

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

「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

報告書

2022 年 2 月
株式会社 長谷萬

「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

目次

1. 事業概要	1
1.1 事業の背景と目的	1
1.1.1 事業の背景	1
1.1.2 本事業の目的	4
1.2 事業実施体制とスケジュール	5
1.2.1 実施体制	5
1.2.2 全体スケジュール	6
2. 事業内容	7
2.1 小型試験炉での加熱試験（無载荷加熱による予備試験）	7
2.1.1 試験目的	7
2.1.2 試験概要	7
2.1.3 試験方法	8
2.1.4 試験結果	14
2.1.5 試験結果の考察	26
2.1.6 試験写真	29
2.2 水平炉での加熱試験（载荷加熱による本試験）	37
2.2.1 試験目的	37
2.2.2 試験概要	37
2.2.3 試験方法	40
2.2.4 試験結果	50
2.2.5 試験結果の考察	57
2.2.6 試験写真	60
3. DLTの活用と普及にむけて	69
3.1 DLTの活用について	69
3.2 DLTの利用拡大に向けた課題	71
4. 添付資料	72
5. 謝辞	90
6. 参考資料	90

1. 事業概要

本報告書では、令和2年度 木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材 技術開発・普及事業による「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」について報告する。

事業名 : 「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

事業主体 : 株式会社長谷萬

事業期間 : 令和3年5月9日～令和4年2月19日

1.1 事業の背景と目的

1.1.1 事業の背景

- 木ダボ積層材（DLT：Dowel Laminated Timber）は、製造時に接着材や釘を使用せず木ダボで板材等を積層した床・壁・屋根などに使用できる構造材である（写真1）。大規模な製造設備が不要で中小の製材事業者に適した高付加価値型の多品種少量に適した木材製品である。地域分散型で生産することで地域の木材産業の活性化につながるとして、欧州の山間部では小さな製材所、加工所、工務店によって、DLTのサプライチェーンが構築されている。今日では北米でも生産が開始されている木質素材である。



写真1 スギDLT 基本タイプ

- DLTの製造は図1で示すように板の配列、穿孔、ダボ挿入という単純な工程で、木材の加工性の高さを活かした多彩な表面デザインが可能である（表1）。また素材段階での寸法許容範囲が広く、歩留りが良いため、現状よりさらに高い製材歩留りを目指せる可能性がある。

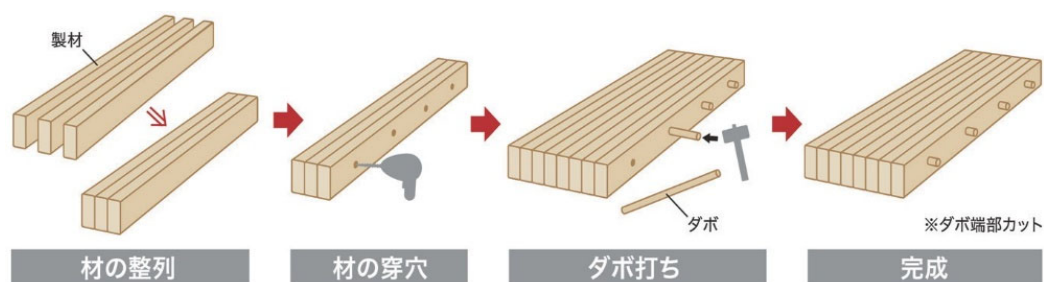


図 1 DLT 製造工程

表 1 DLT表面意匠のバリエーション例

基本タイプ 加工しないひき板の積層。	ベベルエッジ タイプ 1 平面を残し、斜めに深く削り、凸凹を強調したもの。	ベベルエッジ タイプ 2 ひき板端部の斜め加工により、表面に変化をつけたもの。
		
丸身付き 丸身付きのひき板により、均質でない、自然でラフな印象。	グループエッジ タイプ 1 側面に溝をつけたひき板の積層により、それぞれのひき板を強調したもの。	グループエッジ タイプ 2 側面に溝をつけたひき板の積層により、ひき板の凸凹を強調したもの。
		

- ・ 本事業は令和元年度木材産業・木造建築活性化対策事業（横架材・ 2×4 部材等の製品・技術開発事業）、令和2年度 木材製品の消費拡大対策事業のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業で実施した「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」の成果を踏まえ実施するものである。これまでに2年にわたり実施した事業ではDLTの構造面等に関して以下のことを確認した。

1) 曲げ性能の確認

DLTは複数のラミナを木ダボにより積層している。木ダボ積層で強度が増すことはないが、梁の曲げ試験の結果より、ラミナにJAS甲種2級同等材を使用したスギ DLT は、同断面のスギ集成材 E65F255 同一等級構成の梁の平使いと同等程度の曲げ性能が確認された。また、偏荷重による梁の曲げ試験の結果より、木ダボによる荷重分散効果が確認され、その破壊性状も一気に壊れるような脆性的な破壊でなく、弱いラミナから徐々に破壊するが延性的で粘り強い性状が確認され、床版や屋根パネルとして活用できることを確認した。

2) 壁性能の確認

面内せん断試験の結果より、DLTの構成材の幅寸法により、高い耐力を有することが確認でき、DLT壁は耐力壁要素としても利用可能と確認した。現状は壁倍率の認定未取得のため、DLTを耐力壁として使用する場合は、試験結果より得られた特性値をもとに許容応力度計算が必要であるが耐力壁として活用できる。

3) 意匠性の検証

予め断面加工した木材を積層することにより、DLTに多様な意匠性を持たせられる。一般的に利用されない丸身付き材の活用により歩留まりを向上できる。DLTの高い意匠性を活かすことで、非住宅用途での天井現しの床や屋根、内装壁としても活用できる。

4) 吸音性の検証

積層する木材の断面加工と吸音材との組み合わせにより、DLTに高い吸音性能を付与できる。意匠性だけでなく吸音性を有する、機能的構造面材として活用できる。

5) DLT -コンクリート複合床版の曲げ性能の確認

DLTの上面にコンクリートを打設したDLT-コンクリートの複合材 (T-CC; Timber-Concrete Composite) の曲げ試験により、曲げ剛性の向上が確認された。将来的に木造以外のS 造やRC造の床構造としてDLTとコンクリートの複合床版 (T-CC デッキ) の活用が期待できる。

- ・ これまで主にDLT の構造面での性能評価を進め、防火性能が要求されない戸建て住宅や低層木造建築物でDLTの活用を推進し活用が増えつつある。DLTによる木質感あふれる室内空間の特徴や、パネル化による施工性の良さから、住宅用途や非住宅木造での利用が始まっている。
- ・ 一方、DLTのさらなる利用領域の拡大のために、床面積の大きい非住宅中大規模木造、木造以外のS 造・RC 造でのDLT 利用の道筋が求められるが、そうした中大規模木造等への適用で必要となるDLTの防火性能の検証は国内未実施で、DLTの耐火性能は把握できていない。

- ・ 建築基準法では、防火地域や準防火地域などの地域区分、規模（階数や高さ、延べ面積）や用途に応じて異なる防火性能が要求されるが、2018年6月の建築基準法の改正により大規模木造建築物に係る防火制限が合理化され、技術的基準に適合した木造建築物は規模による建築物の構造制限が緩和された。さらに、2021年10月に「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行され、非住宅中大規模木造建築や都市部での木造建築の増加、それに伴う木造建築物への防火性能要求が高まると推測される。
- ・ 準耐火建築物（表 2）で構造材を木材現わしとする場合、準耐火構造の構造方法を定める告示（平12建告1358号）により燃えしろ設計が必要となるが、集成材やCLT等の接着による積層材と異なり、薄い板を木ダボで積層するDLTは燃えしろ設計にそぐわない。また、積層材の隙間からの燃えひろがりや燃え抜け、木ダボの燃焼などの懸念もあり、こうしたDLTの特徴をふまえた防火性能の検証が、DLT利用拡大の観点で必要といえる。

表 2 準耐火建築物の種類

イ 準耐火建築物（主要構造部準耐火構造）	ロ 準耐火建築物1号（外壁耐火型）	ハ 準耐火建築物2号（不燃構造型）
延焼のおそれのある部分 屋根：30分 軒裏：45分 間仕切壁：45分 床：45分 軒裏：30分 防火戸（防火設備） 階段：30分 はり：45分 柱：45分 外壁（非耐力）：30分 外壁（耐力）：45分 ※時間は準耐火構造の要求時間	延焼のおそれのある部分 屋根葺材：不燃材料等 屋根の構造：20分 準耐火構造30分 防火戸（防火設備） 外壁：耐火構造	延焼のおそれのある部分 屋根葺材：不燃材料等 3F床：30分 床：準不燃材料 防火戸（防火設備） 階段：準不燃材料 はり：不燃材料 柱：不燃材料 外壁：準不燃材料
すべての主要構造部を準耐火構造として一定時間建物が崩壊しないようにする 〔主に木造〕	外壁を耐火構造として、一定時間建物が崩壊しないようにする 〔主にRC造、木造〕	主要構造部を不燃材料等でつくり、一定時間建物が崩壊しないようにする 〔主に鉄骨造〕

※イ準耐火建築物は、木造3階建ての共同住宅等・学校等・高さ16m超のいずれかの場合は、45分→1時間とする

1.1.2 本事業の目的

そこで、本事業ではDLTの加熱試験を行い、実際にDLTを燃やしDLTの防火性能の検証・確認を行う。

集成材、CLT、NLTなどマスティンバーの防火性能の検証が進んでいるが、DLTで同様の防火性能の検証を行うことで適材適所での木材利用につながると考えられる。

1.2 事業実施体制とスケジュール

1.2.1 実施体制

製材業者、大学・研究機関と連携し、以下の体制で検討委員を構成し、検討を進めた。（敬称省略）

委員長	安井 昇	（桜設計集団一級建築士事務所 代表）
委員	網野禎昭	（法政大学デザイン工学部建築学科 教授）
	宮田雄二郎	（法政大学デザイン工学部建築学科 准教授）
	花井厚周	（株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副部長）
	小井土義治	（小井土製材株式会社 代表取締役社長）
	大貫 肇	（物林株式会社 新事業推進部 部長）
	原田寿郎	（森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究専門員）
	野中峻平	（一般財団法人ベターリビング つくば建築試験研究センター）
	河野博紀	（一般財団法人建材試験センター 中央試験場）
	深町尚子	（群馬県森林環境部）
	長谷川泰治	（株式会社長谷萬 代表取締役社長）

オブザーバー：

高木 望	（林野庁 林政部 木材産業課 課長補佐）
熊谷有理	（林野庁 林政部 木材産業課 木材専門官）
松本陽子	（林野庁 林政部 木材産業課 木材専門官）
平原章雄	（木構造振興株式会社 常務取締役）
宮城県CLT 等普及推進協議会	

事務局 鈴木康史、小林辰美（株式会社長谷萬）

1.2.2 全体スケジュール

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
委員会		▽					▽		▽	
材料調達		—	—		—	—				
試験体製作			—	—			—			
試験実施				—				—		
事業報告作成							—	—	—	—
P R 活動				—	—	—	—	—	—	—

委員会の開催日程

第1回 令和3年6月23日(水曜日) 14:00～15:30 オンライン

第2回 令和3年11月1日(月曜日) 10:00～11:30 オンライン

第3回 令和4年1月28日(金曜日) 10:00～11:30 オンライン

2. 事業内容

2.1 小型試験炉での加熱試験（無载荷加熱による予備試験）

小型試験炉で1m×2m程度の試験体にて無载荷加熱試験を実施した。

2.1.1 試験目的

以下の項目についてDLTの防火性能を確認する。

- ・ 積層材の隙間からの燃え込みの有無（遮炎性能の検証）
- ・ 積層材の燃焼性状の確認（遮熱性能の検証、炭化速度の検証）
- ・ 木ダボの燃焼の有無（非損傷性の検証）

2.1.2 試験概要

1) 試験体の仕様

試験体は1,400mm（W）×2,400mm（L）のDLT床（図2）で、DLTパネルの組立精度、経年変化によるラミナ間の隙間拡大を想定し、試験体には予め3mm、5mmの隙間を設けた4体とした（表3）。

表3 小型加熱炉 試験体の仕様

	試験体A	試験体B	試験体C	試験体D
樹種	スギ	スギ	ヒノキ	スギ
DLT構成材	38×140	30×105	30×105	30×105
隙間	あり	あり	あり	あり
床上合板	構造用合板 厚12mm			なし
加熱時間	60分	45分	45分	45分

各試験体のラミナには群馬県産スギ材またはヒノキ材を使用し、小井土製材（株）にて乾燥後の粗挽き材を含水率、重量測定し、下記の管理値で選別した素材を寸法仕上げした。

木材比重の管理値 : スギ 0.36 ±10% (Max0.38)

 ヒノキ 0.41 ±10% (Max0.45)

含水率の管理値 : 12% ±2%

なお、試験場にて選別材のサンプルの含水率および比重測定結果は以下の通り。

スギ（38×140） : 含水率14.1% 、比重 0.31

スギ（30×105） : 含水率10.4% 、比重 0.30

ヒノキ（30×105） : 含水率13.8% 、比重 0.40

構造用合板（12mm） : 含水率9.0% 、比重 0.43

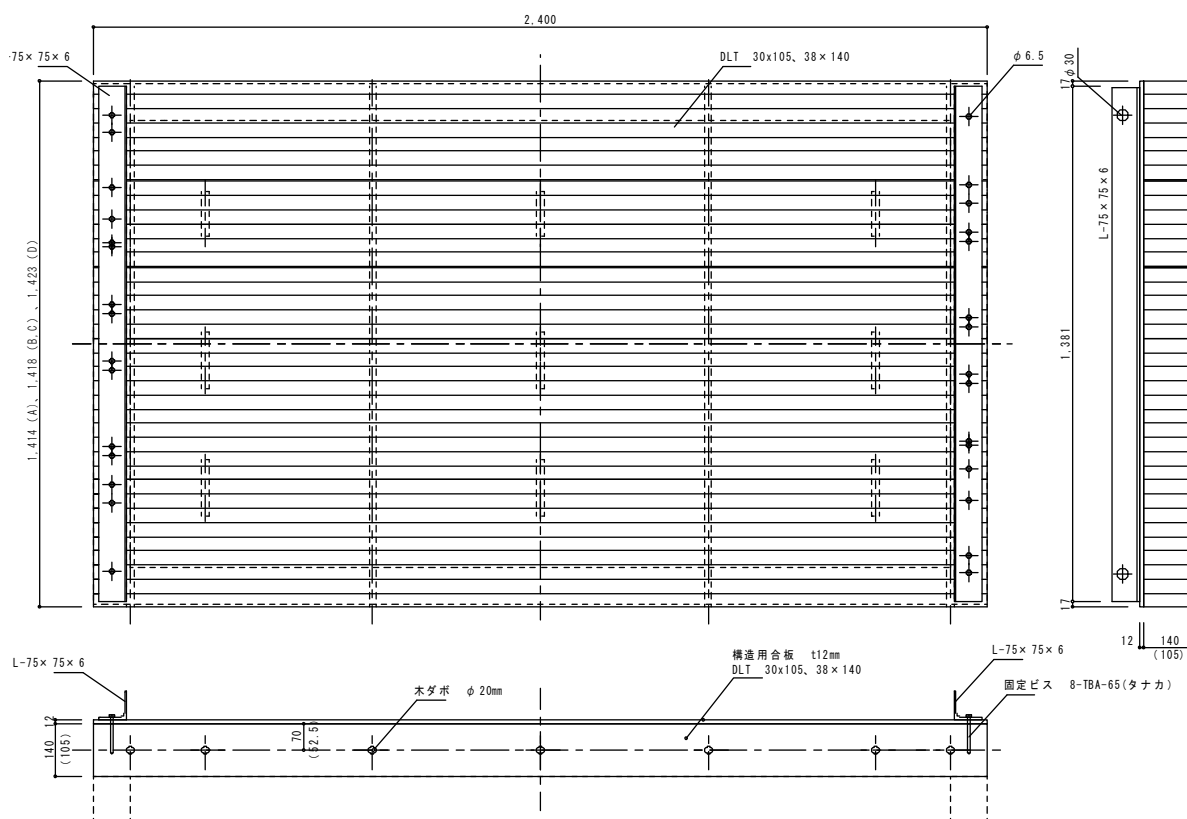


図 2 試験体姿図

2.1.3 試験方法

1) 加熱方法

試験は有効加熱範囲 1,000mm×2,000mmの(一財)ベターリビング小型加熱炉（写真 2～写真 4）にて、炉内熱電対により測定した温度（加熱温度）が(一財)ベターリビング制定「防耐火性能試験・評価試業務方法書」に規定する次式による標準加熱曲線に沿うよう制御しながら、DLT床の下面を加熱面として試験体Aは1 時間、試験体B、C、およびDは45分の加熱を行った。加熱終了後は速やかに脱炉し、注水消火した。

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20$$

ここで、T：加熱温度（℃）、t：試験の時間経過（分）

2) 測定項目

① 加熱温度

加熱温度はJIS C 1605に規定するクラス2の性能を有する線径3.2mmのSKシース熱電対を用い、その熱接点を試験体表面から100mm離れた位置に4点設置して測定した（図 3）。

② 内部温度、裏面温度

DLTの内部温度、裏面、加熱温度はJIS C 1605に規定するクラス2の性能を有する線径0.65mmのK熱電対を用い、その熱接点をDLT断面および構造用合板表面に設置して測定した。

裏面温度は、JIS C6202に規定するクラス2の性能を有する線径0.65 mmのK熱電対に厚さ0.2 mm、直径12 mmの銅板をろう付けしたディスク型熱電対を用い測定した。なお測定した熱接点部は大きさ30mm×30mm（厚さ2mm）、密度900kg/m³の断熱パッドで覆った。各試験体の温度測定位置を表 4および、図 4～図 7に、木材中の熱電対位置を図 8示す。

表 4 温度測定位置と熱電対番号

	試験体A	試験体B	試験体C	試験体D
DLT断面内 加熱面より 試験体A 20mm 試験体B,C,D 20.5mm	A-1-1 A-2-1 A-2-5	B-1-1 B-2-1 B-2-5	C-1-1 C-2-1 C-2-5	D-1-1 D-2-1 D-2-5
DLT断面内 加熱面より 試験体A 40mm 試験体B,C,D 42.5mm	A-1-2 A-2-2 A-2-6	B-1-2 B-2-2 B-2-6	C-1-2 C-2-2 C-2-6	D-1-2 D-2-2 D-2-6
DLT断面内 加熱面より 60mm	A-1-3 A-2-3 A-2-7	B-1-3 B-2-3 B-2-7	C-1-3 C-2-3 C-2-7	D-1-3 D-2-3 D-2-7
合板表面	A-1-4、A-2-4 A-3-1、A-4-1	B-1-4、B-2-4 B-3-1、B-4-1	C-1-4、C-2-4 C-3-1、C-4-1	
裏面温度	A-5-2、A-5-5 A-5-7～14	B-5-2、B-5-5 B-5-7～14	C-5-2、C-5-5 C-5-7～14	D-1-4、D-2-4 D-3-1、D-4-1 D-5-1～16
裏面温度 合板継ぎ目	A-5-1、A-5-3 A-5-4、A-5-6	B-5-1、B-5-3 B-5-4、B-5-6	C-5-1、C-5-3 C-5-4、C-5-6	

