



LVL 防耐火材料開発研究ブック

—LVL耐火被覆材開発—

一般社団法人全国LVL協会 編

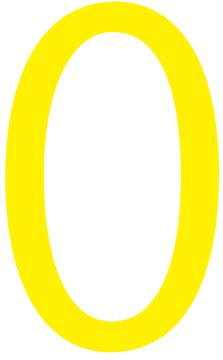
LVL 防耐火材料開発研究ブック

－ LVL 耐火被覆材開発－

一般社団法人全国 LVL 協会 編

本事業は、平成 26 年度林野庁委託事業 CLT 等新製品・新技術利用促進事業を受けて、一般社団法人全国 LVL 協会を中心として LVL(単板積層材) の準不燃材料の大臣認定取得を目指して取り組んだ開発研究です。

この冊子はその開発研究概要をまとめたものです。



目次

1 開発の目的・背景	・・・5
2 単板積層材 LVL とは	・・・8
3 建物の防耐火構造制限	・・・10
4 耐火被覆 開発部材一覧	・・・12
5 耐火被覆 比較表	・・・14
6 事業の概要	・・・16
7 燃焼実験	・・・19
8 加工・染色実験	・・・26
9 まとめ	・・・29

ブックレットの見方

本ブックレットは、単板積層材 LVL を用いた、建築の耐火被覆材の開発経過をまとめたものです。
2～4章は、開発の前段となる、LVL という建材や建築の防耐火性能についての予備知識を整理しています。開発経過本編については、6～9章をご確認ください。

1

開発の目的・背景

■開発の目的・背景

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

都市木造は、構造、防耐火の技術の基礎技術の整備がすすんだ現在、第2ステージにはいったと考えることができる。この第2ステージでは、技術主導であった開発から魅力ある建物のための技術開発が重要になったことを意味する。これ

までの技術開発は、都市を構成する鉄骨造や鉄筋コンクリート造の建物に対して「木造でもできる」を目指していたが、これからは「木造だからできる」という木造建築の魅力を考えなければならない。

