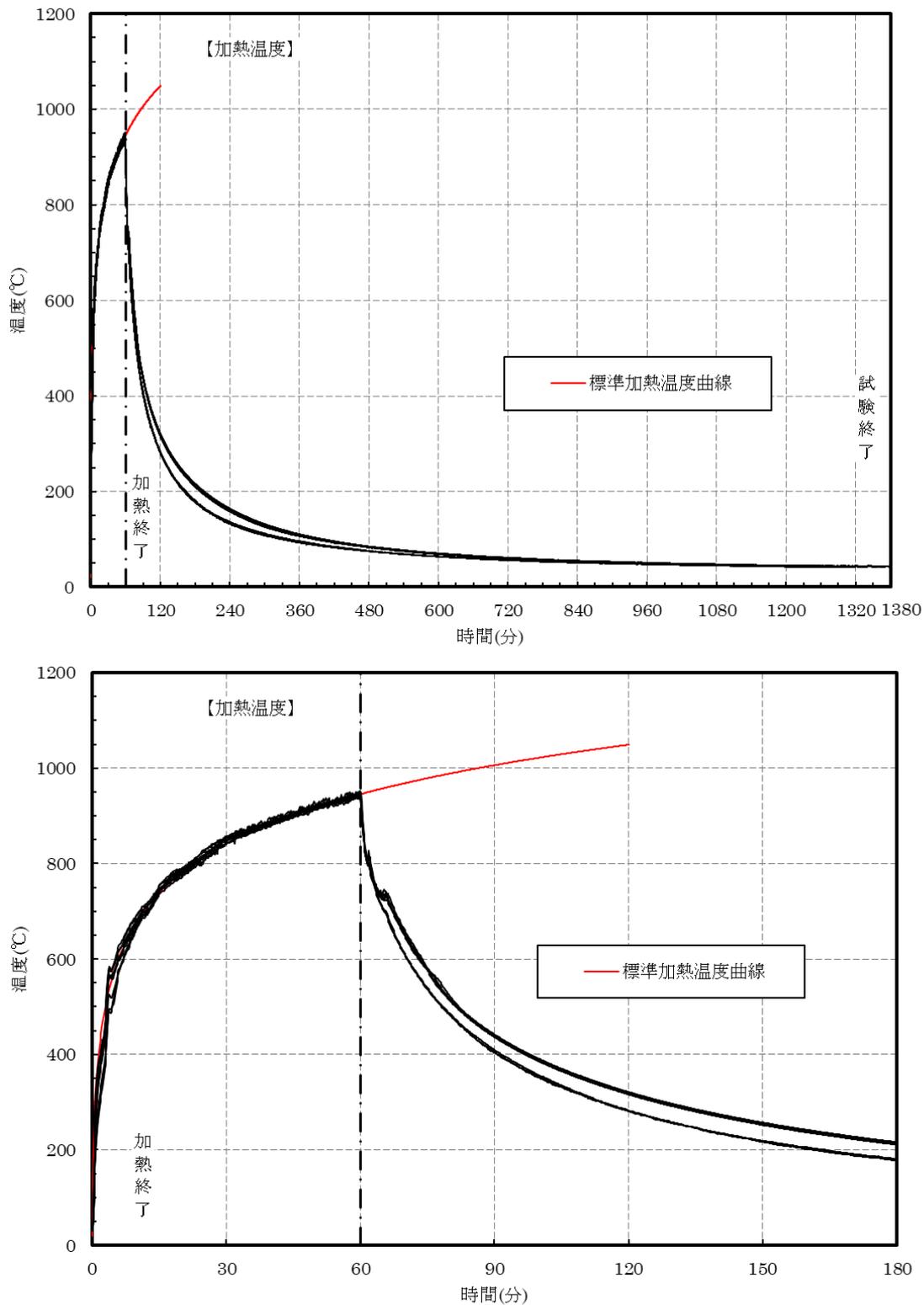


図 4-1 加熱温度測定曲線

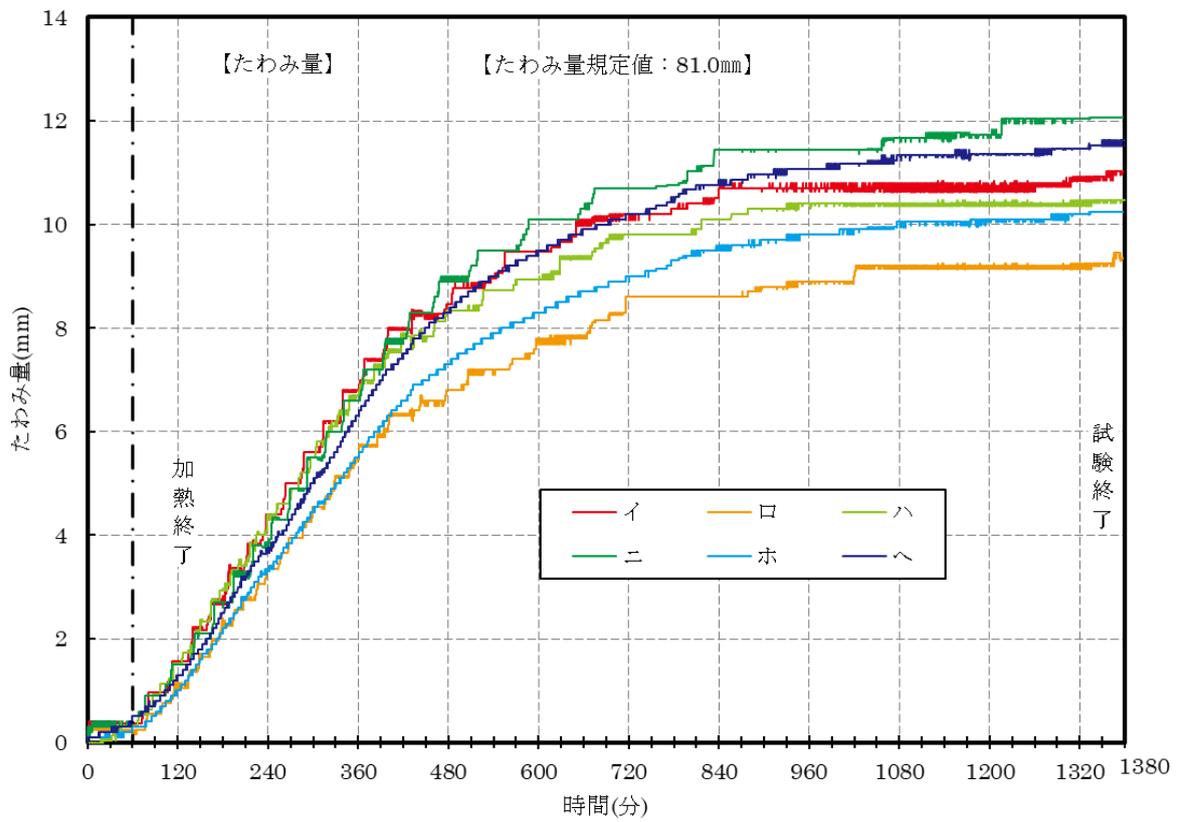
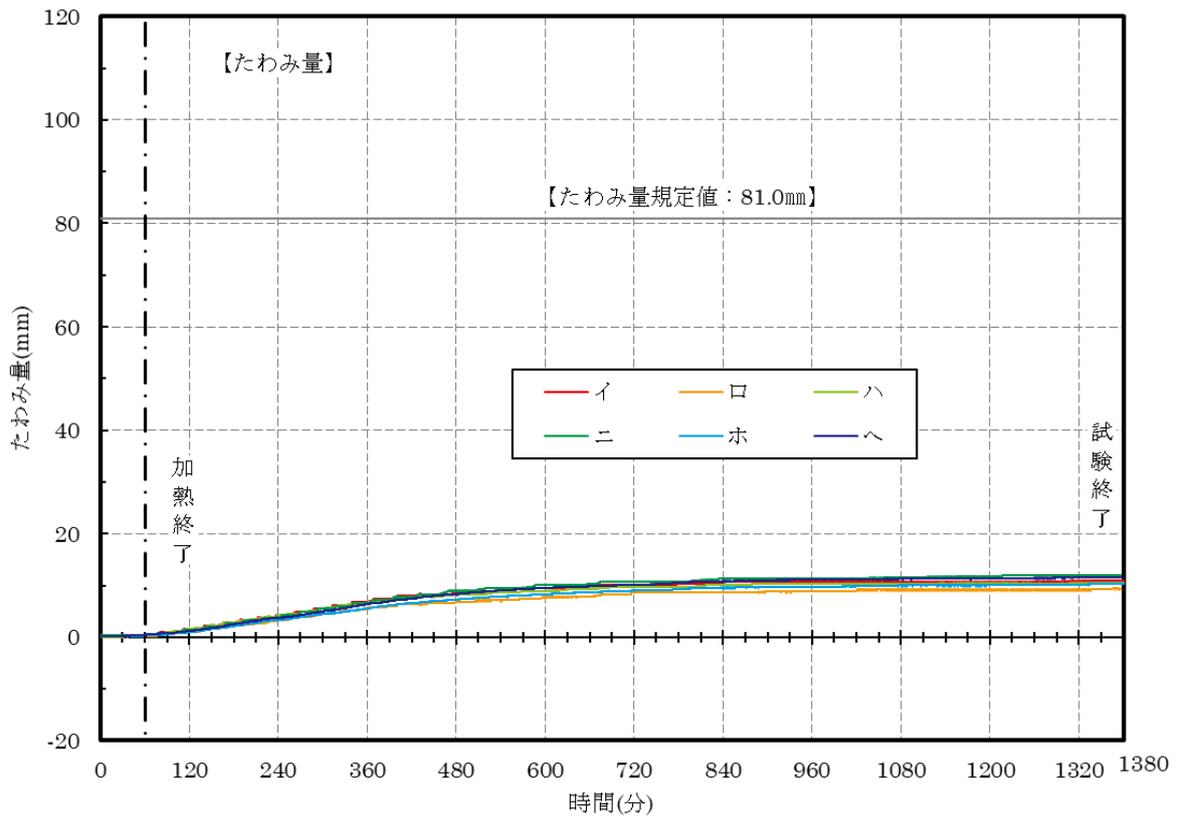


図 4-2 たわみ量測定曲線

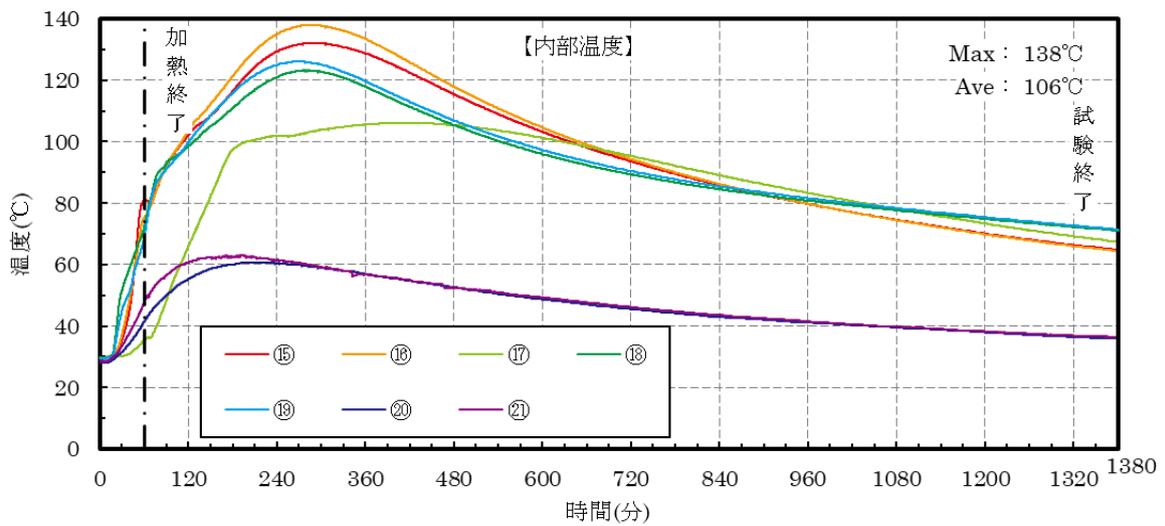
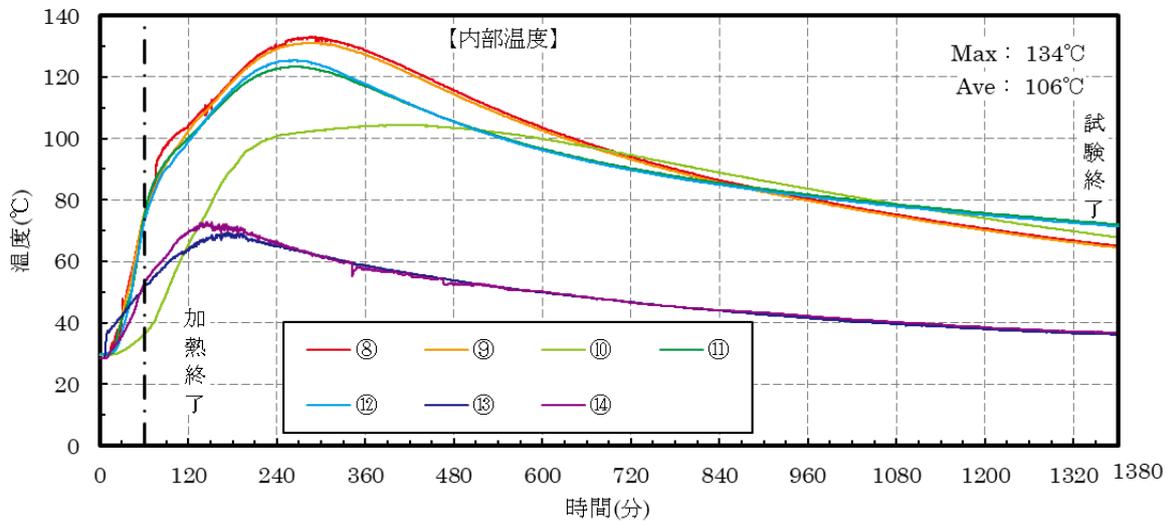
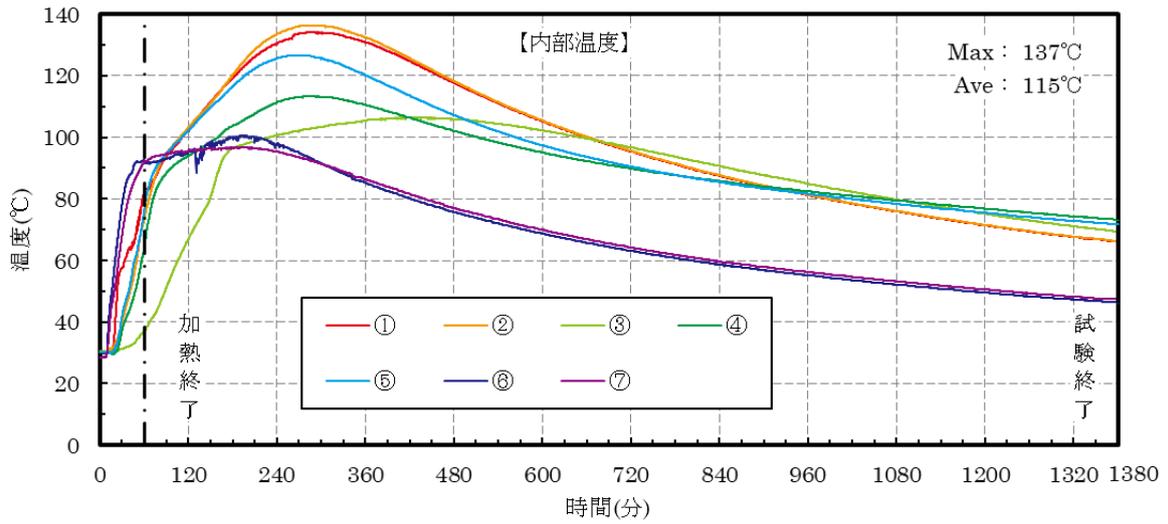


