令和2年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材開発・普及事業

難燃薬剤処理 LVL を用いた耐火構造の合理化 および環境負荷低減の評価 実績報告書

令和4年 3月 一般社団法人全国 LVL 協会

目次

1.	はし	ごめ [P01
2.	目白	勺		P03
3.	LVL	をに	はじめとする耐火木造建築の取り組みと課題	P15
4.	被看	憂材。	の製造	P32
5.			の LCA 評価	D0-
			目的と調査範囲	P35
			インベントリデータの収集	P36
	5.	_		P40
	5.		難燃 LVL を用いた木造建造物中の炭素固定量の算定	P42
	5.	5	被覆材 LCA のまとめ	P43
6.	1 ₽	P44		
	6.	1	被覆材同士の隙間が耐火性能に与える影響	P45
	6.	2	金物接合部の現場施工被覆材	P64
	6.	3	表しの耐力壁との取り合い(筋交い、CLT)	P108
	6.	4	壁接合部 4 仕様検証	P157
	6.	5	LVL 被覆梁貫通部·鉄骨梁等接合部検証	P186
	6.	6	まとめ	P228
7.	被零	憂し、	た梁の強度性状	P229
8.	まと	とめ	と今後の課題	P238
別滑	≨資 料	斗		

- 1 スギ梁1時間耐火性能試験成績書
- 2 目地確認 1 時間耐火試験成績書(壁炉 1/28 実施)
- 3 接合部 1 時間耐火試験成績書(水平炉 1/5、1/7、2/21~22 実施)

事業実施体制

名	令和3	年度 全国LVL協会 技術部 防耐火委員会		
70	. 丞昌長	東京大学生産技術研究所	腰原幹雄	教授
		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
		国立研究開発法人建築研究所	成瀬友宏	防火研究グループ グループ長
	5,	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
	6.	国土技術政策総合研究所	水上点睛	建築研究部 防火基準研究室 主任研究官
	7.	京都大学環境安全保健機構	平井康宏	環境管理部門/附属環境科学センター センター長・教
	8.	京都大学生存圈研究所	梅村研二	生存圈開発創成研究系循環材料創成分野 教授
	9.	秋田県立大学	板垣直行	建築環境システム学科 建築材料学グループ 教授
	10.	藤田K林産技術士事務所	藤田和彦	所長
	11.	日本ツーバイフォー建築協会	木本勢他	技術部
	12.	日本木造住宅産業協会	高木 郷	技術開発委員
	13.	日本建築総合試験所	小宮祐人	試験研究センター
	会員会		1 11 147	IENDAMI ZU C V Z
	五貝云	株式会社オーシカ	小竹宏明	建材事業部 係長
	14,	株式会社ウッドワン	牧野克己	構造システム営業部 シニアマネージャー
	16.	株式会社ウッドワン	菅田啓子	技術開発部 課長
	17.	株式会社ウッドワン	泉谷 龍彦	技術開発部 係長
	18.	株式会社ウッドワン	岡本 肇	構造システム営業部課長
	19.	株式会社ウッドワン	疋田慎二	構造システム営業部 係長
	20,	丸菱油化工業株式会社	亀岡祐史	研究本部 主席研究員
	21.	株式会社ザイエンス	茂山知己	技術開発部 マネージャー
	22.	シネジック株式会社	寺澤正広	R&D推進室 リーダー
	23.	株式会社オロチ	滝田哲也	品質管理部 次長
	24.	光洋産業株式会社	西尾直記	KR化成品部
	25.	セメダイン株式会社	久住 明	技術部 専任部長
	26.	セメダイン株式会社	倉内晴久	技術部開発グループ第四チーム チームリーダー
	27.	セメダイン株式会社	高橋 駿	技術部開発グループ第四チーム
	28.	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
	29,	齋藤木材工業株式会社	志村 智	建築部、課長
	30.	齋藤木材工業株式会社	貴舩 達也	建築部 課長
	31.	日南大建株式会社(大建工業(株))	大山 靖	エコ事業部
	オブザ・	ーパー		2.22.2
	32.	林野庁木材産業課	原田憲佑	住宅資材企画係
	33.	林野庁木材産業課	竹本 央記	課長補佐
	34.	木構造振興株式会社	平原章雄	常務取締役
	35.	桜設計集団	加來千紘	
	36.	ビルディングランドスケープ	中村知世	
	37.	ビルディングランドスケープ	春日広樹	
	事務局			
	38,	全国LVL協会	平沼孝太	事務局長
	39,	TO SHOW A STATE	李 元羽	技術部長
	40.		成田敏基	技術課長
	41.		崔 華暉	- 3 (- 2 M/M 2) / - 0 (- 1 -)

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時間耐火構造の実建物での適用することができ、実物件を通して設計、製造、施工での課題を整理することができた。今後、より使用しやすい木質系耐火部材の整備、普及に努めることとしている。

また、木造建築物の適用拡大の本来の目的である、地球環境問題、CO2 排出削減の視点から、本木質系耐火部材の LCA 評価を行い、改善をすすめる基礎情報の収集、整理を行っている。

今後、本部材が、木造建築の普及とともに、森林資源の有効活用、森林の活性化に寄与できることを期待している。

2. 目的

当協会では、単板積層材(以下、LVL)を中大規模耐火建築物用の構造部材及び耐火被覆材として使用するために 1 時間耐火構造の開発を行い国産材の需要開発を行ってきた。木質耐火構造の1時間耐火構造(柱・梁)の大臣認定まで取得したが、設計や施工における知見やデータが乏しいことを否めない。また、純木による耐火構造を実現可能にしながら、グリーン政策に合致する環境負荷低減の評価において定量分析ができておらず、具体的な数値を強く訴えることができていない。

この二つの課題を解決するために、耐火構造の各取合部分等の実験等、および耐火被覆材の環境負荷低減に関する定量的な評価を行った。

2. 1では、LVL被覆耐火構造の概要と特徴、開発の経緯を記した。2. 2では、LVL被 覆耐火構造における柱梁等の接合部の耐火性能を担保した施工の仕方について記した。耐 火被覆材の環境負荷低減に関する定量的な評価は第5章に記した。

2. 1 LVL 被覆 1 時間耐火構造

LVL 協会は LVL 被覆 1 時間耐火構造(柱・梁)の大臣認定を取得している。図 2.1 と図 2.2 に概要を示した。特徴を以下にあげた。

- ・荷重支持部材と耐火被覆材は木材で構成され、すべて国産材で構成可能である。荷重 支持部材はLVL・集成材・製材 すべて使うことができる。
- ・耐火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。基本は工場での取付けになるが、現場での取付が可能である。
- ・万が一火災を受けても、炭化した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。
- ・耐火被覆材のLVLをそのまま表しにでき、設計に応じて厚み 15mm までの木の化粧 材を貼ることも可能である。

表 2.1 に、本耐火構造を含む LVL の準耐火・耐火・防火材料に関する開発の歴史を示した。



図 2.1 LVL 被覆耐火構造(梁)

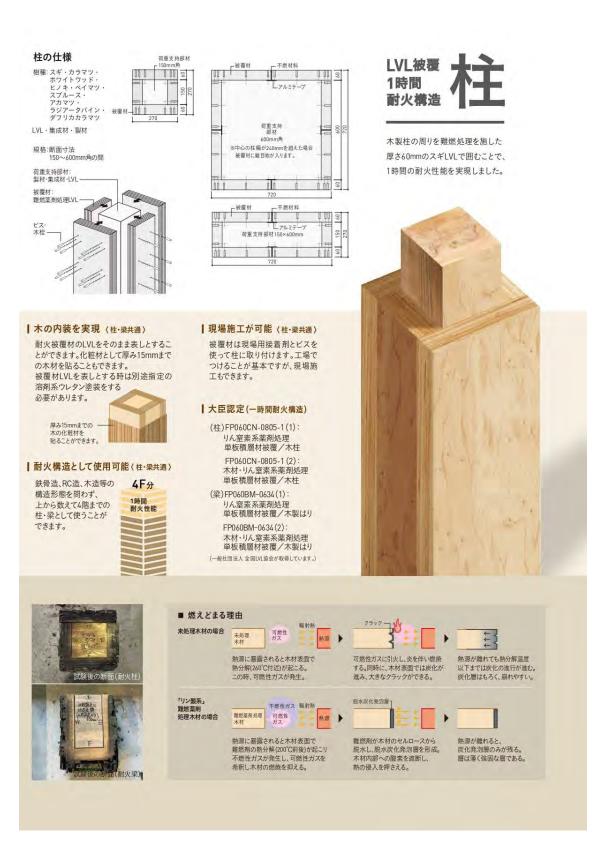


図 2.2 LVL 被覆耐火構造(柱)

本事業実施期間に、柱について荷重支持部材の樹種を拡大し、下記の樹種を記載した大臣 認定番号を新たに取得したことを報告する。梁については、性能評価試験に合格し、2022 年 6月以降に下記の樹種を記載した大臣認定番号を取得予定である。

荷重支持部材に使えるようになった樹種:

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

※オウシュウアカマツは含まれていない

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

FP060CN-0805-1 (2): 木材・りん窒素系薬剤処理単板積層材被覆/木柱

梁: 樹種拡大後の認定番号は国交省に申請中(2022年3月現在)



全国LVL協会 防耐火委員会

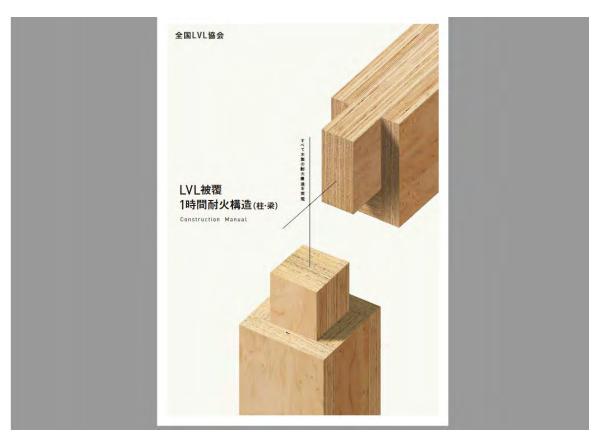
			LVL	協会技術部会		建築等	
年	度	LVL等トピックス	防耐火	成果物等	外部事業	※内装準不 燃は多数実 績有	
H21	2009						*用ラキールフェク ・サル・ラット 1955 ル(1 888 (1 88 年) 1998 (48
H22	2010		準耐火60分(LVL厚板) ○	★層ウォール ブック	木構造振興1件(防耐火)·国交省1件(構造利用)		
H23	2011						IAL事本総裁制開発研究すっては対反 東京商利率の設定は 中国本事的であり、 中国本事的であり、 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本事のでも 日本を 日本を 日本を 日本を 日本を 日本を 日本を 日本を 日本を 日本を
H24	2012		内装準不燃30mm厚 〇		林野庁(防耐火-内装、5 団体・構造利用)		木造も鉄骨造も準不燃化 LVL で耐火建築に。 LVL 耐火速度器プロトタイプ
H25	2013	LVLのJAS改正 B種LVL 規格化	内装準不燃15mm厚 〇	内装材ハンドブック	千葉県(会員会社受託 防耐火) 林野庁(4団体・構造利 用)		
H26	2014		準耐火60分(厚板) 〇 耐火H床(石膏ボード) 〇 耐火被覆検討	◆ 耐火構造ハンド ブック	千葉県(会員会社受託 防耐火・構造)	7F混構造 試設計	AND CONTROL AND
H27	2015		耐火1H床(石膏ボード) 〇× 耐火1H柱 小断面 ×		林野庁(材料強度・接合部データ収集)	みやむら動 物病院	
H28	2016	壁・床・屋根 燃え代告示化	耐火1H柱 小断面 〇	LVL耐火・準耐 火構造マニュア ル	木構造振興(防耐火)		
H29	2017		耐火1H柱 大断面 〇	LVL防耐火ハン ドブック改定	6社出資事業(防耐火・耐火柱1H大断面)		3.00 SEM AN
Н30	2018	耐火柱 製作見学会	耐火2H柱 小断面 ×		林野庁(防耐火)		1 木 時材 同だ
R01	2019		耐火1H梁 小断面 〇		林野庁(防耐火)	やはた幼稚 園 耐火柱	1 時間耐火を実現
R02	2020	LVLのJAS改正 新強度区分 単 板シミュレーショ ン等	耐火1H梁 大断面 〇	LVL耐火構造 プロモビデオ	林野庁(防耐火)		
R03	2021		耐火1H 接合部・LCA評価		木構造振興(防耐火)		

図 2.3 LVL 被覆耐火構造の開発の経緯

2. 2 接合部等の耐火性能

LVL 被覆耐火構造を施工するうえで必ず出てくる柱梁等の接合部については、2.1であげた大臣認定の評価対象外である。しかし、火災が起こって主要構造部の柱・梁が耐えたとしても、接合部から火が入って主要構造部材が燃えてしまっては、耐火構造の建築とはいえない。また、LVL 被覆耐火構造は建物の中で単独で使われることは少なく、一般的な石膏ボード被覆耐火構造との併用が一般的になると思われる。その場合、石膏ボード被覆の壁・床・天井との取り合いが必ず発生する。その取り合い部の耐火性能がわかっていないと安心して設計・施工ができないと思われる。そこで施工性を考慮した1時間耐火性能を担保できる接合部の被覆の仕方を考え、接合部を再現して耐火試験を行い、性能を検証した。詳しくは第6章を参照いただきたい。

次ページ以降に、本事業で新しく製作した耐火構造のリーフレットを載せた。後半部分は特に第6章に掲載した接合部耐火性能検証内容の結果を設計者向けにわかりやすく図示したものである。最終バージョンは2022年4月以降に完成予定である。

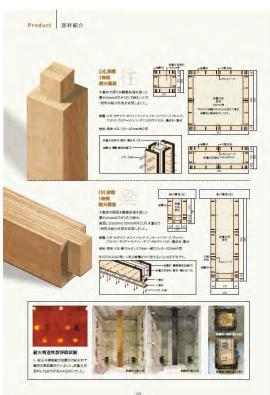




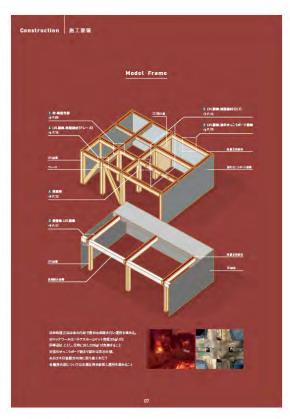


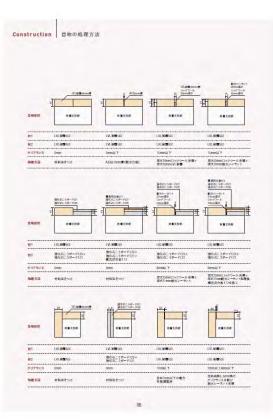








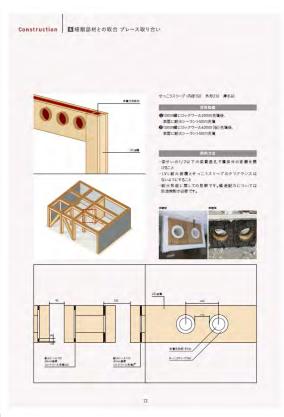


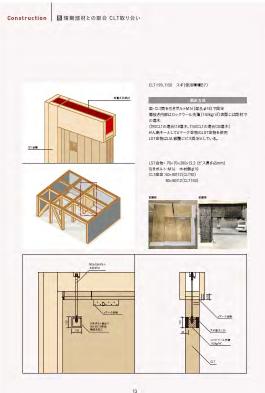




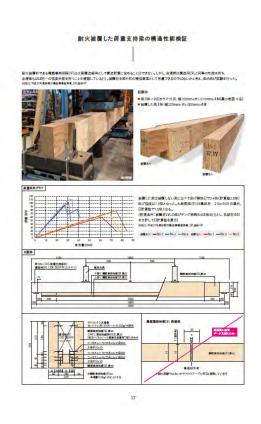














※大臣禁定に従った適切な役針、施工のため 具体的な内容についてはお問い合わせください。

一般社団法人 全国LVL協会 〒136-0882 東京都工規区系木場-7-22 新木場-9ワー8版 た103-6743-0887 fax 03-5534-3959 mail:info@lvlne.jp

-14-

3. LVL をはじめとする耐火木造建築の取り組みと課題

3. 1 目的·背景

中大規模木造建築の実例が増えてきた中で、さらなる普及を図るためには、建築の企画、設計、施工、維持管理などの様々な局面での課題を整理し、改善していく必要があります。 2000年の建築基準法の改正以降、2010年の公共建築物等への木材の利用の促進に関する法律の施行などを背景に、構造設計や防耐火設計などは急速に進歩してきましたが、製造上の効率性や施工性の向上にはまだまだ課題が残っていると考えられます。

本レポートは、準耐火構造 3 階建ての動物病院、一時間耐火構造 2 階建ての幼稚園保育スペース、二時間耐火構造 7 階建てのオフィス、三時間耐火構造の 11 階建てのオフィスの異なる 4 つの中大規模木造建築の設計者や施工者にインタビューを行い、中大規模木造建築の課題、特に難燃処理 LVL 耐火被覆をはじめとする防耐火仕様の今後の課題を考察するものです。

3.2 準耐火構造3階建ての動物病院

(実例:みやむら動物病院)

3.2.1 計画の経緯

このプロジェクトは動物病院の設計を依頼されたアトリエ OPA」から共同設計の相談を受けることをきっかけに始まりました。みやむら動物病院の院長を務める施主の宮村さんからは、「患者さんが緊張しないように、病院らしくない病院をつくってほしい」という要望がありました。当時大臣認定を取得するために LVL の耐火実験が進められており、認定が下りそうだというところでのお話だったので、このプロジェクトは採用第一号として最適な規模と条件のではないかということで、LVL 木層ウォールと在来軸組構法を併用して実現させることを検討しました。そして、LVL 積層面による木の雰囲気も宮村さんに好感を持っていただいたことで、LVL を用いた木造での実現が可能となりました。

この敷地で木造を採用するにあたり、メリットが大きく 2 つありました。

一つは敷地南側についてです。この敷地のメインファサードにあたる南面には、区画整理で 道路が拡張されたことにより延焼の恐れのあるラインがかかっていなかったので、建具をつ くる上でのメリットがありました。また、このように道路に面するファサードが大きくとら れた敷地はなかなかありません。このファサードは、元々は短冊状に建物が建ち並んでいた 場所に区画整理が入り、敷地南側に建てられていた建物が退いたことで生まれたものです。 この大きく目立つファサードに木を現していこうということになりました。

もう一つは、地盤についてです。この地域はとても軟弱な地盤で、通常だと 20~30m の深さまで基礎杭を打たなければならない場所でしたが、今回は木造を選択したため構造体が軽く、杭の代わりに柱状に砕石を詰めた砕石パイルにより、5m 程度まで地盤改良をしました。砕石パイルは液状化に強く、コストも当然杭を打つよりも安価なので、その差額分で構造体の増額分を吸収できるのではないかということで、お施主さんに対する説得の材料として大きな役割を果たしたと言えます。

3. 2. 2 建築·構造計画

建築計画において最も苦労した点は、細長い敷地のなかでのプランニングです。この建物には大小様々な諸室を配置することが求められたのですが、東西の長手方向は16.8 mある一方、南北の短手方向は6.4mしかなかったため、限られた幅のなかで診察室等の複雑なプランニングを行う必要がありました。それを実現する上で、木造を選んだのはメリットとなりました。なぜなら、鉄骨造やRC造と比較すると躯体の断面が小さく、その分諸室の有効面積を確保することができたからです。また、プランが不規則であるため、上下階の壁の位置が合わず構造的に合理的ではありませんでしたが、それを高強度なLVLパネルで補うことで対処することができました。

3.2.3 施工

LVL 木層ウォールの施工時における苦労点は主に3つあります。

1つ目は建て方時の精度です。例えば基礎との取り合いは 1mm 単位の精度を要求されるため、今回 LVL パネルを基礎へ取り付ける際のアンカーボルトはコンクリートに予め打ち込まず、ケミカルアンカーを後打ちすることによって取り付けることにしました。

2つ目は設備配置です。設備の配管や配線等を行う際、構造用 LVL に穴を開けて通すといったことや、設備を埋め込むことは不可能であるため、RC 造のように、躯体を回り込んで計画しなければなりませんでした。今回は、配管スペースの天井を下げて確保したり、金属の配線ラックを別で取り付けたりする等の対処を行って通しています。

3つ目はLVLへの塗装です。今回南面のLVL木層ウォールや仕上げ用LVL(キーラムインテリア)にはラミナの積層面が表面に並ぶものを使用していますが、その面に塗装を施す前に職人さんがペーパーがけを行う際、表面がささくれて手に刺さってしまう点に苦労しました。そのため、LVLの積層面に塗装を行う際は、ペーバーがけは現場ではなく工場で行う等の工夫があるとよいと思います。

3. 2. 4 防耐火設計

● 防耐火仕様・用途など

この建物は、準工業地帯に建つ一時間準耐火建築物です。用途は動物病院ですが、建築基準法上の用途は「畜舎」としています。人間用の「病院」は特殊建築物となり、3 階建て以上は耐火建築物とする必要がありますが、24 時間動物がいる入院設備を持つ動物病院は「畜舎」となり、職員以外の人が入れる範囲を 1,2 階にのみに限定することで、準耐火建築物で計画することができます。

● ファサードのディテール

今回南側のファサードに構造用 LVL を使用しましたが、厚さが 150mm あるといっても 外壁に現しで使用すると腐食や劣化によって構造材が欠損する恐れがあったので、躯体を 保護する必要がありました。

ファサードに木を見せる手法として、カーテンウォールで覆ってガラス越しに見せるという方法がありますが、今回はなんとか木を素地で見せたいという思いがあったので、150mmの構造材に保護層と通気層を確保した上で、仕上げ材として厚さ 30mm の LVLを貼り付けるというディテールを検討しました。

仕上げ材は遠くから見ると一枚の板のように見えますが、幅 150mm の仕上げ材を縦に貼っています。仕上げ材の取り付けについてですが、若干隙間を空けて取り付けることで、仕上げ材の伸縮に備えることができます。また、取り付けはそれぞれ片側のみビスで留めることで、伸縮時の割れを防いでいます。取り合い部分は相じゃくりにすることで、仕上げ材を交換する際に容易に取り外すことができます。構造材には躯体保護のために透

湿防水シートを貼り、その外側の胴縁には人工木を使用することで、胴縁が腐って脱落することがないようにしています。

● 仕上げ材の塗料

外壁仕上げ材の塗料についてですが、木肌を見せつつ耐候性を持たせるため、検討の末、 撥水防腐塗料を塗ることで防腐処理をしました。

はじめに塗料として検討したのはガラス質の塗料です。これは表面に強固な保護層を形成し、つやつやした仕上げになります。しかし、塗膜と木の表面との間に水分が侵入したり湿気がたまったりすることで塗膜が剥離し、表面が白くなってしまう問題が報告されていました。

そこで、当時菊水化学がキーテックと協同で開発していた浸透性の撥水防腐塗装を使用することにしました。この塗料は、表面に塗膜をつくらず、木の内部に染み込んでいくことによって腐らないようにするというものです。そのため、見た目は LVL 素地に近いものに仕上げることができました。

その一方で、仕上げ材の表面を均等にエイジングさせるため、上部には水切りのみを設けました。その結果、数年経過しても少しくすむ程度の均整のとれたエイジングがされました。エイジングが進む原因は主に 2 つあり、一つは腐朽菌であり、もう一つは紫外線です。これらの影響で木繊維の柔らかい部分が無くなってしまい、表面には硬い繊維の部分のみが浮き出て見えるようになります。今回は塗料によって腐朽菌を防ぐことができたので、エイジングは紫外線によるものとなります。

エイジングによって、木に特有のくすみと多少の凹凸が見られるようになり、病院なのでもう少し清潔感が欲しいということで、メンテナンスもすることになりました。塗料の条件として、より表面が滑らかになり、かつ表面に塗膜をつくらないというものがありましたが、検討の結果、住友林業の S-100 を使用することにしました。

S-100 はシリコン系の半造膜塗料であり、表面に柔らかいシリコンの膜をつくることで、水をはじくことができます。この塗料を、外壁表面に一度グラインダーをかけてから塗った結果、竣工当時とさほど印象が変わらない外見に戻すことができました。

また、竣工当初は内部の待合室の LVL 壁に何も塗料を塗っていなかったのですが、汚れや、表面のささくれを予防するため、お客さんの手が届く範囲にのみウレタン塗装を施しました。

● 耐火被覆

在来軸組部分の被覆については、被覆は基本的に厚さ 12.5mm の強化石膏ボードで行っています。

待合室に面する斜め壁では、その石膏ボードで防火ラインをつくった上に仕上げ用 LVL「キーラムインテリア」を貼っています。テレビモニターの部分については、その裏側で

防火ラインをつくり、二重の壁をつくるようなかたちで対処しています。診察室の入口には鉄製の防火扉を使用しています。受付の部分については、その部分を人が利用するということで受付の入り口ではなくカウンターの内側に防火シャッターを設け、防火ラインを取りました。

3. 3 一時間耐火構造 2 階建ての保育ルーム (実例: やはた幼稚園保育ルーム)

3.3.1 計画の経緯

このプロジェクトは、やはた幼稚園の RC 造の既存棟に対して新たに企業主導型保育施設と多目的室とを擁する保育ルームを一体的に増築するというものです。園長先生の意向から木造で計画することになり、1時間耐火構造の木造建築となっています。

今回の敷地は木造密集地域だったため、準防火地域内の「新防火地区」という特殊な地域に指定されていました。規制の厳しさとしては、防火地域より緩く準防火地域よりは厳しいといった位置づけなのですが、準防火地域の場合延床面積が1,500 ㎡以内であれば準耐火建築物で計画できるのに対し、新防火地区の場合延床面積が500 ㎡以内でないと準耐火建築物を計画できません。今回の増築部分は426 ㎡なので、通常であれば準耐火建築物で計画できるのですが、ここで準耐火建築物とするには既存棟とは別棟で計画する必要がありました。しかし、使い勝手の面から既存棟と一体での増築を選択したため、この規模でありながら1時間耐火構造を選択することとなりました。

3. 3. 2 建築·構造計画

建築計画においては、階高をはじめとした既存棟とのとりあいであったり、狭隘地により厳しい北側斜線を満たしつつ 2 階の天井高を大きく取ったり、園庭もできるだけ広く取れるように増築部分を配置したり、さまざま工夫が必要でした。

しかし、最も苦労したのは、補助金事業であることにより設計期間が限られていた点です。このプロジェクトは内閣府による企業主導型保育事業の補助金事業であったので、補助金申請のための書類の提出に締め切りがあり、非常に短い期間で計画をまとめる必要がありました。その中で、様々な条件を1時間耐火構造でどう解くかということを短期間で考えなければなりませんでした。

3. 3. 3 防耐火設計

● LVL 耐火被覆の優位性

耐火被覆のための石膏ボードを貼る際にはとても苦労しました。この建物は 1 時間耐火建築物なので、構造体の外周に厚さ 21mm の強化石膏ボードを 2 枚貼らなければなりませんでした。12.5mm の石膏ボードと比較すると重いため、一枚当たりの大きさが小さくなってしまい、かなり多くの枚数を貼る必要がありました。また、2 枚重ねる際に、燃え抜けないよう目地をずらして貼らなければならなかったのも手間になっていたと思います。また、この建物で被覆面の角が垂直でない等の複雑な造形を必要とし、それに合わせてボードを切断しなければならないといった手間が発生しました。そのようにして、このプロジェクトでは建て方期間が約3週間ほどであったのに対し、石膏ボードの貼り付け

期間には約2か月を要することになりました。

今回、LVL 耐火被覆の独立柱を2階の一部に使用することになりました。LVL 耐火被覆が石膏ボードによる耐火被覆と大きく異なる点は、建て方時点で被覆が終了していることです。前述した通り石膏ボードでの被覆には大変な手間と時間がかかってしまうのに対し、LVL 被覆は工場で行われるので、建て方後に職人さんが貼りv付け作業を行う必要がありません。ただし、被覆の部分が損傷してしまうと本来の性能を発揮しない恐れがあるため、建て方時には雨や外部からの衝撃からは守る必要がありますが、これは部材を現しで使用する際の共通の難しさであるといえるでしょう。今回LVL 耐火被覆を使用したのは柱だけでしたが、梁や壁にも使用できると、躯体だけである程度被覆を済ませることができるようになり、手間を減らすことができるだけでなく、設計の幅がさらに広がってゆくと思います。

しかし、現状では課題点もいくつか挙げられます。

まずはコストの面です。今回 LVL 耐火被覆柱を 1階にも使用したかったのですが、コストの都合上使用するのは 2階のみとなってしまいました。高コスト化の原因として、製造上の不合理が考えられます。製造できる場所が限定されている中、今回はなるべく岐阜県産の木材を使用したかったので、千葉で製造した LVL 材を岐阜の工場へ運び、岐阜県産の構造材の上に被覆として取り付けた後にそれを東京の現場に運ぶといったような工程が必要となりました。したがって、今後技術が確立し、LVL 耐火被覆が普及することによって製造ラインが確保されれば、より効率的な製造が可能となり、コストも下がっていくと思います。最終的には、手間にコストのかかる石膏ボード被覆と、製造コストが若干高くても手間にかかるコストの低い LVL 被覆のどちらにするか迷えるくらいにコストが安定してくると良いと思います。

また、見た目が荒っぽいという課題も挙げられます。現状の LVL 耐火被覆柱では、LVL の小口面と板目の面が両方現れていますが、板目の面がラフな印象を受けます。表面に仕上げを貼るというのも一つの手ですが、その分の手間がかかってしまうので、今後被覆材兼仕上げ材といてもう少し綺麗なものが開発されると良いのではないかと思います。

そしてもう一つ、被覆部分が構造材として考慮されないという点が挙げられます。今回の LVL 耐火被覆柱は、被覆部分の厚さが 60mm、構造材は 160mm 角であるため、合わせて一辺 280mm の柱となっています。例えば今後これが 2 時間耐火となっていく場合、仮に LVL の部分が厚さ 120mm となったとして、それが被覆の役割のみというのは余り合理的ではないと考えられます。今後、LVL 被覆も部分的にでも構造材として考慮されるようになれば、より合理的な設計が可能になると思います。

● 外壁の仕上げについて

今回外壁の仕上げ材としても木材を使用しています。

収まりとしては、耐候性透湿防水シートを貼った上に、下地材として木材を使用し、仕上

げ材をすのこ状にして貼り付けるといったものになっています。これは木住協の認定構法 を利用していて、その仕様では、「下地材として燃え落ちる材料を使用していれば、外壁に木材 を貼ってよい」ということになっています。 火事の際には仕上げ材をすぐに燃え落とすこと で、外壁がいつまでも燃えることがなく、内部への影響を軽減するという仕組みです。

仕上げ材には住友林業の S-100 を塗装しています。これは現場に搬入した材を平場で塗装していたので、現場での作業手間がだいぶ軽減されました。また、貼り付けてから2 年以上経過していますが、色の印象が当時とほぼ変わらない状態で維持されています。外壁が斜めになっているので雨がかかりづらいということと、建物の配置上、西日が当たらないということも有利な点だと考えられますが、塗料の性能とも相まって良好な経過となっています。

3. 4 二時間耐火構造 7 階建てのオフィス

(実例:高惣木エビル)

3.4.1 計画の経緯

「高惣木エビル」のオーナー様の家系は代々木工所を営んでおり、オーナー様ご自身も木に囲まれ、木になじみのある環境で生活をしていらっしゃいました。代替りの際、オーナー様は木工所とは異なる職業に進まれましたが、木造で高層建築が可能というシェルター社の記事をご覧になり、元々は先代の木工所が建てられていたこの地で、木造ビルのご検討を始められたというのが本プロジェクトの発端です。

(オーナー様は、共用部分には本漆喰を採用されるなど、木を活かした自然素材にもこだわりをお持ちでした。木造ビルという新しいチャレンジでありましたが、シェルター社の技術力、実績から信頼をいただきました。)

オーナー様からのオーダーは、すべての構造材に木を使った7階建て純木造ビルでした。 純木造ビルにおいて現在の日本では最高階数となり、収益物件というカテゴリーにおいて も初めての挑戦でした。特に、融資においては、一般の地方銀行と交渉を重ね、物件の信 頼性・担保評価(融資期間中に建物が倒壊しないか等の安全性)、収益性(キャッシュフロー が回るかどうか)などあらゆる想定を提示しました。特に担保評価の点では銀行との質疑 を重ね、大規模建築や耐火に関する技術の実績の証明を行うことによって、一つ一つご理 解をいただきました。

そうした交渉の結果、7階建木造の収益ビルというカテゴリーにおいて、日本で初めて融資をいただきました。これは、純木造 7階建てビルが収益物件として成立することの証明であり、仙台市と同等あるいはそれ以上の都市においても同様のビルであれば収益が見込めるということになります。仙台市に「高惣木工ビル」を建築したことは、構造木造という新しい分野において全国へ展開できるきっかけとなったと考えています。

3. 4. 2 建築計画

7 階建てという規模は何で決まったか

この建物は仙台駅東口という立地から、建蔽率と容積率が最大限になるよう求められたため、高さについては斜線検討をし、7階としました。そのため、規模決定の基準は技術的制約というより容積を稼ぐというところが大きかったです。

● 木造であることでの制約

木造を選択したことによる制約はいくつかあります。同規模の鉄骨造と比較すると耐火被 覆の分、柱サイズが大きくなる箇所が多くなります。同様に、同スパンに対する梁せいも大 きくなります。EV 設備は各メーカーともまだ直接木構造フレームに取り付ける試験をし ていないため、一度鉄鋼造フレームを組んでさらに外側に木造フレームを組む必要があり ました。その分入口枠の奥行が深くなってしまいます。

外部から鉄骨階段やフロントサッシを取り付ける際には熱橋を防ぐため M 8以下のボルト等の制限があり、留め付け方法に留意しました。

高層階において木造留め付け可能な耐風圧をクリアした外装材の種類が限定されました。

● 使いやすいテナントビルとして

収益性については、フロア面積を最大限にとることが求められたので、エレベーター等のコア部は可能な限り面積を小さく抑えることとしました。今回の大きな目標は、製材を使用した純木造で造るということだったので、製材の寸法は、一般的に流通している 4 mまたは 6 mの木材を組み合わせてスパンの設計をして、組み立てていきました。当然集成材であれば、よりスパンを飛ばすことは可能であるが、今回はあえて純木造ということでやっているので、柱がたくさんあるというのはありますが、それを主に計画したということになります。見学会の中でも、「柱はないほうがいいよね」という声もあったので、当然ないほうが事務所としてはレイアウトしやすいというところはある。そのような要望に応じて設計していかなければいけなかったのかなとは思っています。

● 最も苦労した点

最も苦労したのは、ファサードのカーテンウォールです。木造にあのようなフレームをどのように取り付けていくのかということで、構造的なところと製造されるサッシメーカーと協議しながら組み立てていきました。実際には、柱脚・柱頭のところに構造の方のコネクターがあるので、そっちもドリフトピンで打っているというところがありますから、それをかわしながら留め付けのプレートを取り付けていくということで、多くのやりとりを経て実現させました。

カーテンウォールは仙台のサッシ工場での製作でした。スチールでつくり、その上をステンレスでカバーすることで耐久性をもたせています。アルミサッシだと大きさに制限があるので今回はつくれませんでした。したがって、荷重も大きいものになっています。

今回カーテンウォールを採用したのは、木造であるということを見せたいというのが理由です。出隅のところもガラスを90度に張って、なんとか木質化を見せたいということでやっていました。そのため、正面の木についてはCOOLWOODを使っています。実際にはCOOLWOODの方にサッシの金物を留めていくとなると、熱橋など様々な問題があるので、それは実証実験を重ねた規定というのがあって、M8のビス止めという形で、ビスの本数などを検証しつつ強度計算をしながら設計していきました。M8のビスは構造部分まで通す必要があるので、長さは長くなります。耐火構造の場合、例えばコークスクリューを留める必要があります。カーテンウォールは引き抜き方向だけでなくせん断方向の力もかかるので、太さも必要になります。そうなると、ビスが太くなればなるほど、熱橋で耐火性能上だんだん燃えてしまう可能性があります。COOLWOODは石膏ボードなので、熱を吸収し

ながらいくので、内部に熱が伝わりにくいことがわかっています。LVL 被覆材は中に含まれる難燃薬剤が熱にさらされると発砲し、熱を吸収します。LVL 被覆材を通過するビス・ボルトに伝わる熱を同様に吸収するので、同じように使える可能性があります。テクニックとしては、石膏ボードとビスの周りの処理です。 COOLWOOD では一部座彫りしたところにモルタルを入れた中にビスを通しておくと、中で熱吸収してくれますし、スタンドボルトのようにせん断方向にも効くので、そういう処理の仕方も併せてもらって提案する必要があります。カーテンウォールに限らず、外壁のALCを留めるとき等、様々な部分に応用する必要があります。サッシの取り付けも溶接OKにするには、今のようなスタンドボルトがないと留められません。

3.4.3 構造

● 階数の可変性について

今回は7階建て・設計ルート2として設計しましたが、これを設計方法を変えずに8,9階建てと規模を上げていく際に問題となるのは塔状比です。塔状比が4を超える場合、設計ルートが異なってしまいます。同様に、上限31mという高さの条件もあります。

階数を切り替える際、設計ルートが2のままであれば容易に変更することができます。 ルート3になってくると、接合部の設計方法が変わってくるので、接合部の強化等が難し くなってきます。したがって、切り替える際の一つの区切りとしては31m以下となります。

● ブレース構造を採用した理由

今回部材がどうしても曲げに対して杉のヤング係数がでないので、ブレースありの軸組構造を選択しました。ラーメン構造とした場合、建物の変形を抑えるには部材の剛性は高くなり、断面は大きくなります。今回は国産材を使用する条件があり、外材のマツ系は使用できませんでした。ヤング係数の低い部材を使用するのであれば、曲げ剛性より軸剛性に依存した方が効率が良いと判断し、ブレース構造としました。

● 東柱の設計と製作について

東ね柱は過去の文献と実験により設計しています。実験は柱間を拘束するスプリットリングの実験と、実大曲げ試験により、EI を評価し座屈耐力の低減を行っています。

3. 4. 4 材料調達

樹種と産地は、杉製材は福島県産・栃木県産、檜製材は栃木県産となっています。製材 JAS 認証工場で大断面含む中断面以上の製材が可能な工場が少なく、かつ SGEC 認証材を扱える木材ルートがなく苦労しました。木材の発注は6月、原木は伐採期があるので、契約後の1月中旬頃から認証原木の調達を進めてもらい、3月から原木が集まるようにして、確認が下りたら発注し、すぐ製材乾燥できるように階層ごとのスケジューリングを行いました。

3. 4. 5 防耐火設計

● 各種仕様

各部位の仕様は以下のようになります。

(())床

- 1 ~ 3 階 (4 階床) /2 時間耐火 / 大臣認定
 - ・表

GB-F(V) t=21+21+15

構造用合板 t=24、小梁 105 × 180

・裏

GB-F(V) t=21+21+21

- \bigcirc 5 ~ 7 階 /1 時間耐火 / 国交省告示仕様
 - ・表

GB-F(V) t=21+21

構造用合板 t=24、小梁 105 × 180

・裏

GB-F(V) t=25+21

◎屋根

○金属葺き屋根 /30 分耐火 / 国交省告示仕様

·表:ガルバリウム塗装鋼板 t=0.35

·裏:GB-F(V) t=15+12.5

○陸屋根 /30 分耐火 / 国交省告示仕様

・表:アスファルト露出防水 / 冷却併用工法

· 裏:GB-F(V) t=15+12.5

● 選定理由

30 分・1 時間耐火については、告示仕様があり、告示仕様を採用しました。

2 時間耐火については告示仕様がなく、(株) シェルター2 時間耐火大臣認定を採用しました。

各耐火仕様の選択として、木造ビルを普及していくにあたり選択しやすい仕様が適当 と考え、30分 - 1時間については、告示仕様を選択しました。

● COOLWOOD の特徴、告示仕様と比べて

COOLWOOD では柱と梁(3 面)で 3 時間耐火の認定まで取得しているのに対し、告示仕様では柱・梁とも 1 時間耐火までの仕様になります。COOLWOOD では表層材の仕上げ厚さ 20 mm以上の規定がありますが、告示仕様では表層材の規定はありません。

COOLWOOD では仕口の取り合いは現場施工ですが、その他の耐火被覆は工場施工であるのに対して、告示仕様は石膏ボード貼り作業がすべて現場施工となります。

● ジョイント部分などの耐火検証

柱と壁取り合いの耐火性能確認試験を実施しています。「表面材と間柱の間に強化石膏ボード(厚 21)を施したもの」や「柱と壁の取り合いを壁勝ちとしたもの」等、想定される数パターンを検証しています。(木質耐火部材を用いた木造耐火建築物設計マニュアル)

3.4.6 施工

● 重機計画

隣接するバス会社様のご厚意により、日中のみ近接する駐車場を借用できました。その上で、25 t、50 t ラフタークレーンで荷下ろしと建て方(一時期荷下ろし用トラッククレーンも併用)を行い、材料は 10 t 平トラック、4 t ユニックを近接駐車場に乗り入れして搬入をしました。そして、足場の一部を搬入用構台に設定し資材をクレーンにて荷揚げを行いました。

● 建て方手順など

一層を 1 週間で施工し、1F 柱→ 2F 床梁→ 2F 床合板→ 2F 柱→のサイクルを繰り返しました。毎層ごと、床合板施工前に建て入れ確認をしました。

● ドリフトピン現場施工の施工性

本数が多く、直径が大きいためセットハンマーにて打ち込みました。また、石膏ボード や表層材が施工済みの部材はその厚さ分も打ち込むために 2 人体制で打ち込みました。

● 石膏ボードの工場施工

天井クレーンで木材を吊るし空中で回転させる治具を開発し、木材反転時の石膏ボードの破損を防ぎました。石膏ボードカット 1 名、接着剤塗布と貼り付け 2 名の計 3 名でチームを作り、1 本に掛かる施工時間を短縮しました。これは、狭い加工場所では有効であると言えます。

● 石膏ボードの現場施工

搬入: クレーンで荷揚げ構台に載せ、台車と人手で水平移動かけました。外壁下地分は内部に取り込んだボードを窓開口部から搬出しました。

貼付: 木下地でもボード貼りが席る軽天業者に発注することでボード貼りの時間を削減しました。

● 現場の材料の養生について(雨がかりなど)

工場での梱包をあける際に全て剝がさずに柱頭、柱脚、梁両端部のみ剥がし養生テープで 目張りをしました。

建て方中は、柱頭と梁にはビニールをかぶせ、床合板には撥水材を塗布、ジョイントと柱 脚取り合いを防水テープで目張りをし、足場にワイヤーを張りブルーシートをカーテン上に 吊り下げ、天候に合わせて開け閉めするなどの工夫をしました。

3.5 三時間耐火構造 11 階建てのオフィス

(実例: 0Y プロジェクト)

3.5.1 工程

工程としては、2021 年 6 月 14 日に上棟し、2022 年 1 月に完成し、同年 2 月に竣工 検査を行う工程となっています。ヒアリングを行った 2021 年 9 月 9 日時点では、 8 階 のカーテンウォールを取り付け中で、北側は ALC 壁を取り付け中でした。

1 層あたりに必要な建て方の時間は、柱、梁、CLT 床の順に 1 週間程度となっています。全体の工期は 24 ヶ月を計画しており、そのうちの 1 年弱を掘削、既存の解体等の準備工事に充てていました。

3. 5. 2 建築計画・構造について

基礎については、既存の基礎躯体を再利用することにしました。その上で、免震層では 450mm のクリアランスを設け、躯体の中には H 鋼を入れることにしました。今回研修室の 大空間をどうつくるかということから、十字柱・梁の計画を行いました。水平力を負担す るために柱を多く設けたり、ブレース代わりに中間梁を採用したり等、耐震要素を建物の 外周部分に集中させることで大空間を実現させました。

柱の接合部に関しては、鉄筋とエポキシ樹脂で接合しています。つづり梁の部分は、直径 32mm のドリフトピンを現場打ちすることで留めています。ドリフトピンは女性の職人 さんでも打つことができました。

外装とサッシについてはビス留めで固定していますが、排煙窓のみ溶接を行う必要がありました。

地上の床部分は、乾式で計画しています。ALC 仕上げの耐火床に関しては、資材置き場の クッション材にもなるという利点がありました。石膏ボード仕上げの部分に関しては、養生 のために構造用合板を敷きました。

3. 5. 3 建て方について

今回建て方は鉄骨のとび職人さん方に行っていただきました。彼らは寺社などの大規模 木造建築も経験されたことのある方々でした。

建て方の精度に関しては、鉄骨造を目標としていました。はじめは中央から外側へ向けて建て方を進めていたのですが、外側が 15mm はみ出してしまうズレが生じたため、外側から中央へ進めるよう変更を行いました。

3. 5. 4 防水 (現場養生) について

まず屋上防水ついては、パラペットを立ち上げなければ防水層を閉じることができないという点があります。木材についてですが、LVL 等は含水率が 10%を下回 る程度ですが、

平衡含水率に戻ろうとすることで端面から湿気を吸い取り、3~5mm 程度膨らんでしまいます。今回膨らんだ端面については、現場で職人さんが電動カンナで削ることで対処しました。また、仕口の防水は重要です。今回はシリコンのシール材とコンクリートの養生を貼ることにしました。柱の接着に使用するエポキシ樹脂は水っぽく、漏れてきてしまうので、シリコンシールを擦り込んで漏れ止めとして機能させました。

当初は防水テープの仕様を予定していましたが、防水テープは隙間から湿気が入り、木材が蒸れてしまうので、透湿防水シートの養生に変更しました。

床については、止水階を 4 フロアごと (4 階と 8 階) に設けています。それに加え、 各階に仮設の小庇を取り付けています。床の CLT には撥水剤を塗り、その上にアスファルトルーフィングを敷いています。屋上に関しては、キシラデコールを塗り、側面には 割れ止め防止を施しています。

今後、耐火柱・梁に透湿防水シート入りで認定があると良いと思います。

3.5.5 その他

今回の現場の状況としては、同規模の RC 造や鉄骨造のプロジェクトと比較すると、常に清潔に保たれていて、騒音もあまり起きない現場となっていました。また、例えば RC 造であれば、配筋の打ち込みから土間押さえ、すみ出し等の工程があるのに対し、木造であるためそのような工程を省くことができたので、その分残業が少なくなるという利点がありました。

3.6 考察

今後のさらなる中大規模木造建築の普及促進に関して、特に防耐火設計の観点から、いくつかの課題が抽出された。そしてそれぞれに対する難燃処理 LVL 耐火被覆の課題と可能性について考察をおこなう。

3. 6. 1 工事中の雨濡れによる耐火被覆の劣化対策

建築規模が大きくなるにしたがい、建て方工事の日数は伸びる傾向にあり、工事中の雨濡れによって石膏ボード系の耐火被覆材の劣化への対策が求められている。あらかじめ工場で石膏ボート被覆を事前に施工してくるなどの対策もあるが、中高層化するなかで、工事が長期化すると、かえって雨濡れを起こす可能性もある。また構造の接合部分などが複雑化する中で、事前に石膏ボードを被覆できない部分なども多い。ある程度雨濡れをしても劣化しない耐火被覆法、あるいはどの程度の雨濡れまでは性能が確保されるのかといった研究も必要となると考えられる。

難燃処理 LVL 耐火被覆については、材料そのものは対象の雨濡れには耐えられると考えられるが、どの程度の雨濡れでどの程度の性能低下が起きるかや、それを防止する方法が、製造上の工夫や処置などと合わせて検討される必要がある。また、材料保護としての透湿防水シートなどを被覆の層構成に取り込むなどの工夫も考えられるだろう。

3. 6. 2 耐火被覆越しのカーテンウォールなどの二次部材の取り付け

建築を構成するためにはカーテンウォールや各種金物など、多数の二次部材を主要な構造に止付ける必要がある。その際に耐火被覆部材を貫通して柱や梁のような主要構造部まで止付ける必要があるが、石膏ボードなどの荷重を支持できない厚い層を貫通して固定する必要がある。そのためにはより太いビスなどの使用が考えられるが、その際には火災時にビス越しに熱が伝わり、主要構造を損なってしまう恐れがある。現在はそれそれのメーカーなどで個別に実験を行い、ビスの太さなどを検証しているが、太さに限りがあるために制約も生じると考えられる。

難燃処理 LVL 耐火被覆材は、被覆材料にネジが効くなどの利点があると考えられるが、 実際にどのような耐力が取れるかなどのデータは不十分である。また先述の熱橋対策については、石膏ボード系の耐火被覆材はそこを貫通するビスなどの熱を吸収してくれるなどの利点があるが、LVL にはそのような効果はないと考えられる。構造的な負担ができ、同時に熱を吸収できるような工夫はないかなど、さらなる開発が必要とされる。

4. 被覆材の製造

接合部の耐火検証の試験体の一部として、2.1で紹介した大臣認定で規定される被覆材の難燃薬剤処理LVLを製作した。厚30mmのスギLVLに減圧加圧法により難燃薬剤を含浸し、乾燥した。柱には厚60mmを、梁には厚30mmと厚60mmを使用する。

4. 1 難燃薬剤含浸

4.1.1 試験体と含浸条件

含浸前にLVLの重量を全数測定したのち、難燃薬剤を減圧加圧釜で含浸し、含浸直後の重量を測定し、薬剤含浸量を算出した。含浸量が目標値以上であることを確認した後に乾燥室に入れて、1か月乾燥した。含浸・乾燥は2021年9月から10月に行った。

材料:スギ B種構造用LVL

寸法:厚30 mm×幅400 mm×長3000 mm 78 枚 2.8m3 平均密度0.44

難燃薬剤: W2-50 (丸菱油化工業製) 目標含浸量:150 kg/m³以上

場所:茨城県小美玉市 株式会社森久(含浸、乾燥)



写真 4.1.1 含浸前重量測定



写真 4.1.3 含浸後重量測定



写真 4.1.2 薬剤含浸



写真 4.1.4 乾燥

4. 1. 2 結果

表 4.1.1 に含浸結果を示した。目標 $150~\rm kg/m^3$ 以上のところ、最小 $152~\rm kg/m$ 、最大 $185~\rm kg/m^3$ 、平均 $168~\rm kg/m^3$ であった。

