

平成27年度林野庁補助事業
地域材利用拡大緊急対策事業（木材の新規用途の導入促進）のうち
地域の特性に応じた木質部材・工法の開発・普及等支援事業

地域材のスギ準不燃LVLを用いた
被覆型耐火工法開発
実績報告書

平成29年3月
一般社団法人全国LVL協会

目次

委員会構成

1. はじめに

2. 開発された耐火部材

- 2. 1 難燃処理単板積層材を用いた被覆型耐火1時間耐火柱
- 2. 2 今回の事業で開発された部材を使った設計例
- 2. 3 最近の柱の1時間耐火構造動向

3. 被覆材に使用した材料

- 3. 1 単板積層材
- 3. 2 使用した薬剤
- 3. 3 注入および2次接着、塗装
- 3. 4 薬剤注入状況の調査

4. 耐火柱の開発

- 4. 1 仕様を決めるための短柱・無載荷予備試験
- 4. 2 載荷予備試験
- 4. 3 性能評価試験
- 4. 4 載荷予備試験（鉄製柱）

5. 難燃処理単板積層材の材料強度

- 5. 1 注入材料の強度評価
- 5. 2 難燃処理単板積層材の材料強度
- 5. 3 まとめ

6. 木質耐火構造の荷重支持部材を想定した炭化性状比較実験

- 6. 1 背景
- 6. 2 実験条件および試験体
- 6. 3 実験結果
- 6. 4 まとめ

7. まとめと今後の課題

(注) 4. 4の荷重予備試験(鉄製柱)以外の内容について、平成27年度林野庁事業の予算で行った。4. 4については全国LVL協会の単独予算で行ったが、委員会で同時に検討した内容であるため、本報告書の1項目として掲載した。

本事業の実施体制

一般社団法人全国LVL協会の技術部会に設置されている防耐火委員会で本事業を遂行した。メンバーは以下の通りである。

委員長	東京大学生産技術研究所	腰原幹雄	教授
委員	桜設計集団一級建築士事務所	安井 昇	代表
	有限会社ビルディングランドスケープ 一級建築士事務所	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
	国土交通省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
	国土交通省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
	広島県立総合技術研究所	藤田和彦	林業技術センター林業研究部
	一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会	泉 潤一	技術部
	一般社団法人日本木造住宅産業協会	高木 郷	木造防耐火性能研究WG委員
	一般財団法人日本建築総合試験所	小宮祐人	試験研究センター
	丸菱油化工業株式会社	亀岡祐史	研究本部
	三商株式会社	加藤圭一	マテリアル事業部 製品開発室
	ロンザジャパン株式会社	田中邦昭	ウッドプロテクション
	株式会社オロチ	清水淳一	品質保証部
	株式会社オロチ	寺本 慧	品質管理ワークス
	株式会社オーシカ	中井 聡	中央研究所
オブザーバー	林野庁	大倉弘二	林政部 木材産業課
	林野庁	神谷 匠	林政部 木材産業課
	桜設計集団	加來千紘	
	有限会社ビルディングランドスケープ 一級建築士事務所	国重安沙	
事務局	一般社団法人全国LVL協会	井上国雄	
		李 元羽	技術部長
		成田敏基	技術課長
		朴 智秀	

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、燃え止まり型の部材は、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。

単板積層材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

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。

- ・現場施工による新設・交換可能な燃えしろ・燃え止まり層

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、今後、火災後の建物の修復においても交換可能な被覆の技術は必要となる。

- ・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。

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単板積層材では、面材への適用も期待される。現在は、燃えしろ設計を用いて単板積層材の壁をあらわしで用いる準耐火建築にとどまるが、今後、単板積層材の特徴的な意匠性を生かした耐火建築物の実現につながることを期待している。

2. 開発された耐火部材

2. 1 難燃処理単板積層材を用いた被覆型耐火1時間耐火柱

本事業で開発した難燃処理単板積層材を耐火被覆とした耐火柱は写真の通りである。特徴として以下の項目を挙げる。

- (1) 木材と難燃処理木材で構成されたメンブレン型
- (2) 現場でも被覆材を施工可能
- (3) 火災後の被覆材取替えに対応
- (4) 被覆の難燃処理木材が準不燃仕様
- (5) 化粧材を適用可能（様々な木質材料を化粧で貼れる）
- (6) 燃え止まり層に使う難燃処理単板積層材を構造的に利用できるようにする

本事業では、主要構造を木造とした場合の耐火構造の認定を取得した。合わせて、鉄骨造とした耐火構造についても性能確認試験を行い、今後の認定取得にむけて準備を行った。写真 2.1-1 は、スギ集成材に 60 mm の難燃処理単板積層材を貼り付けた試験体である。表面には、アクリル・ウレタン塗装を施した。



写真 2.1-1 開発された耐火柱

既に、告示でも木造の耐火仕様が一部決まっているが、壁に関しては石こうボードなどを利用するもので、強化石膏ボード 21 mm を 2 枚使う使用である。今後、柱や梁にも告示仕様が期待されている中、強化石膏ボードを主体にする耐火構造との併用が望まれる。この事業で開発したものは、難燃処理単板積層材 30 mm ・ 2 枚を 2 次接着して 60 mm にした後、荷重支持部材に現場用接着剤とビスで留めつけるのが基本の仕様である。強化石膏ボードとの段差は 14 mm ～ 18 mm 程度発生するが、耐火性能以外にも、荷重支持部材を補強する構造的な利用と木目を利用した化粧的利用を目的にすることで、単価の差や厚みの差を乗り越えようとしている。

確かに、難燃処理は薬剤の単価や処理費用がかかることから、部材単価を劇的に上げてしまうデメリットが大きい。しかし、他の利用目的を同じ部材に取り込むことで少しでも経済性を見出したいと考えた。

2. 2 今回の事業で開発された部材を使った設計例



図 2.2-1 難燃処理単板積層材を用いた耐火建築物の外観



図 2.2-2 難燃処理単板積層材を用いた耐火建築物の内部



図 2.2-3 難燃処理単板積層材を用いた耐火建築物の構造部材

図 2.2-1～3 は、難燃処理単板積層材を用いた耐火建築物の外観・内部・構造部材を現している。この設計は、以前、山代悟+ビルディングランドスケープが行ったもので、敷地面積が 1,635 m²、建築面積が 844 m²、延床面積が 4,877 m²を想定した。構造は、1～3 階が鉄骨造で、4～7 階が木造を想定した。用途は、共同住宅・事務所・店舗・診療所・福祉施設・自動車車庫などが考えられ、準防火地域の耐火建築物として考えたものである。

2. 3 最近の柱の1時間耐火構造動向

施工形態	現場施工		工場施工	
	被覆型	木質系材料	燃え止まり型	鉄骨造
耐火構造とする方策	不燃系材料		木造	
概要	<p>心材(本材) 耐火被覆材 (強化石膏ボード)</p>	<p>心材(スギ) 耐火被覆材 (難燃薬剤処理LVL)</p>	<p>心材(スギ集成材) 燃え止まり層 (難燃薬剤処理スギ集成材) 燃えしる層 (スギ集成材)</p>	<p>心材 (角鋼又はH型鋼) 耐火被覆材 (カラマツ又はベイマツ集成材)</p>
樹種	問わず	スギ	カラマツ、スギ(荷重支持部)	カラマツ、ベイマツ
被覆厚さ(mm)	42	60	85	60
認定取得団体・企業	日本木造住宅産業協会	全国LVL協会	竹中工務店ら	日本集成材工業協同組合
実績(H28.12現在)	5000棟超	-	約7棟	約7棟

図 2.3-1. 柱の1時間耐火構造概要

3. 被覆材に使用した材料

今回開発した耐火柱の被覆材として、昨年度まで防耐火委員会で開発した難燃処理単板積層材（準不燃性能）を使用した。平成 26 年度に予備試験を行って燃え止まり性能を検証している。詳しくは全国 LVL 協会 HP の報告書を参照されたい。

3. 1 単板積層材

樹種は今までの注入実績のあるスギとした。製造は千葉県木更津市のキーテックで製造した。幅 1200mm の原板から製品に近いサイズに切り出して、注入に供した。（写真 3.1-1）

（強度等級）JAS 60E-1 級 相当

（層構成）25mm 厚 全 9 層、単板厚 3.3mm（圧縮前）、--- | ---- | ---

30mm 厚 全 11 層、単板厚 3.3mm（圧縮前）、--- | ----- | ---

※-：平行層、|：直交層（長さ方向に対して）



写真 3.1-1 スギ単板積層材（薬剤注入前）

3. 2 使用した薬剤

難燃薬剤は、丸菱油化工業製の商品名：ノンネン W2-50 を使用した。（組成：ポリりん酸カルバメート）昨年度の防耐火委員会で検討したものと同一の仕様とした。ノンネン W2-50 は、木材用として開発された難燃剤で、リンベースにチッソの相乗効果を利用し難燃性能を高めたタイプの製品である。加熱によりノンネン W2-50 自身が分解し、強固な炭化発泡層を形成し、断熱層を作ることにより高い難燃性能を示す。

その難燃機構について簡単に説明する。

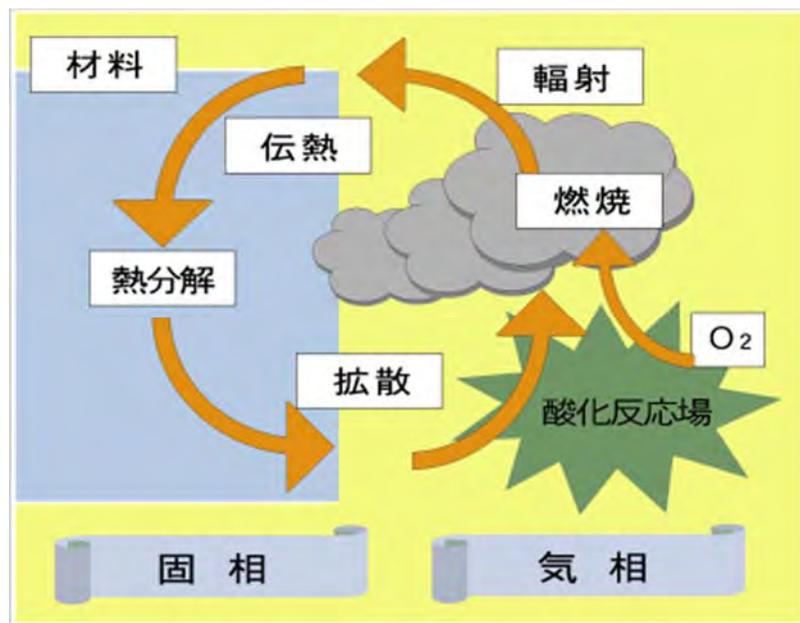


図 3.2-1 一般的な燃焼サイクル (日本難燃剤協会 HP より)

図 3.2-1 に一般的な燃焼サイクルを示す。この燃焼サイクルに則って解説すると、

- A) 固相に熱源が伝わると基材自身の熱分解が始まる。
- B) 同時に可燃性ガスなどの分解ガスが発生する。
- C) 可燃性ガスが、基材表面に拡散され、特定の温度で可燃性ガスが燃焼する。
- D) 気層では、空気中の酸素が酸素供給源と成り、更に燃焼が進む。
- E) この輻射熱により、基材自身の表面温度が上昇することで更に熱分解が促進される。

このサイクルが繰り返される事により、延焼が続く事になる。

従って、どこかのタイミングで難燃剤の効果によりこのサイクルを止めれば、燃焼も止まる事になる。

一般的に木材は、火源に暴露された場合、約 100℃までに水蒸気として水分を放出する。その後、約 250℃まで木材の変色と可燃性ガスなどの分解ガスの発生が見られる。約 250℃を超えたところで可燃性ガスに引火し、木材表面での着火が見られる。その輻射熱により木材の熱分解が進む。有機質がある限りこのサイクルを繰り返す事となる。

本事業で使用したノンネン W2-50 は、約 200℃で薬剤自身が分解し、リン化合物の酸化によってリン酸→メタリン酸→ポリメタリン酸の生成が起こる。この過程で強い脱水作用を起こすと共に、吸熱反応を起こす。この時、木材の炭化を促進し、炭化層を生成する。また、チッソの相乗効果により炭化発泡層が見られ、強固な断熱層を生成する。これにより空気中からの酸素の供給を遮断する事が可能となる。このように木材の燃焼温度よりも早いタイミングで炭化発泡層を生成する事により表面での着火を押さえる事が出来、その為に高い難燃性能が得られる。

3. 3 注入および2次接着、塗装

3. 3. 1 注入

単板積層材への薬剤注入は、滋賀県守山市のバイオマス科学研究所で行った。薬剤注入量の目安として、昨年度に25mm厚準不燃材料の認定取得時の基準値は最小値120kg/m³、管理値として150kg/m³以上であった。本事業をスタートしたときは、評価書上の数値は昨年と同様の基準値であった。ただし、性能評価試験の試験体として被覆材の注入量が大幅に大きいと、適切でないということで評価機関との合意の上、試験体作成時のみの条件として150kg/m³以下とした。写真3.3.1-1に薬剤注入後のスギ単板積層材を、写真3.3.1-2に薬剤注入後の重量測定の様子を示した。



写真 3.3.1-1 薬剤注入後のスギ単板積層材

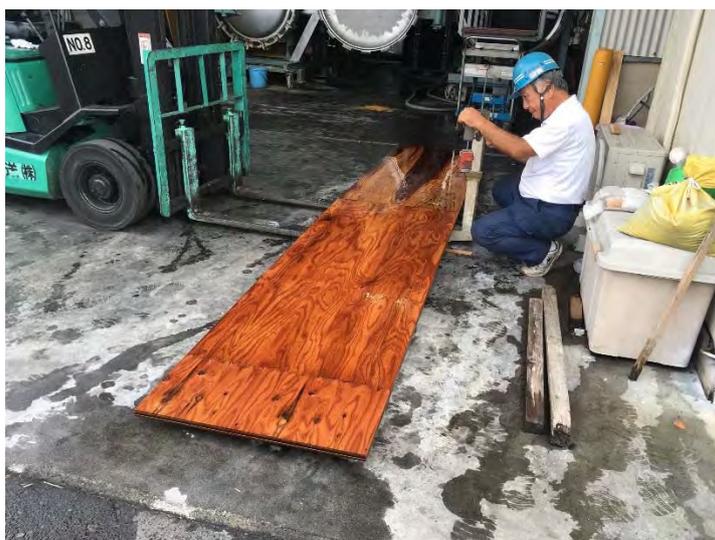


写真 3.3.1-2 薬剤注入後の重量測定

3. 3. 1. 1 工程 1 回目

日時：2016/7/28

寸法：厚 25 mm×幅 300 mm×長 4000 mm 28 枚

用途：木柱 150 mm 角被覆 50 mm 厚予備試験、鉄柱 200 角予備試験の被覆 (25 mm 厚)

薬剤注入量基準：平均 150kg/m³

注入結果を表 3.3.1.1-1 に示した。

3. 3. 1. 2 工程 2 回目

日時：2016/9/10

寸法：厚 25 mm×幅 250～750 mm×長 4000 mm 23 枚

用途：木柱 150 角および木柱 600 角 1 体目、広島での強度試験用

薬剤注入量基準：平均 150kg/m³

注入結果を表 3.3.1.2-1 に示した。

3. 3. 1. 3 工程 3 回目

日時：2016/10/11

寸法：厚 30 mm×幅 180～750 mm×長 3200 mm 24 枚

用途：木柱 150 角および木柱 600 角 1 体目、鉄柱 300 角 1 体目

薬剤注入量基準：平均 150kg/m³

注入結果を表 3.3.1.3-1 に示した。

3. 3. 1. 4 工程 4 回目

日時：2016/10/27

寸法：厚 30 mm×幅 180～750 mm×長 3200 mm 16 枚

用途：木柱 150 角および木柱 600 角 2 体目

薬剤注入量基準：平均 150kg/m³

注入結果を表 3.3.1.4-1 に示した。

3. 3. 1. 5 工程 5 回目

日時：2016/12/14

寸法：厚 30 mm×幅 320・380 mm×長 3200 mm 40 枚

用途：木柱 600 角縦目地あり 1, 2 体目

薬剤注入量基準：平均 150kg/m³

注入結果を表 3.3.1.5-1、表 3.3.1.5-1 に示した。

平成28年12月14日

準燃処理加工子一タ
処理液濃度 W2-50

(稀釈後塗面形成率 20%)

平成28年12月13日 入荷分
平成28年12月14日 含浸
20枚口

乾燥開始 12/20 12:30
" 完了 1/5 16:00

実測値

番号	種類	長/cm	巾/cm	厚/cm	水分 %	立米	立米当重量	12/14計測			12/15計測			1/10計測		
								初期重量/kg	WET重量/kg	葉付量/g	WET重量/kg	葉付量/g	DRY量/立米	WET量/立米	DRY量/立米	DRY量/重量
320-1	LVL	3100	32.0	3.0	11.3%	0.029760	472.11	14.06	35.89	21.84	753.87	146.77	17.99	182.39	4.8%	
320-2	LVL	3100	32.0	3.0	12.7%	0.029760	477.82	14.22	35.84	21.62	726.48	145.30	17.57	112.57	4.3%	
320-3	LVL	3100	32.0	3.0	11.5%	0.029760	479.50	14.27	36.29	22.02	789.92	147.98	18.18	181.38	5.7%	
320-4	LVL	3100	32.0	3.0	11.8%	0.029760	477.82	14.22	36.12	21.90	755.89	147.18	18.14	181.72	6.3%	
320-5	LVL	3100	32.0	3.0	11.7%	0.029760	475.81	14.16	36.27	22.11	742.94	148.59	18.14	183.74	6.2%	
320-6	LVL	3100	32.0	3.0	11.3%	0.029760	486.75	13.95	35.91	21.96	787.90	147.58	17.86	181.38	6.3%	
320-7	LVL	3100	32.0	3.0	11.2%	0.029760	473.12	14.08	36.08	22.01	789.58	147.92	18.10	185.08	6.0%	
320-8	LVL	3100	32.0	3.0	12.0%	0.029760	470.43	14.00	36.26	22.26	747.98	149.60	17.93	182.06	6.8%	
320-9	LVL	3100	32.0	3.0	12.0%	0.029760	480.17	14.29	36.02	21.73	790.17	146.08	18.22	182.06	6.5%	
300-10	LVL	3100	32.0	3.0	11.2%	0.029760	472.78	14.07	36.01	21.94	787.23	147.45	17.91	179.03	6.5%	
320-11	LVL	3100	32.0	3.0	11.5%	0.029760	483.87	14.40	36.39	21.99	788.91	147.78	18.03	179.99	6.2%	
320-12	LVL	3100	32.0	3.0	13.8%	0.029760	473.79	14.10	36.00	21.90	755.89	147.18	18.00	181.05	5.3%	
320-13	LVL	3100	32.0	3.0	11.2%	0.029760	480.51	14.30	36.48	22.18	745.30	149.06	17.99	179.99	5.0%	
320-14	LVL	3100	32.0	3.0	11.2%	0.029760	488.42	13.97	35.73	21.76	781.18	146.24	17.73	176.34	5.0%	
320-15	LVL	3100	32.0	3.0	11.2%	0.029760	484.21	14.41	36.41	22.00	793.25	147.85	18.03	176.64	6.3%	
320-16	LVL	3100	32.0	3.0	12.2%	0.029760	484.88	14.43	36.12	21.69	728.83	145.77	17.85	114.92	5.8%	
320-17	LVL	3100	32.0	3.0	13.2%	0.029760	475.81	14.16	36.10	21.94	787.23	147.45	17.62	116.26	5.2%	
320-18	LVL	3100	32.0	3.0	11.8%	0.029760	480.85	14.31	36.08	21.77	781.52	146.30	17.67	112.90	5.2%	
320-19	LVL	3100	32.0	3.0	13.2%	0.029760	467.41	13.91	35.64	21.73	780.17	146.08	17.28	118.24	4.2%	
320-20	LVL	3100	32.0	3.0	11.3%	0.029760	487.23	14.50	36.16	21.66	727.82	145.56	17.89	118.91	4.3%	
								11.75%	0.595200	476.56	14.19	36.11	147.38	17.98	127.58	5.81%

真空開始 10/27 11:00
" 完了 11:20 0.068MPa

液注入開始 12:23
" 完了 12:48

真空開放 13:43

加压開始 14:28
" 完了 15:35 8-gt/cm²

加压開放 10/28 7:30

表 3.3.1.5-1 注入結果 (工程 5 回目)

3. 3. 2 単板積層材の2次接着

被覆材としての厚みを増やすため、25 mm厚または30 mm厚の薬剤注入単板積層材を、耐火性能に優れたレゾルシノール樹脂系の接着剤で2次接着した。接着および養生は大阪府堺市のオーシカ大阪工場で行った。接着剤の塗布量は $300\text{g}/\text{m}^2$ 、圧縮圧は $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、養生温度 $20^\circ\text{C}\sim 30^\circ\text{C}$ 、圧縮時間は12時間とした。両側をカットして面を出してから東亜理科大阪に納品した。写真3.3.2-1にレゾルシノール接着剤塗布の様子を、写真3.3.2-2に接着剤を塗布した単板積層材の重ね合わせの様子を示した。写真3.3.2-3に圧縮中の単板積層材を、写真3.3.2-4に、接着後番号の組み合わせを記載した単板積層材を示した。



写真 3.3.2-1 接着剤塗布



写真 3.3.2-2 重ね合わせ



写真 3.3.2-3 圧縮



写真 3.3.2-4 接着後の被覆材

3. 3. 3 塗装

本事業で開発する耐火柱は、単板積層材の被覆材をあらわしとするほか、化粧材として製材・集成材・単板積層材を貼ることを想定している。木の化粧材には設計者の意向によりさまざまな塗装仕様が適用されることが考えられる。試験体仕様として、使用が想定される塗料の種類の中で、アクリル・ウレタン系樹脂の塗料を塗布し、耐火柱試験体の化粧材とした。

想定した塗料の種類：

- (1)なし
- (2)フタル酸樹脂エナメル(FE)
- (3)合成樹脂エマルジョンペイント(EP)
- (4)アクリル樹脂系塗料
- (5)ウレタン樹脂系塗料
- (6)アクリル・ウレタン樹脂系塗料
- (7)塩化ビニル樹脂系塗料
- (8)エポキシ樹脂系塗料

3. 3. 3. 1 塗装1回目（予備試験体）

日時：2016/8/9

場所：一柳塗装（愛知県名古屋市）

化粧材：スギ単板積層材 積層面

寸法：厚 30 mm×幅 150 mm×長 4000 mm 18 枚 厚 15 mm×幅 150 mm×長 4000 mm 10 枚

用途：木柱 150 角予備試験用試験体の化粧材

塗布した塗料：US-78-P、CB-031、TU-12-P、

UF-77-99P、CB-076、TU-12-P（以上、玄々化学工業株式会社）

目標塗布量：200g/m²（塗装直後）

写真 3.3.3.1-1 と写真 3.3.3.1-2 に塗装の様子を、写真 3.3.3.1-3 に塗装した化粧材を施工している様子を示した。



写真 3.3.3.1-1 スプレー塗布および重量測定

写真 3.3.3.1-2 塗布後に乾燥中の試験体



写真 3.3.3.1-3 塗装した化粧材を試験体に貼付

3. 3. 3. 2 塗装（試験体）

予備試験を行って大臣認定を受ける仕様を検討し、また評価機関との協議を重ねて化粧材をつける仕様について検討した。その結果、化粧材を貼らない仕様で大臣認定を取得し、その上で同構造に化粧材を貼った仕様で性能を確認することで、運用を可能にする方向で話をすすめた。（2017年2月現在）そこで、塗装は単板積層材被覆材を貼った段階で塗布することとした。

日時：木柱の試験体製作日

場所：東亜理科大阪

用途：11/17 試験の 150 角木柱試験体以降、すべての単板積層材被覆材表面塗装

塗布した塗料：US-78-P、CB-031、TU-12-P（以上、玄々化学工業株式会社）

目標塗布量：300g/m²（塗装直後）

写真3.3.3.2-1と写真3.3.3.2-2は被覆材に塗装している様子を、写真3.3.3.2-3に塗料を示した。



写真 3.3.3.2-1 塗装（150 角柱）



写真 3.3.3.2-2 塗装（600 角柱）



写真 3.3.3.2-3 塗料

3. 4 薬剤注入状況の調査

薬剤注入した単板積層材の品質についての調査を行った。

過去に注入量の調査を行い、材料表面に薬剤が偏っている傾向を示した。昨年度に準不燃認定を取得するにあたり、改めて評価機関からの指摘を受け、調査を行った。

注入量調査の上でのポイントとして、節の有無によるバラツキ、幅方向、厚み方向のバラツキが挙げられた。ここでは、幅方向のバラツキ、及び、厚み方向のバラツキについて検証した結果を示した。

3. 4. 1 幅方向のバラツキ

積層面を見せた単板積層材と異なり、板目面を見せた単板積層材に関しては、幅方向に難燃薬剤注入量のバラツキが見られるのではないかとの懸念があった。薬剤注入に関しては、幅 750 mmの単板積層材を使用するケースも考慮し、今回の最大幅を 750 mmと設定した。

まずは、3.3.1.4 工程 4 回目(2016.10.27 薬剤注入)の試験体を使用し、注入量のバラツキを検証した。なお、裁断及び重量測定は東亜理科大阪にて行った。

番号	種類	実測値					立米	10/27計測		10/28計測		11/12計測			
		長/cm	巾/cm	厚/cm	水分 %	立米当重量		初期重量/kg	WET重量/kg	薬剤量/kg	WETkg/立米	DRYkg/立米	DRYkg重量	DRYkg薬剤量	水分%
180-1	LVL	320.0	18.0	3.0	11.0%	0.017280	479.75	8.29	20.69	12.40	717.59	143.52	10.57	131.94	4.5%
750-1	LVL	320.0	75.0	3.0	12.8%	0.072000	495.56	35.68	85.52	49.84	692.22	138.44	45.35	134.31	10.7%

表 3.4.1-1 注入結果 (工程 3 回目 抜粋)

それぞれの試験体について、重量を測定(写真 3.4.1-1、写真 3.4.1-2)した後、幅方向に 100 mm毎、長さ方向に 100 mm毎に電気丸のこにてカットし、全数ナンバリングした (写真 3.4.1-3 ~写真 3.4.1-4)。その後、それぞれの重量を測定した。



写真 3.4.1-1 NO.180-1 重量測定



写真 3.4.1-2 NO.750-1 重量測定



写真 3.4.1-3 カット風景



写真 3.4.1-4 100 mm角カットサンプル

カットしたそれぞれの試験体重量の平均値を表 3.4.1-2、表 3.4.1-3、全ての重量測定結果を、表 3.4.1-4 にて示した。

結果として、表 3.4.1-2、表 3.4.1-3 を見て解るように、最大最小の差は、最大で 18g となり、大きなバラツキは見られなかった。

No.180-1	A
最大値	185.60
最小値	172.00
平均値	176.59
標準偏差	2.725

(単位 g)

表 3.4.1-2 No.180-1 平均値

No.750-1	A	B	C	E	F	G	H
最大値	191.00	185.80	189.10	191.60	193.60	195.30	197.60
最小値	177.40	172.70	173.20	176.10	175.60	179.90	180.50
平均値	183.68	181.02	181.07	184.26	185.92	186.35	186.51
標準偏差	3.544	3.455	3.891	4.006	4.625	3.728	3.933

表 3.4.1-3 NO.750-1 平均値

(単位 g)

No.180-1		No.750-1								
	99×99		99×99	99×99	99×99	99×99	99×99	99×99	99×99	
	A		A	B	C	E	F	G	H	
1	185.6		1	187.1	185.6	188.2	189.0	193.6	194.6	197.6
2	174.0		2	178.0	175.4	174.2	176.1	175.6	181.7	184.9
3	175.1		3	180.5	174.4	176.7	178.9	179.3	182.5	182.8
4	177.0		4	179.6	172.7	175.9	176.2	178.4	181.5	180.5
5	175.6		5	177.4	178.5	176.4	179.2	181.2	182.7	181.5
6	176.4		6	183.2	176.2	180.1	180.3	180.1	182.3	180.6
7	175.4		7	184.9	185.8	179.1	182.0	180.7	184.8	182.5
8	176.5		8	186.5	182.1	183.0	184.4	181.0	185.5	190.5
9	175.8		9	181.7	179.8	181.3	181.7	181.2	184.8	189.5
10	177.4		10	182.0	178.7	186.8	181.2	184.9	185.9	186.7
11	179.2		11	183.6	185.5	182.7	183.2	183.4	183.1	184.8
12	181.3		12	181.1	180.7	183.2	179.8	184.5	187.0	183.4
13	176.8		13	190.5	181.3	183.4	188.6	185.9	189.9	188.8
14	176.5		14	191.0	185.1	189.1	190.2	191.2	195.3	188.9
15	175.3		15	188.2	181.8	185.9	191.6	189.9	191.7	188.7
16	177.0		16	183.1	180.5	182.1	187.8	188.2	189.3	187.2
17	175.6		17	183	180.2	181.1	184.9	186.0	185.5	190.4
18	183.1		18	180.8	180.8	181.5	182.6	186.0	191.0	186.7
19	177.5		19	181.2	179.9	176.6	182.6	187.0	184.9	185.7
20	178.3		20	185.8	179.7	179.9	185.5	187.8	187.4	183.5
21	174.7		21	186.4	180.9	180.1	187.2	189.2	185.7	187.3
22	175.1		22	182.1	181.9	179.6	183.2	187.9	188.3	190.4
23	177.0		23	185.6	184.3	184.1	187.7	191.7	188.3	194.6
24	174.5		24	184.4	184.4	181.3	184.7	189.5	184.0	183.4
25	172.0		25	182.8	184.1	181.8	186.2	191.0	183.7	182.7
26	173.7		26	186.6	183.5	184.5	189.5	192.0	188.2	186.4
27	175.3		27	184.9	184.6	183.4	189.0	189.4	188.3	189.7
28	177.6		28	188.8	181.6	183.1	186.1	189.6	189.1	186.0
29	175.4		29	185.5	185.5	178.1	186.4	190.5	186.6	186.9
30	175.0		30	177.8	177.2	176.7	184.1	183.4	183.2	182.3
31	174.5		31	179.9	179.0	173.2	182.3	183.4	179.9	187.0

(単位 g)

表 3.4.1-4 カットサンプル重量

次に、測定した重量データから薬剤注入量を推測した場合のバラツキも検証した。長さ方向どの部位でも薬剤注入量の平均値は、 $120\text{kg}/\text{m}^3$ を超えているが、最小値は、全ての部位で下回っている結果となった。これは、 180mm 幅であろうと 750mm 幅であろうと同じ傾向であった。(表 3.4.1-5 表 3.4.1-6)

180-1	A	B	AVG
最大値	151.5	182.7	167.1
最小値	105.2	114.5	110.7
平均値	120.83	141.44	131.13
標準偏差	9.27	17.23	11.82

(単位 kg/m^3)

表 3.4.1-5 No.180-1 薬剤注入量平均値

750-1	A	B	C	D	E	F	G	H	AVG
最大値	154.0	136.4	147.6	160.6	156.1	162.9	168.7	176.5	154.2
最小値	107.8	91.8	93.5	100.8	103.4	101.7	116.3	118.3	110.0
平均値	129.13	120.10	120.26	132.66	131.13	136.76	138.21	138.78	130.88
標準偏差	12.05	11.75	13.23	15.38	13.62	15.73	12.68	13.38	11.08

表 3.4.1-6 No.750-1 薬剤注入量平均値

(単位 kg/m^3)

表 3.4.1-7 にて各試験体の薬剤注入量を示す。No.180-1 については、62 検体中 20 検体が基準値の $120\text{kg}/\text{m}^3$ を下回っており、不合格率は 32.3%であった。長さ方向において中央部が少ないという傾向は見られなかった。逆に、端部のほうが少ないケースも見られた。

次に、No.750-1 について検証した。表 3.4.1-9 で見られるように、この試験体は、中央部でより多くの薬剤注入量が得られ、逆に端部では薬剤注入量が少ないという結果であった。また、248 検体中 59 検体が $120\text{kg}/\text{m}^3$ を下回り、不合格率は 23.8%であった。

これらの結果から、薬剤注入量のバラツキは、部位的なファクターだけではなく、単板積層材の構成(辺材-芯材のバランス)の問題も含まれるのではないかと考えられる。ただ、今回の試験は、 3200mm 長さ試験体の密度を初期密度として考えているため、カット後の個々の初期密度は不明となっている。今後、そこについての検証も必要になるとと思われる。

注入後				
180-1	A	B	AVG	
1	151.5	182.7	167.10	
2	112.0	142.3	127.17	
3	115.8	156.6	136.20	120未満
4	122.2	165.9	144.06	120-130
5	117.5	148.2	132.84	130-140
6	120.2	149.5	134.83	140-150
7	116.8	152.4	134.60	150以上
8	120.5	141.9	131.21	
9	118.2	156.6	137.39	
10	123.6	176.0	149.79	
11	129.7	158.7	144.22	
12	136.9	148.2	142.53	
13	121.6	148.6	135.09	
14	120.5	157.9	139.21	
15	116.5	130.9	123.70	
16	122.2	136.8	129.54	
17	117.5	145.7	131.57	
18	143.0	139.4	141.17	
19	123.9	138.9	131.44	
20	126.7	134.3	130.48	
21	114.4	120.4	117.42	
22	115.8	122.5	119.15	
23	122.2	119.6	120.91	
24	113.7	114.5	114.13	
25	105.2	116.2	110.72	
26	111.0	122.5	116.77	
27	116.5	136.0	126.22	
28	124.3	139.8	132.03	
29	116.8	138.5	127.66	
30	115.4	123.4	119.40	
31	113.7	119.6	116.66	

(単位 kg/m³)

表 3.4.1-7 No.180-1 薬剤注入量

	長さ方向		幅方向
1	167.1	A	120.8
2	127.2	B	141.4
3	136.2	C	
4	144.1	D	
5	132.8	E	
6	134.8	F	
7	134.6	G	
8	131.2	H	
9	137.4		
10	149.8		
11	144.2		
12	142.5		
13	135.1		
14	139.2		
15	123.7		
16	129.5		
17	131.6		
18	141.2		
19	131.4		
20	130.5		
21	117.4		
22	119.1		
23	120.9		
24	114.1		
25	110.7		
26	116.8		
27	126.2		
28	132.0		
29	127.7		
30	119.4		
31	116.7		

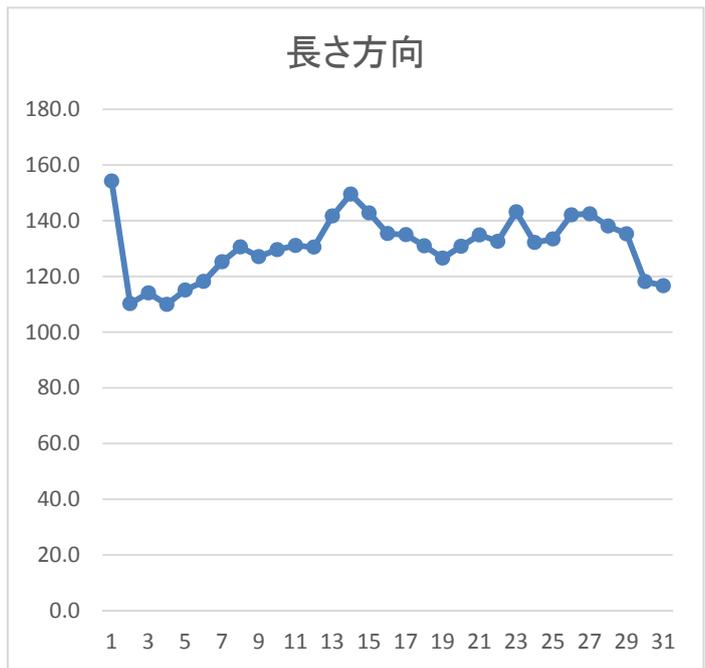
(単位 kg/m³)

表 3.4.1-8 No.180-1 平均値

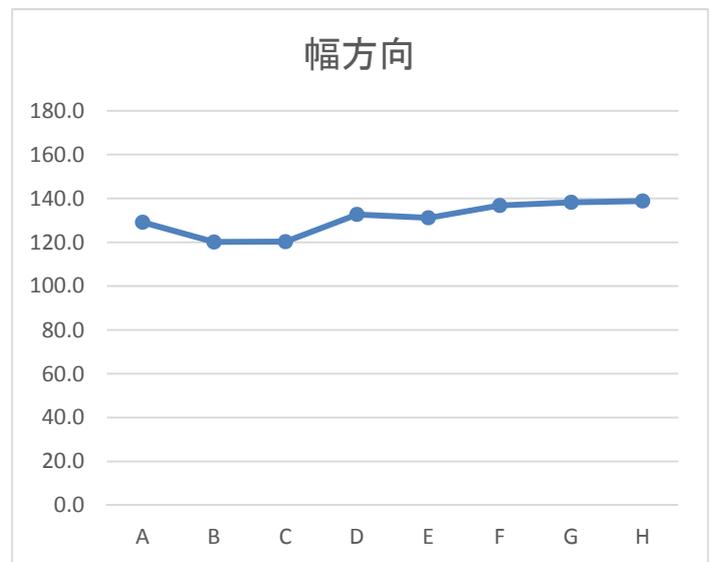
750-1	A	B	C	D	E	F	G	H	AVG	
1	140.8	135.7	144.5	159.9	147.2	162.9	166.3	176.5	154.22	
2	109.8	101.0	96.9	113.5	103.4	101.7	122.4	133.3	110.24	
3	118.3	97.6	105.4	112.7	112.9	114.2	125.1	126.1	114.06	120未満
4	115.3	91.8	102.7	115.0	103.7	111.2	121.7	118.3	109.96	120-130
5	107.8	111.5	104.4	115.0	113.9	120.7	125.8	121.7	115.10	130-140
6	127.5	103.7	117.0	119.5	117.6	117.0	124.4	118.7	118.17	140-150
7	133.3	136.4	113.6	118.0	123.4	119.0	133.0	125.1	125.21	150以上
8	138.7	123.8	126.8	115.7	131.6	120.0	135.3	152.3	130.55	
9	122.4	115.9	121.0	132.2	122.4	120.7	133.0	148.9	127.08	
10	123.4	112.2	139.8	131.5	120.7	133.3	136.7	139.4	129.62	
11	128.9	135.3	125.8	142.7	127.5	128.2	127.2	133.0	131.06	
12	120.4	119.0	127.5	160.6	115.9	131.9	140.4	128.2	130.50	
13	152.3	121.0	128.2	152.4	145.9	136.7	150.3	146.6	141.68	
14	154.0	134.0	147.6	138.9	151.3	154.7	168.7	146.9	149.51	
15	144.5	122.7	136.7	129.2	156.1	150.3	156.4	146.2	142.77	
16	127.2	118.3	123.8	136.7	143.2	144.5	148.3	141.1	135.37	
17	126.8	117.3	120.4	157.6	133.3	137.0	135.3	152.0	134.98	
18	119.3	119.3	121.7	131.5	125.5	137.0	154.0	139.4	130.98	
19	120.7	116.3	105.1	135.2	125.5	140.4	133.3	136.0	126.56	
20	136.4	115.6	116.3	129.2	135.3	143.2	141.8	128.5	130.78	
21	138.4	119.7	117.0	137.4	141.1	147.9	136.0	141.5	134.87	
22	123.8	123.1	115.3	130.7	127.5	143.5	144.9	152.0	132.59	
23	135.7	131.3	130.6	137.4	142.8	156.4	144.9	166.3	143.16	
24	131.6	131.6	121.0	133.0	132.6	148.9	130.2	128.2	132.14	
25	126.1	130.6	122.7	141.2	137.7	154.0	129.2	125.8	133.43	
26	139.1	128.5	131.9	147.9	148.9	157.4	144.5	138.4	142.09	
27	133.3	132.3	128.2	155.4	147.2	148.6	144.9	149.6	142.43	
28	146.6	122.1	127.2	137.4	137.4	149.3	147.6	137.0	138.06	
29	135.3	135.3	110.2	131.5	138.4	152.3	139.1	140.1	135.27	
30	109.1	107.1	105.4	112.7	130.6	128.2	127.5	124.4	118.14	
31	116.3	113.2	93.5	100.8	124.4	128.2	116.3	140.4	116.64	

表 3.4.1-9 No.750-1 薬剤注入量 (単位 kg/m³)

	長さ方向		幅方向
1	154.2	A	129.1
2	110.2	B	120.1
3	114.1	C	120.3
4	110.0	D	132.7
5	115.1	E	131.1
6	118.2	F	136.8
7	125.2	G	138.2
8	130.5	H	138.8
9	127.1		
10	129.6		
11	131.1		
12	130.5		
13	141.7		
14	149.5		
15	142.8		
16	135.4		
17	135.0		
18	131.0		
19	126.6		
20	130.8		
21	134.9		
22	132.6		
23	143.2		
24	132.1		
25	133.4		
26	142.1		
27	142.4		
28	138.1		
29	135.3		
30	118.1		
31	116.6		



グラフ 3.4.1-1 No.750-1 長さ方向平均値



グラフ 3.4.1-2 No.750-1 幅方向平均値

表 3.4.1-10 平均値 (単位 kg/m³)

3. 4. 2 厚み方向のバラツキ

薬剤注入に関しては、一般的に木口面より繊維に沿って薬剤が入っていくと考えられている。積層面を見せる単板積層材に対して、今回の木目面を見せる一般的な単板積層材は、難燃薬剤の内部への注入量が少ないのではないかという疑問があった。今回、厚み方向についてのバラツキについて検証を行った。

3. 4. 2. 1 試験体作成

3.3.1.4 工程 4 回目(2016.10.27 薬剤注入)の試験体を使用し、注入量のバラツキを検証した。厚み 30 mm×幅 750 mm×長さ 3200 mmの単板積層材を、バイオマス科学研究所にて難燃薬剤を規定量注入し、準不燃化した単板積層材を、東亜理科大阪にて 100 mm角にカットしたものを試験体とした。

試験体のカット場所は、図 3.4.2.1-1 に示すように、幅方向に 8 水準(A~H)、長さ方向に 31 水準(1~31)カットし、その中のコーナー部より 4 点(A1,A2,B1,B2)、長さ方向中央部より 4 点(A16,B16,E16,F16)採取した。その際、幅方向も考慮し、単板積層材のほぼ中央部も採取した。

	99×99	99×99	99×99	45×99	99×99	99×99	99×99	99×99
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A1	B1						
2	A2	B2						
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16	A16	B16			E16	F16		
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								

図 3.4.2.1-1 カットサンプル

この試験体を、広島県林業技術センターにて、厚み方向に 5 分割にカットして頂いた(写真 3.4.2.1-1)。カットは、表層約 1 mmと 2 層目・(1)、3 層目と 4 層目・(2)、5~7 層目・(3)、8 層目と 9 層目・(4)、10 層目と約 1 mm・(5)とした。



写真 3.4.2.1-1 5 分割カット

3. 4. 2. 2 注入後密度測定

まずは、裁断した試験体の体積(T)を測定した。その後、それぞれの重量を測定した。次に、試験体を絶乾状態にするため、110℃の熱風乾燥機中に2時間放置し、その後、取り出し放冷し、重量(W1)を測定した。それらから難燃薬剤注入後の密度を式(1)にて求めた。

$$\text{注入後密度(g/cm}^3\text{)} = \text{重量(W1)/体積(T)} \cdots (1)$$

3. 4. 2. 3 初期密度測定

次に、注入前の試験体初期密度を推測するために、すでに注入してある試験体から、難燃薬剤を抽出する作業を行った。

容器に試験体を入れ、50～60℃のお湯に漬けた。この状態のまま減圧用デシケータ中で15～20分間真空に引き、その後、常圧に戻した。このような作業を行うことにより、より試験体内部に水分が入り、より早く抽出が完了すると思った。このまま3～72時間放置し、一度お湯を廃棄した。その後、再度50～60℃のお湯を入れ放置した。お湯の入れ替えの作業を5～6回繰り返した。試験体を取り出し、50℃の熱風乾燥機にて乾燥後、110℃で2時間乾燥した。放冷後、重量(W2)を測定した。

初期密度を式(2)にて求めた。

$$\text{初期密度(g/cm}^3\text{)} = \text{重量(W2)/体積(T)} \cdots (2)$$

3. 4. 2. 4 薬剤注入量推測

薬剤注入量は、注入後密度から初期密度を差し引くことにより推測した。薬剤注入量の推測値は、式(3)により求めた。

$$\text{薬剤注入量(kg/m}^3\text{)} = (\text{注入後密度} - \text{初期密度}) \times 1000 \cdots (3)$$

3. 4. 2. 5 測定結果

測定結果を表3.4.2.5-1に示す。この結果より、表裏1層目の薬剤注入量が多く、内部に行くほど、薬剤注入量は減っていく傾向にあると言える。ただし、注入量が著しく少ないという状況ではない。

特に、この試験体において、一番不利だと考えられる単板積層材の中央部分であるE16、F16においても同様に内部に行くほど薬剤注入量は少なくなる。しかし、中心部分であるから入りづらいということではないと考える。また、どの試験体も層間にはバラツキがあるものの平均すると概ね目的とする固形量最小値の120kg/m³以上は薬剤注入出来ていた。

No.	注入後密度	初期密度	薬剤注入量	No.	注入後密度	初期密度	薬剤注入量
	g/cm ³	g/cm ³	kg/m ³		g/cm ³	g/cm ³	kg/m ³
A11	0.521	0.375	146.41	A161	0.575	0.403	171.89
A12	0.517	0.367	150.13	A162	0.445	0.320	124.85
A13	0.555	0.421	134.33	A163	0.625	0.477	147.56
A14	0.556	0.424	131.75	A164	0.496	0.380	115.99
A15	0.589	0.400	188.47	A165	0.590	0.421	168.60
平均値	0.548	0.397	150.22	平均値	0.546	0.400	145.78
A21	0.506	0.362	143.27	B161	0.548	0.412	135.24
A22	0.495	0.356	139.16	B162	0.495	0.359	135.92
A23	0.584	0.472	112.13	B163	0.532	0.410	122.11
A24	0.540	0.433	106.18	B164	0.522	0.398	123.65
A25	0.550	0.391	158.52	B165	0.668	0.513	154.16
平均値	0.535	0.403	131.85	平均値	0.553	0.419	134.22
B11	0.533	0.398	135.00	E161	0.645	0.404	241.16
B12	0.532	0.386	146.12	E162	0.441	0.369	72.75
B13	0.550	0.419	130.37	E163	0.528	0.396	131.81
B14	0.557	0.430	126.70	E164	0.563	0.394	169.05
B15	0.616	0.414	202.49	E165	0.563	0.433	130.59
平均値	0.558	0.410	148.14	平均値	0.548	0.399	149.07
B21	0.464	0.350	114.57	F161	0.630	0.430	200.30
B22	0.475	0.339	136.04	F162	0.586	0.378	208.42
B23	0.509	0.409	99.64	F163	0.506	0.405	100.98
B24	0.515	0.405	110.72	F164	0.490	0.423	67.67
B25	0.605	0.441	163.73	F165	0.604	0.419	184.69
平均値	0.514	0.389	124.94	平均値	0.563	0.411	152.41

表 3.4.2.5-1 薬剤注入量

表 3.4.2.5-2 に厚み方向の薬剤注入量の平均値を示した。板全体を検証したわけではないが、この結果からも表層よりも内部での難燃薬剤量が少なくなっている事がよく解る。しかし、それぞれの層を重ね、積層板として見た場合、燃焼時に大きな不利を受けるほどの薬剤量不足は見られないと考える。

厚み方向平均値 kg/m ³	
1の平均	160.98
2の平均	139.17
3の平均	122.37
4の平均	118.96
5の平均	168.91
平均値	142.08

表 3.4.2.5-2 厚み方向平均値

3. 4. 3 考察

今回の検証を終えて、小さなスケールで薬剤注入量を見てみると、どうしてもバラツキが見られる事が解った。また、表面に比べ内部に行くほど難燃薬剤注入量が少ないという結果にもなった。ただ、これは、層間で薬剤注入量に大差がない場合も見られることから、単に物理的に入りづらいと言う事だけではなく、単板積層材の構成上の影響も考えられる。ただし、製造工程説明図に則って製造した薬剤注入単板積層材は、結果的には、模型箱試験や耐火試験に合格している事より、製造工程に則って製造すれば、多少の薬剤注入量のバラツキが見られたとしても、準不燃性能は担保出来ていると考えられる。

4. 耐火柱の開発

4. 1 仕様を決めるための短柱・無載荷予備試験

4. 1. 1 短柱の耐火予備試験(12仕様)@建築研究所

昨年度の試験(難燃処理単板積層材 25 mm+難燃処理単板積層材 25 mm+化粧材スギ板 15 mm)と過去に建築研究所と建材試験センターにて行った予備試験等を踏まえて、試験体仕様を設定することにした。主に、燃え代層として無処理単板積層材 30 mmと内装用難燃処理単板積層材の積極的な利用と胴縁の仕様を難燃処理単板積層材から硬質木片セメント板の利用などが主な変更内容である。また、鉄骨柱に関しては、H 鋼から角型鋼に形状を変えて試験を行うことを目的にした。

4. 1. 1. 1 実験概要

■ 試験の日程

- ・ 7月30日(土)：埼玉の東亜理工工場で試験体製作開始。No.1～No.4 製作
- ・ 8月1日(月)：No.5～No.10 製作
- ・ 8月2日(火)：No.11、No.12 製作
- ・ 8月5日(金)：つくば建築研究所に試験体設置
- ・ 8月8日(月)：つくば建築研究所で耐火試験
 - 09：50 炉加熱開始
 - 10：50 炉加熱終了(4時間炉内に放置)
 - 14：50 試験体取り出し

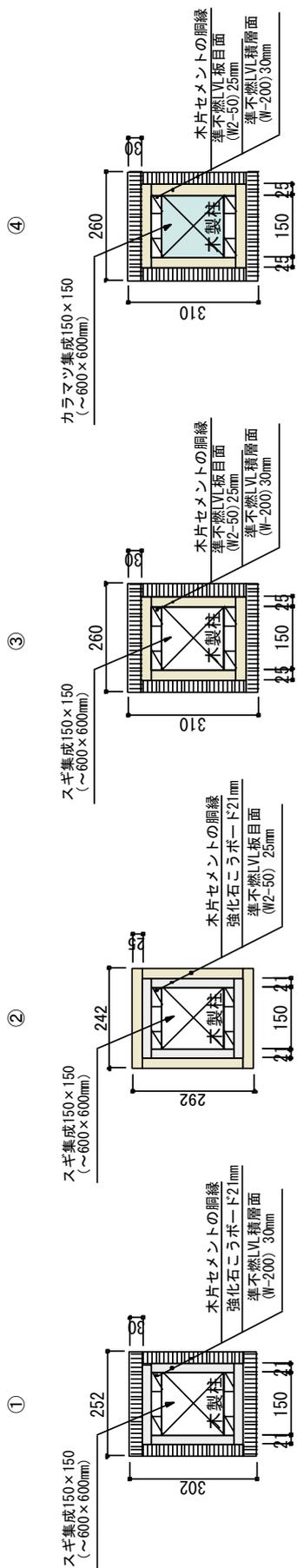


写真 4.1.1.1-1 炉内試験体設置の様子



写真 4.1.1.1-2 試験体加熱時の様子

試験体の概要と試験体設置状況と試験の様子は、図 4.1.1.1-1～14 と写真 4.1.1.1-1～2 を参照していただきたい。

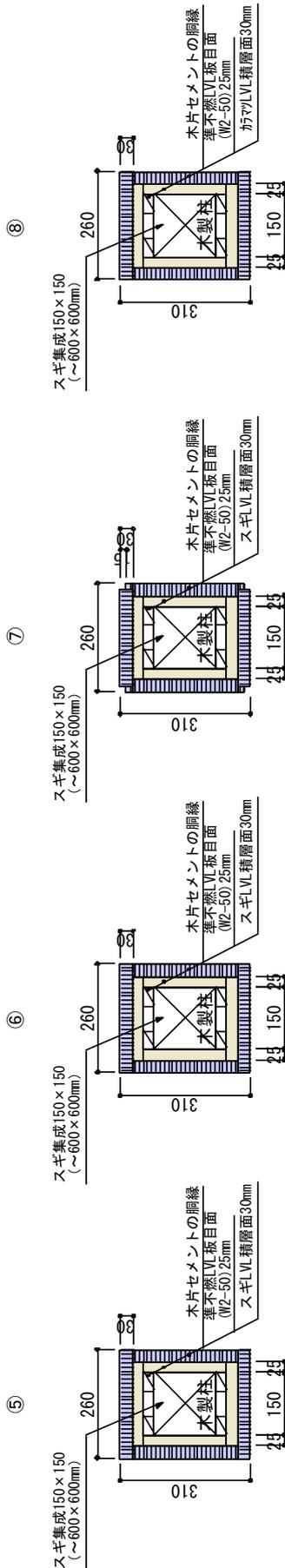


石こうボード燃え止まり
+ 準不燃積層面
(意匠考慮)

石こうボード燃え止まり
+ 準不燃積層面

構造柱の樹種違い (スズ)
被覆材は確実に性能を発揮する

構造柱の樹種違い (カラマツ)
被覆材は確実に性能を発揮する



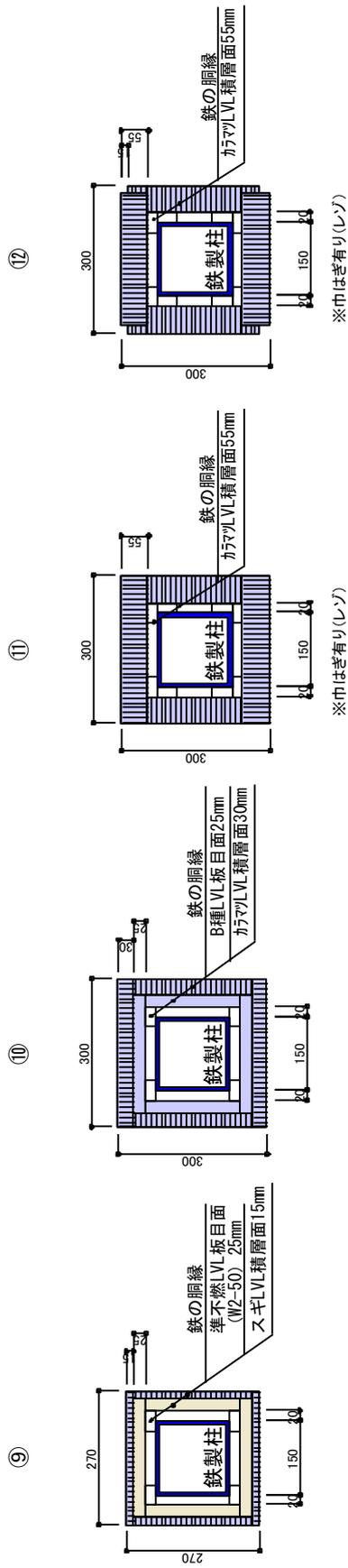
2層目は無処理にしても
燃え止まることを期待

※巾はざ有り(レンゾ)

⑤の四隅の意匠性考慮

⑤の2層目を比重の高い
カラマツにして、燃え止まりを期待

図 4.1.1.1-1 木製柱試験体の構造及び寸法



準不燃板目と無処理LVLで
燃え止まることを期待

無処理LVL2層で
燃え止まることを期待

スギより比重の高いカラマツLVLのみで
燃え止まることを期待

⑩と同じ、四隅の意匠性を考慮

図 4.1.1.1-2 鉄製柱試験体の構造及び寸法

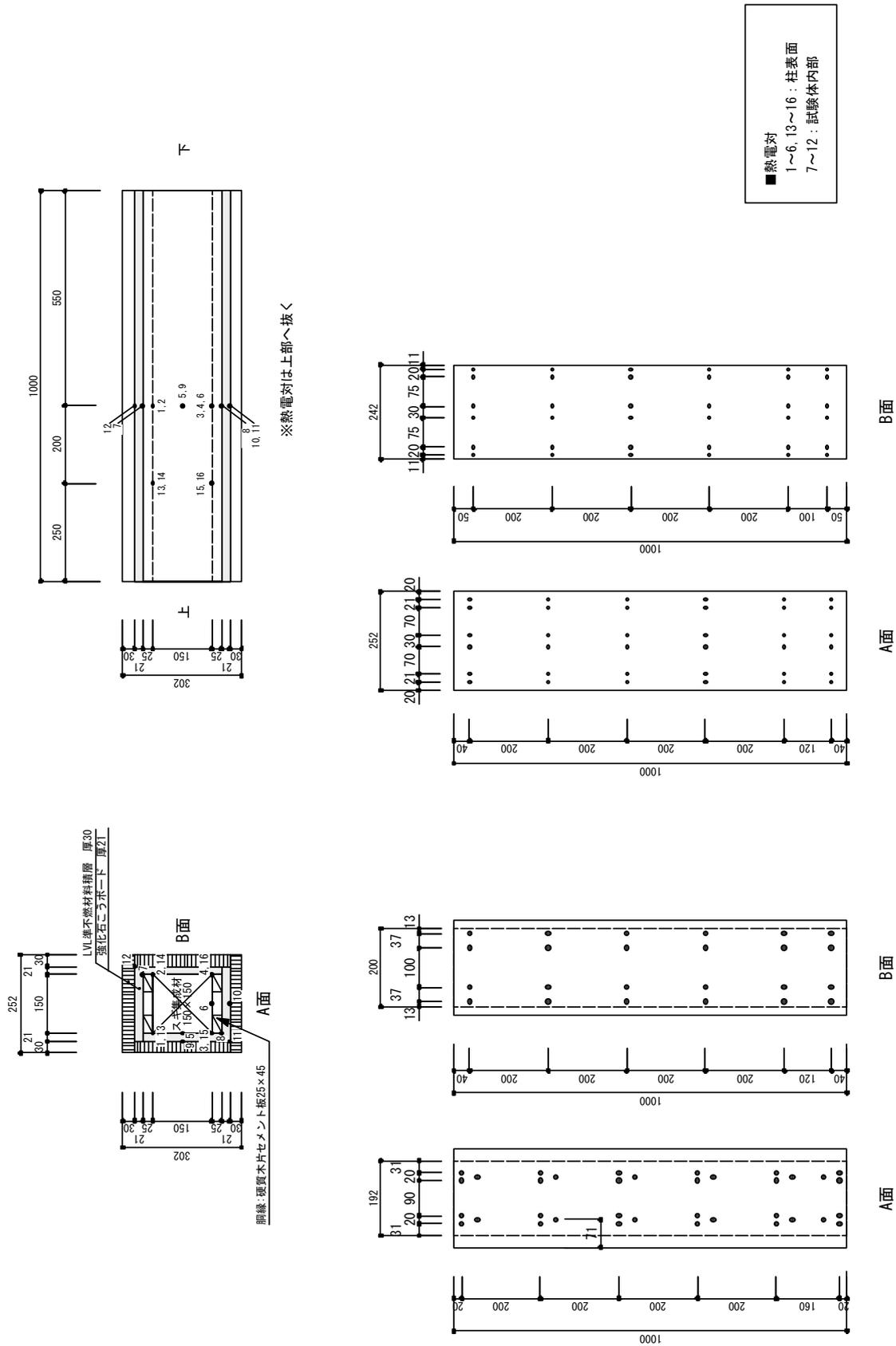


図 4.1.1.1-3 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 1

LVL被覆による耐火構造の開発
[試験体1]

上張り:LVL準不燃材料積層 厚30

全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
 セレクテイルUR-20(オーシカ)
 スーパーフィニッシュャーφ1.05×50@200mm

下張り:強化石膏ボード 厚21

全面: 炭酸カルシウム系接着剤(トラボンド等: 300g/m²)の上、
 コーラスレッドビスφ3.8×4@200mm
 胴縁: 端から60mm離してφ3.8×4@200mm

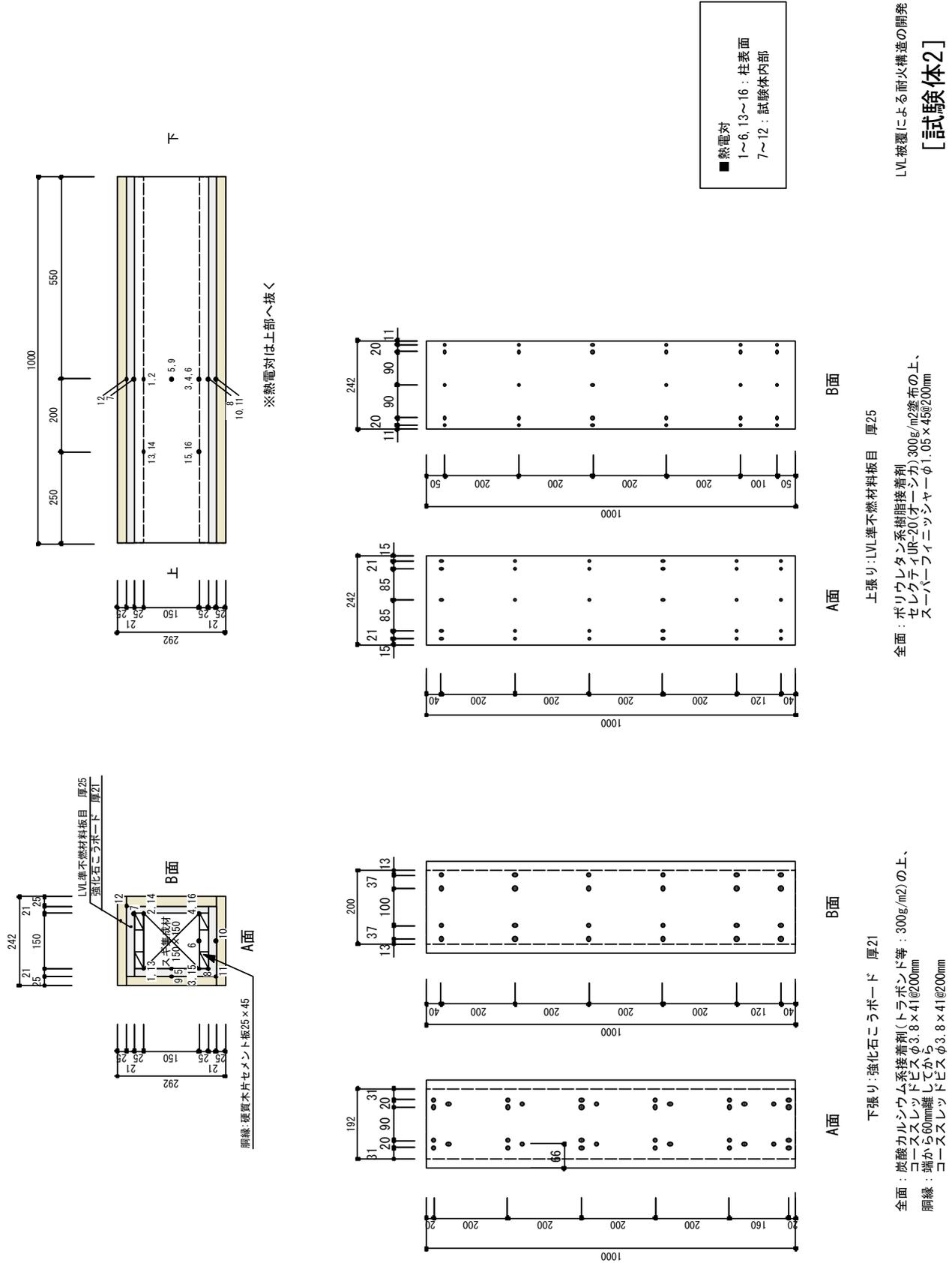
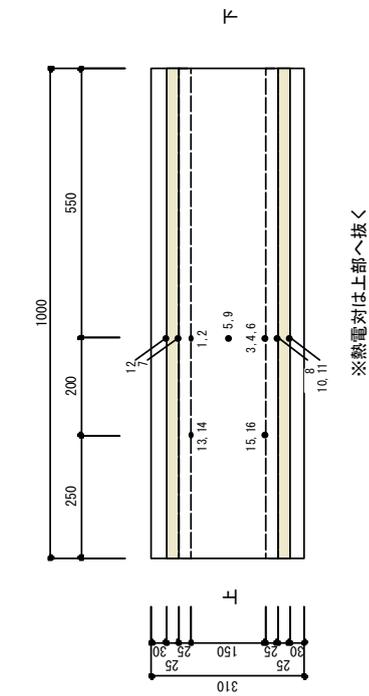
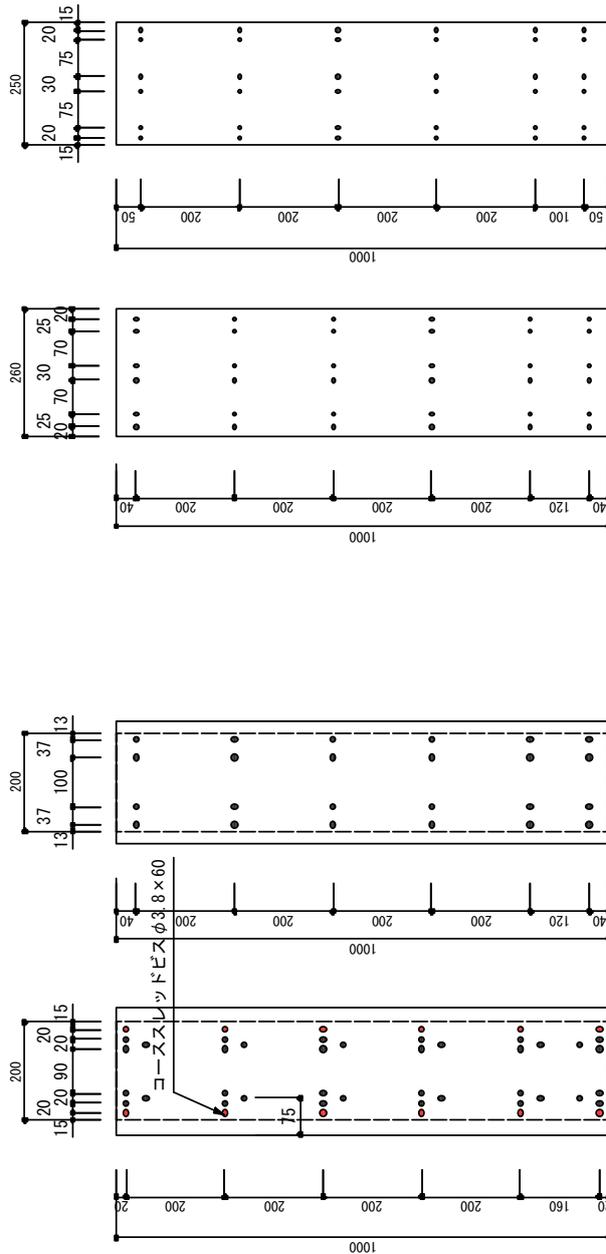
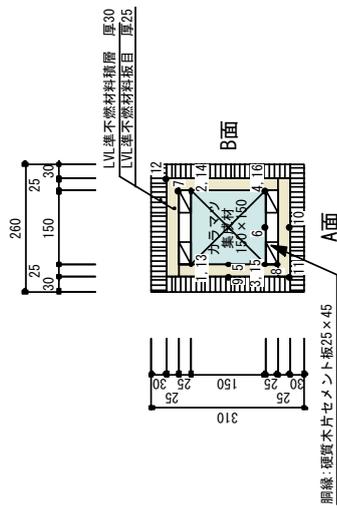


図 4.1.1.1-4 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 2



■熱電対
1~6, 13~16: 柱表面
7~12: 試験体内部



上張り:LVL準不燃材料積層 厚30

全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
セレクトアイUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
スーパーファイニッシュャーφ1.05×50@200mm

