

第1章 はじめに

1. 1 はじめに

CLT（直交集成板）は 20 数年前にオーストリアで実質的な開発がされた木質構造材料で、オーストリアやドイツを中心に CLT を用いた木造建築が発展し、現在はヨーロッパ全域、さらに北米からオーストラリアまで広がり、様々な用途の建築物が建設されている。

CLT がこのように急速に広まっている理由には環境問題がある。CLT は建材になるまでのエネルギー消費がセメントや鋼材に比べて少なく、その過程で発生する CO₂ を抑制できること、さらに樹木は成長する過程で CO₂ を吸収し、木質の中に CO₂ を固定する循環型資源であることが高く評価されているためである。

日本ではこの環境的視点に加え、林産地の経済的な活性化の視点から CLT の研究開発が進められている。国土交通省と林野庁が連携し、平成 26 年 11 月「CLT の普及に向けたロードマップ」を発表し、現在省庁の関係研究機関でその実現に向けて、我が国の条件に適合する構造性能や防耐火性能に関する試験研究が行なわれている。

本委員会は、国の構造や耐火性能を確保する国土交通大臣告示が平成 27 年度から 28 年度にかけて示される時に CLT を用いた建築を出来るだけ早く、スムーズに実現・普及することを目的として、CLT の防耐火性能に関する仕様の研究を行なうこととした。その研究は平成 27 年度と 28 年度にまたがる予定であるが、本年度は防火構造の仕様を定めるための予備実験と CLT 燃えしろ設計のマニュアル作成および 2 時間耐火構造に関する以下の 3 件の検討に取り組んだ。

1. 防火構造の開発実験検討

平屋あるいは 2 階建の建築物の周囲で発生する通常の火災による延焼を抑制するために建物の外壁に要求される防火性能を、外壁に CLT を用いる場合の仕様を定めるための実験研究である。今回は外壁の室内側に CLT を現わして用いる場合の外側の防火仕様を探る数種類の予備実験を行った。その結果、次年度には大臣認定を取得可能な防火構造を定めて実験できると判断できる成果を得た。

2. CLT 燃えしろ設計マニュアル案の作成

木造 3 階建ての住宅、共同住宅および学校等の特殊建築物は準耐火構造にすることによって建設が可能になっている。CLT による建築については、平成 26 年度の建築基準法整備促進事業において、燃えしろ設計による準耐火構造として安全確保ができる検証実験研究が行われ、その成果によって壁、床、屋根および設備配管等の貫通部分等についての燃えしろ設計告示が近く出される見通しである。本委員会では告示に先立ち準耐火構造の CLT 設計マニュアル案を検討し作成した。

3. CLT の 2 時間耐火構造の調査検討

CLT 構造による建築は構造的には 6・7 階の中層建築も可能と考えている。それら中層建築では上部から 4 階以下の壁および床部分には 2 時間耐火の性能が建築基準法で求められている。木質構造のうち枠組壁構法や在来軸組構法では既に 2 時間耐火構造の開発が進められており、これら木質構造の情報を収集し、調査分析を進めて CLT 構造の 2 時間耐火仕様の研究を行った。

この 3 件の実験・調査研究はいずれも継続調査を要するが、本事業内で行った検討は、実際の設計に役立つ成果としてまとめ、CLT 建築の普及促進に寄与する予定である。

なお本年度の一定の成果を得ることができた開発研究は平成 27 年度林野庁委託事業で実施されたものであり、貢献された皆様に心より感謝の意を表します。

1. 2 委員名簿

委員長	三井所 清典	芝浦工業大学 名誉教授
委員	遊佐 秀逸	早稲田大学 理工学研究所 招聘研究員
	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所 代表
	平沼 宏之	(一財) 建材試験センター 中央試験所 防耐火グループ 主任
オブザーバー	坂 賢	林野庁木材産業課 木材製品技術室 調査係長
	中井 聡	(株)オーシカ (日本 CLT 協会)
	安池 淳二	協和木材(株) (日本 CLT 協会)
	瀬戸 康一	ニチハ(株) (日本 CLT 協会)
	貞廣 圭一郎	銘建工業(株) (日本 CLT 協会)
	方波見 雅彦	ジャパン建材(株) (日本 CLT 協会)
	市橋 正崇	(株)エヌ・シー・エヌ (日本 CLT 協会)
	石原 英喜	(株)北洲 (日本 CLT 協会)
	生方 陵	(株)ナイス (日本 CLT 協会)
	宮内 亨	旭化成建材(株) (日本 CLT 協会)
	事務局	大倉 靖彦
武田 光史		同 上
靱井 玲		同 上
荒井 唯香		同 上
宮林 正幸		(有)ティ・イー・コンサルティング 一級建築士事務所
杉田 敏之		ミサワホーム(株)
河合 誠		(一社) 日本 C L T 協会
塩崎 征男		同 上
中谷 浩之		同 上

(順不同・敬称略)

第 2 章 防火構造外壁の開発

2. 1 防火構造実験

防火構造は、建物の周囲において発生する通常の火災による延焼を抑制するために、建築物の外壁又は軒裏に必要とされる防火性能のことで、国土交通大臣が定めたもの（平成12年建告第1359号）又は、国土交通大臣の認定を受けたもので、その防火性能の技術的基準（令第108条）では外壁の耐力壁の場合30分の非損傷性と30分の遮熱性が要求されている。

平成12年建告第1359号では、間柱又は下地を不燃材料以外の材料で作った場合、屋内側被覆仕様として、①厚さ9.5mm以上のせっこうボードを張るか、又は②厚さ75mm以上のグラスウール若しくはロックウールを充填した上に厚さ4mm以上の合板、構造用パネル、パーティクルボード若しくは木材を張ったものと規定されている（表2.1-1）。従って、告示の例示仕様ではCLTパネルによる外壁耐力壁防火構造は、室内側にせっこうボードを被覆しなければならず、CLTパネルを現しで使用することは出来ない。

室内側の仕上げとしてCLTパネルを現しとした防火構造外壁は、国土交通大臣の認定を取得する必要がある。性能評価機関による性能評価試験の試験体仕様を検討するために、低層建築としての協会標準の厚さ90mmのCLTパネルを用いた防火構造外壁の性能予備試験を実施した。

表 2.1-1 防火構造外壁の仕様例（下地が不燃材料以外の材料）
（H12 建設省告示第1359号第一）

屋外側被覆材（いずれかを選択する）	屋内側被覆材（いずれかを選択する）
<input type="checkbox"/> 厚さ20mm以上の鉄網モルタル <input type="checkbox"/> 厚さ20mm以上の木ずりしっくい塗り <input type="checkbox"/> 木毛セメント板の上に厚さ15mm以上のモルタルまたはしっくい塗り <input type="checkbox"/> せっこうボードの上に厚さ15mm以上のモルタルまたはしっくい塗り <input type="checkbox"/> 土塗壁で塗厚さが20mm以上のもの <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の下見板（屋内側が土塗壁で塗厚さ30mm以上に限る） <input type="checkbox"/> モルタルの上にタイルを張ったもので合計厚さ25mm以上 <input type="checkbox"/> セメント板または瓦の上にモルタルを塗ったもので合計厚さ25mm以上 <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に垂鉛鉄板張り <input type="checkbox"/> 厚さ25mm以上のロックウール保温板の上に垂鉛鉄板張り	<input type="checkbox"/> 厚さ9.5mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ75mm以上のグラスウールもしくはロックウールを充填した上に厚さ4mm以上の合板、構造用パネル、パーティクルボードもしくは木材を張ったもの <input type="checkbox"/> 土塗壁で塗厚さ30mm以上

2. 1. 1 加熱実験概要

1) 防耐火性能に影響を与える要素

①非損傷性はCLTの残存断面（炭化深さ）に支配される。

②遮熱性はCLTの目地仕様に支配される。

①に影響を与える要素として、外断熱材、外装仕上材が考えられる。②に影響を与える要素として、①の要素に加え、CLTの目地仕様が考えられる。本実験では、出来るだけ外装材仕様によらずに性能を確保できる仕様を検討するため、外張り断熱材とCLTの目地処理方法をパラメーターとした。

なお、性能評価試験では屋外から屋内への遮炎性も判定基準であり、遮熱性を満たす必要条件と考えられるので合わせて検討する。

2) 試験の概要

①第一期予備試験

第一期予備試験として、CLTパネルの非損傷性の確認試験（予備試験体 No.1）と、CLTパネル幅方向の目地仕様による遮熱性と遮炎性の確認試験（予備試験体 No.2、No.3）を行い、その結果を踏まえ外断熱材として無機系断熱材はグラスウール断熱材、ロックウール断熱材及びロックウール板（ラメラ断熱材）の3種類、有機系断熱材はポリスチレンフォーム断熱材、ウレタンフォーム断熱材、フェノールフォーム断熱材の3種類に金属外装材を組合せた仕様について防火性能の確認試験（予備試験体 No.4、No.5）を行った。

②第二期予備試験

第一期予備試験の結果を基に、無機系断熱材と有機系断熱材について最も不利な仕様を選定し、外装仕上材も可燃性の木製外装材による試験体の載荷加熱試験を行った（予備試験体 No.6、No.7）。木製外装材も不利側の仕様として樹種はスギ材、幅方向の目地は突き付けとし、釘留めは中央部の1本留めとした。

3) 試験荷重の算定

CLTの基準強度と座屈応力度の算定方法について告示化されていない為、試験荷重はオイラーの公式により座屈荷重を求め、木材の長期換算係数 1.1/3 を乗じて算定した。計算に使用したヤング係数は、予備試験体 No.1 は JAS 規格の平均曲げヤング係数により座屈荷重を求めたが、予備試験体 No.6 と予備試験体 No.7 は縦振動法により使用した CLT パネルの固有振動数から求めた縦ヤング係数の平均値から座屈荷重を算定した。

表 2.1-2 に試験荷重の計算手順を示す。

表 2.1-2 試験荷重の計算手順

		予備試験体No.1	予備試験体No.6, No.7	
パネル幅	b	1,000	1,000	mm
パネル厚さ	h	90	90	mm
パネルの高さ	l	2,950	2,950	mm
柱の端末係数	n	1	1	
座屈長さ	L	2,950	2,950	
縦弾性係数	E	5.20 JAS平均値	5.90 縦振動測定値	GPa
断面二次モーメント	I	60,750,000	60,750,000	mm ⁴
断面積	A	90,000	90,000	mm ²
断面二次半径	k	25.98	25.98	mm
細長比		113.5	113.5	
座屈荷重	P_k	358	406	kN
長期座屈荷重(1.1/3)		131	149	kN
試験荷重		394	447	kN

注) 座屈荷重は、パネルの端末条件をピンとし、次式のオイラーの公式より求めた。

$$P_k = \pi^2 \left(\frac{EI}{L^2} \right)$$

2. 1. 2 試験方法

現在の建築基準法において、主要構造部にあたる壁には建築の用途、規模、立地などにより遮炎性、遮熱性、非損傷性といった3つの性能が求められる。防火構造の外壁において、遮炎性は建物外から建物内への火炎の侵入を防止するための性能である。遮熱性は、屋外側火災により、屋内側壁面温度の上昇による屋内側加熱部の着火を防止するための性能である。非損傷性については火災時に構造耐力上支障となる変形、溶解、破壊その他の損傷が生じない性能である。

それらの性能を確認するために、現在では性能評価機関において国土交通大臣から認可を受けた「防耐火性能試験・評価業務方法書」（以下、「業務方法書」という。）に基づき試験が行われている。

表 2.1-3 壁における建築基準法での要求耐火時間

構造名 技術的基準	耐火構造 (令第 107 条)		準耐火構造 (令第 107 条の 2) (令第 115 条の 2 の 2)		防火構造 (令第 108 条)	準防火構造 (令第 109 条の 6)
	非損傷性※1	F ≤ 4 1 時間	1 時間	45 分間	60 分間	30 分間※2
	F ≥ 5 2 時間	2 時間				
遮熱性	1 時間 (30 分間※3)	1 時間	45 分間 (30 分間※3)	60 分間 (30 分間※3)	30 分間※2	20 分間
遮炎性	1 時間 (30 分間※3)	1 時間	45 分間 (30 分間※3)	60 分間 (30 分間※3)	30 分間※4	20 分間※4

・表中の F は、部材が設置される階の建築物最上階から数えた階数を表す。

※1：耐力壁の場合に限る。

※2：屋外側加熱の場合に限る。

※3：非耐力壁である外壁の延焼の恐れのある部分以外の部分に限る。

※4：法令上は遮炎性は屋内から屋外に炎を出さない性能と規定されており防火構造では要求されないが、本検討では屋外から屋内への同様な性能を遮炎性として定義し取り扱う。

試験は、図 2.1-1 に示す標準加熱曲線に従い加熱を行い、耐力壁にあつては構造支持部分を載荷しながら試験を行う。試験装置の概要を図 2.1-2 に示す。

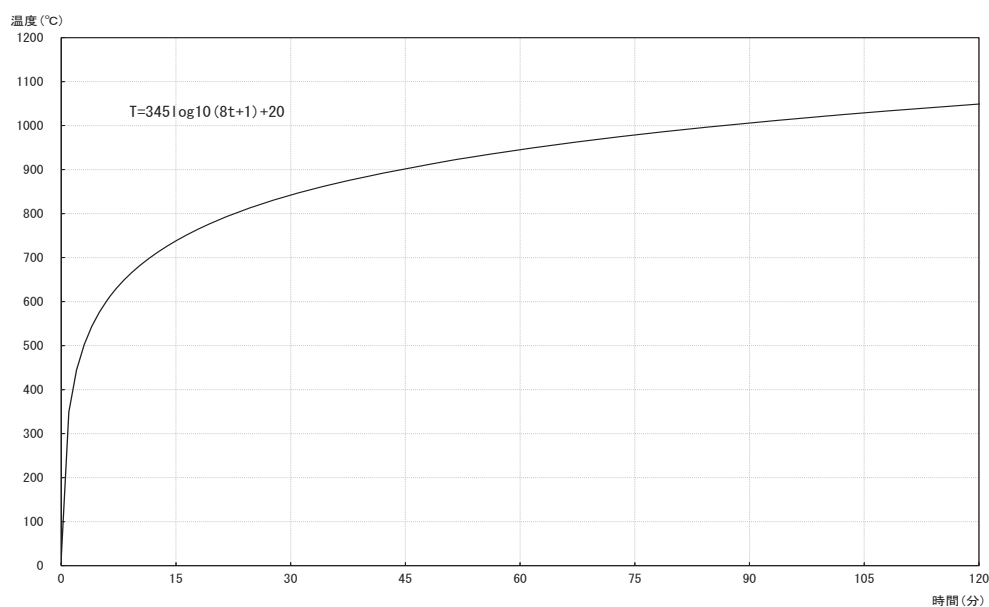


図 2.1-1 標準加熱曲線

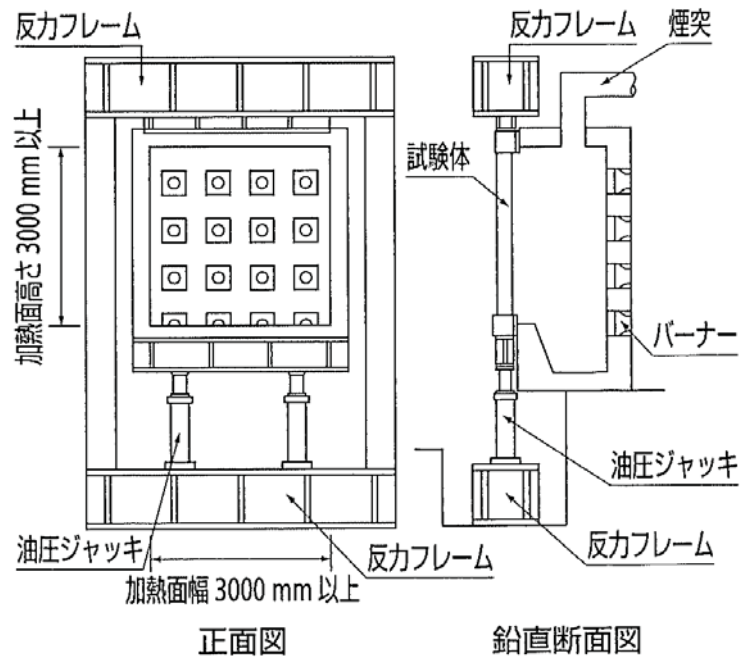


図 2.1-2 試験装置図

・判定項目

防火性能試験の判定項目については業務方法書による。

以下に判定項目を示す。

- (1) 常時垂直荷重を支持する外壁にあつては、試験開始から 30 分を経過するまで、試験体の最大軸方向収縮量及び最大軸方向収縮速度が次の値以下であること。

最大軸方向収縮量(mm) : $h/100$

最大軸方向収縮速度(mm/分) : $3h/1000$

この式において、 h は試験体の初期高さ(mm)

- (2) 外壁にあつては、試験体の裏面温度上昇が、試験開始から 30 分を経過するまで、平均で 140K 以下、最高で 180K 以下であること。
- (3) 外壁にあつては、試験開始から 30 分を経過するまで、次の基準を満足すること。
- イ. 非加熱側へ 10 行を超えて継続する火炎の噴出がないこと。
 - ロ. 非加熱側で 10 秒を超えて継続する発煙がないこと。
 - ハ. 火炎が通る亀裂等の損傷を生じないこと。

なお、CLT一般部の内部温度測定は、試験体裏面からドリルで穴 $\phi 2.5$ を開け、シース熱電対 (シース径 $\phi 2.3$ 、シースの材質 SUS316、シース部長さ 250mm) を差し込み測定した。熱電対の裏面側は耐熱性パテで塞ぐ処置をした。目地部には側面に熱電対を貼り付けた (写真 2.1-1、2)。



写真 2.1-1 CLT 一般部 シース熱電対取付状況：試験体 No.1

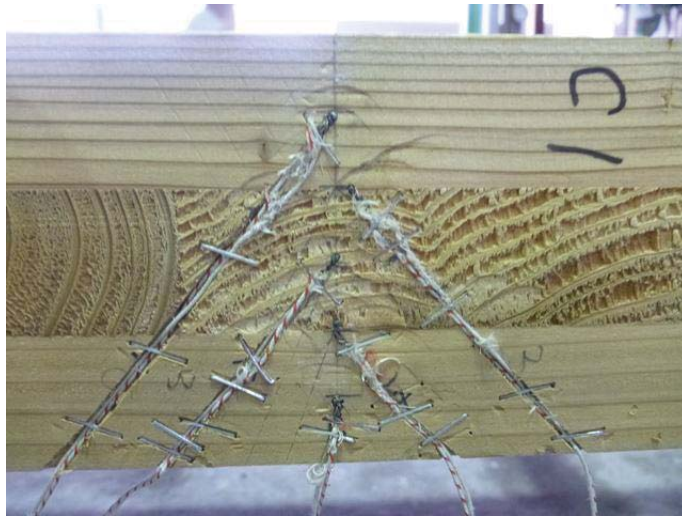


写真 2.1-2 CLT 目地部 熱電対取付状況：試験体 No.1

2. 1. 3 試験体仕様の選定

1) 第一期予備試験：試験体 No.1~3

CLT 単体の非損傷性の確認として、試験体 No.1 において載荷加熱試験で荷重支持能力が失われた時点の炭化深さ（残存断面の厚さ）測定のため、CLT 断面内部の温度測定及び試験後の CLT 断面の寸法実測を行う。他の非載荷試験体の内部温度及び 30 分加熱後の断面と比較することで各仕様の非損傷性を予測する。CLT の炭化のばらつきを抑えるために、CLT を直接加熱するのではなく繊維混入ケイ酸カルシウム板厚さ 5mm を張ることにより加熱を均等とした。また、CLT の目地は突き付けとした。

試験体 No.2、No.3 は非載荷加熱試験とし、No.1 との比較のための CLT 現し加熱での残存厚さの測定とともに、最も弱点と考えられる CLT 目地の遮熱性、遮炎性について各種目地仕様の比較を目的とした。内部温度は CLT 断面内部と目地部について測定した。

試験体 No.2 は CLT を現わし、目地仕様 3 種類（コーキング、アルミテープ、金属ジョイナー）の比較、試験体 No.3 は面取り目地 3 仕様（コーキング 2 種類、コーキング無し）に対して試験体上半分は CLT 現わし、下半分を無機系断熱材でロックウールよりも防火上は不利側とされるグラスウールを外装材無しとした現しで配置した。なお、グラスウール留め付けにはツメ付き座金をねじ固定としたが、比較のために一部を傘釘とした。

2) 第一期予備試験：試験体 No.4、5

本試験は、No2、3 試験によって選定した目地仕様と無機系、有機系断熱材との組み合わせの比較試験である。各試験体を縦に 3 分割して異なる断熱材を配置、各断熱材の中央に CLT 目地を配置した。前回試験の反省として、目地間のクリアランス（隙間、以下クリア）について施工誤差を考慮した 2mm を採用、有機系断熱材ではクリア 2mm のみでは遮炎性を維持できないと考え面取り+コーキングとし、無機系断熱材はその不燃性に期待し面取りコーキングは無しとした。外張り断熱材は温熱上の最低の条件を考慮し、かつ比較のために各種断熱材の厚さを 25mm に揃えている。また、接合金物の熱橋による影響を確認するために、各断熱材仕様毎に試験体下部の CLT と断熱材の間に柱脚金物と同一形状の鋼板を配置した。

試験体 No.4 は無機系断熱材で一般のグラスウール、ロックウールに加え、湿式外壁用のロックウール板（ラメラ断熱材）厚さ 80 mm を中央に配置した。グラスウール、ロックウールは横棧間に配置、傘釘（前回より長さをアップ）により固定、ロックウール板はアクリル樹脂系接着剤で CLT に直接貼り付けた。なおロックウール板厚さ 80mm 部分の上下には試験体外周部厚みを揃えるためロックウール厚さ 25mm を配置し、柱脚金物は無しとした。また、グラスウール部分のみに後述の有機系断熱材との比較のため金属外装材張りとし、他は現しとした。

試験体 No.5 は有機系断熱材で、性能評価試験において別仕様とされる 3 種類（ポリスチレンフォーム、フェノールフォーム、ウレタンフォーム）とした。有機系断熱材への直接の着火を防止するために金属外装材張りとした。防火的に最も不利になる裏打ちのない金属単体の外壁材で、板厚も市販されている最も薄く山の高さも低い仕様の製品を採用した。この外装材留め付けのために通常は使用されない横棧を無機系断熱材と同様に配置し、断熱材留め付けも同様に傘釘とした。

表 2.1-3 第一期予備試験体の仕様一覧

試験方法	予備試験体 No.1	予備試験体 No.2	予備試験体 No.3	予備試験体 No.4	予備試験体 No.5
	載荷加熱試験	加熱試験	加熱試験	加熱試験	加熱試験
直交集成板の仕様	樹種：スギ 厚さ：90mm 強度等級：Mx60-3-3				
パネル幅方向の 目地仕様	突き付け	突き付け（平面取り） 変成リコ系 [※] キング材	突き付け（平面取り） 変成リコ系 [※] キング材	突き付け パネル間 [※] ガラス 2mm	突き付け（平面取り） パネル間 [※] ガラス 2mm ルタ系 [※] キング材
		突き付け アルミ [※] 幅 50mm 基材厚さ 0.08mm	突き付け（平面取り） ルタ系 [※] キング材		
外断熱材の種類 （加熱側）	なし	突き付け T型金属 [※] ジョイント TC-25×9（三洋工業製 厚 0.27mm） （パネル間の隙間 1mm）	突き付け（平面取り）	グラスウール断熱材 [※] （密度 32kg/m ³ 厚 25mm）	ポリスチレン [※] フォーム断熱材 [※] （密度約 30kg/m ³ 厚 25mm）
		なし	試験体の下側 グラスウール断熱材 [※] （密度 32kg/m ³ 厚 25mm）	ロックウール板（ワタ断熱材） [※] （密度 75 kg/m ³ 厚 80mm）	ロックウール断熱材 [※] （密度約 32kg/m ³ 厚 25mm）
外装仕上り材 （加熱側）	繊維混入 [※] ケイ酸カルシウム板 （厚 5mm）	なし	なし	金属外装材（厚 0.27mm） （グラスウール断熱材部分）	金属外装材（厚 0.27mm）

※断熱材密度は表 2.1-4 参照。2.2 以降には実測値を記載する。

表 2.1-4 使用断熱材一覧 (JIS 該当品)

	該当 JIS	JIS 上の分類	JIS の密度 kg/m ³	製品公称密度※ kg/m ³
グラスウール断熱材	JIS A 9504	グラスウール保温材 保温板 32K	28～36	32
ロックウール断熱材	JIS A 9504	ロックウール保温材 フェルト	20～70	40(標準密度)
ポリスチレンフォーム断熱材	JIS A 9511	A 種押出法ポリスチレンフォーム保温材 保温板 3 種 b	25 以上	記載無し (約 32)
ウレタンフォーム断熱材	JIS A 9511	A 種硬質ウレタンフォーム保温材 保温板 2 種 2 号	25 以上	記載無し (約 30)
フェノールフォーム断熱材	JIS A 9511	A 種フェノールフォーム保温材 保温板 1 種 2 号	25 以上	27

※製品カタログに記載されている密度。記載無しについてはメーカーにヒアリングした値。

3) 第二期予備試験：試験体 No.6、7

試験体 No.6 は無機系断熱材、No.7 は有機系断熱材とし、第一期予備試験の結果を考慮しかつ認定仕様を見据えた外装材ありの载荷加熱試験とした。本仕様において①CLT 目地仕様、②外張り断熱材仕様、③外装材仕様 の3点がポイントとなったので、下記にその選定を記す。

①CLT 目地仕様

目地の遮炎性が最も性能上リスクのある部分である。目地クリアを 2mm としすべての目地の加熱側に面取りをいれ、2本の目地のうち一方を雇い実とした。もう一方は有機系断熱材のみコーキング有りとした。

雇い実について、断面を 20mm×40mm のスギ材とした。CLT の幅はぎ接着が無い前提のため欠き込み部分に積層接着面を残す必要から欠き込み幅がラミナより薄い必要があるため、ラミナ厚 30mm に対し雇い実厚さ 20mm、欠き込み幅を 1mm のクリアをもたせ 21mm とした。欠き込み深さは 20mm として目地間クリア 2mm をそのまま深さ方向のクリアとした。また、試験体の载荷への影響を避けるため雇い実の長さを上下 25mm 短くなるように配置した。

②外張り断熱材仕様

無機系断熱材については第一期予備試験結果で性能が確認された為、試験体仕様から外してよいのではという意見が委員会で話し合われたが、今後認定の取得を考えた場合、より包括的な認定内容とするためにグラスウールを採用してさらに不利側の仕様として横棧間隔を大きくした。留め付けについても外装材下地の縦胴縁を介した固定で断熱材が押さえられるとして、傘釘のような断熱材への直接の固定は行わず不利側の仕様とした。

有機系断熱材については、後述する試験体 No.5 の結果に基づき 3 種類中最不利の仕様としてポリスチレンフォームを採用した。

③外装仕上材仕様

外装仕上材について、窯業系サイディングなどの一般的な防火構造の外装材と比較し不利側と思われるスギの木材外装材とした。木材の場合、試験体 No.5 で使用した金属外装材に比べて遮熱性において必ずしも不利側とは言えないが、厚さ 15mm、幅 100mm、横張として目地を多くし、さらに留め付けは胴縁位置に釘 1 本として脱落しやすいことから、大方不利側と考えてよいと判断した。

木材目地は実加工無しの突き付けとした。さらに不利側な仕様として、断面欠損率を最大とし合いじやくりの雌側加工を削り突き付けた仕様が考えられるが、前述の目地数、留め付けが不利側の条件としては十分であること、加工に対しては時間・費用的な制約があったことで、今回は見送った。

下地の通気用縦胴縁の厚さは 18mm を用いる場合があるが、今回は不利側として厚さ 15mm とした。

木材塗装は認定では可燃物扱いで不利条件となる有機系塗料（シッケンズ セトール HLSe）180g/m²を塗布。

表 2.1-5 第二期予備試験体の仕様一覧

	予備試験体 No.6	予備試験体 No.7
試験方法	載荷加熱試験	載荷加熱試験
直交集成板の仕様	樹種：スギ 厚さ：90mm 強度等級：Mx60-3-3	
パネル幅方向の 目地仕様	突き付け（クリアランス 2mm） 平面取り（見付け 10mm）	突き付け（クリアランス 2mm） 平面取り（見付け 10mm） ウレタン樹脂系コーキング材
	突き付け（クリアランス 2mm） 平面取り（見付け 10mm） 雇い実（20×40mm）	突き付け（クリアランス 2mm） 平面取り（見付け 10mm） 雇い実（20×40mm）
外断熱材の種類 （加熱側）	グラスウール断熱材※ （密度 32kg/m ³ 厚 25mm）	ポリスチレンフォーム断熱材※ （密度 25kg/m ³ 以上 厚 25mm）
外装仕上げ材 （加熱側）	木製外装材（横張り、突き付け） 樹種：スギ 厚 15mm×幅 100mm 表面塗装：シッケンズ [®] セトル（アルキド系樹脂塗料） 塗布量 180g/m ²	

※断熱材密度は製品の公称値を記載、2.2 以降には実測値を記載する。

2. 2 第一期予備試験 試験結果

2. 2. 1 試験体 No.1~3

①CLT 単体の非損傷性

CLT を被覆無しで直接加熱した場合の 30 分の非損傷性の評価について試験体 No.1 と No.2 の残存断面の厚さを比較すると、試験体 No.1 で荷重支持能力が失われた後の厚さは 49~53mm、試験体 No.2 で 30 分間加熱後の厚さは 53mm~60mm であり後者の方が大きい（表 2.2-5 及び 2.2-10）。加熱終了から消火迄に 3~4 分間要しており荷重支持の限界の断面は実測値よりも若干大きかったと思われるが、両者同様に炭化が進んでいることを考慮すると CLT を直接加熱した場合でも防火構造の 30 分間は非損傷性が保たれる可能性がある。

内部温度は、木材の着火温度である 260℃に加え 200℃の到達時間を整理した。両者とも実測では炭化が 30mm 以上進んでいたが、CLT 一般部の内部温度は加熱面から 30mm では 200℃にすら達していない（表 2.2-4 及び 2.2-9）。試験体 No.2 においては 15mm で 260℃に達していたのみであった。この原因として、内部温度測定は CLT 厚 90mm の裏側から穴をあけシース熱電対を通していているため、測定位置から外部までの距離が短く外部温度の影響を受けた事、熱電対の深さを正確にするためにドリル穴の底面に電対先端が密着していなかった事、などが考えられる。従って、以降は非損傷性については試験後に切断して測定した残存断面の厚さで確認する。

なお、試験体の裏面温度より CLT 一般部の遮熱性は、最も損傷が進んだ試験体 No.1 でも十分に保たれている（図 2.2-5、表 2.2-2）。

②目地仕様の比較

試験体 No.2 の目地 3 仕様（コーキング、アルミテープ、金属ジョイナー）においては、アルミテープ、金属ジョイナーともに加熱 6 分で脱落、変形がみられ、いずれも目地の炉内貫通及び発炎がみられた（表 2.2-8）。コーキング（変成シリコン樹脂系）は遮熱性、遮炎性が保たれた（表 2.2-7）。

試験体 No.3 における目地 3 仕様（コーキング 2 種類、コーキング無し）については、いずれも遮熱性、遮炎性が保たれた。目地部の内部温度を比較するとコーキング有りがコーキング無しに比べて 260℃到達時間が 6~7 分遅く、コーキング材が遮熱性を付加していたが、目地部裏面温度はコーキング有りの目地の方が高い（表 2.2-14 及び 2.2-12）。また、コーキング材の樹脂（変成シリコン系樹脂、ウレタン系樹脂）の違いによる性能の有意差は見られなかった。

これらの結果は目地間のクリアが 0mm の場合である。ただし金属ジョイナーについては、目地にジョイナーを差し込んだことにより目地間にクリアが 1mm 程度生じてしまった（写真 2.2-19）。この事とジョイナーの金属厚の厚さ 0.27mm と薄い事、釘長さ 25mm と短く、留め付けピッチが 600mm と大きかった事などが、かなり不利側に影響したと思われる。

③無機系断熱材の効果

試験体 No.3 の下半分はグラスウール被覆としている。一般部の残存断面の厚さはグラスウール被覆無しが 57mm、被覆有りが 72mm であり（表 2.2-15）、今回使用したグラスウールは約 15mm の炭化抑制効果が見られた。無機系断熱材はこの仕様以上であれば、外装仕上げ材に依存することなく非損傷性は保てると考えられる。

また、グラスウール留め付けのツメ付き座金と傘釘の比較では、脱炉時に一部のグラスウールに脱落が見られ、傘釘で留め付けた範囲では脱落が見られなかった（写真 2.2-31、46、47）。脱落部分も固定金具の影響というよりグラスウール自体の収縮や溶解によるとみられ、留付材として両者にはそれほど差は見られなかった。ただし傘釘は CLT の炭化により手で簡単にはずれる状態であり、長さがやや不足と思われる。

1) 試験体 No.1

試験概要

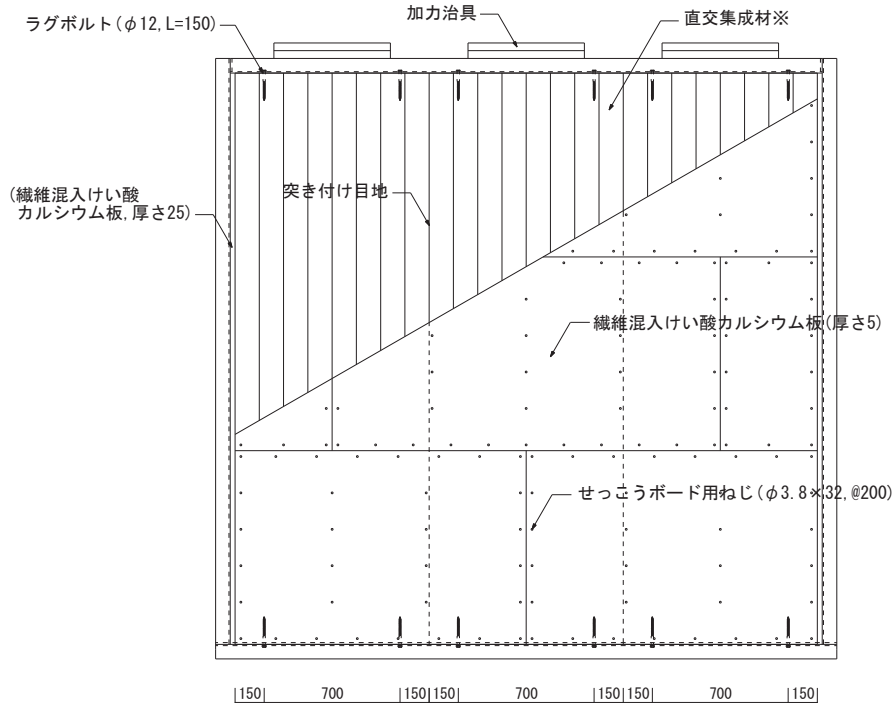


図 2.2-1 試験体図

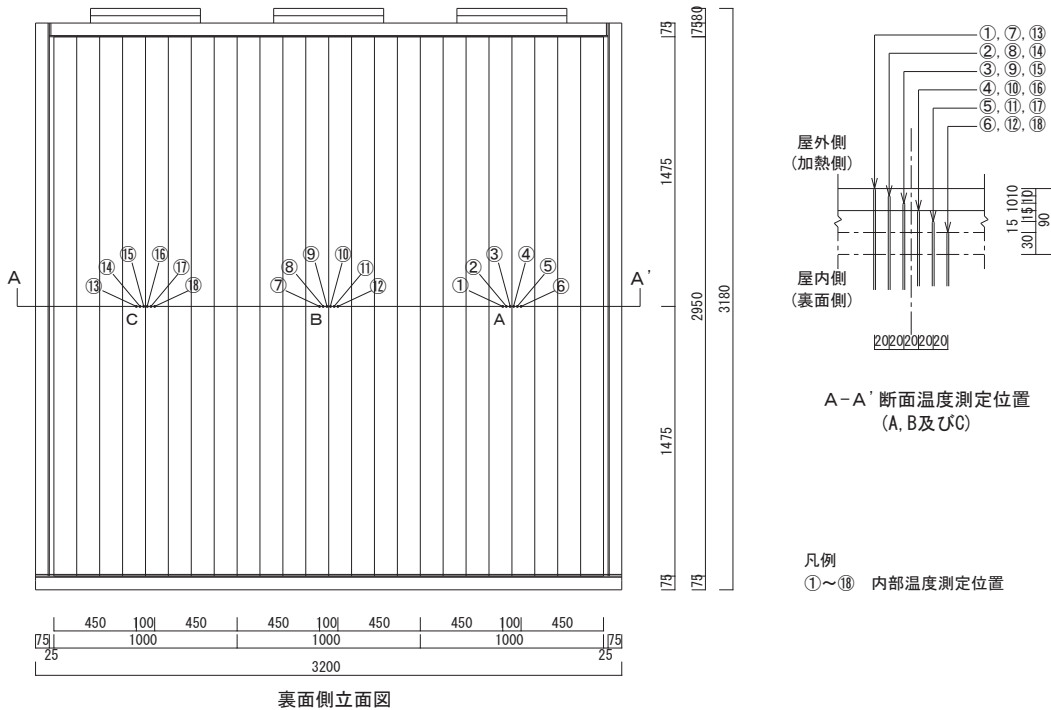


図 2.2-2 内部温度測定位置

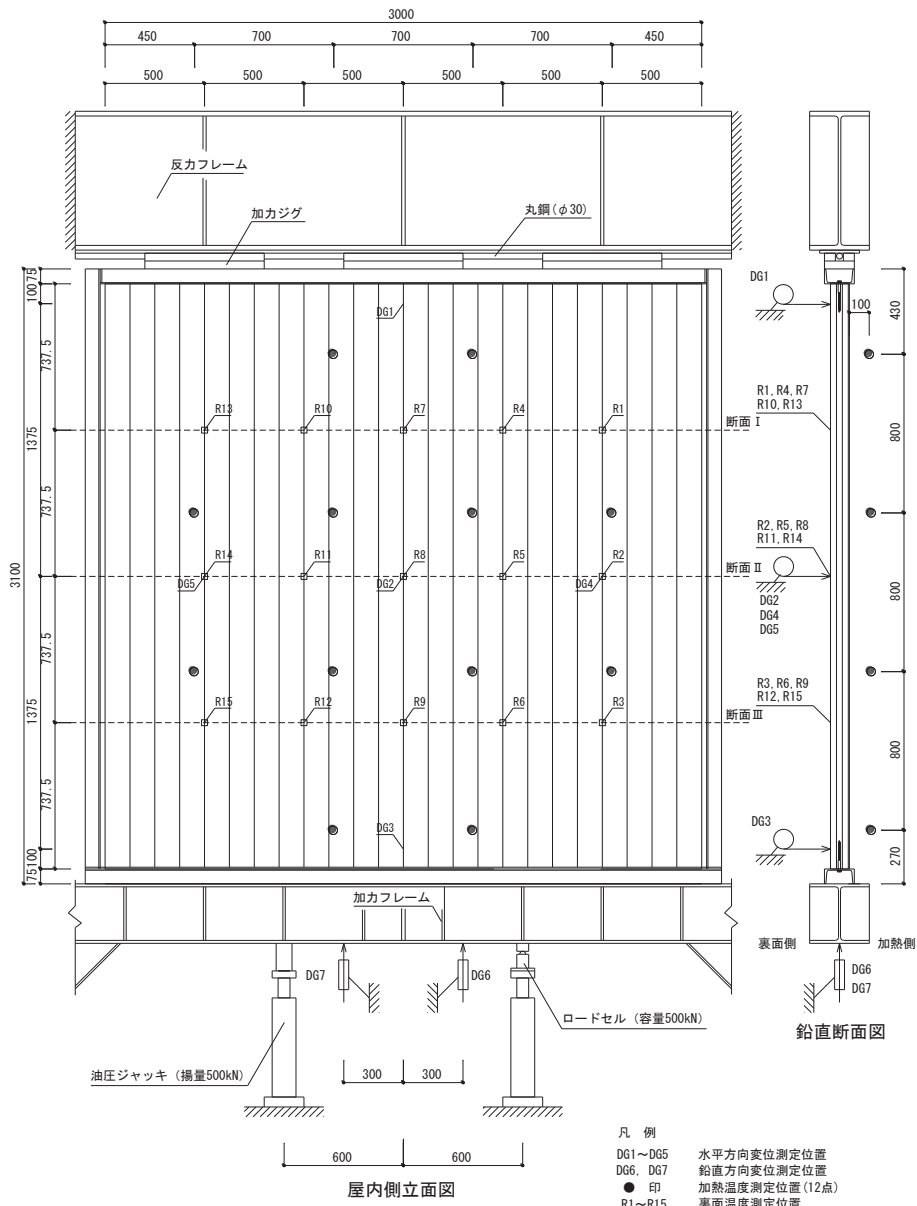


図 2.2-3 試験方法図 (载荷方法、温度測定位置及び変位測定位置)