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

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

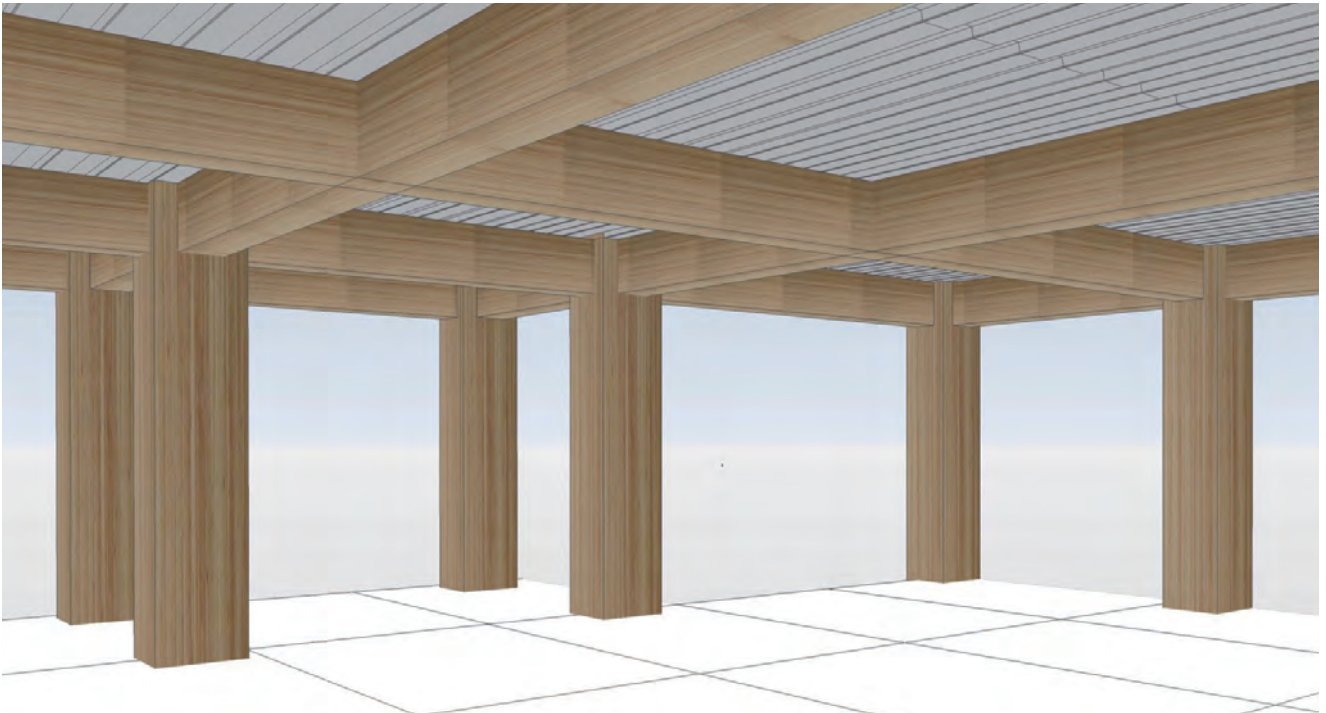
東京大学生産技術研究所
教授 腰原幹雄



赤羽の集合住宅（東京都、設計：KUS）

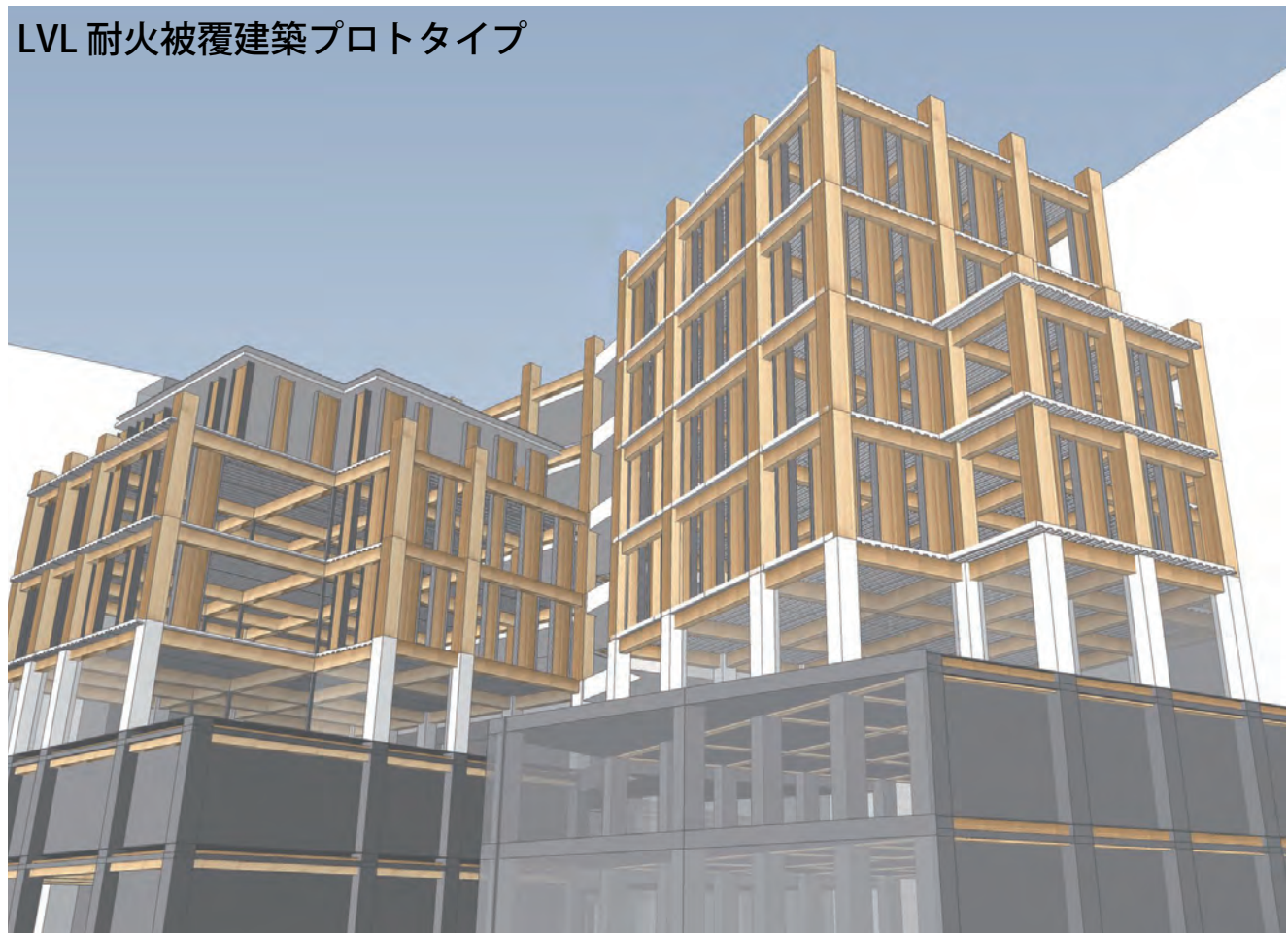


大分県立美術館（大分県、設計：坂茂）

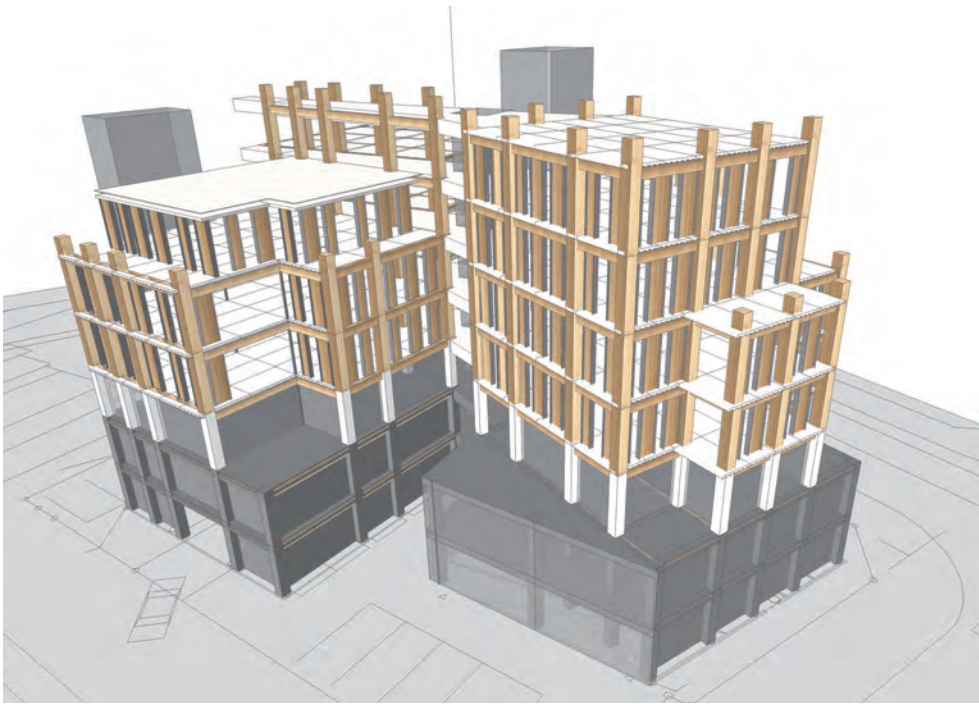


木造も鉄骨造も準不燃化 LVL で耐火建築に。

LVL 耐火被覆建築プロトタイプ



本事業で開発中の LVL 耐火被覆を、鉄骨造建築に適用した場合のイメージパースを作成した。
地上 1～3 階建部分（最上階および最上階から数えて 5 以上 14 以内の階）は石膏ボード耐火被覆の上塗装仕上げ、
地上 4～7 階部分（最上階および最上階から数えて 4 以内の階）は、LVL 耐火被覆の現し仕上げで計画。
鉄骨と木材のハイブリッド使用による新しい木質空間の登場を予感させる。



敷地面積：1635.794㎡
 建築面積：844.03㎡
 延床面積：4,877.67㎡
 構造：鉄骨造
 用途：共同住宅・事務所・店舗・診療所
 福祉施設・自動車車庫
 階数：地上7階
 用途地域等：準防火地域
 構造規制：耐火建築物
 (準防火地域において、地階を除く階数が4以上
 または延べ面積が1,500㎡を超える建築物)



載荷加熱実験終了後の試験体 (3.5m 木製柱)



LVL 耐火被覆材の表面仕上げの検討 (加工実験)



曲面加工を行った LVL 板目面

2

単板積層材 LVL とは

LVL（単板積層材）とは

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

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

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

LVL の特長

1. 高い寸法安定性

材料となる単板は十分に乾燥させてから接着するため、製品も十分乾燥したものができます。よって、乾燥収縮が起きにくく、製材等と比較して曲がりや反りなどの狂いが起きにくくなっています。狂いが生じにくいということは、施工現場において間柱、垂木、野縁等の羽柄材のロットアウト率を低くすることや、壁や天井のゆがみや段差の発生など引き渡し後のクレームを減らすのに有効と言えます。(逆に、十分乾燥されているということは、濡れると膨張しやすいということも意味しています。使用される方は十分ご注意願います。)

2. 強度のばらつきが小さい

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

3. 用途に応じてどのような寸法でも製造可能

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

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

4. 不燃、防虫、防腐、防蟻などの薬剤処理が容易

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

5. 積層面が持つ模様の魅力

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



LVL用の単板



2次接着を終えたLVL



製品化されたLVL

3

建物の防耐火構造制限

建物を設計する際には、建築する場所、建物規模、建物用途などによって、建物に必要な防耐火構造制限が異なる。そこで、木造建築に関連する防火法規について、主なものをとりあげて整理する。

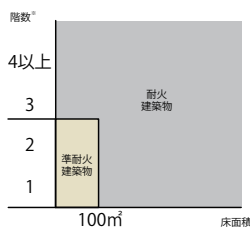
1. 防火地域・建物用途・建物高さによる構造制限

建物を設計する際には、下記の 1)～3) のうち、もっとも厳しい構造制限に従う。

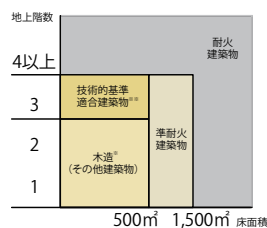
1) 防火地域指定による制限（法 63 条、法 22 条、法 23 条）

市街地火災を抑制することを目的に、建物が密集して建設される都市部では都市計画によって、下記のような防火地域規制がなされている。これらの防火地域指定を受けた地域で住宅などを建築する場合は、その建物が建築基準法で定められた所定の防火性能を満足するように設計しなければならない。

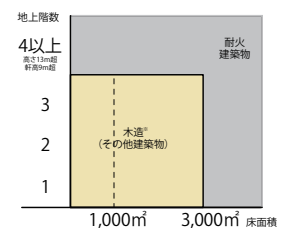
- ①防火地域：火災発生の際、その火災が他の地域に及ばないことを目的に定めた地域
(都市機能が集中している地域で都市中心市街地や幹線道路沿いの商業・業務地区等)
- ②準防火地域：火災発生の際、火災の延焼速度を遅くすることを目的に定めた地域
(防火地域周辺の商業・業務地区及び居住地区等)
- ③法 22 条区域：防火地域・準防火地域以外に、屋根の不燃化等により延焼を抑制するために特定行政庁（市町村に建築主事がある場合は市町村長、いない場合は都道府県知事）が指定した区域



【防火地域】



【準防火地域】



【法22条区域】

*階数：階数 3 以上は地階を含む回数とする
(すなわち、地上 2 階・地下 1 階の建物は耐火建築物とする)

*木造（その他建築物）：延焼の恐れのある部分の外壁・軒裏は防火構造とする
**技術的基準適合建築物：準防火木三戸と呼ばれ、一定の防火措置を行えば木造とすることができる

*木造（その他建築物）：
・床面積 1,000㎡以下の住宅は延焼の恐れのある部分の外壁を準防火性能を有するものとする
・床面積 1,000㎡を超える住宅の延焼の恐れのある部分の外壁・軒裏は防火構造とする

2) 建物用途による制限（法 27 条、法別表第 1）

不特定多数の人が利用したり、就寝に利用する建物（特殊建築物）を建設する場合は、表 3-1 のように、耐火建築物または準耐火建築物とする必要がある。特に 3 階以上の部分に表中の用途が発生するとほとんどが耐火建築物とすることが求められるので併用住宅とする場合に注意したい。なお、事務所は表 3-1 のいずれの用途にも該当しないため特殊建築物としては扱わない。

3) 建物高さ（最高 13m, 軒高 9m 超）による制限（法 21 条、令 129 条の 2 の 3）

地上階数が 3 以下、床面積 3000㎡以下の建物で、最高高さ 13m または軒高さ 9m を超える建物は下記のいずれかの措置が必要となる。なお、4 階建て以上、床面積 3000㎡超の場合は耐火建築物としなければならない。

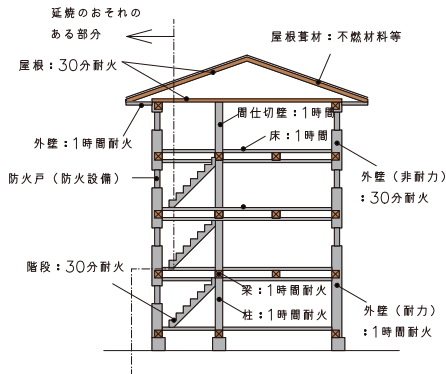
表 3-1. 耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない特殊建築物

用途	耐火建築物とするもの		準耐火建築物とするもの
	左記の用途に供する階	左記の用途に供する部分の床面積の合計	左記の用途に供する部分の床面積の合計
劇場、映画館、演芸場	3階以上の階又は主階が1階にないもの	客席床面積200㎡以上 (屋外観覧席の場合、1,000㎡以上)	
観覧場、公会堂、集会場	3階以上の階		
病院、診療所（患者の収容施設があるものに限る）、ホテル、旅館、共同住宅、寄宿舎等	3階以上の階		2階に病室があるとき2階部分の床面積合計300㎡以上 (病院及び診療所については2階部分に患者の収容施設があるものに限る)
学校、体育館等	3階以上の階		2,000㎡以上
百貨店、マーケット、展示場、キャバレー、カフェ、ナイトクラブ、バー、ダンスホール、遊技場等	3階以上の階	3,000㎡以上	2階部分の床面積の合計500㎡以上
倉庫等		200㎡以上 (3階以上の部分に限る)	1,500㎡以上
自動車車庫、自動車修理工場等	3階以上の階		150㎡以上