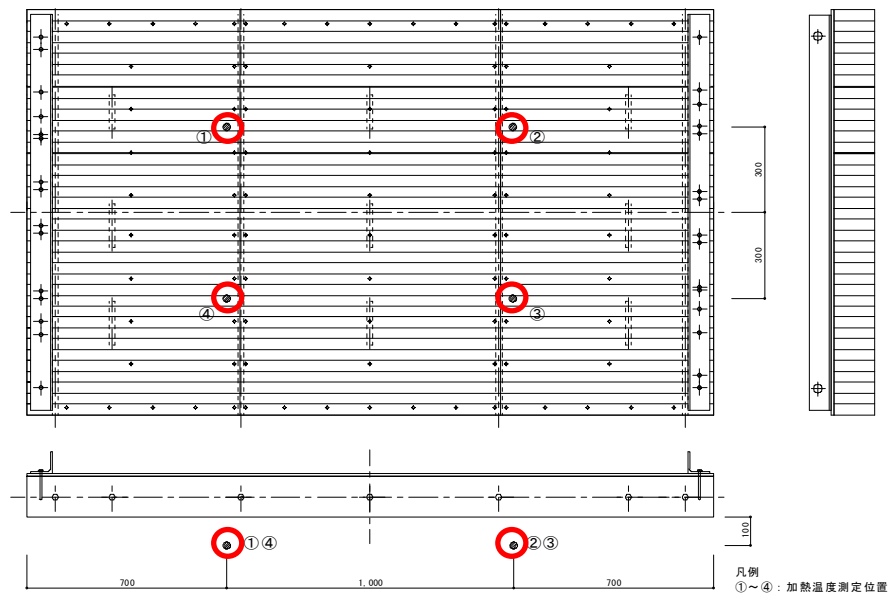


図3 小型試験炉内 温度測定位置

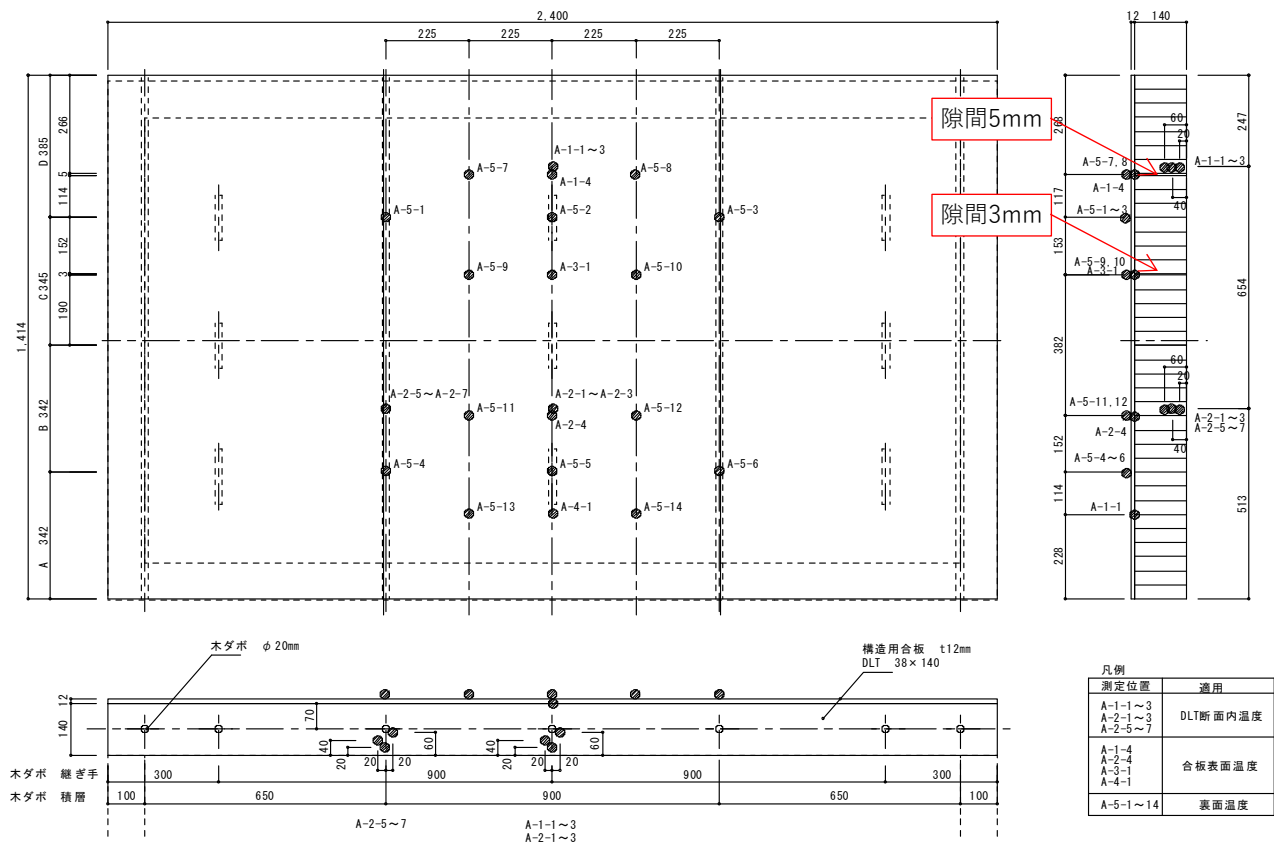


図4 試験体図 試験体A

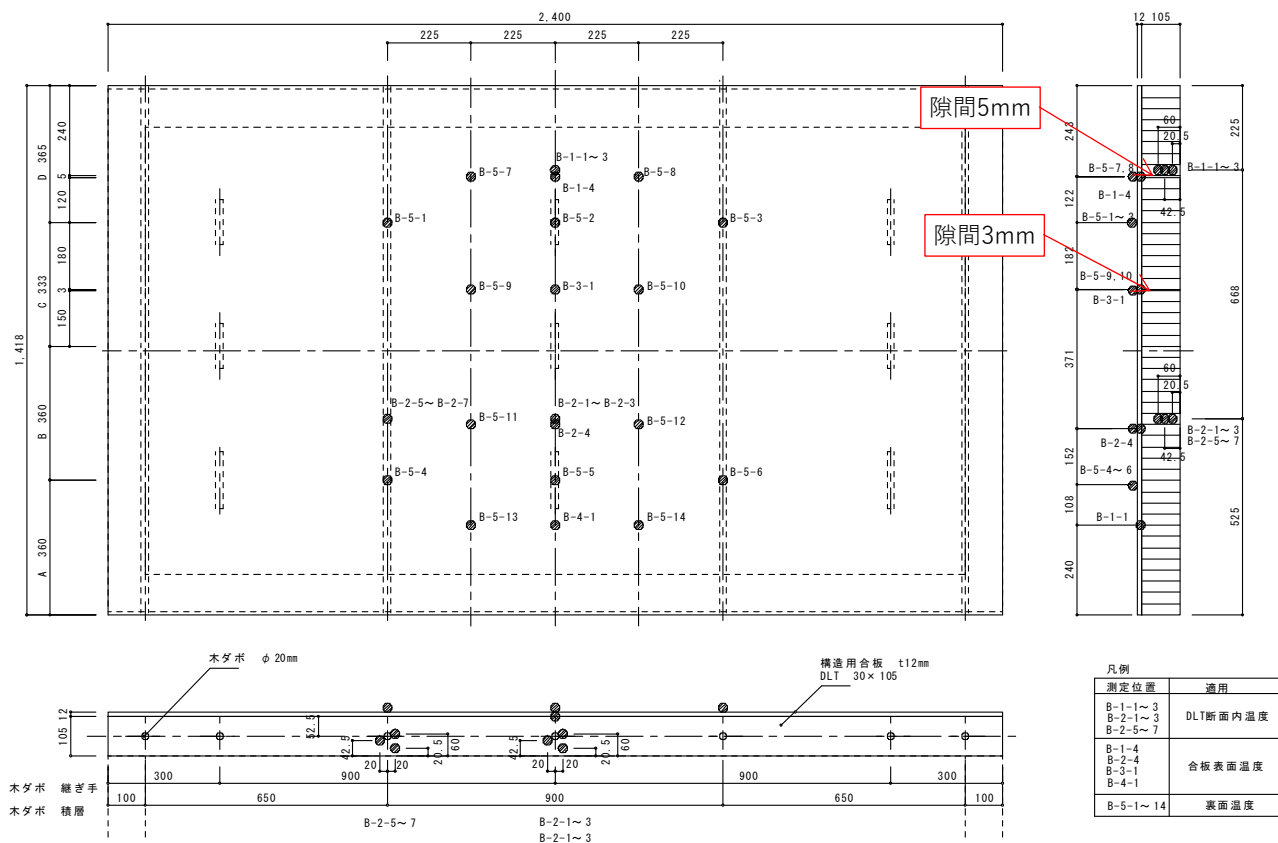


図5 試験体図 試験体B

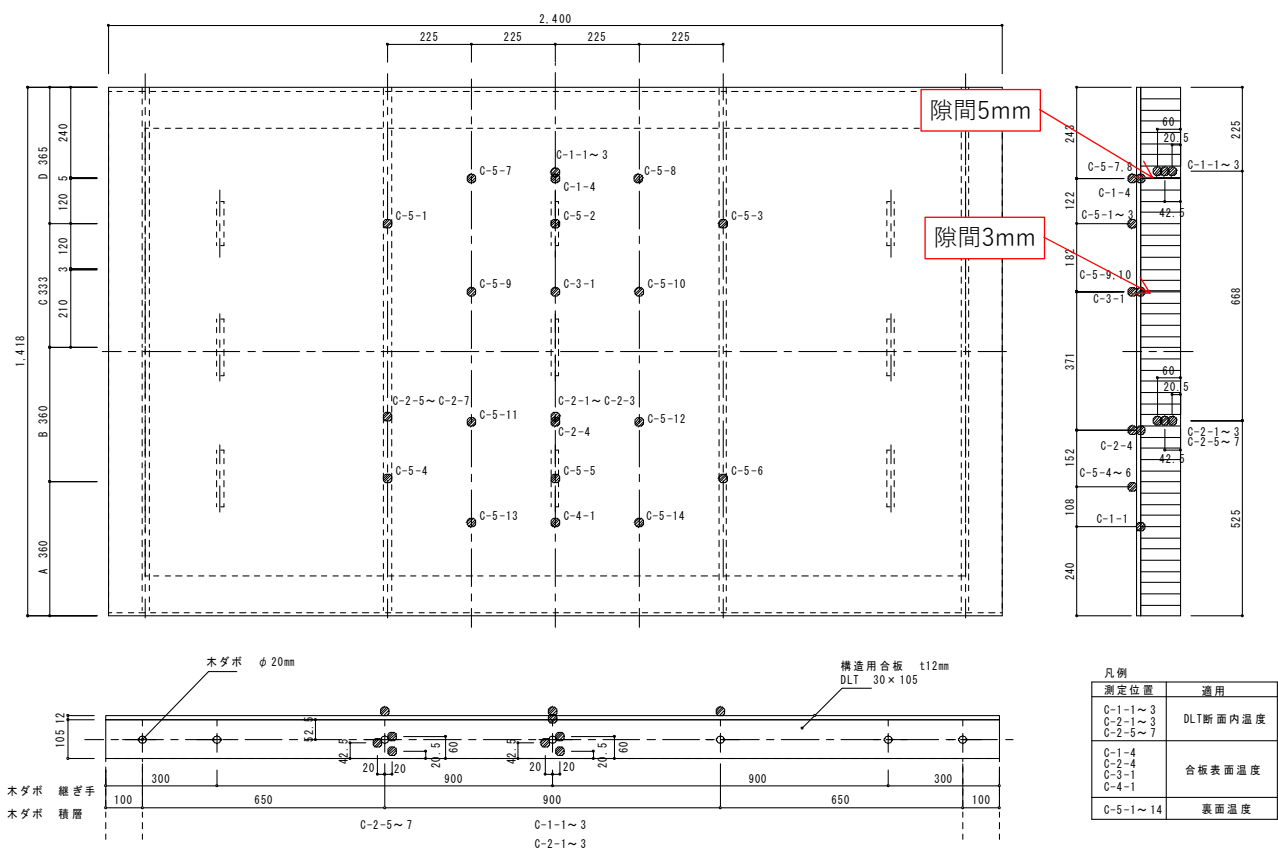


図6 試験体図 試験体C

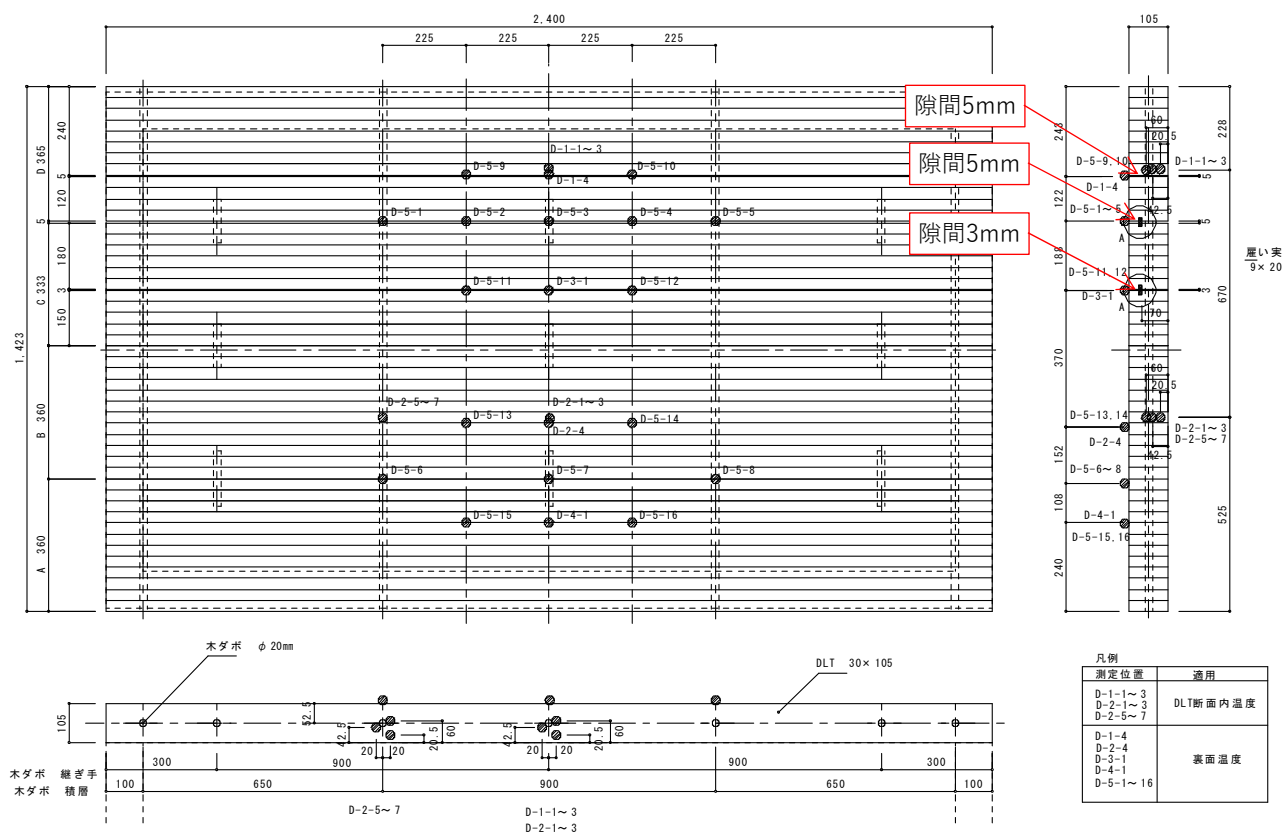


図7 試験体図 試験体D

●は熱電対位置を示す。

※ 試験体Dは隙間を3カ所（3mm、5mm×2）設け、3mmと5mmの隙間には、加熱面から70mmの位置にスギ 9×20の雇い実を挿入している。

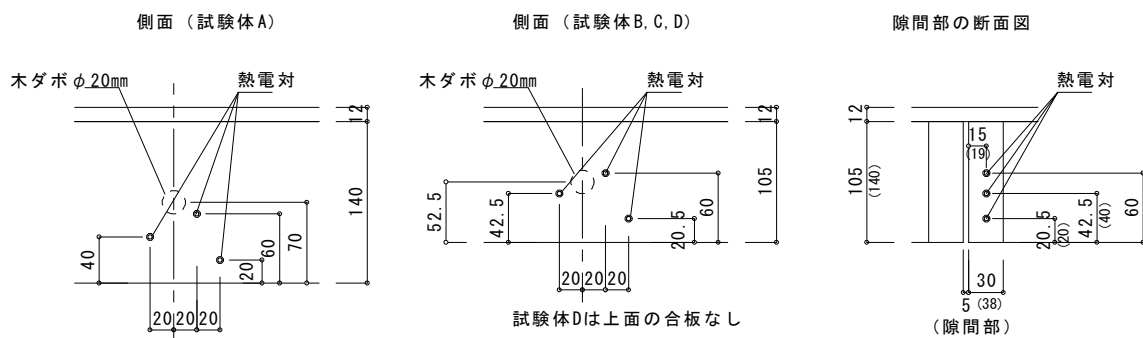


図8 木材中の熱電対位置図



写真 2 小型加熱炉 正面



写真 3 小型加熱炉 側面



写真 4 小型加熱炉 背面



写真 5 小型加熱炉 内部

2.1.4 試験結果

試験実施 一般財団法人ベターリビング つくば建築試験研究センター

試験日 8月18日 試験体A、試験体B

8月19日 試験体C、試験体D

加熱試験終了後、脱炉し注水消火を行った。試験終了後、注水消火まで試験体A：8分、試験体B：11分、試験体C：9分、試験体D：11分経過した。消火後の残存断面を目視観察した。

試験結果を表5、各温度測定結果を試験体A：図9～図12、試験体B：図14～図17、試験体C：図19～図22、試験体D：図24～図26に示す。また、試験体A、B、C、Dの残存断面測定結果を図13、図18、図23、図27に示す。

表5 試験結果

		試験体A		試験体B	試験体C	試験体D
樹種		スギ		スギ	ヒノキ	スギ
DLT構成材		38×140		30×105	30×105	30×105
床上合板		構造用合板 厚12mm				なし
加熱時間		60分		45分	45分	45分
260℃を超えた時間 (加熱開始からの経過時間) (分)	20mm	25, 29, 29		—	—	—
	20.5mm	—		24, 28, 28	31, 33	18, 28, 29
	40mm	49, 50, 51.5		—	—	—
	42.5mm	—		—	—	23
	60mm	—		—	—	27.5
遮炎性	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	なし
	非加熱側へ10秒を超えて継続する発炎の有無	なし		なし	なし	なし
	火炎が通る亀裂等の損傷の発生の有無	なし		なし	なし	なし※
遮熱性	初期温度	31℃		32℃	33℃	35℃
	裏面温度 (最高)	58℃ (加熱45分時)	61℃ (60分00秒) 【制限値：211℃】	60℃ (45分00秒) 【制限値：212℃】	53℃ (45分00秒) 【制限値：213℃】	73℃※ (45分00秒) 【制限値：215℃】
	裏面温度 (平均)	42℃ (加熱45分時)	47℃ (60分00秒) 【制限値：171℃】	40℃ (45分00秒) 【制限値：172℃】	39℃ (45分00秒) 【制限値：173℃】	41℃ (44分30秒) 【制限値：175℃】

※ 試験体Dは合板上貼りがなく炉内貫通の状態であることから、材長方向隙間部で測定した裏面温度D1-1-4、D-5-9、およびD-5-10の3点は参考値とし、遮炎性の判定及び裏面温度制限値の適用除外とした。