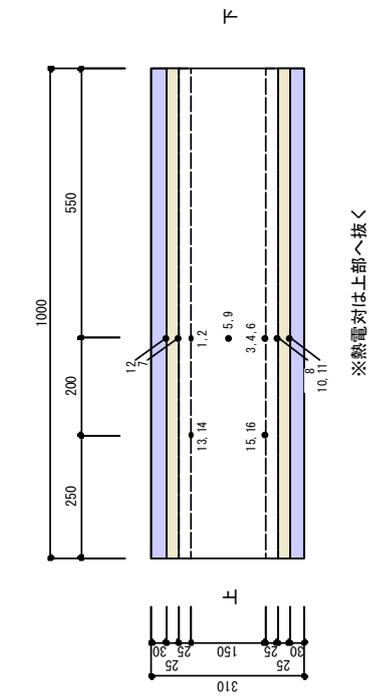
下張り:LVL準不燃材料板目 厚25

全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
セレクトアイUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
コーラスレットビスφ3.8×41@200mm
コーラスレットビスφ3.8×60@200mm
脚線: 端から60mm離してφ3.8×41@200mm

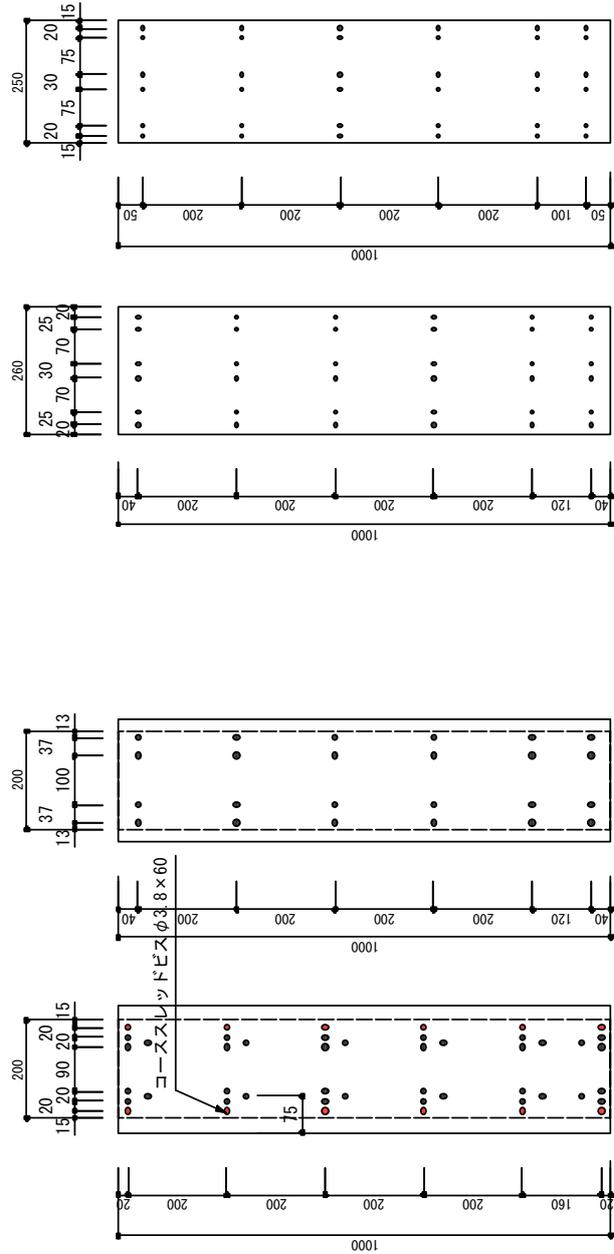
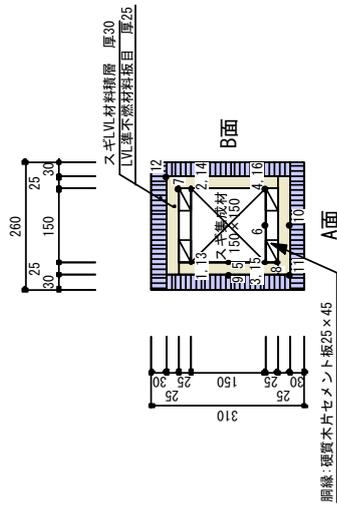
LVL被覆による耐火構造の開発

[試験体4]

図 4.1.1.1-6 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 4



■熱電対
 1~6, 13~16 : 柱表面
 7~12 : 試験体内部



A面 B面

A面 B面

上張り: スギLVL材料積層 厚30

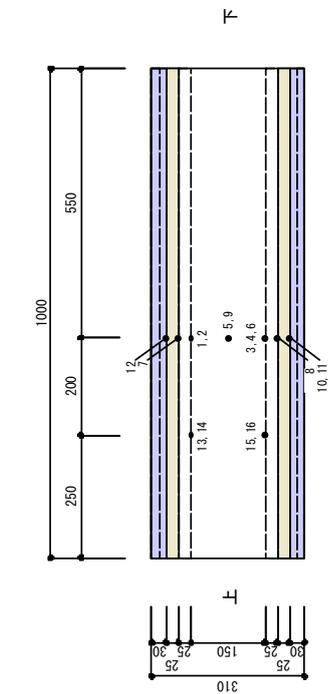
全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
 セレクティUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
 スーパーファイニッシュャーφ1.05×50@200mm

下張り: LVL準不燃材料板目 厚25

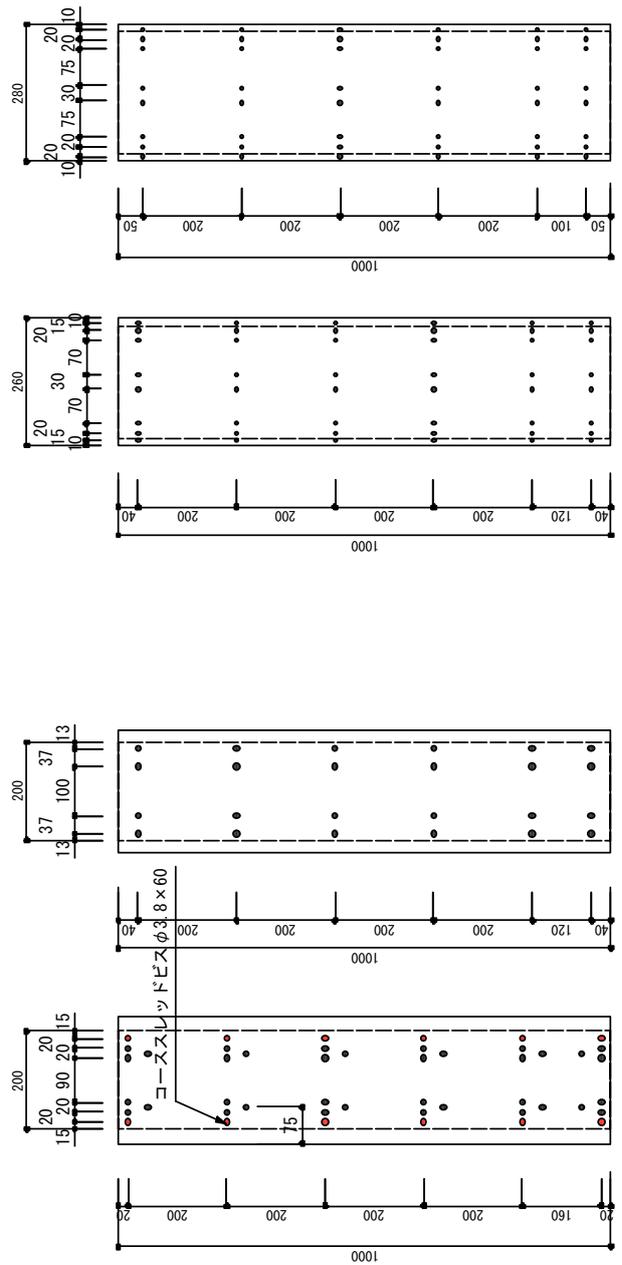
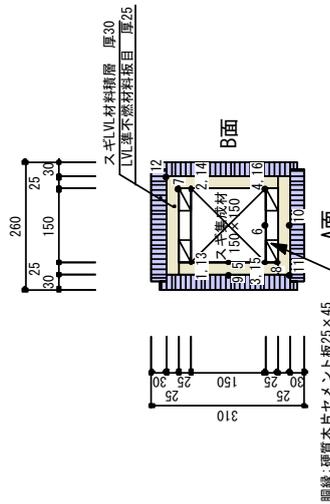
全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
 セレクティUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
 コーススレッドビスφ3.8×41@200mm
 コーススレッドビスφ3.8×60@200mm
 脚縁: 端から60mm離してφ3.8×41@200mm

LVL被覆による耐火構造の開発
 [試験体5]

図 4.1.1.1-7 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 5



■熱電対
 1~6, 13~16: 柱表面
 7~12: 試験体内部



上張り: スギLVL材料積層 厚30

全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
 セレクティUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
 スーパーファイニッシュャーφ1.05×50@200mm

下張り: LVL準不燃材料板目 厚25

全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
 セレクティUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
 コーススレッドビスφ3.8×41@200mm
 コーススレッドビスφ3.8×60@200mm
 銅線: 端から60mm離してφ3.8×41@200mm

LVL被覆による耐火構造の開発
[試験体7]

図 4.1.1.1-9 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 7

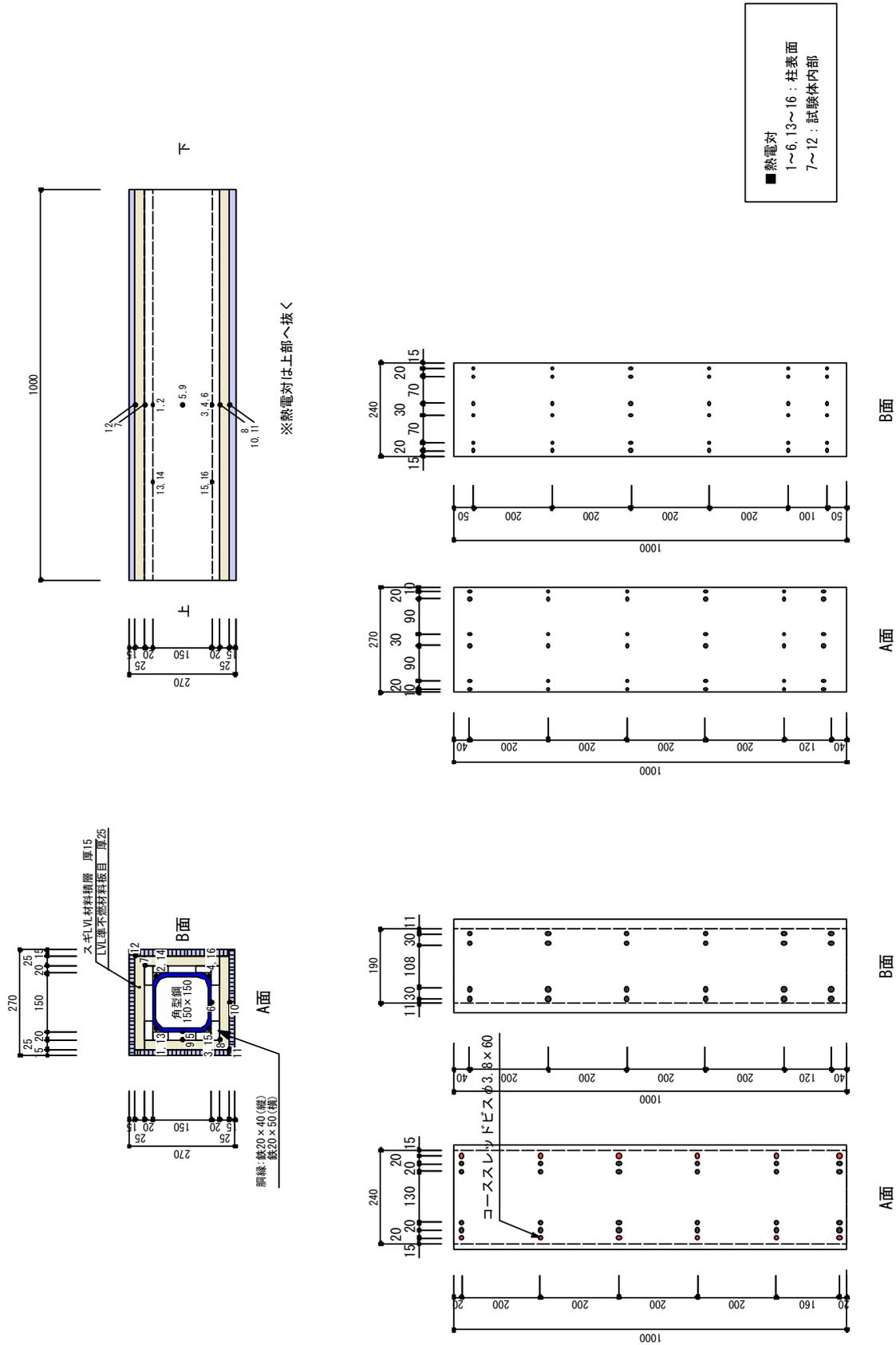


図 4.1.1.1-11 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 9

LVL被覆による耐火構造の開発
[試験体9]

全面 : ポリウレタン系樹脂接着剤
セラクティUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
スーパーフィニッシャーφ1.05×40@200mm

上張り : スギLVL材料積層 厚15

全面 : ポリウレタン系樹脂接着剤
セラクティUR-20(オーシカ) 300g/m²塗布の上、
ドリリングタツピンねじφ4×40@200mm
コースレットビスφ3.8×60@200mm

下張り : LVL準不燃材料板目 厚25

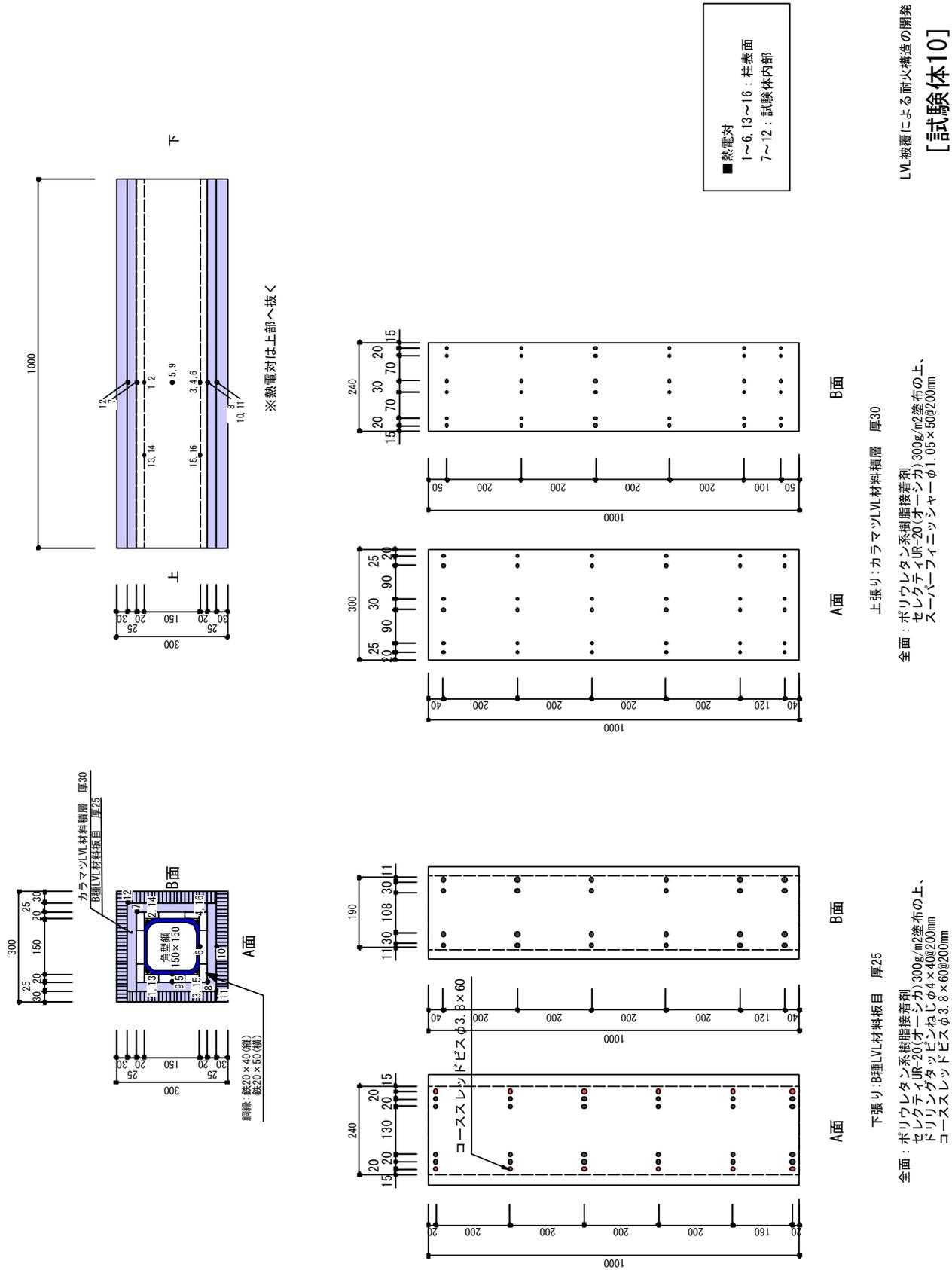
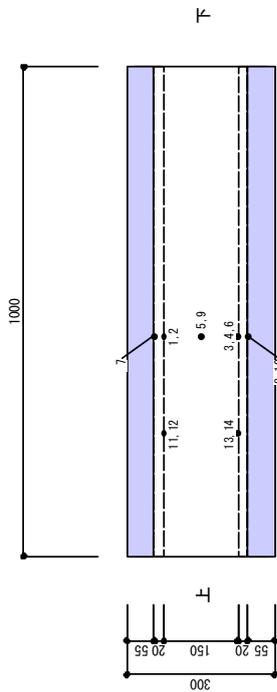
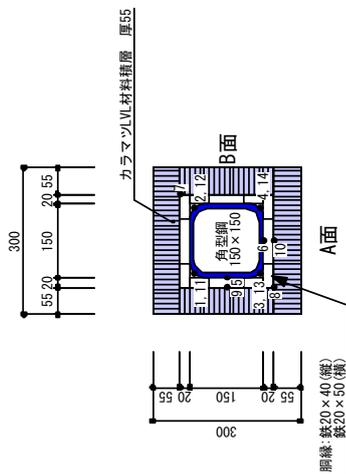
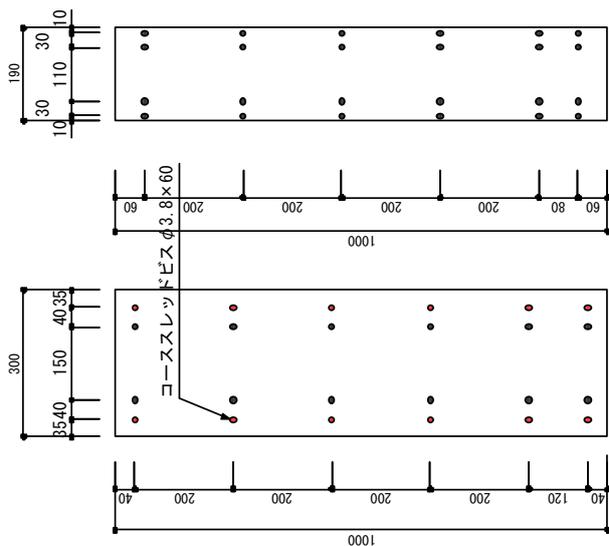


図 4.1.1.1-12 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 10



※熱電対は上部へ抜く



A面 B面

カラマツLVL材料積層 厚55
(巾は加工有り)

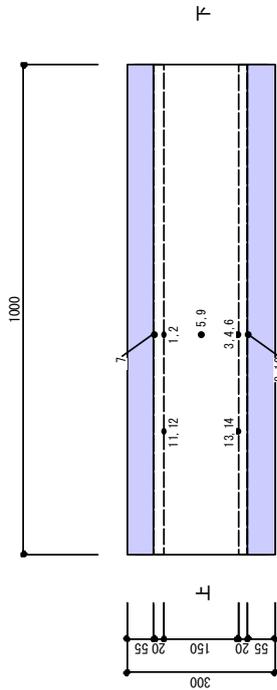
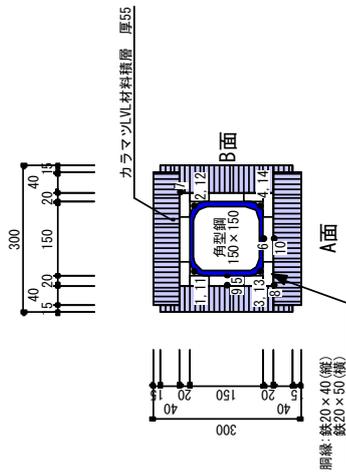
全面：ポリウレタン系樹脂接着剤
セレクトライUR-20(オニシカ) 300g/m² 塗布の上、
ドリリングタツピンねじφ4×40@200mm
(耐火被覆材のピストはLVL表面から30mm埋め込んで木柱する)
コーススレッドピストφ3.8×60@200mm

■熱電対
1~6, 11~14：柱表面
7~10：試験体内部

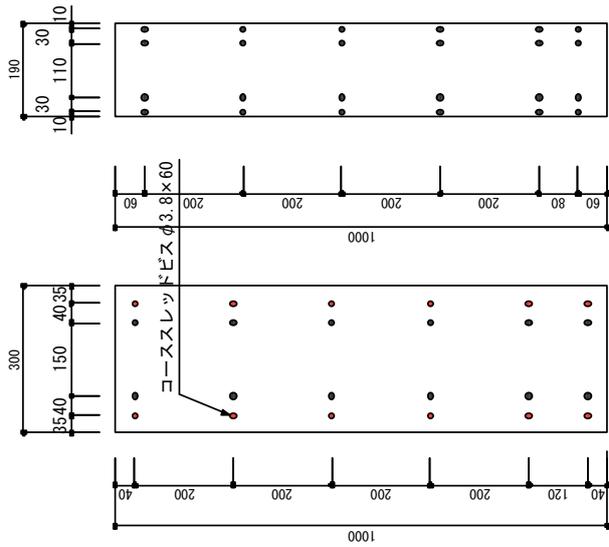
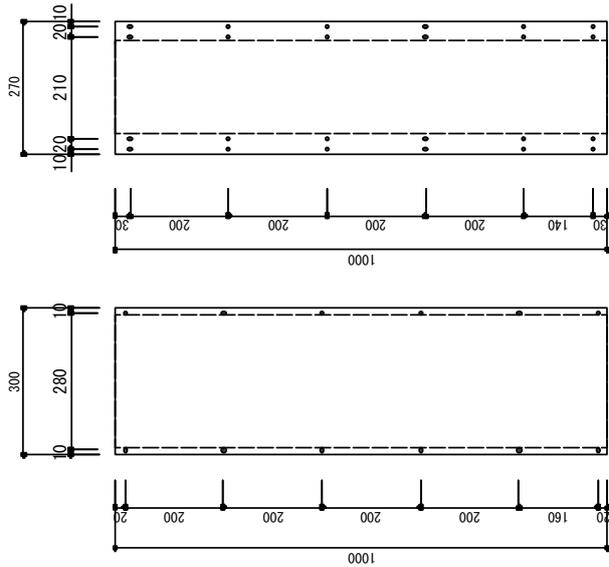
LVL被覆による耐火構造の開発

[試験体11]

図 4.1.1.1-13 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 11



※熱電対は上部へ抜く



■熱電対
1~6, 11~14: 柱表面
7~10: 試験体内部

図 4.1.1.1-14 木製柱試験体の構造及び寸法、試験体 12

カラマツLVL材料積層 厚55
(巾は加工有り)

全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
セレクティUR-20(オニシカ) 300g/m²塗布の上、
スーパーフイニッシュャーφ1.05×50@200mm

カラマツLVL材料積層 厚55
(巾は加工有り)

全面: ポリウレタン系樹脂接着剤
セレクティUR-20(オニシカ) 300g/m²塗布の上、
ドリリングタツピンねじφ4×40@200mm
(耐火被覆材のビスはLVL表面から30mm埋め込んで本柱する)
コアスレッドビスφ3.8×60@200mm

LVL被覆による耐火構造の開発
[試験体12]

4. 1. 1. 2 試験結果

図 4.1.1.2-1 は、予備試験時の炉内温度を表示している。1 時間加熱後の温度低下速度が、試験体が 1 体の場合と比べて遅いことが顕著であった。

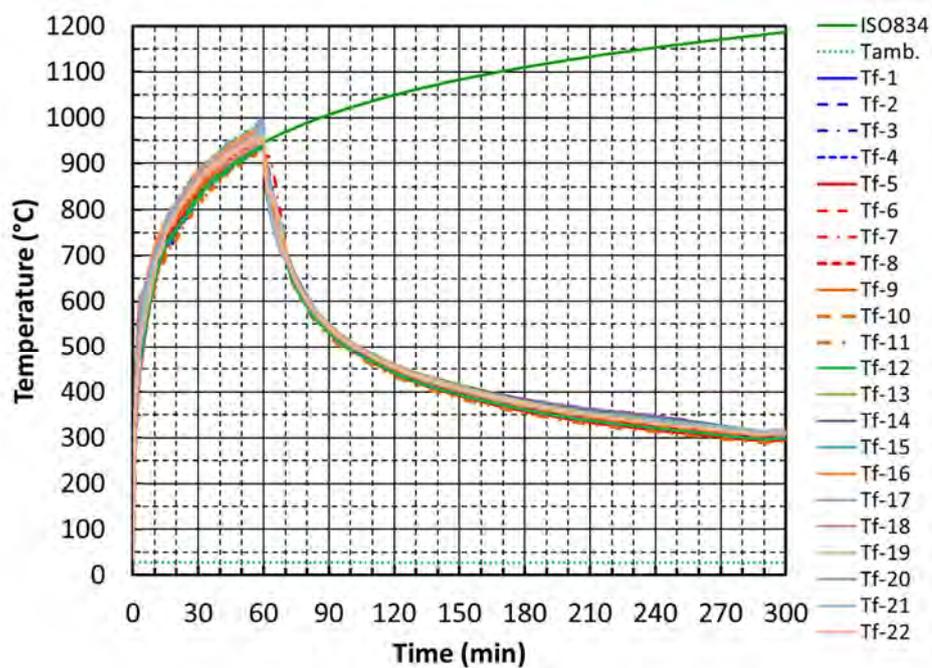


図 4.1.1.2-1 柱 1 時間耐火試験時の炉内温度の変化グラフ

4. 1. 1. 2. 1 試験体①スギ集成材+強化石こうボード 21 mm+難燃処理スギ単板積層材
単板積層材単板積層材積層面 30 mm

写真 4.1.1.2.1-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.1-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.1-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、
図 4.1.1.2.1-1 は熱電対の温度記録である。

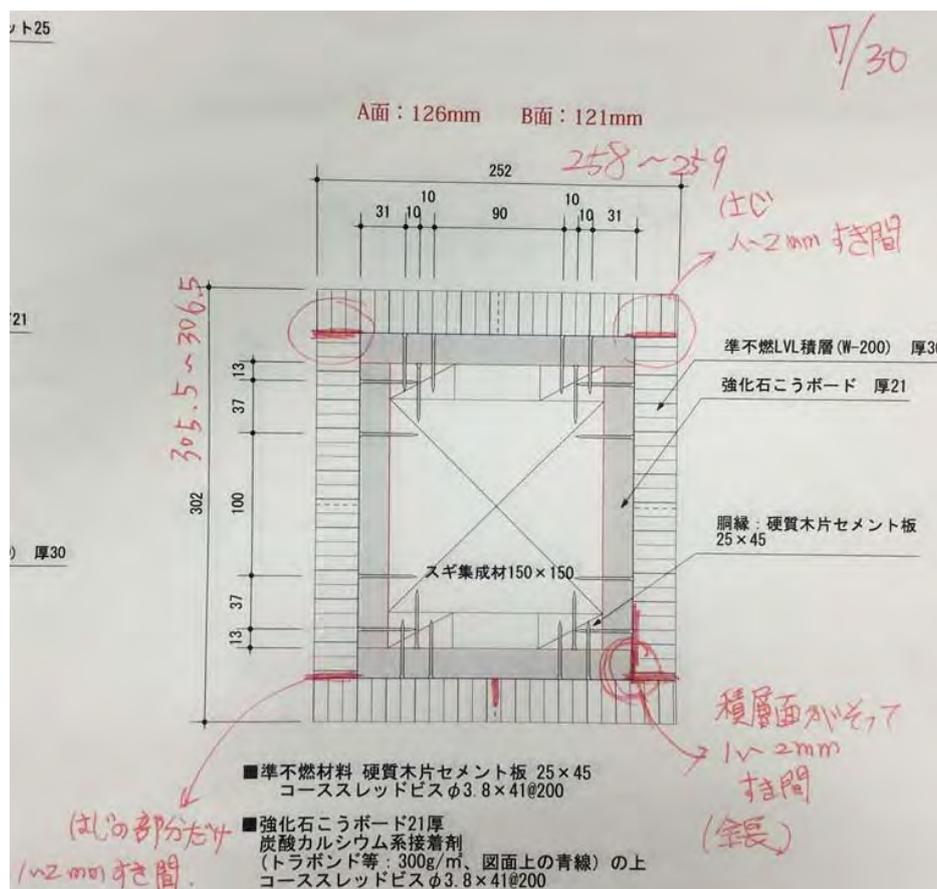


写真 4.1.1.2.1-1 試験体製作時のメモ

被覆材はすべて B 面から作業を行った。しかし、強化石こうボード層の B 面で、割れる恐れがある木片セメント板の木口面に対しては A 面の作業を終えてからビスを打った。積層面を付けるときは、かんなをつかって寸法調整を行った。薬剤処理木材であるため若干反りが発生し、積層面と石こうボード、積層面同士に 1~2 mm 程度の隙間が生じた。

表 4.1.1.2.1-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	30.55~30.83
	幅	252	258~259
B 面	厚み	30	30.55~30.83
	幅	242	245.5~244.5



写真 4.1.1.2.1-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

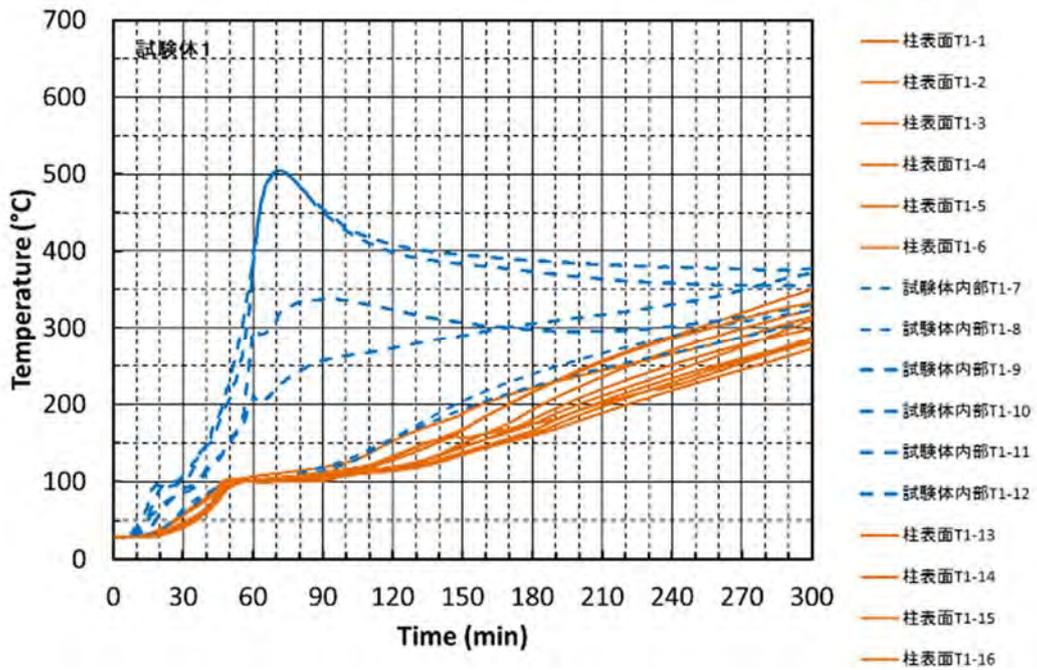


図 4.1.1.2.1-1 試験体①の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 2 試験体②スギ集成材+強化石膏ボード 21 mm+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm

写真 4.1.1.2.2-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.2-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.2-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.2-1 は熱電対の温度記録である。

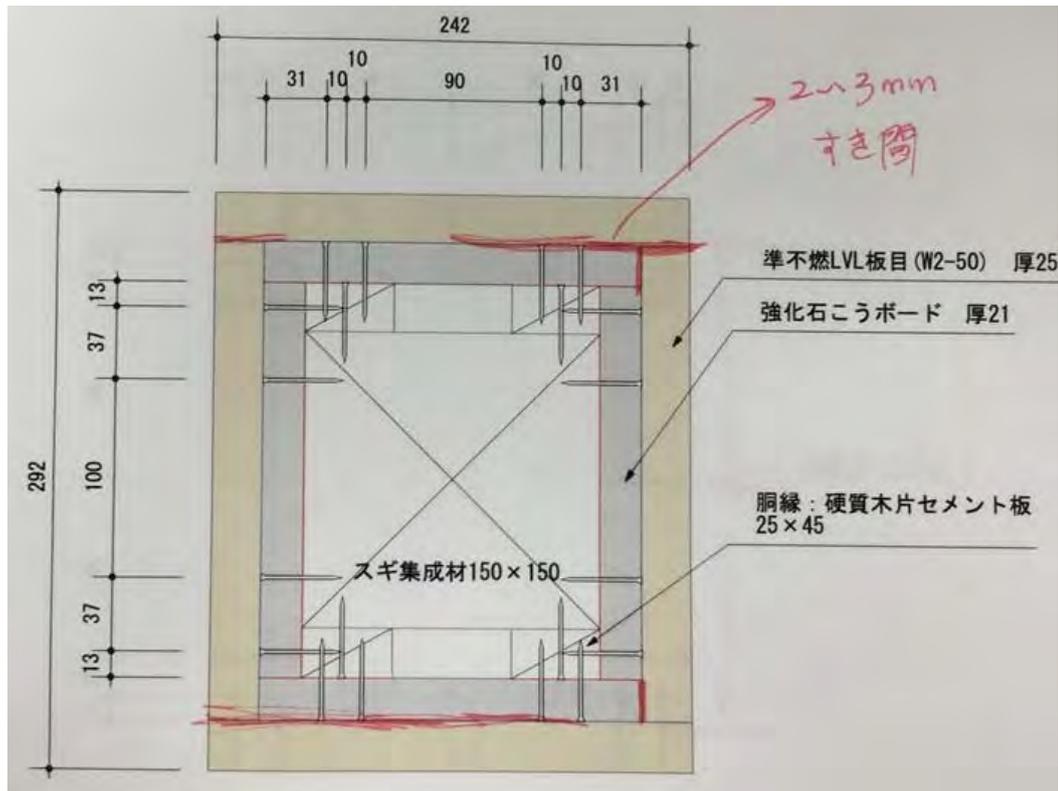


写真 4.1.1.2.2-1 試験体製作時のメモ

強化石膏ボード層までは試験体①と同じ手順で作業を行った。難燃処理単板積層材板目面を強化石膏ボードの上に張ると、正面から右上の部分にヘラを入れてみても入るくらい 2~3 mm程度の隙間が生じた。そして、同じく薬剤処理を行なったものの、積層面よりも激しいふくらみが見えた。

表 4.1.1.2.2-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	25	26.03~26.30
	幅	242	246
B 面	厚み	25	26.03~26.30
	幅	242	245



写真 4.1.1.2.2-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

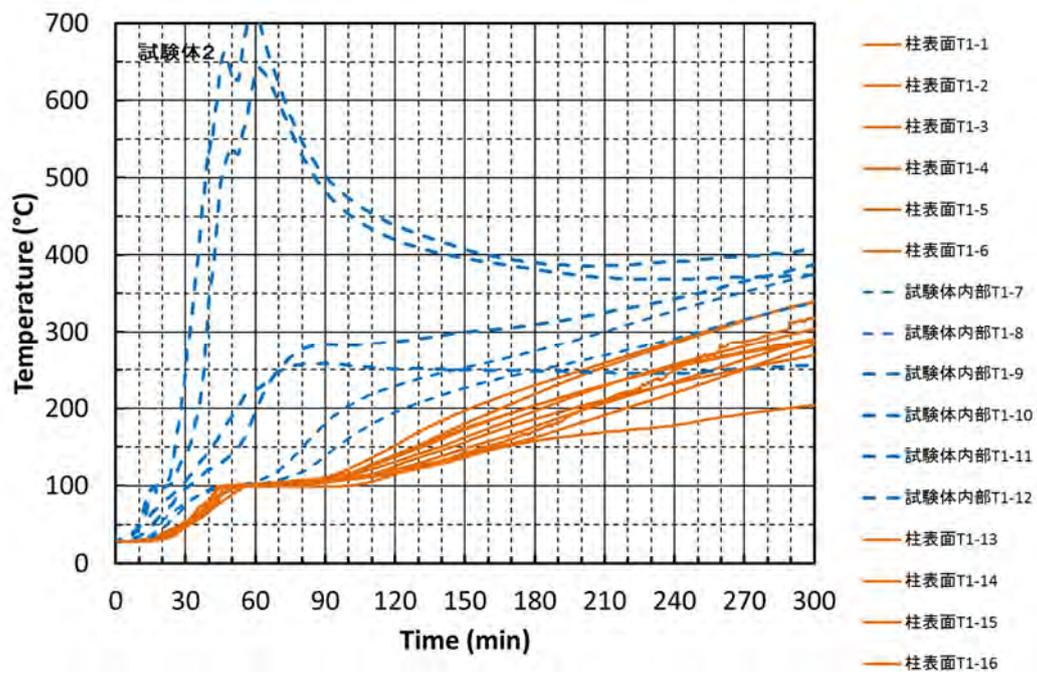


図 4.1.1.2.2-1 試験体②の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 3 試験体③スギ集成材+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm+難燃処理スギ単板積層材積層面 30 mm

写真 4.1.1.2.3-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.3-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.3-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.3-1 は熱電対の温度記録である。

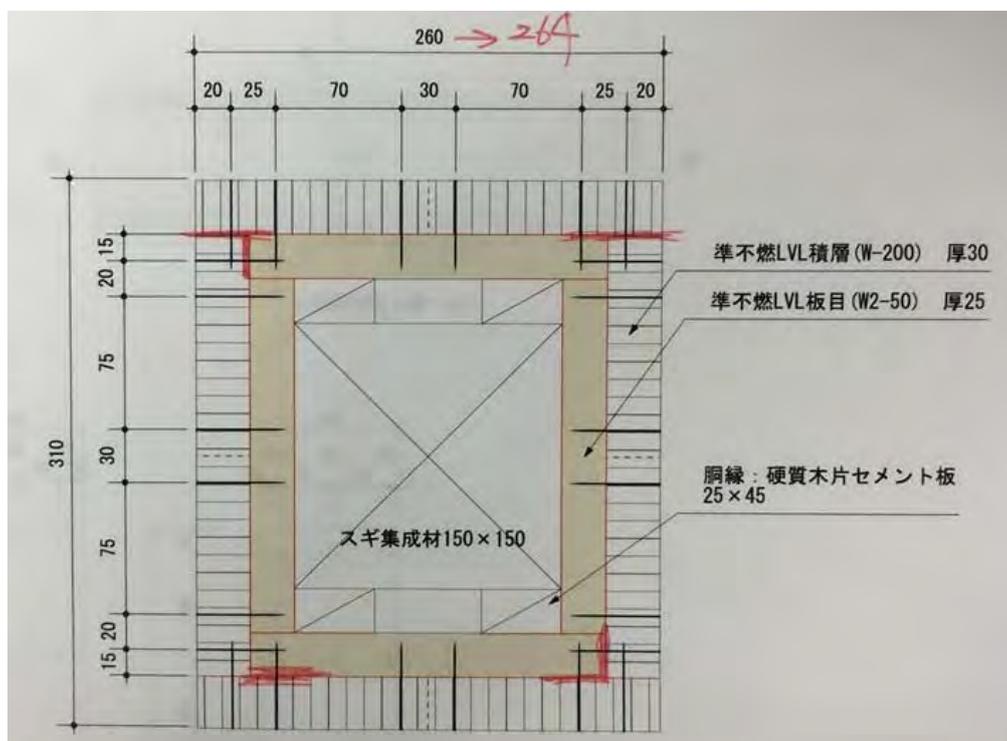


写真 4.1.1.2.3-1 試験体製作時のメモ

難燃処理単板積層材板目面を付ける際に、難燃処理材同士が重なる部分はビスの長さを 41 mmから 60 mmのものに変えて固定する力を高めた。積層面は、二枚の板を貼り合わせる形にして、スーパーフィニッシュネイルで固定した。ビスのような押し付ける力はほとんど期待できないが、見た目があまり目ただなくて、部材を留めつける目的で少し多めに打った。今回も、四隅に 1 mm~2 mm程度の間隙が生じた。

表 4.1.1.2.3-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	30.55~30.83
	幅	260	264
B 面	厚み	30	30.55~30.83
	幅	250	253



写真 4.1.1.2.3-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

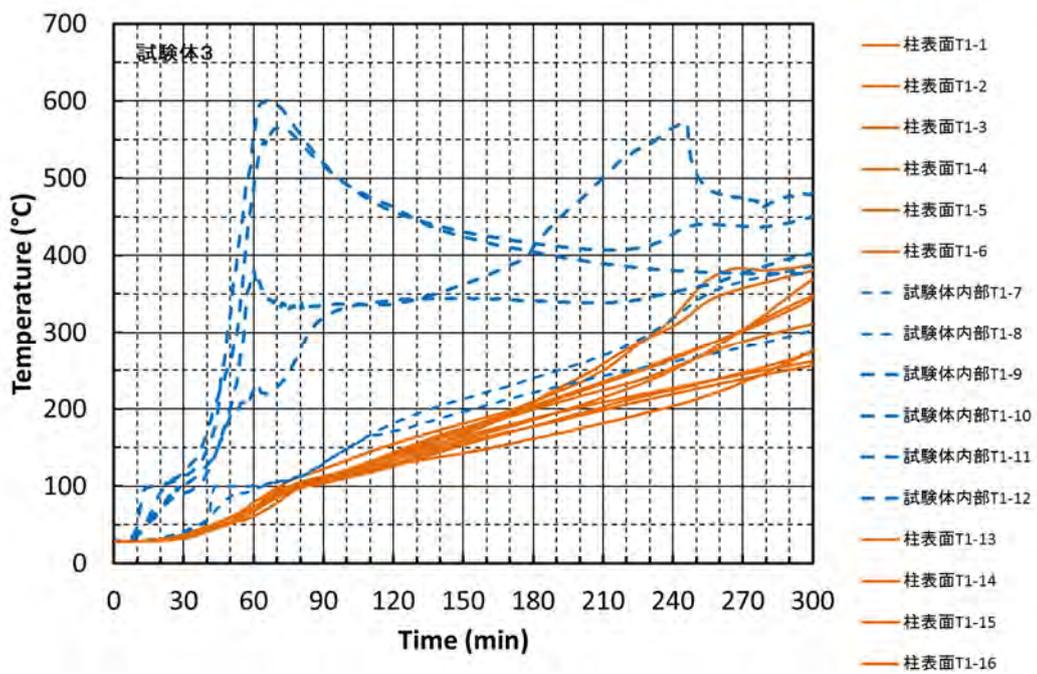


図 4.1.1.2.3-1 試験体③の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 4 試験体④カラマツ集成材+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm+難燃処理スギ単板積層材積層面 30 mm

写真 4.1.1.2.4-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.4-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.4-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.4-1 は熱電対の温度記録である。

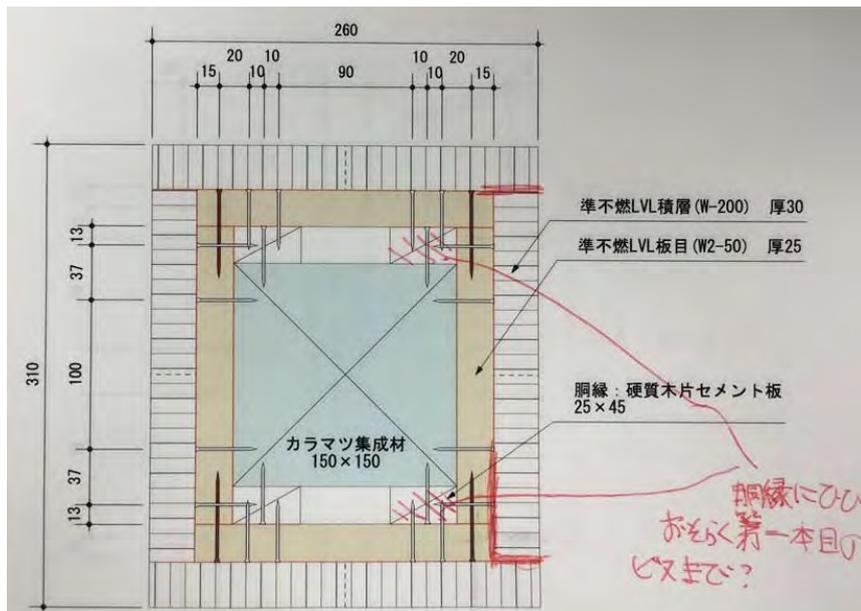


写真 4.1.1.2.4-1 試験体製作時のメモ

右側の木片セメント板が第 1 本目のビスのところまで、ヒビが入ってしまった。薬剤処理木材のため、材料の反りや膨らみによる寸法の変化があった。そして、右側の積層面と板目面の間に 1 mm~2 mm 程度の隙間が生じた。

表 4.1.1.2.4-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	30.55~30.83
	幅	260	266~266.5
B 面	厚み	30	30.55~30.83
	幅	250	253



写真 4.1.1.2.4-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

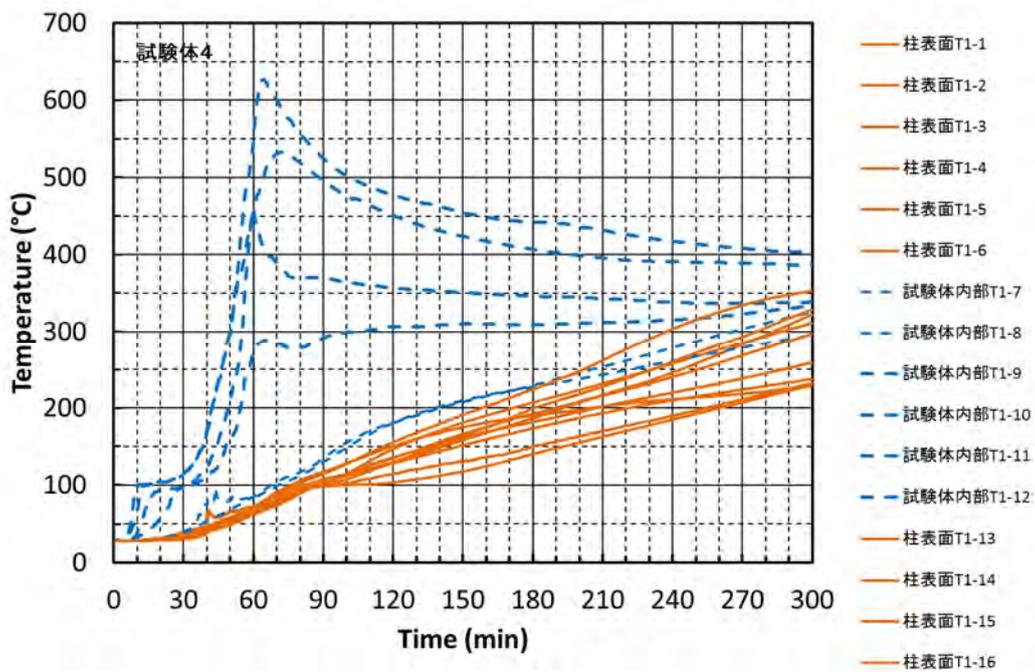


図 4.1.1.2.4-1 試験体④の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 5 試験体⑤スギ集成材+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm+スギ単板積層材積層面 30 mm

写真 4.1.1.2.5-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.5-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.5-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.5-1 は熱電対の温度記録である。

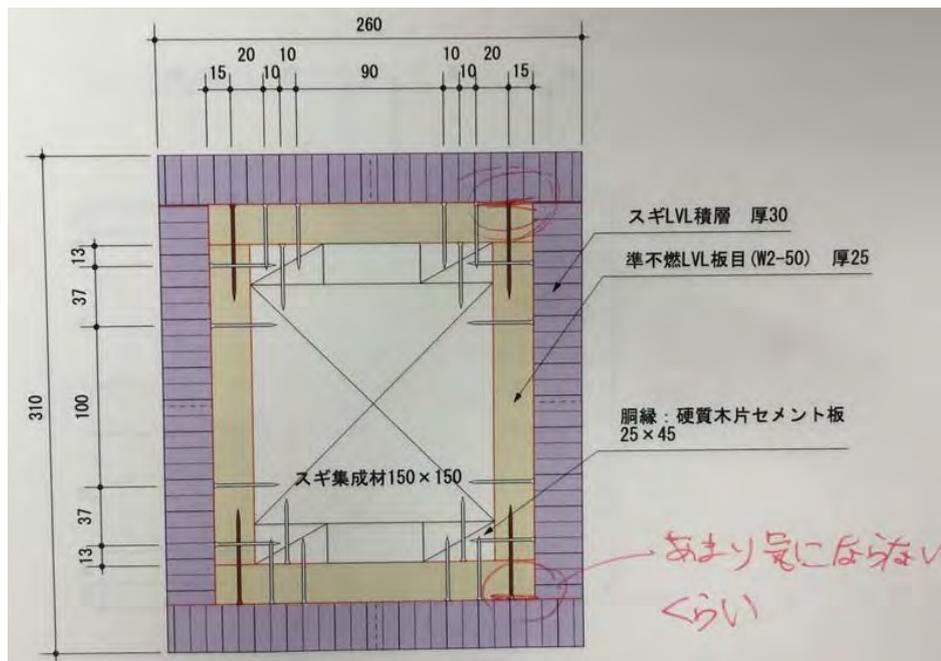


写真 4.1.1.2.5-1 試験体製作時のメモ

積層面が無処理材であるため、試験体①から試験体④までの試験体よりは寸法変化が少なくなった。隅の部分に少し隙間で生じたが、あまり気にならない程度であった。

表 4.1.1.2.5-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	
		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	30
	幅	260	261.5~262
B 面	厚み	30	30
	幅	250	252~253.5



写真 4.1.1.2.5-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

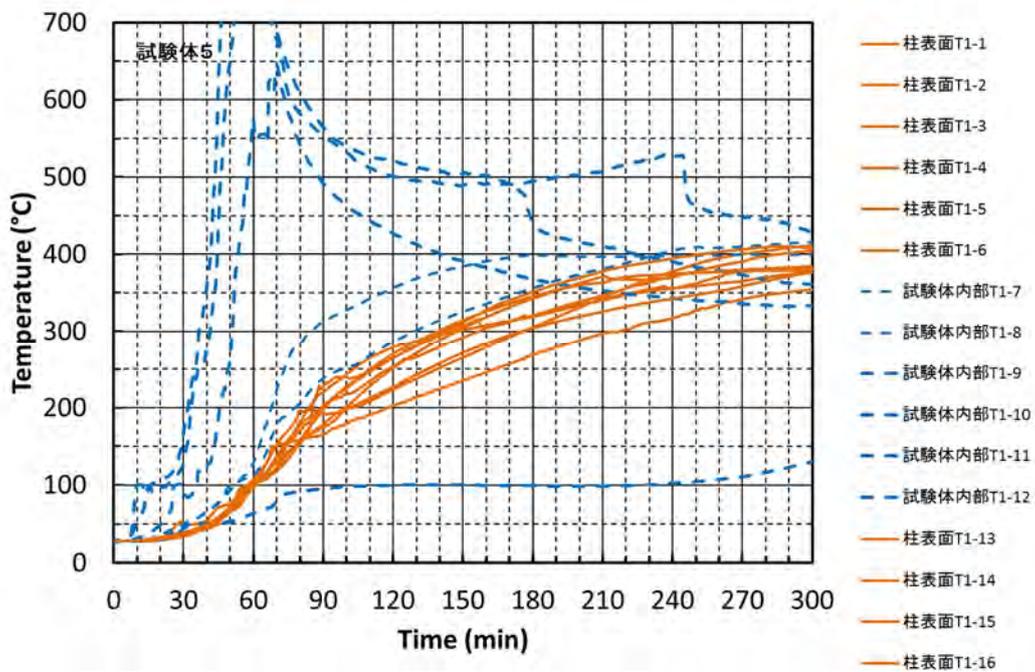


図 4.1.1.2.5-1 試験体⑤の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 6 試験体⑥スギ集成材+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm+スギ単板積層材積層面 30 mm (幅はぎ加工有り)

写真 4.1.1.2.6-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.6-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.6-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.6-1 は熱電対の温度記録である。

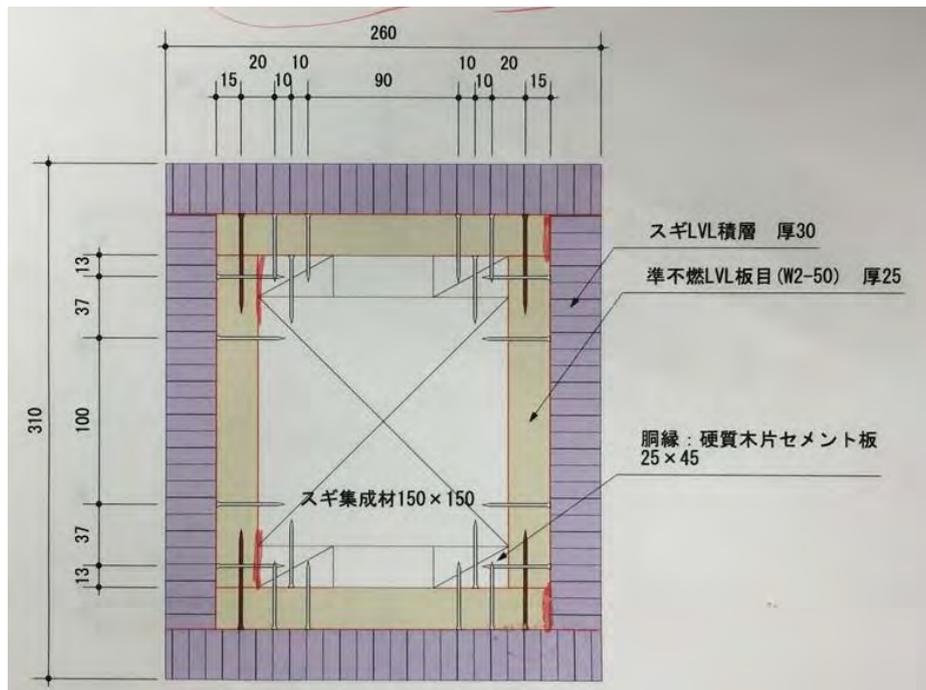


写真 4.1.1.2.6-1 試験体製作時のメモ

積層面の幅はぎ加工有りの仕様であったため、表面を平滑にするため厚みにばらつきができた。胴縁と板目面の間に隙間が見られた。

表 4.1.1.2.6-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	
		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	29.40~30.17
	幅	260	261.5~262
B 面	厚み	30	29.40~30.17
	幅	250	252.5~253



写真 4.1.1.2.6-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

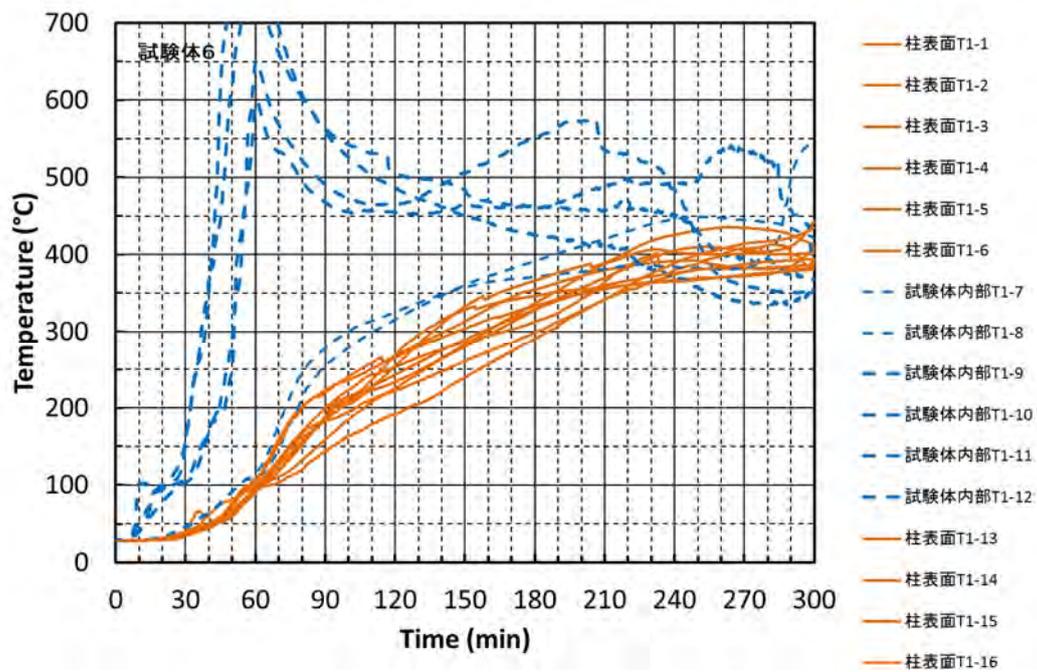


図 4.1.1.2.6-1 試験体⑥の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 7 試験体⑦スギ集成材+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm+スギ単板積層材積層面 30 mm

写真 4.1.1.2.7-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.7-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.7-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.7-1 は熱電対の温度記録である。

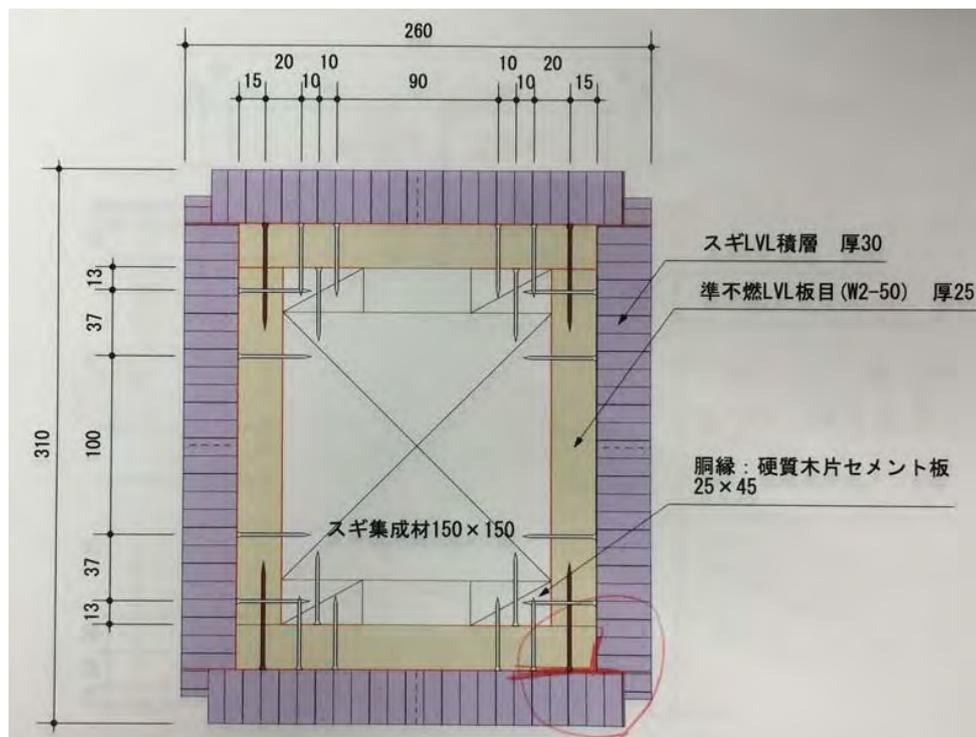


写真 4.1.1.2.7-1 試験体製作時のメモ

すべての試験体において共通しているところで、特に寸法変化において規則性は見られなかったが、試験体の上部、中間部、下部で幅が異なる傾向が見られた。意匠の部分を考慮した四隅加工仕様できれいに仕上がった。また、逆に隙間に蓋をする形で隙間防止効果も期待できると思われる。

表 4.1.1.2.7-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	
		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	30
	幅	230	230~232
B 面	厚み	30	30
	幅	280	281~284



写真 4.1.1.2.7-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

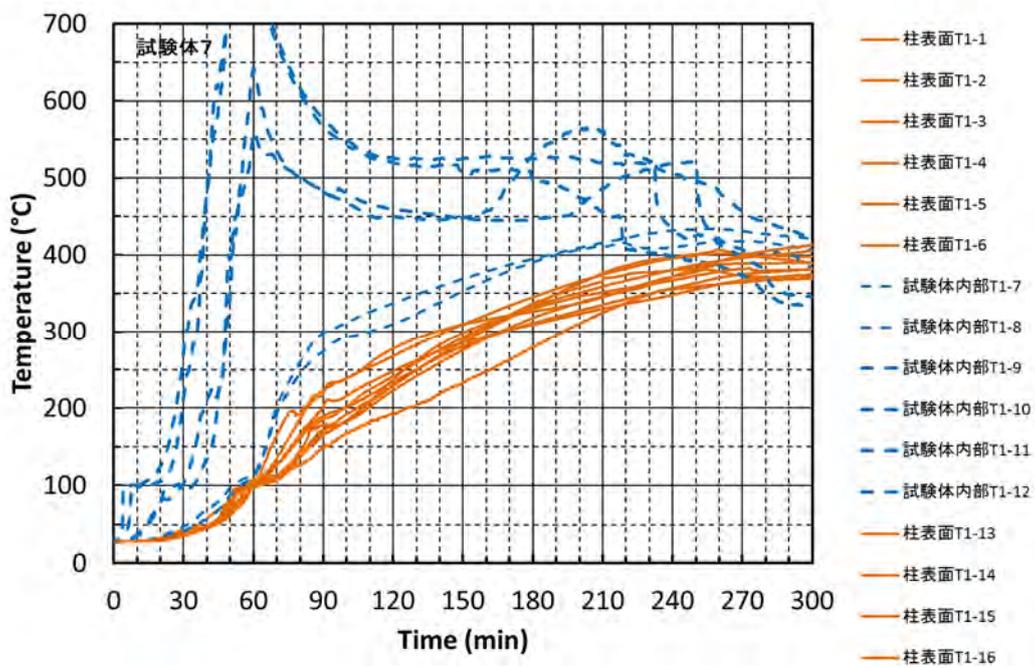


図 4.1.1.2.7-1 試験体⑦の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 8 試験体⑧スギ集成材+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm+カラマツ単板積層材積層面 30 mm

写真 4.1.1.2.8-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.8-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.8-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.8-1 は熱電対の温度記録である。

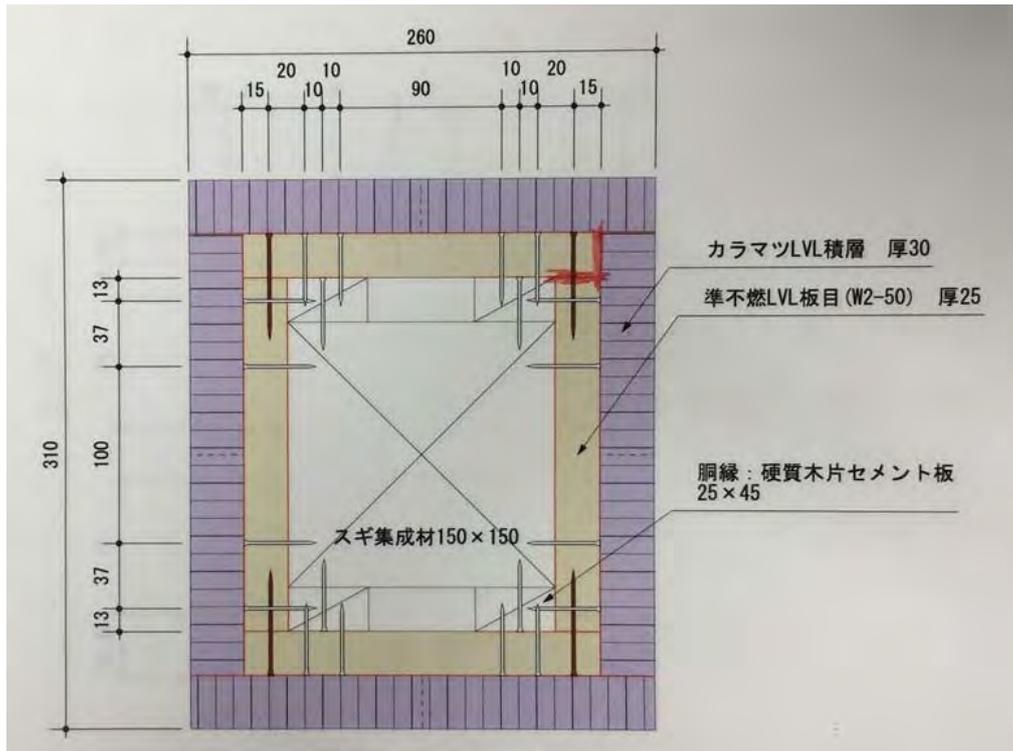


写真 4.1.1.2.8-1 試験体製作時のメモ

右側に 1~2 mm 程度の隙間が生じた。試験体④ほどではないが、木片セメント板の胴縁に若干ヒビが入ったところが見られた。

表 4.1.1.2.8-1 寸法の変化(単位: mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	30
	幅	260	263~265
B 面	厚み	30	30
	幅	250	253~254



写真 4.1.1.2.8-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

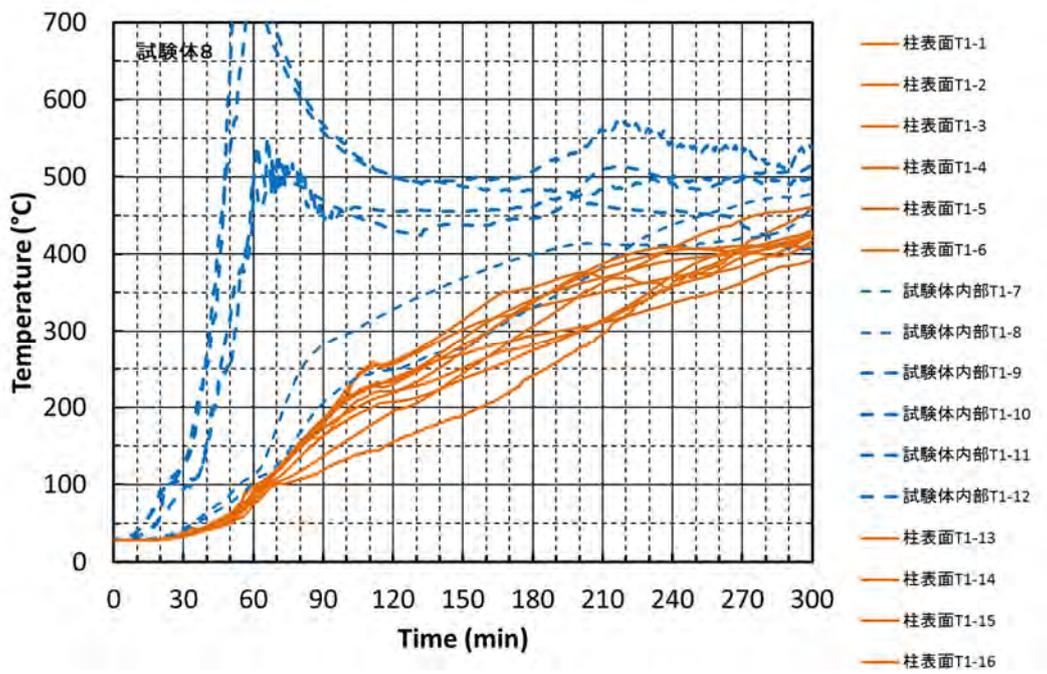


図 4.1.1.2.8-1 試験体⑧の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 9 試験体⑨BCR 鋼材+難燃処理スギ単板積層材板目面 25 mm+スギ単板積層材積層面 15 mm

写真 4.1.1.2.9-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.9-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.9-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.9-1 は熱電対の温度記録である。