2. 耐火建築物と準耐火建築物に必要な防耐火構造制限

1) 耐火建築物

各主要構造部を耐火構造とし延焼のおそれのある部分の外壁開口部に防火設備を設けたルート A（仕様規定ルート）で設計されることがほとんどである。



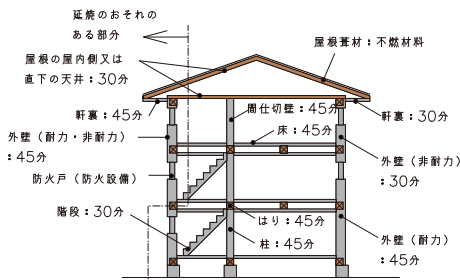
■ 耐火建築物（ルート A：各主要構造部耐火構造）
*上図は 4 階建ての場合を示す。

■耐火構造

部位	最上階から数えた階数	通常の火災		屋内側からの火災	
		非損傷性	遮熱性	遮炎性	
壁	間仕切壁	階数15以上の階	2時間	1時間	—
	耐力壁	階数5～14の階	—	—	—
		最上階、階数2～4の階	1時間	1時間	1時間
	非耐力壁	—	—	1時間	—
		延焼のおそれのある部分	—	—	1時間
	非耐力壁	上記以外	—	30分	30分
柱	階数15以上の階	3時間	—	—	
	階数5～14の階	2時間	—	—	
	最上階、階数2～4の階	1時間	—	—	
床	階数15以上の階	2時間	1時間	—	
	階数5～14の階	1時間	—	—	
	最上階、階数2～4の階	1時間	—	—	
梁	階数15以上の階	3時間	—	—	
	階数5～14の階	2時間	—	—	
	最上階、階数2～4の階	1時間	—	—	
屋根	—	30分	—	30分	
階段	—	30分	—	—	

2) 準耐火建築物

木造の場合、各主要構造部を準耐火構造とし延焼のおそれのある部分の外壁開口部に防火設備を設けた準耐火建築物（準木造の場合に使用）、で設計されることがほとんどである。



■ 準耐火建築物（各主要構造部準耐火構造）
[法 2 条 9 号の 3 イ]

■準耐火構造

部位	通常の火災		屋内側からの火災	
	非損傷性	遮熱性	遮炎性	
壁	間仕切壁	45分	45分	—
	非耐力壁	—	45分	—
		延焼のおそれのある部分	—	45分
	耐力壁	—	45分	45分
		上記以外	—	30分
	柱	45分	—	—
床	45分	45分	—	
梁	45分	—	—	
屋根	30分	—	30分	
階段	30分	—	—	

ちなみに、外壁を耐火構造とし、屋根を準耐火構造等とした口準耐火建築物 1 号も外壁（木造でも可）を耐火構造とすることにより設計することができる。

なお、防火地域以外で、3 階部分を共同住宅等とする建築物は、下記の①～④の条件のもと、耐火建築物でなくても 1 時間準耐火構造で設計可能である。

- ① 主要構造部を 1 時間準耐火構造とした準耐火建築物とする
- ② 避難上有効なバルコニーを設置
- ③ 3 階の居室等に屋外の道路から進入可能な開口部を設置
- ④ 建物周囲に 3m 以上の通路を設ける

4

木造耐火・準耐火・防火構造 開発部材一覧

主要構造部		耐火構造(4階建て以上(特殊建築物等は3階建て以上))						
		告示	被覆型(メンブレン)型				燃え止まり層型	
			せっこうボード+木材被覆		木材被覆		燃え止まり層型	
			他社	LVL協会	他社	LVL協会	他社	LVL協会
外壁	耐力壁	せっこうボード等被覆	①木住協(1H) ②2×4協(1H)	—	—	—	—	—
	非耐力壁	せっこうボード等被覆	—	—	—	—	—	—
間仕切壁	耐力壁	せっこうボード等被覆	①木住協(1H) ②2×4協(1H)	—	—	—	—	—
	非耐力壁	せっこうボード等被覆	—	—	—	—	—	—
柱		—	①木住協(1H) ②シェルター(2H)	—	—	LVL耐火被覆 (1H・大臣認定取得予定)	竹中・鹿島(1H)	—
はり		—	①木住協(1H) ②シェルター(2H)	—	—	—	竹中・鹿島(1H)	—
床		—	①木住協(1H) ②2×4協(1H)	①I-JOIST(1H) ②MEGA BEAM(1H)	—	—	—	—
軒裏		法令上の位置づけなし						
屋根		—	①木住協(1H) ②2×4協(1H)	SSP(30M)	—	—	—	—
階段		鉄造・RC造	①木住協(30M) ②2×4協(30M)	—	—	—	—	—

※耐火構造は1時間以下の仕様を記載(2時間耐火構造の柱・はりは大員認定申請中のメーカーあり)

※準耐火構造は木材厚板のみを使った仕様を記載

本事業は、柱・梁に対して現場施工可能な耐火被覆材の開発と国土交通大臣認定の取得に向けた基礎研究である。

耐火建築物や準耐火建築物をつくるためには、柱・梁以外の主要構造部についても耐火構造・準耐火構造とする必要があるため、他協会・他社で大臣認定が取得された部材や、国土交通省告示仕様（耐火構造：H12 建設省告示第 1399 号、準耐火構造：H12 建設省告示第 1358 号、1380 号）を併用して設計することになる。特に大臣認定の仕様については、大臣認定書類の内容どおりに設計・施工する必要があるため、それぞれの大臣認定内容を丁寧に確認し、再現できるように設計・施工を進めていきたい。

			準耐火構造(3階建て以下)			防火構造		
え止まり型			告示	他社	LVL協会	告示	他社	LVL協会
鉄骨内蔵型								
	他社	LVL協会						
	—	—	—	①遠野G(1H) ②CLT高知県等(1H)	①木層ウォール(1H) ②木層ウォール(45M)	—	—	—
	—	—	—	①W.ALC(1H)	①木層ウォール(1H) ②木層ウォール(30M)	—	—	—
	—	—	—	CLT高知県等(1H)	—	法令上の位置づけなし		
	—	—	—	—	—	法令上の位置づけなし		
	日集協(1H)	—	燃えしろ設計(45M,1H)	—	—	法令上の位置づけなし		
	日集協(1H)	—	燃えしろ設計(45M,1H)	—	—	法令上の位置づけなし		
	—	—	—	①日集協(1H) ②レングス(45M)	—	法令上の位置づけなし		
			野地板30+面戸板45等 (準耐火45M,1H)	—	—	野地板30+面戸板45等 (準耐火45M,1H)	①京建工+早大	—
	—	—	—	①レングス(30M)	—	法令上の位置づけなし		
	—	—	木材60厚(30M)	—	—	法令上の位置づけなし		

5

耐火被覆比較表

本章では、木質耐火被覆材の開発状況をそれぞれの性能比較ができるよう表の形で整理している。木質耐火被覆材は便宜上、1:被覆型、2:燃え止まり型、3:鉄骨内蔵型の3種類に大別されているが、開発が進むにつれ従来の区分を逸脱するものも登場している。中でも構造耐力を負担させるタイプの被覆材は厳格な品質管理が要求される為に建築現場での調整が行えない等、施工性の観点からは融通が効きづらいことになる。

こうした状況を踏まえ、本事業では「現場施工可能な木質耐火被覆材」をコンセプトとして開発を進めることとしている。

1時間耐火構造の大臣認定を受けた(受けようとしている)構造方法の一例

工法		被覆(メンブレン)型		
開発者		日本木造住宅産業協会 他	全国LVL協会	竹中工務店 斉藤木材工業
形状				
構造		木造	木造又は鉄骨造	木造
部材	心材	木材(樹種限定なし)	木材(樹種限定なし)・鉄骨	カラマツ集成材
	被覆層・燃え止まり層	強化せっこうボード	薬剤処理スギLVL	カラマツ集成材+モルタル
	仕上材(表面材)	※評価対象外	スギLVL又はなし	カラマツ集成材
特徴		準耐火建築物と同様に木部をメンブレン(薄膜)工法で強化せっこうボードを使って被覆するもので、仕上材は内装制限に応じて選択できる。また、H26.8には、外壁・間仕切壁について国土交通省告示化された。	もっとも汎用性の高い強化せっこうボードによる被覆の代わりに、薬剤処理スギLVLで“現場において”、木造や鉄骨造の柱・はりに耐火被覆するもの。	燃え止まり層に熱容量が大きいモルタルを併用し、炎時に表面材が燃えたのちに、燃焼を停止する。現状は自社の施工物件を中心に事業している。
事例		3,500棟超(H27.2)	(H27)に大臣認定取得目標)	サウスウッド 大阪木材仲間会館 他数棟
開発状況	H16	●間仕切り壁の大臣認定 ●その他必要部位の大臣認定		
	H17			
	H18			
	H19	●間仕切り壁の追加認定 ●階段の大臣認定		
	H20	●柱(独立柱)の大臣認定		
	H21			
	H22	●床の追加認定		
	H23	●床の追加認定		
	H24	●外壁、屋根の追加認定		
	H25	●柱(600角独立柱)の大臣認定 ●梁(独立梁)の大臣認定		
H26				柱梁-壁接合部の耐火性能確認
H27				