1) 試験体A

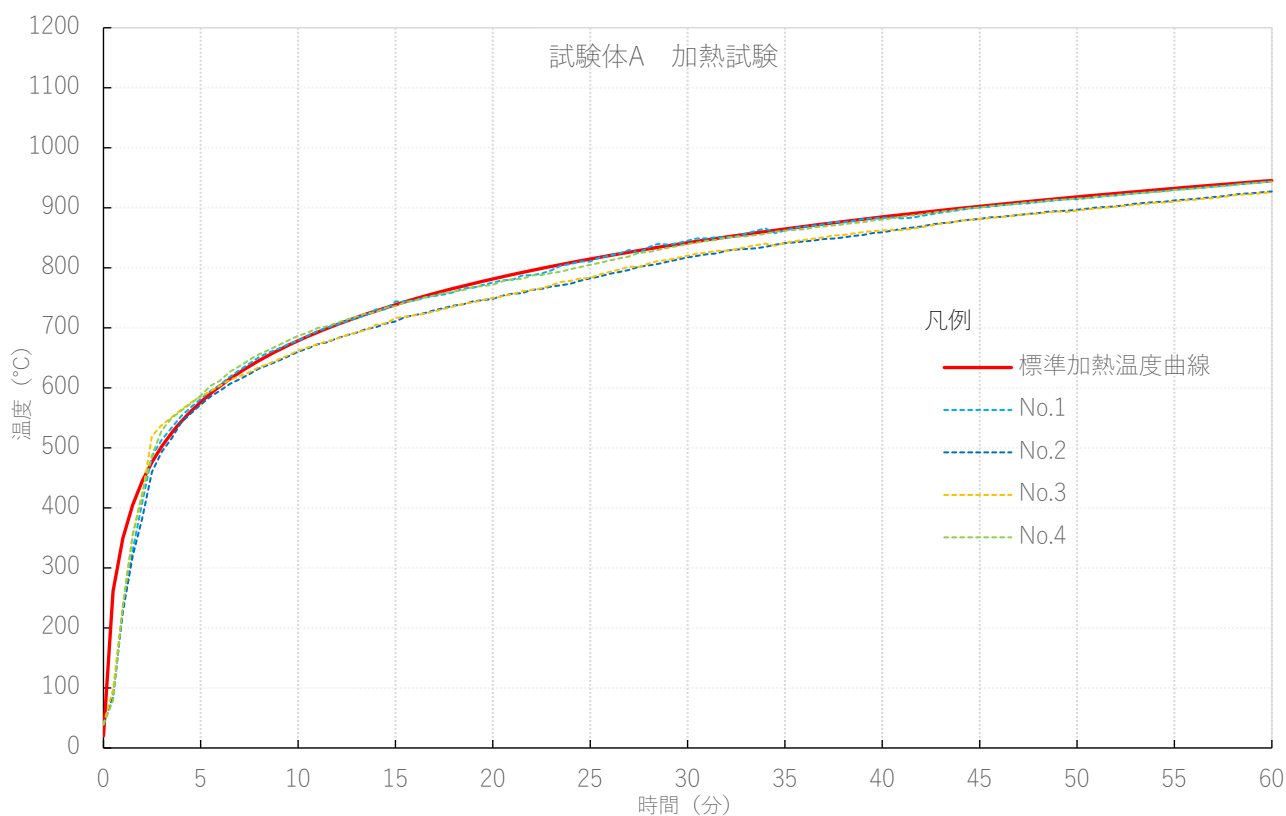


図9 試験体A 加熱温度測定結果

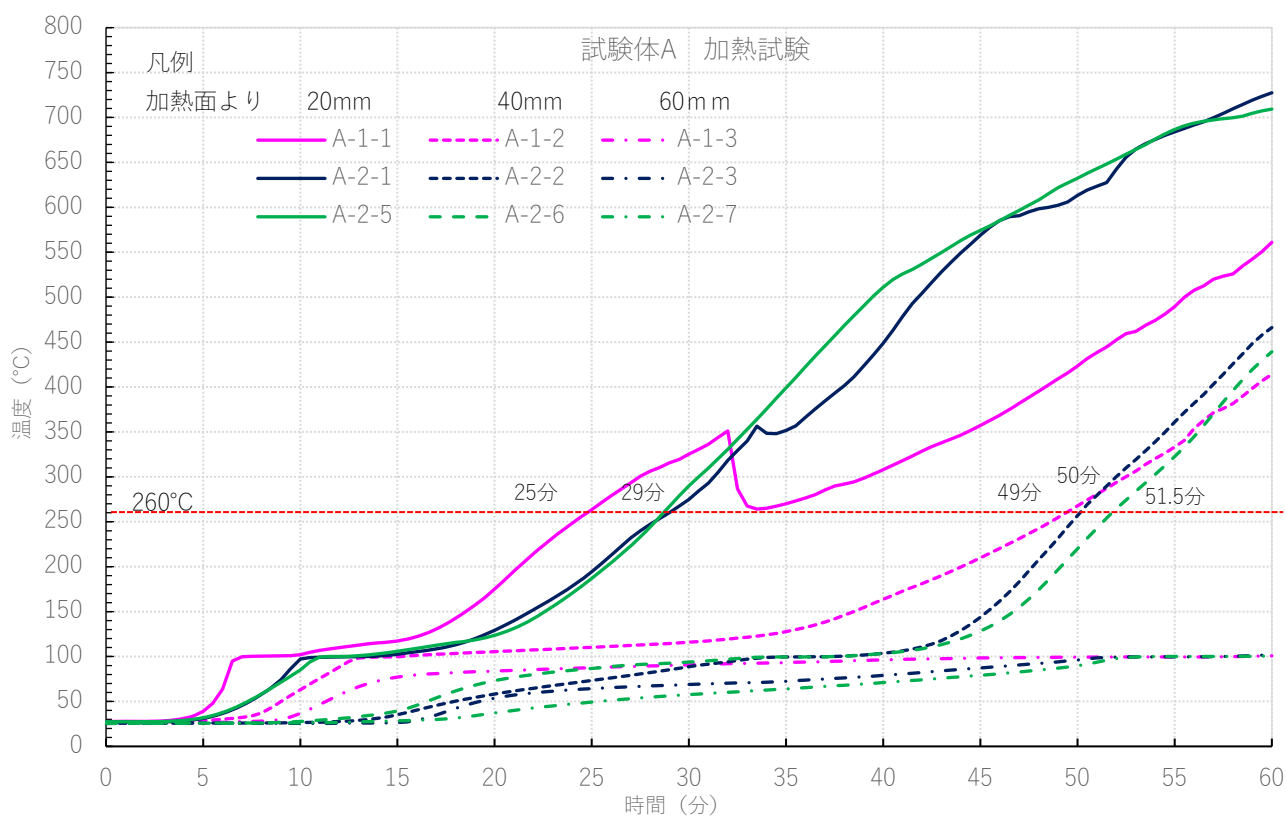


図10 試験体A 内部温度測定結果

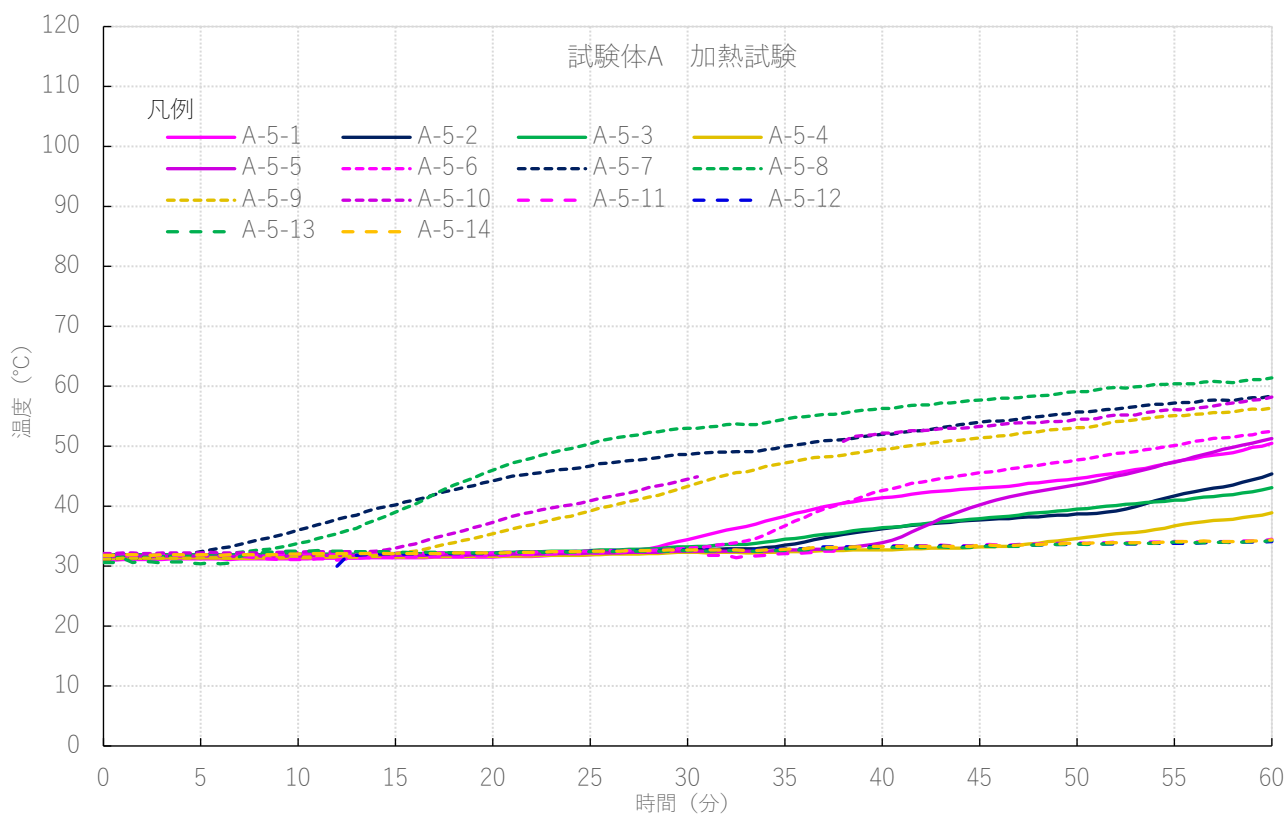


図 11 試験体A 裏面温度測定結果

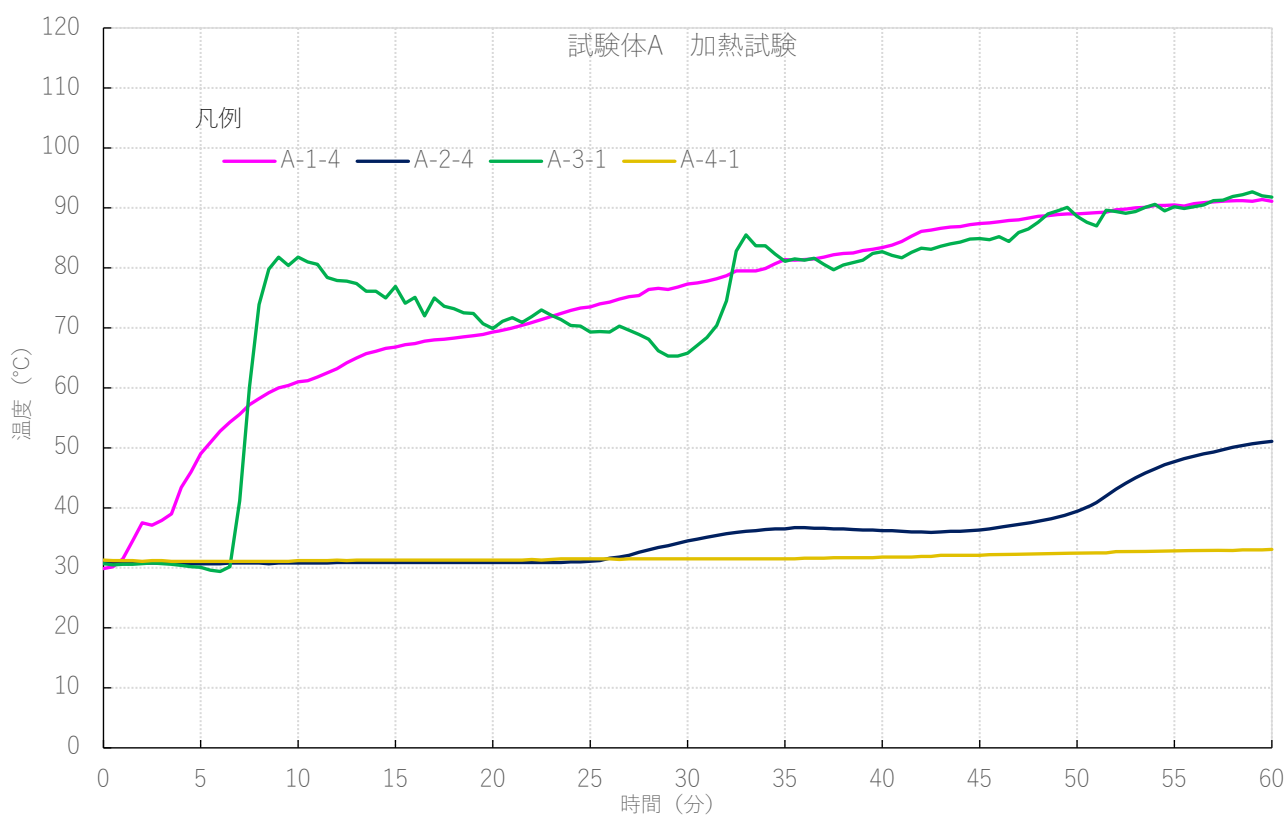


図 12 試験体A 合板表面温度

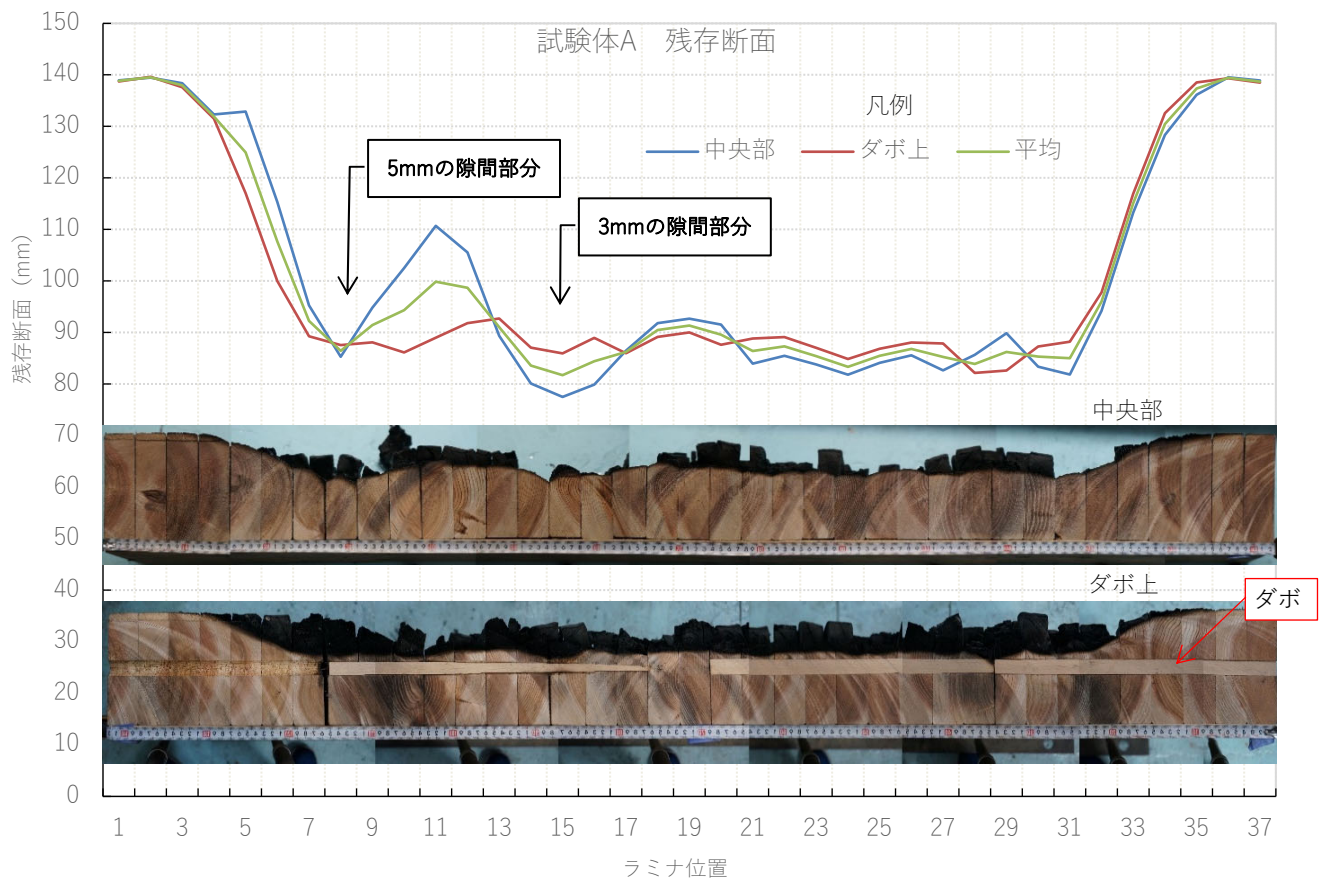


図 13 試験体A 残存断面測定結果

2) 試験体B

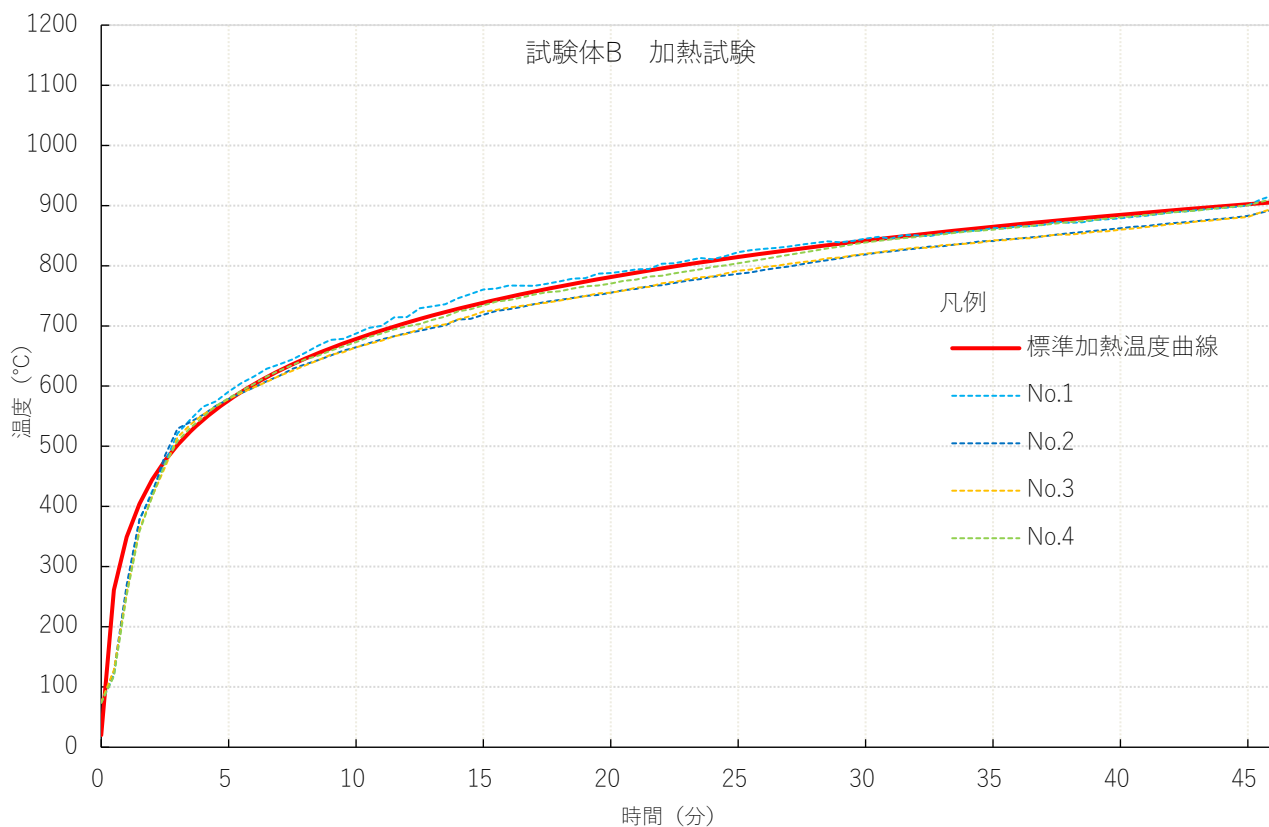


図 14 試験体B 加熱温度測定結果

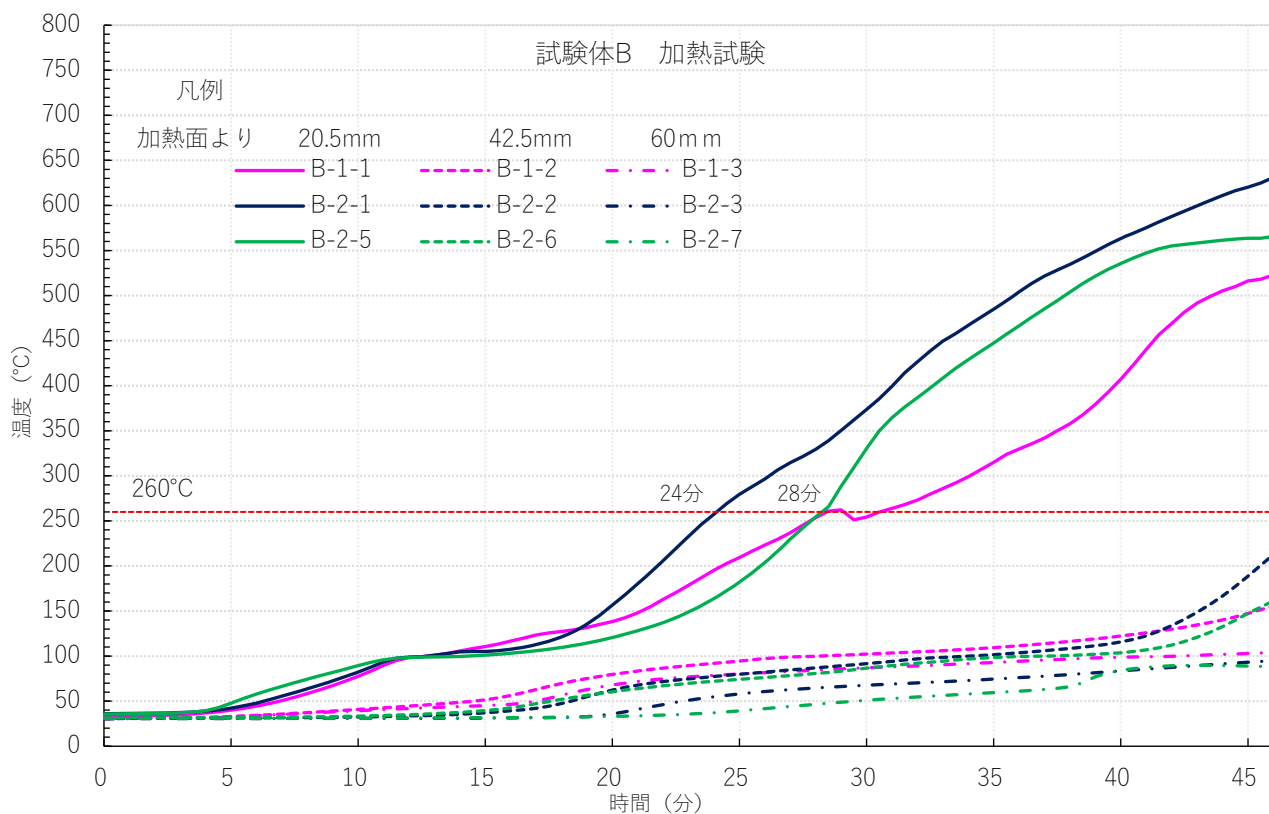


図 15 試験体B 内部温度測定結果

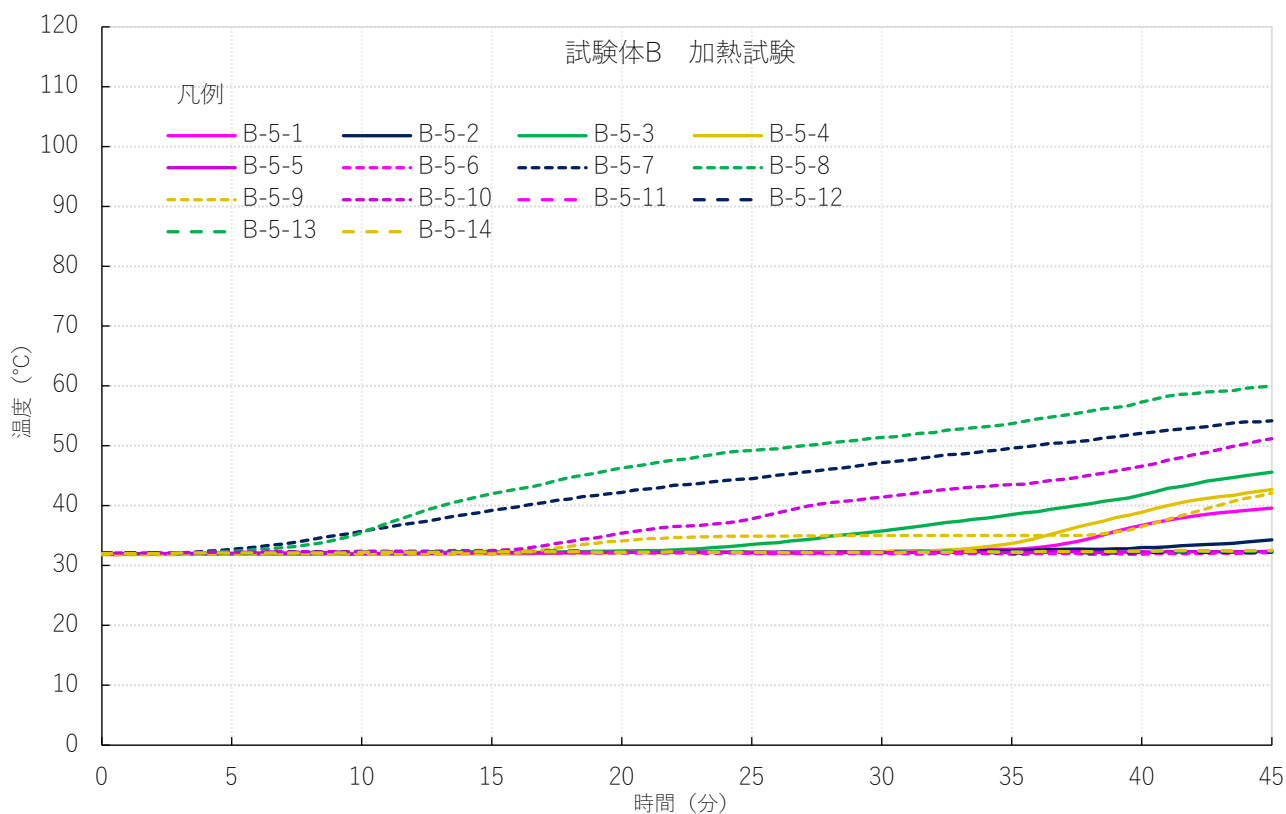


図 16 試験体B 裏面温度測定結果

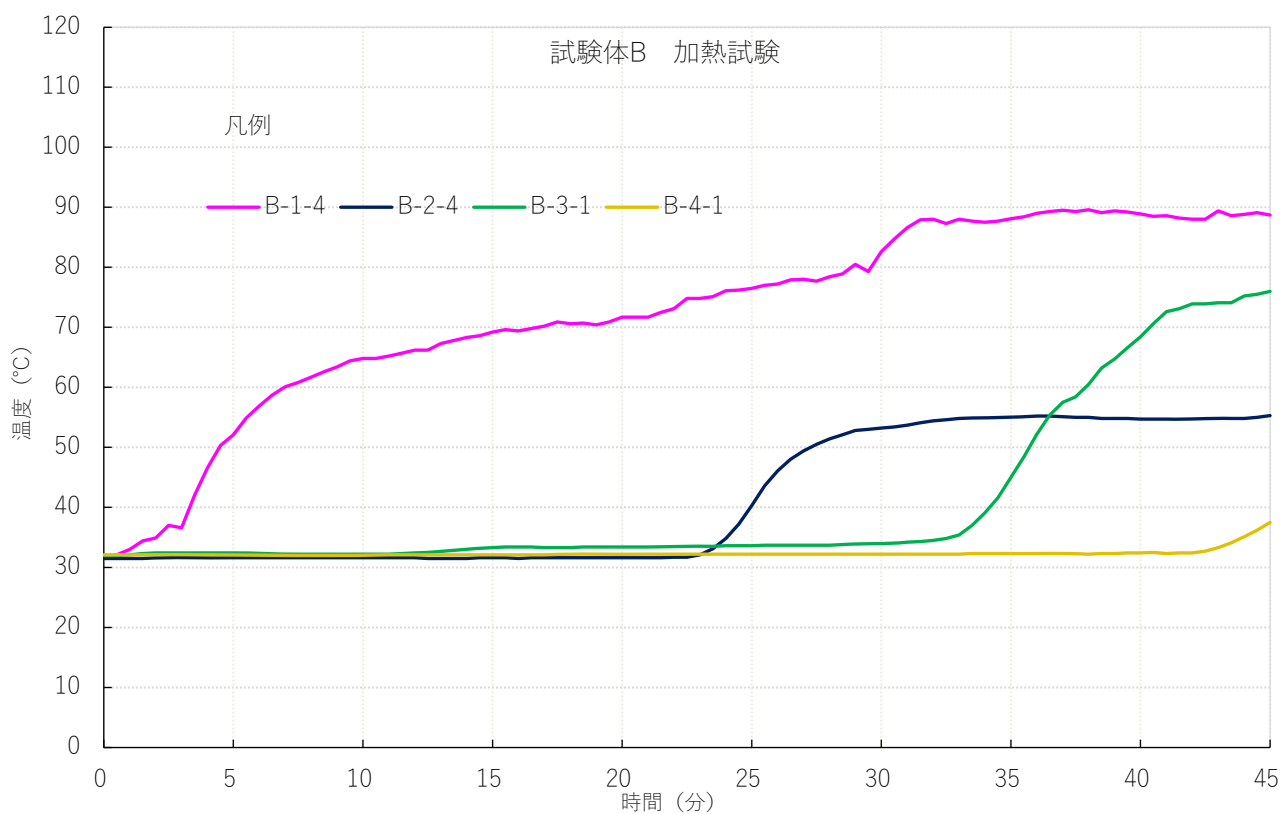


図 17 試験体B 合板表面温度測定結果

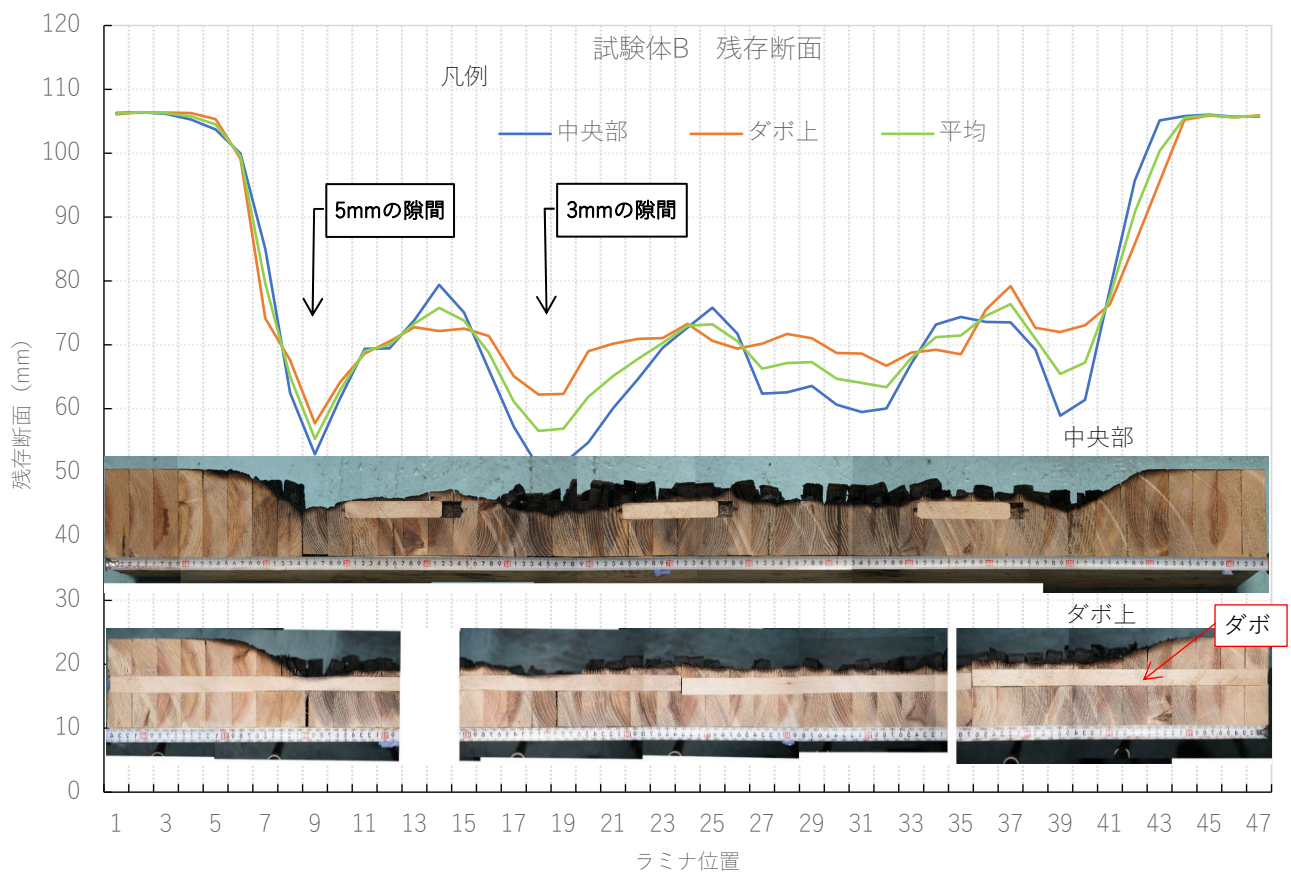


図 18 試験体B 残存断面測定結果

3) 試験体C

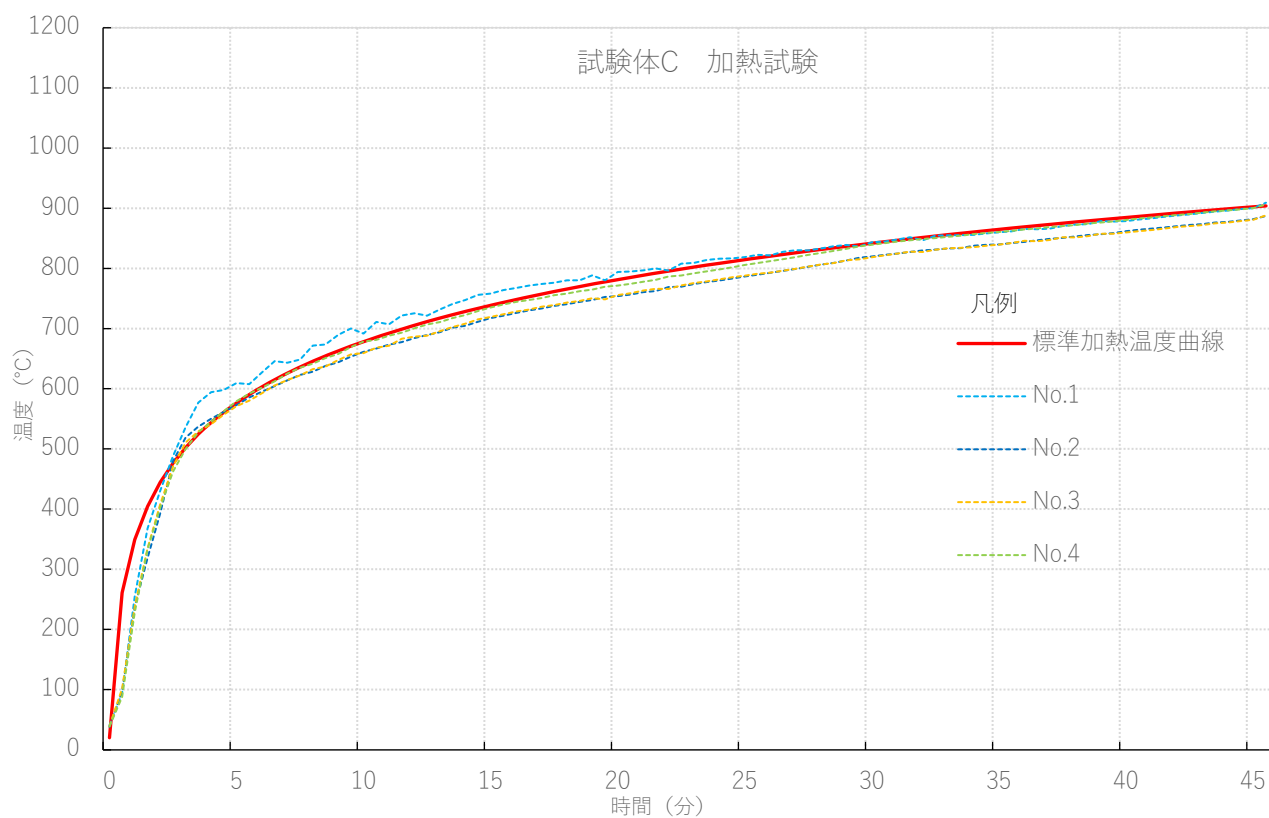


図 19 試験体C 加熱温度測定結果

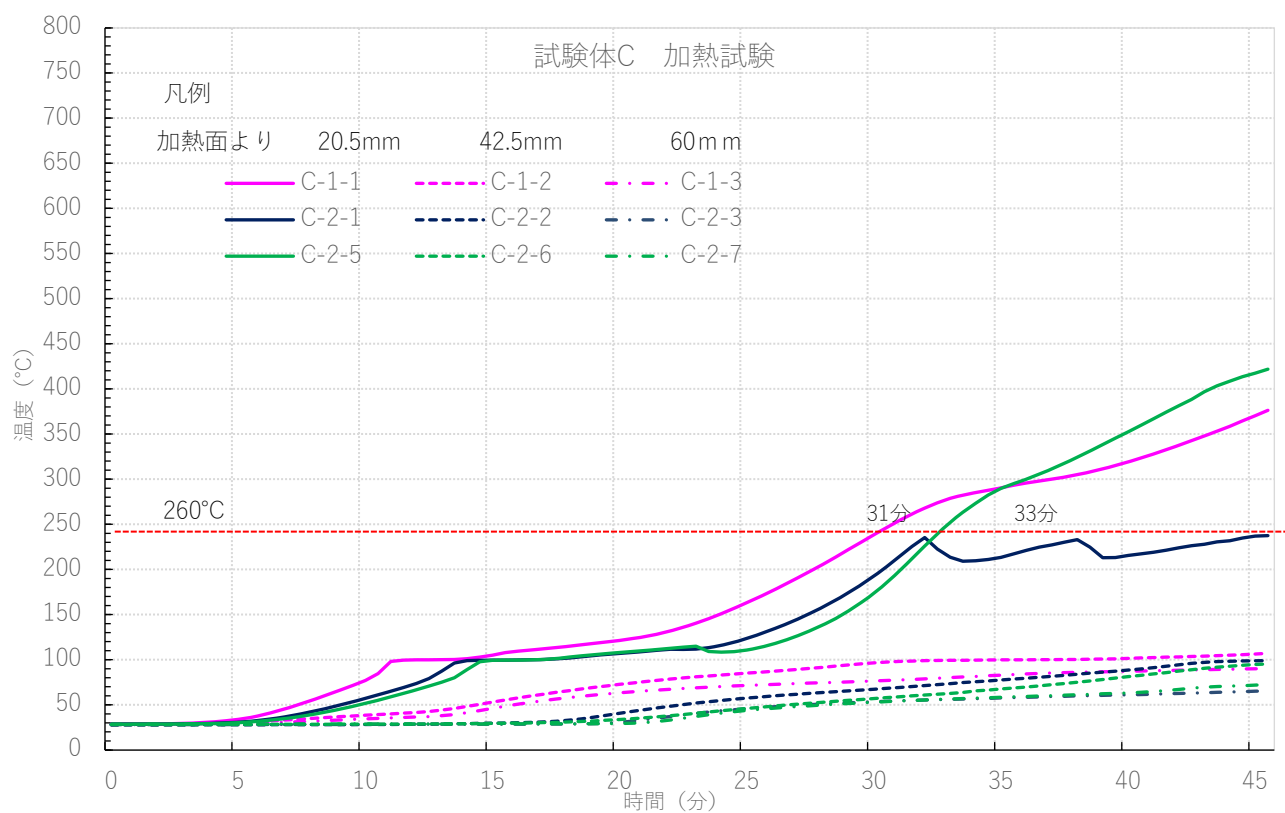


図 20 試験体C 内部温度測定結果

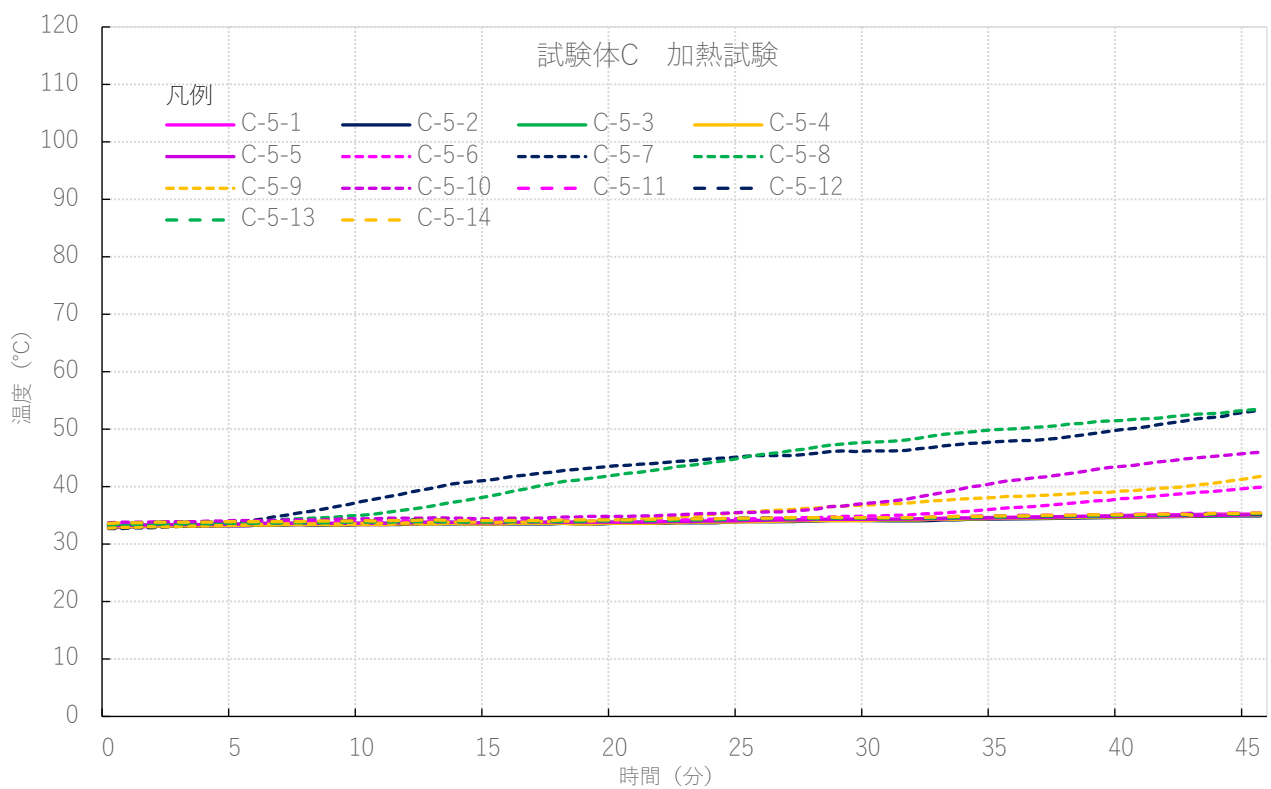


図 21 試験体C 裏面温度測定結果

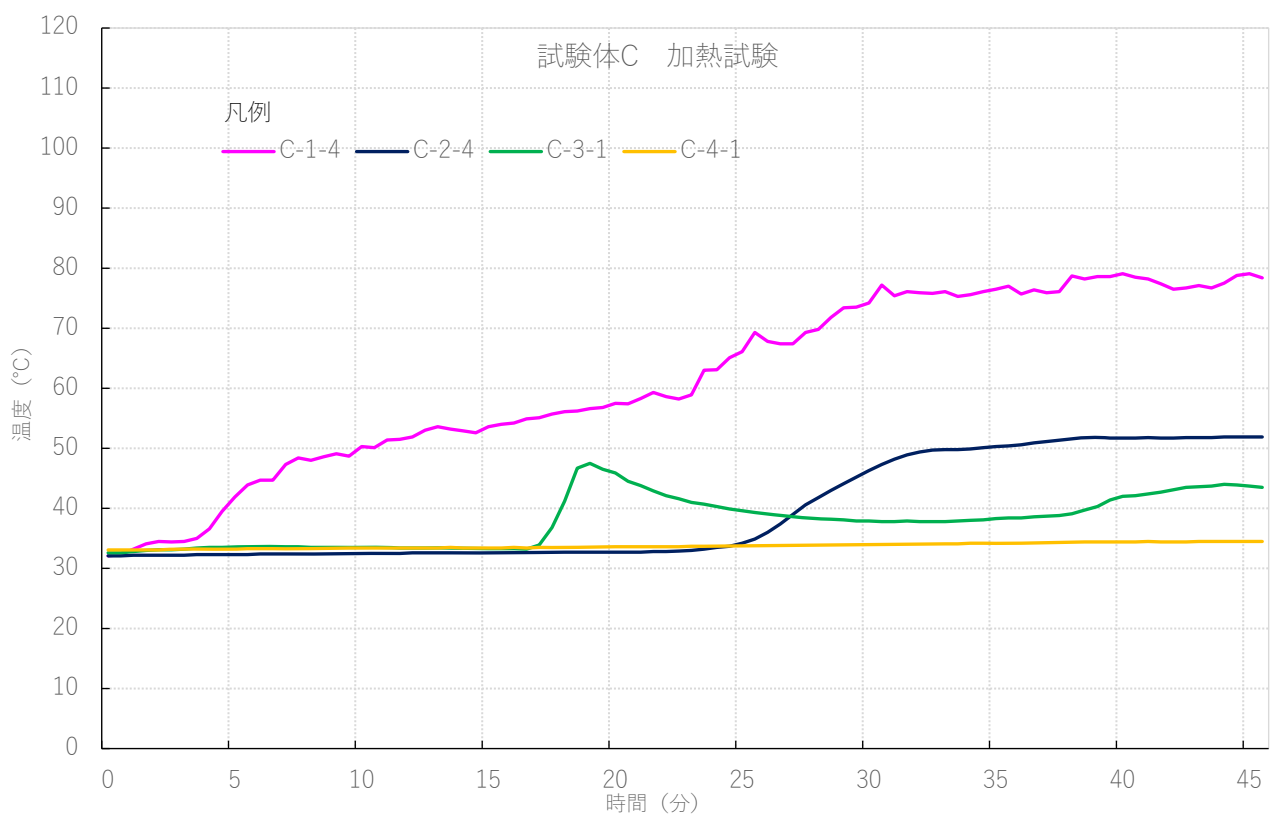


図 22 試験体C 合板表面温度測定結果

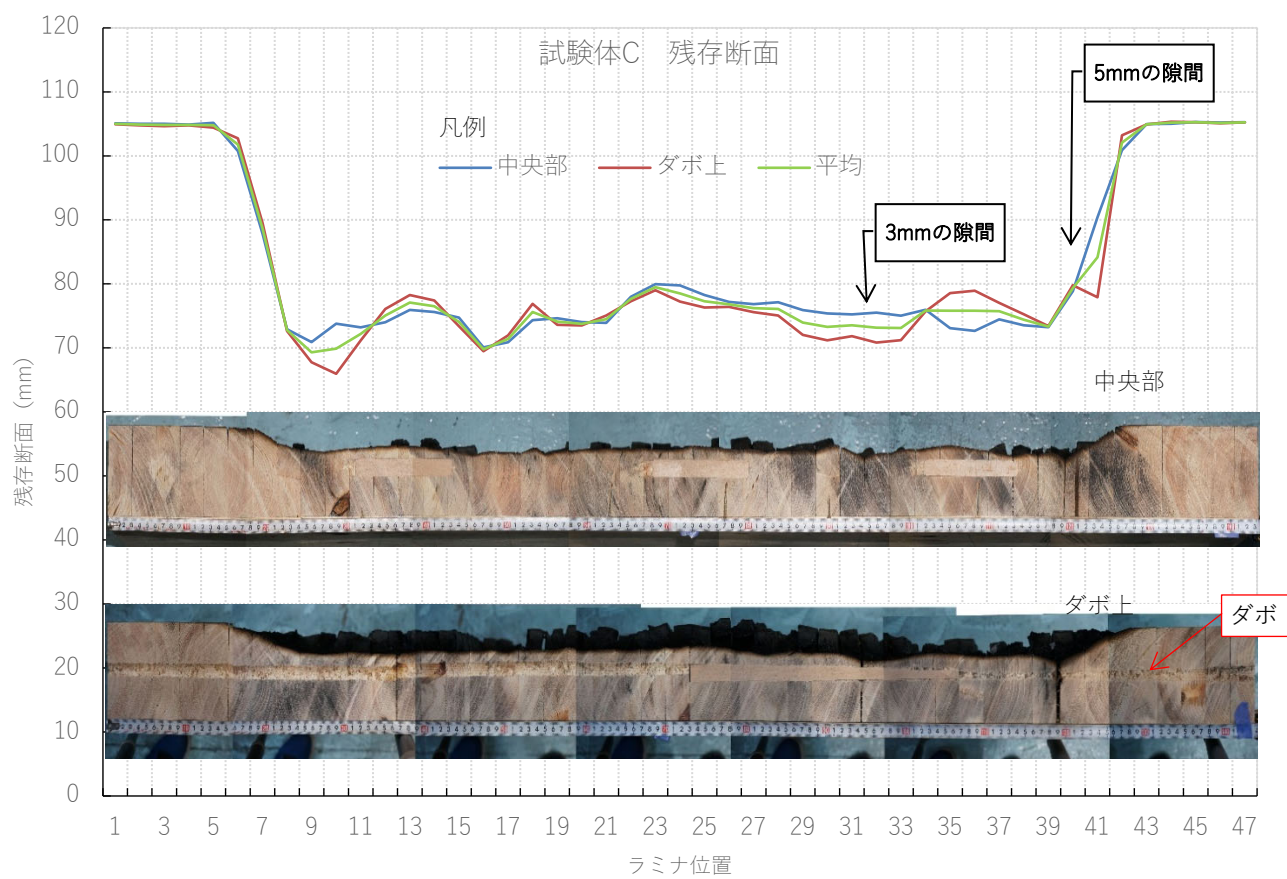


図 23 試験体C 残存断面測定結果

4) 試験体D

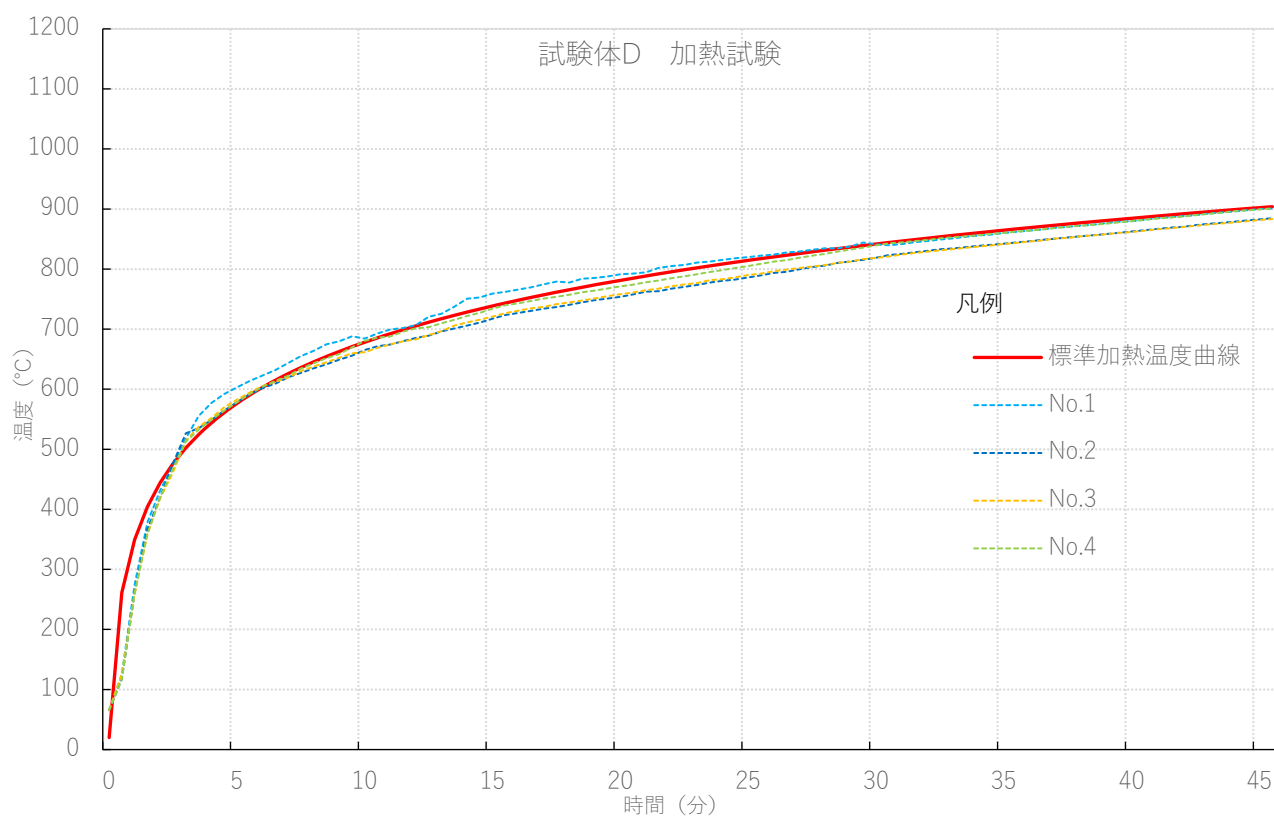


図 24 試験体D 加熱温度測定結果

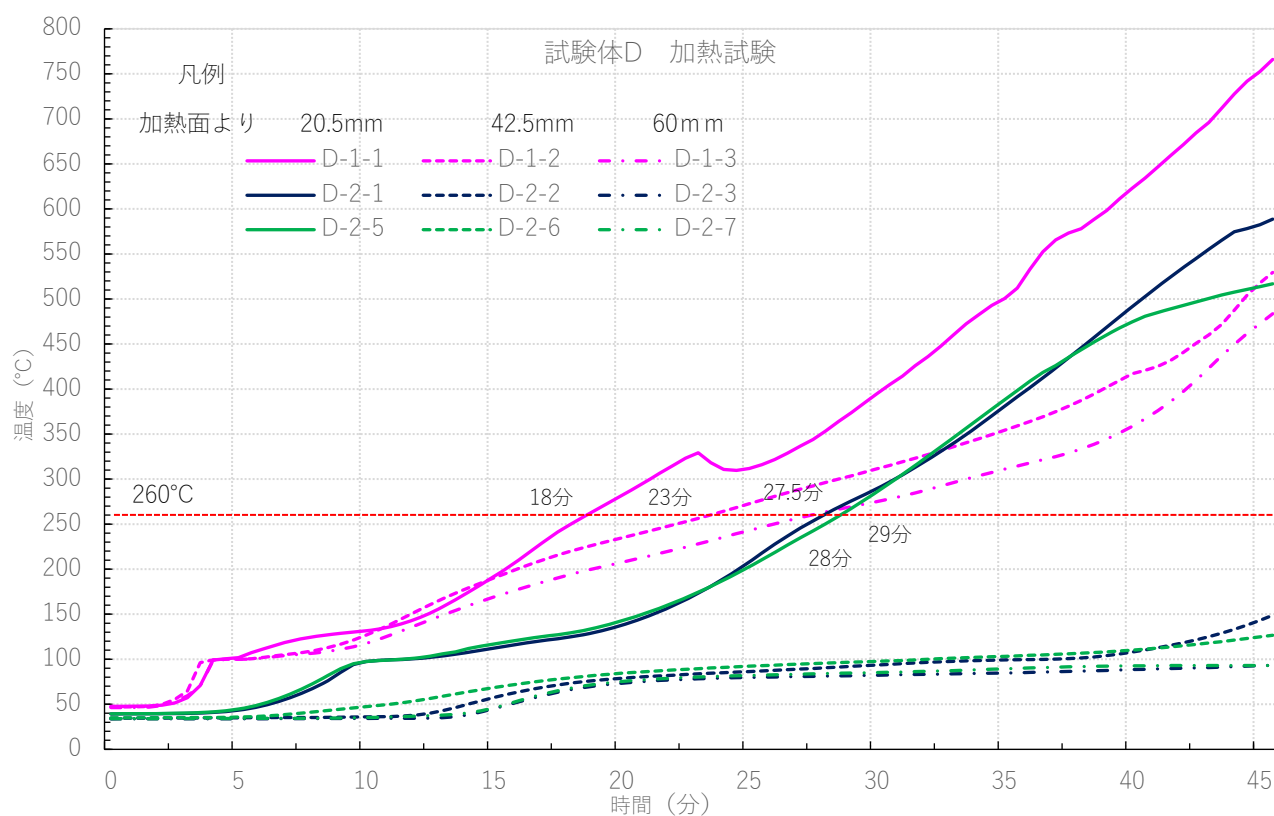


図 25 試験体D 内部温度測定結果

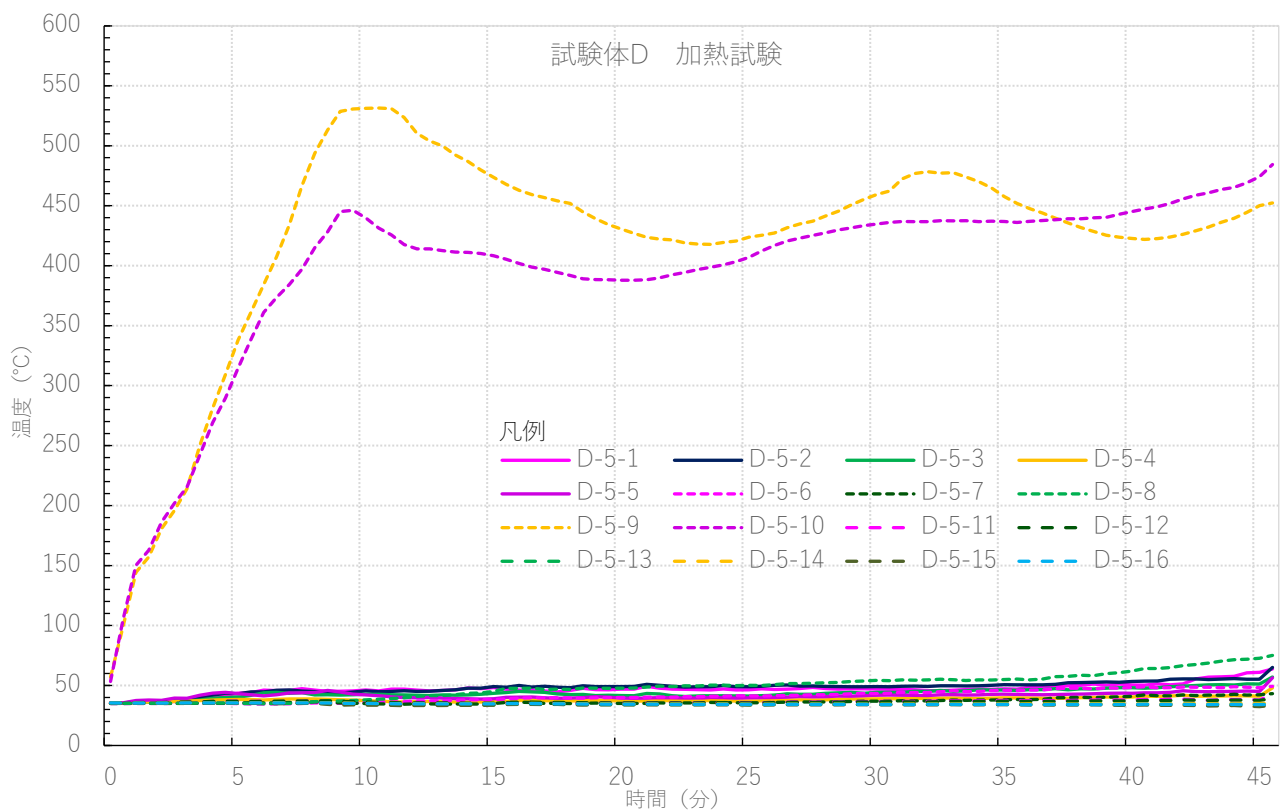


図 26 試験体D 裏面温度測定結果

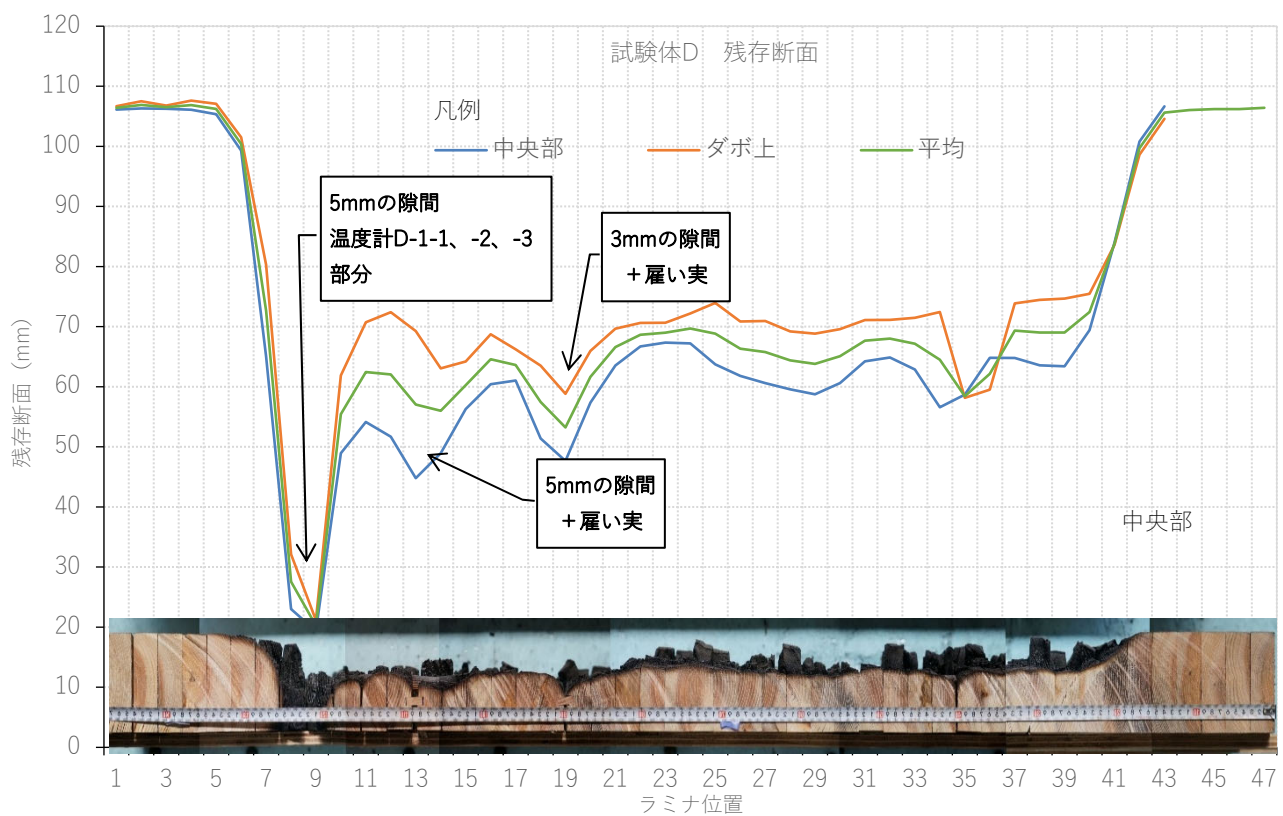


図 27 試験体D 残存断面測定結果

2.1.5 試験結果の考察

1) DLTの燃焼性について

DLTは接着剤を使用せずに木ダボで接合するだけのため、ラミナ同士を接着剤で固着・接合させる木質素材とは異なり、ラミナ積層面で一体化していない。従ってDLTの床構造で下面から燃焼した場合、ラミナの加熱面側だけでなくラミナ積層面の燃焼も想定された。

今回の小型炉での試験結果より、DLTのラミナの積層面の燃焼は実際にはほとんどなく、ラミナの積層面側に若干燃え込み進む凸型の燃焼となることが確認できた。これは、DLTはラミナの積層時に密着しているが、接触面は接着していないのでラミナのねじれや反り等によりわずかに隙間が生じるためと考えられる。

合板上貼りが無い試験体Dにおいても、隙間部分のラミナでは隙間部は燃焼が大きいものの、他の部分のラミナの燃焼は合板上貼りが有る試験体と同様で、DLTのラミナ積層面の燃え込みはわずかであった。

経験的に大断面木材の炭化速度は0.6～0.7mm/分とされており、木材断面の大きい材や、比重の大きな材では木材内部への熱の伝わり方が遅く、炭化速度が小さい。木材内部温度測定結果より試験体A：図 10、試験体B：図 15、試験体C：図 20、試験体D：図 25から、木材内部温度が260℃を超えた時間で炭化速度を計算した（表 6）。

試験体A：深さ20mmの位置で25、29、29分頃、深さ40mmで49、50、51.5分に260℃を超えており、炭化速度は20mmで0.69～0.80mm/分、40mmで0.78～0.82mm/分。

試験体B：深さ20.5mmの位置で24,28,28分に260℃を超えており、炭化速度は0.73～0.85mm/分。

試験体C：深さ20.5mmの位置で31、33分に260℃を超えており、炭化速度は0.62～0.66mm/分。

試験体D：深さ20.5mmの位置で18,28,29分に、深さ42.5mmで23分、深さ60mmで27.5分に260℃を超えており、炭化速度は20.5mmで0.71～1.14mm/分、42.5mmで1.84mm/分、60mmで2.18mm/分

表 6 各試験体の炭化速度

		試験体 A スギ 38×140	試験体 B スギ 30×105	試験体 C ヒノキ 30×105	試験体 D* スギ 30×105
炭化速度 (mm/分)	20mm	0.69～0.80	—	—	—
	20.5mm	—	0.73～0.82	0.62～0.66	0.71～1.14*
	40mm	0.78～0.82	—	—	—
	42.5mm	—	—	—	1.84*
	60mm	—	—	—	2.18*
	ラミナ隙間部	0.80～0.82	0.73	0.66	1.14～2.18*

※ 試験体Dは合板上貼りがなく炉内貫通の状態であることから、炭化速度は参考値とする。

2) 45分加熱時の予想残存断面について