表 2.2-1 試験体の密度及び含水率

構成材料	密度	含水率
直交集成板	0.36g/cm ³ (105℃、16日間乾燥)	11.3% (105℃、16日間乾燥)
ケイ酸カルシウム板	0.83 g/cm ³ (105℃、16日間乾燥)	3.7% (105℃、16日間乾燥)

試験結果(試験体 No.1)

加熱温度測定結果を図 2.2-4 に示す。

裏面温度測定結果を図 2.2-5 に示す。

荷重・面外方向たわみ・軸方向収縮変位測定結果を図 2.2-6 に示す。

内部温度測定結果を図 2.2-7 に示す。

試験結果を表 2.2-2 に示す。

試験中の観察結果を表 2.2-3 に示す。

各断面測定温度 260℃超過時間を表 2.2-4 に示す。

試験体の写真を写真 2.2-1～写真 2.2-4 に示す。

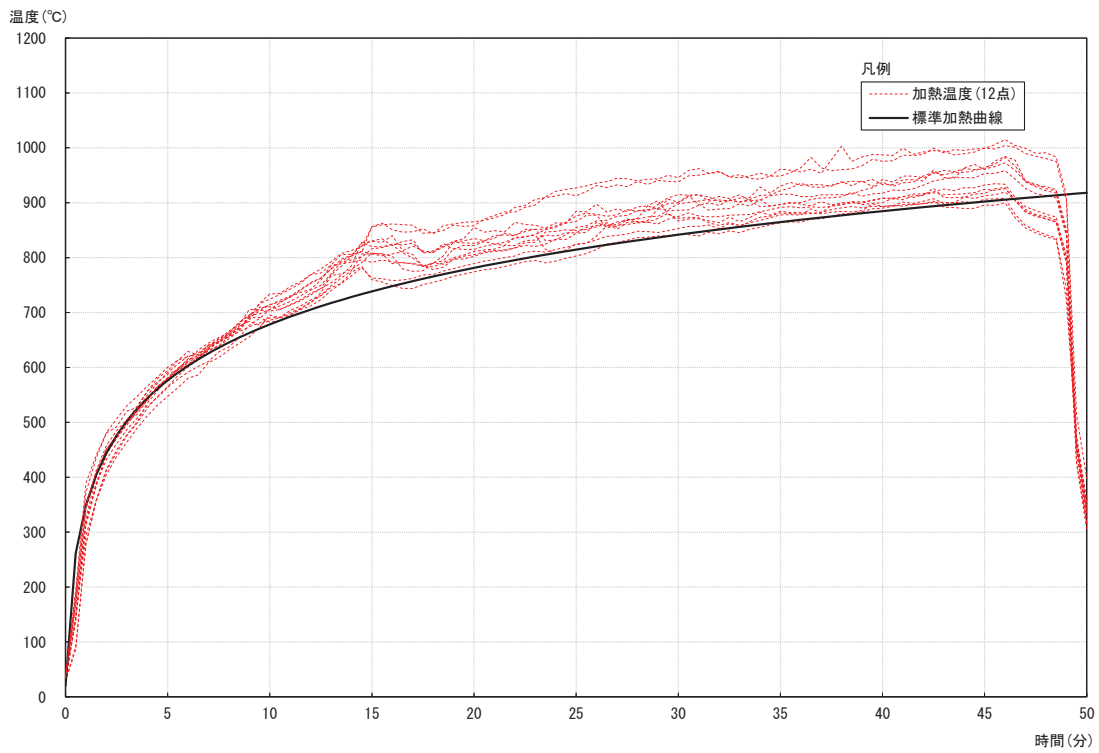


图 2.2-4 加熱溫度測定結果

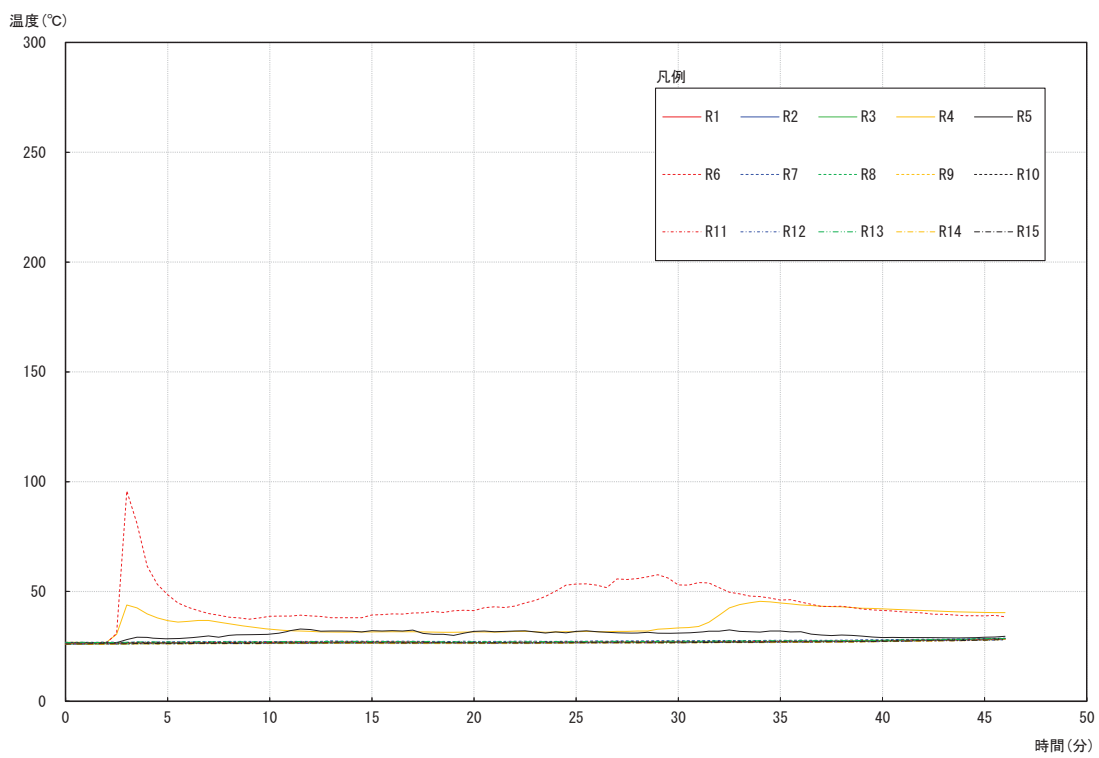


图 2.2-5 裏面溫度測定結果

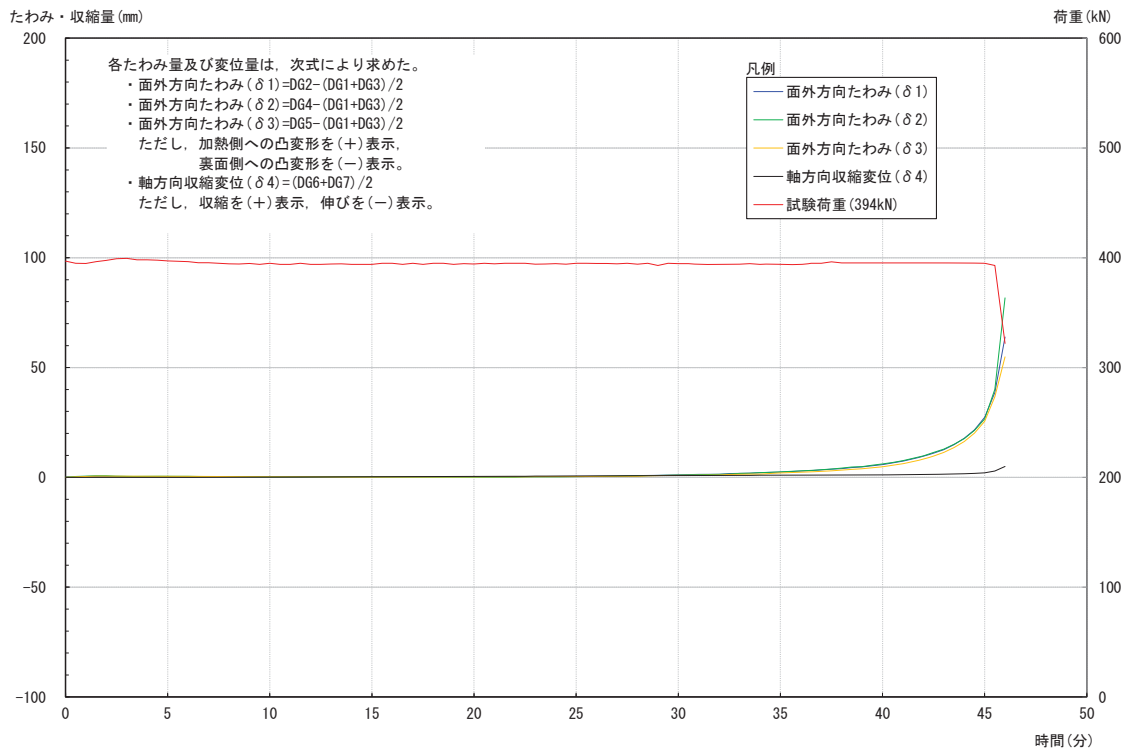


図 2.2-6 荷重・面外方向たわみ・軸方向収縮変位測定結果

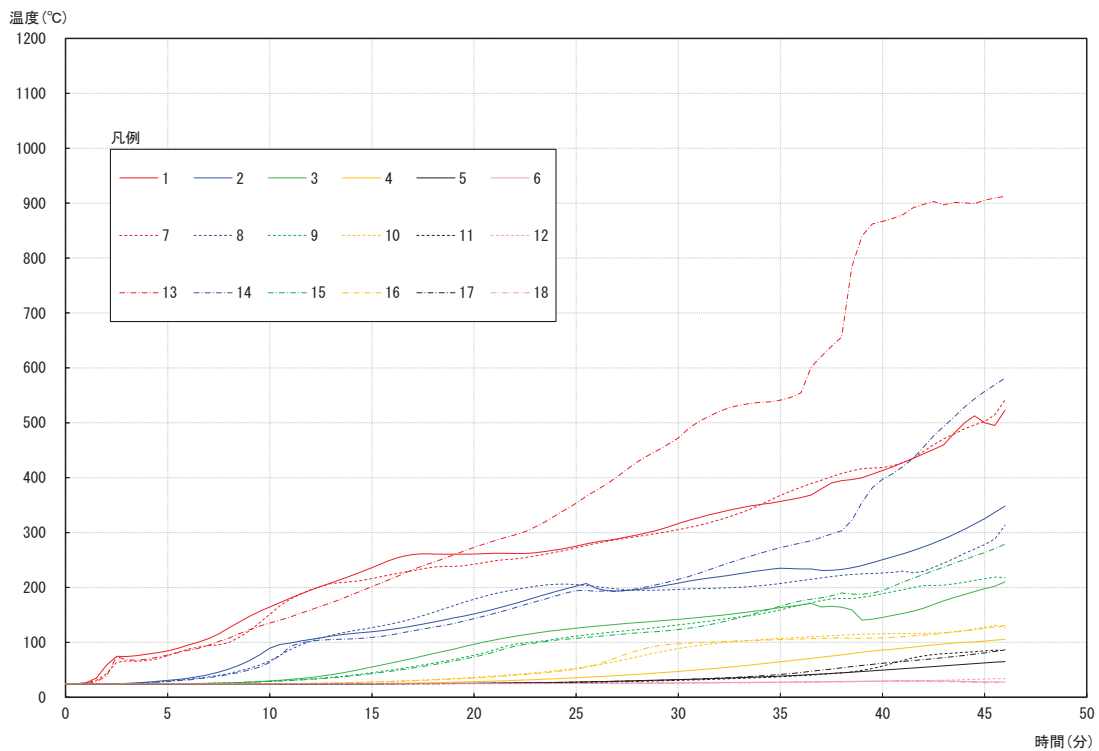


図 2.2-7 内部温度測定結果

表 2.2-2 試験結果

温度	初期温度(°C)	26
	裏面温度最高値(°C)	96 (3分時) (規定値：206)
	裏面温度平均最高値(°C)	32 (3分時) (規定値：166)
最大軸方向収縮量		2.9mm※ (規定値：29.5mm)
最大軸方向収縮速度		1.1mm/分※ (規定値：8.8mm/分)
非加熱側へ10秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし
非加熱側で10秒を超えて 継続する発炎の有無		なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		なし

※荷重支持能力が失われる直前（45分30秒）までの結果を示す。

表 2.2-3 試験中の観察結果

時間	観察状況
2分50秒	目地より断続的な煙が断続的に生じてきた。
5分00秒	加熱側のケイ酸カルシウム板に部分的な亀裂が生じた。
8分40秒	目地からの煙が継続的に生じてきた。
19分00秒	加熱側のケイ酸カルシウム板に部分的な脱落が生じた。
35分00秒	加熱側の CLT が部分的にはく離(脱落)を生じてきた。
39分00秒	目地からの煙が収まった。
45分45秒	荷重支持能力が失われた。試験は46分に終了した。

表 2.2-4-1 各断面測定温度 200℃超過時間

加熱側からの深さ (mm)	到達時間 (分)		
	位置番号 1~6	位置番号 7~12	位置番号 13~18
0	12.5	12.5	15
10	25	23	28.5
20	45.5	42	40.5
30	-	-	-
45	-	-	-
60	-	-	-

表 2.2-4-2 各断面測定温度 260℃超過時間

加熱側からの深さ (mm)	到達時間 (分)		
	位置番号 1~6	位置番号 7~12	位置番号 13~18
0	17	23.5	19.5
10	41	44	34
20	-	-	45
30	-	-	-
45	-	-	-
60	-	-	-

試験前後の試験体の状況（試験体 No1）



写真 2.2-1 試験前の加熱側の状況



写真 2.2-2 試験前の裏面側の状況



写真 2.2-3 試験後の加熱側の状況



写真 2.2-4 終了時（46分時）の裏面側の状況

試験終了後の試験体について、炭化確認を行った。

炭化確認は、試験方法図に示した断面Ⅰ、断面Ⅱ及び断面Ⅲの位置（試験体高さ h の中央部（ $h/2$ ）、上部（ $3h/4$ 部）及び下部（ $h/4$ 部））の3断面を水平に切り出し行った。写真を写真2.2-5～写真2.2-7に示す。炭化図を図2.2-8に示す。また、CLTの残存断面の最小値を表2.2-5に示す。



写真 2.2-5 試験後の断面状況（断面Ⅰ）



写真 2.2-6 試験後の断面状況（断面Ⅱ）



写真 2.2-7 試験後の断面状況（断面Ⅲ）

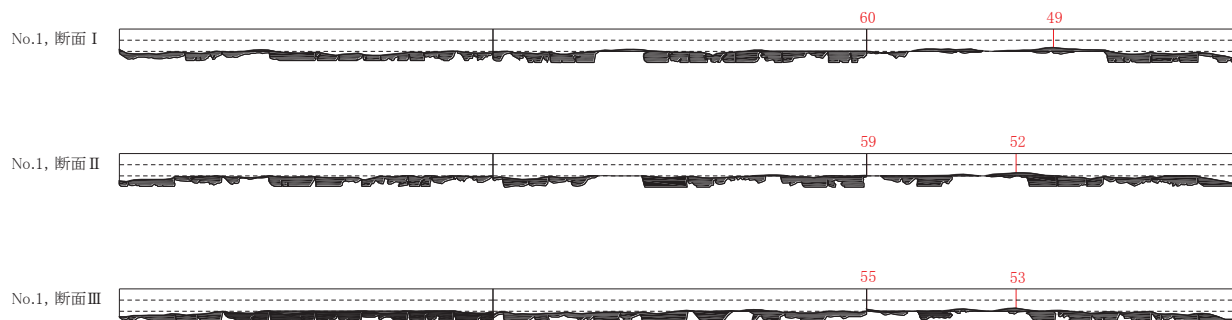


図 2.2-8 炭化図

表 2.2-5 残存断面の最小値

	一般部残存最小厚さ (mm)	目地部残存最小厚さ (mm)
断面 I	49	60
断面 II	52	59
断面 III	53	55

2) 試験体 No.2

試験概要

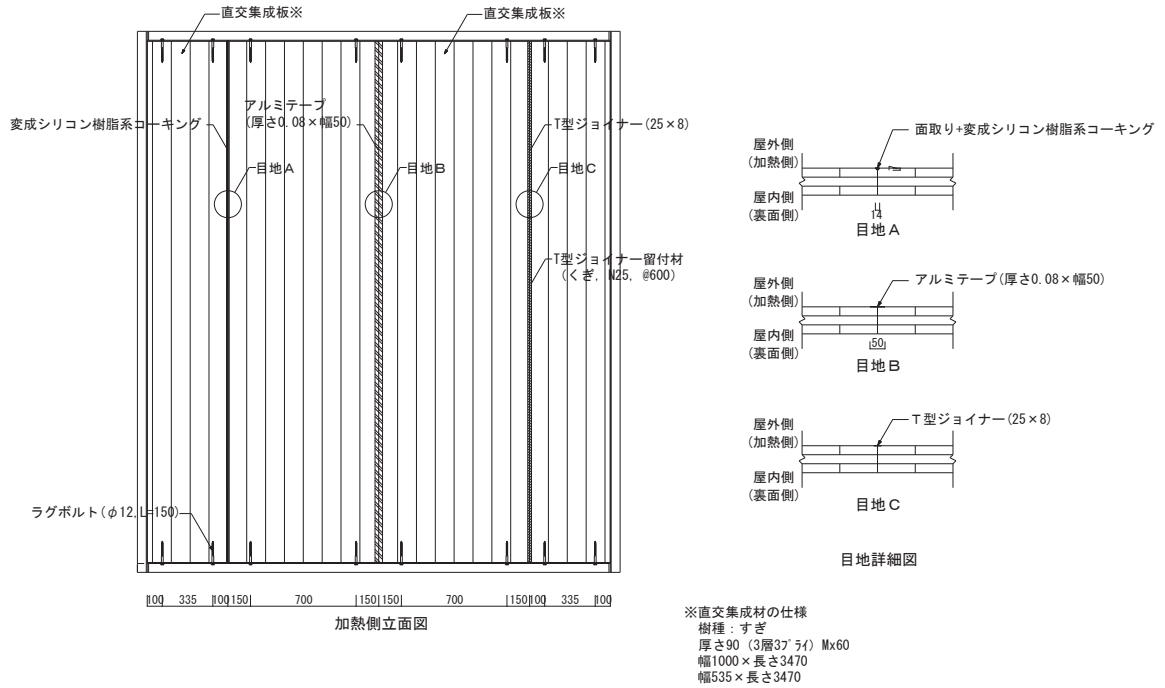


図 2.2-9 試験体図

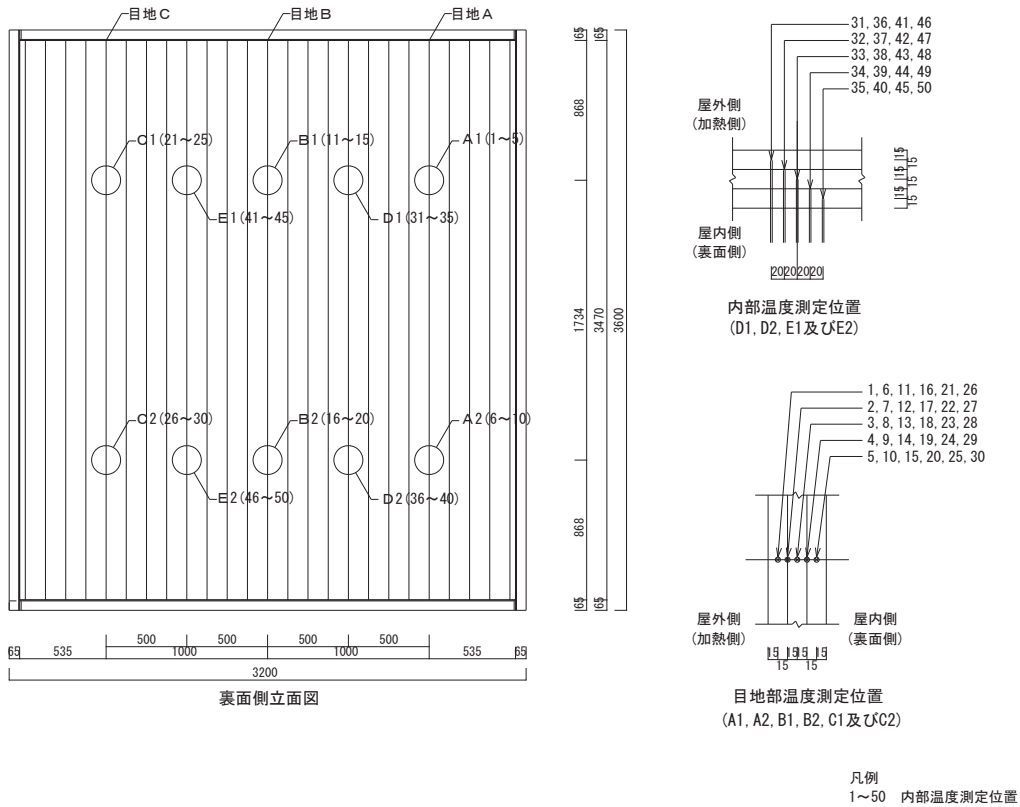


図 2.2-10 内部温度測定位置

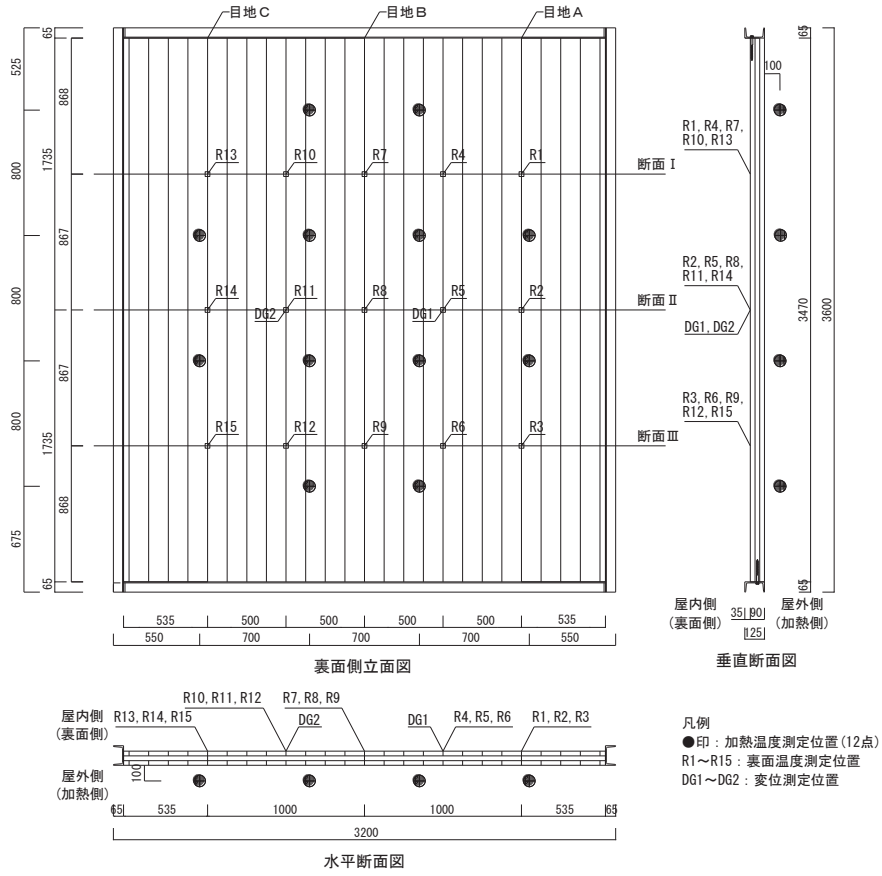


図 2.2-11 試験方法図（裏面温度及び変位測定位置）

表 2.2-6 試験体の密度及び含水率

構成材料	密度	含水率
直交集成板	0.34g/cm ³ (105°C、16 日間乾燥)	11.5% (105°C、16 日間乾燥)

試験結果(試験体 No.2)

加熱温度測定結果を図 2.2-12 に示す。

裏面温度測定結果を図 2.2-13 に示す。

内部温度測定結果を図 2.2-14～図 2.2-18 に示す。

面外方向変位測定結果を図 2.2-19 に示す。

試験結果を表 2.2-7 に示す

試験中の観察結果を表 2.2-8 に示す。

各断面測定温度 260℃超過時間を表 2.2-9 に示す。

試験体の写真を写真 2.2-10～写真 2.2-25 に示す。

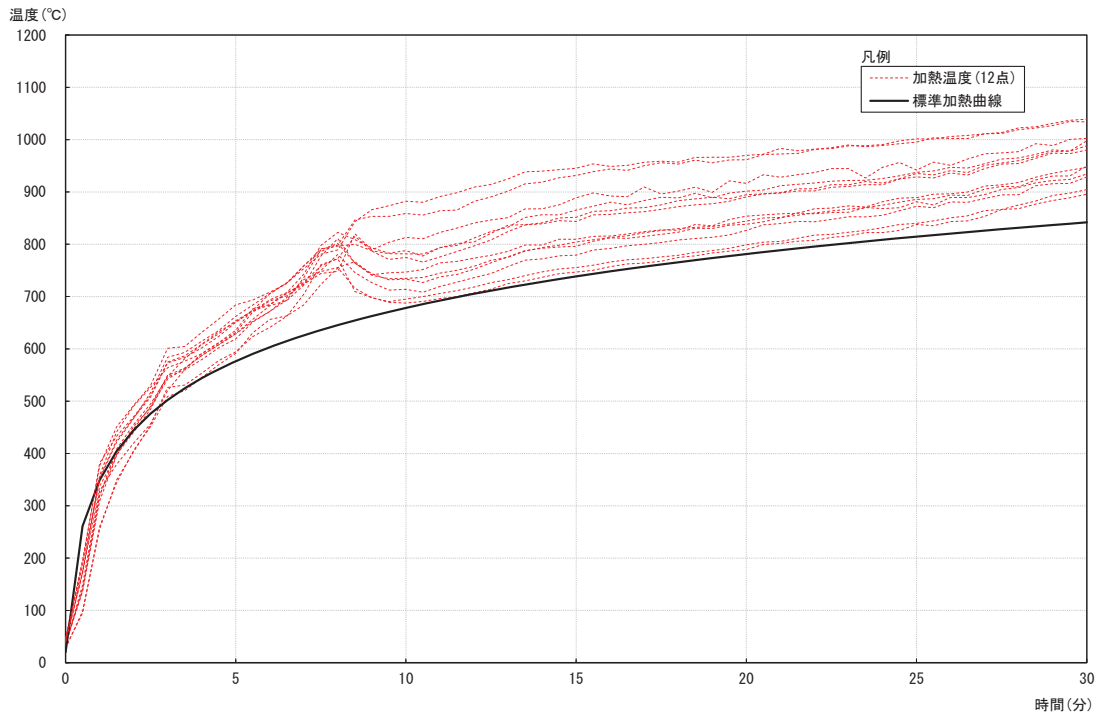


圖 2.2-12 加熱溫度測定結果

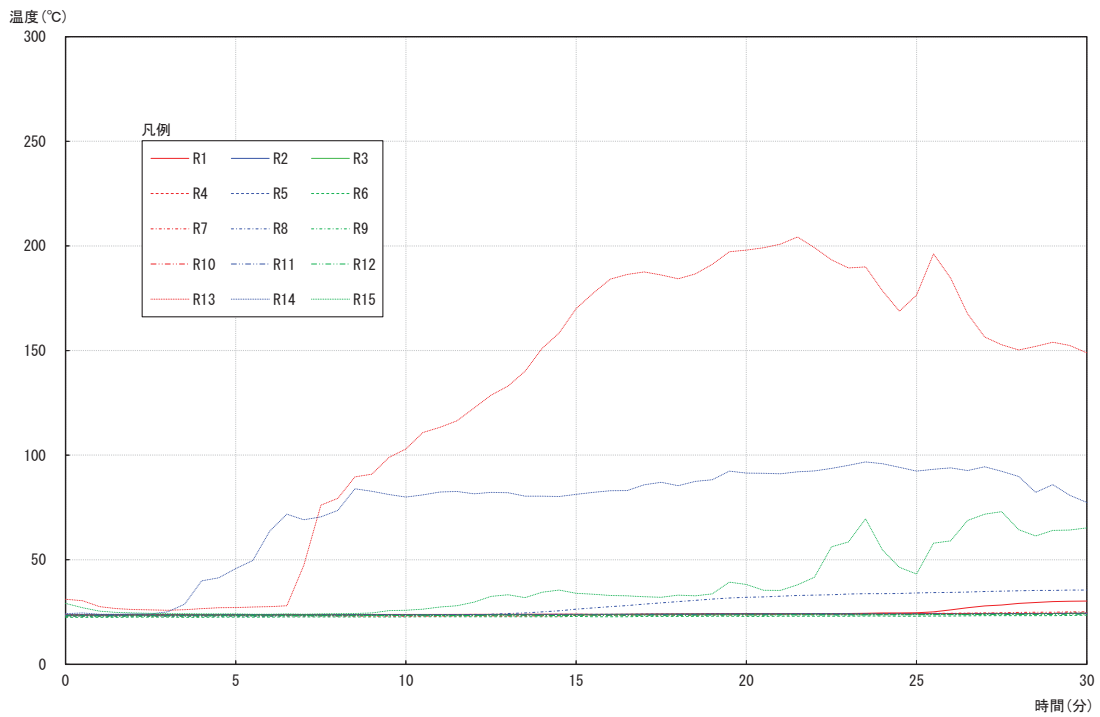


圖 2.2-13 裏面溫度測定結果

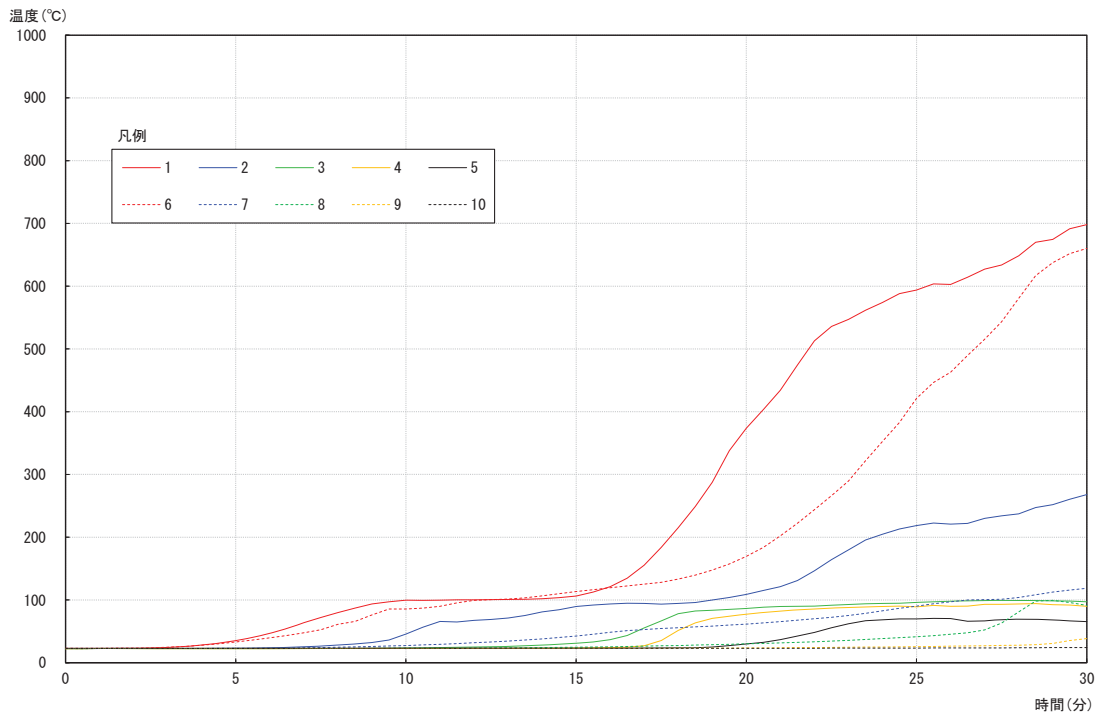


図 2.2-14 内部温度測定結果(A1 及び A2)

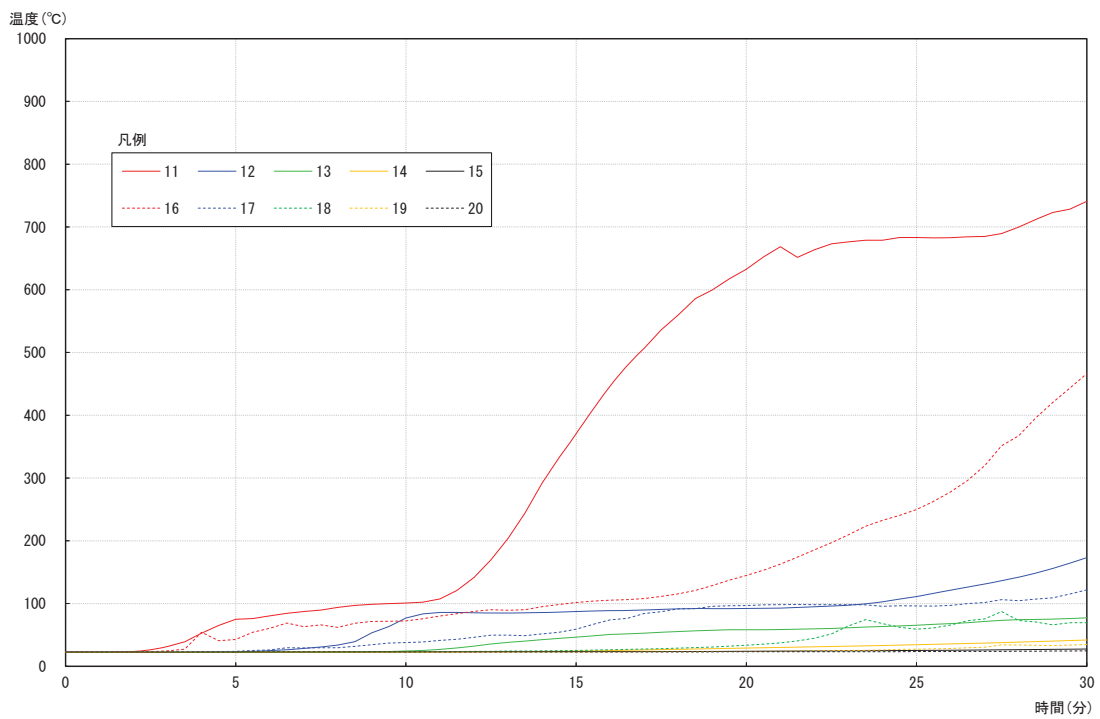


図 2.2-15 内部温度測定結果(B1 及び B2)