※本表は、全国LVL協会の独自の調査と国土交通省官庁営繕部ホームページを参考に作成した。

耐火構造と準耐火構造の具体的な仕様例

1) 耐火構造

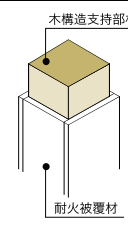
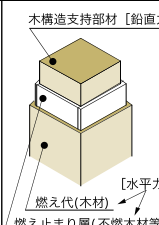
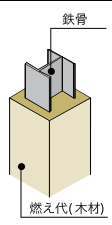
耐火構造は消防活動によらず火災後も部材が崩壊しない、燃え抜けないことが求められる。具体的には右図の方策が提案、実用化されており、方策1(被覆型)がもっとも実例が多い。

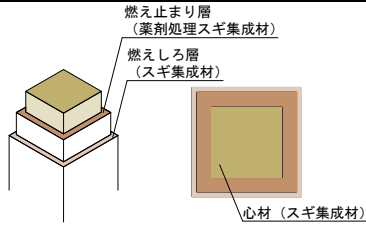
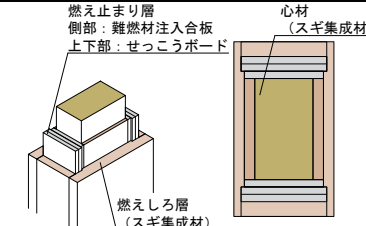
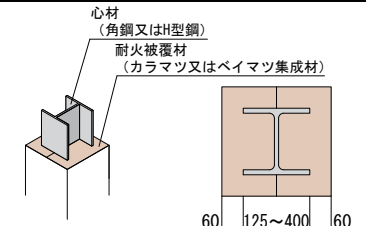
2) 準耐火構造

準耐火構造は消防活動によらず火災中(屋根、階段は30分、壁、柱、床、梁、軒裏は45分)は部材が崩壊しない、燃え抜けないことが求められる。

準耐火構造の部材は、被覆型(木材を石こうボード等により防火被覆する)と木材がゆっくりと燃える性質を工学的に評価した、燃えしろ設計(柱、梁)や厚板の仕様(壁、床、軒裏、階段等)で木材をあらわしながら使う、あらわし型がある。

■木造による耐火構造の考え方

	方策1(被覆型)	方策2(燃え止まり型)	方策3(鉄骨内蔵型)
概要			
構造	木造	木造	鉄骨造+木造
特徴	木構造部を耐火被覆し、燃焼・炭化しないようにする	加熱中は燃え代が燃焼し、加熱終了後、燃え止まり層で燃焼を停止させる	加熱中は燃え代が燃焼し、加熱終了後、燃え代木材が鉄骨の影響で燃焼停止する
長所	◇すでに実用化されている ◇被覆材を選べば樹種が限定されることはない	◇木材が見える	◇木材が見える
短所	◇木材が見えない	◇製造方法が複雑	◇現時点では材種が限定される

	燃え止まり型		鋼材内蔵型
	鹿島建設他	耐火木質ラーメン研究会	日本集成材工業組合
			
	木造	木造	鉄骨造
	スギ集成材	スギ集成材	鉄骨(H型鋼・角鋼)
	薬剤処理スギ集成材	強化せっこうボード、薬剤処理合板	カラマツ集成材又はベイマツ集成材
	スギ集成材	スギ集成材	なし
レタルを設け、燃え止まり層で燃焼	燃え止まり層に燃焼継続を困難にする薬剤処理木材を設け、火災時に表面材が燃えたのちに、燃え止まり層で燃焼を停止する。	燃え止まり層に燃焼継続を困難にする薬剤処理合板と強化せっこうボードを設け、火災時に表面材が燃えたのちに、燃え止まり層で燃焼を停止する。	鉄骨造の周囲を木材で耐火被覆し、木材の燃焼継続を鉄骨の熱容量で停止させるもの。周囲の木材を水平力負担や座屈抑制部材として使用することもできる。
事例を積み上げて	薬剤処理を一樣にするために、レーザー等で小さな孔をあけて表面積を大きくする、インサイジングによる方法に特徴がある。	H27にはりについて性能評価試験に合格し大臣認定申請へ。	
	野菜倶楽部oto no ha café 他数棟	(H27にはり的大臣認定取得予定)	ポラテック本社ビル 大分県立美術館 他数棟
	柱-梁の接合部を確認	梁の燃え止まり確認 柱の燃え止まり確認 林野庁の事業で床と梁を確認 柱-梁、梁-壁、柱-壁の接合部を確認	●柱・梁の大臣認定 ●柱・梁の大臣認定 接合部の確認
	●柱・梁の大臣認定 柱の2時間耐火性能を確認 柱-梁、梁と天井の確認	燃えしろ厚さの再検討 使用する難燃薬剤の見直しと接着性能の確認 1時間耐火構造梁の評価認定試験実施予定	間仕切り壁、外壁、床との取り合い部の耐火性能の確認 柱-梁接合部の耐火性能の確認
	●柱・梁の大臣認定		

6

開発概要

1) 事業目的

木質材料を建築物の構造方法によらず幅広く使える技術提案のひとつとして、準不燃性能を持つ単板積層材（以下 LVL）を用いた耐火被覆材の開発を行った。

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

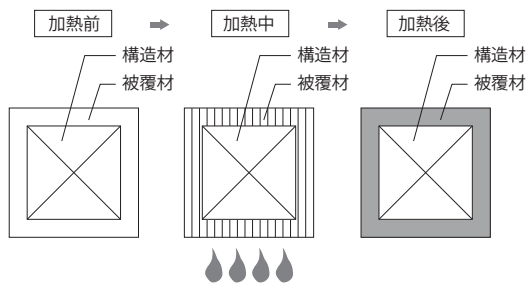


図 6-1. 耐火被覆（メンブレン）型構造部材の概念



写真 6-1. 加熱を行った試験体

2) 事業実施内容

① LVL を用いた耐火構造部材の開発

中・大規模の建築物にエンジニアードウッド（LVL、集成材、CLT 等）や鉄骨を、耐火建築物用の構造部材として使用するためには、柱・梁等の部材に耐火性能を付与することが必要である。平成 25 年度林野庁委託事業では、その方法として不燃薬剤を注入した LVL を耐火被覆材として用いながら、高い耐火性能を持つ耐火柱を開発した（図 6-1）。この技術を利用することで木造・鉄骨造の構造部材に 1 時間耐火性能を持たすことを可能とする。被覆材として用いる LVL は国産材・地域産材に柔軟に対応可能な材料である。そのため耐火被覆材として活用することで中層大規模木造建築物への地域産材の需要を拡大させることが出来ると想定される。既存の技術を活用することで開発することが可能であり、蓄積された情報をもとに安定する耐火部材の製造に関する生産システムや品質管理システムの構築及び整理に関する基礎的な概念が確立されている。

本事業では、今までの開発事業で得られた成果を実際の建築物に適用するために必要な、防耐火構造部材国土交通大臣認定を受けるための性能評価試験を受けることや、製造に関する生産システムや品質管理システムを確立することで、今後新たなマーケットへの国産材の需要拡大の可能性を図った。

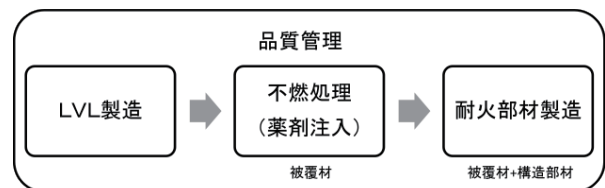


図 6-2. 生産及び品質管理の概念

・薬剤処理板被覆型耐火部材 (図 6-3)

薬剤処理板被覆型／構造部材：木材利用（板厚、被覆方法、目地の処理方法）

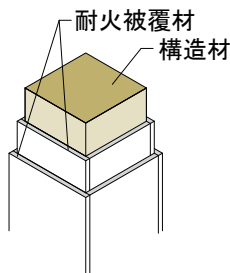


図 6-3. 被覆型耐火柱の概念

② LVL を用いる木質耐火被覆材の活用及び検証について

・耐火被覆材：燃え止まり層型（薬剤処理材）

集成材、LVL、鉄骨、コンクリートなどの主要構造材に取り付けた耐火被覆材（LVL）が、火災時ではその遮熱効果で主要構造材への熱の流入を阻止し、火災終了後では被覆材内で燃焼が燃え止まることで主要構造材の強度低下を防ぐことを検討した。

耐火被覆材としては一般的に石膏ボードを用いる方法が一般的であるが、近年開発及び大臣認定された準不燃内装材に関連する技術である不燃薬剤を減圧加圧注入することで不燃性能を持たせた LVL を耐火被覆材にする方法を提案した。現在用いられている木質系 1 時間耐火部材と比較して、非常に簡単な処理方法で被覆材を製造することが可能である。また、今までの開発では燃え止まりの仕組みや最小断面厚等については正確に解明されていないことから、試験による詳細な検証を行った。