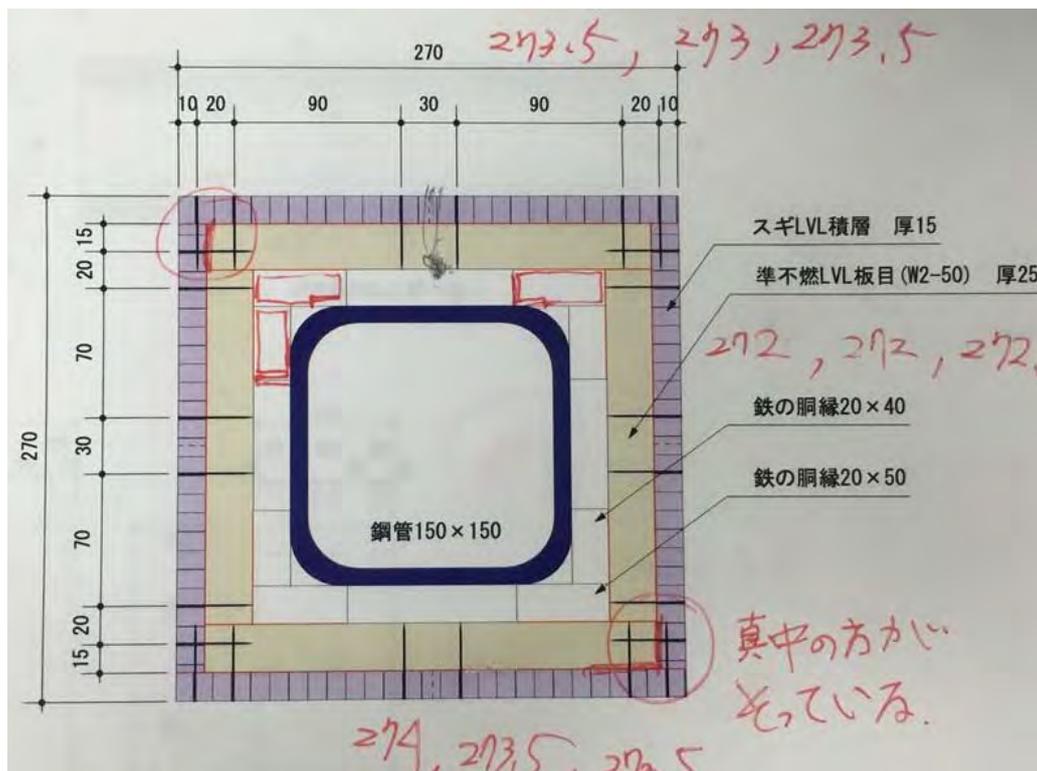


写真 4.1.1.2.9-1 試験体製作時のメモ

板目面の A 面から胴縁にビスを留める際に、木材が浮き上がることがあり、板目面までは反対に回して、鉄板からは正方向に回した。このことから、次からは先穴を開けておいて施工することにした。

表 4.1.1.2.9-1 寸法の変化(単位：mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	15	15
	幅	270	273~274
B 面	厚み	15	15
	幅	240	242~243.5



写真 4.1.1.2.9-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

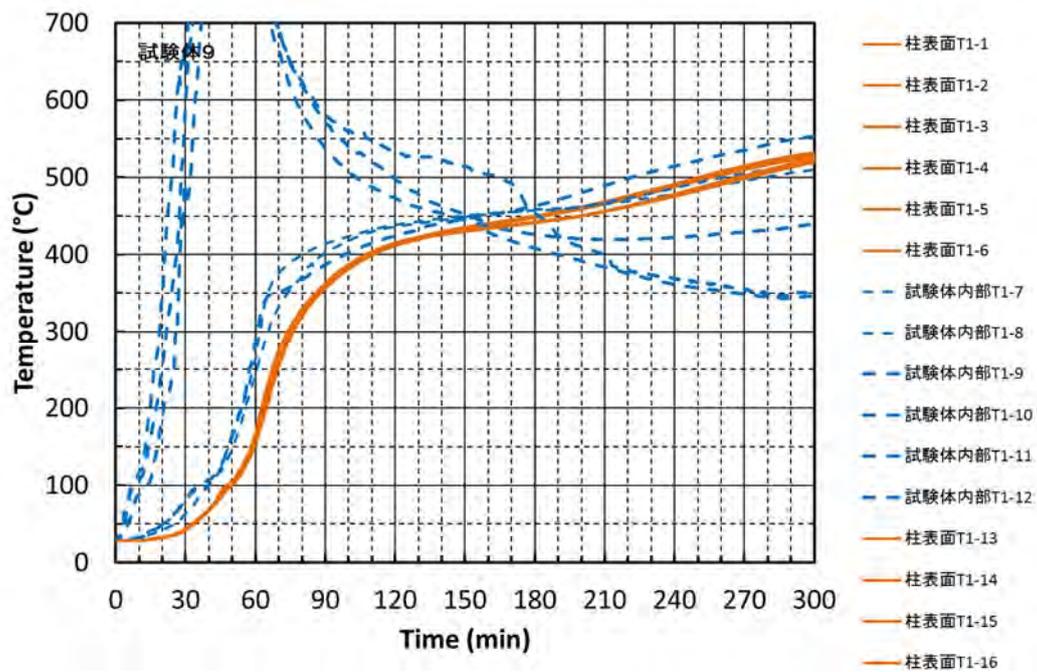


図 4.1.1.2.9-1 試験体⑨の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 10 試験体⑩BCR 鋼材+B 種スギ単板積層材板目面 25 mm+カラマツ単板積層材積層面 30 mm

写真 4.1.1.2.10-1 は試験体製作時のメモを赤い字で残したもので、表 4.1.1.2.10-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.10-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したものの、図 4.1.1.2.10-1 は熱電対の温度記録である。

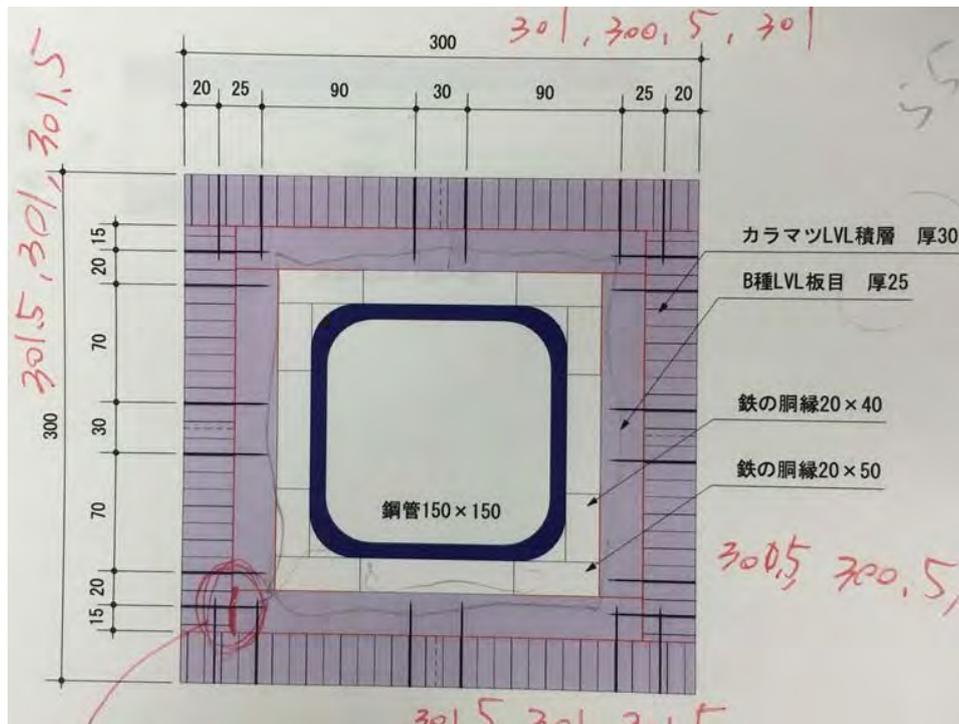


写真 4.1.1.2.10-1 試験体製作時のメモ

左下の板目面と積層面の上に 1 mm くらい隙間が生じた。B 種単板積層材材の厚みが 25.25 mm~25.57 mm 程度で、積層面も 29.98 mm~30.19 mm で図面上の寸法と微細な差があった。その影響で寸法の変化が起きたと思われる。

表 4.1.1.2.10-1 寸法の変化(単位 : mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	30	29.98~30.19
	幅	300	300.5~301.5
B 面	厚み	30	29.98~30.19
	幅	240	240.5~241.5

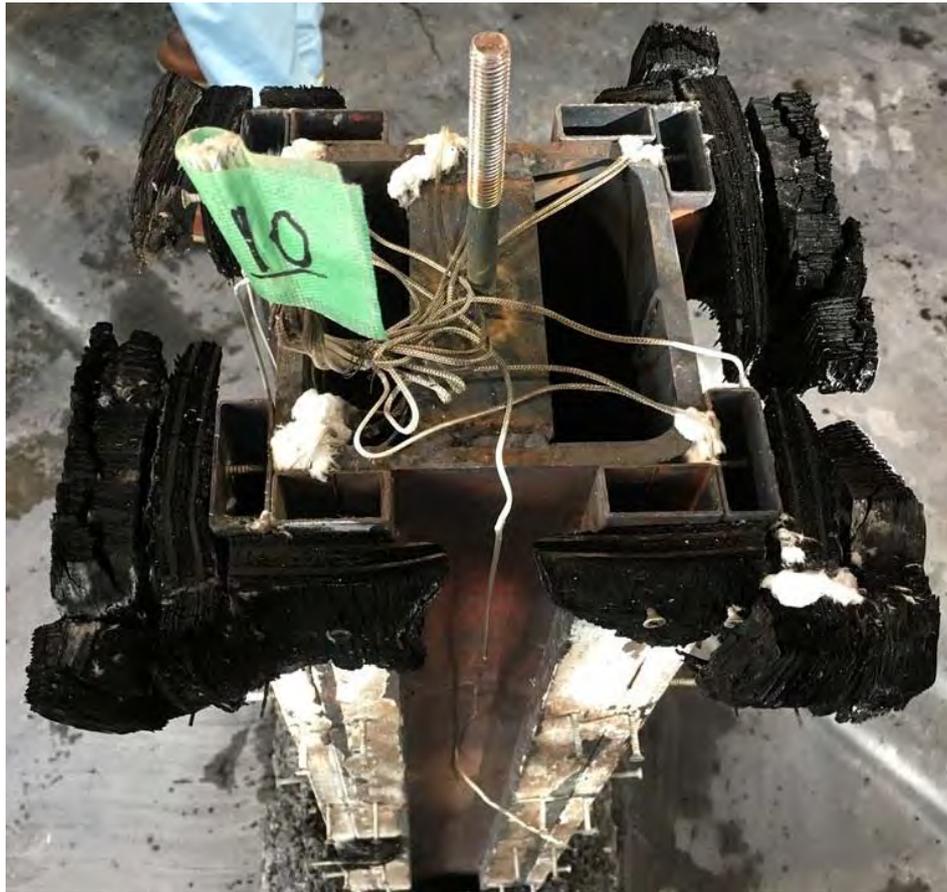


写真 4.1.1.2.10-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

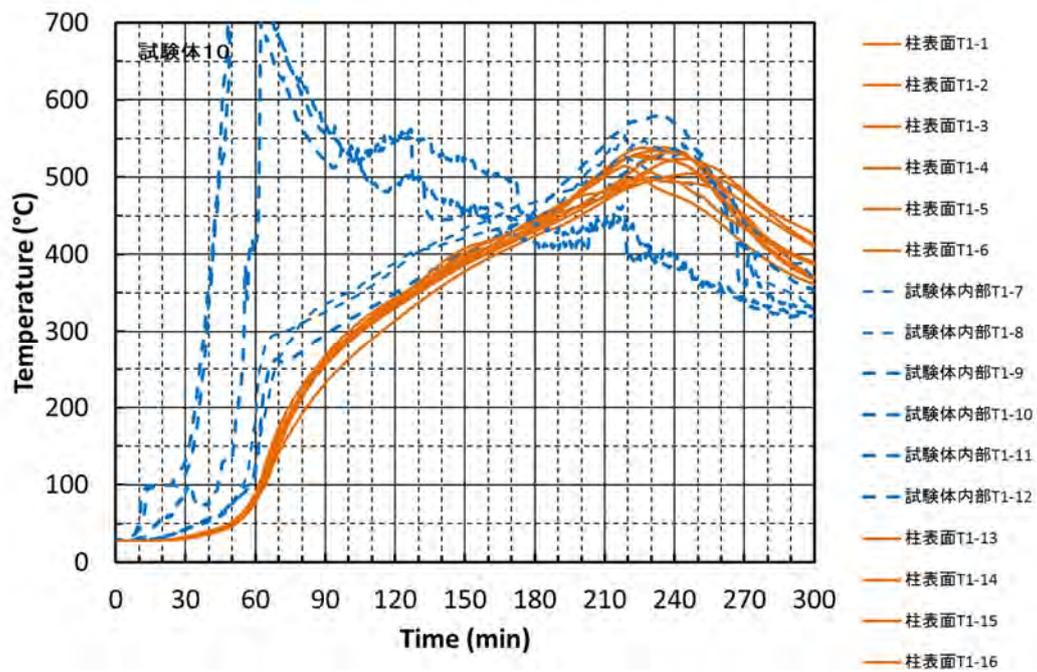


図 4.1.1.2.10-1 試験体⑩の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 1 1 試験体①BCR 鋼材+カラマツ単板積層材積層面 55 mm

写真 4.1.1.2.11-1 は試験体製作時の様子で、表 4.1.1.2.11-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.11-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.11-1 は熱電対の温度記録である。



写真 4.1.1.2.11-1 試験体製作時の様子

木材の浮き上がり防止のために、先穴を開けてから施工した。被覆材が 1 層しかないため、隙間は生じなかった。しかし、A 面材が 300 mm ぴったりの寸法であったため、製作時の寸法から少しだけ短くなった。また、幅はぎ加工を行なったので、厚みが少し減ってしまった。被覆材の表面から 30 mm 埋め込んでラジアタ丸棒を使って木栓をした。しかし、あまりにも数が多かったので、事前にラジアタ丸棒を 30 mm に切ってからハンマーで打ち込むことにした。そうすると、作業は速くなったが、ラジアタがやはりやわらかかったので、慎重に打つ必要があった。

表 4.1.1.2.11-1 寸法の変化(単位 : mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	55	54.60~54.83
	幅	300	300
B 面	厚み	55	54.60~54.83
	幅	190	188.5~189



写真 4.1.1.2.11-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

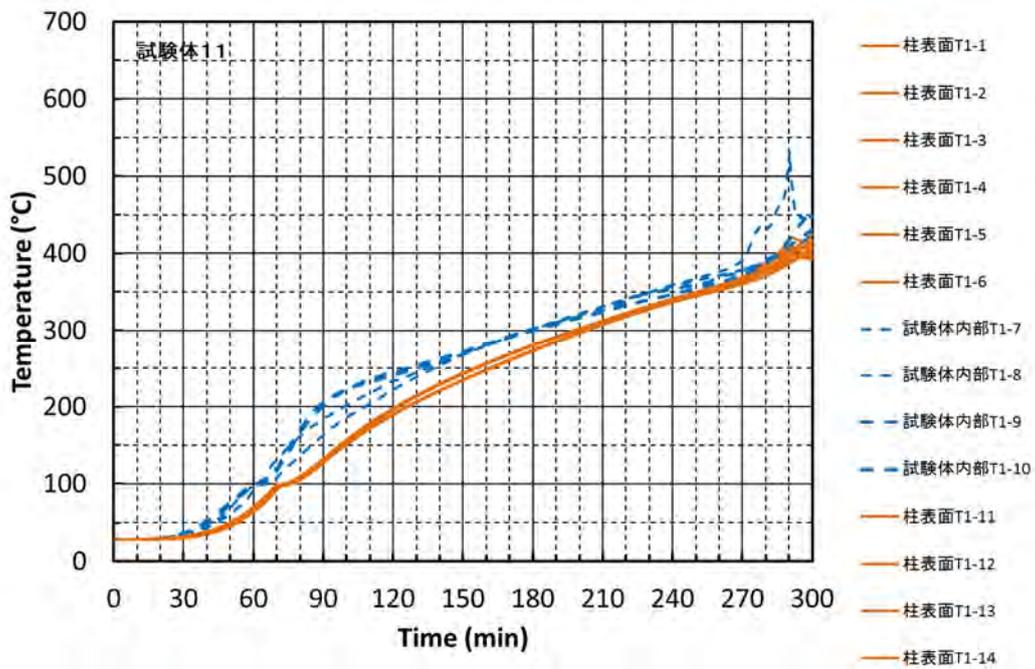


図 4.1.1.2.11-1 試験体⑪の熱電対温度変化

4. 1. 1. 2. 1 2 試験体⑫BCR 鋼材+カラマツ単板積層材積層面 55 mm

写真 4.1.1.2.11-1 は試験体製作時の様子で、表 4.1.1.2.11-1 は製作時の寸法の変化を記録したもの、写真 4.1.1.2.11-2 は試験体を取り出した後の断面を撮影したもの、図 4.1.1.2.11-1 は熱電対の温度記録である。



写真 4.1.1.2.12-1 試験体製作時の様子

試験体⑦と同様に、意匠的な面を考慮して四隅加工の仕様である。試験体⑩と同じ方法で木栓をした。

表 4.1.1.2.12-1 寸法の変化(単位：mm)

		図面上の寸法	製作時の寸法
A 面	厚み	55	54.60～54.83
	幅	270	268～268.5
B 面	厚み	55	54.60～54.83
	幅	190	188.5



写真 4.1.1.2.12-2 1時間加熱及び4時間放置後の様子

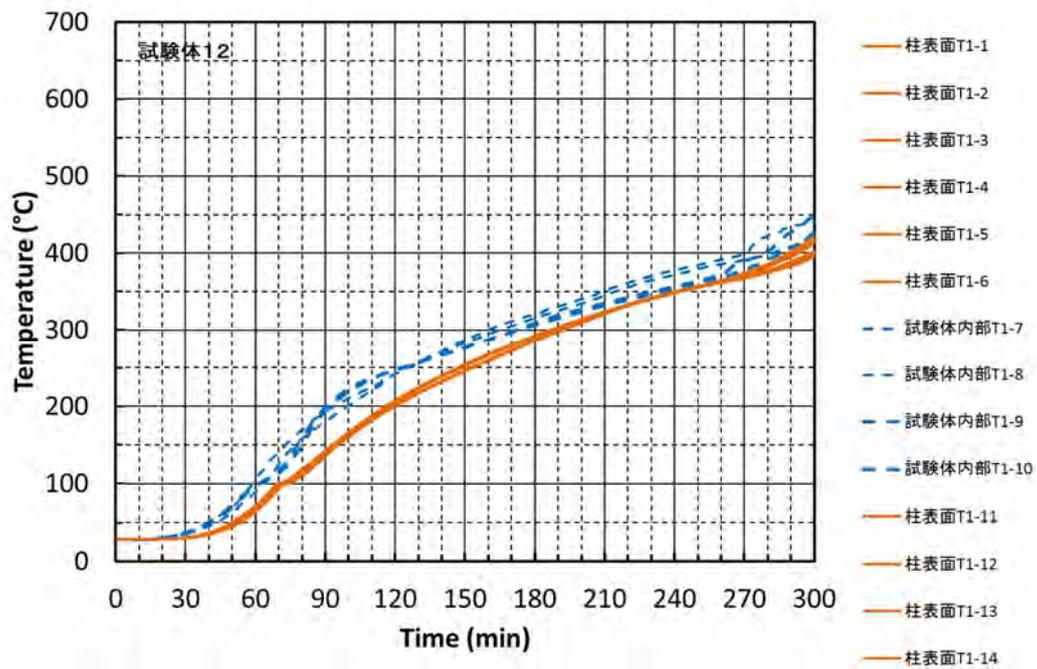


図 4.1.1.2.12-1 試験体⑫の熱電対温度変化

4. 1. 1. 3 まとめ

この予備試験では、12体の試験体を水平炉で一回の燃焼試験で結果を出そうとしていた。しかし、可燃物が多い試験体が複数あったこともあり、炉内温度の低下がかなり遅かった。その理由で、全ての試験体における各々の正しい結果には結びつかなかった。この試験を通して分かったことは、難燃処理などを施していない木材等の可燃物を含む試験体において、その材料が荷重支持部材の温度低下に単純に寄与することではないことが明らかになった。1時間の加熱時までは、試験体の表面に留まり内部の温度上昇を防いで、その後は炉内温度低下に寄与するような材料が理想的である。この試験の結果で、表面に無処理木材等の被覆層を薄くする必要があることが分かったと言える。

また、荷重支持部材が鉄の場合は、木材の場合と若干異なる傾向を示すことも分かった。荷重支持部材が約 500 度以下を保つことが求められることから、木製柱とは違う耐火設計が必要であることが明らかになった。

4. 1. 2 1時間耐火柱 大断面目地試験(難燃処理単板積層材 60 mm)

平成28年11月24日の大断面柱予備試験の結果、被覆材に寸法変化を吸収する縦目地を設けることとした。その目地の耐火性能を検討する予備試験を行った。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は 150 kg/m^3 以下を目標にし、予備試験とは違って、30 mmの単板積層材を2次接着し、耐火試験中の開きを防止することと同時に、耐火試験中における試験体内部への熱伝達を遅らせる設計を施した。

4. 1. 2. 1 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した2面加熱の試験体は、建築研究所の柱炉を使用し、「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、平成29年1月13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。

(2) 測定項目

- ① 試験体内部温度
- ② 炉内温度
- 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。

4. 1. 2. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 150×150 mmの同一等級構成構造用集成材を構造部材とする試験体について無載荷加熱試験を実施した。

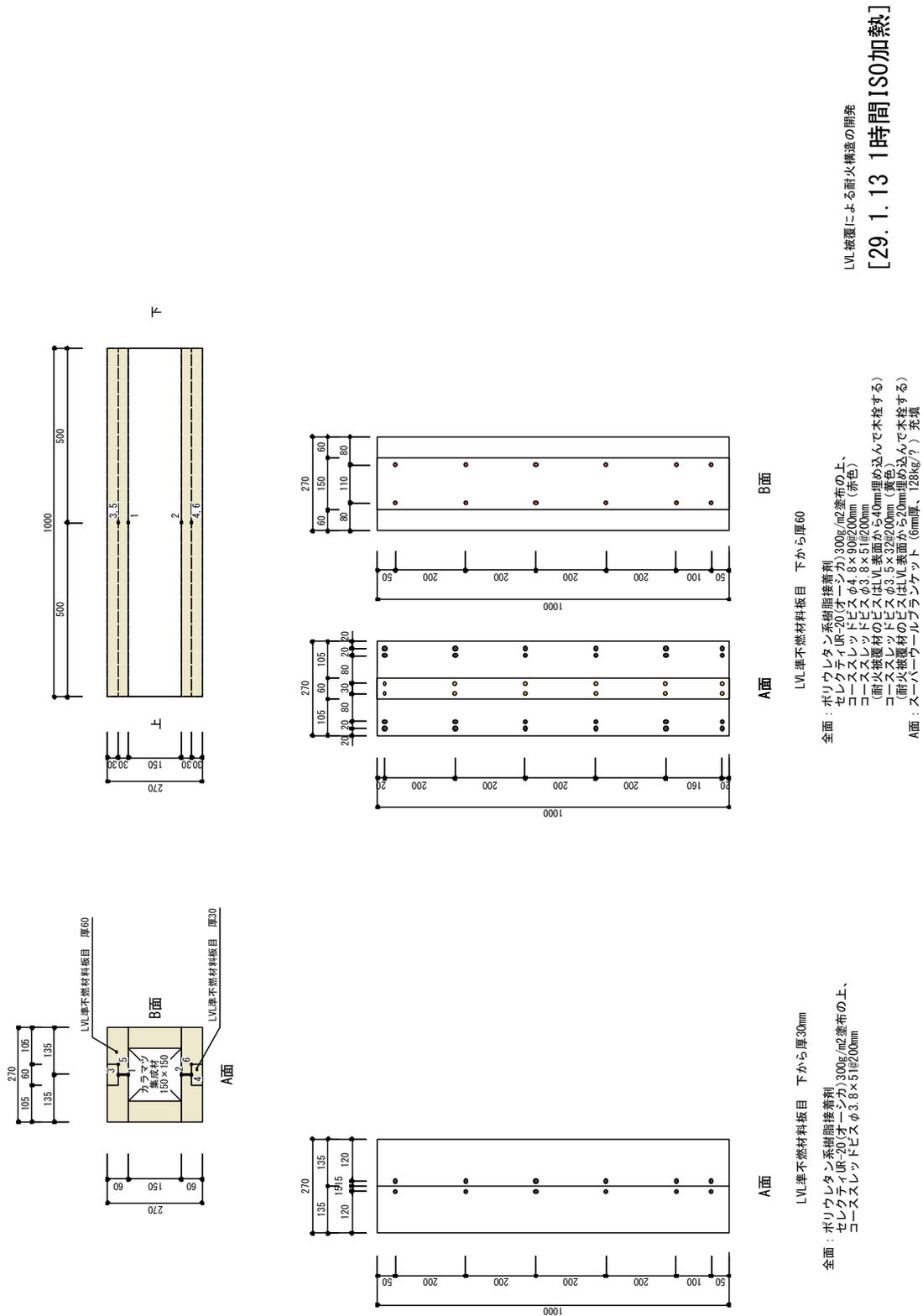
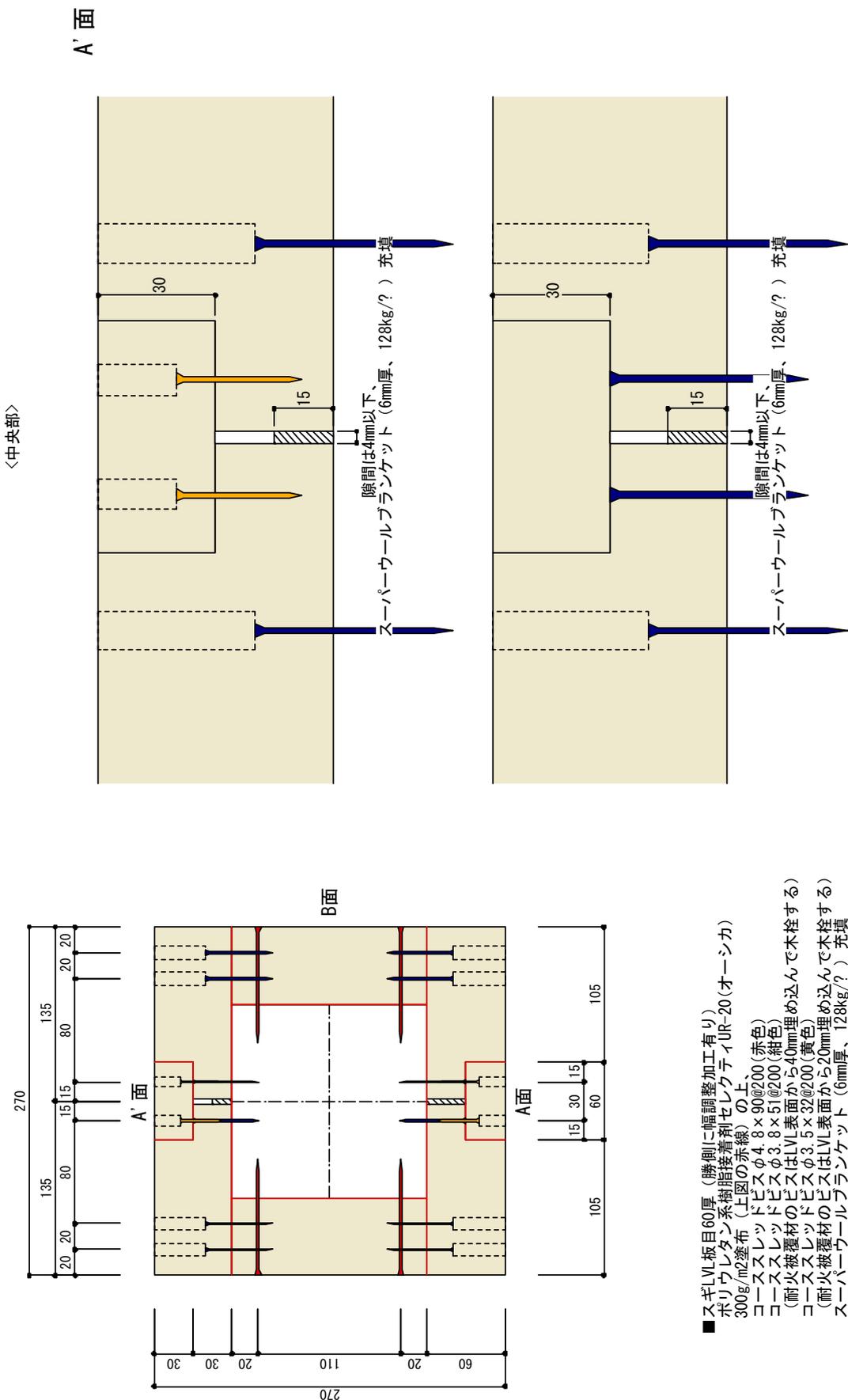


図 4.3.1.2-1 試験体の構造及び寸法



- スギLVL板目60厚 (隣側に幅調整加工有り)
- ポリウレタン系樹脂接着剤セレクテイルUR-20 (オースカ)
- 300g/m²塗布 (上図の赤線) の上
- コーンスレッドビスφ4.8×90@200 (赤色)
- コーンスレッドビスφ3.8×51@200 (紺色)
- (耐火被覆材のビスはLVL表面から40mm埋め込んで木栓する)
- コーンスレッドビスφ3.5×32@200 (黄色)
- (耐火被覆材のビスはLVL表面から20mm埋め込んで木栓する)
- スーパーウェザーブルプラケット (6mm厚、128kg/?) 充填

断面詳細図

図 4.5.1.2-3 試験体

29. 1. 13 1時間ISO加熱 (150×150角柱) + A' 面詳細

4. 1. 2. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後 360 分で内部温度の低下が見られたため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図 4.1.2.3-1 に示す。試験体と炭化状況を写真 4.1.2.3-1～写真 4.1.2.3-2 に示す。

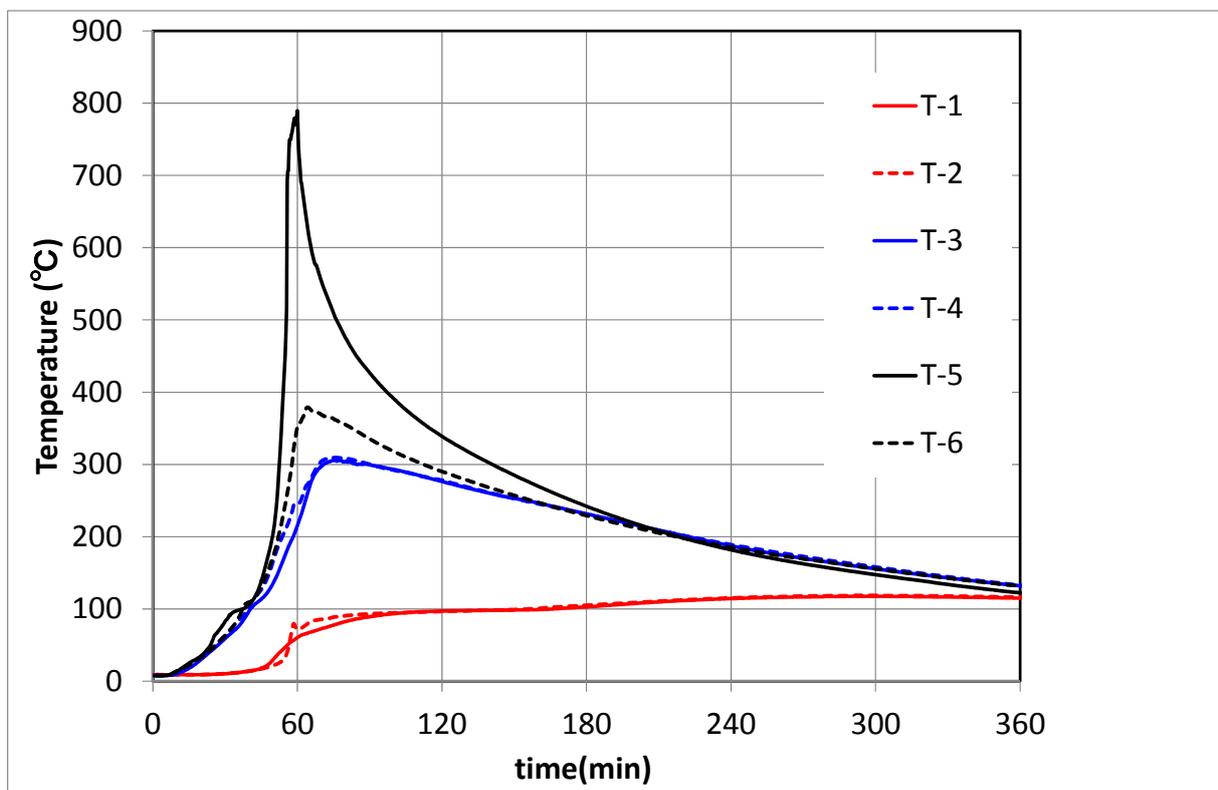
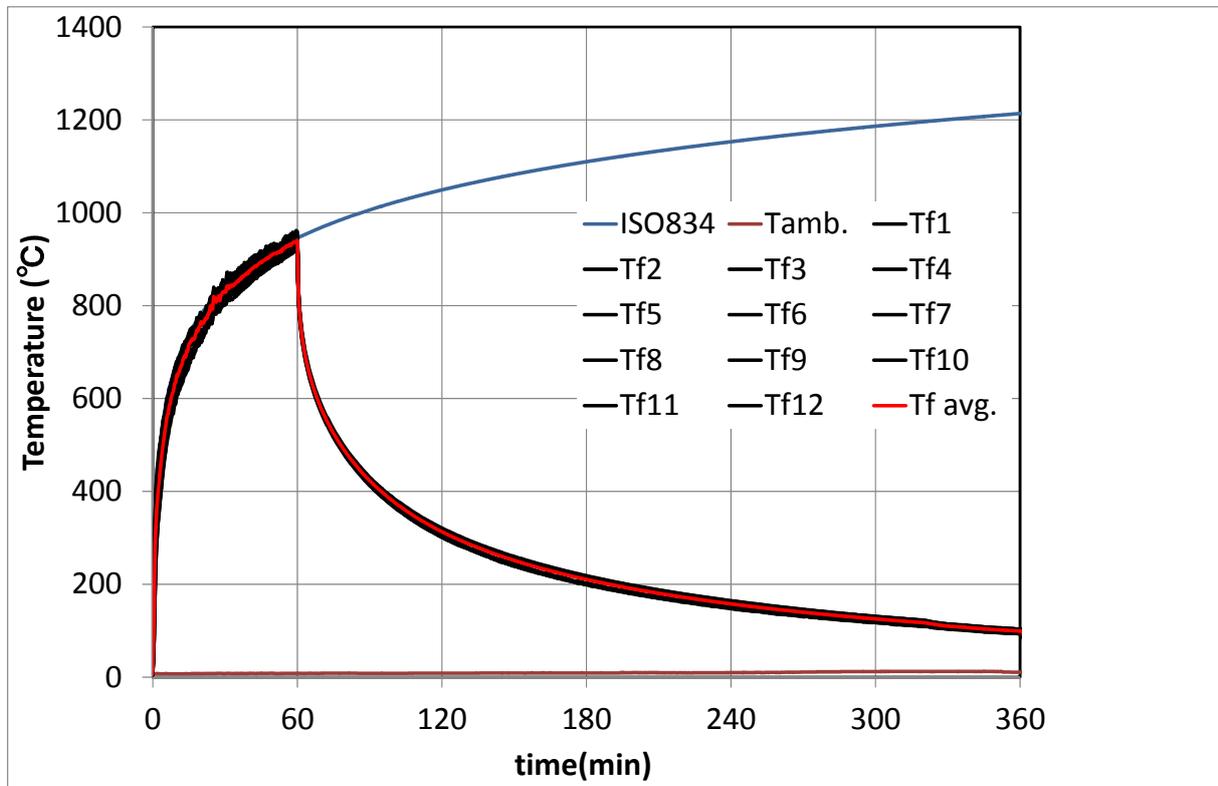


図 4.1.2.3-1 加熱温度測定結果



写真 4.1.2.3-1 試験前と試験後



写真 4.1.2.3-2 試験後の炭化状況

(2) 実験結果の考察

蓋として接合した 30 mm の被覆材の目地部は加熱と共に開き、60 分直前で炉内温度近くになったものもあったが、360 分ですべての場所が炉内温度に近い 132 度に低下した。試験後の解体で荷重支持部材の炭化がないことが確認できた。

不燃材料をはさんだ目地部のおさまりが、1 時間耐火の性能に耐えることを確認した。

4. 2 载荷予備試験

4. 2. 1 1時間耐火柱予備試験(難燃処理単板積層材 50 mm+化粧材単板積層材 15 mm)

昨年度の試験(難燃処理単板積層材 25 mm+難燃処理単板積層材 25 mm+化粧材スギ板 15 mm)と今年度の建築研究所で行われた予備試験を踏まえて、最低限の耐火性能を出すための試験体を製作した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は 150 kg/m^3 以下を目標にし、昨年度の試験とは違って、25 mmの単板積層材を2次接着し、耐火試験中の開きを防止することにした。また、表面には無処理の単板積層材 15 mmを化粧材で貼ることで、耐火試験中における試験体内部での熱伝達を遅らせる設計を施した。この試験体の結果をもとに、性能評価試験の断面を算定することを一番の目標にした。

4. 2. 1. 1 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した4面加熱の試験体は、(一財)日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して载荷加熱試験を行った。図 4.2.1.1-1 に柱炉の試験装置図を示す。試験実施日は、平成 28 年 9 月 23 日であった。

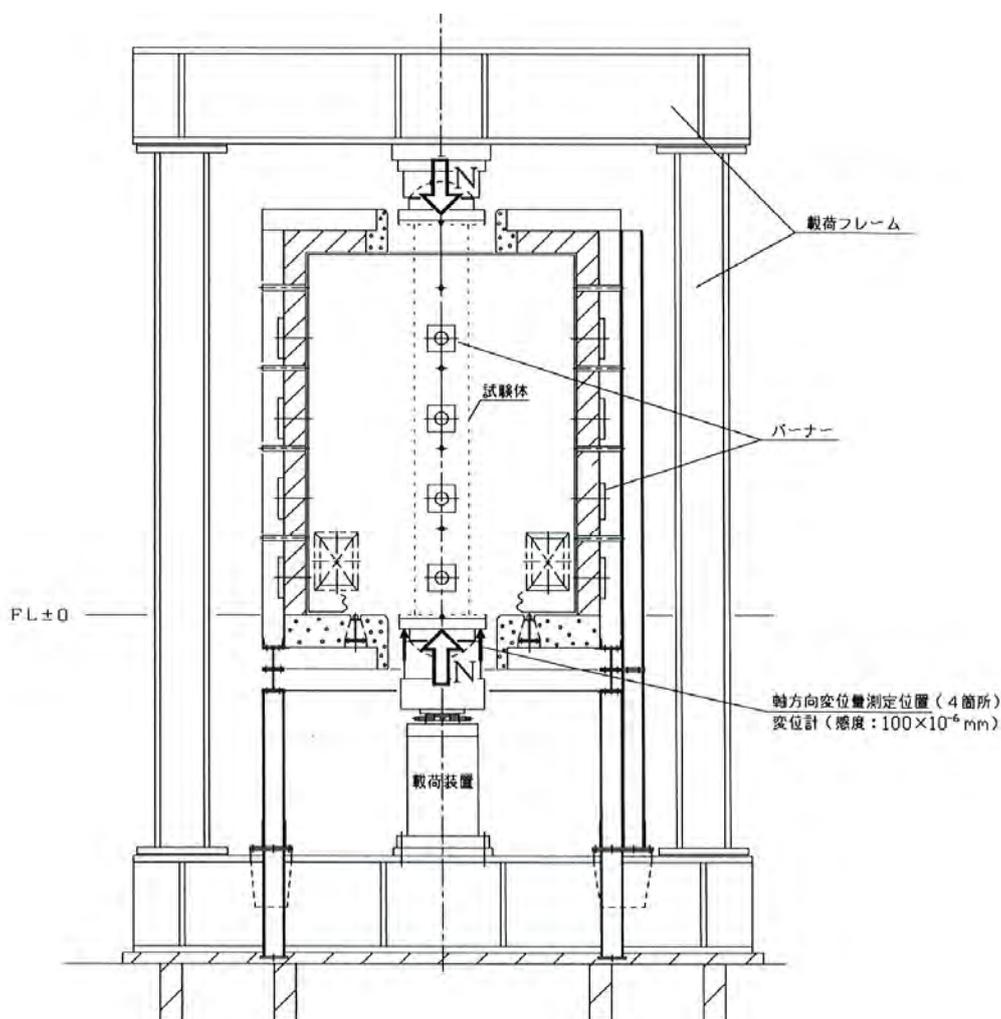


図 4.2.1.1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重Nは、長期許容圧縮応力度($f_c=3.716\text{N/mm}^2$)より算出した。

試験荷重 $N=3.716\text{N/mm}^2 \times 22500\text{mm}^2$ (有効断面積)=83.7kN

ただし、 $F=20.6\text{N/mm}^2$, $l_k=3500\text{mm}$ (座屈長さ)とし、 f_c を算出した。

(3) 測定項目

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

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤ 含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて 12 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

⑥ その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 2. 1. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 150×150 mmの同一等級構成構造用集成材を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧と製作時の様子を表 4.2.1.2-1～2 と図 4.2.1.2-1～6、写真 4.2.1.2-1～2 に示す。

表 4.2.1.2-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 同一等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 スギ・密度 0.40g/cm^3(気乾、実測値)・断面寸法 150×150
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 150kg/m^3・厚さ 50(厚さ 25 の板を積層)
化粧材	<ul style="list-style-type: none">・単板積層材・厚さ 15

表 4.2.1.2-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
留付材	<p>[1]被覆材留付用</p> <p>[1]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ6 mm×L90 mm ・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300g/m² <p>[1]-3 化粧材固定材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ1.05 mm×L45 mm ・留付間隔 200 以下 <p>[1]-4 化粧材留付材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ3.3 mm×L40 mm ・留付間隔 300 以下

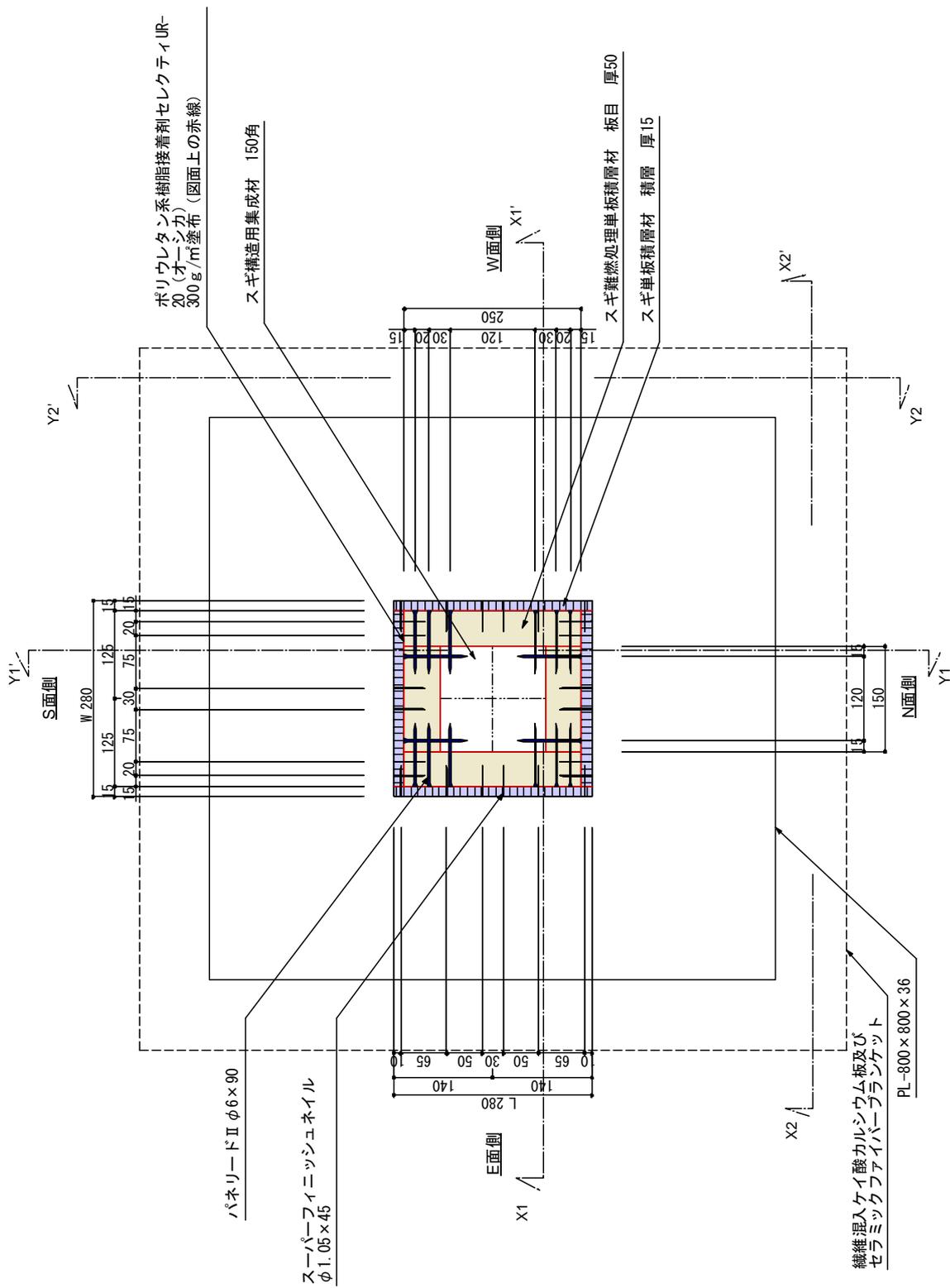


図 4.2.1.2-2 試験体の構造及び寸法②

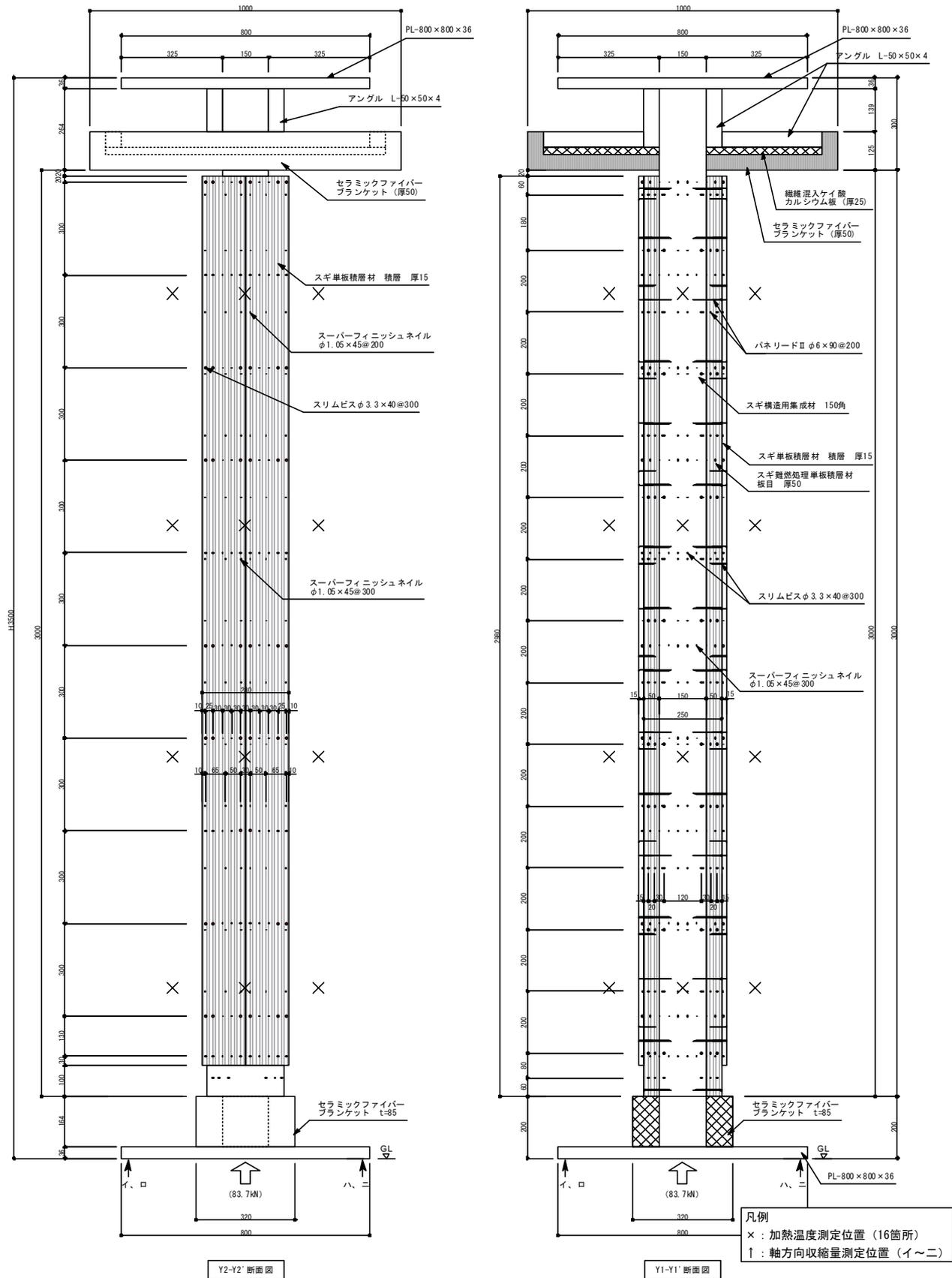


図 4.2.1.2-4 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (Y 通り)

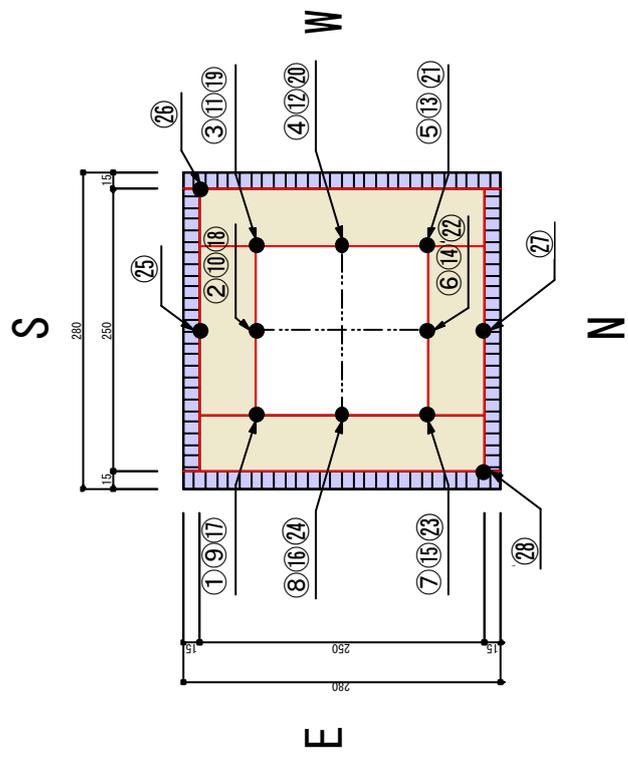


図 4.2.1.2-5 試験体の熱電対位置①

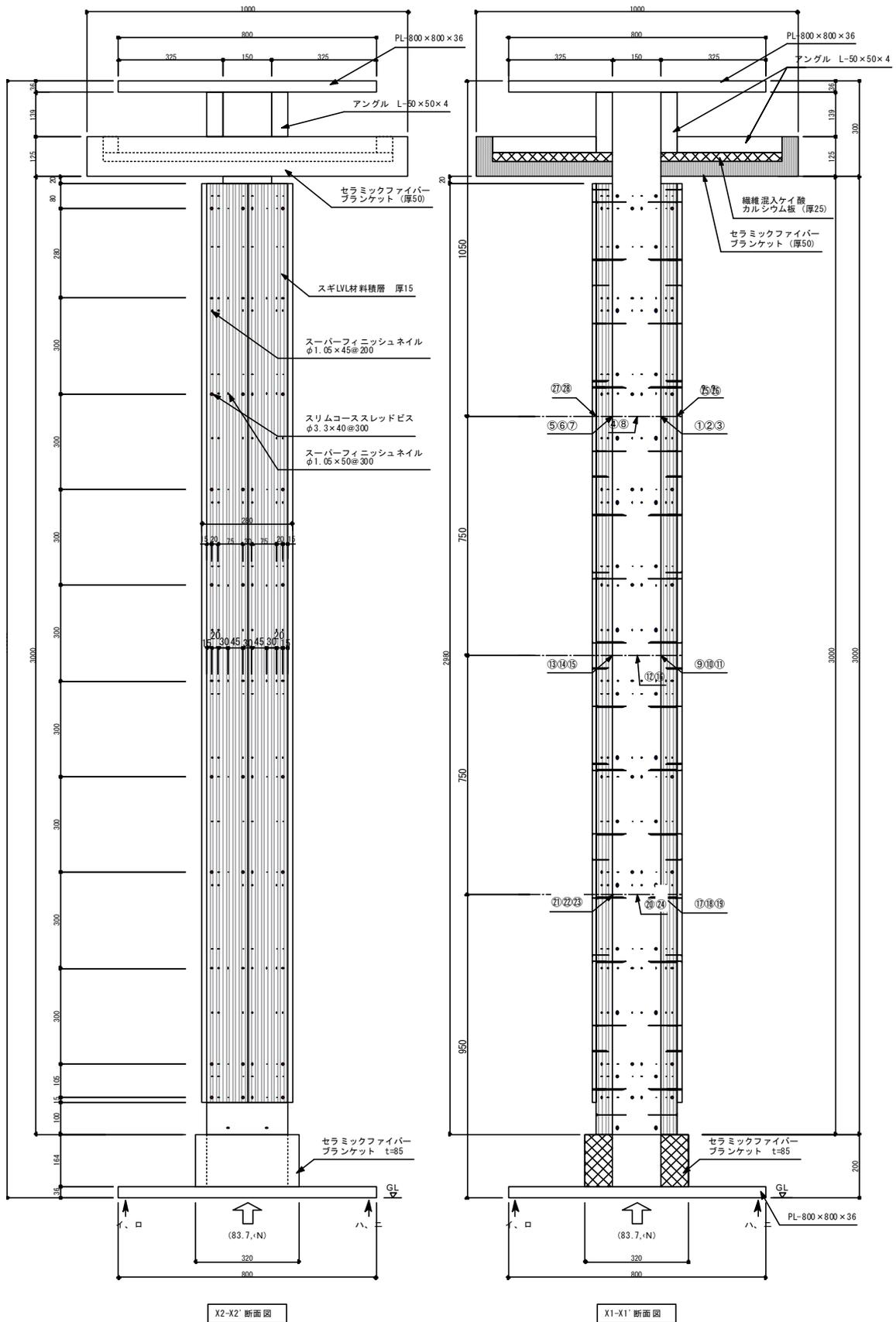


図 4.2.1.2-6 試験体の熱電対位置②



写真 4.2.1.2-1 製作時の様子①

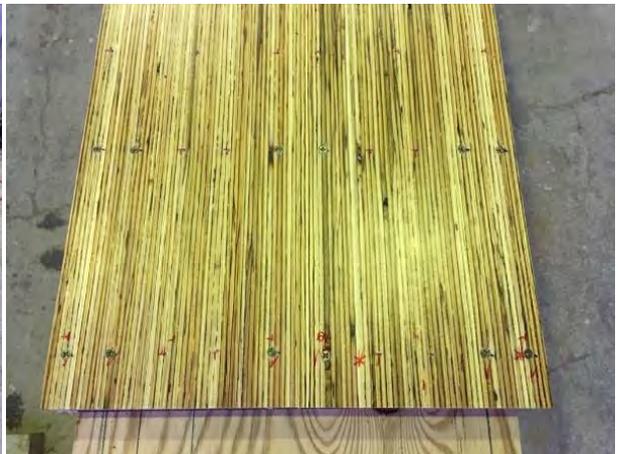


写真 4.2.1.2-2 製作時の様子②

4. 2. 1. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後305分で軸方向収縮量の安定と内部温度の低下が見られたため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図4.2.1.3-1、軸方向収縮量測定結果を図4.2.1.3-2、熱電対の内部温度曲線を図4.2.1.3-3、熱電対の被覆材裏面温度曲線を図4.2.1.3-4に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、下記の通りである。

柱(スギ集成材)： 10.68%で気乾密度は 0.40g/cm^3

化粧材(スギ単板積層材)： 12.92%で気乾密度は 0.657g/cm^3

難燃処理単板積層材(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 10.75%で気乾密度は 0.539g/cm^3

②炭化状況と記録写真を写真4.2.1.3-1～写真4.2.1.3-10に示す。

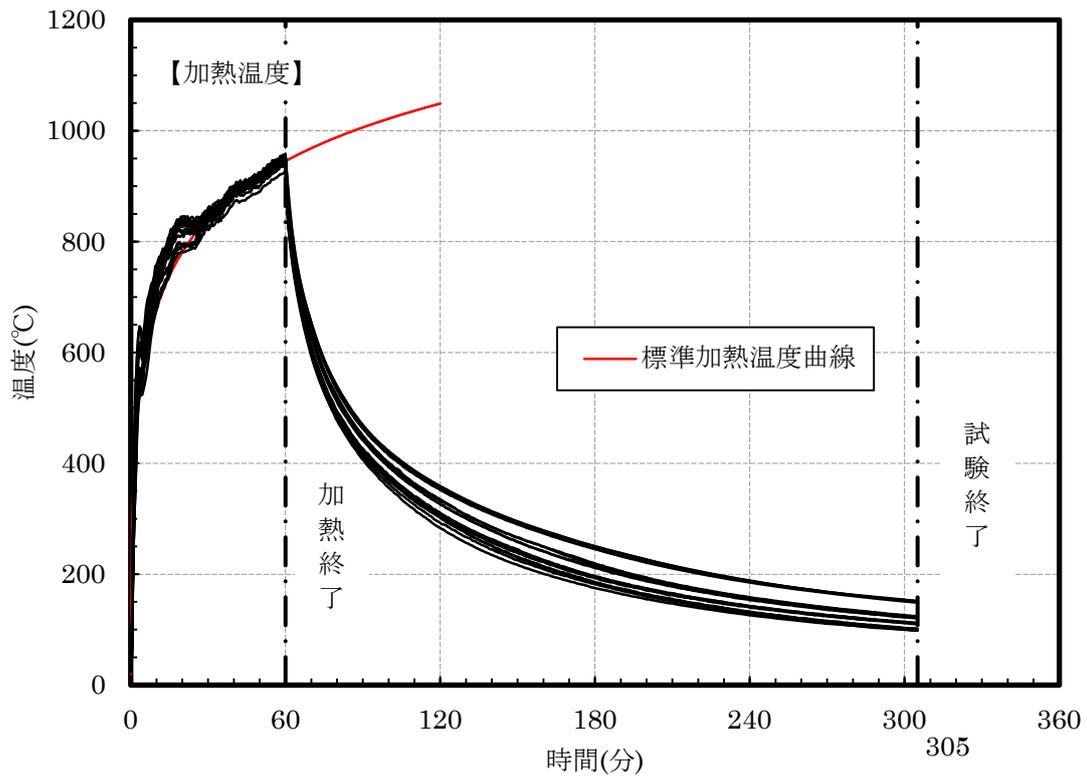


図 4.2.1.3-1 加熱温度測定結果

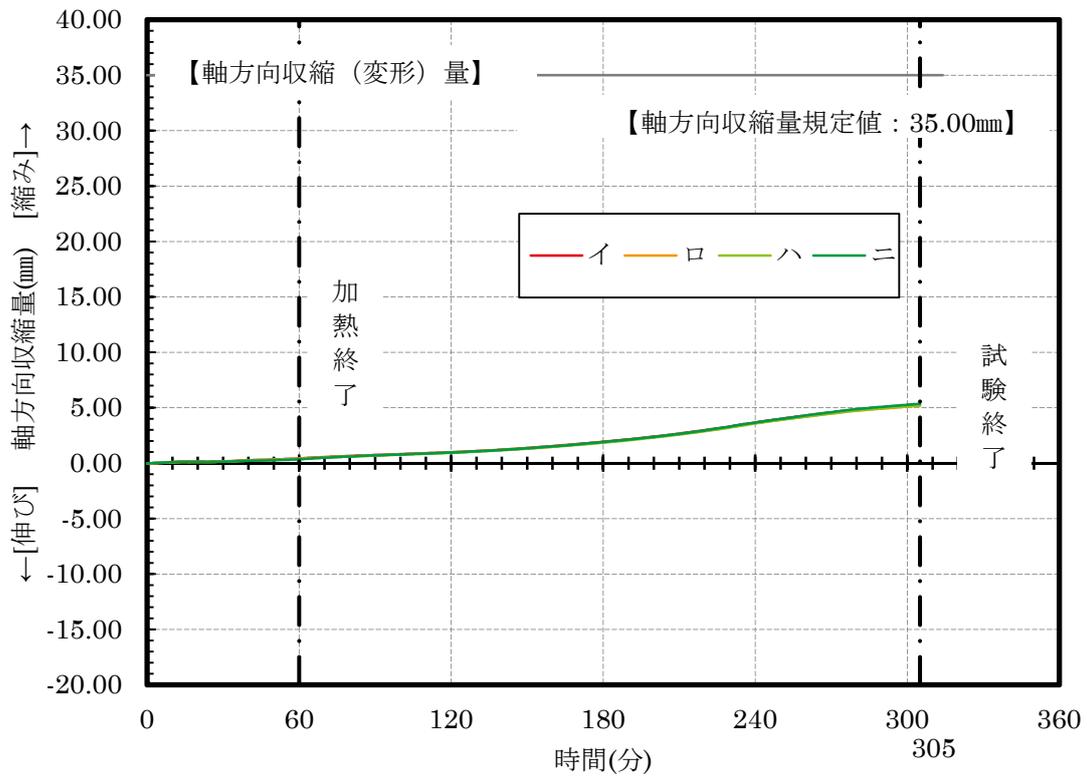
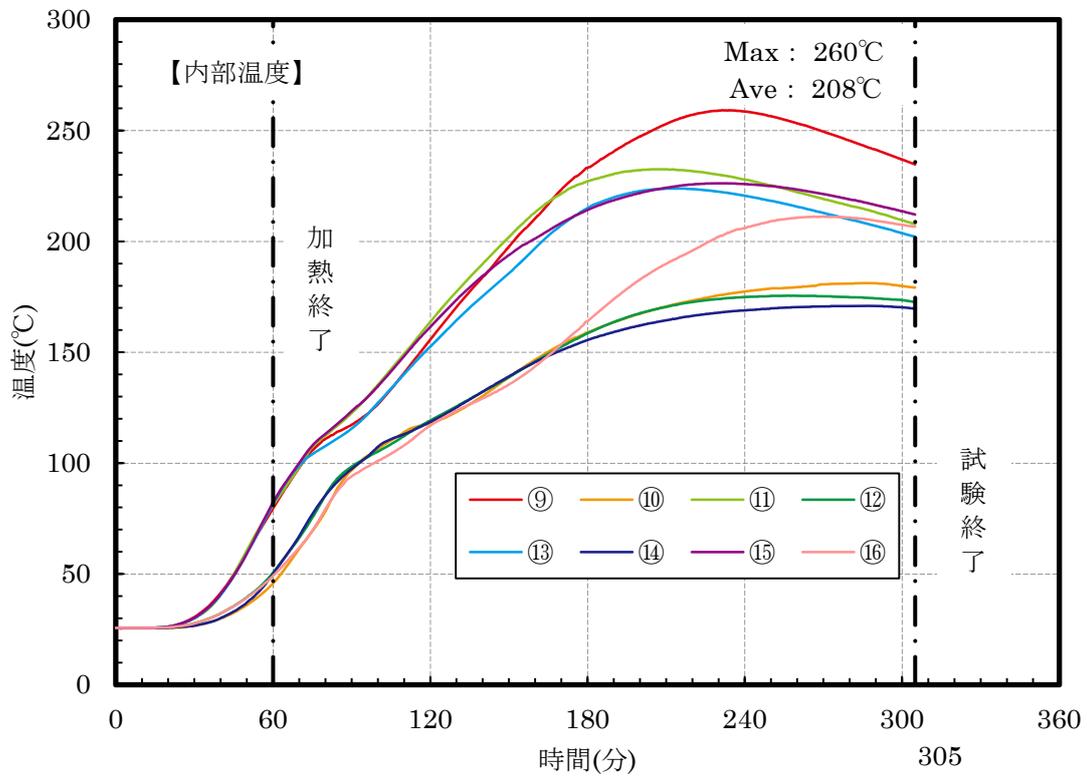
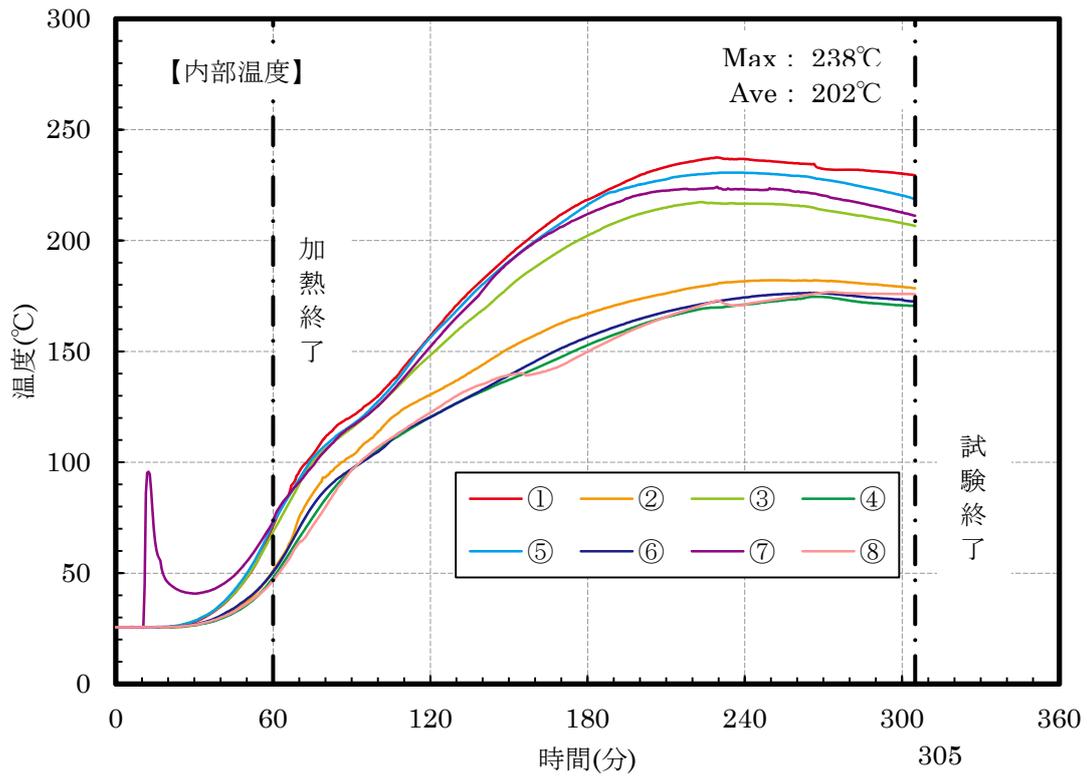