表 4.1.1 含浸結果

2	LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.437 0.437 0.438 0.440 0.437 0.439 0.428 0.428 0.428 0.428 0.437 0.431 0.437 0.431 0.430 0.430	kg/m2 13.50 13.52 13.53 13.58 13.52 13.55 13.27 13.22 13.27 13.23 13.23 13.23 13.55 13.24 13.30	9.5% 10.5% 8.5% 11.5% 10.0% 10.0% 11.5% 10.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.5%	96 8.0% 9.5% 11.5% 9.0% 9.5% 7.0% 7.0% 12.5% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	7.5% 10.5% 10.5%	m3 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	W1 kg 16.20 16.22 16.24 16.30 16.22 16.26 15.92 15.86 15.92 15.88	W2 kg 42.20 42.28 41.96 42.50 42.40 42.80 42.62 42.72 42.72 42.72	W2-W1 kg 26.00 26.06 25.72 26.20 26.28 26.14 26.88 26.76 26.80 26.64	701.19 702.80 693.64 706.58 708.74 704.96 724.92 721.68 722.76	kg/m3- 154.2611 154.617 152.5998 159.4477 155.9223 155.007 159.4822 158.7702 159.0076	W3 kg 22.270 22.790 22.370 22.610 22.570 22.550 22.040 22.300 21.830	0.601 0.615 0.603 0.610 0.609 0.608 0.594 0.601 0.589	kg/m3 163.70 177.18 165.32 170.17 171.25 169.63 165.05 173.68 159.39	13.5% 14.5% 11.0% 15.0% 11.5% 15.5% 15.5%	中 11.5% 10.0% 10.5% 11.5% 11.5% 15.0% 13.5% 10.5% 11.0%	右 13.5% 12.5% 12.5% 12.5% 15.0% 13.5% 14.0% 13.5%
2		30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.437 0.438 0.440 0.437 0.439 0.429 0.428 0.428 0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.430 0.396	13.52 13.53 13.58 13.55 13.27 13.22 13.27 13.23 13.23 13.23 13.52 13.45 13.32 13.52 13.45 13.32	10.5% 8.5% 11.5% 8.5% 10.0% 10.0% 9.0% 11.5% 10.0% 8.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	9.5% 11.5% 9.0% 9.0% 9.5% 7.5% 7.0% 12.5% 7.0% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 7.5% 12.0% 7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	16.22 16.24 16.30 16.22 16.26 15.92 15.86 15.92 15.88	42.28 41.96 42.50 42.50 42.40 42.80 42.62 42.72 42.52	26.06 25.72 26.20 26.28 26.14 26.88 26.76 26.80	702.80 693.64 706.58 708.74 704.96 724.92 721.68 722.76	154 817 152 5098 159 4477 155 8223 155 0917 159 4822 158 7702	22.790 22.370 22.610 22.570 22.550 22.040 22.300 21.830	0.615 0.603 0.610 0.609 0.608 0.594 0.601 0.589	177.18 165.32 170.17 171.25 169.63 165.05 173.68 159.39	13.5% 14.5% 11.0% 15.0% 11.5% 15.5% 15.5%	10.0% 10.5% 11.5% 14.5% 11.5% 15.0% 13.5% 10.5%	12.5% 12.5% 12.5% 15.0% 13.5% 14.0%
3 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1		30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.438 0.440 0.437 0.439 0.429 0.428 0.428 0.428 0.428 0.435 0.431 0.437 0.436 0.430 0.396	13.53 13.58 13.52 13.55 13.27 13.23 13.23 13.23 13.52 13.45 13.52 13.45 13.52 13.42 13.30	8.5% 11.5% 8.5% 10.0% 10.0% 9.0% 11.5% 10.0% 8.0% 9.5% 11.0% 8.0% 9.0%	11.5% 9.0% 9.0% 9.5% 7.5% 7.0% 12.5% 7.0% 11.5% 8.0% 7.0%	10.5% 10.5% 11.0% 11.5% 7.5% 12.0% 7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	16.24 16.30 16.22 16.26 15.92 15.86 15.92 15.88	41.96 42.50 42.50 42.40 42.80 42.62 42.72 42.52	25.72 26.20 26.28 26.14 26.88 26.76 26.80	693.64 706.58 708.74 704.96 724.92 721.68 722.76	152 5098 155 4477 155 8223 155 0017 159 4822 158 7702	22.370 22.610 22.570 22.550 22.040 22.300 21.830	0.603 0.610 0.609 0.608 0.594 0.601 0.589	165.32 170.17 171.25 169.63 165.05 173.68 159.39	14.5% 11.0% 15.0% 11.5% 15.5% 15.5%	10.5% 11.5% 14.5% 11.5% 15.0% 13.5% 10.5%	12.5% 12.5% 15.0% 13.5% 14.0%
4		30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.440 0.437 0.439 0.428 0.428 0.428 0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.436	13.58 13.52 13.55 13.27 13.23 13.23 13.23 13.52 13.45 13.52 13.45 13.52 13.42 13.30	11.5% 8.5% 10.0% 10.0% 9.0% 11.5% 10.0% 8.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	9.0% 9.0% 9.5% 7.5% 7.0% 12.5% 7.0% 11.5% 8.0% 7.0%	10.5% 11.0% 11.5% 7.5% 12.0% 7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	16.30 16.22 16.26 15.92 15.86 15.92 15.88	42.50 42.50 42.40 42.80 42.62 42.72 42.52	26.20 26.28 26.14 26.88 26.76 26.80	706.58 708.74 704.96 724.92 721.68 722.76	155.4477 155.9223 155.0917 159.4822 158.7702	22.610 22.570 22.550 22.040 22.300 21.830	0.610 0.609 0.608 0.594 0.601 0.589	170.17 171.25 169.63 165.05 173.68 159.39	11.0% 15.0% 11.5% 15.5% 15.5%	11.5% 14.5% 11.5% 15.0% 13.5% 10.5%	12.5% 15.0% 13.5% 14.0%
5 1 6 1 7 1 1 1 1 1 1 1 1		30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.437 0.439 0.429 0.428 0.429 0.428 0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.436	13.52 13.55 13.27 13.22 13.27 13.23 13.23 13.52 13.45 13.32 13.52 13.42 13.30	8.5% 10.0% 10.0% 9.0% 11.5% 10.0% 8.0% 9.5% 11.0% 8.0% 9.0%	9.0% 9.5% 7.5% 7.0% 7.0% 12.5% 7.0% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	11.0% 11.5% 7.5% 12.0% 7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	16.22 16.26 15.92 15.86 15.92 15.88	42.50 42.40 42.80 42.62 42.72 42.52	26.28 26.14 26.88 26.76 26.80	708.74 704.96 724.92 721.68 722.76	155,9223 155,0917 159,4822 158,7702	22.570 22.550 22.040 22.300 21.830	0.609 0.608 0.594 0.601 0.589	171.25 169.63 165.05 173.68 159.39	15.0% 11.5% 15.5% 15.5%	14.5% 11.5% 15.0% 13.5% 10.5%	15.0% 13.5% 14.0%
7		30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.429 0.428 0.429 0.428 0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.55 13.27 13.22 13.27 13.23 13.23 13.52 13.45 13.32 13.52 13.45 13.32	10.0% 9.0% 11.5% 10.0% 8.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	7.5% 7.0% 7.0% 12.5% 7.0% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	11.5% 7.5% 12.0% 7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	15.92 15.86 15.92 15.88	42.40 42.80 42.62 42.72 42.52	26.88 26.76 26.80	704.96 724.92 721.68 722.76	159.4822 158.7702	22.040 22.300 21.830	0.594 0.601 0.589	169.63 165.05 173.68 159.39	15.5% 15.5% 15.5%	11.5% 15.0% 13.5% 10.5%	13.5%
8		30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.428 0.429 0.428 0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.22 13.27 13.23 13.23 13.52 13.45 13.32 13.52 13.42 13.30	9.0% 11.5% 10.0% 8.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	7.0% 7.0% 12.5% 7.0% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	12.0% 7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	15.86 15.92 15.88	42.62 42.72 42.52	26.76 26.80	721.68 722.76	158.7702	22.300 21.830	0.601 0.589	173.68 159.39	15.5% 15.5%	13.5% 10.5%	
9 1 1 1 1 1 1 1 1 1		30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.429 0.428 0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.27 13.23 13.23 13.23 13.52 13.45 13.32 13.52 13.42 13.30	11.5% 10.0% 8.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	7.0% 12.5% 7.0% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	7.5% 10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708 0.03708	15.92 15.88	42.72 42.52	26.80	722.76		21.830	0.589	159.39	15.5%	10.5%	13,5%
10 I 11 I 11 I 11 I 11 I 11 I 11 I 11 I	LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.428 0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.23 13.23 13.23 13.52 13.45 13.32 13.52 13.42 13.30	10.0% 8.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	12.5% 7.0% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	10.5% 11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708 0.03708	15.88	42.52									12.5%
11	LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.428 0.428 0.437 0.435 0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.23 13.23 13.52 13.45 13.32 13.52 13.42 13.30	8.0% 9.5% 10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	7.0% 11.5% 12.5% 8.0% 7.0%	11.0% 11.5% 9.0%	0.03708 0.03708				718.45	158.0583	22.180	0.598	169.90	15.0%	11.0%	13.5%
13 I 14 I 15 I 16 I 17 I 18 I 19 I 20 I 21 I 22 I 22 I 22 I 24 I 25 I 26 I	LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.437 0.435 0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.52 13.45 13.32 13.52 13.42 13.30	10.0% 11.0% 8.0% 9.0%	12.5% 8.0% 7.0%	9.0%				26.88	724.92	159 4822	22.260	0,600	172.06	12.5%	10.5%	11.0%
14 I 15 I 16 I 17 I 18 I 19 I 20 I 21 I 22 I 22 I 23 I 24 I 25 I 26 I	LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.435 0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.45 13.32 13.52 13.42 13.30	11.0% 8.0% 9.0%	8.0% 7.0%			15.88	42.36	26.48	714.13	157 109	22.190	0.598	170.17	11.0%	11.0%	11.0%
15 I 16 I 17 I 18 I 19 I 20 I 21 I 22 I 22 I 23 I 24 I 25 I 26 I	LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.431 0.437 0.434 0.430 0.396	13.32 13.52 13.42 13.30	8.0% 9.0%	7.0%		0.03708	16.22 16.14	43.44 43.58	27.22 27.44	734.09 740.02	161 4995 162 8047	22.550	0.608	170.71	12.0%	14.0% 15.0%	12.5%
17 1 18 1 19 1 20 1 21 1 22 1 22 1 23 1 24 1 25 1 26 1	LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.434 0.430 0.396	13.42 13.30				0.03708	15.98	43.22	27.24	734.63	161.6181	22.330	0.602	171.25	11.0%	14.5%	11.0%
18 I 19 I 20 I 21 I 22 I 22 I 23 I 24 I 25 I 26 I	LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0 3,000.0	0.430 0.396	13.30	8 50	9.5%		0.03708	16.22	42.84	26.62	717.91	157.9396	23.100	0.623	185.54	13.5%	15.5%	11.5%
19 I 20 I 21 I 22 I 23 I 24 I 25 I 26 I	LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0 400.0	3,000.0 3,000.0	0.396		10.5%	12.5%		0.03708	16.10 15.96	43.02 42.54	26.92 26.58	726.00 716.83	159 7195	22.860 22.710	0.617	182.31	13.0%	12.0%	14.0%
20 I 21 I 22 I 23 I 24 I 25 I 26 I	LVL LVL LVL LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9 30.9 30.9 30.9	400.0 400.0 400.0	3,000.0		12.23	10.0%	7.0%		0.03708	14.68	42.68	28.00	755.12	186 1273	21.190	0.571	175.57	13.0%	16.0%	11.5%
22 I 23 I 24 I 25 I 26 I	LVL LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9 30.9	400.0	3.000.0	0.420	12.98	8.5%	8.0%	12.0%	0.03708	15.58	43.04	27.46	740.56	182 9234	22.180	0.598	177.99	14.0%	14.5%	12.0%
23 I 24 I 25 I 26 I	LVL LVL LVL LVL	30.9 30.9			0.419	12.95	10.5%	8.5%	11.0%	0.03708	15.54	43.20	27.66	745.95	164.11	22.100	0.596	176.91	15.0%	16.5%	12.5%
24 I 25 I 26 I	LVL LVL LVL	30.9		3,000.0	0.418	12.92 13.33	8.0% 9.0%	11.0%	8.0%	0.03708	15.50 16.00	42.74 43.92	27.24 27.92	734.63 752.97	161 5181 165.6526	22.660 22.750	0.611	193.10 182.04	13.5%	11.0%	13.0%
26 1	LVL LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.428	13.22	9.5%	10.0%	12.5%	0.03708	15.86	43.88	28.02	755.66	156.246	22.800	0.615	187.16	13.5%	13.5%	14.5%
	LVL		400.0	3,000.0	0.423	13.08	10.5%	8,5%	7.5%	0.03708	15.70	43.84	28.14	758.90	186.9579	22.790	0.615	191.21	11.0%	12.5%	11.0%
		30.9	400.0	3,000.0	0.425	13.13	11.5%	12.5%	8.5%	0.03708	15.76	42.80	27.04	729.23	180.4315	22.810	0.615	190.13	11.0%	15.0%	12.0%
		30.9	400.0	3,000.0	0.423	13.08	9.5%	9.5%	10.5%	0.03708	15.70 15.56	42.66 42.58	26.96 27.02	727.08 728.69	159,9569	23.030 22.460	0.621	197.68 186.08	15.0%	15.0% 15.0%	15.5%
29 I	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.394	12.17	9.0%	10.5%	10.5%	0.03708	14.60	42.86	28.26	762.14	167.0699	21.100	0.569	175.30	12.5%	13.5%	12.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.425	13.13	9.5%	11.5%	12.0%	0.03708	15.76	43.52	27.76	748.65	104.7033	22,900	0.618	192.56	13.0%	12.0%	15.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.420	12.98	9.5%	12.0% 7.5%		0.03708	15.58 15.48	43.48 43.38	27.90 27.90	752.43 752.43	165.534	22.100	0.596	175.84 182.85	13.5%	14.0%	12.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.417	12.88	8.0%	11.0%		0.03708	15.46	43.26	27.80	749.73	164.9407	21.900	0.591	173.68	12.0%	15.0%	14.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.413	12.75	9.5%	10.0%	8.0%	0.03708	15.30	43.62	28.32	763.75	168.0259	22.190	0.598	185.81	11.5%	13.0%	12.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.408	12.62 13.37	10.0%	9.0%	10.0%	0.03708	15.14 16.04	43.14 42.40	28.00 26.36	755.12 710.90	156.397	21.650 23.400	0.584	175.57 198.49	14.5% 15.0%	14.5%	12.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.428	13.22	10.5%	11.5%		0.03708	15.86	42.68	26.82	723.30	159 1262	22.150	0.597	169.63	12.5%	15.0%	14.5%
38 1	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.430	13.30	8.0%	7.5%	9.0%	0.03708	15.96	42.36	26.40	711.97	156,0343.	22.180	0.598	167.75	15.5%	16.5%	12.5%
39 1	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.397	12.27	10.0%	8.5%	10.0%	0.03708	14.72	43.00	28.28	762.68	167.7886	21.420	0.578	180.69	13.5%	16.0%	14.5%
40 1	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.407	12.58	11.5%	12.0%	9.0%	0.03708	15.10	41.64	26.54	715.75	178 9374	22.979	0.620	212.49	12.5%	15.5%	15.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.428	13.23	10.0%	9.5%		0.03708	15.88	41.28	25.40	685.01	171 2513	22.680	0.612	183.39	15.0%	16.0%	11.0%
	LVL LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.420	12.97 13.50	10.5%	11.5%	7.5%	0.03708	15.56 16.20	41.00 42.92	25.44 26.72	686.08 720.60	171.521	24.900 24.840	0.672	251.89 233.01	11.0%	12.5%	13.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.444	13.72	8.5%	8.0%	8.0%	0.03708	16.46	43.00	26.72	715.75	178.9374	23.250	0.627	183.12	13.0%	16.0%	15.0%
45 1	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.431	13.32	9.5%	8.0%		0.03708	15.98	41.80	25.82	696.33	174 083 (24.500	0.661	229.77	13.0%	10.0%	13.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.440	13.58	10.0%	12.0%		0.03708	16.30	42.74	26.44	713.05	178 2832	22.880	0.617	177.45	13.5%	15.5%	15.0%
	LVL LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.424	13.10	8.5%	12.5%	7.5% 9.5%	0.03708	15.72 15.74	41.76	26.04 26.06	702.27 702.80	175.5665	23.310	0.629	204.69	13.0%	10.0%	13.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.415	12.82	11.5%	10.0%		0.03708	15.38	41.34	25.96	700.11	175.027	23.540	0.635	220.06	13.0%	12.5%	14.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.415	12.83	9.5%	8.0%		0.03708	15.40	40.98	25.58	689.86	172 4649	22.560	0.608	193.10	12.0%	13.0%	11.0%
	LVL LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.447	13.80	8.5% 9.5%	7.0%		0.03708	16.56 15.36	42.48 40.96	25.92 25.60	699.03 690.40	174 7573 172 5998	24.000 22.610	0.647	200.65 195.52	13.5%	14.0%	12.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.446	13.78	9.0%	9.5%	7.0%	0.03708	16.54	42.28	25.74	694.17	173.5437	23.840	0.643	196.87	14.5%	12.0%	12.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.440	13.60	10.0%	10.0%	10.5%	0.03708	16.32	42.14	25.82	696.33	174 0831	24.020	0.648	207.66	14.0%	11.0%	14.5%
	LVL LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.409	12.65	10.5%	12.0%	12.5%	0.03708	15.18 15.30	42.02 42.04	26.84 26.74	723.84	180 960) 180 2859	23.210 22.950	0.626	216.56	12.5%	13.5%	11.5%
	LVL	30.9	400.0	3.000.0	0.413	12.75 13.40	8.0%	9.5%		0.03708	16.08	42.04	26.74	721.14 708.20	177 0498	23.770	0.641	206.31 207.39	14.0%	11.5%	11.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.411	12.70	8.5%	7.5%		0.03708	15.24	41.86	26.62	717.91	179.4768	22.860	0.617	205.50	14.5%	15.5%	15.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.431	13.32	8.5%	7.5%	8.5%	0.03708	15.98	42.26	26.28	708.74	177.1845	23,650	0.638	206,85	15.0%	12.0%	12.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.426	13.15 12.50	8.5%	9.0%	12.5%	0.03708	15.78 15.00	42.06 40.98	26.28 25.98	708.74 700.65	177 1845	23.800 23.120	0.642	216.29 218.99	11.5% 15.5%	16.0%	14.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.424	13.12	8.0%	8.0%		0.03708	15.74	41.10		683.93	170.9817		0.623	198.49	13.5%	14.0%	15.0%
	LVL	30.9		3,000.0	0.439	13.55	11.5%	8.0%	10.5%	0.03708	16.26	42.28	26.02	701.73	175.4316	23.700	0.639	200.65	13.5%	16.0%	13.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.424	13.10	8.5%	10.0%		0.03708	15.72	40.86	25.14	677.99	175,836	22.970	0.619	195.52	11.0%	12.5%	13.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.435	13.43 13.53	9.0%	9.0%		0.03708	16.12 16.24	42.20 42.18	26.08 25.94	703.34 699.57	174 8921	23.490 23.930	0.633	198.76 207.39	12.0% 15.5%	13.0% 16.5%	15.5%
67 I	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.436	13.47	8.0%	11.5%	9.0%	0.03708	16.16	41.78	25.62	690.94	172.7346	23.520	0.634	198.49	14.5%	13.5%	14.0%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.442	13.65	8.5%	7.5%		0.03708	16.38	41.90	25.52	688.24	172 0604	23.970	0.646	204.69	14.5%	11.0%	12.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.439	13.55 13.80	9.0% 11.5%	10.5% 8.5%		0.03708	16.26 16.56	42,20 41.94	25.94 25.38	699.57 684.47	174 8921	22.810 23.980	0.615	176.65 200.11	15.0% 15.5%	14.5%	11.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.431	13.33	9.5%	9.5%		0.03708	16.00	41.88	25.88		174.4876	23.640	0.638	206.04	11.5%	13.0%	14.5%
72 1	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.434	13.42	10.0%	11.5%		0.03708	16.10	42.28	26.18	706.04	176.5102	24,330	0.656	221.95	12.5%	10.5%	15.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.414	12.78	8.0%	10.5%		0.03708	15.34	41.50	26.16	705.50	176.9754 177.0496	23.030	0.621	207.39	13.0%	13.5%	15.5%
	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.414	12.80	9.5%	9.0%		0.03708	15.36 15.64	41.62 43.18	26.26 27.54	708.20 742.72	185 6796	23.020 23.840	0.621	206.58 221.14	15.0% 15.5%	14.5% 15.0%	13.0%
76 I	LVL	30.9	400.0	3,000.0	0.413	12:75	9.5%	11.5%	7.5%	0.03708	15.30	41.38	26.08	703.34	175.836	22.830	0.616	203.07	13.0%	15.5%	14.0%
	LVL	30.9		3,000.0	0.423	13.08	10.0%	9.0%		0.03708	15.70 15.58	42.48 42.72	26.78 27.14	722.22 731.93	180.5556	23.540 23.680	0.635	211.43 218.45	14.0%	12.5%	14.5%

4. 2 被覆材の2次接着

含浸し乾燥した厚 30mm の難燃薬剤処理 LVL を厚 60mm とするため、大臣認定仕様に準じて耐火性能の高いレゾルシノール樹脂を使用し、2 次接着を行った。2 次接着は 2021 年 11 月に長野県上田市の斎藤木材工業で行った。

接着剤:レゾルシノール樹脂系

塗布量:350±35g/m²以下

圧締圧: 0.98MPa ($10kgf/cm^2$)

養生期間:解圧後 24時間以上

場所:長野県小県郡 斎藤木材工業



写真 4.2.1 30mm 厚の処理 LVL



写真 4.2.2 レゾルシノール樹脂塗布



写真 4.2.3 圧締



写真 4.2.4 60mm 厚の処理 LVL

5 被覆材の LCA 評価

5. 1 目的と調査範囲

5.1.1 目的

本調査では、1時間耐火柱・梁において、難燃LVL被覆の温室効果ガス排出原単位を算定することを目的とした。また、同等の機能を持つLVL被覆耐火構造と石こうボード被覆耐火構造との温室効果ガス排出量ならびに炭素蓄積量を比較した。

5. 1. 2 機能単位

1 時間耐火の性能を持つ柱の被覆材 1m²を機能単位とした。 難燃薬剤を注入した難燃 LVL 被覆材においては厚さ 60 mm とした。 強化石こうボード被覆材においては厚さ 46 mm (21 mm + 25 mm) とした。

5. 1. 3 システム境界

難燃 LVL の原材料(丸太、接着剤原料、難燃剤原料)の生産・採掘から、LVL の製造、難燃剤の製造、LVL への難燃剤の含浸・乾燥までを評価対象とした。難燃 LVL の建築現場での施工時や、難燃 LVL を用いた建築物の使用時、難燃 LVL の廃棄時は、評価対象外とした。また、製造工程および輸送工程での原料・燃料の使用に伴う温室効果ガス排出量を評価対象とし、製造装置や輸送機器の製造、工場施設の建築に伴う温室効果ガス排出量は評価対象外とした。

5. 2 インベントリデータの収集

フォアグランドデータとして、1) 難燃剤製造工程での原料および燃料・電力の投入量、2) 難燃 LVL 製造工程での難燃剤含浸・乾燥工程における燃料・電力の投入量を調査した。また、バックグラウンドデータとして、LVL には著者らが日合連・全国 LVL 協会と実施した調査結果 [1]を用い、その他は IDEAv2.3 のデータ [2]を用いた。

5. 2. 1 難燃剤の製造工程

LVL 用の難燃剤としてノンネン W2-50 (丸菱油化工業株式会社製)を評価対象とした。W2-50 は有効成分濃度が 50%のリン・窒素系化合物の水溶液である [3]。丸菱油化工業株式会社より、2019 年度および 2020 年度のそれぞれについて、ノンネン W2-50 の年間生産量、ノンネン W2-50 向けの原材料投入量、工場全体の年間電力消費量・年間ガス消費量、工場全体での (他の種類を含む) 難燃剤の年間総生産量の情報を提供いただいた。ノンネン W2-50 向けの電力消費量およびガス消費量は、難燃剤の生産量 (重量) に比例すると仮定して求めた。電力の CO_2 排出原単位は、関西電力の 2019 年度 [4] および 2020 年度 [5] の調整後排出係数 $(0.318~kg-CO_{2eq}/kWh)$ を用いた。ガスの CO_2 排出原単位は都市ガス 13A の値 $(2.29~kg-CO_{2eq}/m^3)$ を用いた。原材料の CO_2 排出原単位は、IDEA v2.3 の原単位を用いた。原材料 (化学物質の水溶液) のうち IDEA データベース中に調査データと同濃度のデータがなく、異なる濃度のデータしかない場合には、水溶液中の水の CO_2 排出原単位を 0 とみなし、 CO_2 排出原単位が有効成分の含有量に比例するとして計算した。

難燃剤製造までの CO_2 排出原単位は、 $1.13 \text{ kg}-CO_{2eq}/\text{kg}-$ 難燃剤と算定された(表 1)。難燃剤原料の製造過程の排出が5/6程度を占め、原料の調合・反応過程でのエネルギー消費に由来する CO_2 排出量は1/6程度であった。

表 1: 難燃剤 1 kg (濃度 50%) 製造からの CO₂ 排出量原単位の算定結果

投入物種類	投入量	CO ₂ 排出原単位	難燃剤 1 kg あたりの
			CO ₂ 排出量
原料			0.962 kg-CO _{2eq} /kg
物質 A	*** kg/kg	*** kg-CO _{2eq} /kg	*** kg-CO _{2eq} /kg
物質 B	*** kg/kg	*** kg-CO _{2eq} /kg	*** kg-CO _{2eq} /kg
物質 C	*** kg/kg	*** kg-CO _{2eq} /kg	*** kg-CO _{2eq} /kg
物質 D	*** kg/kg	*** kg-CO _{2eq} /kg	*** kg-CO _{2eq} /kg
燃料・電気			0.168 kg-CO _{2eq} /kg
電力	*** kWh/kg	0.318 kg-CO _{2eq} /kWh	*** kg-CO _{2eq} /kg
都市ガス	*** m³/kg	$2.29 \text{ kg-CO}_{2eq}/\text{m}^3$	*** kg-CO _{2eq} /kg
合計			1.13 kg-CO _{2eq} /kg

注: *** は秘匿データ。

5. 2. 2 LVL 製造工程

既報のLVL 製造工程の調査 [1]では、2019 年度のLVL 製造工程での原燃料使用量を調査し、国内LVL 生産量の約8割をカバーする4社から回答を得た。当該調査では、原料用木材のうち国産材が8割強、輸入材が2割弱であった。本調査で対象とする難燃LVL 被覆は、原料用木材に国産材を用いたものであるため、原料用木材を国産材のみと仮定し、丸太の輸送からの CO_2 排出量を再計算した値を用いた。具体的には、輸入丸太 $1~m^3$ あたりの輸送過程からの CO_2 排出量を、同一工場の国産丸太 $1~m^3$ あたりの輸送過程からの CO_2 排出量で置き換えた。

難燃処理をする前の LVL 製造による CO_2 排出量原単位は、原料丸太の補正前(国産丸太と輸入丸太の加重平均)が $329~kg-CO_{2eq}/m^3$ 、補正後(国産丸太のみ)が $282~kg-CO_{2eq}/m^3$ となった(表 2)。

表 2: LVL (難燃処理前) 1 m3 製造からの CO2 排出量原単位の算定結果

プロセス	単位	補正前	補正後
丸太伐採	$\rm kg\text{-}CO_{2eq}/m^3$	32. 8	32.8
丸太輸送(輸入)	$\rm kg\text{-}CO_{2eq}/m^3$	53. 7	0
丸太輸送 (国産)	$\rm kg\text{-}CO_{2eq}/m^3$	52. 7	59.0
接着剤	$\rm kg\text{-}CO_{2eq}/m^3$	72. 5	72.5
購入電力	$\rm kg\text{-}CO_{2eq}/m^3$	105	105
燃料	$\rm kg\text{-}CO_{2eq}/m^3$	12. 6	12.6
梱包材	$\rm kg\text{-}CO_{2eq}/m^3$	0.0568	0.0568
合計	$kg-CO_{2eq}/m^3$	329	282

5. 2. 3 LVL への難燃剤含浸・乾燥工程

LVL の難燃化処理工程を有する工場(茨城県)にて、原燃料等投入量を調査した。LVL の難燃処理は、LVL を成分濃度 20%に希釈した難燃剤を含む槽に沈めたのち、槽ごと真空炉(含浸装置)に入れ、減圧処理および加圧処理による薬液の含浸工程、ならびに、薬液を含浸させた LVL を乾燥室内で換気のみによる自然乾燥後に加熱を伴う強制乾燥する乾燥工程からなる。2021年12月8日から12月17日にかけて実施したLVL の難燃化処理時に、LVL 処理量、難燃剤投入量、薬液含浸工程での電力消費量、乾燥工程での電力消費量および灯油消費量を測定した。薬液含浸工程の電力消費量は、含浸開始から終了まで、含浸装置の分電盤に電力計を接続し、消費電力量を測定した。乾燥工程の電力消費量は、換気ファンによる消費電力量を約24時間測定して得た時間あたりの消費電力値に、換気ファンの稼働時間を乗じて推定した。乾燥工程での灯油消費量は、乾燥前後での灯油補充量により求めた。なお、乾燥中は、常時乾燥室内の換気ファンが稼働していた。また、灯油ボイラーの消費電力量は、換気ファンの消費電力に比べ無視し得る値であった。難燃剤含浸・乾燥工程のインベントリデータを表3に示した。

上記実測調査は、冬季に実施したため、夏季には乾燥工程の燃料消費量が大きく異なると予想された。このため、調査対象工場での2021年における木材難燃処理の全ての乾燥工程について、灯油消費量と処理木材量とのデータを取得し、年間平均での灯油消費量もあわせて計算した。年間平均の灯油消費量原単位の計算にあたっては、夏季と冬季とでLVL 処理量が異なり、冬季の処理量が多いことによるバイアスを回避するため、夏季と冬季とで同量を処理した場合の平均値とした。また、12月1回目の乾燥時の実LVL 乾燥量および当該乾燥室の最大乾燥可能量をもとに、乾燥LVL 量が使用した乾燥室の最大乾燥可能量に比例すると仮定して算定した(表4)。

表 3: LVL への難燃剤含浸・乾燥工程のインベントリデータ (冬季)

投入物・産出物種類	投入·産出量	備考
投入物		
LVL	0.864 m^3	
難燃剤(成分濃度 20%)	600 kg	成分濃度 50%の難燃剤を成分濃度 20%に希
		釈して使用。LVL 1m³あたり吸収量700 kg
		(成分濃度 20%時)より LVL 0.864 m³あた
		りの吸収量を計算した。含浸工程前後での
		LVL への吸収量をあらわす。 槽には 1600 kg
		の難燃剤(濃度 20%)を入れておき、600 kg
		が LVL に吸収される。残った 1000 kg は、
		次回の含浸処理時に使用される。
電力 (含浸工程)	36.1 kWh	
電力(乾燥工程)	180 kWh	
灯油 (乾燥工程)	204 L	冬季の値 (表 4 の 12 月 1 回目)
産出物		
難燃 LVL	0.864 m ³	

表 4: 難燃 LVL の乾燥工程の季節別灯油消費量

時期	灯油消費量(L)	乾燥室能力 (m³)	処理 LVL 量 (m³)	灯油消費原単位
				(L/m^3)
2月	368	4. 32	1. 73	213
3月	324	4. 32	1.73	188
7月	40	2. 16	0.864	46. 3
8月	80	4. 32	1.73	46. 3
9月	40	2. 16	0.864	46. 3
12月1回目	204	2. 16	0.864	236
12月2回目	590	8.64	3. 46	171
夏季小計*1	160 8. 64 3.		3. 46	46. 3
冬季小計*2	1486	19. 4	7. 78	191
年間平均*3				119

*1:7月,8月,9月、*2:2月,3月,12月、*3:夏季の原単位と冬季の原単位の平均

5.3 LCA の結果

難燃 LVL 1 m^3 製造あたりの CO_2 排出量の算定結果を表 5 に示した。難燃 LVL $\mathrm{1m}^3$ あたりの CO_2 排出量は、約 1,000 kg - CO_2 と算定された。要因別には、LVL の製造工程、難燃剤の製造工程、LVL への難燃剤の含浸・乾燥工程が、おおむね同程度ずつ排出に寄与すると試算された。この結果を 1 時間耐火の性能を持つ柱の被覆材 $\mathrm{1m}^2$ あたりに換算すると、難燃 LVL 被覆材の厚さが 60 mm であることから、1,009 × 60/1000 = 60.5 kg - $\mathrm{CO}_{\mathrm{2eg}}/\mathrm{m}^2$ を得た。

1 時間耐火の性能を持つ柱の被覆材 $1m^2$ を機能単位とした難燃 LVL 被覆と強化石こうボードの CO_2 排出量を表 6 で比較した。難燃 LVL は厚さ 60 mm、強化石こうボードは厚さ 46 mm(厚さ 21 mm のボードと 25 mm のボードとを重ねる)である。強化石こうボードの原単位は、吉野石膏株式会社によるタイプ 111 環境宣言(エコリーフ) [6] をもとに設定した。難燃 LVL (60 mm)の CO_2 排出原単位は 60.5 kg- CO_2 eq/m² であり、強化石こうボード (46 mm)の CO_2 排出原単位 20 kg- CO_2 eq/m² の約 3 倍となった。一方、難燃 LVL (60 mm)には、国産材が 0.06 m³/m² 使用されており、建築物などの長寿命製品に使う場合には、バイオマス炭素を長期間 固定することができる。LVL の木材密度を 0.542 ton/m³、炭素含有率を 0.493 (w/w)とすると [7]、LVL 1 m² あたりの国産材利用量×木材密度×炭素含有量より、16kg-C/m² のバイオマス炭素が固定されていると試算され、これに 44/12 を乗じて二酸化炭素量に換算すると、59 kg- CO_2 /m² に相当すると評価された。

表 5: 難燃 LVL 1 m^3 および 1 m^2 (60 mm) 製造あたりの CO_2 排出量 (年間平均)

項目	体積あた	各項目の	体積あたり	面積当たり	備考
	り投入量	CO ₂ 排出原単位	CO2排出量	CO2排出量	
			$kgCO_{2\mathrm{eq}}/\text{m}^3$	kg - CO_{2eq}/m^2	
LVL	1 m^3	$282 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$	282	16. 9	国産丸太
難燃剤(濃度 20%)	700 kg	0.452 kg-CO ₂ /kg	317	19. 0	*
電力 (含浸工程)	41.8 kWh	0.457 kg-CO ₂ /kWh	19. 1	1. 15	東京電力
電力(乾燥工程)	208 kWh	0.457 kg-CO ₂ /kWh	95. 2	5. 71	東京電力
灯油 (乾燥工程)	119 L	2.49 kg-CO ₂ /L	296	17.8	年間平均
合計			1,009	60. 5	

^{*}難燃剤濃度を 50%から 20%に希釈しているため、難燃剤 (濃度 20%) の CO_2 排出原単位は、表 1 に示した難燃剤 (濃度 50%) の O. 4 倍とした。

表 6: 難燃 LVL と強化石こうボードとの比較

部材名	CO ₂ 原単位	備考		
難燃 LVL (60 mm)	60.5 kg-CO ₂ eq/m ²	炭素含有量 16 kg-C/m² (59 kg-CO ₂ /m²相当)		
強化石こうボード	20.0 kg-CO ₂ eq/m ²	JEMAI エコリーフ JR-AC-21006E (強化石こう		
(21 mm + 25 mm)		ボード) [6]より厚さ 21 mm で 9.0 kg-		
		CO _{2eq} /m ² 、厚さ 25 mm で 11 kg-CO _{2eq} /m ² との情		
		報をもとに、これらの合計値とした。		

5. 4 難燃 LVL を用いた木造建造物中の炭素固定量の算定

難燃 LVL を用いた木造建造物中の炭素固定量を、林野庁「建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン」 [7]に従い試算した。対象とする木造建造物は図 1に示すような 4 階建て、各階の高さは 3 m、各階の面積は 6 m×18 m で、延べ床面積 432 m² とした。構造部材として、カラマツ LVL の柱(210 mm×600 mm×3 m)が 32 本、梁(210 mm×600 mm×6 m)が 40 本使用され、これら柱と梁の表面を 60 mm 厚の難燃 LVL で被覆するとした。柱、梁、難燃 LVL の全てについて、国産材が使われるとした。

炭素固定量の試算結果を表7に示した。算定対象とした木造建造物には約80 m³の国産材が利用され、国産材の炭素貯蔵量はCO₂換算で78.2 t-CO₂であると試算された。

表 7: 木造建築物 (難燃 LVL 被覆) に利用した木材に係る炭素貯蔵量の算定

区分	樹種	国産材 利用量 [m³]	木材密度 [t/m³]	炭素含有率 [w/w]	建築物に利用し た炭素貯蔵量*1 [t-CO ₂]	備考
LVL(構造用)	カラマツ	42. 3	0.542	0.493	41. 5	*2
難燃 LVL		37. 5	0. 542	0. 493	36. 7	*3
合計		79.8			78. 2	

*1:炭素貯蔵量=国産材利用量×木材密度×炭素含有量×44/12 より算出。

*2: 断面 210 mm×600 mm の LVL を、柱 (3 m) で 32 本、梁 (6 m) で 40 本使用として計算 *3: 構造用 LVL の 4 面を被覆する断面積 $[(210+120)\times(600+120)-210\times600]/10^6=0.112$ m²に、柱と梁の合計の長さ 3 m×32 本+6 m×40 本 = 336 m を乗じて計算。

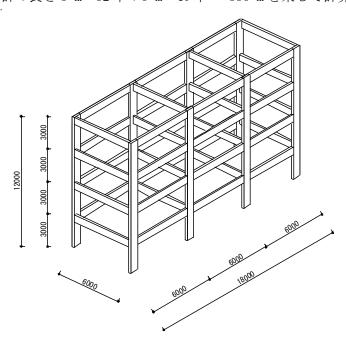


図1 算定対象の木造建築物

5. 5 被覆材 LCA のまとめ

1時間耐火の性能を持つ柱の被覆材(60 mm 厚) $1m^2$ を機能単位とした難燃 LVL 被覆材の LCA 評価を実施した。木材や難燃剤などの原料採取・製造から難燃 LVL 被覆材の製造までの 累積的な CO_2 排出量は、60.5 kg $-CO_2$ eq/ m^2 と算定された。また、この難燃 LVL 被覆材が建築物等に使われた場合の炭素貯蔵量は、 CO_2 換算で 59 kg $-CO_2$ / m^2 に相当すると試算された。

同等の機能単位を持つ強化石こうボードの CO_2 排出量は、20.0~kg- CO_2 eq/ m^2 と算定されるが、炭素貯蔵効果は持たない。

引用文献

- [1] 竹内直輝, "工場へのアンケート調査に基づく合板及び LVL の製造段階における CO2 排出量推定," 著: 第17回日本 LCA 学会研究発表会, 2022.
- [2] 産業技術総合研究所安全科学研究部門社会と LCA 研究グループ, "LCI データベース IDEA version 2.3," 2019.
- [3] 丸菱油化工業株式会社, "防炎剤/難燃剤製品情報ノンネン W2-50," [オンライン]. Available:https://marubishi.jp/wp-member/webdetail/?essid=oDoOmmhdBqTxninvZuglMzgVX9Bu1k&btncat=1. [アクセス日: 15 3 2022].
- [4] 環境省, "温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 電気事業者別排出係数一覧 2019 年度実績," 19 7 2021. [オンライン]. Available: https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r03_coefficient_rev.pdf. [アクセス日: 15 3 2022].
- [5] 環境省, "温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 電気事業者別排出係数一覧 2020 年度実績," 17 2 2022. [オンライン]. Available: https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r04_coefficient_rev.pdf. [アクセス日: 15 3 2022].
- [6] 吉野石膏株式会社, "エコリープ環境ラベル JR-AC-21006E 強化石こうボード," 1 10 2021. [オンライン]. Available: https://ecoleaf-label.jp/pdf_view.php?uuid=7a8ab991-13e7-4ad0-8f91-52fed64dfb02.pdf&filename=JR-AC-21006E_JPN.pdf. [アクセス日: 15 3 2022].
- [7] 林野庁, "建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン," 1 10 2021. [オンライン]. Available: https://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/mieruka.html. [アクセス日: 29 3 2023].

6. 1時間耐火性能の検討

LVL 被覆耐火構造の大臣認定範囲外である接合部の耐火被覆の仕方、また一般的な石膏ボード被覆耐火構造との併用の際に発生する取り合い等に関して、被覆材料・目地・充填材等を再現した耐火試験体を製作し、耐火性能を検証した。

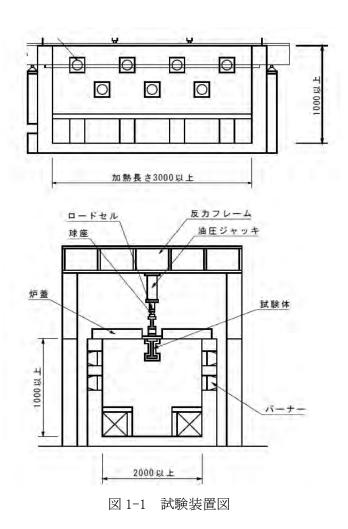
6. 1 被覆材同士の隙間が耐火性能に与える影響

6. 1. 1 はじめに

LVL 被覆1時間耐火構造(梁)の被覆のうち、被覆材同士に万が一隙間が生じた場合を想定し、隙間を設けた1時間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。

6.1.2 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3年7月30日であった。



(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 E65-F225 の基準曲げ強度 (Fb=22.95N/m²) 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点載荷のうち1か所あたり3.5kN 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℃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。

6. 1. 2 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 $6-1 \sim 6-2$ と図 $6-1 \sim 6-3$ に、製作時の様子を写真 6-1 に示した。図 6-1 の赤範囲では被覆材同士との間が 1 mm の隙間が設けた。(下記図 $6-1 \sim 6-3$ に参照)

表 6.1 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	・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 スギ ・断面寸法 105×210 ・密 度 0.43g/cm³(気乾、実測値) ・面取り寸法 3.0
被覆材	・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材 ・薬剤含浸量 130-140 kg/m³ ・厚さ 60 (厚さ 30 の板を積層)

表 6.2 試験体構成材料 (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 ・材質 鉄 ・寸法 φ4.2×L51 ・留付間隔 200 以下 [1]-2 接着剤 ・材質 ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300g/㎡ [1]-3 木栓 ・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 ・塗布量 300g/m ²

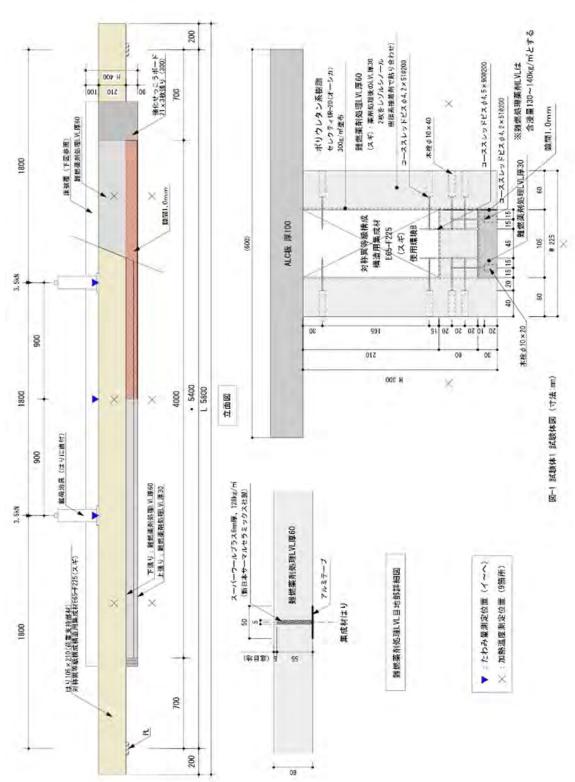


図 6-1 試験体の構造及び寸法

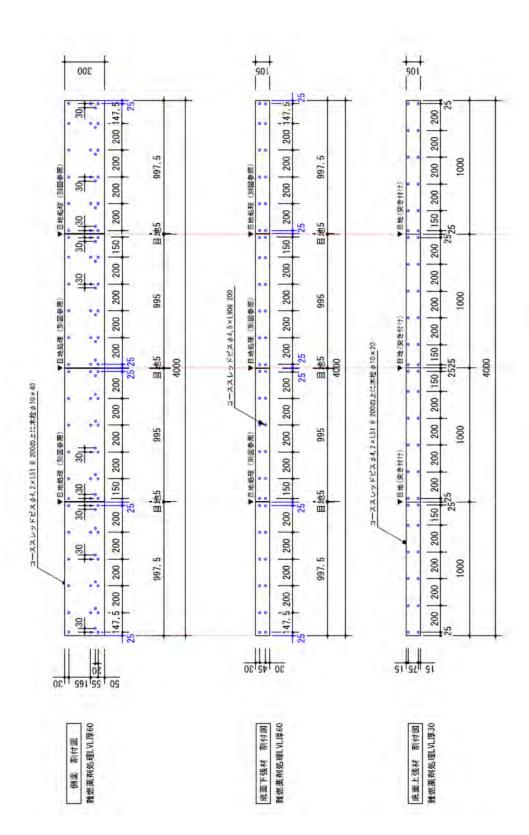


図 6-2 試験体の構造及び寸法

図-2 試験体 | 割付図 (寸法: 目)

40

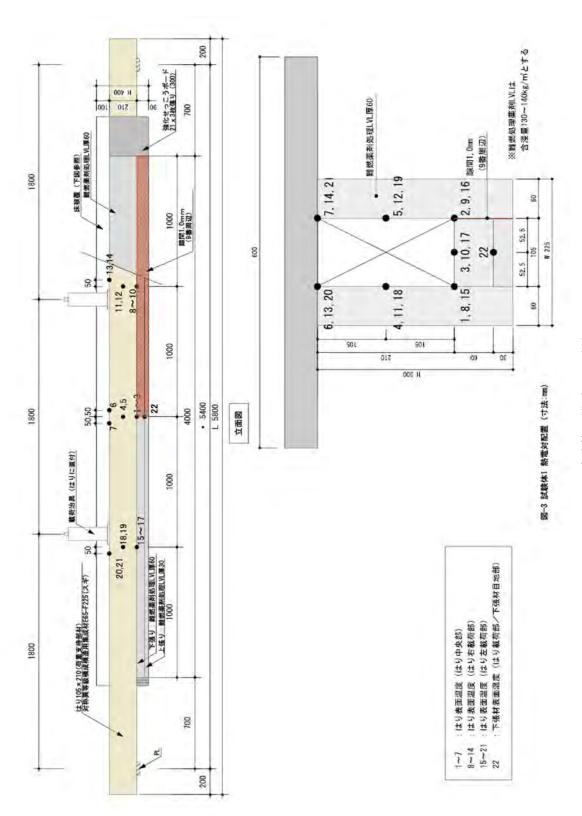
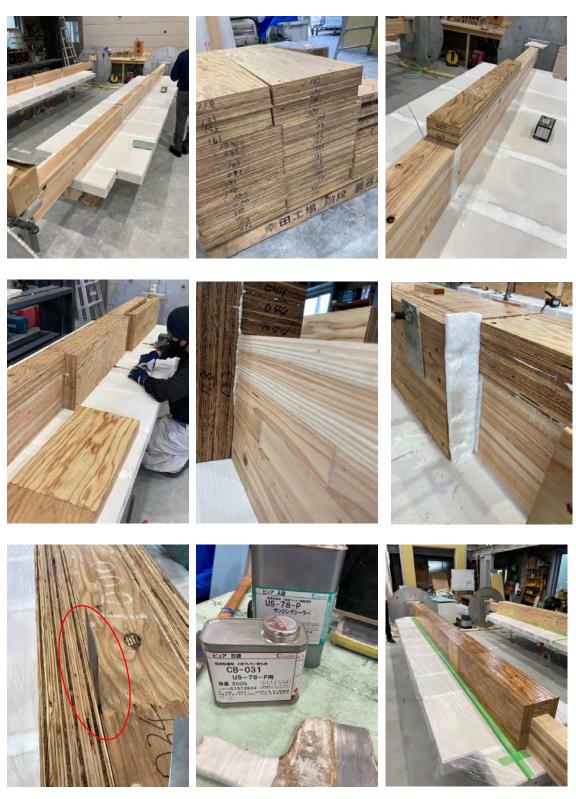


図 6-3 試験体の構造及び寸法



被覆材同士 1mm 隙 間が設けた部分

写真 6-1 製作時の様子

6.1.3 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後420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7-1、たわみ量測定結果を図7-2、熱電対の内部温度曲線を図7-3に示す。記録写真を写真7-1~7-13に示す。

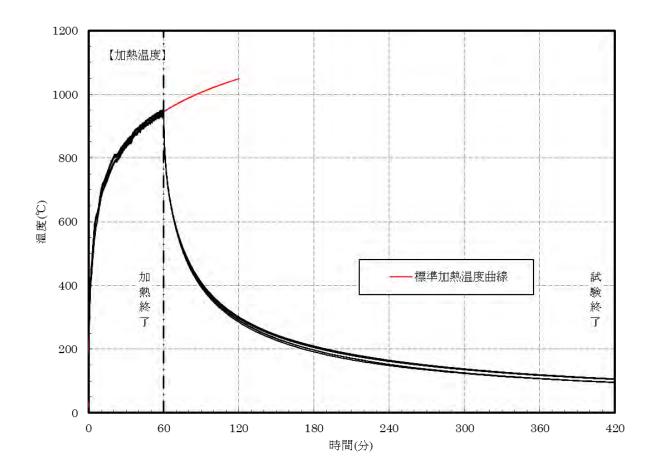


図 7-1 加熱温度測定曲線

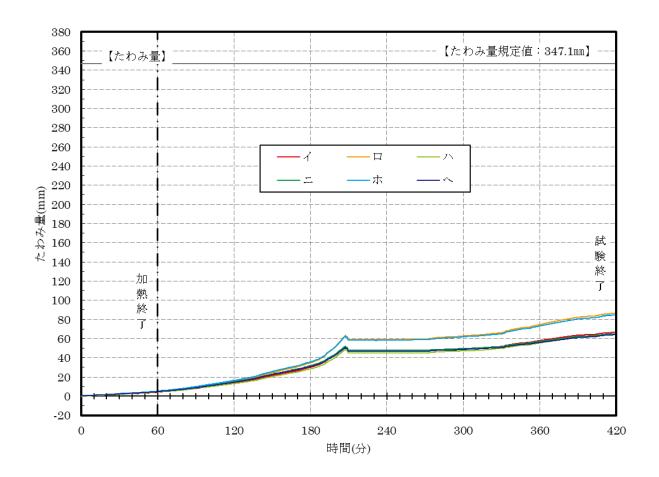
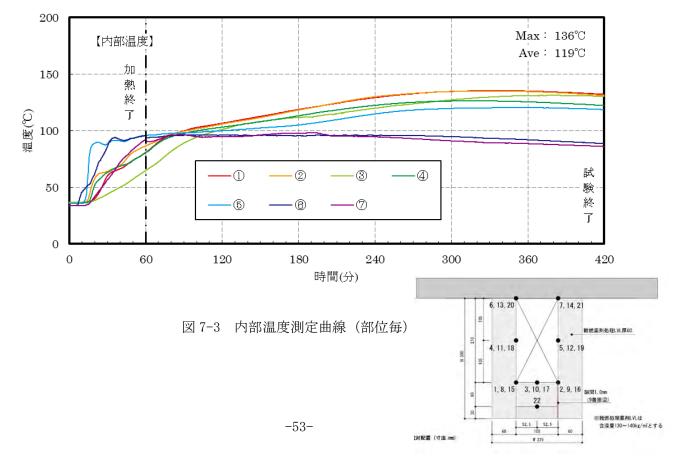
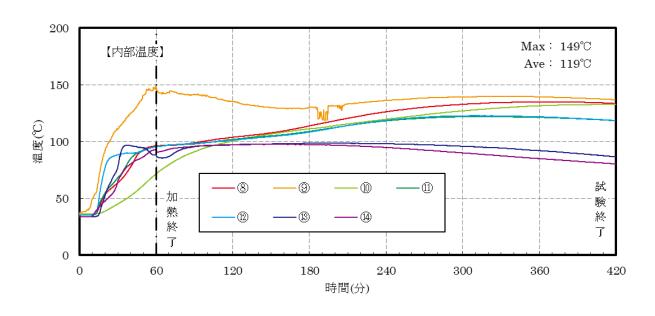


図 7-2 たわみ量測定曲線





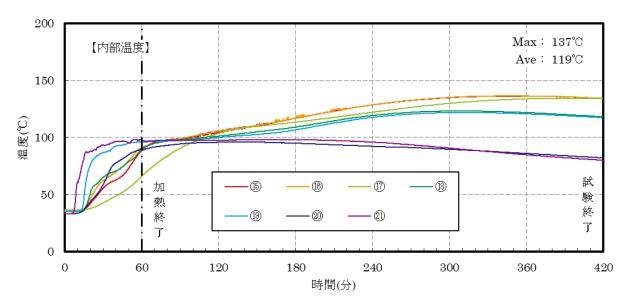
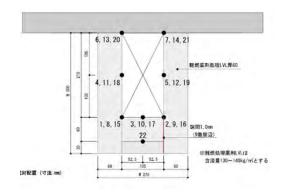


図 7-3 内部温度測定曲線(部位毎)



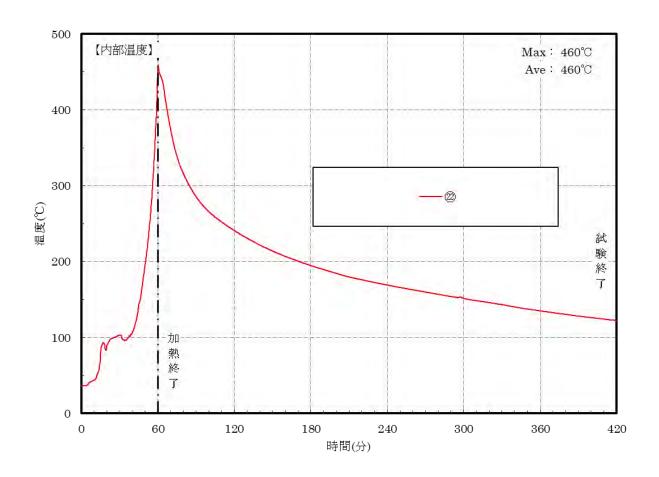


図 7-3 内部温度測定曲線(部位毎)

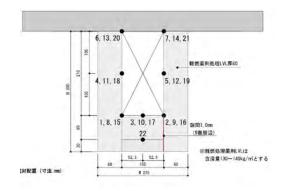




写真 7-1 試験前 側面 (赤字部分が隙間あり)



写真7-2 試験前 下面 (隙間なし)



写真7-3 試験前 下面 (隙間 1mm)



写真 7-4 端部支持状況



写真 7-5 加熱 57 分



写真 7-6 脱炉 被覆材東側



写真 7-7 脱炉 被覆材西側



写真 7-8 脱炉 被覆材下面



写真 7-9 被覆材側面(中間点)



写真 7-10 被覆材下面 (中間点)



写真 7-11 被覆材の炭化状況 (隙間なし)



写真 7-12 被覆材の炭化状況 (隙間あり⑨部分)



写真 7-13 被覆材炭化状況 (隙間部分)

(2) 考察

9時52分に加熱開始して一時間後である10時52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・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 420 分(7 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 149 \mathbb{C} (60 分)、下部の平部の最高温度は 1/4 点の 17 番で 135 \mathbb{C} (386 分)、側面の平部の最高温度は 4 番で 126 \mathbb{C} (278 分)であった。どの部位おいても炭化の恐れがある 260 \mathbb{C} 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 \mathbb{C} に対し 20 \mathbb{C} 程(隙間 1mm あり)高いことがわかった。

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、207分以降、試験荷重は曲げの長期許容応力度の半分が作用する値(P=1.3kN)まで低減させ、420分で試験終了の変位が止まらなかった。

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

認定仕様から外れるが、出隅部の被覆材同士に 1mm 隙間を設けた載荷した仕様でも、1時間耐火性能を有することがわかった。

6. 2 金物接合部の現場施工被覆材

6. 2. 1 はじめに

全国 LVL 協会が国土交通大臣認定を取得した、1 時間耐火構造の柱とはりについて、①これらの部材同士の取合い部、②これら部材と他の耐火構造部材との取合い部、③これら部材と非耐火部材との取合い部等について、耐火性能上、弱点とならない納まりやディテール、措置等を検討する。

試験体は、計11体で複数の試験体を同時に加熱することとし、(一財)日本建築総合試験 所の耐火炉にて、計4回の加熱実験(床炉3回、壁炉1回)を実施した(表6.2.1参照)。

検討項目	報告書掲載ページ	試験体概要		試験体名		実験日
①LVL被覆同士の 取り合い部		LVL被覆柱―LVL被覆はり接合部	①-1	試験体1		
	6. 2	LVL被覆柱—GB-F被覆床接合部	2-1	試験体2	床炉	1月5日
②LVL被覆-GBF被覆の 取り合い部		GB-F被覆壁―LVLはり接合部	2 -2	試験体3		
	6. 4	LVL被覆柱・はり一GB-F被覆壁接合部	2 -3	試験体7	壁炉	1月28日
	6. 3	LVL被覆柱・はり一CLT耐震壁150厚	② 1	試験体4	床炉 床炉 	1月7日 2月21日
③LVL被覆-非耐火部材		LVL被覆柱・はり一CLT耐震壁90厚	3-1	試験体5		
(水平力負担部材)の 取り合い部		LVL被覆柱・はり一筋交い	③-2	試験体6		
		LVL被覆柱・はり一筋交い	3-2	試験体6再		
④その他	6. 5	LVL被覆柱一鉄骨梁接合部	4 -1	試験体8		
		LVL被覆はり設備配管貫通部	4 -2	試験体9		
		LVL被覆の目地部(告示被覆)の措置	4)-3	試験体10		

表 6.2.1 試験体の一覧(於:一般財団法人 日本建築総合試験所)

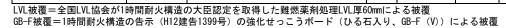




写真 6.2.1 床炉への試験体設置状況

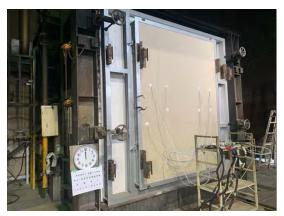


写真 6.2.2 壁炉への試験体設置状況



写真 6.2.3 試験体 1 の全景



写真 6.2.4 試験体 2 の全景



写真 6.2.5 試験体 3 の全景



写真 6.2.6 試験体 4 の全景



写真 6.2.7 試験体 5 の全景



写真 6.2.8 試験体 6 の全景



写真 6.2.9 試験体 6 再の全景



写真 6.2.10 試験体 7 の全景



写真 6.2.11 試験体 8 の全景



写真 6.2.12 試験体 9 の全景



写真 6.2.13 試験体 10 の全景

6. 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、一般財団法人日本建築総合試験所の床炉を使用し、一般財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」に準拠して加熱を行った。試験実施日は令和4年1月5日であった。

(1) 加熱方法

IS0834 に規定する標準加熱曲線に準拠した 1 時間加熱を行った。その後、すべての試験体の内部温度の低下を確認し、4 時間 50 分放置後に脱炉を行った。

(2) 測定項目

①試験体内部温度

線径 0.65mm の K 型 (CA) 熱電対を用いて測定した。

②炉内温度

線径 3.2mm のシース型熱電対を用い、試験体表面から 100mm 離れた位置の温度を 測定した。

③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

④その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

6. 2. 3 試験体概要

柱断面寸法は $150 \times 150 \text{mm}$ 、はり断面寸法は $105 \times 210 \text{mm}$ とし、接合は金物接合とした。柱・はりはいずれもスギ E65 - F255 2種 の異等級構成構造用集成材を構造部材とし、加熱試験を実施した。

加熱試験体の構成部材、組立使用などの試験体仕様を図 $6-1\sim6-3$ に製作時の様子を写真 $6-1\sim6-3$ に示した。今回の実験では、試験体① \sim ③を床炉で 3 体同時加熱した。床炉への試験体の配置状況を図 5-1 に示す。

試験体①

LVL 被覆柱—LVL 被覆梁接合部

厚さ 60mm の LVL 被覆をした柱と梁の接合部を再現し、取り合い部分の隙間の有無 (0mm と 15mm) と、隙間の充填措置の効果を検討した。

試験体②

LVL 被覆柱—GBF 被覆床接合部

厚さ 60mm の LVL 被覆をした柱と、1 時間耐火構造の告示の床(強化せっこうボード総厚 46mm)の取り合い部の納まりについて検討した。

試験体③

GBF 壁—LVL 被覆梁接合部

厚さ 60mm の LVL 被覆をした梁と、1 時間耐火構造の告示の壁(強化せっこうボード総厚 42mm)の取り合い部について検討した。その際、梁下面の LVL 被覆は省略をした。

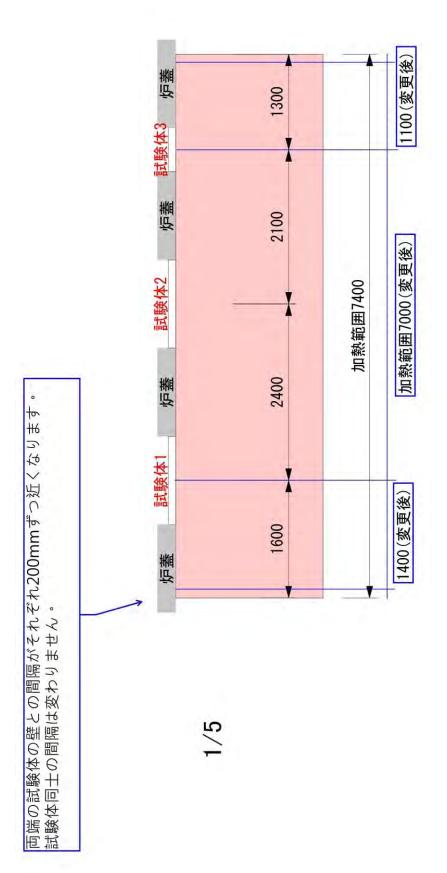
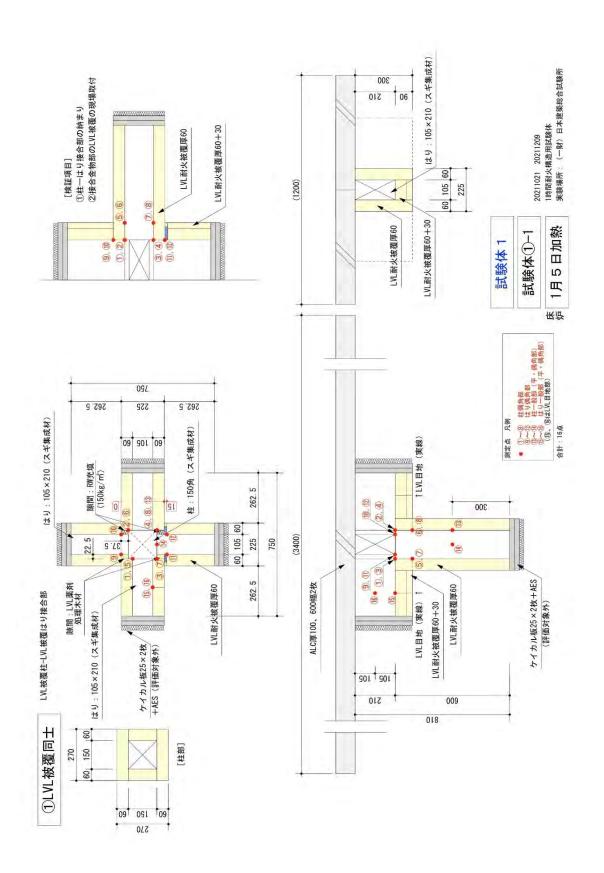
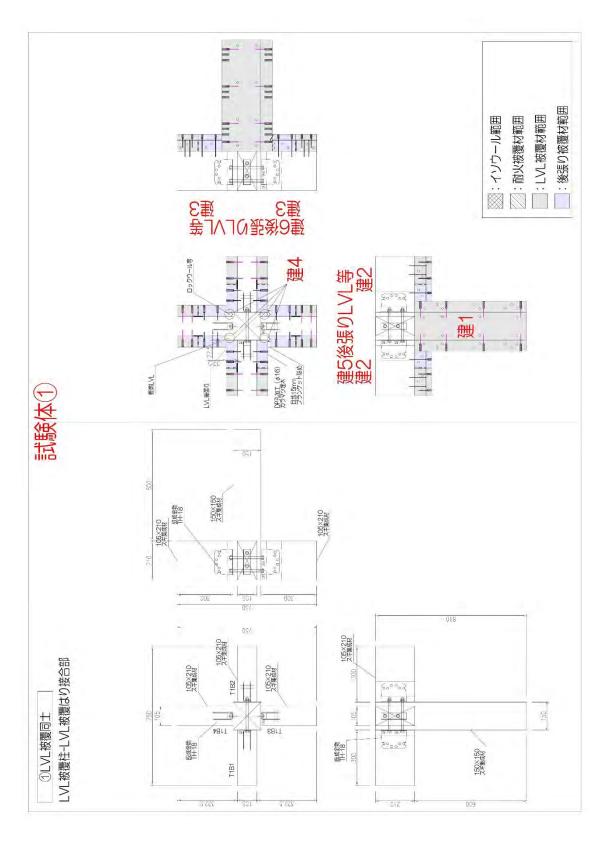
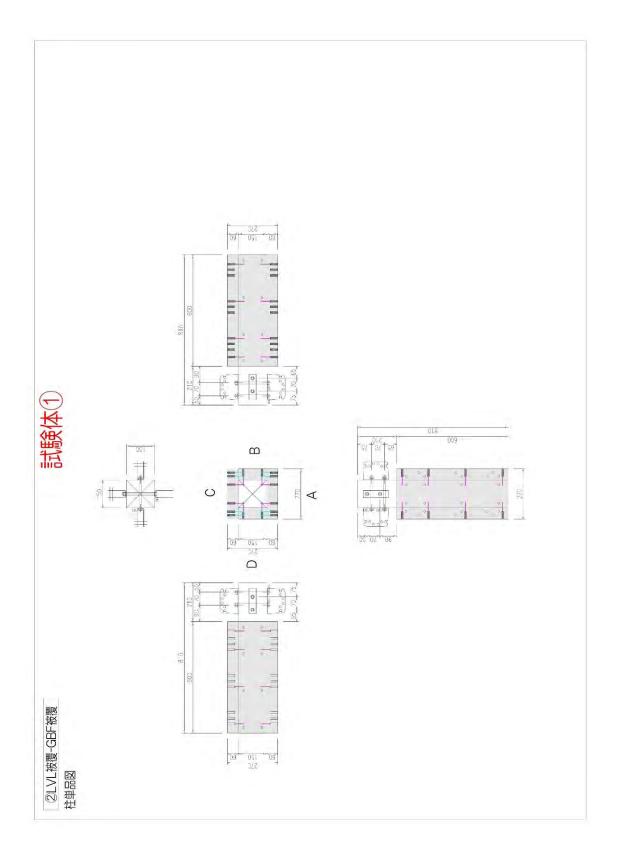
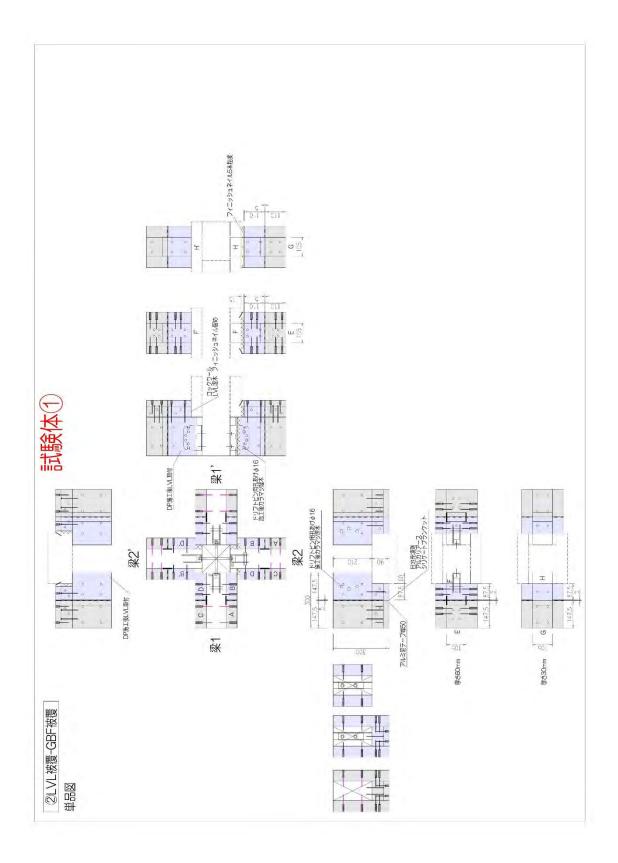