(ア) 使用する不燃薬剤：多く使われているホウ酸系不燃薬剤ではなく、実験的に性能が検証されたリン酸チソ系薬剤を用いることでホウ酸系薬剤の短所とも言える白華現象[※]を抑えることが可能である。

※白華現象：注入された薬剤が使用環境により木材の外に析出する現象であるため、不燃性能の低下を及ぼす。



写真 6-2. 加熱前の試験体の様子

3) 実証性

・耐火被覆材：燃え止まり層型の品質管理について

不燃薬剤を注入した準不燃 LVL（積層材）については、薬剤の注入分布について今までの開発・研究で安定的に注入されていることを確認することが可能だった。しかし、主な耐火被覆材となる幅広の板目面方向の LVL に関して、薬剤が十分に注入されているかについてはまだ確認されていない。この注入薬剤の分布状況については実大の物で検証を行うことで耐火被覆材となる LVL 及び注入技術に関する品質及び安全性の確認を行った。

今まで開発された準不燃性能を持つ LVL を耐火被覆材とする柱試験体を制作し耐火炉で加熱試験を行うことで耐火部材の耐火性能を確認及び仕様改良を行った。

予備試験により、必要とされる耐火被覆材の厚さ、耐火被覆材同士の組み合わせ、目地の形状による耐火性能の確認を行い、実寸大の 1 時間耐火柱試験を行うことで、今後の実用化に向けた性能評価を受けるための仕様の確定をした。

この開発事業で決めた仕様を元に、性能評価を受け大臣認定を取得することで実用化することが出来るようになる。

また、性能評価の際に求められる薬剤分布等の基礎データを収集することで、材料の性能及び安全性を裏付けることを目指した。

(イ) 試験及び検討内容

耐火被覆をした構造部材の性能の確認

- ・試験内容：燃え止まり層型構造部材について下記の試験機関において 1 時間耐火柱試験を行った。
- ・試験機関：独立行政法人建築研究所・性能確認試験、日本建築総合試験所・性能確認試験、建材試験センター（西日本）・性能確認試験

耐火被覆材の厚さに対する性能の検証

- ・試験内容：耐火被覆材として生産した材料を小試験体とするコーンカロリメーター試験を行うことで、同じ状況上での防火性能の確認をした。
- ・試験機関：日本建築総合試験所・性能確認試験、丸菱油化工業（株）・比較試験

column:

都市木造と2つの木造建築

／東京大学生産技術研究所教授 腰原幹雄

「都市」と「木造」これまで、あまり関連する言葉とは考えてこなかった。都市には、鉄筋コンクリート造、鉄骨造の高層ビルが建ち並び、木造は戸建て住宅程度。大規模な木造建築は、地方の森林資源が豊かな地域に主に公共建築として建築されてきて、地産地消のイメージが強い。これは、これまで木造建築では耐火建築物が実現できず、都市部の土地を有効に活用する3階建てを超える多層建築を木造で建築することができなかったためである。しかし、**2000年の性能規定化により木造建築が都市の中に建設可能になり都市部にも多層の木造建築が実現可能となった**。こうなると、「地産地消」から「**地産都消（地方生産都市消費）**」という考え方も可能になる。建築需要の大きい都市部で木造建築を実現することは、それ自体が森林資源の有効活用を増大させるとともに、その背景にある国内の森林資源に興味を持つという点でも重要な役割を果たすことになる。

一方、都市木造に求められる建物性能は、これまでの個人の施主を主な対象としていた木造住宅で用いられていた仕様規定による性能確保とは異なり、鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同じように**不特定多数の人に利用され評価されることを前提とした性能確保**が必要となる。求められる建物性能は、構造性能、防耐火性能はもちろん、居住性能、遮音性能、熱環境性能、耐久性能など多岐にわたる。

これからの大規模木造建築である都市木造を考えると、**ふたつの木造建築の工法の可能性が考えられる**。ひとつは、**大断面集成材やLVLの再構成材を用いる大規模木造建築**である。建物が大規模になるとスパンが大きくなり部材に生じ

る応力が大きくなるが、構造計算を簡単にするために単材を用いると部材断面は、住宅用部材に比べて大きくなる。大きな部材断面は、製材で入手することが困難であり、大断面集成材やLVLといった再構成材を使用することになる。もうひとつは、木造住宅の生産システムと同様に、**小さい断面の住宅用製材を用いる大規模木造建築**である。構造計算の工夫をすれば、小さい断面の製材でもそれらを組み合わせて大きなスパン、応力に抵抗することも可能である。これが、住宅用製材を用いた大スパン架構システムである。しかし、こうした架構では、理論や設計法が整備されてはいるが、設計にはかなりの労力が必要とされる。

それぞれの木造建築の構造要素の特徴は、表1のように整理することができる。都市木造が普及するためには、この2つの木造建築の技術を整備していく必要がある。木造建築というと法隆寺に代表される伝統木造建築のイメージが強く、金物や接着剤を使用しない木組の価値を重んじる傾向にある。しかし、木組接合の構造特性を理解するには、さまざまな情報、実験データが必要であり構造設計をする際のハードルが高くなりがちであり、新規参入を躊躇させる原因になっている。たださえ**大規模木造建築の構造設計の担い手不足**を問題視しているなかで新規参入者に高いハードルをもとめるのは得策ではない。まずは、木造建築に興味を持ってもらい木造建築の構造設計をやってみようという思いを抱かせることが重要である。もちろん、圧倒的に魅力的な木造建築を実現して「われもわれも」となるのが理想ではあるが、そう簡単にはなかなかいかない。であれば、**いったん鉄筋コンクリート造や鉄骨造を同様の建築構造の仕組みにならせた大規模木造の構造技術を整備して、興味を持ってもらった人にさらに上を目指してもらおうのがよいのではないだろうか。**

表1 2つの大規模木造建築の特徴

大規模木造の種類	イメージ	構造計画	設計法	使用部材	加工	金物	厚さ	加工	メッキ
R/C造、S造と共通		あり	許容応力度計算など	木質材料	NC加工など	接合金物	6mm 9mm以上	溶接など	溶融亜鉛メッキ
木造住宅技術の延長		(あり)	壁量計算	製材 中断面集成材	プレカット	補強金物	2.3mm 3.2mm	曲げ加工	電気メッキ

7

燃焼実験

1) はじめに

現在、木造による耐火構造は、P.14～15のように、①被覆型、②燃え止まり型、③鉄骨内蔵型が提案され、1時間耐火構造について、①～③すべてで実用化されている。耐火構造は、所定の火災後、消火によらずに崩壊しない性能を有することが求められる。木材は着火してもなかなか燃え進まないが、一旦着火すると燃焼を阻害するものがない限り燃焼しつづけるため、消火をしない限り、部材が鉛直力支持能力を失い建物崩壊につながる。そこで、提案されている木質耐火構造は、①はそもそも木材に着火させないために耐火被覆するタイプ、②及び③は表面の木材には一旦着火するものの燃焼を阻害する工夫を断面構成に施して、途中で燃焼をとめるものである。現状、木質耐火構造を使った木造建築は、約3500棟建設されているが、そのほとんどが①被覆型であり、もっとも普及している工法といえる。

この①被覆型で用いられる耐火被覆は、強化せっこうボードやケイ酸カルシウム板など不燃系の材料に限られているが、これら不燃系の材料と同様に現場で施工ができる木質系の耐火被覆材はほとんど存在しない。そこで、本開発では、「はり」よりも、独立「柱」のほうが建物内での使用頻度が高いことを考慮して、まずは「柱」について、1時間耐火構造に相応しいLVLを用いた木質系耐火被覆材を開発することとした。

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



写真 7-1.
短柱による加熱実験の
試験体と耐火炉の様子



写真 7-2.
1層分の長さの柱による
載荷加熱実験の試験体と様子

2) 耐火実験の進め方

耐火構造の性能を確認するためには、大臣認定取得のための性能評価試験で用いられる耐火炉等で、1時間加熱後に炉内で試験体を放置して、構造躯体の非損傷性が確保されることを確認する必要がある。性能評価試験では、柱長さ3.5m程度の実大規模の載荷加熱試験で性能を確かめるが、検討したい被覆材等のバリエーションが多く、実験装置も限られている上、実験費用もかかるため、以下の流れで検討を進めることとした。(検討の流れを図7-1に示す。)

- (1) 被覆材の仕様、加熱面数等をパラメーターとした1m長さの短柱で1時間耐火構造の性能を確保する見通しを立てる。この際、載荷は行わず、非損傷性に影響する木構造部の炭化性状を確認した(写真7-1)。
- (2) (1)の実験で見通しが良かった仕様について、柱長さ約3.5mの実大試験体を用いた載荷加熱実験(性能評価試験と同じ試験方法)で1時間耐火構造の性能確認を実施した(写真7-2)。
- (3) また、(1)で見通しが良かった仕様について、構造躯体を鉄骨造とした場合に耐火被覆材の厚さ、性能をどこまで低減し、合理化できそうかについても検討することとした。
- (4) 実大載荷加熱実験、短柱実験結果より、1時間耐火構造の被覆として性能を有する仕様の選定と、今後に向けての技術開発上の課題を整理した。