表 6より、炭化速度をスギ 0.8mm/分、ヒノキ0.64mm/分とすると、45分時の断面減少量はスギで36.0mm、ヒノキで28.8mmである。同様に1時間時の断面減少量の予測は、スギで48.0mm、ヒノキで38.4mmである。

この断面減少から推測すると、105mm厚（試験体BおよびC）であっても、45分加熱時に木ダボまで燃えない。36mm<42.5mm（(105-20)÷2）未満と推測される。ただし、燃焼領域先端から内部は距離に応じて内部温度が上昇することで、熱の影響によりヤング係数が減少する。

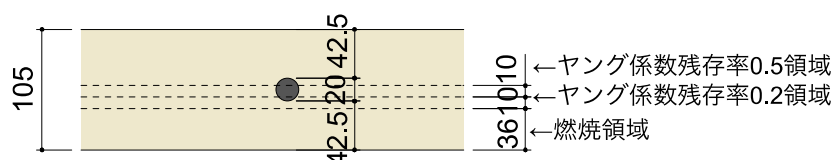


図 28 試験体Bの45分加熱時の状況予測

3) 隙間の開きと床上合板の影響について

合板上貼りがある試験体A、B、Cでは、隙間が空いても顕著な燃え込みは起こりにくいことが確認された。これは合板により隙間部に熱侵入（対流）が生じにくいためと予想される。

一方で、合板上貼りが無い試験体Dでは、DLTのジョイントや積層材同士の隙間が開くと、一般部と比較して1.5倍以上燃え込む傾向があった。この結果から、DLTを天井現わしの床や屋根として使用する場合は、水平構面の確保と併せ下面からの火災危険性への配慮の観点から、上面側に構造用面材の上貼りや、根太を隙間部に配置するなど、DLT床の上下がつかない設計が望ましいと言える。

また、試験体Dでは3mm、5mmの隙間部には、加熱面から70mmの位置に雇い実（スギ 9mm×

20mm) を入れ、雇い実の有無での燃焼性を比較したところ、雇い実まで燃焼していない。これは、雇い実により対流が抑制されたためと考えられる。雇い実や実加工をDLTパネルのジョイントや躯体とのジョイント部に活用することで、防火性能を損ねない接合が可能といえる。

2.1.6 試験写真

1) 試験体A (スギ 38×140)



写真 6 試験体A (試験体 上面)



写真 7 試験体A (試験体 加熱面)



写真 8 試験体A (加熱中)



写真 9 試験体A (脱炉時)

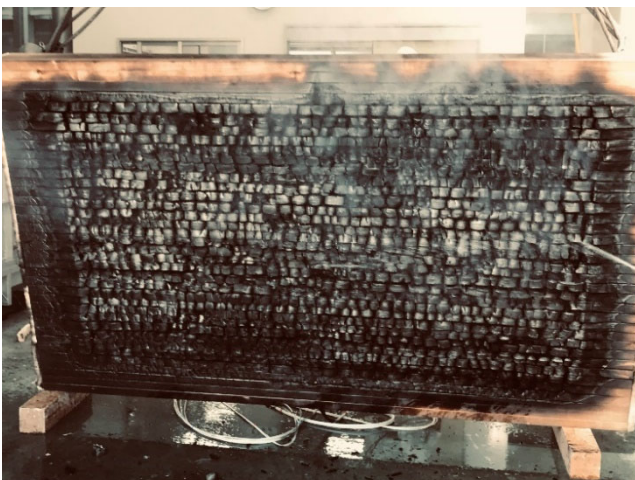


写真 10 試験体A (脱炉消火状況)



写真 11 試験体A (解体状況)



写真 12 試験体A (解体状況)



写真 13 試験体A (測定状況)



写真 14 試験体A (測定状況)

2) 試験体B (スギ 30×105)



写真 15 試験体B (試験体 上面)



写真 16 試験体B (試験体 加熱面)



写真 17 試験体B (加熱中)



写真 18 試験体B (脱炉時)



写真 19 試験体B (脱炉消火状況)



写真 20 試験体B (解体状況)



写真 21 試験体B (測定状況)



写真 22 試験体B (測定状況)

3) 試験体C (ヒノキ 30×105)

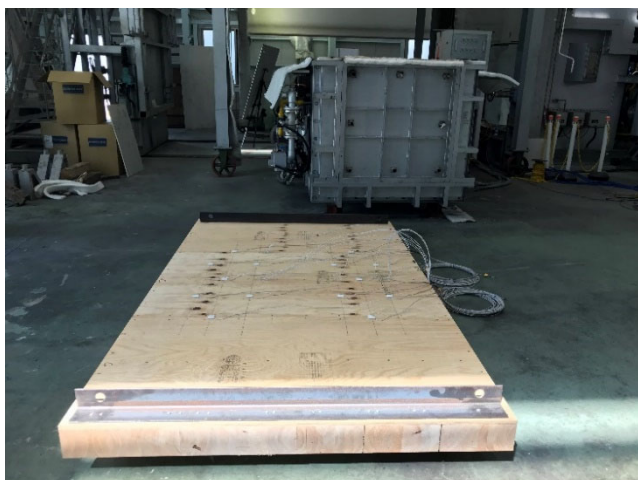


写真 23 試験体C (試験体 上面)



写真 24 試験体C (試験体 加熱面)



写真 25 試験体C (加熱中)



写真 26 試験体C (脱炉時)



写真 27 試験体C (脱炉消火状況)



写真 28 試験体C (解体状況)



写真 29 試験体C (測定状況)



写真 30 試験体C (測定状況)

4) 試験体D (スギ 30×105、上貼り合板なし)

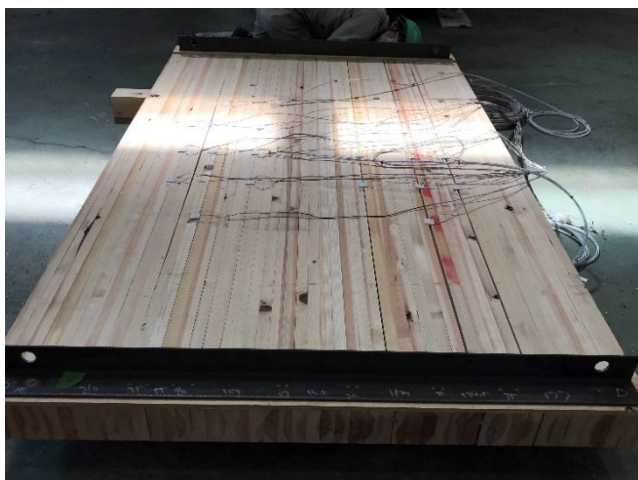


写真 31 試験体D (試験体 上面)



写真 32 試験体D (試験体 加熱面)



写真 33 試験体D (加熱中)



写真 34 試験体D (加熱中)



写真 35 試験体D (脱炉時)



写真 36 試験体D (脱炉時)

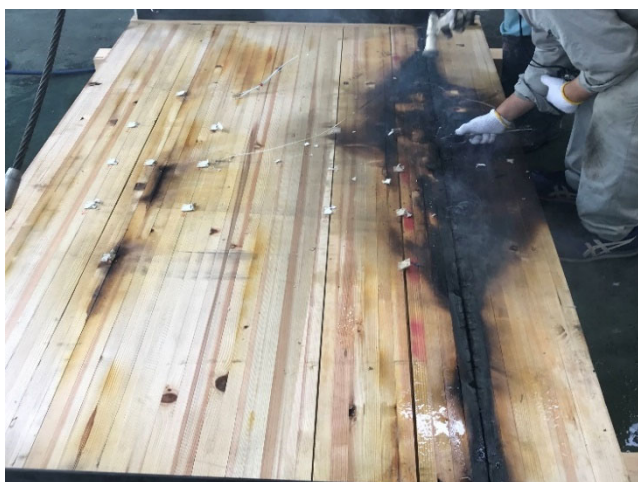


写真 37 試験体D（脱炉後上面）



写真 38 試験体D（脱炉消火状況）



写真 39 試験体D（積層部の燃え込み）



写真 40 試験体D（隙間部の燃え込み）



写真 41 試験体D（隙間部 雇い実）

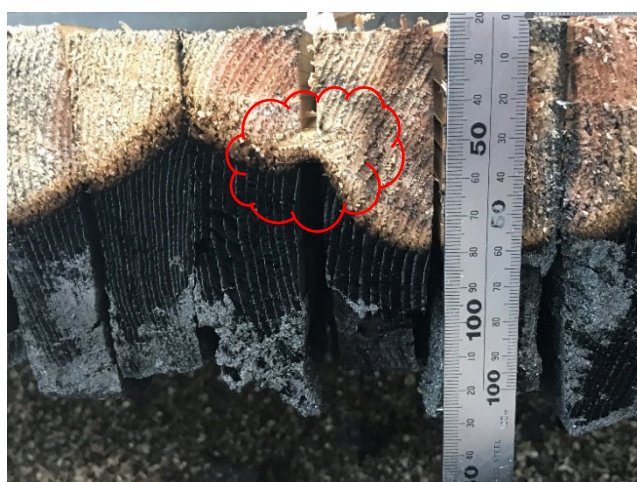


写真 42 試験体D（隙間部 雇い実）

2.2 水平炉での加熱試験（載荷加熱による本試験）

2.2.1 試験目的

小型試験炉での加熱試験の結果をふまえ、水平炉で2m×4m程度の試験体による荷重載荷加熱試験により、DLTパネルが準耐火構造の性能を有するか確認する。

目標加熱時間は試験体A スギ206DLTでは 60分、試験体B スギ30×105DLTでは45分とし、それぞれ60分準耐火構造床、45分準耐火構造床、または30分準耐火構造屋根と同等の性能を有するかを確認する。

2.2.2 試験概要

1) 試験体の仕様

試験体は2,000mm（W）×4,000mm（L）、スパン3.9mのDLT床構造とし、予備試験の結果およびNLT*の事例より、試験体には予め4mmの隙間を設け、上面には構造用合板 t12mmの上貼りを設けた。試験体は表 7の2体とした。

※ （一社）日本ツーバイフォー建築協会では、スギ38×140NLT 床構造で1時間準耐火構造大臣認定（令和2年4月6日 認定番号：QF060FL-0048）を取得している。

試験体のラミナには群馬県産スギ材 JAS甲種2級同等品とし、小井土製材（株）にて乾燥後の粗挽き材を含水率、重量測定し、選別した素材を寸法仕上げした。パネル製作に用いたラミナの各測定値を表 10、表 11に示す。