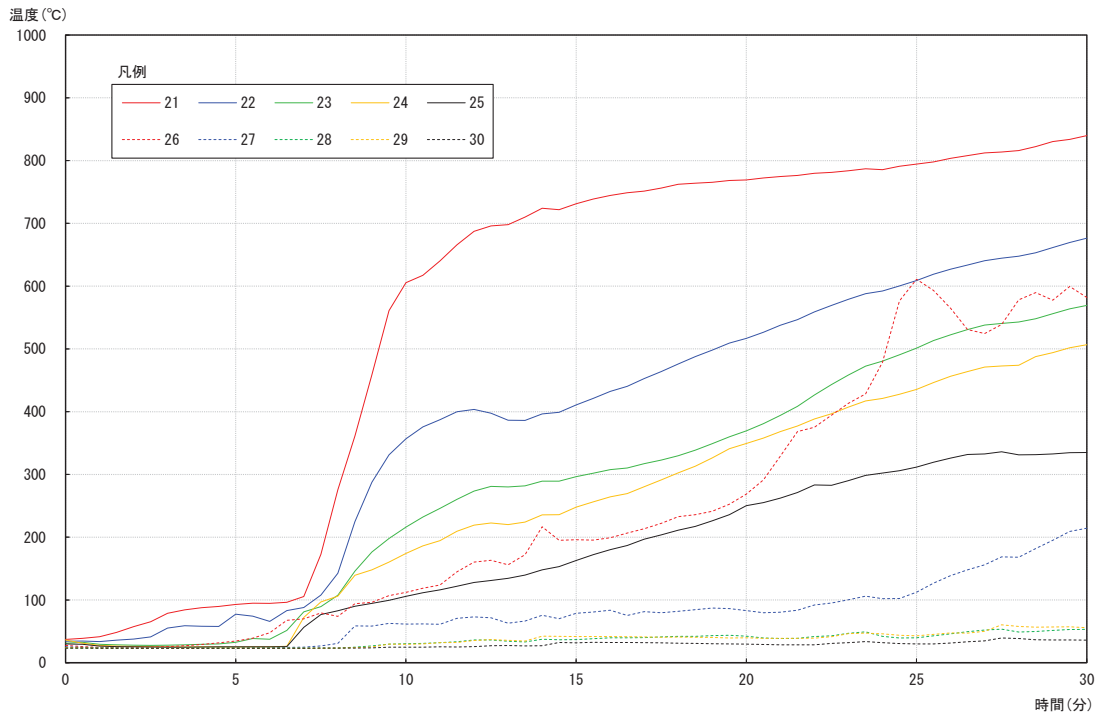


図 2.2-16 内部温度測定結果(C1 及び C2)

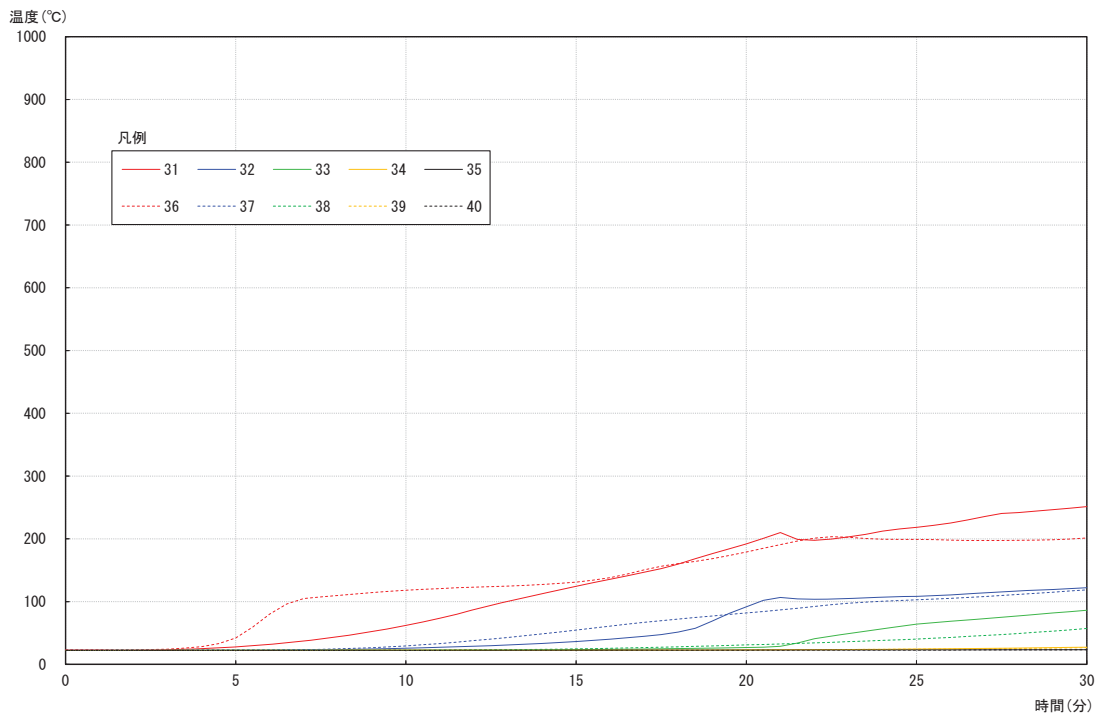


図 2.2-17 内部温度測定結果(D1 及び D2)

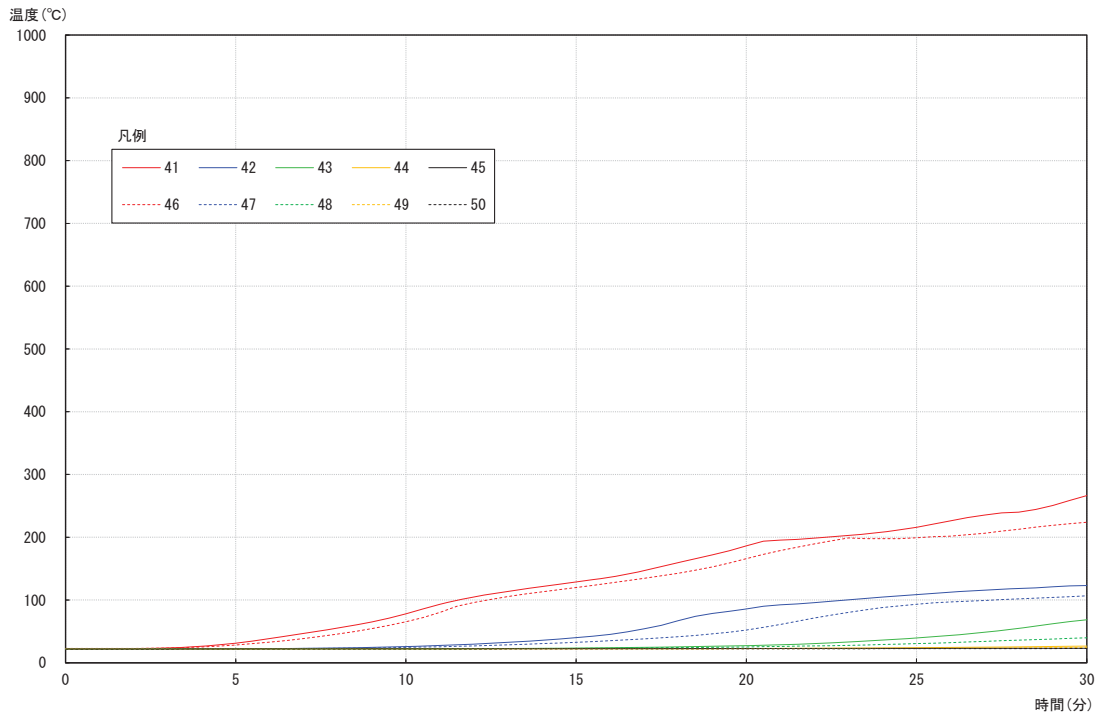


図 2.2-18 内部温度測定結果(E1 及び E2)

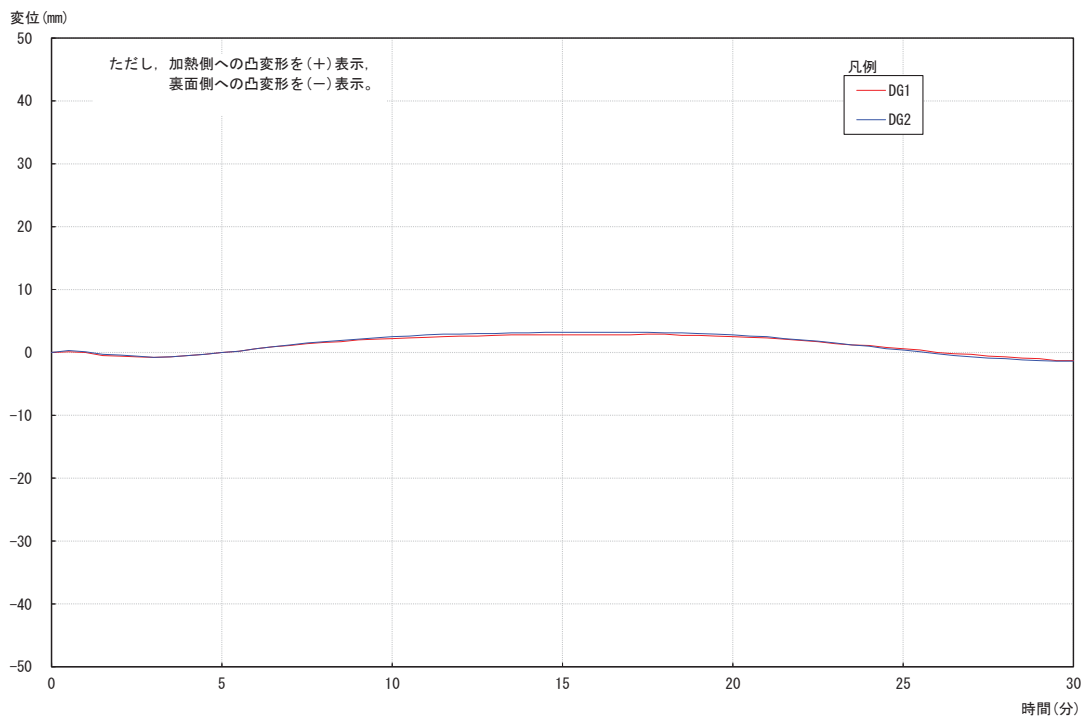


図 2.2-19 面外方向変位測定結果

表 2.2-7 試験結果

種類		目地 A	目地 B	目地 C
温度	初期温度(°C)	24 (R1,R2,R3 の平均)	23 (R7,R8,R9 の平均)	28 (R13,R14,R15 の平均)
	裏面温度最高値(°C)	30 (30 分時) (規定値 : 204)	36 (29.5 分時) (規定値 : 203)	204 (21.5 分時) (規定値 : 208)
	裏面温度平均最高値(°C)	26 (30 分時) (規定値 : 164)	28 (30 分時) (規定値 : 163)	119 (23.5 分時) (規定値 : 168)
非加熱側へ 10 秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし	なし	なし
非加熱側で 10 秒を超えて 継続する発炎の有無		なし	なし	なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		なし	あり (表 2.2-8 観察結果参照)	あり (表 2.2-8 観察結果参照)

表 2.2-8 試験中の観察結果

目地 A		目地 B		目地 C	
時 間	観 察 状 況	時 間	観 察 状 況	時 間	観 察 状 況
14分0秒	目地から煙が生じた。	3分20秒	目地から煙が生じた。	1分50秒	目地から煙が生じた。
		6分0秒	アルミテ-プが脱落。	6分0秒	加熱側 T 型ジョイナーが変形し始めた。
		28分0秒	下部で炉内への貫通を確認。(写真 2.2-8 参照) フラッシュが生じた。	29分15秒	下部で炉内への貫通を確認。(写真 2.2-9 参照)
				29分30秒	フラッシュが生じた。

表 2.2-9-1 各断面測定温度 200℃超過時間

加熱側からの深さ (mm)	到達時間 (分)									
	目地部						一般部			
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
15	18	21	13	23	8	16.5	20.5	22.0	22.5	25.5
30	24	—	—	—	8.5	29.5	—	—	—	—
45	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	11.5	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	21	—	—	—	—	—

表 2.2-9-2 各断面測定温度 260℃超過時間

加熱側からの深さ (mm)	到達時間 (分)									
	目地部						一般部			
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
15	19	22.5	14	25.5	8	20	—	—	30	—
30	29.5	—	—	—	9.5	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	11.5	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	16	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	21	—	—	—	—	—

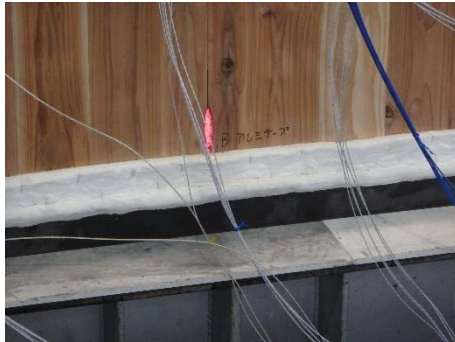


写真 2.2-8 目地 B の試験中の状況（炉内への貫通の状況）



写真 2.2-9 目地 C の試験中の状況（炉内への貫通の状況）

試験前後の試験体の状況（試験体 No2）



写真 2.2-10 試験前の加熱側の状況



写真 2.2-11 試験前の裏面側の状況



写真 2.2-12 試験後の加熱側の状況



写真 2.2-13 終了時の裏面側の状況

試験前の試験体の状況（試験体 No2、目地の状況）



写真 2.2-14 試験前の加熱側の状況（目地 A）

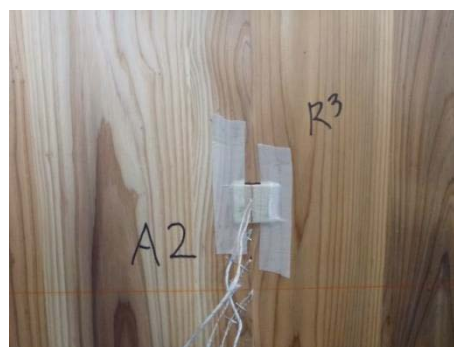


写真 2.2-15 試験前の裏面側の状況（目地 A）



写真 2.2-16 試験前の加熱側の状況（目地 B）



写真 2.2-17 試験前の裏面側の状況（目地 B）



写真 2.2-18 試験前の加熱側の状況（目地 C）



写真 2.2-19 試験前の裏面側の状況（目地 C）

試験後の試験体の状況（試験体 No2、目地の状況）



写真 2.2-20 試験後の加熱側の状況（目地 A）



写真 2.2-21 試験後の裏面側の状況（目地 A）



写真 2.2-22 試験後の加熱側の状況（目地 B）

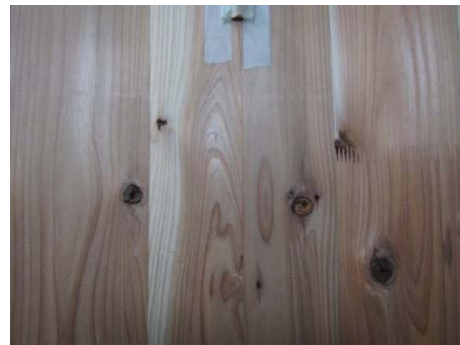


写真 2.2-23 試験後の裏面側の状況（目地 B）



写真 2.2-24 試験後の加熱側の状況（目地 C）



写真 2.2-25 試験後の裏面側の状況（目地 C）

試験終了後の試験体について、炭化確認を行った。

炭化確認は、試験方法図に示した断面Ⅰ、断面Ⅱ及び断面Ⅲの位置（内部温度測定位置）の3断面を水平に切り出し行った。写真を写真2.2-26～写真2.2-28に示す。炭化図を図2.2-20に示す。また、CLTの残存断面の最小値を表2.2-10に示す。



写真 2.2-26 試験後の断面状況（断面Ⅰ）



写真 2.2-27 試験後の断面状況（断面Ⅱ）



写真 2.2-28 試験後の断面状況（断面Ⅲ）

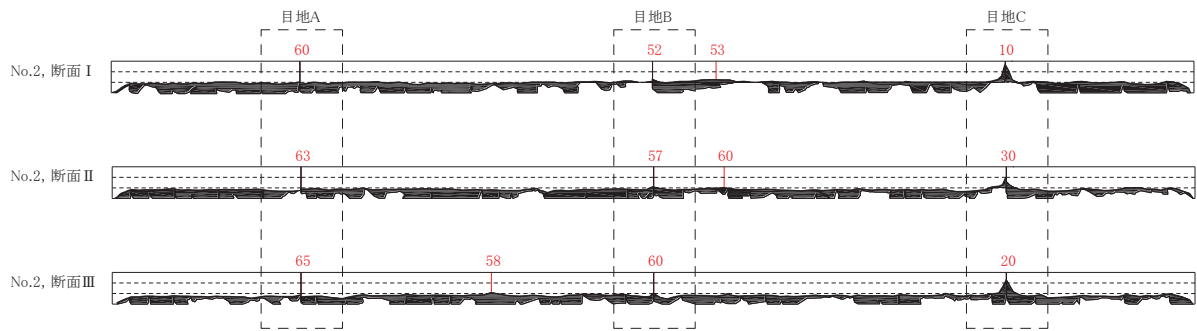


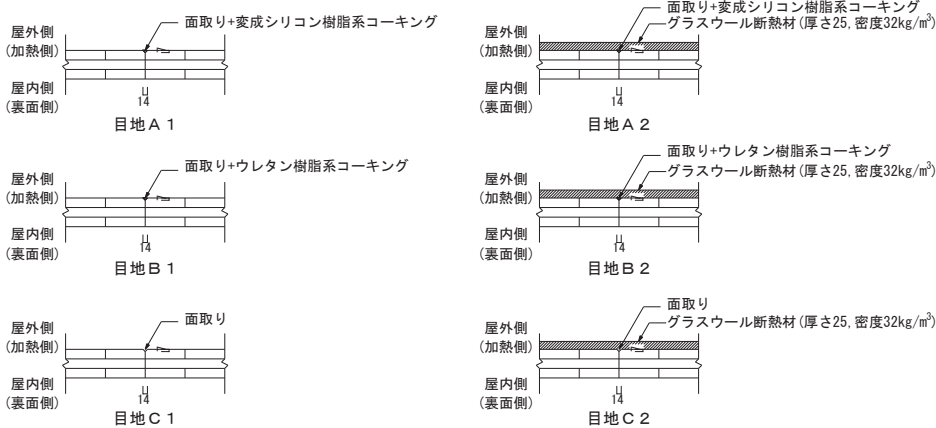
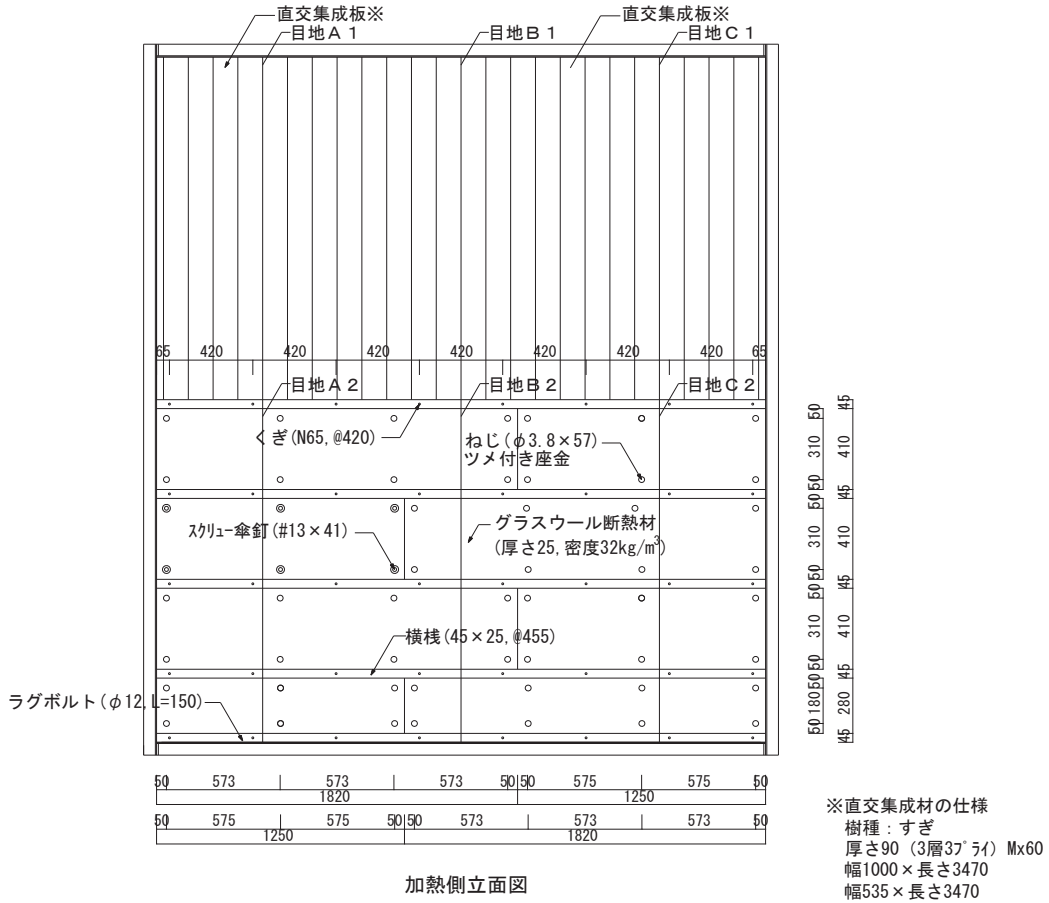
図 2.2-20 炭化図

表 2.2-10 残存断面の最小値

	一般部残存最小厚さ (mm)	目地部残存最小厚さ (mm)		
		目地 A	目地 B	目地 C
断面 I	53	60	52	10
断面 II	60	63	57	30
断面 III	58	65	60	20

3) 試験体 No.3

試験概要



2.2-21 試験体図

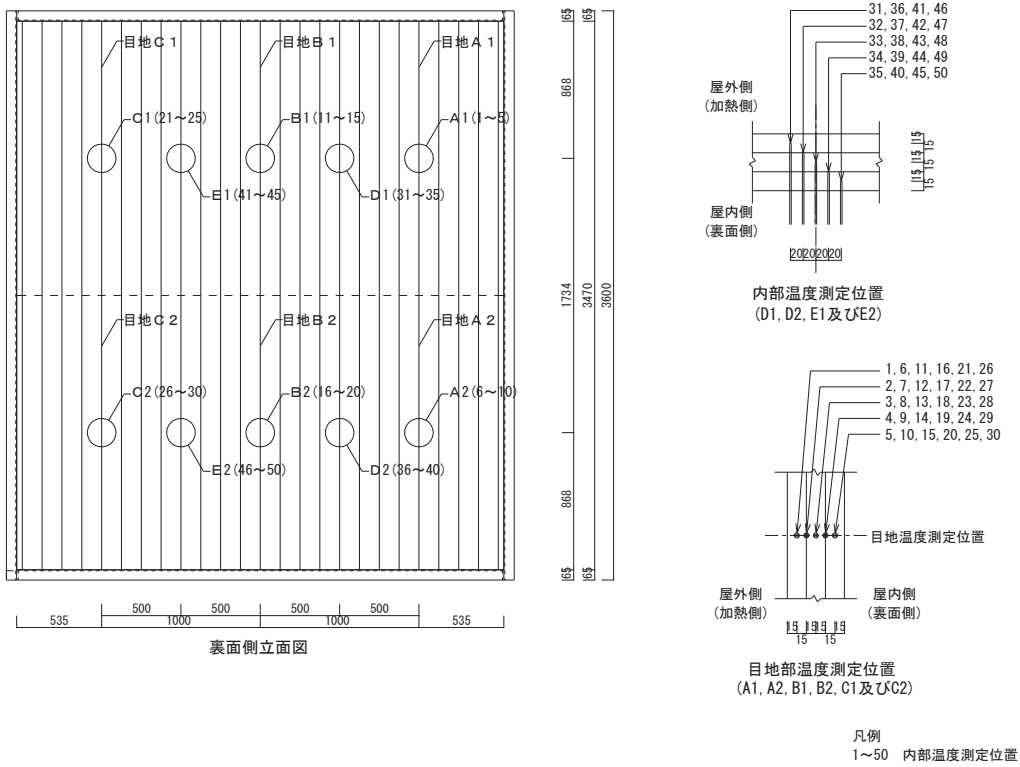


図 2.2-22 内部温度測定位置

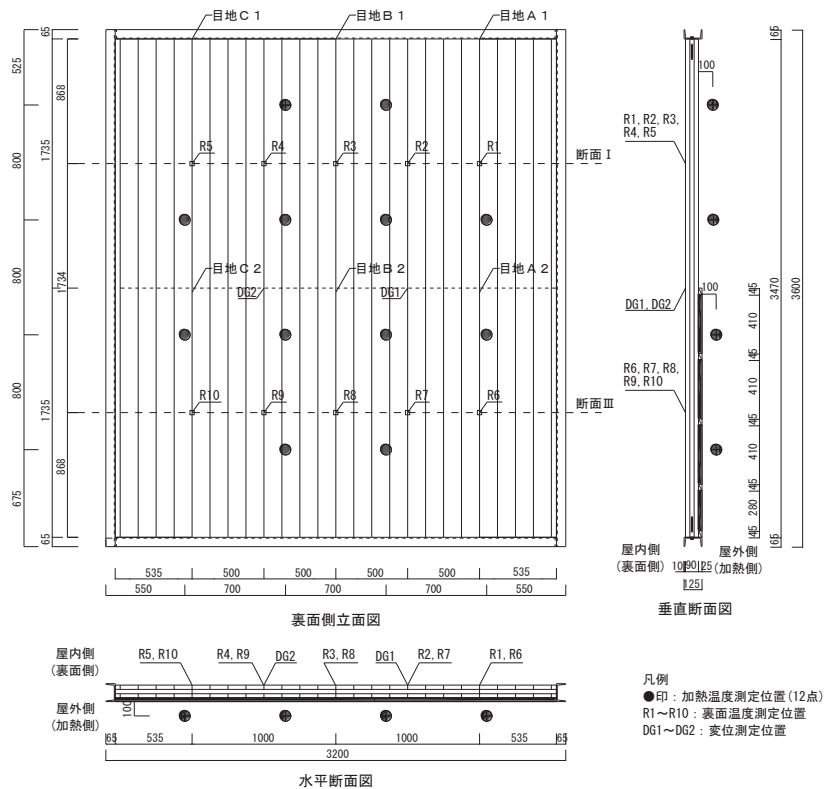


図 2.2-23 試験方法図 (裏面温度及び変位測定位置)

表 2.2-11 試験体の密度及び含水率

構成材料	密度	含水率
直交集成板	0.33g/cm ³ (105°C、16日間乾燥)	11.4% (105°C、16日間乾燥)
横棧	0.31 g/cm ³ (105°C、5日間乾燥)	14.7% (105°C、5日間乾燥)
グラスウール断熱材	32kg/m ³ (105°C、5日間乾燥)	—

試験結果(試験体 No.3)

加熱温度測定結果を図 2.2-24 に示す。

裏面温度測定結果を図 2.2-25 に示す。

内部温度測定結果を図 2.2-26～図 2.2-30 に示す。

面外方向変位測定結果を図 2.2-31 に示す。

試験結果を表 2.2-12 に示す。

試験中の観察結果を表 2.2-13 に示す。

各断面測定温度 260℃超過時間を表 2.2-14 に示す。

試験体の写真を写真 2.2-29～写真 2.2-47 に示す。

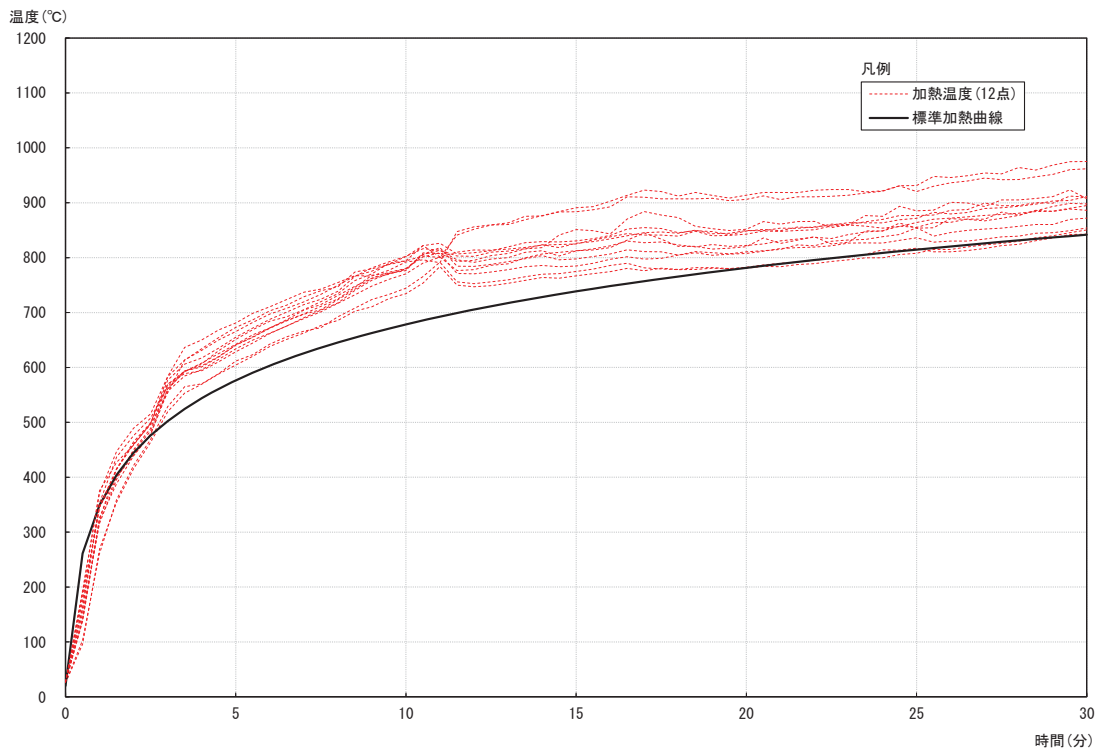


图 2.2-24 加熱溫度測定結果

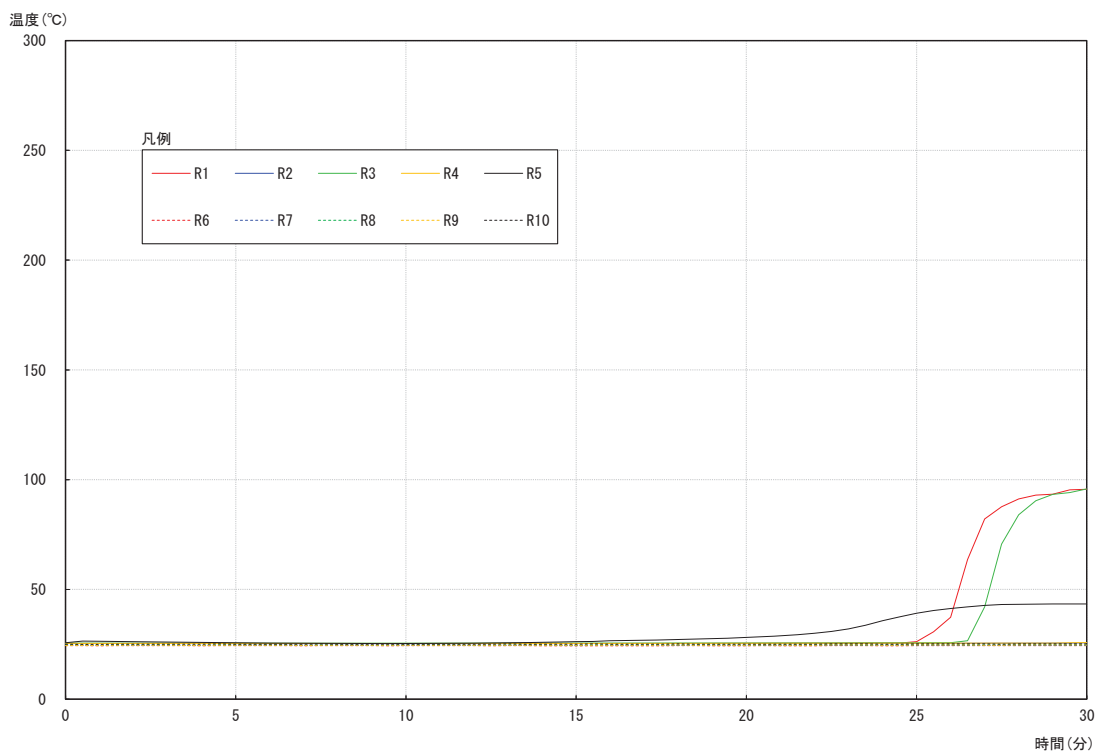


图 2.2-25 裏面溫度測定結果

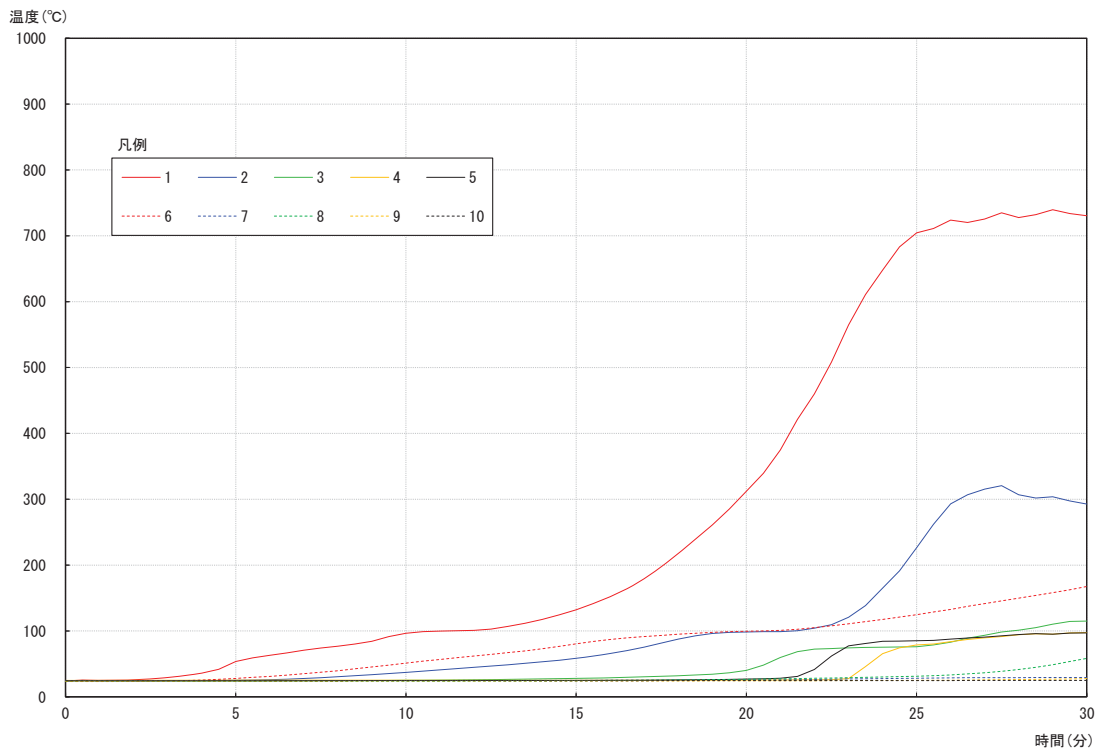


図 2.2-26 内部温度測定結果(A1 及び A2)

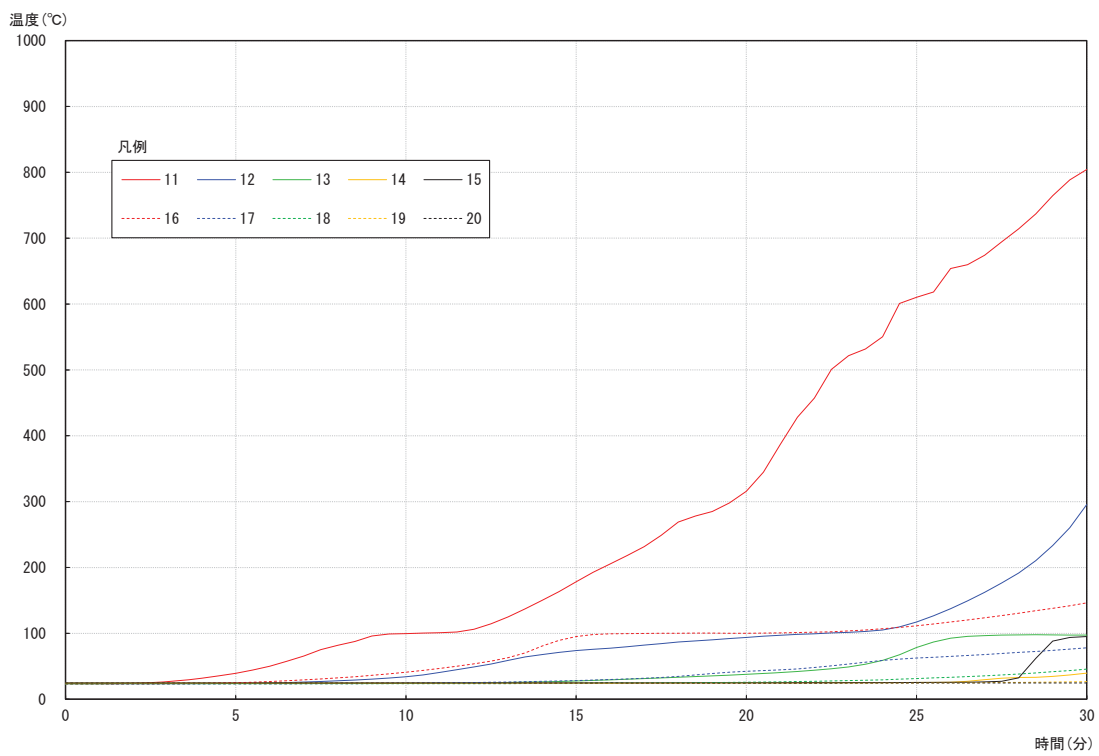


図 2.2-27 内部温度測定結果(B1 及び B2)