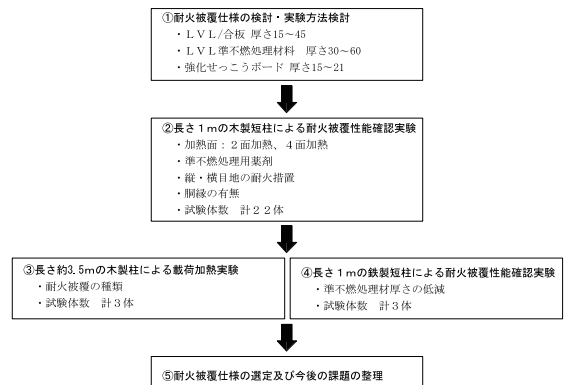


図 7-1. 耐火に関する検討の流れ

3) 耐火被覆仕様の検討

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

そこで、本事業では、耐火構造の被覆として、木造、鉄骨造よらずに、これまで使われてきた、強化せっこうボードについて、LVLによる耐火被覆材に置き換えることを目標に検討を進めることとした。その際、下張り、上張りのすべてをLVLに置き換える場合と、下地に強化せっこうボードを用いながら表面材にLVLによる耐火被覆を用いる場合について検討することとした(表7-1)。

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

表7-1. 既存の被覆型大臣認定仕様と
本事業での耐火被覆材の仕様の検討

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

また、本事業で使用した木材の難燃処理薬剤は以下の1)~3)の3種類である。

- 丸菱油化工業社製 ノンネンW 200 (以後、W200 と呼ぶ)
(主成分：リン酸グアニジン系、有効成分 20% となるように加水) 目標注入量：120 ~ 130kg/m³
- 丸菱油化工業社製 ノンネンW 2-50 (以後、W2-50 と呼ぶ)
(主成分：リン酸カルバメート系、有効成分 20% となるように加水) 目標注入量：120 ~ 130kg/m³
- オーシカ社製 TX-495 (以後、オーシカ製と呼ぶ)
(主成分：ホスホン酸化合物、有効成分 20% となるように加水) 目標注入量：120 ~ 130kg/m³

4) 実験方法の検討

火災時に柱は4面から加熱を受ける。その際、出隅は隣り合う2面からの加熱を受けるため、温度が上昇しやすく耐火上の弱点になりやすい。そこで、まずは耐火被覆材の基本的な被覆性能を把握するために、出隅の隣り合う2面加熱の影響を排除した、表裏の2面加熱を受ける試験体(以後、2面加熱と呼ぶ)を用いた実験から始めることとした。

2面加熱の試験体を1時間加熱しその後炉内で放置し、柱の非損傷性の低下につながる構造部分(荷重支持部)の燃焼・炭化の有無の確認を行った(図7-2①)。この2面加熱の実験より、一般部(以後、平部と呼ぶ)の耐火被覆性能について見通しがついた仕様について、すべての面が加熱を受ける試験体(以後、4面加熱と呼ぶ)を製作し、平部に加えて出隅部の被覆性能について検討した(図7-2②)。

4面加熱で見通しがついた仕様について、約3.5mの試験体を製作し、柱断面に長期許容応力度に相当する荷重を載荷しながら1時間加熱し、その後、炉内で放置して構造部分(荷重支持部)が燃焼せず、非損傷性を確保できることを確認した(図7-2③)。あわせて、木製柱の4面加熱で見通しのついた仕様について、躯体をH鋼として、鉄骨造への耐火被覆の流用可能性について短柱の加熱実験で見通しをつけることとした。

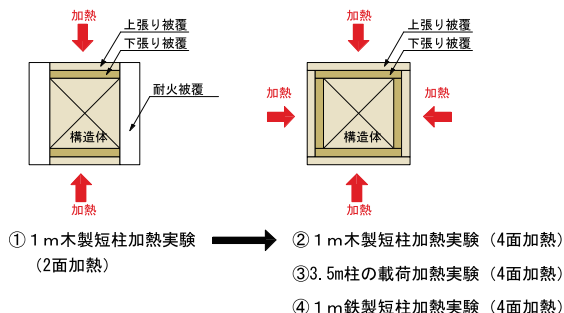


図7-2. 実験での加熱条件の設定

5) 長さ1mの木製短柱による 耐火被覆性能確認実験

5.1 2面加熱

耐火被覆材の基本的な被覆性能を把握するために、防耐火上弱点となりやすい、隣り合う面から同時に加熱を受ける柱の出隅の影響を排除した試験体を用いた1時間の加熱実験を行った。主な実験パラメーターは、①耐火被覆材構成(表7-2、3)、②LVL用の難燃薬剤種類(表7-4)、③目地の有無(表7-5)である。

(1) 実験方法

ISO834標準加熱曲線に準じた1時間加熱を行った。その後、試験材内部の温度が下降傾向を示すか、試験体の燃焼により実験継続が困難になるまで炉内で放置冷却した。

試験体は、耐火炉内に3～6体設置し、同時に加熱することとした。

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

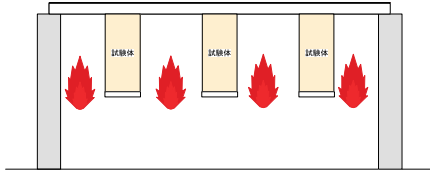


図7-3. 水平炉を用いた1時間耐火構造性能確認実験の試験装置概念

(2) 試験体

試験体は長さ1mとし、構造体のスギLVLまたはスギ集成材の向かい合う2面を表7-2～5のような耐火被覆材で被覆した。耐火被覆材の設計においては、1時間加熱終了後に、上張りの耐火被覆材の可燃物がほぼ消失すれば、加熱終了後は下張りの準不燃処理したLVLまたは強化せっこうボードで燃焼を停止し、構造躯体の燃焼を阻止できると考えた。

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

表7-2. 2面加熱に用いる試験体①(被覆材構成の異なる組合せ) 表7-3. 2面加熱に用いる試験体②(①より被覆材の薄い組合せ)

心材：スギLVL150×300		心材：スギLVL150×300	
試験体①-1 ○	試験体①-2 ○	試験体②-1 ○	試験体②-2 ○
試験体①-3 △	試験体①-4 ○	試験体②-3 ×	試験体②-4 ×

表7-4. 2面加熱に用いる試験体③(不燃薬剤の異なる組合せ) 表7-5. 2面加熱に用いる試験体⑥(目地の種類の異なる組合せ)

心材：スギ集成材150×300		心材：スギ集成材150×300	
試験体③-3 ○	試験体③-4 ×	試験体⑥-1 ○	試験体⑥-2 ×
試験体③-5 ○	試験体③-6 ×	試験体⑥-3 ○	

- *1: 実験結果の
○は躯体の燃焼が全くなかったもの、
△は躯体が部分的に燃焼したもの、
×は躯体全体に燃え込んだもの、を示す。
- *2: 「準不燃処理LVL(不燃薬剤:W200)」は「LVL準不燃」と表記する。
- *3: LVL耐火被覆材で被覆しない2面は、強化せっこうボード12mm×3枚張+セラミックファイバーで被覆した。
- *4: 試験体②-5, 6, ③-1, 2, ④-1, 2, 3は、4面加熱の実験を行った(表7-7参照)。また、試験体⑤-1, 2, 3は、心材を鉄骨とし、実験を行った(表7-9参照)

(3) 実験結果及び考察

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



写真 7-3. 加熱中の試験装置全景 (左)

写真 7-4. 加熱放置終了後の試験体の様子 (右)



写真 7-7. 試験体②-2 炭化状況

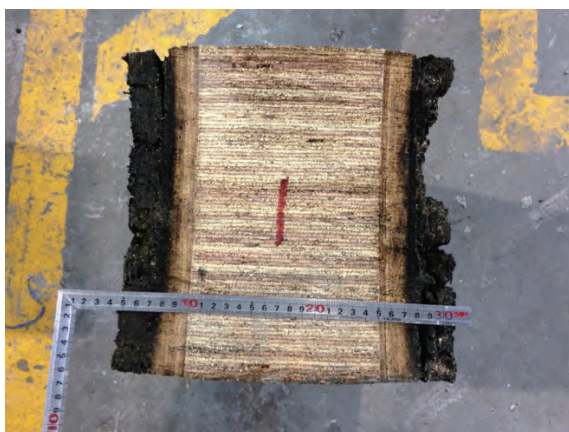


写真 7-5. 試験体①-1 炭化状況



写真 7-8. 試験体③-5 炭化状況



写真 7-6. 試験体①-4 炭化状況



写真 7-9. 試験体③-6 炭化状況

5.2 4面加熱

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

(1) 試験体

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

表 7-6. 試験体仕様一覧と実験結果概要

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

※実験結果の○は躯体の燃焼が全くなかったもの、×は躯体全体に燃え込んだもの

(2) 実験結果及び考察

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

出隅部の耐火被覆材の開きへの対処方法として、たとえば以下の2手法が考えられる(図7-4)。いずれも平部の耐火性能が確保されており、出隅部のみ若干耐火性能が足りない仕様(燃え込みが限定的な仕様)に対応できると考えられる。

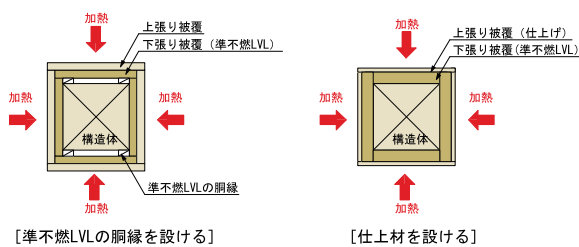


図 7-4. 出隅部の耐火補強の考え方の一例



写真 7-10. 試験体②-5 炭化状況



写真 7-11. 試験体③-1 炭化状況



写真 7-12. 試験体④-1 炭化状況

6) 長さ約 3.5 mの木製柱による載荷加熱実験

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

(1) 試験体

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

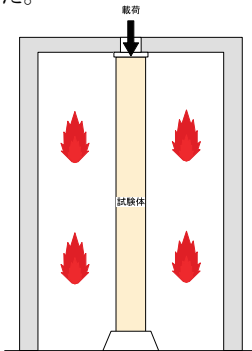


図 7-5.