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

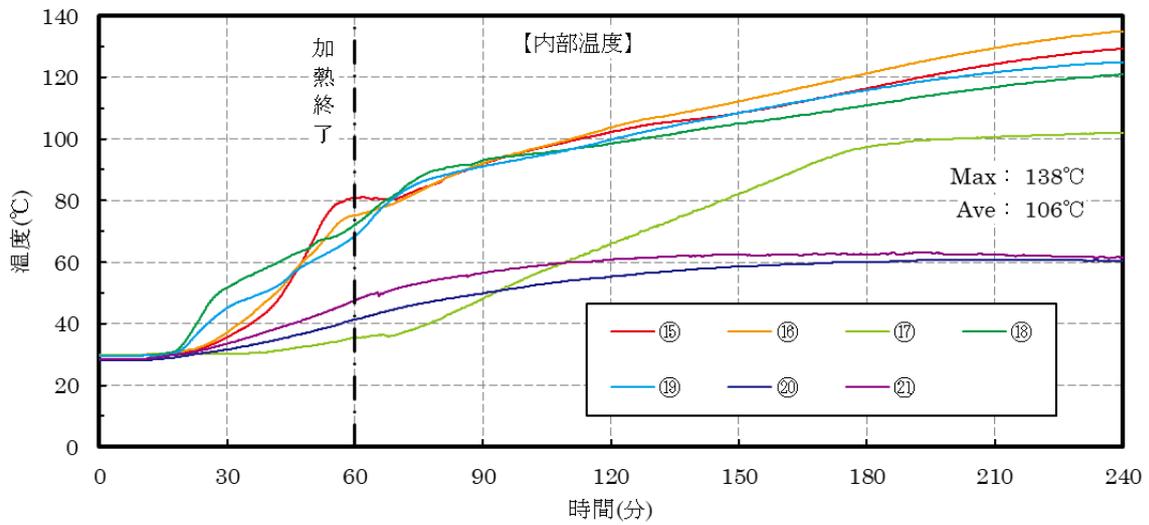
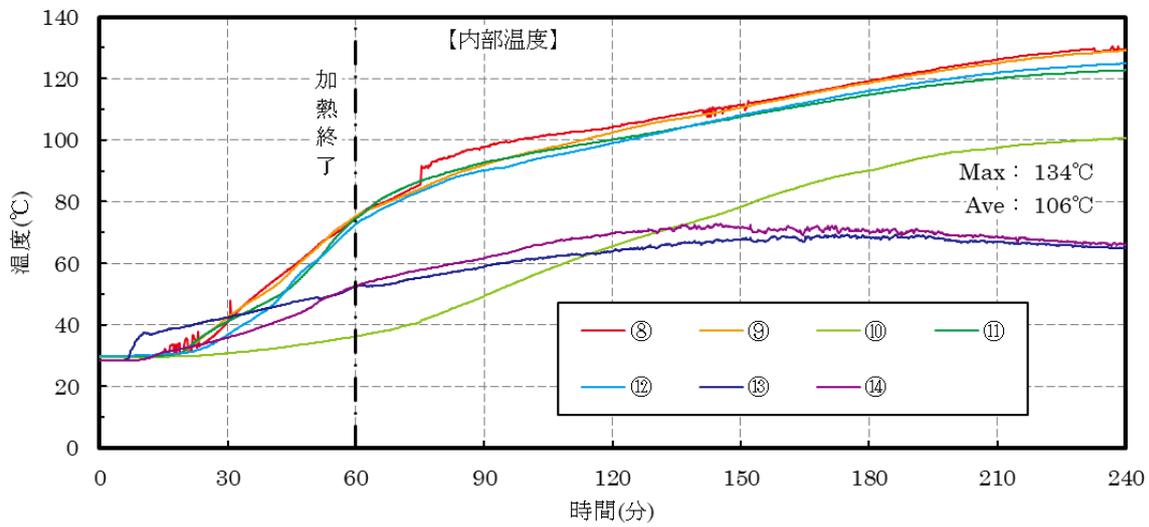
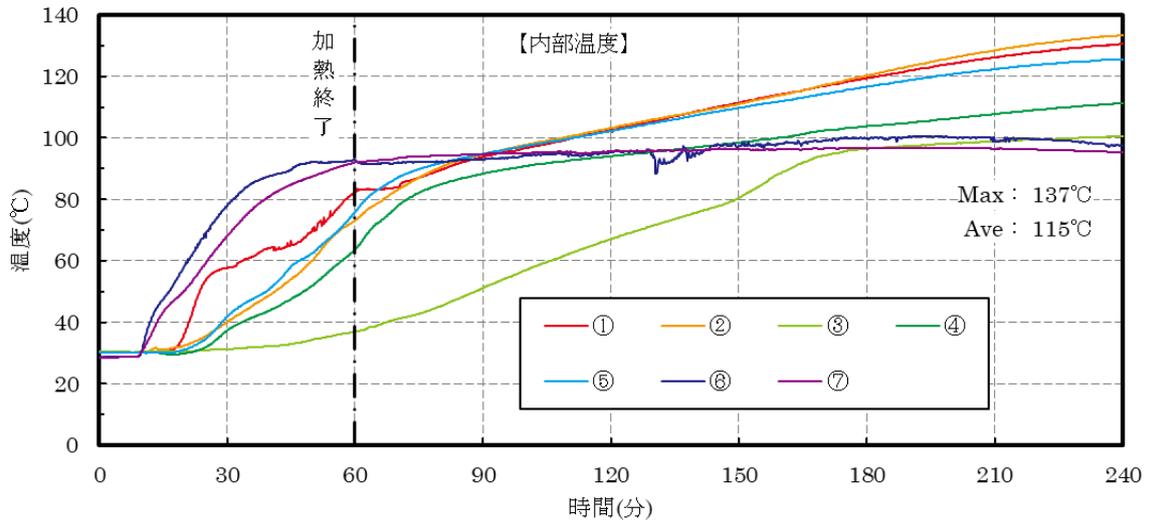


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位毎)

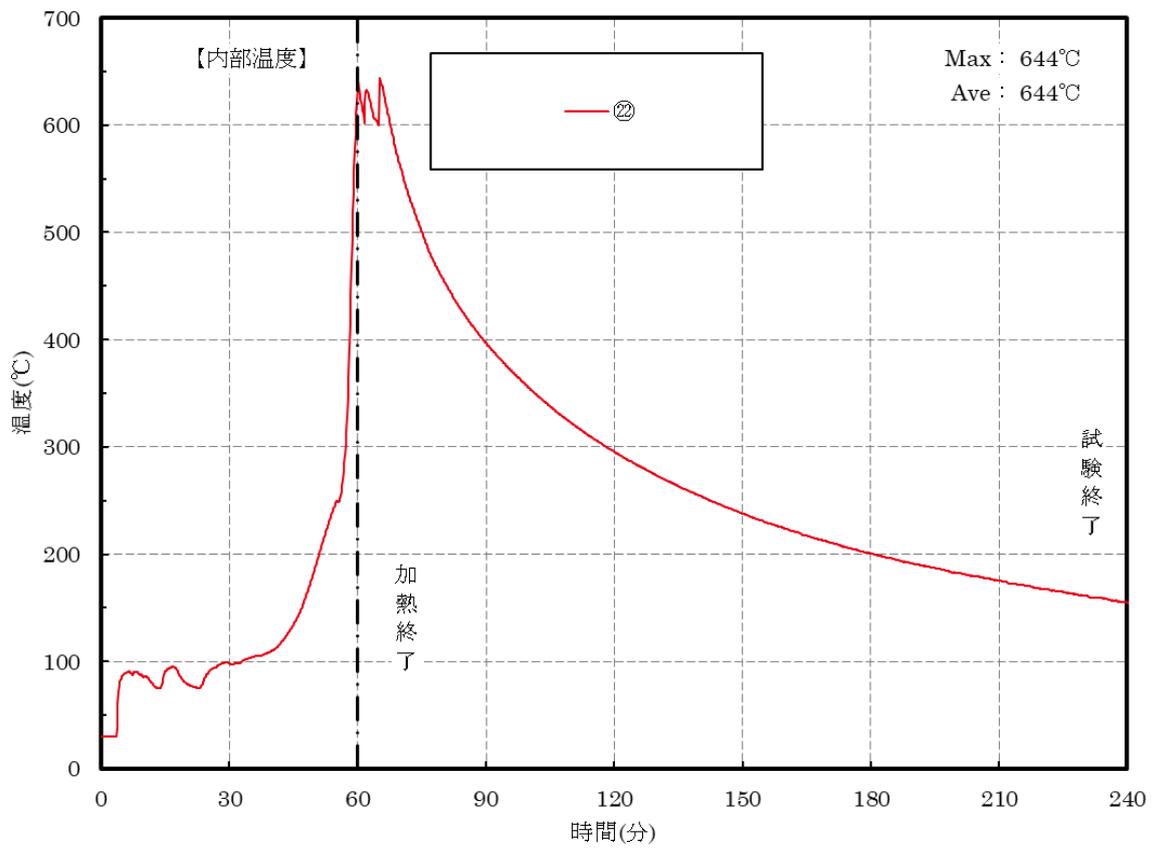
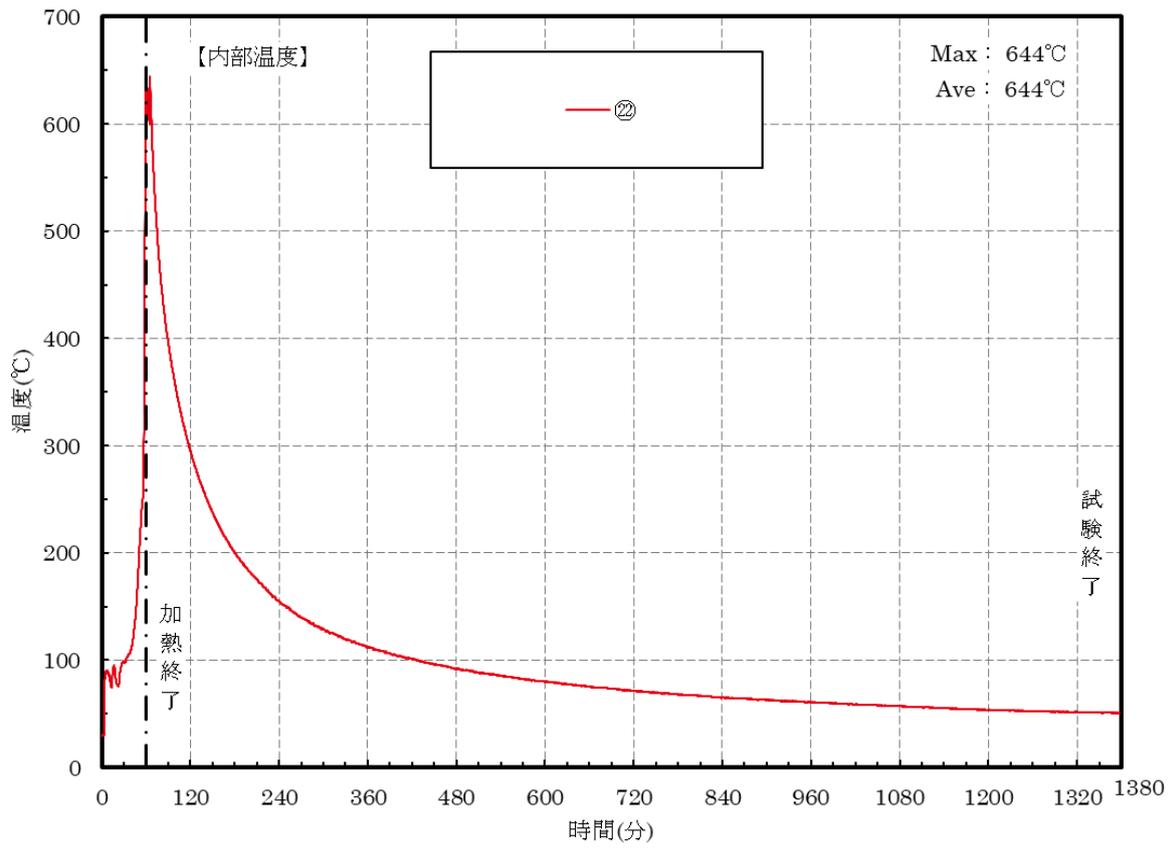