表 7 試験体の仕様一覧

	試験体A	試験体B
樹種	スギ	スギ
DLT構成材	206（38×140）	30×105
平均含水率	12.0%	11.7%
平均比重	0.358	0.339
隙間 4mm	あり	あり
上貼り合板12mm	あり	あり
試験体寸法	2,056×4,050	2,044×4,050
スパン	3,900mm	3,900mm

2) 試験体

DLTは天井現わしの床構造や屋根構造としての使用を想定し、下面からの加熱のみを想定した。本試験体では石膏ボード上貼りを省略し、試験体の非加熱面側（上面）の構造用合板（t12mm）の上貼りのみとした。試験体A、Bの姿図を図29、図30に示す。

※ 試験体の基本構成は小型試験炉での加熱試験と同じ仕様としているが、載荷加熱による木ダボの影響の有無を確認するため、スパン中央部に木ダボ貫通部を設け、全幅に渡りラミナの断面欠損を生じさせている。

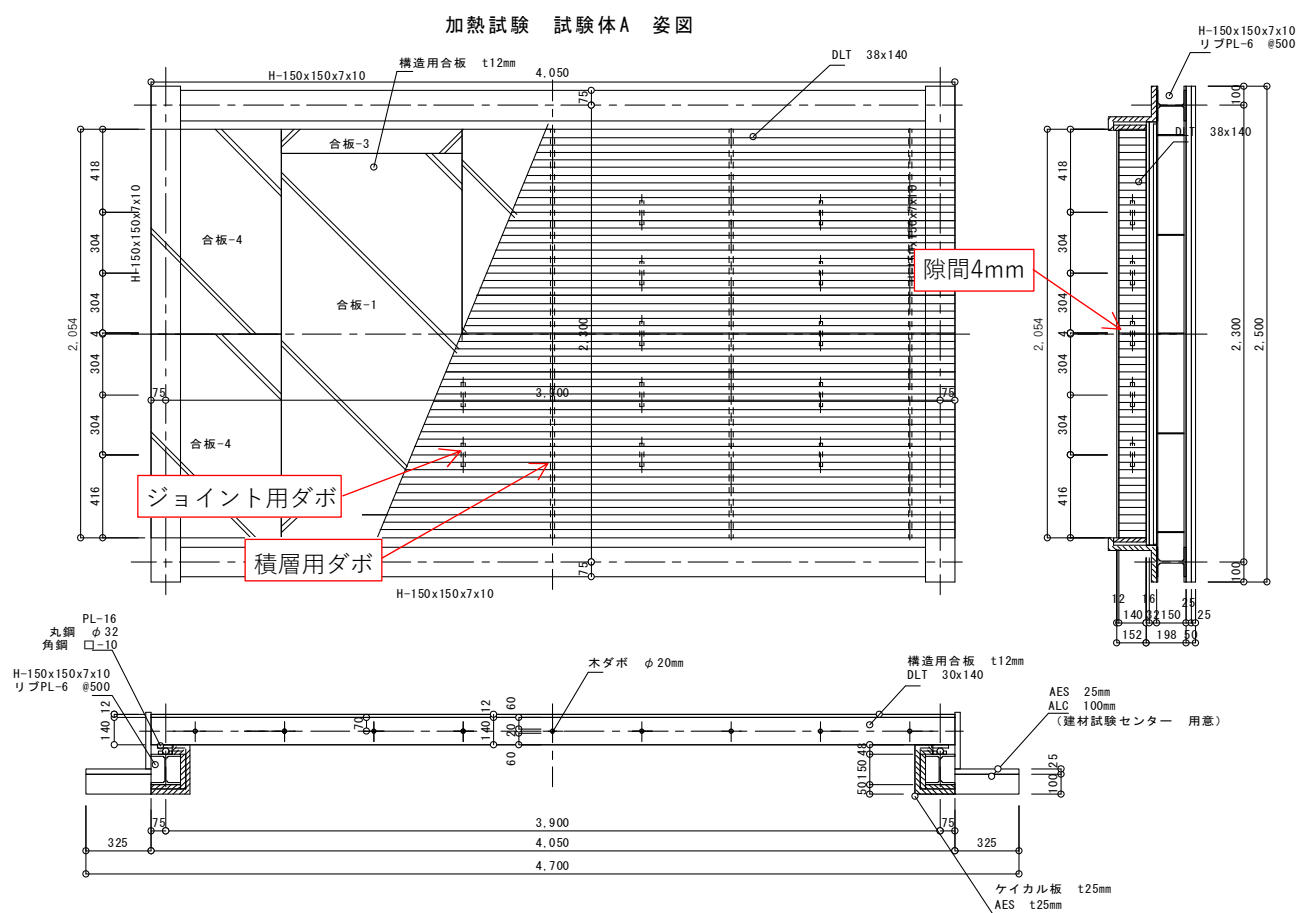


図29 試験体A 姿図

加熱試験 試験体B 姿図

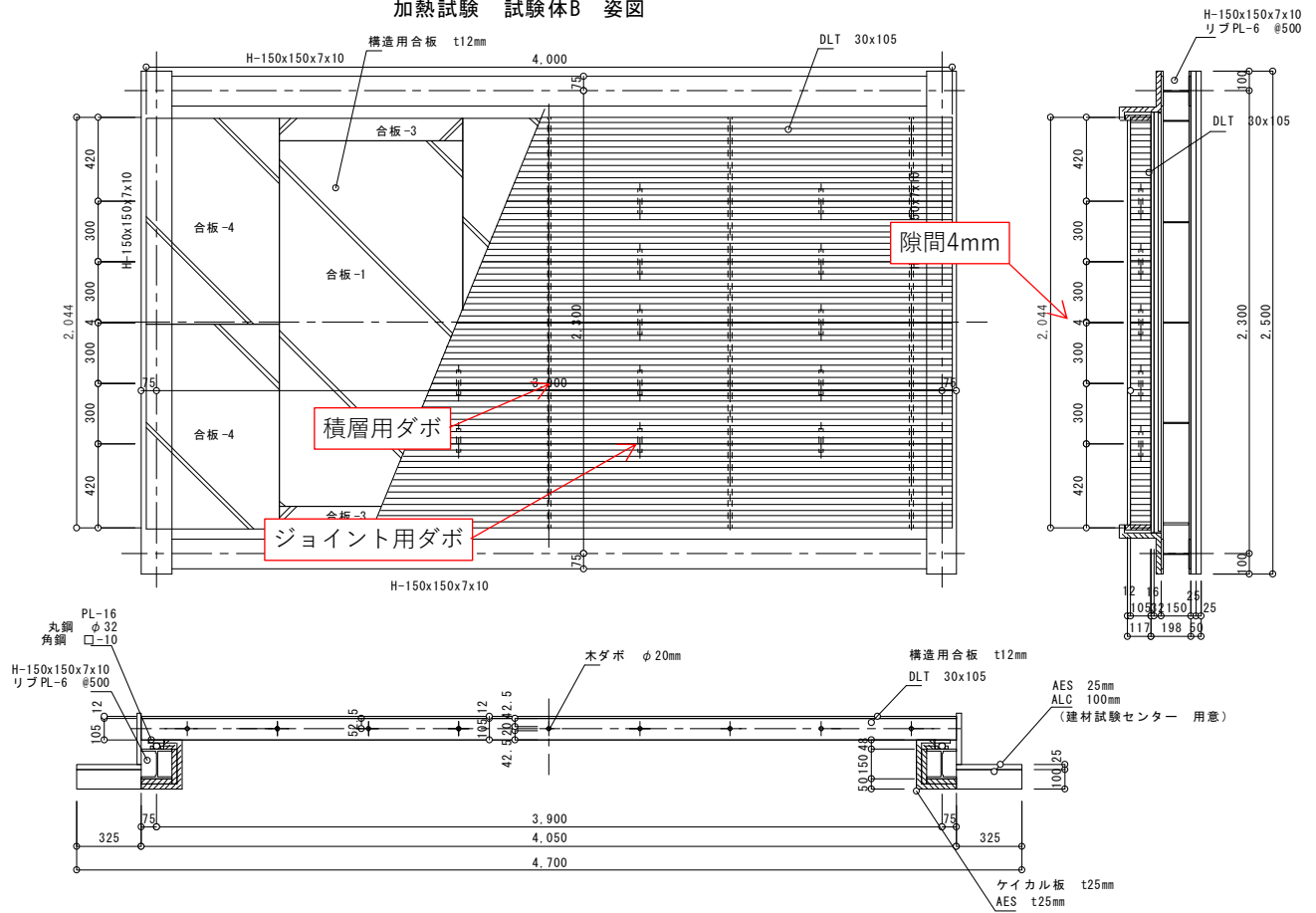


図 30 試験体B 姿図

2.2.3 試験方法

1) 加熱方法

試験は(一財)建材試験センター制定「防耐火性能試験・評価業務方法書」に規定する次式による標準加熱曲線に沿うよう制御しながら、床の下面を加熱面として試験体Aでは60分、試験体Bでは45分の加熱を行った。加熱終了後は速やかに脱炉し、注水消火した。

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20$$

ここで、T：加熱温度（℃）、t：試験の時間経過（分）

試験体は図 31に示す加熱炉にて、加力治具により断面に長期許容応力度に相当する応力度が生じるように载荷しながら試験した。载荷荷重についての検討を表 8に示す。試験体Aで使用した38×140は枠組壁工法構造用製材サイズであるが、枠組壁工法構造用製材（JSⅡ：スギ）甲種2級の基準強度（19.5N/mm²）ではなく、作用荷重が大きく危険側となる針葉樹構造用製材（スギ）の甲種2級の基準強度（25.8N/mm²）を採用した。

表 8 载荷荷重の検討

	試験体A	試験体B
構成材料の種類	針葉樹構造用製材 スギ	針葉樹構造用製材 スギ
等級区分	甲種2級同等	甲種2級同等
針葉樹構造用製材 曲げ基準強度 F_b (N/mm ²)	25.8	25.8
枠組壁工法構造用製材 曲げ基準強度 F_b (N/mm ²)	19.5	—
基準弾性係数 E_0 (kN/mm ²)	7.00	7.00
調整係数	$K_d = 1.1$ (2)、 $K_z = 1.0$ 、 $K_s = 1.0$	
①長期許容曲げ許容応力度 (N/mm ²) $F_b \times 1.1/3$	9.46	9.46
積層材	38×140	30×105
幅 W (mm)	2,052	2,044
せい d (mm)	140	105
床上側被覆材	針葉樹構造用合板 12mm	
試験体の自重 ω (kN/m)*	1.02kN/m	0.73kN/m
①と断面係数より求めた長期許容曲げモーメント M	63.42kN・m	35.54kN・m
自重による曲げモーメント M_{self}	1.95kN・m	1.39kN・m
载荷荷重による曲げモーメント M_{test} ($M - M_{self}$)	61.47kN・m	34.15kN・m
支点間距離 L (mm)	3,900	3,900
荷重点間距離 a (mm)	1,300	1,300
M_{test} より求めた積载荷重 P	94.6 kN	52.6 kN
積载荷重 $P/2$ (3等分点2線荷重)	47.3 kN	26.3 kN
加熱時間	60分	45分
短期曲げ許容応力度 (N/mm ²) $F_b \times 2/3$	17.20	17.20
②短期曲げ許容応力度 による材せい(mm)	103.0	77.0
③予備試験より予測される45分加熱時の材せい	—	56.0
予備試験より予測される60分加熱時の材せい	91.0	—
③による最大たわみ量 (mm)	113.8	274.9
たわみ量の制限値 (mm) $L^2/400d$	271.61	362.14

* 試験体の自重は実大試験体の吊り上げ測定した重量より求めた。

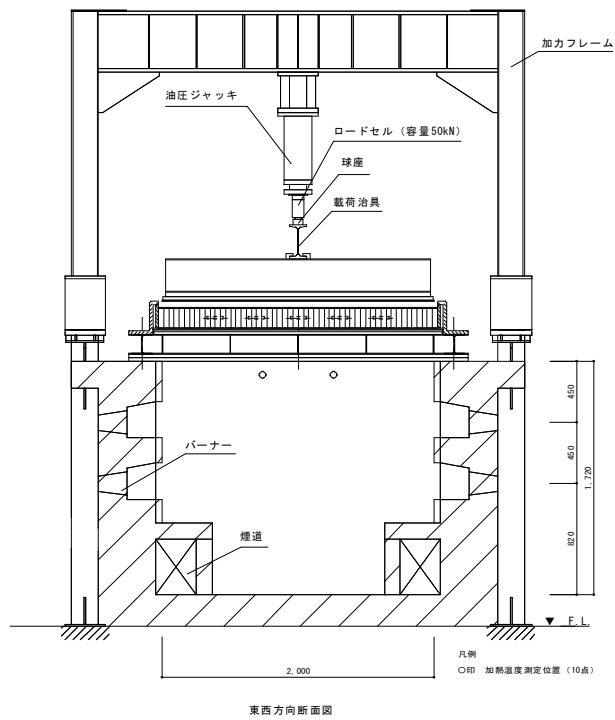
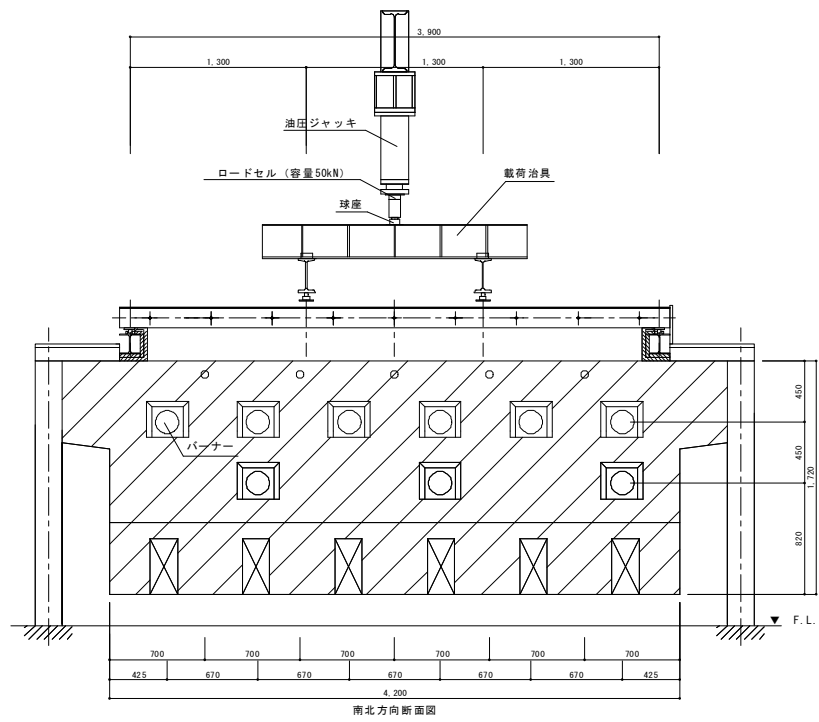


図 31 水平加熱試験炉 概要図

2) 測定項目

① 加熱温度

加熱温度はJIS C 1605に規定するクラス2の性能を有する線径3.2mmのSKシース熱電対を用い、その熱接点を試験体表面から100mm離れた位置に10点設置して測定した。

② 内部温度、合板表面温度、裏面温度

DLTの内部温度、裏面、加熱温度はJIS C 1605に規定するクラス2の性能を有する線径0.65mmのK熱電対を用い、その熱接点をDLT断面および構造用合板表面に設置して測定した。裏面温度は、熱電対に厚さ0.2 mm、直径12 mmの銅板をろう付けしたディスク型熱電対を用い測定した。なお測定した熱接点部は大きさ30mm×30mm（厚さ2mm）、密度900kg/m³の断熱パッドで覆った。

③ たわみ量

試験体のたわみ量及びたわみ速度を測定した。また非加熱面での火炎及び火炎が通る亀裂等の発生の有無、について目視観察した。たわみ測定位置を図 33、図 35に示す。

④ 測定位置

各試験体の温度測定位置を表 9および、図 32～図 35に、木材中の熱電対位置を図 36示す。

表 9 温度、たわみ測定位置と熱電対、変位計番号

		試験体A	試験体B
DLT断面内 加熱面より	試験体A 20mm	A-1-1	B-1-1
	試験体A 20mm	A-2-1	B-2-1
	試験体B 20.5mm	A-3-1	B-3-1
DLT断面内 加熱面より	試験体A 40mm	A-1-2	B-1-2
	試験体A 40mm	A-2-2	B-2-2
	試験体B 42.5mm	A-3-2	B-3-2
DLT断面内 加熱面より 60mm		A-1-3、A-2-3、A-3-3	B-1-3、B-2-3、B-3-3
合板表面温度		A-4-1～A-4-15	B-4-1～B-4-15
合板裏面温度	合板継ぎ目部	R1, R2, R4, R6, R7, R9, R10, R11, R13, R14, R16, R18, R19	R1, R2, R4, R6, R7, R9, R10, R11, R13, R14, R16, R18, R19
	合板面	R3, R5, R8, R12, R15, R17	R3, R5, R8, R12, R15, R17
たわみ計	スパン中央	DG1、DG 2	DG1、DG 2
	支点上	DG3、DG4、DG5、DG6	DG3、DG4、DG5、DG6