載荷加熱実験の試験装置概念

(2) 実験結果及び考察

すべての試験体で、1時間耐火構造の要求性能（非損傷性）を満足した。

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

試験体 B 及び試験体 C もほぼ同様の傾向をしめしており、平部、出隅両方の耐火性能を確保する補強方法として有効であることが実大規模で確認できた。



写真 7-17. 試験体 C 炭化状況



写真 7-13. 加熱中の試験装置全景 (左)

写真 7-14. 加熱放置終了後の試験体の様子 (右)

表 7-7. 試験体仕様一覧と実験結果概要

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

※実験結果の○は躯体の燃焼が全くなかったもの、×は躯体全体に燃え込んだもの
※集成材は同一等級構成構造用集成材E65-F255(スギ)とする

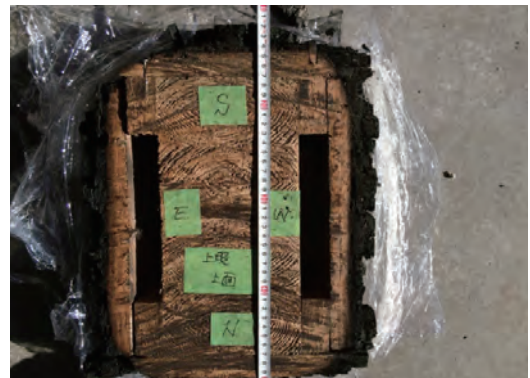


写真 7-15. 試験体 A 炭化状況



写真 7-16. 試験体 B 炭化状況

7) 長さ1mの鉄製短柱による 耐火被覆性能確認実験

構造躯体を木製柱とした4面加熱実験で、1時間耐火構造の耐火被覆としての性能を有する仕様について、鉄製柱（鉄骨造）への流用可能性を確認するために、準不燃LVLの厚さを変化させた1m短柱の試験体を製作して加熱実験を行った。

(1) 試験体

4面加熱で1時間耐火構造の耐火被覆としての耐火性能を確保できた、「準不燃LVL厚60mm」を基本として、構造体が木製柱から鉄骨柱に変わることにより、どこまで厚さを薄く、合理化できるかを知るために、厚さを60mm、45mm、30mmの3種類とした。

H鋼に直接、耐火被覆材を取り付けるのは施工上困難なため、20×40×厚さ1.6mmの鋼製胴縁を四隅に取り付けそこに耐火被覆材とタッピングねじのみで取り付けました。胴縁を設けることにより、耐火被覆材から鉄骨柱に直接、熱伝導しないため、施工上だけでなく、耐火上も効果があると考えた。

(2) 実験結果及び考察

鉄骨表面の温度を見ると、準不燃LVL厚さ60mm、厚さ45mmでは、最高で約150℃、300℃にとどまり、1時間耐火構造の耐火被覆として要求性能を満足した。厚さ30mmは加熱終了時に約500℃となり、非損傷性の規定温度を超えているが、加熱終了後はすぐに鉄骨表面の温度は下降傾向を示した。

構造躯体が木製柱から鉄骨柱に変わることにより、耐火被覆（準不燃LVL）の厚さを60mmから45mmに低減できることがわかった。



写真 7-18. 加熱前の試験体の様子 (左)

写真 7-19. 加熱中の試験装置全景 (右)



写真 7-20. 試験体⑤-1 炭化状況



写真 7-21. 試験体⑤-2 炭化状況

表 7-8. 試験体仕様一覧と実験結果概要

心材：鉄骨H-200×200×12×8					
試験体⑤-1	平部○ 出隅部○	試験体⑤-2	平部○ 出隅部○	試験体⑤-3	平部× 出隅部×
耐火被覆厚さ：LVL準不燃60mm		耐火被覆厚さ：LVL準不燃45mm		耐火被覆厚さ：LVL準不燃30mm	

8

加工・塗装実験

■概要

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

■加工実験

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

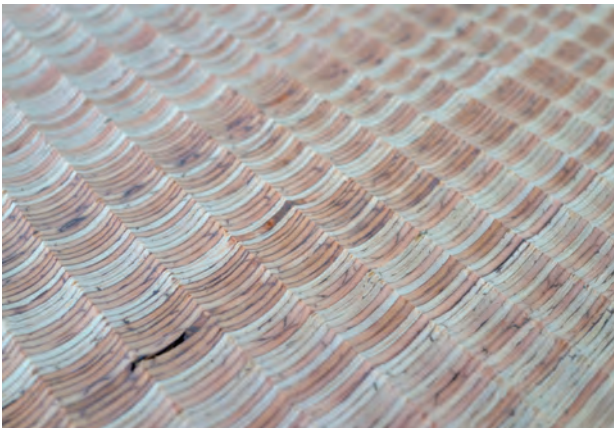


写真 8-1. 積層面への曲面加工



写真 8-2. 積層面への凹凸加工

（加工形状 3 種類）×（加工面・方向 3 種類）の合計 9 体の試験体を用意した。（図 8-1、図 8-2）

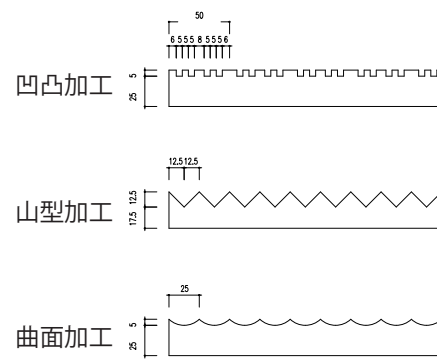


図 8-1. LVL 表面加工形状の種類
（寸法：1,000 × 400 × 30mm）

積層 LVL については積層方向に平行に彫り込むものと、積層方向に直交して彫り込むものの 2 種類の加工実験を行った（図 8-2）。

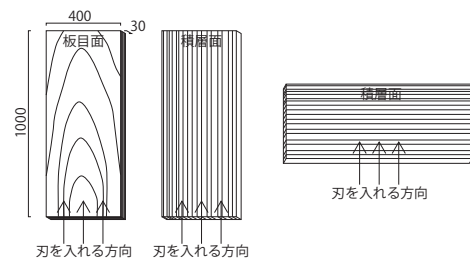


図 8-2. LVL 加工面と刃の方向

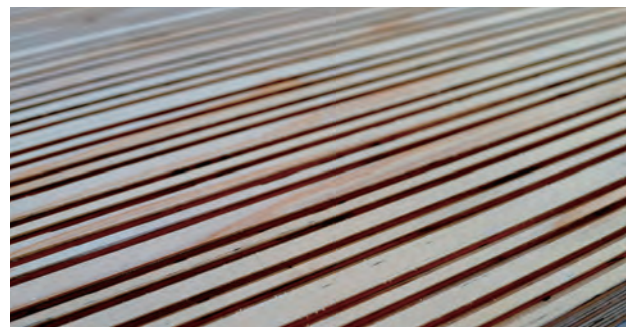


写真 8-3. 板目面への凹凸加工

■塗装実験

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



写真 8-4. 積層面 2 × 凹凸加工への白色塗装

■今後の課題

・内装制限

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

内装制限のかかる居室は、天井・壁（床面からの高さ 1.2m を超える部分に限る）は難燃材料とする必要があるが、告示に定められた天井・壁の内装材の組み合わせを採用することにより、「LVL 耐火被覆材」を居室の内装仕上げに用いることが可能となる。

具体的には、内装仕上げを難燃材料以上としなければならない居室においても、天井を石こうボード等の準不燃材料とすることで壁の仕上げに「一定の条件」を満たした木材を使うことが出来るのだが、（平 12 建告 1439）この「一定の条件」の一つに「木材等の表面に火災伝播を著しく助長するような溝を設けられていないこと」という項目があるため、表面溝彫り加工を施した「LVL 耐火被覆材」は上記告示による緩和措置は受けられない可能性がある。したがって今後の部材開発においては、この規定に抵触しない加工形状の検討が必要である。

・加工性

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

積層 LVL への加工については、加工の方向によってプライの欠けが生じるなどの問題が起きた。（写真 8-2）

刃の入れ始めと終わりの部分では特に影響が大きい。仮に溝彫り幅を変更した場合であっても、問題の完全な解消は難しいと予想される。より精度の高い加工が可能な形状の再検討を進めていきたい。