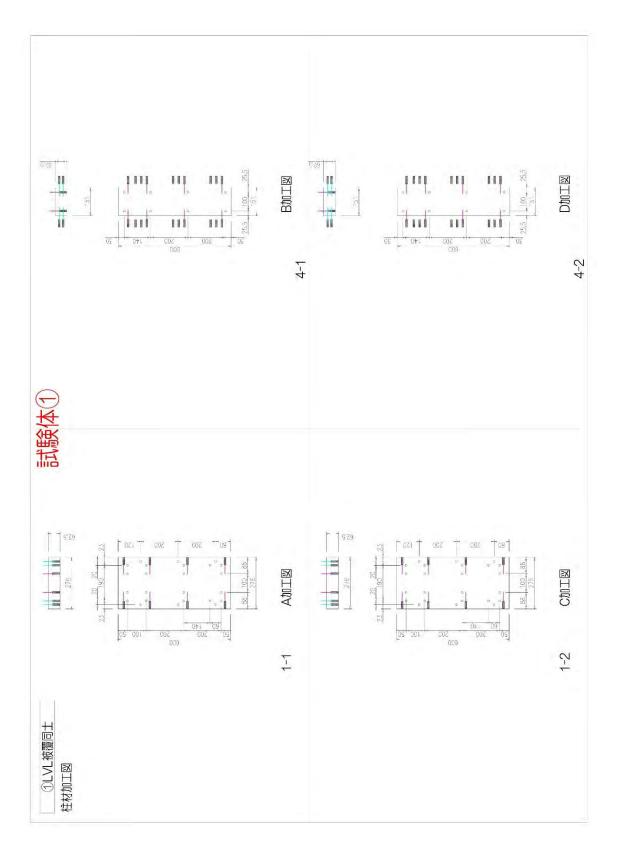
図 5-1 試験体を炉内設置図

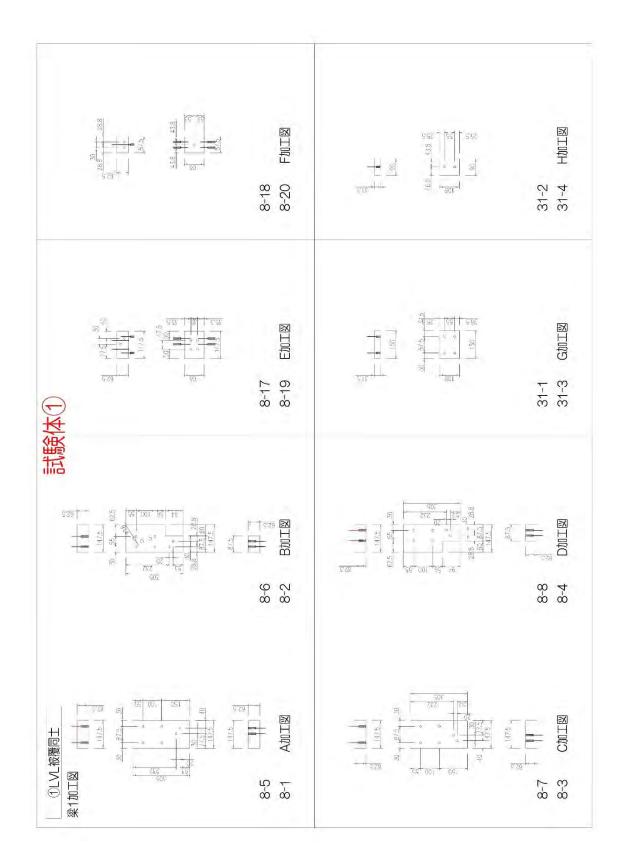


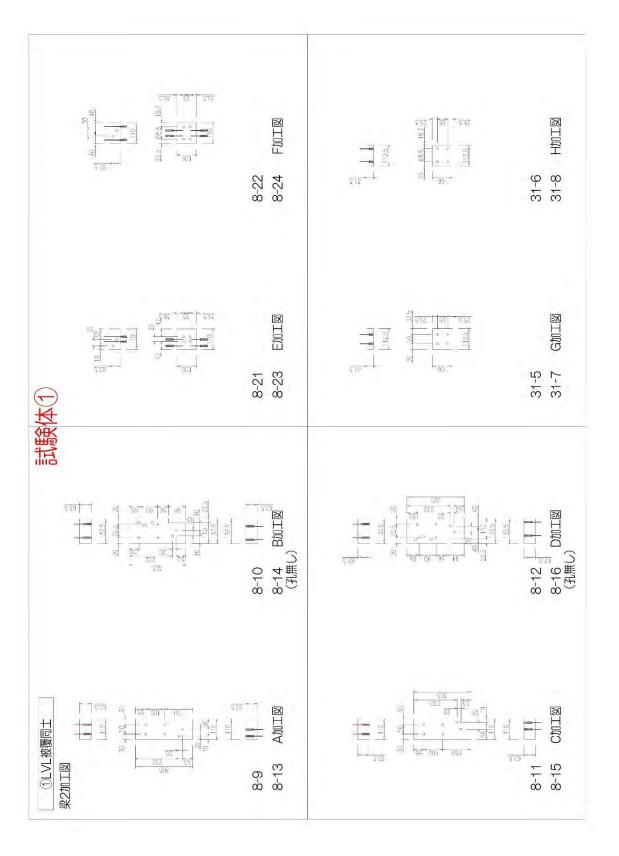


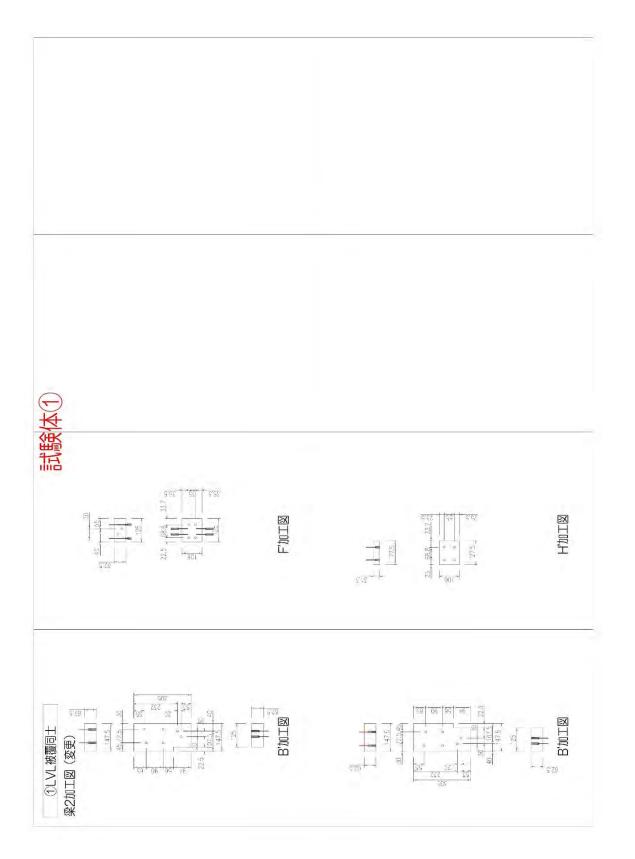


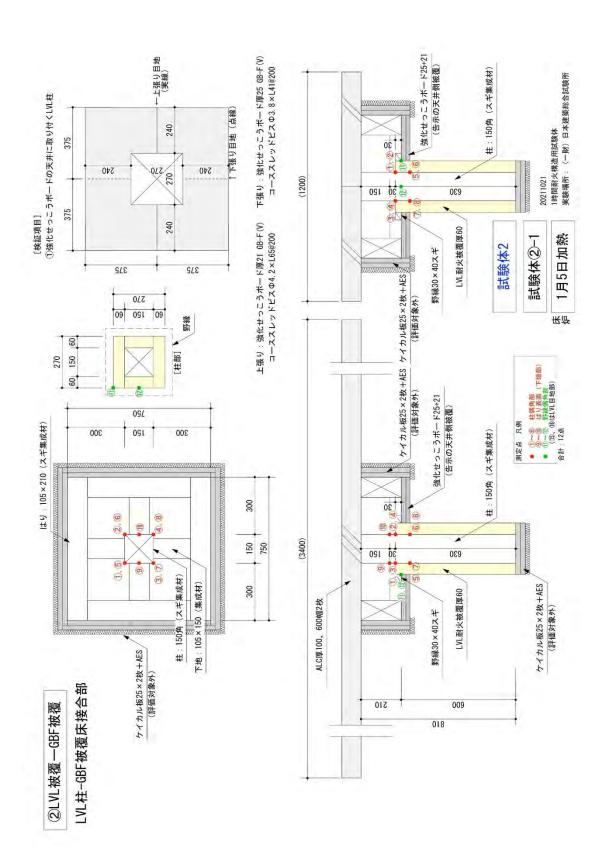


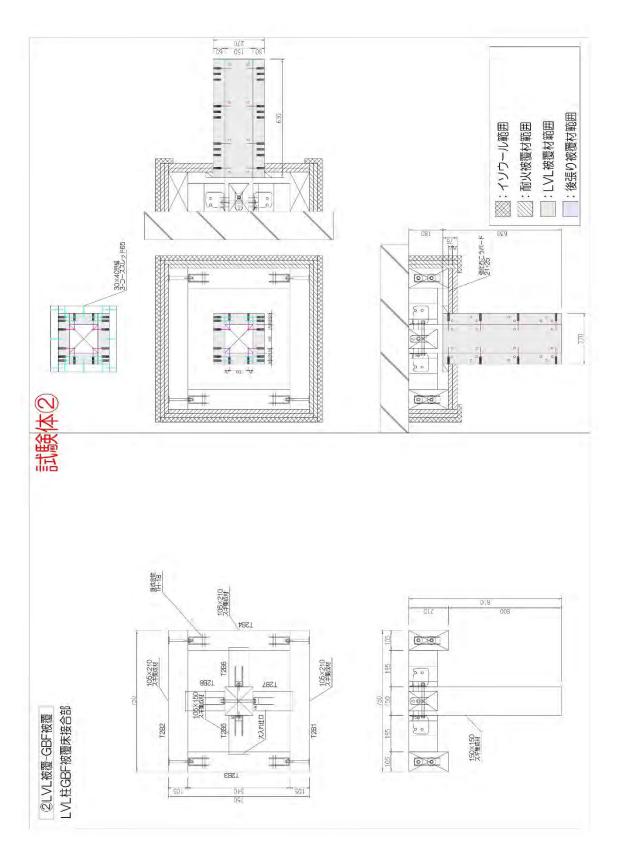


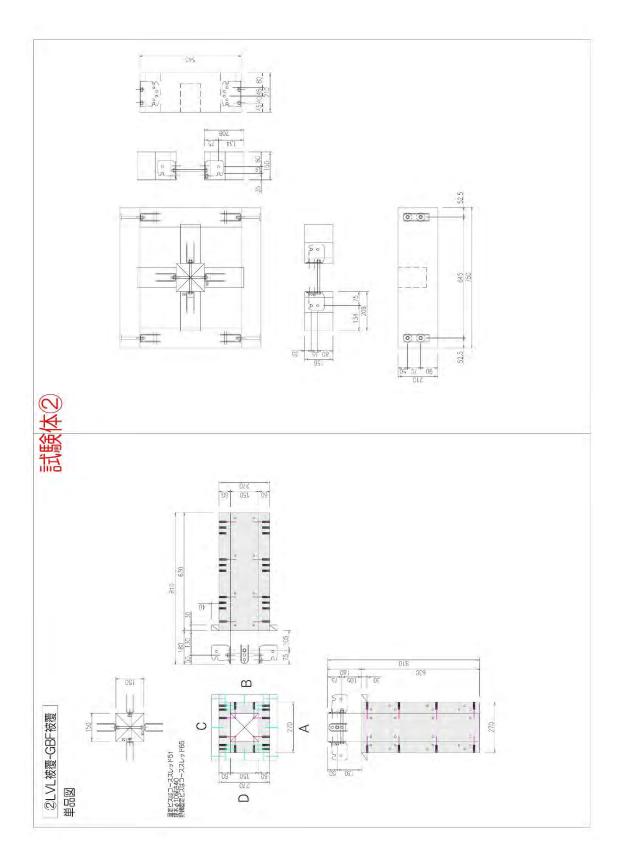


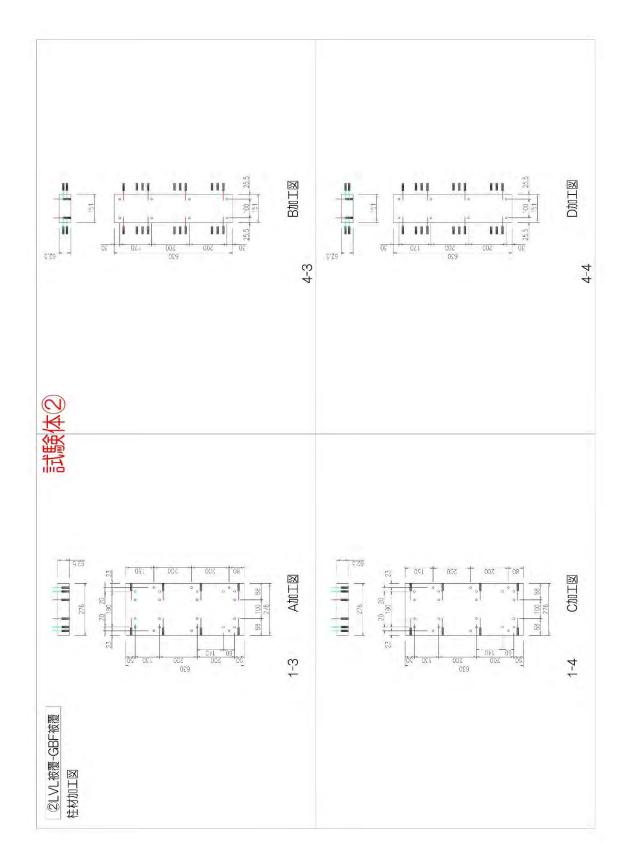


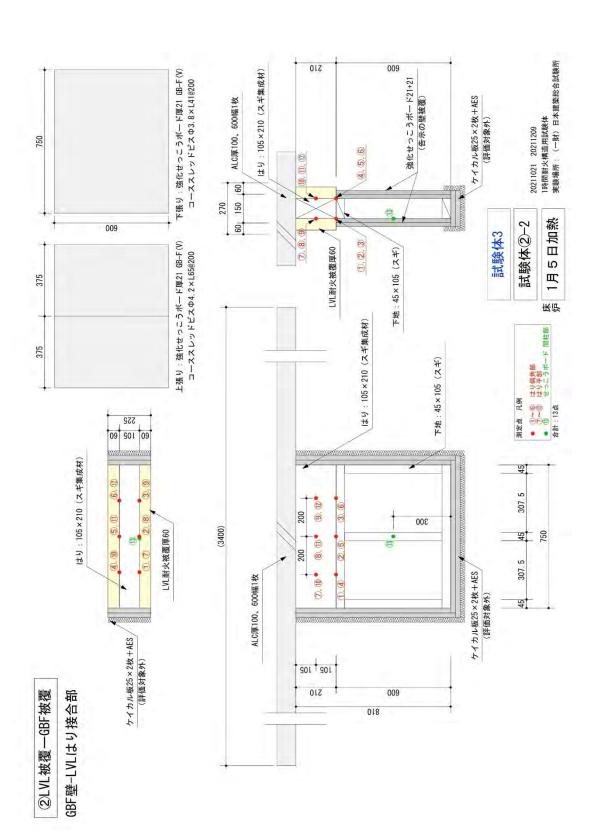


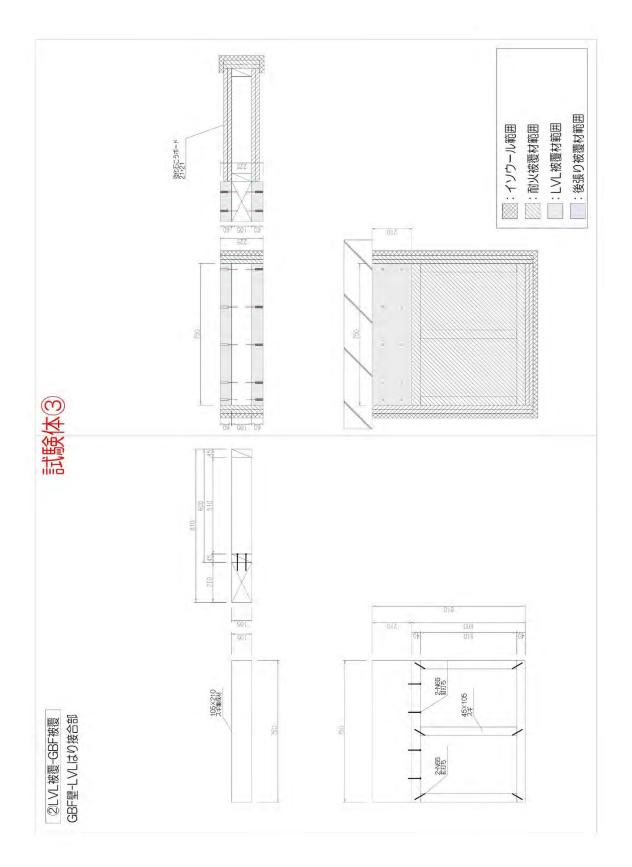












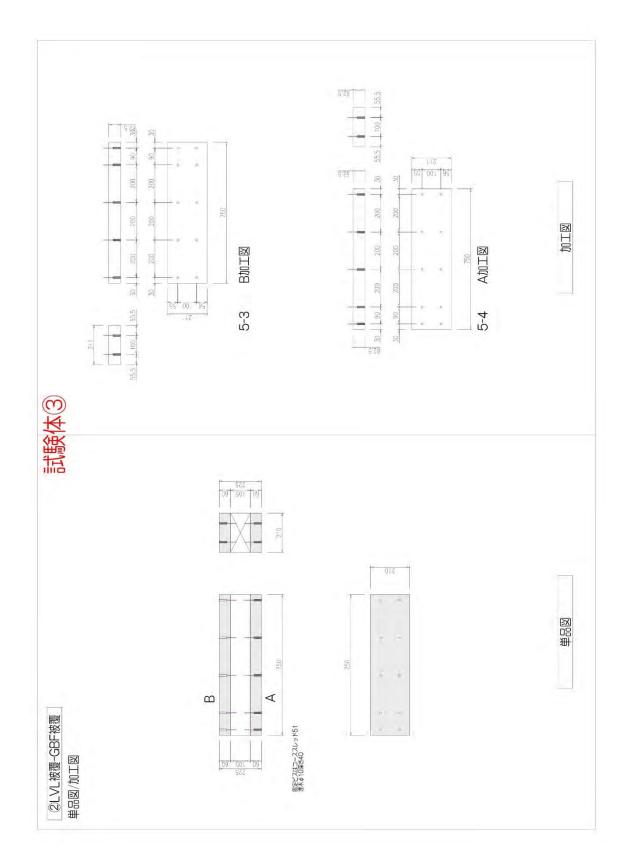




写真 6-1 製作時の様子 (試験体①)











写真 6-1 製作時の様子 (試験体①)

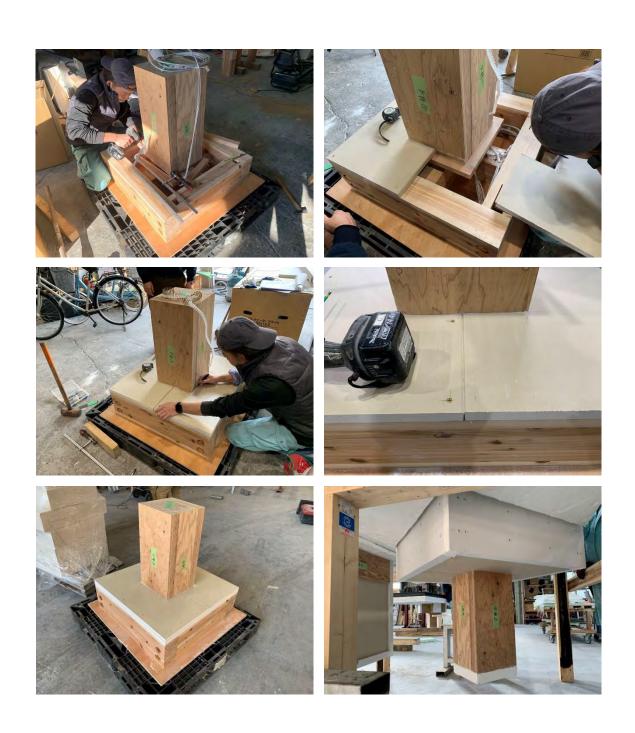


写真 6-2 製作時の様子 (試験体②)

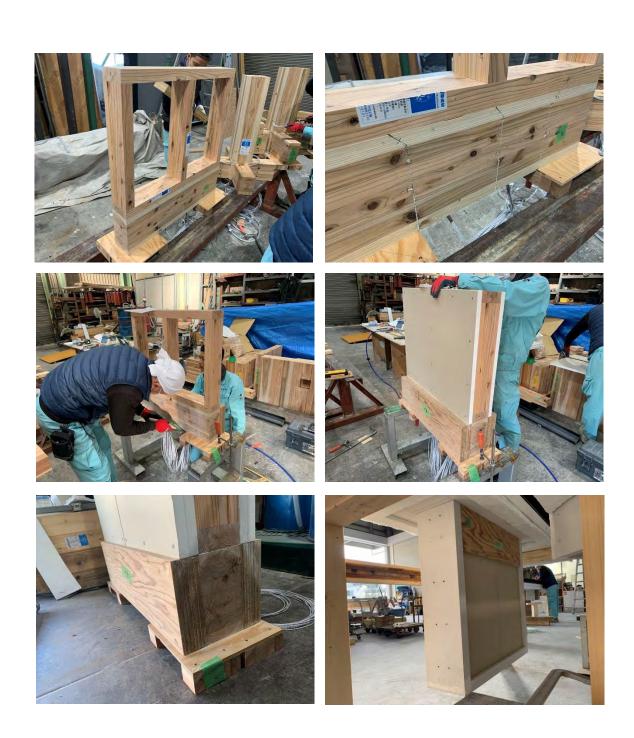


写真 6-3 製作時の様子 (試験体③)

6.2.4 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後 350 分で各計測点の温度の下降を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図 7-1、熱電対の内部温度曲線を図 7-2~7-4 に示す。記録写真を写真 7-1~7-28 に示す。

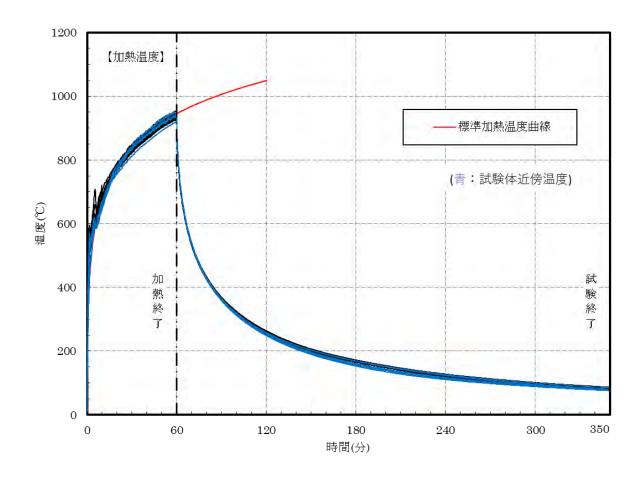


図 7-1 加熱温度測定曲線

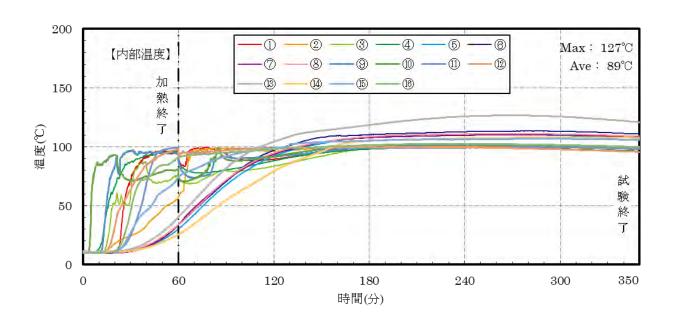


図 7-2 内部温度測定曲線 (試験体①) (部位毎)

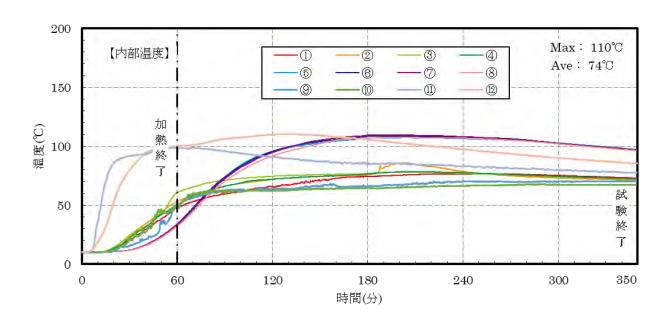


図 7-3 内部温度測定曲線 (試験体②) (部位毎)

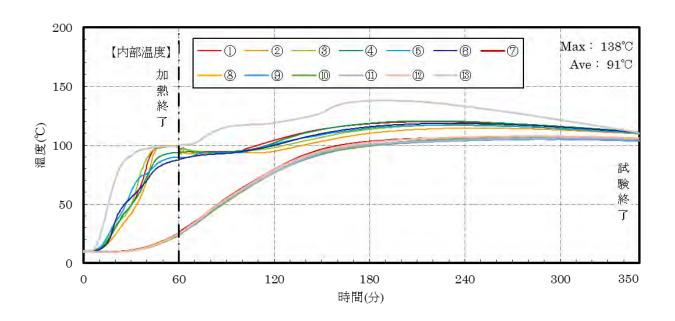


図 7-4 内部温度測定曲線(試験体③)(部位毎)



写真 7-1 試験前 試験体①



写真 7-2 試験前 試験体②



写真 7-3 試験前 試験体③



写真 7-4 試験体 3体 炉内に設置した状況

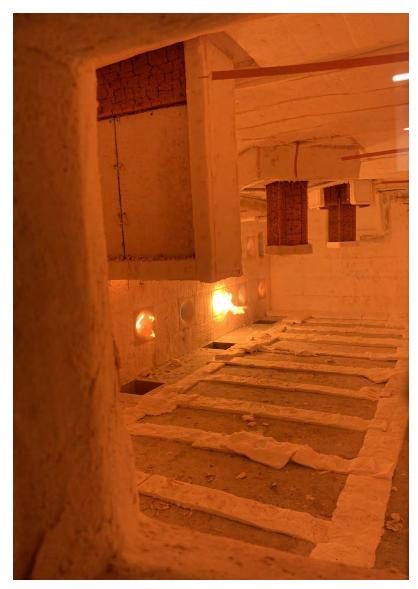


写真 7-5 加熱 31 分

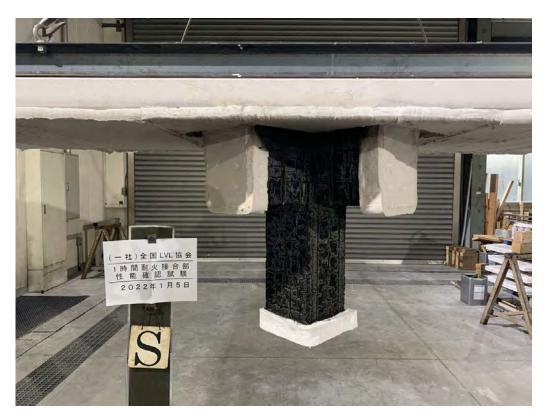


写真 7-6 脱炉 試験体① 南側



写真 7-7 脱炉後 試験体① 上面状況



写真 7-8 試験体① 被覆材上面 梁炭化状況



写真 7-9 試験体① 解体中



写真 7-10 試験体① 接合部内部状況 (CD 面)



写真 7-11 試験体① 接合部内部状況



写真 7-12 試験体① 接合部 梁側状況



写真 7-13 試験体① 接合部 梁側状況 (AB 面)



写真 7-14 試験体① 梁断面 切断作業



写真 7-15 試験体① 梁断面 炭化状況 (BD 面)



写真 7-16 試験体① 柱断面 切断



写真 7-17 試験体① 柱断面 炭化状況



写真 7-18 脱炉 試験体② 南側



写真 7-19 試験体② 石こうボード解体



写真 7-20 試験体② 石こうボード解体後 内部状況



写真 7-21 試験体② 石こうボード被覆部 木部状況



写真 7-22 試験体② 被覆材炭化状況



写真 7-23 脱炉 試験体③ 南側

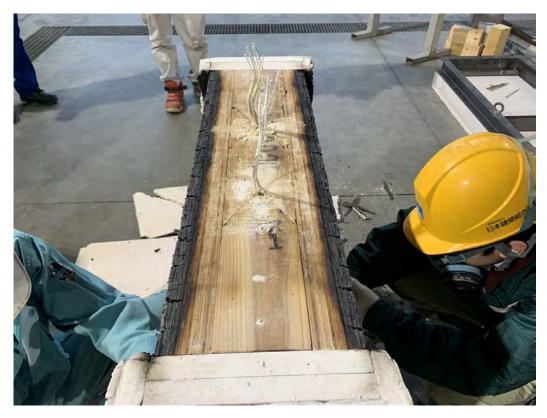


写真 7-24 試験体③ 被覆材 上面 炭化状況

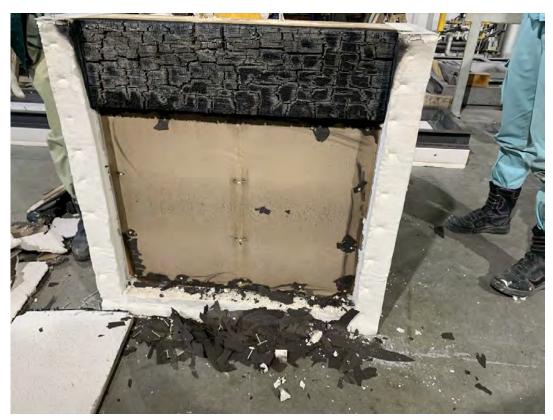


写真 7-25 試験体③ 石こうボード解体後



写真 7-26 試験体③ 壁—梁 内部状況



写真 7-27 試験体③ 被覆材 下部 炭化状況



写真 7-28 試験体③ LVL 被覆梁断面

(2) 考察

試験体①~③のすべてにおいて、主要構造部の柱・はりの表面温度は最高で約130℃以下に納まり、解体後の主要構造部表面に炭化痕も見当たらず、1時間耐火構造としての耐火性能を確保した。

試験体①

LVL 被覆柱—LVL 被覆梁接合部

図 7-2 によると、主要構造部の柱・はり表面の温度は、加熱開始 10~30 分にかけて、LVL 被覆の目地部裏面が約 90~100 ℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 130 ℃にとどまった。実験で採用した目地部の措置(隙間 0mm 突きつけ、隙間 15mmAES ウール+埋め木)、柱・はり入隅部の措置(ロックウール 220kg/㎡充填、または、LVL 被覆埋め)について、1 時間耐火性能に関して有効な措置であることが明確になった。

試験体②

LVL 被覆柱—GBF 被覆床接合部

図 7-3 によると、主要構造部の柱表面温度は、加熱開始 10~30 分にかけて、LVL 被覆と床下面被覆の留め付け下地(野縁)との取り合い部の温度(熱電対⑪⑫)が約 100℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 110℃にとどまった。1 時間耐火構造床の告示仕様と LVL 被覆の柱の取り合い部について、柱の四周に野縁を取り付け、その野縁に対して、隙間なく強化せっこうボード総厚 46mm(試験体は下張り 25mm、上張り 21mm)を張ることは、1 時間耐火性能に関して有効な措置であることが明確になった。

試験体③

GBF 壁—LVL 被覆梁接合部

図 7-4 によると、主要構造部のはり表面温度は、加熱開始 10~40 分にかけて、LVL 被覆裏面の温度が緩やかに約 100℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 120℃にとどまった。1 時間耐火構造壁の告示仕様と LVL 被覆のはりの取り合い部について、壁上部(はり下端)に木下地を設けて、隙間なく強化せっこうボード総厚 42mm(試験体は下張り 21mm、上張り 21mm)を張ることは、1 時間耐火性能に関して有効な措置であることが明確になった。なお、壁部の 1 時間耐火構造の告示(強化せっこうボード総厚 42mm)仕様の主要構造部表面温度の最高は 138℃であり、LVL 被覆の場合よりも若干高かった。

本試験体③では、はり下面のLVL被覆を省略したが、この納まりであれば、1時間耐火性能上の問題はないことを確認した。

6.3 表しの耐力壁との取り合い(筋交い、CLT)

6.3.1 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、一般財団法人日本建築総合試験所の床炉を使用し、一般財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」に準拠して加熱試験を行った。試験実施日は令和4年1月7日であった。

(1) 加熱方法

IS0834 に規定する標準加熱曲線に準拠した 1 時間加熱を行った。その後、ほぼすべての 試験体の内部温度(試験体 6 (筋交い)の 1 カ所のみ上昇中であった)の低下を確認し、10 時間放置後に脱炉を行った。

(2) 測定項目

①試験体内部温度

線径 0.65mm の K型 (CA) 熱電対を用いて測定した。

②炉内温度

線径 3.2mm のシース型熱電対を用い、試験体表面から 100mm 離れた位置の温度を 測定した。

③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

④その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

6.3.2 試験体概要

柱断面寸法は 150×150 mm、はり断面寸法は 150×210 mm とし、接合は金物接合とした。柱・はりはいずれもスギ E65-F255 2種 の異等級構成構造用集成材を構造部材とし、加熱試験を実施した。

加熱試験体の構成部材、組立使用などの試験体仕様を図 6-1~6-3 に製作時の様子を写真 6-1 に示した。今回の実験では、試験体①~③を床炉で 3 体同時加熱した。床炉への試験体の配置状況を図 5-1 に示す。

試験体④

LVL 被覆柱・はり—CLT 耐震壁 (150mm 厚)

LVL 被覆の柱・はりの接合部に引きボルト用いたスギ CLT 耐震壁 (150mm) が取り付く場合に、CLT の 1 時間以降の燃焼が LVL 被覆に与える影響を把握した。

試験体⑤

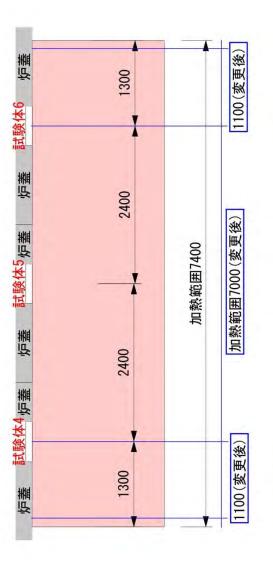
LVL 被覆柱・はり—CLT 耐震壁 (90mm 厚)

LVL 被覆の柱・はりの接合部に引きボルト用いたスギ CLT 耐震壁 (90mm 厚) が取り付く場合に、CLT の 1 時間以降の燃焼が LVL 被覆に与える影響を把握した。なお、試験体④と⑤の相違点は、CLT 耐震壁の厚さであるが、厚さ 90mm の場合は、1 時間の加熱中にほぼ燃え尽きて、脱落が早々に起こるであろう仕様、厚さ 150mm の場合は、加熱 1 時間以降(放置中)も燃焼継続する仕様である。そのため、厚さ 150mm のほうが、加熱 1 時間以降(放置中)に LVL 被覆に与える影響が大きくなると予想される。

試験体⑥

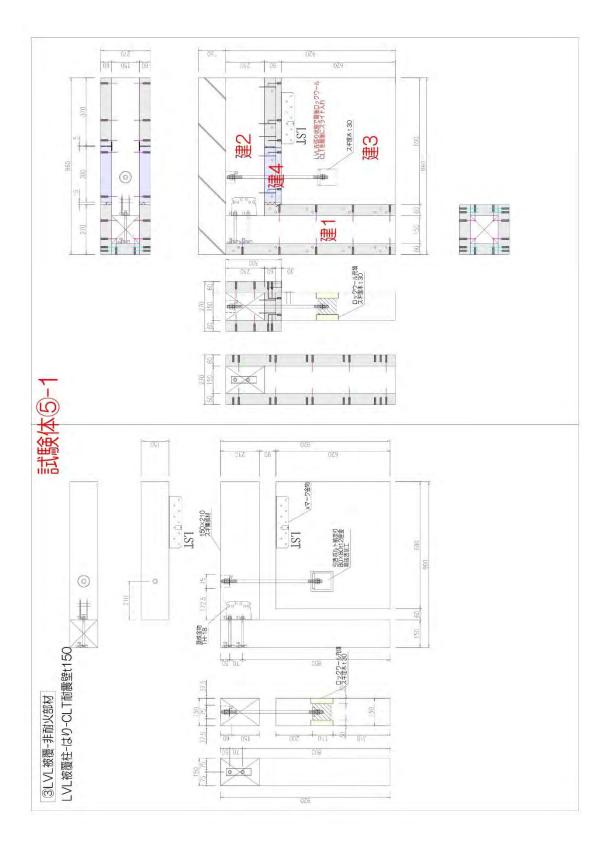
LVL 被覆柱・はり一筋交い

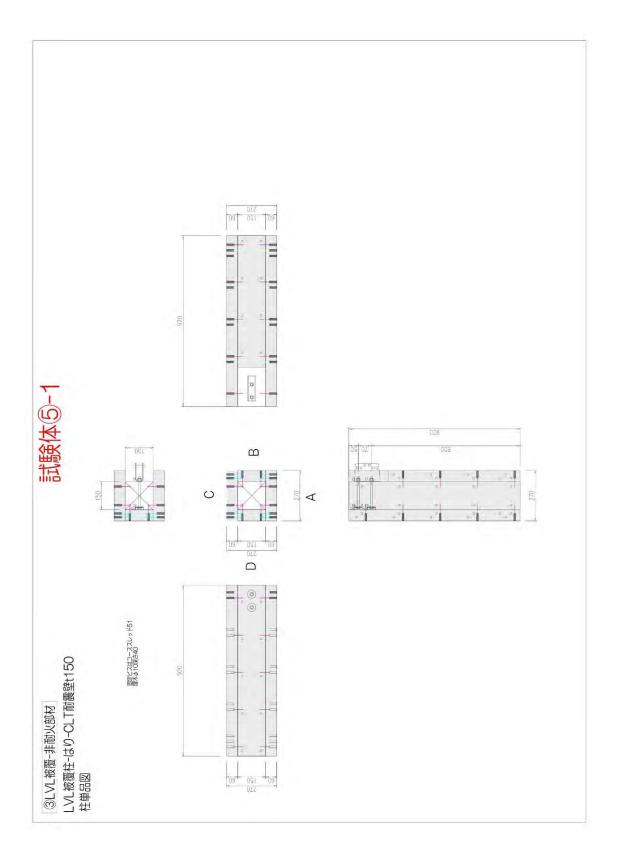
LVL 被覆の柱・はりの接合部に鋼板挿入ドリフトピン接合でカラマツ集成材の筋交いが取り付く場合に、筋交いの1時間以降の燃焼がLVL 被覆に与える影響を把握した。