図 4.2.1.3-2 軸方向収縮量測定結果



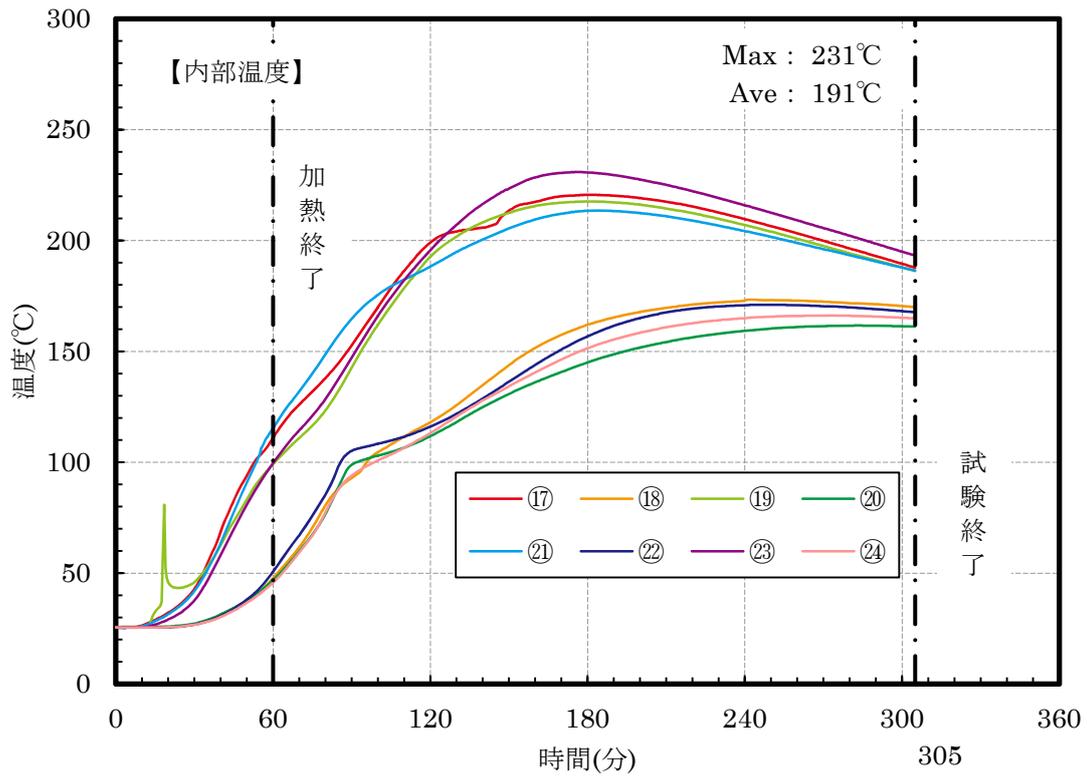


図 4.2.1.3-3 熱電対の内部温度曲線

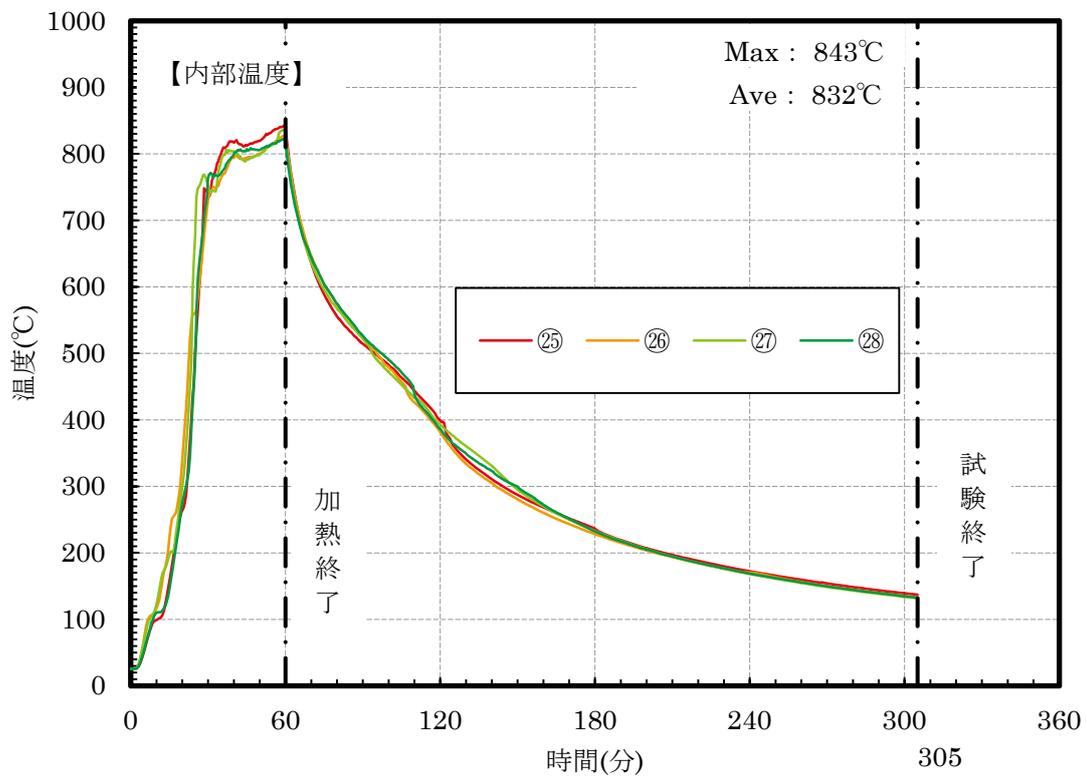


図 4.2.1.3-4 熱電対の被覆材裏面温度曲線



写真 4.2.1.3-1 試験体設置状況



写真 4.2.1.3-2 試験体加熱後の様子



写真 4.2.1.3-3 東面の脱炉後の試験体

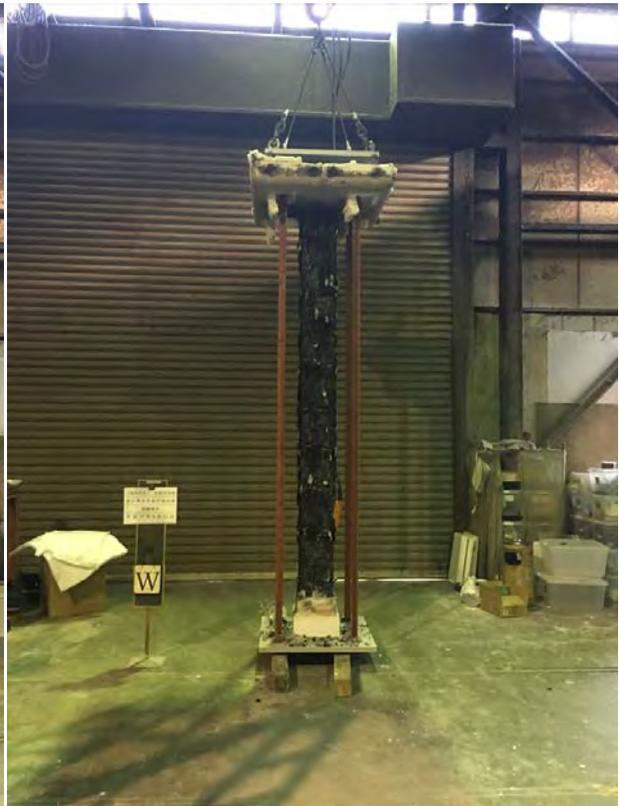


写真 4.2.1.3-4 西面の脱炉後の試験体

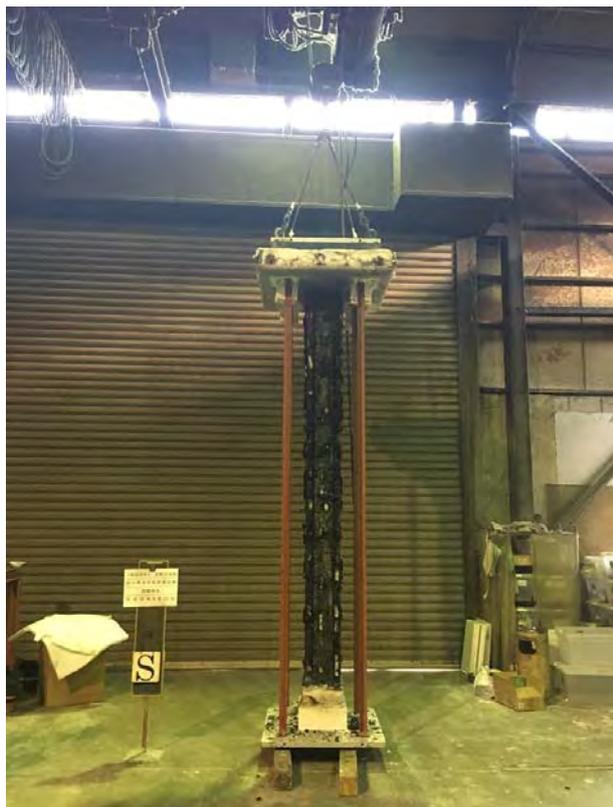


写真 4.2.1.3-5 南面の脱炉後の試験体



写真 4.2.1.3-6 北面の脱炉後の試験体



写真 4.2.1.3-7 上から 500 mm



写真 4.2.1.3-8 上から 1/4



写真 4.2.1.3-9 中間部①



写真 4.2.1.3-10 中間部②

(2) 実験結果の考察

305分で軸方向変形量の安定と内部温度の低下が確認できたため、試験を完了した。

炉を開放した際、試験体に無処理単板積層材はほぼ残っておらず、難燃処理層のみが残存していた。15 mmの無処理単板積層材は24分ほどで燃え尽きているように見え、耐火の保護層として役割を果たしたと考えられる。熱橋として心配していた、φ6 mm×90 mmの木ネジ部分も健全であり、炭化したことも認められないと判断された。

ただし、荷重支持部材と木ネジ部の炭化は確認されていないものの、かなりぎりぎりの性能であることが確認できた。この耐火性能の水準を最低に考えてより安全な仕様を計画する必要があると考えられる。

4. 2. 2 1時間耐火柱予備試験（難燃処理単板積層材 60 mm）

11月に行なった1体目の性能評価試験（難燃処理単板積層材 60 mm）結果に基づいて、仕様の幅を広げるために大断面で試験体を製作した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は $150\text{kg}/\text{m}^3$ 以下を目標として、9月の試験より更に厚い 30 mmの単板積層材を2次接着して耐火試験中の開き防止を図った。この試験の結果を踏まえて、性能評価試験の断面仕様を計算することを一番の目標とした。

4. 2. 2. 1 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した4面加熱の試験体は、(一財)日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して荷重加熱試験を行った。図 4.2.2.1-1 に柱炉の試験装置図を示す。試験実施日は、平成 28 年 11 月 24 日であった。

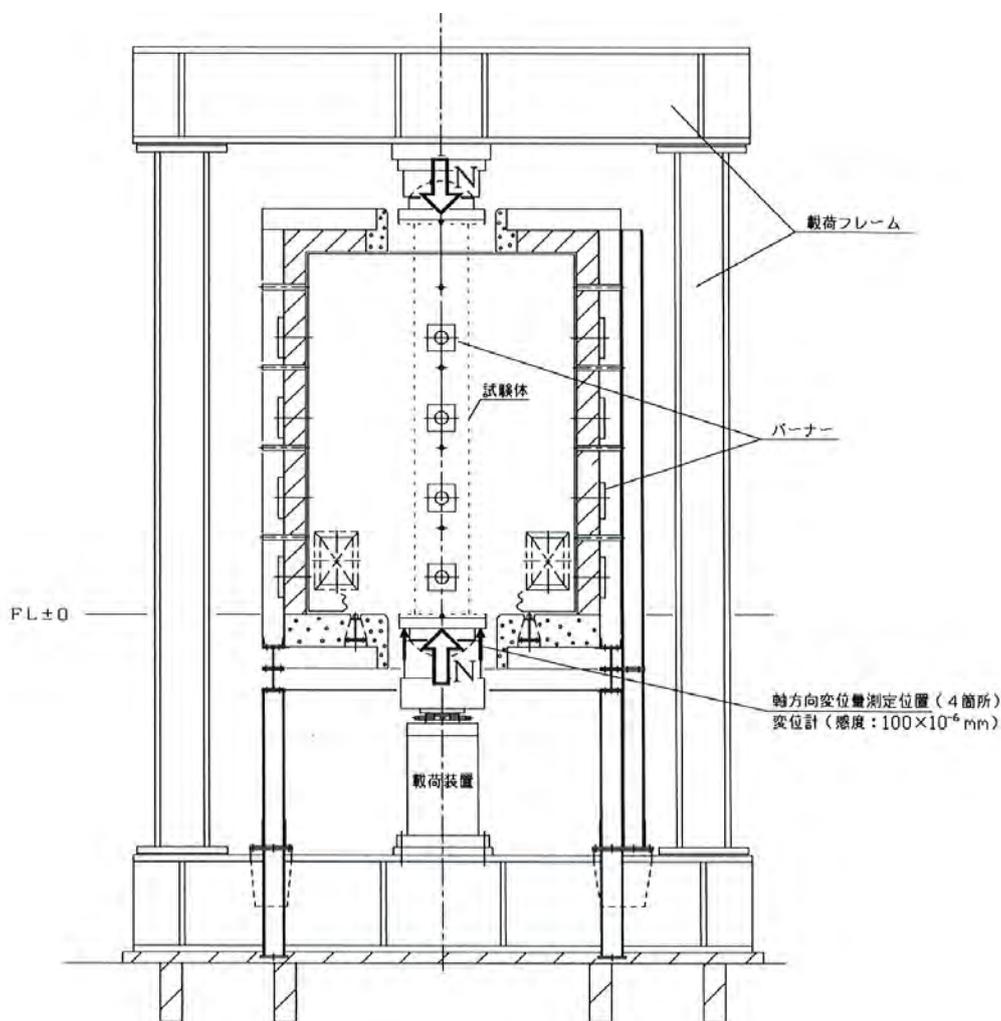


図 4.2.2.1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重Nは、長期許容圧縮応力度($f_c=7.553\text{N/mm}^2$)より算出した。

試験荷重 $N=7.553\text{N/mm}^2 \times 360000\text{mm}^2$ (有効断面積)=2719.2kN

ただし、 $F=20.6\text{N/mm}^2$, $l_k=3500\text{mm}$ (座屈長さ)とし、 f_c を算出した。

(3) 測定項目

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

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて 12 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

⑥その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 2. 2. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 600×600 mmの同一等級構成構造用集成材を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を製作時の様子を表 4.2.2.2-1～2 と図 4.2.2.2-1～5、写真 4.2.2.2-1～2 に示す。

表 4.2.2.2-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 同一等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 スギ・密度 0.412g/cm^3(気乾、実測値)・断面寸法 600×600
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 150kg/m^3・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 4.2.2.2-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

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

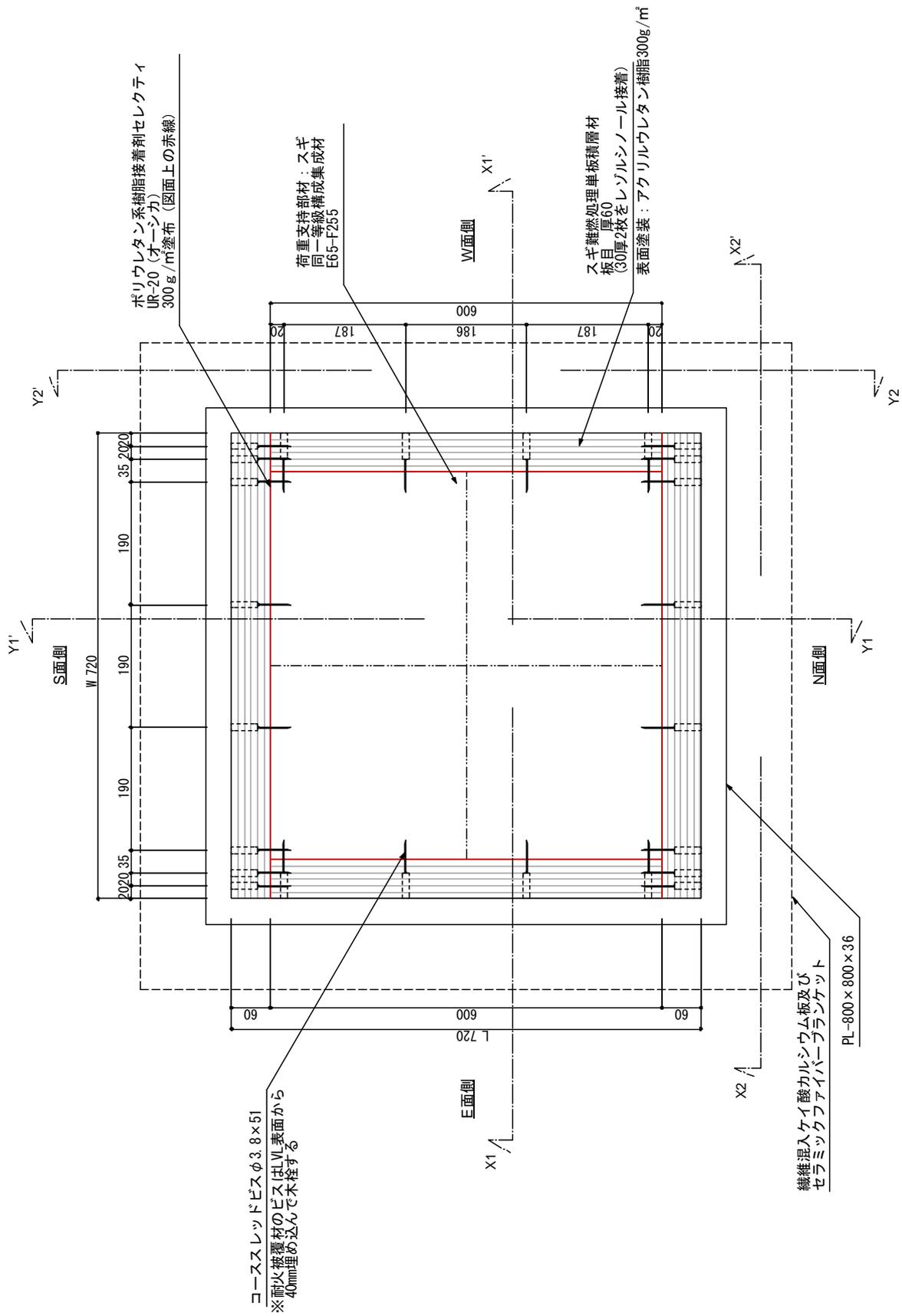


図 4.2.2.2-1 試験体の構造及び寸法

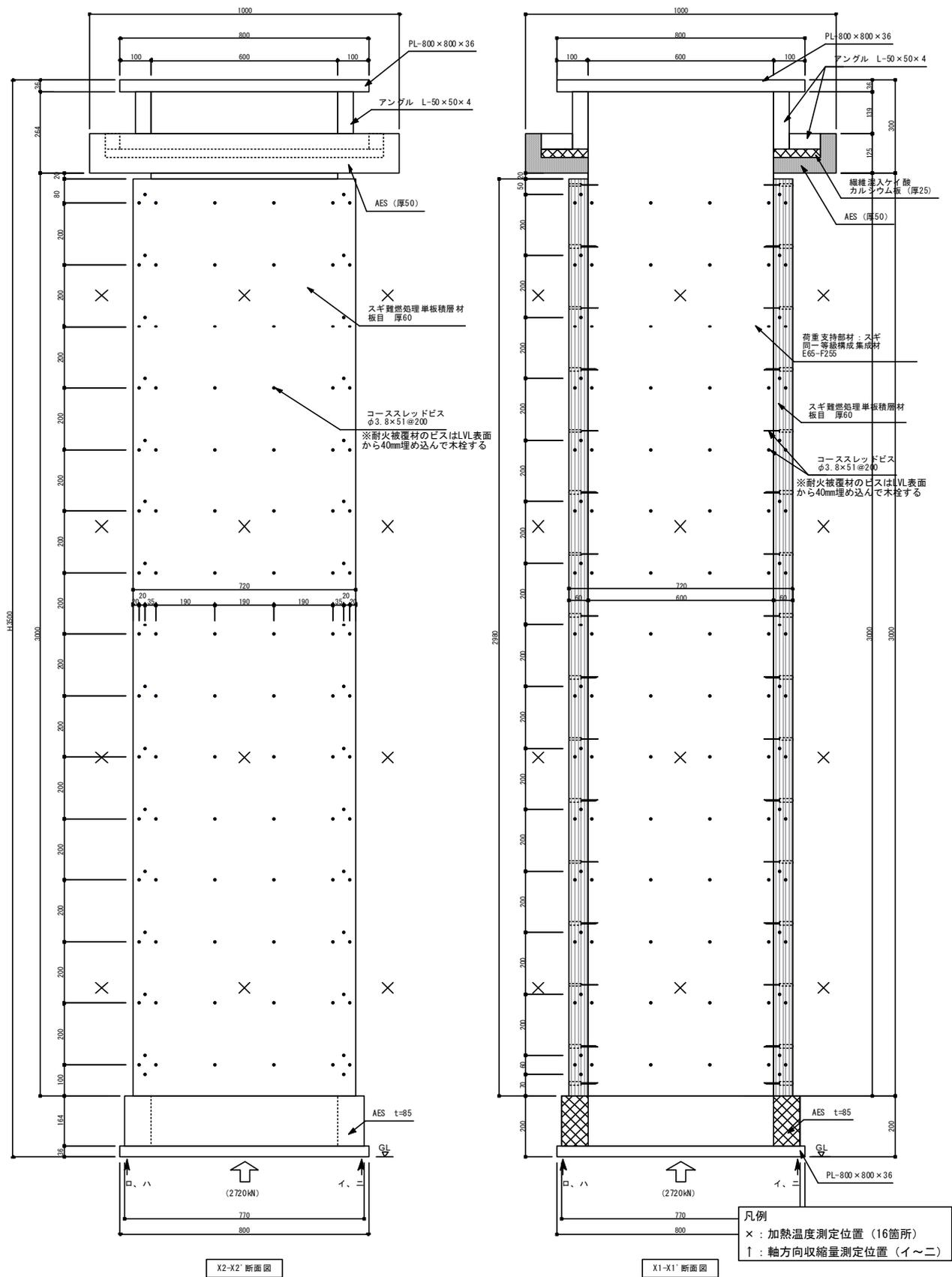


図 4.2.2.2-2 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (X 通り)

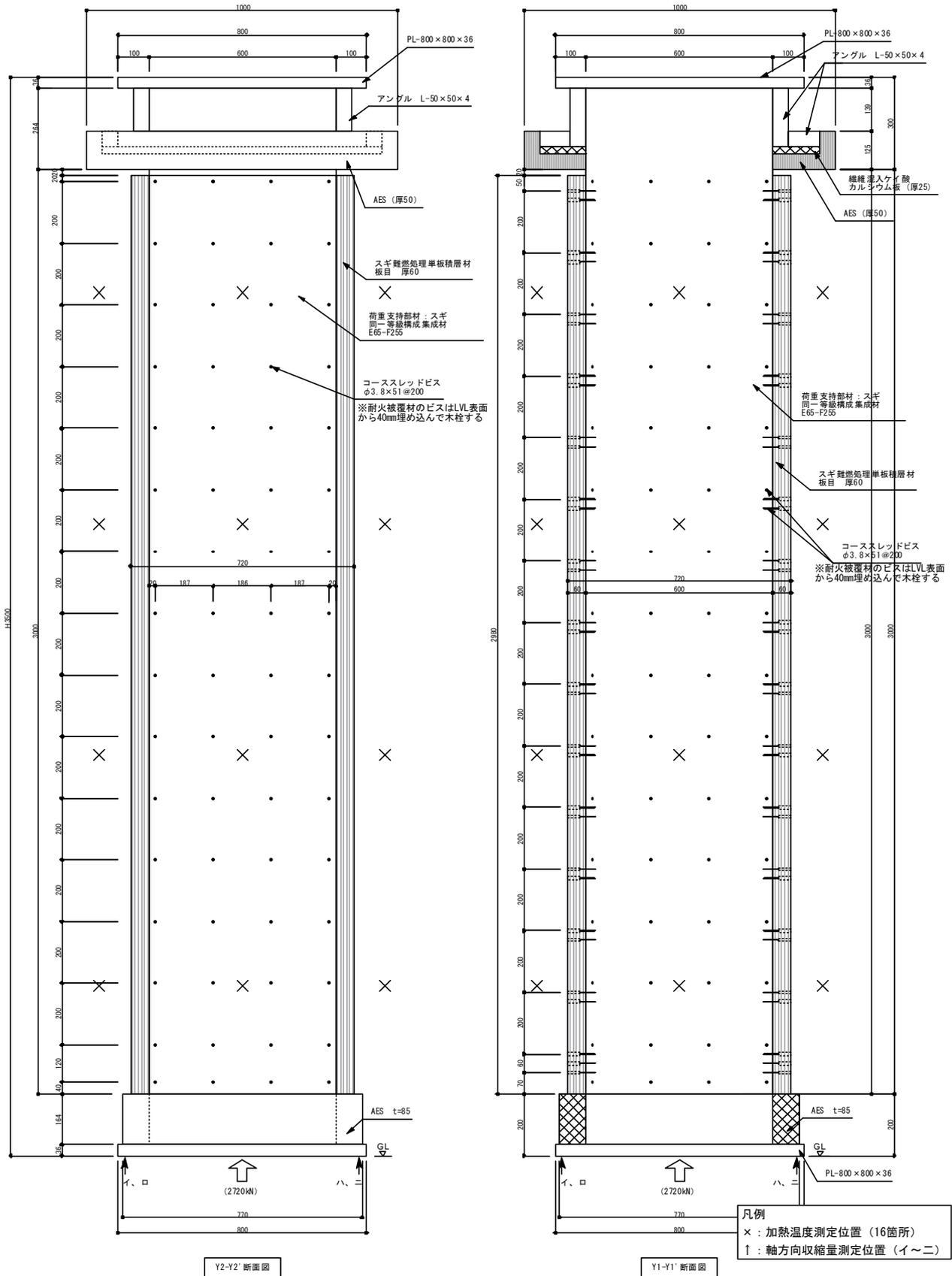


図 4.2.2.2-3 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (Y 通り)

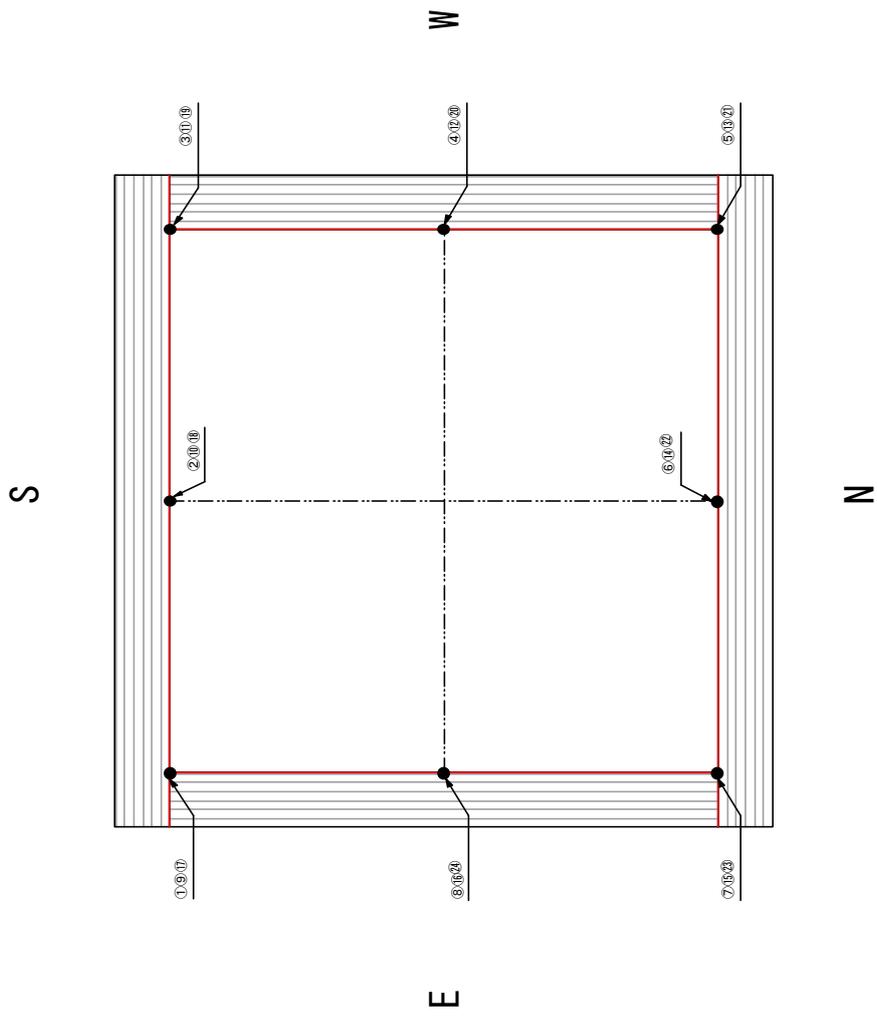


図 4.2.2.2-4 試験体の熱電対位置

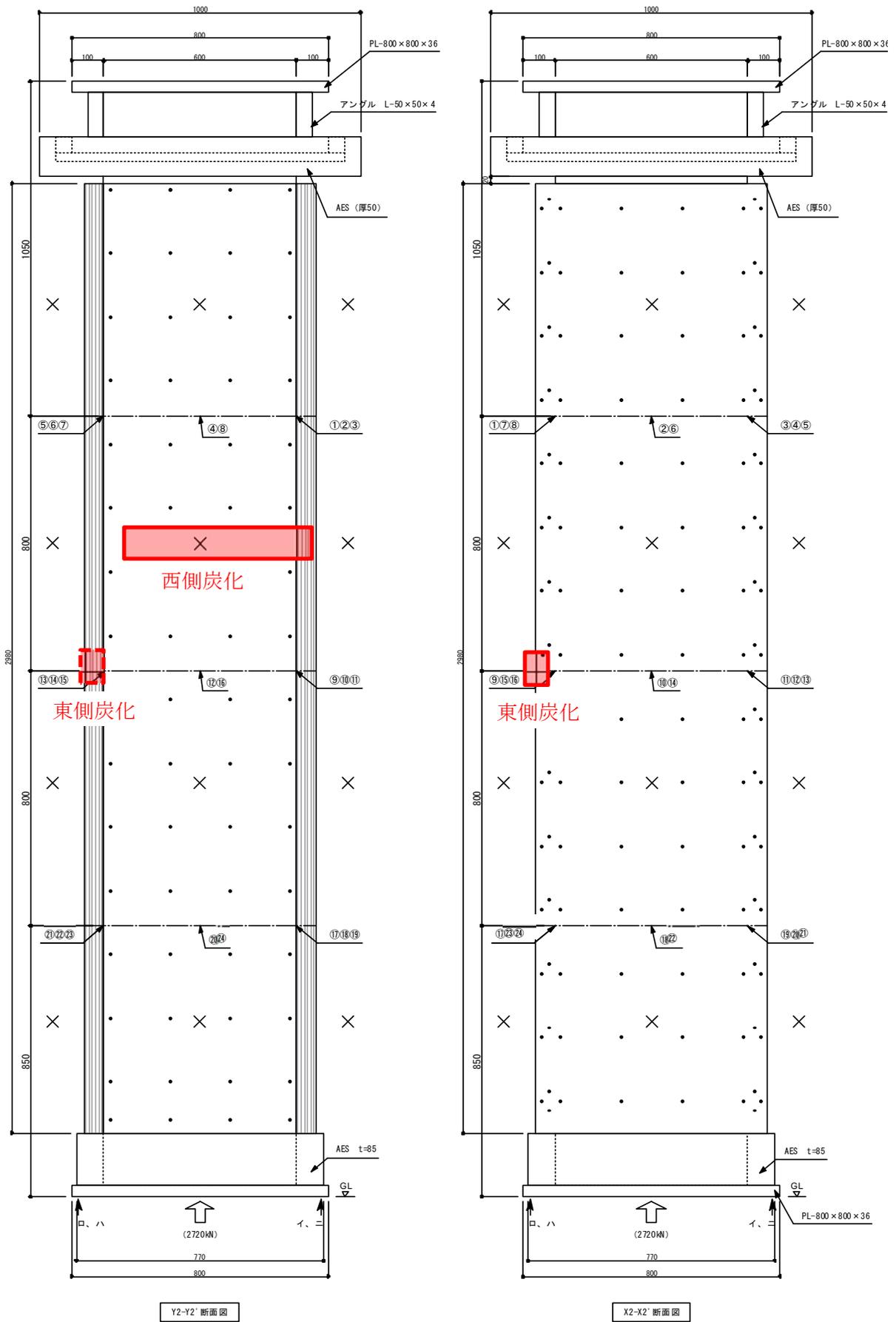


図 4.2.2.2-5 試験体の熱電対位置及び炭化場所



写真 4.2.2.2-1 製作時の様子①



写真 4.2.2.2-2 製作時の様子②

4. 2. 2. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後、約270分で電対温度が急激に上昇し始め、約300分で荷重支持部材が炭化していると判断したため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図4.2.2.3-1、軸方向収縮量測定結果を図4.2.2.3-2、熱電対の内部温度曲線を図4.2.2.3-3に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、下記の通りである。

柱(スギ集成材)： 11.74%で気乾密度は 0.412g/cm^3

上張材・下張材(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)：10.51%で気乾密度は 0.681g/cm^3

②炭化状況と記録写真を写真4.2.2.3-1～写真4.2.2.3-14に示す。

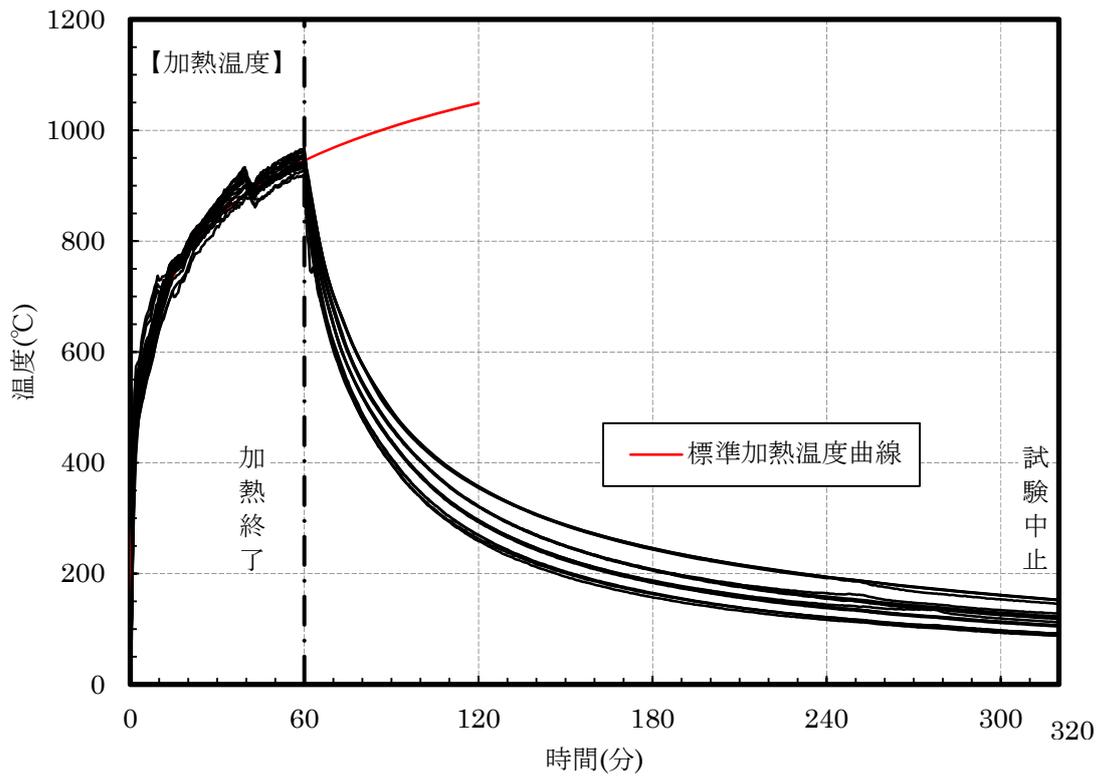


図 4.2.2.3-1 加熱温度測定結果

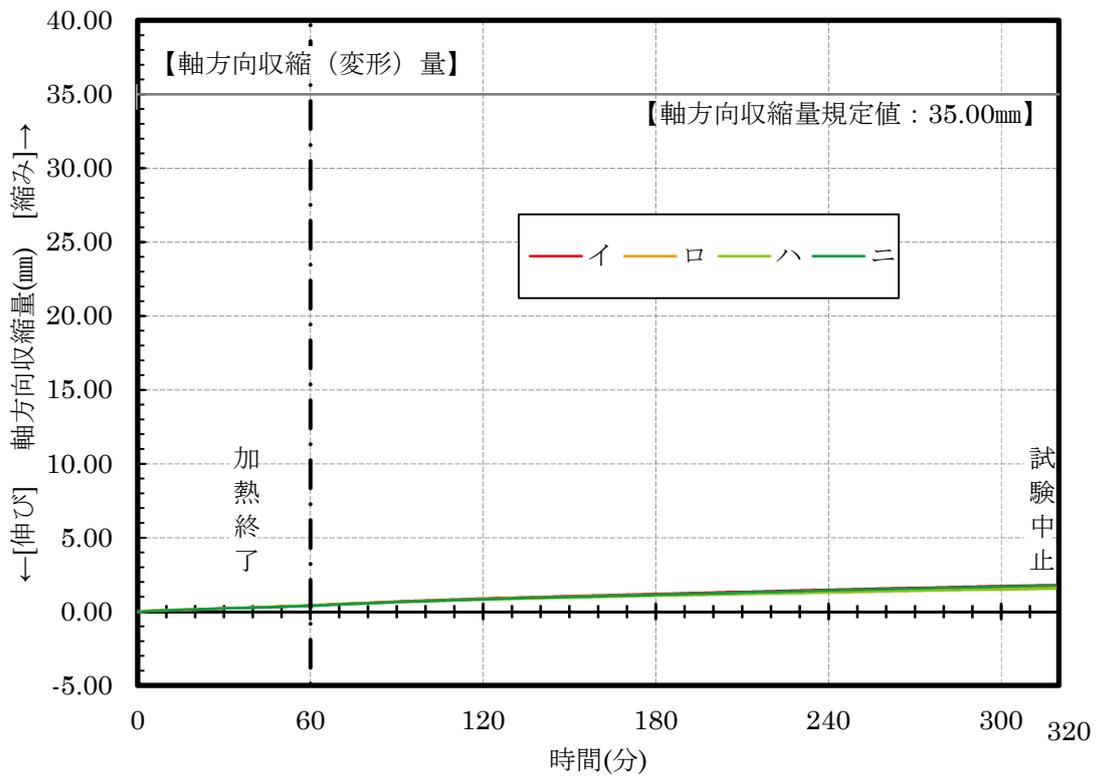


図 4.2.2.3-2 軸方向収縮量測定結果

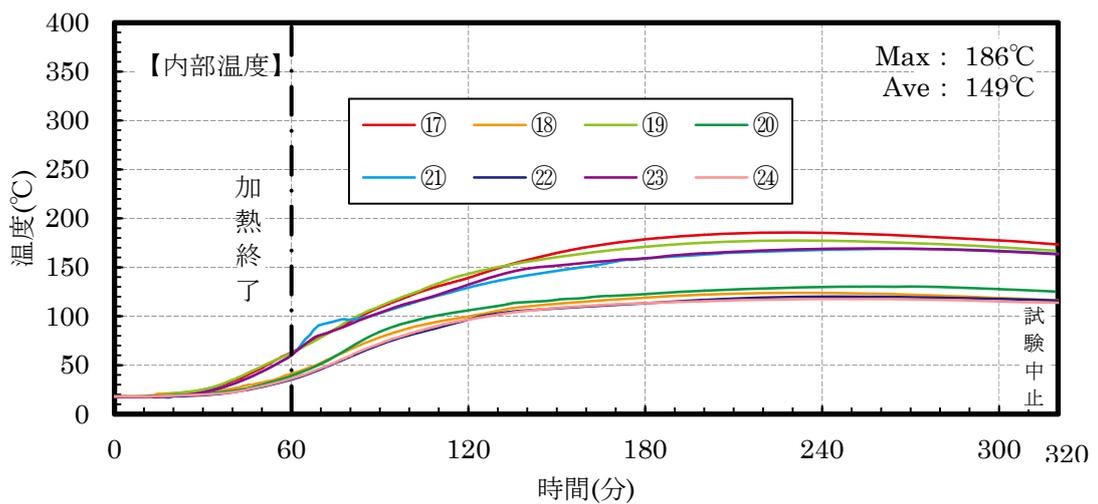
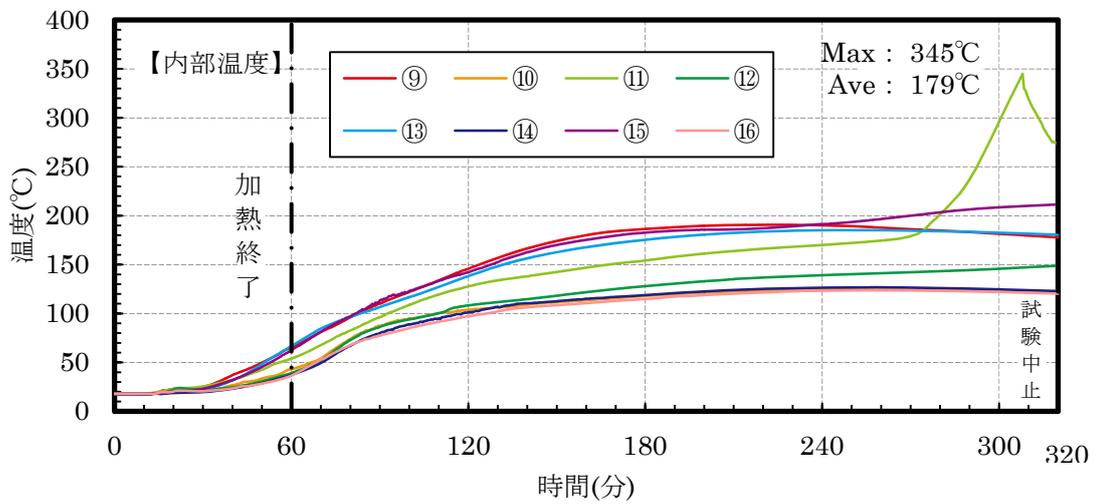
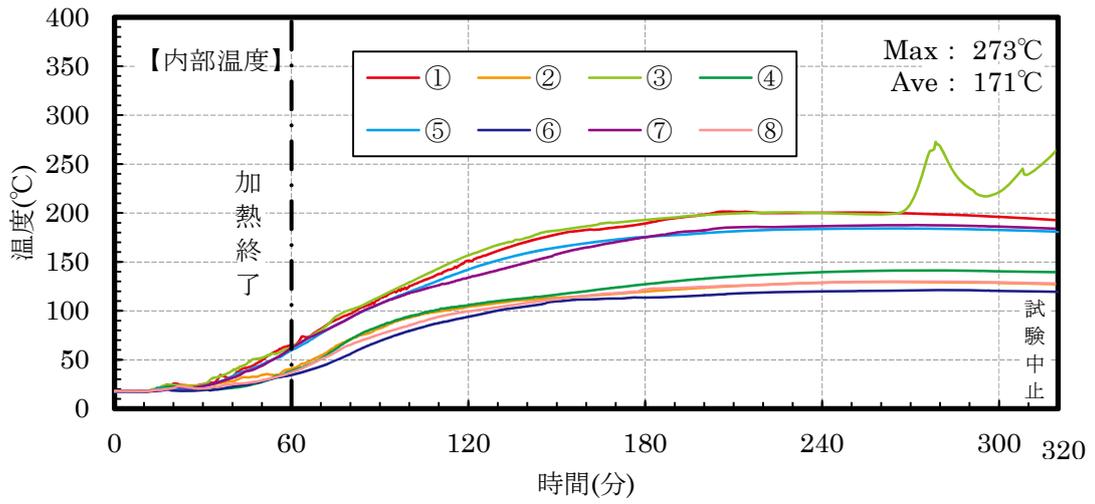


図 4.2.2.3-3 熱電対の内部温度曲線



写真 4.2.2.3-1 試験体設置状況



写真 4.2.2.3-2 試験体脱炉後の様子



写真 4.2.2.3-3 東面の脱炉後の試験体



写真 4.2.2.3-4 西面の脱炉後の試験体

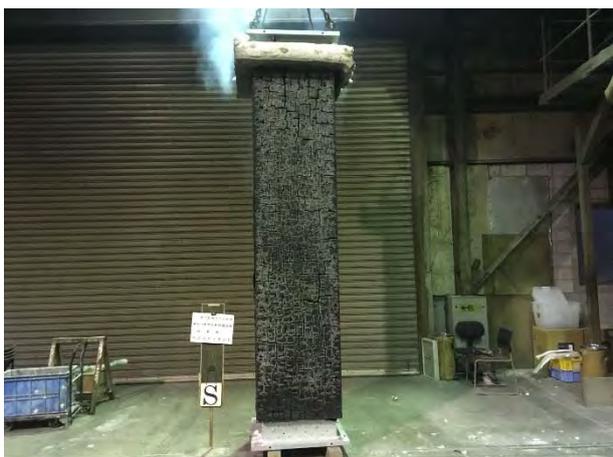


写真 4.2.2.3-5 南面の脱炉後の試験体



写真 4.2.2.3-6 北面の脱炉後の試験体



写真 4.2.2.3-7 西側上部の赤熱



写真 4.2.2.3-8 西側中央部の赤熱



写真 4.2.2.3-9 東北側中央部の赤熱



写真 4.2.2.3-10 西側燃え止り層の脱落



写真 4.2.2.3-11 西側角部の炭化



写真 4.2.2.3-12 西側平部の炭化



写真 4.2.2.3-13 炭化が進んでない断面



写真 4.2.2.3-14 西側断面の比較

(2) 実験結果の考察

加熱開始 270 分頃から南西側の中央部と上部に位置した角部熱電対温度が急激に上がってしまった。300℃を超えた時点で荷重支持部材に炭化が進んでいると判断し、試験を終了した。

断面を確認したところ上記の角部だけでなく、平部にも炭化が進んでいた。今回の結果から、被覆材の断面が大きくなったことによって注入した薬剤の分布にばらつきが大きかったのではないかと考えられる。また、合格した小断面試験体に比べてビスの間隔が広がったので数を増やすことも対策として検討できる。

4. 2. 3 1時間耐火柱予備試験（難燃処理単板積層材 60mm＋縦目地）

11月24日に行なった予備試験の（難燃処理単板積層材 60mm）結果を踏まえて、荷重支持部材炭化防止のために縦目地を入れた仕様で予備試験を行った。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は $150\text{kg}/\text{m}^3$ 以下を目標として、11月の試験と同じく 30mmの単板積層材を2次接着して耐火試験中の開き防止を図った。しかし、大断面であるため幅の広い材料の収縮や薬剤の分布にムラが生じないようにするため、難燃処理単板積層材の幅を狭くした。幅を狭くすることによって生じた隙間には不燃材料を入れた。この試験の結果を踏まえて、性能評価試験の断面仕様を計算することを一番の目標とした。

4. 2. 3. 1 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した4面加熱の試験体は、(一財)日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して荷重加熱試験を行った。図4.2.3.1-1に柱炉の試験装置図を示す。試験実施日は、平成29年2月6日であった。

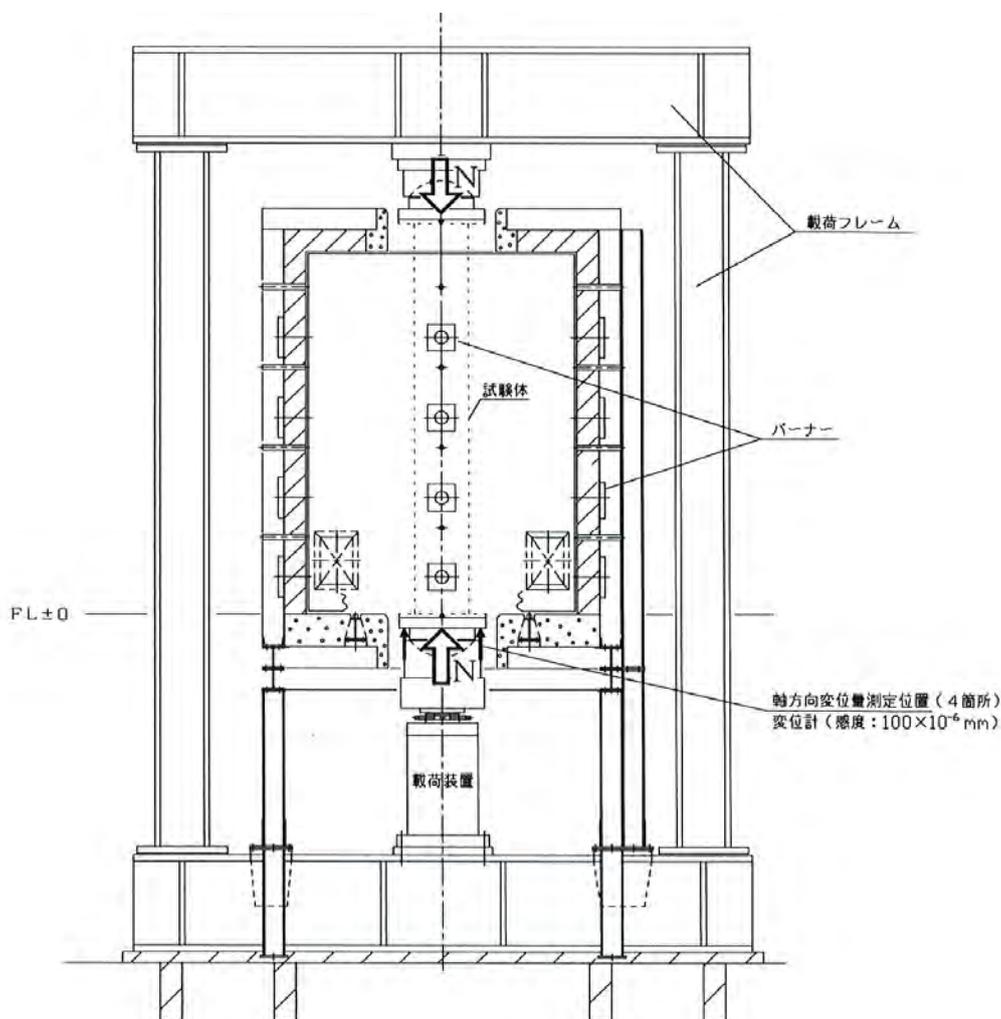


図 4.2.3.1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重Nは、長期許容圧縮応力度($f_c=7.553\text{N/mm}^2$)より算出した。

試験荷重 $N=7.553\text{N/mm}^2 \times 360000\text{mm}^2$ (有効断面積)=2719.2kN

ただし、 $F=20.6\text{N/mm}^2$, $l_k=3500\text{mm}$ (座屈長さ)とし、 f_c を算出した。

(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 12 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

⑥その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 2. 3. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 600×600 mmの同一等級構成構造用集成材を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を製作時の様子を表 4.2.3.2-1～2 と図 4.2.3.2-1～6、写真 4.2.3.2-1～2 に示す。

表 4.2.3.2-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 同一等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 スギ・密度 0.403g/cm^3(気乾、実測値)・断面寸法 600×600
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 150kg/m^3・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)
目地塞ぎ材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 150kg/m^3・厚さ 30・幅 65

目地充填材	<ul style="list-style-type: none"> ・材料名 スーパーウール HT ブランケット ・厚さ 6 ・密度 128kg/m³
-------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表 4.2.3.2-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
留付材	<p>[1]被覆材留付用</p> <p>[1]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ3.8 mm×L51 mm ・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300g/m² <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 カバ(広葉樹) ・寸法 φ8 <p>[1]-4 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 カバ(広葉樹) ・寸法 φ10 <p>[1]-5 目地塞ぎ材留付材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ3.5 mm×L32 mm ・留付間隔 200 以下
表面塗装	<p>アクリル・ウレタン樹脂系塗料</p> <ul style="list-style-type: none"> ・塗布量 300 g/m²

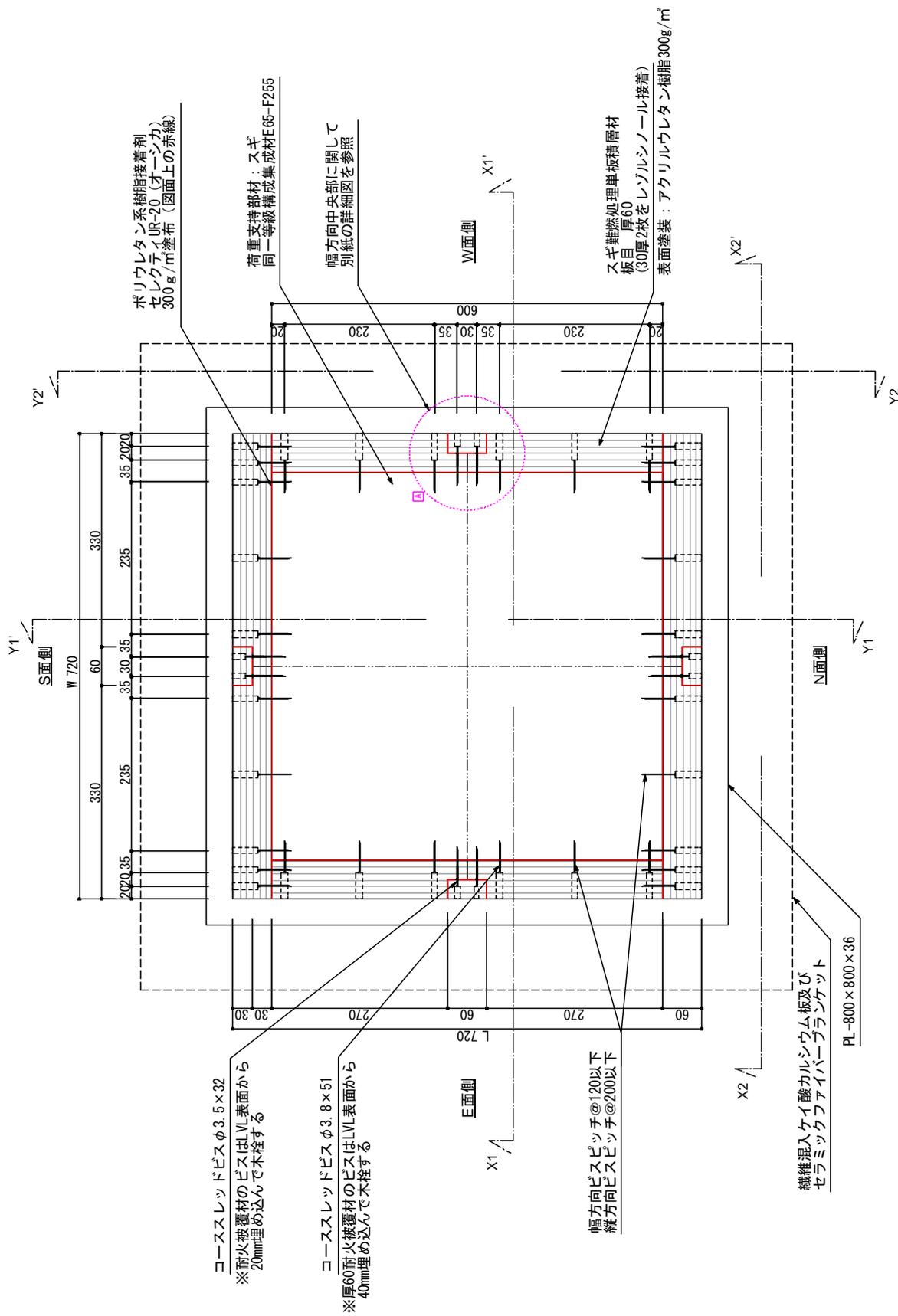


図 4.2.3.2-1 試験体の構造及び寸法

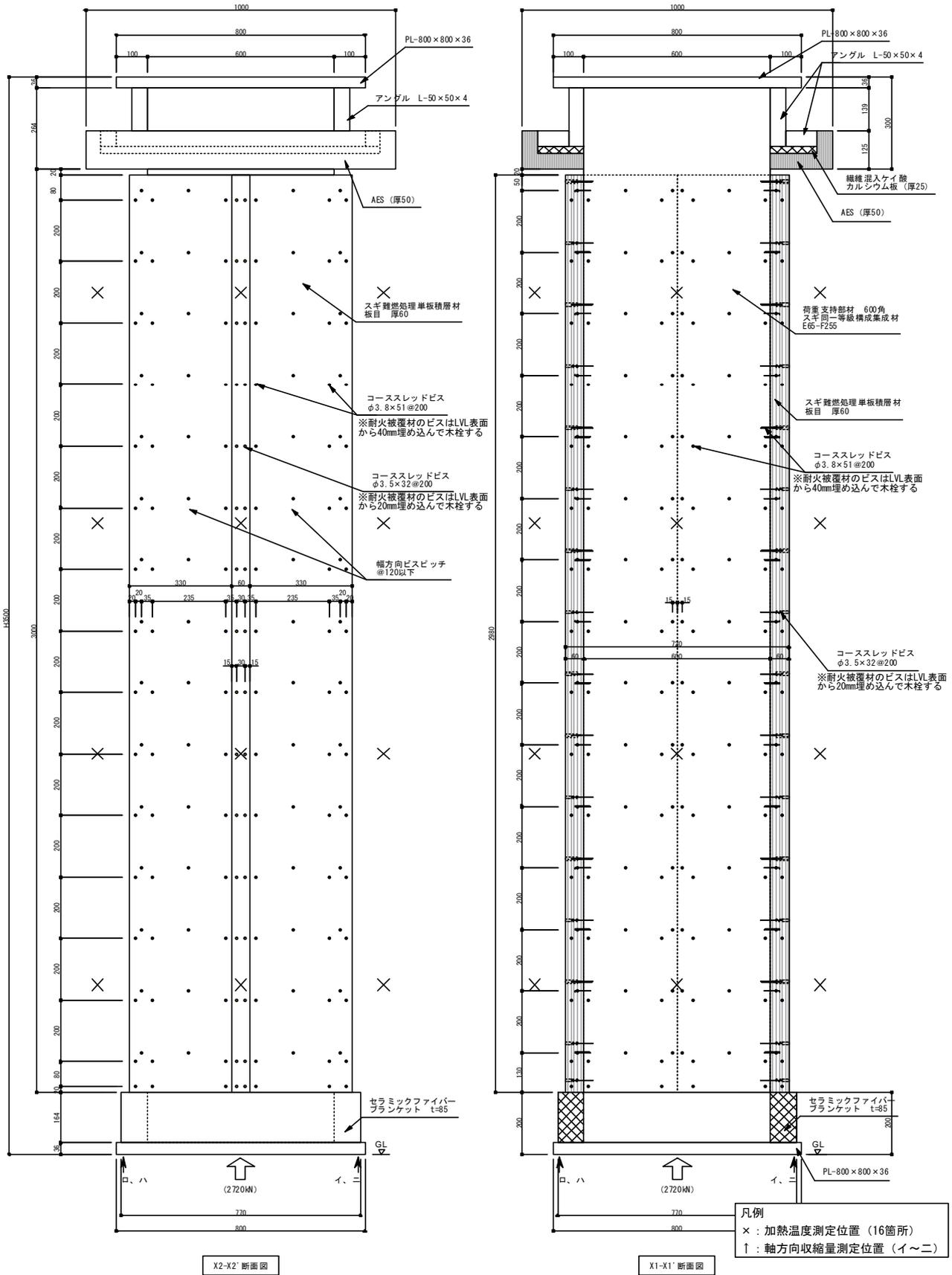


図 4.2.3.2-2 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (X 通り)

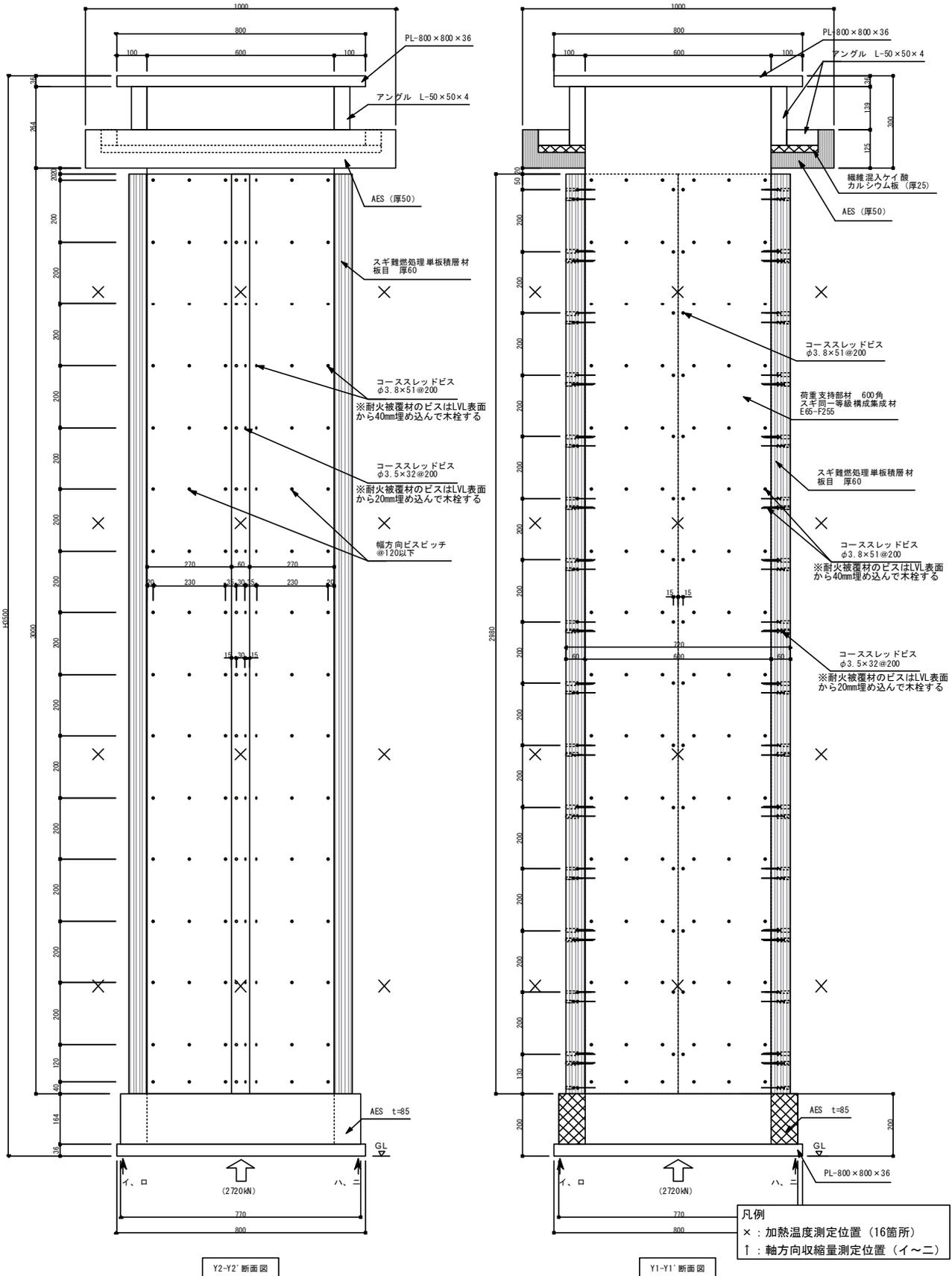


図 4.2.3.2-3 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (Y 通り)

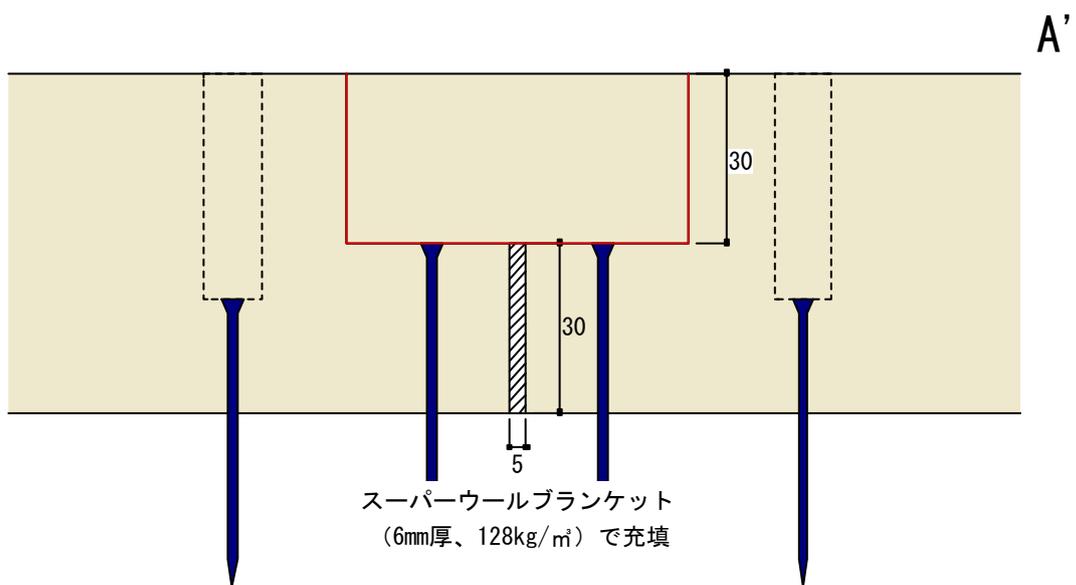
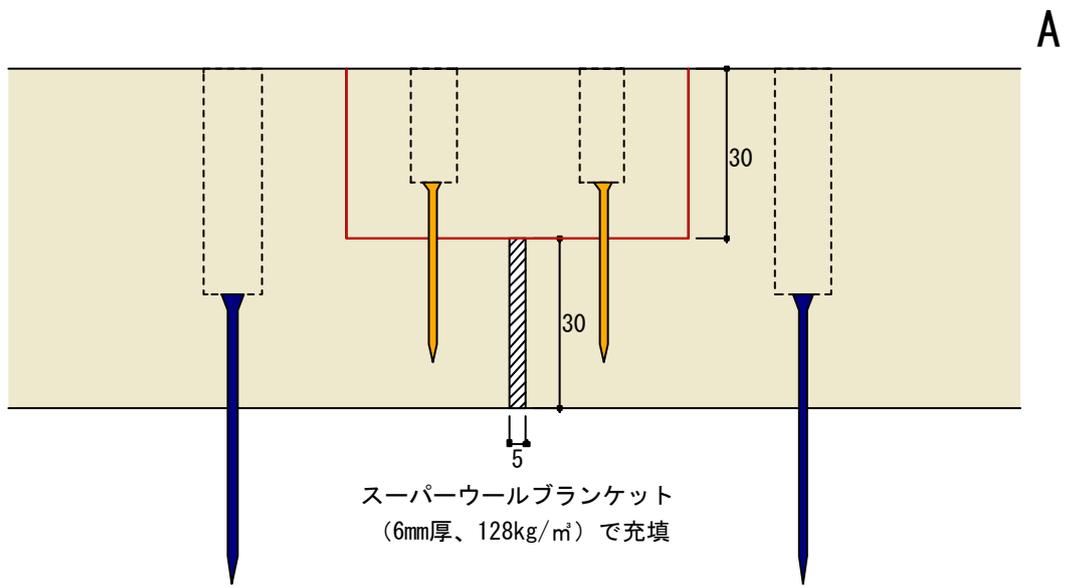