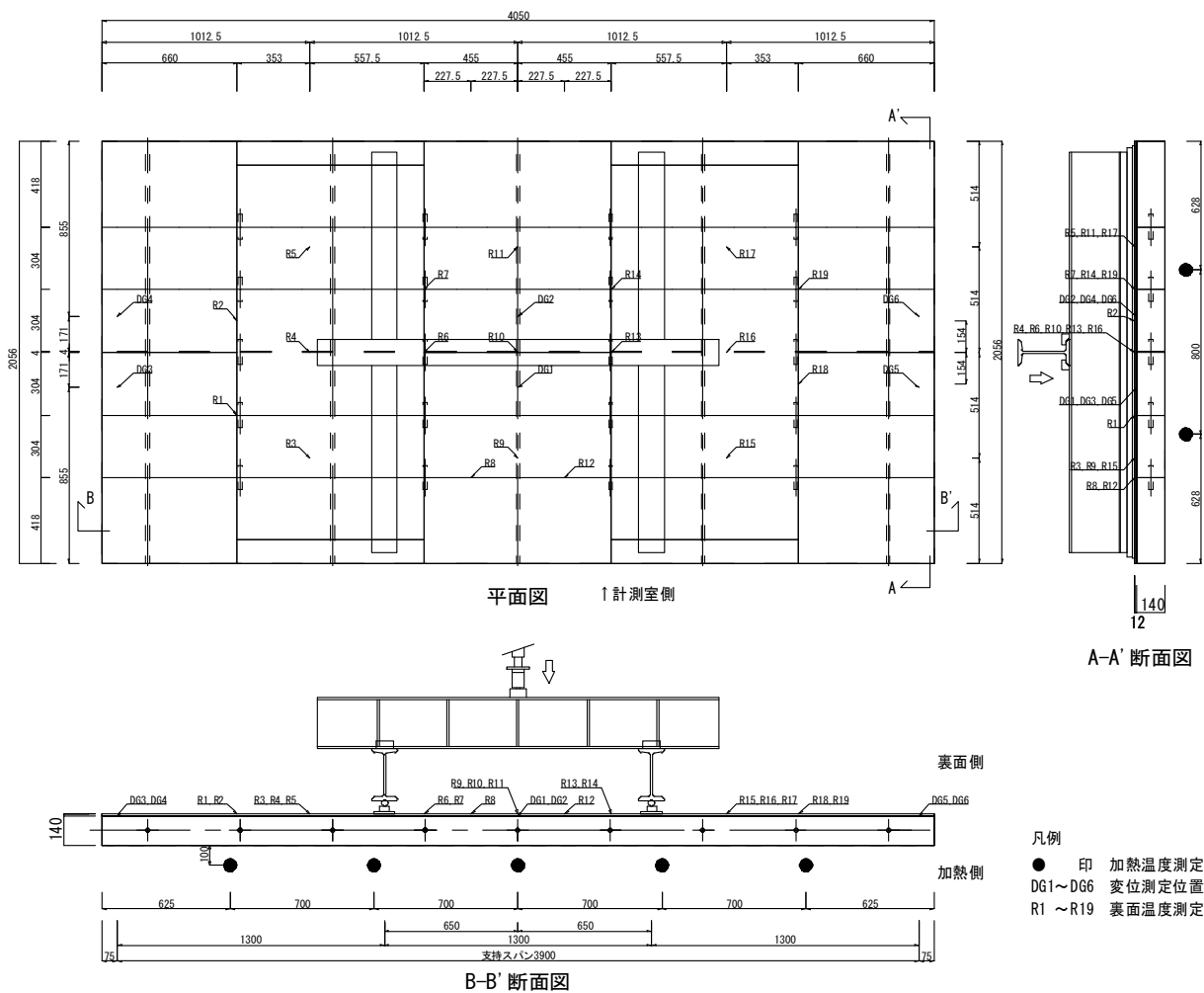


図 33 試験体A 変位計、裏面温度測定位置図

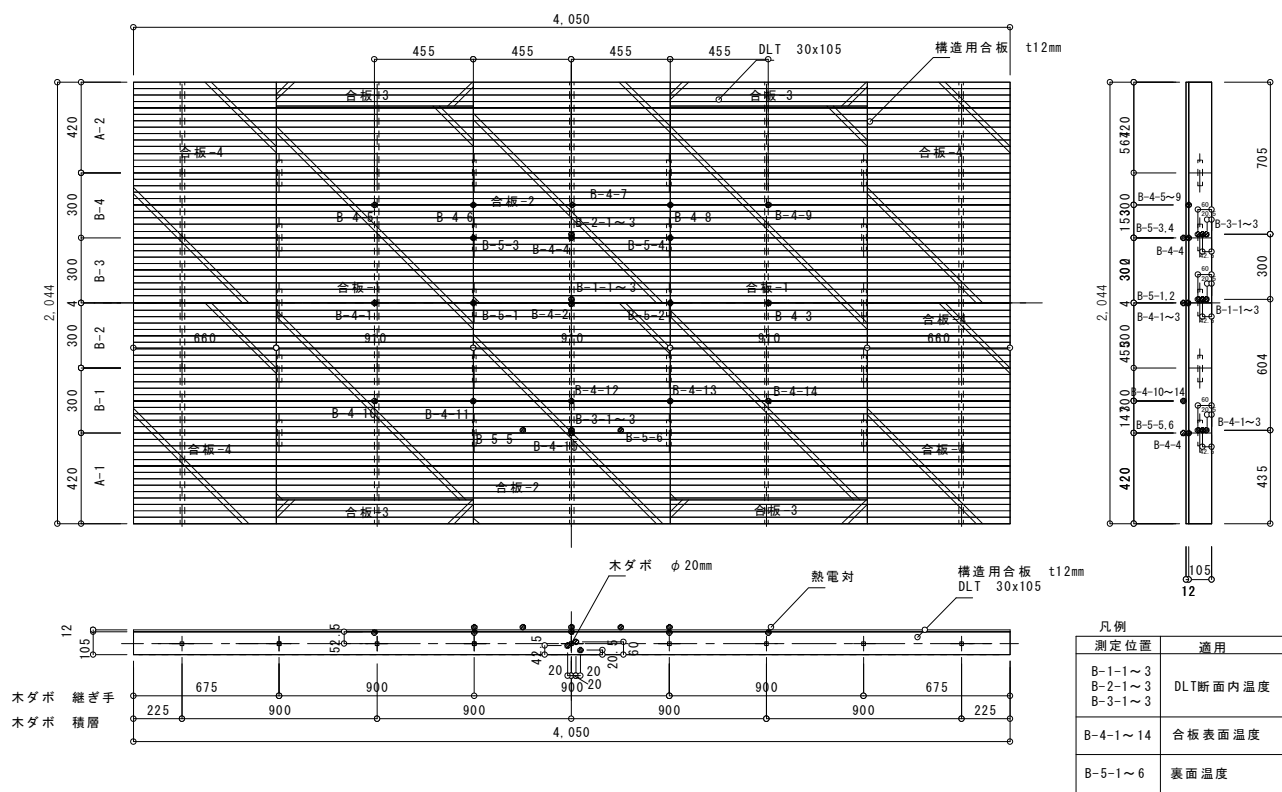


図 34 試験体B 内部温度、合板表面温度測定位置図

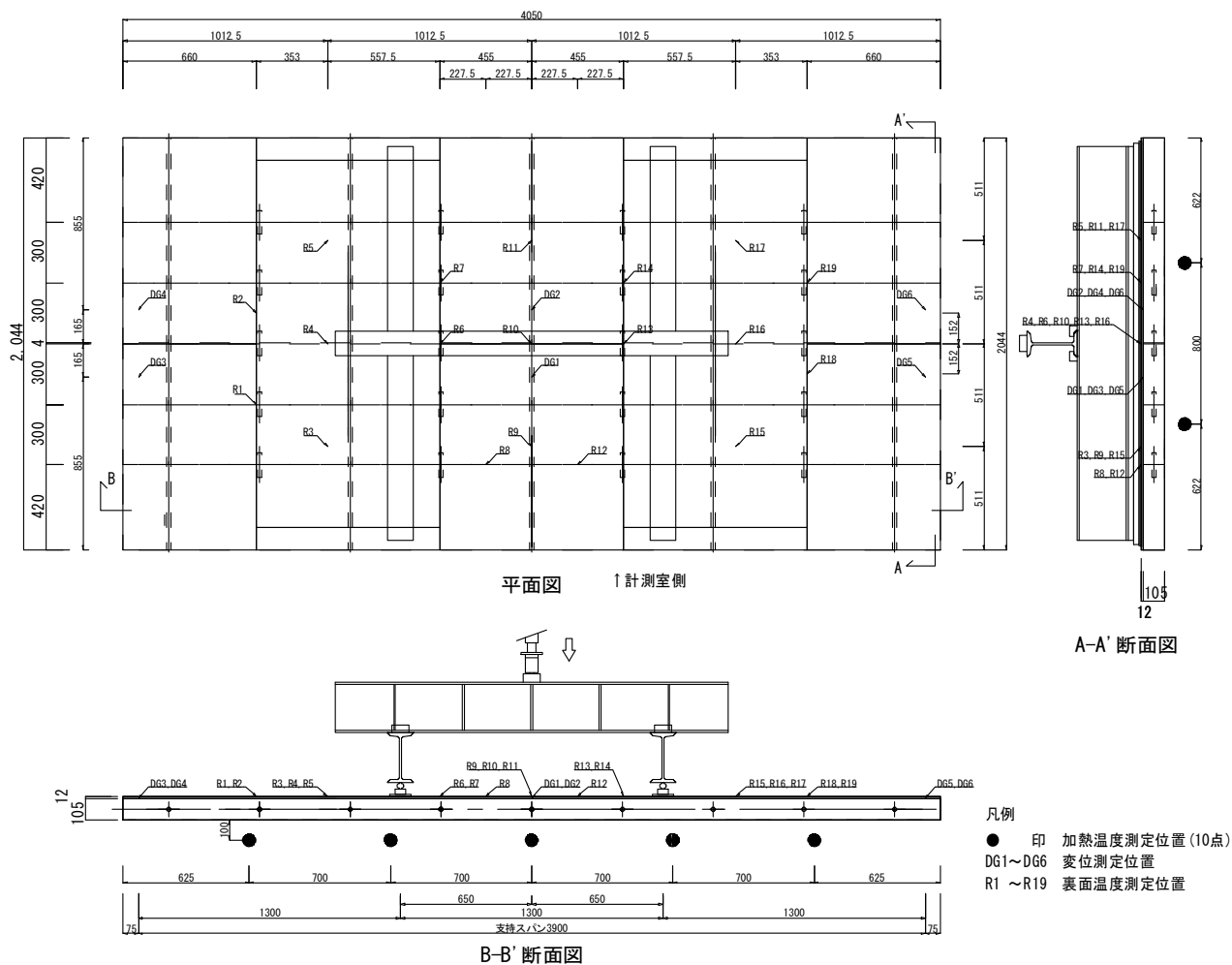


図 35 試験体B 変位計、裏面温度測定位置図

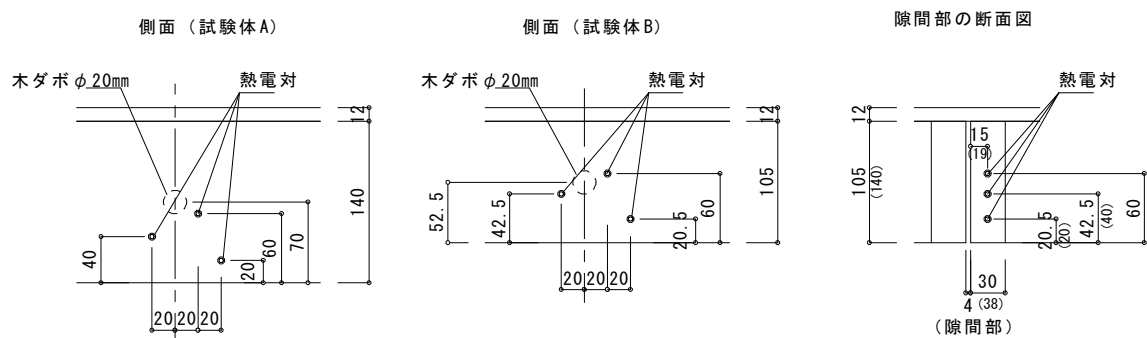


図 36 木材中の熱電対位置図

表 10 試験体A ラミナ測定値

パネル		W mm	D mm	L mm	重量 kg	平均含水率 %	比重	周波数 Hz	Ef r tf/cm ²	Eグレード
A1	1	140	38	4,063	7.5	9.4	0.346	450	47.2	E50
A1	2	140	38	4,124	7.79	12.7	0.355	550	74.5	E70
A1	3	140	38	4,078	8.16	9.4	0.376	530	71.7	E70
A1	4	140	38	4,142	8.31	17.1	0.377	590	91.9	E90
A1	5	140	38	4,095	7.23	11.1	0.331	610	84.3	E90
A1	6	140	38	4,098	8.13	13.1	0.372	550	77.1	E70
A1	7	140	38	4,112	7.52	9.2	0.343	530	66.5	E70
A1	8	140	38	4,128	8.32	11.6	0.378	590	91.5	E90
A1	9	140	38	4,064	7.32	11.2	0.338	510	59.3	E50
A1	10	140	38	4,110	7.55	11.6	0.345	570	77.3	E70
A1	11	140	38	4,140	7.86	11.9	0.356	630	98.8	E90
A2	1	140	38	4,125	7.56	12.9	0.344	640	97.9	E90
A2	2	140	38	4,096	7.82	10.9	0.358	520	66.3	E70
A2	3	140	38	4,081	7.98	18.8	0.367	560	78.2	E70
A2	4	140	38	4,111	7.51	12.4	0.343	580	79.6	E70
A2	5	140	38	4,096	7.61	14.8	0.349	530	67.1	E70
A2	5	140	38	4,093	8.06	11.4	0.37	570	82.2	E90
A2	6	140	38	4,128	8.11	11.9	0.369	610	95.5	E90
A2	7	140	38	4,131	8.31	11.9	0.378	590	91.7	E90
A2	8	140	38	4,138	8.06	9.6	0.366	530	71.9	E70
A2	10	140	38	4,083	7.66	14.6	0.352	580	80.6	E90
A2	11	140	38	4,059	7.84	13.6	0.363	460	51.7	E50
B1	1	140	38	4,110	7.67	10.8	0.35	640	98.8	E90
B1	2	140	38	4,106	8.1	11.9	0.37	520	68.8	E70
B1	4	140	38	4,116	8.24	12.9	0.376	460	55	E50
B1	5	140	38	4,140	7.89	11.9	0.358	620	96.3	E90
B1	5	140	38	4,052	7.96	10.2	0.369	540	72.1	E70
B1	6	140	38	4,111	7.64	10.9	0.349	580	81	E90
B1	7	140	38	4,101	8.1	12.1	0.371	560	79.9	E70
B1	8	140	38	4,110	8.2	15.1	0.375	630	102.6	E110
B2	1	140	38	4,098	7.86	10.5	0.36	620	94.9	E90
B2	2	140	38	4,114	7.92	10.5	0.361	540	72.7	E70
B2	3	140	38	4,095	7.79	11.2	0.357	580	82.2	E90
B2	4	140	38	4,127	7.65	10.6	0.348	610	90	E90
B2	5	140	38	4,116	8.03	11.8	0.366	490	60.8	E70
B2	6	140	38	4,074	8.08	9.9	0.372	600	90.7	E90
B2	7	140	38	4,081	7.97	10.2	0.367	580	83.9	E90
B2	8	140	38	4,130	7.79	13	0.354	630	97.8	E90
B3	1	140	38	4,129	7.86	11.9	0.357	610	92.4	E90
B3	2	140	38	4,063	6.92	11.7	0.32	540	62.9	E70
B3	3	140	38	4,052	7.35	11.5	0.34	570	74	E70
B3	4	140	38	4,127	7.72	12.1	0.351	650	103.1	E110
B3	5	140	38	4,062	7.02	12	0.324	480	50.3	E50
B3	6	140	38	4,112	7.99	10.4	0.365	560	79	E70
B3	7	140	38	4,144	7.77	11.4	0.352	590	85.9	E90
B3	8	140	38	4,120	7.83	11.1	0.357	620	95.1	E90
B4	1	140	38	4,120	8.05	12	0.367	630	100.9	E110
B4	2	140	38	4,140	8.27	14.4	0.375	530	73.7	E70
B4	3	140	38	4,115	7.99	11.8	0.364	550	76.1	E70
B4	4	140	38	4,108	7.75	13.1	0.354	660	106.2	E110
B4	5	140	38	4,113	7.83	11.8	0.357	490	59.2	E50
B4	6	140	38	4,102	7.66	11.4	0.351	600	86.8	E90
B4	7	140	38	4,078	7.89	15.4	0.363	600	88.7	E90
B4	8	140	38	4,095	8.12	12.1	0.372	610	94.7	E90
平均					7.84	12.01	0.358	569.8148	80.728	E90

表 11 試験体B ラミナ測定値

パネル		W mm	D mm	L mm	重量 kg	平均含水率 %	比重	周波数 Hz	Ef r tf/cm ²	Eグレード
A1	1	120	30	4064	4.93	10.9	0.336	580	76.2	E70
A1	2	120	30	4115	4.94	12.8	0.333	610	85.64	E90
A1	3	120	30	4090	5.13	14.6	0.348	630	94.31	E90
A1	4	120	30	4088	4.41	11.4	0.299	490	48.97	E50
A1	5	120	30	4097	5.04	10.7	0.341	550	70.67	E70
A1	6	120	30	4069	5.08	11.1	0.346	560	73.33	E70
A1	7	120	30	4072	4.77	10.9	0.325	530	61.79	E70
A1	8	120	30	4141	5.32	11	0.356	620	95.78	E90
A1	9	120	30	4112	4.75	12.1	0.32	580	74.29	E70
A1	10	120	30	4119	4.86	12	0.327	600	81.52	E90
A1	11	120	30	4072	5.22	11.8	0.356	640	98.69	E90
A1	12	120	30	4073	4.88	11.1	0.332	560	70.5	E70
A1	13	120	30	4090	5.35	13.3	0.363	550	74.97	E70
A1	14	120	30	4077	4.67	10.6	0.318	620	82.93	E90
A2	1	120	30	4140	4.96	10.3	0.332	620	89.28	E90
A2	2	120	30	4100	5.35	13.3	0.362	590	86.46	E90
A2	3	120	30	4114	4.7	12.4	0.317	610	81.49	E90
A2	4	120	30	4103	4.82	10.5	0.326	490	53.78	E50
A2	5	120	30	4093	5.05	10.7	0.342	610	87.02	E90
A2	6	120	30	4086	5.45	15.8	0.37	590	87.77	E90
A2	7	120	30	4076	5.2	12.4	0.354	660	104.57	E110
A2	8	120	30	4091	5.05	13.3	0.342	600	84.1	E90
A2	9	120	30	4099	5.43	13.4	0.367	590	87.61	E90
A2	10	120	30	4100	4.42	10.9	0.299	630	81.42	E90
A2	11	120	30	4150	5.3	12.7	0.354	600	89.59	E90
A2	12	120	30	4101	5.14	10.7	0.348	620	91.83	E90
A2	13	120	30	4069	5.15	11	0.351	600	85.39	E90
A2	14	120	30	5121	5.17	9.9	0.28	530	84.19	E90
B1	1	120	30	4114	4.97	13.1	0.335	620	88.96	E90
B1	2	120	30	4070	4.76	11.5	0.324	600	78.86	E70
B1	3	120	30	4091	5.33	13	0.361	620	94.79	E90
B1	4	120	30	4249	5.18	13.3	0.338	530	69.96	E70
B1	5	120	30	4089	4.99	12.5	0.338	610	85.83	E90
B1	6	120	30	4092	4.89	10.8	0.331	550	68.43	E70
B1	7	120	30	4087	4.59	13.1	0.311	610	78.9	E70
B1	8	120	30	4091	4.47	11.6	0.303	600	74.51	E70
B1	9	120	30	4112	4.63	12.2	0.312	560	67.53	E70
B1	10	120	30	4113	5	13.4	0.337	620	89.45	E90
B2	1	120	30	4069	5.22	14.6	0.356	650	101.64	E110
B2	2	120	30	4141	5.32	11.9	0.356	580	83.82	E90
B2	3	120	30	4080	5.09	12.3	0.346	640	96.29	E90
B2	4	120	30	4125	5.36	10.4	0.36	540	72.91	E70
B2	5	120	30	4116	5.07	14.3	0.342	610	88	E90
B2	6	120	30	4098	5.02	11.7	0.34	580	78.4	E70
B2	7	120	30	4069	4.88	10.5	0.333	630	89.32	E90
B2	8	120	30	4094	5	10.1	0.339	580	78.02	E70
B2	9	120	30	4098	5.22	10.7	0.353	560	75.88	E70
B2	10	120	30	4075	4.56	10.7	0.31	610	78.18	E70

パネル		W mm	D mm	L mm	重量 kg	平均含水率 %	比重	周波数 Hz	Ef r tf/cm ²	Eグレード
B3	1	120	30	4100	4.96	11.2	0.336	610	85.78	E90
B3	2	120	30	4099	5.04	10.3	0.341	550	70.74	E70
B3	3	120	30	4096	4.77	11.3	0.323	620	85.02	E90
B3	4	120	30	4098	4.83	10.5	0.327	590	78.02	E70
B3	5	120	30	4068	4.41	11.8	0.301	620	78.15	E70
B3	6	120	30	4149	5.05	11.9	0.338	540	69.25	E70
B3	7	120	30	4108	5.17	11.2	0.349	660	104.71	E110
B3	8	120	30	4075	4.8	12.7	0.327	580	74.56	E70
B3	9	120	30	4109	4.78	12.5	0.323	560	69.8	E70
B3	10	120	30	4122	5.26	11	0.354	620	94.37	E90
B4	1	120	30	4104	5.21	11.4	0.352	650	102.24	E110
B4	2	120	30	4101	5.43	12.4	0.367	490	60.49	E70
B4	3	120	30	4110	5.11	10.5	0.345	590	82.8	E90
B4	4	120	30	4110	5.39	9.7	0.364	610	93.39	E90
B4	5	120	30	4075	5.19	11.3	0.353	590	83.29	E90
B4	6	120	30	4089	5.21	11.2	0.353	590	83.86	E90
B4	7	120	30	4095	5.32	10.2	0.36	620	94.72	E90
B4	8	120	30	4122	5.3	10.2	0.357	590	86.18	E90
B4	9	120	30	4126	5.13	11.6	0.345	600	86.3	E90
B4	10	120	30	4125	5.33	11.6	0.358	610	92.52	E90
平均					5.03	11.73	0.339	591.91	82.35	E90

2.2.4 試験結果

試験実施	一般財団法人建材試験センター		
試験日	12月21日	試験体A（60分加熱）	
	12月23日	試験体B（45分加熱）	

試験体Aは載荷加熱 60分を実施したが、試験体Bでは試験開始37分経過時に荷重維持が困難になり始めたため、安全性を考え試験場判断により38分で加熱を中止した。加熱試験終了後、加力治具を解体し鋼製枠ごと脱炉し放水消火を行った。加熱終了、脱炉まで試験体Aでは約9分、試験体Bでは約11分経過した。消火後の残存断面を目視観察した。

試験結果を表 12に示す。試験体Aの温度測定結果を図 37～図 41に、試験体Bの温度測定結果を図 43～図 47に示す。また試験体A、Bの残存断面測定結果を図 42、図 48に示す。

表 12 試験結果

		試験体A		試験体B
樹種		スギ		スギ
DLT構成材		38×140		30×105
床上合板		構造用合板 厚12mm		
スパン（mm）		3,900mm		
載荷荷重 ^{※1} （kN）		94.6kN		52.6kN
加熱時間		60分		37分
260℃を超えた時間 （加熱開始からの経過 時間）（分）	20mm	33, 40, 43		—
	20.5mm	—		21, 22, 27
	40mm	54, 57		—
	42.5mm	—		35
最大たわみ量（mm）		111.3 mm（60分00秒） 【制限値：271.6mm】		128mm（加熱37分時） 【制限値：362.2mm】
最大たわみ速度（mm/分） ^{※2}		—		11.9mm/分（加熱37分時） 【制限値：16.1mm/分】
遮炎性	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（加熱37分時）
	非加熱側へ10秒を超えて継続する発炎の有無	なし		なし（加熱37分時）
	火炎が通る亀裂等の損傷の発生の有無	なし		なし（加熱37分時）
遮熱性	初期温度	17℃		15℃
	裏面温度（最高）	63℃ （加熱51分時）	62℃（60分00秒） 【制限値：197℃】	114℃（加熱37分時） 【制限値：195℃】
	裏面温度（平均）	27℃ （加熱45分時）	28℃（60分00秒） 【制限値：157℃】	29℃（加熱37分時） 【制限値：155℃】

※1 載荷荷重には加熱治具 4.12kNを含む。

※2 最大たわみ速度はたわみ量がL/30 を超えるまで適用しない。

1) 試験体A

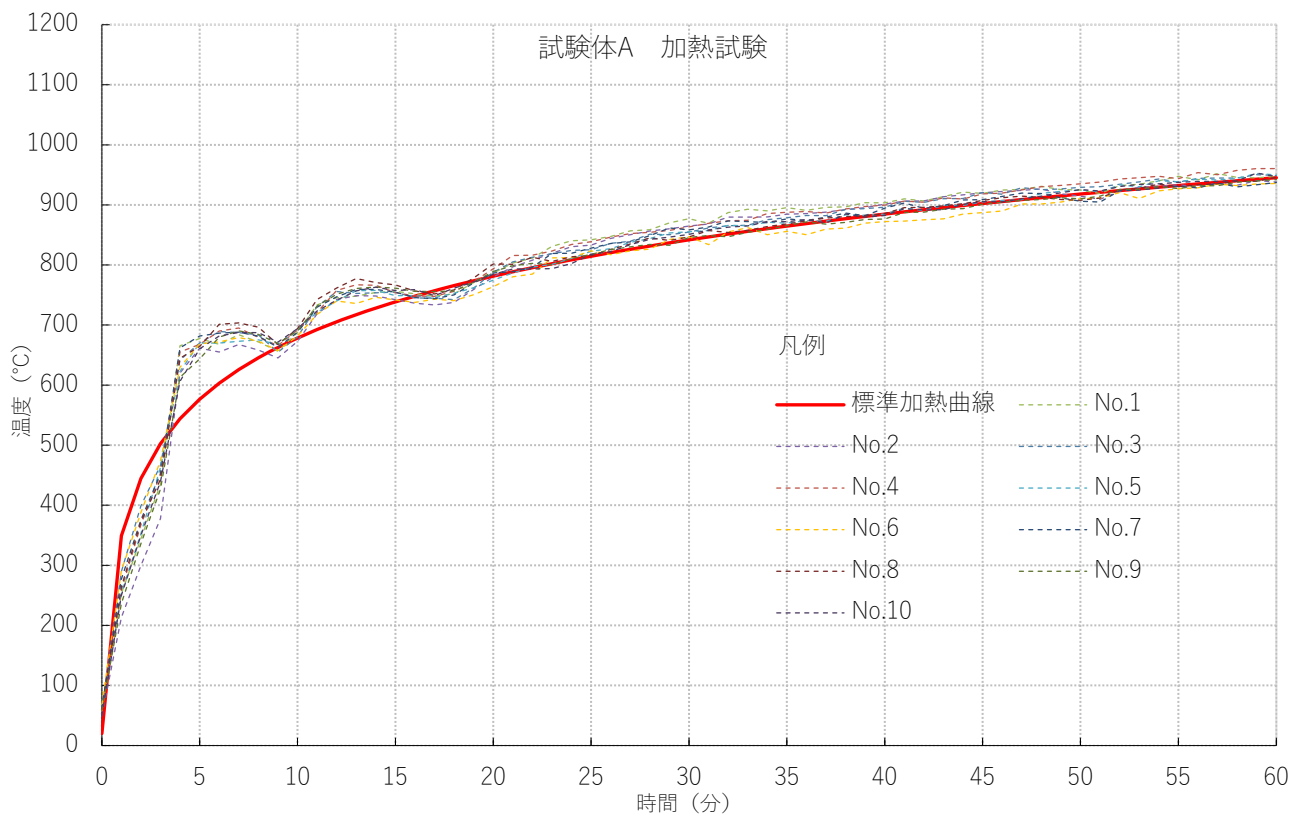


図 37 試験体A 加熱温度測定結果

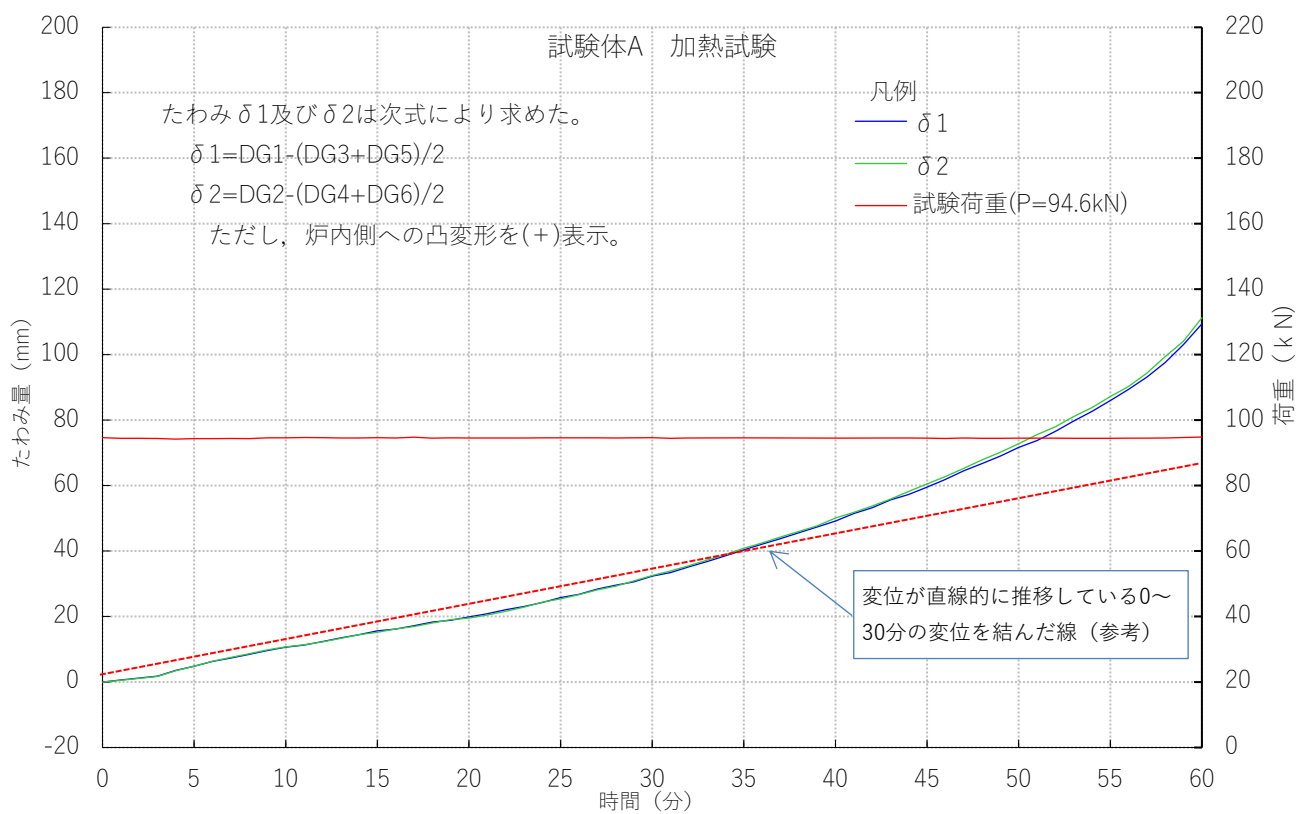


図 38 試験体A 荷重 - 変位測定結果

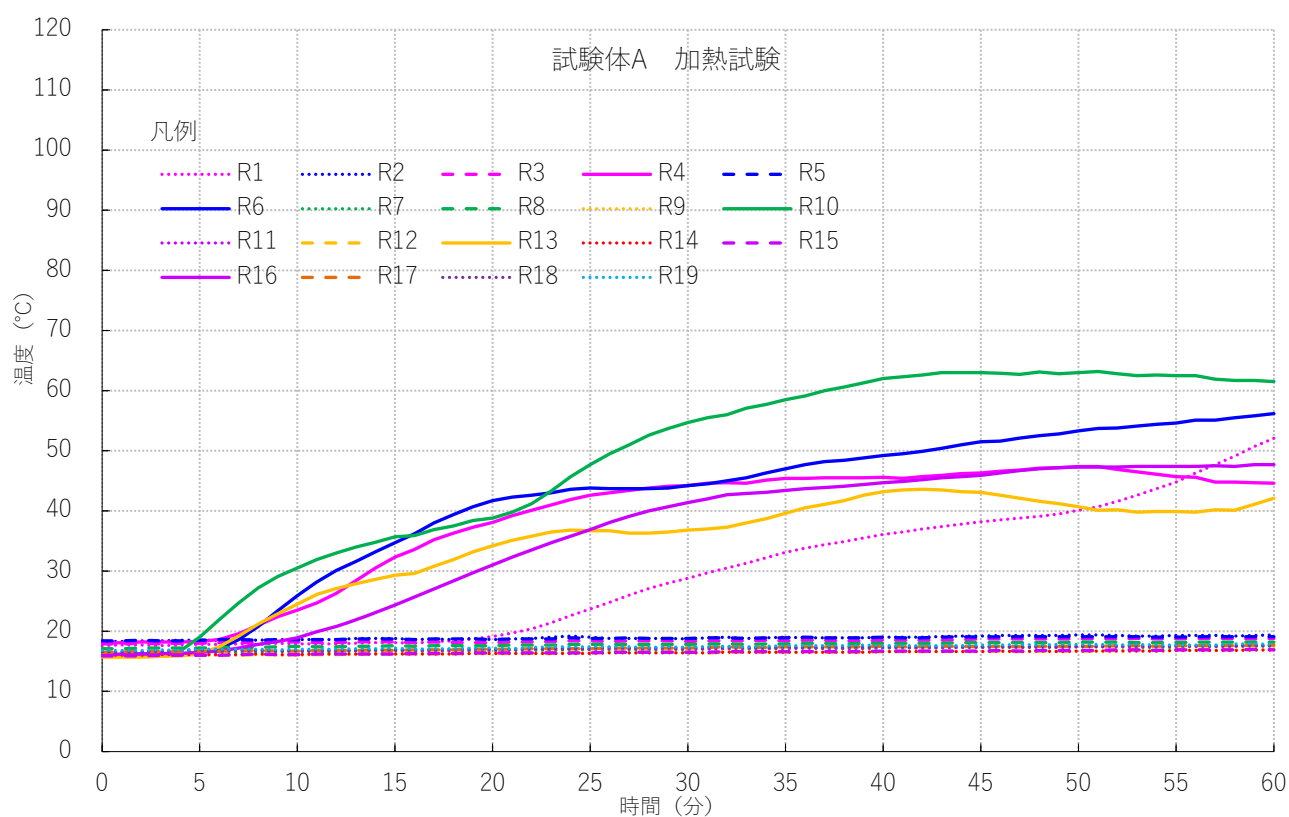


図 39 試験体A 合板裏面温度測定結果

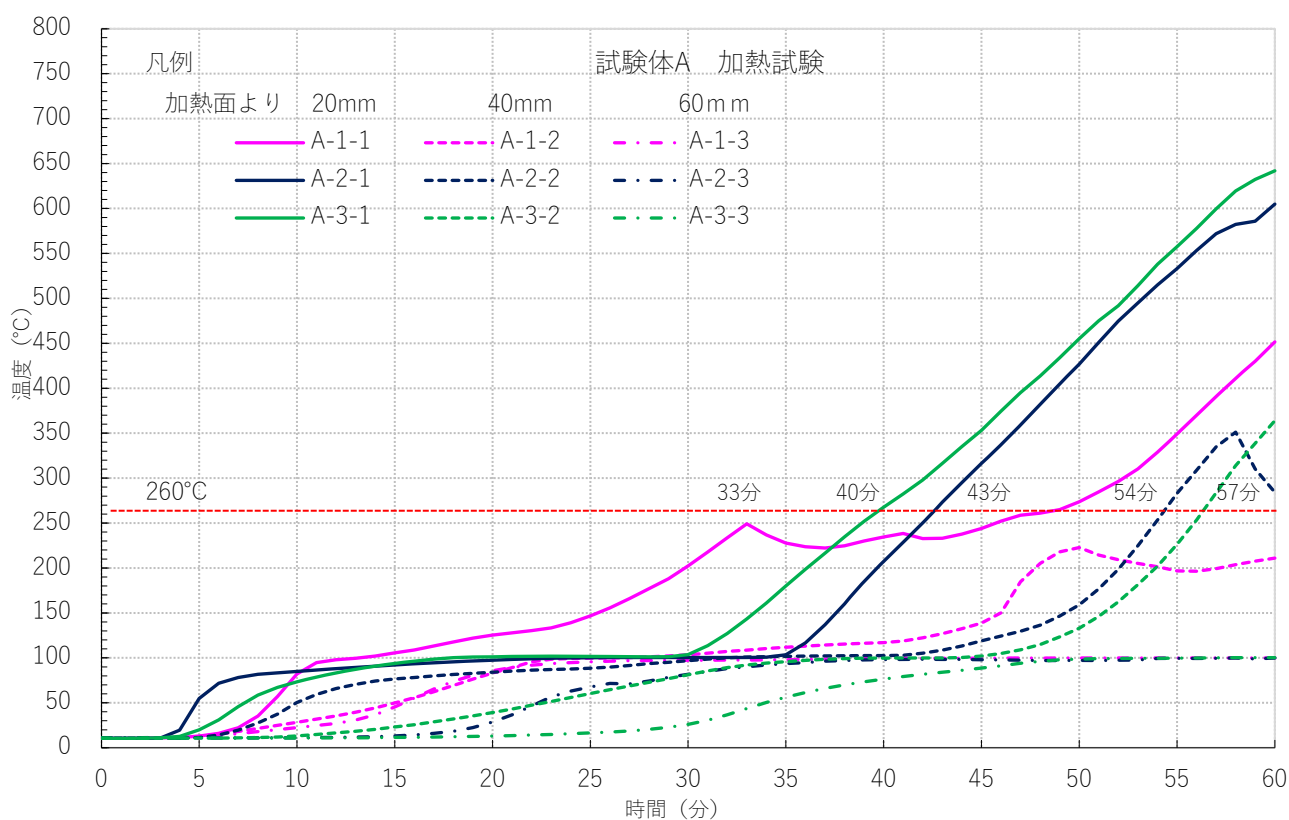


図 40 試験体A 内部温度測定結果

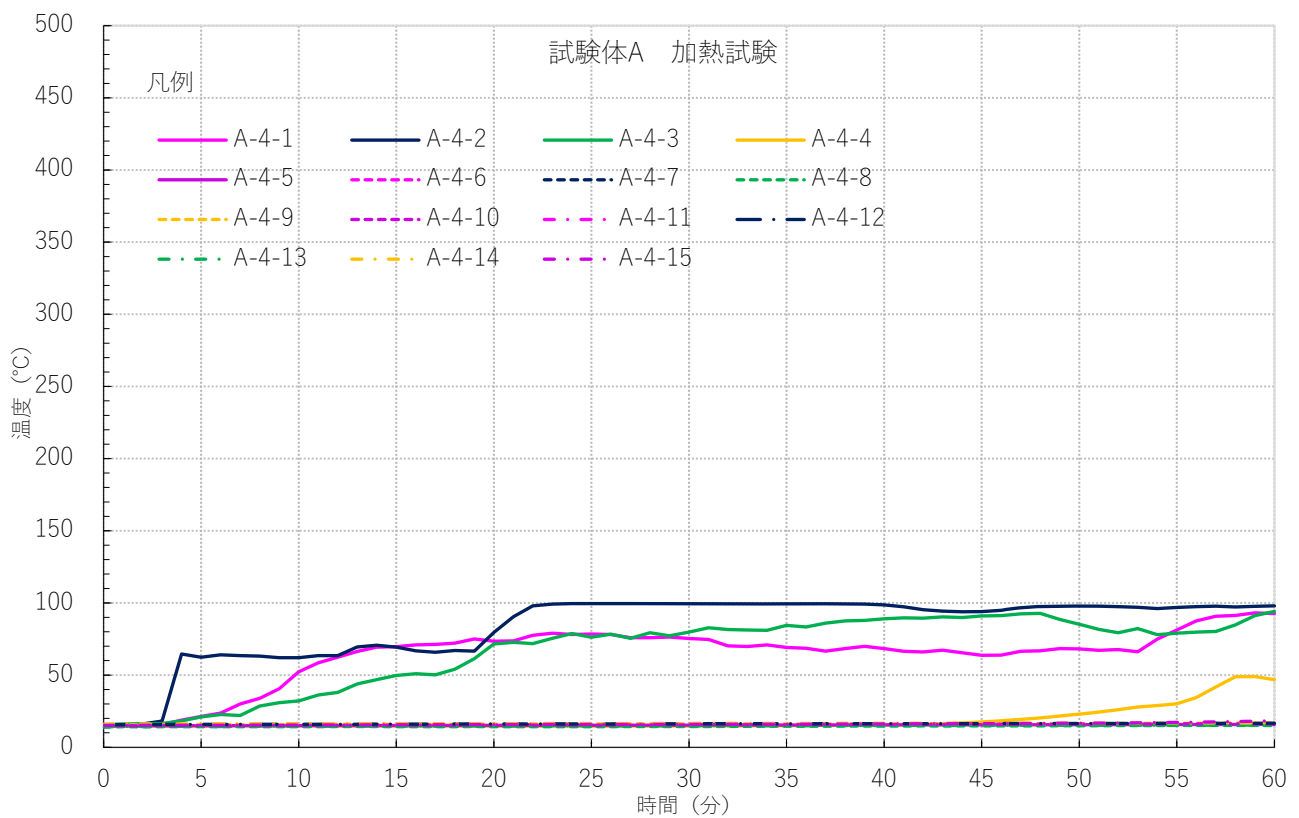


図 41 試験体A 合板表面温度測定結果

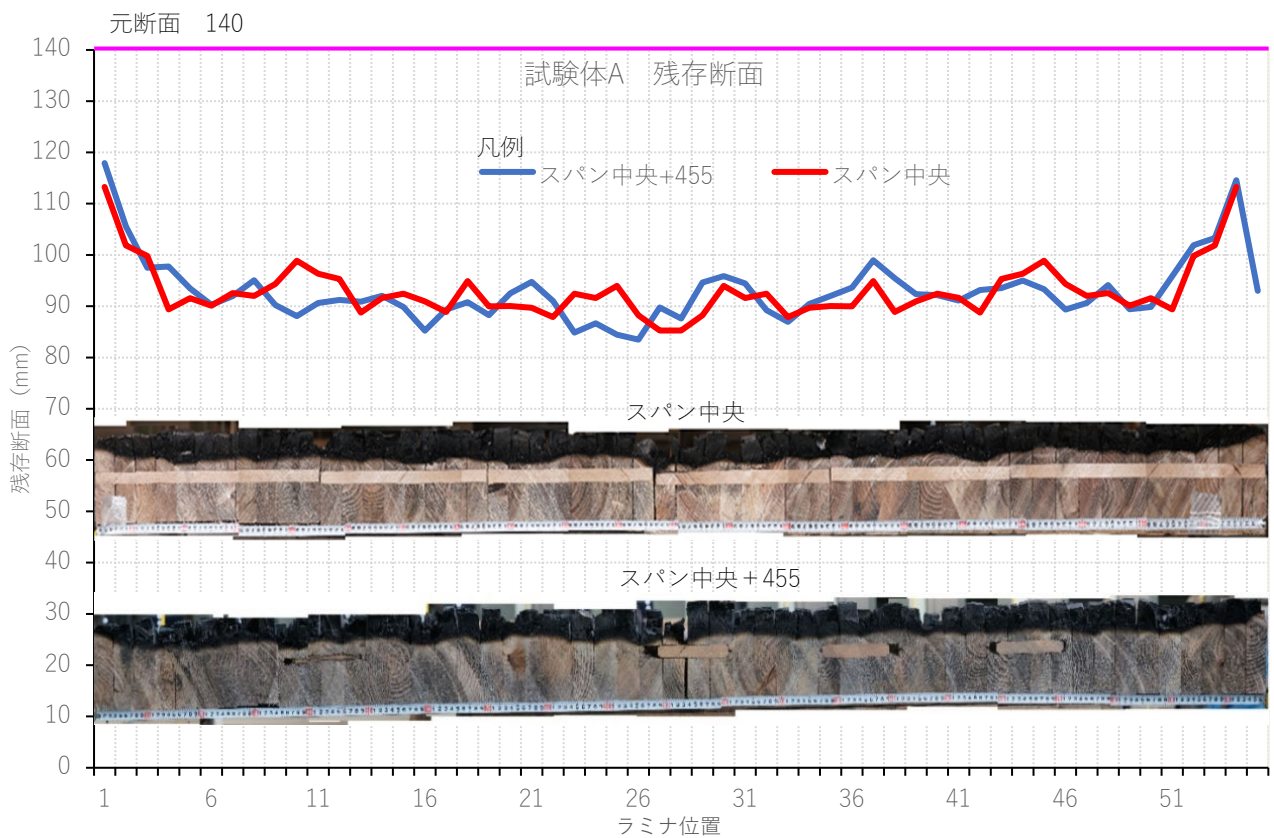


図 42 試験体A 残存断面測定結果 (ラミナ 38×140)