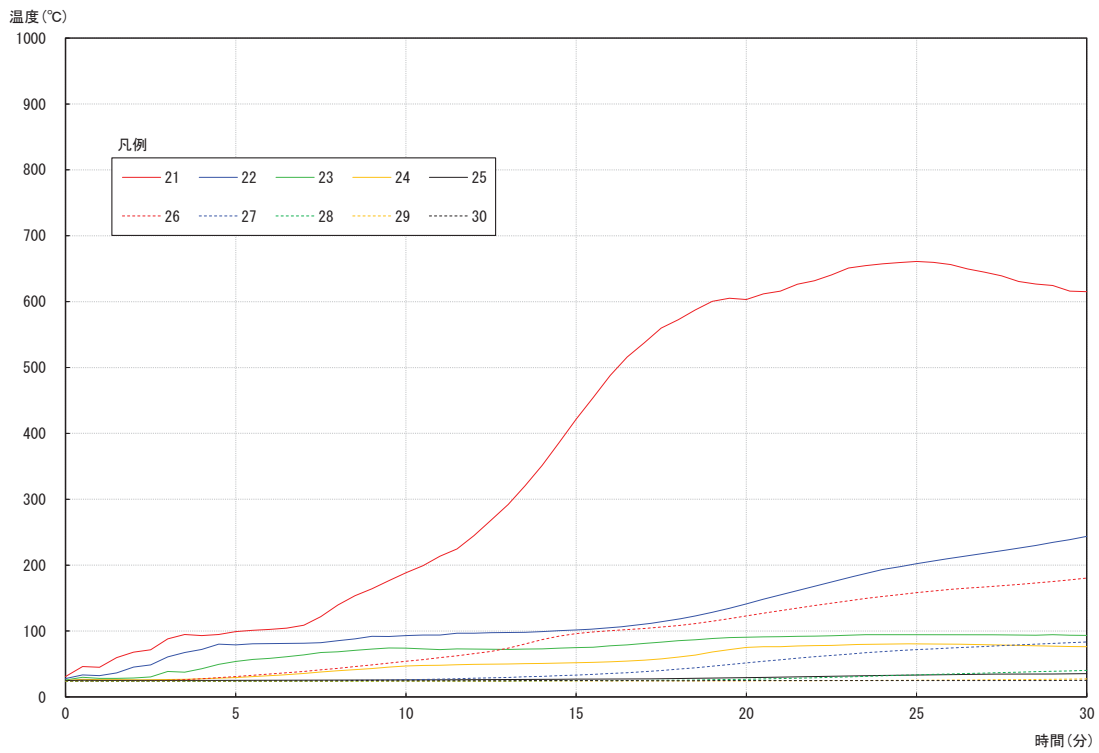


図 2.2-28 内部温度測定結果(C1 及び C2)

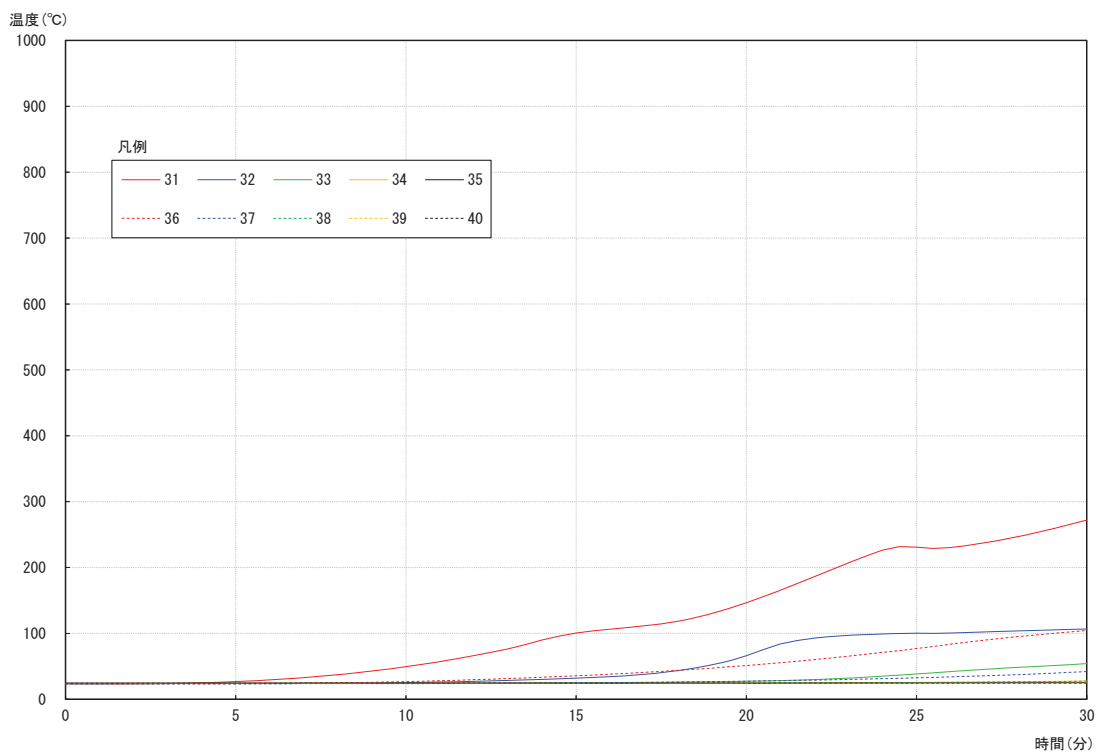


図 2.2-29 内部温度測定結果(D1 及び D2)

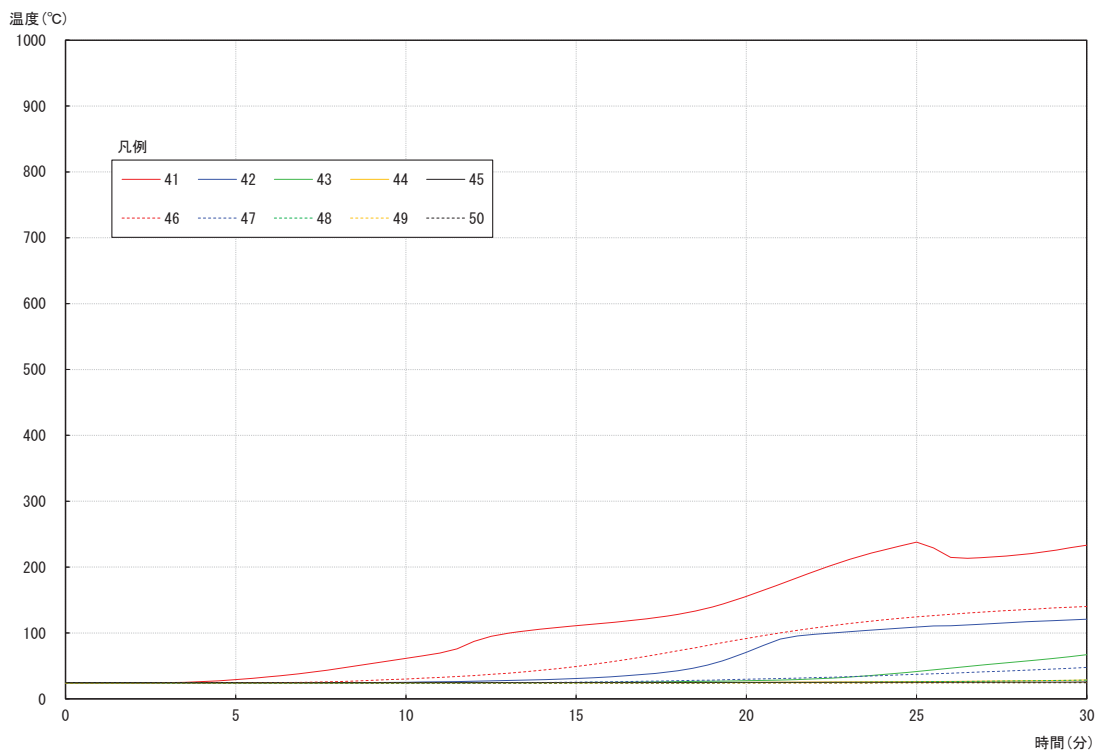


図 2.2-30 内部温度測定結果(E1 及び E2)

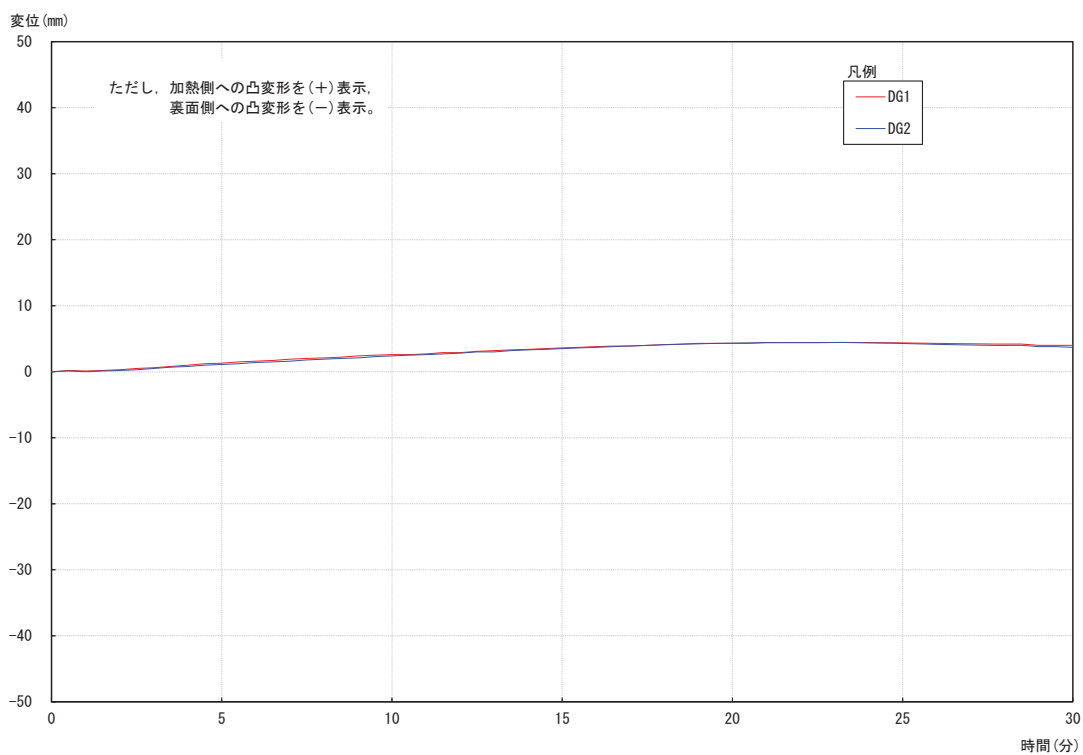


図 2.2-31 面外方向変位測定結果

表 2.2-12 裏面温度結果

種類		目地 A1	目地 B1	目地 C1
温度	初期温度(°C)	25 (R1 の初期)	26 (R3 の初期)	26 (R5 の初期)
	裏面温度最高値(°C)	96 (30 分時) (規定値 : 205)	96 (30 分時) (規定値 : 206)	43 (29 分時) (規定値 : 206)
非加熱側へ 10 秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし	なし	なし
非加熱側で 10 秒を超えて 継続する発炎の有無		なし	なし	なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		なし	なし	なし
種類		目地 A2	目地 B2	目地 C2
初期温度(°C)		24 (R6 の初期)	25 (R8 の初期)	25 (R10 の初期)
裏面温度最高値(°C)		24 (0 分時) (規定値 : 204)	25 (22.5 分時) (規定値 : 205)	25 (4.5 分時) (規定値 : 205)
非加熱側へ 10 秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし	なし	なし
非加熱側で 10 秒を超えて 継続する発炎の有無		なし	なし	なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		なし	なし	なし

表 2.2-13 試験中の観察結果

目地 A1		目地 B1		目地 C1	
時間	観察状況	時間	観察状況	時間	観察状況
17分30秒	目地から煙が生じた	2分30秒	目地から煙が生じた。	1分50秒	目地から煙が生じた。
		4分00秒	上記、煙がとまった。		
		24分00秒	再度、目地から煙が生じた。		
目地 A2		目地 B2		目地 C2	
時間	観察状況	時間	観察状況	時間	観察状況
				2分50秒	目地から煙が生じた。
				4分00秒	上記、煙がとまった。

表 2.2-14-1 各断面測定温度 200°C到達時間

加熱側からの厚さ (mm)	到達時間 (分)									
	目地部						一般部			
	A 1	A 2	B 1	B 2	C 1	C 2	D 1	D 2	E 1	E 2
15	18	—	16	—	11	—	23	—	22.5	—
30	25	—	28.5	—	25	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 2.2-14-2 各断面測定温度 260°C到達時間

加熱側からの厚さ (mm)	到達時間 (分)									
	目地部						一般部			
	A 1	A 2	B 1	B 2	C 1	C 2	D 1	D 2	E 1	E 2
15	19	—	18	—	12.5	—	29.5	—	—	—
30	25.5	—	29.5	—	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

試験前後の試験体の状況（試験体 No3）



写真 2.2-29 試験前の加熱側の状況



写真 2.2-30 試験前の裏面側の状況



写真 2.2-31 試験後の加熱側の状況



写真 2.2-32 終了時の裏面側の状況

試験前の試験体の状況（試験体 No3、目地の状況）

 <p>写真 2.2-33 試験前の加熱側の状況(目地 A2)</p>	 <p>写真 2.2-34 試験前の裏面側の状況(目地 A2)</p>
 <p>写真 2.2-35 試験前の加熱側の状況 (GW 留付仕様違い)</p>	
 <p>写真 2.2-36 試験前の加熱側の状況(目地 B2)</p>	 <p>写真 2.2-37 試験前の裏面側の状況(目地 B2)</p>
 <p>写真 2.2-38 試験前の加熱側の状況(目地 C2)</p>	 <p>写真 2.2-39 試験前の裏面側の状況(目地 C2)</p>

試験後の試験体の状況（試験体 No3、目地の状況）



写真 2.2-40 試験後の加熱側の状況(目地 A1)

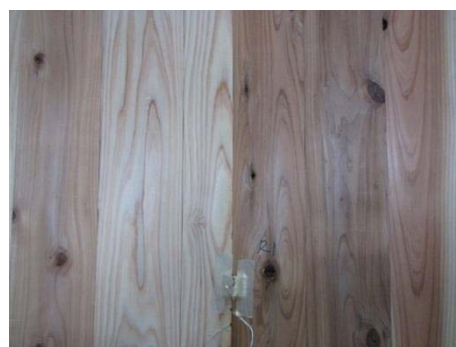


写真 2.2-41 試験後の裏面側の状況(目地 A1)



写真 2.2-42 試験後の加熱側の状況(目地 B1)

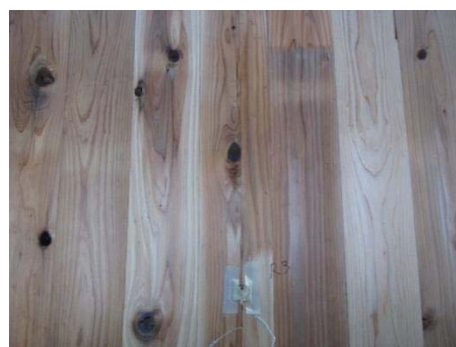


写真 2.2-43 試験後の裏面側の状況(目地 B1)



写真 2.2-44 試験後の加熱側の状況(目地 C1)

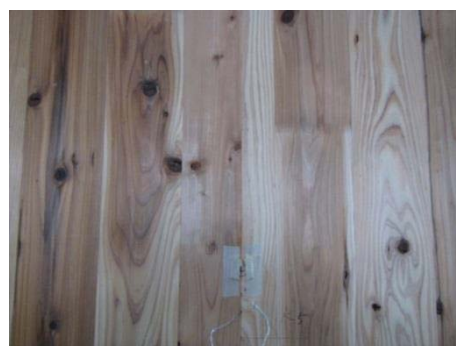


写真 2.2-45 試験後の裏面側の状況(目地 C1)

試験後の試験体の状況（試験体 No3、留付材による比較）



写真 2.2-46 試験後の加熱側の状況
グラスウールの留付材
・ねじ、 $\phi 3.8 \times 57$
・ツメ付き座金



写真 2.2-47 試験後の加熱側の状況
グラスウールの留付材
・スクリュー傘くぎ、 $\#13 \times 41$

試験終了後の試験体について、炭化確認を行った。

炭化確認は、試験方法図に示した断面Ⅰ及び断面Ⅱ（上下の内部温度測定位置の2断面）を水平に切り出し行った。写真を写真 2.2-48 及び写真 2.2-49 に示す。炭化図を図 2.2-32 に示す。また、CLT の残存断面の最小値を表 2.2-15 に示す。

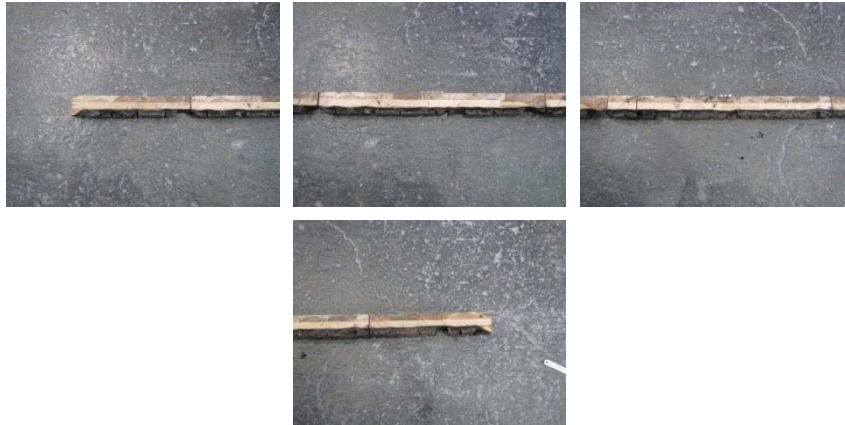


写真 2.2-48 試験後の断面状況（断面Ⅰ）

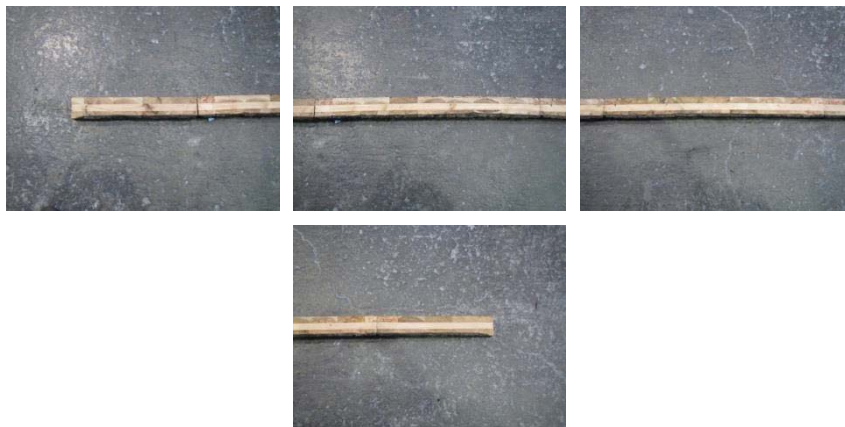


写真 2.2-49 試験後の断面状況（断面Ⅱ）

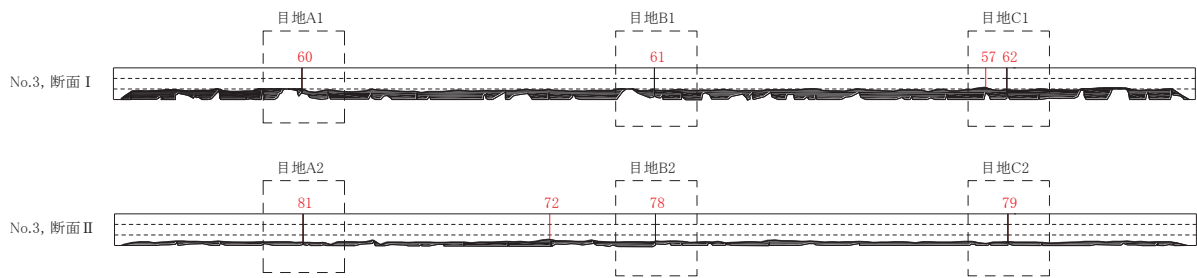


図 2.2-32 炭化図

表 2.2-15 残存断面の最小値

	一般部残存 最小厚さ (mm)	目地部残存最小厚さ (mm)		
		A	B	C
断面 I (加熱側被覆なし)	57	60	61	57
断面 II (加熱側グラスウール被覆)	72	81	78	79

2. 2. 2 試験体 No.4、5

①無機系断熱材仕様の比較

試験体 No.4 において、無機系断熱材は厚さ 25mm のグラスウールとロックウール、また厚さ 80mm のロックウール板（ラメラ断熱材）の 3 種類である。グラスウールのみ金属外装材張りとしており、他 2 仕様は断熱材現しである。一般部の残存断面の厚さについては、試験体 No.3 のグラスウール現し部もあわせて比較する。

厚さ 80mm のロックウール板においては試験体裏面温度の上昇が無く、内部温度に一般部、目地部とも 30K ほどの上昇が見られるのみ、目地部からの煙も僅かであった。CLT との接着面に損傷は見られず、CLT 断面に炭化は無く 100%残存している。断熱材の厚みによる断熱性能及び接着による密着性の効果と考えられる（表 2.2-7、写真 2.2-63）。

ロックウール、グラスウール、グラスウール（金属外装材張り）の残存断面の厚さはそれぞれ、77～81mm、72mm、73～78mm であり、ロックウールが若干有利、また金属外装材の効果は数ミリの範囲と思われる（表 2.2-20 及び 2.2-15）。

目地部ではクリア 2mm の影響によりロックウール、グラスウールともに加熱開始 3 分頃から煙が継続して生じ、20 分台に下部に赤熱を確認。断熱材が維持できていたために炉内貫通とはならず、発炎もなく遮熱性、遮炎性は保たれた（表 2.2-17、18 及び写真 2.2-50、51）。ただし、外装材にもよるが無機系断熱材であっても目地間にクリアのある突き付け目地を無処理とするのはリスクが高いと考えられる。

②有機系断熱材仕様の比較

試験体 No.5 において、有機系断熱材は厚さ 25mm のポリスチレンフォーム、フェノールフォーム、ウレタンフォームの 3 種類、いずれも金属外装材張りとしている。

上記の順に CLT 一般部の残存断面の厚さは、57～63mm、66～75mm、61～70mm である。また、目地からはいずれの仕様も煙が加熱 10 分台から発生、試験終了までほぼ継続し、20 分台で赤熱も確認できた（表 2.2-22、23 及び写真 2.2-74～76）。

目地の状況はポリスチレンフォーム、ウレタンフォームは同様な傾向を示し、目地部裏面温度はこの 2 仕様は規定値を大きく超えた。フェノールフォームは目地の赤熱確認が他 2 仕様より数分遅れ、目地部裏面温度は規定値内を維持した。

また、金属外装材は脱落すること無く維持していた。かろうじて目地が炉内貫通とならず裏面への発炎が見られなかったのは、この金属外装材の効果に他ならない。

以上より、有機系断熱材の場合は外装材の選定や目地の処理が必須であると考えられる。脱炉後の試験体解体ではフェノールフォームのみが炭化、残存しており、これが他 2 種類より若干有利に影響したと考えられる（写真 2.2-87～91）。

以上の結果により当断熱材仕様による性能の序列は、ポリスチレンフォーム<ウレタンフォーム<フェノールフォームと判断する。

③接合金物の影響

無機系断熱材、有機系断熱材とも断熱材の下に覆われており、熱橋としての影響は見られず。むしろその熱容量による炭化を抑制する効果が見られた（写真 2.2-67～70、93～98）。

1) 試験体 No.4

試験概要

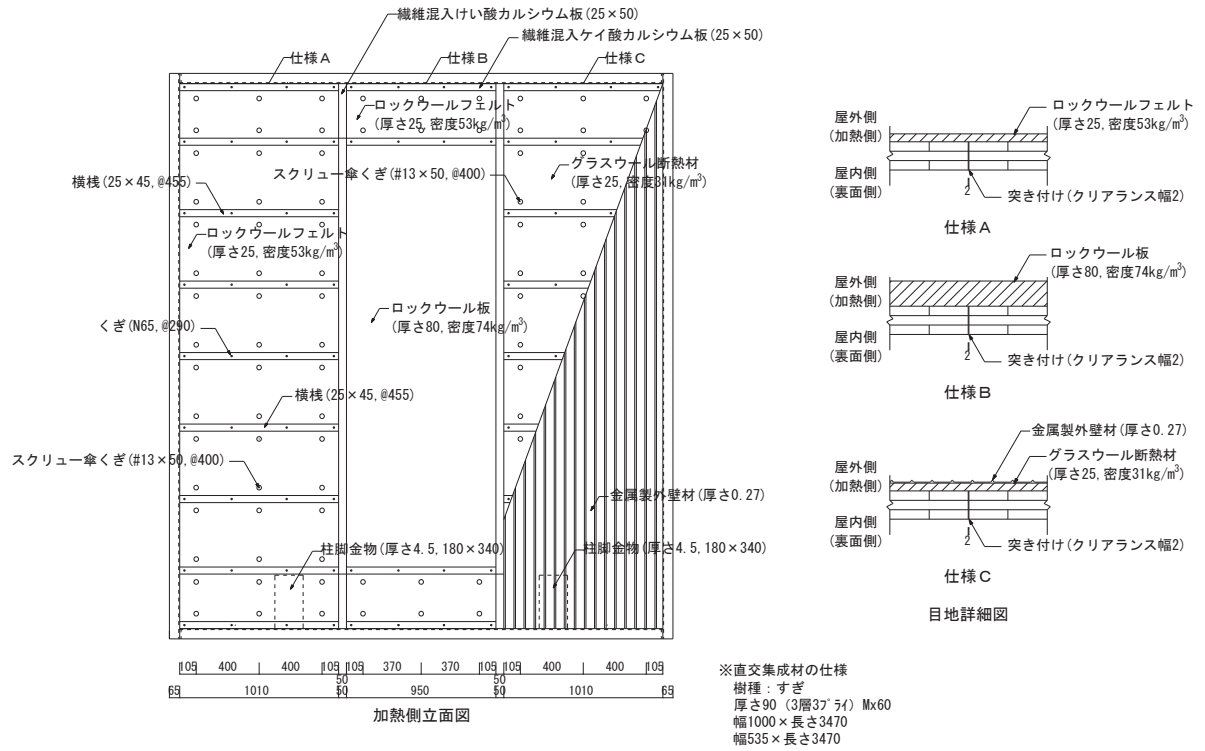


図 2.2-33 試験体図

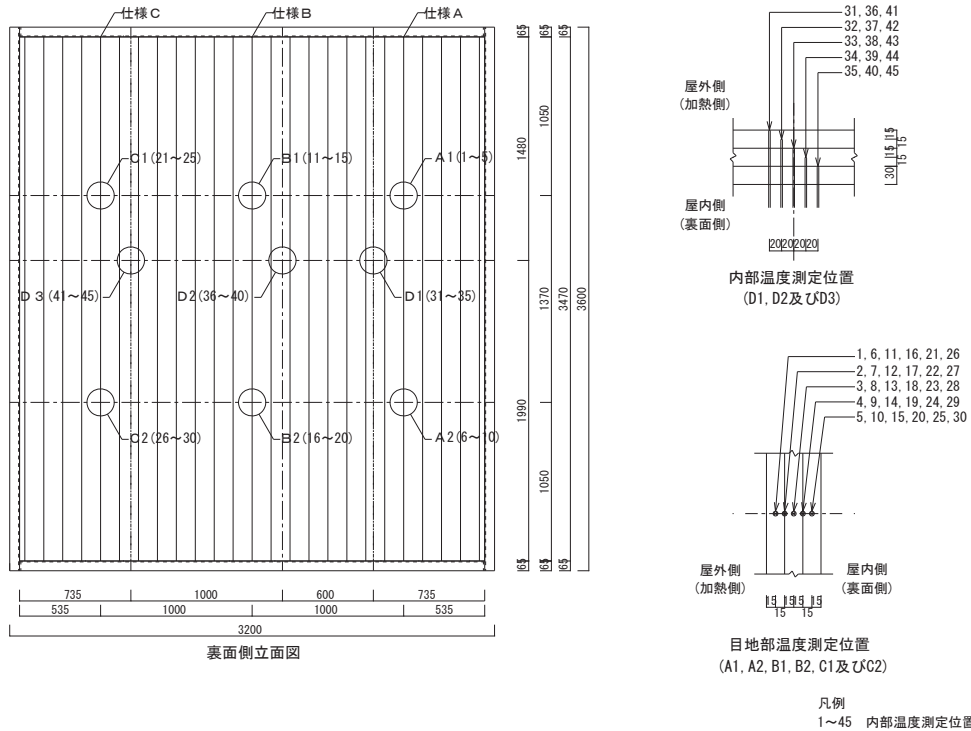


図 2.2-34 内部温度測定位置

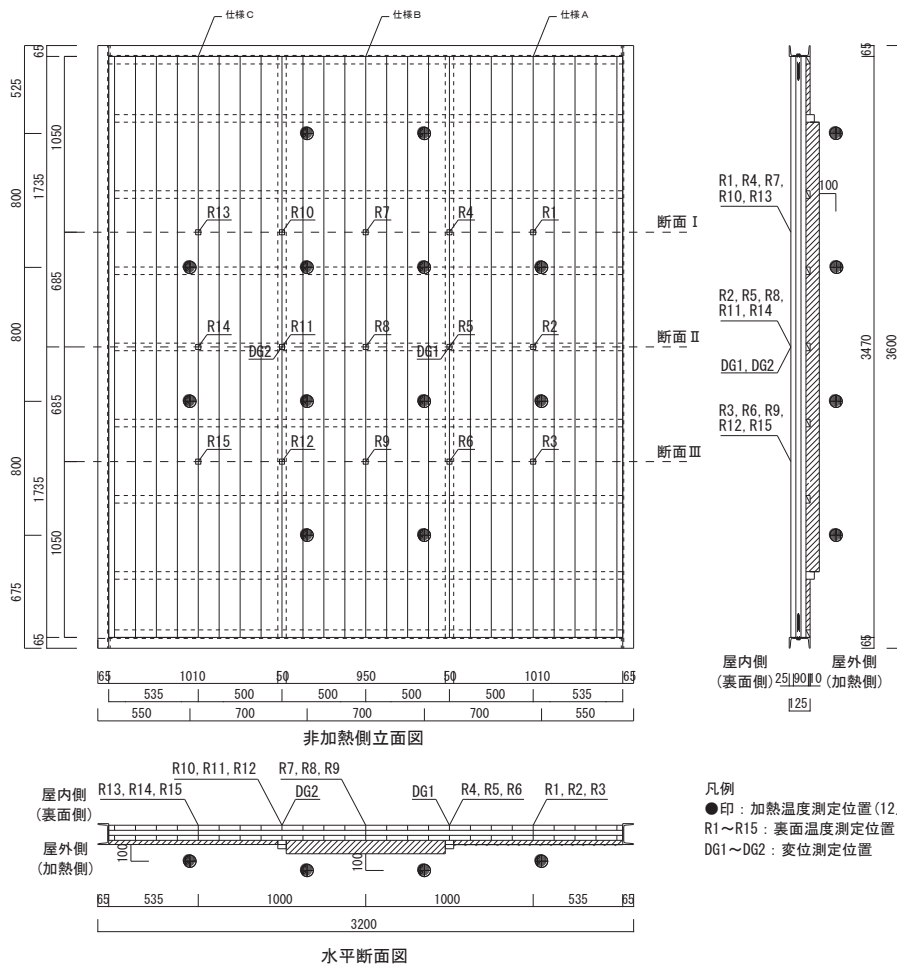


図 2.2-35 試験方法図（裏面温度及び変位測定位置）

表 2.2-16 試験体の密度及び含水率

構成材料	密度	含水率
直交集成板	0.35g/cm ³ (105℃、11日間乾燥)	11.1% (105℃、11日間乾燥)
横棧	0.30 g/cm ³ (105℃、11日間乾燥)	14.0% (105℃、11日間乾燥)
ロックウールフェルト	53kg/m ³ (105℃、6日間乾燥)	—
ロックウール板	74kg/m ³ (105℃、3日間乾燥)	—
グラスウール断熱材	31kg/m ³ (105℃、3日間乾燥)	—

試験結果(試験体 No.4)

加熱温度測定結果を図 2.2-36 に示す。

裏面温度測定結果を図 2.2-37 に示す。

内部温度測定結果を図 2.2-38～図 2.2-41 に示す。

面外方向変位測定結果を図 2.2-42 に示す。

試験結果を表 2.2-17 に示す。

試験中の観察結果を表 2.2-18 に示す。

各断面測定温度 260℃超過時間を表 2.2-19 に示す。

試験体の写真を写真 2.2-52～写真 2.2-70 に示す。

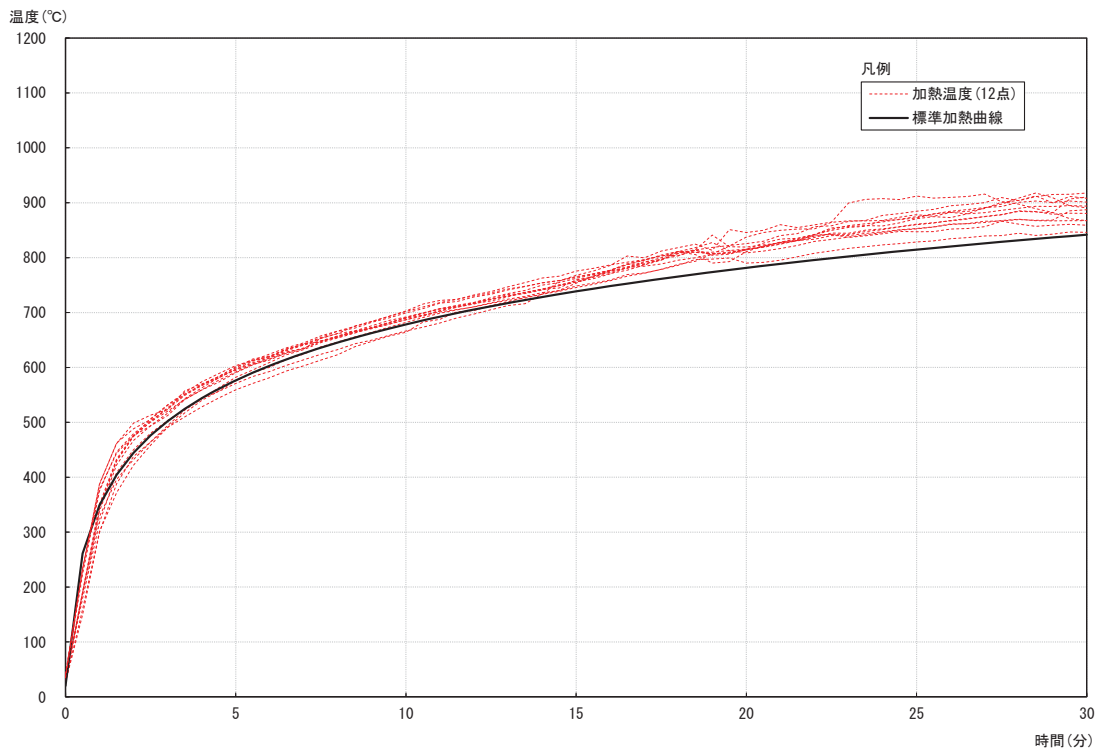


图 2.2-36 加熱溫度測定結果

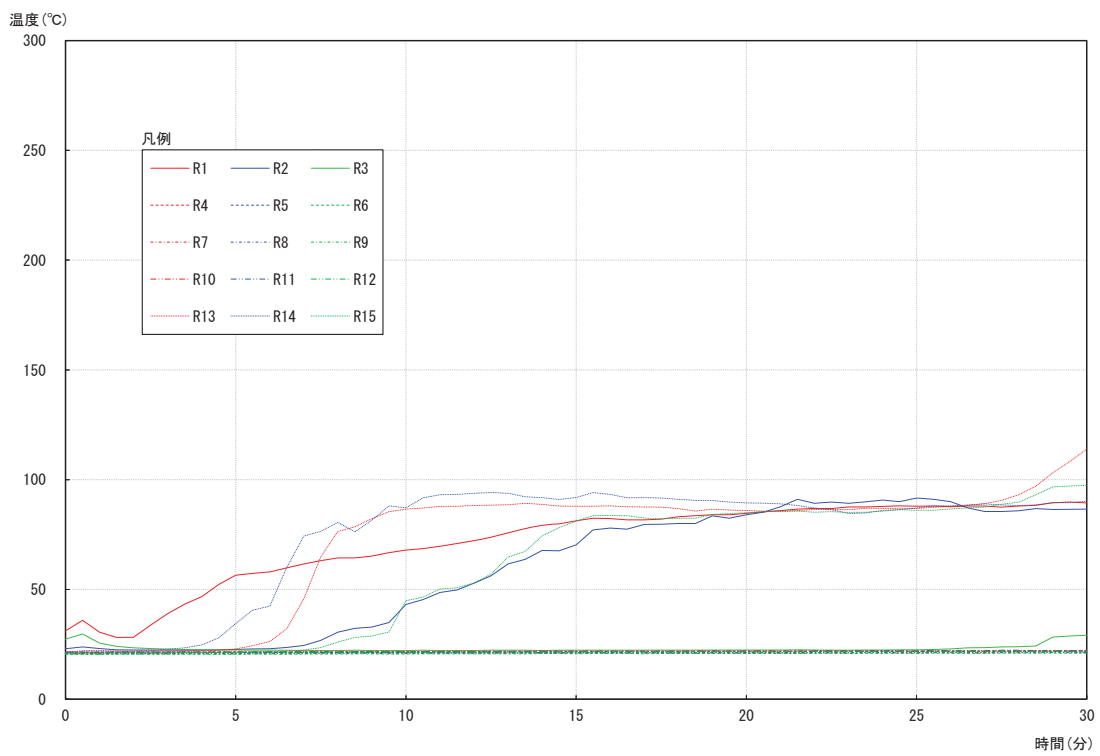


图 2.2-37 裏面溫度測定結果

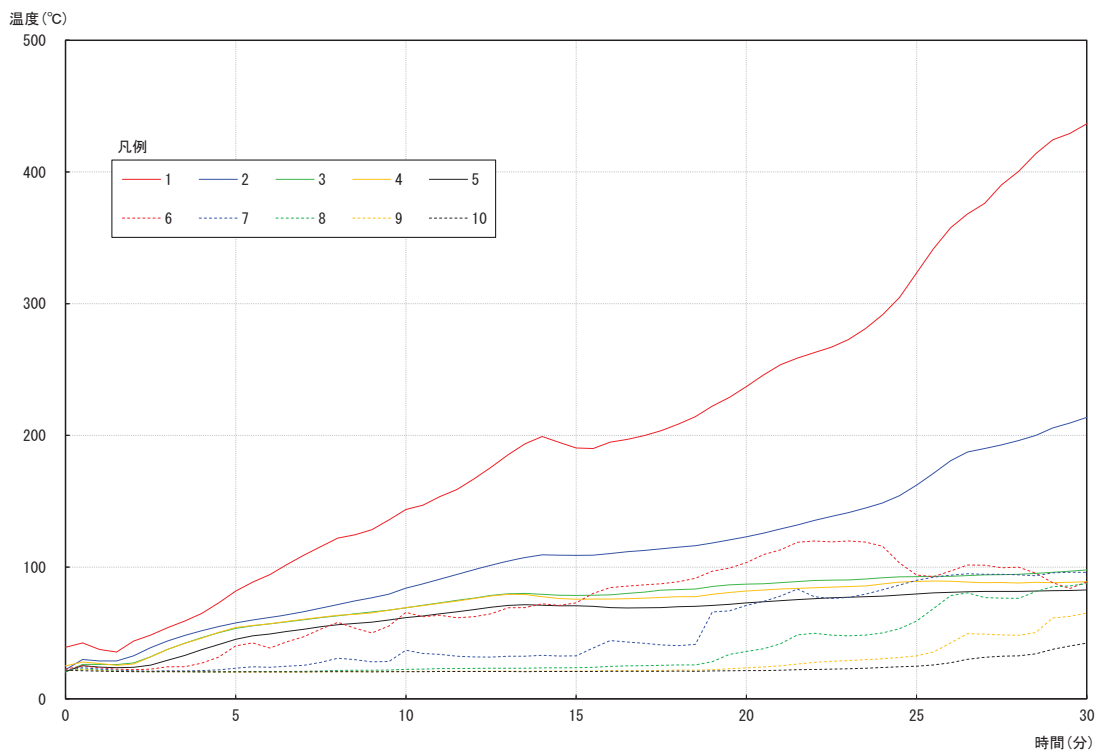


図 2.2-38 内部温度測定結果(A1 及び A2)