図 4.2.2.2-4 縦目地部の詳細図

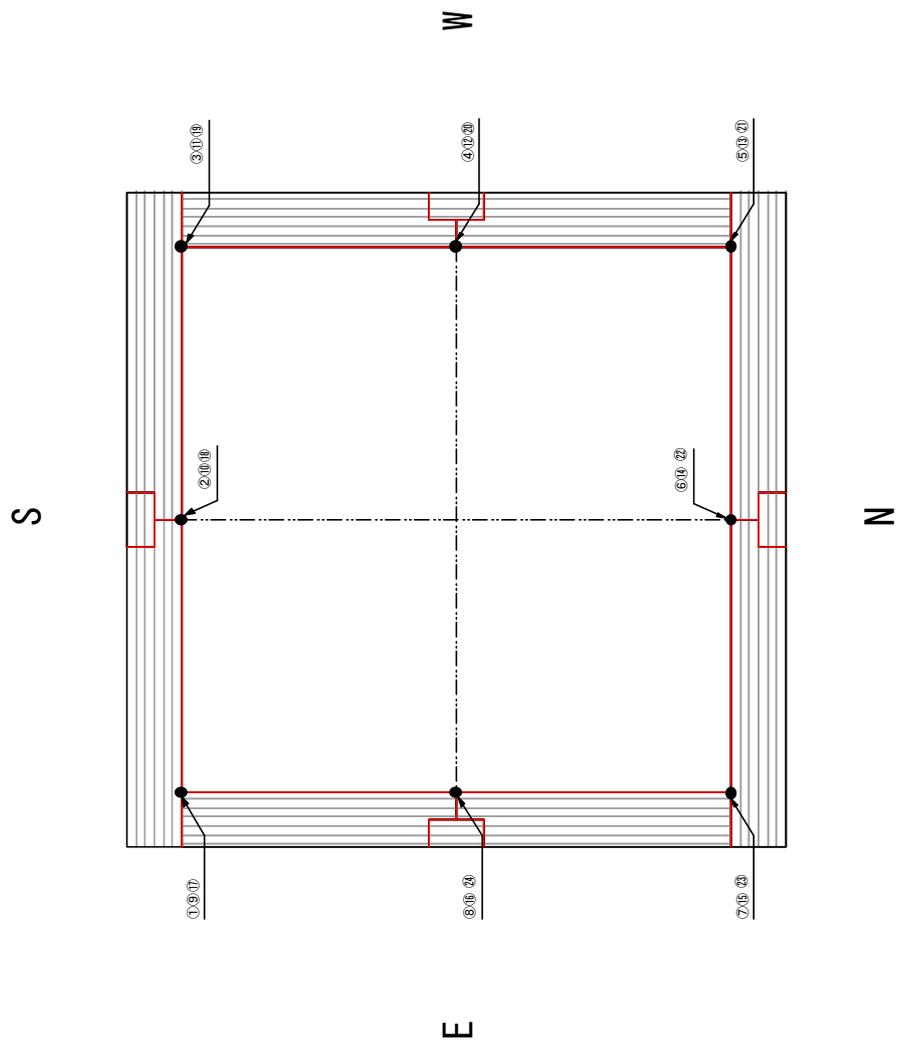
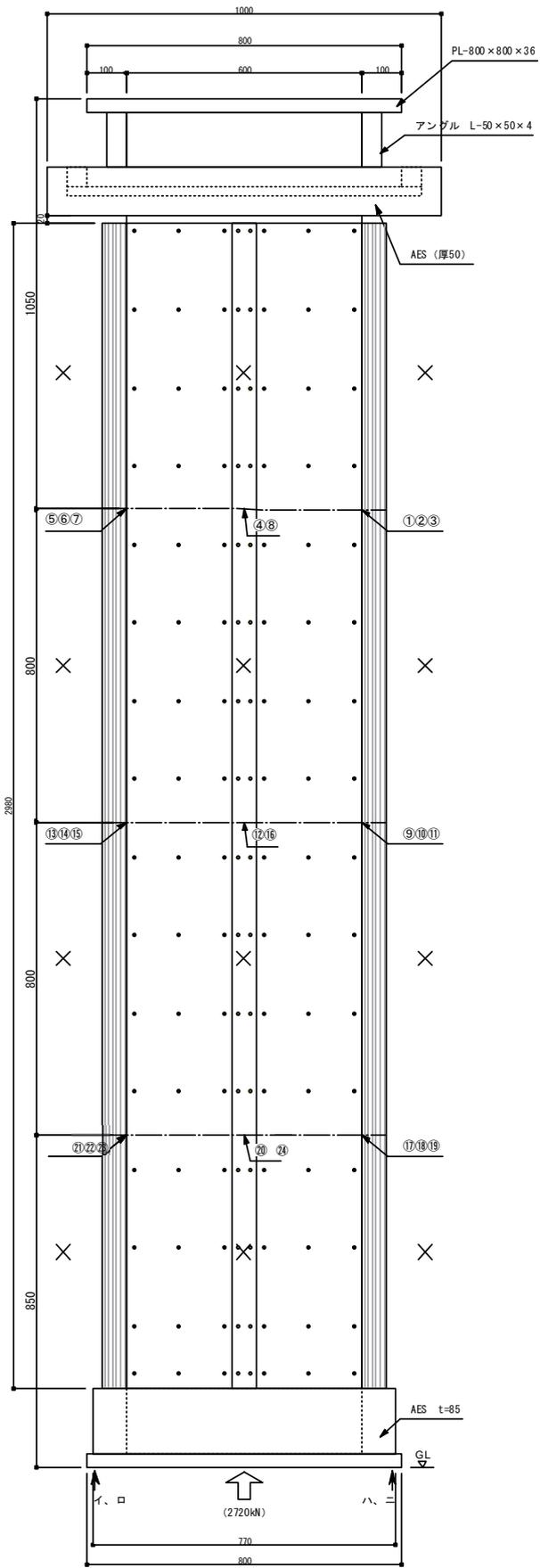
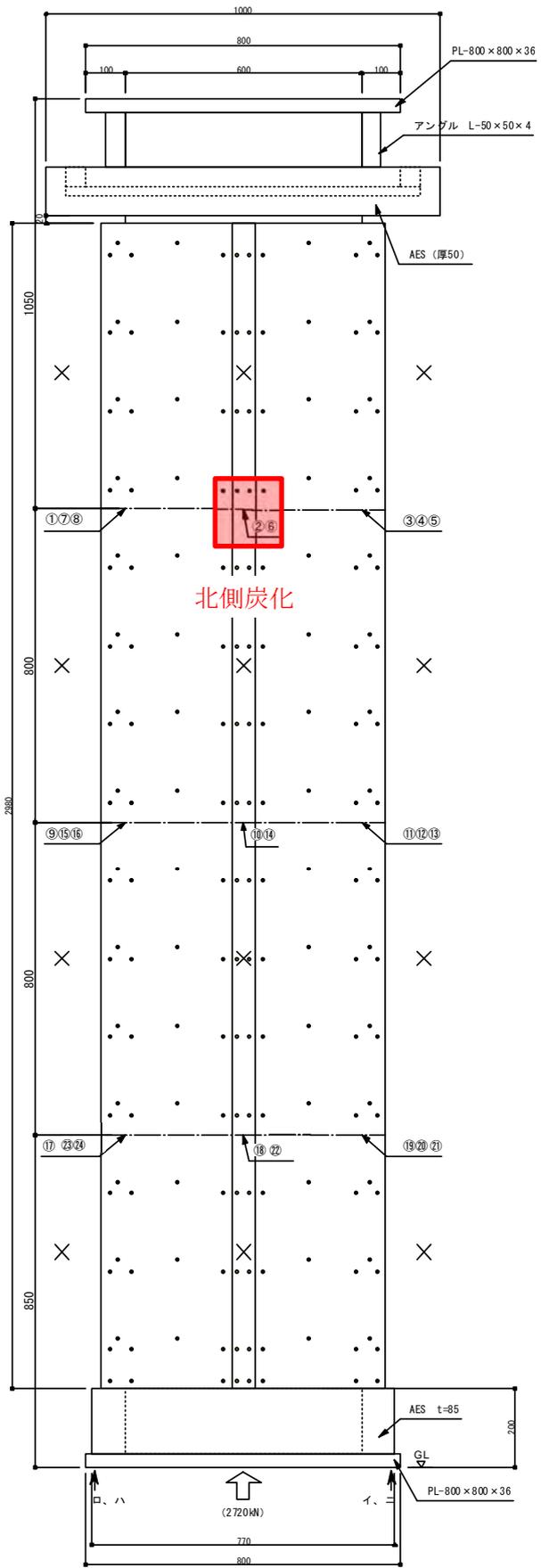


図 4.2.3.2-5 試験体の熱電対位置



Y2-Y2' 断面図



X2-X2' 断面図

図 4.2.3.2-6 試験体の熱電対位置及び炭化場所



写真 4.2.3.2-1 製作時の様子①



写真 4.2.3.2-2 製作時の様子②

4. 2. 3. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後、約150分で試験体の北側上部に位置した電対温度が上昇し始めた。約270分で他の電対温度の下降を確認した後も上昇し続けていたので、荷重支持部材が炭化していると判断したため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図4.2.3.3-1、軸方向収縮量測定結果を図4.2.3.3-2、熱電対の内部温度曲線を図4.2.3.3-3に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、下記の通りである。

柱(スギ集成材)： 10.36%で気乾密度は0.403g/cm³

被覆材 大(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 8.02%で気乾密度は0.652g/cm³

被覆材 小(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 8.37%で気乾密度は0.634g/cm³

目地塞ぎ材(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 10.75%で気乾密度は0.644g/cm³

②炭化状況と記録写真を写真4.2.3.3-1～写真4.2.3.3-12に示す。

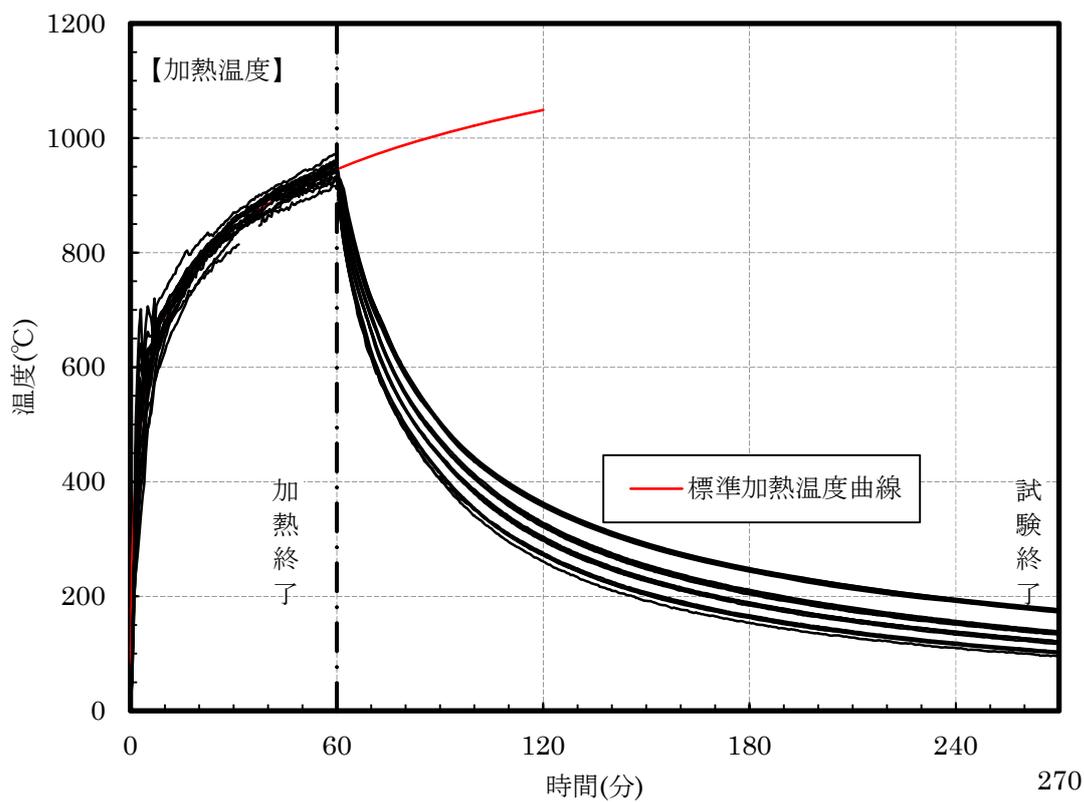


図 4.2.3.3-1 加熱温度測定結果

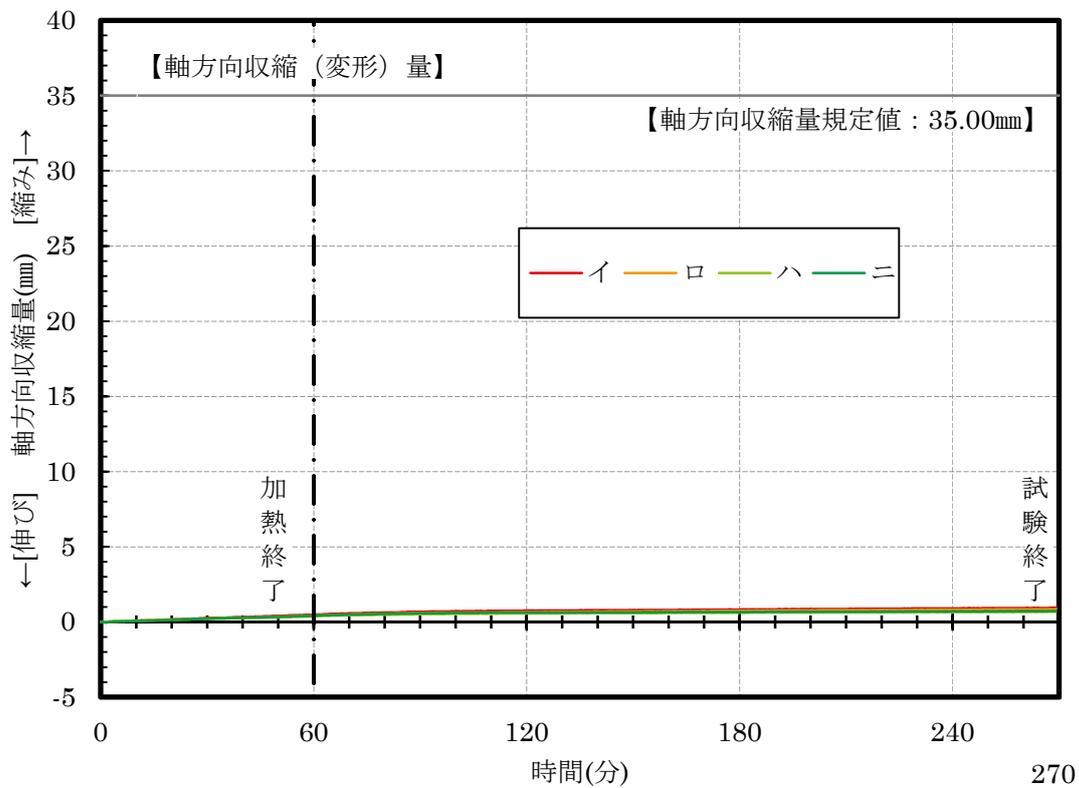


図 4.2.3.3-2 軸方向収縮量測定結果

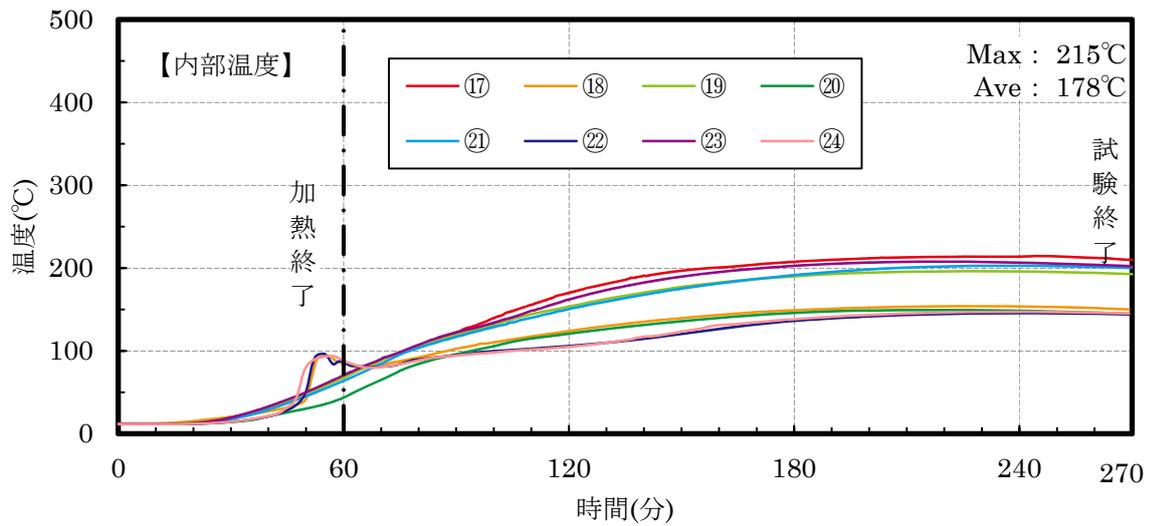
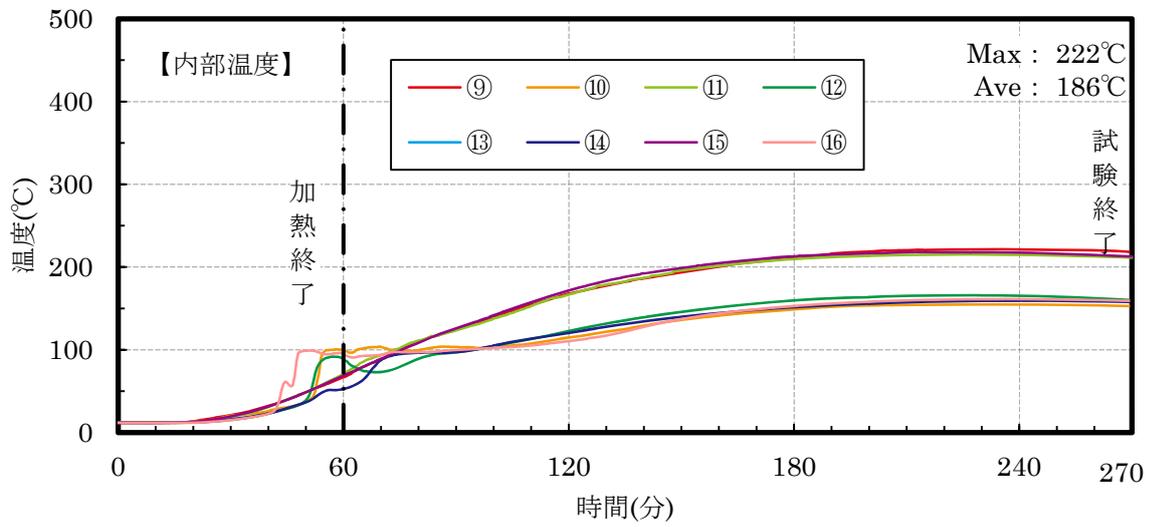
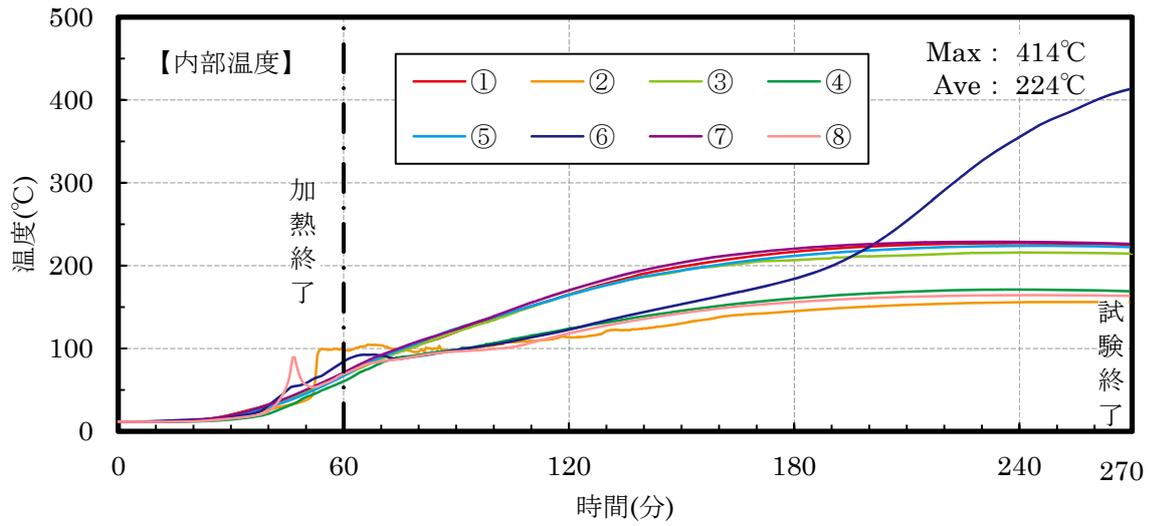


図 4.2.3.3-3 熱電対の内部温度曲線



写真 4.2.3.3-1 試験体設置状況



写真 4.2.3.3-2 試験体脱炉後の様子

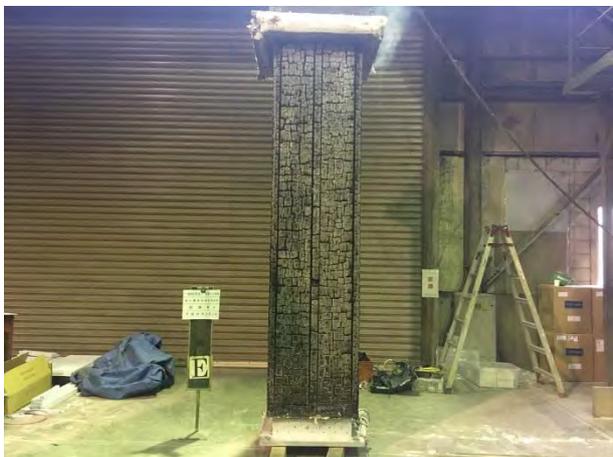


写真 4.2.3.3-3 東面の脱炉後の試験体



写真 4.2.3.3-4 西面の脱炉後の試験体

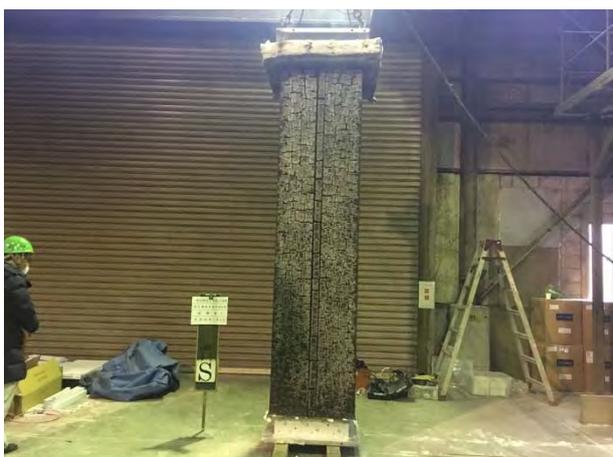


写真 4.2.3.3-5 南面の脱炉後の試験体

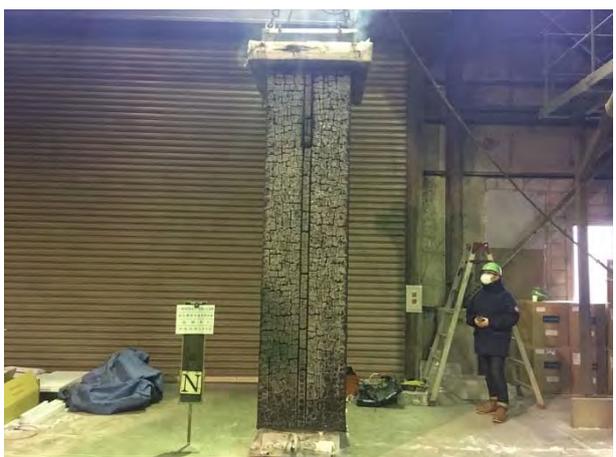


写真 4.2.3.3-6 北面の脱炉後の試験体



写真 4.2.3.3-7 北側上部の赤熱



写真 4.2.3.3-8 北側上部の炭化様子



写真 4.2.3.3-9 北側中央部の荷重支持部



写真 4.2.3.3-10 北側下部の荷重支持部



写真 4.2.3.3-11 北側上部の炭化状況



写真 4.2.3.3-12 北側中央部の炭化状況

(2) 実験結果の考察

炉内の熱電対 14 番 (32 分～37 分)、内部温度測定熱電対 13 番について、熱電対不良による欠測があった。

内部温度測定熱電対 6 番 (北側上部) が 120 分以降 400 度を超えて上昇し続けたが、他の計測点において温度の下降を確認した上で、270 分で試験を終了した。脱炉後に解体し、熱電対 6 番付近(北側上部付近)で荷重支持部材の炭化を確認した。

他の部分も荷重支持部材を解体して確認したところ、被覆していた難燃処理単板積層材が 20 mm 程度を残して燃え止っていたことが確認できた。

4. 3 性能評価試験

4. 3. 1 1 時間耐火柱性能評価試験(難燃処理単板積層材 60 mm)

予備試験(難燃処理単板積層材 50 mm+化粧材スギ板 15 mm)の結果を踏まえて、最低限の耐火性能を出すための試験体を製作した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は 150 kg/m^3 以下を目標にし、予備試験とは違って、30 mmの単板積層材を2次接着し、耐火試験中の開きを防止することと同時に、耐火試験中における試験体内部への熱伝達を遅らせる設計を施した。

4. 3. 1. 1 実験概要

1 時間耐火性能を目標に製作した4面加熱の試験体は、(一財)日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して载荷加熱試験を行った。図 4.3.1.1-1 に柱炉の試験装置図を示す。試験実施日は、平成 28 年 11 月 17 日であった。

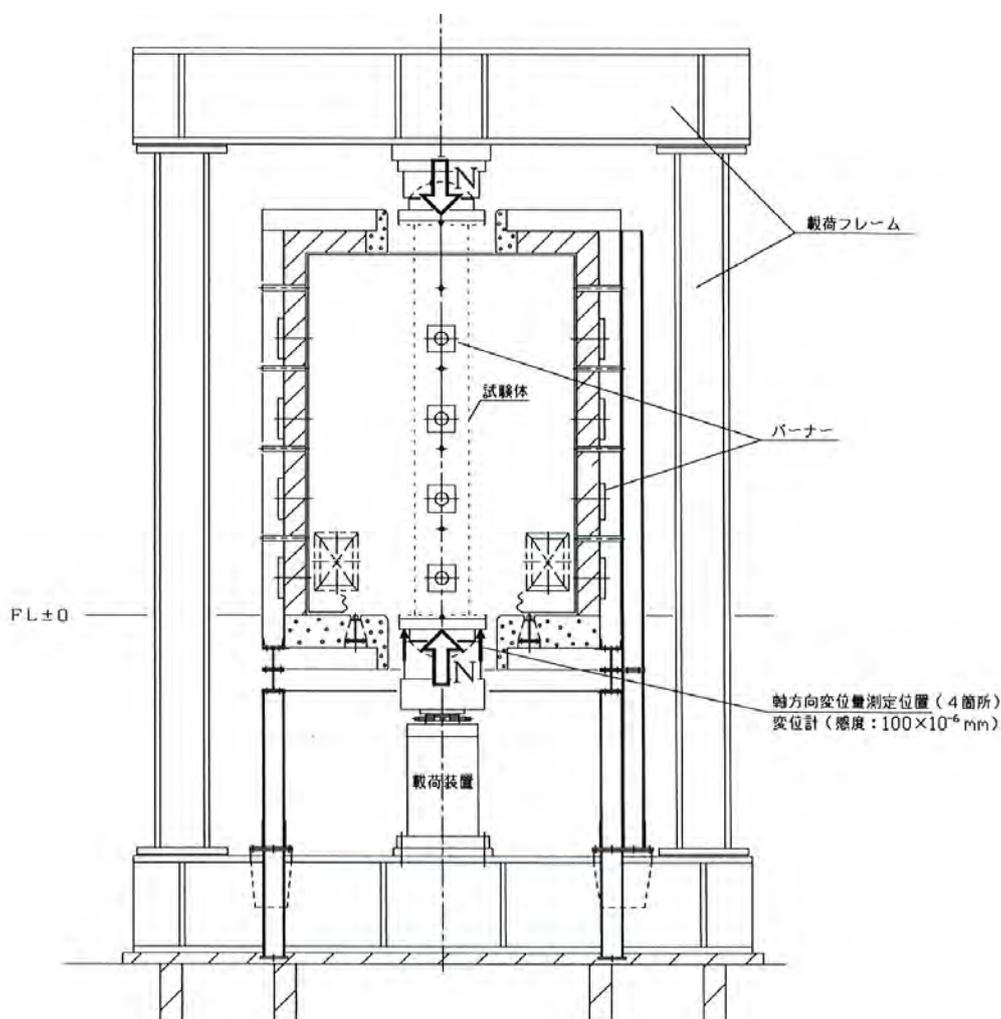


図 4.3.1.1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重Nは、長期許容圧縮応力度($f_c=3.716\text{N/mm}^2$)より算出した。

試験荷重 $N=3.716\text{N/mm}^2 \times 22500\text{mm}^2$ (有効断面積)= 83.8kN

ただし、 $F=20.6\text{N/mm}^2$, $l_k=3500\text{mm}$ (座屈長さ)とし、 f_c を算出した。

(3) 測定項目

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

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤ 含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて 12 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

⑥ その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 3. 1. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 150×150 mmの同一等級構成構造用集成材を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧と製作時の様子を表 4.3.1.2-1～2 と図 4.3.1.2-1～5、写真 4.3.1.2-1～2 に示す。

表 4.3.1.2-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 同一等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 スギ・密度 0.417g/cm^3(気乾、実測値)・断面寸法 150×150
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 150kg/m^3・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 4.3.1.2-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
留付材	<p>[1]被覆材留付用</p> <p>[1]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄(防錆処理 f をしたもの) ・寸法 $\phi 3.8 \text{ mm} \times L51 \text{ mm}$ ・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300 g/m^2 <p>[1]-3 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 カバ(広葉樹) ・寸法 $\phi 10$
表面塗装	<p>[1]アクリル・ウレタン樹脂系塗料</p> <ul style="list-style-type: none"> ・塗布量 300 g/m^2

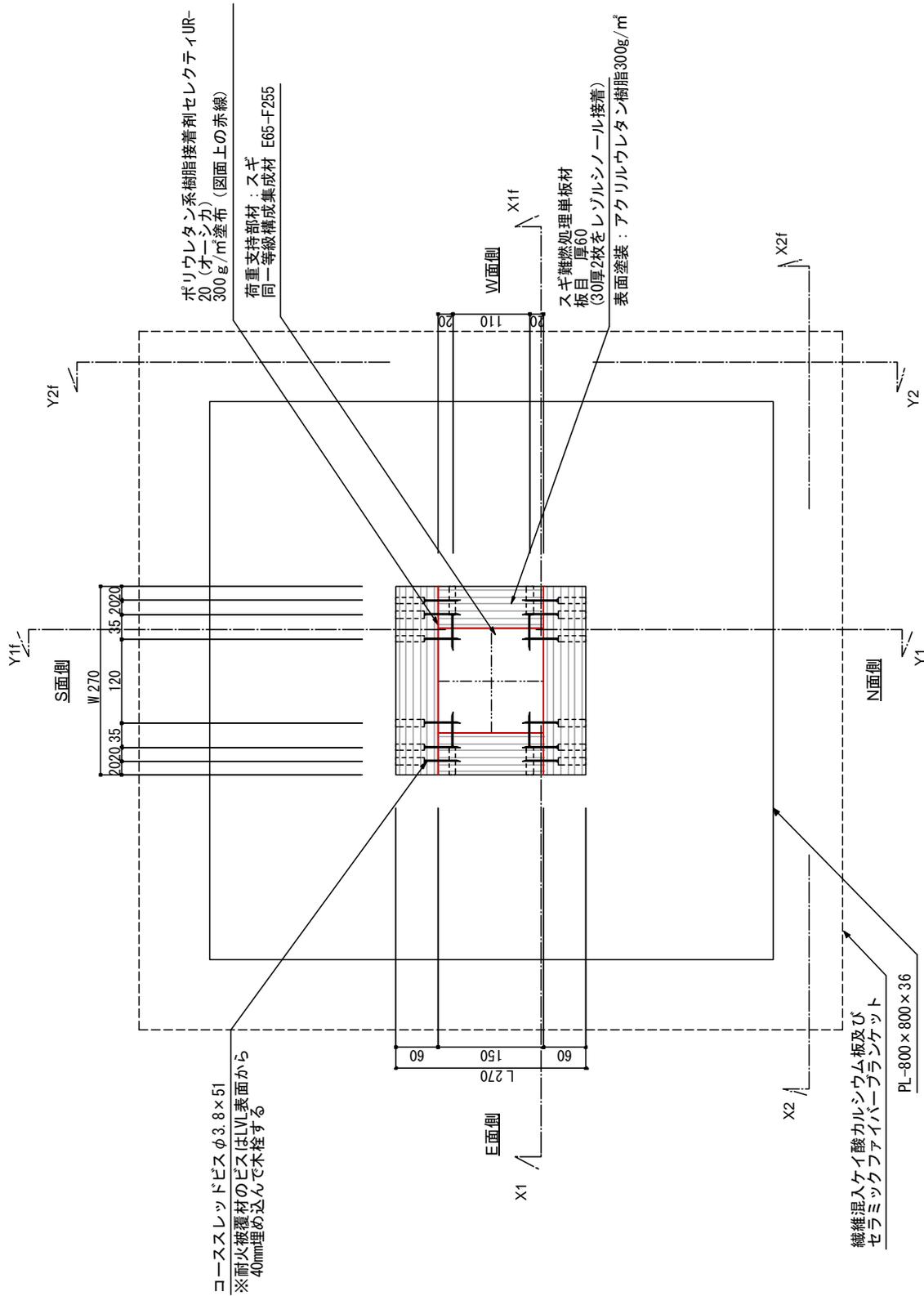


図 4.3.1.2-1 試験体の構造及び寸法

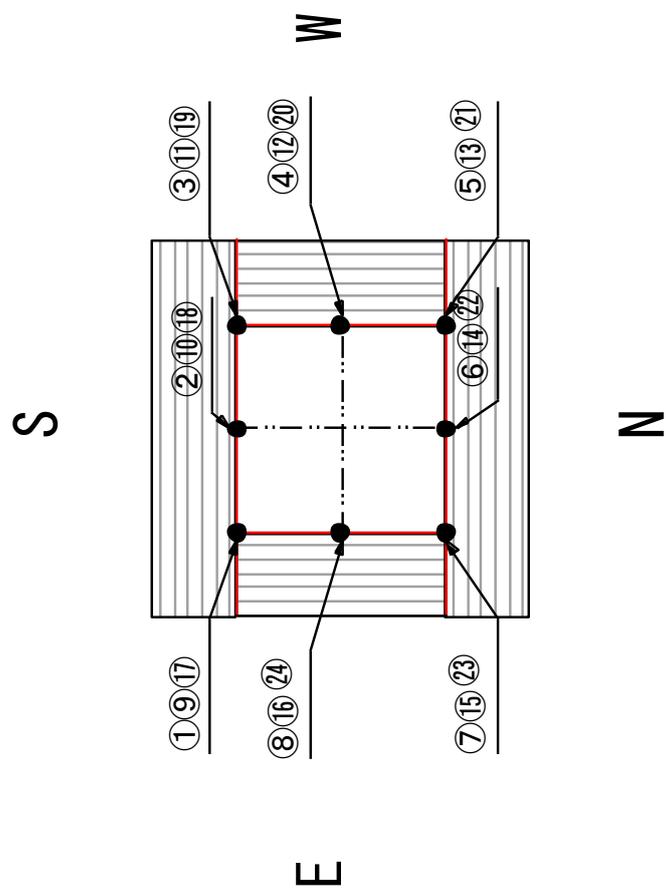


図 4.3.1.2-4 試験体の熱電対位置①

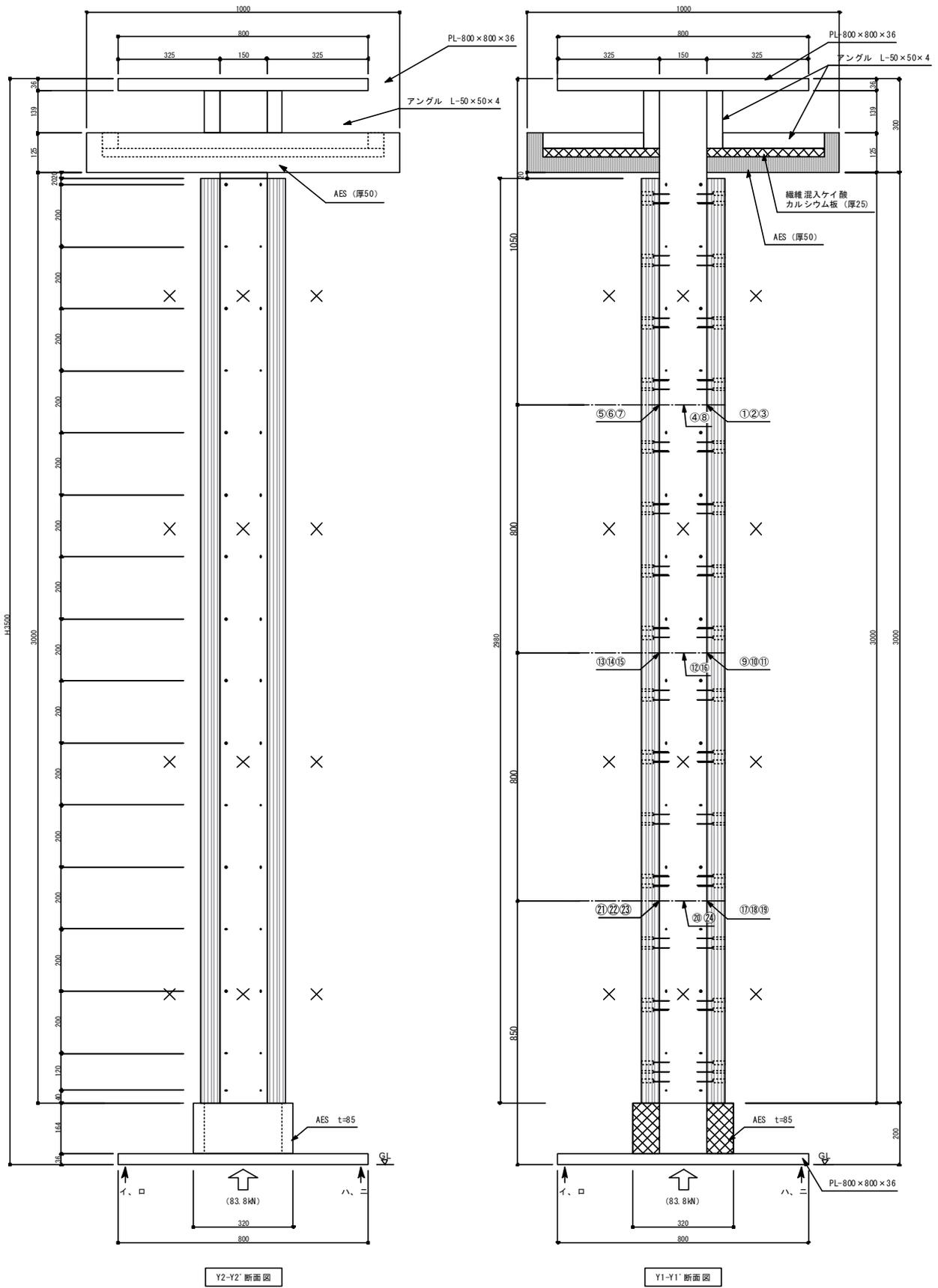


図 4.3.1.2-5 試験体の熱電対位置②



写真 4.3.1.2-1 製作時の様子①



写真 4.3.1.2-1 製作時の様子②

4. 3. 1. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後 375 分で軸方向収縮量の安定と内部温度の低下が見られたため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図 4.3.1.3-1、軸方向収縮量測定結果を図 4.3.1.3-2、熱電対の内部温度曲線を図 4.3.1.3-3 に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、下記の通りである。

柱(スギ集成材)： 11.03%で気乾密度は 0.417g/cm^3

被覆材(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 8.79%で気乾密度は 0.628g/cm^3

②炭化状況と記録写真を写真4.3.1.3-1～写真4.3.1.3-10に示す。

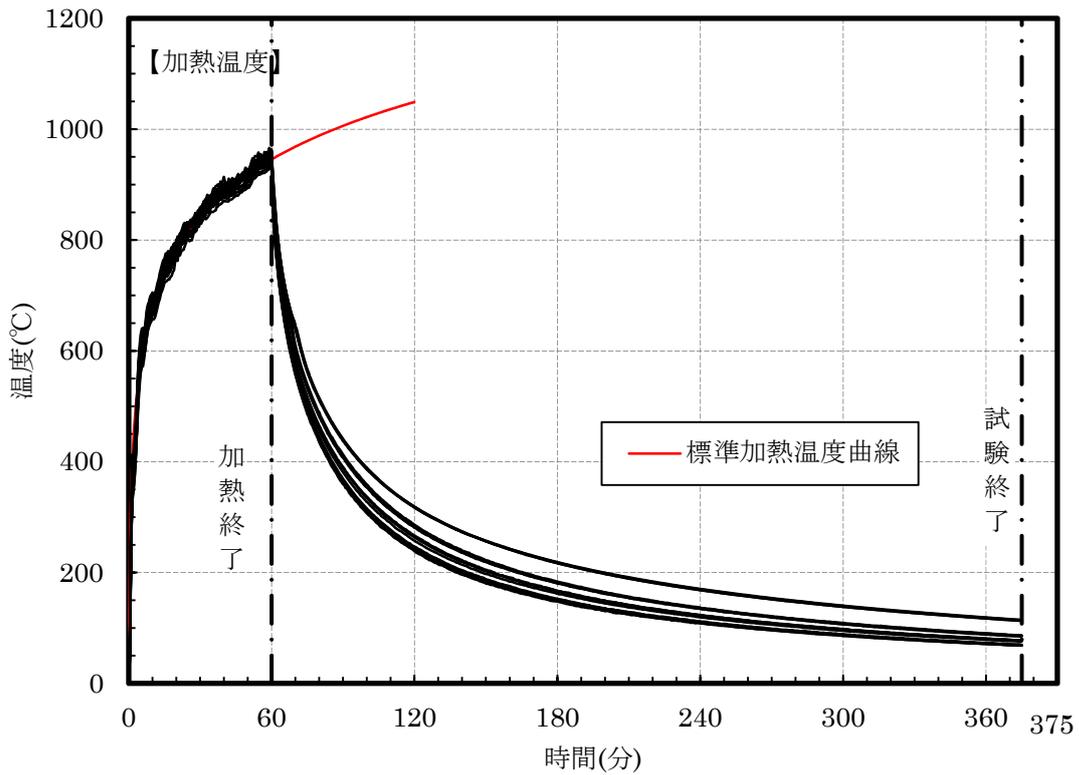


図 4.3.1.3-1 加熱溫度測定結果

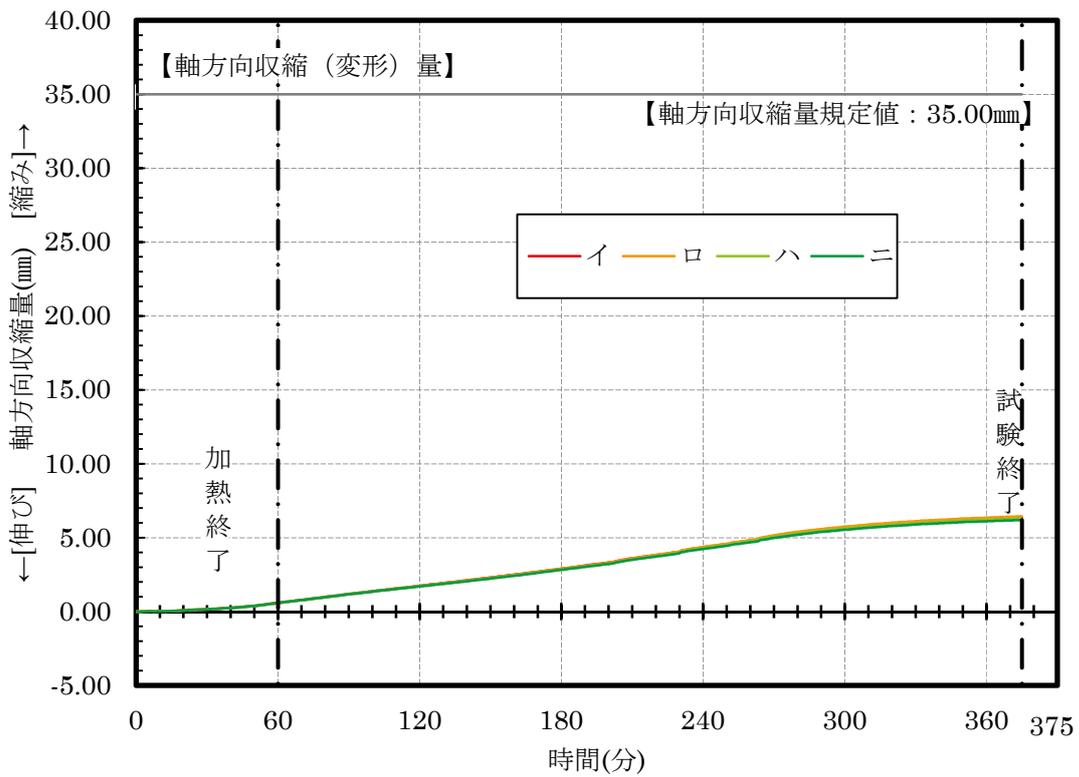


図 4.3.1.3-2 軸方向収縮量測定結果

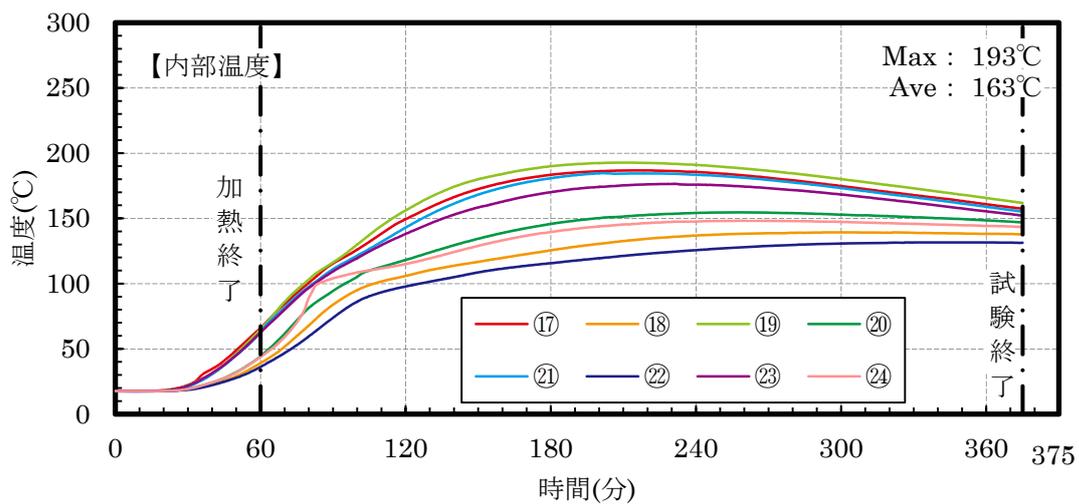
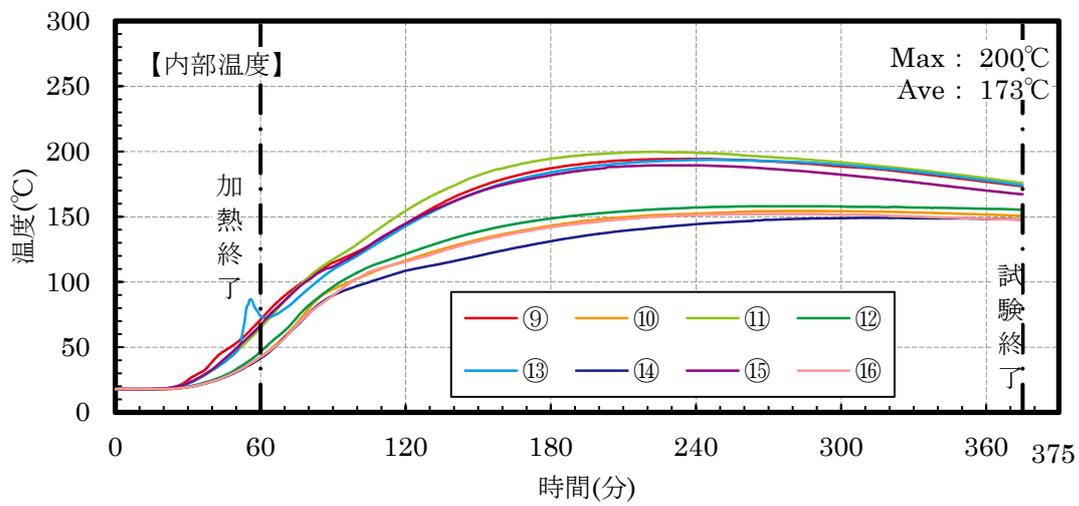
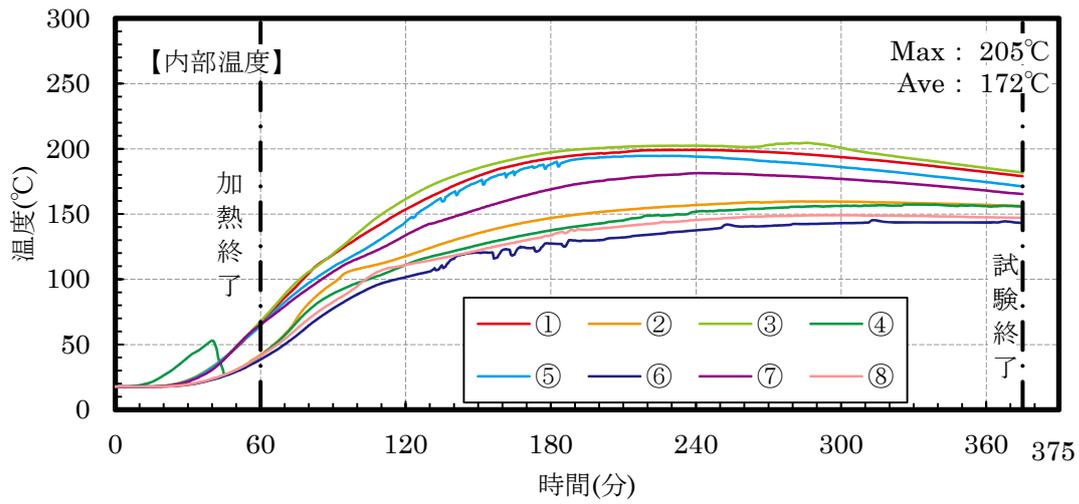


図 4.3.1.3-3 熱電対の内部温度曲線



写真 4.3.1.3-1 試験体設置状況



写真 4.3.1.3-2 試験体脱炉後の様子



写真 4.3.1.3-3 東面の脱炉後の試験体



写真 4.3.1.3-4 西面の脱炉後の試験体

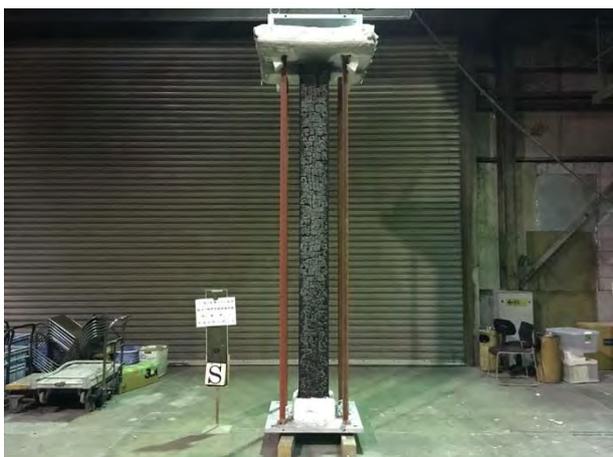


写真 4.3.1.3-5 南面の脱炉後の試験体



写真 4.3.1.3-6 北面の脱炉後の試験体



写真 4.3.1.3-7 木ダボの炭化状況



写真 4.3.1.3-8 柱下部断面



写真 4.3.1.3-9 柱中央部断面



写真 4.3.1.3-10 柱上部断面

(2) 実験結果の考察

被覆材として使った、りん・窒素系薬剤処理単板積層材の温度変化は最高 205℃であり、順調な下がり方が見られた。内部温度の低下及び変形速度の安定を確認して、375 分で試験を終了した。

試験後の解体で荷重支持部材の炭化がないことが確認できた。

4. 3. 2 1時間耐火柱性能評価試験(難燃処理単板積層材 60 mm)

平成28年11月17日に実施した1体目の性能評価試験に続いて、2体目の試験体を製作した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は 150 kg/m^3 以下を目標にし、予備試験とは違って、30 mmの単板積層材を2次接着し、耐火試験中の開きを防止することと同時に、耐火試験中における試験体内部への熱伝達を遅らせる設計を施した。

4. 3. 2. 1 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した4面加熱の試験体は、(一財)日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して荷重加熱試験を行った。図4.3.2.1-1に柱炉の試験装置図を示す。試験実施日は、平成29年1月10日であった。

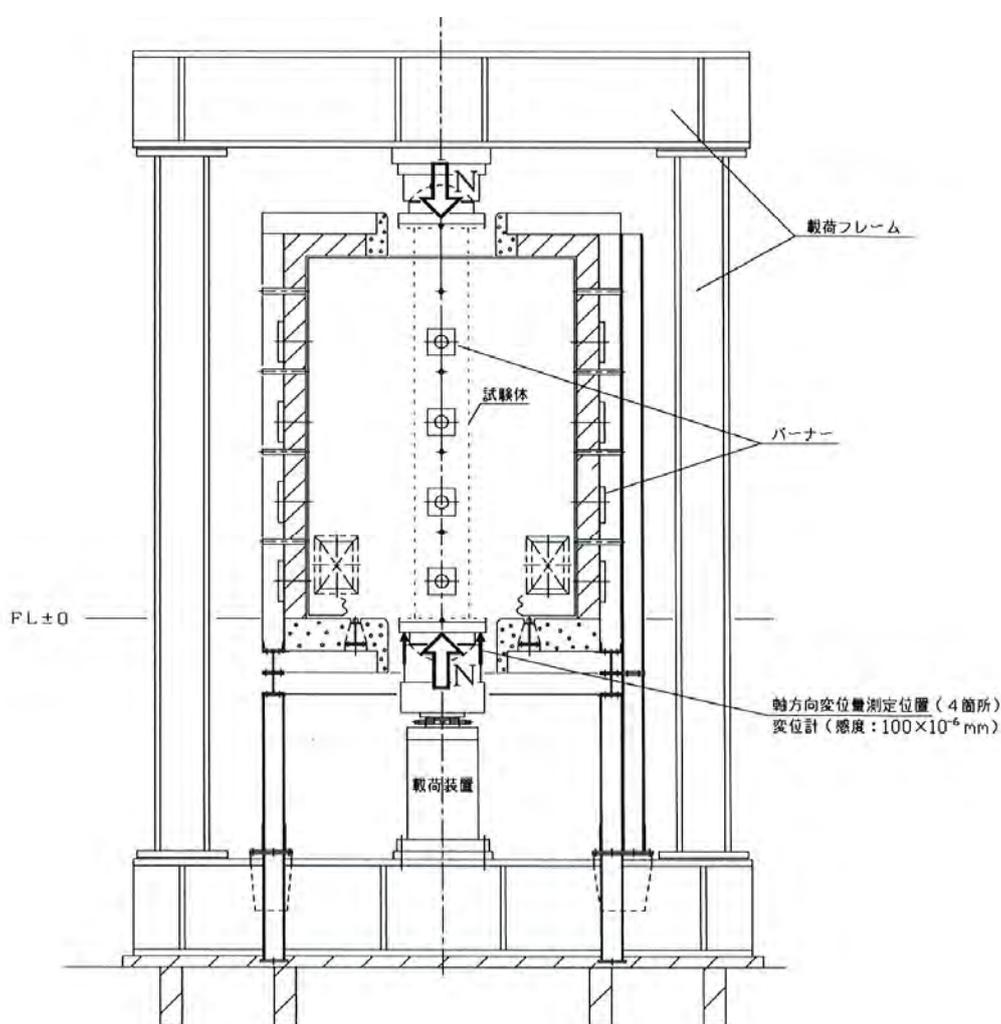


図 4.3.2.1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重Nは、長期許容圧縮応力度($f_c=3.716\text{N/mm}^2$)より算出した。

試験荷重 $N=3.716\text{N/mm}^2 \times 22500\text{mm}^2$ (有効断面積)= 83.8kN

ただし、 $F=20.6\text{N/mm}^2$, $l_k=3500\text{mm}$ (座屈長さ)とし、 f_c を算出した。

(3) 測定項目

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

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤ 含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて 12 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

⑥ その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 3. 2. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 150×150 mmの同一等級構成構造用集成材を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧と製作時の様子を表 4.3.2.2-1～2 と図 4.3.2.2-1～5、写真 4.3.2.2-1 に示す。

表 4.3.2.2-1 試験体構成材料 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
荷重支持部材	<ul style="list-style-type: none">・材質 同一等級構成構造用集成材(日本農林規格に適合するもの)・樹種 スギ・密度 0.417g/cm^3(気乾、実測値)・断面寸法 150×150
被覆材	<ul style="list-style-type: none">・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材・薬剤含浸量 150kg/m^3・厚さ 60(厚さ 30 の板を積層)

表 4.3.2.2-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

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

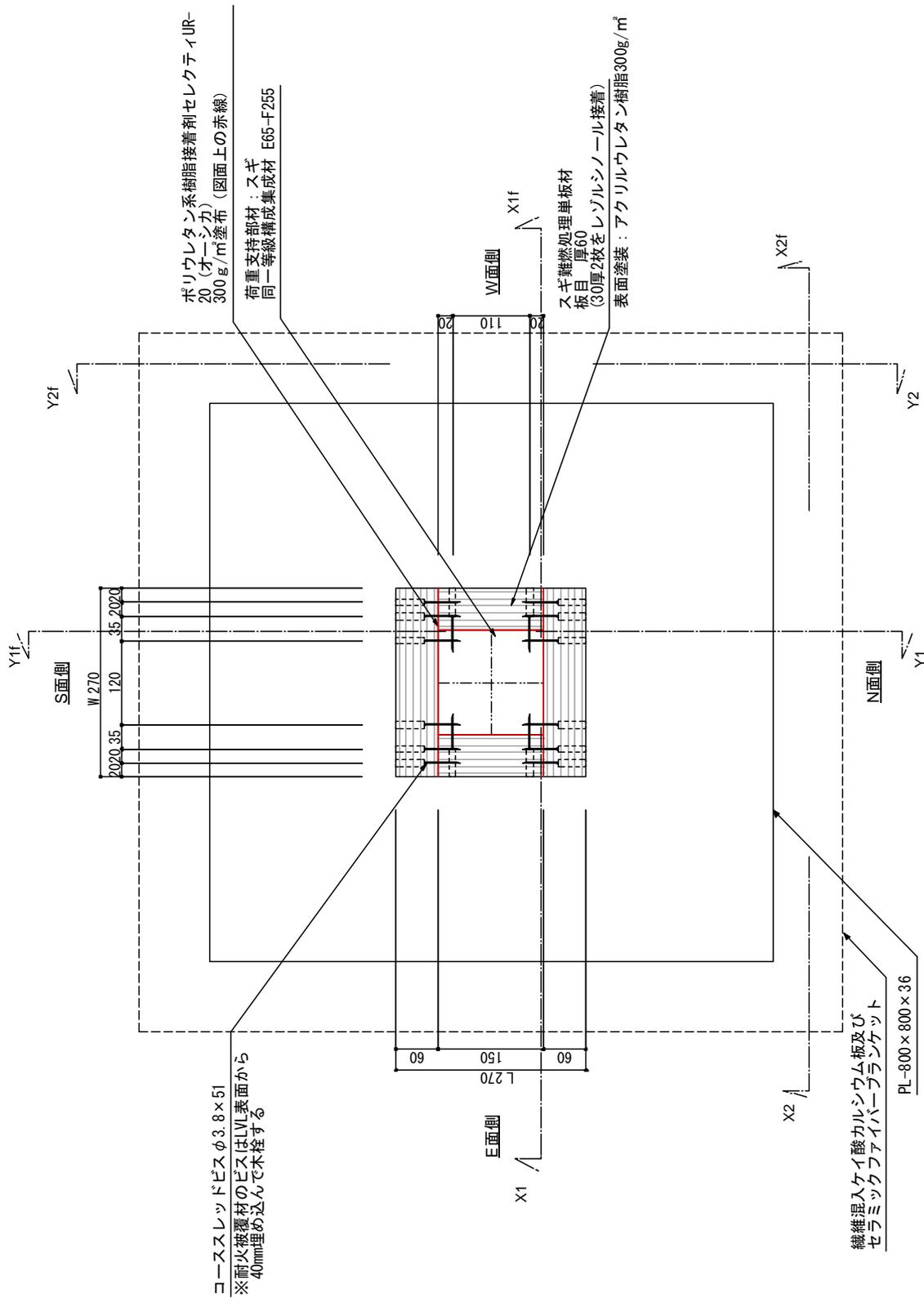


図 4.3.2.2-1 試験体の構造及び寸法

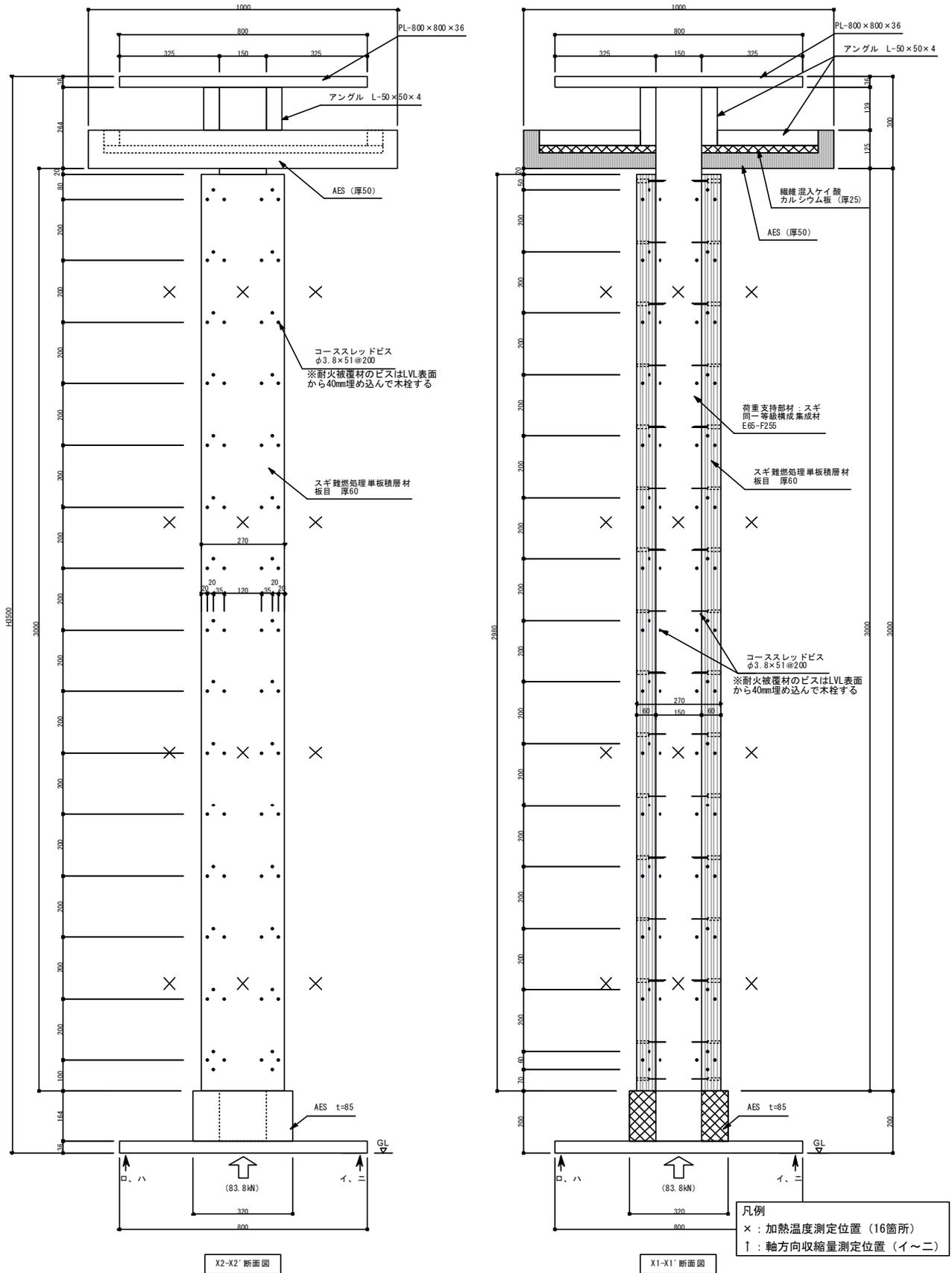


図 4.3.2.2-2 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (X 通り)

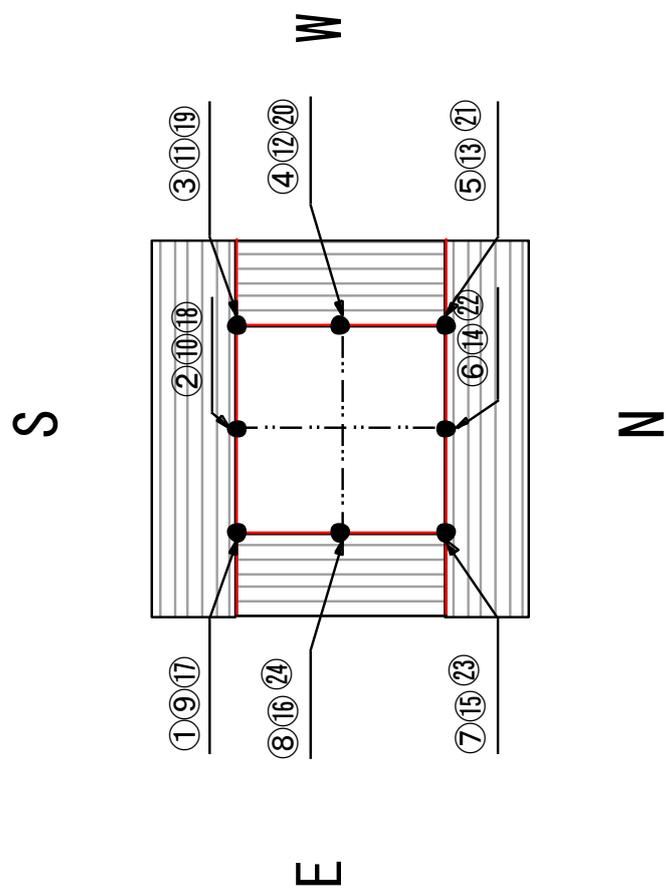


図 4.3.2.2-4 試験体の熱電対位置①

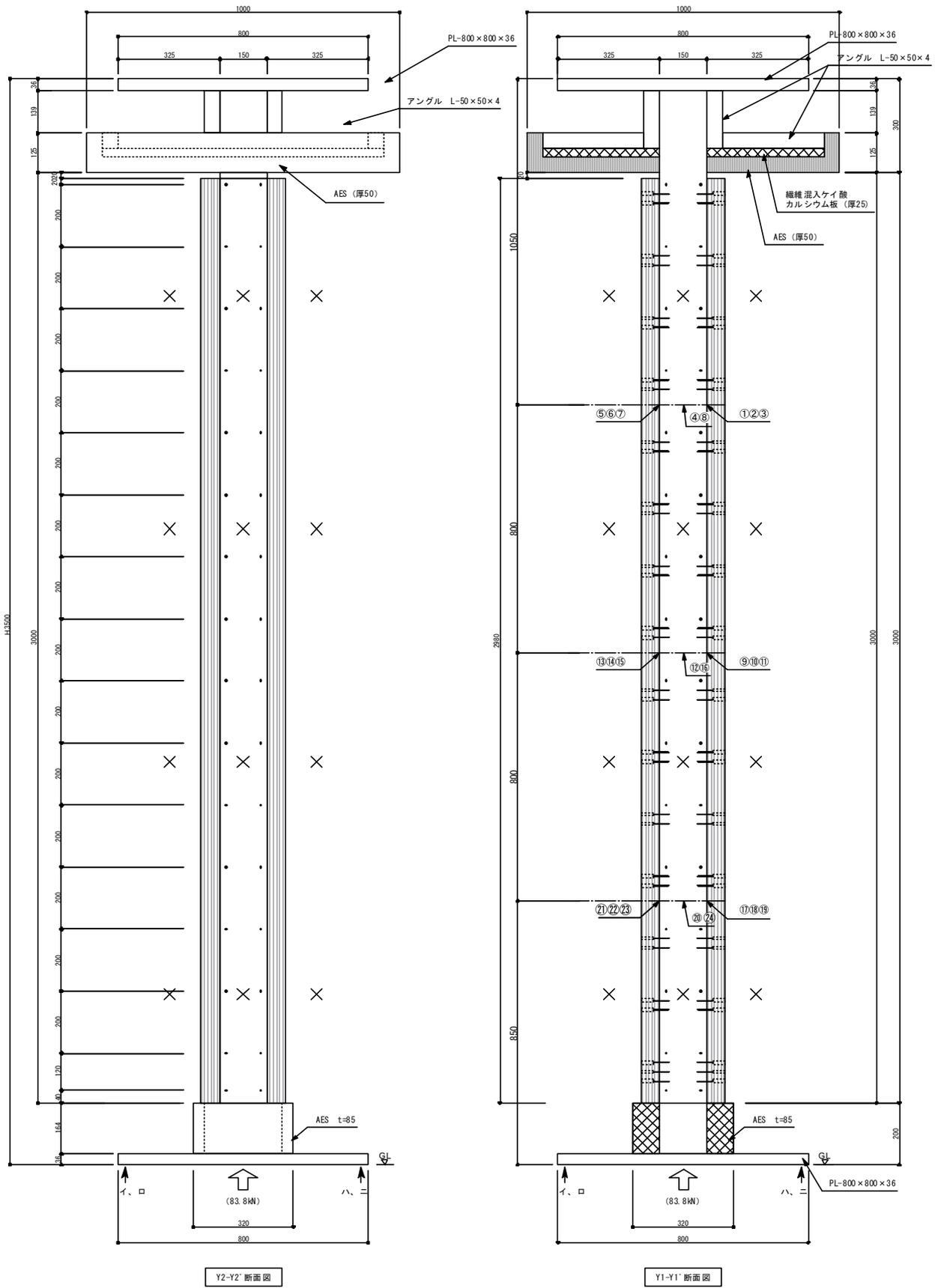


図 4.3.2.2-5 試験体の熱電対位置②



写真 4.3.3.2-1 製作時の様子

4. 3. 2. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後 360 分で軸方向収縮量の安定と内部温度の低下が見られたため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図 4.3.2.3-1、軸方向収縮量測定結果を図 4.3.2.3-2、熱電対の内部温度曲線を図 4.3.2.3-3 に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、下記の通りである。