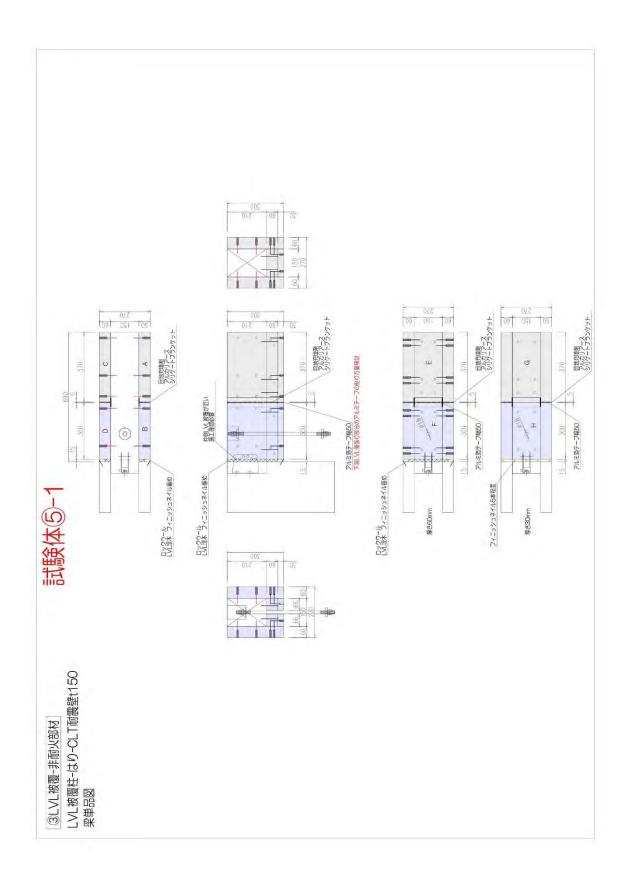


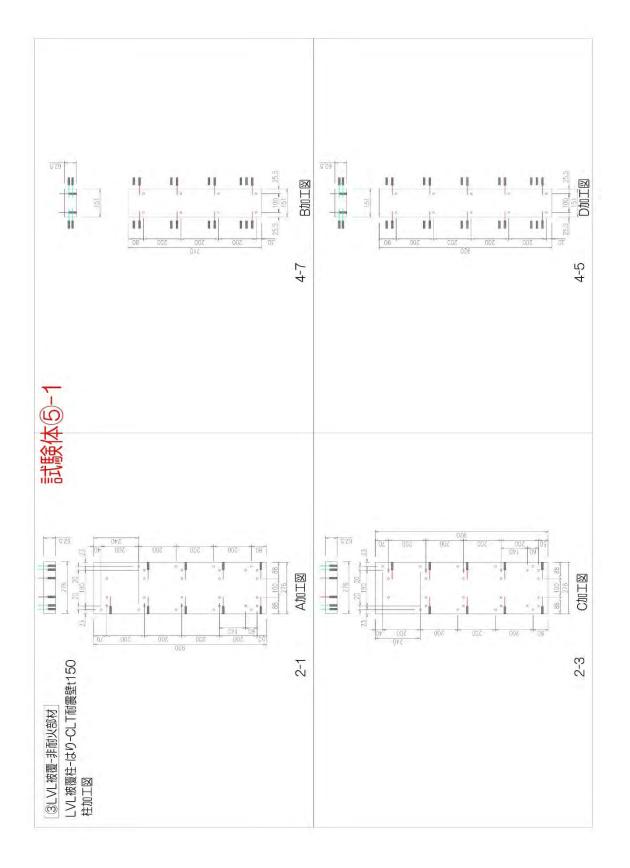
1/

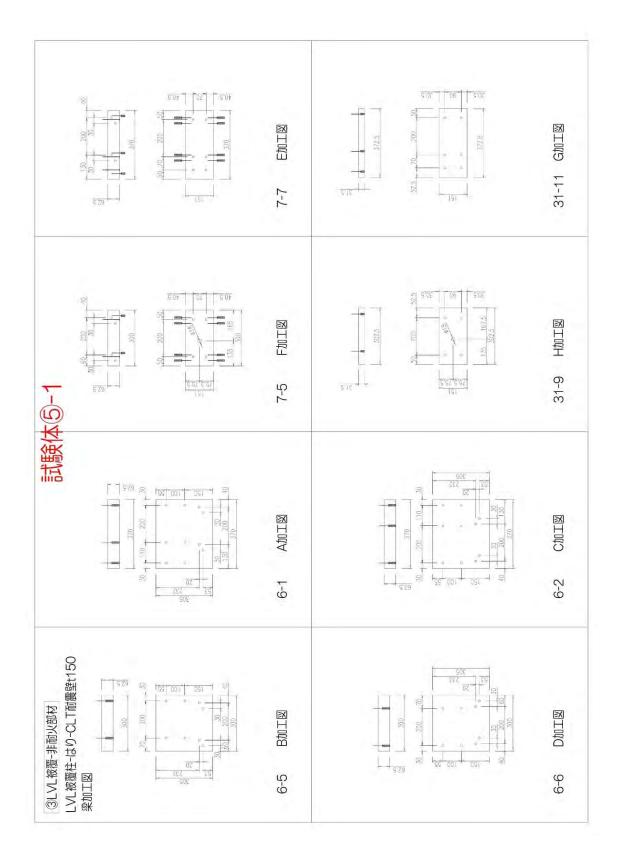
図 6-1 試験体の構造及び寸法

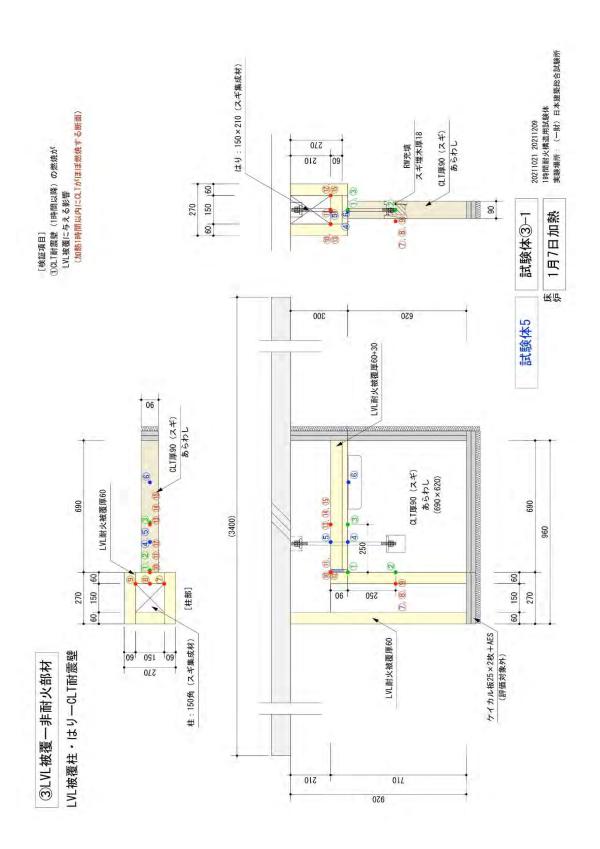


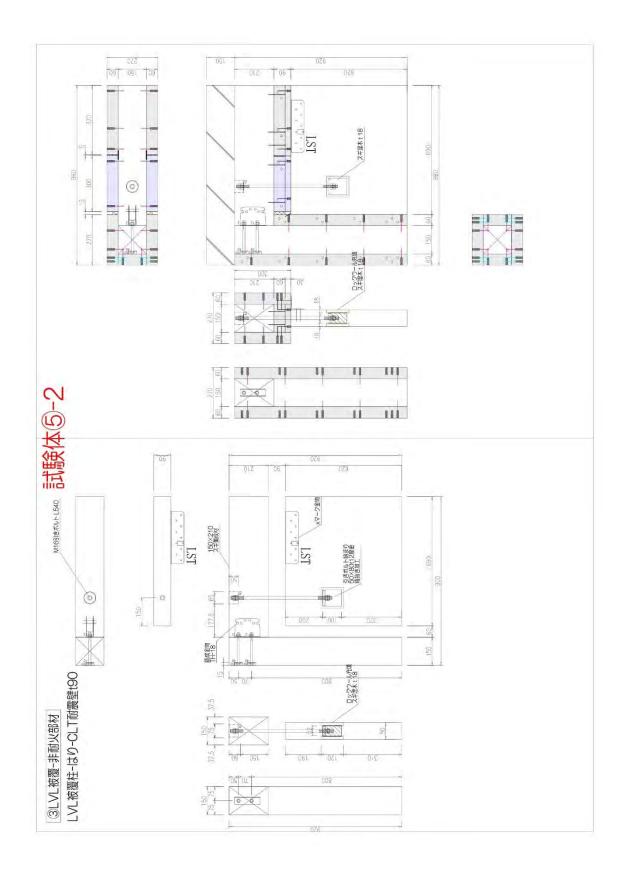


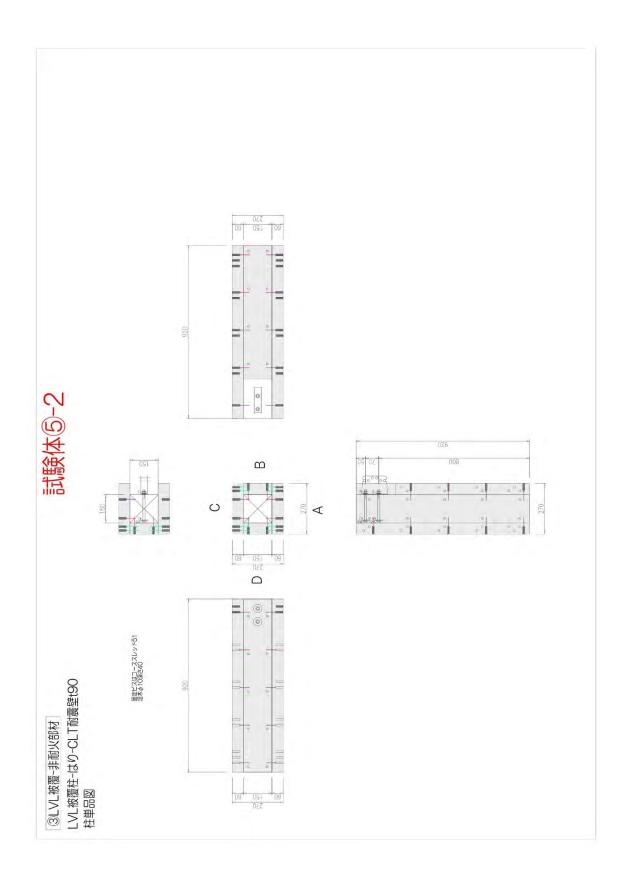


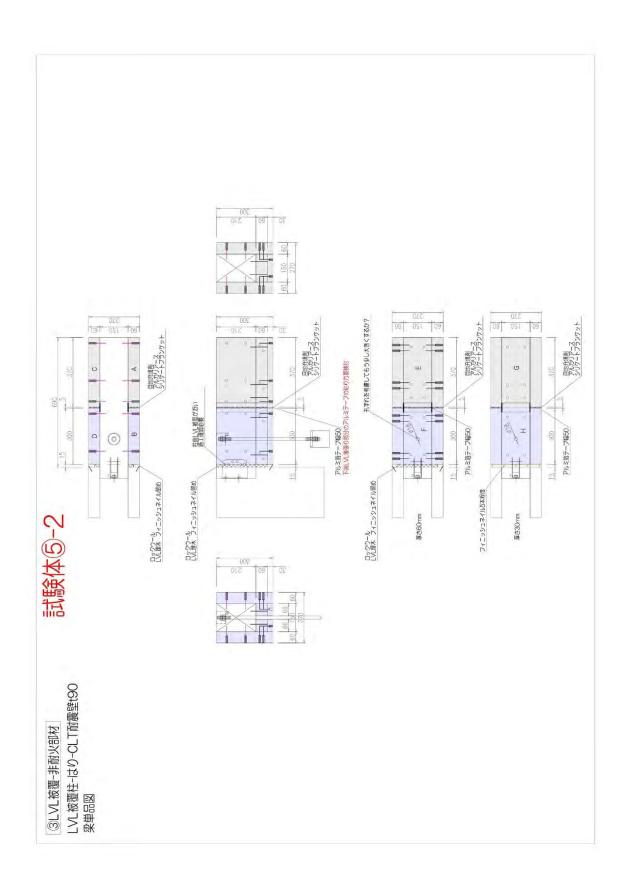


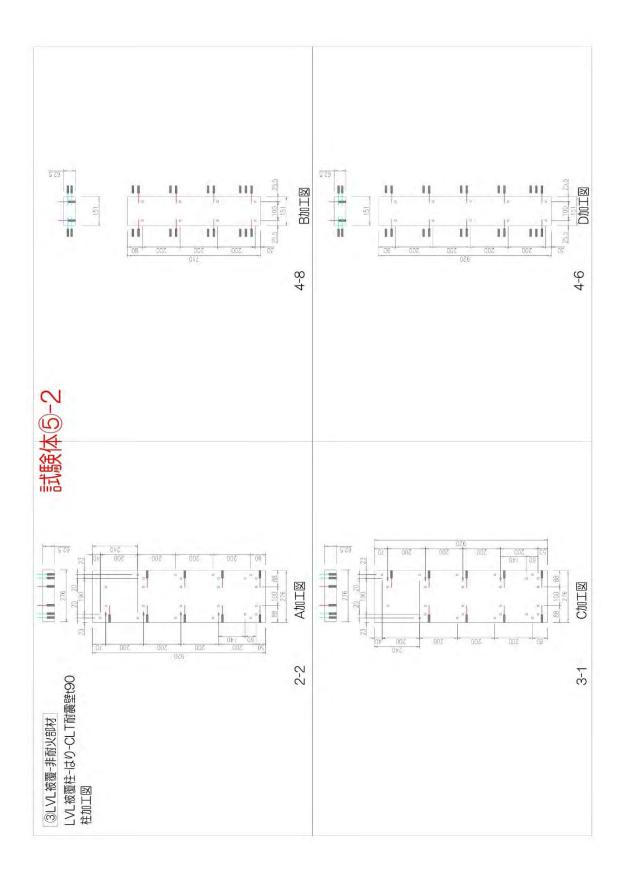


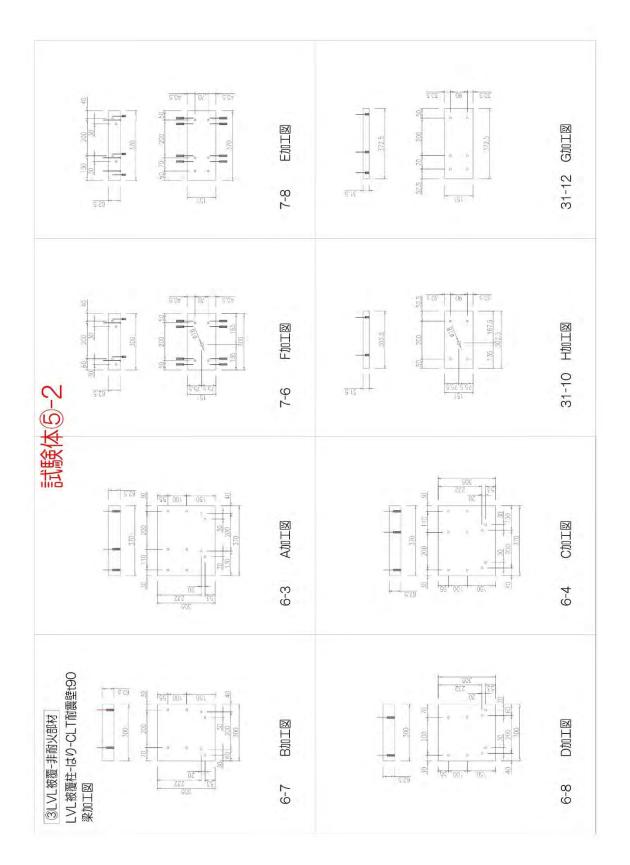


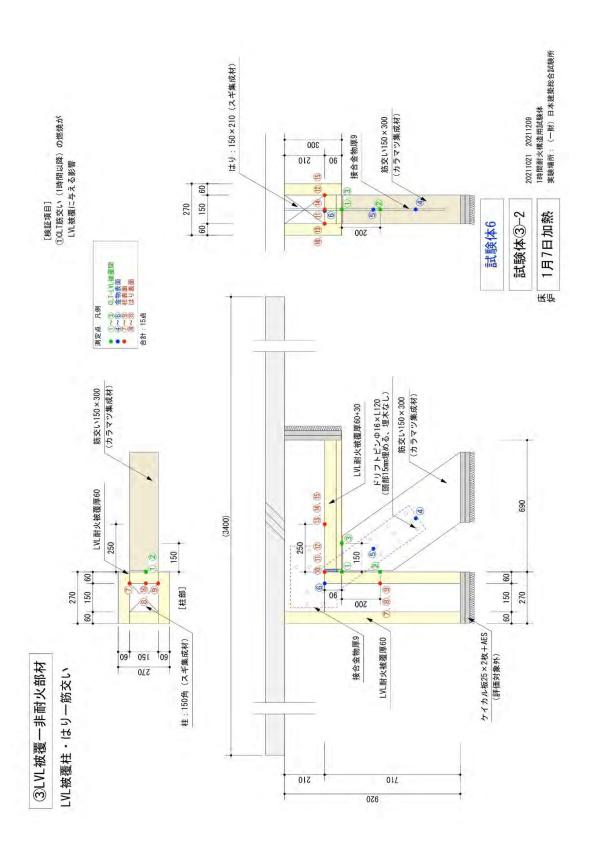


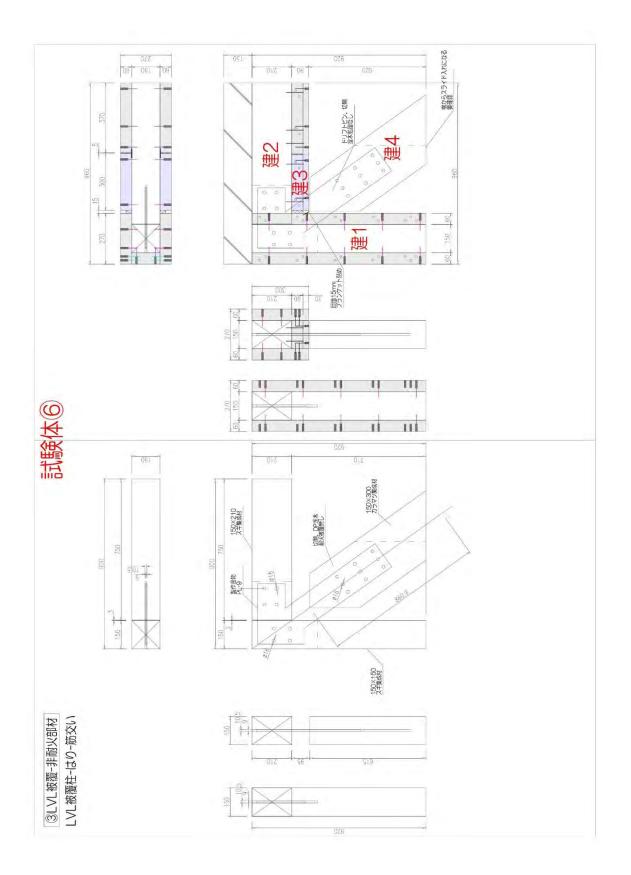


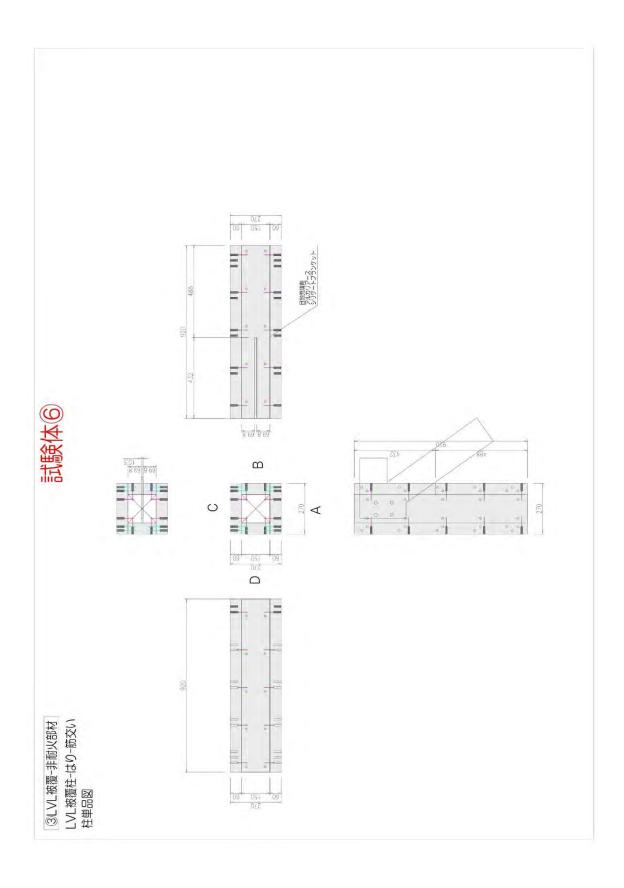


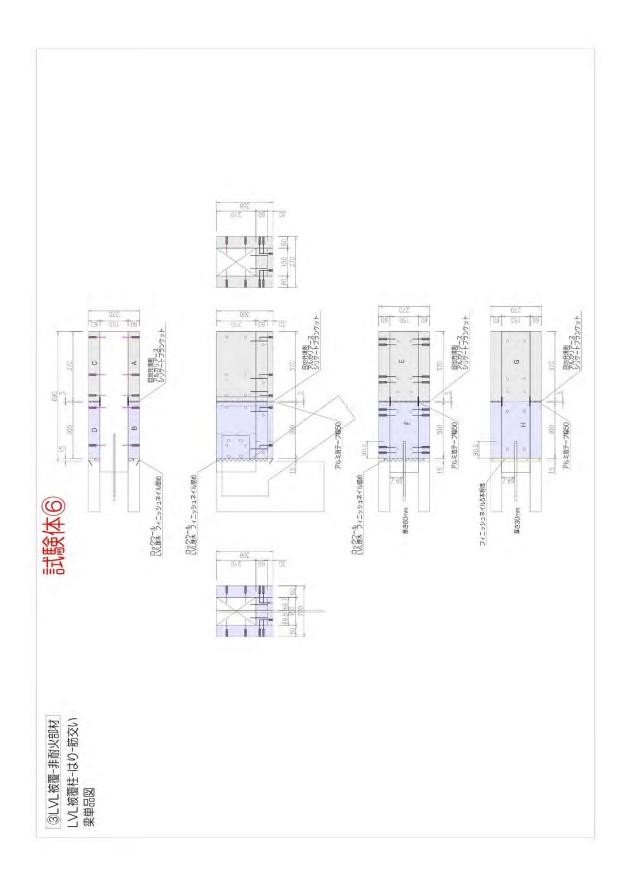


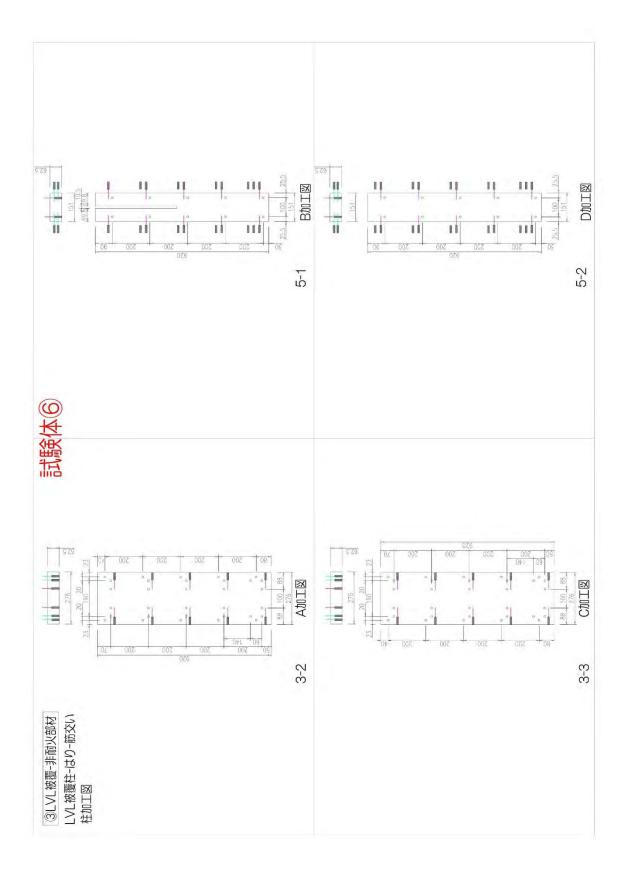












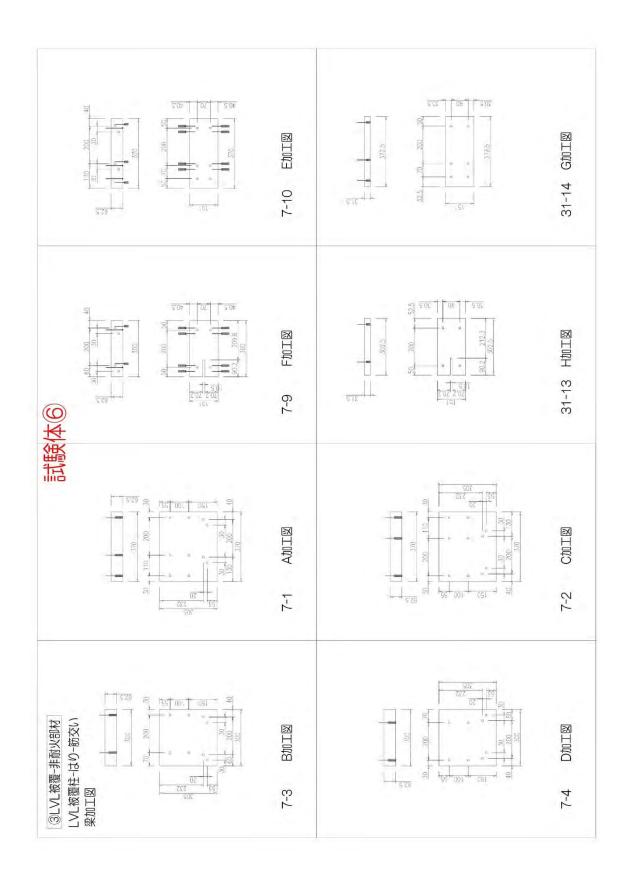




写真 6-1 製作時の様子

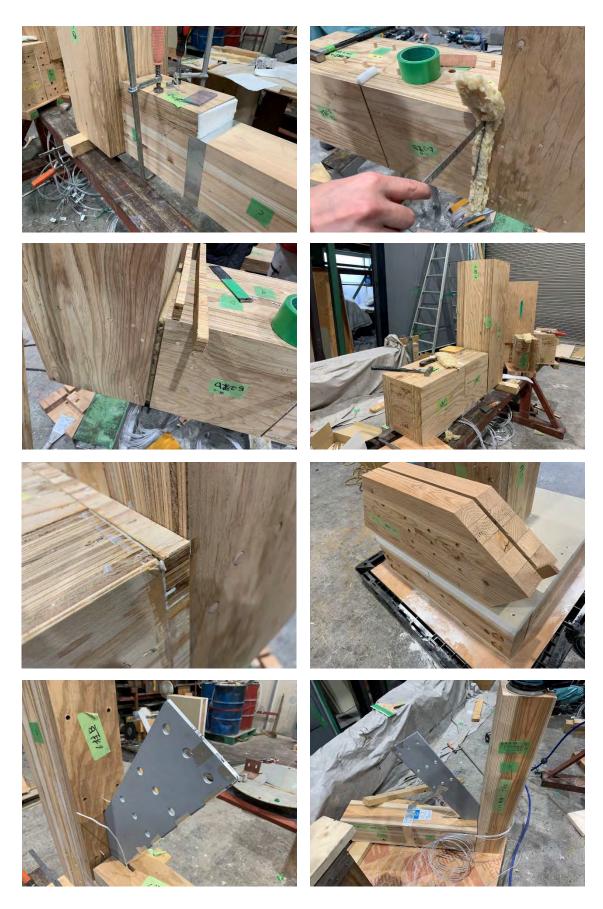


写真 6-1 製作時の様子

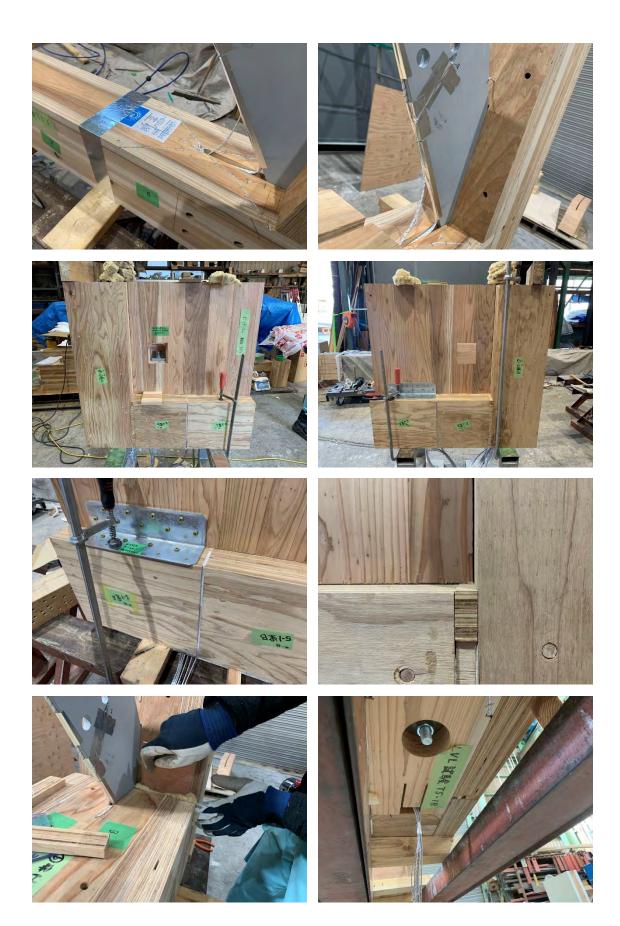


写真 6-1 製作時の様子

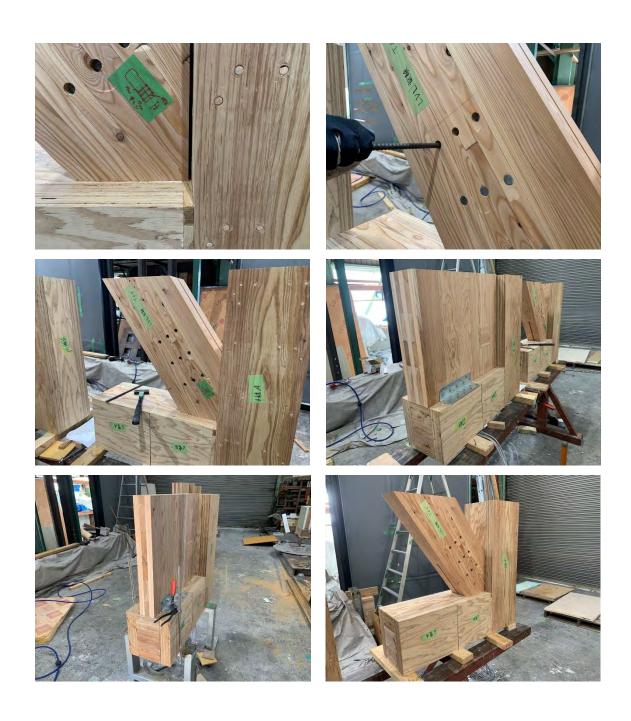


写真 6-1 製作時の様子

6.3.3 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後 660 分で各計測点の温度の下降を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図 7-1、熱電対の内部温度曲線を図 7-2~7-4 に示す。記録写真を写真 7-1~7-50 に示す。

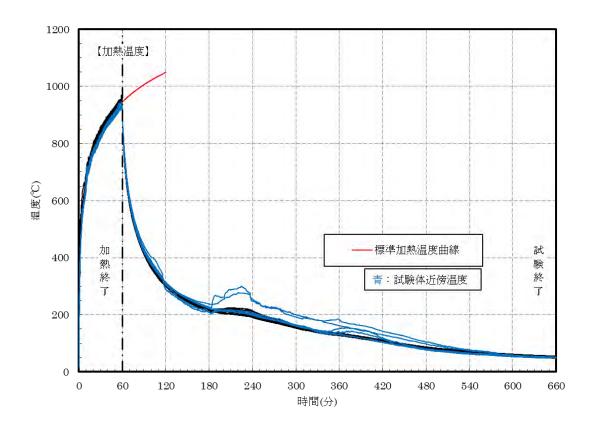


図 7-1 加熱温度測定曲線

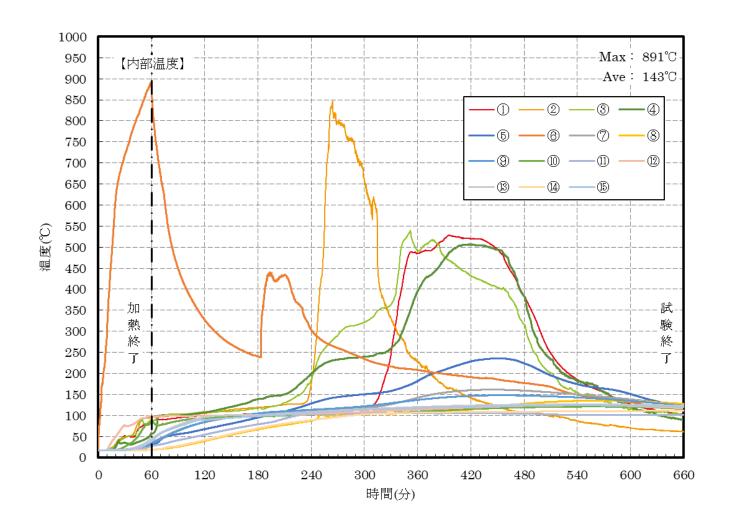


図 7-2 内部温度測定曲線 CLT 耐震壁 150 厚 (試験体④)

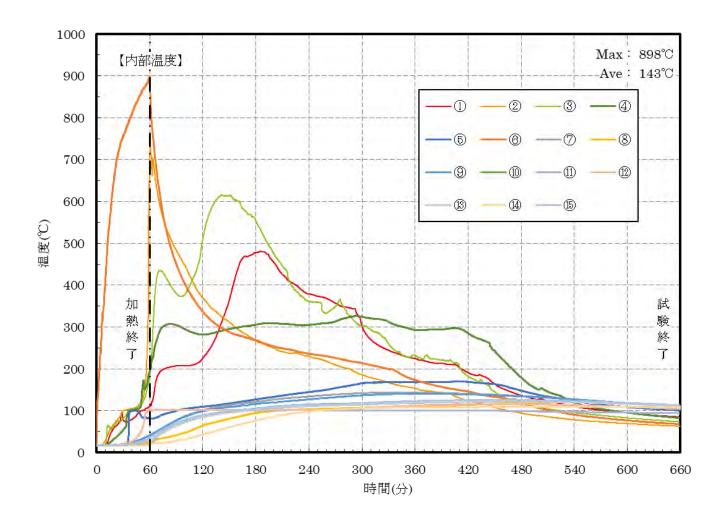


図 7-3 内部温度測定曲線 CLT 耐震壁 90 厚 (試験体⑤)

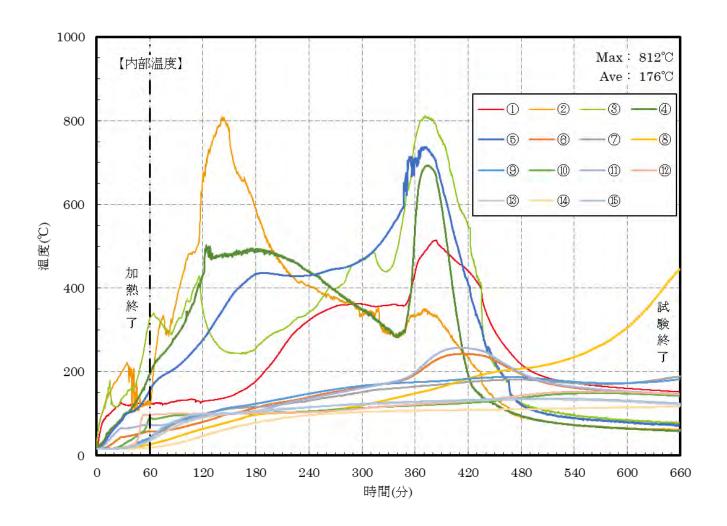


図 7-4 内部温度測定曲線 筋交い (試験体⑥)



写真 7-1 試験前 CLT90 厚



写真7-2 試験前 CLT150厚



写真7-3 試験前 筋交い



写真7-4 加熱開始



写真 7-5 加熱後 8 分



写真 7-6 加熱後 11 分 筋交い炭化状況

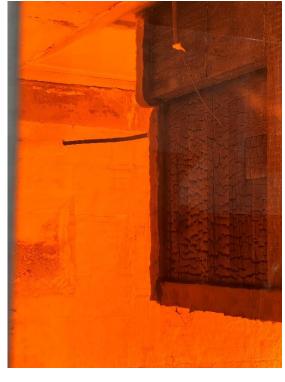


写真 7-7 加熱後 13 分 CLT 炭化状況

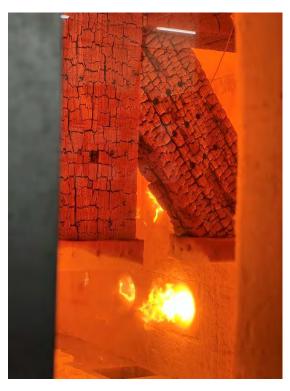


写真 7-8 加熱後 35 分 筋交い炭化状況



写真 7-9 加熱後 47 分 炭化状況



写真 7-10 59 分 加熱停止直前(筋交い)



写真 7-11 59 分 加熱停止直前



写真 7-12 62 分 赤熱燃焼(被覆材以外部)



写真 7-13 62 分 赤熱燃焼(筋交い)



写真 7-14 67 分 炉内状況



写真 7-15 118 分 炉内状況

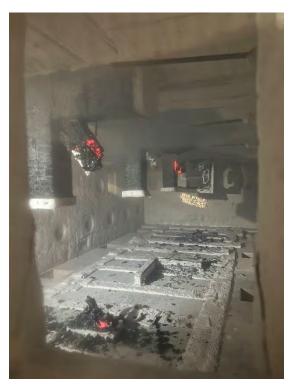


写真 7-16 304 分 炉内状況



写真 7-17 352 分 炉内状況



写真 7-18 660 分 脱炉前



写真 7-19 660 分 脱炉前(CLT)



写真 7-20 脱炉 (CLT150 厚) 東側



写真 7-21 脱炉 (CLT150 厚) 南側



写真 7-22 脱炉 (CLT150 厚) 引きボルト部



写真 7-23 脱炉 (CLT150 厚) アングル部



写真 7-24 脱炉 (CLT150 厚) 北側





写真 7-25 目地部 (CLT150 厚)



写真 7-26 CLT90mm 厚 東側



写真 7-27 CLT90mm 厚 南側



写真 7-28 CLT90mm 厚 金物部



写真 7-29 CLT90mm 厚 西側



写真 7-30 CLT90mm 厚 目地部隙間



写真 7-31 CLT90mm 厚 北側



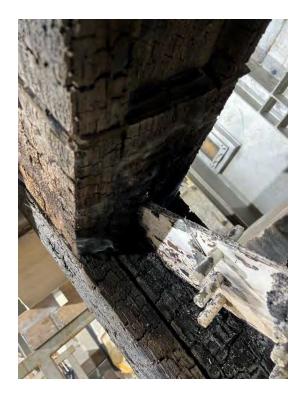
写真 7-32 CLT90mm 厚 アングル部



写真 7-33 筋交い (東側)



写真 7-34 筋交い





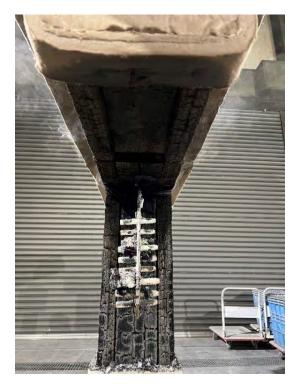




写真 7-35 筋交い 金物部



写真 7-36 CLT150 解体



写真 7-37 CLT150 梁一般部



写真 7-38 CLT150 L字アングル部



写真 7-39 CLT150 柱一般部



写真 7-40 CLT150 梁引きボルト部



写真 7-41 CLT90 解体



写真 7-42 CLT90 梁 L 字アングル部



写真 7-43 CLT90 梁一般部



写真 7-44 CLT90 梁引きボルト部



写真 7-45 CLT90 柱一般部





写真 7-46 筋交い解体





写真 7-47 筋交い 柱部の炭化状況



写真 7-48 筋交い 柱部炭化状況



写真 7-49 筋交い 梁一般部



写真 7-50 筋交い 柱一般部

(2) 考察

試験体④~⑤ (CLT 耐震壁) において、主要構造部の柱・はりの表面温度は最高で約 170℃以下に納まり、解体後の主要構造部表面に炭化痕も見当たらず、1 時間耐火構造としての耐火性能を確保した。

また、試験体⑥ (筋交い) において、筋交いと柱の取り合い部において、主要構造部の柱の燃焼・炭化が確認され、この部分のディテールについて改良する必要があることがわかった。

試験体④

LVL 被覆柱・はり—CLT 耐震壁(150mm 厚)

図 7-2 によると、主要構造部の柱・はり表面の温度は、加熱開始 10~50 分にかけて、LVL 被覆の目地部裏面が約 90~100 \mathbb{C} に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 170 \mathbb{C} にとどまった。一方、引きボルト部に着目すると、厚さ 150 \mathbb{m} の \mathbb{C} CLT の燃焼が 1 時間以降も継続し、放置 4 時間 30 分頃に \mathbb{C} LVL 被覆と厚さ 150 \mathbb{m} の \mathbb{C} CLT の取り合い部の温度(熱電対①③④)が急激に上昇して、この部分の燃焼が始まったと考えられる。その後、引きボルトを通じて、 \mathbb{C} LVL 被覆内部に熱侵入し、放置 6 時間 30 分頃に荷重支持部のはりと引きボルトが接する部分の温度(熱電対⑤)が約 240 \mathbb{C} でピークを迎えた。脱炉後の観察では、荷重支持部材のはりの継続的な燃焼や引きボルト周辺の炭化痕は見当たらず、耐火性能上の問題は生じなかった。

試験体(5)

LVL 被覆柱・はり—CLT 耐震壁 (90mm 厚)

図 7-3 によると、主要構造部の柱表面温度は、加熱開始 10~30 分にかけて、LVL 被覆の目地部裏面が約 90~100 $^{\circ}$ に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 140 $^{\circ}$ にとどまった。一方、引きボルト部に着目すると、厚さ 90 $^{\circ}$ の $^{\circ}$ の燃焼が 1 時間加熱以降も数分継続し、放置 5 分頃に LVL 被覆と厚さ 90 $^{\circ}$ の $^{\circ}$ の取り合い部の温度(熱電対①③④)が急激に上昇して、この部分の燃焼が始まったと考えられる。その後、CLT が脱落したため、LVL 被覆に与える影響は小さかった。脱炉後の観察では、荷重支持部材のはりの継続的な燃焼や引きボルト周辺の炭化痕は見当たらず、耐火性能上の問題は生じなかった。

試験体⑥

LVL 被覆柱・はり―筋交い

図 7-4 によると、主要構造部のはり表面温度は、加熱開始 40~50 分にかけて、LVL 被 覆裏面の温度が緩やかに約 100℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で 約 190℃にとどまった。一方、筋交い取り付け用の鋼板周辺部に着目すると、筋交いの燃 焼が 1 時間加熱以降、放置 5 時間頃まで燃焼が継続したと考えられる (熱電対①~⑤)。 その影響で、LVL 被覆を施した荷重支持部材の柱表面温度 (熱電対⑧) が放置 8 時間以降 400℃を超え、燃焼していることが確認された。

脱炉後の観察では、筋交いと柱の取り合い部のLVL被覆材に材料加工上及び納まり上、 空洞が生じており、この部分から熱侵入したと考えられる。

そのため、この空洞部にロックウールを充填して、再度、加熱実験(試験体⑥再)を行うこととした。

6. 4 壁接合部 4 仕様検証

6.4.1 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した1面加熱の試験体は、一般財団法人 日本建築総合試験 所の壁炉を使用し、一般財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 準拠して加熱試験を行った。試験実施日は令和4年1月28日であった。

(1) 加熱方法

IS0834 に規定する標準加熱曲線に準拠した 1 時間加熱を行った。その後、すべての試験体の内部温度の低下を確認し、5 時間放置後に脱炉を行った。

(2) 測定項目

①試験体内部温度

線径 0.65mm の K型 (CA) 熱電対を用いて測定した。

②炉内温度

線径 3.2mm のシース型熱電対を用い、試験体表面から 100mm 離れた位置の温度を 測定した。

③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。

④その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

6. 4. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 150×150mm の異等級構成構造用集成材の柱を構造部材とし、非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を図 6-1~6-2 に、製作時の様子を写真 6-1 に示した。

今回の実験では、試験体⑦の中に、LVL被覆をした柱と壁(告示仕様:強化せっこうボード厚 21mm×2 枚張り)の4 仕様の取り合い部を組み込み、同時に加熱をした。

· 試験体(7)-1

LVL 被覆勝ち (LVL 被覆の目地の措置) 納まり

柱の厚さ 60mm の LVL 被覆が壁の強化せっこうボード厚 21mm×2 枚張りに勝つ納まりについて、LVL 被覆の目地種類を変えた仕様

· 試験体(7)-2

LVL 被覆勝ち及び負け納まり (LVL 被覆の目地は突きつけ:隙間 0mm)

柱の厚さ 60mm の LVL 被覆が壁の強化せっこうボード厚 $21\text{mm} \times 2$ 枚張りに勝つまたは負ける納まり仕様

·試験体⑦-3

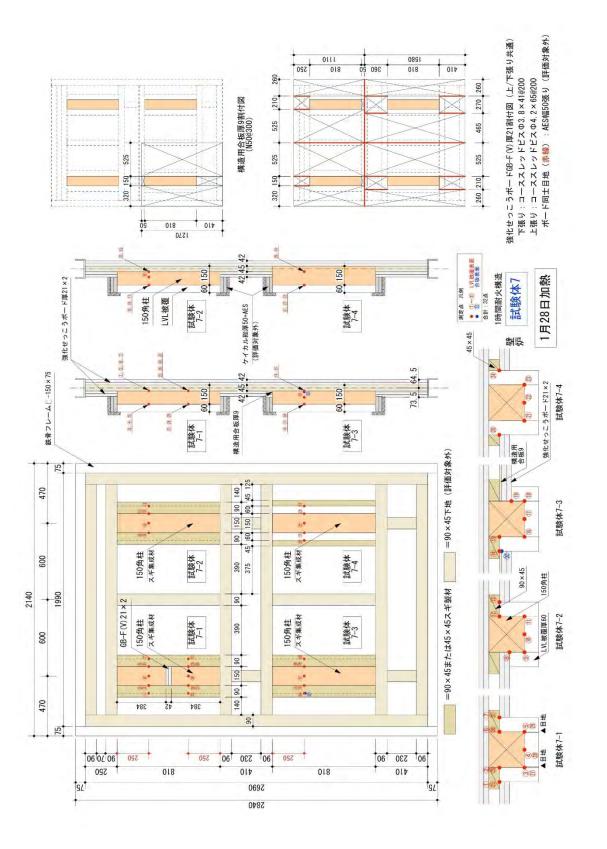
LVL 被覆勝ち及び負け納まり (LVL 被覆の目地は突きつけ:隙間 0mm) 構造用合板下地 試験体⑦-2 に構造用合板下地を加えた仕様

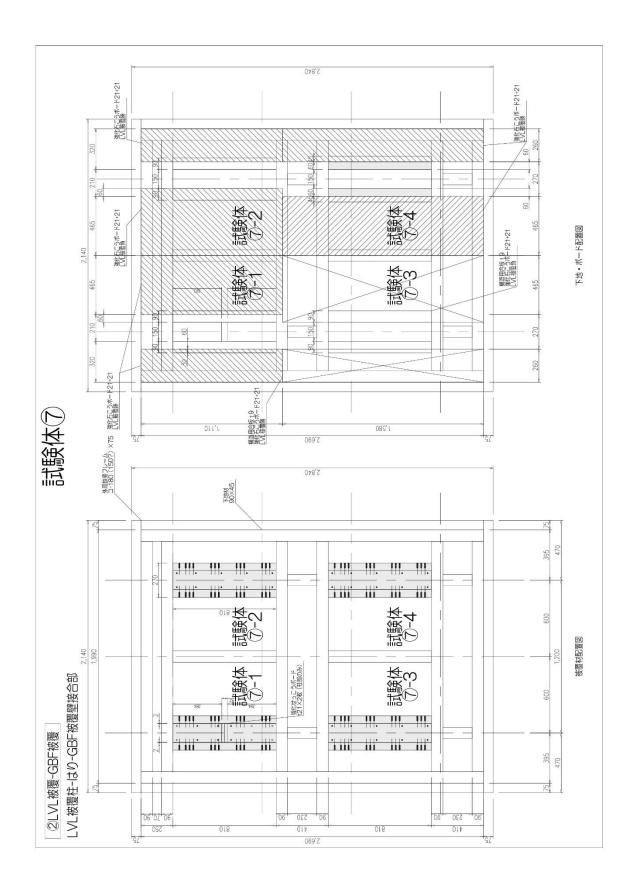
·試験体⑦-4

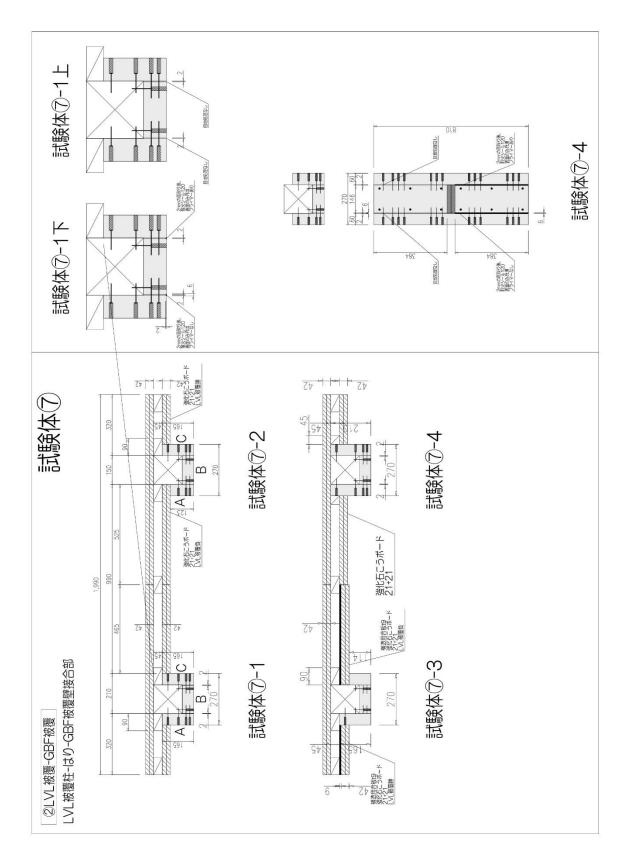
LVL 被覆勝ち納まり (壁下地負け)

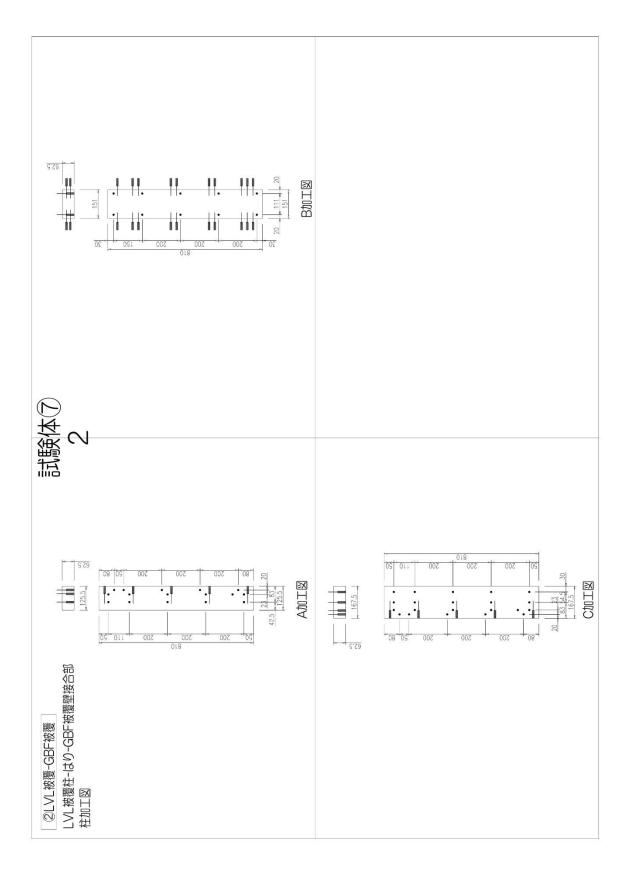
柱のLVL被覆が3方に施されて、壁の下地負けになる納まり仕様

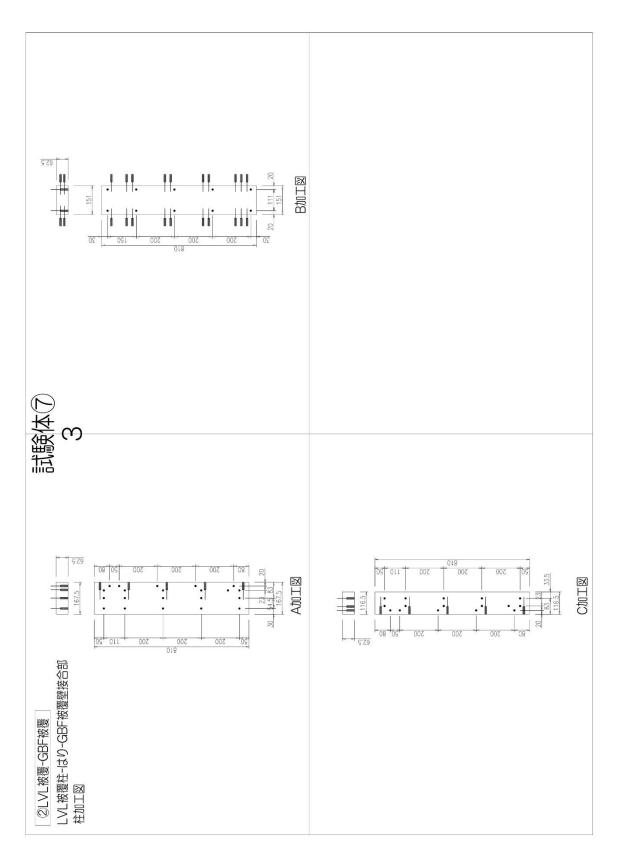
いずれの試験体も柱の LVL 被覆の一部を省略した仕様について検討した。

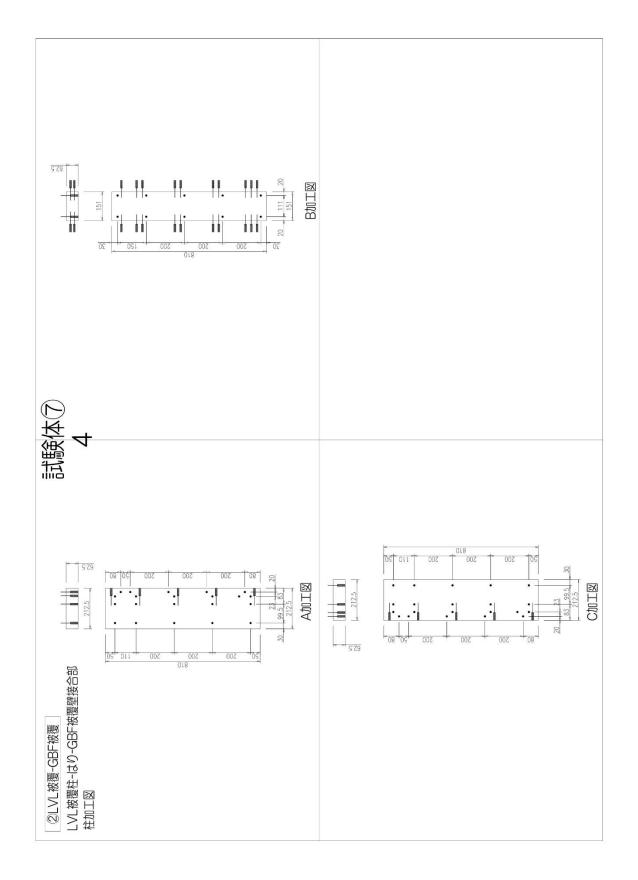


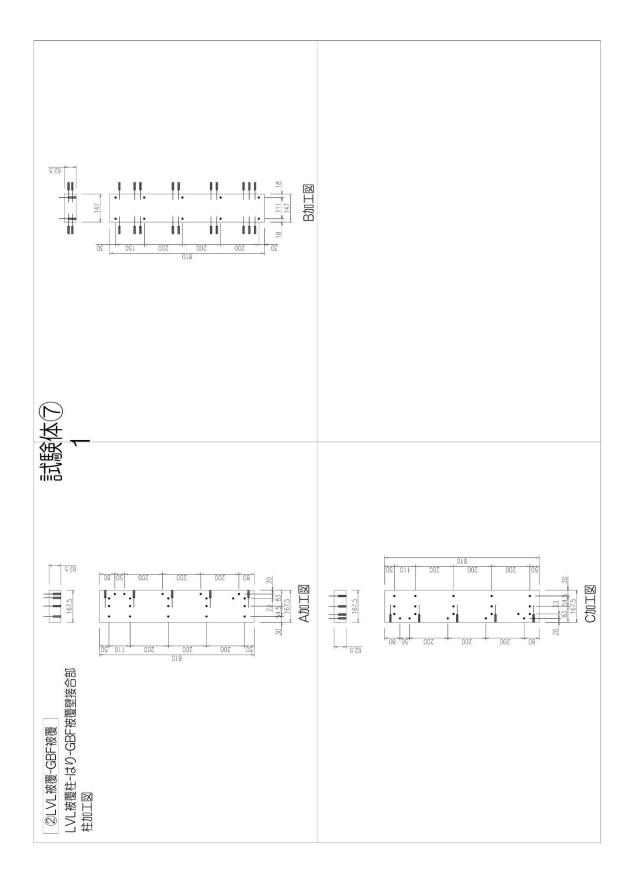












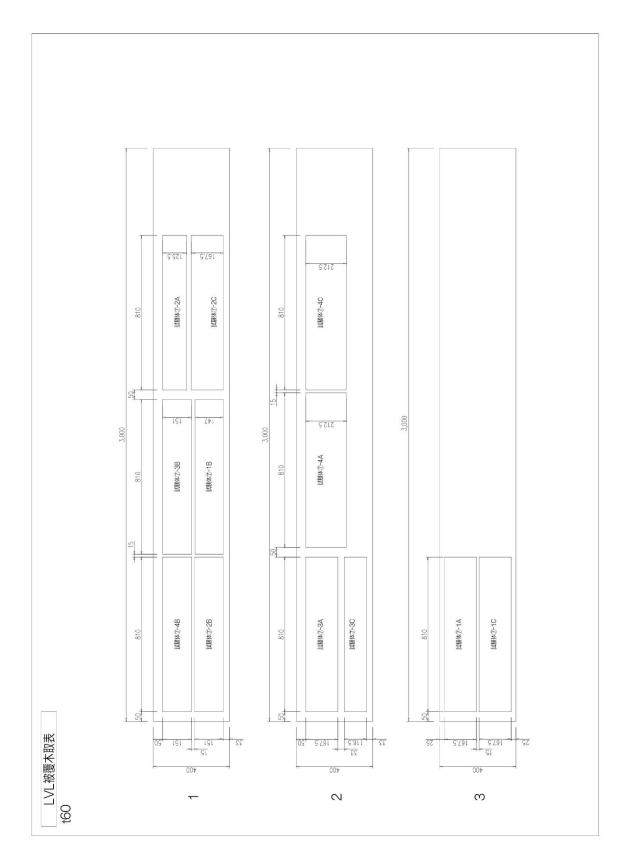




写真 6-1 製作時の様子

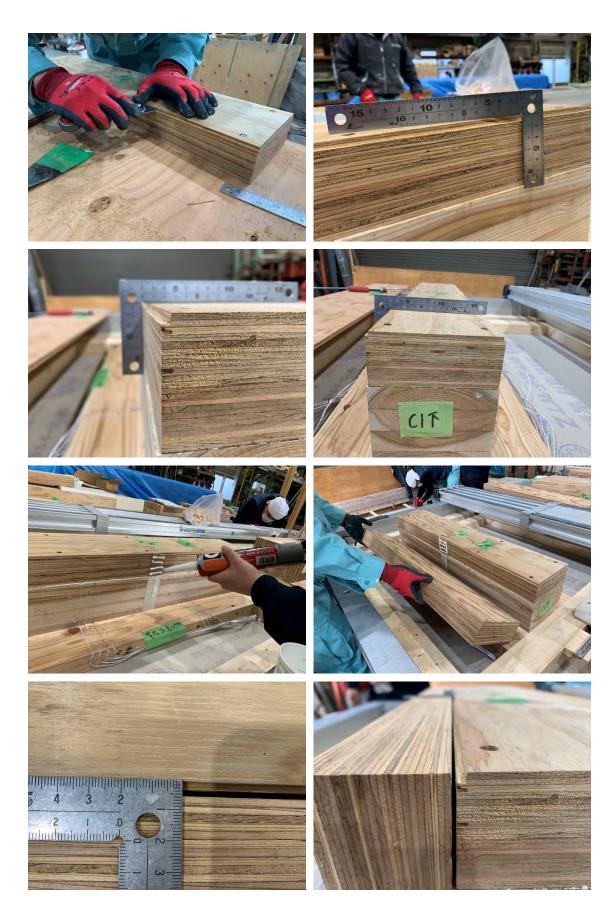


写真 6-1 製作時の様子



写真 6-1 製作時の様子

6.4.3 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を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図 7-1、熱電対の内部各温度曲線を図 7-2~7-6 に示す。記録写真を写真 7-1~7-25 に示す。

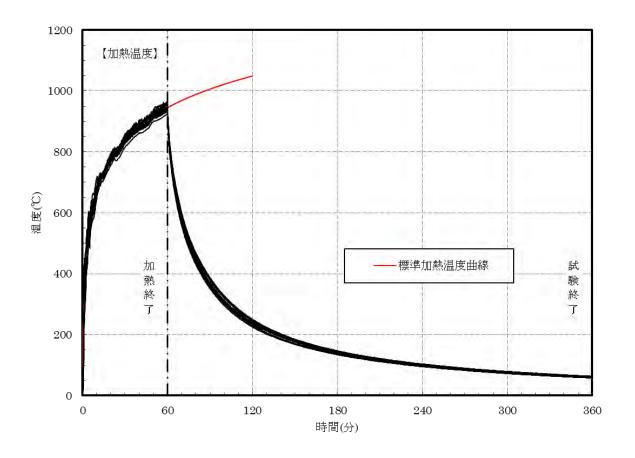


図 7-1 加熱温度測定曲線

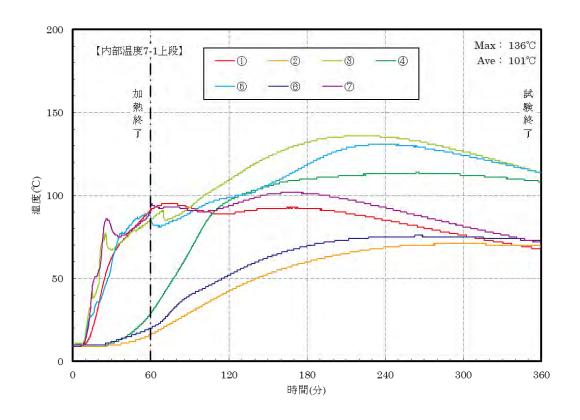


図 7-2 内部温度測定曲線(試験体 7-1 上段)

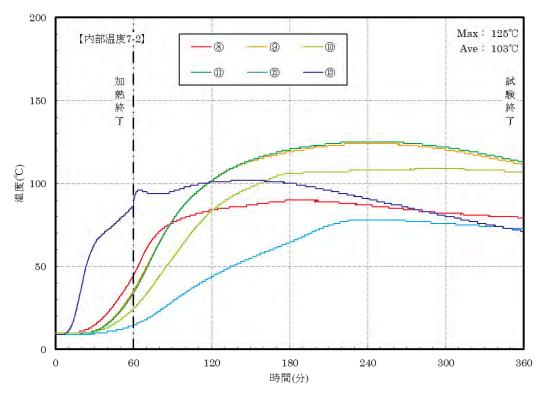


図 7-3 内部温度測定曲線(試験体 7-2)

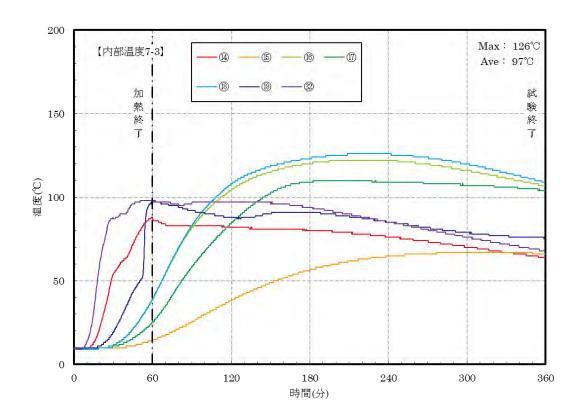


図 7-4 内部温度測定曲線(試験体 7-3)

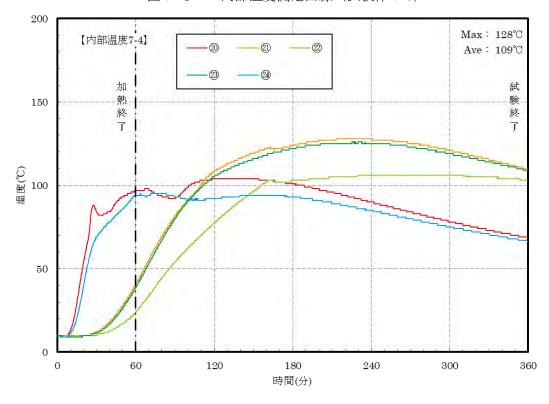


図 7-5 内部温度測定曲線(試験体 7-4)

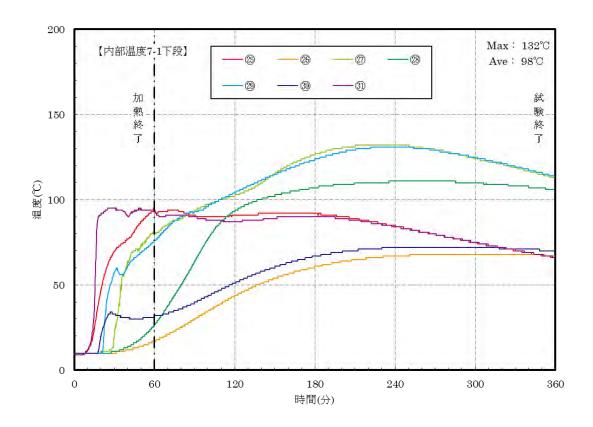


図 7-6 内部温度測定曲線(試験体 7-1 下段)



写真 7-1 試験前 側面



写真 7-2 試験前 試験体 7-3



写真 7-3 試験前 試験体 7-4



写真 7-4 試験前 試験体 7-2



写真 7-5 試験前 試験体 7-1

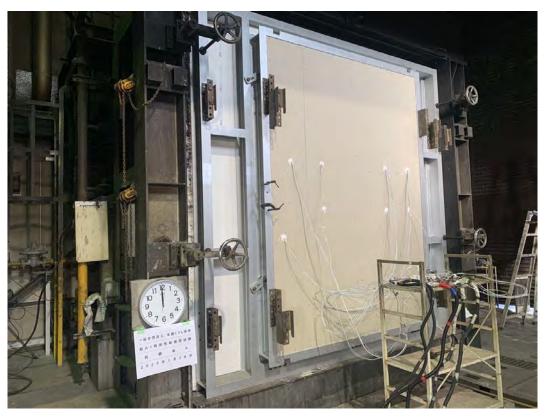


写真 7-6 試験体設置後 加熱前



写真7-7 加熱3分



写真 7-9 加熱 18分



写真 7-8 加熱 11 分



写真 7-10 加熱 47 分



写真 7-11 加熱 60 分前



写真 7-12 脱炉後



写真 7-13 脱炉後(試験体 7-1)



写真 7-14 脱炉後 (試験体 7-2)



写真 7-15 脱炉後 (試験体 7-3)



写真 7-16 脱炉後 (試験体 7-4)



写真 7-17 脱炉後 耐火シーラント



写真 7-18 解体作業



写真 7-19 試験体 7-1



写真 7-20 試験体 7-1 目地部隙間



写真 7-21 試験体 7-3 上



写真 7-22 試験体 7-2 断面 (中)



写真 7-23 試験体断面 試験体 7-1 耐火シーラントあり (下段)



写真 7-24 試験体断面 試験体 7-1 耐火シーラントなし(上段)



写真 7-25 試験体 7-4 断面 (中)

(2) 考察

試験体⑦-1~⑦-4のすべてにおいて、主要構造部の柱の表面温度は最高で約140℃以下に納まり、解体後の主要構造部表面に炭化痕も見当たらず、1時間耐火構造としての耐火性能を確保した。

• 試験体(7)-1

LVL 被覆勝ち (LVL 被覆の目地の措置) 納まり

図 7-2 によると、加熱開始 $10\sim60$ 分にかけて、LVL 被覆の目地部裏面及び LVL 被覆と強化せっこうボード厚 $21\text{mm}\times2$ 枚張りの取り合い部の温度が約 $90\sim100$ ℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 140 ℃にとどまった。実験で採用した目地部の措置 (2mm 以下の隙間とし、処理なしまたは耐火シール打ち)について、1 時間耐火性能に関して有効な措置であることが明確になった。

試験体⑦-2

LVL 被覆勝ち及び負け納まり (LVL 被覆の目地は突きつけ:隙間 0mm)

図 7-3 によると、加熱開始 10~60 分にかけて、LVL 被覆の目地部裏面及び LVL 被覆と強化せっこうボード厚 21mm×2 枚張りの取り合い部の温度が約 90~100℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 125℃にとどまった。柱の LVL 被覆が壁の強化せっこうボード被覆に対して、勝ち負けがどちらでも 1 時間耐火性能に関して影響を与えないことがわかった。

· 試験体⑦-3

LVL 被覆勝ち及び負け納まり (LVL 被覆の目地は突きつけ:隙間 0mm) 構造用合板下地

図 7-4 によると、加熱開始 $10\sim60$ 分にかけて、LVL 被覆の目地部裏面及び LVL 被覆と強化せっこうボード厚 $21\text{mm}\times2$ 枚張りの取り合い部の温度が約 $90\sim100$ ℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 130 ℃にとどまった。合板下地があったとしても、柱の LVL 被覆が壁の強化せっこうボード被覆に対して、勝ち負けがどちらでも 1 時間耐火性能に関して影響を与えないことがわかった。

· 試験体(7)-4

LVL 被覆勝ち納まり (壁下地負け)

図 7-5 によると、加熱開始 $10\sim20$ 分にかけて、LVL 被覆と強化せっこうボード厚 21mm × 2 枚張りの取り合い部の温度が約 $90\sim100$ ℃に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 130 ℃にとどまった。柱の LVL 被覆が壁の強化せっこうボード被覆及び下地に対して、勝つ納まりでも 1 時間耐火性能に関して影響を与えないことがわかった。

6. 5 LVL 被覆梁貫通部·鉄骨梁等接合部検証

6.5.1 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、一般財団法人日本建築総合試験所の床炉を使用し、一般財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」に準拠して加熱試験を行った。試験実施日は令和4年2月21日であった。

(1) 加熱方法

IS0834 に規定する標準加熱曲線に準拠した 1 時間加熱を行った。その後、すべての試験体の内部温度の低下を確認し、22 時間放置後に脱炉を行った。

(2) 測定項目

①試験体内部温度

線径 0.65mm の K型 (CA) 熱電対を用いて測定した。

②炉内温度

線径 3.2mm のシース型熱電対を用い、試験体表面から 100mm 離れた位置の温度を 測定した。

③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

④その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

6.5.2 試験体概要

試験体は異等級構成構造用集成材 (スギ)を構造部材とし、非載荷加熱試験を実施した。 加熱試験体の構成部材、寸法、組立仕様などの試験体仕様を図 6-1~6-2 に、製作時の様子 を写真 6-1~6-4 に示した。

今回の実験では、試験体⑥再、⑧~⑩を床炉で4体同時加熱した。

試験体⑥再

LVL 被覆柱・はり一筋交い(試験体⑥を補強)

LVL 被覆の柱・はりの接合部に鋼板挿入ドリフトピン接合でカラマツ集成材の筋交いが取り付く場合に、筋交いの1時間以降の燃焼がLVL 被覆に与える影響を把握した。 試験体⑥からの補強部位は、LVL 被覆柱と筋交いの取り合い部の加工上・納まり上、生じる隙間をロックウール充填し熱侵入を抑えることを目標とした。

試験体®

LVL 被覆柱—鉄骨梁

鉄骨造の梁に LVL 被覆の柱が取り付く場合の納まりを検討した。鉄骨造の 1 時間耐火構造の被覆は通常、鉄骨温度が約 500℃を超えないように被覆仕様や厚さが検討されている。その際、木製の柱が鉄骨梁に直接取り付くと被覆内部で燃焼が生じる可能性があるため、鉄骨梁の温度を木材の着火温度以下(目標 200℃以下)に抑えるために、2 時間耐火構造の被覆(FP120BM-9400:日本インシュレーション社製タイカライト 1 号厚 35mm)とした。

試験体(9)

LVL 被覆はりの設備配管貫通

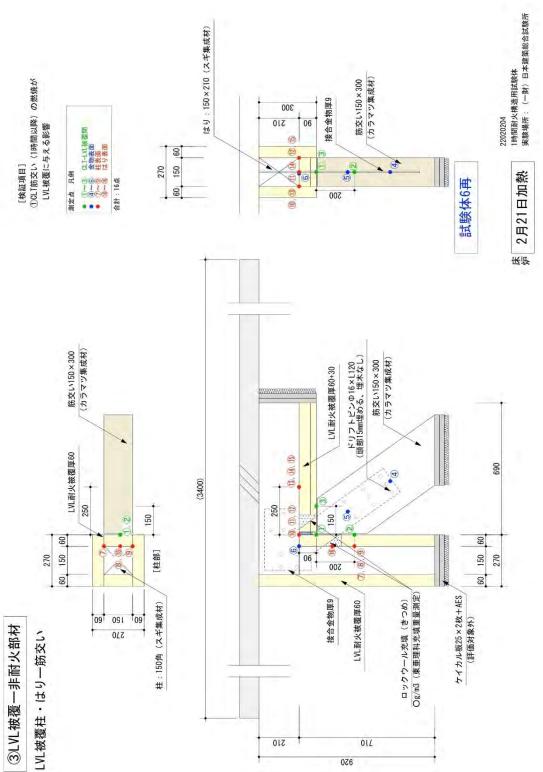
LVL 被覆のはりに設備配管が貫通する場合の納まりを検討した。貫通部の梁の開口小口からの燃え込みを防ぐために、厚さ 60mm のせっこう筒 (外径 210mm、内径 90mm) を用いて、せっこう筒とはりの LVL 被覆との隙間の充填措置 (ロックウール充填)を検討した。

試験体①

LVL 被覆はりの LVL 被覆と強化せっこうボード被覆の組み合わせ

LVL 被覆のはりについて、一部を強化せっこうボード被覆(告示仕様)とする場合の取り合い部の措置を検討した。

図 6-1 試験体の構造及び寸法



-188-

図 6-1 試験体の構造及び寸法

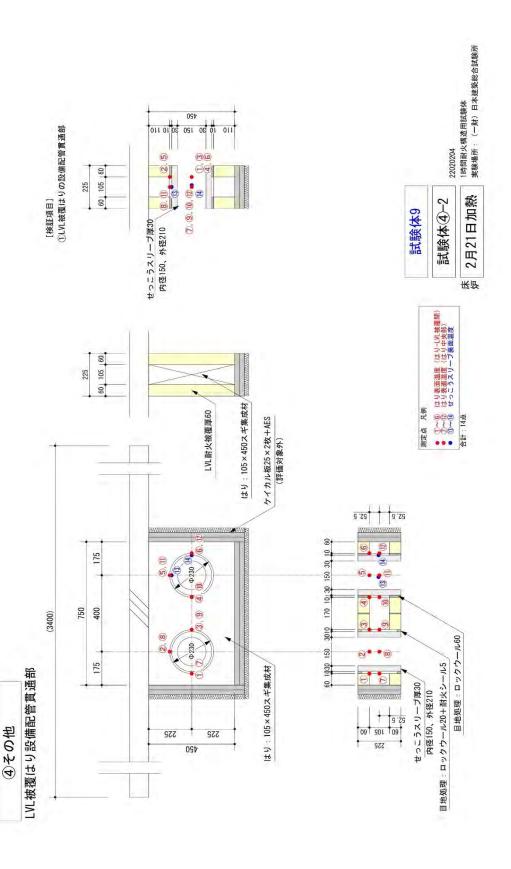
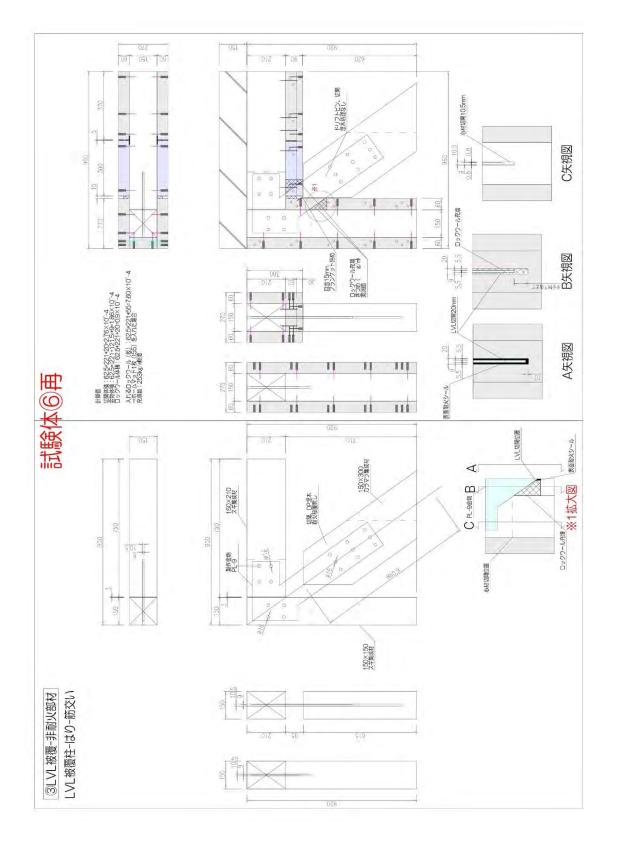
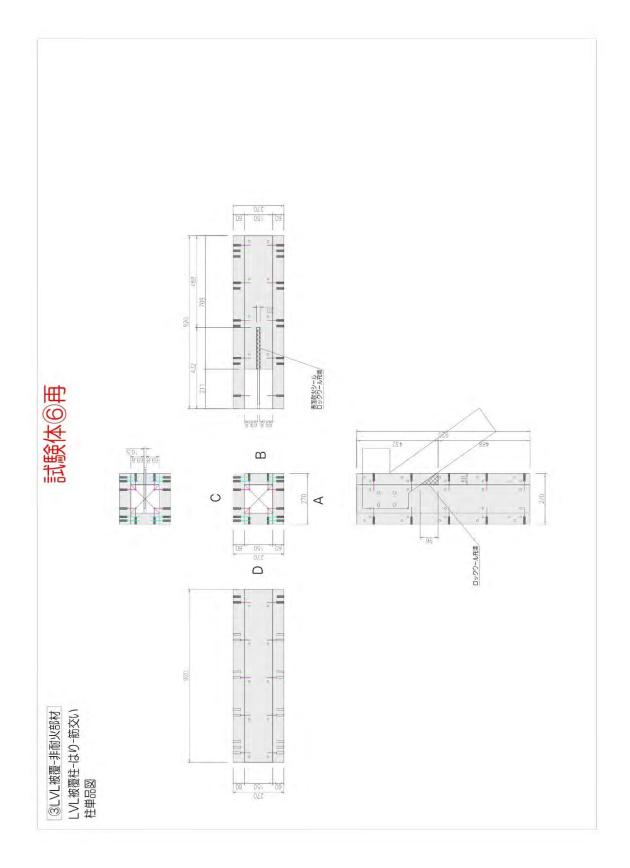