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位每)

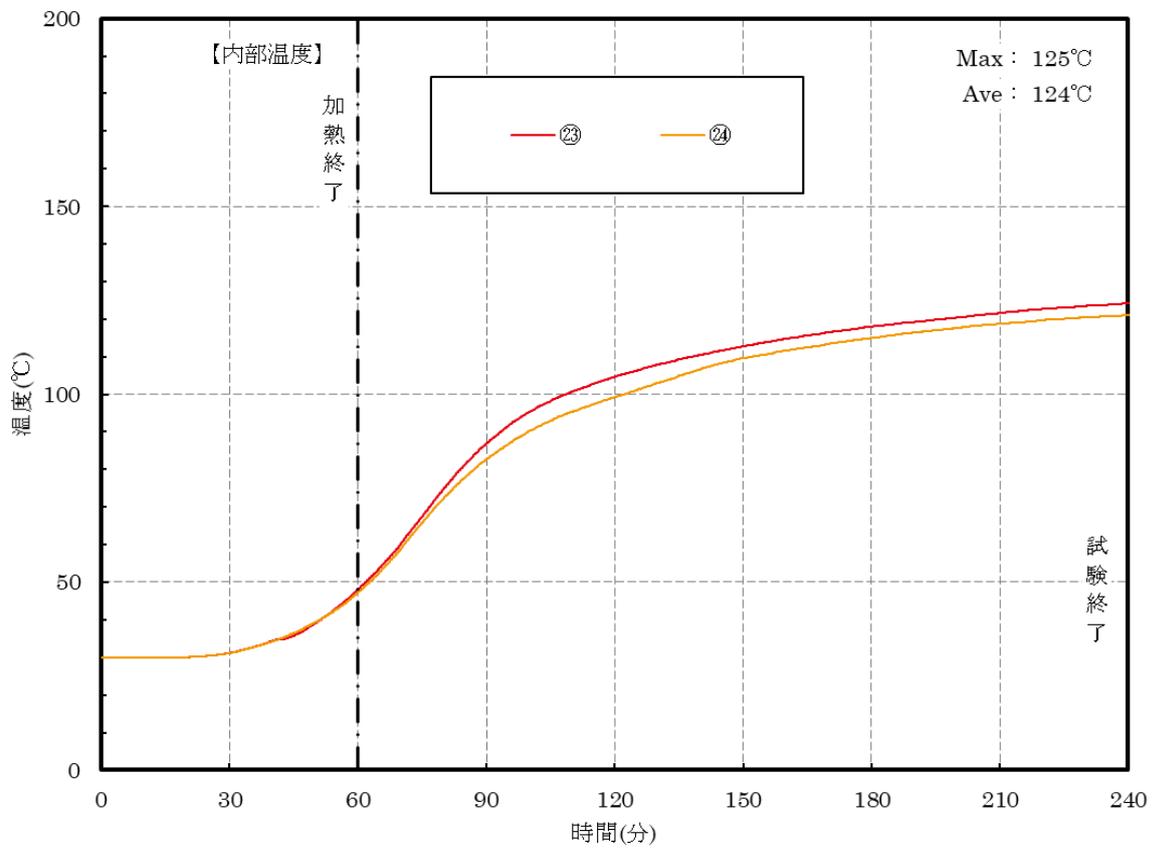
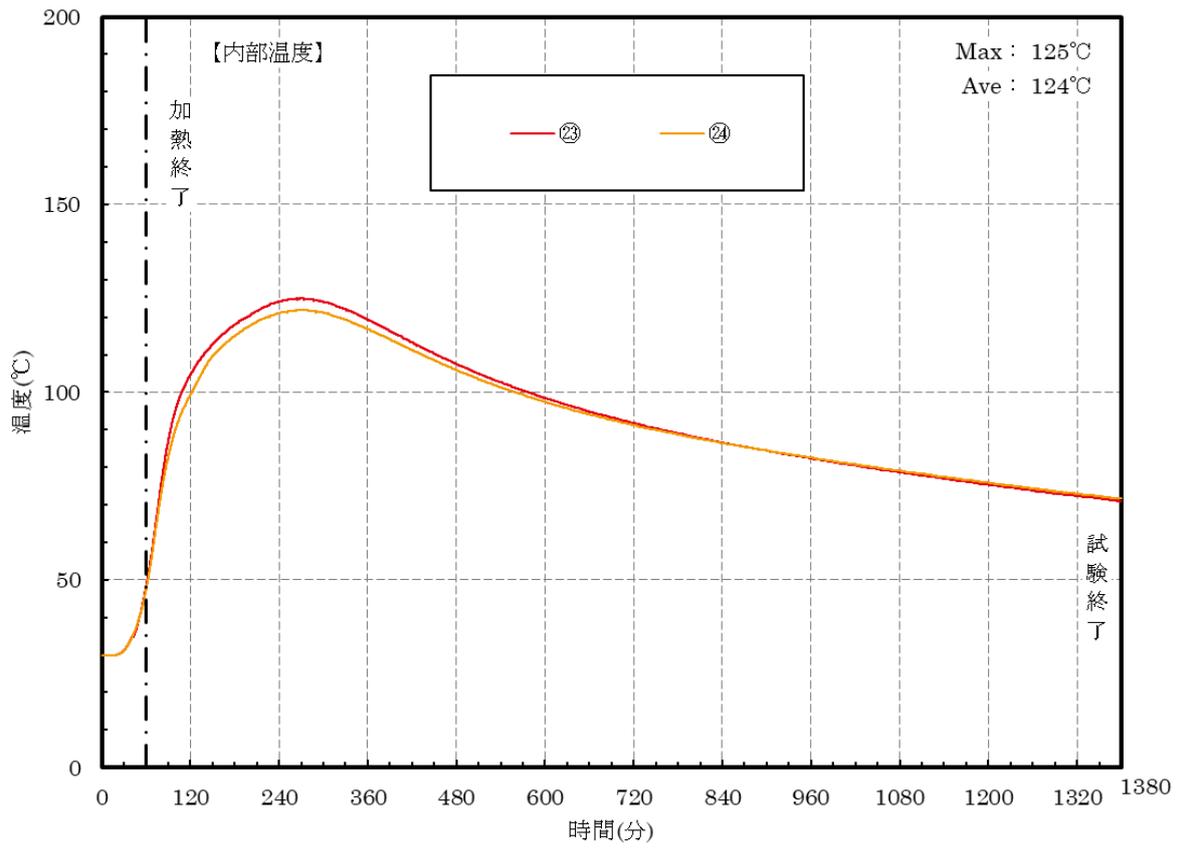


图 4-3 内部温度测定曲线 (部位每)



写真 4-1 水平炉全景



写真 4-2 加力の様子



写真 4-3 座屈防止治具



写真 4-4 荷重支持梁



写真 4-5 炉内・梁側面



写真 4-6 炉内・梁下面



写真 4-7 加熱 3 分



写真 4-8 加熱 10 分



写真 4-9 加熱 15 分

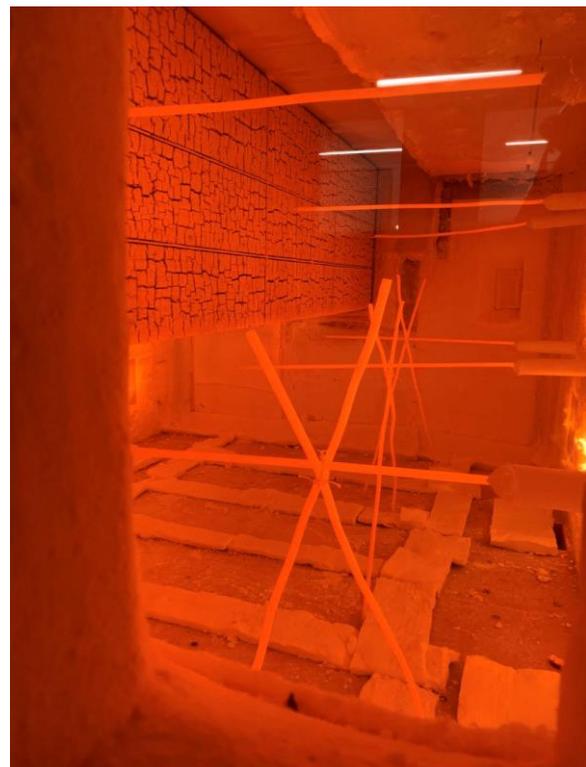


写真 4-10 59 分 加熱停止直前



写真 4-11 脱炉 被覆材西側



写真 4-12 脱炉 被覆材東側



写真 4-13 被覆材下面



写真 4-14 被覆材下面脱落



写真 4-15 梁上端



写真 4-16 断面切断



写真 4-17 断面



写真 4-18 載荷点直下断面



写真 4-19 被覆材側面（載荷点直下）



写真 4-20 被覆材側面（載荷点直下）



写真 4-21 被覆材断面（載荷点直下）

## (2) 考察

10時12分に加熱開始して一時間後である11時12分に加熱を終了した。加熱3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。被覆材は側面も下面も脱落することなく、60分で加熱を停止した。

加熱開始後1380分(23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16番で138℃(287分)、下部の平部の最高温度は1/4点の3番で106℃(443分)、側面の平部の最高温度は5番で127℃(274分)であった。どの部位においても炭化の恐れがある260℃を超えていなかった。

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、840分位で増加はほとんど止まったが、その後も若干増加した。

熱電対を設置した中間点と載荷点直下の断面を切断し、荷重支持部材に炭化があるかを確認した。荷重支持はりの炭化は見られなかった。60mm厚の被覆材のうち平部では30mm前後、隅部では20mm前後を残して燃えどまっており、1体目と同様の傾向であった。目地については、縦目地と横目地の両方を設けても1時間耐火の性能に問題ないことがわかった。

2体目も合格したことで、大断面梁について性能評価試験に合格したことが確定した。

## 5 本耐火構造の運用

### 5. 1 化粧材（梁）

2021年9月の性能評価2体目に合格したことで続いて10月に化粧材を貼った大断面梁の1時間耐火試験に臨む予定であった。梁についても柱と同様、化粧材を貼っての運用を認めもらうためである。LVL協会では本事業での性能評価試験の準備を進めるのと並行して、梁に関して、試験を行わずに化粧材を貼る運用を認めてもらえないかと日本建築総合試験所に相談していた。要望内容は参考5-1 要望書（化粧材省略）の通りである。理由として、柱の認定取得時に化粧材付きの大断面柱の試験を行って時間耐火の性能を確認したデータが得られており、同被覆方法を採用した梁でも柱のデータをもって同様の評価ができないかと考えたからである。9月の2体目の試験が終了してまもなく上記の省略について認めていただき、化粧材を貼った梁の試験を行わなくてもよいことになった。

### 5. 2 荷重支持部材樹種の追加（柱）

薬剤含浸系の木被覆材を使用した耐火構造に関して、荷重支持部材の樹種は試験した樹種しか認めてもらえないのが現状であった。最近になって様々な樹種の炭化しやすさのデータが整備されつつあり、一番小さい密度を有するスギで耐火性能を確認すれば、スギ以上の密度を有し、炭化しやすさのデータがある樹種は認定の運用で認めもらえる雰囲気醸成されつつあった。LVL協会も協会会員が生産、高強度部材として梁・柱で販売しているラジアータパイン・ダフリカカラマツを使える樹種に追加することを要望し、炭化しやすさのデータを独自で取得していた。