柱(スギ集成材)： 11.03%で気乾密度は 0.417g/cm^3

被覆材(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 8.79%で気乾密度は 0.628g/cm^3

②炭化状況と記録写真を写真4.3.2.3-1～写真4.3.2.3-10に示す。

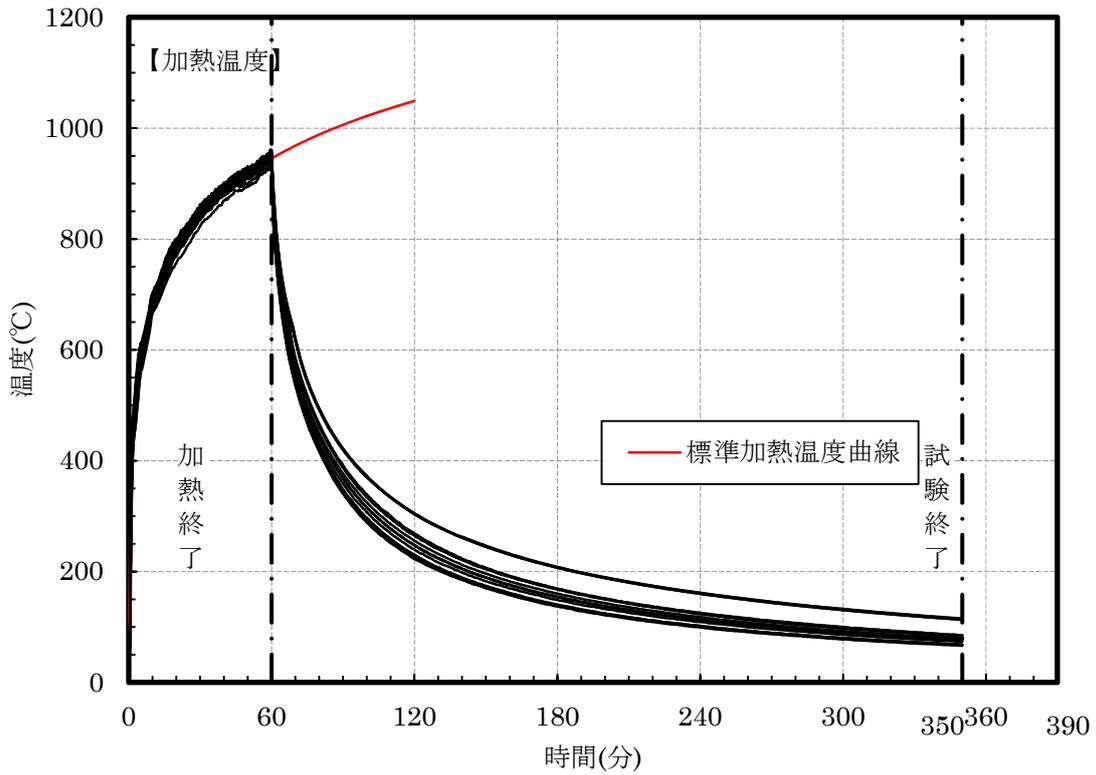


図 4.3.2.3-1 加熱温度測定結果

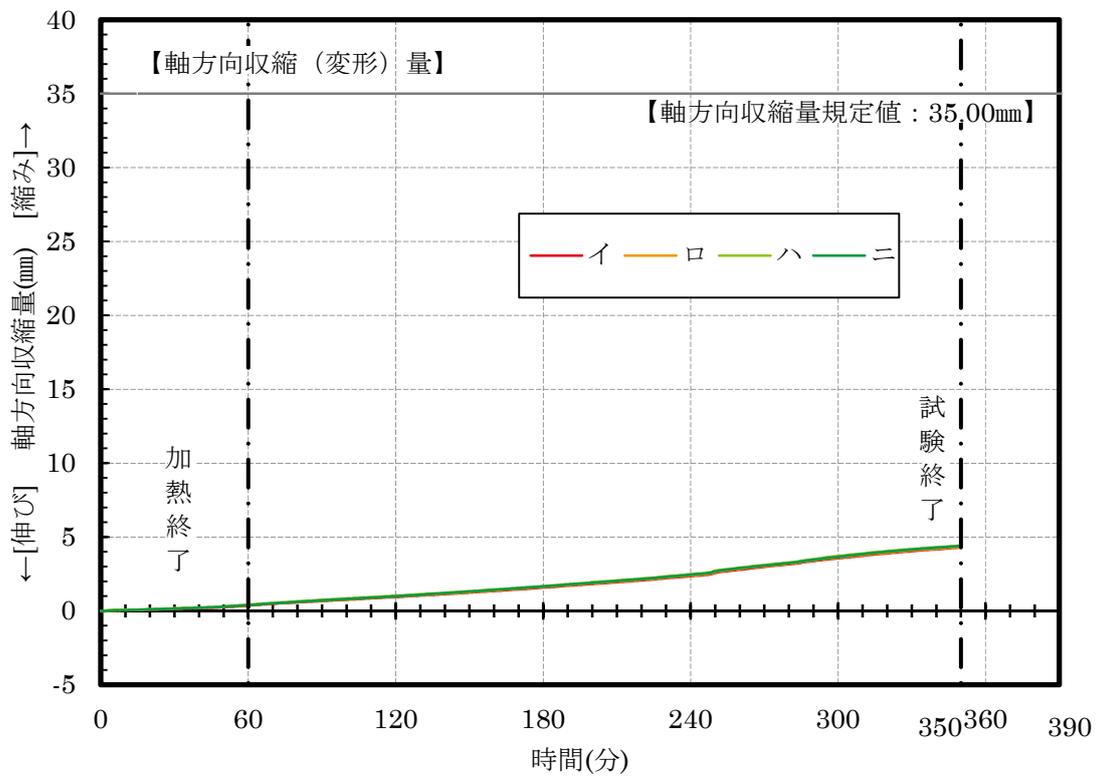


図 4.3.2.3-2 軸方向収縮量測定結果

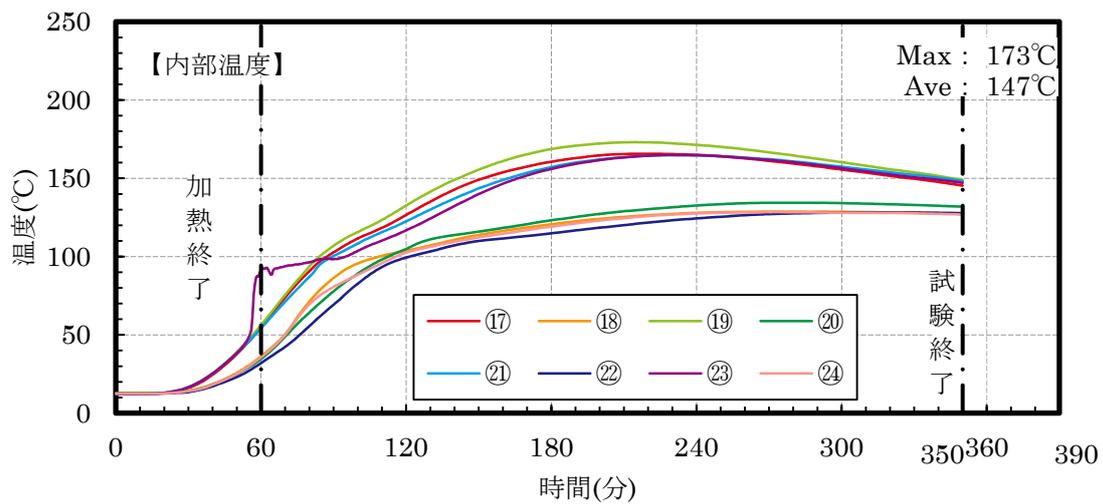
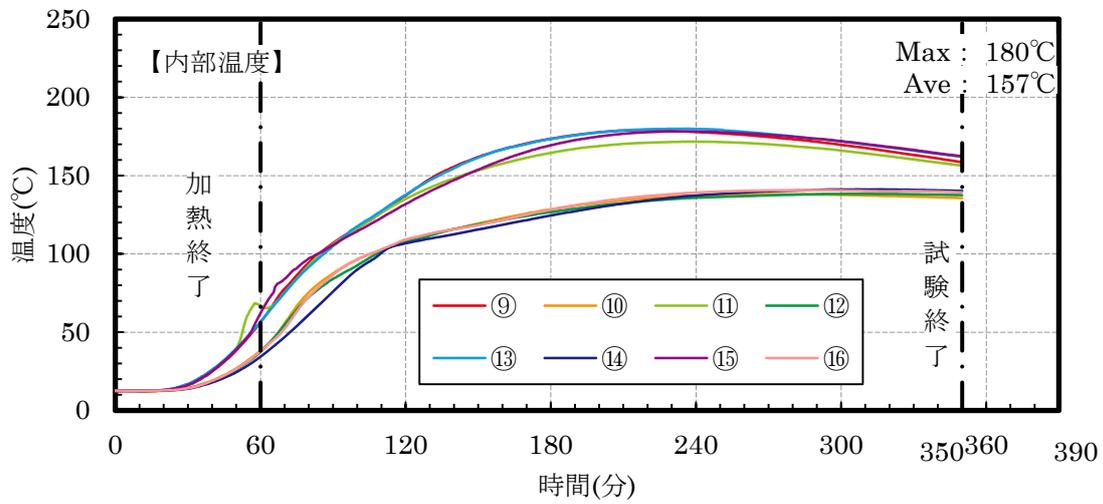
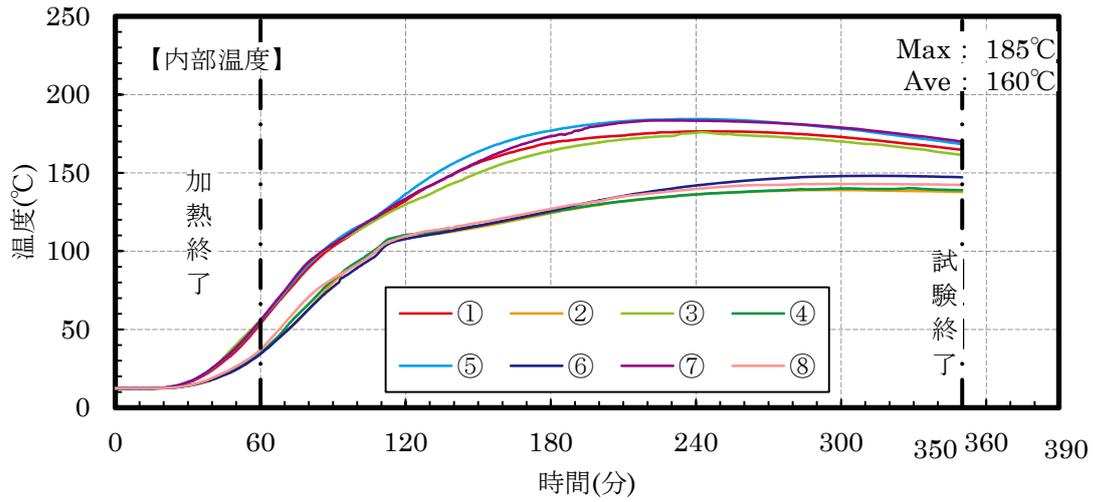


図 4.3.2.3-3 熱電対の内部温度曲線



写真 4.3.2.3-1 試験体設置状況



写真 4.3.2.3-2 試験体脱炉後の様子



写真 4.3.2.3-3 東面の脱炉後の試験体



写真 4.3.2.3-4 西面の脱炉後の試験体



写真 4.3.2.3-5 南面の脱炉後の試験体

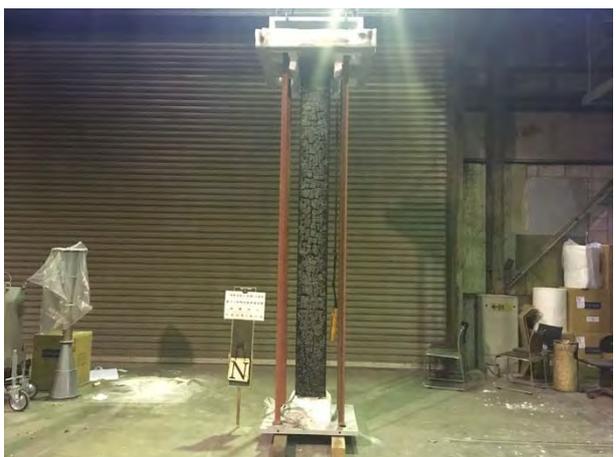


写真 4.3.2.3-6 北面の脱炉後の試験体



写真 4.3.2.3-7 材料の収縮



写真 4.3.2.3-8 柱下部断面



写真 4.3.2.3-9 柱中央部断面



写真 4.3.2.3-10 柱上部断面

(2) 実験結果の考察

1時間加熱が終わり、加熱開始から90分くらいに400°C以下まで下がって順調な下がり方をしていた。180分頃すでに炉内温度が200°C以下になっているが、柱に付けているすべての電対の温度が下がる傾向を見せるまで待たなければならないため、350分頃試験を終了した。

熱電対の最高温度は185°C程度であり、上中下断面とも荷重支持部材の炭化が見られなかったので試験を終了した。

4. 4 载荷予備試験（鉄製柱）

4. 4. 1 1時間耐火柱予備試験(難燃処理単板積層材 25 mm+化粧材単板積層材 30 mm)

今年度の建築研究所で実施した予備試験を踏まえて、最低限の耐火性能を出すための試験体を製作した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は 150 kg/m^3 以下を目標にし、200 角の角型鋼に $20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ の鋼材胴縁を付けて、熱伝達防止のために角部にも $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ の難燃処理単板積層材の胴縁を入れた。そして、25 mmの難燃処理単板積層材で燃え止まり層を施した。表面には無処理の単板積層材 30 mmを化粧材として貼ることで、耐火試験中における試験体内部での熱伝達を遅らせる設計を施した。この試験体の結果をもとに、性能評価試験の断面を算定することを一番の目標にした。

4. 4. 1. 1 実験概要

1時間耐火性能を目標に製作した4面加熱の試験体は、(一財)日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠して载荷加熱試験を行った。図 4.4.1.1-1 に柱炉の試験装置図を示す。試験実施日は、平成 28 年 9 月 2 日であった。

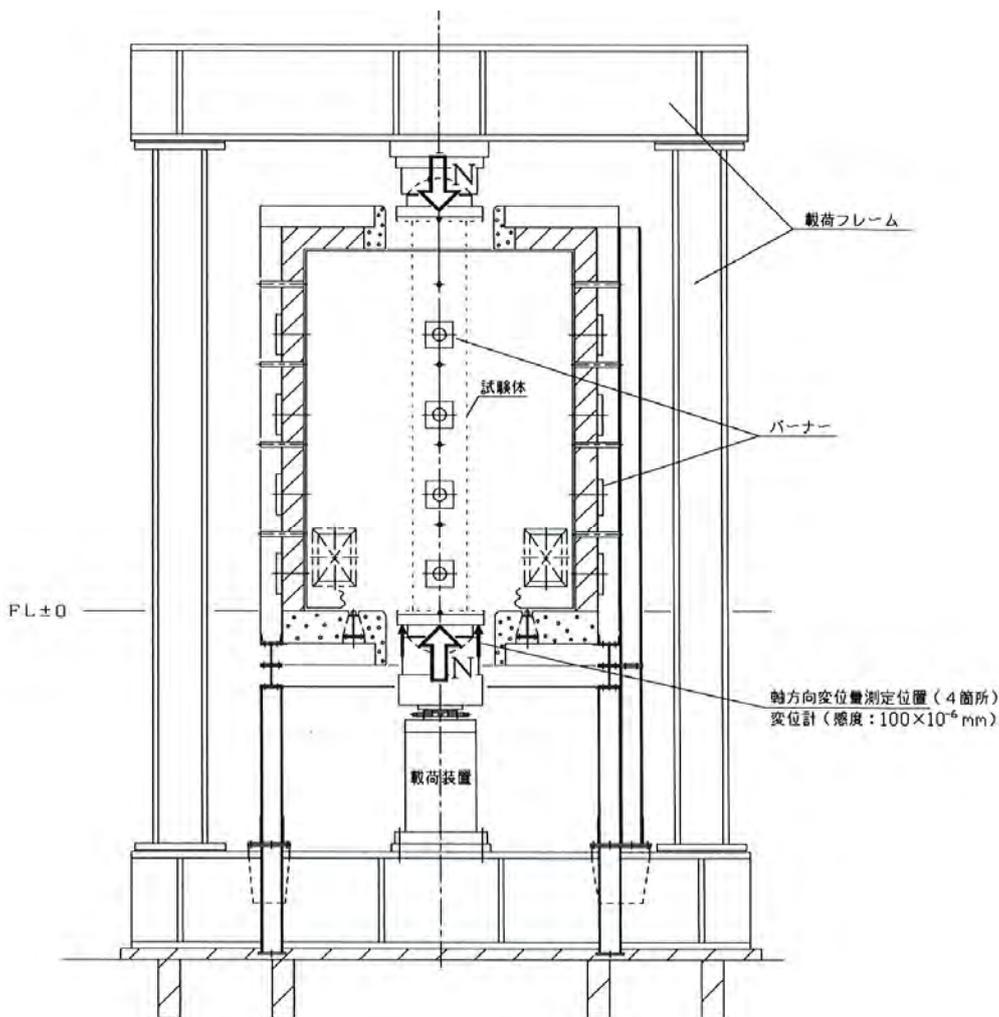


図 4.4.1.1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重Nは、長期許容圧縮応力度($f_c=183.57\text{N/mm}^2$)より算出した。

試験荷重 $N=183.57\text{N/mm}^2 \times 6667\text{mm}^2$ (有効断面積)=1224.0kN

ただし、 $F=325.0\text{N/mm}^2$, $l_k=3500\text{mm}$ (座屈長さ)とし、 f_c を算出した。

(3) 測定項目

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

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

- ⑤ 含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて 12 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

- ⑥ その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 4. 1. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 200×200 mmの角型鋼管 STKR490 を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧と製作時の様子を表 4.4.1.2-1～2 と図 4.4.1.2-1～5、写真 4.4.1.2-1～2 に示す。

表 4.4.1.2-1 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 角型鋼管 STKR490(日本農林規格に適合するもの) ・断面寸法 200×200
胴縁	・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材 ・薬剤含浸量 150kg/m ³ ・断面寸法 25×25
	・材質 鉄鋼 ・断面寸法 20×40 (t=1.6)
被覆材	・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材 ・薬剤含浸量 150kg/m ³ ・厚さ 25

化粧材	<ul style="list-style-type: none"> ・材質 単板積層材 ・厚さ 30
-----	-----------------------------------------------------------------------------

表 4.4.1.2-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項目	試験体の構造
留付材	<p>[1]胴縁留付用</p> <p>[1]-1 鉄鋼胴縁留付材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 $\phi 4 \text{ mm} \times L40 \text{ mm}$ ・留付間隔 200 以下 <p>[1]-2 木胴縁留付材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 $\phi 3.3 \text{ mm} \times L45 \text{ mm}$ ・留付間隔 200 以下 <p>[2]被覆材留付用</p> <p>[2]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 $\phi 5.5 \text{ mm} \times L70 \text{ mm}$ ・留付間隔 200 以下 <p>[2]-2 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300 g/m^2 <p>[3]化粧材留付用</p> <p>[3]-1 化粧材留付材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 $\phi 5 \text{ mm} \times L80 \text{ mm}$ ・留付間隔 200 以下

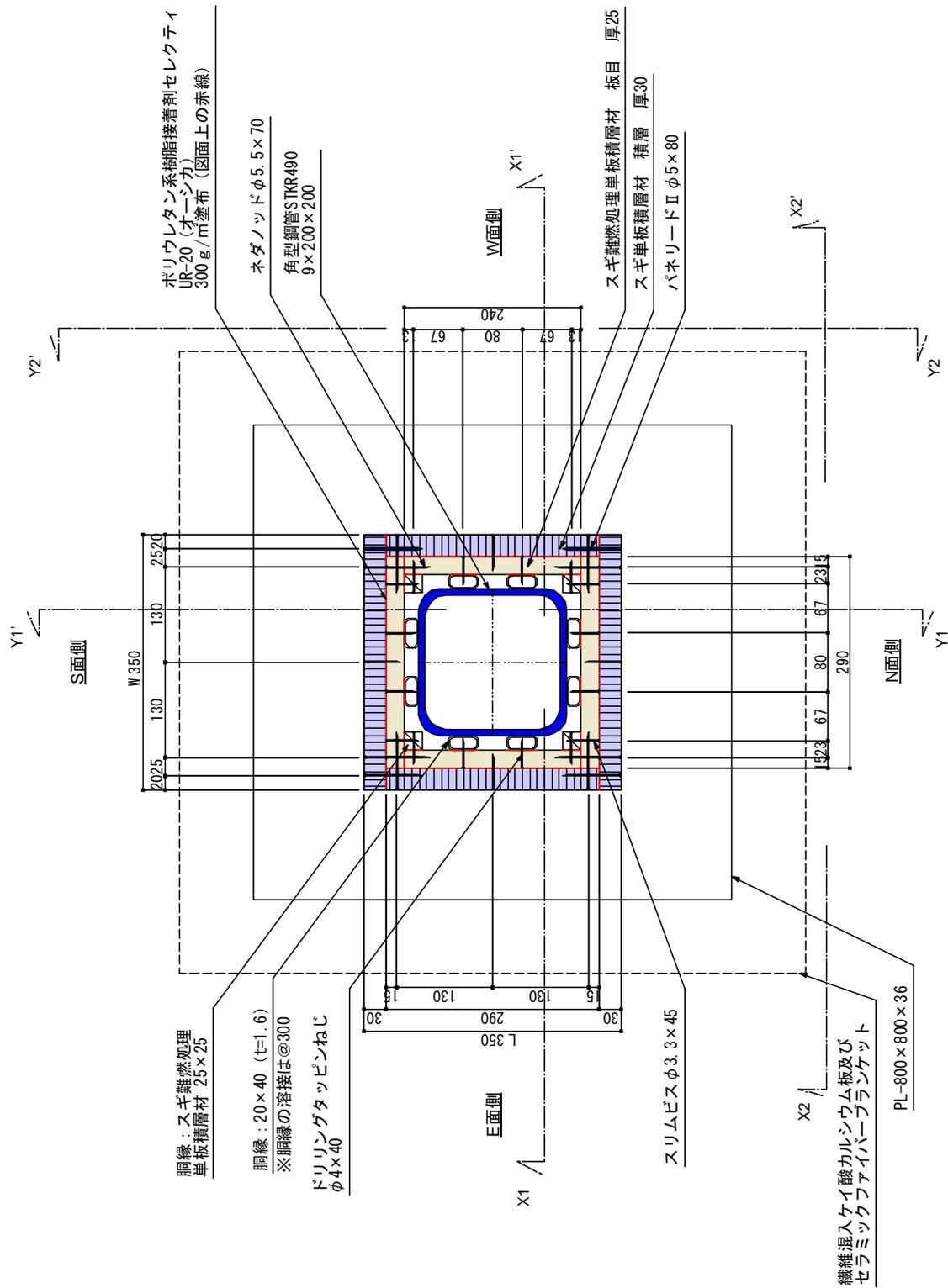


図 4.4.1.2-1 試験体の構造及び寸法

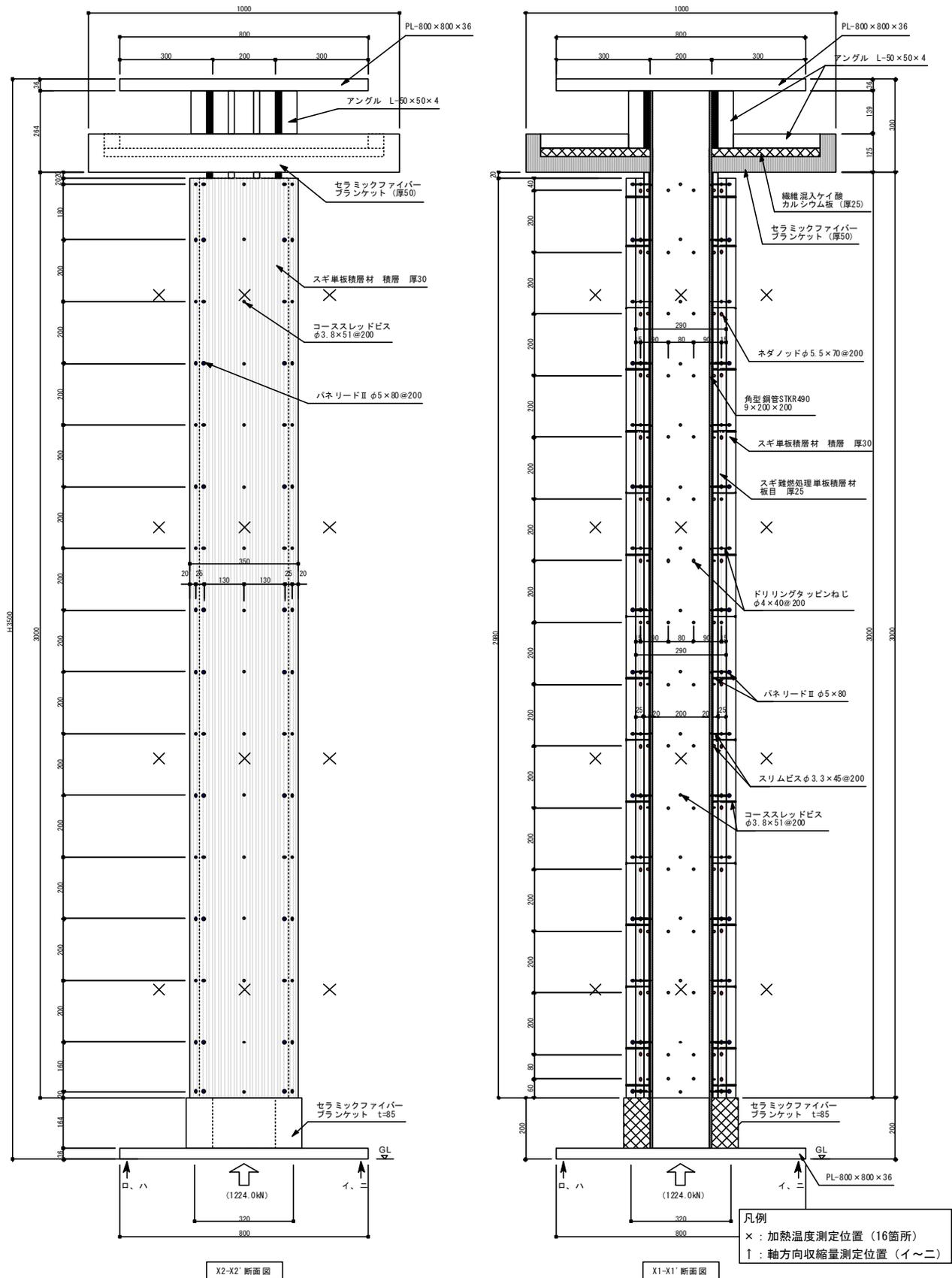


図 4.4.1.2-2 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (X 通り)

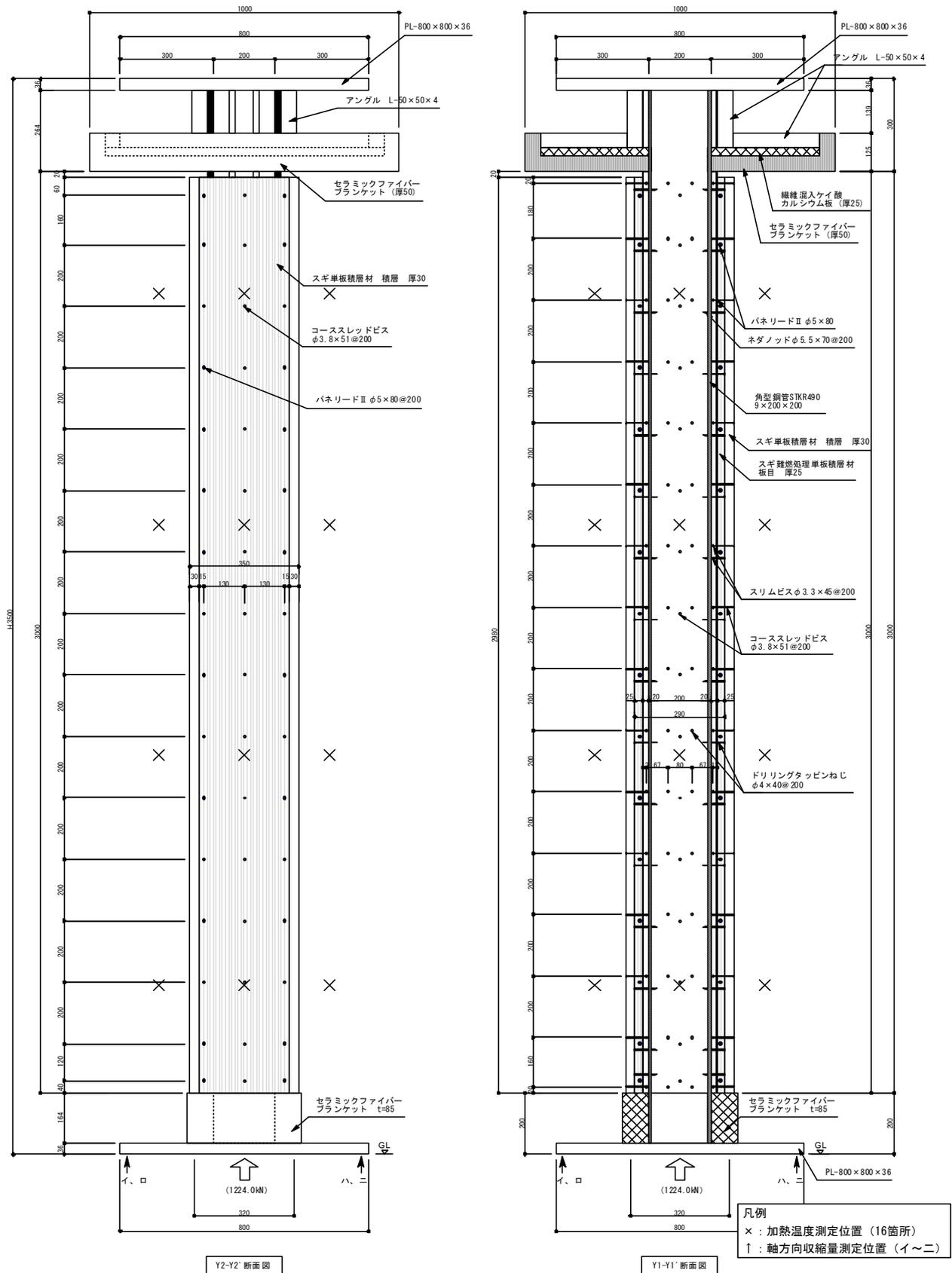


図 4.4.1.2-3 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (Y 通り)

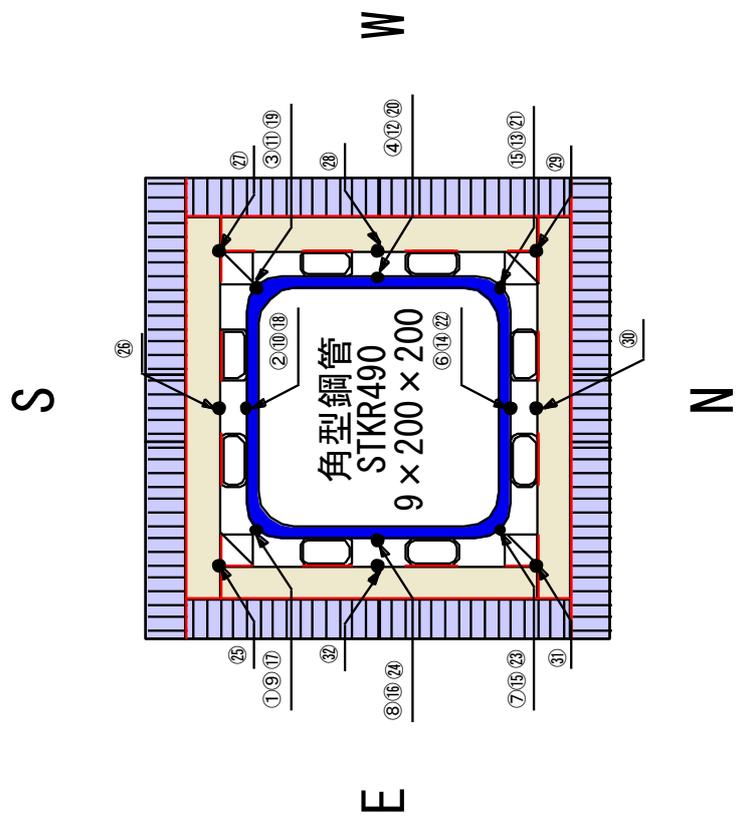


図 4.4.1.2-4 試験体の熱電対位置①

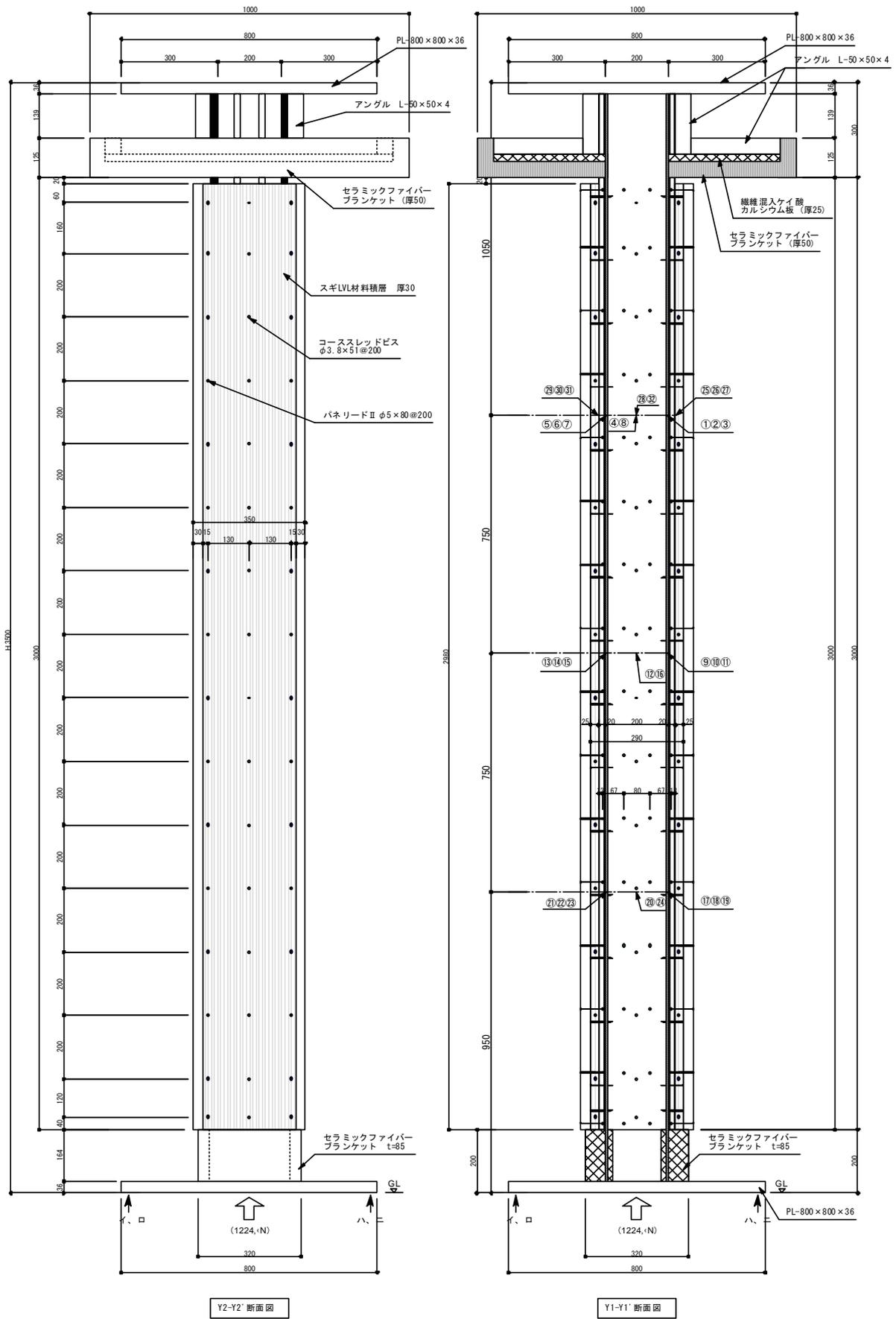


図 4.4.1.2-5 試験体の熱電対位置②



写真 4.4.1.2-1 製作時の様子①



写真 4.4.1.2-2 製作時の様子②

4. 4. 1. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後314分で軸方向収縮量の増加により試験体の荷重支持能力がなくなったため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図4.4.1.3-1、軸方向収縮量測定結果を図4.4.1.3-2、熱電対の鋼材温度曲線を図4.4.1.3-3、熱電対の被覆材裏面温度曲線を図4.4.1.3-4に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、下記の通りである。

化粧材(スギ板)： 11.15%で気乾密度は $0.514\text{g}/\text{cm}^3$

被覆材・下張材(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 12.56%で気乾密度は $0.617\text{g}/\text{cm}^3$

胴縁(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)： 12.56%で気乾密度は $0.617\text{g}/\text{cm}^3$

②炭化状況と記録写真を写真4.4.1.3-1～写真4.4.1.3-10に示す。

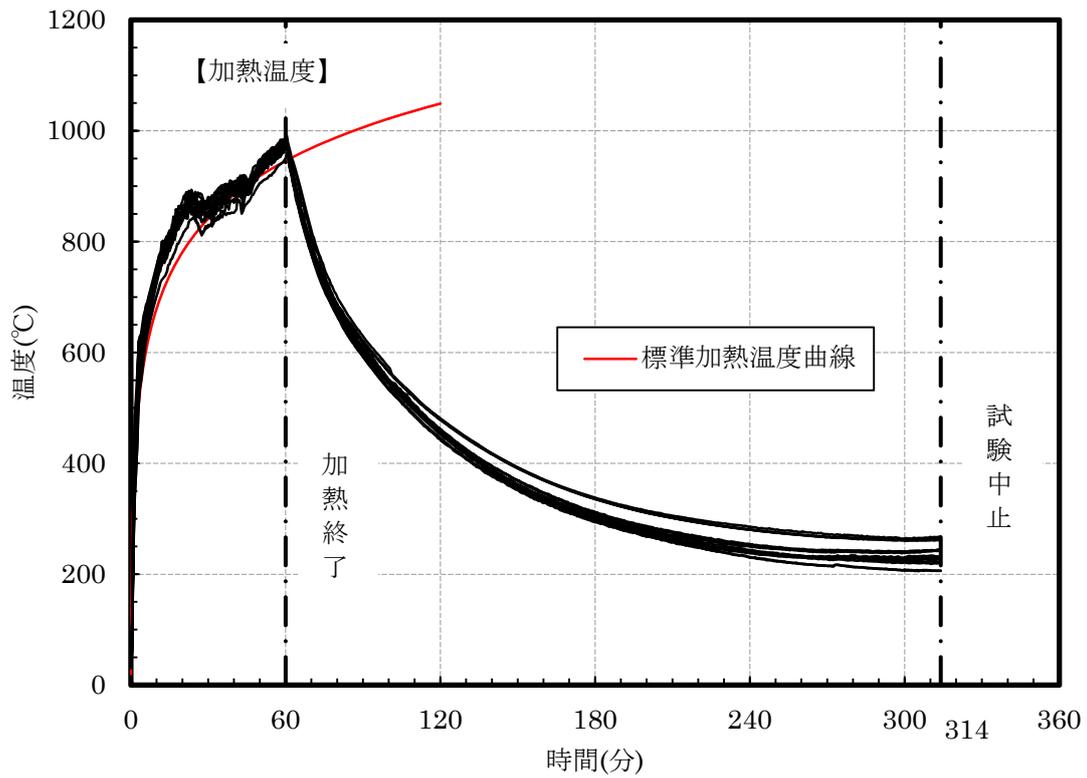


図 4.4.1.3-1 加熱温度測定結果

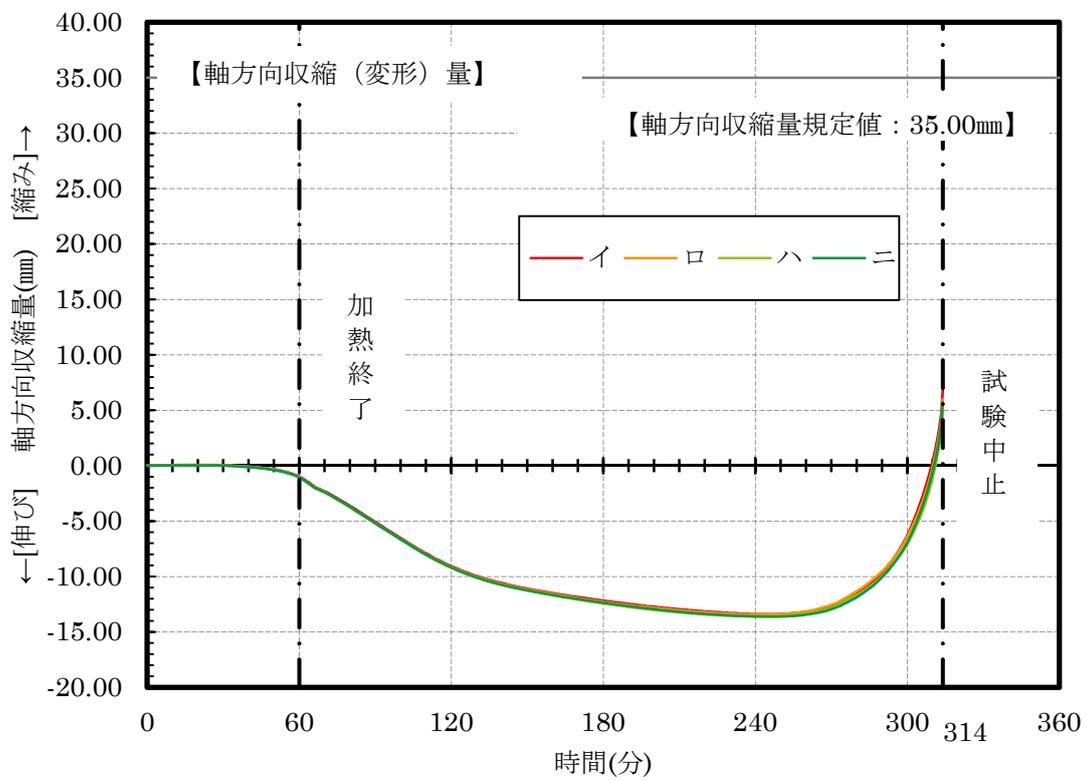
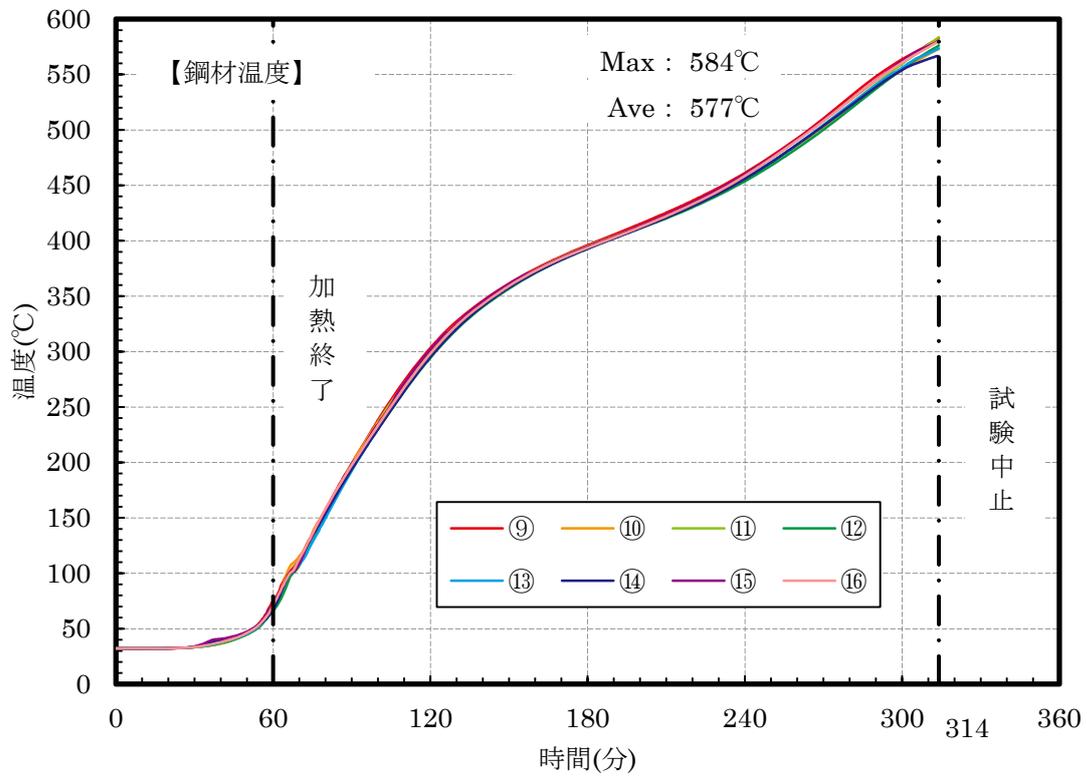
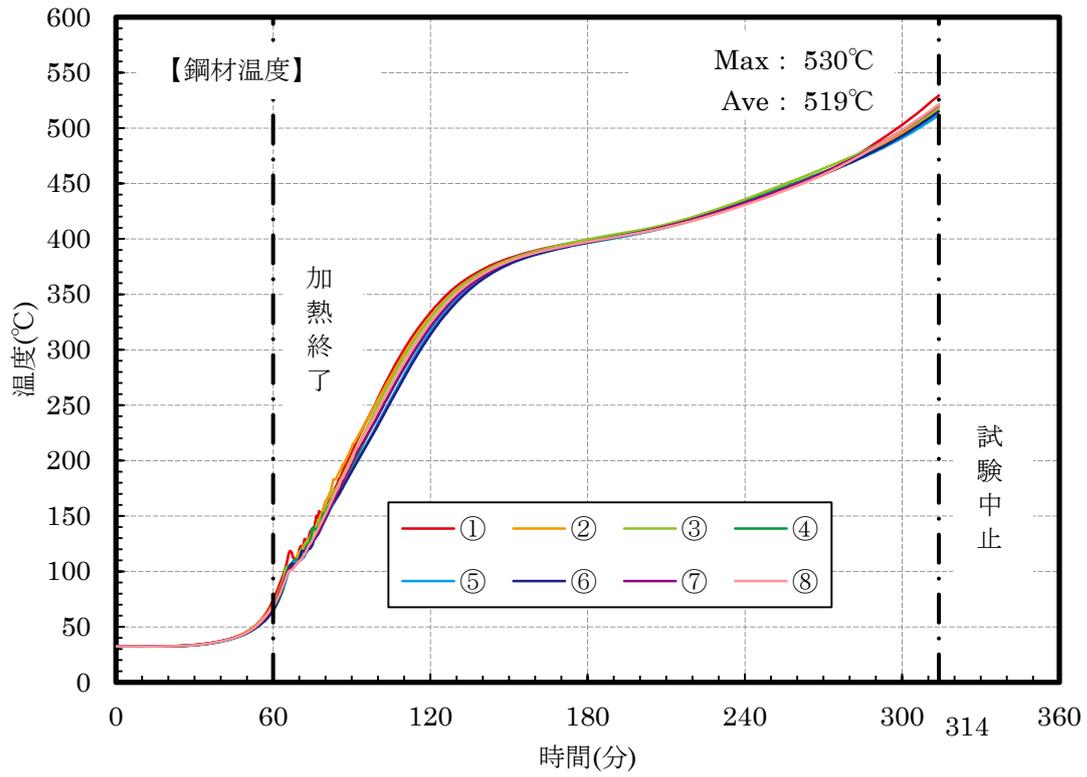


図 4.4.1.3-2 軸方向収縮量測定結果



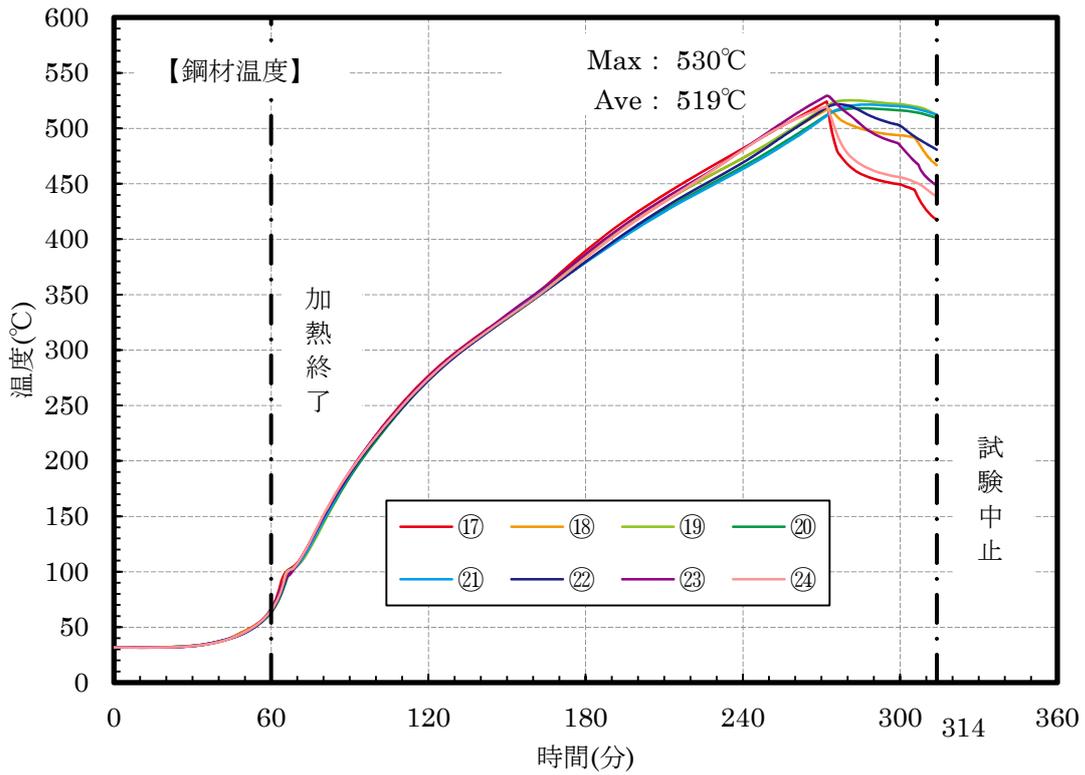


図 4.4.1.3-3 熱電対の鋼材温度曲線

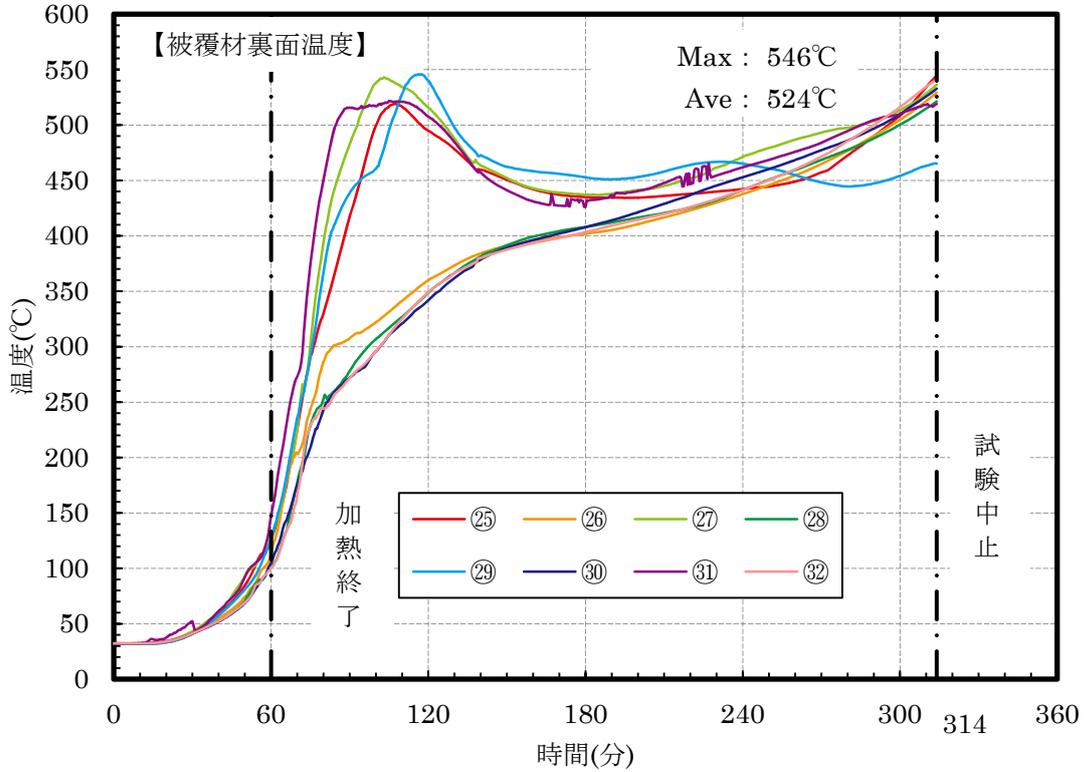


図 4.4.1.3-4 熱電対の被覆材裏面温度曲線



写真 4.4.1.3-1 試験体設置状況



写真 4.4.1.3-2 試験体加熱後の様子



写真 4.4.1.3-3 東面の脱炉後の試験体



写真 4.4.1.3-4 西面の脱炉後の試験体



写真 4.4.1.3-5 南面の脱炉後の試験体



写真 4.4.1.3-6 北面の脱炉後の試験体



写真 4.4.1.3-7 赤熱している薬剤処理材



写真 4.4.1.3-8 被覆材の燃えカス



写真 4.4.1.3-9 柱中間部座屈



写真 4.4.1.3-10 柱下部の燃えぬけ

(2) 実験結果の考察

加熱開始後、314 分で荷重を保持できなくなったため試験は中止となった。炉を開放した際、試験体に無処理層はほぼ残っておらず、難燃処理層のみが残存していた。

30 mmの無処理単板積層材は 40 分ほどで脱落しましたが燃えカスが下部にたまり、炉内温度がなかなか下がらなかったのが主な原因と推測される。

難燃処理層に一部赤熱が残っており、炉の温度が下がって以降も鋼材温度が上昇し続けたのはこの影響かと思われる。

熱電対 17～24(下から 1/4 の高さ)の温度が 270 分頃から下降しておりますが、難燃処理層が脱落し、鋼材が炉内へ露出されたことによる冷却の影響と考えられる。

鋼材温度は中央付近が最も高く、破壊性状としても中央付近での局部座屈であった。

4. 4. 2 1 時間耐火柱予備試験(難燃処理単板積層材 40 mm)

9月2日行った予備試験の結果を踏まえて、最低限の耐火性能を出すための試験体を製作した。難燃処理単板積層材の薬剤注入量は 150 kg/m^3 以下を目標にし、300 角の角型鋼の中央部に軽量鉄骨のL字型金物を溶接した。柱角部には $40 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ のスタッドを取り付けて生じた隙間には、燃えぬけ防止のため断熱材で充填した。予備試験の結果及び難燃処理単板積層材の炭化速度を考慮し、今後の開発における基準として適合していると判断した厚さ 40 mm 難燃処理単板積層材で燃え止まり層を施した。この試験体の結果をもとに、性能評価試験の断面を算定することを一番の目標にした。

4. 4. 2. 1 実験概要

1 時間耐火性能を目標に製作した 4 面加熱の試験体は、(一財)日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「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 4.4.2.1-1 に柱炉の試験装置図を示す。試験実施日は、平成 28 年 11 月 15 日であった。

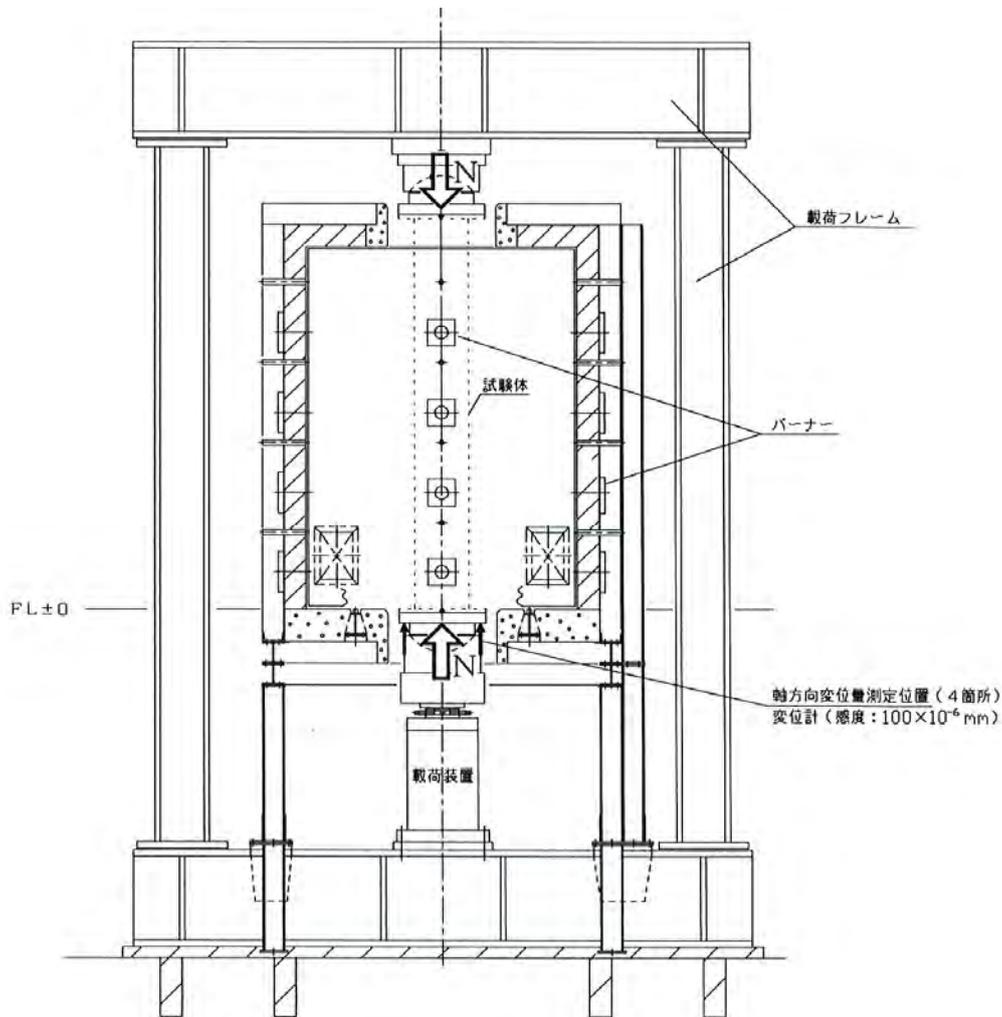


図 4.4.2.1-1 試験装置図

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。軸方向変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

(2) 載荷方法

試験荷重Nは、長期許容圧縮応力度($f_c=201.77\text{N/mm}^2$)より算出した。

試験荷重 $N=201.77\text{N/mm}^2 \times 10270\text{mm}^2$ (有効断面積)= 2073.0kN

ただし、 $F=325.0\text{N/mm}^2$, $l_k=3500\text{mm}$ (座屈長さ)とし、 f_c を算出した。

(3) 測定項目

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

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した

⑤ 含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105°Cの絶乾状態に設定した恒温器を用いて 12 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{絶乾前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

⑥ その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

4. 4. 2. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 300×300 mmの角型鋼管 STKR490 を構造部材とする試験体について載荷加熱試験を実施した。加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧と製作時の様子を表 4.4.2.2-1～2 と図 4.4.2.2-1～5、写真 4.4.2.2-1～2 に示す。

表 4.4.2.2-1 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 角型鋼管 STKR490(日本農林規格に適合するもの) ・断面寸法 300×300
胴縁	・材質 軽量鉄骨(L型取付金物) ・断面寸法 40×25(t=0.4)
	・材質 軽量鉄骨(コの字型スタッド) ・断面寸法 40×45(t=0.5)
断熱材	・材質 グラスウール (10K、50 mm) ・断面寸法 25×300 45×300
被覆材	・材質 りん・窒素系薬剤処理単板積層材 ・薬剤含浸量 150kg/m ³

	・厚さ 40
--	--------

表 4.4.2.2-2 試験体構成材料留付材 (寸法単位:mm)

項 目	試験体の構造
留付材	<p>[1]胴縁留付用</p> <p>[1]-1 軽鉄胴縁留付材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ4 mm×L14 mm ・留付間隔 中央部 1箇所 <p>[2]断熱材留付用</p> <p>[2]-1 画鋸</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼 (スピンドル鋸) ・留付間隔 455 以下 <p>[3]被覆材留付用</p> <p>[3]-1 ねじ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ3.5 mm×L32 mm ・留付間隔 200 以下 <p>[3]-2 被覆材留付材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 鉄鋼(防錆処理をしたもの) ・寸法 φ3.8 mm×L41 mm ・留付間隔 200 以下 <p>[3]-3 接着剤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ウレタン系樹脂接着剤 ・塗布量 300g/m² <p>[3]-4 木栓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材質 カバ (広葉樹) ・寸法 φ9 mm×L30 mm ・留付間隔 200 以下

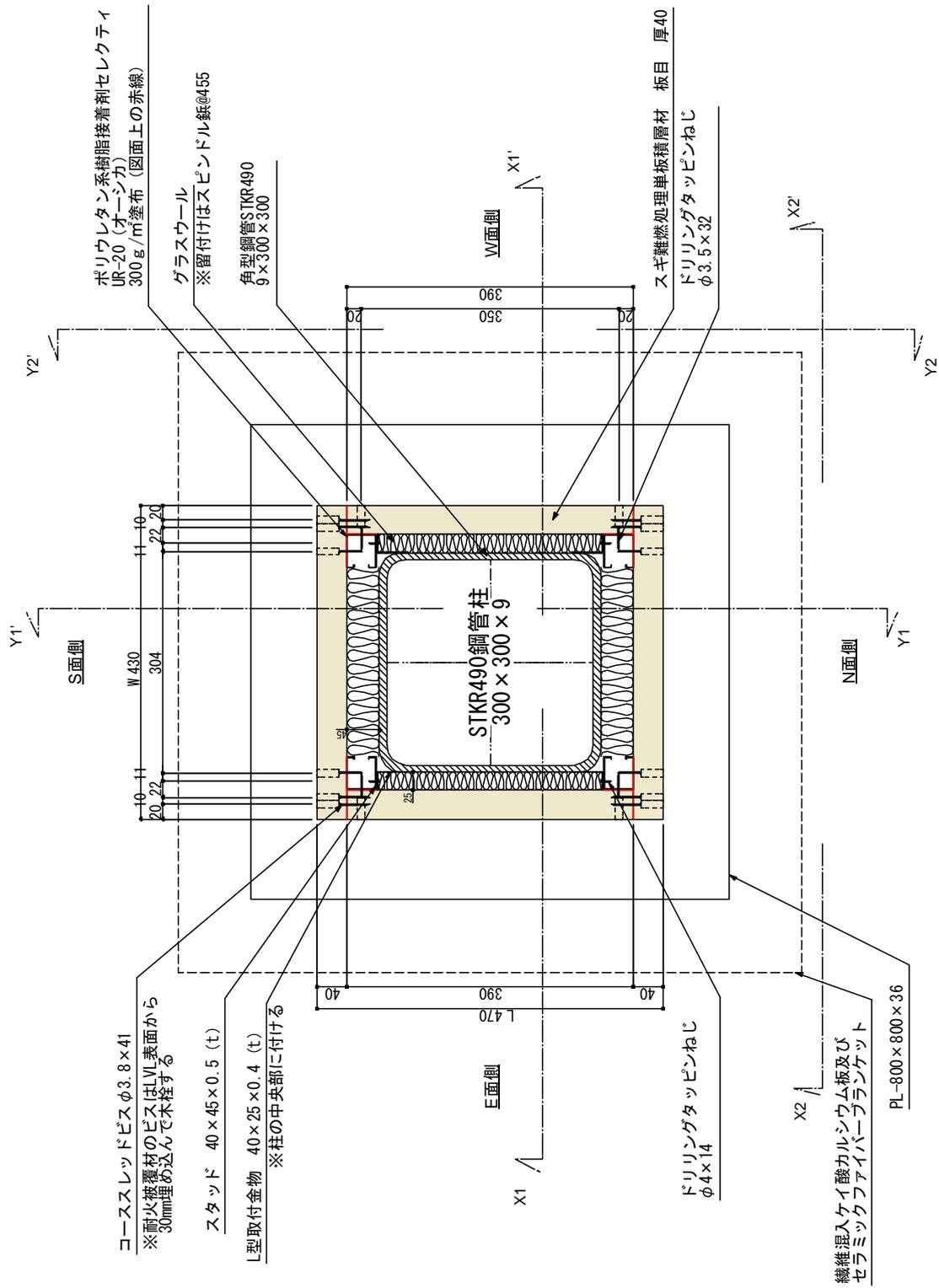


図 4.4.2.2-1 試験体の構造及び寸法

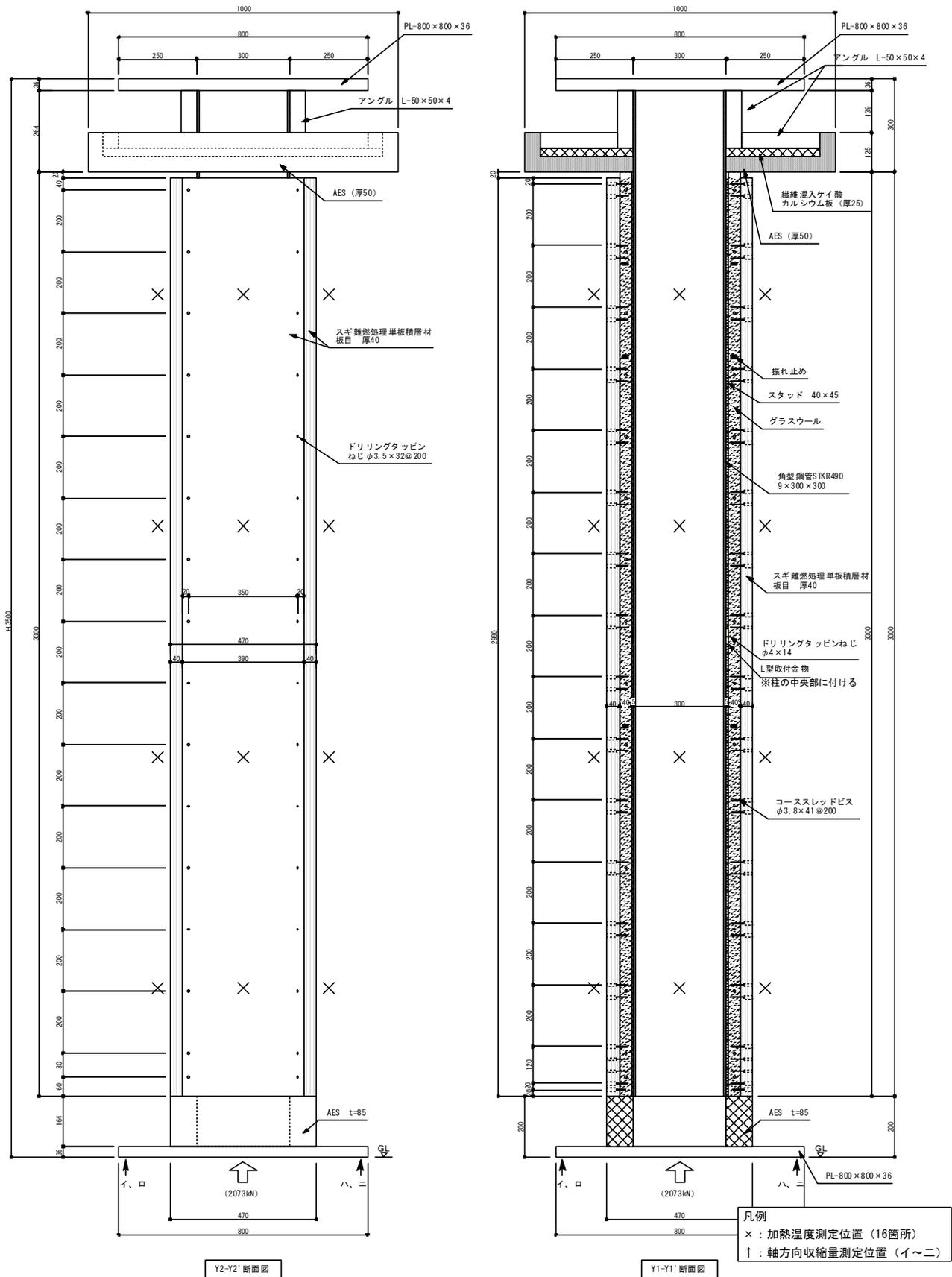


図 4.4.2.2-3 試験体の構造・寸法・温度測定位置 (Y 通り)