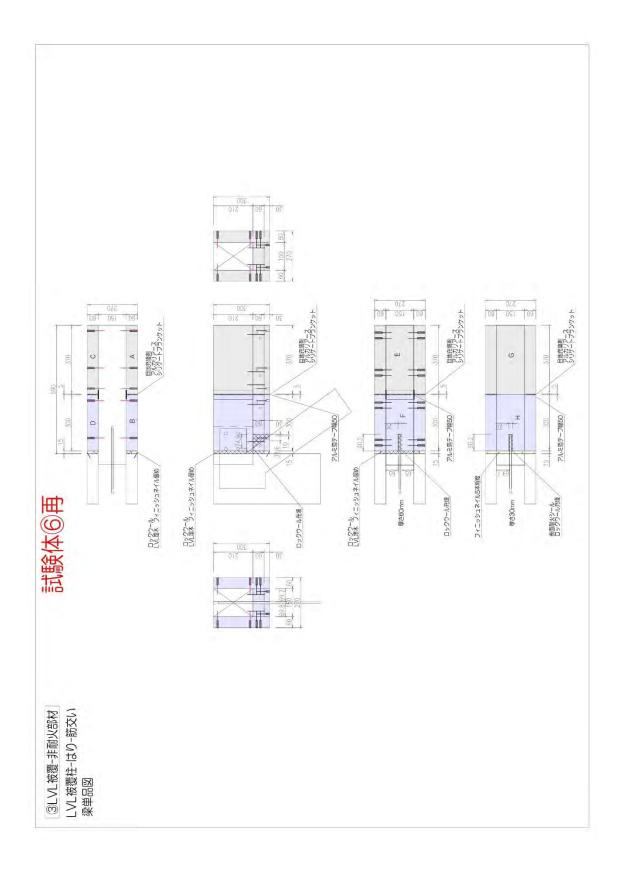
図 6-1 試験体の構造及び寸法

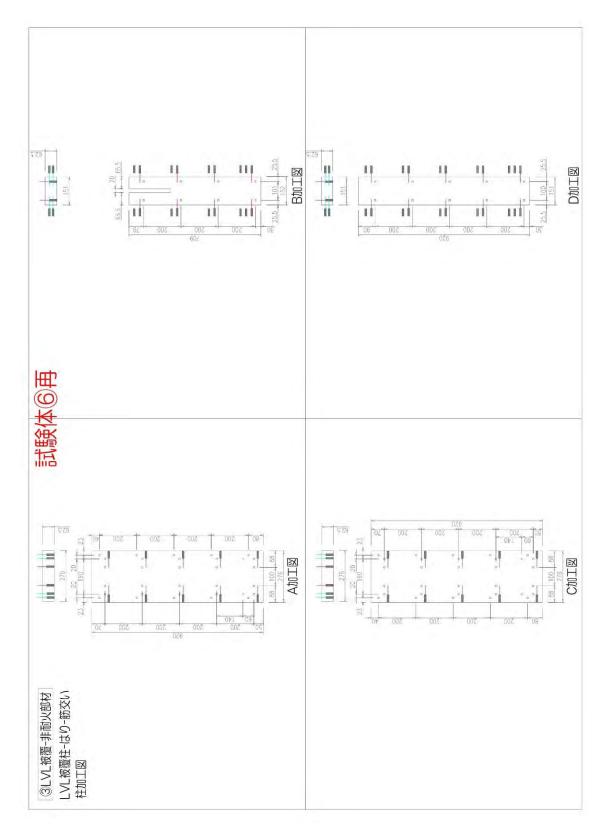
LVL被覆柱-LVL被覆はり接合部

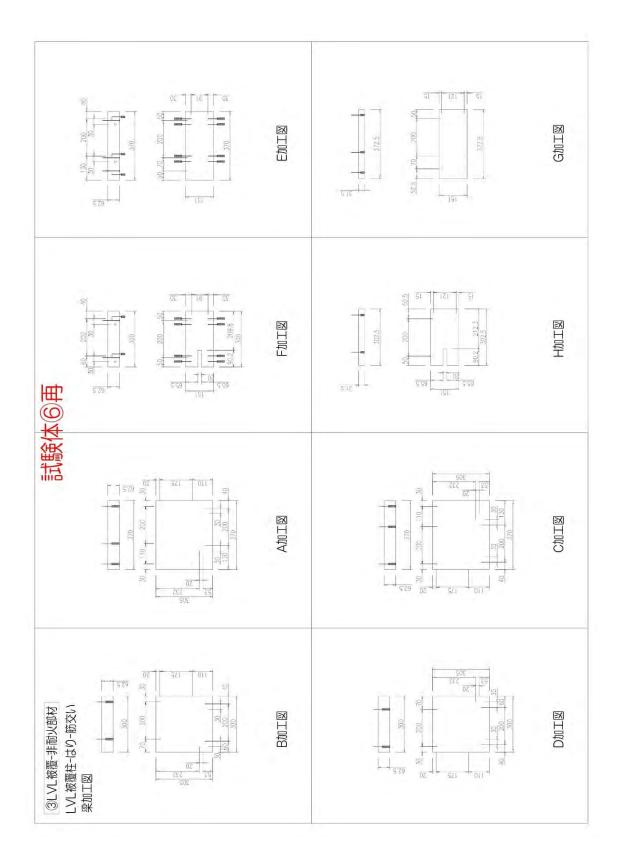
①LVL被覆同士

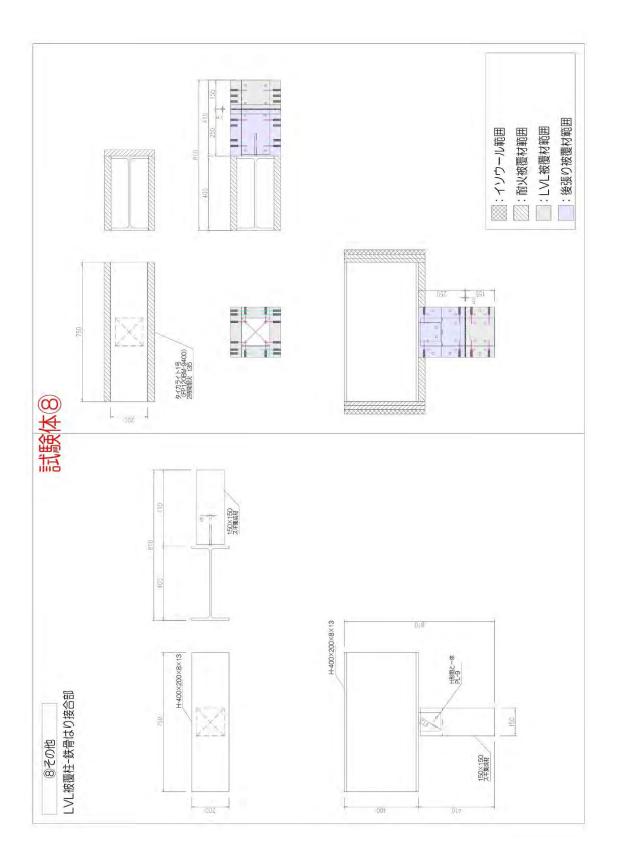


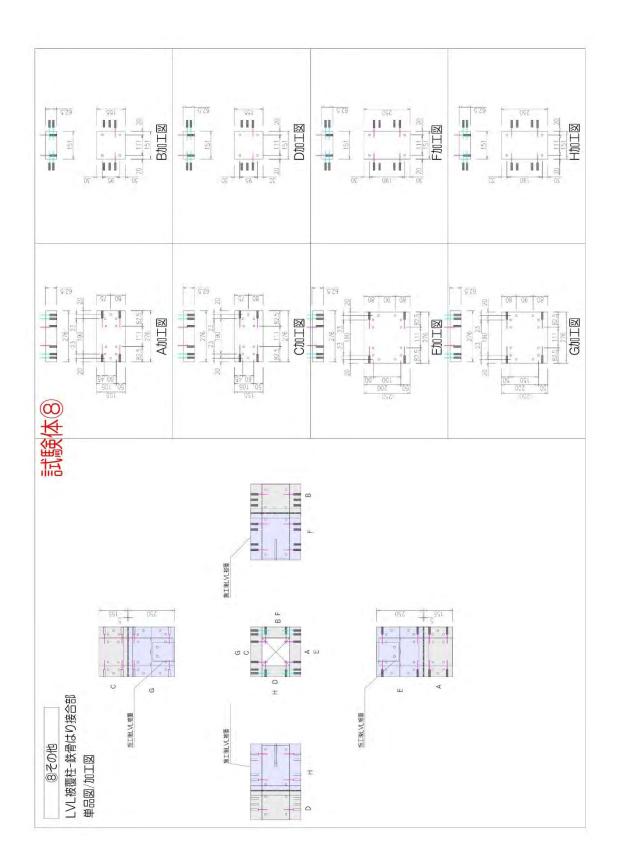


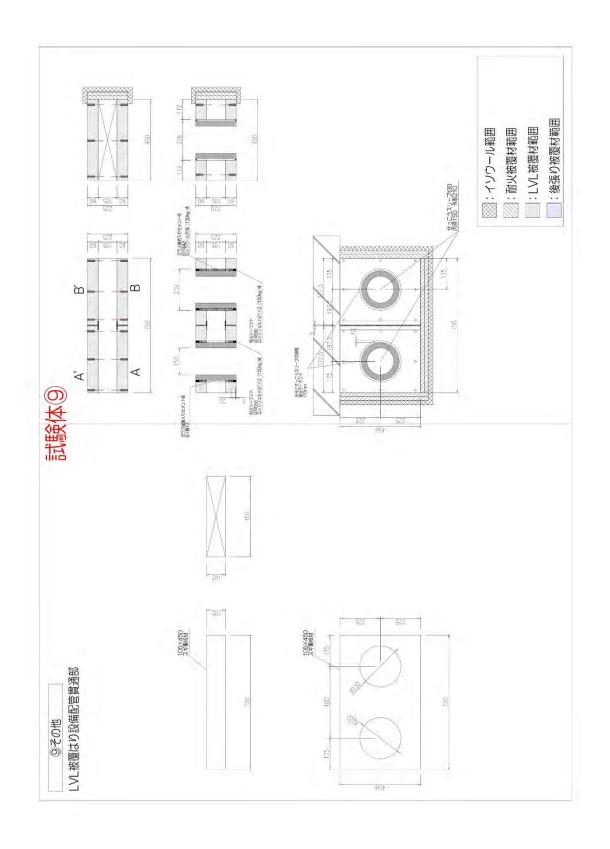


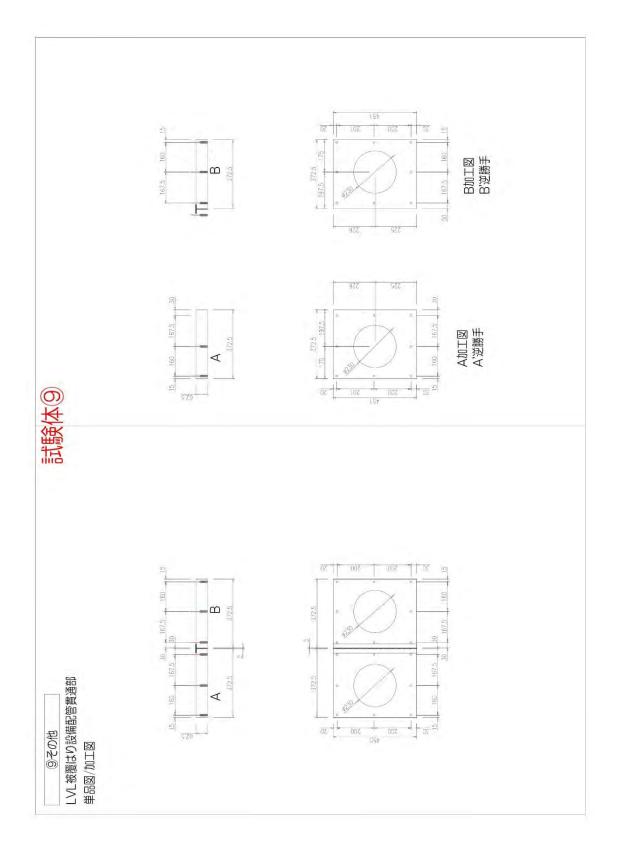


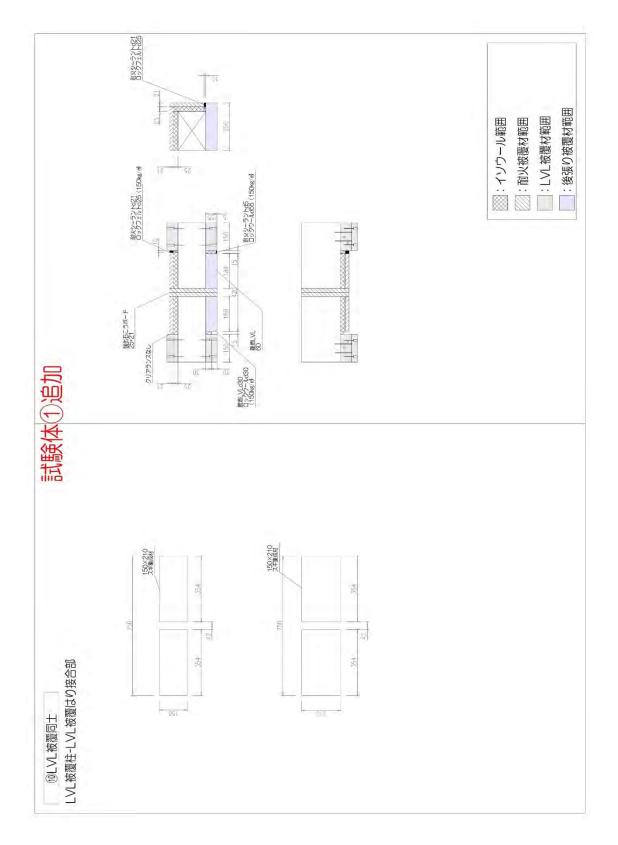












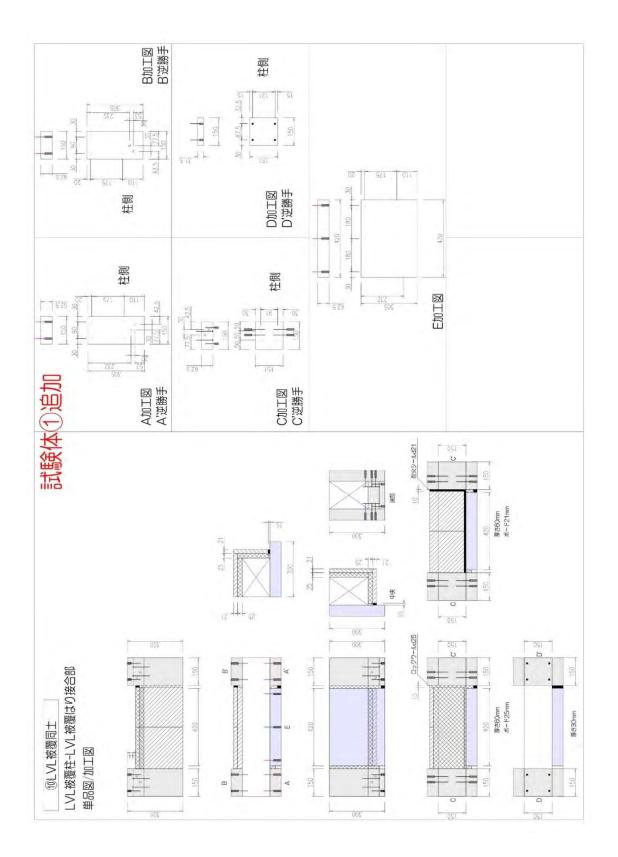
















写真 6-1 製作時の様子(試験体⑨)











写真 6-2 製作時の様子(試験体®)

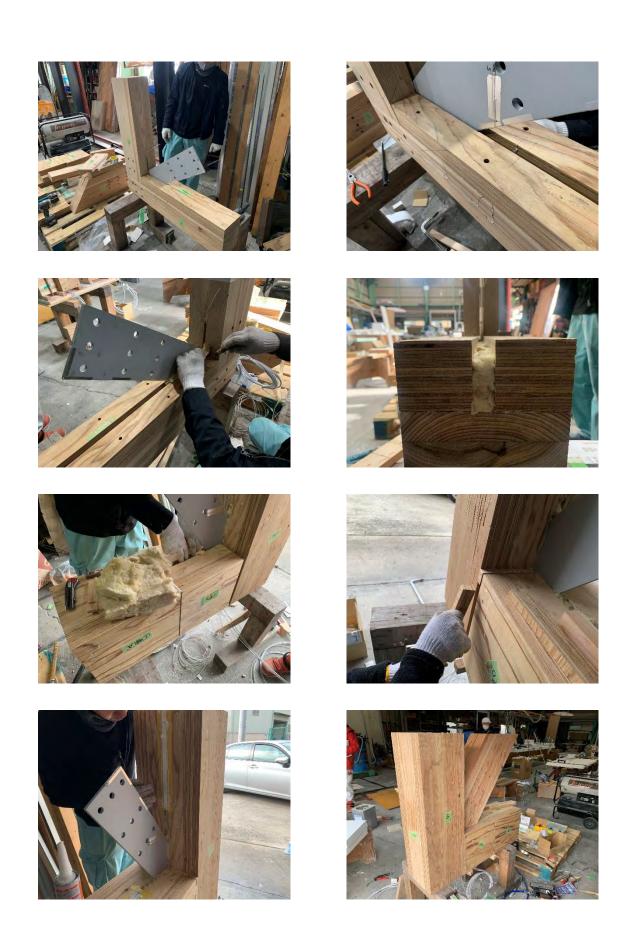


写真 6-3 製作時の様子 (試験体⑥再)



写真 6-4 製作時の様子(試験体⑩)

6.5.3 結果および考察

(1) 結果

加熱開始後 1380 分で各計測点の温度の下降を確認し、試験を終了した。加熱温度測定結果を図 7-1、熱電対の内部各温度曲線を図 7-2~7-5 に示す。記録写真を写真 7-1~7-30 に示す。

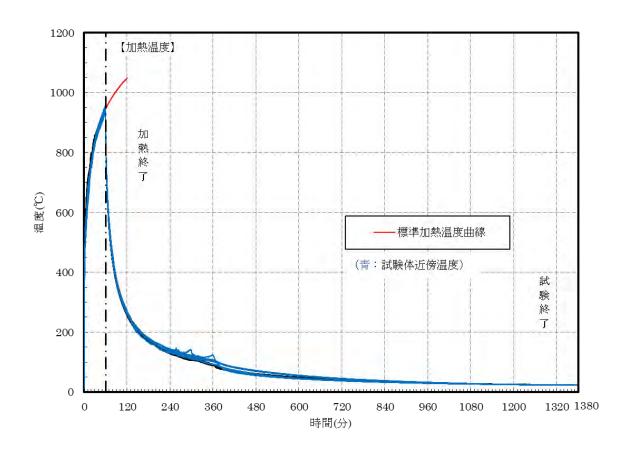


図 7-1 加熱温度測定曲線

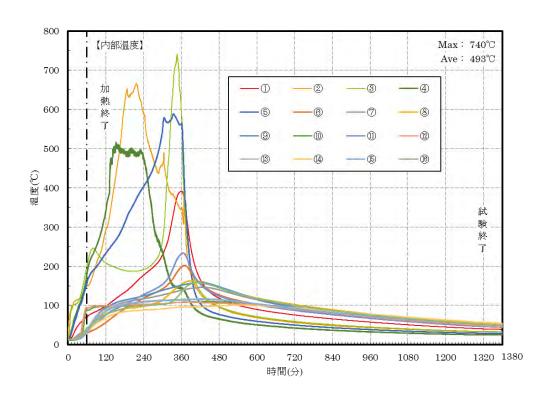


図 7-2 内部温度測定曲線 (試験体 6 再)

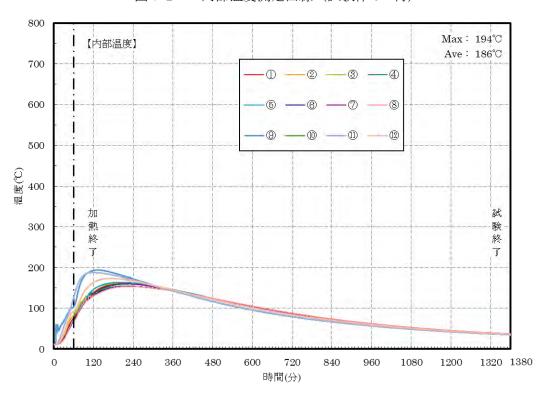


図 7-3 内部温度測定曲線(試験体 8)

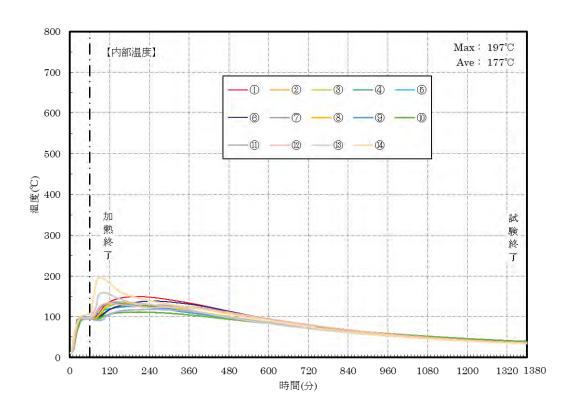


図 7-4 内部温度測定曲線 (試験体 9)

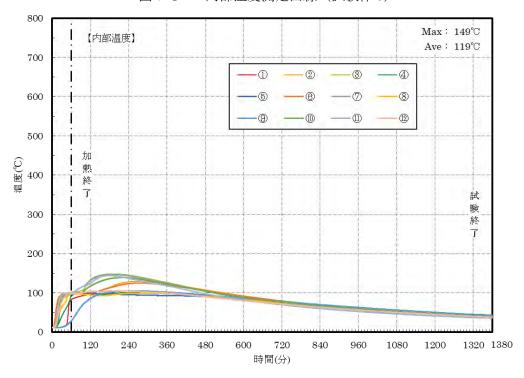


図 7-5 内部温度測定曲線 (試験体 10)



写真 7-1 試験前 鉄骨梁



写真 7-2 試験前 梁貫通部



写真 7-3 試験前 梁貫通部



写真 7-4 試験前 筋交い



写真 7-5 試験体設置後 加熱前



写真 7-6 加熱開始



写真 7-7 加熱 9 分後



写真 7-8 加熱 14 分後 (筋交い)



写真 7-9 加熱 15 分後



写真 7-10 加熱 50 分後



写真 7-11 加熱 54 分後



写真 7-12 加熱 54 分後

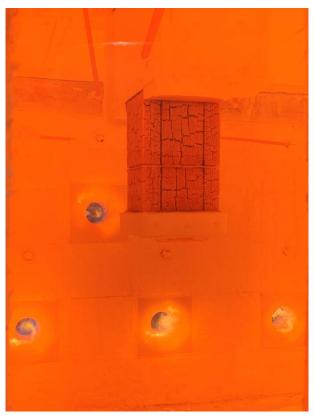


写真 7-13 加熱 55 分後



写真 7-14 加熱 56 分後



写真 7-15 加熱 60 分後



写真 7-16 脱炉後(鉄骨梁)



写真 7-17 脱炉後 (筋交い)



写真 7-18 脱炉後 (筋交い目地部)

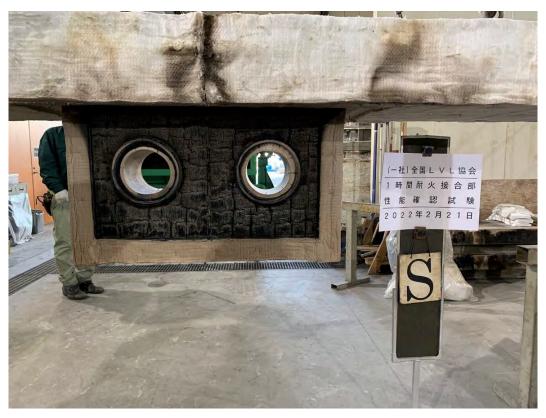


写真 7-19 脱炉後 梁貫通穴部



写真 7-20 脱炉後 梁貫通穴部 (石こうボード被覆)



写真 7-21 脱炉後 鉄骨梁



写真 7-22 脱炉後 梁接合部



写真 7-23 脱炉後 接合部炭化部



写真 7-24 鉄骨梁内部



写真 7-25 筋交解体作業



写真 7-26 筋交解体 内部状況



写真 7-27 筋交 内部炭化状況 (梁)



写真 7-28 筋交 内部炭化状況(柱)



写真 7-29 梁貫通部 内部状況



写真 7-30 梁貫通部 内部状況

(2) 考察

試験体®~⑩のすべての試験体において、主要構造部の柱・はりは最高で約 165℃以下に納まり、解体後の主要構造部表面に炭化痕も見当たらず、1 時間耐火構造としての耐火性能を確保した。

また、試験体⑥再は、主要構造部のはりについて、筋交いを取り付ける鋼板付近の温度 が約235℃となったが、燃焼はしておらず(若干の炭化痕あり)、1時間耐火構造としての 耐火性能を確保できると予想できる。

·試験体⑥再

LVL 被覆柱・はり一筋交い(試験体⑥を補強)

図 7-2 によると、加熱開始 $20\sim60$ 分にかけて、LVL 被覆の目地部裏面の温度が約 $90\sim100$ に上昇したが、その後は顕著な温度上昇はなく、最高で約 110 にとどまった。

一方、主要構造部の梁の筋交いを取り付ける鋼板付近の温度は放置約 5 時間で最高約 235℃となったが、その後、温度は低下し燃焼に至ることはなかった。

試験体⑥の際に燃え込みが起こった LVL 被覆の柱・はりと筋交い取り付け部の鋼板との取り合い部に加工上・納まり上、生じる隙間に、試験体⑥再では、ロックウール(密度約220kg/m³で充填)を充填した。その効果により、当該部分の主要構造部の柱・はりの温度上昇を抑制できたと考えられる。

試験体®

LVL 被覆柱—鉄骨梁

図 7-3 によると、鉄骨梁の耐火被覆を 2 時間耐火構造仕様(日本インシュレーション社製タイカライト 1 号、厚 35mm)としたことで、鉄骨梁の最高温度を 200℃以下に制御できた。それにより、鉄骨から木製柱への熱侵入が生じず、主要構造部の柱の燃焼や炭化は起こらなかった。

試験体(9)

LVL 被覆はりの設備配管貫通

図 7-4 によると、せっこう筒裏面の温度(熱電対⑬⑭)は、加熱終了直後に約 200℃まで上昇したが、その後低下し、せっこう筒の温度上昇により主要構造部のはりが燃焼し始めることはなかった。

また、せっこう筒と LVL 被覆との 10mm 幅の隙間をロックウールで埋めることにより、隙間からの入熱で主要構造部のはりの燃焼が生じなかった。

· 試験体⑩

LVL 被覆はりの LVL 被覆と強化せっこうボード被覆の組み合わせ

図 7-5 によると、主要構造部のはりの表面温度は最高で 150° Cにおさまった。LVL 被覆と強化せっこうボード被覆(告示)の取り合い部について、突きつけ、10mm の隙間を設けてロックウール $10\times25mm$ 詰めの上に耐火シール、15mm の隙間を設けてロックウール $15\times40mm$ 詰めの上にシールまたはロックウール $15\times30mm$ 詰めの上に LVL 被覆のいずれの措置でも、1 時間耐火性能に関して悪影響を与えないことがわかった。

6.6 まとめ

本事業では、LVL 被覆の1時間耐火構造の柱・はりの国土交通大臣認定を取得した仕様を使って設計する際に生じる、

- ① LVL 被覆の同士(柱・はり)の取り合い部
- ② LVL 被覆の柱・はりと告示の強化せっこうボード被覆の取り合い部
- ③ LVL 被覆の柱・はりと非耐火部材(水平力負担部材)の取り合い部
- ④ その他、鉄骨梁とのLVL被覆柱、LVL被覆はりの設備配管貫通部 等について、加熱実験から、防耐火上、弱点とならない納まりを検証した。

その結果、下表のように、LVL被覆の柱・はりと筋交いの取り合い部以外は、主要構造部の柱・はりの炭化や燃焼は生じず、1時間耐火性能を確保した。また、LVL被覆の柱・はりと筋交いの取り合い部についても、納まり上生じる隙間にロックウールを充填することで(試験体 6 再)、筋交い取り付け用の鋼板とはりの取り合い部のごく一部に炭化が見られたが燃焼継続はせず、はりの非損傷性には悪影響を与えないことがわかった。

検討項目	報告書 掲載ページ	試験体概要		試験体名		実験結果 (主要構造部の炭化の有無)	
①LVL被覆同士の 取り合い部		LVL被覆柱一LVL被覆はり接合部		試験体1		なし	
	6. 2	LVL被覆柱—GB-F被覆床接合部	2 -1	試験体2	床炉	なし	
②LVL被覆-GBF被覆の 取り合い部		GB-F被覆壁―LVLはり接合部	② -2	試験体3		なし	
	6. 4	LVL被覆柱・はり一GB-F被覆壁接合部	② -3	試験体7	壁炉	なし	
		LVL被覆柱・はり一CLT耐震壁150厚	③-1	試験体4		なし	
③LVL被覆-非耐火部材		LVL被覆柱・はり一CLT耐震壁90厚	3-1	試験体5	床炉	なし	
(水平力負担部材)の 取り合い部		LVL被覆柱・はり一筋交い	③-2	試験体6		あり(燃焼継続)	
		LVL被覆柱・はり一筋交い	3-2	試験体6再		ごく一部にあり(燃焼停止)	
	6. 5	LVL被覆柱一鉄骨梁接合部	4 -1	試験体8	<u> </u>	なし	
④その他		LVL被覆はり設備配管貫通部		試験体9	床炉	なし	
		LVL被覆の目地部(告示被覆)の措置	④-3 試験体10			なし	

LVL被覆=全国LVL協会が1時間耐火構造の大臣認定を取得した難燃薬剤処理LVL厚60mmによる被覆 GB-F被覆=1時間耐火構造の告示(H12建告1399号)の強化せっこうボード(ひる石入り、GB-F(V))による被覆

7. 被覆した梁の強度性状

7.1 目的

耐火被覆である難燃薬剤処理 LVL は主要構造部材として構造計算に含めることはできない。しかし、含浸前は構造用 LVL と同等の性能を持ち、含浸後もほぼ同一の部材強度を確認している。 梁や柱の補強要素として考慮できるのではないかと考え、梁の曲げ試験を行った。

7. 2 試験体

梁材は、カラマツ構造用 LVL (120E-385FHV) (被覆なし 3 体の平均密度 $621 kg/m^3$)、長さ 4000 mm、幅 105 mm、高さ 210 mm 被覆材は、スギ難燃薬剤処理 B 種 LVL (推定密度 $600 kg/m^3$ 、含浸量 $150 kg/m^3$ 以上) である。 基材としての梁材は 6 体用意し、工場において、支点間 3800 mm、荷重点間 1267 mm で、錘載荷(錘総重量 856 kg) 4 点曲げ方法により、曲げヤング係数を測定した(写真 1 参照)。その結果を表 1 に示す。



写真1 鍾載荷方法による基材 LVL 曲げヤング係数測定状況

試験材	材長	幅	高さ	たわみ量	曲げヤング係数
No.	mm	mm	mm	mm	kN/mm²
1	4000	105.2	210.0	8.27	12.17
2	4000	105.5	210.3	8.11	12.33
3	4000	104.6	210.0	7.55	13.41
4	4000	105.4	209.5	7.74	13.08
5	4000	105.5	209.5	7.81	12.95
6	4000	105.4	209.8	7.64	13.20

表 1 錘載荷方法による基材 LVL 曲げヤング係数測定結果

[※] 曲げヤング係数の計算方法は、表2の計算方法とした。

難燃薬剤処理 LVL 被覆なしの梁材 3 体を製作、被覆ありの梁材 3 体を選別するため、各グループ 3 体の機材 LVL が曲げヤング係数が同程度の平均値となるように振り分けた。その結果、No1、No3、No5 については被覆なしの試験体基材(平均値 12.85kN/mm²)として、No2、No4、No6 については被覆ありの試験体基材(平均値 12.87kN/mm²)として決定し、そのまま試験体 No とした。被覆ありの試験体の形状寸法は、図 1 のとおりである。

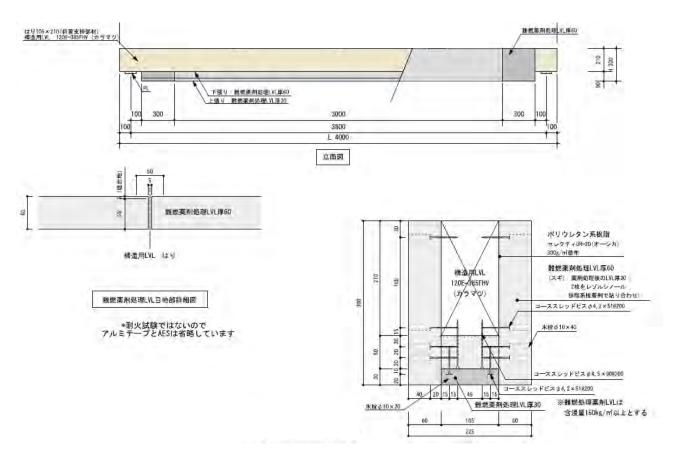


図1 スギ難燃薬剤処理B種LVLの被覆方法



写真 2 試験体

7. 2 試験方法

広島総合技術研究所林業技術センターの実大材強度試験機(株式会社前川試験機製作所製、型式: IP-100B-B2、最大荷重: 1000kN)により、錘載荷の方法と同じ支点間 3800mm、荷重点間 1267mm の条件で、破壊に至るまで短期曲げ試験を行った。

7.3 試験結果

試験結果を表 2 に、また、荷重と変形量の関係を図 2 に、試験状況及び破壊状況について、写真 2 から写真 19 に示す。被覆の有無による強度性能を検討するため、基材の梁 LVL 寸法 105mm×210mm で計算した平均値で比較してみる。被覆なし 3 体の曲げ強度(曲げ強度計算方法は表 2 を参照)は 57.5N/mm²、曲げヤング係数(曲げヤング係数計算方法は表 2 を参照)は 12.86kN/mm²、比例限度強度(比例限度の評価方法は表 2 を参照)は 48.2 N/mm²(曲げ強度の 84%)で、被覆あり 3 体の、曲げ強度は 85.9N/mm²、曲げヤング係数は 43.80kN/mm²、比例限度強度は 69.6 N/mm²(曲げ強度の 81%)となり、被覆ありが曲げ強度で 1.5 倍、曲げヤング係数で 3.4 倍強度性能が向上した。曲げ強度と比例限度強度との割合については、被覆ありの方が僅かに低かったが、ほとんど差は無かった。最大荷重時の変形量は、平均値で被覆なしは 68.2mm、被覆ありは 29.8mm と被覆なしの 0.44 倍となり、被覆によりたわみ量はかなり抑えられていた。設計に使用する断面寸法を基材である梁にカラマツ構造用 LVL(120E-385FHV)の 105×210mm にするのであれば、被覆をすることによって、短期のたわみ量は、当該試験条件では半分以下になることが分かった。ただし、振動や長期のクリープ性能及び耐火試験等による被覆効果については、別途検討が必要であろう。

また、参考までに被覆ありの外見寸法(225×300mm)により曲げ強度や曲げヤング係数を計算した結果を表 2 の下段に示した。3 体の平均値で比較すると、被覆ありの曲げ強度が被覆なしに比べて 0.34 倍、被覆ありの曲げヤング係数が被覆なしに比べて 0.55 倍低かった。その結果、曲げ強度はスギ JAS 機械等級区分製材の E50 より低く、曲げヤング係数は E70 程度であり、外見の寸法ではスギ構造用製材の E50 等級の少し下程度の強度性能があるようであった。

なお、錘載荷方法による曲げヤング係数と実大試験機による曲げヤング係数の差はほとんどなかった。

表 2 曲げ破壊試験結果

F													1
被覆なし							最大荷重時		曲げ	比例限度	比例限度	比例限度	
試験体No	重量	全長	幅	高さ	密度	最大荷重	変形量	曲げ強度	ヤング係数	荷重	強度	変形量	仕事量
(評価に使った寸法)	kg	mm	mm	mm	kg/m^3	kN	mm	N/mm²	kN/mm ²	kN	N/mm ²	mm	kN•mm
1(梁寸法)	54.32	4000	105.2	210.0	615	60.3	61.3	49.4	12.17	53.6	43.9	53.9	1878
3(梁寸法)	56.22	4000	104.6	210.0	640	78.8	74.7	64.9	13.43	63.3	52.1	58.0	3045
5(梁寸法)	53.66	4000	105.5	209.5	607	71.0	68.5	58.3	13.00	59.1	48.5	55.7	2496
最小値	53.66	4000	104.6	209.5	607	60.3	61.3	49.4	12.17	53.6	43.9	53.9	1878
平均値	54.73	4000	105.1	209.8	621	70.1	68.2	57.5	12.86	58.7	48.2	55.9	2473
最大値	56.22	4000	105.5	210.0	640	78.8	74.7	64.9	13.43	63.3	52.1	58.0	3045
標準偏差	1.33	0.00	0.46	0.29	17.20	9.28	6.72	7.78	0.64	4.87	4.14	2.06	584
変動係数%	2.4	0.0	0.4	0.1	2.8	13.2	9.9	13.5	5.0	8.3	8.6	3.7	23.6
被覆あり							最大荷重時		曲げ	比例限度	比例限度	比例限度	
試験体No	重量	全長	幅	高さ	密度	最大荷重	変形量	曲げ強度	ヤング係数	荷重	強度	変形量	仕事量
(評価に使った寸法)	kg	mm	mm	mm	kg/m ³	kN	mm	N/mm ²	kN/mm ²	kN	N/mm ²	mm	kN•mm
2(梁寸法)	-	4000	105.5	210.3	_	104.6	30.7	85.2	42.22	84.9	69.1	24.4	1642
4(梁寸法)	_	4000	105.4	209.5	-	96.7	27.2	79.4	44.16	82.0	67.3	22.9	1331
6(梁寸法)	_	4000	105.4	209.8	-	113.8	31.4	93.2	45.00	88.3	72.4	23.9	1830
最小値	-	4000	105.4	209.5	_	96.7	27.2	79.4	42.22	82.0	67.3	22.9	1331
平均値	-	4000	105.4	209.9	-	105.0	29.8	85.9	43.80	85.1	69.6	23.7	1601
最大値	-	4000	105.5	210.3	-	113.8	31.4	93.2	45.00	88.3	72.4	24.4	1830
標準偏差	-	0.00	0.06	0.40	-	8.56	2.24	6.92	1.42	3.18	2.54	0.78	252
変動係数%	-	0.0	0.1	0.2	-	8.1	7.5	8.1	3.2	3.7	3.6	3.3	15.7

105×210梁寸法で計算: 被覆ありの試験体平均値÷被覆なしの試験体平均値	1.50	0.44	1.49	3.40	1.45	1.45	0.42	0.65	j
---	------	------	------	------	------	------	------	------	---

参考 被覆あり							最大荷重時		曲げ	比例限度	比例限度	比例限度	
試験体No	重量	全長	幅	高さ	密度	最大荷重	変形量	曲げ強度	ヤング係数	荷重	強度	変形量	仕事量
(評価に使った寸法)	kg	mm	mm	mm	kg/m^3	kN	mm	N/mm ²	kN/mm ²	kN	N/mm^2	mm	kN•mm
2(難燃処理材含む)	-	4000	225.0	300.0	-	104.6	30.7	19.6	6.82	84.9	15.9	24.4	1642
4(難燃処理材含む)	-	4000	225.0	300.0	-	96.7	27.2	18.1	7.05	82.0	15.4	22.9	1331
6(難燃処理材含む)	_	4000	225.0	300.0	_	113.8	31.4	21.4	7.21	88.3	16.6	23.9	1830
最小値	_	4000	225.0	300.0	_	96.7	27.2	18.1	6.82	82.0	15.4	22.9	1331
平均值	_	4000	225.0	300.0	1	105.0	29.8	19.7	7.02	85.1	16.0	23.7	1601
最大値	-	4000	225.0	300.0	-	113.8	31.4	21.4	7.21	88.3	16.6	24.4	1830
標準偏差	_	0.00	0.00	0.00	1	8.56	2.24	1.61	0.20	3.18	0.60	0.78	252
変動係数%	-	0.0	0.0	0.0	-	8.1	7.5	8.1	2.8	3.7	3.7	3.3	15.7
225×300梁寸法で計算した被覆ありの試験体平均値÷ 105×210梁寸法で計算した被覆なしの試験体平均値						1.50	0.44	0.34	0.55	1.45	0.33	0.42	0.65

※各種強度性能の計算方法

曲げ強度の計算方法(被覆あり No2の場合)

fm = aFult/(2Z)

a = 1267 mm 104568 N Fult =

Z = 777642

支点から荷重点までの距離 a :

最大荷重 矩形断面のときは, bd²/6 Fult:

b は材の高さ、dは材の幅 Z : 断面係数

85.2 N/mm² またはMpa fm =

曲げヤング係数の計算方法(被覆あり No2の場合)

 $Em = a(3L2-4a2)(F2-F1)/{48I(w2-w1)}$

I = 81769065 F2-F1 = 31370 N

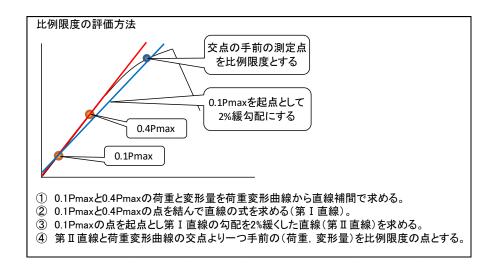
w2-w1 =8.847 mm

I: 断面2次モーメント 矩形断面のときは, bo F2-F1: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分 断面2次モーメント 矩形断面のときは, bd3/12

F₁は最大荷重の推定値の約10%, F₂は約40%とする

w2-w1: F₂-F₁に対応する変形の増分

42.22 kN/mm² またはGPa Em =



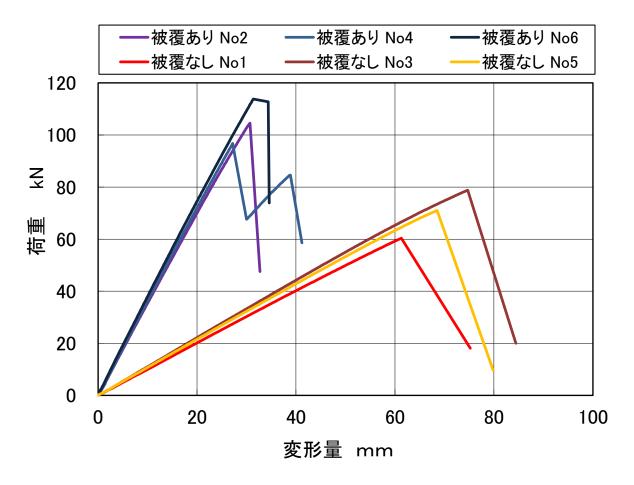


図2 曲げ破壊試験の荷重と変形量の関係



写真 2 曲げ破壊試験状況



写真 3 No1 破壊状況(北面)



写真 4 No1 破壊状況 (南面)



写真 5 No1 破壊状況 (下面)



写真 6 No3 破壊状況 (北面)



写真7 No3 破壊状况(南面)



写真 8 No3 破壊状況 (下面)



写真 9 No5 破壊状况(北面)



写真 10 No5 破壊状况(南面)



写真 11 No5 破壊状况(下面)



写真 11 No2 破壊状况(北面)



写真 12 No2 破壊状况 (南面)



写真 13 No2 破壊状况 (下面)



写真 14 No4 破壊状况(北面)



写真 15 No4 破壊状況 (南面)



写真 16 No4 破壊状况(下面)



写真 17 No6 破壊状況(北面)



写真 18 No6 破壊状况 (南面)



写真 19 No6 破壊状况 (下面)

7.4 まとめ

難燃薬剤処理 LVL 被覆材が梁の曲げ強度性能に及ぼす影響を確認するため、梁材に、カラマツ構造用 LVL (120E-385FHV)、被覆材として、スギ難燃薬剤処理 B 種 LVL (含浸量 150kg/m³以上)を使用して、被覆なし3体、被覆あり3体による曲げ破壊試験を行った。

基材の梁 LVL 寸法 105mm×210mm で計算した平均値で比較してみると、曲げ強度は被覆ありが被覆なしに比べて 1.5 倍、曲げヤング係数は 3.4 倍となった。曲げ強度と比例限度強度との割合については、被覆ありの方が僅かに低かったが、ほとんど差は無かった。最大荷重時の変形量は、平均値で被覆なしは 68.2mm、被覆ありは 29.8mm と 0.44 倍となり、当該試験条件では、被覆によりたわみ量はかなり抑えられていた。設計に使用する断面寸法を基材である梁の105mm×210mm にするのであれば、短期のたわみ量は被覆により減少することが分かった。ただし、振動や長期のクリープ性能及び耐火試験等による被覆効果については、別途検討が必要であろう。

また、参考までに被覆ありの外見寸法($225 \times 300 \,\mathrm{mm}$)により曲げ強度や曲げヤング係数を計算した結果を平均値で比較すると、被覆ありの曲げ強度が被覆なしに比べて 0.34 倍、被覆ありの曲げヤング係数が被覆なしに比べて 0.55 倍低かった。この曲げ強度性能は、スギ JAS 機械等級区分製材の E50 より低く、曲げヤング係数は E70 程度であった。

8. まとめと今後の課題

本事業では、難燃薬剤処理 LVL を被覆材とした 1 時間耐火構造(柱・梁)に関して、各取合部分等の耐火試験を実施し、同時に耐火被覆材の環境負荷低減に関する定量的な評価を行った。

耐火構造の接合部の耐火性能を確認したことにより、現場での接合部施工の際に防耐火上弱点とならないおさまりを設計者に提案できるデータを得ることができた。今後、本耐火構造を用いた中高層建築の耐火設計を設計者・施工者に提案していきたい。

難燃薬剤処理 LVL の環境負荷低減の評価に関して、製造時までの温室効果ガス排出原単位を算定した。同じ耐火性能を持つ石膏ボードの製造時までの既存データと比較すると大きい結果となった。しかし、難燃薬剤処理 LVL は木材であり、木材が持つ炭素貯蔵効果と合わせて評価されるべき製品であると考える。

もともと構造部材である難燃薬剤処理 LVL で被覆した梁の曲げ性能を実験的に検証し、曲げ剛性が上昇することを確認した。難燃薬剤処理 LVL が耐火性能のみならず、上記の環境負荷低減効果と合わせ、構造的にも性能を付与できることを明らかにした。

今後は本事業において製作したリーフレットや、納まり図を使って、実建物へ応用していく。 また、14階建てまで適用できる2時間耐火構造の仕様にもチャレンジしていきたい。

別添資料

目次

- 1 スギ梁1時間耐火性能試験成績書
- 2 目地確認 1 時間耐火試験成績書 (壁炉 1/28 実施)
- 3 接合部 1 時間耐火試験成績書 (水平炉 1/5、1/7、2/21~22 実施)

 試験番号: III A - 2 1 - 0 0 2 9 R

 受付日: 2021年7月19日

 報告日: 2022年1月20日

耐火性能試験成績書

大阪府池田市豊島南二丁目204番地

一般財団法人 日本建築総合試験所 試験研究センター センター長 工学博士 川瀬博工研覧に

報告書発行責任者

耐火構造試験室長于茶田中 義昭

名 一般社団法人 全国LVL協会 社 依 頼 者 所 在 地 東京都江東区新木場1-7-22 造 名 りん窒素系薬剤処理スギ単板積層材(梁下面90mm・梁側面60mm)被覆/木製梁 商品名 建築物の部分 はり 耐火性能 1時間 材 試験体製作日:2021年7月8日 ・スギ集成材(荷重支持部材) : 0.43 (気乾), 0.39 (105℃・10日間乾燥) ・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(被覆材,30mm): 0.60 (気乾), 0.53 (105℃・10日間乾燥) 比 ・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(被覆材,60mm): 0.64 (気乾), 0.56 (105℃・10日間乾燥) ・アルカリアースシリケートブランケット : 0.173 (気乾) ・スギ集成材(荷重支持部材) : 11.19 (105℃・10日間乾燥) 含水率 ・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(被覆材,30mm): 12.85 (105℃・10日間乾燥) (%) ・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(被覆材,60mm): 13.46 (105℃・10日間乾燥) 試 備 試験体の材料および構成(鉛直断面図,単位:mm) 詳細を図-1~3および表-1,2に示す。 (全て依頼者の提出資料による。) (600) ALC板 厚100 験 ポリウレタン系樹脂 セレクティUR-20(オーシカ) 300g/㎡塗布 難燃薬剤処理LVL厚60 対称異等級構成 210 (スギ):薬剤処理後のLVL厚30 92 構造用集成材 2枚をレゾルシノール E65-F225 8 樹脂系接着剤で貼り合わせ) (スギ) コーススレッドビス ø 4.2 × 51@200 使用環境B 木栓φ10×40 体 20 20 8 隙間1.0mm 20 9 コーススレッドビス ø4.8×90@200 3 20 コーススレッドビス φ4.2×51@200 40 20 15 15 15 15 ※難燃処理薬剤LVLは 難燃薬剤処理LVL厚30 木栓φ10×20 含浸量130~140kg/㎡とする 105 ₩ 225 一般財団法人 日本建築総合試験所制定 試 験 規 格 試 「防耐火性能試験・評価業務方法書」4.1 耐火性能試験方法 加熱炉の熱源 都市ガス (46090 kJ/m³) 験 加熱温度の測定 加熱面から10cm離れた位置の火炎温度 温度測定位置 図-1,3に示す。 方 験 荷 重 1線あたり3.5 kN*1 (載荷装置図を図-4に示す。) 試 2 た わ 法 図-1に示す。 測 定 位 置

							ⅢA210029R-3/15
	試	馬	矣	体	1 100000000000000000000000000000000000	号	Α
	試	E.		年	月	日	2021年 7月 30日
- h	試	験々	ょの	大	きさ	(mm)	W 225×H 300×L 5800 (支点間距離 ℓ=5400)
試	加			熱		面	上面を除く3面
	試		験		時	間	420 分* ²
	加		熱		時	間	60 分
験	加	熱	温月	度 》	則定	曲線	図-5 に示す。
						出線	図-6 に示す。
;	非	圧制	官縁 で	かりの	ら 引 引 - 距	新面の 長り縁 離 (d)	210 mm
結	損				わ。 47.1 m		86.6 mm
!	傷	最 [規:	大 7定値	た は 15.4	わ み 4 mm/	速 度 分] ^{*3 *4}	1.8 mm/分
	į	鋼 材	測			- 線	
果	性	温		最	, 	高	
1	<u>i</u>	度		平	t	勻	
	そ			の		他	荷重支持部材が炭化していないことを確認した。(写真-8参照)
!		判				定	_
	•	Ī	【を用	P=f _]	て算出 b× ³ ℓ	した。 ×Z− 3wℓ 8	分2線載荷とし、試験荷重Pは曲げの長期許容応力度 f_b が作用するように下 $-=3.5~{ m kN}~(1線あたりの荷重)$
備:	•	É た 作	ョ重等 なお、 ≅用す	F) と 依頼 る(: した。 頼者の 値(P=1	f _b は、 指示にし .3kN)ま	m^2 , ℓ = 5400 mm, Z = 771750 mm 3 (断面係数), w = 0.0735 N/mm (試験体の F_b = 22.95 N/mm 2 (基準強度) から算出した。 こり、試験開始207分30秒以降、試験荷重は曲げの長期許容応力度の半分がで低減させた。 、たことを確認して試験を終了した。
考		て	の距	離	をd(試	験体の構	及び最大たわみ速度(ℓ^2 /9000d)の規定値は、荷重支持部材の上端から下端ま 造断面の圧縮縁から引張り縁までの距離= $210~\mathrm{mm}$)として算出した。 値は、たわみ量が ℓ /30 ($180.0~\mathrm{mm}$)を超えた範囲で適用する。
:	•	内部温	退度測	l定E	曲線を	図-7,8に	示す。

試 験 機 関 一般財団法人 日本建築総合試験所

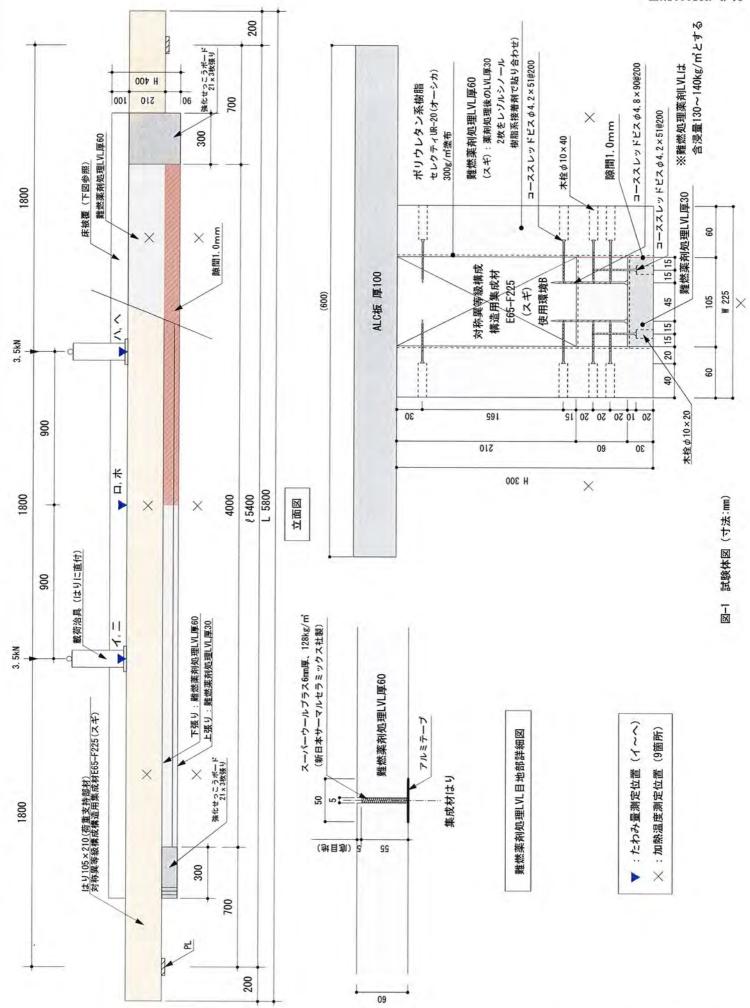
・ 試験状況を写真-1~8に示す。

試験実施場所 池田事業所 大阪府池田市豊島南二丁目204番地 使用炉:床・はり炉

試 験 担 当 者 は 試験責任者: 小宮 祐人 試験担当者: 岸 仁志

・ 内部温度の測定には、依頼者が設置した熱電対を使用した。

以上



一般財団法人 日本建築総合試験所

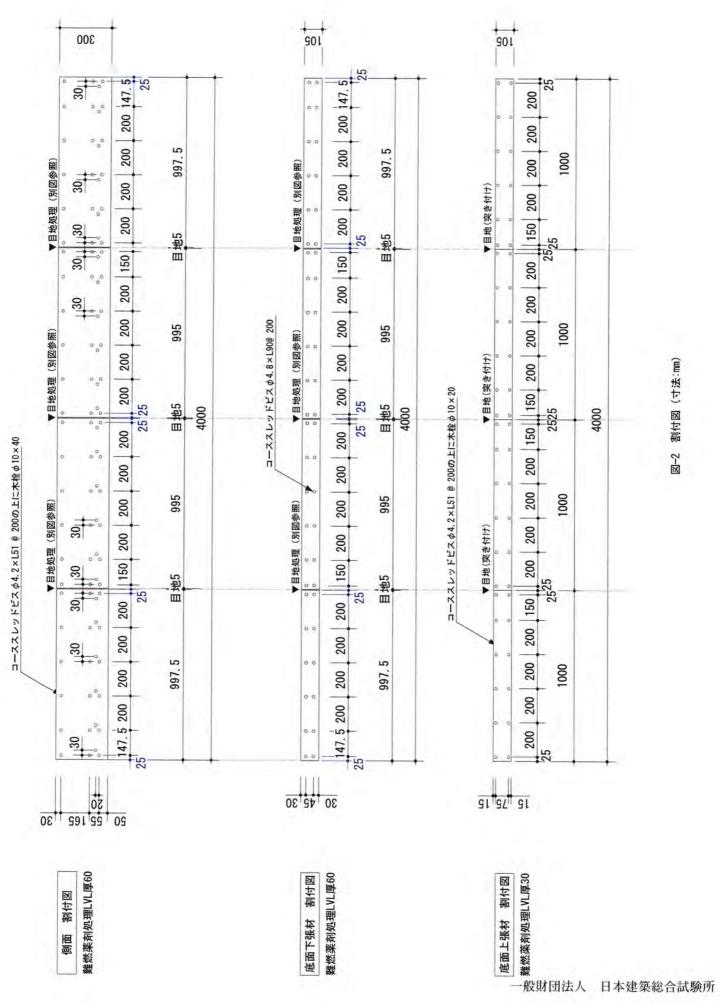
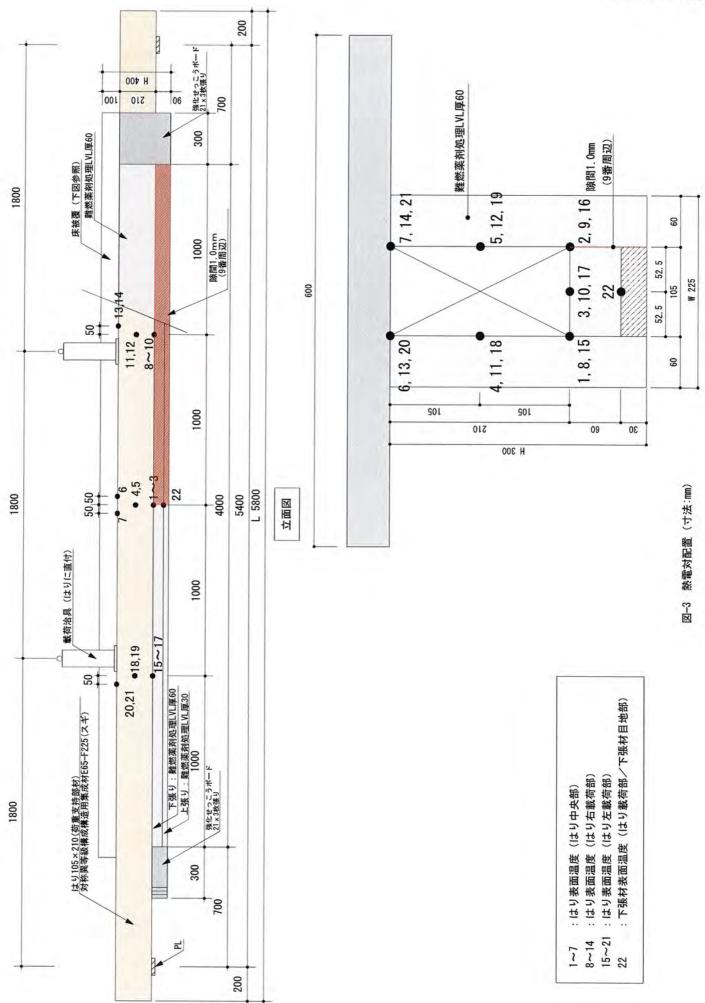


図-2 割付図 (寸法:mm)



一般財団法人 日本建築総合試験所

表-1 試験体構成材料

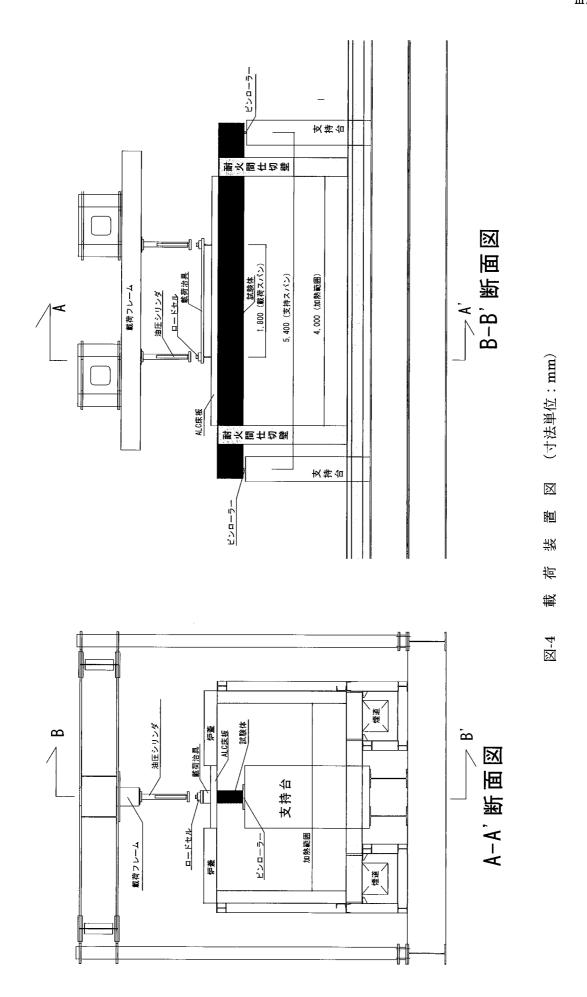
(寸法単位:mm)