本耐火構造に関して、スギで認定を取得していた柱は、試験無しで荷重支持部材に下記樹種を追加することを2021年2月に日本建築総合試験所で認めていただき、2021年3月現在、国交省に大臣認定番号を申請しているところである。樹種が追加されることにより、より多くの木造でコストパフォーマンスの高い耐火構造が可能になり、同時に国産材が使われる機会を増やせることになる。

追加予定樹種：スギ・カラマツ・ホワイトウッド・ヒノキ・ベイマツ・スプルース・アカマツ・ラジアータパイン・ダフリカカラマツ

### 5. 3 樹種の追加（梁）

本事業実施内の 2021 年 2 月 12 日に、梁の認定番号をいただいた。

FP060BM-0634 (1) : りん窒素系薬剤処理単板積層材被覆／木製はり

FP060BM-0634 (2) : 木材・りん窒素系薬剤処理単板積層材被覆／木製はり

この認定では荷重支持部材はカラマツ限定になる。来年度は LVL 協会単独事業によりスギ小断面梁で性能評価試験に臨み、スギ梁で認定番号の取得を目指す。認定番号を取得したら、4.3.2（柱）樹種追加の評価が可能になるため、梁についても試験無しで上記樹種の追加を申請する予定である。

参考 5-1 要望書（化粧材省略）

一般財団法人 日本建築総合試験所 御中

### 1 時間耐火構造木製はりの試験省略についてのご相談

2020/08/26

一般社団法人全国LVL協会

#### 1. はじめに

現在、「木材・りん窒素系薬剤処理単板積層材被覆／木製はり」の薬剤処理木材を被覆材として使用した荷重支持部材の寸法に範囲をもった耐火構造木製はりの認定取得を進めている。既にはりの小断面「105×210」（化粧材なし）は認定取得済みであり、「はりの大断面」かつ「化粧材のあり・なし」の認定試験を進める中で試験体数の省略について相談したい。認定を取得したい構造を図-1 に示す。

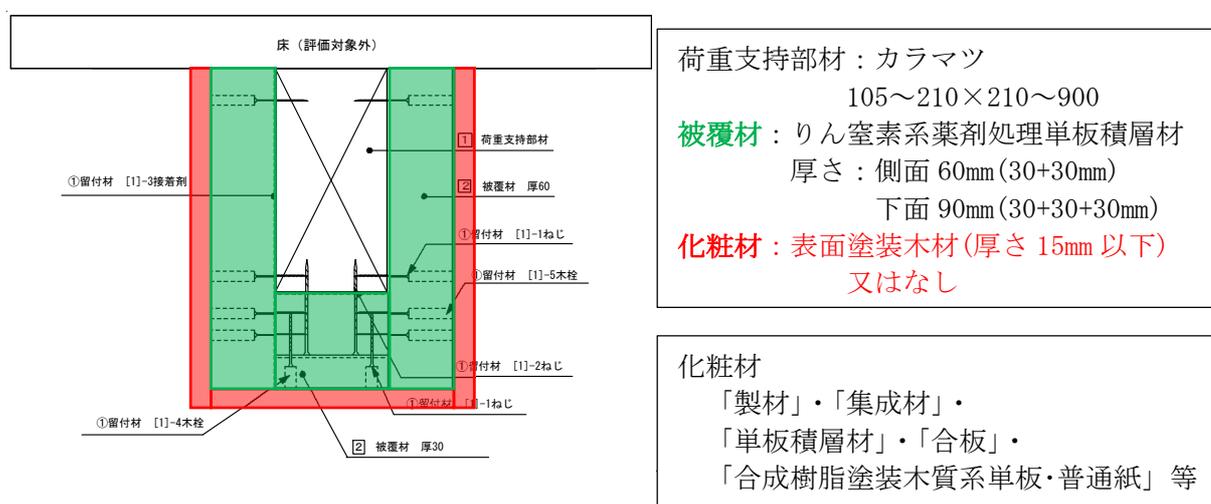


図-1 耐火構造木製梁の仕様概要

#### 2. 相談概要

本案件は同じ被覆材を使用した柱の認定試験時には被覆材の燃焼が早期に始まることで荷重支持部材へのダメージが大きいとされる「化粧材なし」を評価試験として2体、また、「化粧材あり」は化粧材自体が燻ぶることで試験体の再燃焼する恐れがないかを確認するために確認試験を1体実施しました。今回ははりで認定取得を計画しており、柱とはりの試験実施内容を表-1 に示す。

相談事項は確認試験として行う予定である「化粧材あり」の試験を省略できないかの確認である。

表-1 柱・はりの試験実施内容

	小断面(化粧材なし)	大断面(化粧材なし)	大断面(化粧材あり)
柱(認定取得済み)	評価試験 2 体	評価試験 2 体	確認試験 1 体
はり(本案件)	評価試験 2 体	評価試験 2 体(試験中)	確認試験 1 体(予定)

### 3. 根拠

過去、同じ被覆材(被覆材厚さ 60mm)・化粧材(15mm)を用いた「1時間耐火構造木柱」を認定取得した際、「化粧材あり」「化粧材なし」でそれぞれの試験を実施した。化粧材は 15mm であり、1 時間の加熱ですべて炭化しており、「化粧材なし」の方が不利である傾向が得られている。柱の試験における温度測定試験結果を図-2、温度測定位置を図-3 に示す。

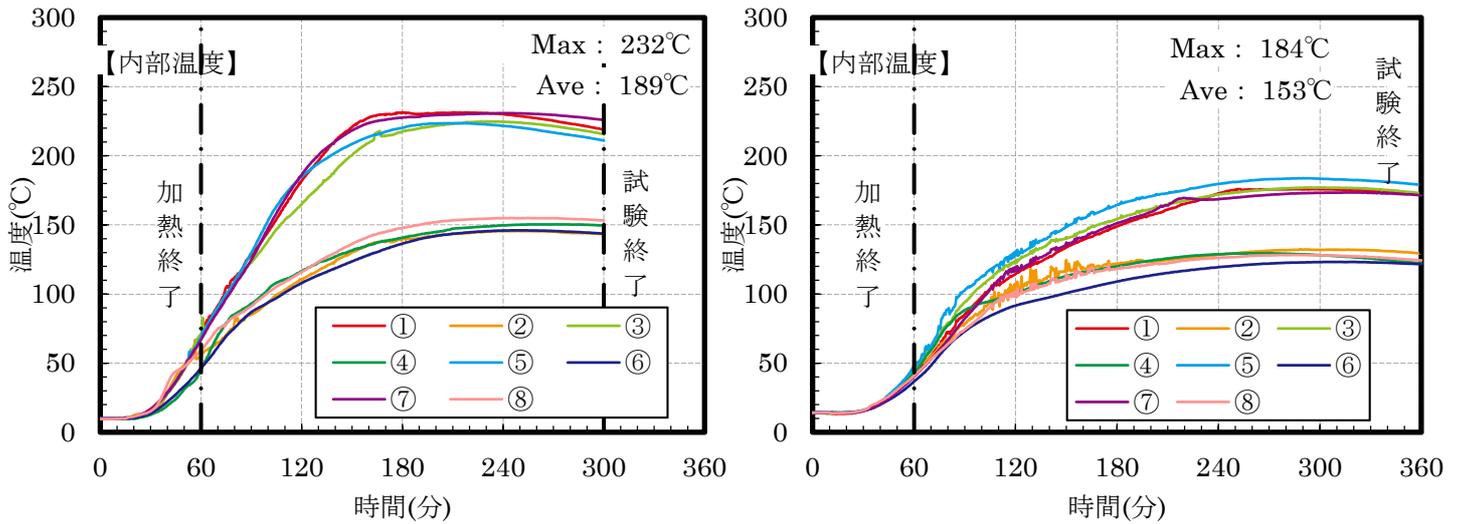


図-2 試験体内部温度測定結果(左：化粧材なし、右：化粧材あり)

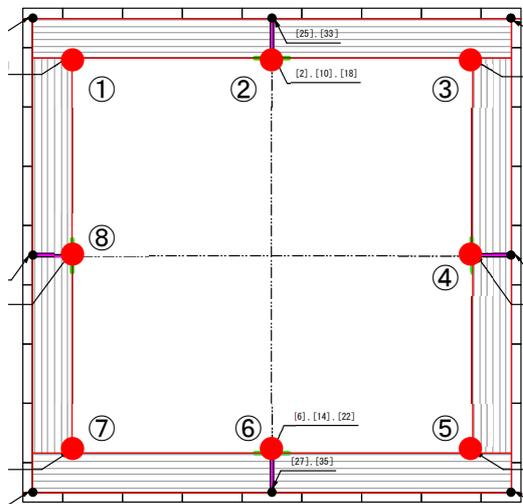


図-3 試験体内部温度測定位置(化粧材あり・なし共通)

また、既に実施した「はりの化粧材なし」仕様の内部温度測定結果は「柱の化粧材なし」仕様よりも低く、木材が発火するとされる260℃に対しても余裕度のある結果が得られている。「化粧材なし」のはり・柱に対する内部温度測定結果を図-4(大断面), 5(小断面)、内部温度測定位置を図-6に示す。