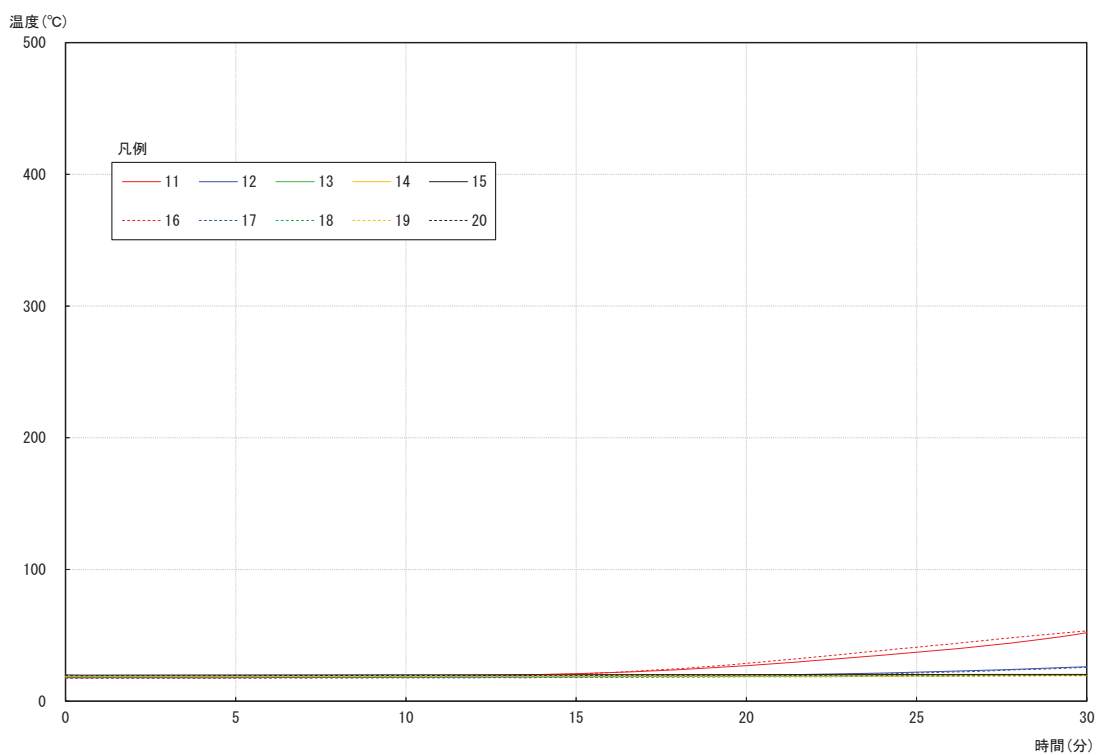


図 2.2-39 内部温度測定結果(B1 及び B2)

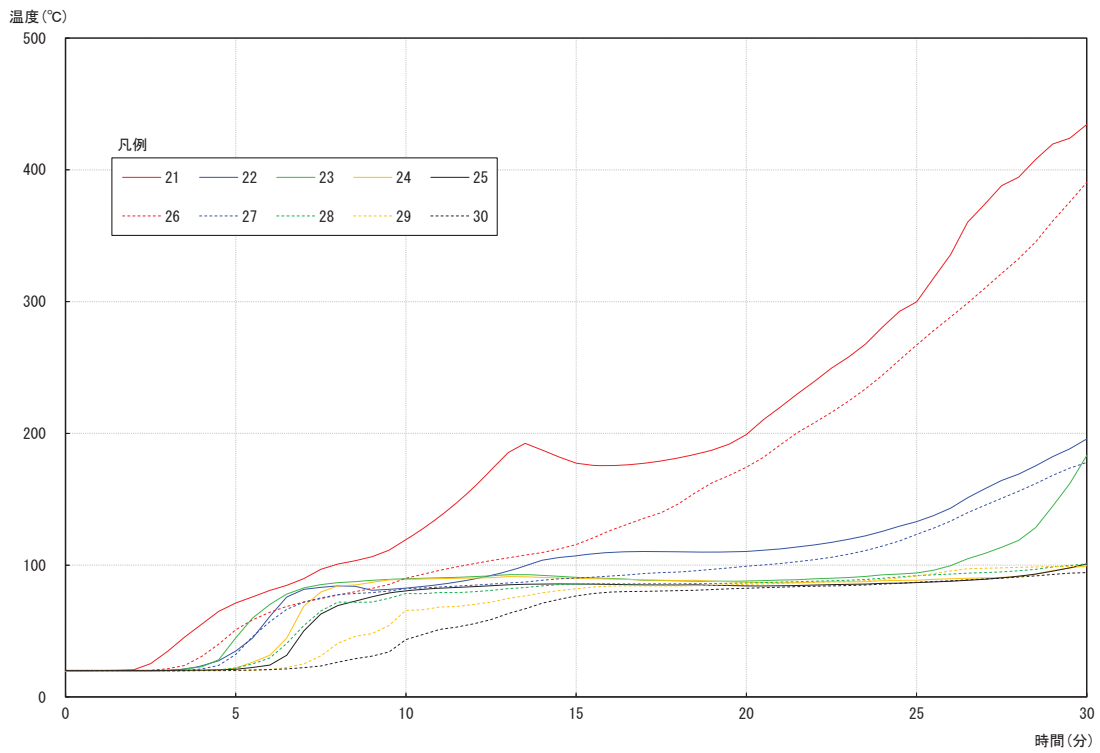


図 2.2-40 内部温度測定結果(C1 及び C2)

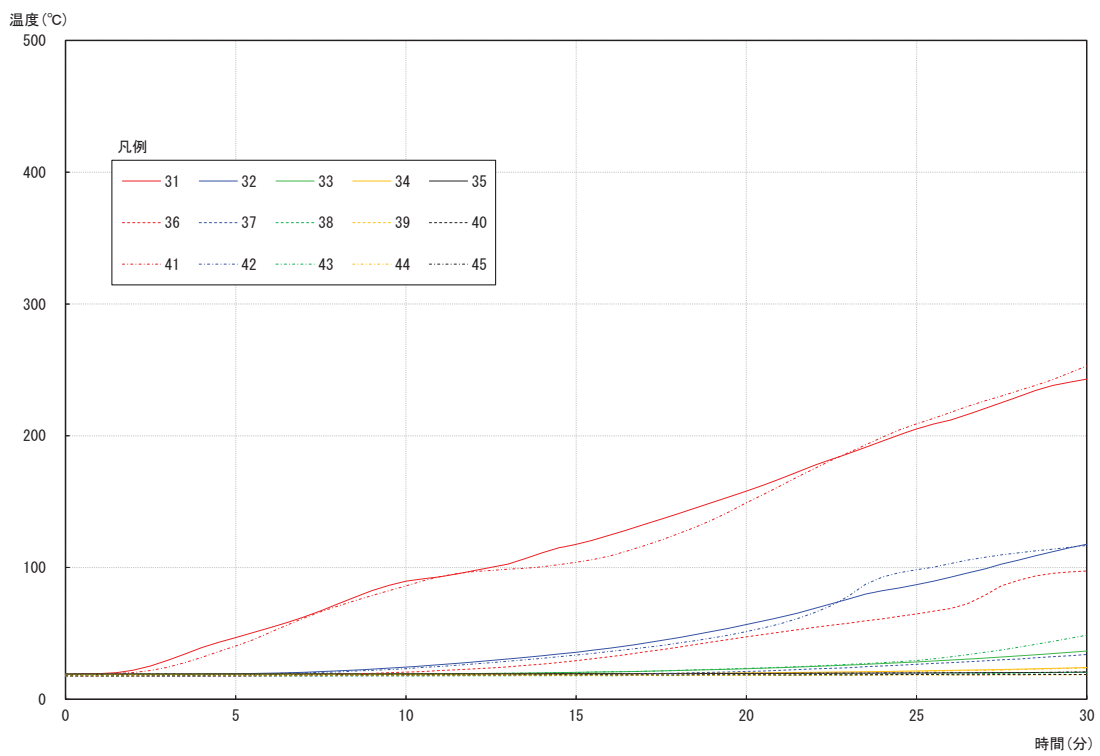


図 2.2-41 内部温度測定結果(D1~D3)

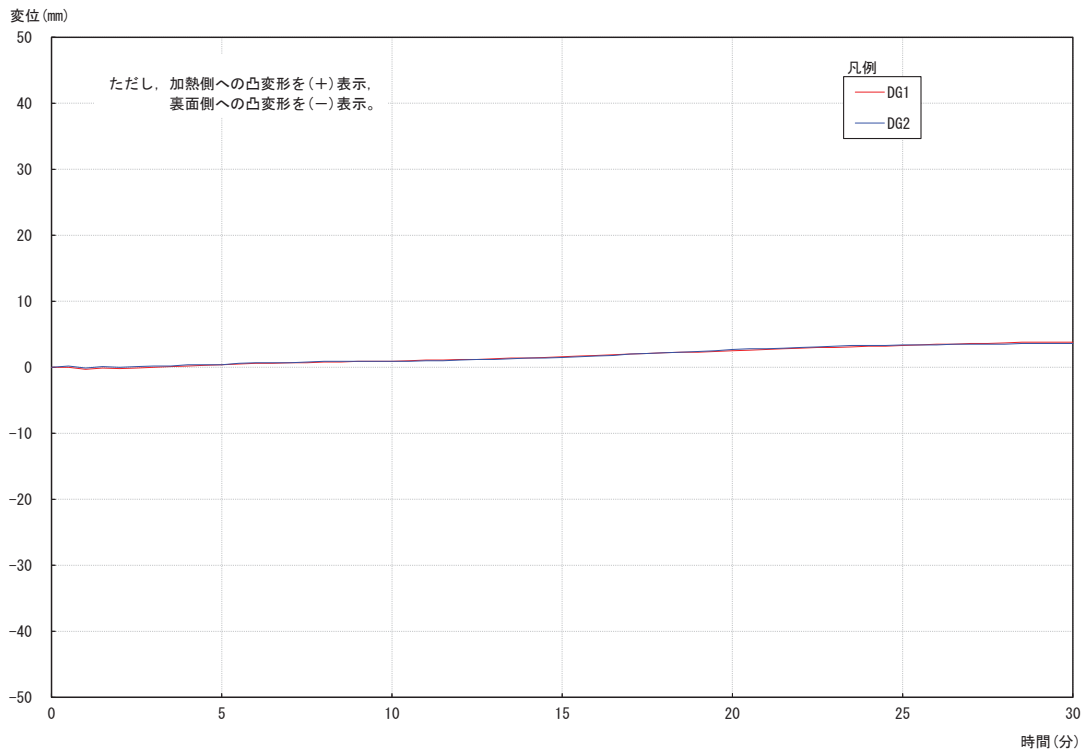


図 2.2-42 面外方向変位測定結果

表 2.2-17 試験結果

種類		仕様 A	仕様 B	仕様 C
温度	初期温度(°C)	27 (R1,R2,R3 の平均)	21 (R7,R8,R9 の平均)	21 (R13,R14,R15 の平均)
	裏面温度最高値(°C)	92 (25 分時) (規定値 : 207)	21 (27.5 分時) (規定値 : 201)	114 (30 分時) (規定値 : 201)
	裏面温度平均最高値(°C)	68 (29.5 分時) (規定値 : 167)	21 (29 分時) (規定値 : 161)	101 (30 分時) (規定値 : 161)
非加熱側へ 10 秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし	なし	なし
非加熱側で 10 秒を超えて 継続する発炎の有無		なし	なし	なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		なし	なし	なし

表 2.2-18 試験中の観察結果

仕様 A		仕様 B		仕様 C	
時間	観察状況	時間	観察状況	時間	観察状況
2分30秒	目地から煙が生じた	3分45秒	目地から煙が生じた	3分00秒	目地から煙が生じた。
5分00秒	加熱側、ロックウールフェルトが変色。	5分00秒	加熱側、ロックウールが変色。	5分00秒	加熱側鋼板の変形。
11分00秒	加熱側、下部で発炎			11分00秒	加熱側、下部で発炎。
18分00秒	加熱側、全体から発炎。			15分30秒	加熱側、全体から発炎。
23分00秒	目地、下部の隙間から加熱側の赤熱を確認。(写真 2.2-50 参照)			25分00秒	目地、下部の隙間から加熱側の赤熱を確認。(写真 2.2-51 参照)

表 2.2-19-1 各断面測定温度 200°C到達時間

加熱側 からの 厚さ (mm)	到達時間 (分)								
	仕様A			仕様B			仕様C		
	A 1 (目地部)	A 2 (目地部)	D 1 (一般部)	B 1 (目地部)	B 2 (目地部)	D 2 (一般部)	C 1 (目地部)	C 2 (目地部)	D 3 (一般部)
0	/	/	24.5	/	/	—	/	/	24.5
15	17.5	—	—	—	—	—	20.5	21.5	—
30	28.5	—	—	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	/	—	—	/	—	—	/

表 2.2-19-2 各断面測定温度 260°C到達時間

加熱側 からの 厚さ (mm)	到達時間 (分)								
	仕様A			仕様B			仕様C		
	A 1 (目地部)	A 2 (目地部)	D 1 (一般部)	B 1 (目地部)	B 2 (目地部)	D 2 (一般部)	C 1 (目地部)	C 2 (目地部)	D 3 (一般部)
0	/	/	29.5	/	/	—	/	/	—
15	22	—	—	—	—	—	23.5	25	—
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	/	—	—	/	—	—	/



写真 2.2-50 目地 A の試験中の状況（目地の隙間から加熱側の赤熱が見える状況）

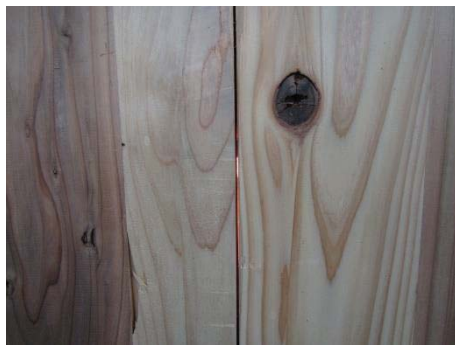


写真 2.2-51 目地 C の試験中の状況（目地の隙間から加熱側の赤熱が見える状況）

試験前後の試験体の状況（試験体 No4）



写真 2.2-52 試験前の加熱側の状況

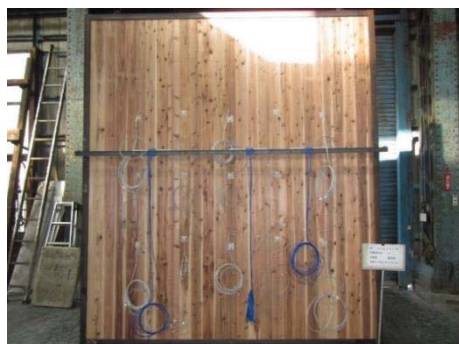


写真 2.2-53 試験前の裏面側の状況



写真 2.2-54 試験後の加熱側の状況



写真 2.2-55 終了時の裏面側の状況

試験前の試験体の状況(試験体 No4、目地の状況)



写真 2.2-56 加熱側の状況(仕様 A)

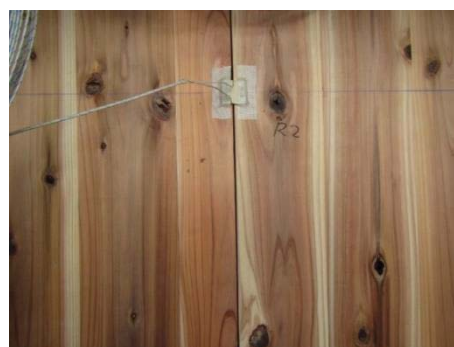


写真 2.2-57 裏面側の状況(仕様 A)



写真 2.2-58 加熱側の状況(仕様 B)

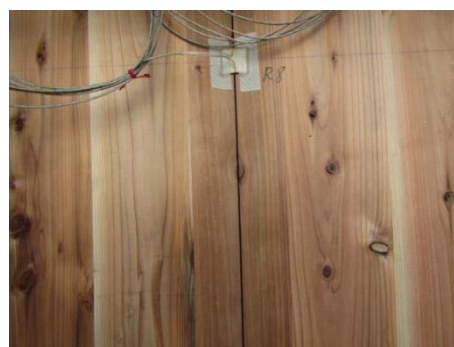


写真 2.2-59 裏面側の状況(仕様 B)



写真 2.2-60 加熱側の状況(仕様 C)



写真 2.2-61 裏面側の状況(仕様 C)

試験後の試験体の状況（試験体 No4、目地の状況）



写真 2.2-62 加熱側の状況
(仕様 A ,断熱材除去後)



写真 2.2-63 裏面側の状況(仕様 A)



写真 2.2-64 加熱側の状況
(仕様 B 、断熱材除去後)



写真 2.2-65 裏面側の状況(仕様 B)



写真 2.2-66 加熱側の状況
(仕様 C 、外装材及び断熱材除去後)



写真 2.2-67 裏面側の状況(仕様 C)

試験後の試験体の状況（試験体 No4、金物部の状況）



写真 2.2-68 仕様 A



写真 2.2-69 仕様 A（金物を取外した後）



写真 2.2-70 仕様 C



写真 2.2-71 仕様 C（金物を取外した後）

試験終了後の試験体について、炭化確認を行った。

炭化確認は、試験方法図に示した断面Ⅰ、断面Ⅱ及び断面Ⅲの位置（内部温度測定位置）の3断面を水平に切り出し行った。写真を写真2.2-71～写真2.2-73に示す。炭化図を図2.2-43に示す。また、CLTの残存断面の最小値を表2.2-20に示す。

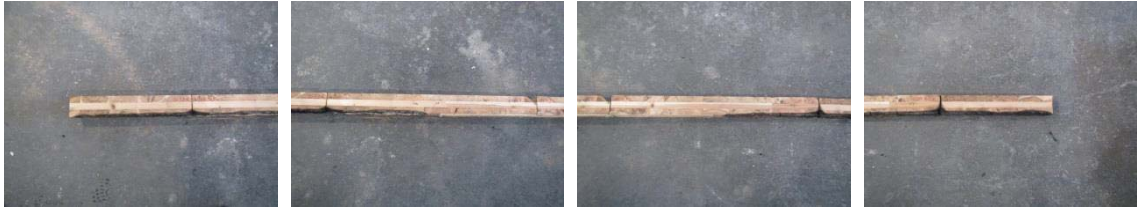


写真 2.2-72 試験後の断面状況（断面Ⅰ）



写真 2.2-73 試験後の断面状況（断面Ⅱ）

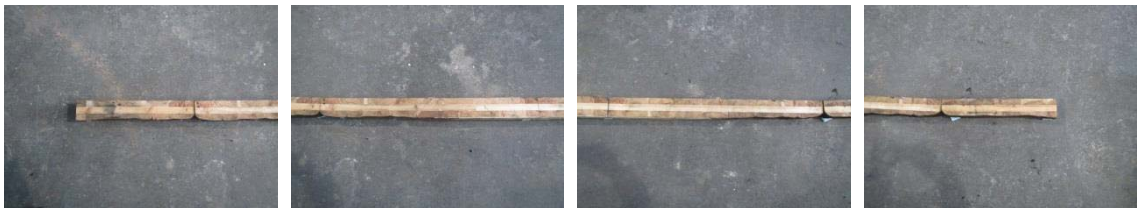


写真 2.2-74 試験後の断面状況（断面Ⅲ）

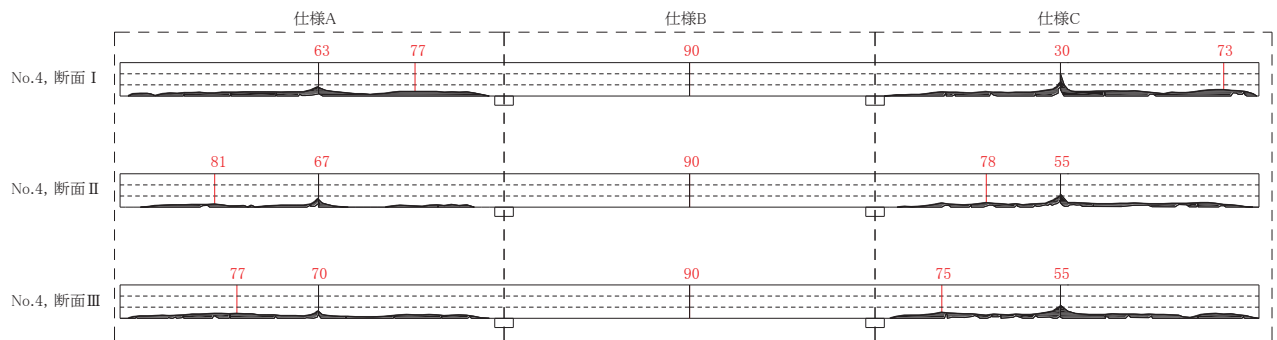


図 2.2-43 炭化図

表 2.2-20 残存断面の最小値

	仕様 A 残存断面最小厚さ (mm)		仕様 B 残存断面最小厚さ (mm)		仕様 C 残存断面最小厚さ (mm)	
	一般部	目地部	一般部	目地部	一般部	目地部
断面 I	77	63	炭化なし	炭化なし	73	30
断面 II	81	67	炭化なし	炭化なし	78	55
断面 III	77	70	炭化なし	炭化なし	75	55

2) 試験体 No.5

試験概要

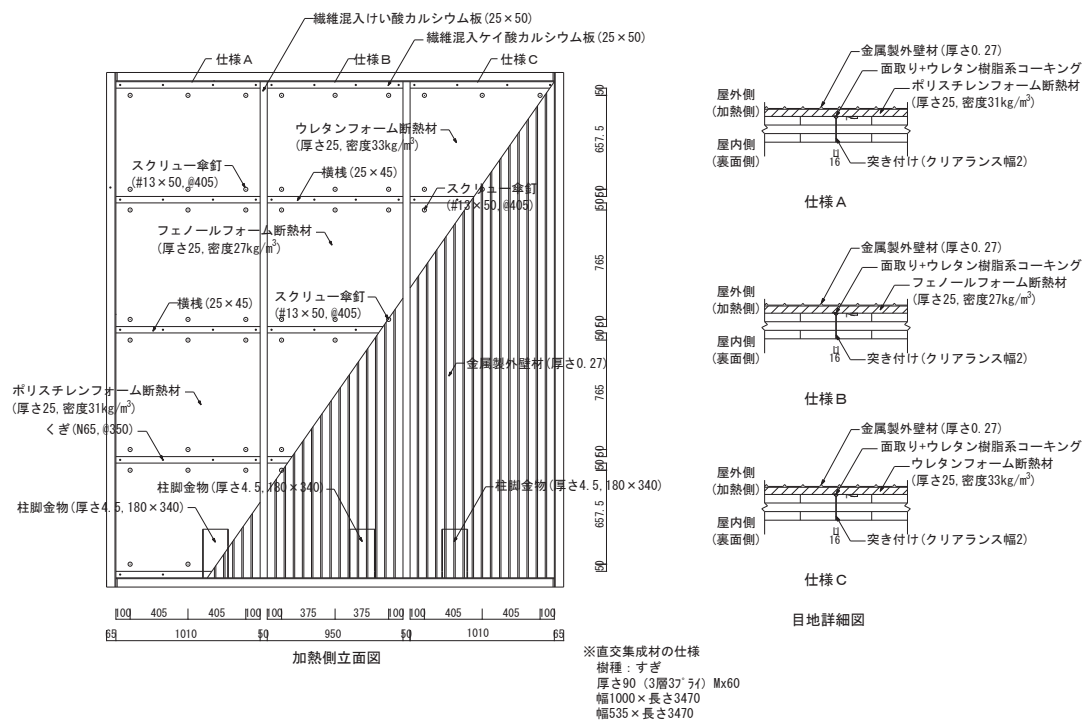


図 2.2-44 試験体図

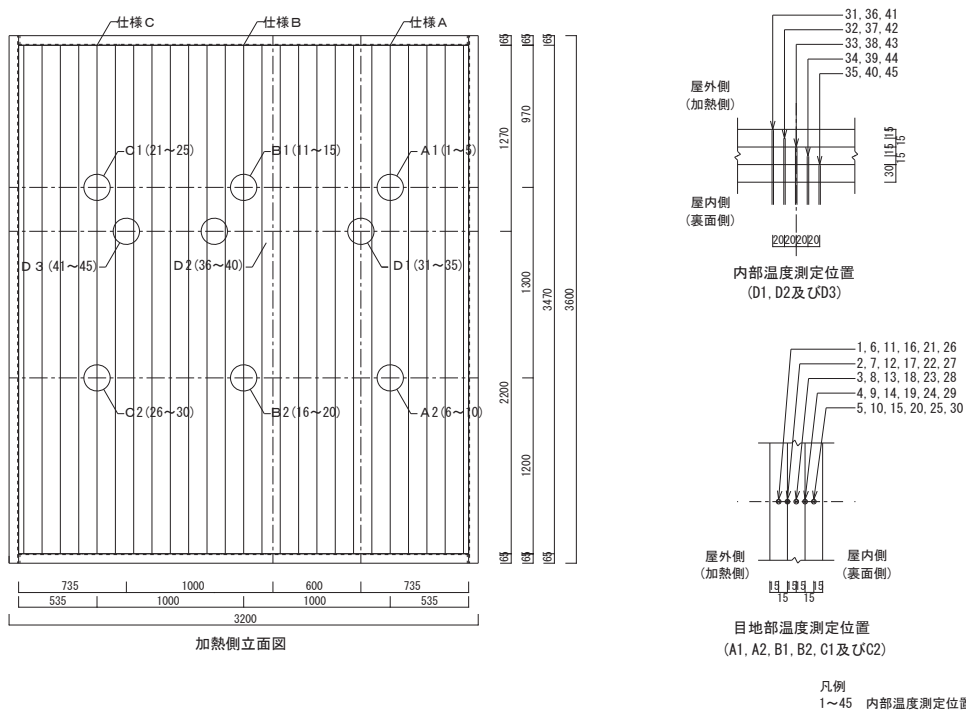


図 2.2-45 内部温度測定位置

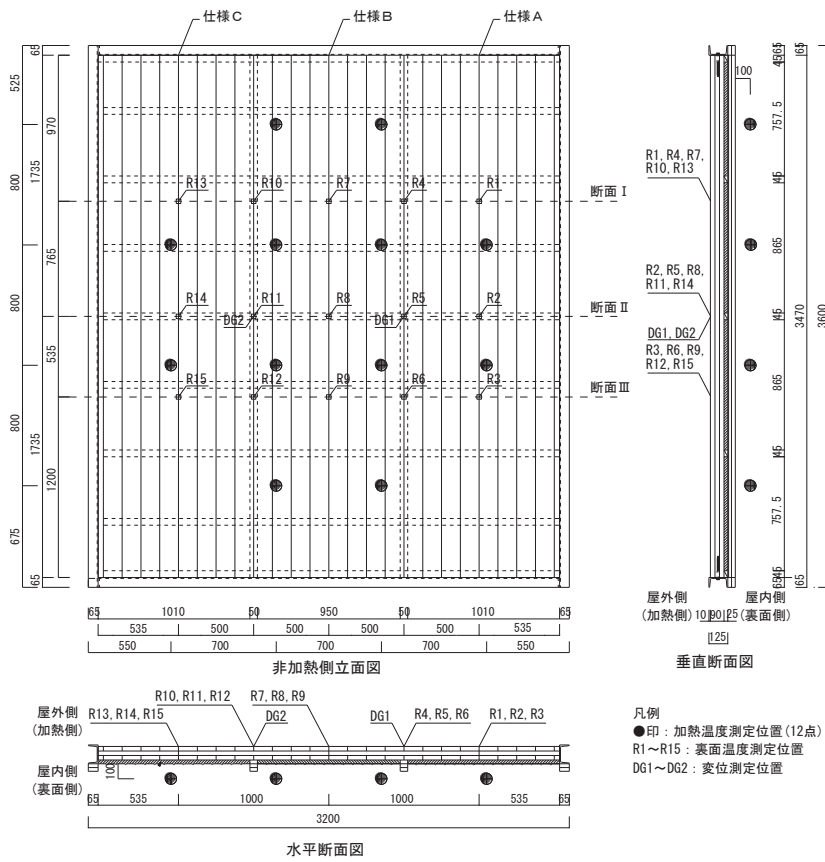


図 2.2-46 試験方法図（裏面温度及び変位測定位置）

表 2.2-21 試験体の密度及び含水率

構成材料	密度	含水率
直交集成板	0.35g/cm ³ (105℃、11日間乾燥)	10.1% (105℃、11日間乾燥)
横棧	0.30 g/cm ³ (105℃、11日間乾燥)	14.0% (105℃、11日間乾燥)
ポリスチレンフォーム	31kg/m ³ (40℃、6日間乾燥)	—
フェノールフォーム	27kg/m ³ (40℃、3日間乾燥)	—
ウレタンフォーム	33kg/m ³ (40℃、3日間乾燥)	—

試験結果(試験体 No.5)

加熱温度測定結果を図 2.2-47 に示す。

裏面温度測定結果を図 2.2-48 に示す。

内部温度測定結果を図 2.2-49～図 2.2-52 に示す。

面外方向変位測定結果を図 2.2-53 に示す。

試験結果を表 2.2-22 に示す。

試験中の観察結果を表 2.2-23 に示す。

各断面測定温度 260℃超過時間を表 2.2-24 に示す。

試験体の写真を写真 2.2-77～写真 2.2-98 に示す。

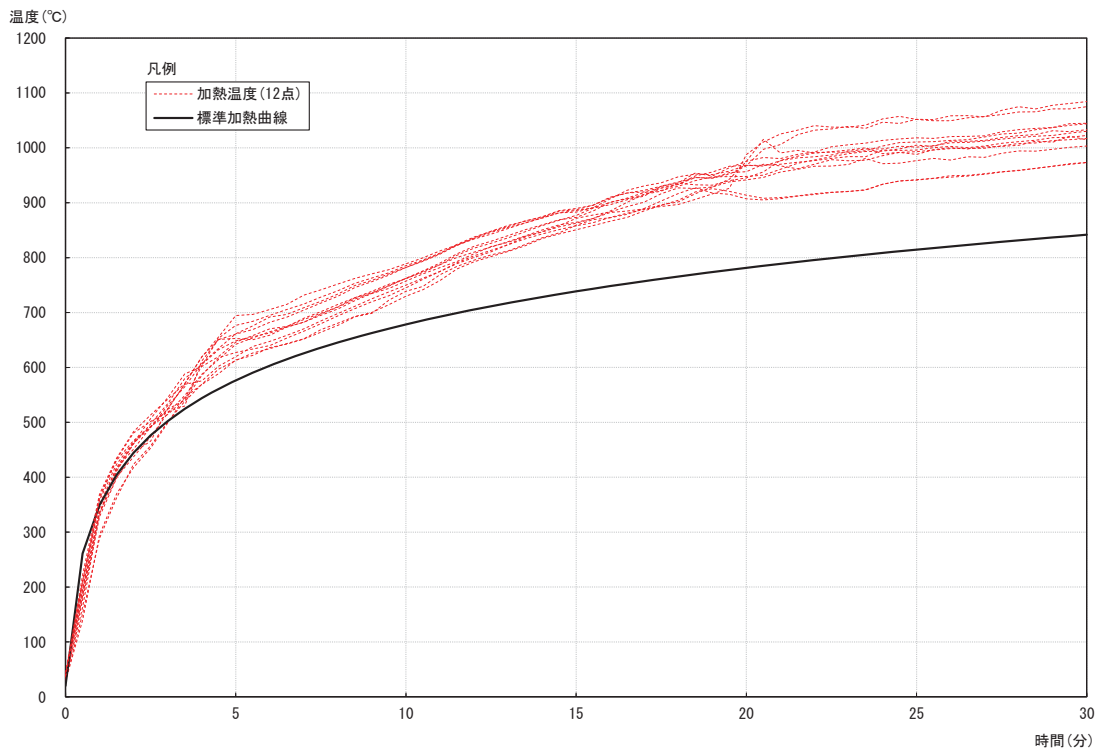


图 2.2-47 加熱溫度測定結果

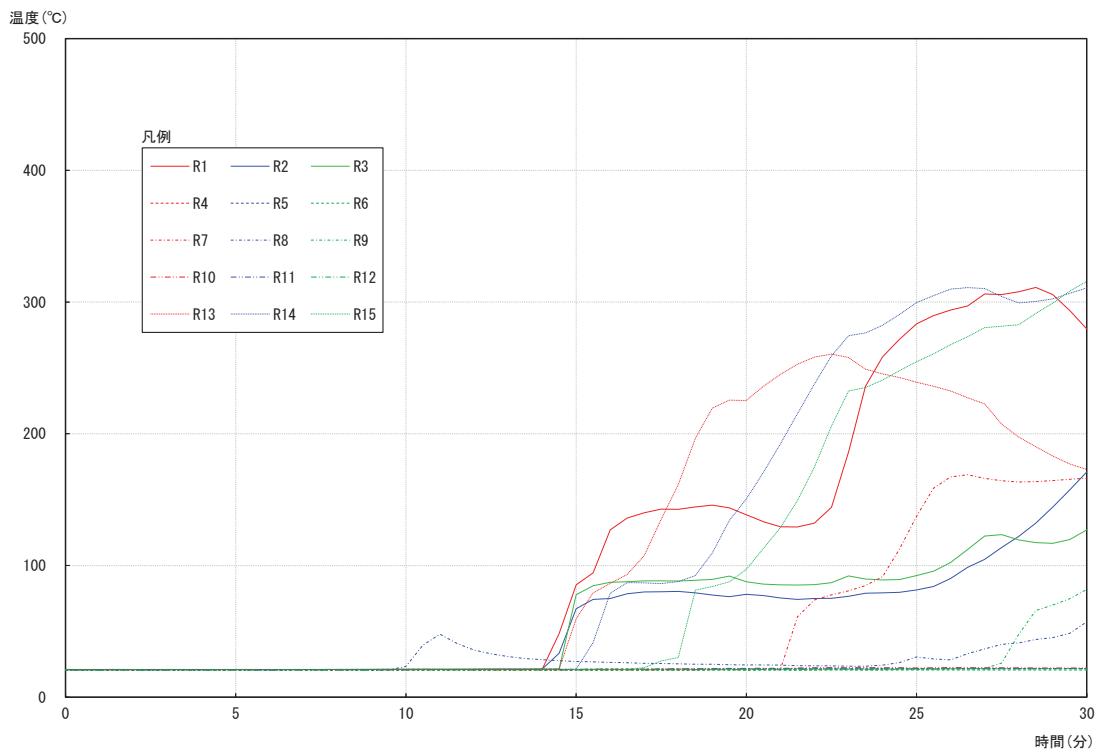


图 2.2-48 裏面溫度測定結果

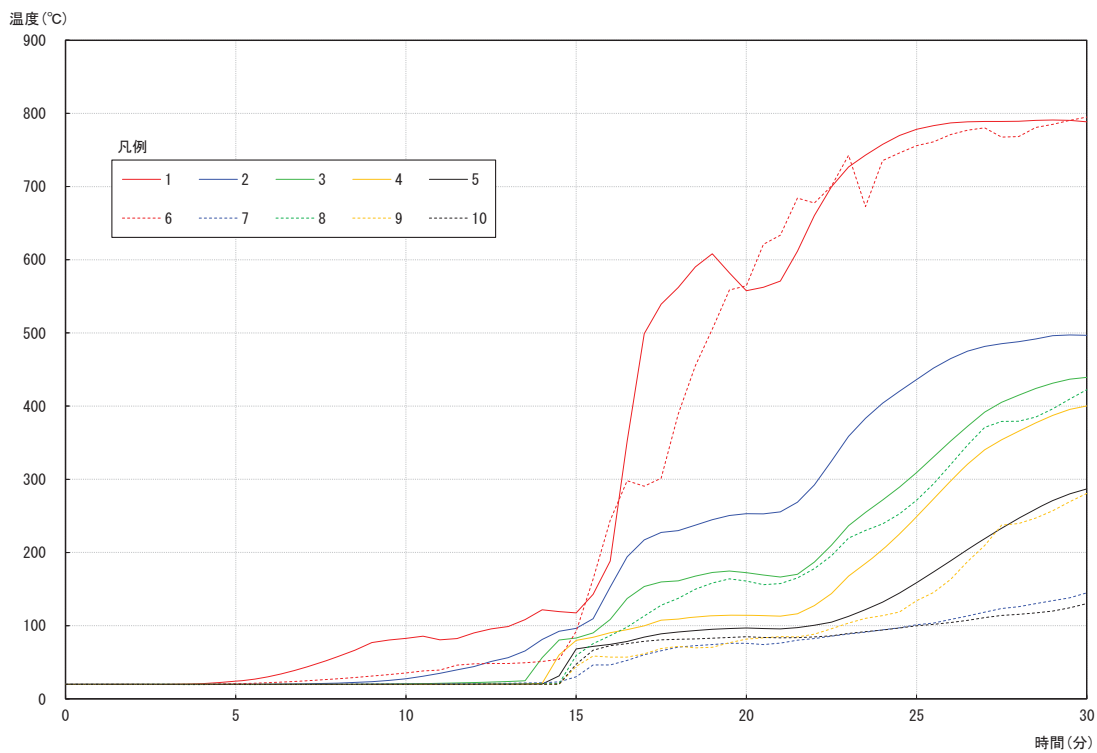


図 2.2-49 内部温度測定結果(A1 及び A2)