項 目	詳細
1 荷重支持部材	木製梁
	・規格 平成 13 年国土交通省告示 1024 号に規定する構造用集成材
	(強度等級 対称異等級構成 E65-F225)
	- 樹種 スギ
	・断面寸法 105×210
	• 密度 0.43g/cm ³ (気乾、実測値)
	・ 面取り寸法 3.0
O 345 至 44	
2被覆材	りん・窒素系薬剤処理単板積層材
	・厚さ 30
	・厚さ 60 (厚さ30の板を積層)
	・密度 0.60g/cm ³ (厚さ30mm) (気乾、実測値)
	0.64g/cm³ (厚さ60mm) (気乾、実測値)
	・幅 105,300
	・長さ 995 (最小)
	・目地の寸法 5
	[1]単板積層材
	・樹種 スギ
	・密度 0.47g/cm³(気乾、実測値)
	・規格 JAS 規格を満足する単板積層材
	・薬剤の種類 りん・窒素系薬剤
	・薬剤の組成(質量%) ポリりん酸カルバメート 100
	・薬剤の固形量 最小値 132.8kg/m³
	・節 あり(幅方向の径75以下,単板積層材のJAS規格 構造用単板積層材(LVL))
	[2]積層用接着剤
	・材質 レゾルシノール樹脂系
	・塗布量 350g/m²(有機質量 196g/m²)
	[3]
	[3]-1 アルカリアースシリケートブランケット(生体溶解性繊維)
	・厚さ 6
	・密度 173 kg/m³(気乾、実測値) ・分類温度 1200℃
	・組成(質量%)
	酸化物(酸化カルシウム+酸化マグネシウム) 35
	[3]-2 アルミ箔テープ
	·幅 50
	[4]表面塗装
	・材質 アクリル・ウレタン樹脂系塗料
	・塗布量 300 g/m²(有機質量 75g/m²)

表-2 試験体構成材料

(寸法単位:mm)

	(月松丰区:ШШ)
項目	詳細
①留付材	[1]被覆材留付用
	[1]-1 ねじ
	・ 材質 鉄
	・寸法
	・留付間隔(水平方向)200
	[1]-2 ねじ
	- ・材質 鉄
	・ 寸法
	・留付間隔(水平方向)200
	[1]-3 接着剤
	・材質 ウレタン系樹脂接着剤
	・塗布量 300g/m²(有機質量 180g/m²)
	[1]-4 木栓
	・材質・ブナ
	・寸法 φ10×L20
	・密度 0.78g/cm ³
	[1]-5 木栓
	・材質・木
	・寸法
	・密度 0.78g/cm ³



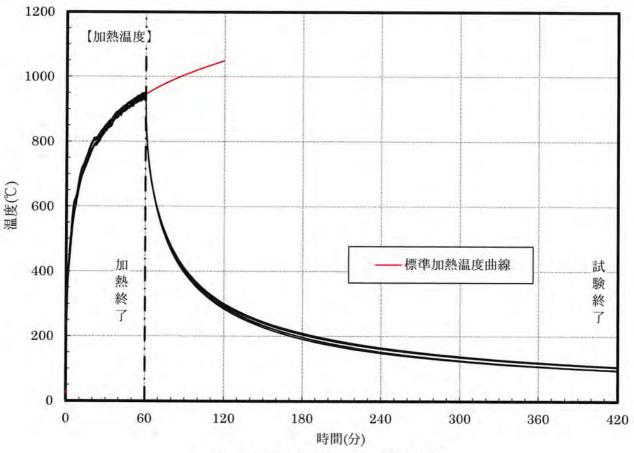
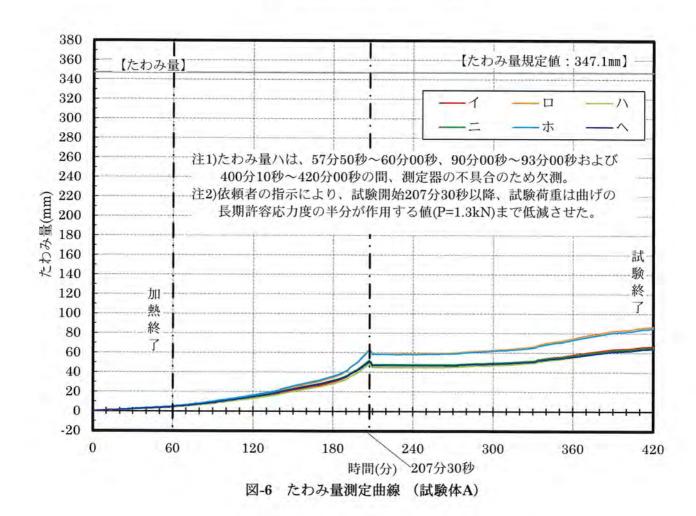
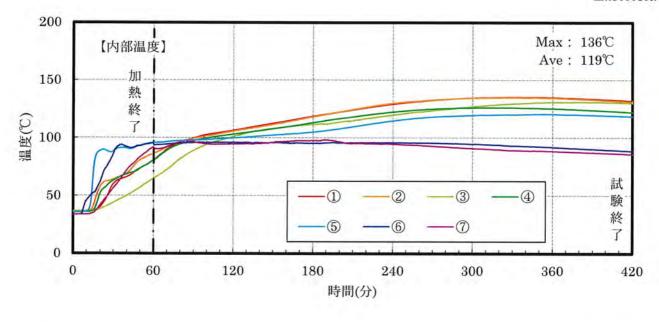
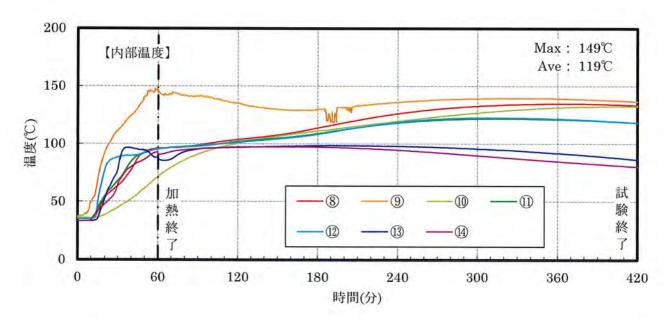


図-5 加熱温度測定曲線 (試験体A)







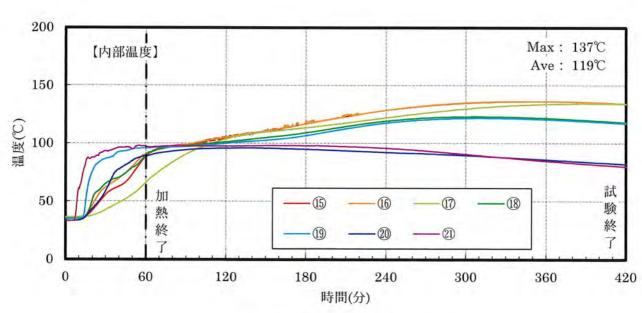


図-7 内部温度測定曲線 (試験体A)

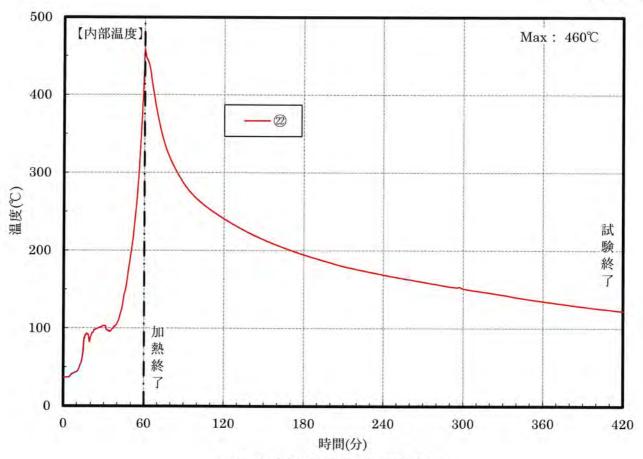


図-8 内部温度測定曲線 (試験体A)



写真-1 試験体A 加熱側 (加熱前)



写真-2 試験体A 非加熱側 (加熱前)



写真-3 試験体A 非加熱側 (加熱開始後30分)



写真-4 試験体A 非加熱側 (加熱開始後59分)



写真-5 試験体A 加熱側 (加熱後)



写真-6 試験体A 荷重支持部材の状況 (解体後)



写真-7 試験体A 荷重支持部材の状況 (解体後)

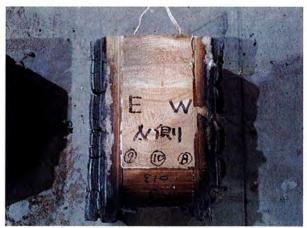


写真-8 試験体A 被覆材の炭化状況 (解体後)

本書の取扱いについて

- ・本書の最終ページは本ページです。
- ・本書の試験結果は、本書中に記載の依頼者より受領した試験体について 得られたものです。
- ・本書を複製して第三者に開示する場合は、必ず全文を複製することとし、 一部分だけの複製は行わないで下さい。
- ・本試験結果の一部分を、当試験所の名称を付してカタログに掲載する等、 一般に開示する場合は、文書によって当試験所の承認を得るようにして 下さい。

本書についての問い合わせは、下記までお願いします。

一般財団法人 日本建築総合試験所 試験研究センター 耐火部 耐火構造試験室

TEL: 072-760-5053 FAX: 072-760-5063

 試験番号: II B - 2 1 - 0 0 3 2

 受付日: 2022年 1月 13日

 報告日: 2022年 5月 19日

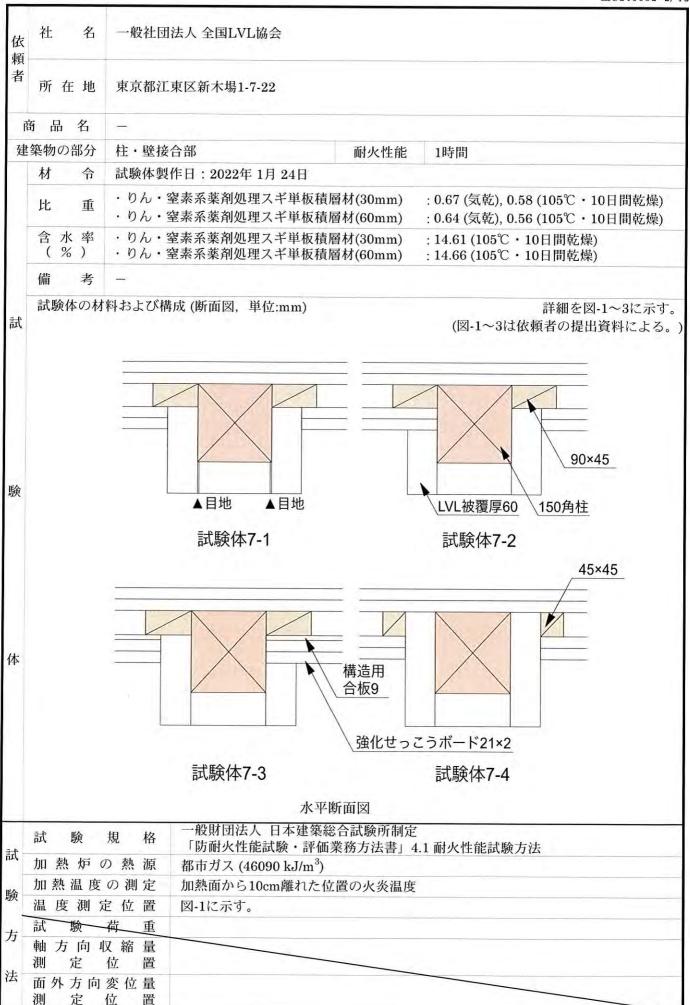
耐火性能試験成績書

大阪府池田市豊島南二丁目204番地

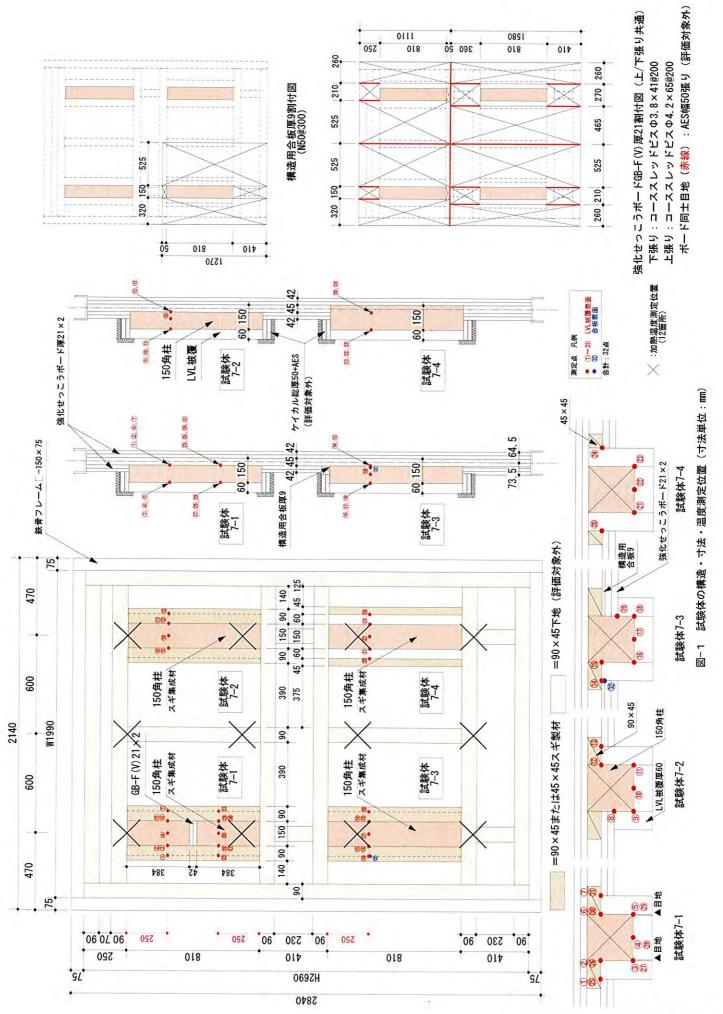
一般財団法人 日本建築総合試験所 試験研究センタ センター長 工学博士 川瀬博

報告書発行責任者

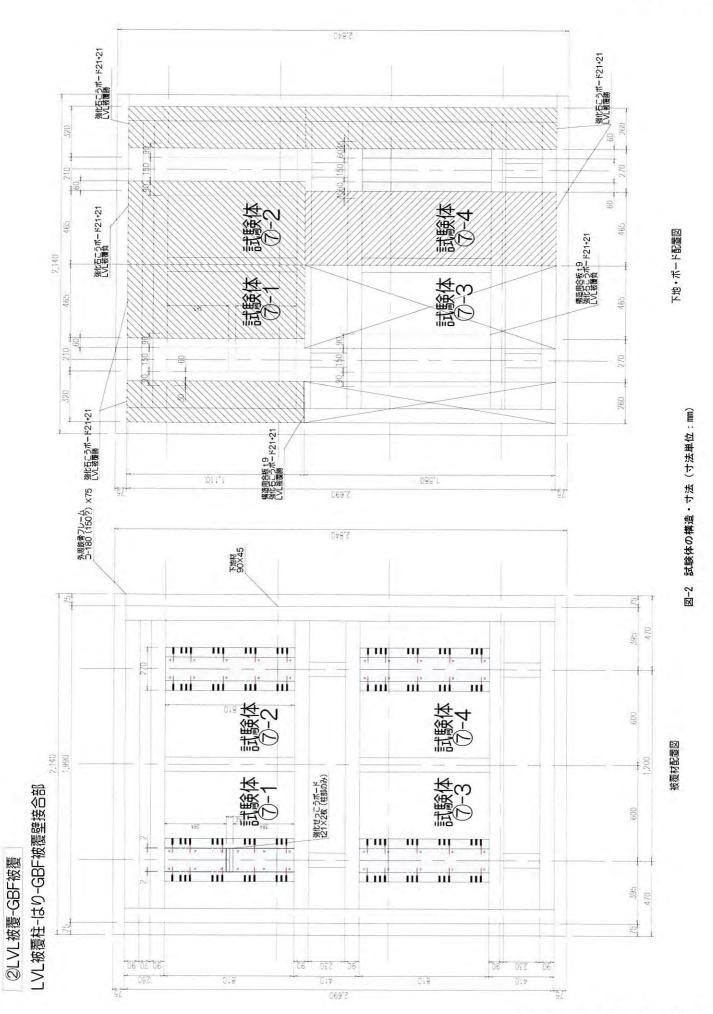
防耐火構造・材料試験<mark>室長</mark> 博士(工学) 土橋 常餐



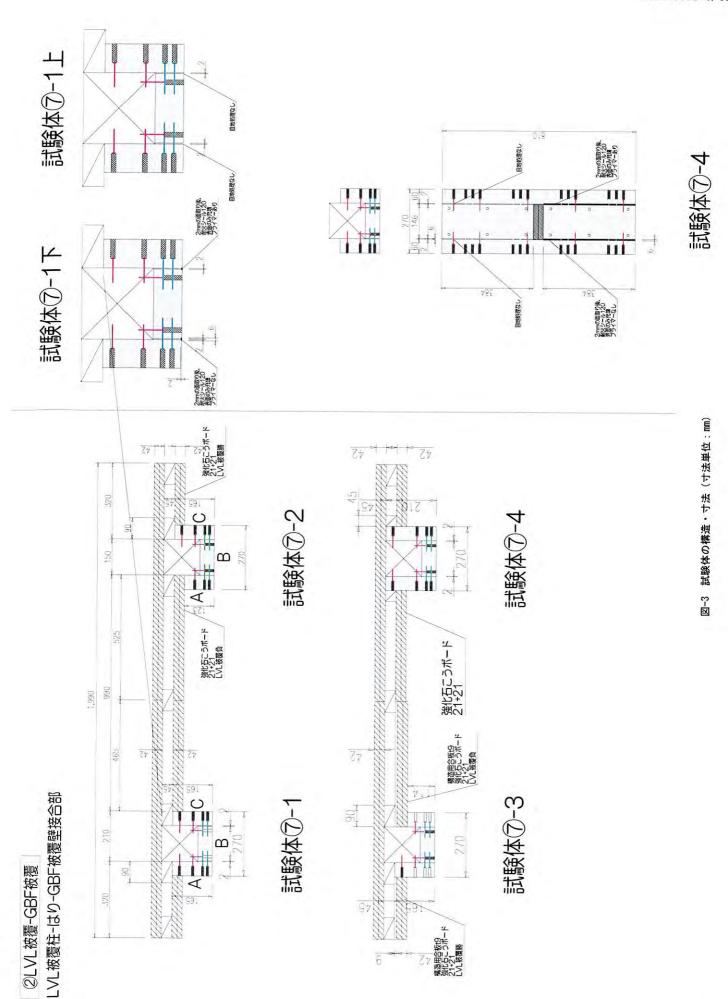
	試		験	体	記	号	A (7-1,7-2,7-3,7-4)
	抗	•	験	年	月	日	2022年 1月 28日
	試	験	体の	大	きさ	(mm)	W 1990 × H 2690
	試		験		時	間	360 分* ¹
試	加		熱		時	間	60 分
HZV	加	熱	温!	度 測	定日	曲線	図-4 に示す。
	\	軸	方向に	収縮量	亂測定	曲線	
	非	試	験体	初期	月高 さ	(h)	
	損	最	大 車	曲方「		宿量	
験		最	大軸	方向	収縮	速度	
	傷	鋼	測	定	曲	線	
	性	材温		最	高		
		度		平	均		
		温	度	測 :	定曲	線	
結	遮	初	J	朝 朝	温	度	
	熱	最 温大	_	最	高 表 190		
	性	度惠 上面	Į L	平	直 180 均	-	
	2004		炎が通	る亀刻	i 140 製等の		なし
果	遮炎		び隙間 加熱側		少を超	えて	
<i>7</i> 15	性	非		で10種	の噴出 沙を超	えて	なし ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	そ	194 <u>2</u> 7	続する	光炎の		他	すべての試験体において荷重支持部材と木製下地材が、 試験体7-3では荷重支持部材、木製下地材および構造用合板が 炭化していないことを確認した。(写真-6~11参照)
		判			万	È	——————————————————————————————————
参.	偭	外力	向变	位量	測定	曲線	
考	最	大 i	面 外	方向] 変 [立量	
	•	内部	温度測	定曲		-5 ~ 9	倹を終了した時間を示す。 に示す。
備		HANGER	. V 176 C	- J- J-K '	. 11	. 1041	, o
考							
試	験核	幾 関	i –	般財[団法人	日本	×建築総合試験所
		5.担益	-				
試験		当者		1田事	業所 壬者:	大阪府 浦野	F池田市豊島南二丁目204番地 使用炉:大型壁炉2 F 直哉 試験担当者: 小西 貴之



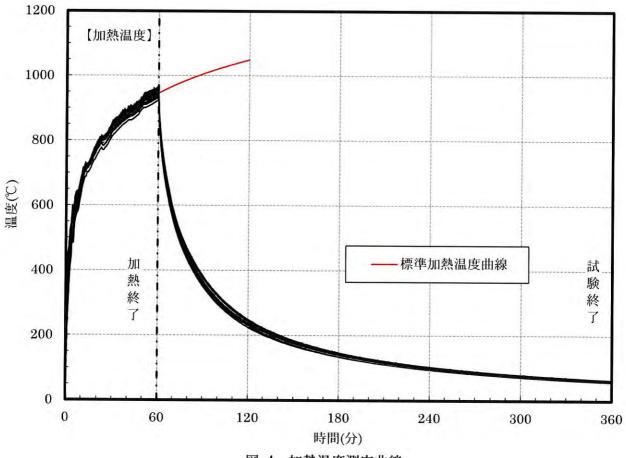
一般財団法人 日本建築総合試験所

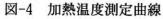


一般財団法人 日本建築総合試験所



一般財団法人 日本建築総合試験所





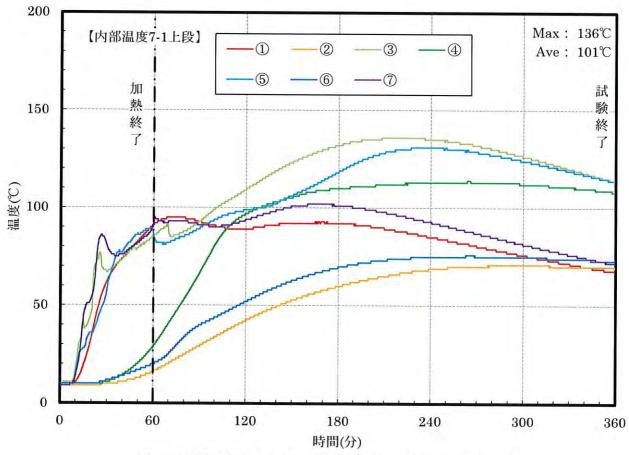


図-5 内部温度測定曲線 (試験体7-1 上段 耐火パテなし)

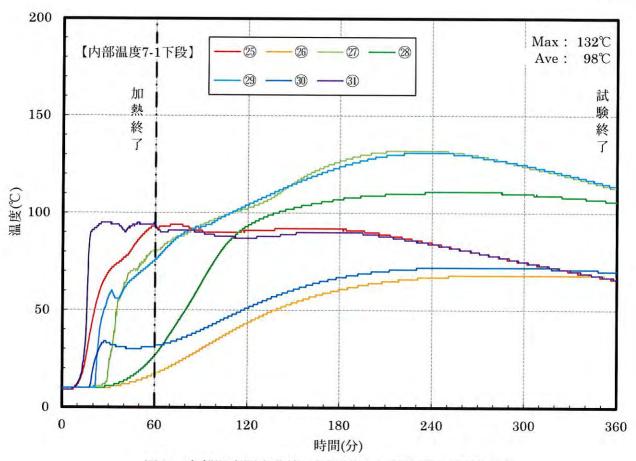


図-6 内部温度測定曲線 (試験体7-1 下段 耐火パテあり)

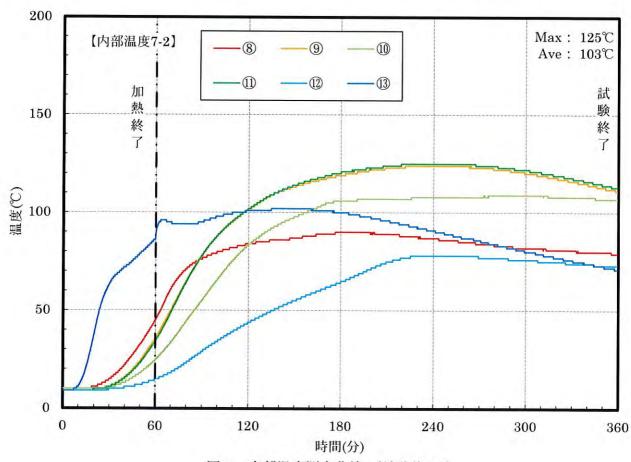
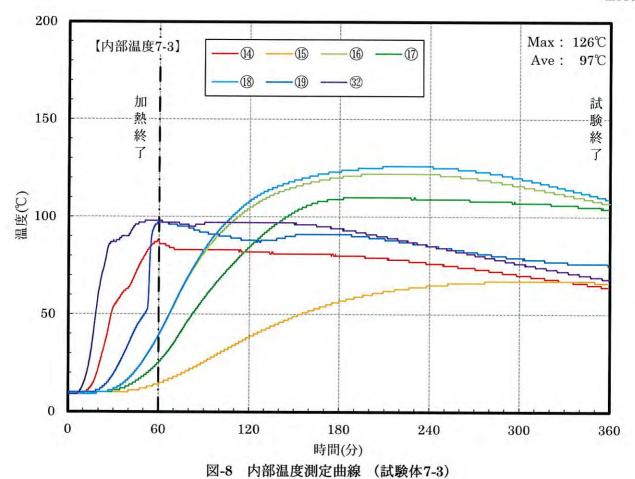
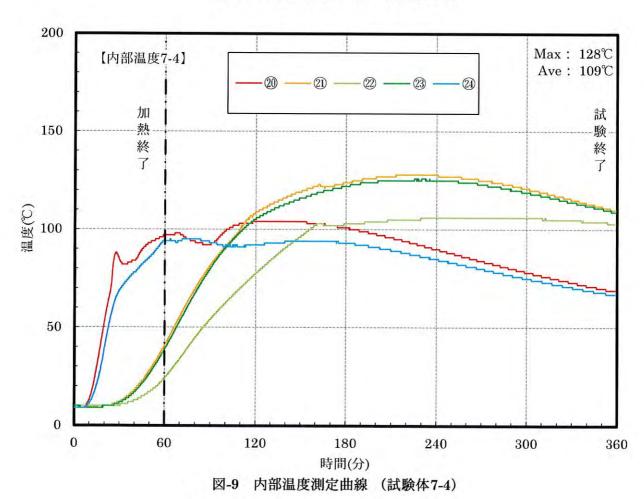


図-7 内部温度測定曲線 (試験体7-2)





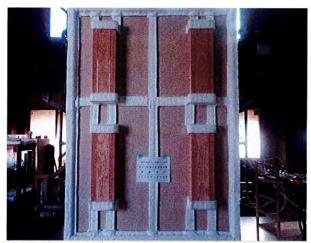


写真-1 試験体A 加熱側 (加熱前)

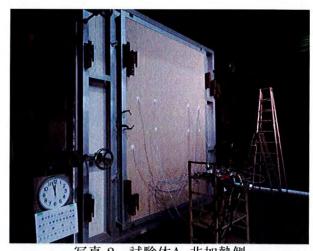


写真-2 試験体A 非加熱側 (加熱前)



写真-3 試験体A 非加熱側 (加熱開始後30分)

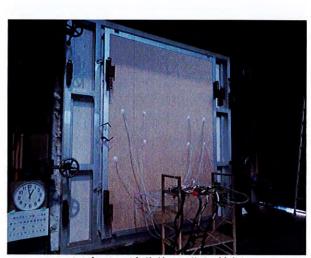


写真-4 試験体A 非加熱側 (加熱開始後59分)

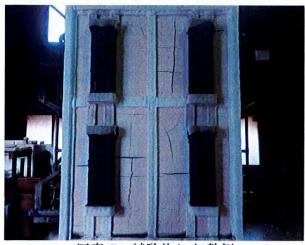


写真-5 試験体A 加熱側 (加熱後)



写真-6 試験体7-1上段 加熱側 (解体後)

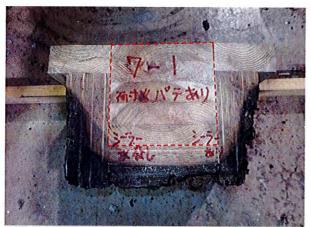


写真-7 試験体7-1下段 中央断面 (解体後)

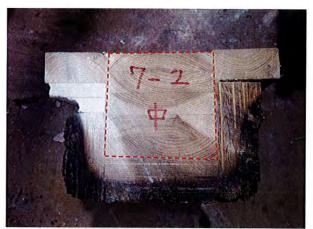


写真-8 試験体7-2 中央断面 (解体後)



写真-9 試験体7-3 構造用面材 (解体後)

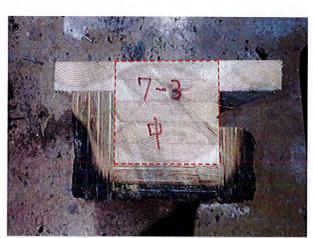


写真-10 試験体7-3 中央断面 (解体後)

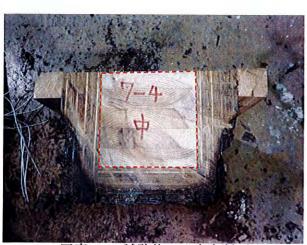


写真-11 試験体7-4 中央断面 (解体後)

本書の取扱いについて

- ・本書の最終ページは本ページです。
- ・本書の試験結果は、本書中に記載の依頼者より受領した試験体について 得られたものです。
- ・本書を複製して第三者に開示する場合は、必ず全文を複製することとし、 一部分だけの複製は行わないで下さい。
- ・本試験結果の一部分を、当試験所の名称を付してカタログに掲載する等、 一般に開示する場合は、文書によって当試験所の承認を得るようにして 下さい。

本書についての問い合わせは、下記までお願いします。

一般財団法人 日本建築総合試験所 試験研究センター 耐火部 防耐火構造・材料試験室

TEL: 072-760-5053 FAX: 072-760-5063

 試験番号: III A - 2 1 - 0 0 6 3 R

 受付日: 2021年 12月 14日

 報告日: 2023年 5月 17日

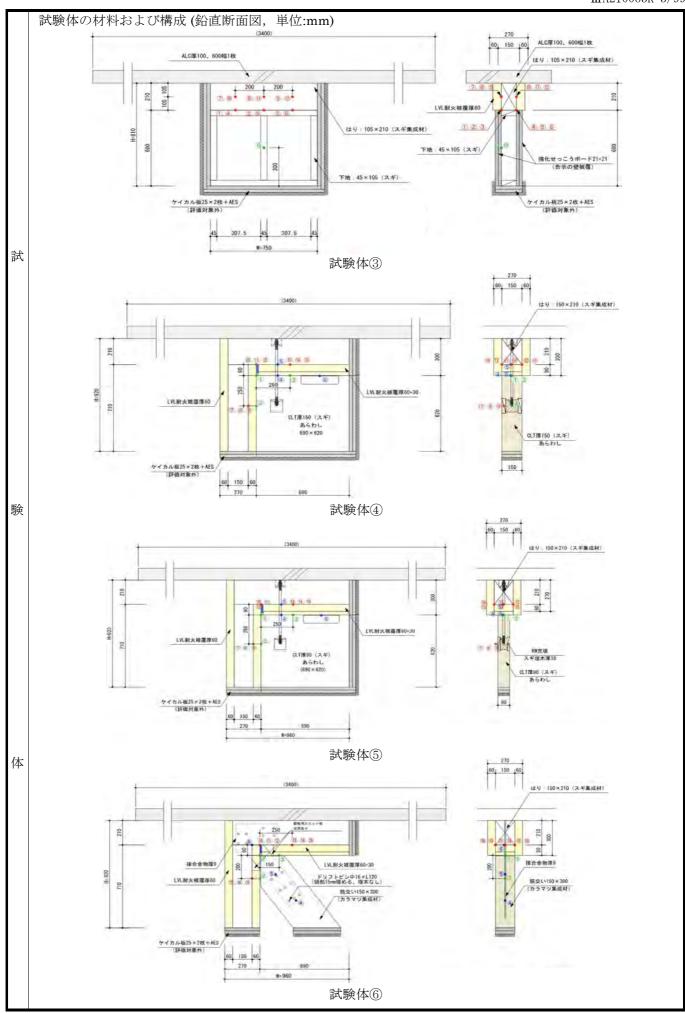
耐 火 性 能 試 験 成 績 書

大阪府池田市豊島南二丁目204番地

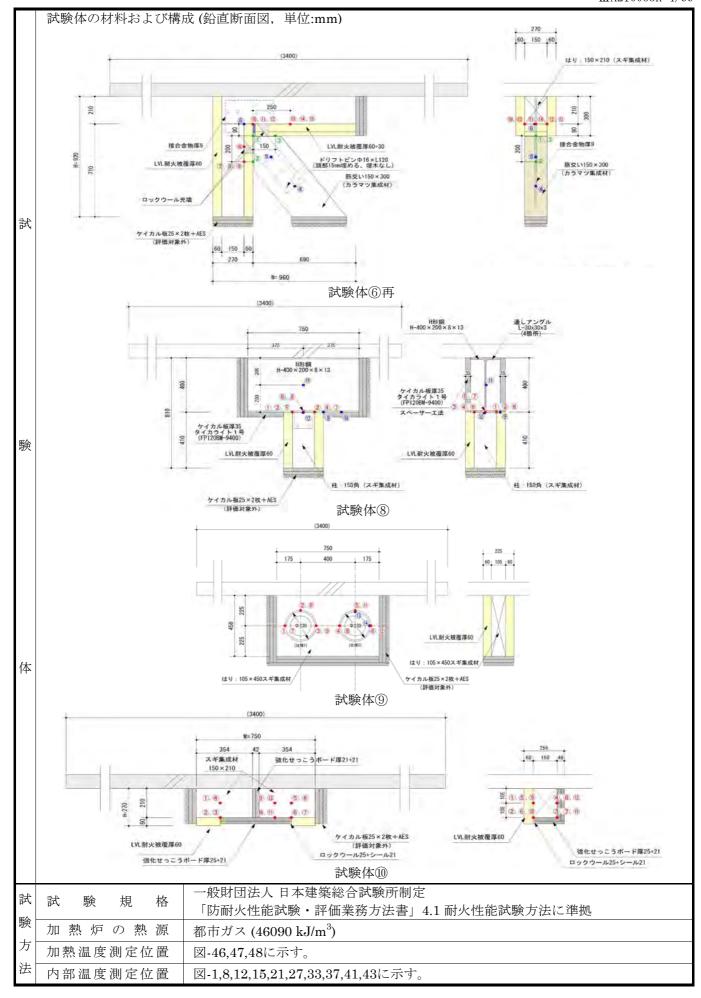
一般財団法人 日本建築総合試験所 試験研究センター センター長 工学博士 川瀬博

報告書発行責任者 耐火構造試験室長 田中 義昭

依頼	社 名	一般社団法人 全国LVL協会							
者	所 在 地	東京都江東区新木場1-7-22							
建筑	築物の部分	試験体① : 柱・はり接合部 試験体② : 柱・床接合部 試験体③ : 壁・はり接合部 試験体④ : 柱・はり・CLT(150mm)耐震壁接合部 試験体⑤ : 柱・はり・CLT(90mm)耐震壁接合部 試験体⑥ : 柱・はり・筋交い接合部 試験体⑥再: 柱・はり・筋交い接合部 試験体⑧ : 柱・鉄骨はり接合部 試験体⑨ : はり設備配管貫通部 試験体⑩ : はりの被覆材取合い部							
	商品名	一 耐火性能 1時間							
	材令	・試験体製作日:2021年 12月 27日 (試験体①~⑥) ・試験体製作日:2022年 2月 15日 (試験体⑥再、⑧~⑩)							
	比 重	・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(30mm): 0.67 (気乾), 0.58 (105℃・10日間乾燥) ・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(60mm): 0.64 (気乾), 0.56 (105℃・10日間乾燥)							
	含 水 率 (%)	・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(30mm): 14.61 (105℃・10日間乾燥) ・りん・窒素系薬剤処理スギ単板積層材(60mm): 14.66 (105℃・10日間乾燥)							
	備 考								
弒	試験体の材	料および構成 (鉛直断面図,単位:mm) 詳細を図-1~45に示す。 (全て依頼者の提出資料による。)							
験		LVL 耐火被覆厚50+30 LVL 耐火被覆厚50 LVL 耐火被覆厚50 LVL 耐火体液							
体		(1200) ALC際100, 600個2枚 (1200) ALC際100, 600個2枚 (1200) (1							



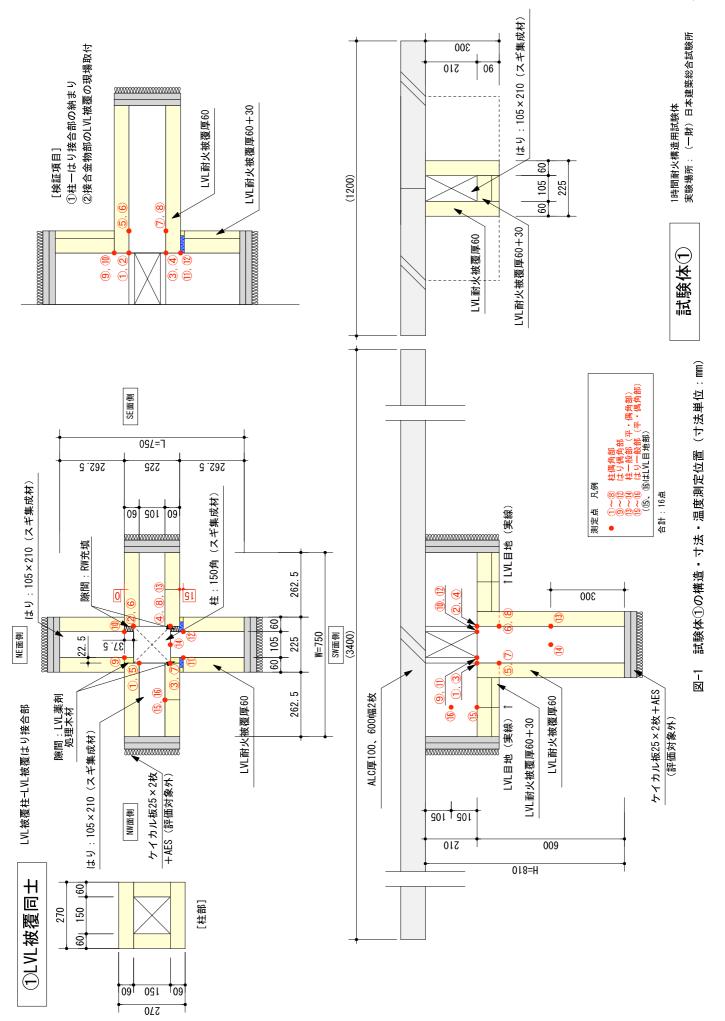
一般財団法人 日本建築総合試験所



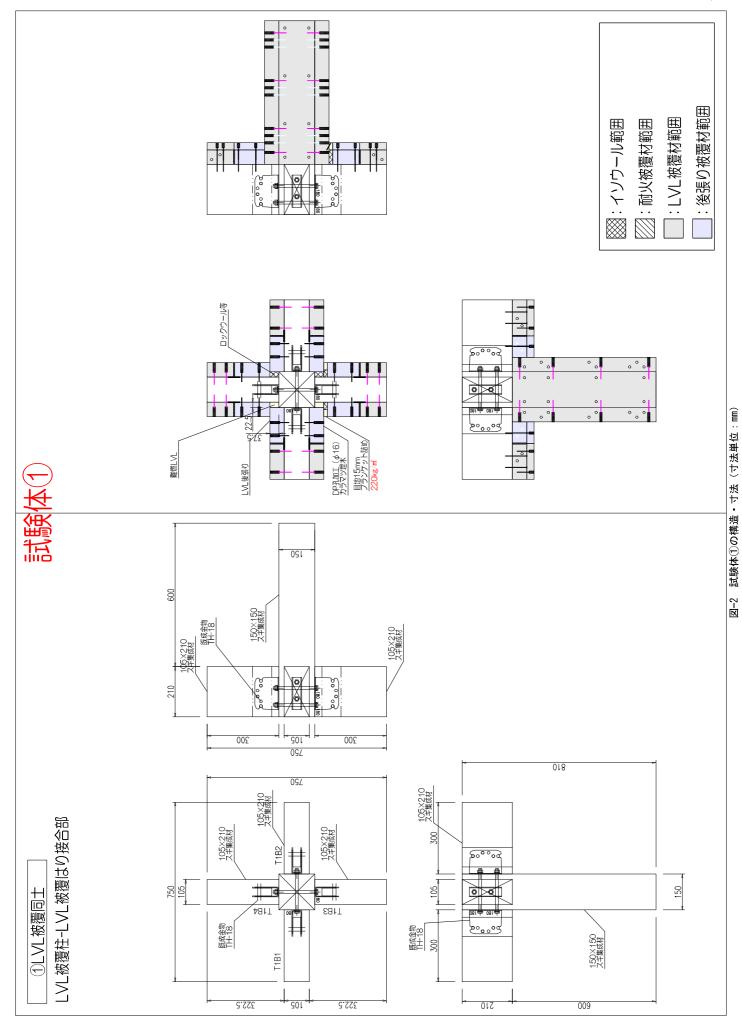
	試	験	年	月	日	2022年	1月 5日	
	試	験	:	時	間	350	分 ^{*1}	
	加	熱	,	時	間	60 分		
試	加	熱 温	度 測	定	曲線	図-49 に示す。		
	試	験	体	記	号	試験体①	試験体②	
	試	験体の	の大き	きさ	(mm)	W 750 × L 750 × H 810	W 750 × L 750 × H 810	
験	内	部 温	度 測	定	曲線	図-50~53に示す。	図-54~56に示す。	
	試	験	体	状	況	写真-1~14に示す。	写真-15~23に示す。	
	そ		Ø		他	荷重支持部材(柱、はり)が炭化していないことを確認した。 (写真-9~14参照)	荷重支持部材(柱、はり)が炭化していないことを確認した。 (写真-19~23参照)	
結		判			定	_	_	
	試	験	体	記	号	試験体③		
	試	験 体 (の大き	きさ	(mm)	W 750 × L 225 × H 810		
果	内	部 温	度 測	定	曲線	図-57~59に示す。		
	試	験	体	状	況	写真-24~29に示す。		
	そ		Ø		他	荷重支持部材(はり)、壁部の木製下 地材が炭化していないことを確認し た。(写真-28,29参照)		
		判			定	_		
	•		3温度が た時間			したことと試験体に赤熱がないことを そ	確認し、依頼者と協議の上、試験を終	
備								
考								

	試	験	年	月	目	2022年	1月 7日
	試	懸	é l	诗	間	660	分 ^{*2}
	加	孝	tį į	時	間	60	分
試	加	熱 温	度 測	定	曲線	図-60 🖟	こ示す。
	試	験	体	記	号	試験体④	試験体⑤
	試	験体	の大き	さき	(mm)	W 960 × L 270 × H 920	W 960 × L 270 × H 920
験	内	部 温	度 測	定	曲線	図-61~64に示す。	図-65~68に示す。
	試	験	体	状	況	写真-30~40に示す。	写真-41~51に示す。
	そ		Ø		他	荷重支持部材(柱、はり)が炭化して いないことを確認した。 (写真-36~40参照)	荷重支持部材(柱、はり)が炭化して いないことを確認した。 (写真-47~51参照)
		判		;	定	_	_
結	試	験	体	記	号	試験体⑥	
	試	験体	の大き	ささ	(mm)	W 960 × L 270 × H 920	
	内	部温	度 測	定	曲線	図-69~72に示す。	
果		写		-	真	写真-52~64に示す。	
	そ		Ø		他	荷重支持部材(柱)が炭化していることを確認した。(写真-62,63参照) 荷重支持部材(はり)が炭化していないことを確認した。(写真-61,64参照)	
		判		;	定	_	
	• ;	*2:依頼	質者と協	議の_	E、試願	食を終了した時間を示す。	
備							
考							

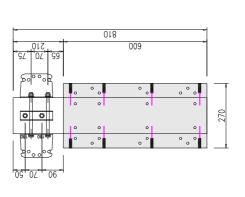
	試	験	į	丰	月	目	2022年2月	321~22日
	試		験	B	寺	間	1380 分 ^{*3}	
	加		熱	B	寺	間	60	分
試	加	熱	且 度	測	定	曲線	図-73 に示す。	
	試	験	i f	本	記	号	試験体⑥再	試験体⑧
	試	験体	。 の フ	大き	さ	(mm)	W 960 × L 270 × H 920	W 750 × L 270 × H 810
験	内	部注	且 度	測	定	曲線	図-74~77に示す。	図-78~79に示す。
	試	験	i f	本	状	況	写真-65~75に示す。	写真-76~84に示す。
	そ		0	か		他	荷重支持部材(柱)が炭化していることを確認した。(写真-73,74参照) 荷重支持部材(はり)が炭化していないことを確認した。(写真-75参照)	荷重支持部材(柱)が炭化していない ことを確認した。(写真-84参照)
結		判				定	_	_
	試	縣	i f	本	記	号	試験体⑨	試験体⑩
	試	験体	、 の ラ	大き	さ	(mm)	W 750 × L 225 × H 450	W 750 × L 270 × H 270
果」	内	部	且 度	測	定	曲線	図-80~82に示す。	図-83~86に示す。
		写				真	写真-85~92に示す。	写真-93~102に示す。
	そ		Ø	か		他	荷重支持部材(はり)が炭化していないことを確認した。 (写真-89~92参照)	荷重支持部材(はり)が炭化していないことを確認した。 (写真-97~102参照)
		判				定	_	_
	•		可部温原				したことと試験体に赤熱がないことを	確認し、依頼者と協議の上、試験を終
備								
-1 γ.								
考								
試	験	幾関	— <u>f</u>	設財団	団法ノ	人 日2	上 本建築総合試験所	
試懸	食実加	拖場所	池日	田事業		大阪府	守池田市豊島南二丁目204番地 使用炉	沪:床・はり炉
試具	験 担	当者	試	験責任	£者	: 小?	宮 祐人 試験担当者: 岸	仁志