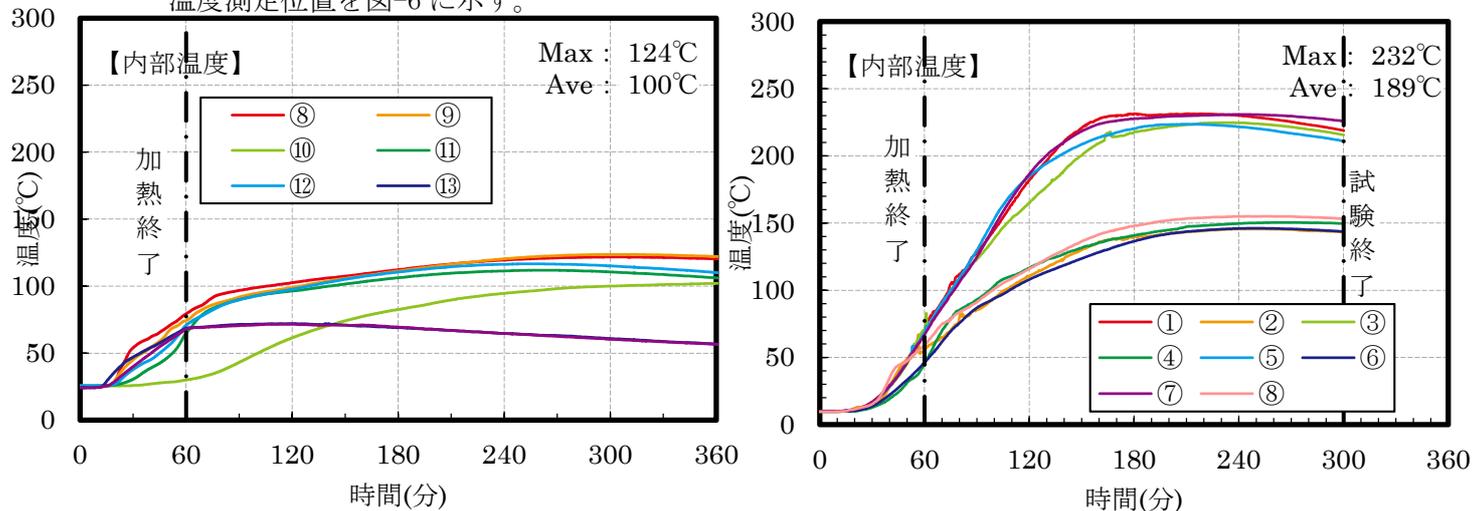


図-4 試験体内部温度測定結果(左：はり、右：柱)【化粧材なし・大断面】

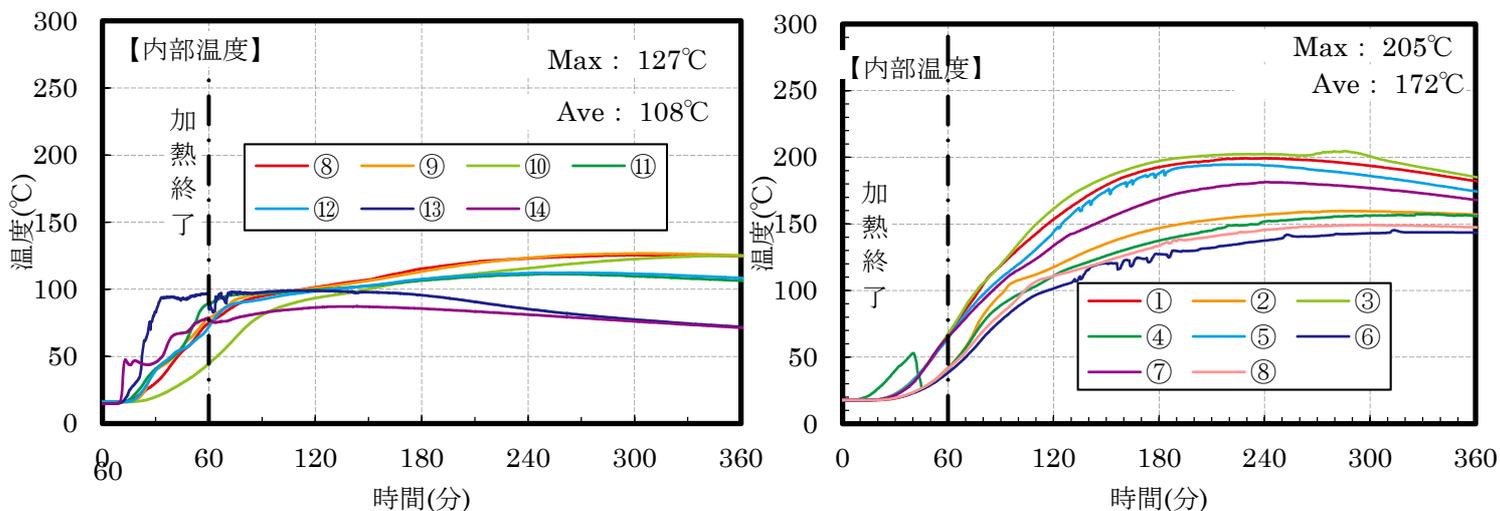


図-5 試験体内部温度測定結果(左：はり、右：柱)【化粧材なし・小断面】

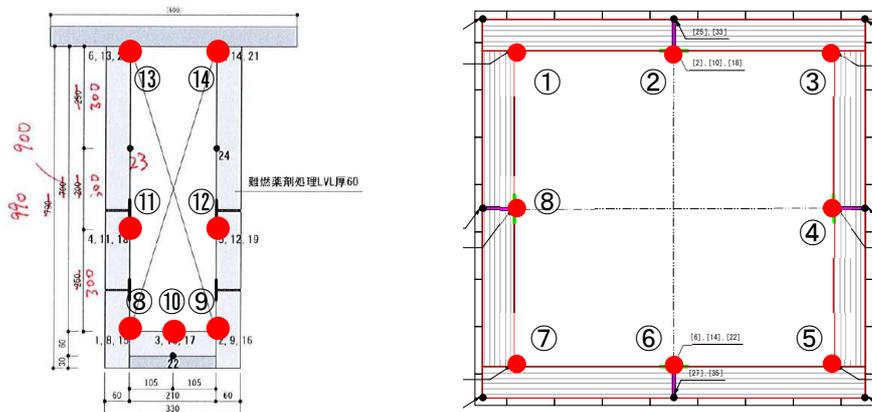


図-6 試験体内部温度測定位置(左：はり、右：柱)

#### 4. 結論

柱の試験において、15mmの化粧材のあり・なしにおいて、「化粧材なし」の方が明らかに不利であることが示されている。ならびに、既に実施した「梁の化粧材なし仕様」は「柱の化粧材なし仕様」よりも有利となる結果が得られている。

化粧材の厚さ・種類は柱の仕様を同じであり、はりの「化粧材あり」仕様は「化粧材なし」よりも有利な結果となると考えられるため、はりの化粧材あり仕様の試験を省略してよいでしょうか。

以上、ご審議をお願い申し上げます

## 6. 開発製品の販売促進ツール

本事業で開発した1時間耐火柱・梁の紹介を中心に、具体的に活用したイメージをしてもらえるよう LVL 等を活用した建築物の事例紹介やインタビューを交えたプロモーション動画を制作した。

各テーマに沿った内容の動画を制作し、Youtube にアップする他、全国 LVL 協会の HP や関係団体の HP 等にリンクを掲載して一般公開した。

### ■動画テーマ

全体タイトル：LVL Scape-LVL でつくる都市木造-

テーマ#0:はじめに-

テーマ#1: LVL はどんな素材か

テーマ#2: 中大規模建築を木でつくる

テーマ#3: LVL を構造につかう

テーマ#4: 防耐火性能をもつ LVL 空間の魅力

上記5つのテーマに沿って制作。

### ■各テーマの動画概要/動画画面(一部抜粋)

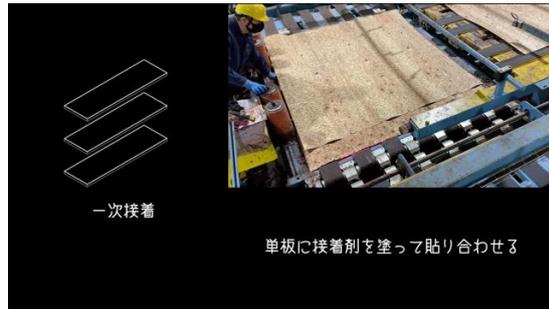
#### ・#0:はじめに

現在都市木造を推進している中で LVL は重要な役割を担っていく存在で、耐火被覆ができる構造材として活躍が期待できることを紹介するイントロ動画



#### ・#1: LVL はどんな素材か

LVL の基本的な性能及び製造過程等の紹介動画



## ・#2: 中大規模建築を木でつくる

LVLをはじめ、集成材やCLT等木を使った中大規模建築物の紹介動画

国内事例だけでなく海外事例も併せて紹介し、木を使って大きな規模の建築物も建てられることをアピールする動画



## ・#3: LVL を構造につかう

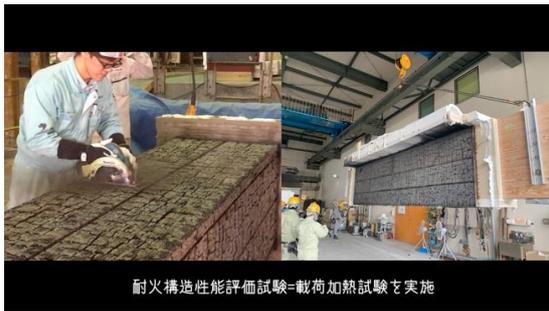
LVL の特徴である構造の強さを伝える動画、LVL を構造に使った建築物の事例紹介



## ・#4: 防耐火性能をもつ LVL 空間の魅力

開発した1時間耐火柱・梁の詳細な内容及び実験内容の紹介、事例の紹介動画





#0: LVL Scape LVL でつくる都市木造 -はじめに-

<https://www.youtube.com/watch?v=ohZj1UxBn64>

#1: LVL Scape LVL でつくる都市木造 -LVL はどんな素材か-

<https://www.youtube.com/watch?v=1FN8GNQpukc>

#2: LVL Scape LVL でつくる都市木造 -中大規模建築を木でつくる-

<https://www.youtube.com/watch?v=x7JN6WY18Ys>

#3: LVL Scape LVL でつくる都市木造 -LVL を構造につかう-

<https://www.youtube.com/watch?v=0otLyygeA0A>

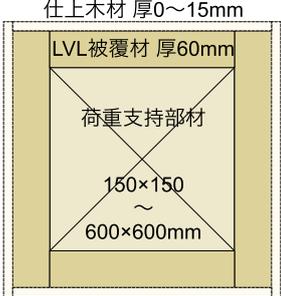
#4: LVL Scape LVL でつくる都市木造 -防耐火性能をもつ LVL 空間の魅力-

<https://www.youtube.com/watch?v=7RrfcgX8IsQ>

## 7. 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について、荷重支持部材が最大寸法（幅 210×高さ 900mm）の場合の国土交通大臣認定取得のための性能評価試験（試験体 2 体）を実施した。既往の技術開発・性能評価試験と組み合わせることにより、荷重支持部材が幅 105×高さ 210mm～幅 210×高さ 900mm の1時間耐火構造の梁が実用化されることとなった。

本事業では、薬剤処理した 60mm 厚（梁底面は総厚 90mm）の LVL を耐火被覆として木製はりに取り付けて、1時間耐火構造の梁を開発したが、同じ手法で、すでに1時間耐火構造の柱の大臣認定を取得しているため、同じ耐火被覆材（薬剤処理木材）、同じ取付けディテールによる、1時間耐火構造の「柱」「梁」が揃ったことになる。

	柱		梁	
	最小断面	最大断面	最小断面	最大断面
荷重支持部材寸法	150×150	600×600	105×210	210×900
薬剤処理によるLVL耐火被覆材	60（四周）		60（側面）、90（底面）	
部材寸法	270×270	720×720	225×300	330×990
仕上げ木材	部材表面に厚さ15以下の木材を張ってもよい			
姿図				

※赤字は本事業で開発した部材

今後は、本事業において製作した普及啓蒙用の映像も活用しながら、多くの方に広く本技術を知っていただき、木材の利活用につなげていきたい。

また、本事業で得た知見や成果を活用して、同様のコンセプト（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）を継承しながら、1時間耐火構造の柱・はり（荷重支持部材：鉄骨造）、②2時間耐火構造の柱・はり（荷重支持部材：木造）の開発も引き続き実施していきたい。

## 8 別添資料

### 8. 1 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ている。

#### 8. 1. 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 H<sub>2</sub>O 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。

## 8. 1. 2 木材におけるリンチッソ系難燃薬剤の作用

### 8. 1. 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。

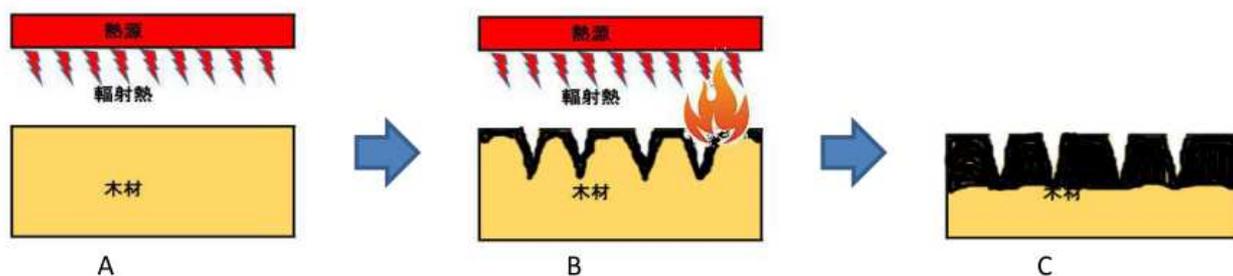


図 2.1 未処理木材の表面が加熱を受ける場合の模式図

#### (2)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。

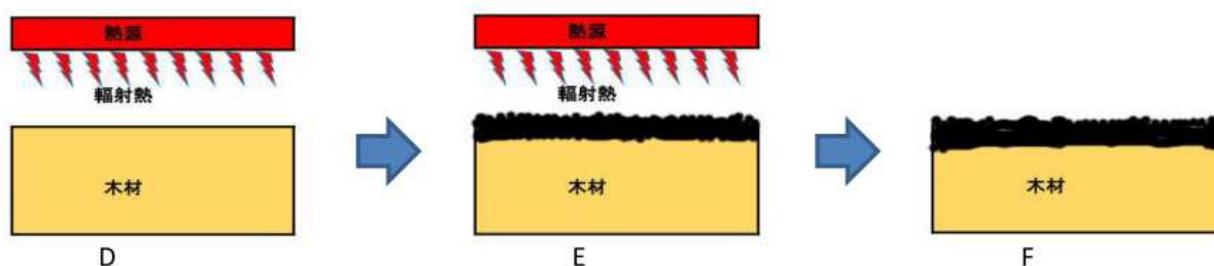


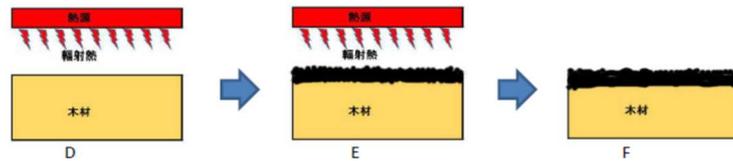
図 2.2 難燃処理木材の表面が加熱を受ける場合の模式図

### 8. 1. 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、熱もすぐには下がり、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H<sub>2</sub>O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H<sub>2</sub>O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。

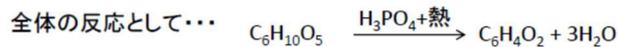
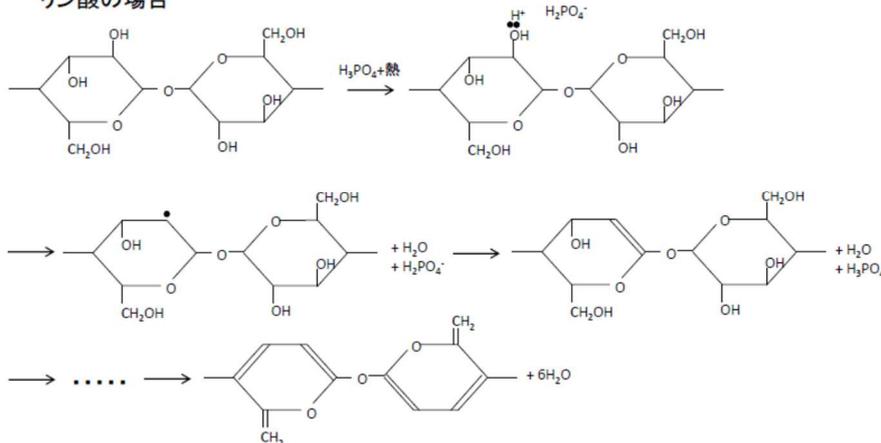
この強固な炭化層が材料表面を覆うことで、材料内部への熱や酸素の供給を阻害するバリア層として作用している。