・意匠性

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

表 8-1. LVL 表面塗装塗り分け表

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

※1 サンプル寸法は共通で1,000×400×30(mm)
塗り範囲は図〇〇参照のこと
※2 「凹凸加工×積層面2」は2枚、それ以外は1枚づつで計10枚

表 8-2. 使用塗料と LVL 表面塗装塗り分け方法

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



写真 8-5. 板目面 × 曲面加工へのクリア塗装



写真 8-6. 積層面 1 × 曲面加工への茶色塗装

column:

内装材としての LVL の可能性

／ビルディングランドスケープ 山代悟

私たちビルディングランドスケープは、LVL 積層面の意匠性の可能性を様々な形で展開し、新築の建築から仮設の構造物、内装など7つの実施プロジェクトで LVL を使用してきました。積層面のもつユニークな表情が自然の木材では得られないものであること、地域材をつかったものの製作が可能であること、B 材や間伐材などからも製造可能なことなどがその大きな理由です。またこのような特徴は専門家だけでなく、クライアントやユーザーにもアピールするものであることが各プロジェクトの打ち合わせの過程から分かってきました。

しかしながら LVL という素材への認知度は専門家の中では徐々に高まってきているとはいえ、クライアントやユーザーのなかではまだまだです。これまで多くの場合構造材や下地材として見えない部分で使われたり、比較的使用が容易な個人住宅の中で主に利用されてきた LVL を、公共的な空間の中で積極的に利用していくことでユーザーに認知され、使いたい素材、として覚えてもらうことが重要です。そのためには構造材としてだけでなく、内装材として使用していくことを積極的に考える必要があります。

LVL など木材を公共空間内装材として使用する際には内装制限などの条件をクリアする必要があり、まだ一般化しているとは言えませんが、ここで二つの実例を紹介したいと思います。

■静岡県清水港のレストラン「はとばキッチン」

「はとばキッチン」は約 440 平方メートルのビュッフェレストランとフリースペースからなる複合スペースです。清水港のヨットハーバーに面して立地する大型複合施設「エスパルスドリームプラザ」の一階スペースのリニューアルの一環として計画されました。静岡県産の檜や杉をつかった LVL で箱形を約 300 個つくり、それが積み上げられるようなデザインとしています。今回のような大型商業施設の内装材として LVL を使用する場合、無窓居室であったり、大型商業施設独自の安全基準のため、



天井を不燃・準不燃材を使用しても、不燃処理をしていない木材を使用することは困難です。今回の場合は有窓の環境であったことと、施設側から家具的な要素であることが認められ使用可能となりました。

■島根県出雲大社参道の観光交流施設「神門通りおもてなしステーション」

「神門通りおもてなしステーション」は出雲大社の参道・神門通りの交差点に面した古い店舗併用住宅を新しいデザインによって生まれ変わらせるプロジェクトです。インテリアの壁には島根県産の杉を使った LVL を使用し、東側の LVL 壁面に凹凸を設け、それをたよりにしてチラシやはがき



等をレイアウトすることができるようデザインしました。LVL の積層面は押しピンなども使用可能であることが施設使用者に好評です。

外観は神門通りの修景計画にのっとった伝統建築の姿に修景し、仕上げ材には焼き杉を用いることで、一階のガラス開口部とそこから見える明るい LVL の色彩とコントラストをつけています。

今回は法規制もゆるやかで小規模な施設であったため LVL の使用が容易でした。LVL の準不燃化によって、教育施設、展示施設、観光施設などより大規模な公共空間であっても使用可能になることは、大きな可能性です。今回のこの小さな公共施設は LVL の内装材としての可能性を示していると考えます。

いずれのプロジェクトでも、地域材を使用できるという部分は意義深いものとして理解され、コストのきびしいプロジェクトではありましたが、コスト調整の議論の対象とはならなかったのは印象的でした。今回は不燃化の実現していないなかで使用可能であった実例を紹介しましたが、準不燃化によって様々な公共空間の LVL が使用されることで、内装材としての LVL、ひいては仕上げをかねた構造材としての LVL の認知が高まることを期待しています。

9

まとめ

■耐火被覆仕様の選定

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

・1時間耐火構造の柱の耐火被覆としての耐火性能を有するものは、

1. 木製柱に対して、胴縁を設けた準不燃LVL60mm
 2. 木製柱に対して、胴縁を設けたLVL30mm+準不燃LVL30mm
 3. 木製柱に対して、胴縁を設けた準不燃LVL30mm+強化せっこうボード21mm
 4. 木製柱に対して、木材15mmを仕上げとする準不燃LVL60mm
 5. 鉄骨柱に対して、胴縁を設けたLVL45mm
- の5つの仕様である。（図8-1）

・ 載荷加熱実験より確認した仕様は限られているが、

- ① 4面加熱において、平部が耐火性能を有したものの出隅部の開きにより耐火性能が確保できなかった仕様、
- ② 2面加熱において平部が余裕をもって耐火性能を有している仕様

については、本事業の検討より、「準不燃LVLの胴縁を設ける」タイプまたは、「仕上材を設ける」タイプで出隅を防火補強すれば、耐火構造の要求性能を満足できる。

・ 木造の耐火被覆としての性能を有する仕様を鉄骨造に流用する際は、耐火被覆の厚さを低減できる。

■今後の課題

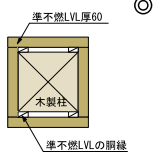
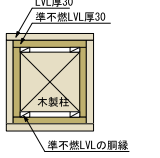
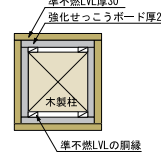
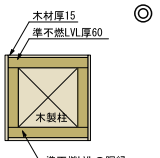
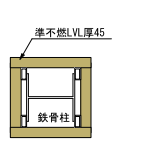
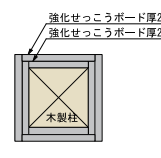
本事業では、木造、鉄骨造の柱に対して、1時間耐火構造の要求性能を満足するLVLを用いた木質耐火被覆の開発を行った。今後の課題は以下の通りである。

・ 柱については、1時間耐火構造を満足する仕様が明らかになったので、性能評価試験、大臣認定取得を行い実用化していく必要がある。

・ はりについて、柱の成果を基本的に流用できると考えられるが、特にはり底面の耐火被覆材は自重で落下する可能性があるため、その部分に特化して実験的な検討が必要であろう。

・ 目地部の防火的な対策が明らかにできたので、壁や床（天井）にも本事業の成果は流用可能である。面材としての活用の検討が必要であろう。

表8-1. 1時間耐火構造の耐火被覆として性能を有する仕様とせっこうボードの大臣認定仕様一覧

1. 準不燃LVL	2. 準不燃LVL+LVL	3. 強化せっこうボード+準不燃LVL
		
4. 準不燃LVL+仕上げ	5. 準不燃LVL	強化せっこうボード (木住協大臣認定)
		

◎は載荷加熱実験で1時間耐火構造の性能を確認した仕様。
赤枠は実験により、1時間耐火構造を有すると考えられる仕様。
2, 3, 5については、4面加熱による予備実験のみを行い、載荷加熱実験は行っていない。

【補助事業名】

平成 26 年度林野庁委託事業

CLT 等新製品・新技術利用促進事業のうち耐火部材開発

【プロデュース】

一般社団法人全国 LVL 協会

事業担当：一般社団法人全国 LVL 協会 宋昌錫

〒 130-0082 東京都江東区新木場 1-7-22 新木場タワー 8 F

TEL: 03-6743-0087 / FAX: 03-5534-3959

info@lvl.ne.jp www.lvl.ne.jp

【研究開発関係者】

委員長：東京大学生産技術研究所 教授 腰原幹雄

耐火担当：桜設計集団一級建築士事務所 代表 安井昇

意匠担当、冊子製作：山代悟 + ビルディングランドスケープ

試験指導：国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部 鈴木淳一

独立行政法人建築研究所防火研究グループ 水上点晴

秋田県立大学木材高度加工研究所 教授 中村 昇

広島県立総合技術研究所林業技術センター 藤田和彦

一般社団法人日本ツーバイフォー協会

一般社団法人日本木造住宅産業協会

試験協力：独立行政法人建築研究所

一般財団法人日本建築総合試験所

一般財団法人建材試験センター 西日本試験所

広島県立総合技術研究所林業技術センター

公益財団法人 秋田県木材加工推進機構

丸菱油化工業株式会社

技術協力：丸菱油化工業株式会社

バイオマス科学研究所株式会社

石巻合板工業株式会社


株式会社オーシカ

株式会社オロチ

株式会社キーテック

株式会社河本組

株式会社東亜理科



発行日 平成 27 年 3 月
編集 一般社団法人全国LVL協会
監修 腰原幹雄、安井昇、山代悟
ブックデザイン ビルディングランドスケープ
発行 一般社団法人全国LVL協会

〒136-0082

東京都江東区新木場 1-7-22 新木場タワー 8 階

TEL : 03-6743-0087 FAX : 03-5534-3959

E-mail: info@lvl.ne.jp

<http://www.lvl.ne.jp/>