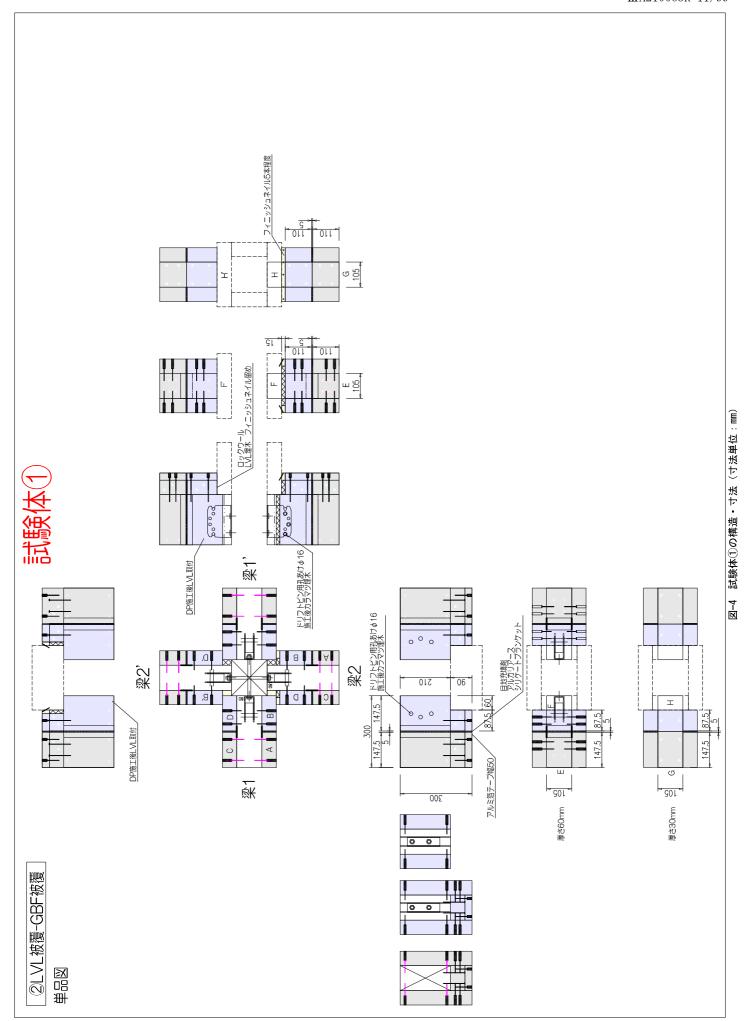


一般財団法人 日本建築総合試験所

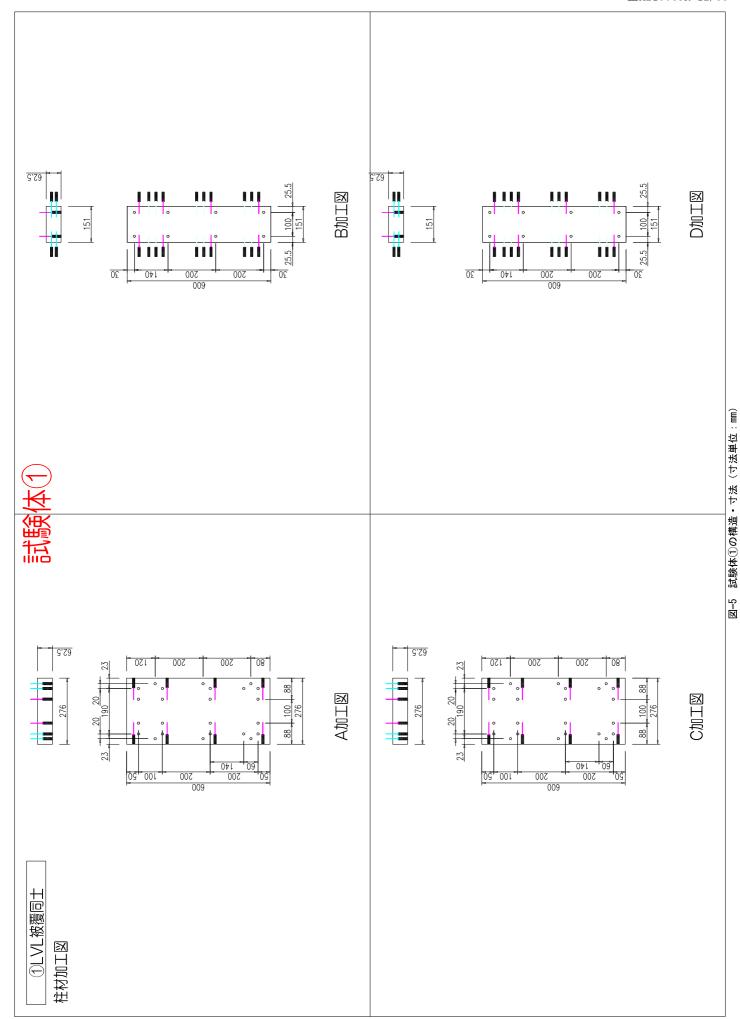


一般財団法人 日本建築総合試験所

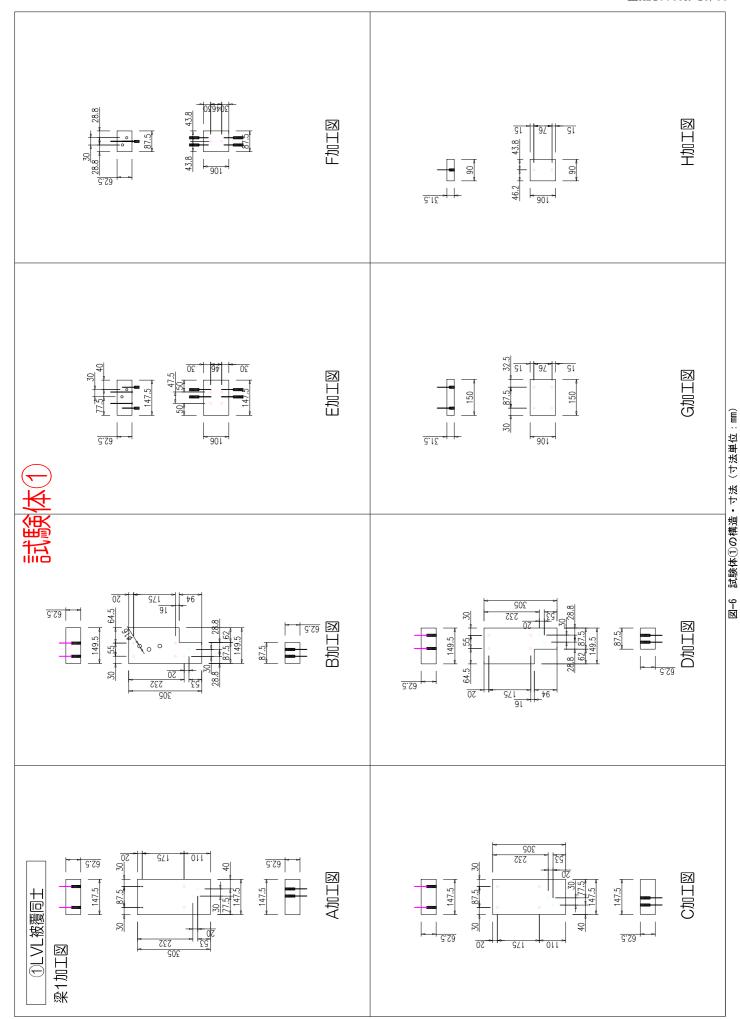




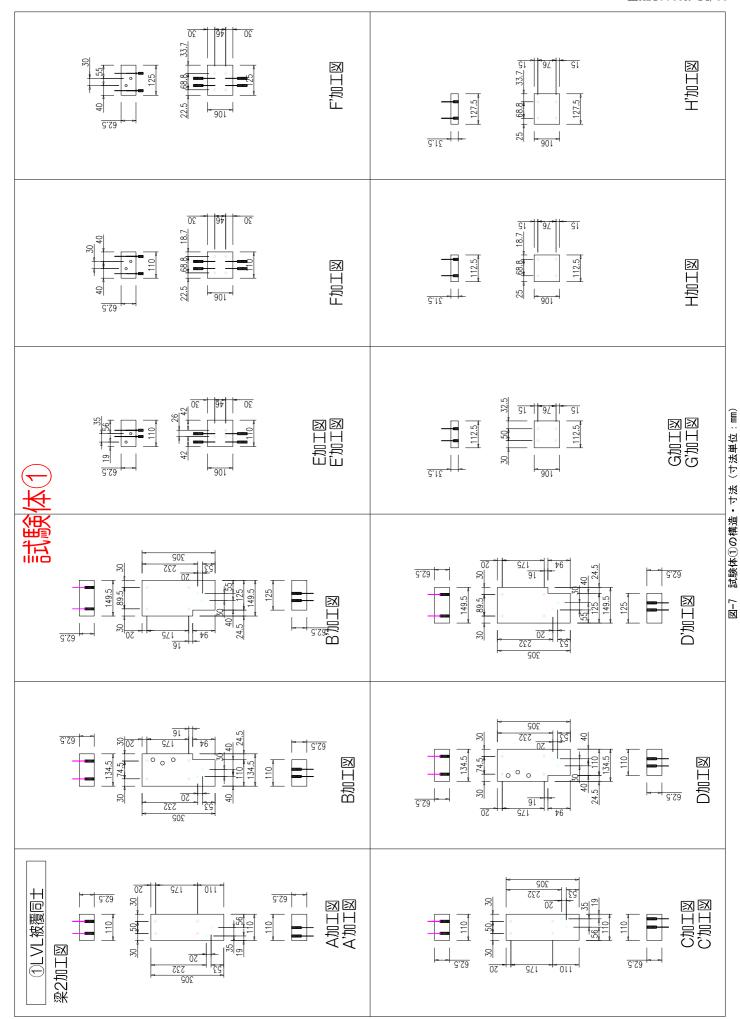
一般財団法人 日本建築総合試験所



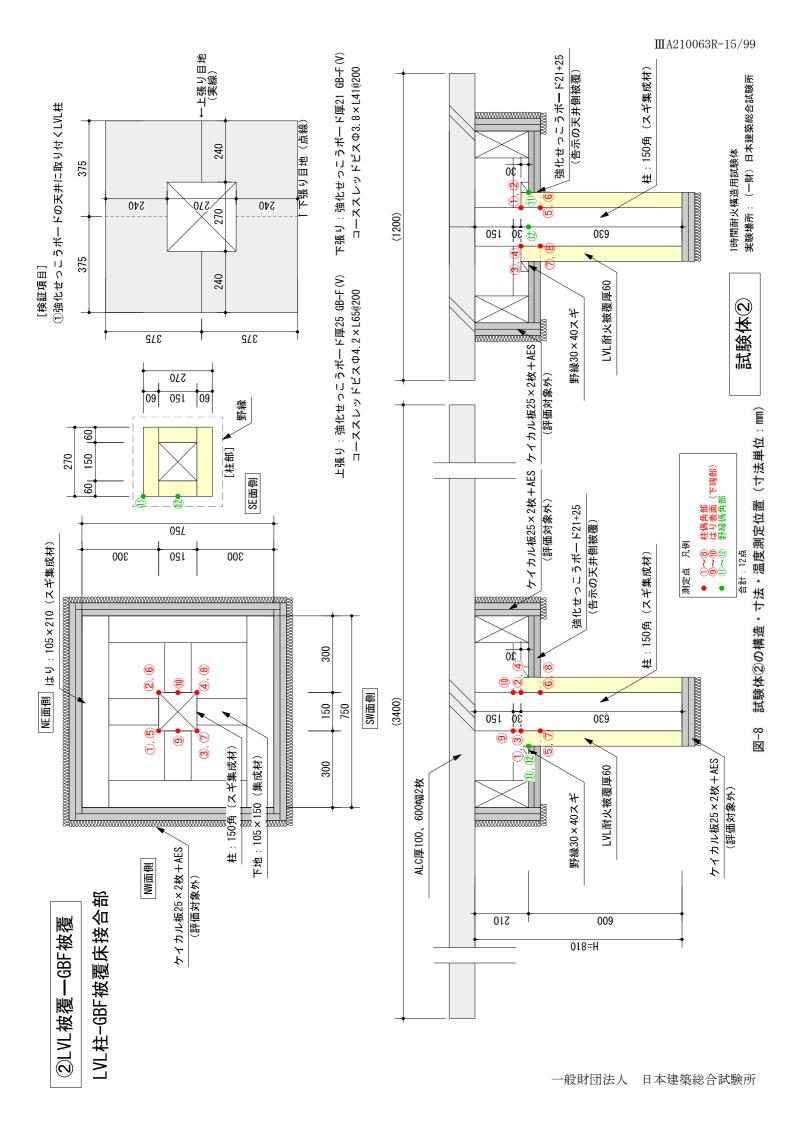
一般財団法人 日本建築総合試験所

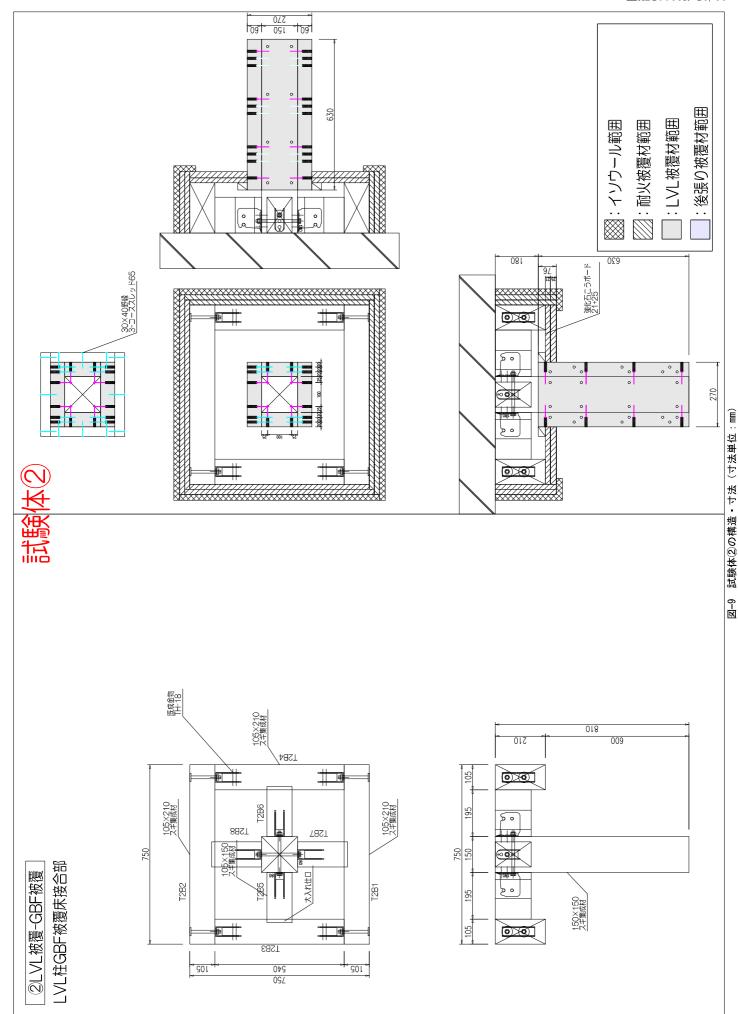


一般財団法人 日本建築総合試験所



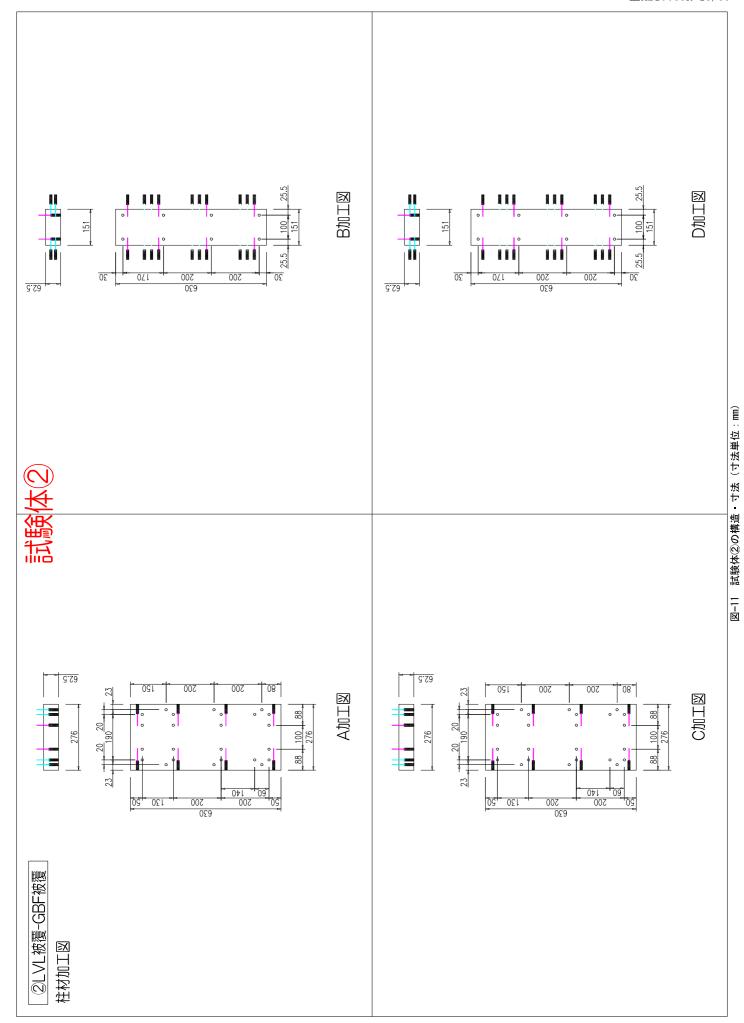
一般財団法人 日本建築総合試験所



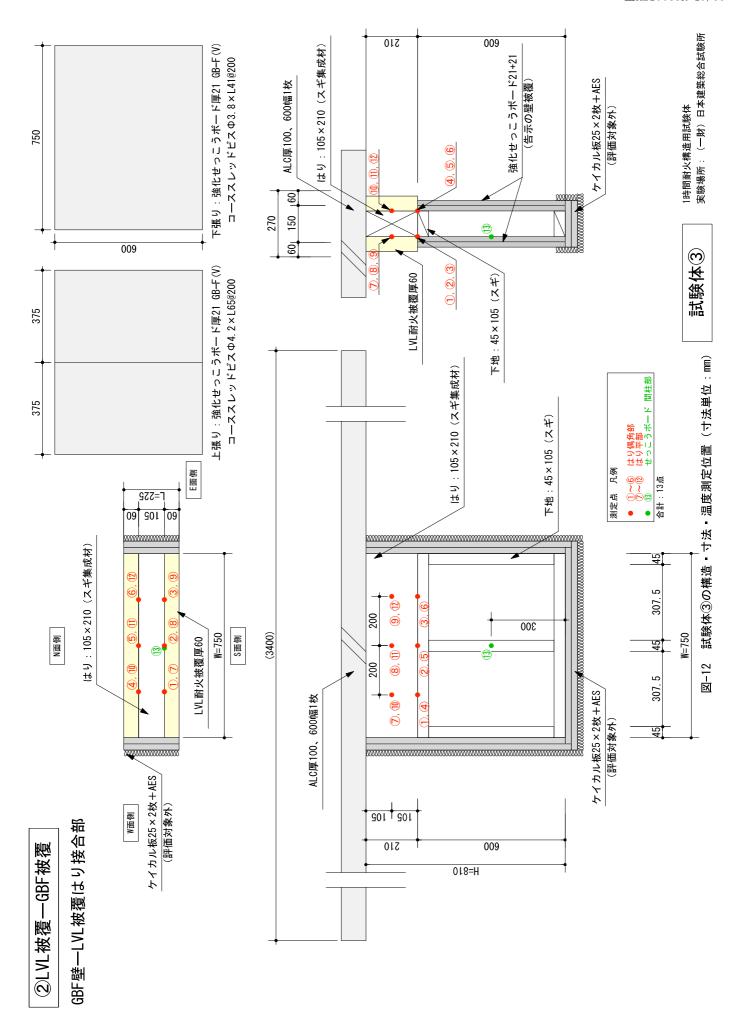


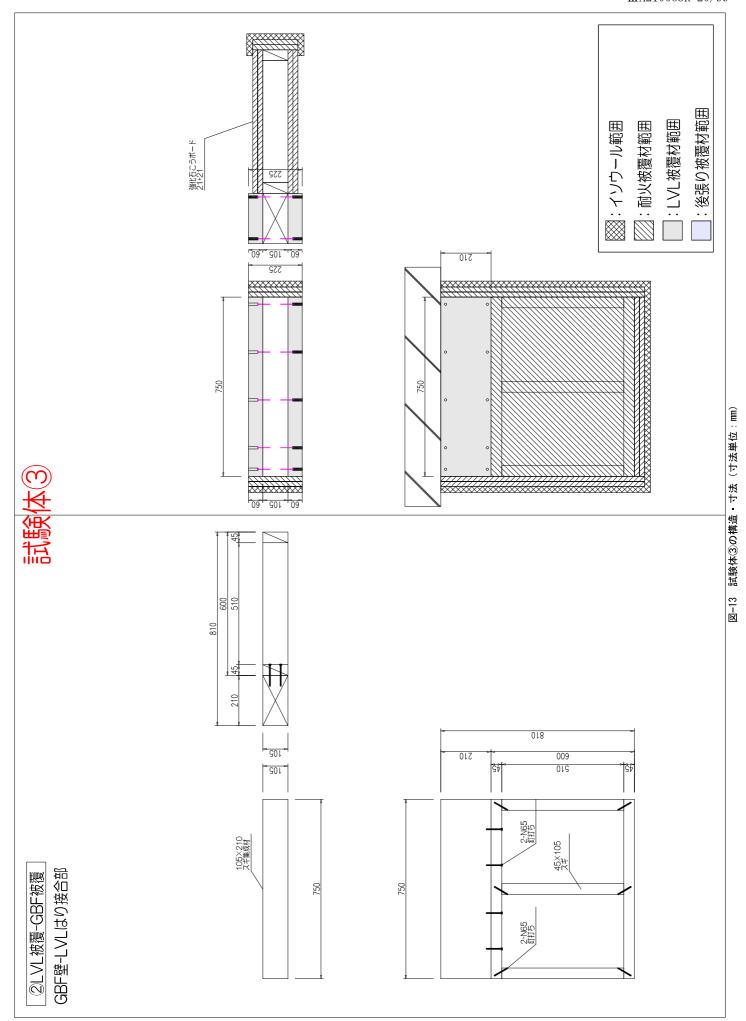
一般財団法人 日本建築総合試験所

一般財団法人 日本建築総合試験所

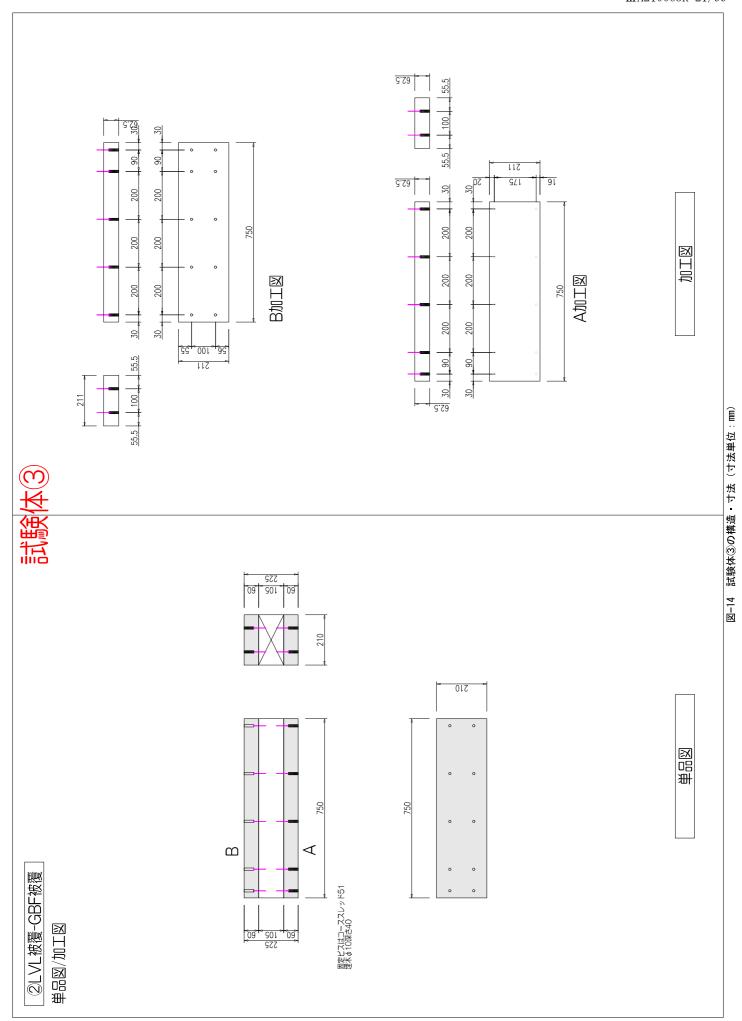


一般財団法人 日本建築総合試験所

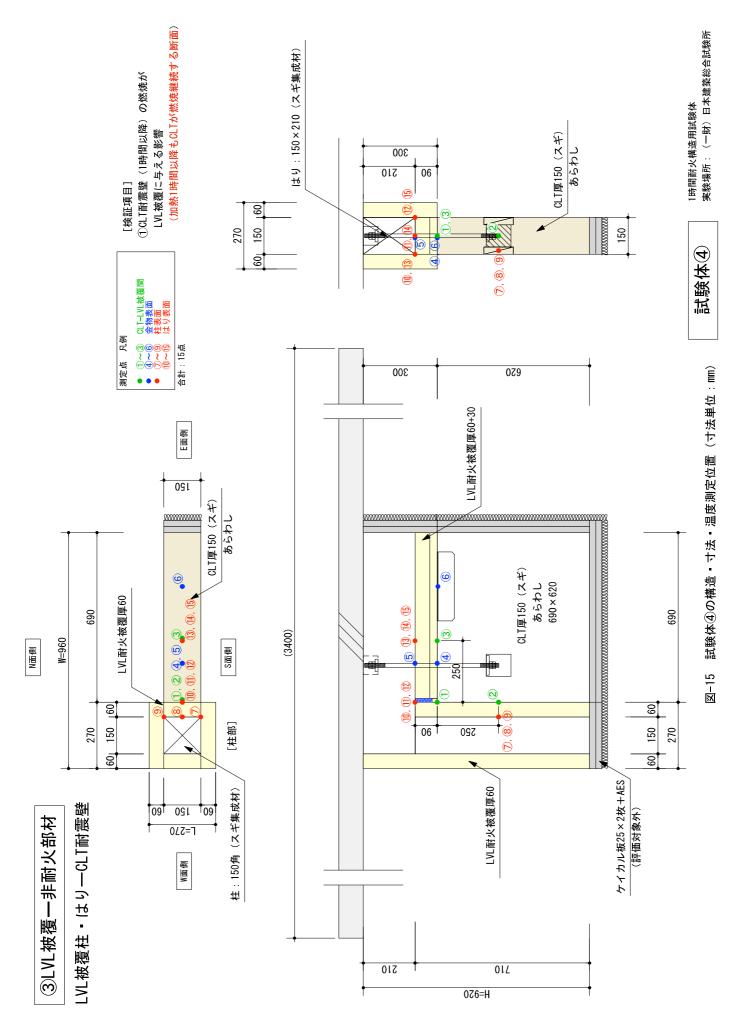




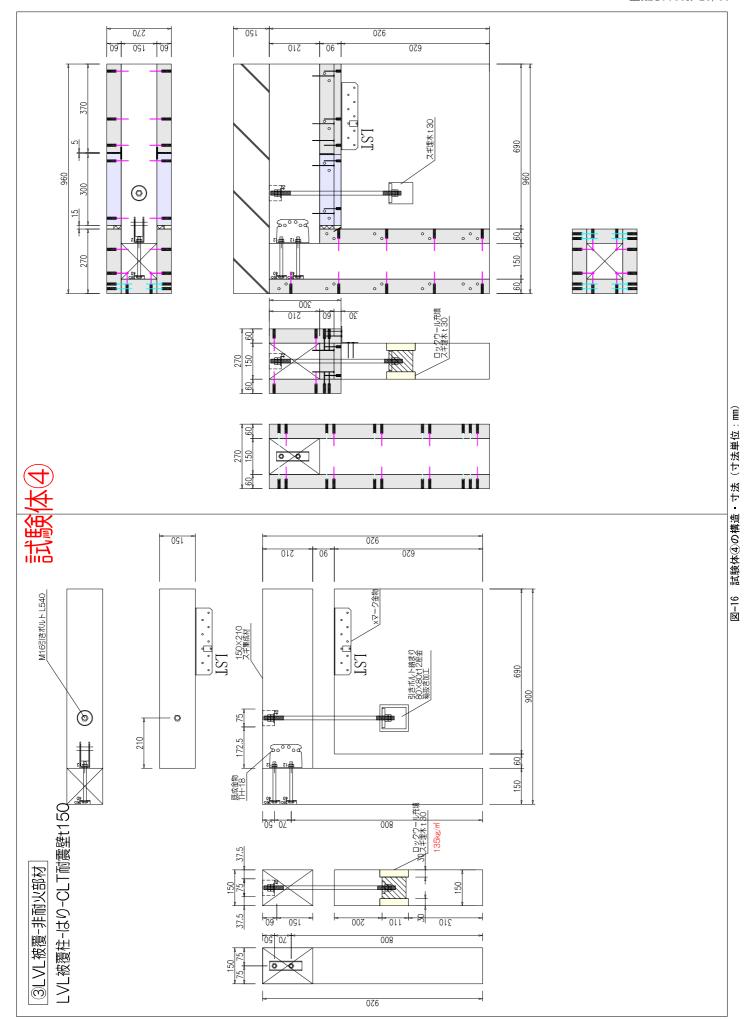
一般財団法人 日本建築総合試験所



一般財団法人 日本建築総合試験所

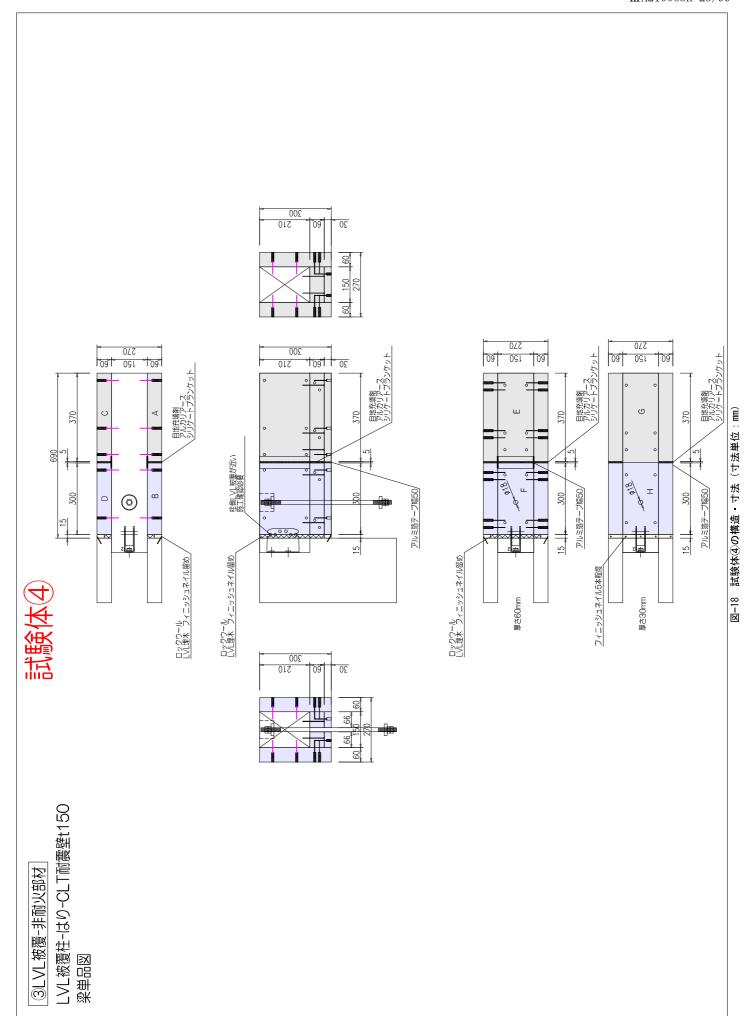


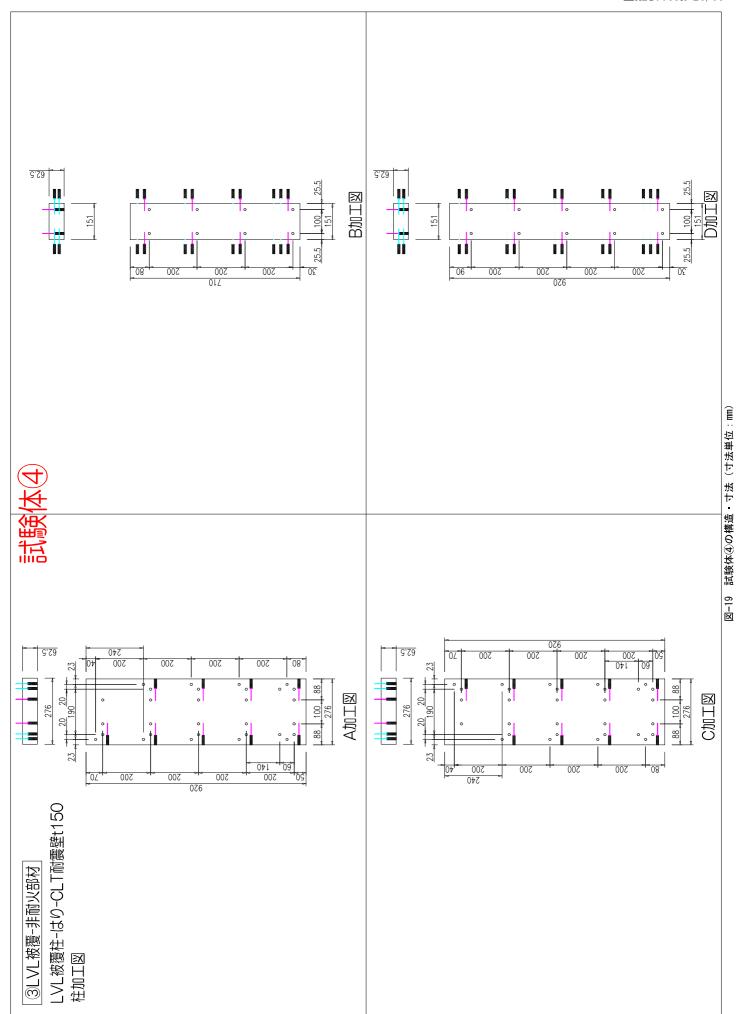
一般財団法人 日本建築総合試験所



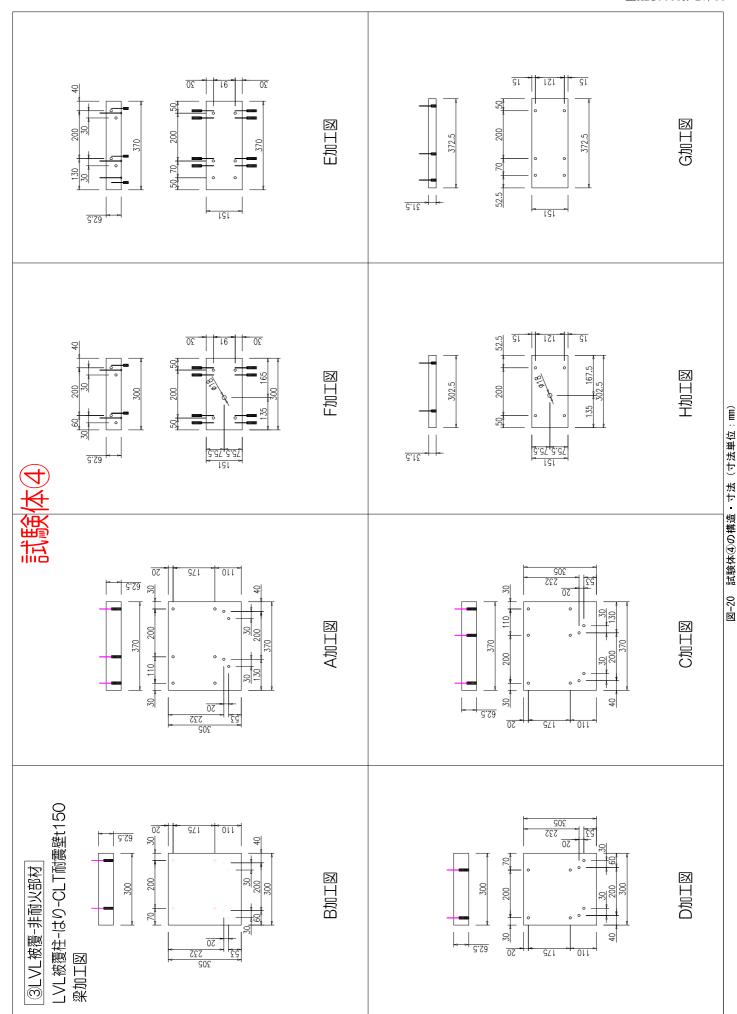
一般財団法人 日本建築総合試験所

一般財団法人 日本建築総合試験所

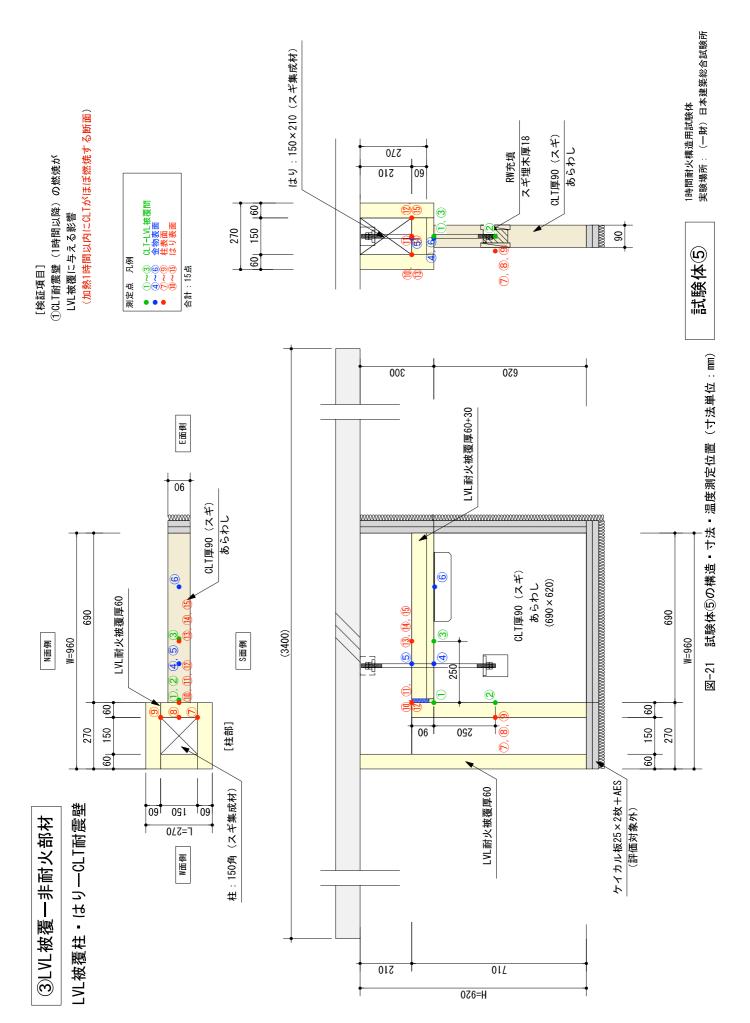




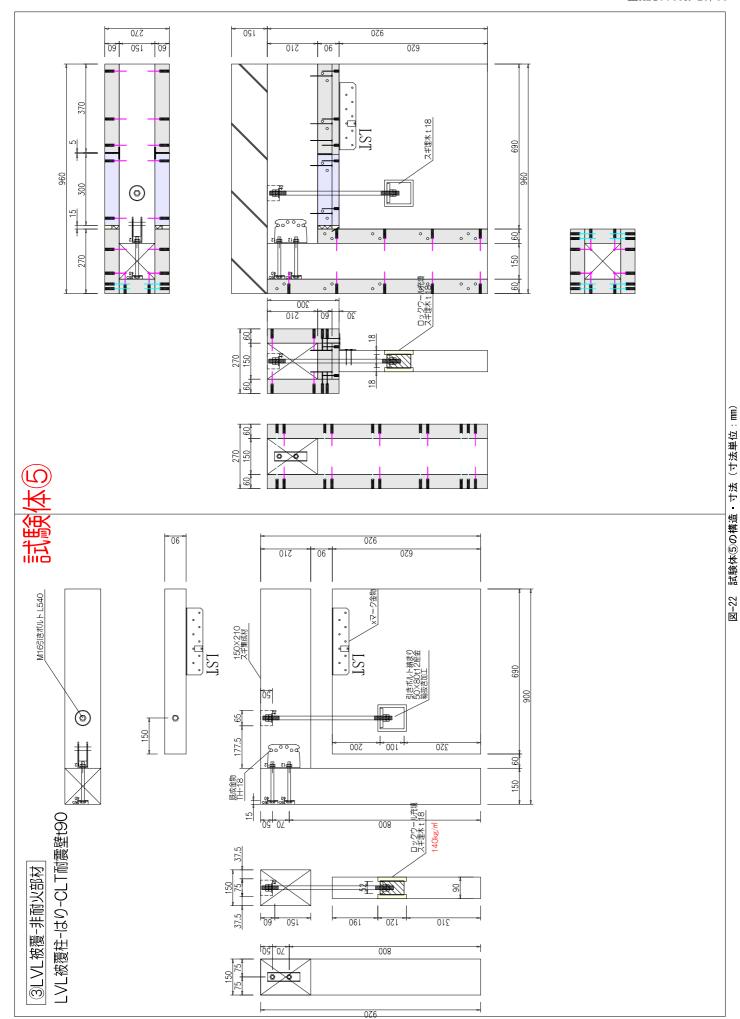
一般財団法人 日本建築総合試験所



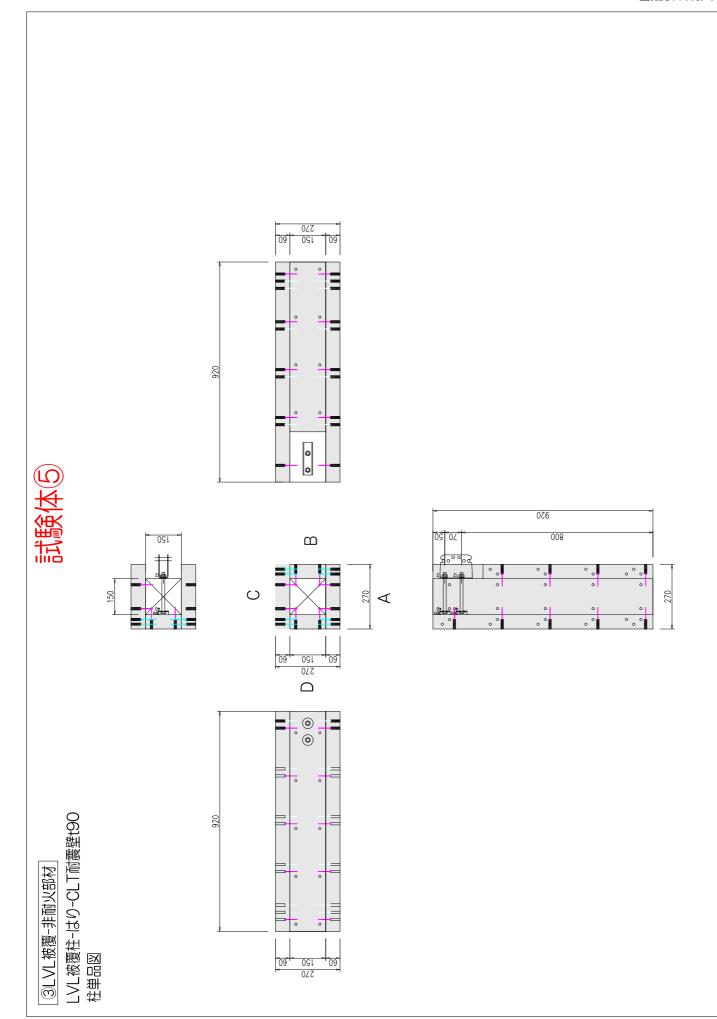
一般財団法人 日本建築総合試験所

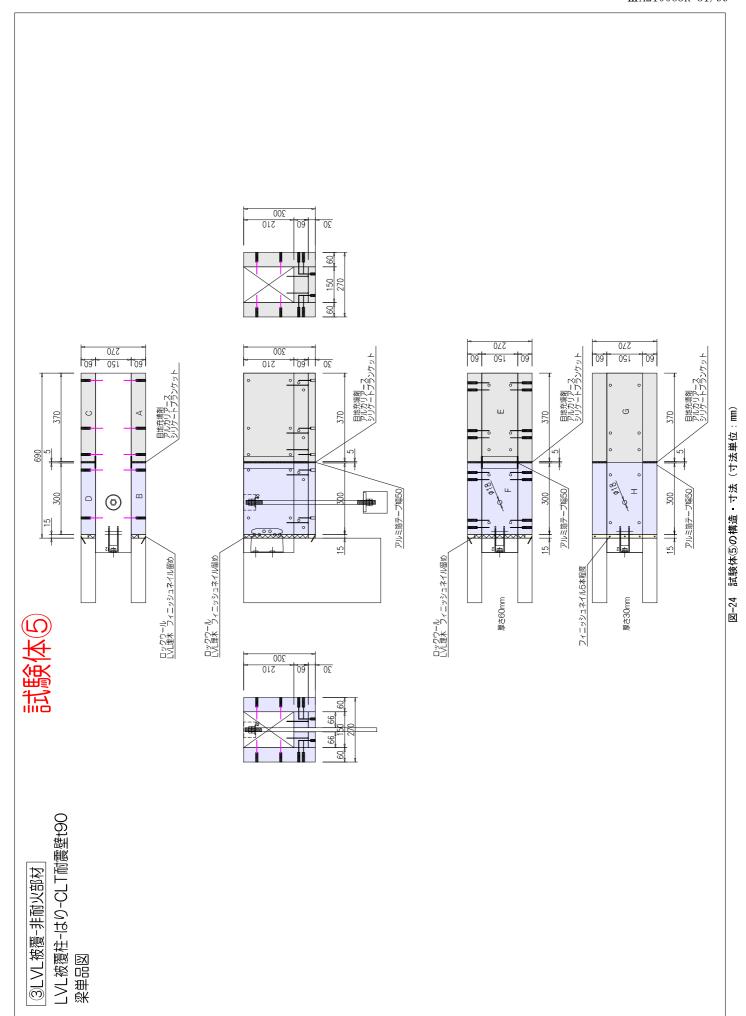


一般財団法人 日本建築総合試験所

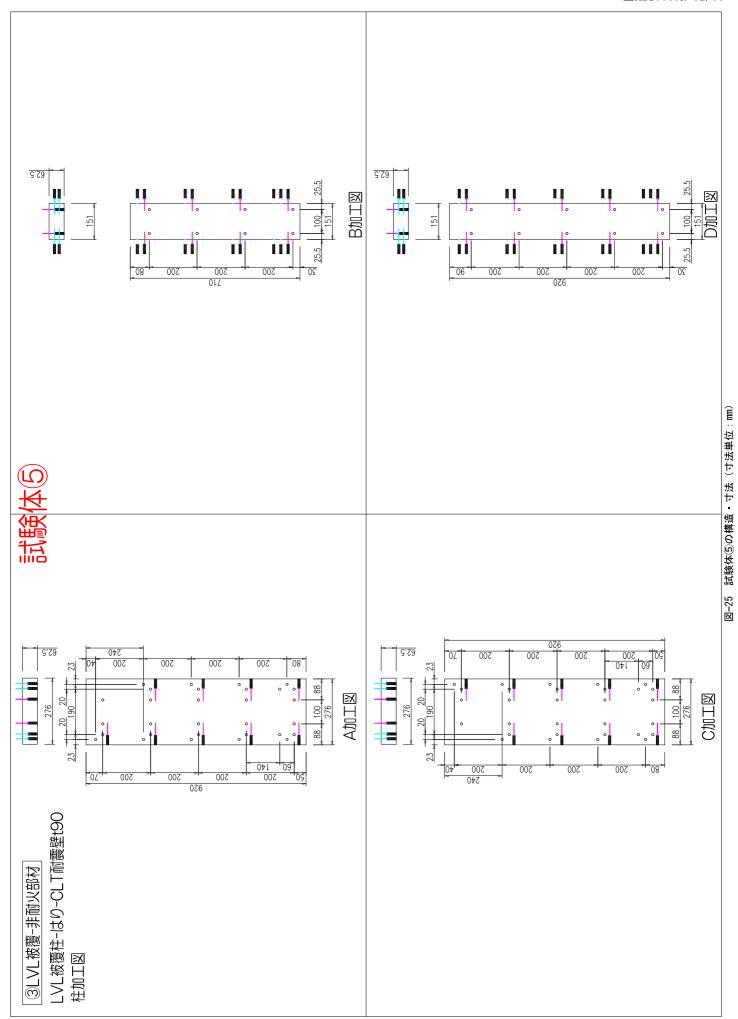


一般財団法人 日本建築総合試験所

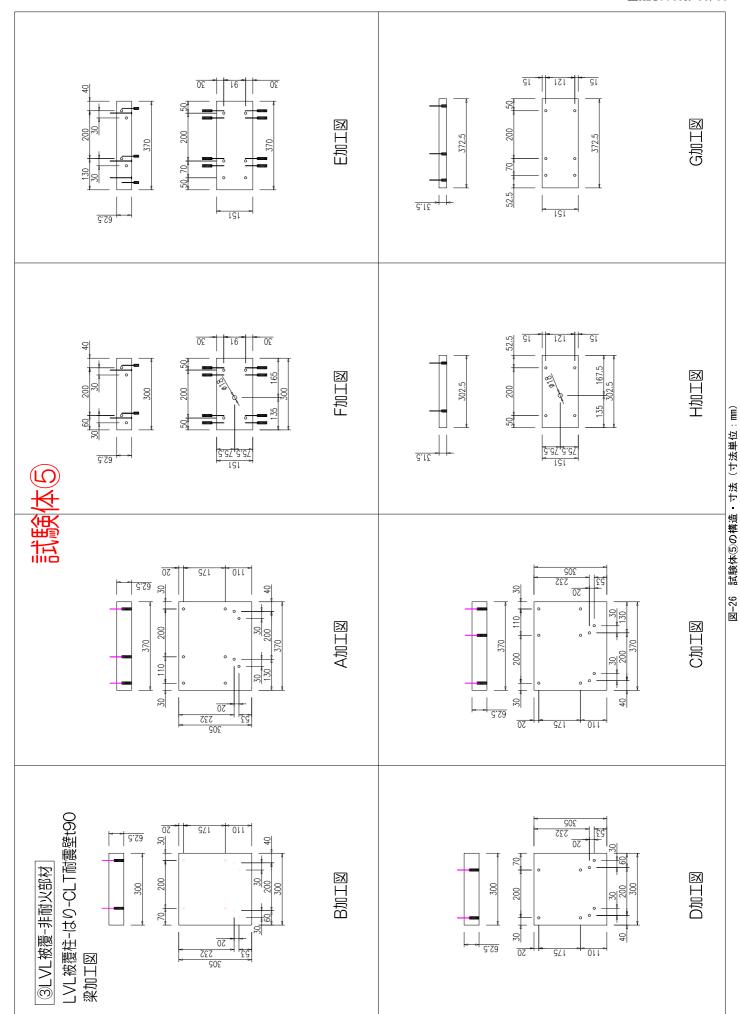




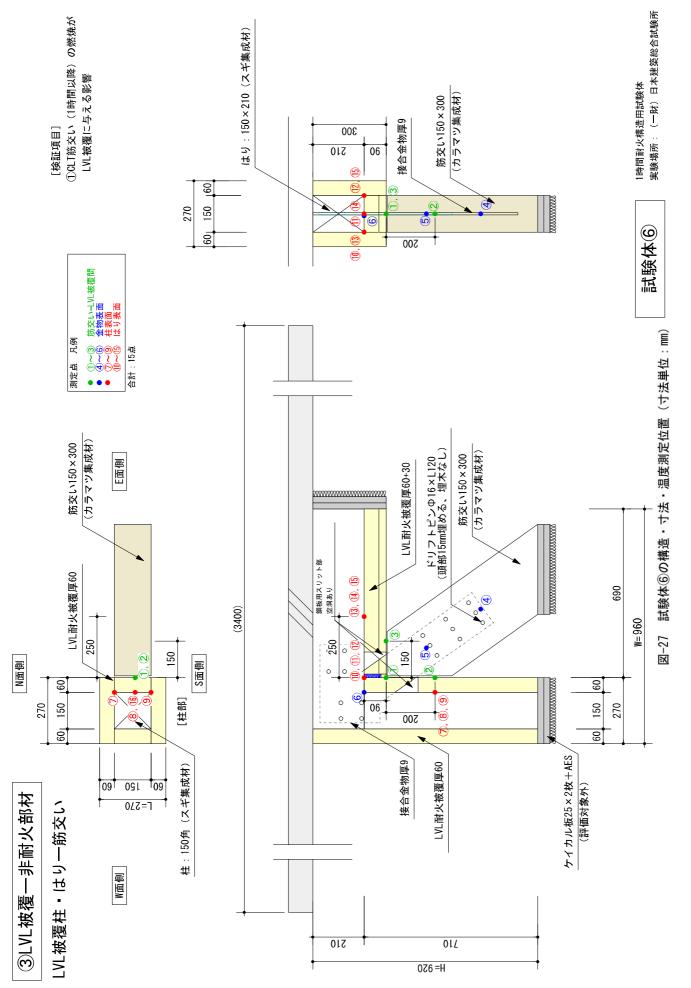
一般財団法人 日本建築総合試験所



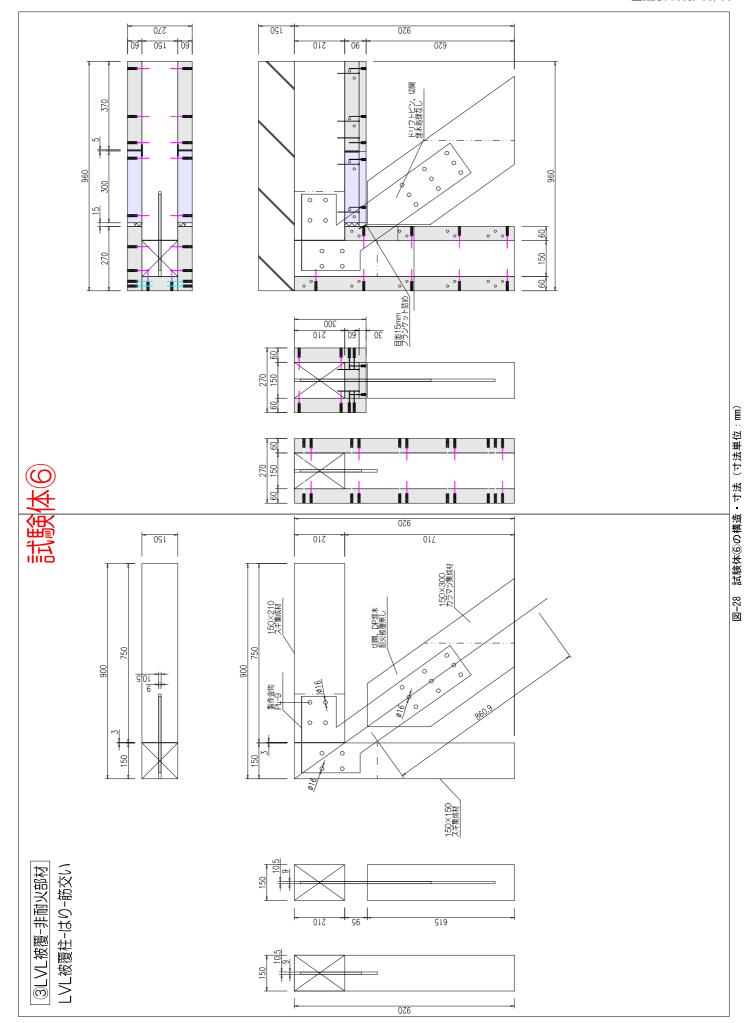
一般財団法人 日本建築総合試験所



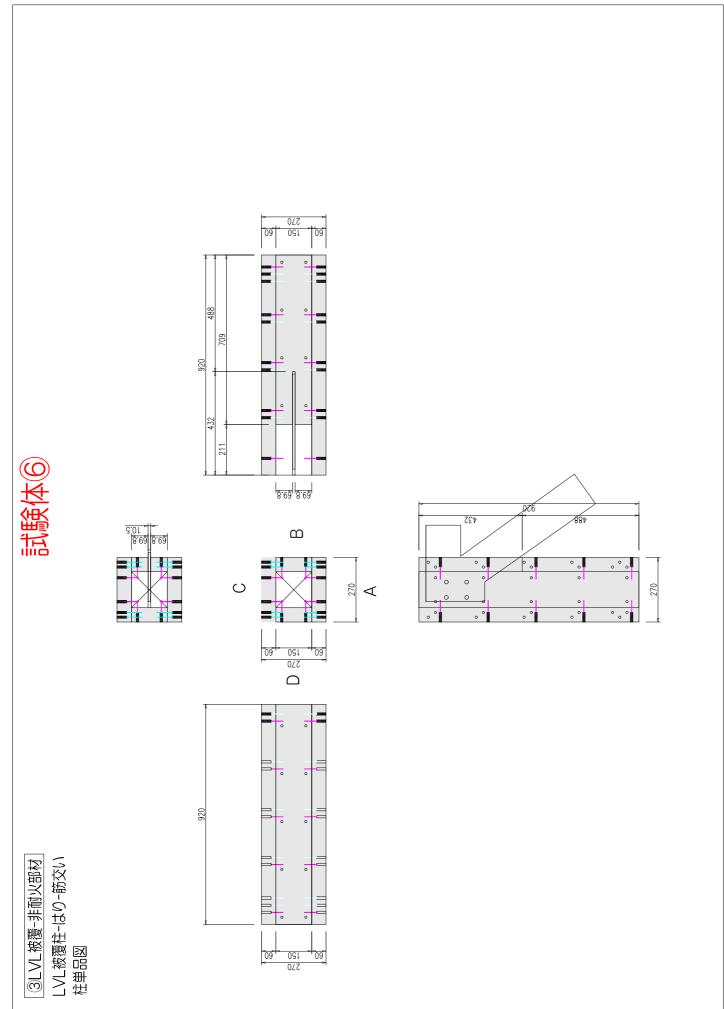
一般財団法人 日本建築総合試験所

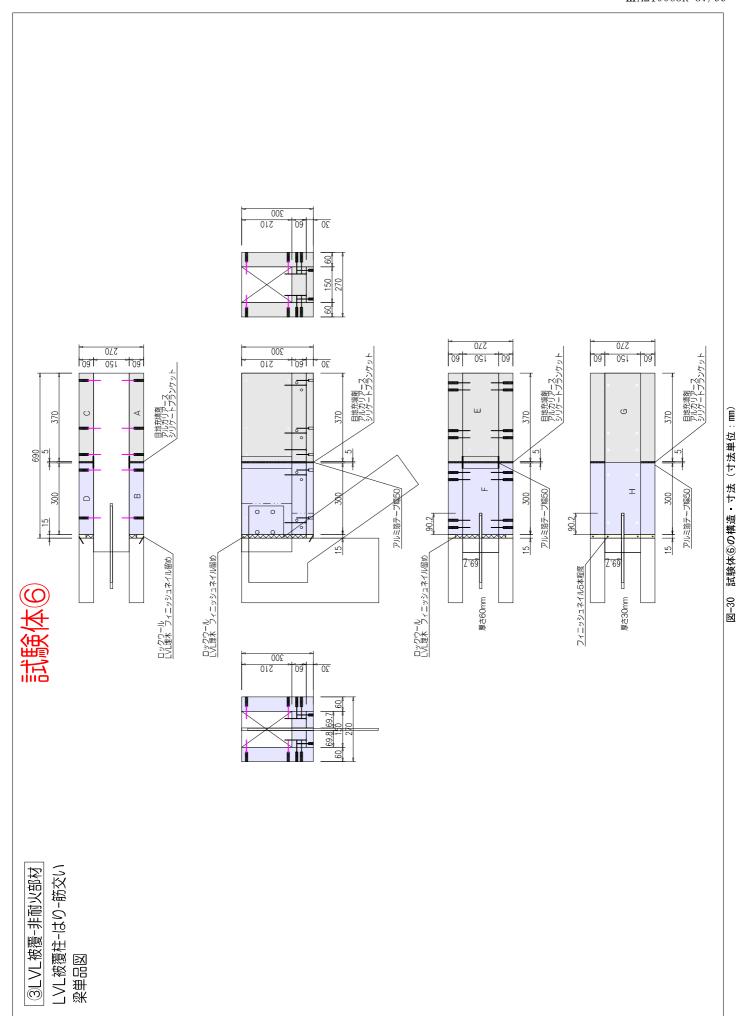


一般財団法人 日本建築総合試験所

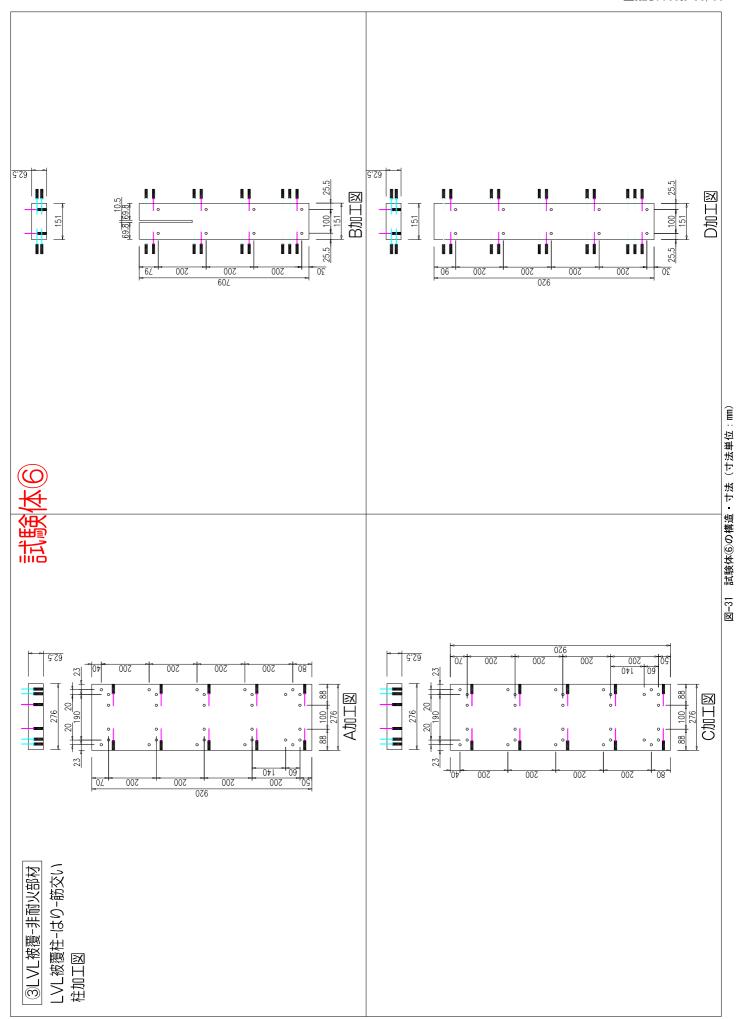


一般財団法人 日本建築総合試験所

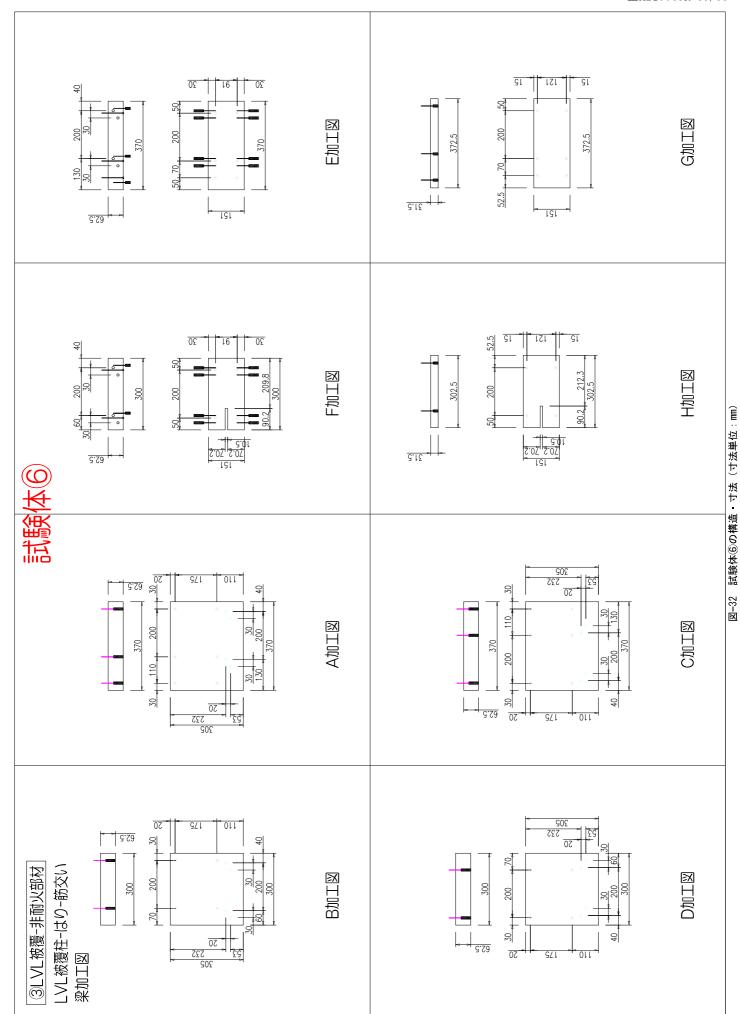




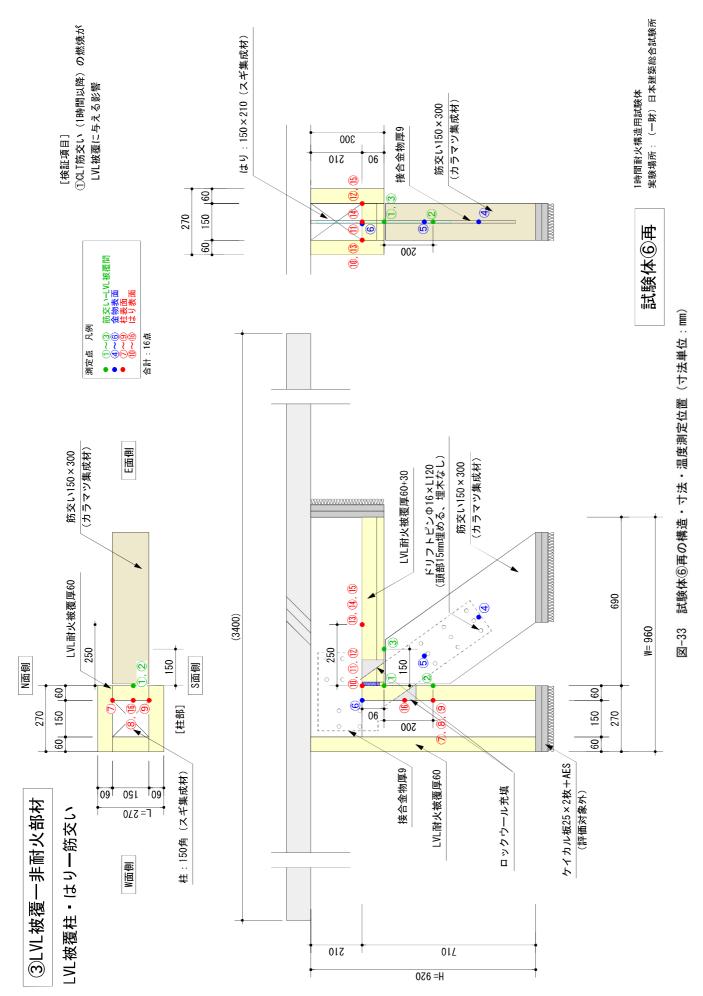
一般財団法人 日本建築総合試験所



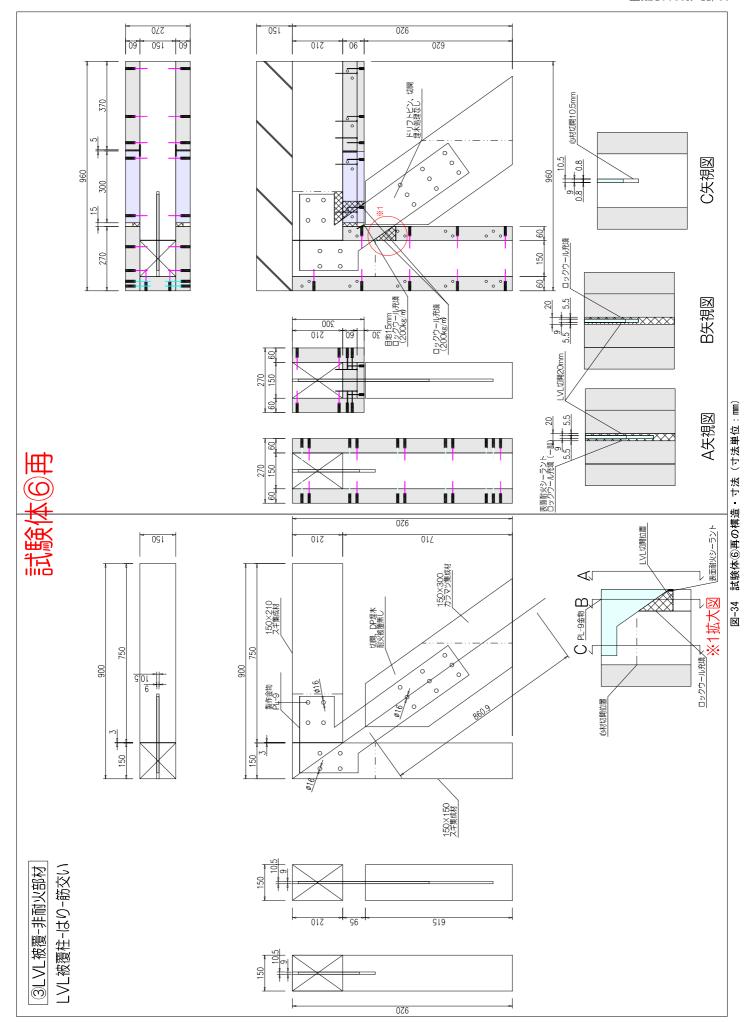
一般財団法人 日本建築総合試験所



一般財団法人 日本建築総合試験所

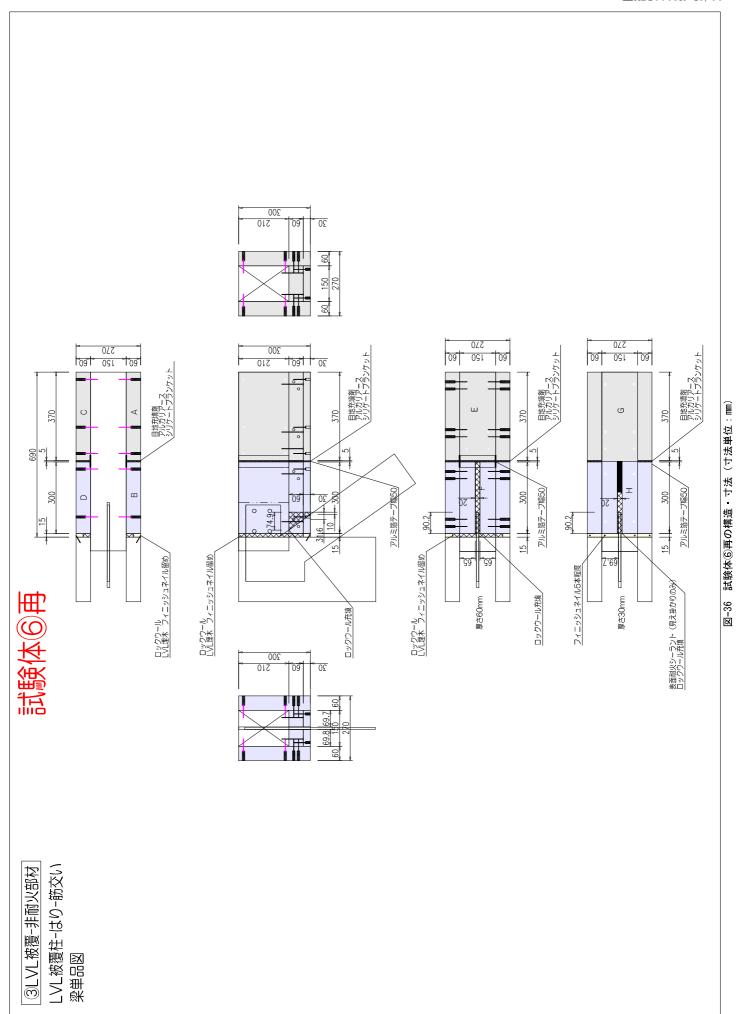


一般財団法人 日本建築総合試験所



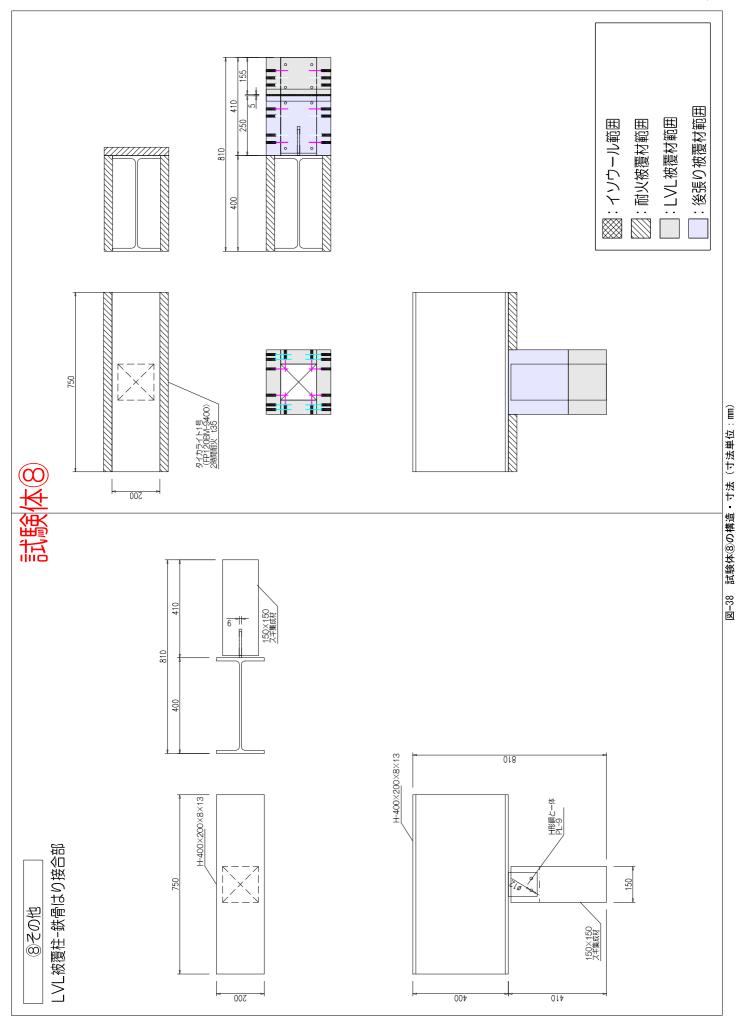
一般財団法人 日本建築総合試験所

一般財団法人 日本建築総合試験所

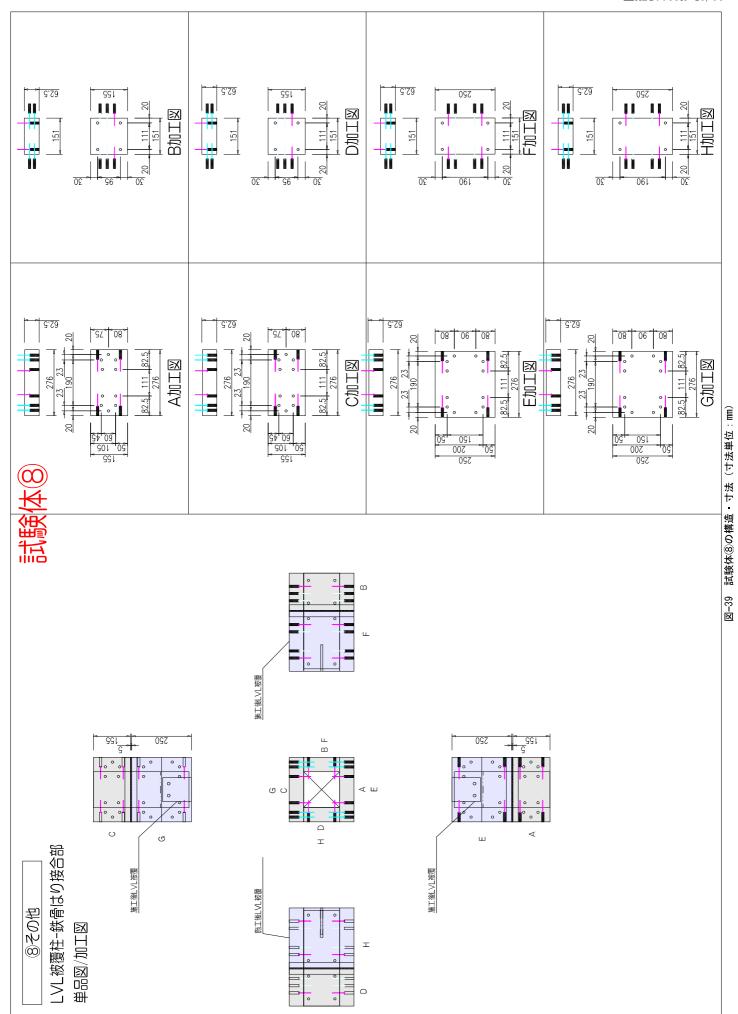


一般財団法人 日本建築総合試験所

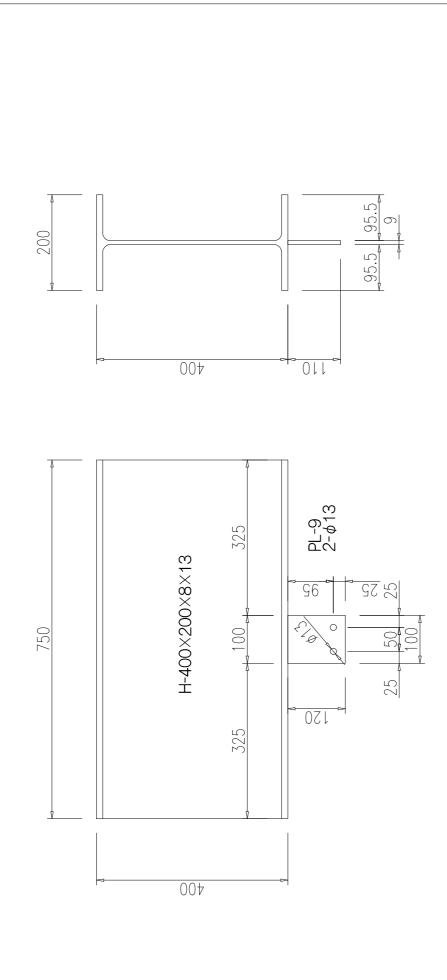
4その他



一般財団法人 日本建築総合試験所



一般財団法人 日本建築総合試験所



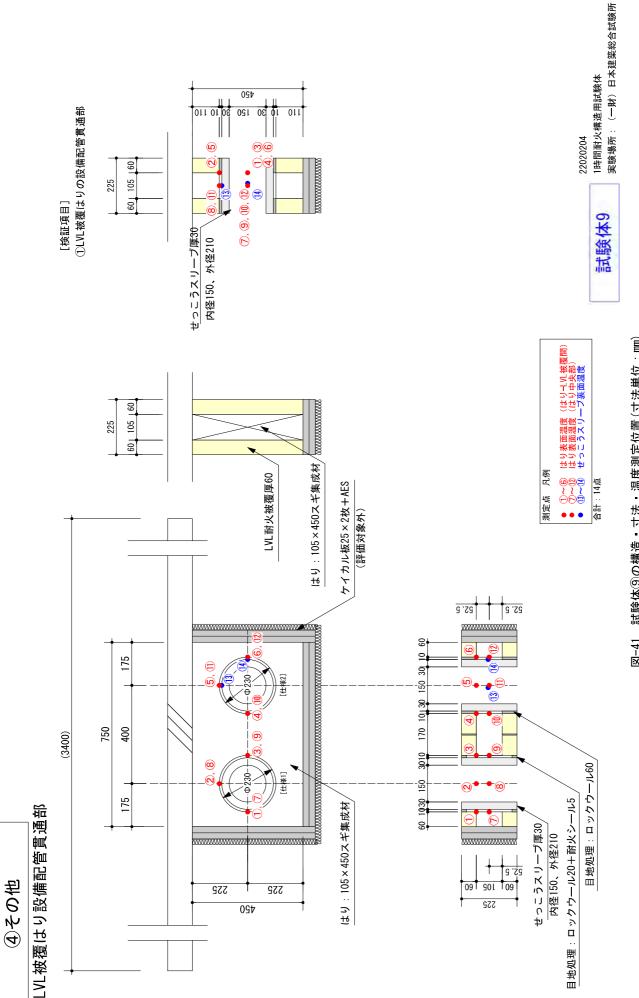
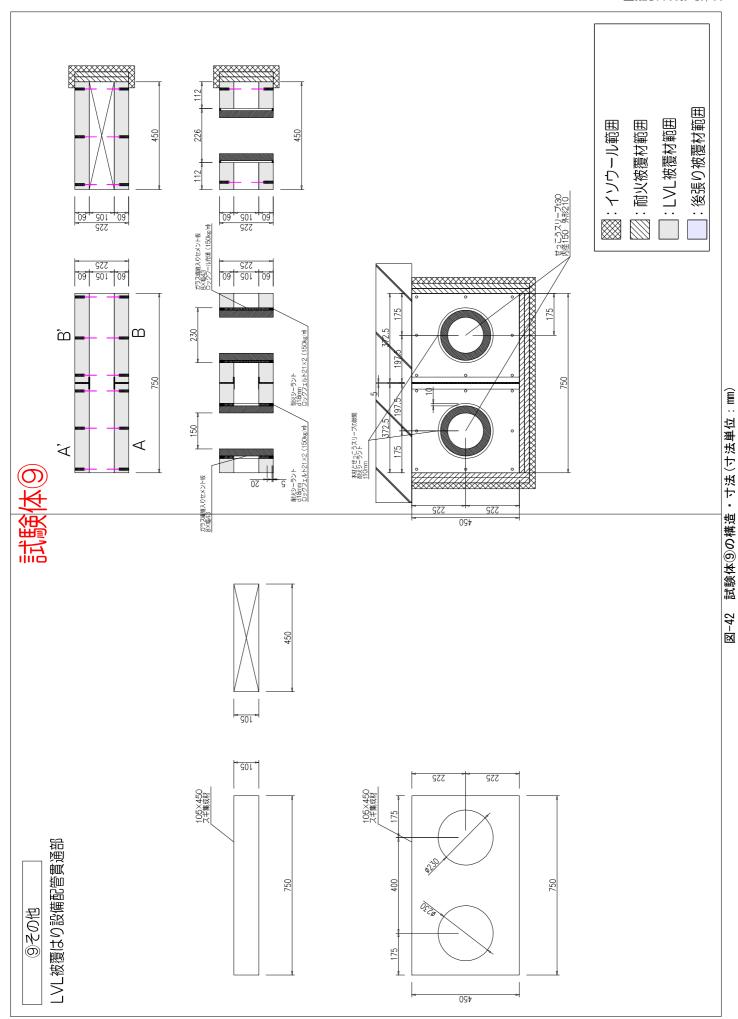
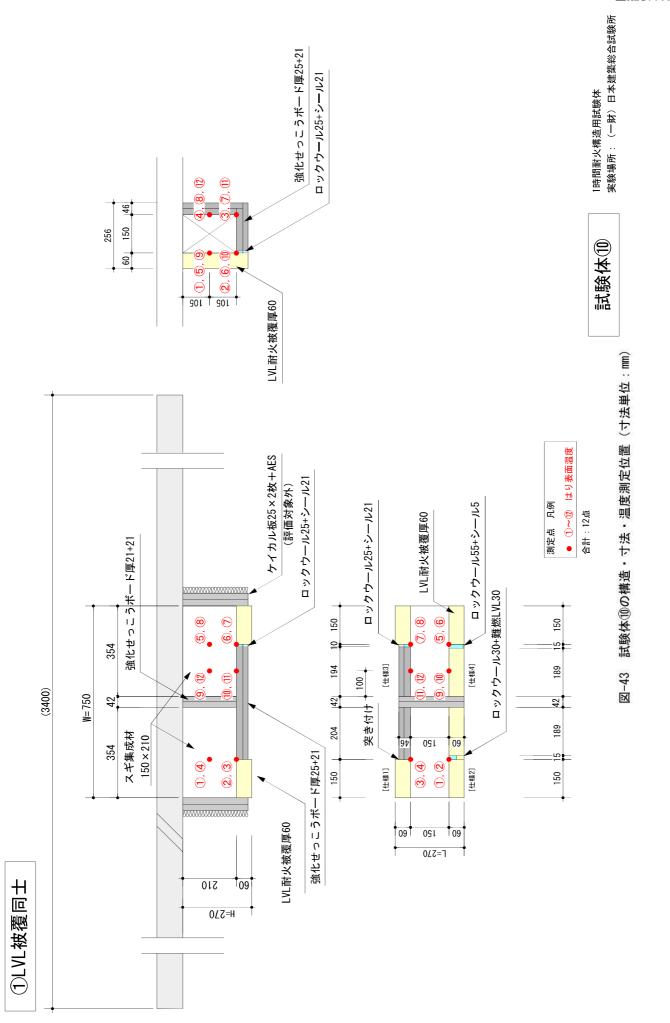


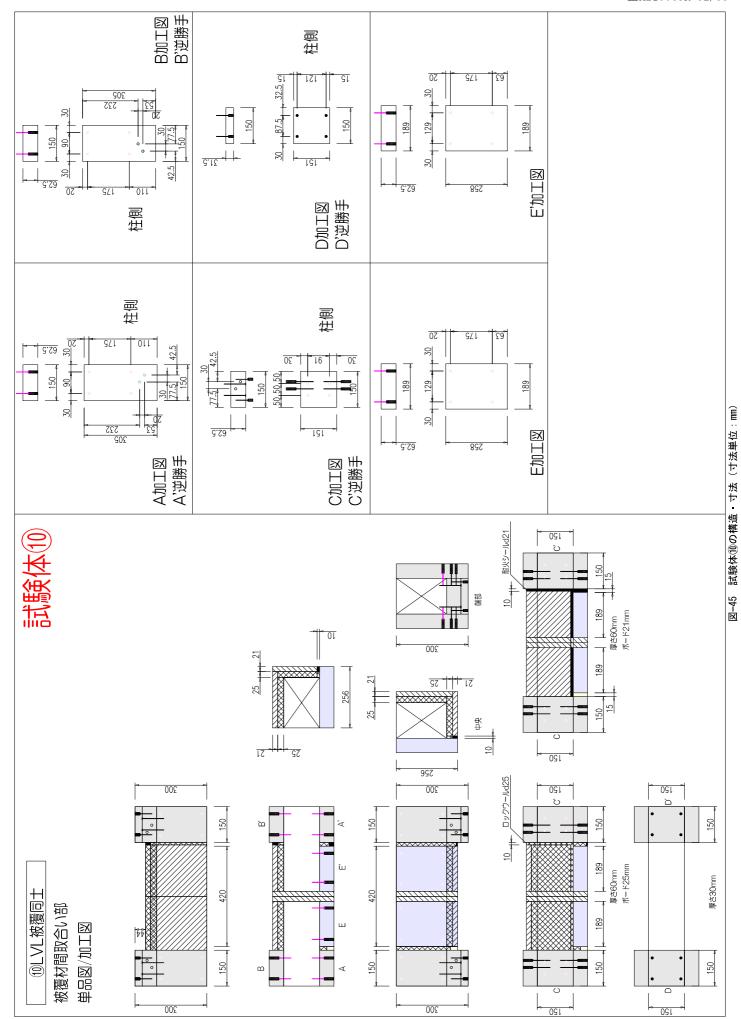
図-41 試験体③の構造・寸法・温度測定位置(寸法単位:mm)



一般財団法人 日本建築総合試験所



一般財団法人 日本建築総合試験所



一般財団法人 日本建築総合試験所

耐火間任切壁

2000

× X 試験体③ × × × X 試験体② X × X × × X

×

×

×

×

×

×

一般財団法人 日本建築総合試験所

一般財団法人 日本建築総合試験所

【試験体①~③】 ⅢA210063R-56/99

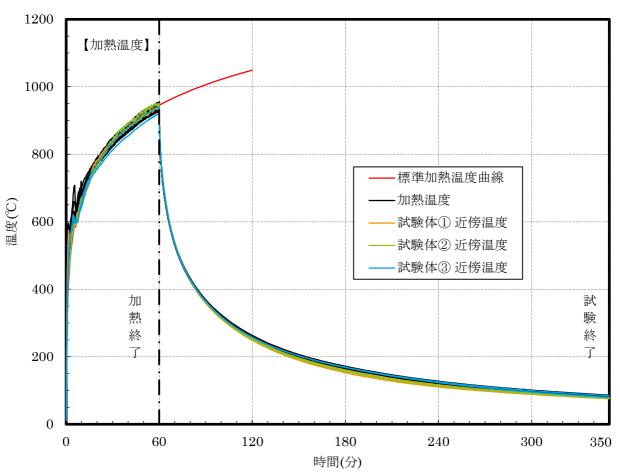


図-49 加熱温度測定曲線

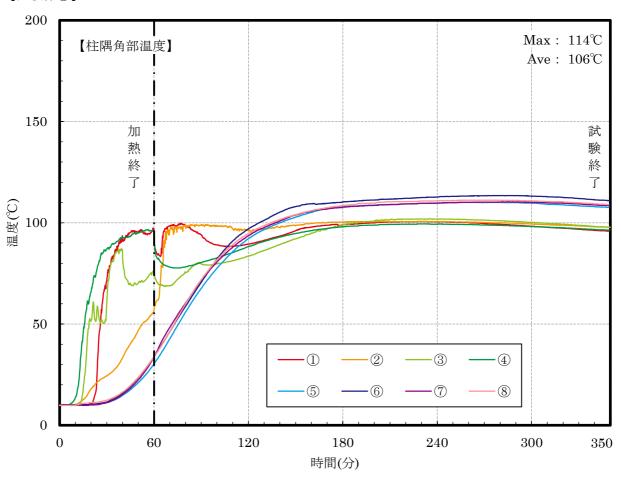


図-50 柱隅角部温度測定曲線

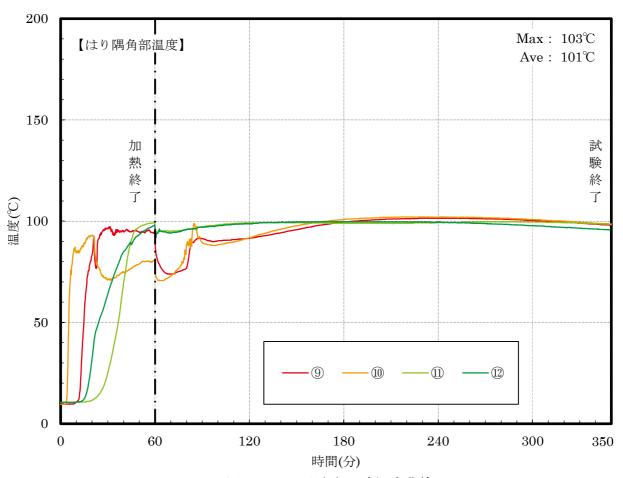


図-51 はり隅角部温度測定曲線

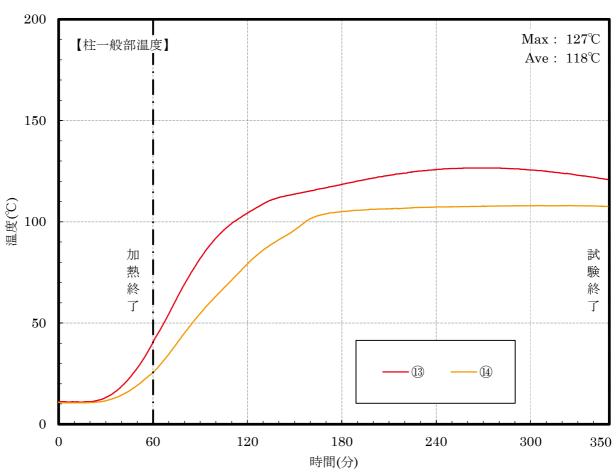


図-52 柱一般部温度測定曲線

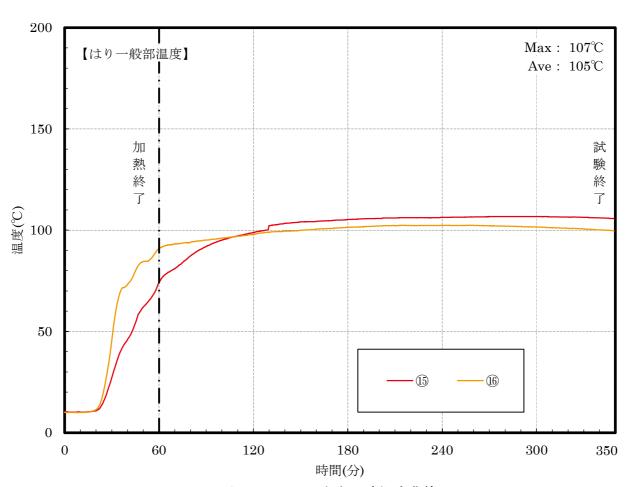


図-53 はり一般部温度測定曲線

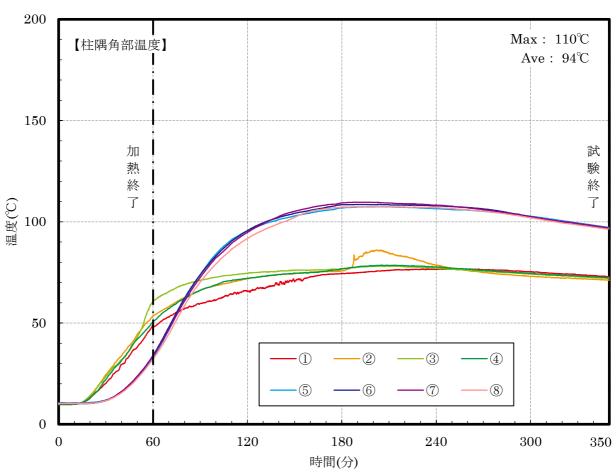


図-54 柱隅角部温度測定曲線

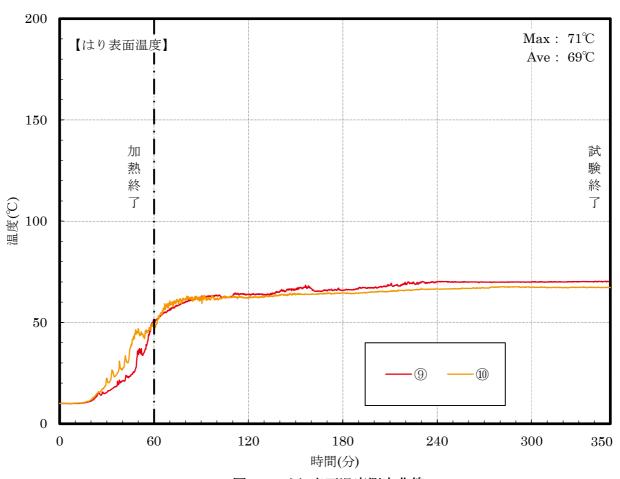


図-55 はり表面温度測定曲線

【試験体②】 ⅢA210063R-60/99

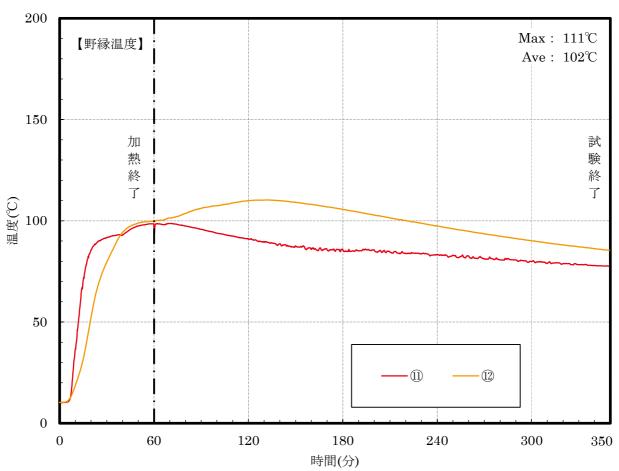


図-56 野縁温度測定曲線

【試験体③】 ⅢA210063R-61/99

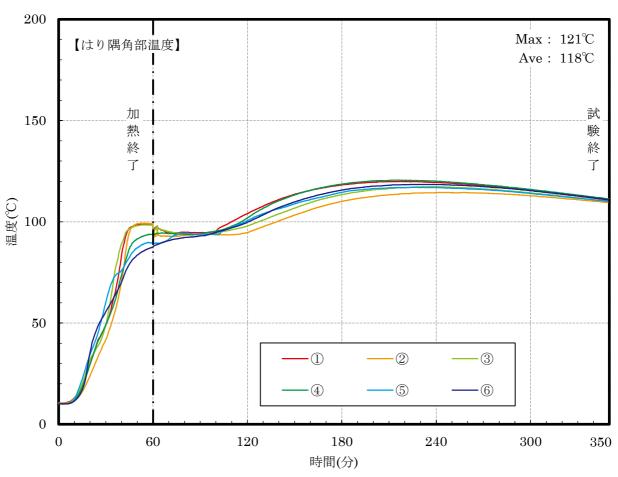


図-57 はり隅角部温度測定曲線

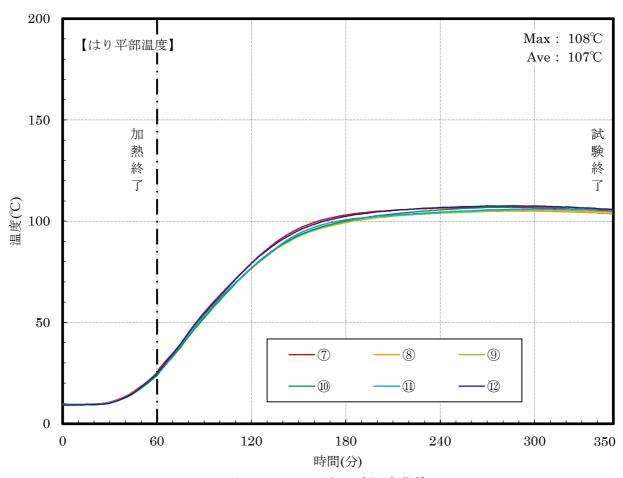


図-58 はり平部温度測定曲線

【試験体③】 ⅢA210063R-62/99

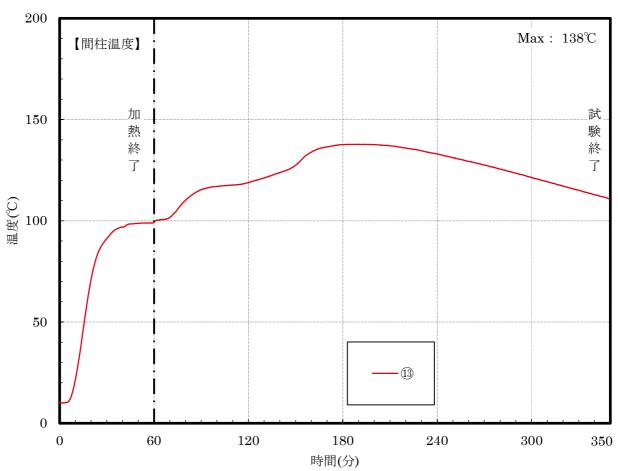


図-59 間柱温度測定曲線

【試験体④~⑥】 ⅢA210063R-63/99

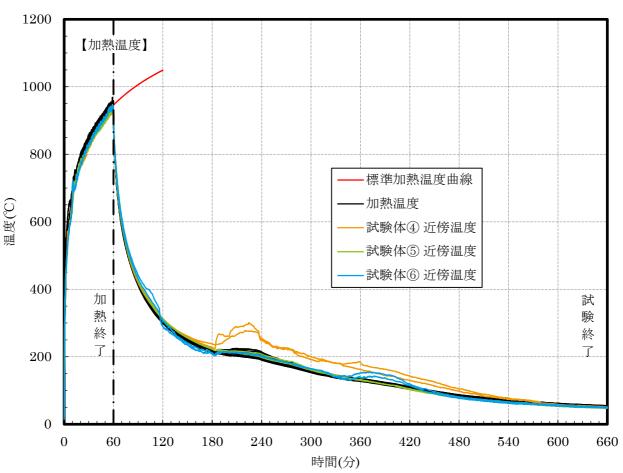


図-60 加熱温度測定曲線

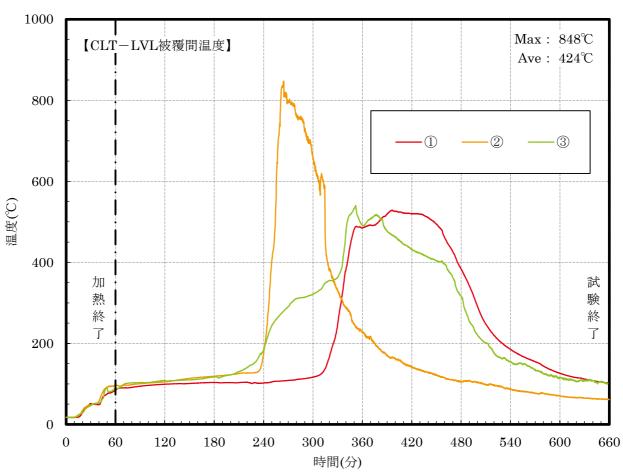


図-61 CLT-LVL被覆間温度測定曲線

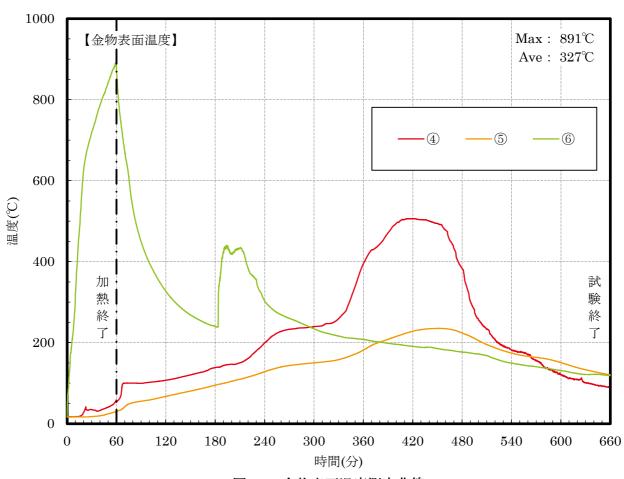


図-62 金物表面温度測定曲線

【試験体④】 ⅢA210063R-65/99

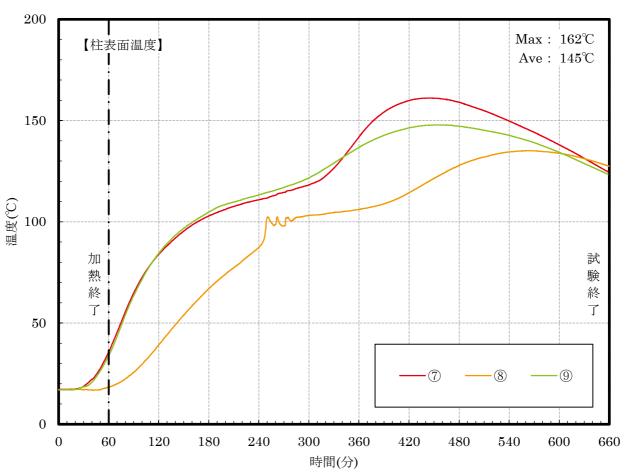


図-63 柱表面温度測定曲線

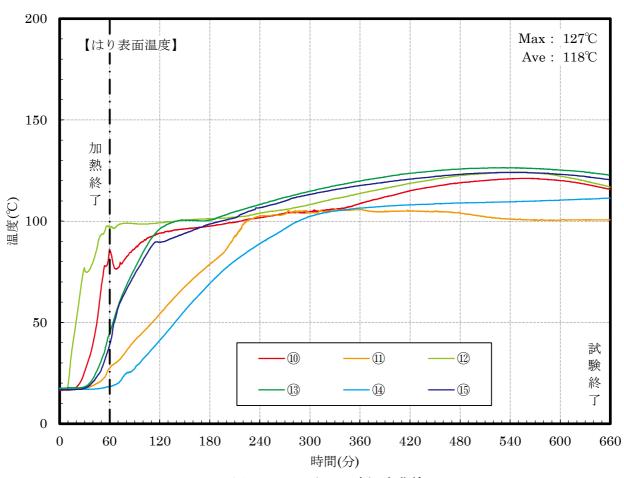


図-64 はり表面温度測定曲線

【試験体⑤】 ⅢA210063R-66/99

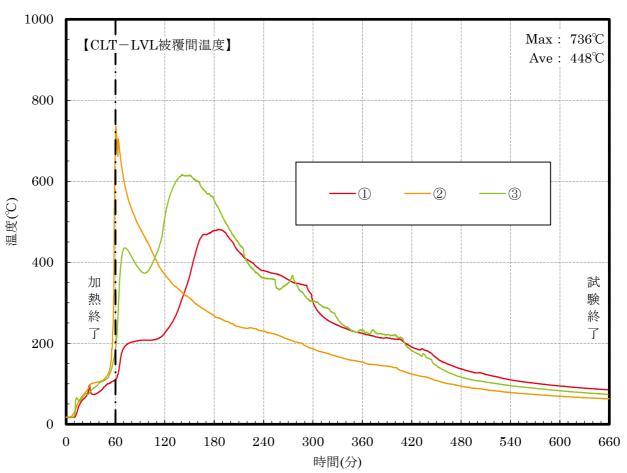


図-65 CLT-LVL被覆間温度測定曲線

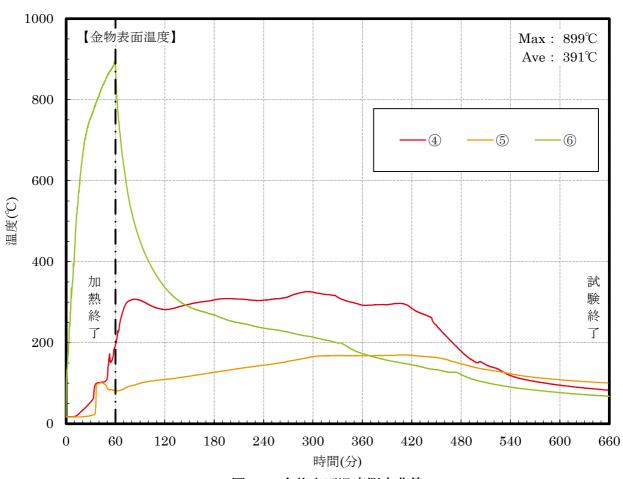


図-66 金物表面温度測定曲線

【試験体⑤】 ⅢA210063R-67/99

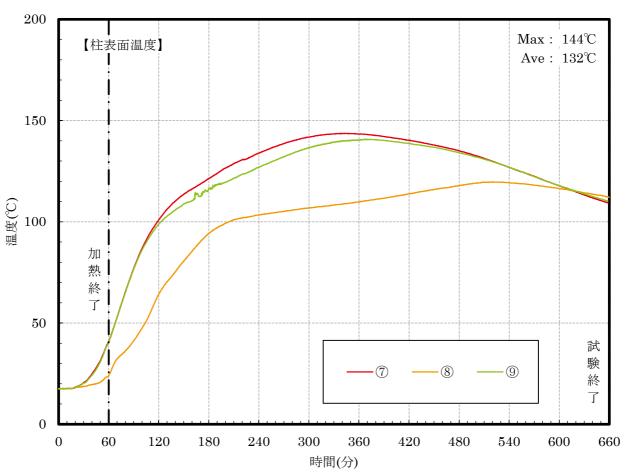


図-67 柱表面温度測定曲線

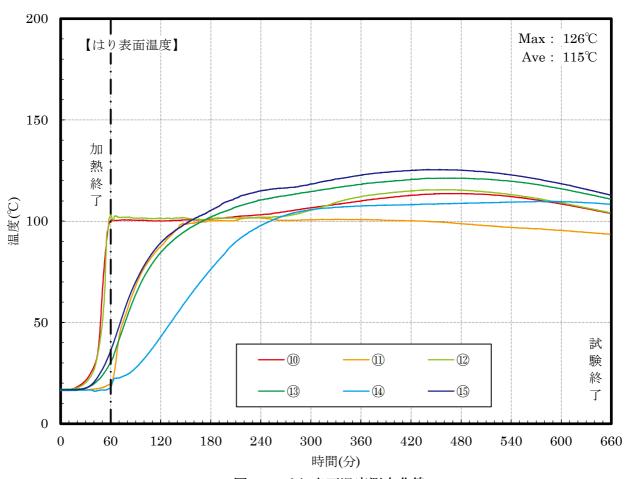


図-68 はり表面温度測定曲線

【試験体⑥】 ⅢA210063R-68/99

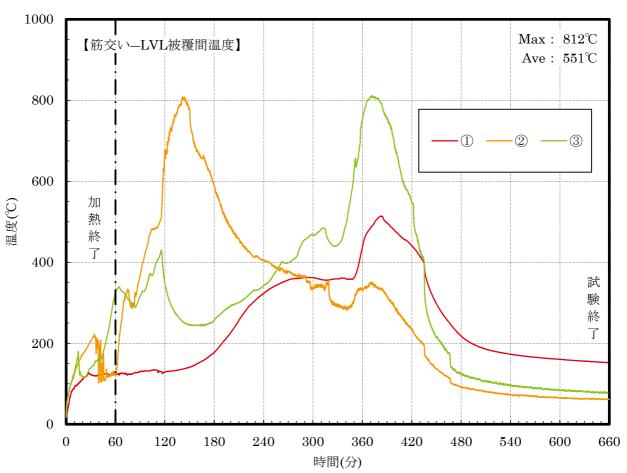


図-69 筋交い-LVL被覆間温度測定曲線

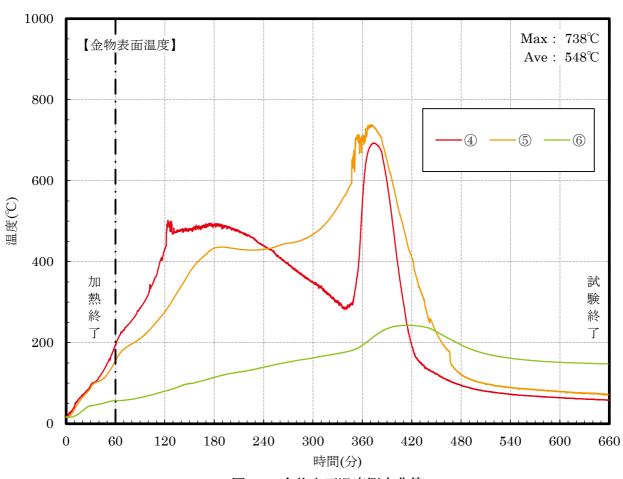


図-70 金物表面温度測定曲線

【試験体⑥】 ⅢA210063R-69/99

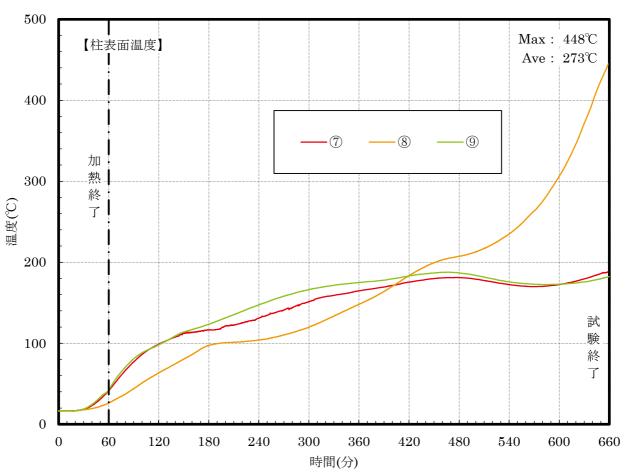