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。

5

## 脱水炭化作用のメカニズム

リン酸の場合



6

## 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。

7

## 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)

8

## 8. 2 被覆材塗装の薬剤溶脱試験

### 8. 2. 1 目的

本耐火構造における耐火被覆材は難燃薬剤を含浸した LVL である。通常の室内使用環境であれば問題ないが、高温多湿環境が続くと水溶性の難燃薬剤が空気中の水分と反応し、被覆材の中から表面に溶脱する可能性がある。薬剤が空気中の水分に触れるのを防ぐため塗装をすることが望ましい。そこで、本章では上記性能を有する可能性がある数々のウレタン系透明塗料を塗布した被覆材を高温多湿環境に長期間置き、溶脱を防ぐ性能があるかどうかの検討を行った。

### 8. 2. 2 試験体

基材として、リン-チッソ系難燃剤(ノンネン W2-50)を、約  $150\text{kg/m}^3$ (固形量)減圧-加圧含浸した 30mm 厚 LVL 耐火被覆材を使用した。サイズは、(W) 150mm×(L) 300mm×(T) 30mm とした。

塗装材料として 4 点の塗料を準備した。3 点は、溶剤系ウレタン塗料(溶剤系ウレタン A、B、D)、1 点は、水系ウレタン塗料(水系ウレタン C)である。それぞれに標準塗布量が設定されているが、今回は条件を一定とするために、 $80\text{g/m}^2(\text{wet})$ を 3 回塗布とし、スプレーガンにて吹き付けた。また、塗布面は、小口も含めた 6 面とした。

### 8. 2. 3 吸湿試験方法

試験体は、予め、前処理として  $50^\circ\text{C}$ の熱風乾燥機中にて 4 時間乾燥したものをを使用した。

吸湿試験は、恒温恒湿器を使用し試験を行った。その際の温度条件を  $40^\circ\text{C}$ とし、湿度条件を 90%とした。その環境中に 2 週間放置し、取り出した後の重量測定と表面の観察を行った。また、試験体は、スタンドに固定し、垂直の状態にて放置した。

測定開始から、1 日目、2 日目、7 日目、14 日目の 4 回の測定とした。

試験データとして、重量変化と、重量増加率を示した。

なお、重量増加率は、以下の公式を使用した。

$$\text{重量増加率(\%)} = (\text{試験後の重量} - \text{吸湿開始前重量}) / \text{吸湿開始前重量} \times 100$$

### 8. 2. 4 試験結果

吸湿試験の結果を表-1 にて示す。また、重量変化を図-1 に、重量増加率を図-2 に示す。なお、図-1、図-2 とともにそれぞれの平均値を使用した。

表-1 吸湿試験結果

No.	試験体	吸湿 開始前 g	重量				重量増加率				外観			
			1日目	2日目	7日目	14日目	1日目	2日目	7日目	14日目	1日目	2日目	7日目	14日目
			g				%							
2	溶剤系ウレタンA	884.4	888.8	892.3	907.2	925.1	0.50	0.89	2.58	4.60	汗なし	僅かに汗	僅かに汗	僅かに汗
		835.9	841.4	845.7	863.5	883.7	0.66	1.17	3.30	5.72	汗なし	僅かに汗	僅かに汗	汗なし
	平均値	860.15	865.10	869.00	885.35	904.40	0.58	1.03	2.94	5.16				
6	溶剤系ウレタンB	879.5	889.2	896.3	924.1	953.9	1.10	1.91	5.07	8.46	僅かに汗	僅かに汗	僅かに汗	汗なし
		843.5	854.7	862.9	893.9	926.1	1.33	2.30	5.98	9.79	僅かに汗	少し汗	少し汗	汗なし
	平均値	861.50	871.95	879.60	909.00	940.00	1.22	2.11	5.52	9.13				
33	水系ウレタンC	864.3	877.5	885.9	919.9	956.7	1.53	2.50	6.43	10.69	少し汗	少し汗	少し汗	汗なし
		853.7	869.8	880.0	920.6	962.8	1.89	3.08	7.84	12.78	少し汗	少し汗	少し汗	汗なし
	平均値	859.00	873.65	882.95	920.25	959.75	1.71	2.79	7.13	11.74				
25	溶剤系ウレタンD	815.6	822.6	843.6	881.9	917.1	2.08	3.43	8.13	12.44	僅かに汗	僅かに汗	僅かに汗	僅かに汗
		804.9	820.0	829.7	864.2	897.1	1.88	3.08	7.37	11.45	僅かに汗	汗なし	僅かに汗	僅かに汗
	平均値	810.25	826.30	836.65	873.05	907.10	1.98	3.26	7.75	11.95				
17	薬剤処理のみ	814.7	869.1	894.3	958.3	1002.2	6.68	9.77	17.63	23.01	僅かに汗	僅かに汗	汗なし	汗なし、カビあり
		757.2	807.9	830.7	888.5	925.8	6.70	9.71	17.34	22.27	少し汗	少し汗	汗なし	汗なし、カビあり
	平均値	785.95	838.50	862.50	923.40	964.00	6.69	9.74	17.48	22.64				
21	未処理	646.6	670.7	676.3	686.3	691.3	3.73	4.59	6.14	6.91	汗なし	汗なし	汗なし	汗なし
		625.2	648.7	654.6	665.3	670.3	3.76	4.70	6.41	7.21	汗なし	汗なし	汗なし	汗なし
	平均値	635.90	659.70	665.45	675.80	680.80	3.74	4.65	6.28	7.06				