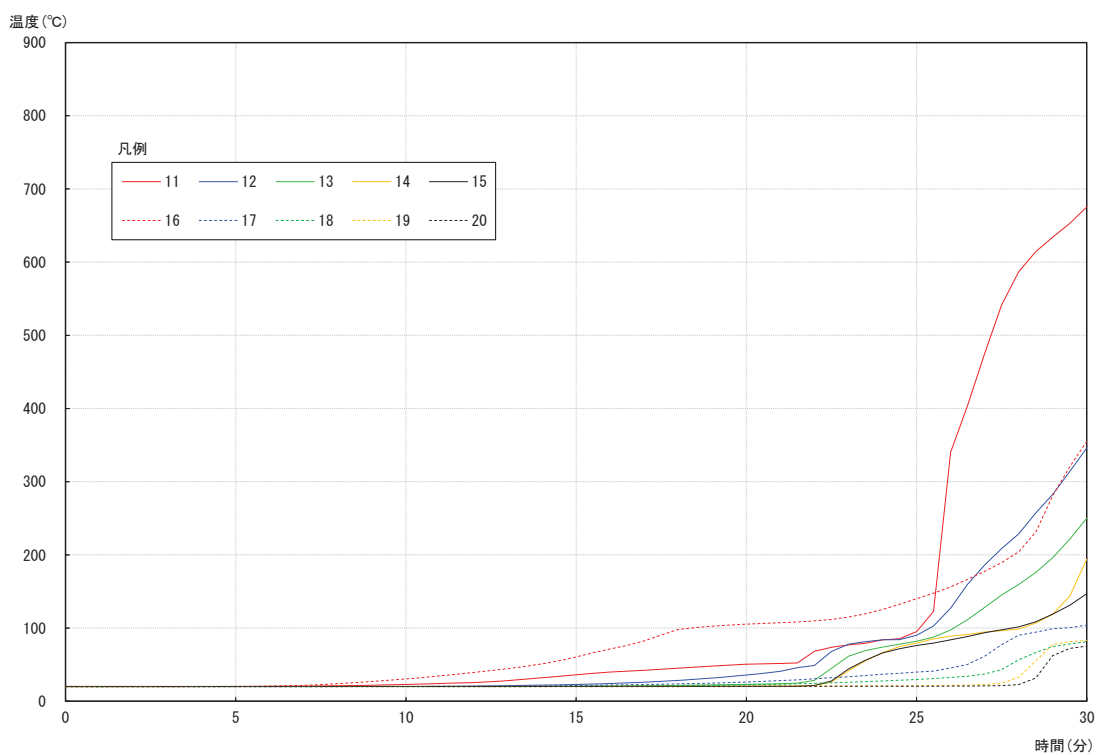


図 2.2-50 内部温度測定結果(B1 及び B2)

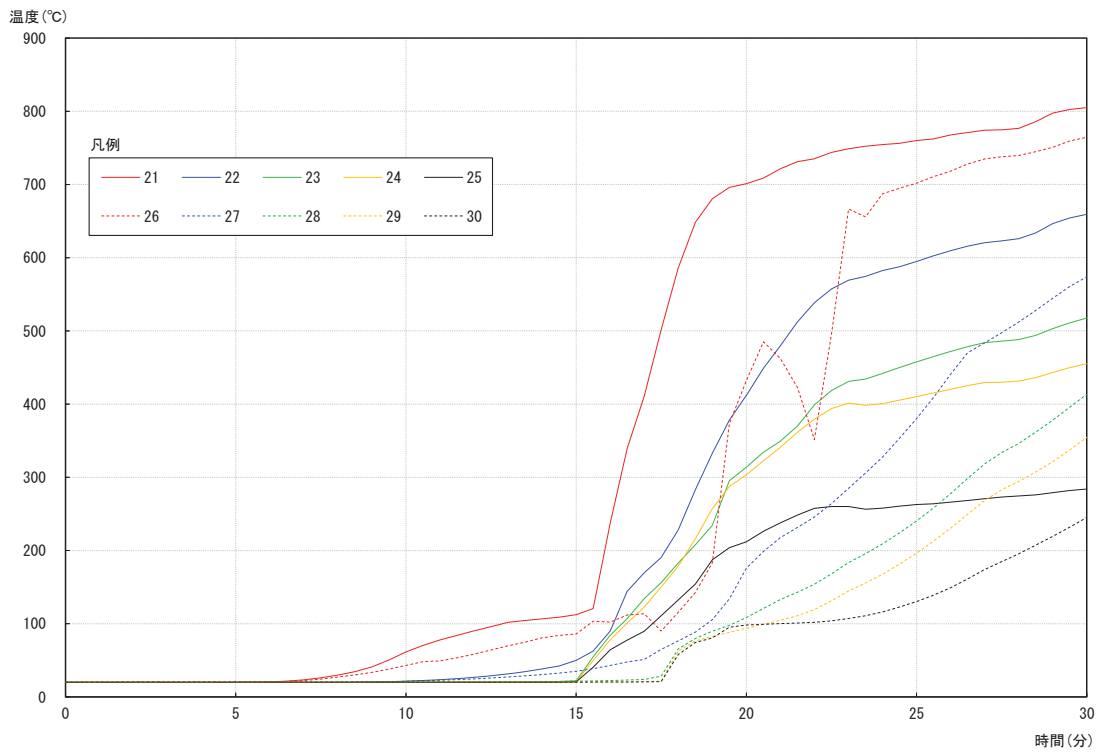


図 2.2-51 内部温度測定結果(C1 及び C2)

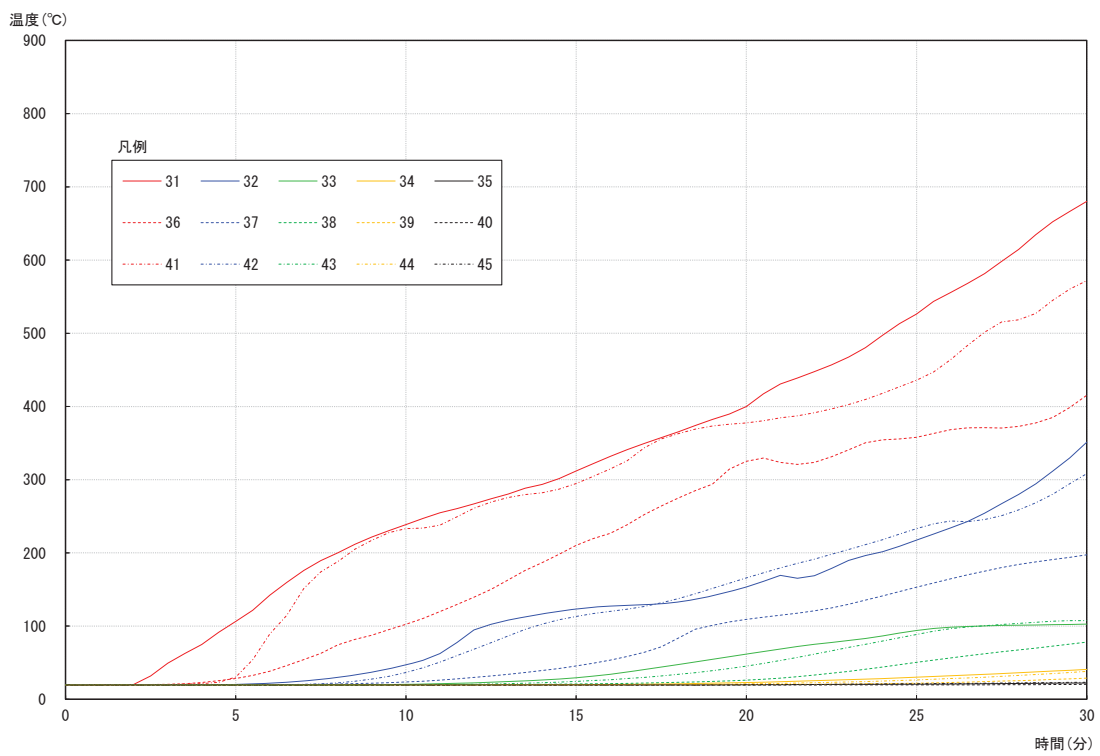


図 2.2-52 内部温度測定結果(D1~D3)

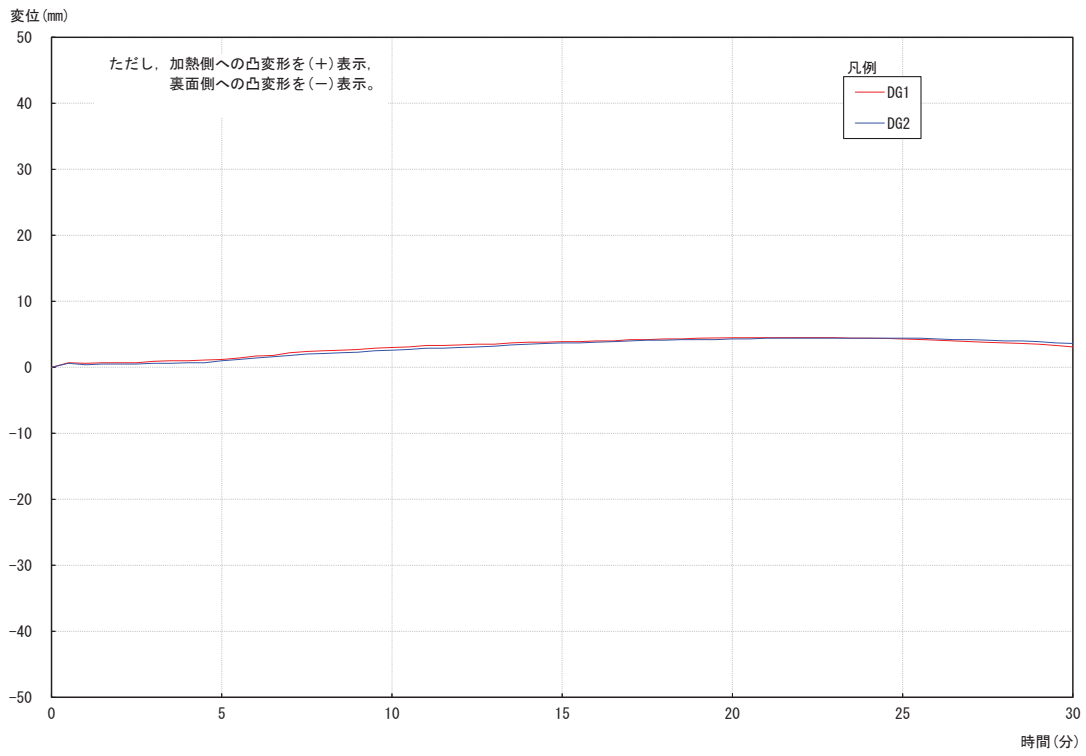


図 2.2-53 面外方向変位測定結果

表 2.2-22 裏面温度結果

		仕様 A	仕様 B	仕様 C
温度	初期温度(°C)	21 (R1,R2,R3 の平均)	21 (R7,R8,R9 の平均)	21 (R13,R14,R15 の平均)
	裏面温度最高値(°C)	311 (28.5 分時) (規定値 : 201)	169 (26.5 分時) (規定値 : 201)	316 (30 分時) (規定値 : 201)
	裏面温度平均最高値 (°C)	193 (30 分時) (規定値 : 161)	102 (30 分時) (規定値 : 161)	193 (30 分時) (規定値 : 161)
非加熱側へ 10 秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし	なし	なし
非加熱側で 10 秒を超えて 継続する発炎の有無		なし	なし	なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		なし	なし	なし

表 2.2-23 試験中の観察結果

仕様 A		仕様 B		仕様 C	
時間	観察状況	時間	観察状況	時間	観察状況
2分30秒	加熱側鋼板の変形。	2分30秒	加熱側鋼板の変形。	2分30秒	加熱側鋼板の変形。
13分00秒	目地から煙が生じた。	10分00秒	目地から煙が生じた。	14分20秒	目地から煙が生じた。
21分00秒	目地の隙間から加熱側の赤熱を確認。(写真 2.2-74 参照)	14分00秒	上記、煙がとまった。加熱側、全体から発炎。	20分00秒	目地の隙間から加熱側の赤熱を確認。(写真 2.2-76 参照)
18分00秒	加熱側、全体から発炎。	23分00秒	加熱側、全体から発炎。	23分00秒	加熱側、全体から発炎。
23分00秒	加熱側、全体から発炎。	25分30秒	目地の隙間から加熱側の赤熱を確認。(写真 2.2-75 参照)		

表 2.2-24-1 各断面測定温度 200°C超過時間

加熱側 からの 厚さ (mm)	到達時間 (分)								
	仕様A			仕様B			仕様C		
	A 1 (目地部)	A 2 (目地部)	D 1 (一般部)	B 1 (目地部)	B 2 (目地部)	D 2 (一般部)	C 1 (目地部)	C 2 (目地部)	D 3 (一般部)
0	/	/	8	/	/	15	/	/	8.5
15	16.5	16	24	26	28	—	16	19.5	23
30	17	—	—	27.5	—	—	18	21	—
45	22.5	23	—	29.5	—	—	18.5	24	—
60	24	27	—	—	—	—	18.5	25.5	—
75	26.5	—	/	—	—	/	19.5	28.5	/

表 2.2-24-2 各断面測定温度 260°C超過時間

加熱側 からの 厚さ (mm)	到達時間 (分)								
	仕様A			仕様B			仕様C		
	A 1 (目地部)	A 2 (目地部)	D 1 (一般部)	B 1 (目地部)	B 2 (目地部)	D 2 (一般部)	C 1 (目地部)	C 2 (目地部)	D 3 (一般部)
0	/	/	11.5	/	/	17.5	/	/	12
15	16.5	16.5	27.5	26	29	—	16.5	19.5	28.5
30	21.5	—	—	29	—	—	18.5	22.5	—
45	24	25	—	—	—	—	19.5	26	—
60	25.5	29.5	—	—	—	—	19.5	27	—
75	29	—	/	—	—	/	22.5	—	/



写真 2.2-75 目地 A の試験中の状況
(目地の隙間から加熱側の赤熱が見える状況)

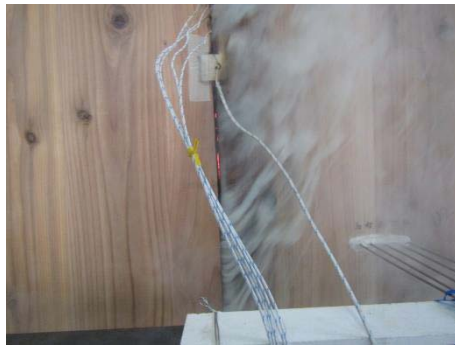


写真 2.2-76 目地 B の試験中の状況
(目地の隙間から加熱側の赤熱が見える状況)



写真 2.2-77 目地 C の試験中の状況
(目地の隙間から加熱側の赤熱が見える状況)

試験前後の試験体の状況（試験体 No5）



写真 2.2-78 試験前の加熱側の状況



写真 2.2-79 試験前の裏面側の状況



写真 2.2-80 試験後の加熱側の状況



写真 2.2-81 終了時の裏面側の状況

試験前の試験体の状況（試験体 No.5、目地の状況）

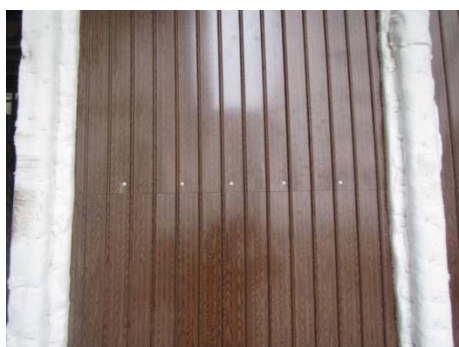


写真 2.2-82 加熱側の状況(仕様 A)



写真 2.2-83 裏面側の状況(仕様 A)



写真 2.2-84 加熱側の状況(仕様 B)

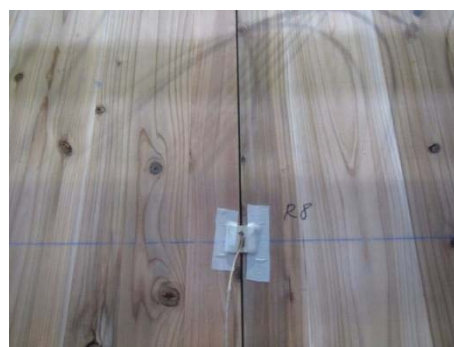


写真 2.2-85 裏面側の状況(仕様 B)

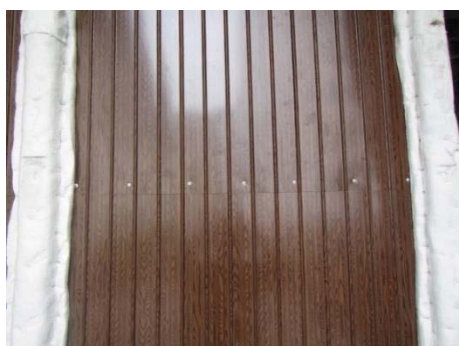


写真 2.2-86 加熱側の状況(仕様 C)



写真 2.2-87 裏面側の状況(仕様 C)

試験後の試験体の状況（試験体 No.5、目地の状況）



写真 2.2-88 加熱側の状況
(仕様 A, 外装材除去後)

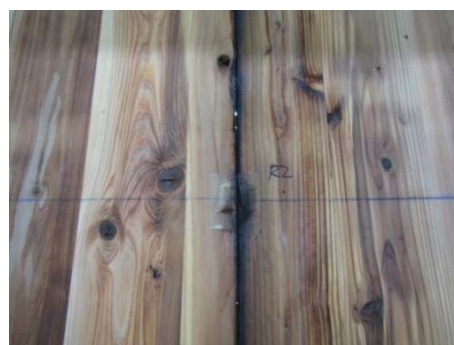


写真 2.2-89 裏面側の状況(仕様 A)



写真 2.2-90 加熱側の状況
(仕様 B, 外装材除去後)



写真 2.2-91 裏面側の状況(仕様 B)



写真 2.2-92 加熱側の状況
(仕様 C, 外装材除去後)



写真 2.2-93 裏面側の状況(仕様 C)

試験後の金物部の状況（試験体 No5、金物部の状況）



写真 2.2-94 仕様 A



写真 2.2-95 仕様 A（金物を取外した後）



写真 2.2-96 仕様 B



写真 2.2-97 仕様 B（金物を取外した後）



写真 2.2-98 仕様 C



写真 2.2-99 仕様 C（金物を取外した後）

試験終了後の試験体について、炭化確認を行った。

炭化確認は、試験方法図に示した断面Ⅰ、断面Ⅱ及び断面Ⅲの位置（内部温度測定位置）の3断面を水平に切り出し行った。写真を写真2.2-99～写真2.2-101に示す。炭化図を図2.2-50に示す。また、CLTの残存断面の最小値を表2.2-25に示す。



写真 2.2-100 試験後の断面状況（断面Ⅰ）



写真 2.2-101 試験後の断面状況（断面Ⅱ）



写真 2.2-102 試験後の断面状況（断面Ⅲ）

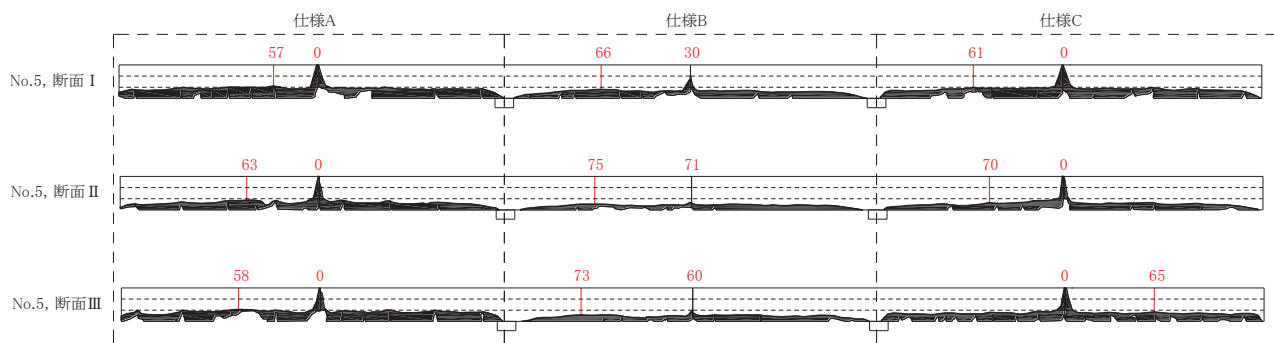


図 2.2-54 炭化図

表 2.2-25 残存断面の最小値

	仕様 A 残存断面最小厚さ (mm)		仕様 B 残存断面最小厚さ (mm)		仕様 C 残存断面最小厚さ (mm)	
	一般部	目地部	一般部	目地部	一般部	目地部
断面 I	57	0	66	30	61	0
断面 II	63	0	75	71	70	0
断面 III	58	0	73	60	66	0

2. 3 第二期予備試験 試験結果

試験体 No. 6 は無機系断熱材（グラスウール）、No.7 は有機系断熱材（ポリスチレンフォーム）である。

①CLT 目地仕様

雇い実目地は、無機系断熱材、有機系断熱材ともに遮熱性、遮炎性を保ち有効であった（表 2.3-2 及び 2.3-7）。無機系断熱材では雇い実部への炭化はほぼ無し。最下部のみ炭化が見られたが、これは実長さが CLT 最下部から 25mm 短く配置したことで空気が流れたためと思われる。施工現場では下部まで実を通していていることから、認定試験時にも同様にする必要がある。また、有機系断熱材では雇い実厚さの半分以上に炭化が進行しており、20mm がぎりぎりの厚さと思われる（図 2.3-22 及び表 2.3-10）。これは CLT 材端部の加熱側ラミナの幅が雇い実の欠き込み深さに対して余裕が無く幅はぎ接着も無い為、ラミナの炭化が接着面まで進み炭化したラミナごと脱落し炭化層による断熱効果が失われたためと思われる。従って、雇い実とする場合は、ラミナ厚に応じた雇い実の厚さとするとともに、CLT 材端のラミナ幅をある程度確保する必要がある。

もう一方の目地（無機系は面取りのみ、有機系は面取りウレタン系樹脂コーキング）は、いずれの試験体も炉内貫通し、無機系断熱材では加熱開始から 20 分台後半に継続した発炎が生じた（表 2.3-2、3 及び 2.3-7、8）。この目地仕様で性能を確保するためには、断熱材や外装材の仕様の再検討が必要である。

②外張り断熱材仕様

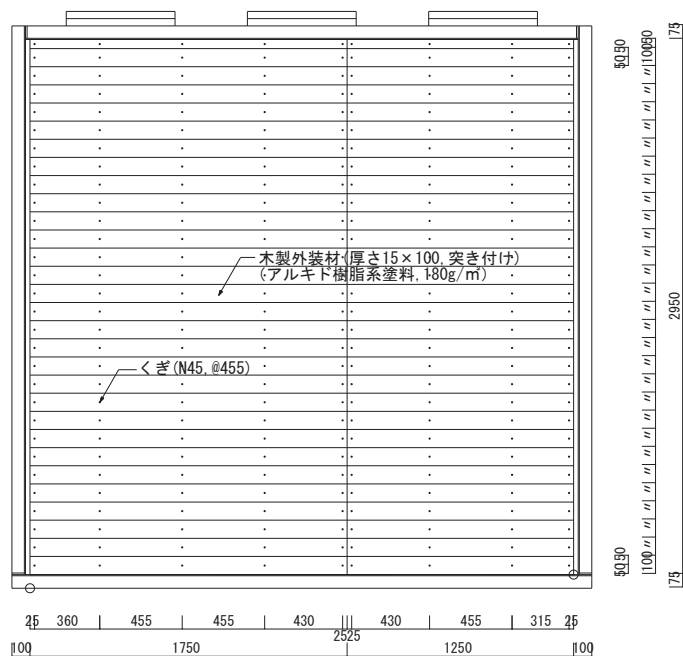
無機系断熱材（グラスウール）、有機系断熱材（ポリスチレンフォーム）の CLT 一般部の残存断面の厚さは、各々 66～77mm、55～62mm であった。外装材の影響もあるが、非載荷試験の試験体 No4（グラスウール）の 73～78mm、試験体 No.5（ポリスチレンフォーム）の 57～63mm とほぼ同様な傾向を示している（表 2.3-5 及び 2.3-10）。いずれも載荷試験において非損傷性を保った。

グラスウールは前回試験より横棧間隔および留め付けが不利側であった為、20 分時点で一部脱落が確認されている（表 2.3-3）。これは前述の目地の炉内貫通や発炎にも関わっていると考えられる。

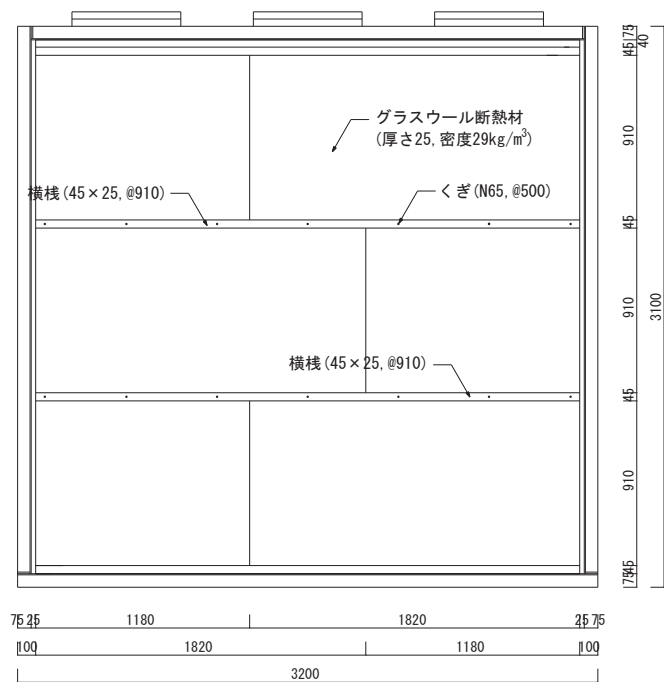
③外装材仕様

木材外装材はいずれの試験体も加熱 9 分頃から脱落を開始、15 分で脱落がかなり進行、脱炉時にはすべて脱落している（表 2.3-3 及び 2.3-8、写真 2.3-5 及び 2.3-21）。予想以上に脱落の進行が早く、不利側の外装材仕様としては適切な仕様と思われる。前述のように目地仕様に弱点がある場合は、外装材の仕様を強化することで性能を確保できる可能性がある。

1) 試験体 No.6
試験概要

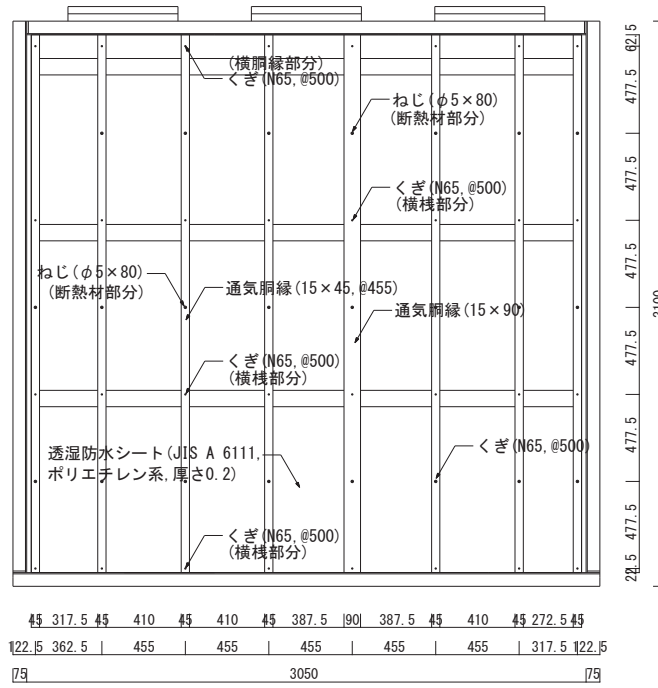


木製外装材割付け図

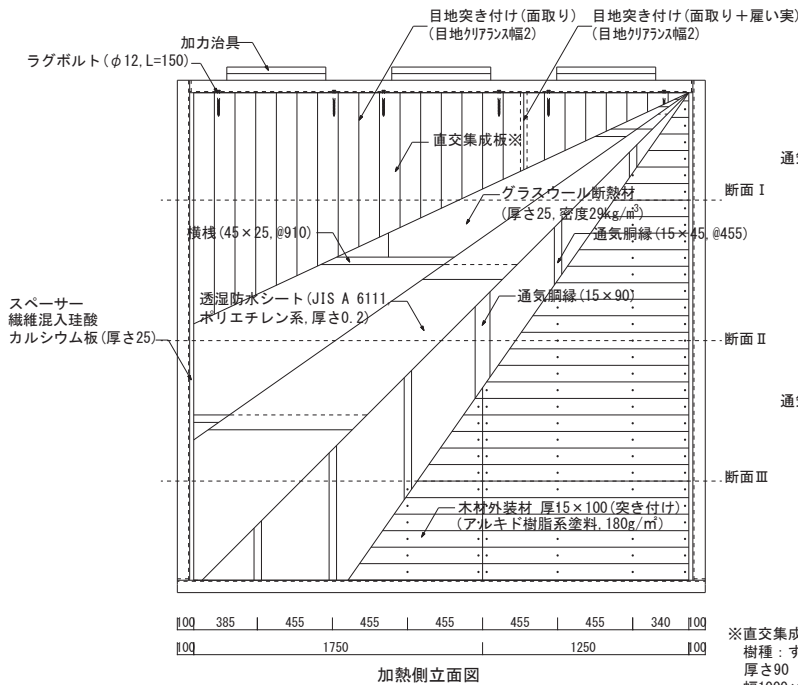


断熱材割付け図

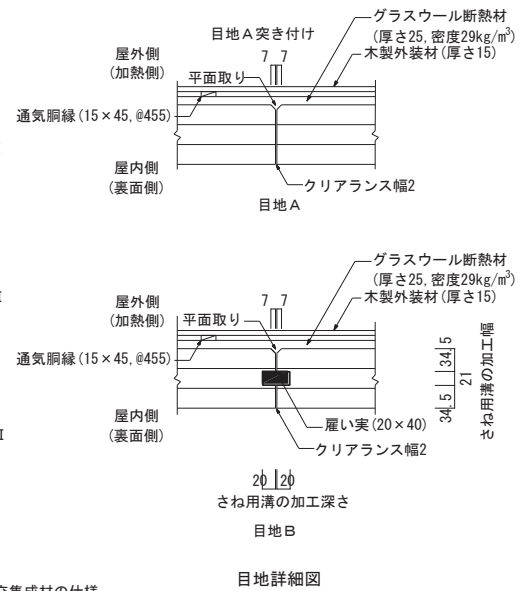
図 2.3-1 試験体図



通気胴縁割付け図



加熱側立面図



目地詳細図

※直交集成材の仕様
樹種：すぎ
厚さ90 (3層37' 54) Mx60
幅1000×長さ2950
幅535×長さ2950

図 2.3-2 試験体図

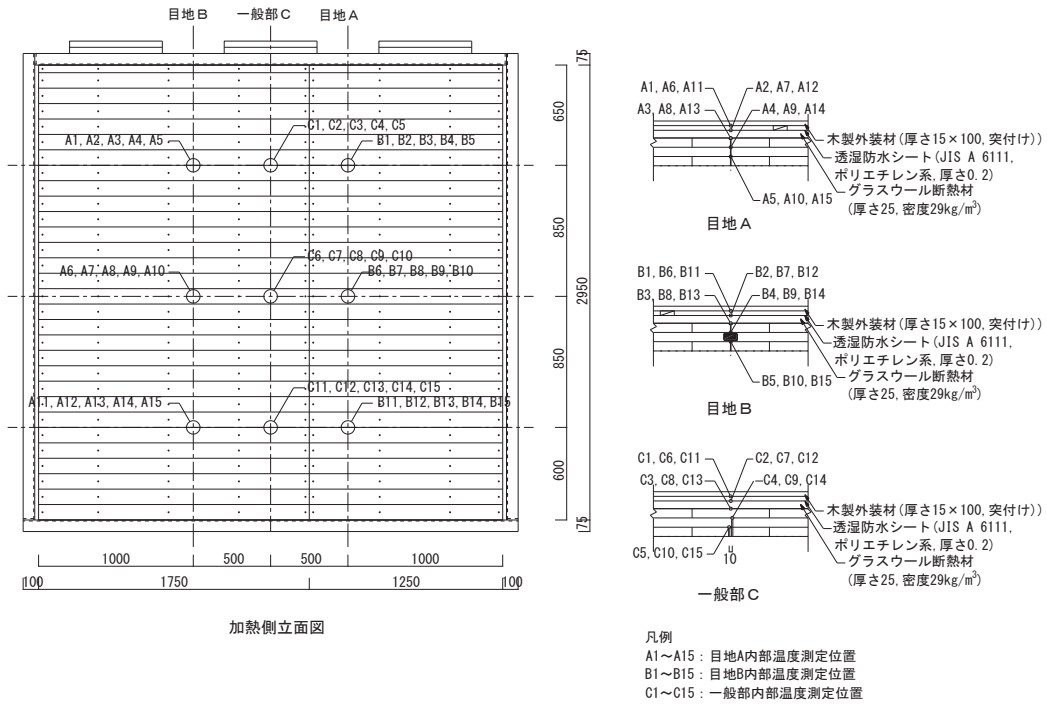


図 2.3-3 内部温度測定位置

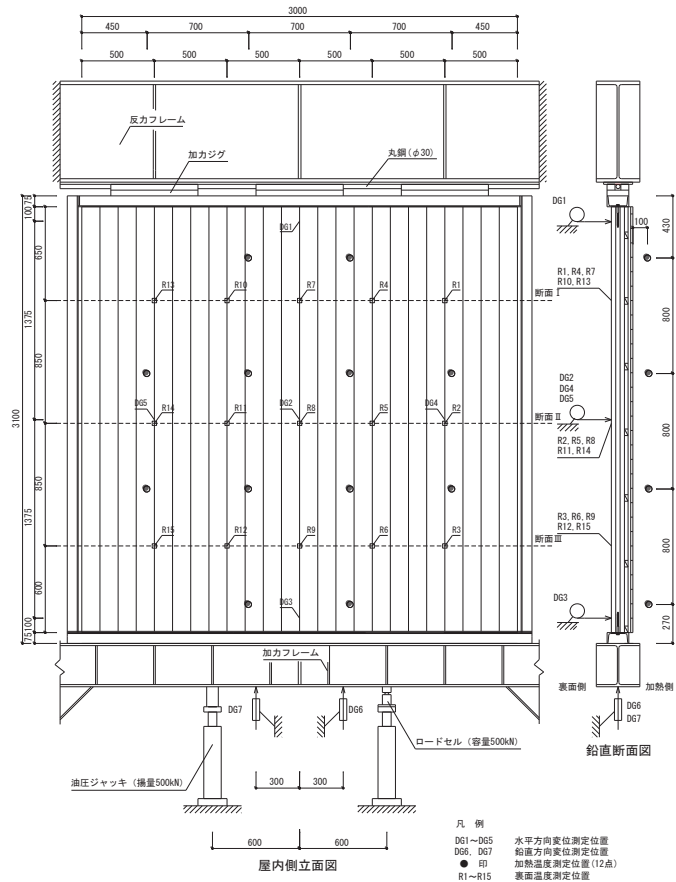


図 2.3-4 試験方法図 (載荷方法、温度測定位置及び変位測定位置)