2) 試験体B

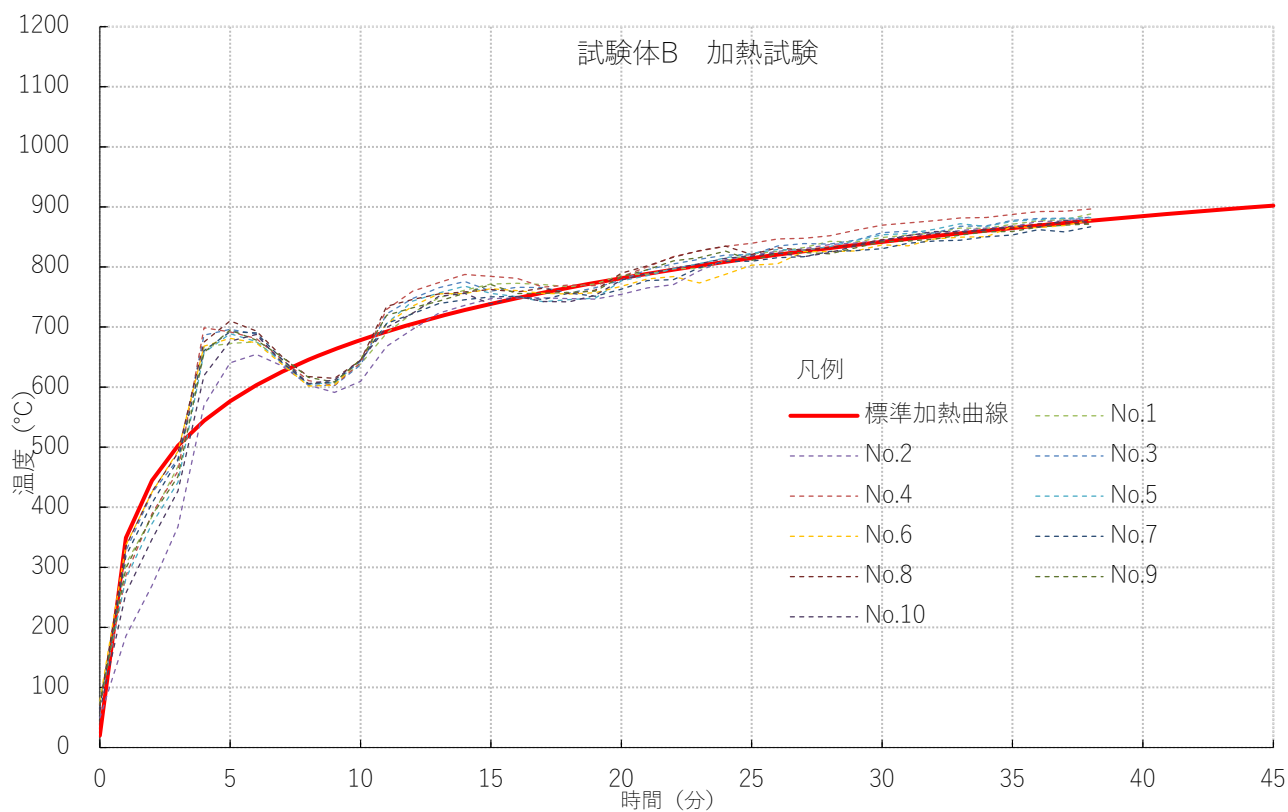


図 43 試験体B 加熱温度測定結果

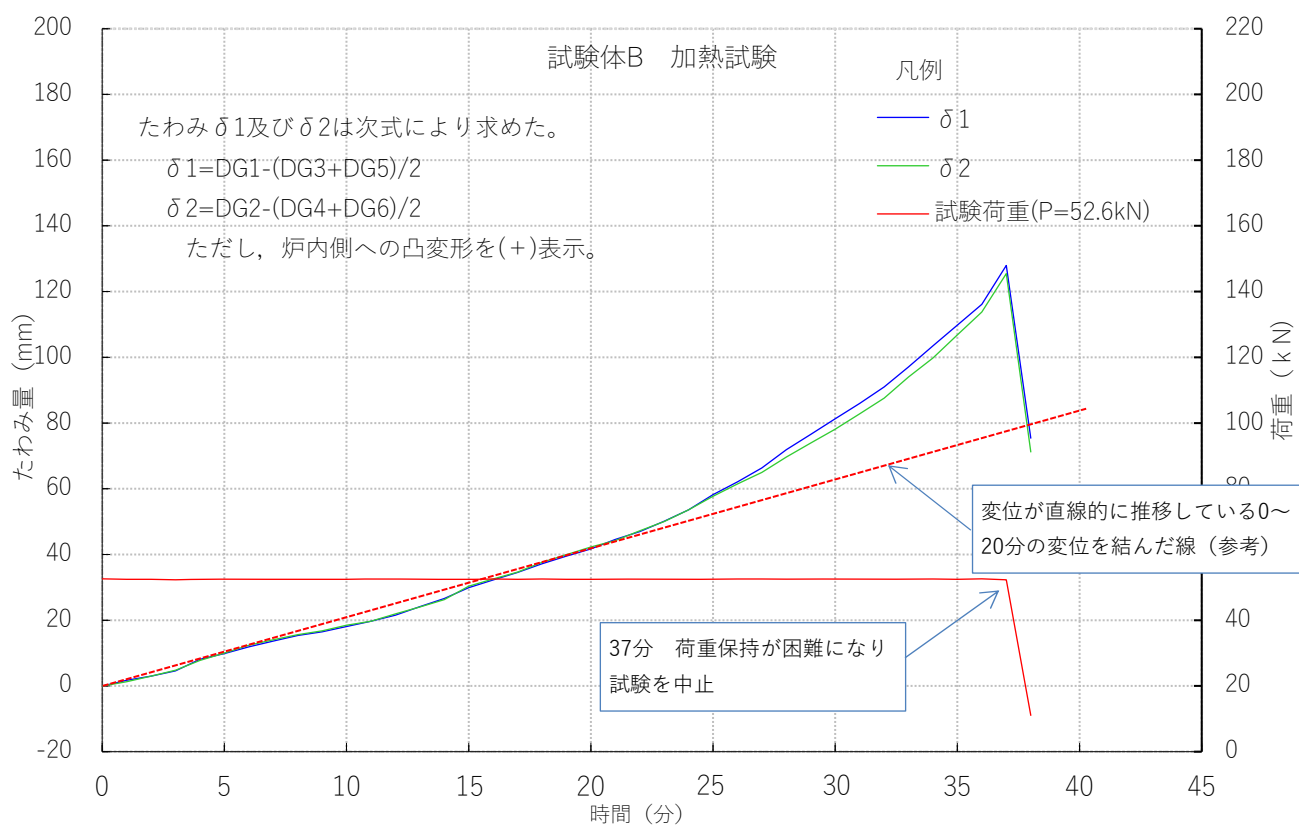


図 44 試験体B 荷重 - 変位測定結果

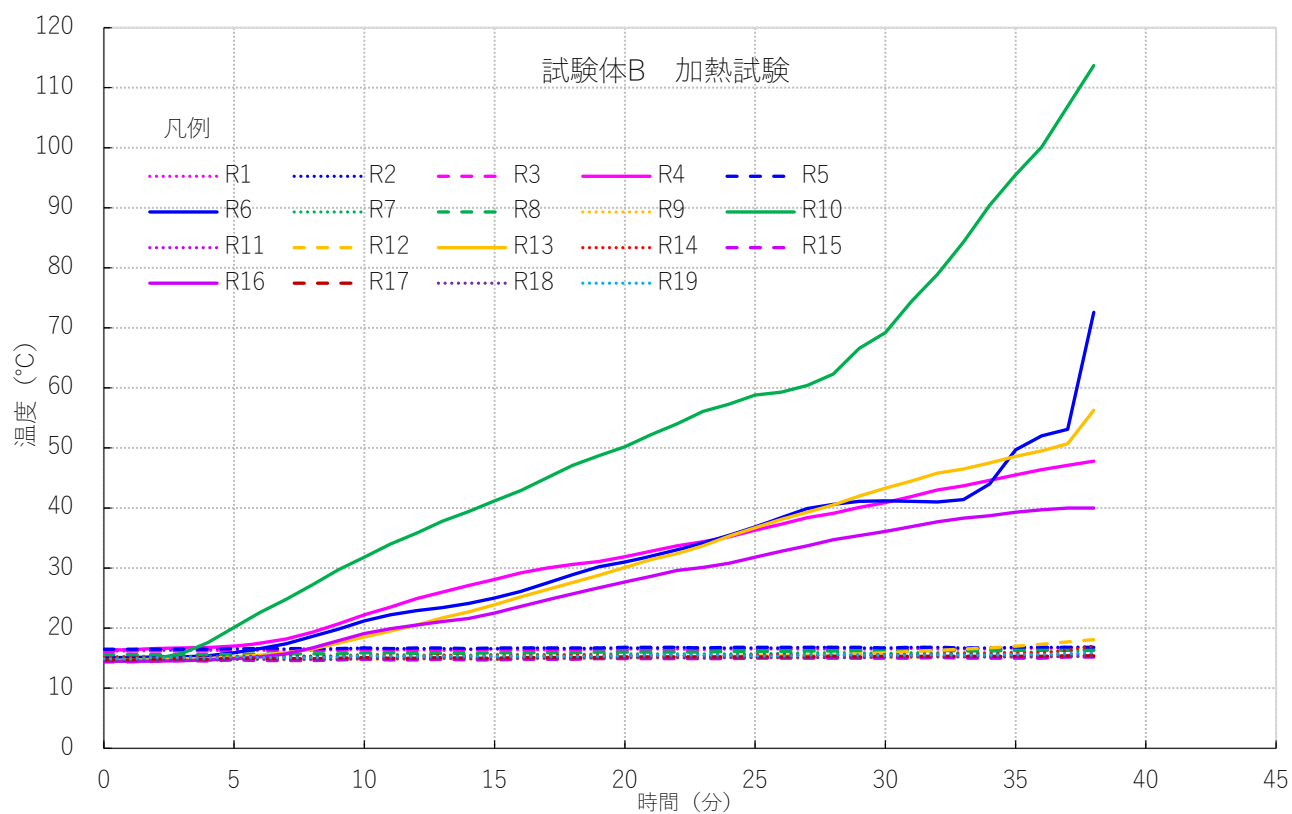


図 45 試験体B 裏面温度測定結果

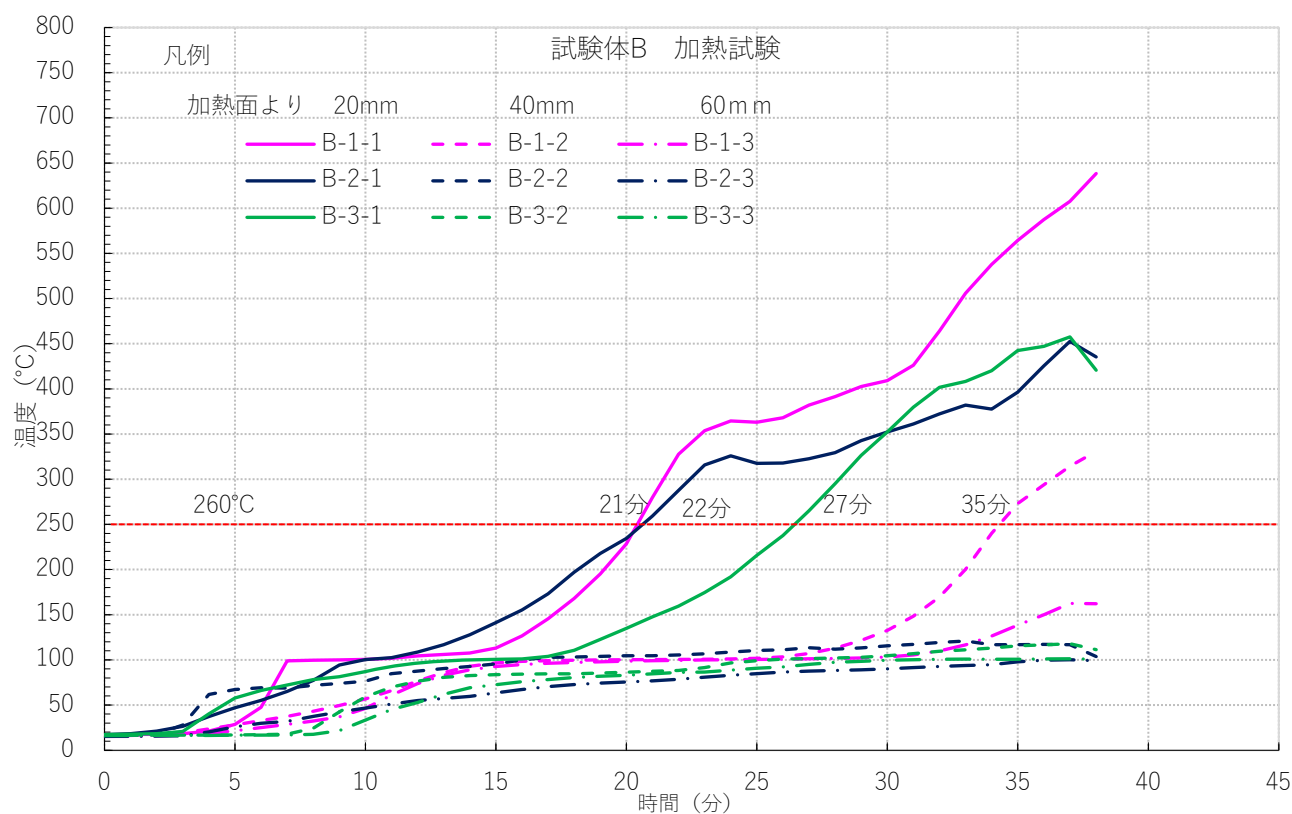


図 46 試験体B 内部温度測定結果

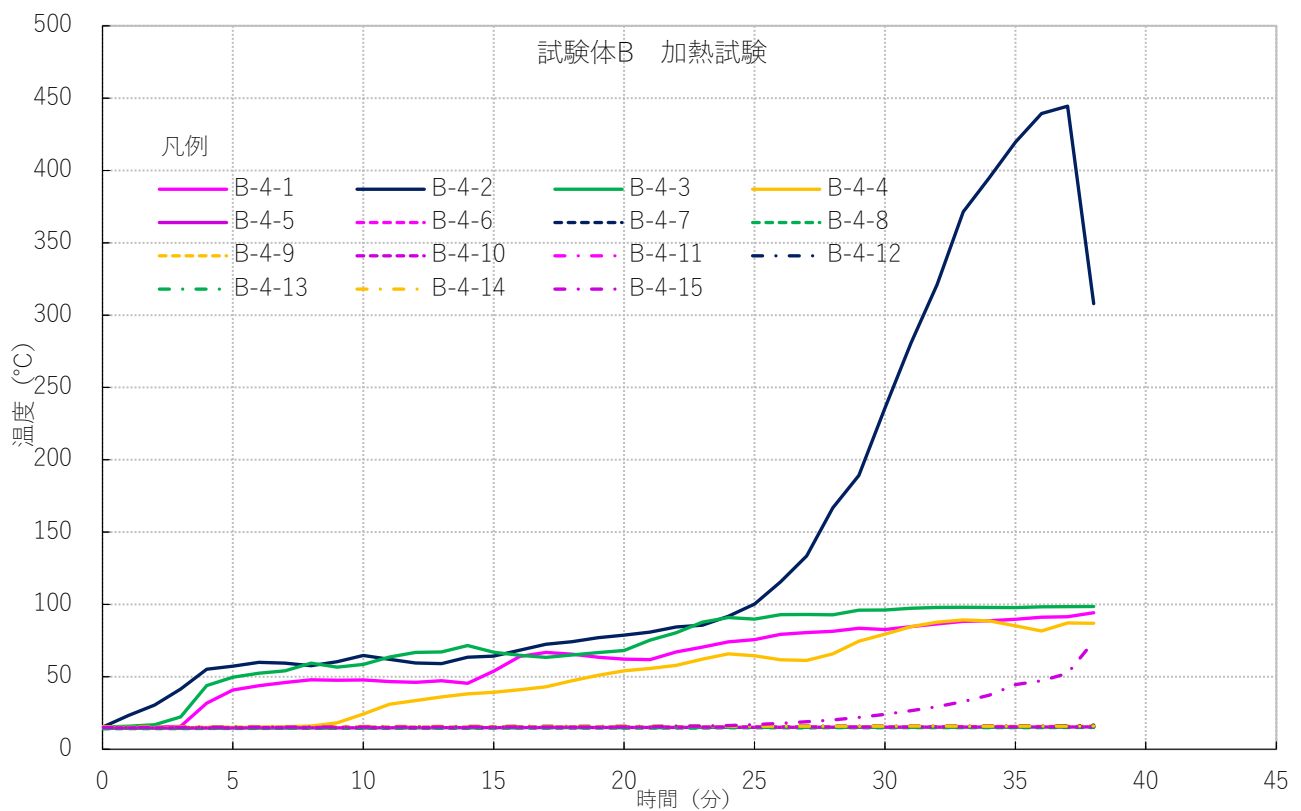


図 47 試験体B 合板表面温度測定結果

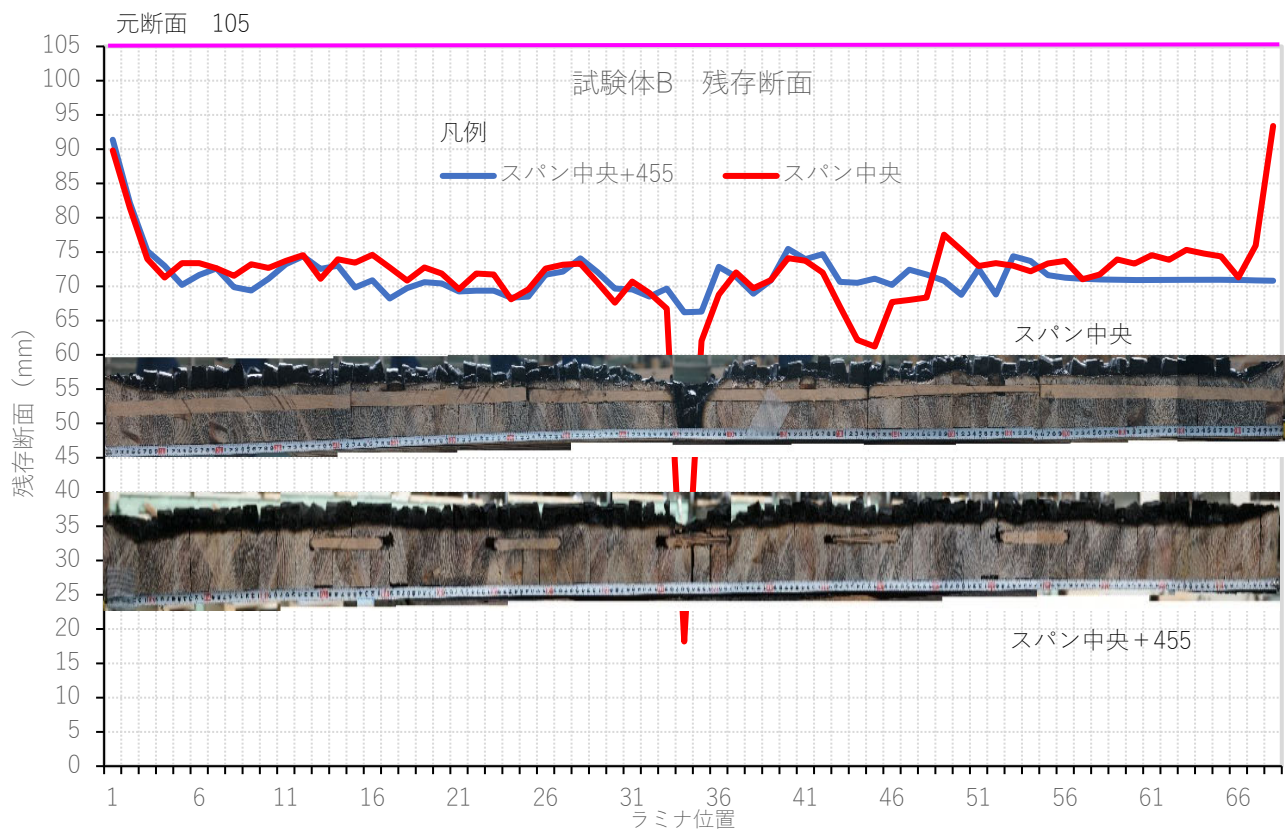


図 48 試験体B 残存断面測定結果 (ラミナ 30×105)

2.2.5 試験結果の考察

1) DLTの防火性能について

試験体A スギ38×140DLT スパン3.9mは、60分載荷加熱試験にて最大たわみ量は制限値以下で、非加熱側への炎の噴出がなく、裏面温度の上昇も制限値以下と遮炎性、遮熱性が確認された。この結果よりスギ38×140DLTは60分 準耐火構造 床と同等の性能を有すると推測される。

試験体B スギ30×105DLT スパン3.9mは、45分加熱載荷加熱のところ37分時点で荷重保持が困難になり試験を中止した（加熱は38分まで）。スギ30×105DLTは45分準耐火構造床の性能を有することは確認できなかったが、経過状況から30分準耐火構造 屋根と同等の性能を有すると推測される。

2) DLTの炭化速度について

図 40、図 46より、加熱面より試験体Aは 20mm、40mm、試験体Bは、20.5mm、42.5mmの位置の温度計で木材内部温度が260℃を超えた時間より炭化速度を求める。

試験体A：深さ20mmの位置で33分頃、40分、43分に、深さ40mmで54分、57分に260℃を超えており、炭化速度は20mmで0.47～0.61mm／分、40mmで0.70、0.74mm／分。

試験体B：深さ20.5mmの位置で21分、22分、27分に、深さ42.5mmで35分に260℃を超えており、炭化速度は20.5mmで0.76～0.98mm／分、42.5mmで1.21mm／分。

無載荷加熱試験と載荷加熱試験の炭化速度の比較は表 13の通り。スギ 30×105DLTでは載荷加熱の炭化速度は無載荷加熱に比べ12～13％程度大きい。

表 13 炭化速度の比較

DLT 断面		試験体A	試験体B
		スギ 38×140	スギ 30×105
無載荷加熱試験	20mm	0.69～0.80 mm／分	—
	20.5mm	—	0.73～0.85 mm／分
	40mm	0.78～0.82 mm／分	—
	42.5mm	—	—
載荷加熱試験	20mm	0.47～0.61 mm／分	—
	20.5mm	—	0.76～0.98 mm／分
	40mm	0.70～0.74mm／分	—
	42.5mm	—	1.21mm／分

図 46より試験体BのB-1-2（加熱面より42.5mm）の温度が約34分時点で260℃まで燃え進んでいることが確認でき、これにより急激に変形が進んだものと推測される。無载荷加熱試験では試験体Bの内部温度測定結果 図 15で同じ位置の温度計 B-1-2、B-2-2、B-2-6（加熱面より42.5mm）は260℃まで達していない。载荷加熱による局所的な燃え込みが、残存断面の観察からも燃え込みが確認できる。

3) DLTのたわみ量について

設計値と実測値との比較は表 14の通り、試験体Aでは概ね設計値に相当する値が得られている。試験体Bは加熱37分で試験中止しており、たわみ量は参考値である。図 38より試験体Aは加熱開始30分頃よりたわみ量が加速度的に増加している。30分頃というのは、表 13の炭化速度から計算すると20mm程度燃えた頃に相当する。また、図 44より試験体Bは加熱開始20分頃よりたわみ量が加速度的に増加している。20分頃というのは、表 13の炭化速度から計算すると15～20mm程度燃えた頃に相当する。木材温度が150～200℃で弾性係数が75～65%程度に低下することから、断面減少と加熱領域の増加による弾性係数の低下によりたわみ量が増加したと推測される。

本試験では試験体のスパン中央部に木ダボ貫通部を設けている。試験体Bの残存断面の観察でスパン中央部のラミナに水平方向の割れが目視で確認された（写真 84、写真 85）。木材温度が150～200℃に達すると常温に比べ木材強度は60～50%程度に、弾性係数は75～65%程度に低下するとされ、図 46でB-1-2（深さ42.5mm）が150℃を超えた時点より強度低下し始め、B-1-3（深さ60mm）が150℃を超えた35分以降にスパン中央の木ダボ貫通部でラミナの曲げ破壊が生じ始めたことにより、荷重保持が困難になったものと推測される。

表 14 たわみ量の比較

	試験体A	試験体B
断面寸法	38×140	30×105
設計たわみ量 (mm)	118.0mm	288.9mm
実測値 (mm)	111.3 mm (60分)	128mm (加熱37分時)
制限値 (mm)	271.6mm	362.2mm
設計時の断面 (mm)	91.0mm	53.0mm
残存断面の平均値 (mm)	93.0mm	71.5mm (加熱37分時)

4) DLTの裏面温度について

試験体A、Bとも試験体中央部に4mmの隙間を設けている。試験体Aでは隙間の合板表面温度（A-4-1、A-4-2、A-4-3）は試験終了時点で平均95℃（図 41）、隙間上の裏面温度（R-4、6、10、13、16）は平均51.6℃であった（図 39）。