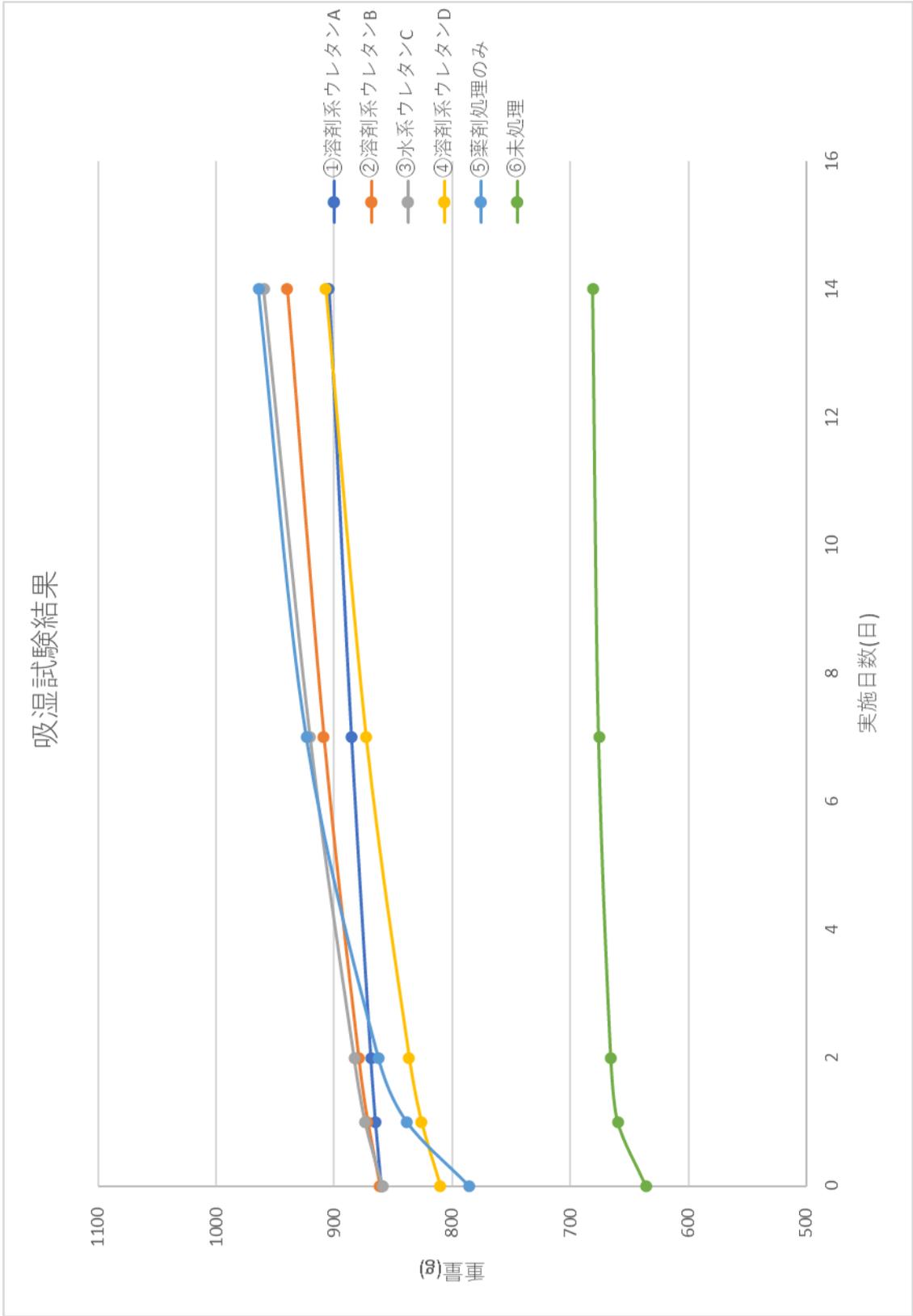


図-1 重量変化

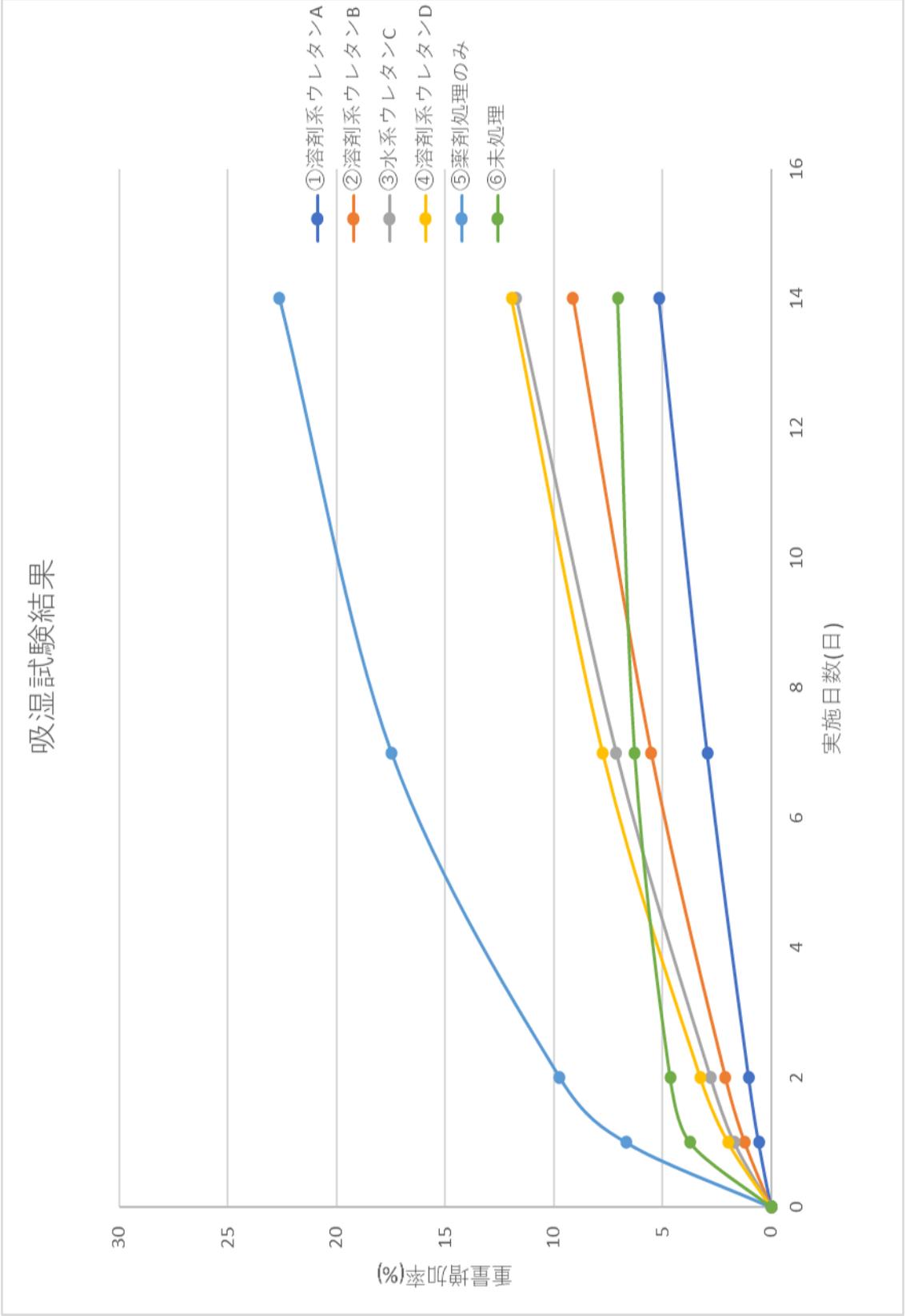


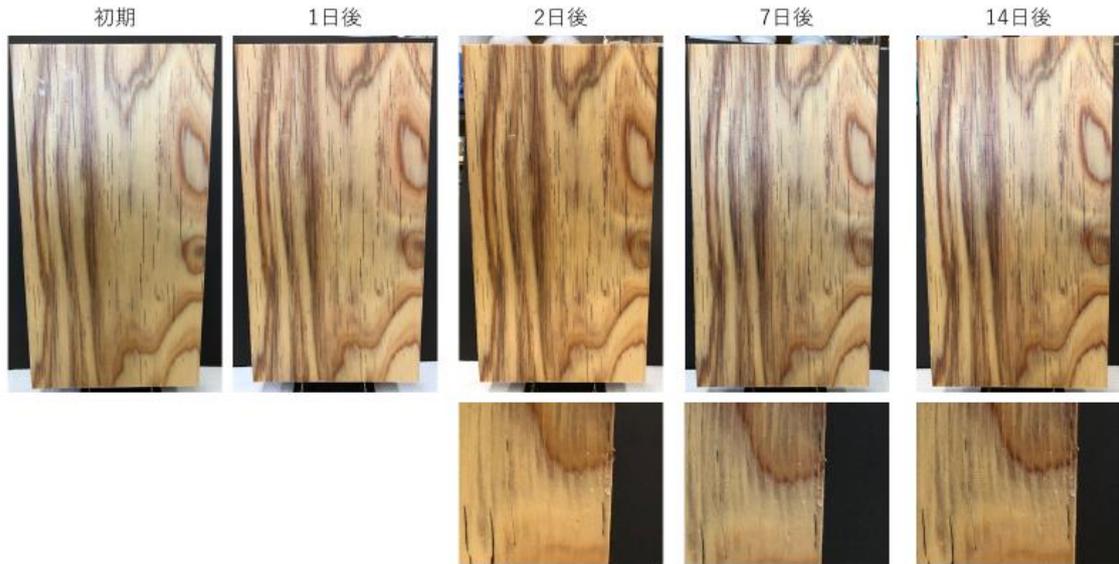
図-2 重量増加率

### 8. 2. 5 試験体写真

溶剤系ウレタン A



溶剤系ウレタンA No.2



溶剤系ウレタンA No.2

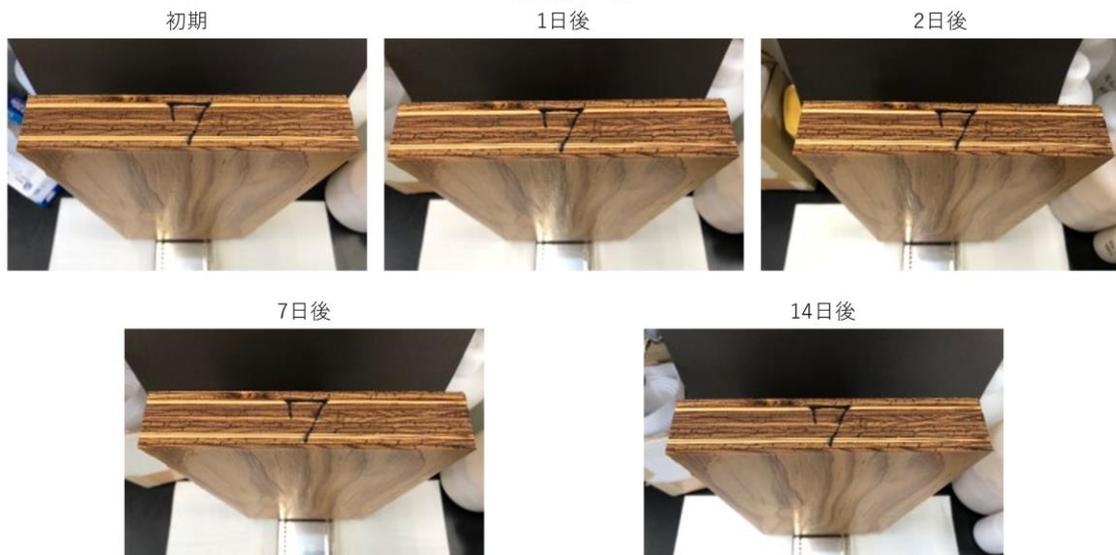


溶剤系ウレタンA No.2



溶剤系ウレタンB

溶剤系ウレタンB No.7



溶剤系ウレタンB No.7

初期

1日後

2日後

7日後

14日後



溶剤系ウレタンB No.7

初期

1日後

2日後

7日後

14日後



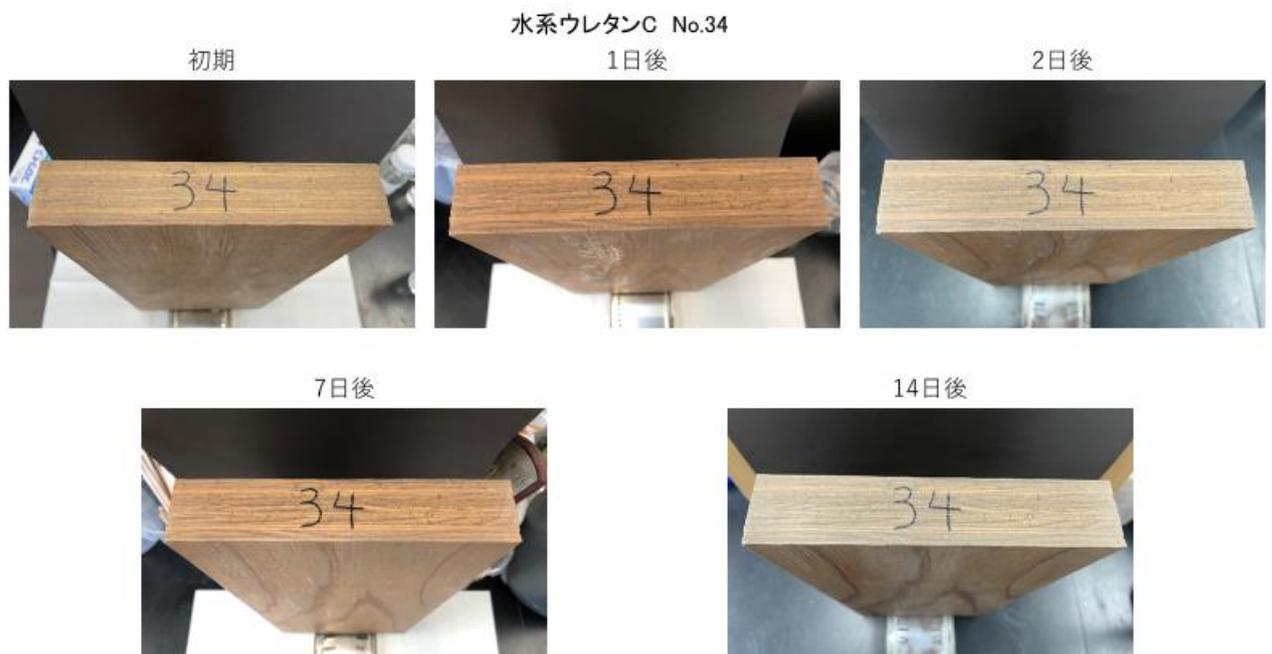
溶剤系ウレタンB No.7



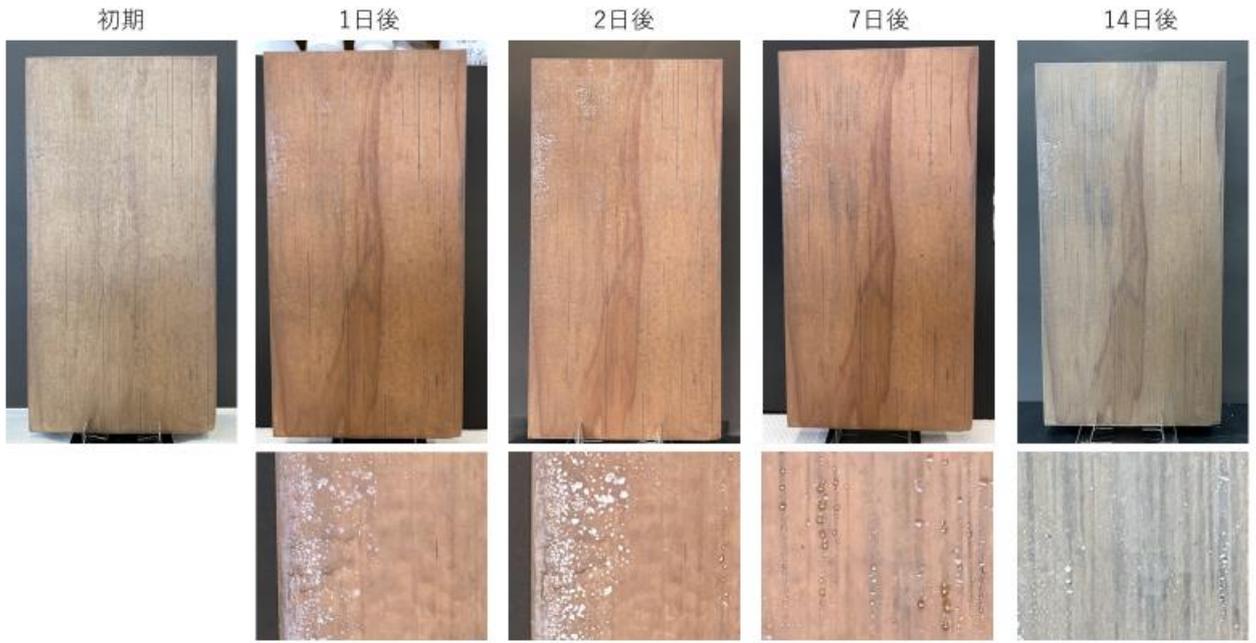
溶剤系ウレタンB No.7



水系ウレタンC



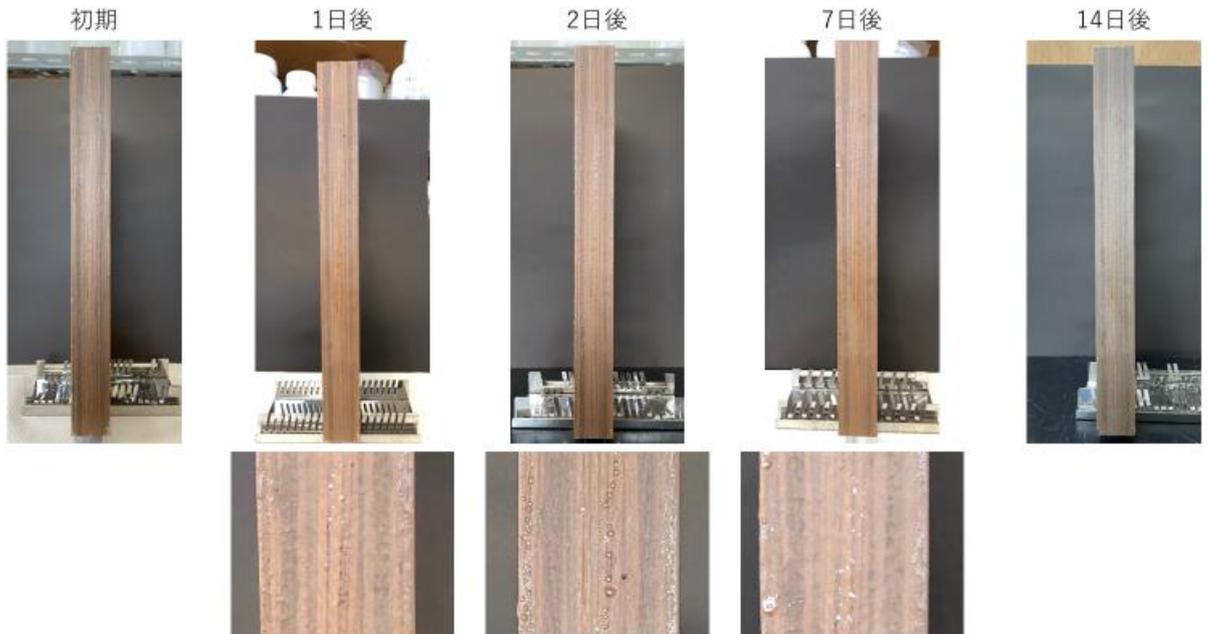
水系ウレタンC No.34



水系ウレタンC No.34



水系ウレタンC No.34



溶剤系ウレタンD

溶剤系ウレタンD No.26



溶剤系ウレタンD No.26

初期

1日後

2日後

7日後

14日後



溶剤系ウレタンD No.26

初期

1日後

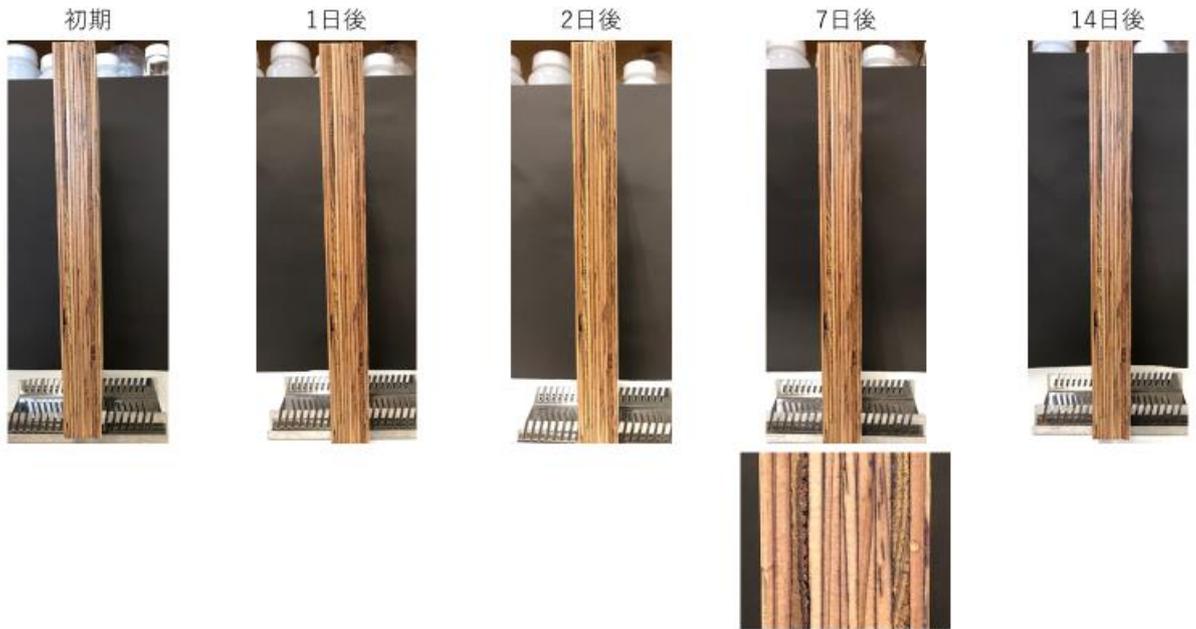
2日後

7日後