表 2.3-1 試験体の密度及び含水率

構成材料	密度	含水率
直交集成板	0.36g/cm ³ (105°C、6日間乾燥)	10.6% (105°C、6日間乾燥)
木製外装材	0.35 g/cm ³ (105°C、12日間乾燥)	13.3% (105°C、12日間乾燥)
胴縁 (幅 45mm)	0.29 g/cm ³ (105°C、6日間乾燥)	10.4% (105°C、6日間乾燥)
胴縁 (幅 90mm)	0.32 g/cm ³ (105°C、6日間乾燥)	12.1% (105°C、6日間乾燥)
グラスウール断熱材	29kg/m ³ (105°C、6日間乾燥)	—

試験結果(試験体 No.6)

加熱温度測定結果を図 2.3-5 に示す。

裏面温度測定結果を図 2.3-6 に示す。

荷重・面外方向たわみ・軸方向収縮変位測定結果を図 2.2-7 に示す。

内部温度測定結果を図 2.3-8～図 2.3-10 に示す。

試験結果を表 2.3-2 に示す。

試験中の観察結果を表 2.3-3 に示す。

各断面測定温度 260℃超過時間を表 2.3-4 に示す。

試験体の写真を写真 2.3-3～写真 2.3-14 に示す。

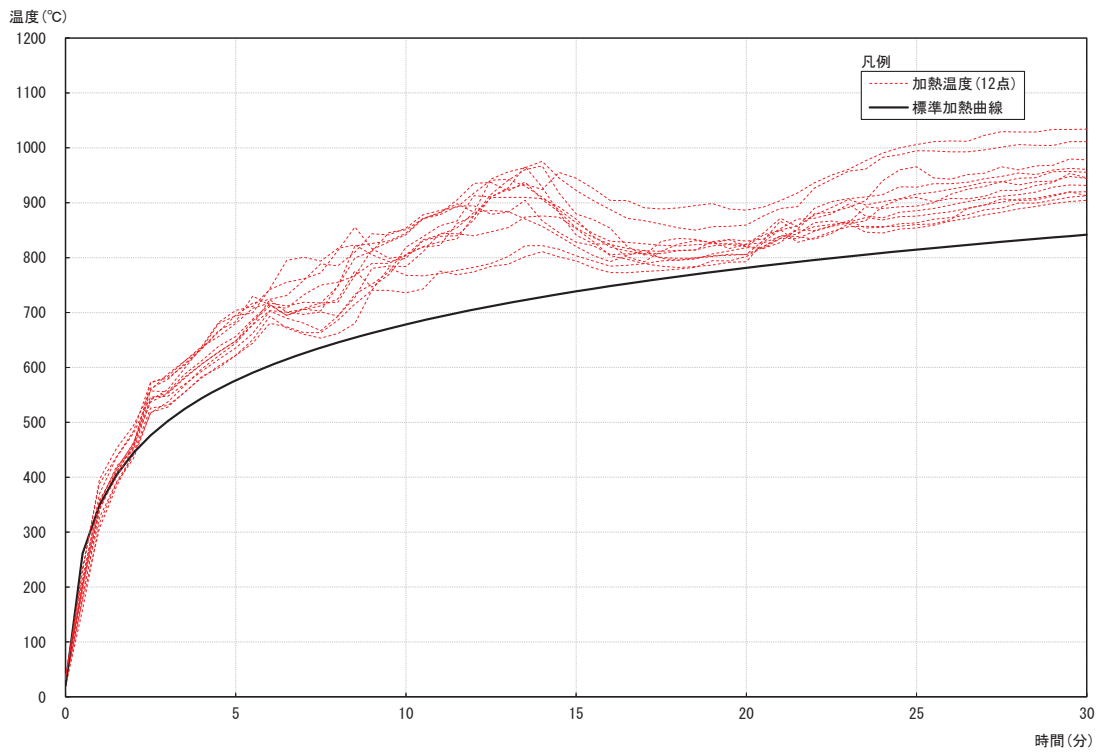


図 2.3-5 加熱温度測定結果

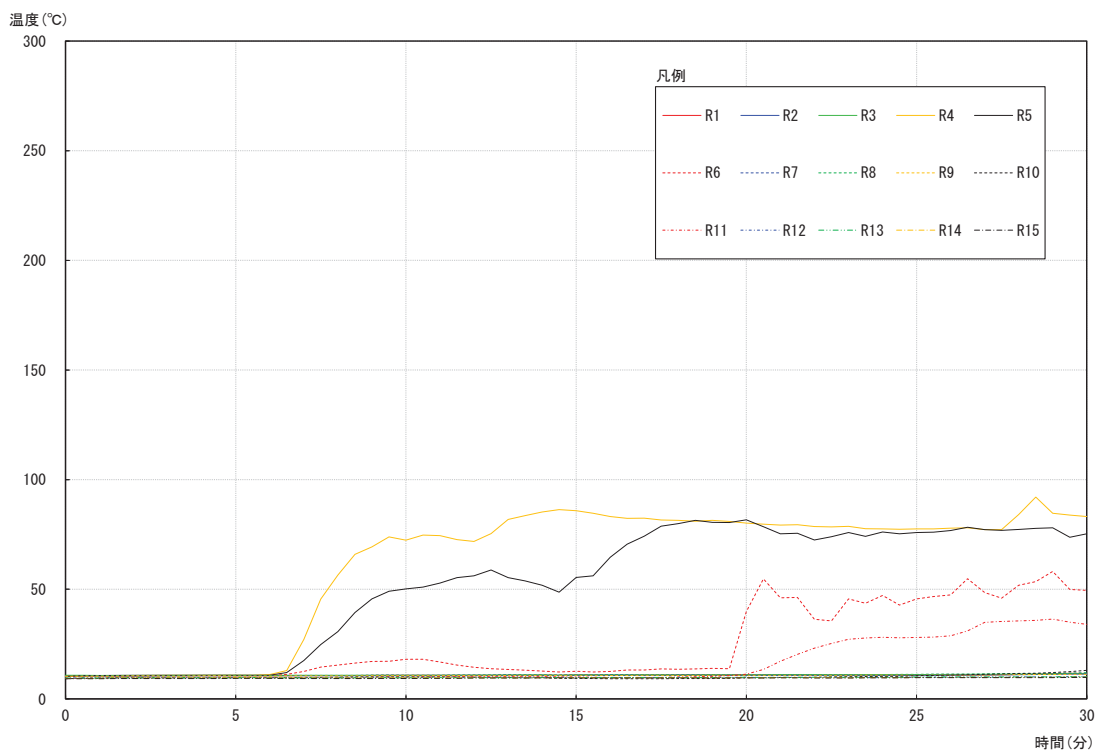


図 2.3-6 裏面温度測定結果

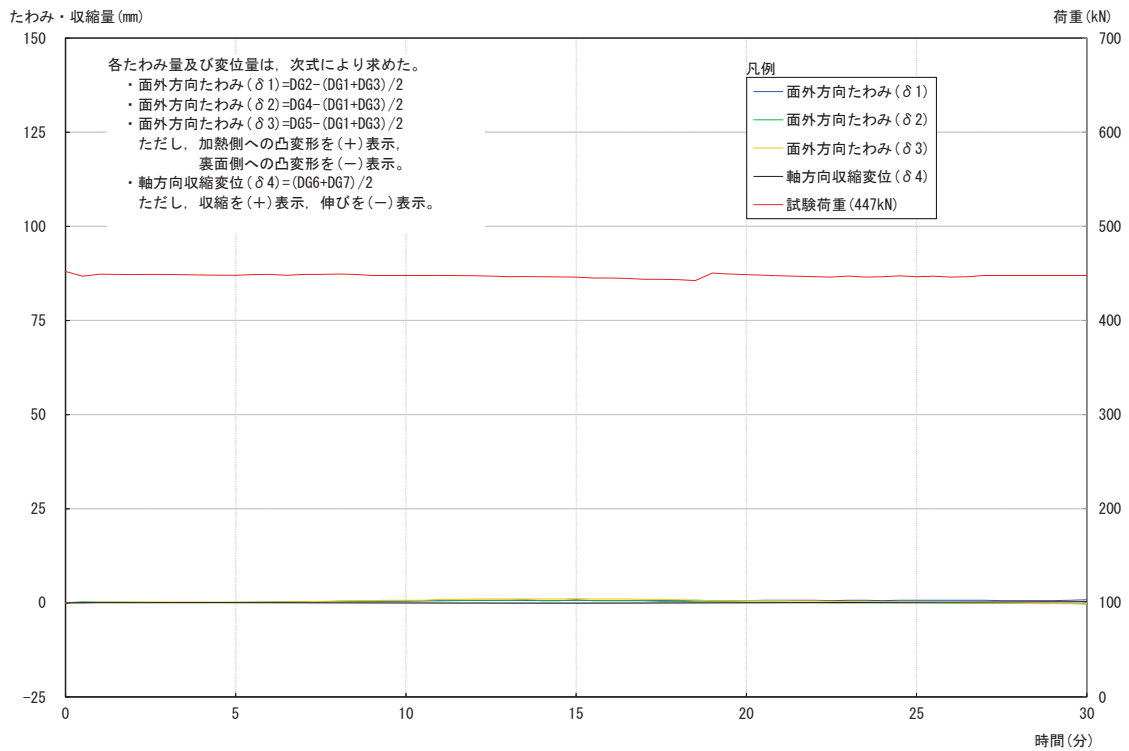


図 2.3-7 荷重・面外方向たわみ・軸方向収縮変位測定結果

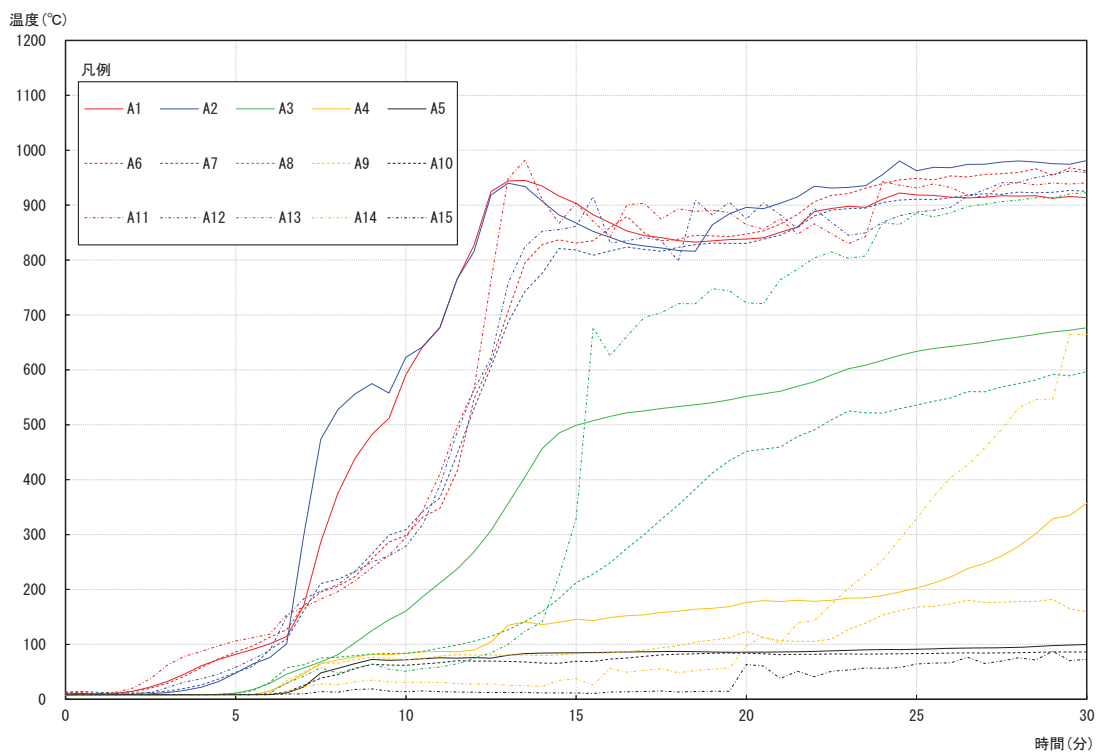


図 2.3-8 内部温度測定結果(目地 A)

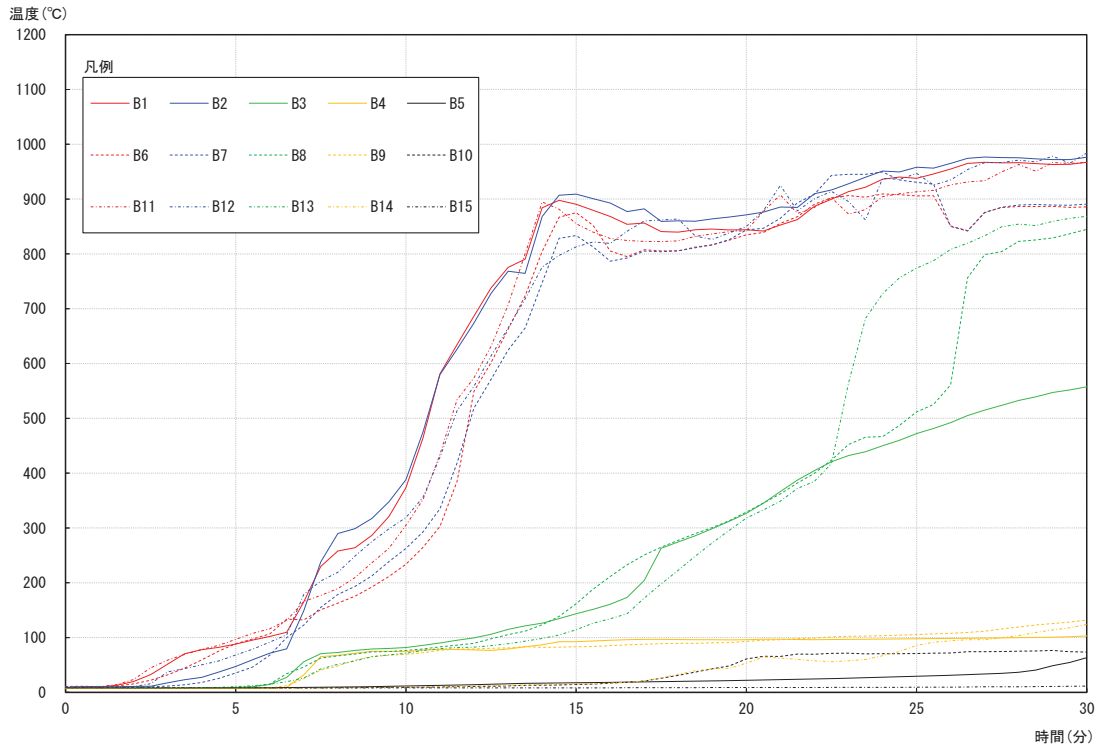


图 2.3-9 内部温度測定結果(目地 B)

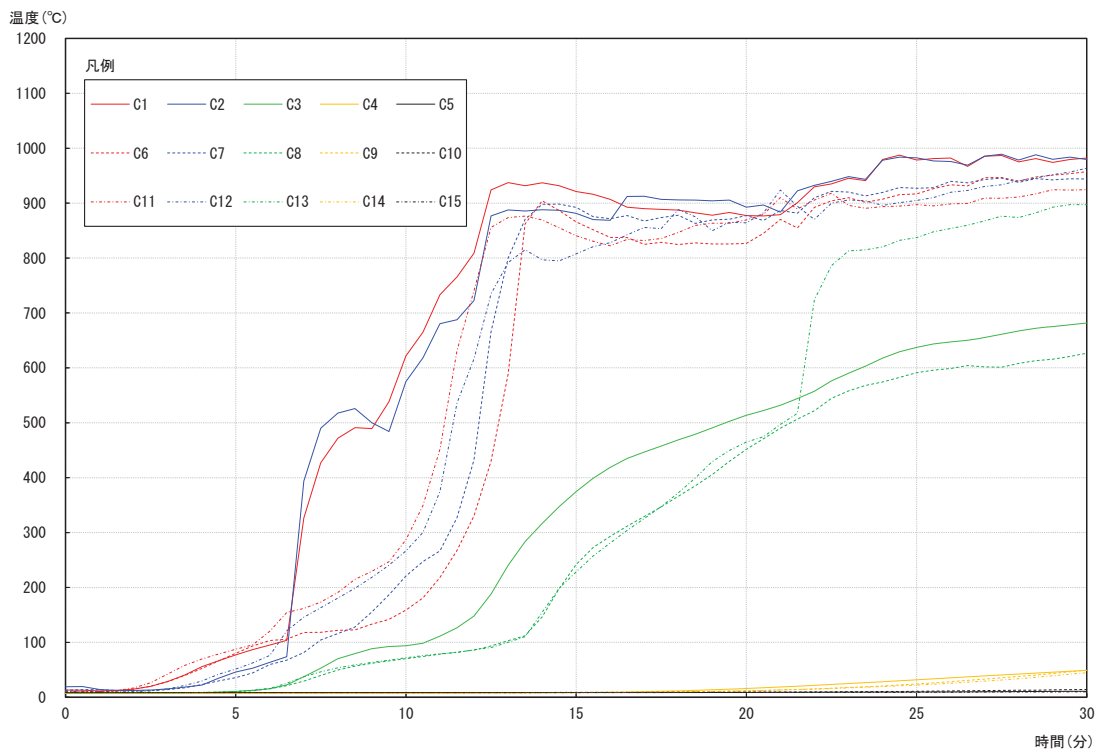


图 2.3-10 内部温度測定結果(一般部 C)

表 2.3-2 試験結果

		目地 A	目地 B
温度	初期温度(°C)	10 (R4,R5,R6 の平均)	9 (R10,R11,R12 の平均)
	裏面温度最高値(°C)	92 (28.5 分時) (規定値 : 190)	36 (29 分時) (規定値 : 189)
	裏面温度平均最高値(°C)	74 (28.5 分時) (規定値 : 150)	20 (29 分時) (規定値 : 149)
最大軸方向収縮量		0.3mm (規定値 : 29.5mm)	
最大軸方向収縮速度		0.1mm/分未満 (規定値 : 8.8mm/分)	
非加熱側へ 10 秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし	なし
非加熱側で 10 秒を超えて 継続する発炎の有無		あり (表 2.3-3 観察結果参照)	なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		あり (表 2.3-3 観察結果参照)	なし

表 2.3-3 試験中の観察結果

加熱側		目地 A		目地 B	
時間	観察状況	時間	観察状況	時間	観察状況
5分00秒	木製サイディングが発炎し、変形し始めた。	6分00秒	目地から煙が生じた。	7分30秒	目地から煙が生じた。
9分00秒	木製サイディングの脱落し始めた。	17分00秒	目地の隙間から加熱側の赤熱を確認。		
20分00秒	グラスウールが収縮及び脱落しているのを確認した。	23分00秒	目地の隙間が炉内に貫通しているのを確認した。(写真 2.3-1 参照)		
		27分57秒	上部において、発炎が生じ、試験終了(30分)まで継続した。(写真 2.3-2 参照)		

表 2.3-4-1 各断面測定温度 200℃超過時間

加熱側 からの 深さ (mm)	到達時間 (分)								
	目地A			目地B			一般部C		
	A1~5	A6~10	A11~15	B1~5	B6~10	B11~15	C1~5	C6~10	C11~15
0	11	15	14.5	17	16	18	13	15	15
30	25	—	23	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 2.3-4-2 各断面測定温度 260℃超過時間

加熱側 からの 深さ (mm)	到達時間 (分)								
	目地A			目地B			一般部C		
	A1~5	A6~10	A11~15	B1~5	B6~10	B11~15	C1~5	C6~10	C11~15
0	12	16.5	15	17.5	17.5	19	13.5	15.5	16.0
30	27.5	—	24.5	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—

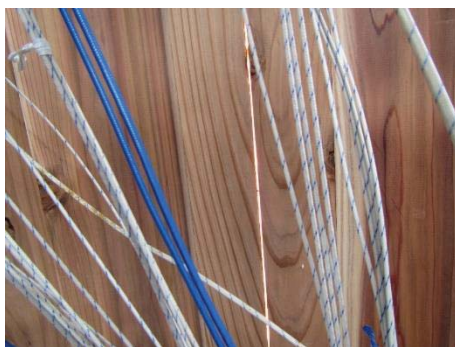


写真 2.3-1 目地 A の試験中の状況 (炉内貫通の状況)

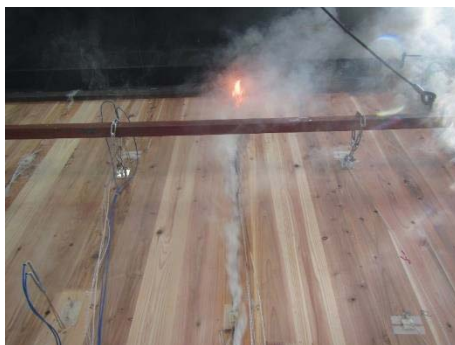


写真 2.3-2 目地 A の試験中の状況 (発炎の状況)

試験前後の試験体の状況（試験体 No.6）



写真 2.3-3 試験前加熱側



写真 2.3-4 試験前裏面側



写真 2.3-5 試験終了後加熱側



写真 2.3-6 試験終了時裏面側

試験前の試験体の状況(試験体 No.6)



写真 2.3-7 加熱側の状況(目地 A)



写真 2.3-8 裏面側の状況(目地 A)



写真 2.3-9 加熱側の状況(目地 B)



写真 2.3-10 裏面側の状況(目地 B)

試験後の試験体の状況（試験体 No.6）



写真 2.3-11 加熱側の状況(目地 A)



写真 2.3-12 裏面側の状況(目地 A)



写真 2.3-13 加熱側の状況(目地 B)



写真 2.3-14 裏面側の状況(目地 B)

試験終了後の試験体について、炭化確認を行った。

炭化確認は、試験方法図に示した断面Ⅰ、断面Ⅱ及び断面Ⅲの位置（内部温度測定位置）の3断面を水平に切り出し行った。写真を写真 2.3-15～写真 2.3-17 に示す。炭化図を図 2.3-11 に示す。また、CLT の残存断面の最小値を表 2.3-5 に示す。



写真 2.3-15 試験後の断面状況（断面Ⅰ）



写真 2.3-16 試験後の断面状況（断面Ⅱ）



写真 2.3-17 試験後の断面状況（断面Ⅲ）

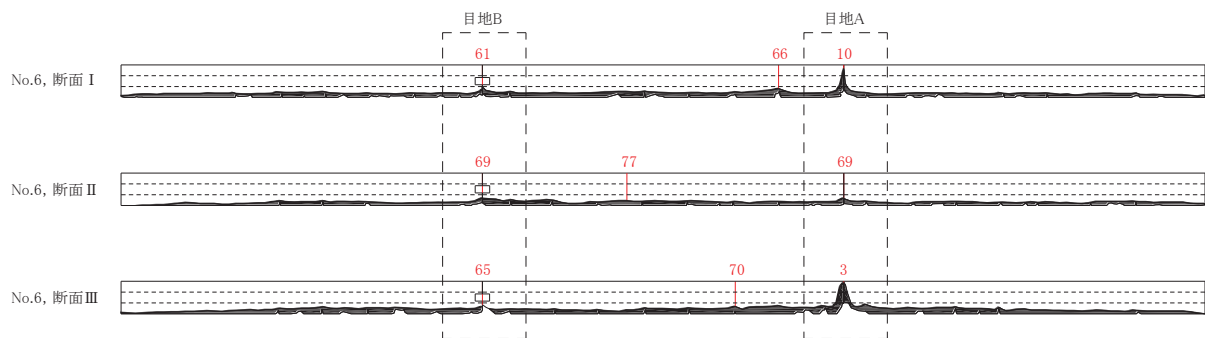


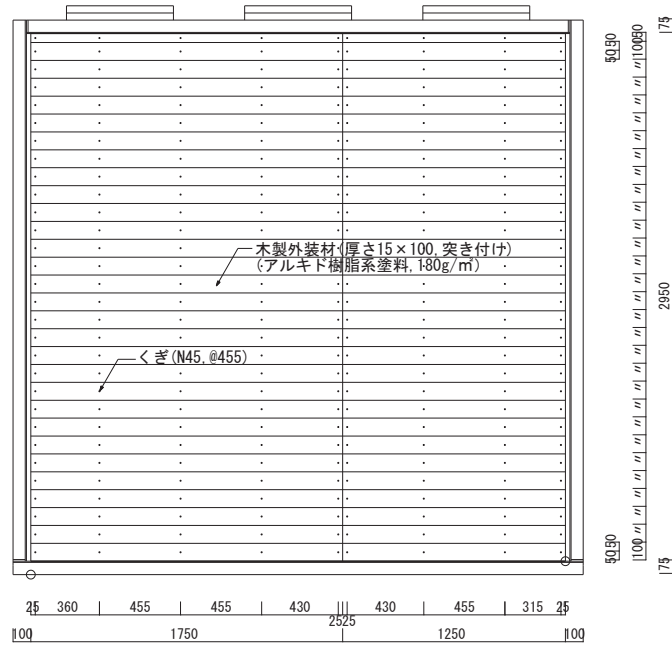
図 2.3-11 炭化図

表 2.3-5 残存断面の最小値

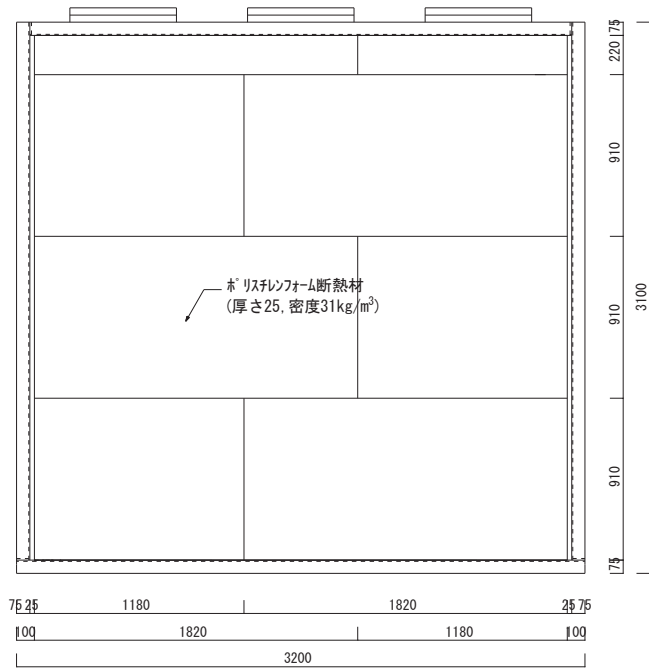
	目地 A 残存断面最小厚さ (mm)	目地 B 残存断面最小厚さ (mm)	一般部 C 残存断面最小厚さ (mm)
断面 I	10	61	66
断面 II	69	69	77
断面 III	3	65	70

2) 試験体 No.7

試験概要

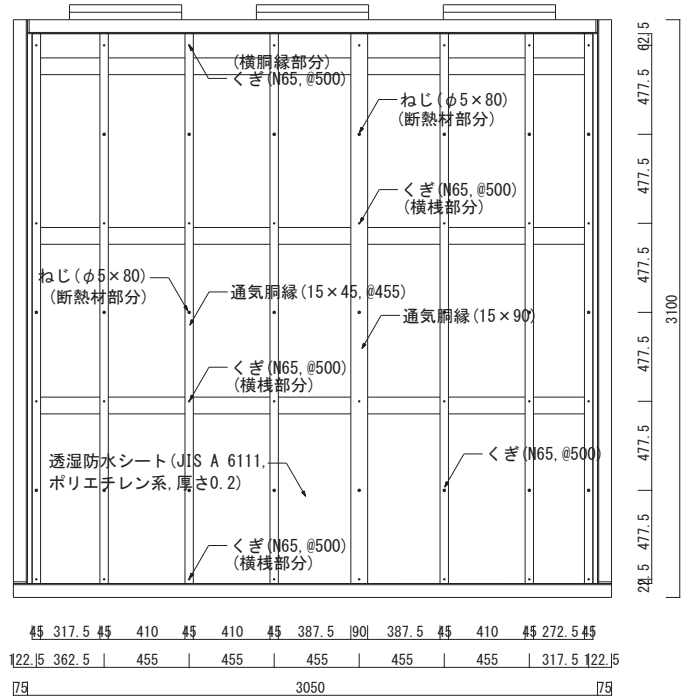


木製外装材割付け図

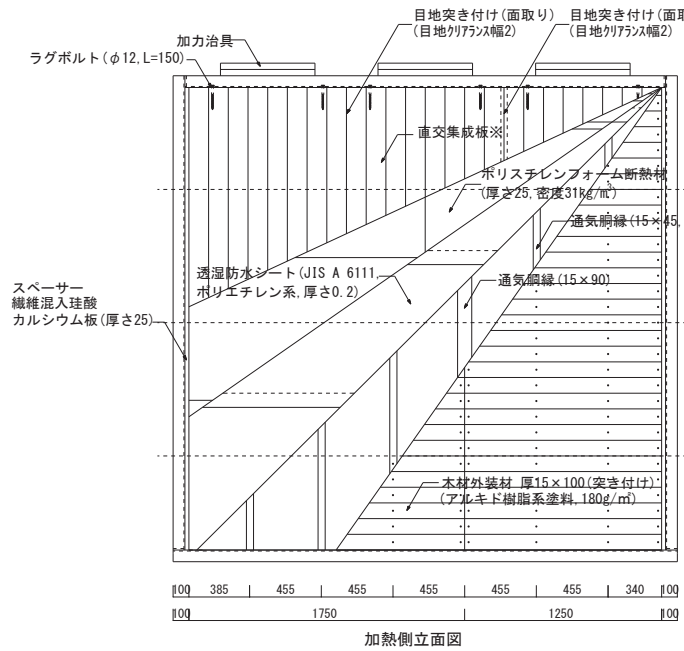


断熱材割付け図

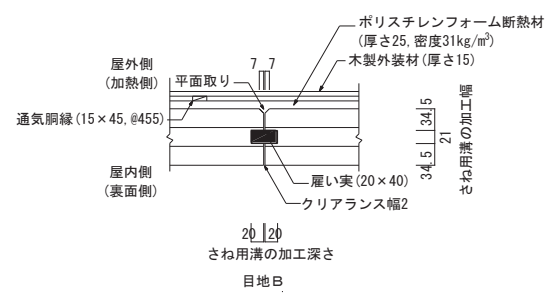
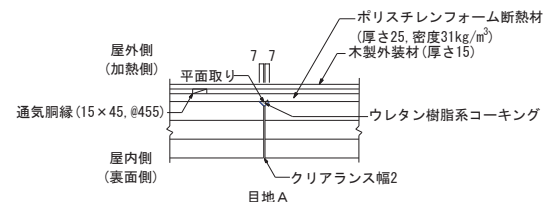
図 2.3-12 試験体図



通気胴縁割付け図



加熱側立面図



目地詳細図

※直交集成材の仕様
樹種: すぎ
厚さ90 (3層37'5) Mx60
幅1000×長さ2950
幅535×長さ2950

図 2.3-13 試験体図

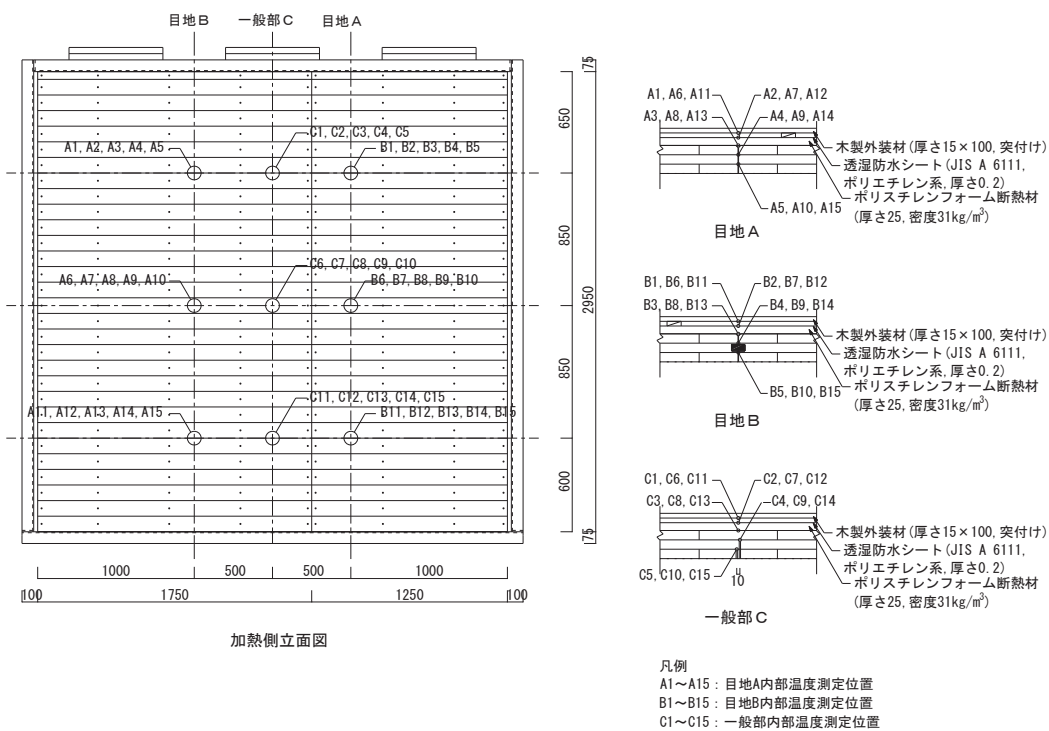


図 2.3-14 内部温度測定位置

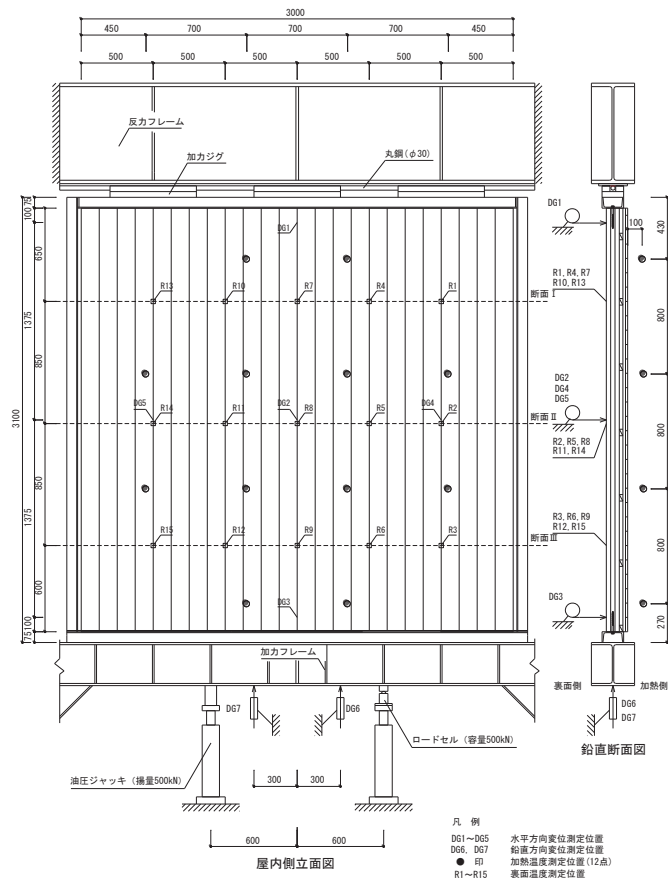


図 2.3-15 試験方法図 (载荷方法、温度測定位置及び変位測定位置)

表 2.3-6 試験体の密度及び含水率

構成材料	密度	含水率
直交集成板	0.35g/cm ³ (105°C、6日間乾燥)	10.4% (105°C、6日間乾燥)
木製外装材	0.35 g/cm ³ (105°C、12日間乾燥)	13.3% (105°C、12日間乾燥)
胴縁 (幅 45mm)	0.29 g/cm ³ (105°C、6日間乾燥)	10.4% (105°C、6日間乾燥)
胴縁 (幅 90mm)	0.32 g/cm ³ (105°C、6日間乾燥)	12.1% (105°C、6日間乾燥)
ポリスチレンフォーム	31kg/m ³ (105°C、6日間乾燥)	—

試験結果(試験体 No.7)