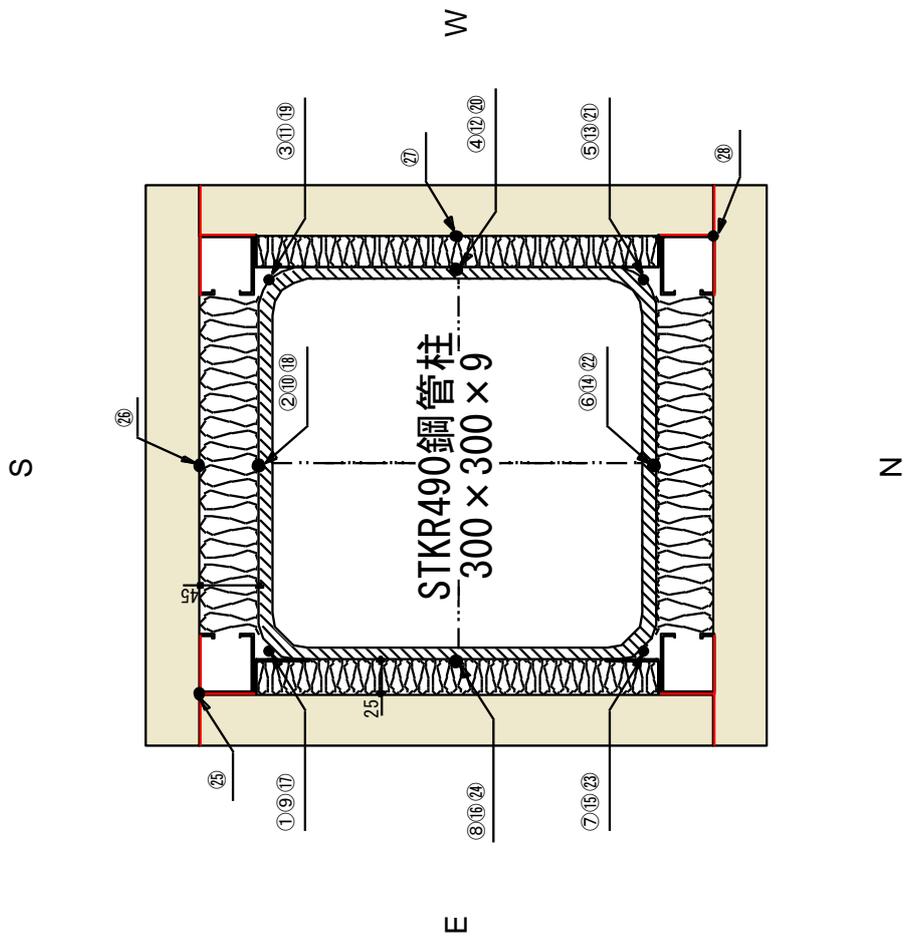


図 4.4.2.2-4 試験体の熱電対位置①

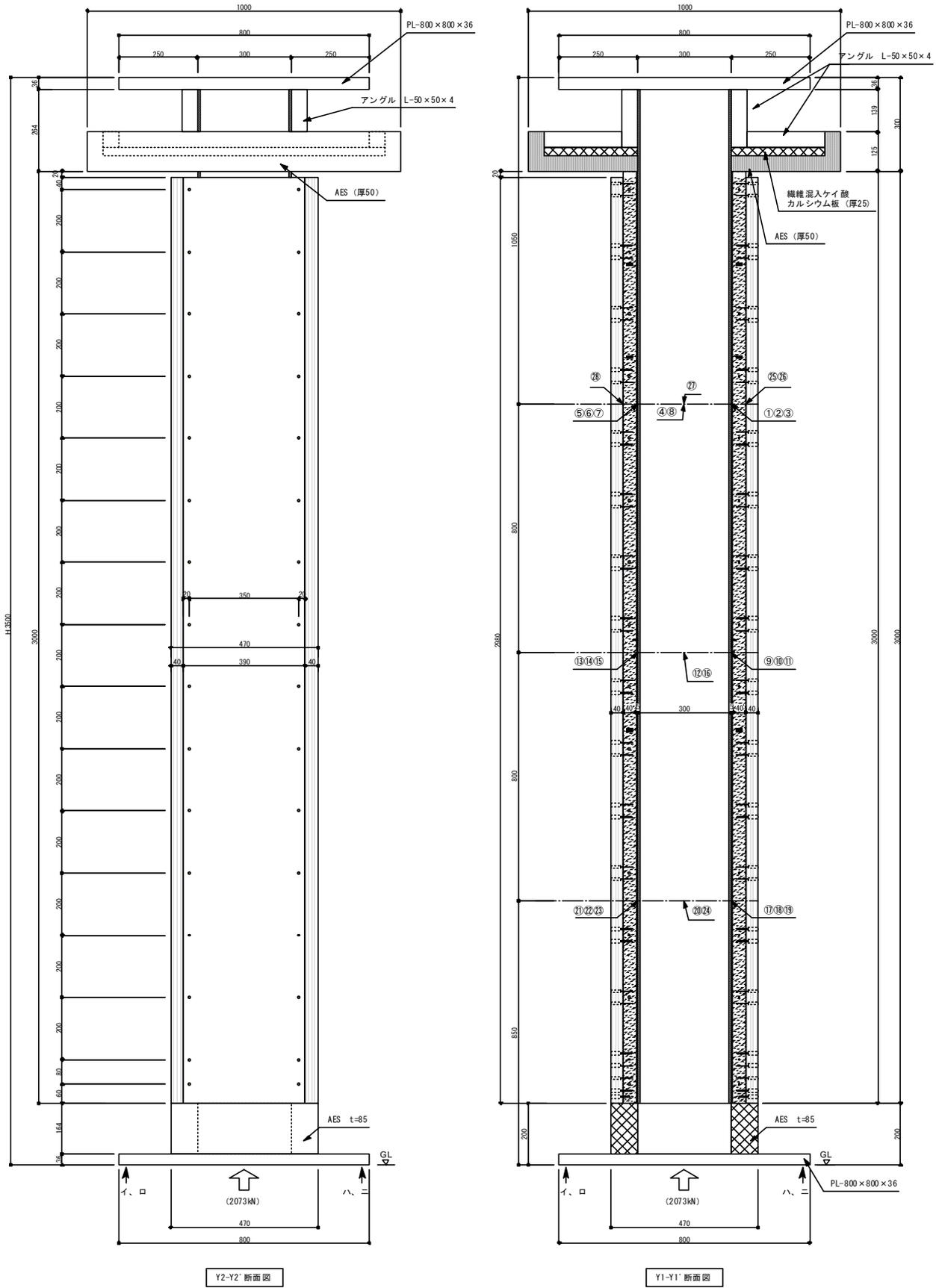


図 4.4.2.2-5 試験体の熱電対位置②



写真 4.4.2.2-1 製作時の様子①



写真 4.4.2.2-2 製作時の様子②

4. 4. 2. 3 実験結果及び考察

(1) 実験結果

加熱開始後300分で軸方向収縮量の安定と内部温度の低下が見られたため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図4.4.2.3-1、軸方向収縮量測定結果を図4.4.2.3-2、熱電対の鋼材温度曲線を図4.4.2.3-3、熱電対の被覆材裏面温度曲線を図4.4.2.3-4に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、下記の通りである。

充填材（グラスウール）：気乾密度は 0.009g/cm^3

被覆材 小(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)：11.32%で気乾密度は 0.719g/cm^3

被覆材 大(りん・窒素系薬剤処理単板積層材)：11.78%で気乾密度は 0.696g/cm^3

②炭化状況と記録写真を写真4.4.2.3-1～写真4.4.2.3-10に示す。

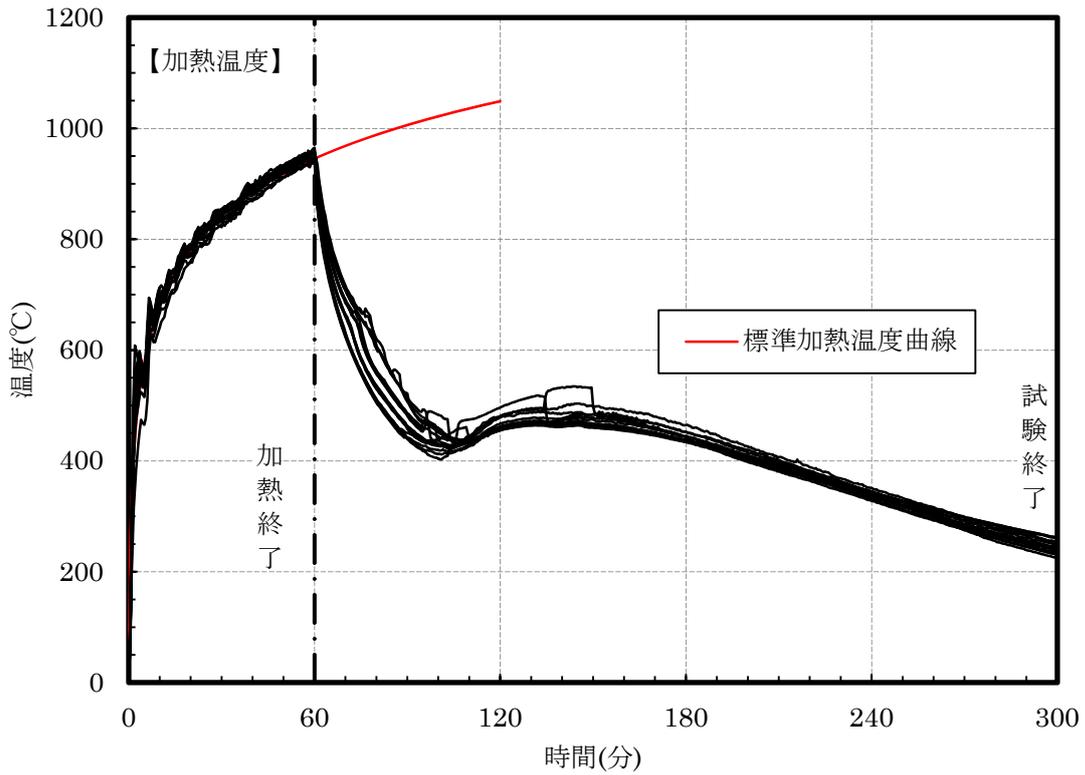


図 4.4.2.3-1 加熱温度測定結果

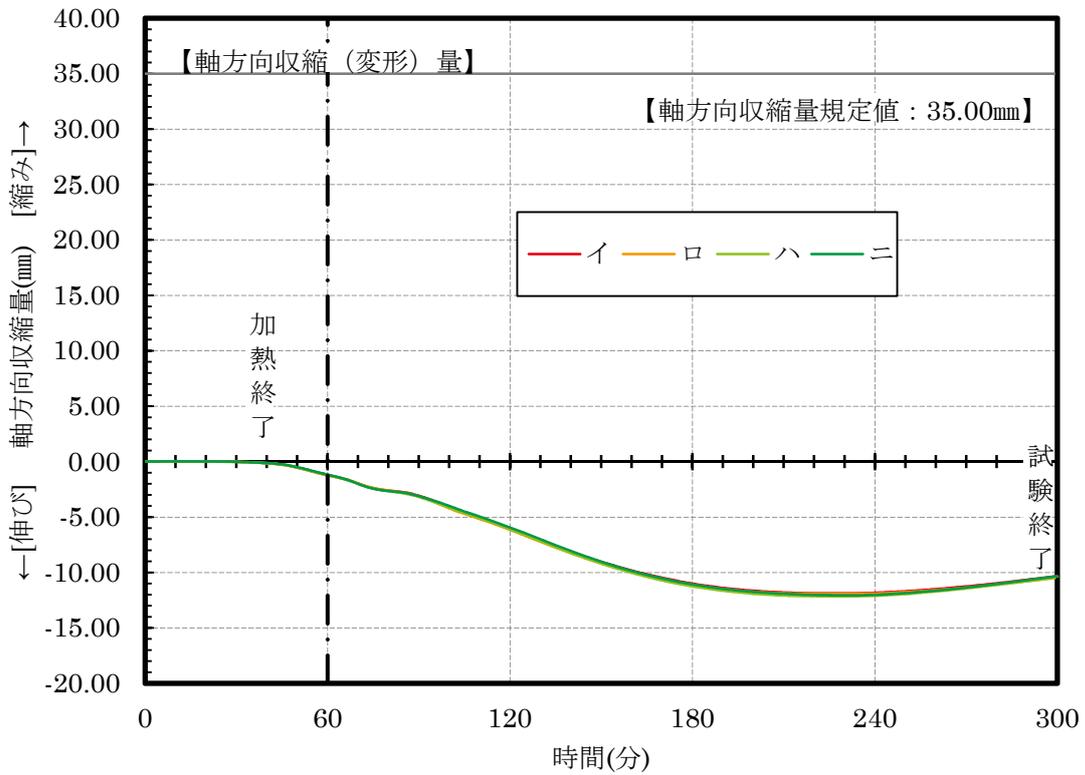


図 4.4.2.3-2 軸方向収縮量測定結果

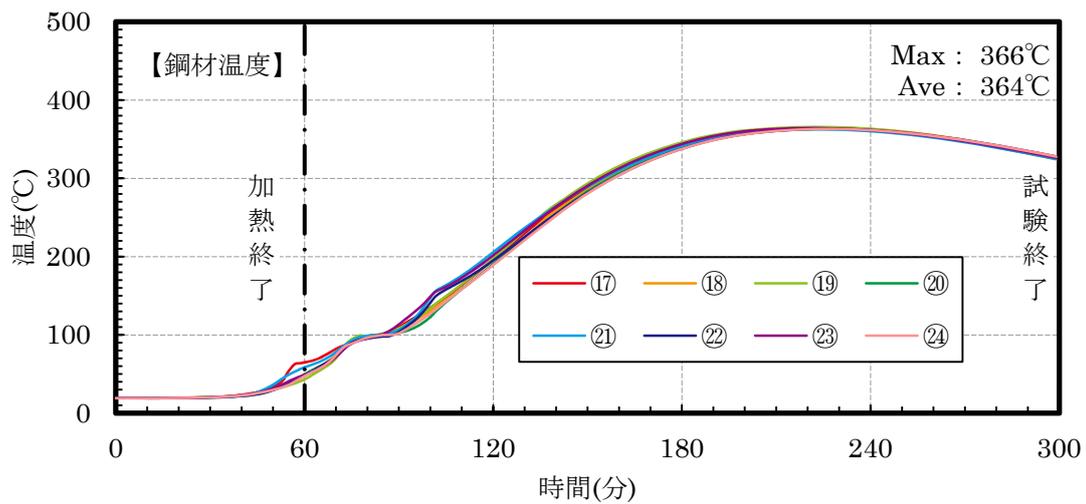
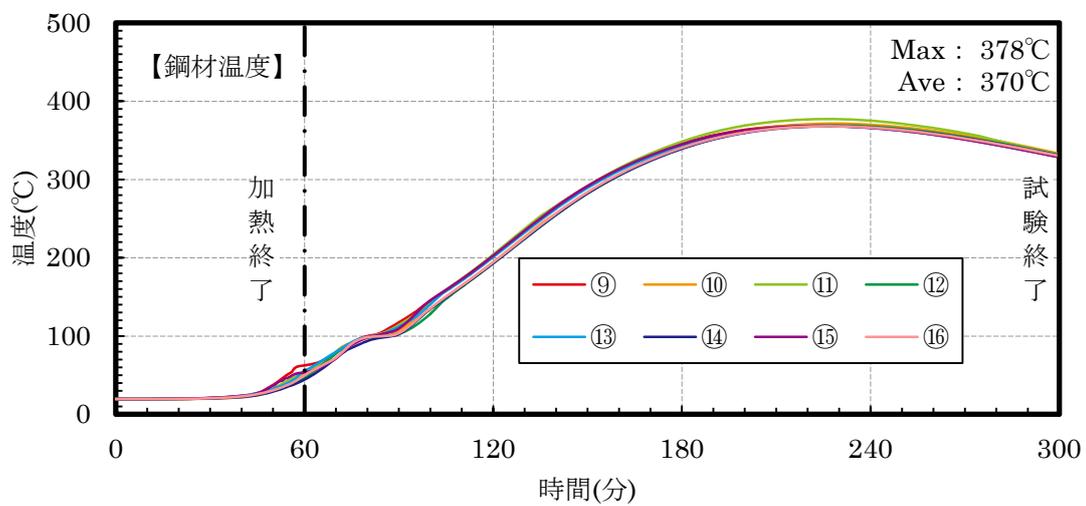
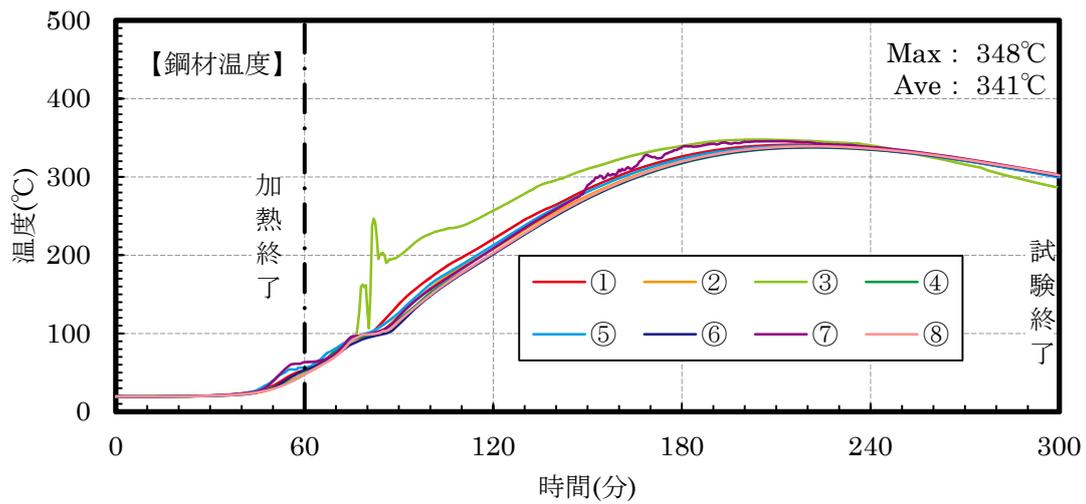


図 4.4.2.3-3 熱電対の鋼材温度曲線

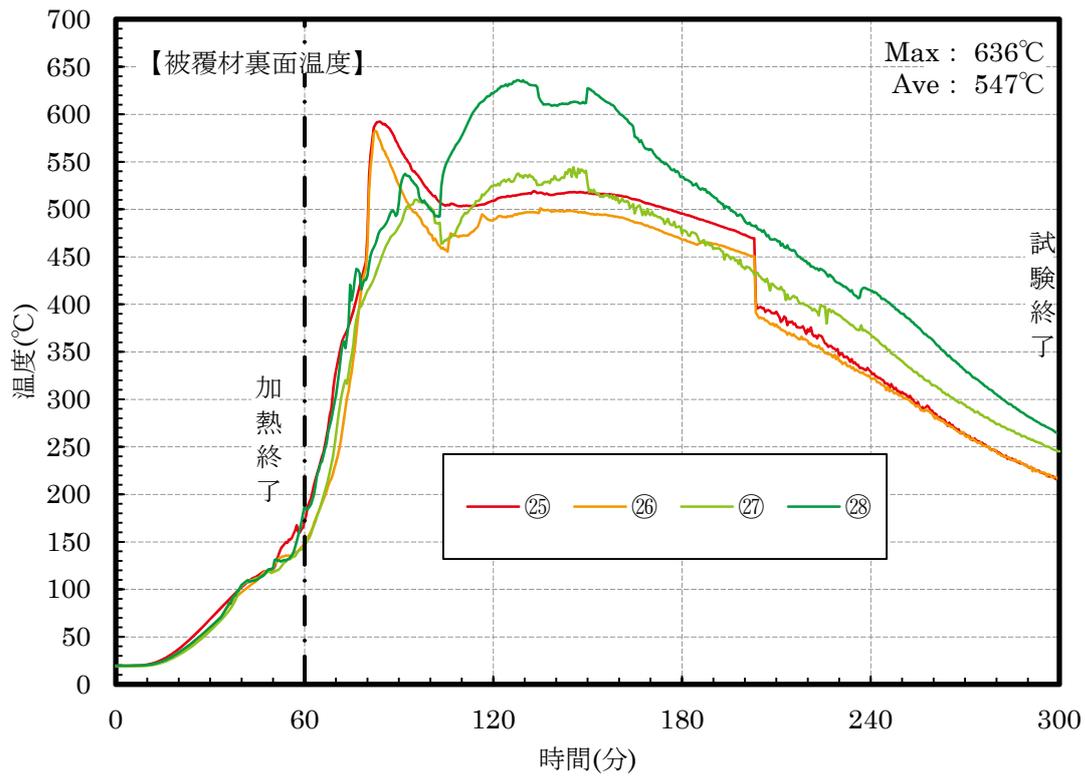


図 4.4.2.3-4 熱電対の被覆材裏面温度曲線



写真 4.4.2.3-1 試験体設置状況



写真 4.4.2.3-2 試験体加熱時の様子



写真 4.4.2.3-3 東面の脱炉後の試験体



写真 4.4.2.3-4 西面の脱炉後の試験体

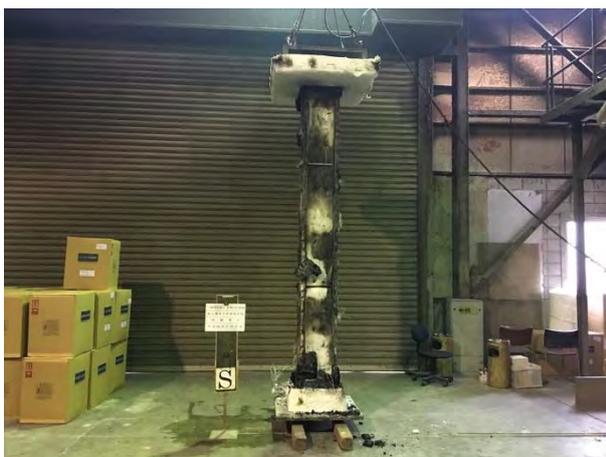


写真 4.4.2.3-5 南面の脱炉後の試験体

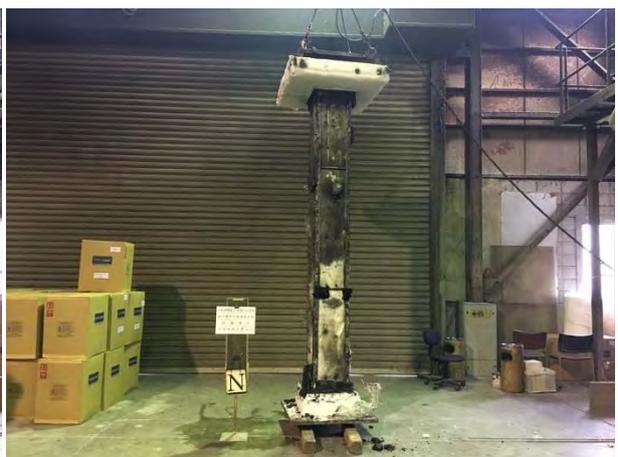


写真 4.4.2.3-6 北面の脱炉後の試験体



写真 4.4.2.3-7 燃えカスになっている単板積層材材



写真 4.4.2.3-8 木ダボの炭化状況



写真 4.4.2.3-9 脱炉後柱上部



写真 4.4.2.3-10 断熱材の膨らみ状況

(2) 実験結果の考察

被覆材として使った、りん・窒素系薬剤処理単板積層材の脱落音が 82 分、96 分 100 分以降（断続的）に確認できており、脱炉後も熱電対が下に落ちていたことから被覆材裏面温度はいずれかのタイミングで本来の測定位置から外れていたと考えられる。

加熱温度（試験体から 100 mm の温度）が後追い中に上昇しているが、被覆材の発熱によるものと思われる。

脱炉後、被覆材は燃焼しており、被覆材の薬剤が断熱材の方に移っていたことが確認できた。

5. 難燃処理単板積層材の材料強度

5. 1 注入材料の強度評価

5. 1. 1 目的

被覆材に使われる難燃処理単板積層材は構造用単板積層材でも製造可能であるが、現状では被覆部材を構造計算に入れて建築基準法を満足させることはできない。しかし、剛性の向上や振動特性の改善につながることは明らかである。難燃処理単板積層材の物理的な強度特性を明らかにすることで、中層大規模木構造の設計に重要になる剛性確保などに使える強度特性が判明する。そこで、難燃処理単板積層材 と無処理単板積層材について曲げ，縦引張，縦圧縮，めり込み，せん断の各強度試験を行い，強度性能に差があるかどうか評価を行った。

5. 1. 2 方法

難燃処理及び無処理のスギ単板積層材について、強軸、弱軸及び荷重方向の違いによる曲げ、縦引張、縦圧縮、めり込み及びせん断の各強度性能の差を検証する。難燃処理のための薬剤は、丸菱油工業株式会社製 W2-50（リン・チッソ系化合物）である。

まず、難燃処理及び無処理のスギ単板積層材を用意するため、長さ 2400 mm、25 mm厚、幅 1200 mmの単板積層材を長さ方向に半分に分け、サイドマッチングとした。片方は無処理の材（以下、未注入材とする）、もう一方は難燃処理のための薬剤を 150kg/m³を目標に注入した材（以下、注入材とする）を乾燥して、図 5.1.2-1 のように各強度試験を行うため分割した。

未注入材は N、注入材は Y、試験体の長さ方向が表層の繊維方向と同じ方向のものは //（強軸）、直交方向のものは ⊥（弱軸）、加力方向で単板の板目面を加力するものはフラットワイズ（F）、単板の積層面を加力するものはエッジワイズ（E）と表示する。

なお、試験材の単板構成、採材位置及び寸法は図 5.1.2-2 及び図 5.1.2-3 のとおりである。

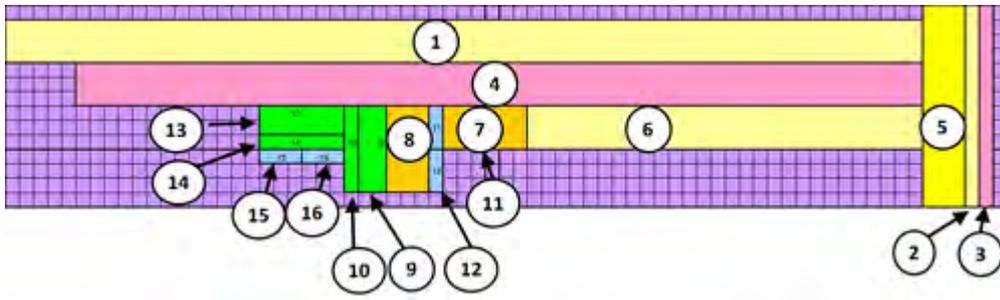


図 5.1.2-1 試験体区分図

図 5.1.2-2 積層構成（茶色は直交

No	試験種別	繊維方向	厚・幅方向	厚	×	幅	×	長さ
1	曲げ	//	E	25	×	90	×	2070
2	曲げ	⊥	E	25	×	25	×	575
3	引張	⊥		25	×	25	×	600
4	引張	//		25	×	90	×	1800
5	曲げ	⊥	F	25	×	90	×	600
6	曲げ	//	F	25	×	90	×	575
7	圧縮	//		25	×	90	×	150
8	圧縮	⊥		25	×	90	×	150
9	せん断	⊥	F	25	×	40	×	150
10	せん断	⊥	E	25	×	25	×	150
11	めり込み	⊥	F	25	×	25	×	75
12	めり込み	⊥	E	25	×	25	×	75
13	せん断	//	F	25	×	40	×	150
14	せん断	//	E	25	×	25	×	150
15	めり込み	//	F	25	×	25	×	75
16	めり込み	//	E	25	×	25	×	75

単板)

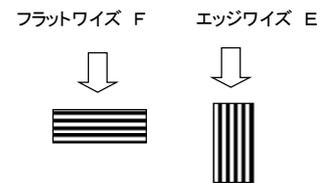


図 5.1.2-3 試験体仕様と表示・加力方向

(1) 曲げ

試験条件は、支点間距離は厚さの 21 倍、荷重点間距離は厚さの 7 倍の 3 等分点 4 点荷重方式である（写真 5.1.2-1, 5.1.2-2 参照）。試験体数は各条件 6 体である。

(2) 縦圧縮

試験条件は、試験体長は短辺の 6 倍、標点間距離は中央で短辺の 2 倍である（写真 5.1.2-3 参照）。変位計は 4 面に取り付け、変形量の平均を評価した。試験体数は各条件 6 体である。

(3) 縦引張

試験条件は、// タイプでチャック間距離 600 mm、標点間距離 200 mm、変位計は 2 箇所であ

る（写真 5.1.2-4 参照）。⊥タイプはチャック間距離 150 mm で、試験機の形状及び試験体の長さの関係から変位形は取り付けられなかった。試験体数は各条件 6 体である。

（４）めり込み

試験条件は、加圧用鋼板幅 25 mm、で、上面中央を厚さの 5% 変形減少するまで加力した。試験体の長さは厚さの 3 倍である。変位計は 2 箇所である（写真 5.1.2-5 参照）。試験体数は各条件 6 体である。

（５）せん断

試験条件は、水平せん断試験として試験体長は厚さの 6 倍、支点間距離は厚さの 4 倍、3 点曲げ方式で、加力点は、 $R=37.5$ mm の硬木とした（写真 5.1.2-6 参照）。試験体数は各条件 6 体である。



写真 5.1.2-1 曲げ（エッジワイズ） 写真 5.1.2-2 曲げ（フラットワイズ） 写真 5.1.2-3 縦圧縮



写真 5.1.2-4 縦引張 写真 5.1.2-5 めり込み 写真 5.1.2-6 せん断(フラットワイズ)

5. 2 難燃処理単板積層材の材料強度

5. 2. 1 曲げ

曲げ試験結果を表 5.2.1-1 に示す。5%下限値は、信頼水準 75%の 95%下側許容限界値で、正規分布と仮定して計算した。

曲げ試験材の縦振動法による動的ヤング係数と曲げヤング係数 (MOE) の関係を図 5.2.1-1 に示す。全体的に動的ヤング係数が曲げヤング係数に比べて高めの値となった。動的ヤング係数について、Scheffe's F test による検定をした結果、採材位置による有意な差はなかった。また、難燃処理の有無による有意な差も無かった。なお、検定の方法は曲げに限らず、他の強度試験結果もすべて Scheffe's F test により行った。

図 5.2.1-2 に曲げヤング係数と曲げ強度の関係を示す。フラットワイズの試験体において、曲げ強度のバラツキが多いようである。

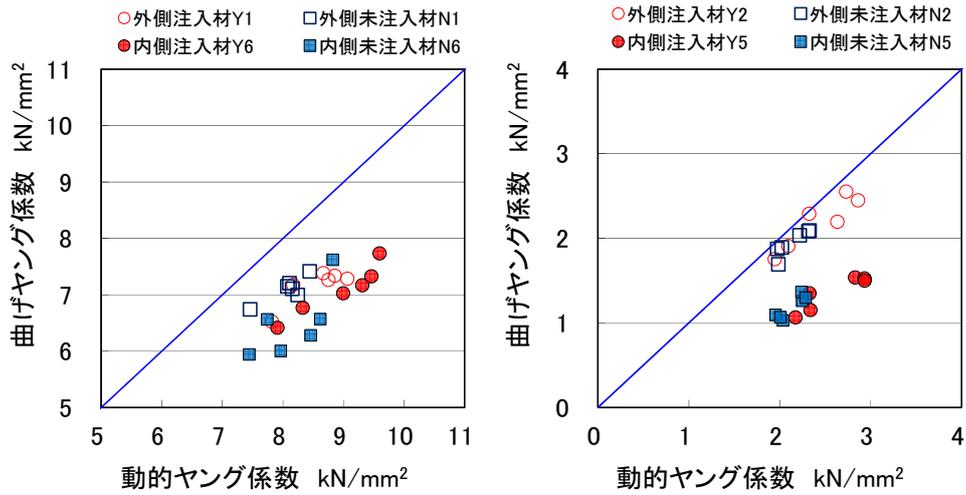
つぎに、曲げ強度 (MOR) は、5%下限値で //F_注入材_Y6 のほうが //F_未注入材_N6 よりも少し高くなったが、その他はすべて未注入材のほうが高くなった。

曲げ強度、曲げヤング係数、比例限度強度 (E エッジワイズのみ) において、各方向のグループで検定を行ったが、比例限度強度の //E_注入材_Y1 と //E_未注入材_N1 に危険率 5%で有意な差があった。曲げヤング係数平均値がほとんど変わらず、注入材の曲げ強度平均値が少し低めで、比例限度強度と曲げ強度の比はどちらも約 0.87 であることからから考えて、試験体数が各 6 体と少なく、注入材の方が、たまたま低かったのではないかと考えられた。比例限度強度以外の比較では、曲げ強度、曲げヤング係数とも注入、未注入材に有意な差はなかった。

写真 5.2.1-1 に破壊形態例 (左: 注入材、右: 未注入材) を示す。注入材が脆性的な破壊形態であった。

表 5.2.1-1 曲げ試験結果

Y1 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	2.876	2070	25.71	90.31	576	2.55	29.0	22.0	6.53	1.81	16.1	19.4	39.0	7.82
平均値	2.918	2070	26.06	90.59	597	2.90	31.7	25.7	7.17	2.52	22.3	26.5	49.0	8.55
最大値	2.977	2070	26.57	90.83	607	3.59	38.0	31.6	7.39	2.91	25.6	29.7	72.0	9.06
標準偏差	0.040	0	0.29	0.22	13	0.38	3.4	3.3	0.32	0.40	3.6	3.8	12.3	0.47
変動係数%	1.4	0.0	1.1	0.2	2.1	13.0	10.6	12.9	4.5	15.8	16.0	14.3	25.1	5.47
5%下限値								17.9						
N1 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	2.146	2070	25.40	89.58	455	2.87	32.0	25.6	6.74	2.58	23.3	29.0	48.2	7.46
平均値	2.225	2070	25.65	90.35	464	3.36	39.1	30.4	7.10	2.95	26.6	32.3	70.9	8.08
最大値	2.285	2070	25.88	90.92	471	3.90	46.5	34.6	7.42	3.35	29.7	35.0	94.3	8.44
標準偏差	0.054	0	0.21	0.45	6	0.43	5.9	4.0	0.22	0.28	2.5	2.6	20.9	0.33
変動係数%	2.4	0.0	0.8	0.5	1.4	12.8	15.2	13.3	3.2	9.5	9.3	7.9	29.4	4.11
5%下限値								20.9						
Y2 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	0.225	575	25.99	24.84	593	0.14	5.5	4.2	1.76	0.12	3.7	4.8	0.4	1.94
平均値	0.230	575	26.12	25.24	606	0.27	10.1	8.5	2.19	0.20	6.2	6.9	1.6	2.43
最大値	0.239	575	26.36	25.60	629	0.36	14.8	11.3	2.55	0.29	9.6	10.5	2.9	2.86
標準偏差	0.005	0	0.15	0.31	13	0.08	3.2	2.7	0.31	0.06	2.1	2.0	0.9	0.37
変動係数%	2.3	0.0	0.6	1.2	2.1	30.7	31.4	31.7	14.1	32.8	34.4	29.8	58.5	15.13
5%下限値								2.2						
N2 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	0.157	575	25.45	24.85	432	0.27	12.2	8.8	1.69	0.18	6.0	7.5	1.8	1.97
平均値	0.171	575	25.54	25.16	463	0.32	15.8	10.4	1.95	0.21	6.7	8.3	3.0	2.14
最大値	0.178	575	25.66	25.43	481	0.44	22.5	14.3	2.09	0.23	7.4	9.2	5.8	2.33
標準偏差	0.008	0	0.10	0.24	19	0.06	3.9	2.0	0.16	0.02	0.6	0.6	1.5	0.17
変動係数%	4.7	0.0	0.4	1.0	4.0	19.9	24.5	19.7	8.0	10.7	9.2	6.9	49.9	7.79
5%下限値								5.6						
Y5 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	0.840	600	90.04	25.94	589	0.75	9.9	6.3	1.07	0.68	5.7	9.9	3.9	2.17
平均値	0.867	600	90.44	26.06	613	1.04	16.5	8.9	1.36	0.85	7.2	12.5	9.9	2.59
最大値	0.891	600	91.00	26.26	629	1.53	23.6	12.9	1.54	1.00	8.4	14.6	20.1	2.93
標準偏差	0.020	0	0.34	0.14	15	0.31	6.1	2.6	0.20	0.11	1.0	1.9	6.7	0.35
変動係数%	2.3	0.0	0.4	0.5	2.4	29.8	36.8	29.6	15.1	13.5	13.7	15.2	68.0	13.39
5%下限値								2.7						
N5 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	0.591	600	90.31	25.71	416	0.74	14.8	6.5	1.03	0.56	4.9	10.6	5.7	1.96
平均値	0.642	600	90.59	26.06	454	1.14	24.0	9.7	1.19	0.77	6.6	13.0	17.6	2.13
最大値	0.671	600	90.83	26.57	476	1.66	38.2	14.1	1.37	1.11	9.4	16.8	32.5	2.29
標準偏差	0.028	0	0.22	0.29	22	0.34	10.4	2.8	0.14	0.21	1.7	2.5	13.0	0.14
変動係数%	4.4	0.0	0.2	1.1	4.9	29.7	43.3	29.3	11.8	26.9	26.5	19.6	74.0	6.79
5%下限値								3.1						
Y6 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	0.797	575	89.74	25.77	597	2.31		20.0	6.42					7.91
平均値	0.812	575	90.02	25.89	606	3.29		28.7	7.08					8.93
最大値	0.834	575	90.34	26.04	620	3.82		33.4	7.74					9.60
標準偏差	0.013	0	0.21	0.11	9	0.55		4.9	0.46					0.68
変動係数%	1.6	0.0	0.2	0.4	1.4	16.8		17.0	6.4					7.6
5%下限値								17.3						
N6 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	曲げ強度 N/mm ²	曲げヤング 係数 kN/mm ²	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm	Efr kN/mm ²
最小値	0.598	575	90.11	25.42	452	2.53		22.7	5.94					7.45
平均値	0.616	575	90.33	25.47	466	3.73		33.4	6.50					8.18
最大値	0.637	575	90.54	25.53	480	4.81		43.1	7.62					8.83
標準偏差	0.014	0	0.16	0.04	10	0.82		7.3	0.61					0.54
変動係数%	2.3	0.0	0.2	0.2	2.2	21.9		21.9	9.4					6.63
5%下限値								16.3						



// (強軸方向)

⊥ (弱軸方向)

図 5.2.1-1 強軸方向及び弱軸方向の採材位置による動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

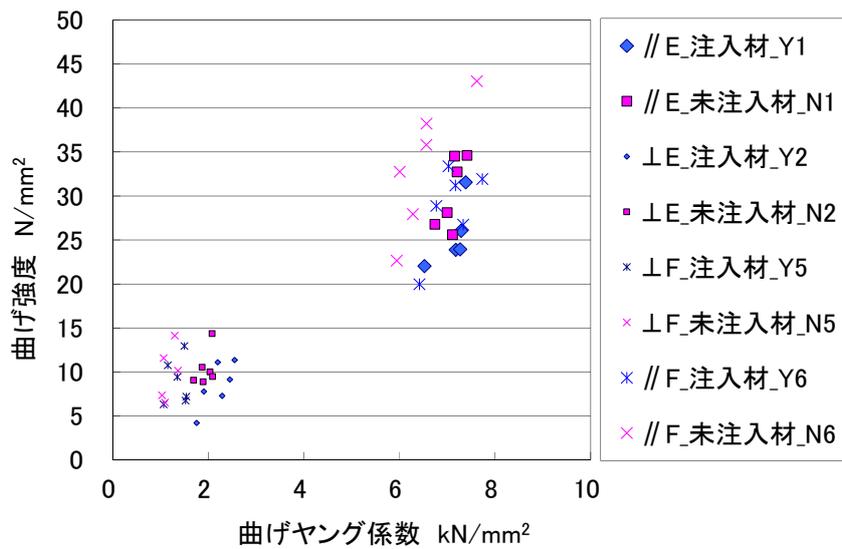


図 5.2.1-2 曲げヤング係数と曲げ強度の関係



写真 5.2.1-1 破壊形態例 (左: 注入材、右: 未注入材)

5. 2. 2 縦圧縮

縦圧縮試験結果を表 5.2.2-1 に示す。縦圧縮強度、縦圧縮ヤング係数とも平均値、5%下限値どちらもほとんど同じ値であった。

縦圧縮ヤング係数と縦圧縮強度の関係を図 5.2.2-1 に示す。表 5.2.2-1 から分かるように、縦圧縮強度に差は無いようである。

縦圧縮強度、縦圧縮ヤング係数、最大荷重時のひずみ、比例限度強度において、それぞれ検定を行ったが、注入、未注入材に有意な差はなかった。

表 5.2.2-1 縦圧縮試験結果

Y7 試験材No n=5	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦圧縮 強度 N/mm ²	縦圧縮 ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	0.206	150	89.61	25.76	587	66.6	0.25	28.5	3.25	4950	34.0	14.4	0.10	10.6
平均値	0.211	150	90.07	25.96	602	72.1	0.66	30.8	6.21	13260	54.3	23.3	0.22	34.1
最大値	0.220	150	90.57	26.14	624	78.9	2.14	34.0	7.71	42850	67.2	28.8	0.31	119.3
標準偏差	0.01	0.1	0.42	0.14	14.3	5.3	0.83	2.3	1.85	16557	17.1	7.4	0.08	47.7
変動係数%	2.5	0.1	0.5	0.5	2.4	7.4	124.9	7.6	29.8	124.9	31.5	31.8	36.6	139.9
5%下限値								25.4						

N7 試験材No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦圧縮 強度 N/mm ²	縦圧縮 ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	0.156	150	90.13	25.46	453	62.7	0.28	27.3	4.28	5600	42.0	18.2	0.14	12.1
平均値	0.161	150	90.43	25.52	466	69.5	0.36	30.1	6.33	7282	53.9	23.3	0.20	16.0
最大値	0.167	150	91.31	25.62	483	75.0	0.44	32.6	7.76	8750	65.7	28.4	0.28	20.5
標準偏差	0.00	0.2	0.46	0.06	12.3	5.4	0.07	2.3	1.61	1425	9.5	4.2	0.06	2.9
変動係数%	2.4	0.1	0.5	0.2	2.6	7.8	19.6	7.5	25.4	19.6	17.7	17.8	31.9	18.4
5%下限値								24.8						

Y8 試験材No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦圧縮 強度 N/mm ²	縦圧縮 ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	0.207	150	89.37	25.78	591	23.4	0.41	10.0	1.74	8290	12.1	5.1	0.12	6.1
平均値	0.213	150	90.03	26.02	604	26.7	0.78	11.4	2.18	15585	14.9	6.4	0.15	16.4
最大値	0.221	151	90.38	26.34	630	29.0	1.45	12.4	2.69	28920	18.6	7.9	0.18	35.1
標準偏差	0.00	0.5	0.36	0.20	13.5	2.0	0.38	0.9	0.34	7677	2.8	1.2	0.02	10.3
変動係数%	2.1	0.3	0.4	0.8	2.2	7.4	49.3	7.7	15.7	49.3	19.0	18.9	15.1	62.8
5%下限値								9.4						

N8 試験材No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦圧縮 強度 N/mm ²	縦圧縮 ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	0.147	150	89.82	25.38	430	21.6	0.41	9.4	1.61	8240	12.4	5.4	0.14	5.9
平均値	0.162	150	90.03	25.43	472	24.2	0.68	10.6	1.93	13670	14.8	6.5	0.18	12.3
最大値	0.173	150	90.30	25.51	505	27.0	0.84	11.8	2.54	16770	17.9	7.8	0.22	17.0
標準偏差	0.01	0.1	0.17	0.05	25.6	1.9	0.17	0.8	0.34	3351	1.8	0.8	0.03	3.9
変動係数%	5.5	0.1	0.2	0.2	5.4	8.0	24.5	8.0	17.4	24.5	12.2	12.1	16.0	31.7
5%下限値								8.6						

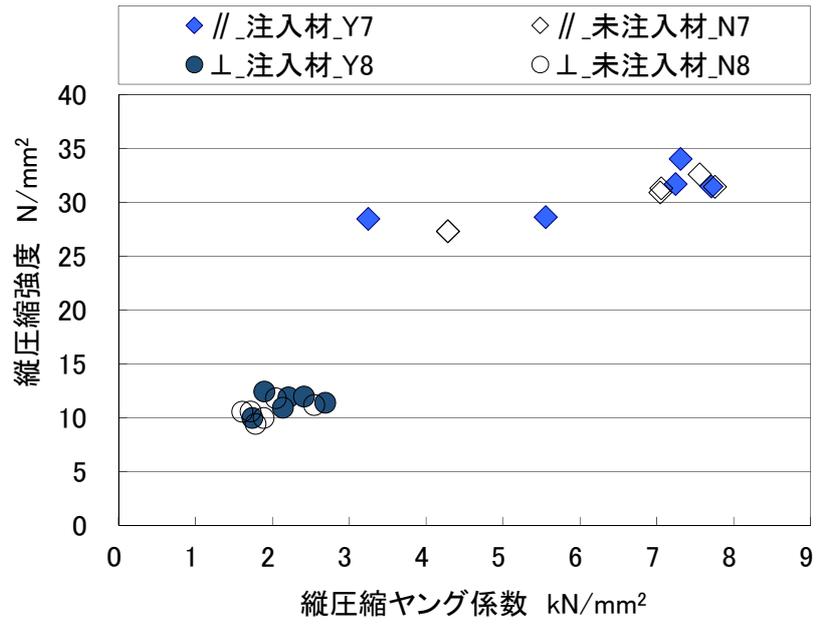


図 5.2.2-1 縦圧縮ヤング係数と縦圧縮強度の関係



写真 5.2.2-1 破壊形態例 (左：注入材、右：未注入材)

5. 2. 3 縦引張

縦引張試験結果を表 5.2.3-1 に示す。⊥（弱軸方向）は変位計の取り付けが出来なかったため縦引張強度のみである。縦引張強度については//（強軸方向）で平均値、5%下限値どちらも未注入材が高い値であったが、⊥（弱軸方向）は、あまり差が無かった。

縦引張ヤング係数と縦引張強度の関係を図 5.2.3-1 に示す。//（強軸方向）の注入材の縦引張ヤング係数にバラツキが大きいことが分かる。

縦引張強度、縦引張ヤング係数において、それぞれ検定を行ったが、注入、未注入材に有意な差はなかった。

写真 5.2.2-1 に破壊形態例（左：注入材、右：未注入材）を示す。注入材が脆性的な破壊形態であった。

表 5.2.3-1 縦引張試験結果

Y4 試験材No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦引張り 強度 N/mm ²	縦引張り ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	2.503	1800	90.40	25.83	584	37.3	0.42	15.7	6.43	2090	24.7	10.4	0.28	8.6
平均値	2.551	1800	90.63	26.00	601	43.3	0.50	18.4	7.77	2524	33.5	14.2	0.38	11.6
最大値	2.580	1800	91.09	26.29	613	47.2	0.59	20.1	8.86	2925	47.2	20.1	0.50	14.5
標準偏差	0.03	0.00	0.24	0.16	10.1	4.13	0.05	1.7	0.80	271	7.91	3.36	0.08	2.4
変動係数%	1.1	0.0	0.3	0.6	1.7	9.5	10.7	9.5	10.3	10.7	23.6	23.6	20.6	20.8
5%下限値								14.32						

N4 試験材No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦引張り 強度 N/mm ²	縦引張り ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	1.839	1800	89.86	25.41	445	46.8	0.54	20.2	7.83	2715	26.9	11.6	0.30	13.2
平均値	1.942	1800	90.42	25.53	467	51.2	0.60	22.2	8.01	3023	45.1	19.5	0.49	16.5
最大値	2.023	1800	90.80	25.64	485	58.7	0.71	25.4	8.51	3533	58.7	25.4	0.59	21.2
標準偏差	0.06	0.00	0.36	0.09	14.1	4.47	0.07	2.0	0.25	334	10.88	4.70	0.10	3.0
変動係数%	3.1	0.0	0.4	0.4	3.0	8.7	11.0	8.8	3.2	11.0	24.1	24.0	21.2	18.4
5%下限値								17.6						

Y3 試験材No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦引張り 強度 N/mm ²	縦引張り ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	0.233	600	24.69	25.93	602	2.9		4.5						
平均値	0.239	600	24.98	26.05	612	4.9		7.5						
最大値	0.246	600	25.42	26.22	634	6.5		10.0						
標準偏差	0.00	0.00	0.25	0.11	12.3	1.46		2.3						
変動係数%	1.8	0.0	1.0	0.4	2.0	29.9		30.3						
5%下限値								2.2						

N3 試験材No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	最大荷重 kN	最大荷重時 変形量 mm	縦引張り 強度 N/mm ²	縦引張り ヤング係数 kN/mm ²	最大荷重時 ひずみ ×10 ⁻⁶	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量 kN・mm
最小値	0.170	600	24.92	25.41	447	2.7		4.1						
平均値	0.181	600	25.20	25.52	470	5.0		7.8						
最大値	0.188	600	25.42	25.64	486	7.7		11.9						
標準偏差	0.01	0.00	0.19	0.08	16.0	1.68		2.6						
変動係数%	3.7	0.0	0.7	0.3	3.4	33.7		33.6						
5%下限値								1.7						

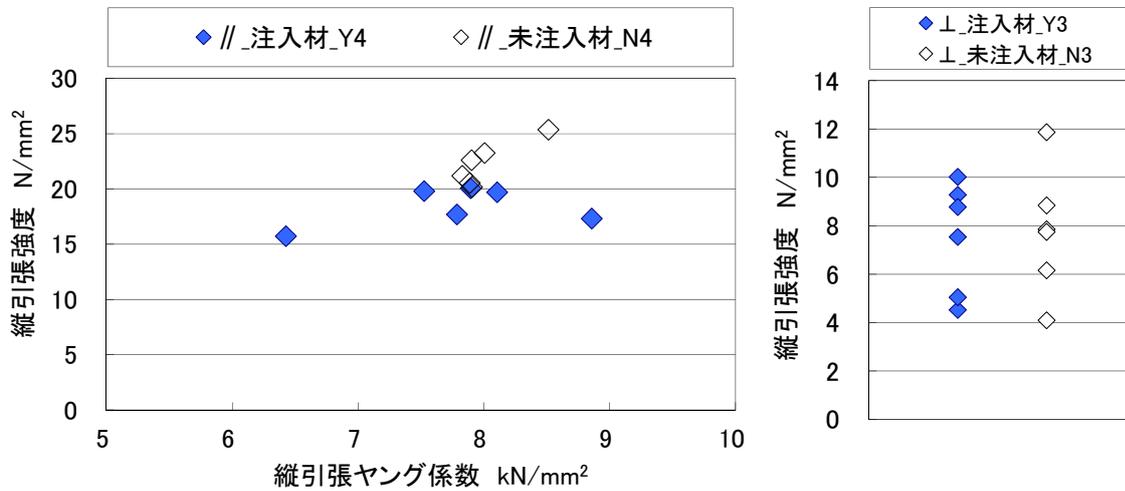


図 5.2.3-1 縦引張ヤング係数と縦引張強度の関係

5. 2. 4 むり込み

むり込み試験結果を表 5.2.4-1 に示す。むり込み強さについては、平均値で注入材が未注入材を上回った。5%下限値では、⊥（弱軸方向）のエッジワイズ未注入材が低くなった。むり込み剛性でも、むり込み強さの平均値と同じ傾向であった。

図 5.2.4-1 むり込み強さ、図 5.2.4-2 にむり込み剛性、それぞれ試験時の荷重方向と注入材と未注入材の比較を示す。表 5.2.4-1 の内容を反映した図となっている。

むり込み強さ、むり込み剛性、むり込み強さの比例限度、仕事量の全てにおいて、⊥（弱軸方向）のエッジワイズ注入材と⊥（弱軸方向）のエッジワイズ未注入材に危険率 1%で有意な差が見られた。試験は厚さの 5%むり込むと試験を終了するのであるが、これらの試験体では、それまでの約 3%のあたりで最大荷重となっており、// の縦圧縮試験では注入材、未注入材どちらも差がなかったことを考えると、何らかの理由で、部分的にむり込み強度性能が向上したと考えられた。

この 2 グループ以外は、むり込み強さ、むり込み剛性、比例限度むり込み強さ、仕事量とも注入、未注入材それぞれに有意な差はなかった。

表 5.2.4-1 むり込み試験結果

Y16 No n=6	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0292	24.53	25.66	74.60	10.52	16.95	42.82	7.70	12.40	0.35	9.40	1.24
平均値	0.0300	24.83	25.88	74.93	11.90	19.19	48.22	9.09	14.66	0.42	11.24	1.51
最大値	0.0305	25.47	26.05	75.29	12.98	20.85	52.79	9.90	16.15	0.45	12.05	1.75
標準偏差	0.0004	0.350	0.16	0.28	0.95	1.67	3.64	0.83	1.44	0.04	0.99	0.21
変動係数%	1.5	1.4	0.6	0.4	8.0	8.7	7.5	9.1	9.8	9.4	8.8	14.1
5%下限値						15.3						

N16 No n=6	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0196	23.98	25.40	74.65	9.32	15.01	22.69	6.07	9.78	0.37	8.75	0.93
平均値	0.0223	24.78	25.45	74.76	10.75	17.35	37.36	7.11	11.47	0.39	10.25	1.19
最大値	0.0252	25.27	25.52	74.93	11.48	18.17	47.33	7.84	12.41	0.42	11.65	1.76
標準偏差	0.0018	0.434	0.04	0.11	0.75	1.17	8.62	0.60	0.91	0.02	0.93	0.30
変動係数%	7.9	1.8	0.2	0.1	7.0	6.8	23.1	8.4	7.9	5.4	9.1	24.8
5%下限値						14.6						

Y12 No n=6	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0286	24.35	25.73	74.74	21.99	44.29	120.67	19.31	38.90	0.40	21.10	3.18
平均値	0.0296	24.70	25.87	75.00	23.61	47.79	131.05	21.37	43.26	0.45	22.23	3.81
最大値	0.0310	24.82	26.02	75.36	24.94	50.34	140.93	23.24	46.92	0.48	23.53	4.41
標準偏差	0.0008	0.175	0.11	0.22	1.12	2.26	7.87	1.48	3.04	0.03	1.00	0.44
変動係数%	2.8	0.7	0.4	0.3	4.7	4.7	6.0	6.9	7.0	5.9	4.5	11.6
5%下限値						42.5						

N12 No n=6	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0202	24.85	25.34	74.72	18.72	29.87	71.02	15.72	25.08	0.46	16.16	2.83
平均値	0.0223	25.03	25.44	74.90	22.02	35.19	93.48	18.52	29.59	0.49	19.59	3.17
最大値	0.0241	25.14	25.62	74.98	24.94	39.68	102.89	21.07	33.52	0.55	21.41	3.73
標準偏差	0.0013	0.109	0.10	0.09	2.25	3.59	11.80	1.83	2.90	0.04	1.97	0.31
変動係数%	5.8	0.4	0.4	0.1	10.2	10.2	12.6	9.9	9.8	8.2	10.0	9.7
5%下限値						26.8						

Y11 No n=5	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0290	25.89	24.45	74.55	2.82	4.35	4.92	1.29	1.99	0.26	2.21	0.16
平均値	0.0304	26.02	24.75	74.91	3.17	4.87	7.45	1.60	2.46	0.39	2.50	0.30
最大値	0.0315	26.21	24.93	75.24	3.59	5.49	9.57	1.86	2.85	0.58	2.75	0.54
標準偏差	0.0011	0.152	0.19	0.32	0.35	0.52	2.17	0.26	0.39	0.12	0.26	0.15
変動係数%	3.5	0.6	0.8	0.4	10.9	10.7	29.1	16.3	15.8	31.5	10.3	48.0
5%下限値						3.7						

N11 No n=6	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0204	25.43	24.85	74.65	2.40	3.78	5.62	1.09	1.71	0.28	1.96	0.14
平均値	0.0224	25.50	25.01	74.83	2.78	4.36	8.23	1.33	2.08	0.31	2.32	0.18
最大値	0.0235	25.56	25.14	75.09	3.53	5.53	10.91	1.66	2.60	0.34	2.85	0.21
標準偏差	0.0011	0.051	0.12	0.16	0.42	0.65	1.74	0.22	0.35	0.03	0.31	0.03
変動係数%	5.0	0.2	0.5	0.2	15.0	14.9	21.2	16.8	16.7	8.9	13.4	17.5
5%下限値						2.8						

Y15 No n=6	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0301	25.72	24.61	74.68	3.33	5.12	7.41	1.46	2.24	0.31	2.84	0.23
平均値	0.0308	25.97	24.95	75.01	4.00	6.16	9.60	2.24	3.45	0.41	3.22	0.44
最大値	0.0323	26.15	25.56	75.34	4.64	7.09	11.55	2.61	4.03	0.50	3.83	0.59
標準偏差	0.0008	0.154	0.35	0.22	0.45	0.67	1.57	0.41	0.64	0.07	0.34	0.14
変動係数%	2.6	0.6	1.4	0.3	11.2	10.9	16.3	18.3	18.5	17.5	10.6	32.1
5%下限値						4.6						

N15 No n=6	重量 kg	幅 mm	高さ mm	長さ mm	厚5%までの 最大荷重 kN	むり込み 強さ N/mm ²	むり込み 剛性 N/mm ³	比例限度 荷重 kN	比例限度 強度 N/mm ²	比例限度 変形量 mm	仕事量	
											最大荷重 kN・mm	比例限度 kN・mm
最小値	0.0204	25.49	24.74	74.66	3.07	4.81	8.79	1.40	2.19	0.26	2.61	0.17
平均値	0.0221	25.58	24.93	74.92	3.52	5.51	10.93	1.72	2.69	0.29	2.98	0.23
最大値	0.0251	25.71	25.21	75.03	3.95	6.21	12.37	2.04	3.18	0.35	3.29	0.30
標準偏差	0.0019	0.098	0.17	0.13	0.39	0.60	1.18	0.30	0.47	0.03	0.27	0.06
変動係数%	8.4	0.4	0.7	0.2	11.0	10.9	10.8	17.5	17.5	11.9	9.2	25.4
5%下限値						4.1						

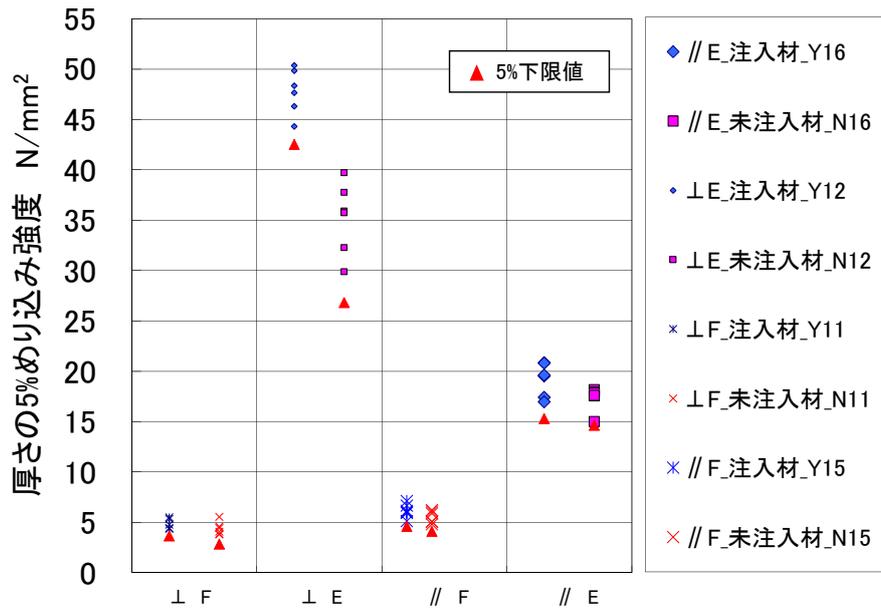


図 5.2.4-1 めり込み強度 注入材・未注入材の比較

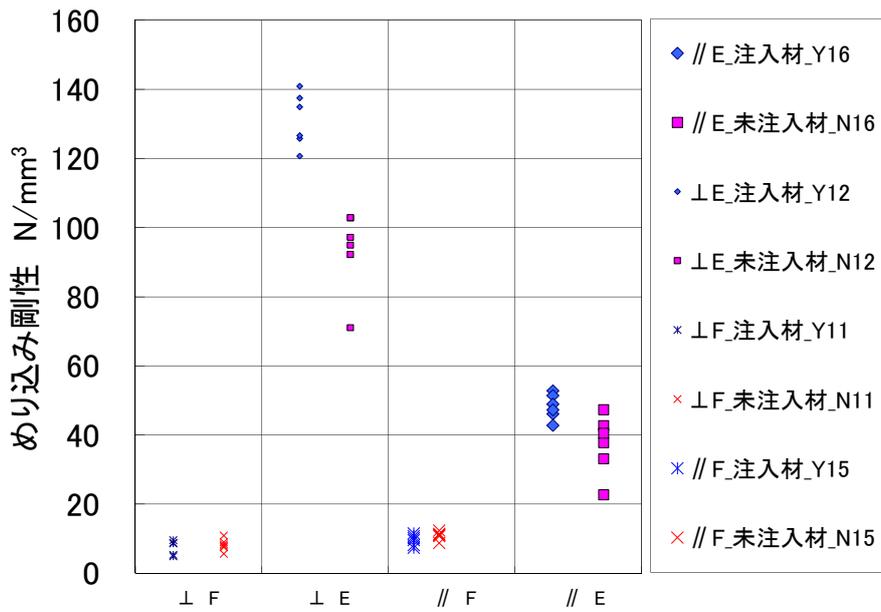


図 5.2.4-2 めり込み剛性 注入材・未注入材の比較

5. 2. 5 せん断

せん断試験結果を表 5.2.5-1 に示す。せん断試験の評価は破壊形態にかかわらず、すべての試験体の値で計算した。せん断強度については、//（強軸方向）で平均値、5%下限値どちらも未注入材が高い値であったが、⊥（弱軸方向）は、あまり差が無かった。

図 5.2.5-1 にせん断強度の注入材と未注入材の比較を示す。表 5.2.5-1 の内容を反映した図となっている。

また、せん断強度について、注入、未注入材それぞれに有意な差はなかった。

表 5.2.5-1 せん断試験結果

Y14 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0408	149.60	25.72	24.33	426	3.63	4.20	
平均値	0.0454	150.08	25.84	24.70	474	4.11	4.83	
最大値	0.0497	150.37	25.99	24.97	521	4.43	5.18	
標準偏差	0.0030	0.283	0.13	0.24	33.0	0.35	0.43	
変動係数%	6.5	0.2	0.5	1.0	7.0	8.5	8.9	
5%下限値							3.8	
N14 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0408	149.92	25.39	24.60	430	4.04	4.79	
平均値	0.0454	149.98	25.51	24.96	475	4.40	5.18	
最大値	0.0497	150.09	25.63	25.21	515	4.72	5.54	
標準偏差	0.0030	0.073	0.08	0.22	28.0	0.29	0.30	
変動係数%	6.5	0.0	0.3	0.9	5.9	6.6	5.9	
5%下限値							4.5	
Y10 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0578	149.90	25.80	24.64	592	1.39	1.62	
平均値	0.0601	150.36	25.93	24.88	619	1.59	1.85	
最大値	0.0636	151.29	26.15	25.02	649	1.86	2.16	
標準偏差	0.0019	0.502	0.12	0.13	19.5	0.21	0.24	
変動係数%	3.2	0.3	0.5	0.5	3.2	13.3	13.2	
5%下限値							1.3	
N10 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0415	149.90	25.32	24.88	431	1.25	1.48	
平均値	0.0448	150.36	25.43	25.21	465	1.55	1.81	
最大値	0.0470	151.29	25.48	25.48	487	1.84	2.13	
標準偏差	0.0021	0.502	0.06	0.22	22.3	0.27	0.31	
変動係数%	4.6	0.3	0.2	0.9	4.8	17.5	16.9	
5%下限値							1.1	
Y9 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0939	149.90	39.90	25.82	603	1.34	0.96	
平均値	0.0956	150.36	40.08	25.93	612	1.77	1.28	
最大値	0.0987	151.29	40.24	26.08	624	2.18	1.58	
標準偏差	0.0020	0.502	0.14	0.11	9.0	0.28	0.20	
変動係数%	2.1	0.3	0.4	0.4	1.5	15.8	16.0	
5%下限値							0.8	
N9 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0661	149.90	39.90	25.82	428	1.60	1.15	
平均値	0.0719	150.36	40.08	25.93	460	1.80	1.30	
最大値	0.0753	151.29	40.24	26.08	482	2.12	1.53	
標準偏差	0.0038	0.502	0.14	0.11	21.3	0.21	0.15	
変動係数%	5.2	0.3	0.4	0.4	4.6	11.9	11.8	
5%下限値							0.9	
Y13 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0802	149.72	36.26	25.71	573	3.26	2.62	
平均値	0.0927	150.06	39.31	25.89	606	4.46	3.27	
最大値	0.0977	150.36	40.20	26.20	627	5.13	3.70	
標準偏差	0.0063	0.310	1.50	0.18	19.7	0.66	0.39	
変動係数%	6.9	0.2	3.8	0.7	3.2	14.8	11.9	
5%下限値							2.4	
N13 試験体No n=6	重量 kg	全長 mm	幅 mm	厚 mm	密度 kg/m ³	Pmax kN	水平せん断 強度 N/mm ²	破壊
最小値	0.0650	149.96	39.60	25.36	431	4.69	3.45	
平均値	0.0712	149.99	39.82	25.44	468	5.03	3.73	
最大値	0.0758	150.03	40.08	25.53	498	5.39	4.03	
標準偏差	0.0046	0.028	0.19	0.07	28.4	0.31	0.24	
変動係数%	6.4	0.0	0.5	0.3	6.1	6.1	6.6	
5%下限値							3.2	