14日後



溶剤系ウレタンD No.26

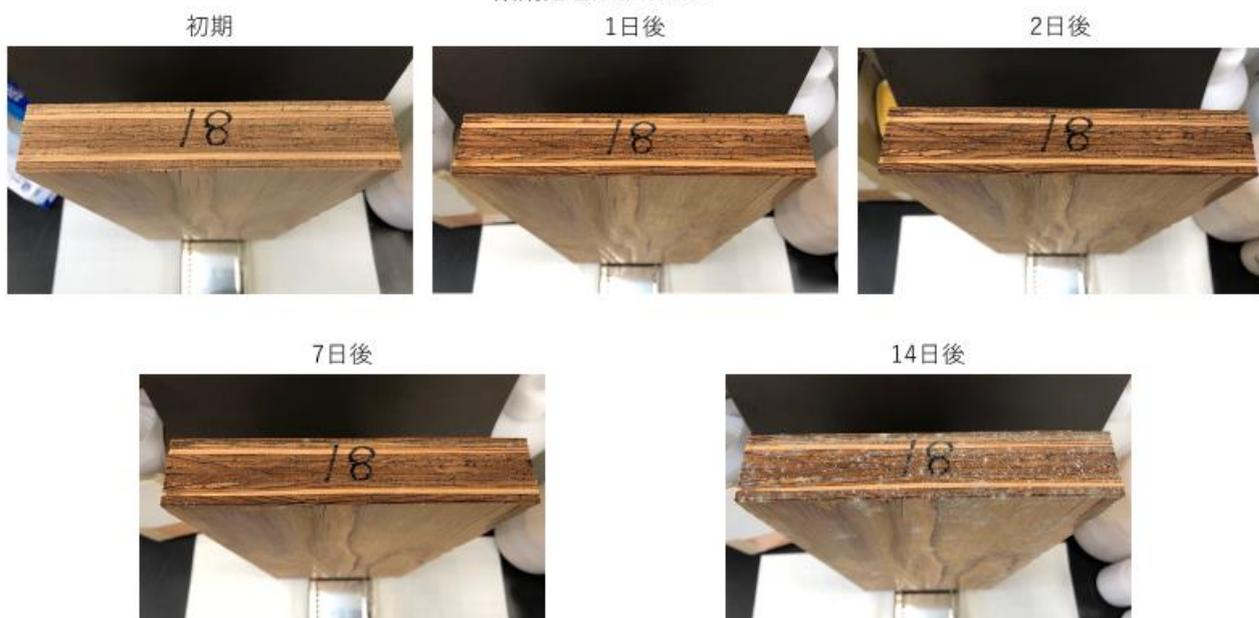


溶剤系ウレタンD No.26



薬剤処理のみ

薬剤処理のみ No.18



薬剤処理のみ No.18



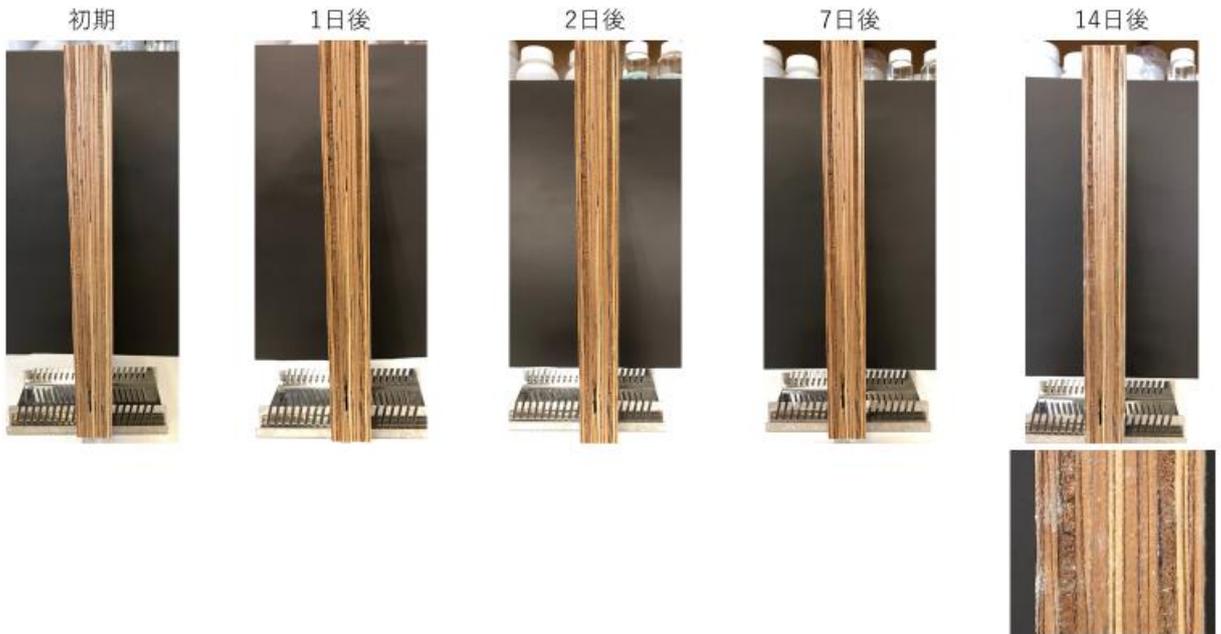
薬剂処理のみ No.18



薬剂処理のみ No.18

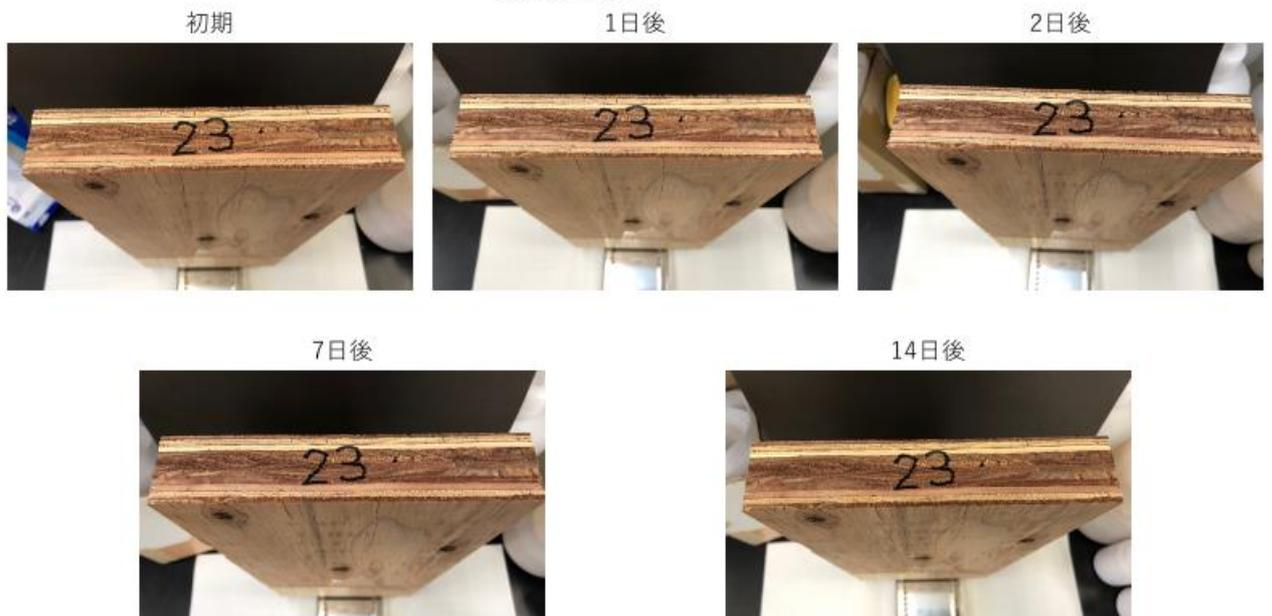


薬剤処理のみ No.18



未処理

未処理 No.23



未処理 No.23

初期

1日後

2日後

7日後

14日後



未処理 No.23

初期

1日後

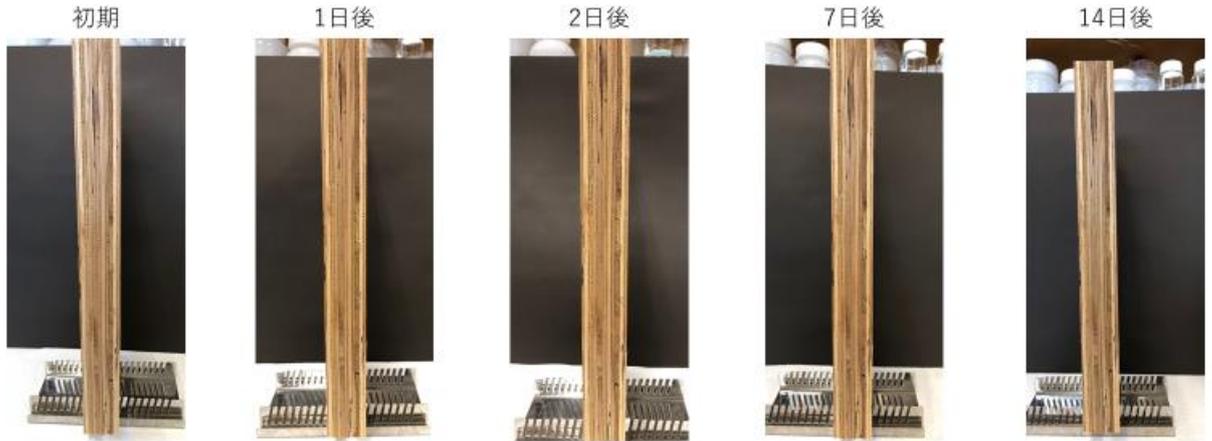
2日後

7日後

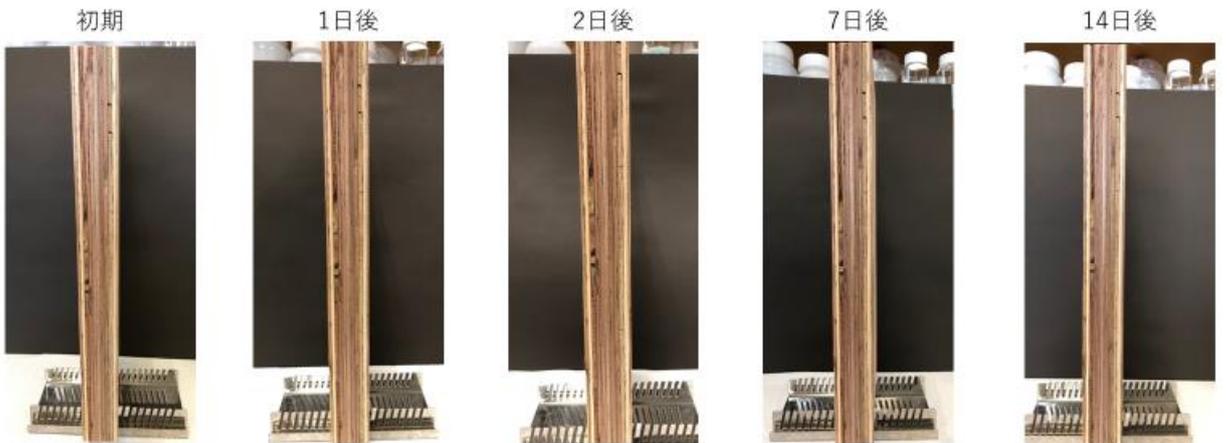
14日後



未処理 No.23



未処理 No.23



#### 8.2.6 考察

今回の試験において、例えば、室内環境において温度 40°C、湿度が 90%に 2 週間暴露されたと仮定すると、未処理基材自身も約 7.1%程度の重量増加率が見られるが、薬剤処理することにより、重量増加率は、22.6%に跳ね上がっている。これにより、当然、白華や溶脱のリスクは高くなる。ただし、表面にウレタン塗装することにより、半分以下の吸湿率に抑えることが出来る。その為、白華や溶脱のリスクは低くなると考えられる。さらに、塗料による性能差があることが解った。

溶脱に関する性能と見た目の質感、塗装の費用を勘案して適切な塗料を選択することが望ましい。