加熱温度測定結果を図 2.3-16 に示す。

裏面温度測定結果を図 2.3-17 に示す。

荷重・面外方向たわみ・軸方向収縮変位測定結果を図 2.3-18 に示す。

内部温度測定結果を図 2.3-19～図 2.3-21 に示す。

試験結果を表 2.3-7 に示す。

試験中の観察結果を表 2.3-8 に示す。

各断面測定温度 260℃超過時間を表 2.3-9 に示す。

試験体の写真を写真 2.3-19～写真 2.3-30 に示す。

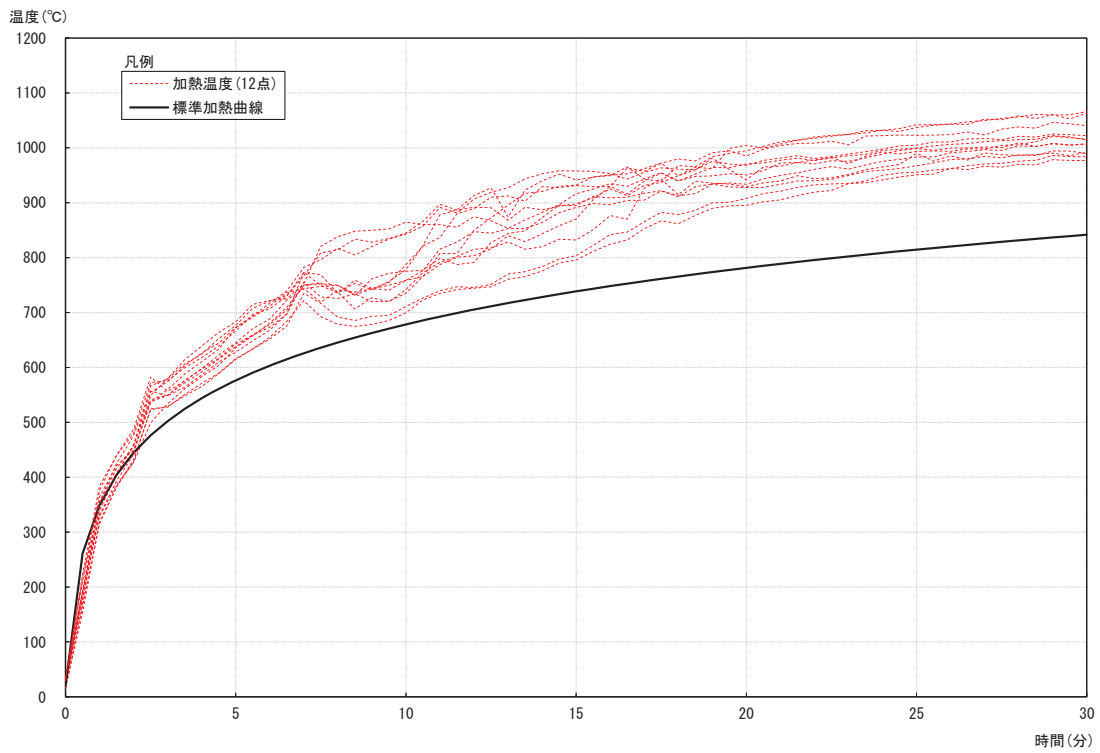


图 2.3-16 加熱溫度測定結果

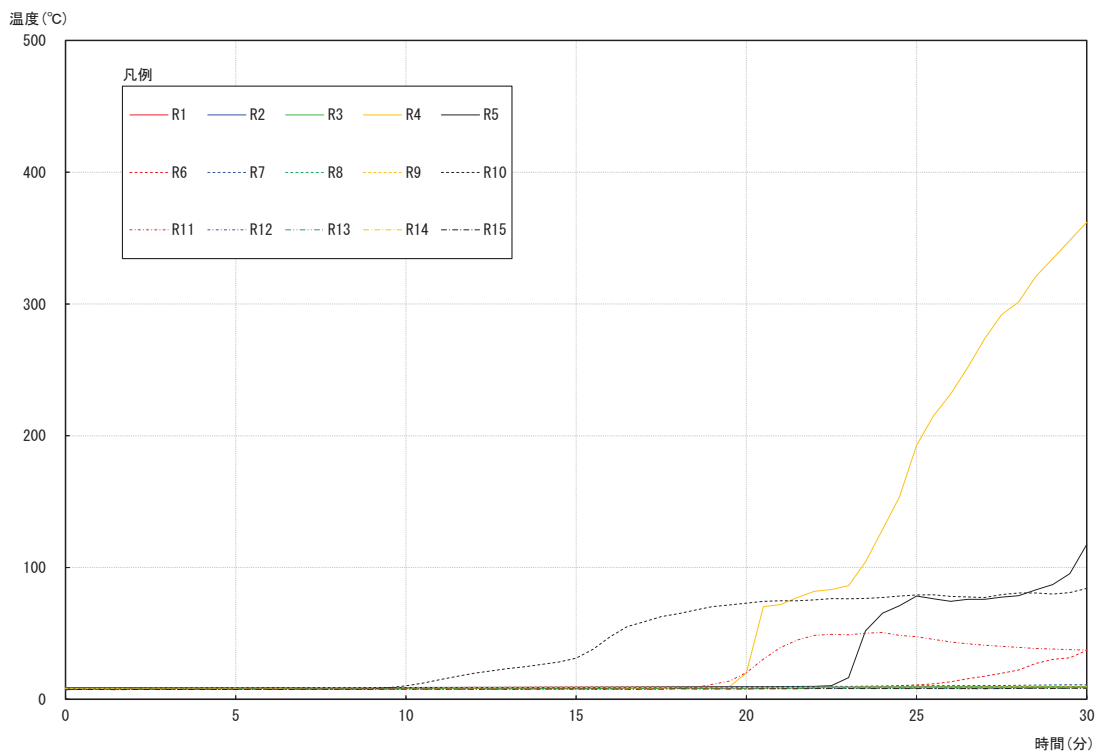


图 2.3-17 裏面溫度測定結果

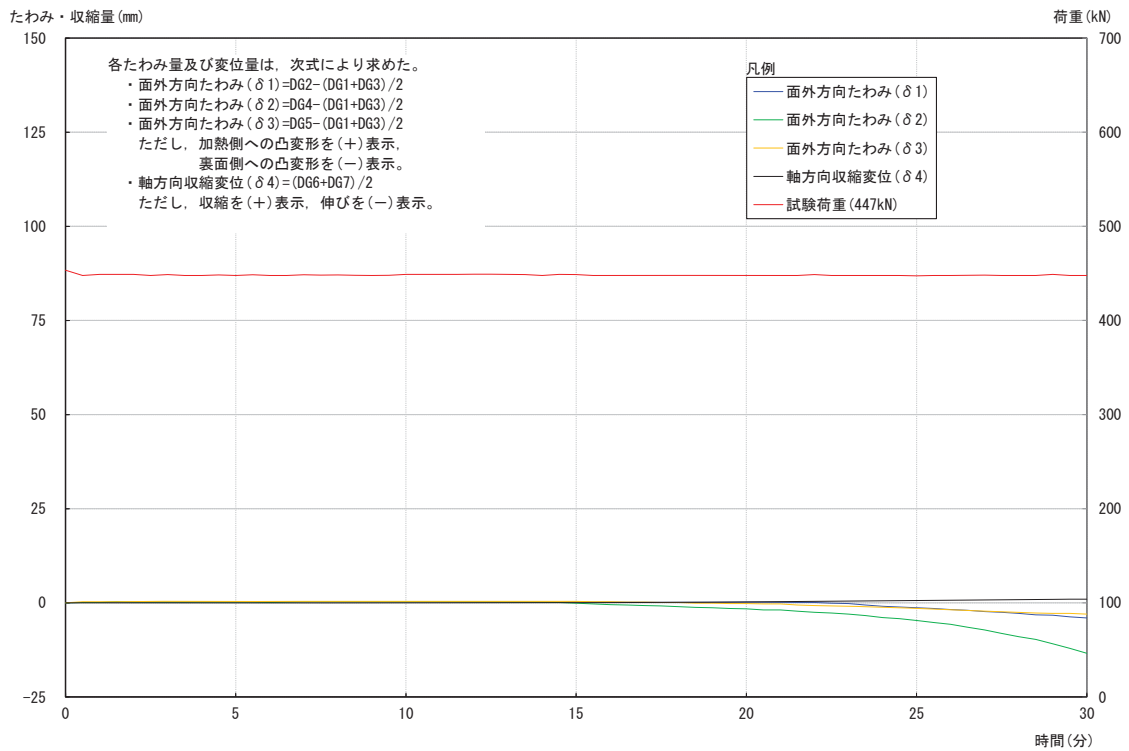


図 2.3-18 荷重・面外方向たわみ・軸方向収縮変位測定結果

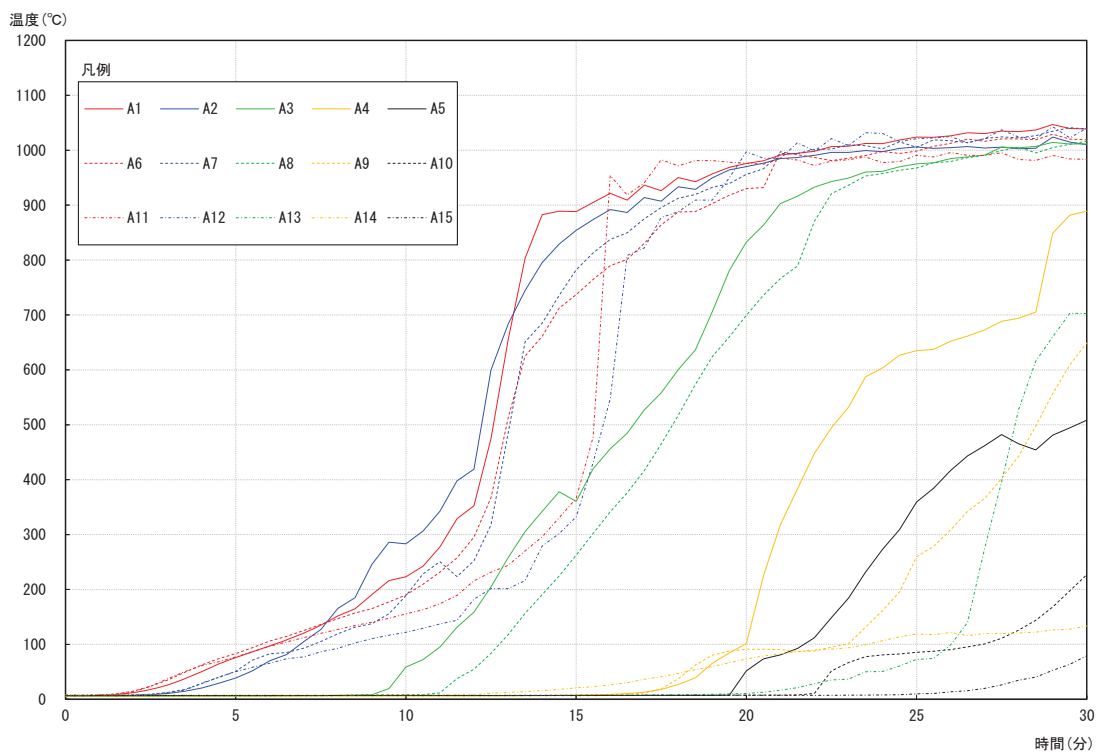


図 2.3-19 内部温度測定結果(目地 A)

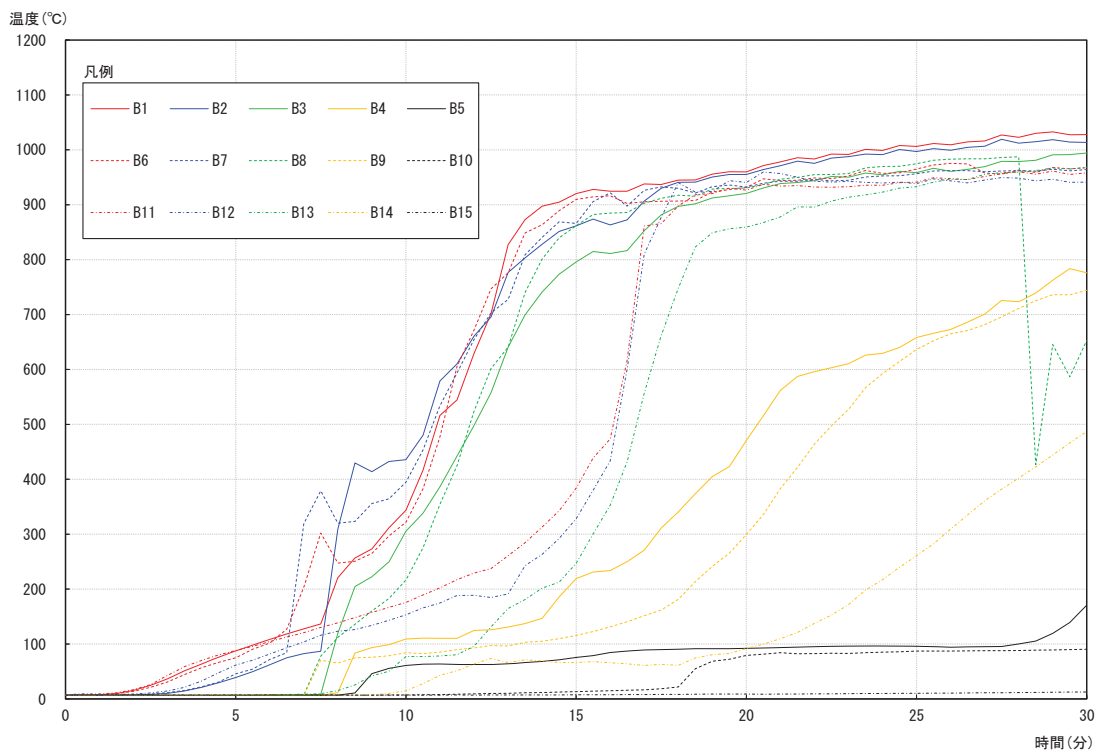


図 2.3-20 内部温度測定結果(目地 B)

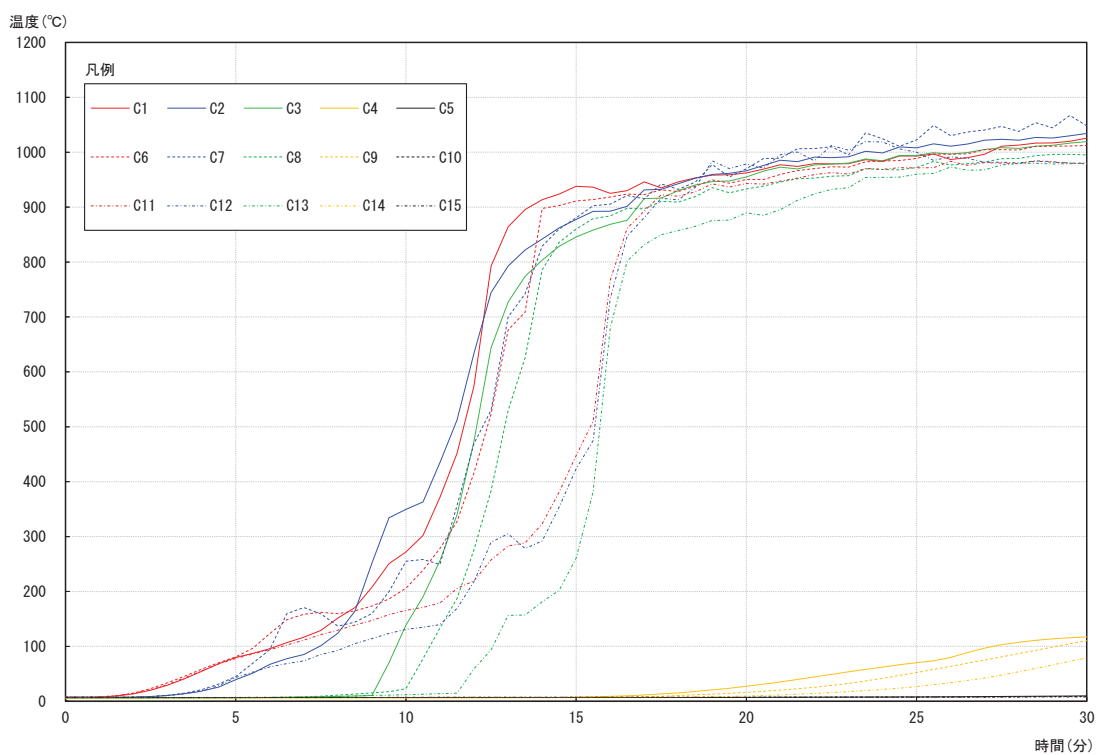


図 2.3-21 内部温度測定結果(一般部 C)

表 2.3-7 試験結果

		目地 A	目地 B
温度	初期温度(°C)	9 (R4,R5,R6 の平均)	7 (R10,R11,R12 の平均)
	裏面温度最高値(°C)	362 (30 分時) (規定値 : 189)	84 (30 分時) (規定値 : 187)
	裏面温度平均最高値(°C)	172 (30 分時) (規定値 : 149)	45 (24 分時) (規定値 : 147)
最大軸方向収縮量		1.0mm (規定値 : 29.5mm)	
最大軸方向収縮速度		0.1mm/分 (規定値 : 8.8mm/分)	
非加熱側へ 10 秒を超えて 継続する火炎の噴出の有無		なし	なし
非加熱側で 10 秒を超えて 継続する発炎の有無		なし	なし
火炎が通る亀裂等の 損傷の有無		あり (表 2.3-8 観察結果参照)	なし

表 2.3-8 試験中の観察結果

加熱側		目地 A		目地 B	
時間	観察状況	時間	観察状況	時間	観察状況
6分00秒	木製サイディングが発炎し、変形し始めた。	19分30秒	目地から煙が生じた。	7分30秒	目地から煙が生じた。
9分00秒	木製サイディングの脱落し始めた。	25分00秒	目地の隙間が炉内に貫通しているのを確認した。(写真 2.3-18 参照)		

表 2.3-9-1 各断面測定温度 200℃超過時間

加熱側 からの 深さ (mm)	到達時間 (分)								
	目地A			目地B			一般部C		
	A1~5	A6~10	A11~15	B1~5	B6~10	B11~15	C1~5	C6~10	C11~15
0	12.5	14.5	27	8.5	10	14	11	12	14.5
30	20.5	25	—	15	18.5	24	—	—	—
60	23.5	30	—	—	—	—	—	—	—

表 2.3-9-2 各断面測定温度 260℃超過時間

加熱側 からの 深さ (mm)	到達時間 (分)								
	目地A			目地B			一般部C		
	A1~5	A6~10	A11~15	B1~5	B6~10	B11~15	C1~5	C6~10	C11~15
0	13.5	15	27	10	10.5	15.5	11.5	12	15
30	21	25.5	—	17	19.5	25	—	—	—
60	24	—	—	—	—	—	—	—	—

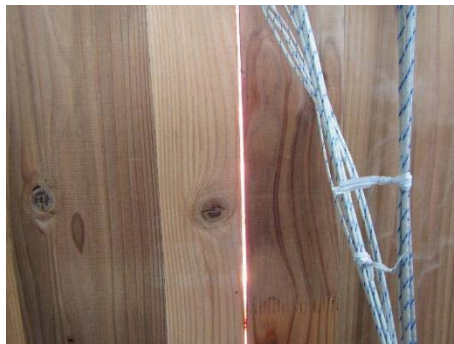


写真 2.3-18 目地 A の試験中の状況 (炉内貫通の状況)

試験前後の試験体の状況（試験体 No.7）



写真 2.3-19 試験前加熱側



写真 2.3-20 試験前裏面側



写真 2.3-21 試験終了後加熱側



写真 2.3-22 試験終了時裏面側

試験前の試験体の状況（試験体 No.7、目地の状況）



写真 2.3-23 加熱側の状況(目地 A)



写真 2.3-24 裏面側の状況(目地 A)



写真 2.3-25 加熱側の状況(目地 B)

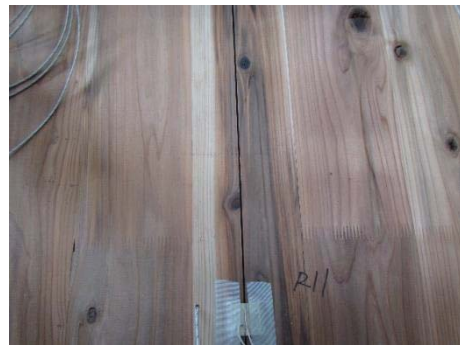


写真 2.3-26 裏面側の状況(目地 B)

試験後の試験体の状況（試験体 No.7、目地の状況）



写真 2.3-27 加熱側の状況(目地 A)



写真 2.3-28 裏面側の状況(目地 A)



写真 2.3-29 加熱側の状況(目地 B)



写真 2.3-30 裏面側の状況(目地 B)

試験終了後の試験体について、炭化確認を行った。

炭化確認は、試験方法図に示した断面Ⅰ、断面Ⅱ及び断面Ⅲの位置（内部温度測定位置）の3断面を水平に切り出し行った。写真を写真2.3-31～写真2.3-33に示す。炭化図を図2.3-22に示す。また、CLTの残存断面の最小値を表2.3-10に示す。



写真 2.3-31 試験後の断面状況（断面Ⅰ）



写真 2.3-32 試験後の断面状況（断面Ⅱ）



写真 2.3-33 試験後の断面状況（断面Ⅲ）

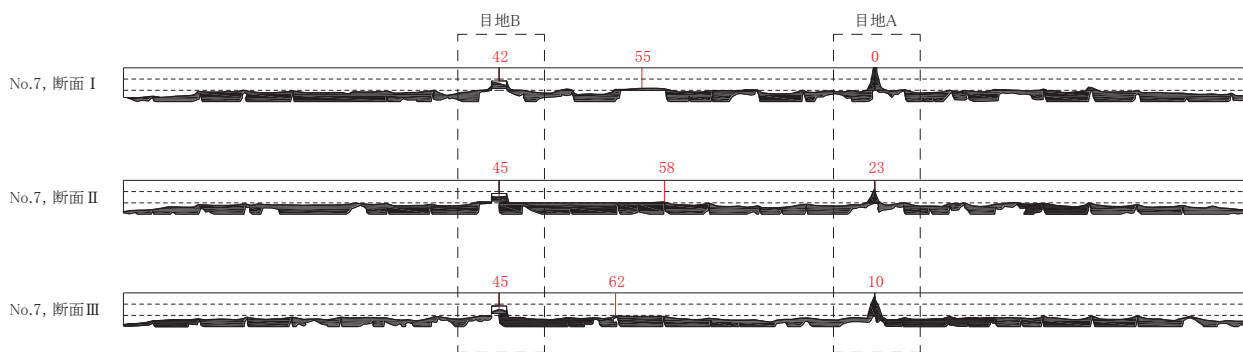


図 2.3-22 炭化図

表 2.3-10 残存断面の最小値

	目地 A 残存断面最小厚さ (mm)	目地 B 残存断面最小厚さ (mm)	一般部 C 残存断面最小厚さ (mm)
断面 I	0	42	55
断面 II	23	45	58
断面 III	10	45	62

2. 4 まとめ

2. 4. 1 考察

今回の一連の試験の結果より、CLT を用いた防火構造外壁仕様について考察する。

1) CLT 一般部について

CLT 一般部の非損傷性は、温熱上最低限の外張り断熱材に一般的な防火構造外装材を合わせることでほぼ問題無く担保できると思われる。また、遮熱性については 90mm 厚の CLT 単体で既に担保されている。

2) 目地仕様

防火構造の性能について最も重要となるのは CLT 目地の遮熱性、遮炎性である。施工性を考慮して目地間クリアを見込む場合は何らかの措置が必要となる。また、これは断熱材、外装材との組合せで考える必要がある。

不利側とされる有機系断熱材の場合は、今回試験した留め付けの固定度が低い木材外装材のように外装材の性能に期待できない場合は、目地仕様で十分な遮炎性、遮熱性を確保する必要がある。一つの仕様として雇い実は有効であるが、CLT に欠き込みをするため、ラミナの接着面を残しておくために実の厚さは CLT のラミナ厚より小さく、かつ突破されないための厚さが必要となる。今回の CLT ラミナ厚 30mm に対して雇い実の厚さ 20mm は一つの回答である。さらに、雇い実まわりのラミナ炭化層の早期の脱落を防止し雇い実への燃え込みを抑制するためには、CLT 目地に関わる材端部のラミナ幅について、ラミナの接着面を確保するために、雇い実の欠き込み深さにある程度プラスした寸法が必要であろう。

雇い実以外でも、CLT の木材加工で対処する方法としては合いじゃくり、非加熱面（屋内側）でのスプラインなどが考えられる。

また、今回は金属ジョイナーでは良い結果が得られなかったが、板厚、幅、留め付けピッチを変えることで有効な目地処理とすることは可能と思われる。そのほか、加熱膨張剤も考えられる。いずれにしても、施工性やコストを考慮して標準仕様を検討しなければならない。

3) 外張り断熱材及び外装材

前述の CLT 目地への対応がされていれば、今回試験した無機系、有機系断熱材はいずれも使用可能である。外張り断熱材が外装材無しで使用されることはあり得ず、外装材との組合せで考える必要があるが、今回試験した木材外装材は一般的な防火構造の外装材よりもかなり不利側と考えられる。木材外装材は加熱 9 分頃から脱落を開始したので、他の外装材を選択する場合はそれ以上脱落せず維持できる材料を選べば、ほぼ間違いはないだろう。木材外装材で認定試験を受ける場合にはさらに断面欠損させる加工が必要となるが、今回は脱落が先行しているため加工しても性能にはさほど影響しないと考えられる。

2. 4. 2 防火構造の要求性能を満たすと思われる仕様

今回の試験で確認できた、厚さ 90mm の CLT を使用した防火構造外壁の性能を満たすと思われる仕様を整理する。

表 2.4-1 防火構造を満足する仕様例

パネル幅方向の目地仕様 ※1	突き付け (クリアランス 2mm) 平面取り (見付け 10mm) 雇い実 (20×40mm)
外張り断熱材の種類	グラスウール断熱材(密度 32kg/m ³ 以上、厚 25mm 以上) 横棧 25×45 以上 @910 以下 留め付け スクリュー傘釘 径 13×50 以上@400 以下 または縦胴縁@455 を介しねじ径 5×80 以上@500 以下
	ロックウール断熱材(密度 40kg/m ³ 以上、厚 25mm 以上) 横棧 25×45 以上 @455 以下 留め付け スクリュー傘釘 径 13×50 以上@400 以下
	ロックウール板 (ラム)断熱材 (密度 75 kg/m ³ 以上、厚 80mm 以上) アクリル樹脂系接着剤
	下記のいずれか ポリスチレンフォーム断熱材 3種 b 以下※2 (厚 25mm 以上) ウレタンフォーム断熱材(密度 30kg/m ³ 以上、厚 25mm 以上) フェノールフォーム断熱材(密度 27kg/m ³ 以上、厚 25mm 以上) 留め付け 縦胴縁@455 を介しねじ径 5×80 以上@455 以下
外装仕上げ材※3	木製外装材 (横張り、突き付け) 厚 15mm×幅 100mm 以上 表面塗装 : シッケンズ セトル 塗布量 180g/m ² 以下

※1 : 他にも合いじゃくり、スプライン (屋内側) が考えられる。

※2 : ポリスチレンフォームの場合は密度が高い方が不利側の為

※3 : 他にも防火構造取得の外装材 (窯業系サイディング、金属サイディング) などが考えられる

なお、章末に資料として各試験体の断面構成ごとの試験結果まとめた。

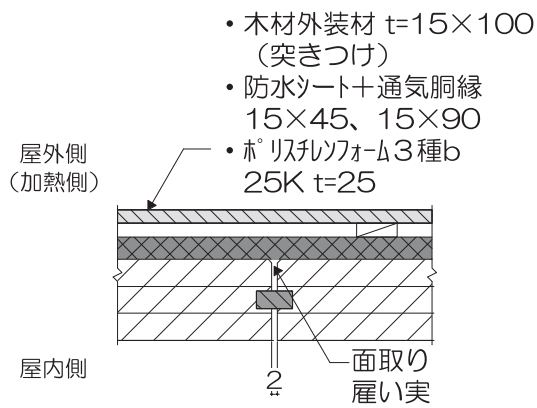
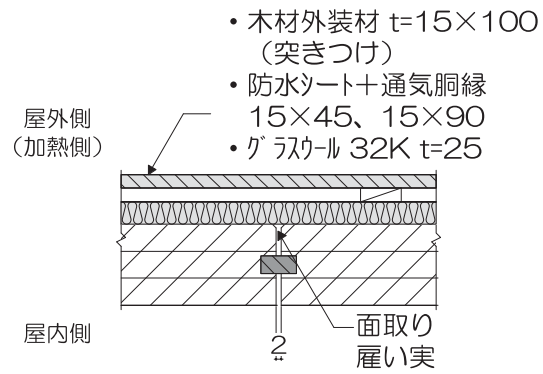


図 2.4-1 今回の実験により性能を確認した仕様

参考 防火構造予備試験結果一覧

防火構造第1期予備試験結果

試験場所 : 建材試験センター 壁炉
 日時 : 平成27年 9月16、18、24日 10月22、23日
 試験体共通事項 : CLT / 3層3プライ Mx60 樹種スギ
 試験体サイズ / 3200×3600mm (鋼製枠材含む) ※試験体 No.1 のみ 3000×2950
 加熱面 / 屋外側
 非載荷試験 ※試験体 No.1 のみ載荷試験、載荷荷重はオイラーの式でヤング率は JAS 値にて算出
 加熱時間 / 30分 ※試験体 No.1 のみ荷重支持能力を失うまで試験

1. 一般部分

1) CLT 単体

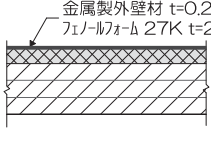
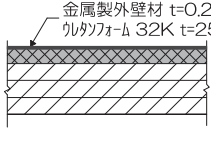
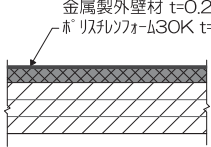
No	仕様概要(断面)	試験体 No	CLT 残存厚さ(mm)		備考
			測定値	平均値	
1	屋外側(加熱側) 繊維混入珪酸加珪板 t=5 屋内側	1	上 h/4 部 : 49 中央部 : 52 下 h/4 部 : 53	51	46分で荷重支持能力を失った時点の厚さ
2	屋外側(加熱側) 屋内側	2	上 h/4 部 : 53 中央部 : 60 下 h/4 部 : 58	57	
		3	57	57	

2) 無機系断熱材

No	仕様概要(断面)	試験体 No	CLT 残存厚さ(mm)		備考
			測定値	平均値	
3	屋外側(加熱側) グラスウール 32K t=25 屋内側	3	72	72	断熱材留付 : つめ付き座金、ねじ 3.8×57、一部傘釘 13×41 断熱材の落下なし
4	屋外側(加熱側) ロックウール 40K t=25 屋内側	4	上 h/4 部 : 77 中央部 : 81 下 h/4 部 : 77	78	断熱材留付 : 傘釘 13×50
5	屋外側(加熱側) 金属製外装材 t=0.27 グラスウール 32K t=25 屋内側	4	上 h/4 部 : 73 中央部 : 78 下 h/4 部 : 75	75	金属製外装材は有機系断熱材の評価比較のために追加
6	屋外側(加熱側) ロックウール(垂直繊維) 75K t=80 接着張り 屋内側	4	上 h/4 部 : 90 中央部 : 90 下 h/4 部 : 90	90	CLT の損傷全く無し

※加熱終了から脱炉～消火まで3から4分経過、その間炭化が進んでいる事に留意。以下同様。

3) 有機系断熱材

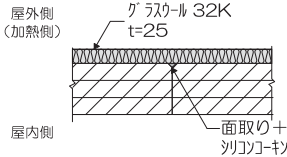
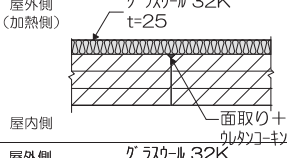
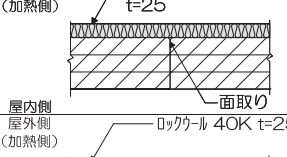
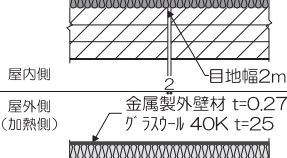
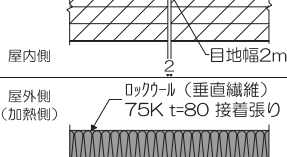
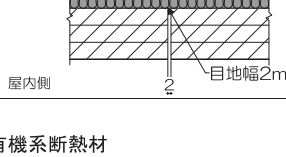
No	仕様概要(断面)	試験体 No	CLT 残存厚さ(mm)		備考
			測定値	平均値	
7	屋外側(加熱側)  屋内側	5	上 h/4 部 : 66 中央部 : 75 下 h/4 部 : 73	71	断熱材留付 : 傘釘 13×50 有機系断熱材への直接の着火を防止するため金属製外装材張りとした。
8	屋外側(加熱側)  屋内側	5	上 h/4 部 : 61 中央部 : 70 下 h/4 部 : 65	65	同上
9	屋外側(加熱側)  屋内側	5	上 h/4 部 : 57 中央部 : 63 下 h/4 部 : 58	59	同上

2. 目地直接加熱部分

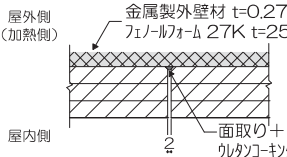
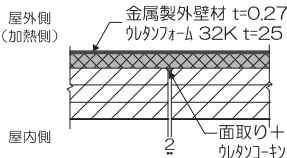
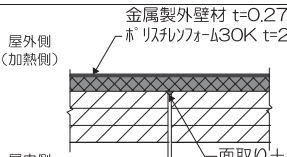
No	仕様概要(断面)	試験体 No	CLT 残存厚さ(mm)		備考
			測定値	平均値	
1	屋外側(加熱側)  屋内側	3	57	57	2分 : 煙生じる
2	屋外側(加熱側)  屋内側	—	未試験		
3	屋外側(加熱側)  屋内側	2	上 h/4 部 : 10 中央部 : 30 下 h/4 部 : 20	20	6分 : ジョイント変形はじまる 29分 : 炉内貫通
4	屋外側(加熱側)  屋内側	2	上 h/4 部 : 52 中央部 : 57 下 h/4 部 : 60	56	6分 : アルミプレート脱落 28分 : 炉内貫通
5	屋外側(加熱側)  屋内側	2	上 h/4 部 : 60 中央部 : 63 下 h/4 部 : 65	63	14分 : 煙生じる(No.2)
		3	60	60	17分 : 煙生じる(No.3)
6	屋外側(加熱側)  屋内側	3	61	61	2分 : 煙生じる (4分で止まる) 24分 : 再度煙生じる

3. 断熱材部の目地

1) 無機系断熱材

No	仕様概要(断面)	試験体 No	CLT 残存厚さ(mm)		備考
			測定値	平均値	
1	屋外側(加熱側)  屋内側	3	81	81	
2	屋外側(加熱側)  屋内側	3	78	78	
3	屋外側(加熱側)  屋内側	3	79	79	
4	屋外側(加熱側)  屋内側	4	上 h/4 部 : 63 中央部 : 67 下 h/4 部 : 70	67	23 分 : 下部隙間から赤熱確認
5	屋外側(加熱側)  屋内側	4	上 h/4 部 : 30 中央部 : 55 下 h/4 部 : 55	47	25 分 : 下部隙間から赤熱確認
6	屋外側(加熱側)  屋内側	4	上 h/4 部 : 90 中央部 : 90 下 h/4 部 : 90	90	

2) 有機系断熱材

No	仕様概要(断面)	試験体 No	CLT 残存厚さ(mm)		備考
			測定値	平均値	
7	屋外側(加熱側)  屋内側	5	上 h/4 部 : 30 中央部 : 71 下 h/4 部 : 60	54	25 分 : 隙間から赤熱確認
8	屋外側(加熱側)  屋内側	5	上 h/4 部 : 0 中央部 : 0 下 h/4 部 : 0	0	20 分 : 隙間から赤熱確認
9	屋外側(加熱側)  屋内側	5	上 h/4 部 : 0 中央部 : 0 下 h/4 部 : 0	0	21 分 : 隙間から赤熱確認

防火構造第2期予備試験結果

試験場所 : 建材試験センター 壁炉

日時 : 平成28年 2月10、12日

試験体共通事項 : CLT / 3層3プライ Mx60 樹種スギ

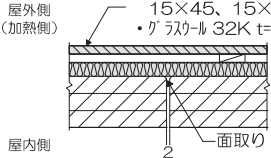
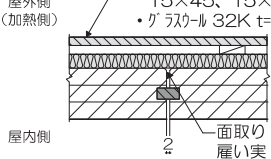
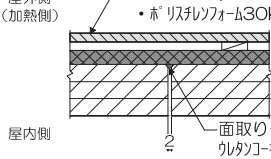
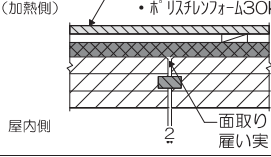
目地クリアランス / 2mm

試験体サイズ / 3000×2950mm

加熱面 / 屋外側

加熱時間 / 30分

載荷加重/440kN (載荷荷重はオイラーの式で、ヤング率は実測値を計算式に代入)

No	仕様概要(断面)	試験体 No	CLT 残存厚さ(mm)		備考
			一般部	目地部	
1	<ul style="list-style-type: none"> • 木材外装材 t=15×100 (突きつけ) • 防水シート+通気胴縁 15×45、15×90 • グラスウール 32K t=25 	6	上 h/4 部 : 66 中央部 : 77 下 h/4 部 : 70	上 h/4 部 : 10 中央部 : 69 下 h/4 部 : 3	23分 : 目地の隙間が炉内に貫通。 28分 : 上部より発炎、試験終了まで継続 断熱材留付は胴縁にて、傘釘なし 断熱材の部分的な落下及び収縮あり
2	<ul style="list-style-type: none"> • 木材外装材 t=15×100 (突きつけ) • 防水シート+通気胴縁 15×45、15×90 • グラスウール 32K t=25 	6	上 h/4 部 : 66 中央部 : 77 下 h/4 部 : 70	上 h/4 部 : 61 中央部 : 69 下 h/4 部 : 65	7分 : 目地から煙
3	<ul style="list-style-type: none"> • 木材外装材 t=15×100 (突きつけ) • 防水シート+通気胴縁 15×45、15×90 • ホリスパルフォーラム30K t=25 	7	上 h/4 部 : 55 中央部 : 58 下 h/4 部 : 62	上 h/4 部 : 0 中央部 : 23 下 h/4 部 : 10	19分 : 目地から煙 25分 : 目地の隙間が炉内に貫通 断熱材留付は胴縁にて、傘釘なし
4	<ul style="list-style-type: none"> • 木材外装材 t=15×100 (突きつけ) • 防水シート+通気胴縁 15×45、15×90 • ホリスパルフォーラム30K t=25 	7	上 h/4 部 : 55 中央部 : 58 下 h/4 部 : 62	上 h/4 部 : 42 中央部 : 45 下 h/4 部 : 45	7分 : 目地から煙