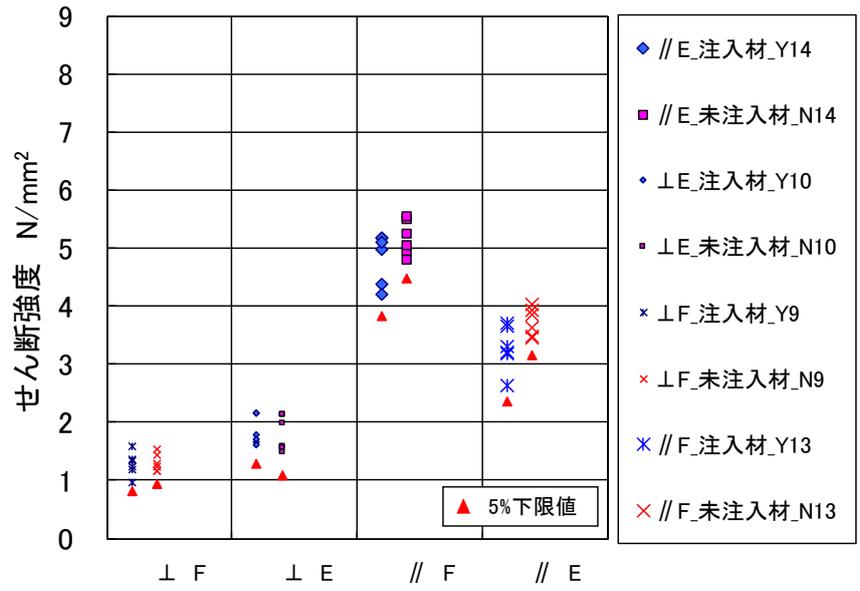


図 5.2.5-1 せん断強度 注入材・未注入材の比較

5. 3 まとめ

現状では難燃処理単板積層材被覆部材を構造計算に入れて建築基準法を満足させることはできないが、剛性の向上や振動特性の改善につながることは明らかである。難燃処理単板積層材の物理的な強度特性を明らかにすることで、中層大規模木構造の設計に重要になる剛性確保などに使える強度特性が判明する。そこで、難燃処理単板積層材と無処理単板積層材について曲げ、縦引張、縦圧縮、めり込み、せん断の各強度試験を行い、強度性能に差があるかどうか評価を行った。

動的ヤング係数について、Scheffe's F testによる検定をした結果、採材位置による有意な差はなかった。また、難燃薬剤注入の有無による有意な差も無かった。

曲げ強度、曲げヤング係数、比例限度強度（E エッジワイズのみ）において、各方向のグループで検定を行ったが、比例限度強度の//E_注入材_Y1と//E_未注入材_N1に危険率5%で有意な差があった。注入材の比例限度強度が低めとなり、弾性域が低下した。曲げヤング係数平均値がほとんど変わらず、注入材の曲げ強度平均値が少し低めで、比例限度強度と曲げ強度の比はどちらも約0.87であることからから考えて、試験体数が各6体と少なく、注入材の方が、たまたま低かったのではないかと考えられた。比例限度強度以外は、曲げ強度、曲げヤング係数とも注入、未注入材に有意な差はなかった。

縦圧縮強度、縦圧縮ヤング係数、最大荷重時のひずみ、比例限度強度において、注入、未注入材に有意な差はなかった。

縦引張強度、縦引張ヤング係数において、注入、未注入材に有意な差はなかった。

めり込み強さ、めり込み剛性、めり込み強さの比例限度、仕事量の全てにおいて、⊥（弱軸方向）のエッジワイズ注入材と⊥（弱軸方向）のエッジワイズ未注入材に危険率1%で有意な差が見られた。試験は厚さの5%めり込むと試験を終了するのであるが、これらの試験体では、それまでの約3%のあたりで最大荷重となっており、//の縦圧縮試験では注入材、未注入材どちらも差がなかったことを考えると、何らかの理由で、部分的にめり込み強度性能が向上したと考えられた。この2グループ以外は、めり込み強さ、めり込み剛性、比例限度めり込み強さ、仕事量とも注入、未注入材それぞれに有意な差はなかった。

せん断強度において、注入、未注入材それぞれに有意な差はなかった。

難燃処理単板積層材と無処理単板積層材について全体的に判断すると注入材、未注入材とも強度性能に差がなかったと判断するのが妥当であろう。このことから、難燃処理単板積層材被覆部材は、中層大規模木構造における断面積の増加に伴い、強度や剛性などの向上が期待できるのではないかと考えられる。今後は、難燃処理単板積層材被覆部材の接着性能の評価検討が必要である。

6. 木質耐火構造の荷重支持部材を想定した炭化性状比較実験

6. 1 背景

現行の性能評価のルールでは、木質耐火構造の荷重支持部材の樹種や材種を、試験体仕様に制限される場合がある。これらを包含的に評価できるようになれば、木質耐火構造部材の開発が効率的に進められるようになるが、そのためには、防耐火性能上の最不利条件を明らかにする必要がある。

木質耐火構造の性能の優劣は、ほとんどの場合、荷重支持部材の炭化の有無によって決まる。そこで、マッフル炉(電気炉)により木質耐火構造の荷重支持部材を模擬した試験体を加熱し、樹種や材種別に表面の炭化状況を把握する実験を行う。

6.2 実験条件および試験体

試験体の概要図を図 6.2-1 に示す。

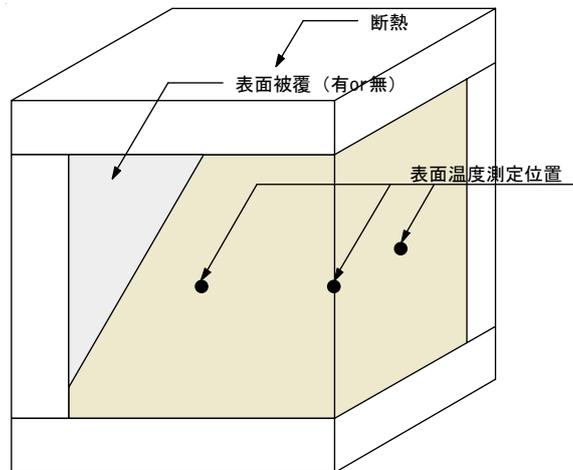


図 6.2-1 試験体概要図

・試験体：105×105×105 mm

樹種および材種はスギ集成材、スギ単板積層材、スギ製材、スプルー集成材、カラマツ集成材とする。スギ集成材を基点に、図 6.2-2 のような関係で比較を行う。

含水率の影響を排除するため、試験前に絶乾まで乾燥させる。乾燥方法は、JIS A 1476「建築材料の含水率測定方法」に従い、含水率の記録も併せて行う。

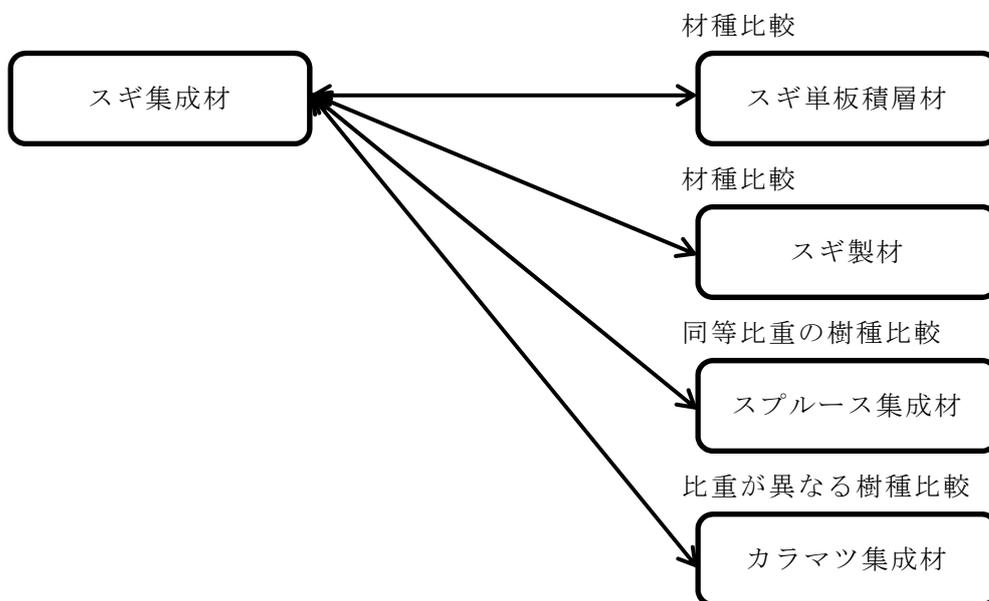


図 6.2-2 試験体のパラメータ

- ・被覆条件：なし または アルミニウムはくによる被覆

耐火構造の荷重支持部材は被覆材や燃え止まり層で覆われているため、胴縁等で空気層が設けられている場合を除き、空気に晒されていない。そこで、試験体表面の被覆を施す場合と施さない場合で実験を行う。加熱温度は表面温度を想定して設定するため、断熱しない素材としてアルミニウムはくを選定した。

- ・測定項目：加熱温度、表面温度、加熱後の炭化深さ^{※1}

- ・加熱条件：加熱面は隣り合う 2 面とし、荷重支持部材の角部も再現する。過去の木質耐火構造試験の荷重支持部材表面温度を参考に、加熱温度を①～③のとおりとした。加熱温度の推移を図 6.2-3 に示す。設定温度は 10°C ずつ変化させて加熱を行った。

- ① 3°C/min で設定温度まで昇温する。
- ② 60 分間恒温とする。
- ③ 0.5°C/min で 60 分間降温する。

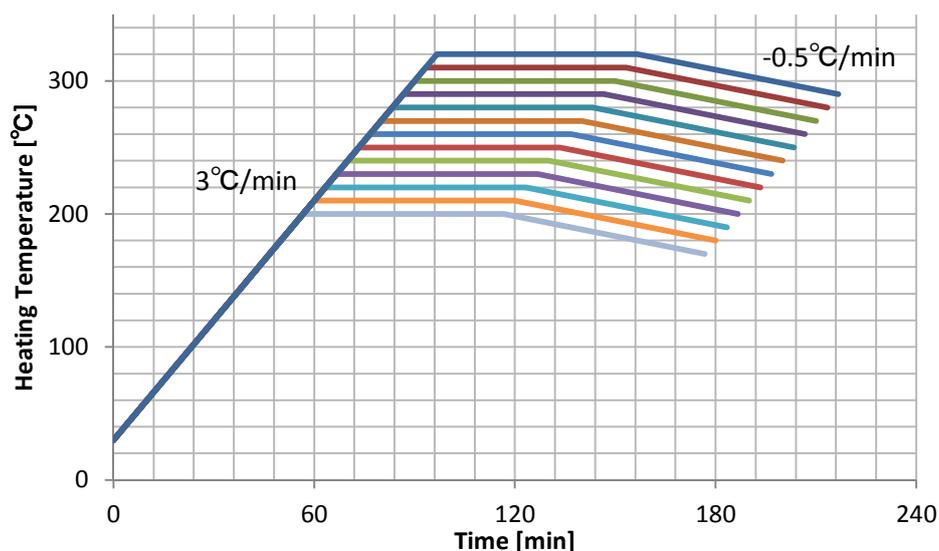


図 6.2-3 加熱温度

※1：炭化深さの測定方法

- (1) およそ 1cm 幅を養生し、ワイヤブラシを用いて表面を削り取る。今回の実験では、線径 0.35 mm のワイヤブラシを用いた。



写真 6.2-1 炭化層除去のようす

- (2) ノギスを用いて養生した部分から削り取った部分までの深さを計測し、これを本実験における「炭化深さ」とする。

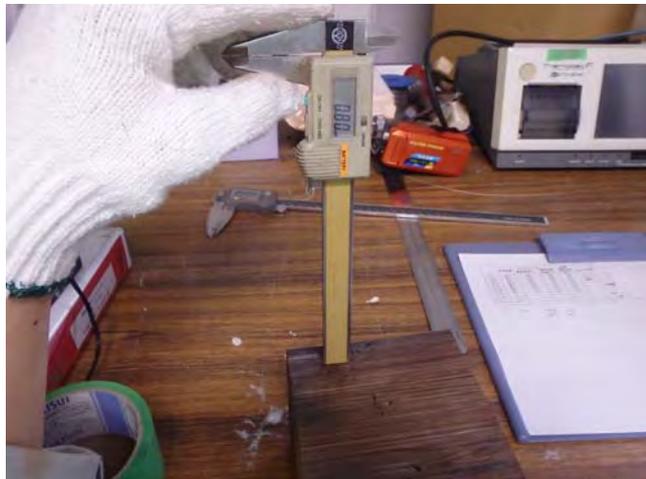


写真 6.2-2 炭化深さ測定のようす

【実験の進め方】

実験①：試験体をスギ集成材に限定し、表面被覆および加熱温度を変化させて実験を行う。炭化が進行する条件を抽出する。

実験②：実験①抽出した条件で、試験体の樹種、材種を変えて実験を行う。

6. 3 実験結果

6. 3. 1 実験①の結果

- ・試験体：スギ集成材
- ・パラメータ：表面被覆、加熱温度

試験体の外観を写真 6.3.1-1 に、実験条件および結果の一覧を表 6.3.1-1 に示す。また、温度計測結果および実験前後の試験体表面の様子を参考資料の参考図 6-1～6-10 に示す。

非加熱面の断熱にはアルカリアースシリケートブランケット(130kg/m³、50 mm厚)を用いた。



写真 6.3.1-1 試験体外観

記号	樹種・材種	表面被覆	設定温度 (°C)	試験体			結果			
				気乾比重	絶乾比重	含水率	最高温度 (角部)(°C)	最高温度 (平部)(°C)	温度-時間面積 (角部) (×10 ⁶ °C・s)	炭化深さ (mm)
Cc280	スギ集成材	あり	280	0.43	0.37	14.10	264	250	2.365	1.12
Cc290			290	0.41	0.36	14.24	266	250	2.381	1.03
Cc300			300	0.43	0.38	14.08	266	251	2.353	1.55
Cc310			310	0.43	0.38	13.82	278	262	2.505	1.74
Cc320			320	0.42	0.37	14.62	298	288	2.785	2.54
Cc330			330	0.45	0.39	14.90	321	312	2.884	—
Ce240		なし	240	0.43	0.38	13.77	241	233	2.142	1.12
Ce250			250	0.42	0.37	14.96	251	244	2.250	1.13
Ce260			260	0.44	0.38	14.65	264	257	2.374	1.65
Ce270			270	0.42	0.36	14.37	276	272	2.508	2.48

表 6.3.1-1 実験①の条件および結果

試験体記号：Cc300

- 設定温度
- 表面被覆の有無：あり：c / なし：e
- 試験体種別：スギ集成材：C
 - スギ単板積層材：L
 - スギ製材：W
 - スプルー集成材：S
 - カラマツ集成材：T

設定温度ごとに炭化深さをプロットしたグラフを図 6.3.1-1 に示す。

囲み線で示すように、表面被覆ありでは設定温度 300℃で、表面被覆なしでは設定温度 260℃で炭化深さが増大していることがわかる。これより、実験②の設定温度は表面被覆ありの場合は 300℃、表面被覆なしの場合は 260℃とする。

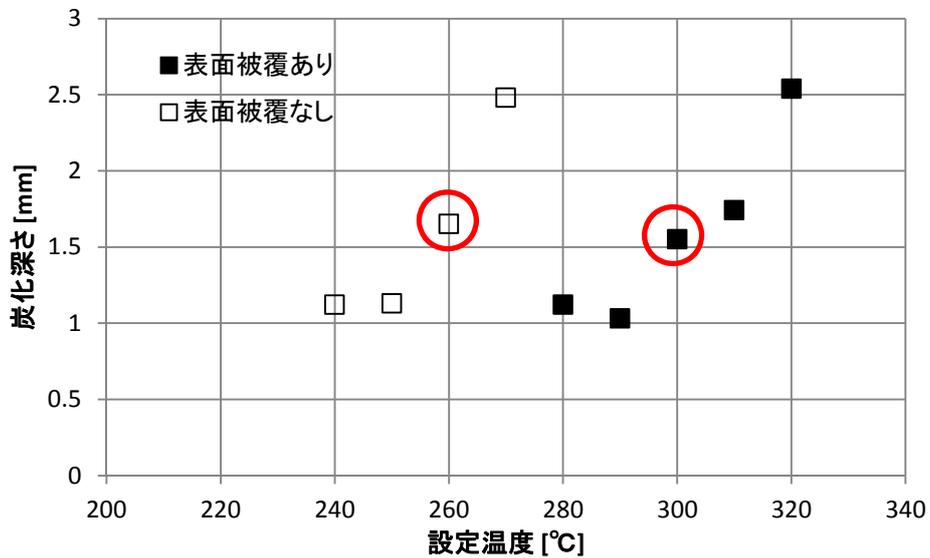


図 6.3.1-1 設定温度と炭化深さの関係

6. 3. 2 実験②の結果

設定温度：300℃（表面被覆あり） / 260℃（表面被覆なし）

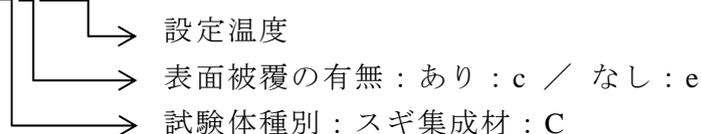
パラメータ：樹種および材種

実験条件および結果の一覧を表 6.3.2-1 に示す。また、温度計測結果および実験前後の試験体表面の様子を参考資料の参考図 6-11～6-20 に示す。

記号	樹種・材種	表面被覆	設定温度 (°C)	試験体			結果				備考
				気乾比重	絶乾比重	含水率	最高温度 (角部)(°C)	最高温度 (平部)(°C)	温度-時間面積 (角部) (×10 ⁶ °C・s)	炭化深さ (mm)	
Cc300	スギ集成材	あり	300	0.43	0.38	14.08	266	251	2.353	1.55	
Lc300	スギLVL			0.48	0.43	12.74	279	272	2.497	0.48	板目面
Wc300	スギ製材			0.37	0.34	10.02	283	276		2.614	3.21
Sc300	スプルス集成材			0.47	0.41	13.68	274	267	2.465	1.24	
Tc300	カラマツ集成材			0.51	0.46	9.60	264	248	2.309	1.06	
Ce260	スギ集成材			なし	260	0.44	0.38	14.65	264	257	2.374
Le260	スギLVL	0.48	0.42			13.17	268	268	2.413	1.11	板目面
We260	スギ製材	0.35	0.32			10.24	266	260		2.462	2.71
Se260	スプルス集成材	0.47	0.42			12.59	259	255	2.381	1.65	
Te260	カラマツ集成材	0.50	0.46			8.59	258	248	2.340	0.97	

表 6.3.2-1 実験②の条件および結果

試験体記号：Cc300



スギ単板積層材：L

スギ製材：W

スプルス集成材：S

カラマツ集成材：T

最高温度(角部)ごとに炭化深さをプロットしたグラフを図 6.3.2-1 に示す。スギ単板積層材(■, □)でプロットが 2 点あるのは、板目面と積層面それぞれの炭化深さを計測したためで、いずれも積層面の炭化深さが大きい結果となった。スギ集成材(■, □)と比べると、スギ単板積層材の積層面とスギ製材を除き、いずれの試験体も同等以下の炭化深さであった。

スギ単板積層材積層面の炭化深さが大きかったのは、集成材や単板積層材の板目面は年輪や接着層のような局所的に密度が高い層が、炭化初期において進行を遅らせる要因となりうるのに対し、単板積層材積層面からの加熱では左記のような炭化に抵抗する層が存在しないためだと考えられる。

スギ製材については、比重がスギ集成材に対して 2 割前後小さかったことが影響していると考えられる。図 6.3.2-1 と同じデータを試験体の比重ごとにプロットしたグラフを図 6.3.2-2 に示す。これをみると、炭化深さは比重に概ね反比例していることがわかる。

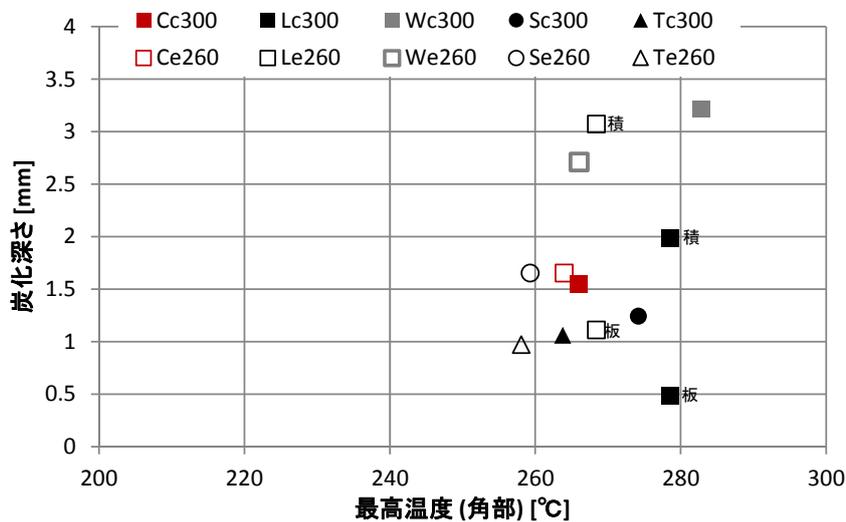


図 6.3.2-1 最高温度(角部)と炭化深さの関係

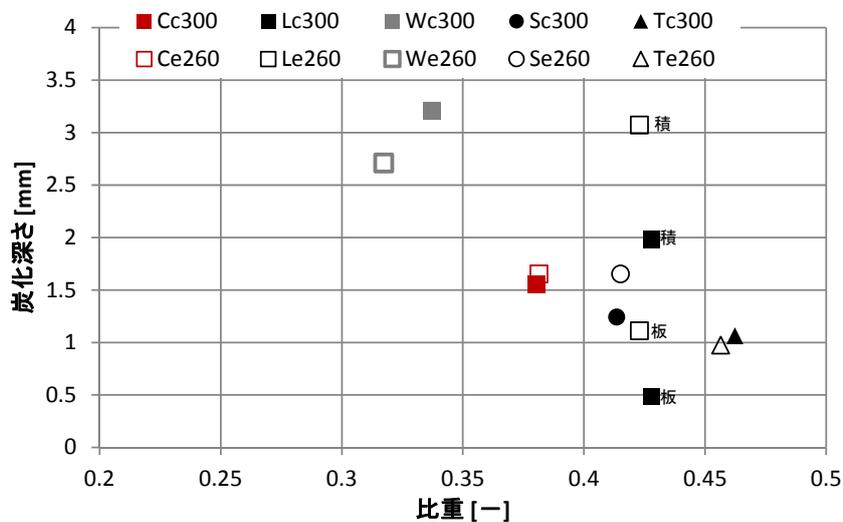


図 6.3.2-2 比重と炭化深さの関係

6. 4 まとめ

本報では、木質耐火構造の荷重支持部材を模擬して、炭化のしやすさの指標として炭化深さを比較する実験を行った。

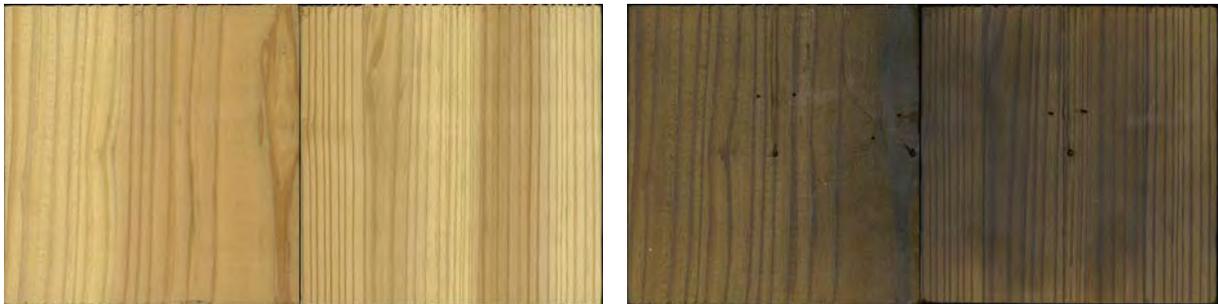
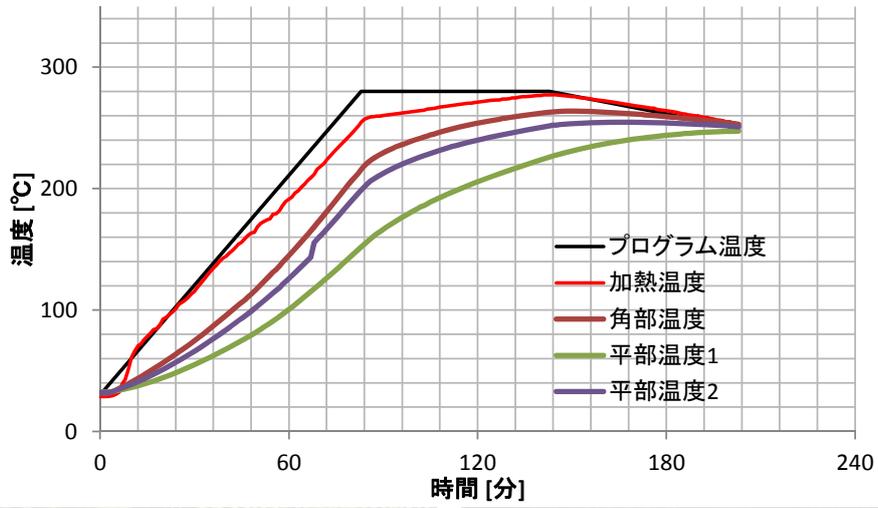
- ・ 同条件で加熱した場合、スギ単板積層材の板目面、スプルー集成材、カラマツ集成材の炭化深さは、スギ集成材と同等以下であった。
- ・ スギ単板積層材の積層面の炭化深さはスギ集成材よりも大きかったが、年輪や接着層といった炭化の進行を遅らせる層がないためだと考えられる。
- ・ スギ製材の炭化深さはスギ集成材よりも大きかったが、試験体の比重が小さかったためだと考えられる。
- ・ 同条件で加熱した際の炭化深さは、概ね比重に反比例した。

今後の課題点としては下記の点が挙げられる。

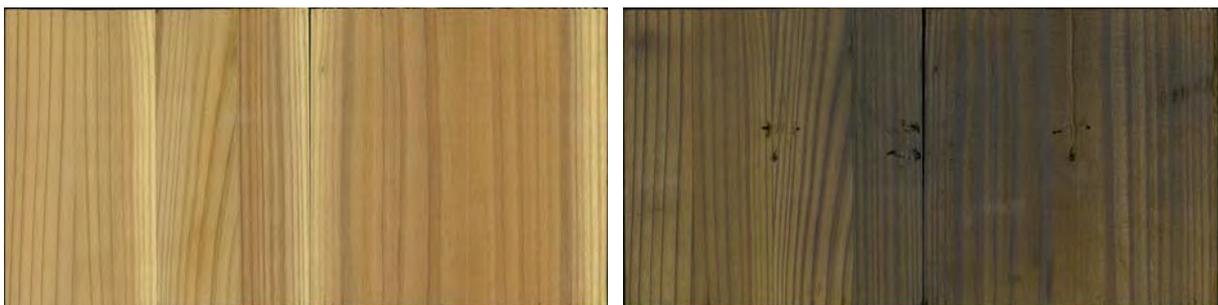
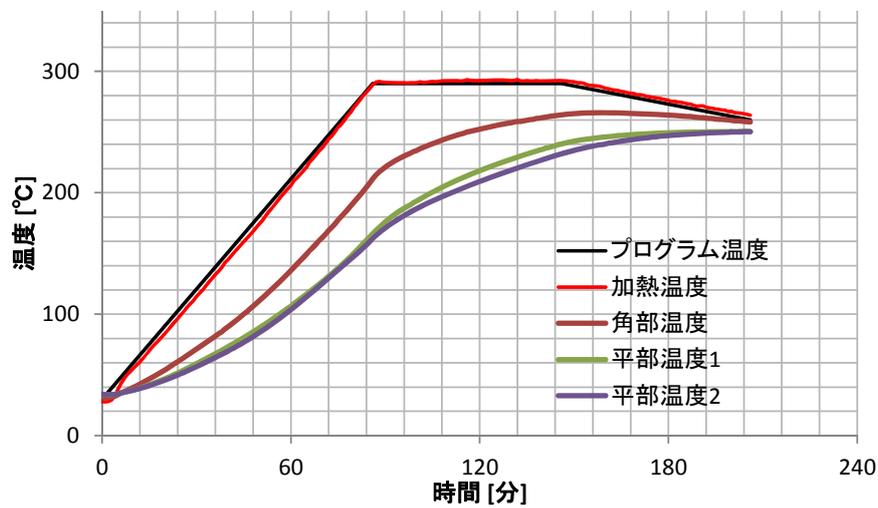
- ・ 測定方法上、炭化深さに誤差が含まれると考えられるため、1条件につき複数データをとるのが望ましい。
- ・ 現行のルールで樹種や材種が限定される構造についても、包含できるルールとできるよう、議論をすすめながら必要なデータを収集する。

実験①

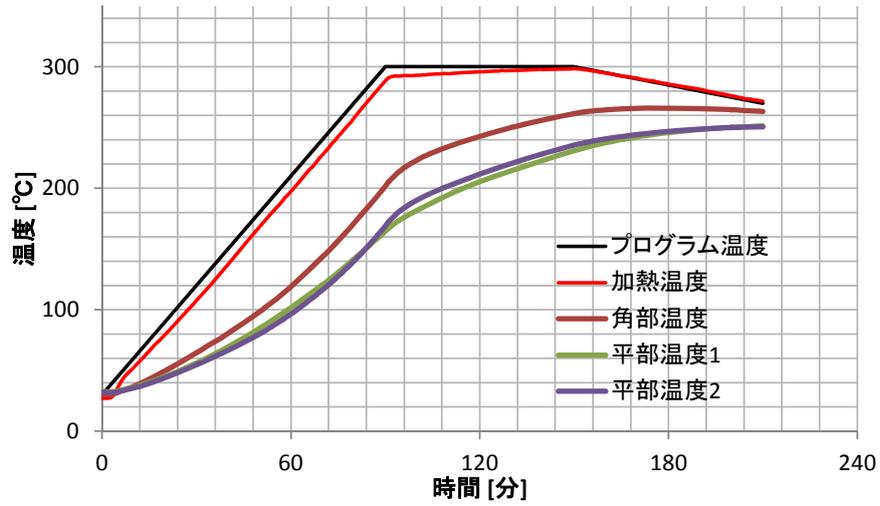
□温度計測結果および実験前後の試験体表面の様子(表面被覆あり)



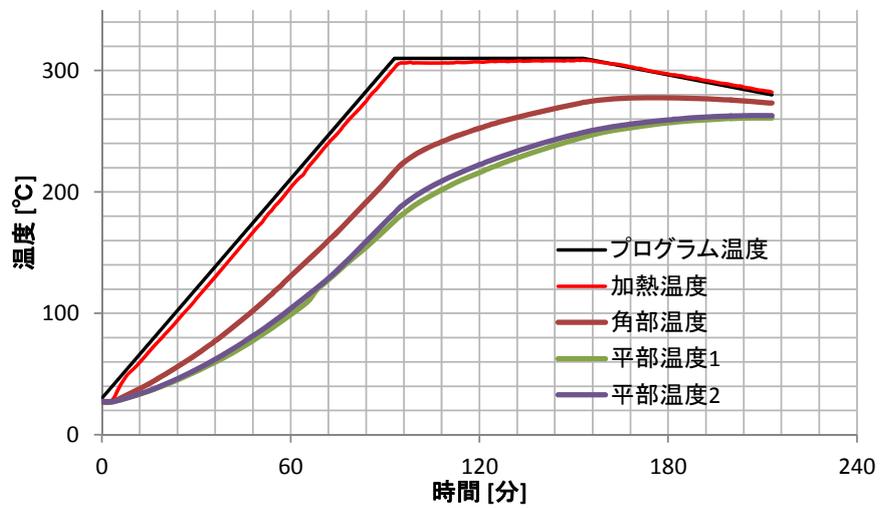
参考図 6-1 Cc280



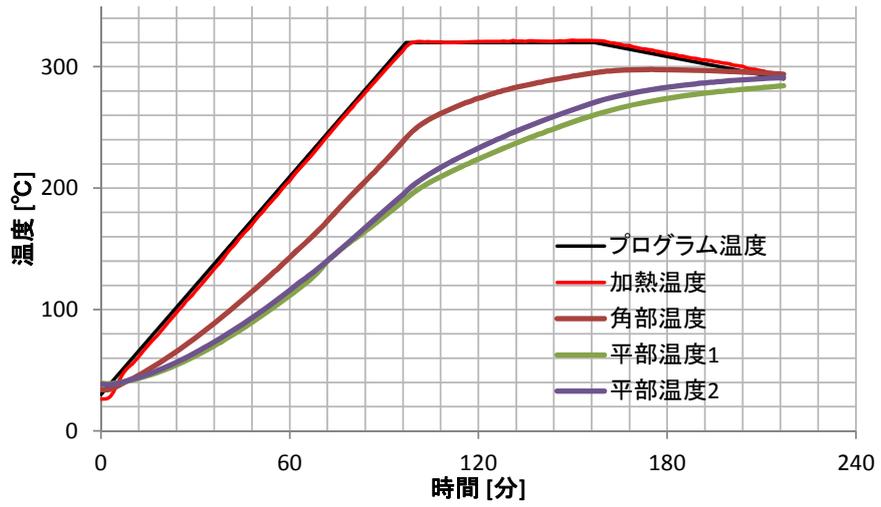
参考図 6-2 Cc290



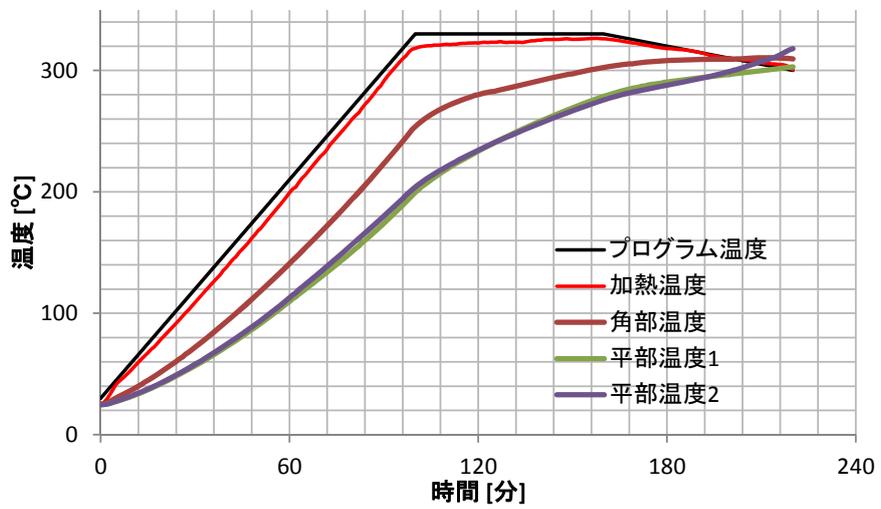
参考図 6-3 Cc300



参考図 6-4 Cc310

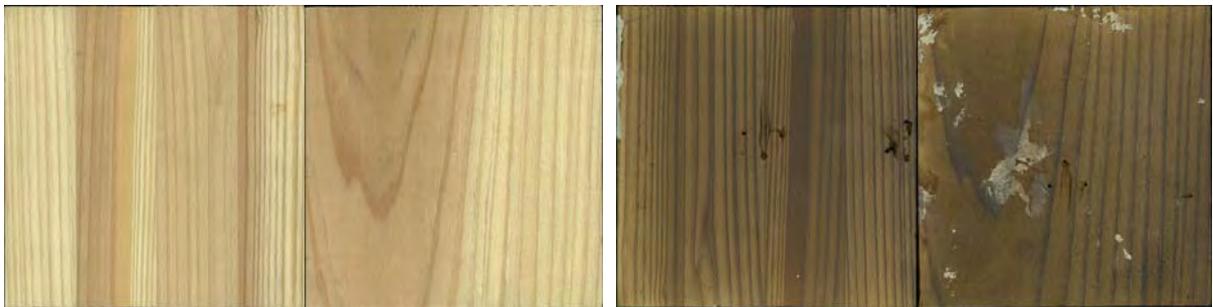
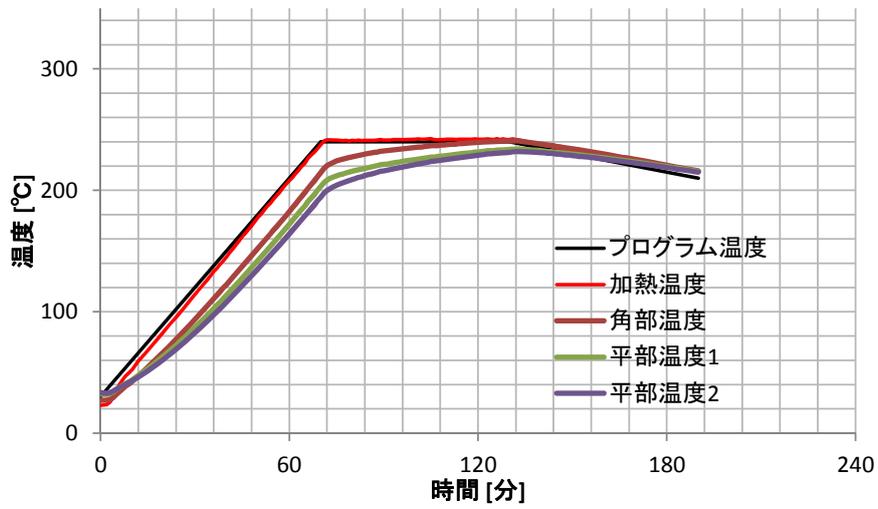


参考図 6-5 Cc320

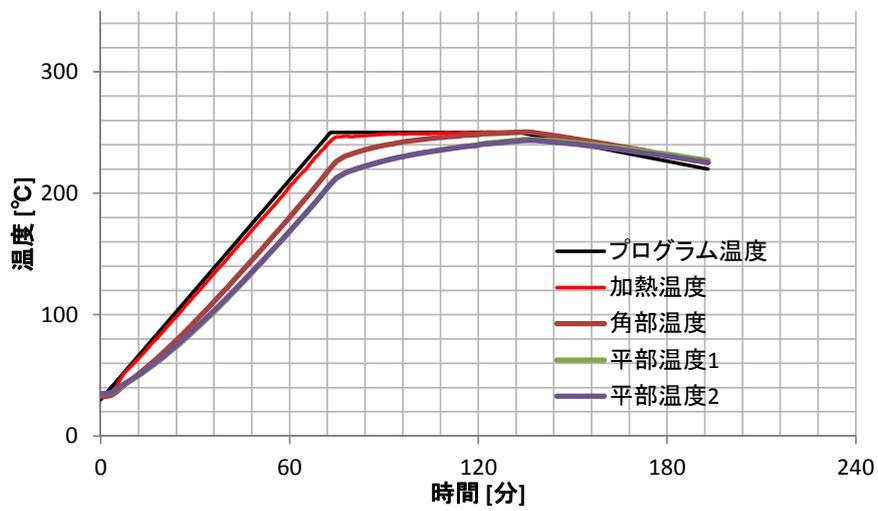


参考図 6-6 Cc330

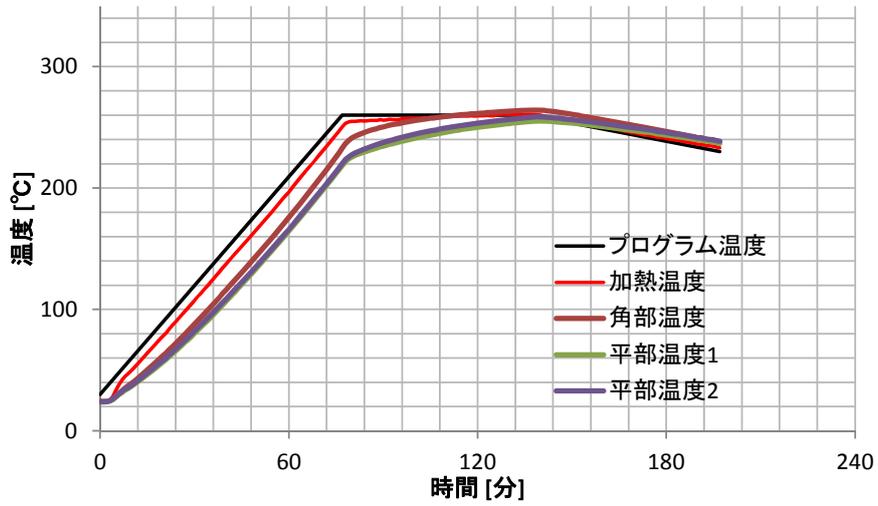
□温度計測結果および実験前後の試験体表面の様子(表面被覆なし)



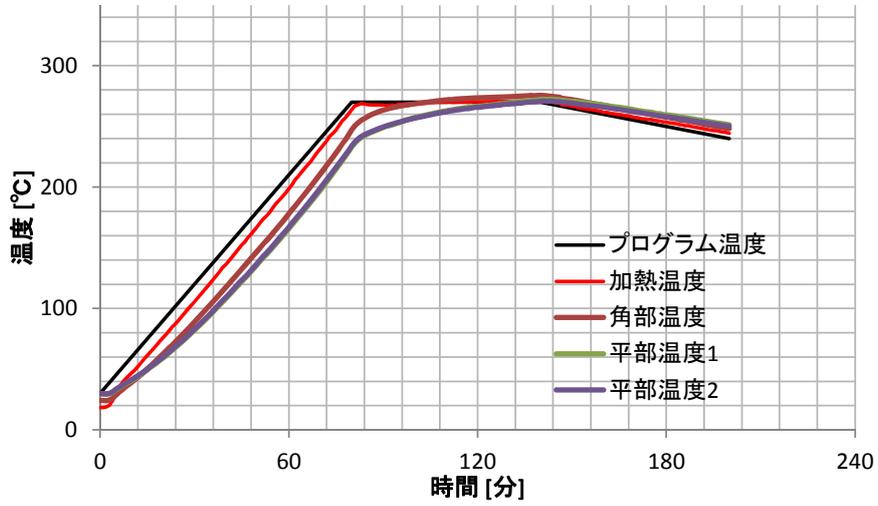
参考図 6-7 Ce240



参考図 6-8 Ce250



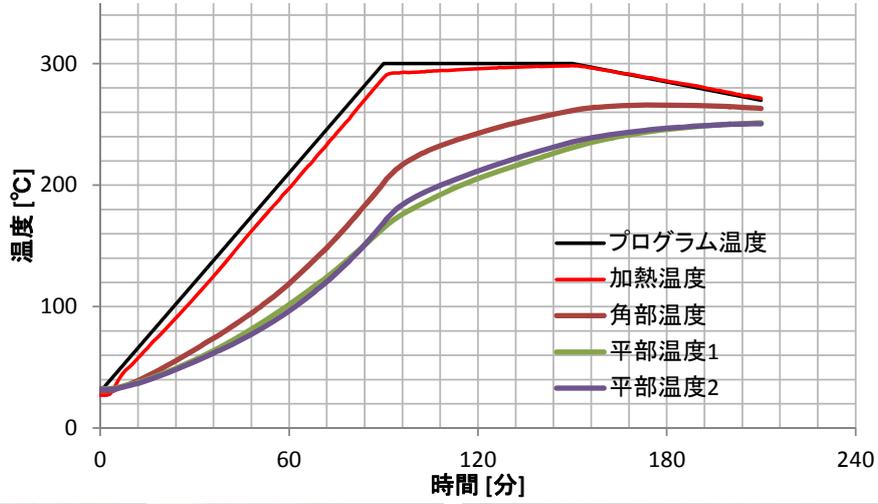
参考図 6-9 Ce260



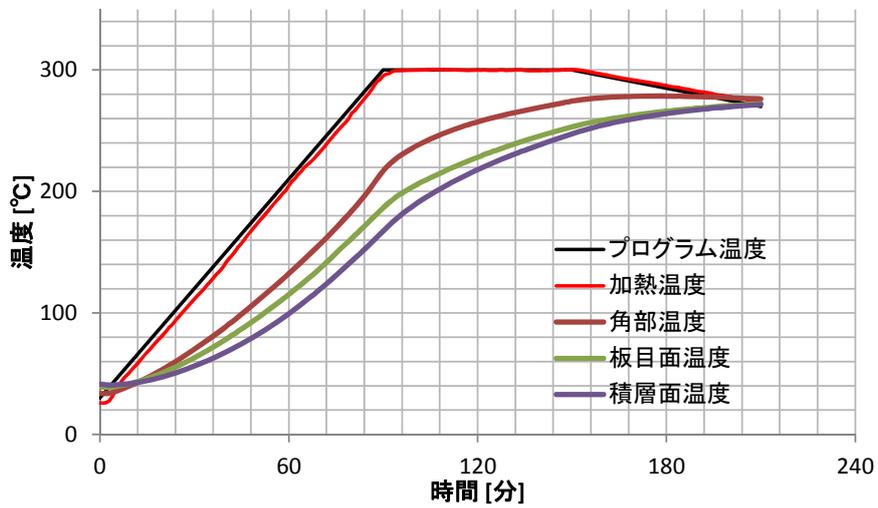
参考図 6-10 Ce270

実験②

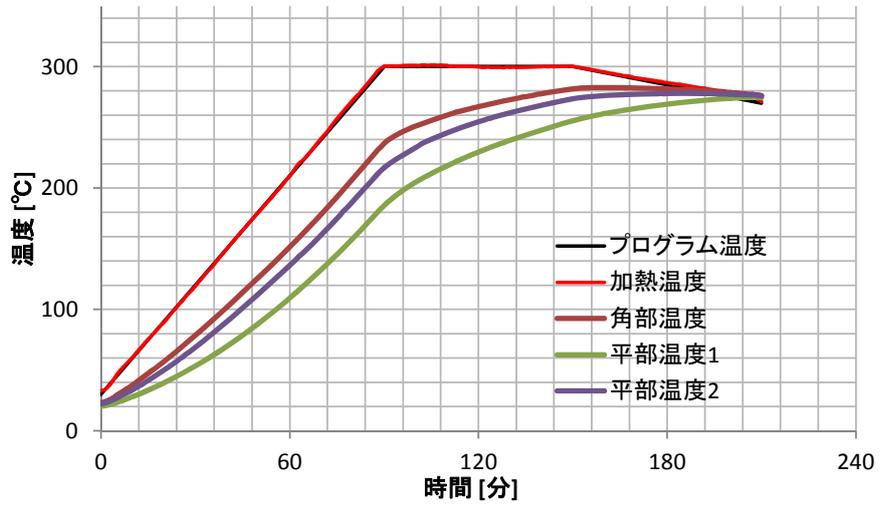
□温度計測結果および実験前後の試験体表面の様子(表面被覆あり)



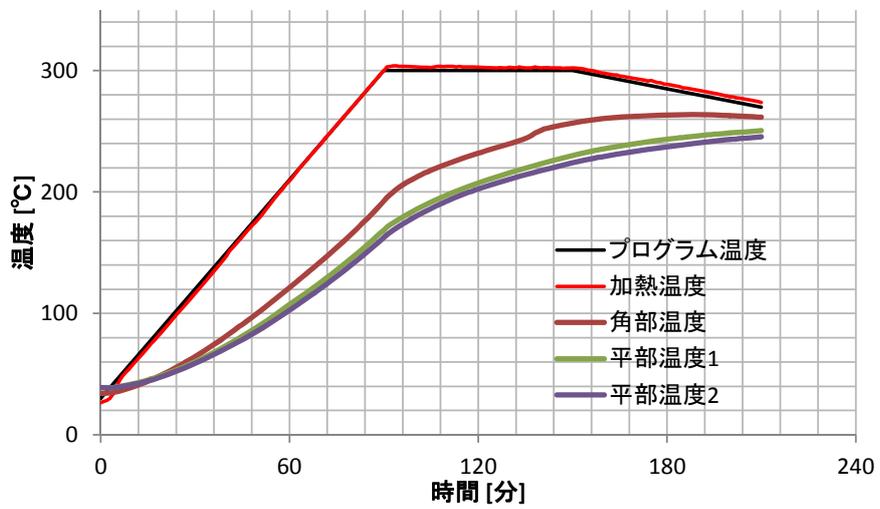
参考図 6-11 Cc300



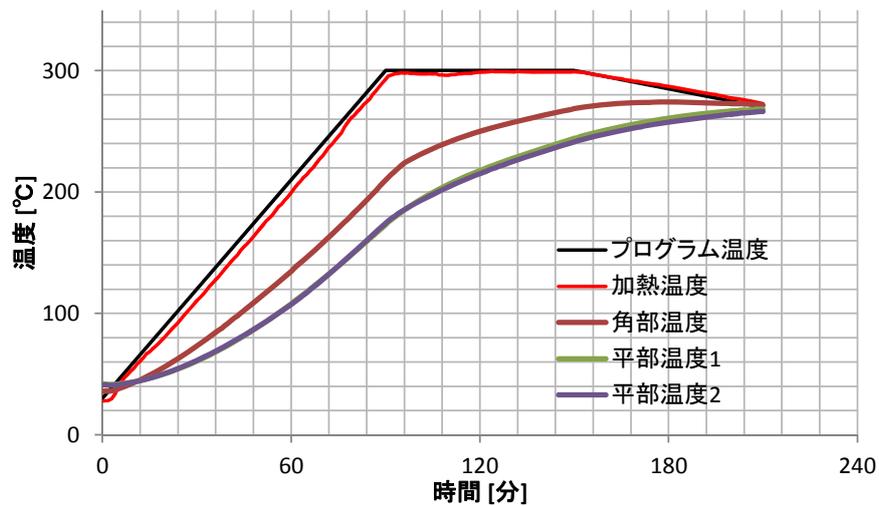
参考図 6-12 Lc300 (画像は左から板目面、積層面)



参考図 6-13 Wc300

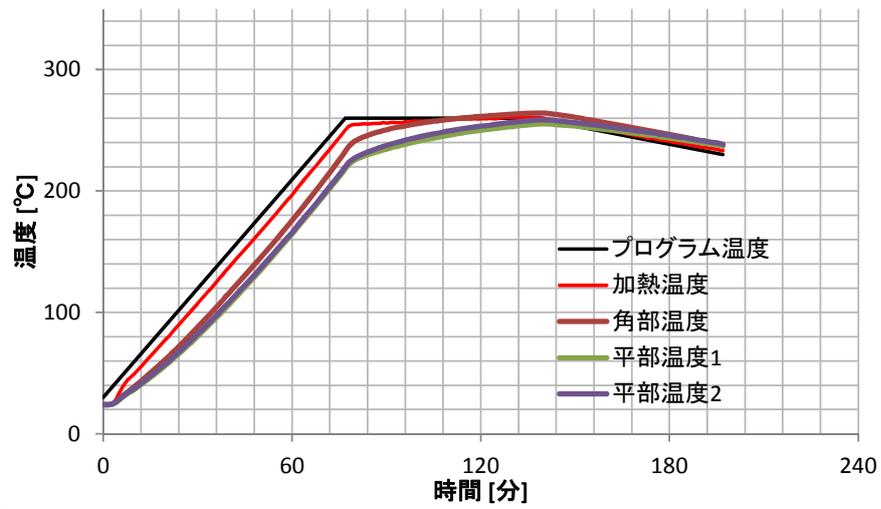


参考図 6-14 Tc300

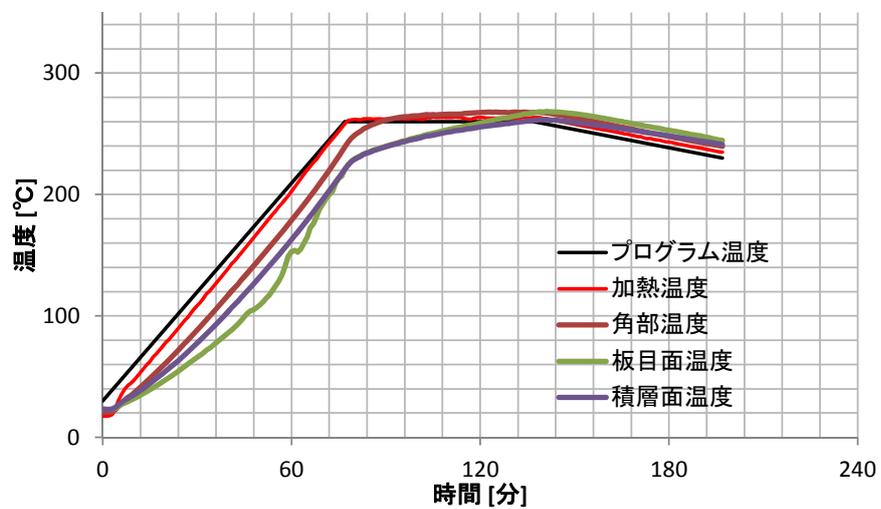


参考図 6-15 Sc300

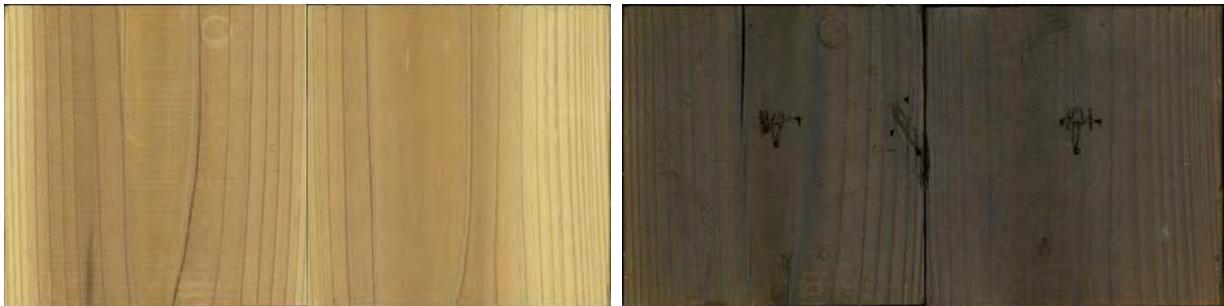
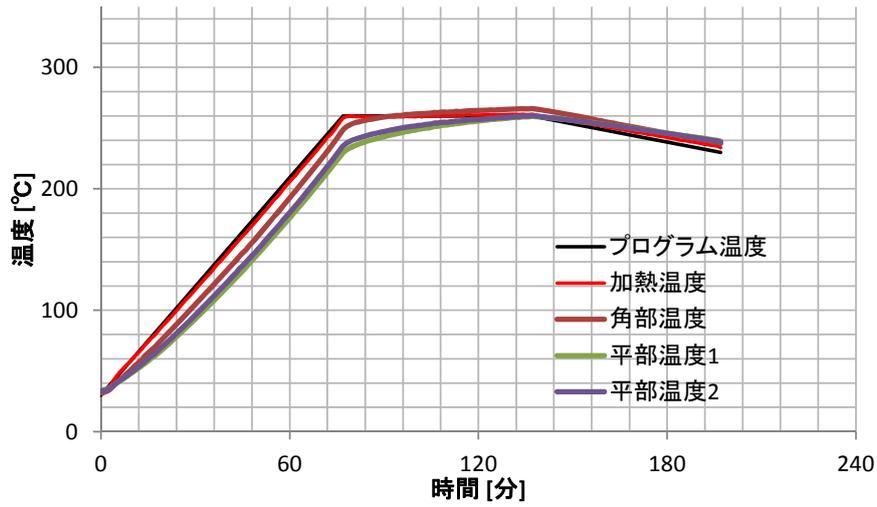
□温度計測結果および実験前後の試験体表面の様子(表面被覆なし)



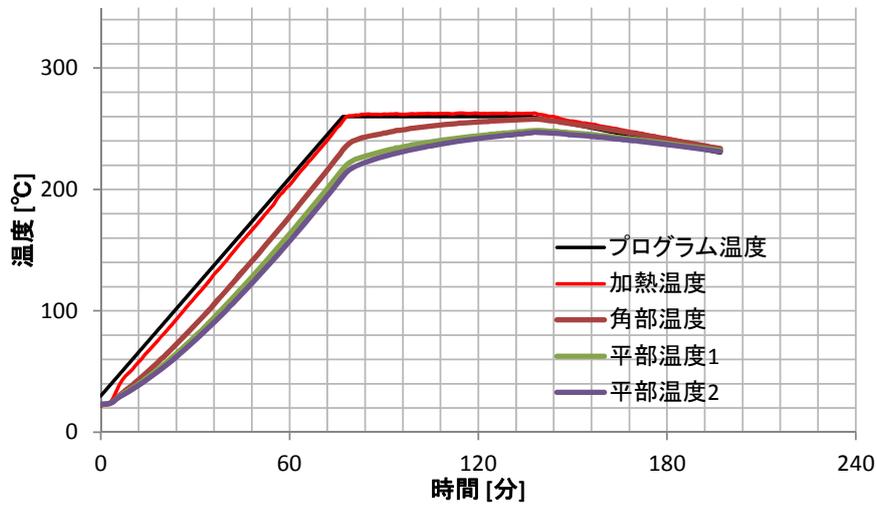
参考図 6-16 Ce260



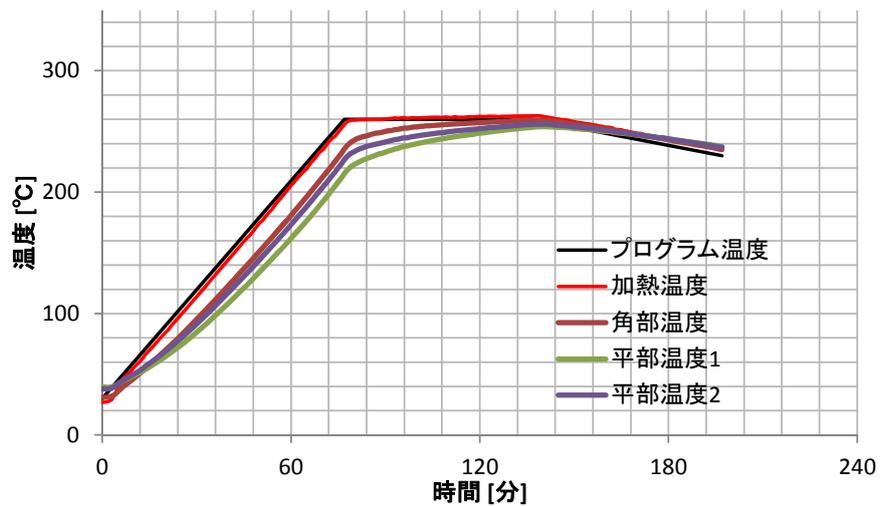
参考図 6-17 Le260 (画像は左から板目面、積層面)



参考図 6-18 We260



参考図 6-19 Te260



参考図 6-20 Se260

7. まとめと今後の課題

7. 1 まとめ

本事業で検討した耐火柱の断面仕様と、1時間耐火性能の結果を示した。性能を確認した仕様を○、性能を満たさなかった仕様を×とした。

心材：スギ集成材150×150			
試験4.2.1	○	試験4.3.1	○
<p>難燃処理単板積層材50 スギ単板積層材15</p> <p>B</p>		<p>難燃処理単板積層材60</p> <p>A</p>	<p>難燃処理単板積層材60</p> <p>A</p>
心材：スギ集成材600×600			
試験4.2.2	×	試験4.2.3	×
<p>難燃処理単板積層材60</p> <p>B</p>		<p>難燃処理単板積層材60</p> <p>縦目地</p> <p>C</p>	
心材：角型鋼管STKR490 200×200		心材：角型鋼管STKR490 300×300	
試験4.4.1	×	試験4.4.2	○
<p>難燃処理単板積層材25 スギ単板積層材30</p> <p>B</p>		<p>難燃処理単板積層材40</p> <p>B</p>	

- ※ A：性能評価試験に合格した仕様。
- B：実験にてその性能を確認した仕様。
- C：仕様改良を検討している仕様。

心材：スギ集成材150×150					
試験4.2.1	○	試験4.3.1	○	試験4.3.2	○

荷重支持部材をスギ集成材 150 mm角にした仕様は、難燃処理単板積層材を 50 mm厚、化粧材 15 mm厚として行った結果、柱の炭化は見られなかった。荷重支持部材の角部ぎりぎりまで炭化していたので、被覆材の厚みを 10 mm増して 60 mmとして本番仕様 2 体を行い、1 時間耐火性能を確認した。小断面の柱に関しては、60 mmの被覆層で性能を確保できることを実証したので、この仕様をベースに改良を加えることでより使いやすいものにしていくことが望ましい。

心材：スギ集成材600×600			
試験4.2.2	×	試験4.2.3	×

荷重支持部材をスギ集成材 600 mm角にした仕様は、被覆材 60 mmを 1面に貼った仕様で検討した。その結果、荷重支持部材の平部と角部両方に炭化が観察された。被覆材の注入量を調査したところ、幅方向の端部と真ん中では注入量の明確な差が見られなかった。平部に炭化が見られたのは、荷重支持部材と被覆材が幅広であり、寸法精度が安定しなかったことが原因と考えた。被覆材の幅が広がったため幅方向の収縮量が大きかったことも原因と考えられたため、被覆材の真ん中に縦目地を設けて分割した。角部は 150 mm角で性能を確認していたことから、仕様はそのままとした。再度試験を行った結果、4 辺の縦目地のうち 1箇所のみ、目地部で炭化が確認された。単板積層材の薬剤注入処理において、幅広材の薬剤分布に懸念が残ることと共に、大断面の場合は小断面より厳しいことが分かった。石膏ボード等で被覆するメンブレン構造と違って、可燃物で被覆する仕様は大断面が厳しい。今後は薬剤処理単板積層材の厚みを増やすことと、目地の改良などが解決策として考えられる。委員会で検討した、目地の改良案を図 7.1-1 に示した。

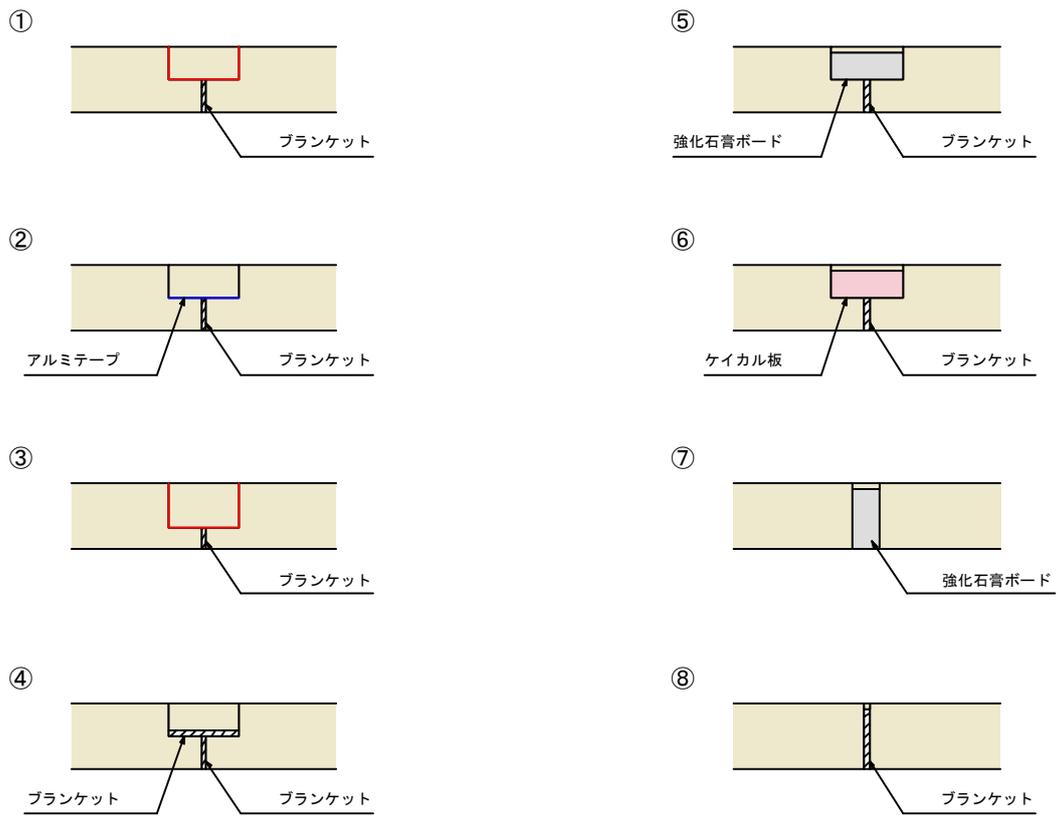


図 7.1-1 目地の改良案

心材：角型鋼管STKR490 200×200		心材：角型鋼管STKR490 300×300	
試験4.4.1	×	試験4.4.2	○

荷重支持部材を角型鋼管とした仕様を検討した。当初 200 mm角としたのは、木柱と同様の考え方で小断面と大断面を行い、その間の断面仕様で運用を行うことを想定していたからである。200 mm角には 25 mm厚の難燃処理単板積層材の被覆材の上に 30 mmの単板積層材化粧材を貼った仕様とした。加熱終了後、燃え落ちた化粧材が試験体下部で赤熱し、荷重支持部材を熱したため、試験体が軸方向に変形がすすみ、試験を中止した。次に検討したのは 300 mm角である。300 mm角としたのは、他の鉄骨耐火部材の考え方を適用し、300 mm角で性能を確認すればその断面以上の使用で運用が可能になると確認したことによる。荷重支持部材と被覆材の間には、荷重支持部材の温度上昇を防ぐために断熱材を挿入した。試験の結果、加熱終了後に被覆材の赤熱により若干炉内温度は上昇したが、荷重支持部材含めすべての場所の温度が低下を始めたため、1時間耐火の性能を有することが分かった。

この試験からは、化粧材が 30 mmあると 1時間の加熱後も炉内で発熱源として炉内温度をさげることが妨げる。従って、化粧材はなるべく 1時間以内に燃え尽きる厚みにすることが望ましいと考えられる。試験 4.4.2 は十分耐火性能があることが分かったものの、難燃処理単板積層材の厚みを少し減らすことができる可能性がある。化粧材と併用する際に、どのような比率で構成すればよいかの検討が必要になると考えられる。

7. 2 今後の課題

本構造を踏襲した木柱での仕様で図 7.2-1 に示した大断面（600 mm角）での性能評価試験を行い、本事業で取得した小断面の認定と合わせて設計での柔軟な運用を目指す。被覆材の上に化粧材を貼った仕様で耐火性能を検証し、設計者の様々なニーズに対応できるようにする。図 7.2-2 に化粧材を貼った図を示した。

本耐火構造を踏襲した梁部材での耐火構造認定取得を目指す。また実際の柱接合部・梁柱接合部を想定した耐火試験を行い、本耐火構造での安全性を検討する。

鉄骨柱の耐火被覆としても使えることを実証したので、鉄骨造のマーケットを見据え、図 7.2-3 に示すような鉄骨柱での耐火構造認定を検討することを考えている。



図 7.2-1 600 角木柱



図 7.2-2 600 角木柱+化粧材



図 7.2-3 鉄骨柱