図-71 柱表面温度測定曲線

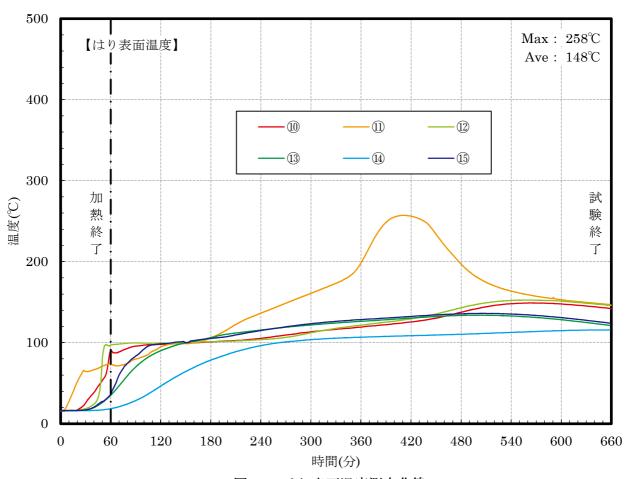


図-72 はり表面温度測定曲線

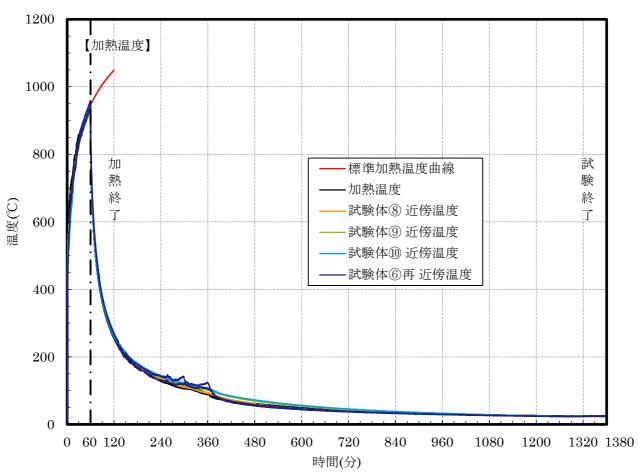


図-73 加熱温度測定曲線

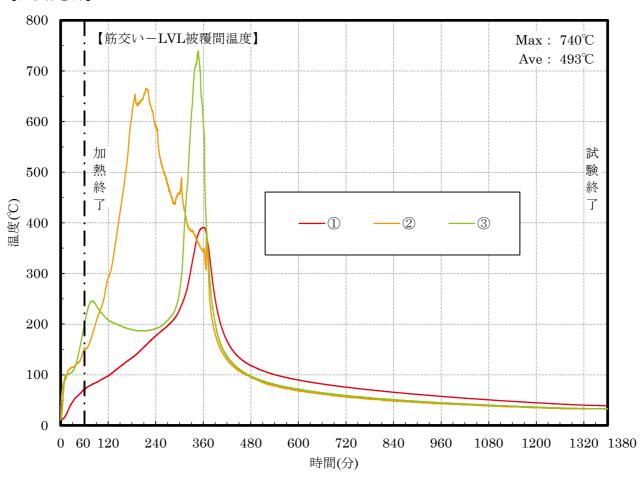


図-74 筋交い-LVL被覆間温度測定曲線

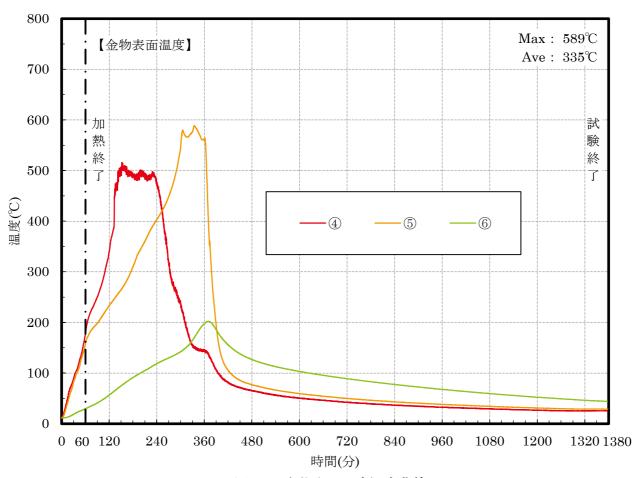


図-75 金物表面温度測定曲線

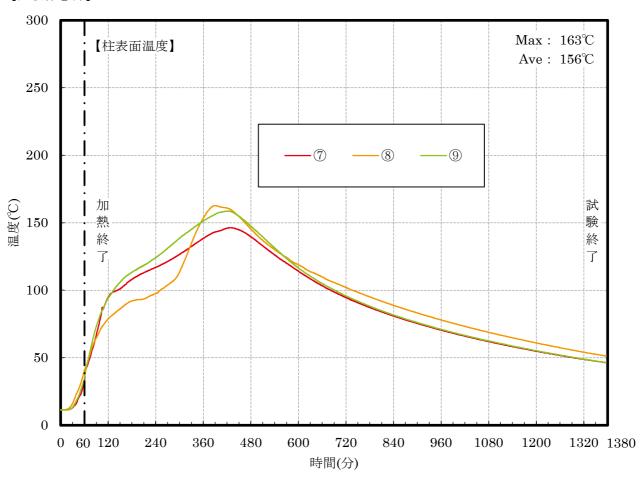


図-76 柱表面温度測定曲線

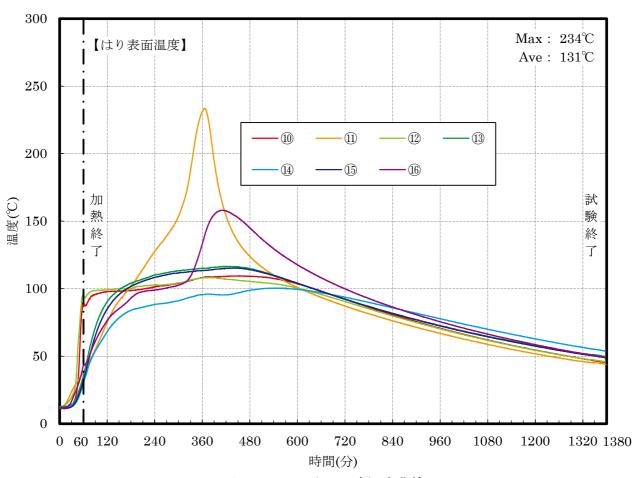


図-77 はり表面温度測定曲線

【試験体®】 ⅢA210063R-73/99

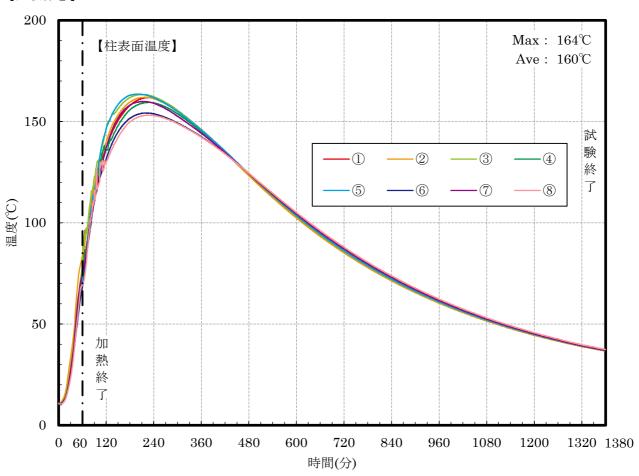


図-78 柱表面温度測定曲線

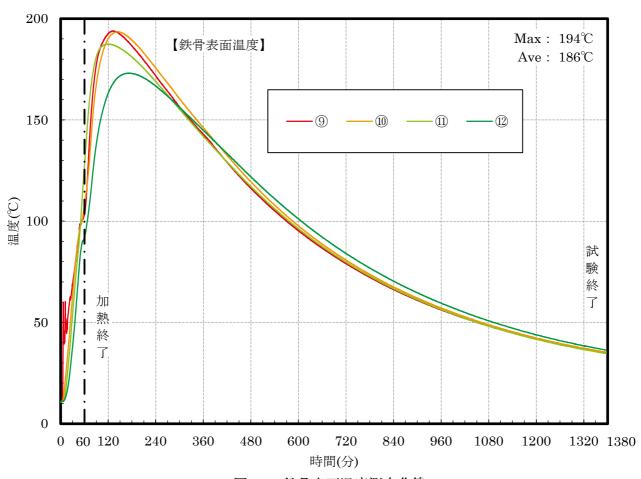


図-79 鉄骨表面温度測定曲線

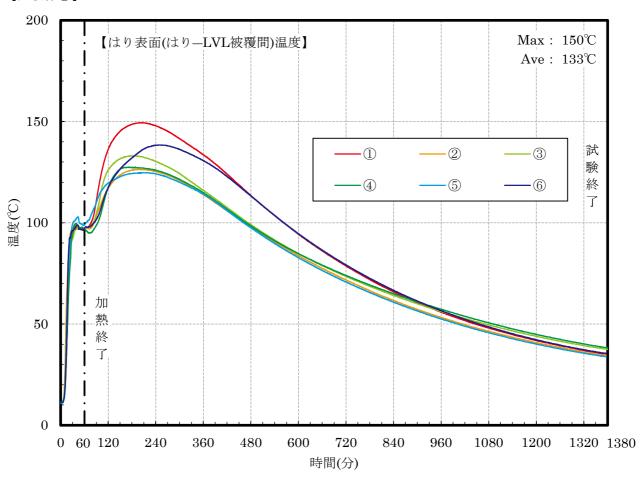


図-80 はり表面(はり-LVL被覆間)温度測定曲線

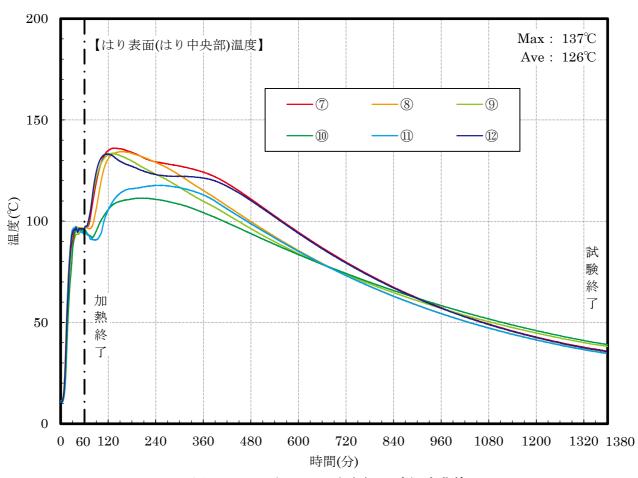


図-81 はり表面(はり中央部)温度測定曲線

【試験体⑨】 ⅢA210063R-75/99

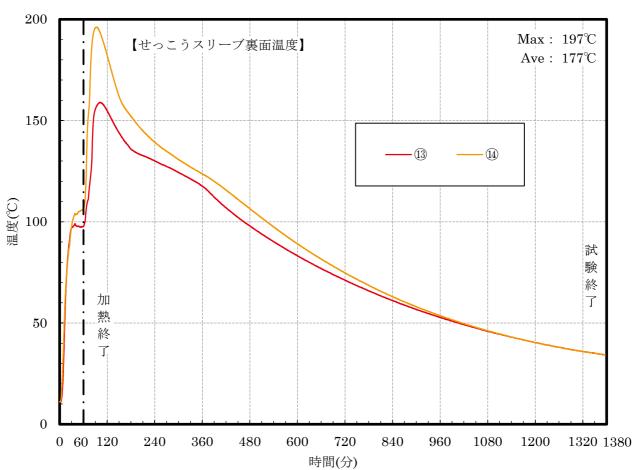


図-82 せっこうスリーブ裏面温度測定曲線

【試験体⑪】 ⅢA210063R-76/99

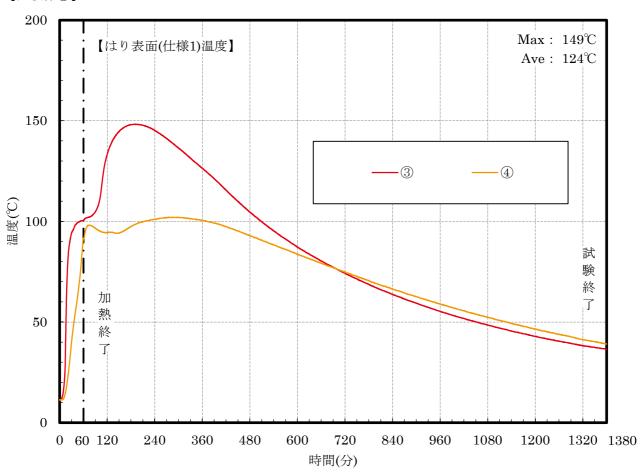


図-83 はり表面(仕様1)温度測定曲線

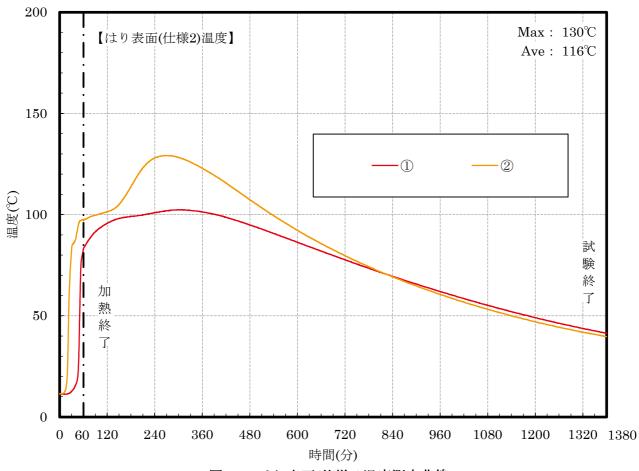


図-84 はり表面(仕様2)温度測定曲線

【試験体⑪】 ⅢA210063R-77/99

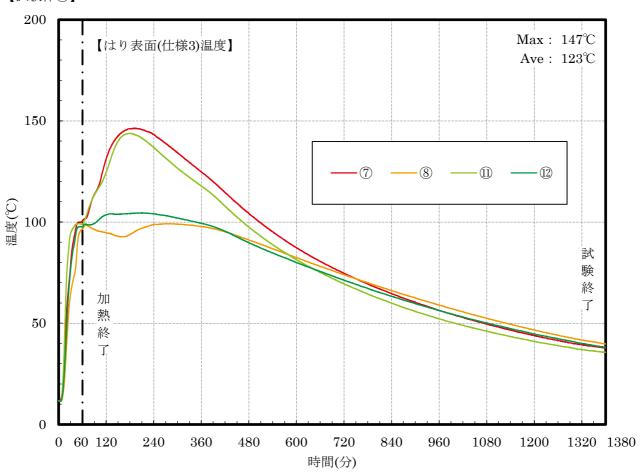


図-85 はり表面(仕様3)温度測定曲線

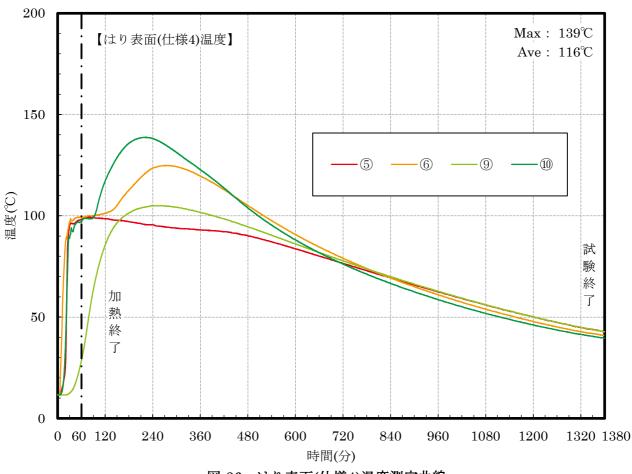


図-86 はり表面(仕様4)温度測定曲線

【試験体①】



写真-1 E面側 (加熱前)



写真-2 S面側 (加熱前)



写真-3 W面側 (加熱前)



写真-4 N面側 (加熱前)



写真-5 E面側 (加熱後)



写真-6 S面側 (加熱後)

【試験体①】



写真-7 W面側 (加熱後)



写真-8 N面側 (加熱後)



写真-9 柱一般部 (解体後)



写真-10 はり一般部 (解体後)



写真-11 柱・はり接合部(SW面側) (解体後)



写真-12 柱・はり接合部(SW面側) (解体後)

【試験体①】



写真-13 柱・はり接合部(NE面側) (解体後)



写真-14 柱・はり接合部(NE面側) (解体後)

【試験体②】



写真-15 S面側 (加熱前)



写真-16 N面側 (加熱前)



写真-17 S面側 (加熱後)



写真-18 N面側 (加熱後)



写真-19 柱一般部 (解体後)



写真-20 柱・床接合部(SE面側) (解体後)

【試験体②】



写真-21 柱・床接合部(SW面側) (解体後)



写真-22 柱・床接合部(NW面側) (解体後)



写真-23 柱・床接合部(NE面側) (解体後)

【試験体③】

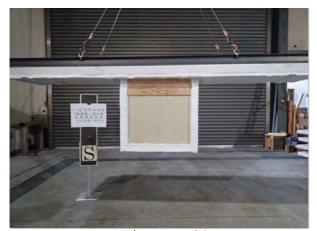


写真-24 S面側 (加熱前)

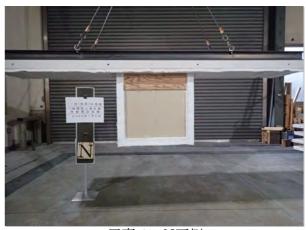


写真-25 N面側 (加熱前)



写真-26 S面側 (加熱後)



写真-27 N面側 (加熱後)



写真-28 木製下地材 (解体後)



写真-29 はり一般部 (解体後)

【試験体④】



写真-30 S面側 (加熱前)



写真-31 W面側 (加熱前)



写真-32 N面側 (加熱前)



写真-33 S面側 (加熱後)



写真-34 W面側 (加熱後)



写真-35 N面側 (加熱後)

【試験体④】



写真-36 柱一般部 (解体後)



写真-37 はり一般部 (解体後)



写真-38 Xマーク金物部 (解体後)



写真-39 はり引きボルト部 (解体後)



写真-40 柱・はり接合部 (解体後)

【試験体⑤】



写真-41 S面側 (加熱前)



写真-42 W面側 (加熱前)



写真-43 N面側 (加熱前)



写真-44 S面側 (加熱後)



写真-45 W面側 (加熱後)



写真-46 N面側 (加熱後)

【試験体⑤】



写真-47 柱一般部 (解体後)



写真-48 はり一般部 (解体後)



写真-49 Xマーク金物部 (解体後)



写真-50 はり引きボルト部 (解体後)



写真-51 柱・はり接合部 (解体後)

【試験体⑥】



写真-52 E面側 (加熱前)



写真-53 S面側 (加熱前)



写真-54 W面側 (加熱前)



写真-55 N面側 (加熱前)

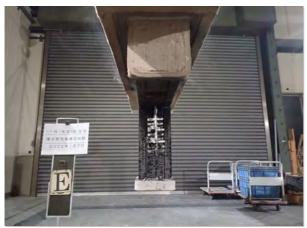


写真-56 E面側 (加熱後)



写真-57 S面側 (加熱後)

【試験体⑥】



写真-58 W面側 (加熱後)

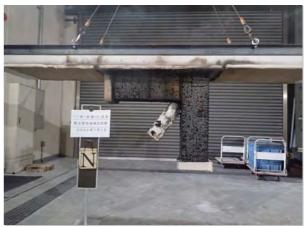


写真-59 N面側 (加熱後)



写真-60 柱一般部 (解体後)



写真-61 はり一般部 (解体後)



写真-62 柱・はり・筋交い接合部 (解体後)



写真-63 柱・筋交い接合部 (解体後)

【試験体⑥】



写真-64 はり・筋交い接合部 (解体後)

【試験体⑥再】



写真-65 E面側 (加熱前)



写真-66 S面側 (加熱前)



写真-67 W面側 (加熱前)



写真-68 N面側 (加熱前)



写真-69 E面側 (加熱後)



写真-70 S面側 (加熱後)

【試験体⑥再】



写真-71 W面側 (加熱後)



写真-72 N面側 (加熱後)



写真-73 柱・はり・筋交い接合部 (解体後)



写真-74 柱・筋交い接合部 (解体後)



写真-75 はり・筋交い接合部 (解体後)

【試験体⑧】



写真-76 E面側 (加熱前)



写真-77 S面側 (加熱前)



写真-78 W面側 (加熱前)



写真-79 N面側 (加熱前)



写真-80 E面側 (加熱後)



写真-81 S面側 (加熱後)

【試験体⑧】



写真-82 W面側 (加熱後)



写真-83 N面側 (加熱後)



写真-84 柱・はり接合部 (解体後)

【試験体⑨】



写真-85 S面側 (加熱前)



写真-86 N面側 (加熱前)



写真-87 S面側 (加熱後)



写真-88 N面側 (加熱後)



写真-89 貫通部(仕様1,上部) (解体後)



写真-90 貫通部(仕様1,下部) (解体後)

【試験体⑨】



写真-91 貫通部(仕様2,上部) (解体後)



写真-92 貫通部(仕様2,下部) (解体後)

【試験体⑩】



写真-93 SW面側 (加熱前)



写真-94 NE面側 (加熱前)



写真-95 SW面側 (加熱後)



写真-96 NE面側 (加熱後)



写真-97 はり表面の状況(仕様1,側面) (解体後)



写真-98 はり表面の状況(仕様2,側面) (解体後)

【試験体⑩】



写真-99 はり表面の状況(仕様3,側面) (解体後)



写真-100 はり表面の状況(仕様4,側面) (解体後)



写真-101 はり表面の状況(下面) (解体後)

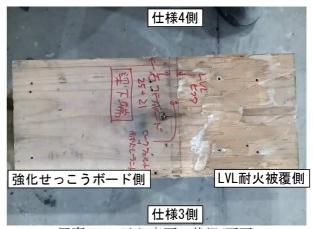


写真-102 はり表面の状況(下面) (解体後)

本書の取扱いについて

- 本書の最終ページは本ページです。
- ・本書の試験結果は、本書中に記載の依頼者より受領した試験体について 得られたものです。
- ・本書のPDFファイルを複製したものや紙面へ印刷したものは原本ではありません。複製や印刷に対し、当試験所は責任を負いません。
- ・本試験結果の一部分を、当試験所の名称を付してカタログに掲載する等、 一般に開示する場合は、文書によって当試験所の承認を得るようにして 下さい。

本書についての問い合わせは、下記までお願いします。

一般財団法人 日本建築総合試験所 試験研究センター 耐火部 耐火構造試験室

T E L : 072-760-5053 F A X : 072-760-5063