一方、試験体Bではスパン中央から左右900mmの2カ所（B-4-1、B-4-3）の隙間の合板表面温度は試験終了時点で平均95°Cであったが（図 47）、スパン中央（B-4-2）では加熱後25分頃から温度上昇し30分経過後に260°Cに達し、試験終了時点で444.5°Cであった。また隙間上の裏面温度（R-4、6、10、13、16）は平均66.1°Cであったが、スパン中央（R10）は106.9°Cに達した（図 45）。断面不足から変形が大きくなり隙間近傍のラミナで燃焼が進み、大きく燃え込みが生じていたことによる。なお、試験中、試験終了時に裏面からの炎の噴出、発炎は確認されなかったが、加熱終了、脱炉・消火まで11分程度燃焼が続いたため、残存断面の観察では大きく燃え込んでいる状態が確認された。

2.2.6 試験写真

1) 試験体製作



写真 43 ラミナ調板状況



写真 44 ラミナ配列・組合せ



写真 45 ラミナ積層



写真 46 長さクロスカット



写真 47 試験体 パネル組立完了



写真 48 試験体鋼製架台

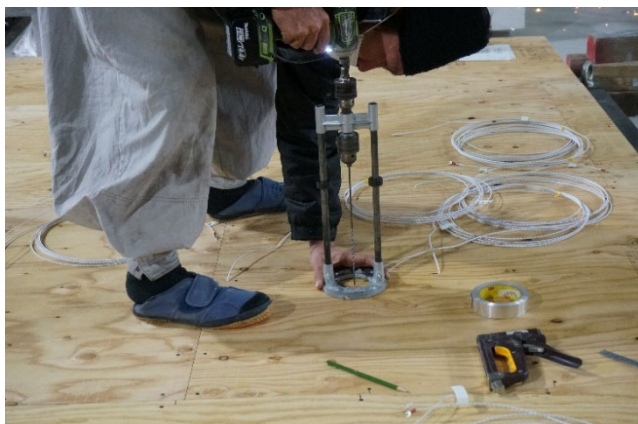


写真 49 熱電対孔加工状況

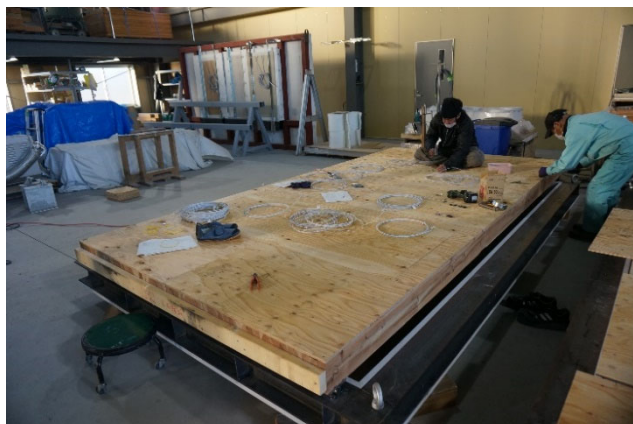


写真 50 熱電対取り付け状況



写真 51 熱電対取り付け完了

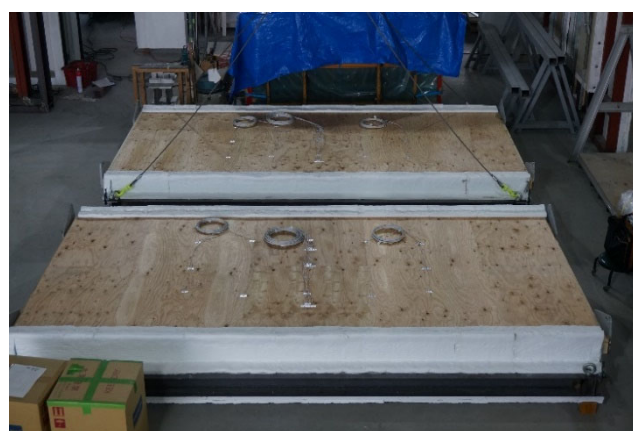


写真 52 断熱材取り付け完了



写真 53 試験体A 加熱面



写真 54 試験体B 加熱面

1) 試験体A (スギ 38×140) 試験状況



写真 55 試験体設置状況



写真 56 炉内加熱面

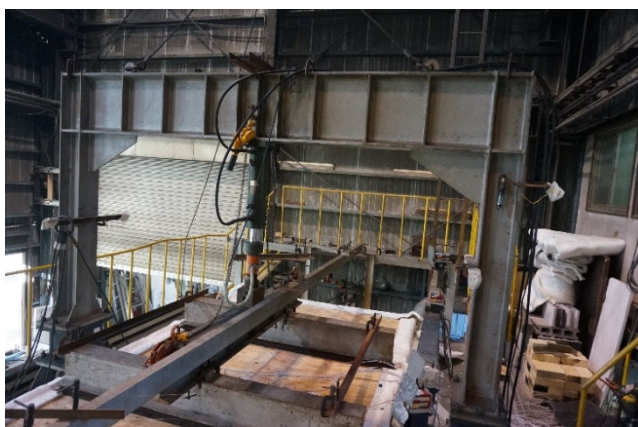


写真 57 荷重載荷治具



写真 58 加熱炉全景



写真 59 加熱開始時の状況

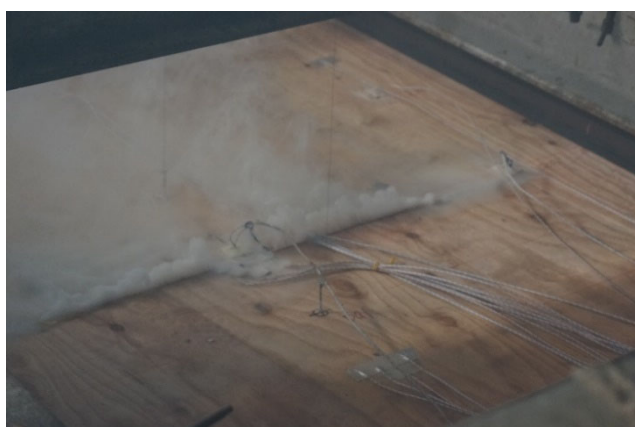


写真 60 加熱開始時の裏面の拡大



写真 61 加熱終了時の状況



写真 62 脱炉状況



写真 63 脱炉後の加熱面

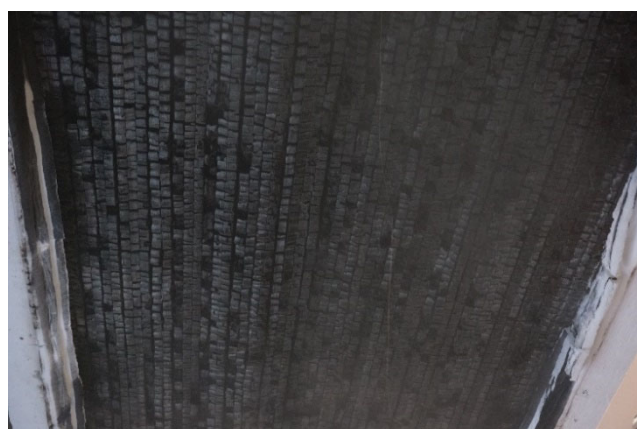


写真 64 加熱面の拡大



写真 65 試験体A スパン中央 切断面



写真 66 試験体A スパン中央+455部 切断面

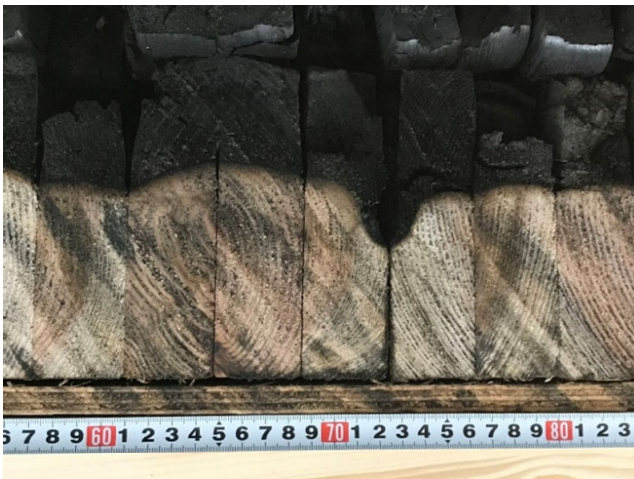


写真 67 残存断面の観察（パネル継ぎ手部分）



写真 68 残存断面の観察（隙間部分）



写真 69 残存断面の観察（隙間部分）



写真 70 残存断面の観察（隙間部分）



写真 71 DLTラミナ合板側の状態

2) 試験体B (スギ 30×105) 試験状況



写真 72 試験体の設置状況



写真 73 炉内加熱面

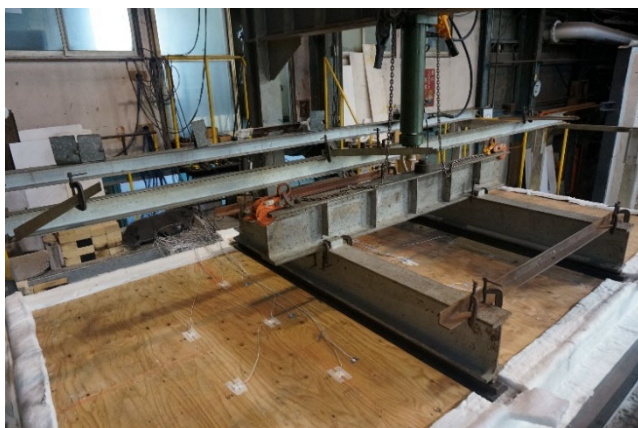


写真 74 荷重載荷治具



写真 75 加熱炉全景



写真 76 加熱開始時の状況



写真 77 加熱開始時の裏面の拡大



写真 78 加熱終了時の状況



写真 79 脱炉状況



写真 80 脱炉後の加熱面



写真 81 加熱面の拡大



写真 82 試験体B スパン中央 切断面



写真 83 試験体B スパン中央+455部 切断面



写真 84 残存断面の観察（パネル継ぎ手部）



写真 85 残存断面の観察（隙間部分）

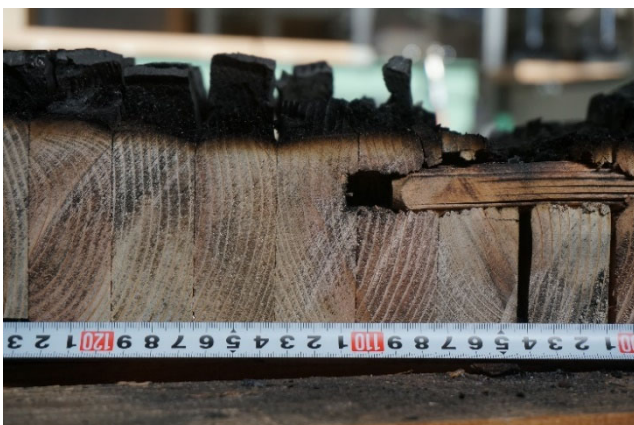


写真 86 残存断面の観察（隙間部分）



写真 87 残存断面の観察（隙間部分）

3. DLT の活用と普及にむけて

3.1 DLT の活用について

- ・ スギ38×140DLT スパン3.9mは、60分準耐火構造 床と同等の性能を有することが確認できた。スギ30×105DLT スパン3.9mの試験体は、試験の経過状況より30分 準耐火構造 屋根と同等の性能を満たすことが確認できた。今回の結果を参考に、必要な断面せいとすることで45分準耐火構造 床の性能確保できる可能性も十分にあり、加熱試験等による検証を進めたい。

本事業の結果を踏まえれば、DLTの準耐火構造の大臣認定取得は可能といえ、今後、関連団体や事業者等が大臣認定を取得すれば、図 49で示すような木造準耐火建築物でのDLT現しの床構造や屋根構造での活用が期待できる。

- ・ DLT は木ダボだけで接合し積層するため、強度特性は構成するラミナの木材強度に由来する。ラミナの節やねじれ、反り、曲がりや燃焼性に影響することから、DLT を構造用途で使用する場合は、素材の品質が明確な JAS 材の利用が望ましいといえる。
- ・ 製造に大規模な製造設備が不要なDLTは中小製材事業者による生産に適している。DLTに防火性能を付与することで、より利用拡大が図れ、大径材活用とあわせて、地域分散型の生産が期待できる。
- ・ なお、DLT 床構造や屋根構造として使用する場合は、内装制限が課せられる室内の天井では現わしで使うことができないので注意が必要である。（なお、延べ面積100m²以内に防火区画とした場合、防火区画による制限緩和を受けた場合、難燃処理、準不燃処理を施したひき板を積層する場合、スプリンクラーと排煙設備が設けられている場合などは、限りではない。）

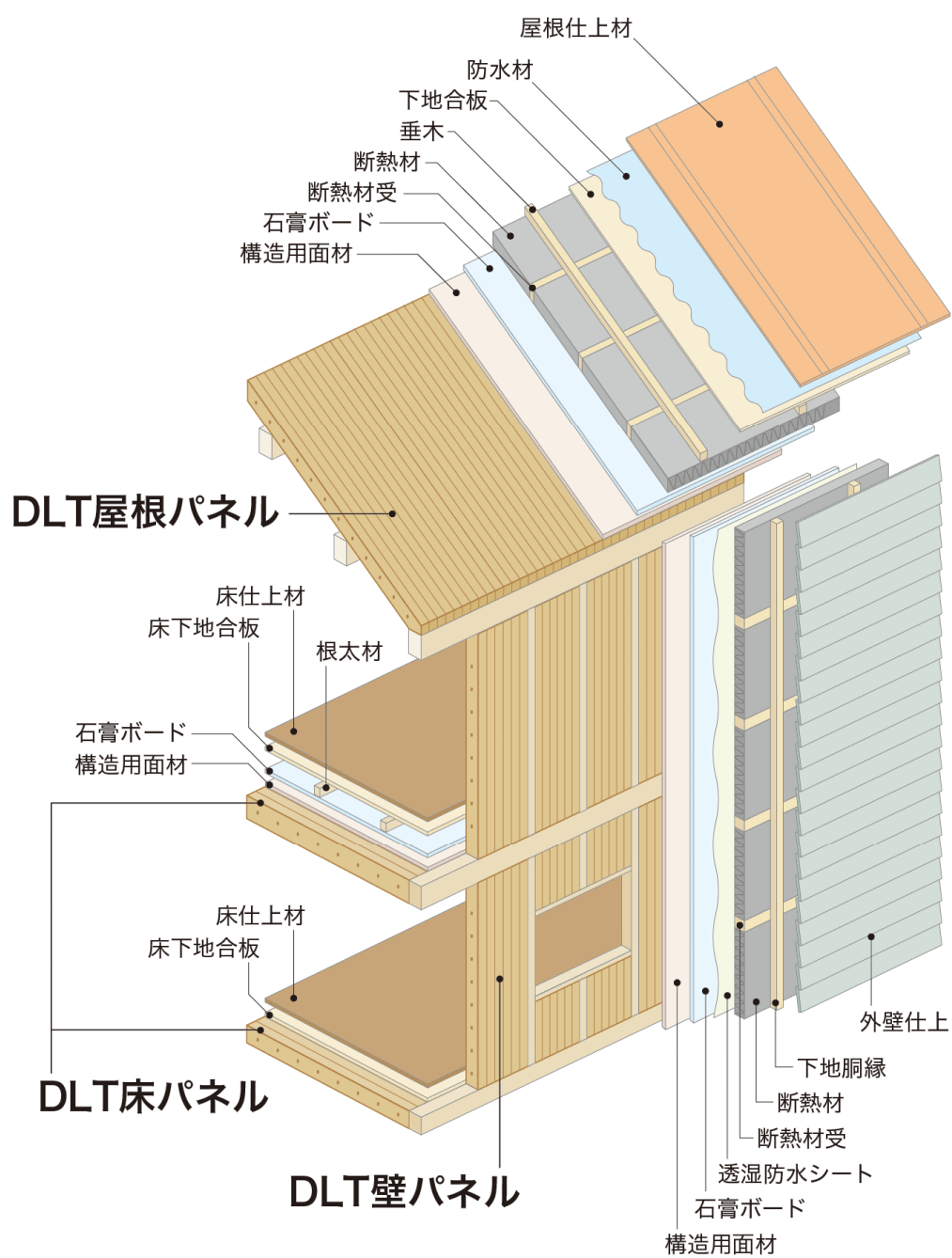


図 49 DLTの活用例

3.2 DLT の利用拡大に向けた課題

本事業の実施試験の結果を踏まえ、今後、公共建築物や都市部における木造建築物等で DLT の利用拡大を図る上で、解決が必要な課題を挙げる。

1) DLT 防火性能の拡充

- ・ 本事業ではDLT「床」での防火性能を検証したが、DLTは現わしの壁としても使用できることから、DLT壁構造で45分準耐火構造や、60分準耐火構造の検証ができれば、より利用拡大が図れると考えられる。
- ・ 今回、原木伐採長さは4mまでが主流であることから、本事業では床の最大スパンを3.9mとした。一方、製材の丸太は長さ6mまでは一般的に可能である。中大規模木造での利用拡大を図るためには、大径木を活用し、材せいを大きくとった、6 mなどのロングスパンDLTの検討・検証があると、DLTの利用拡大が図れると考えられる。
- ・ また、本事業で明らかになっていない45分準耐火構造床の性能を満たすラミナの断面せいを検証できれば、より利用し易くなると考えられる。
- ・ スギ38×140（2×6サイズ）DLT スパン3.9mは、60分準耐火構造 床の性能を満たすことが確認された。巾が38mmのツーバイ材サイズだけでなく、市場に多く流通している幅30mmなどの製材寸法をふまえたDLTでも、60分準耐火構造床としての性能を有するか確認すれば、より材料選択の幅が広がるが見込まれる。

2) DLT -コンクリート複合床版の性能把握

- ・ 昨年実施したDLT とコンクリートの複合梁の曲げ試験で、曲げ剛性の向上が図れることが確認された。本事業の加熱試験では床下面側からの加熱を受けるものと限定しているが、DLTとコンクリートの複合化をすれば、曲げ性能の向上のほか、床版上面側からの加熱にも対応が可能となり、かつ遮音性能の向上にも期待が見込める。
- ・ また、DLTとコンクリートの複合化（DLT-CC；DLT-Concrete Composite）が実現できれば、木造だけでなくS造やRC造の床においてDLTの利用拡大が図れると見込まれる。DLT-CCの性能把握はDLTの利用拡大に資するものと考えられる。

4. 添付資料

DLT耐火性能検証委員会議事録

2021年度DLT耐火性能検証委員会 第1回 議事録

日時 : 令和3年6月23日(水曜日) 14:00～15:30
会場 : オンライン (敬称略)
参加者 : 網野禎昭 (法政大学デザイン工学部建築学科 教授)
宮田雄二郎 (法政大学デザイン工学部建築学科 准教授)
花井厚周 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副部長)
小井土義治 (小井土製材株式会社 取締役社長)
勝田幸仁朗 (物林株式会社 営業本部 建設グループ グループ長)
安井 昇 (桜設計集団一級建築士事務所 代表)
小林直人 (一般財団法人建材試験センター 中央試験場)
野中峻平 (一般財団法人ベターリビング つくば建築試験研究センター)
長谷川泰治 (株式会社長谷萬 代表取締役副社長)

オブザーバー :

竹本央記 (林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐)
松本陽子 (林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材専門官)
平原章雄 (木構造振興株式会社 常務取締役)
宮城県CLT等普及推進協議会

欠席 : 大貫 肇 (物林株式会社 新事業推進部 部長)
原田寿郎 (森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究専門員)
河野博紀 (一般財団法人建材試験センター 中央試験場)
深町尚子 (群馬県森林環境部)

事務局 : 鈴木康史、小林辰美 (株式会社長谷萬 開発本部)

1. オリエンテーション

① 参加者紹介

② 事業主体挨拶 (長谷川)

今年度は国内初のDLT耐火性能検証ということで、委員会にご参加される方も増え、事業が充実してきた。昨年度までは主に構造の技術開発を着実に進めてきており、住宅等でのDLT採用事例が徐々に増えてきた。今回のDLT耐火性能検証を経て、さらなる普及拡大に繋がたいと考えている。このDLTは主に中小の材木屋、製材所、工務店での製造、活用に適した素材である。その特徴を大事にして研究を行いたく、皆様のご協力をお願いしたい。

③ 委員会名称

下記の名称とすることを確認した。

正式名称：2021年度DLT耐火性能検証委員会

略称：DLT検討委員会

④ 委員長選出

安井委員が選出された。

2. 背景、目的

本事業の背景及び目的について、下記を共有した。

- ① これまで2年にわたり主にDLTの構造面の性能評価を進め、防耐火性能が要求されない低層木造建築物にDLTの活用を進めてきた。今後、さらなる適用拡大に向けて、非住宅用途の大規模木造建築や、木造以外のS造やRC造でのDLT利用の道筋が求められる。
- ② こうしたDLTの利用拡大を図るため、今回、防火性能の検証に着手する。DLTは集成材やCLT等の接着による積層材と異なり、木ダボで積層していることから、例えば、製材同士の隙間からの燃えひろがりや、木ダボへの熱の伝わりや燃焼の確認など、DLTの構成に基づく、加熱による基礎的な影響検証が必要となる。
- ③ 目的はDLTの適用範囲拡大。

3. 昨年度までの性能試験等内容の確認

4. 今回目標とする防火性能について

- ① 本事業では45分準耐火構造の達成を目標とする。

DLTの防火性能として、本事業では現状、木造準耐火建築物の多くを占める、45分準耐火構造を初駒のステップとする。

45分準耐火構造 床の防火性能検証を行い、その必要断面や構成を見極めた上で、将来的に1時間準耐火構造を目指すことを検討する。

- ② 本事業では大臣認定の取得までは行わず、DLTの防火性能の検証と把握までを行う。

- ・ 材せい105mmでの防火性能がどの程度かをまず検証し、それが45分準耐火に不可であれば、次に材せい120mmで検証するというスタンスは良いと思う。

5. 実施事業について

本事業では、①小型試験炉での加熱試験（荷重無载荷の予備試験）、②水平炉での加熱試験（荷重载荷の本試験）の2段階でDLTの防火性能を検証する。

① 小型試験炉での加熱試験

600mm×2m程度の小試験体の無載荷での加熱試験を実施し、DLT特有の加熱特性など確認する。試験は、一般財団法人ベターリビングつくば建築試験研究センターで行う。

試験体は以下の3種類とし、各試験体とも将来的な収縮を考慮し、隙間なし、隙間あり(3mm)、隙間あり(5mm)の3種類の納まりを施す。

- A. スギ 38×140 DLT
- B. スギ 30×105 DLT
- C. ヒノキ 30×105 DLT

- ・ DLT のラミナ間は経年で隙間が空かないという前提で良いか。
- ・ 積層時に乾燥材を厚さ方向に圧縮しつつ穴を開け、木ダボを打ち込んでおり、隙間が無い状態で製造されており、ほぼ隙間はないと考えている。
- ・ 当初ご相談いただいた時、製材の樹種が異なり、燃え進み（炭化速度）を実験のパラメータの1 つとした場合、隣り合っている試験体同士が燃焼スピードについて影響を及ぼすことを防止するため、仕様の区切りとして石膏ボードやケイカル板を入れることを提案した。
- ・ 石膏ボード等を間に入れると試験体の製作が面倒になるようであれば、一体で製作し、中央の部分に5cm 幅程度の燃えない被覆材を貼ることも可能かと思う。
- ・ 深さ方向にも熱電対を入れて材中の温度も測定し、通常の製材の炭化速度と比較したい。また、隙間があると熱が伝わりやすいという可能性の確認をしたい。（事務局）
- ・ 熱電対はもう少し増やすべきかも知れない。
- ・ 似た構造の先行試験、例えば集成材やNLT では1 時間準耐火構造を取得している。今回のDLT は中央部のダボだけで拘束しているため、そこまで燃えてきて木ダボが緩み隙間が空いた時の挙動が集成材やNLT との違いになる。この点を見極めておけば特殊な燃え方にならないことが明確になると思う。最初の予備試験の時点で、違和感のある燃え方が起こらなければ見通しがつくだろう。
- ・ 上面に貼ってある12mm の構造用合板の役割を確認したい。
- ・ 1 つは燃え抜けを防ぐ気流止めのためで、もう1 つは、類似のNLT で行った試験は構造用合板を貼りつけたもので行っており、比較のためには同条件が好ましいと考えた。なお、構造用合板を貼らない試験体での試験も行う。（事務局）
- ・ 合板を貼ってしまうと、それが1 つの拘束要因になることが懸念される。
- ・ 隙間を開けて下面から加熱した時に、上に炎が噴き出して燃えぬけてしまう可能性を確認して

おきたい。（事務局）

- ・ DLT の水平構面は合板で取るのか。防火の面で考えると、必ずしも合板である必要はないので、水平構面の取り方によっては将来的に合板以外の方法も検討できると思う。

② 水平炉での加熱試験

小型試験炉での加熱試験結果を評価し、水平炉での加熱試験の試験体形状を定める。特に、DLT下面の形状や、DLTパネル同士のジョイント部の仕様については小型試験炉の結果の評価を反映し決定する。

- 1) 加熱試験は実大加熱試験（荷重载荷）にて、2m×4m 程度の試験体にて DLT の防火性能を確認する。試験は、一般財団法人建材試験センターで行う。
- 2) 試験体は以下の2種類とする。

試験体A	スギ	38×140	DLT
試験体B	スギ	30×105	DLT

- 3) 試験体の加熱は、DLT 天井現しの床を想定し、試験体下面からの加熱のみとする。試験体の非加熱面側（上面）には構造用合板（t12mm）の面材下地、その上に石膏ボード（t12.5mm）を貼り付ける。
- 4) 加熱時間の目標は最低 45 分とし、スギ 38×140DLT では、60 分準耐火構造床と同等性能の防火性能を有するかを確認する。
 - ・ 下面から加熱し、高さ 140mm の試験体では木ダボまで 60mm で到達するという理解でよろしいか。1 番小さい断面のところで構造的に決まってしまうので、かなり厳しいかも知れない。
 - ・ 厚さ 140mm の板なので、ダボの通っているところは下から 60mm までになる。厚さ 105mm ではさらに厳しいと思う。ところで、試験体の厚さ 140mm とした理由を確認したい。
 - ・ NLT の先行事例で、2×6（38×140）の積層材を使用していたため、同じような試験条件で比較することを考えた。厚さの下限がどの程度かを確認することがこの検証の目的でもある。よって小型試験炉での加熱試験の結果によっては、下限が 120mm の可能性もあるので、試験体をどうするかは小型試験炉の結果を踏まえて決定したい。（事務局）
 - ・ 1 つの見極めとして 105mm で検証し、不可であれば次に 120mm を検証する形かと思う。
 - ・ スパンが 4m だと、105mm は通常の使い方でもかなり厳しい印象がある。
 - ・ 水平炉の全長を踏まえ、試験では材せいとスパンの整合性は一旦度外視し、厚さのみに着目した試験としたい。（事務局）
 - ・ 実際に屋根に使うとき、90mm も可能性はあるか。
 - ・ 屋根であれば場合によっては 90mm の可能性がある。構造的には耐えられる。

6. 実施スケジュールについて

- ・ 7月中旬 小型加熱炉での加熱試験

小型試験炉での加熱試験の実施日は、試験体のラミナの乾燥予定から試験体製作会社、BL様と打ち合わせでご案内する。

加熱試験予定は 7月中 → 8月中頃に変更（事務局）

- ・ 9月 第2回検討委員会
- ・ 10月上旬 水平炉での加熱試験
- ・ 12月 第3回検討委員会

7. その他、留意点など

- ・ 試験体の製材の含水率は、表面含水率ではなく全乾法でサンプリングするので、材の中まで含めて含水率 15%以下に制御してほしい。
- ・ 比重の管理はしなくて問題ないか。
- ・ 実際に重量も測定し、0.38 以下となるところで使用する。比重の低い杉が乾燥性の良好なものと考えているので、そういったものを使用する。（事務局）
- ・ 小井土様の設備で含水率どの程度まで可能か。（事務局）
- ・ 通常の構造材であれば 20%以下を目指すが、すべて 15%以下を目指すには通常とは異なる方法の検討が必要となる。
- ・ 準耐火で何が造れるかということを、建物の用途や規模感で共有しておくべきかと思う。45 分準耐火構造（準防火地域の 3 階建、延べ床面積 1500m² 以下の住宅、事務所）の建築数を 100 とすると、1 時間耐火構造（3 階建共同住宅、学校等の特殊建築物、高さ 16m 超）は 1 程度、75 分準耐火構造（4 階建建築物）と 90 分準耐火構造（5 階建建築物）は 0.01 程度の印象だ。圧倒的に 45 分準耐火構造の建築数が多いので、45 分準耐火を満たしていれば、ほとんどの準耐火建築物に適用できるといえる。

以上

2021年度DLT耐火性能検証委員会 第2回 議事録

日時：令和3年11月1日(月曜日) 10:00～11:30

会場：オンライン (敬称略)

参加者：安井 昇 (桜設計集団一級建築士事務所 代表)
網野禎昭 (法政大学デザイン工学部建築学科 教授)
花井厚周 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副部長)
大貫 肇 (物林株式会社 新事業推進部 部長)
勝田幸仁朗 (物林株式会社 営業本部 建設グループ グループ長)
原田寿郎 (森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究専門員)
河野博紀 (一般財団法人建材試験センター 中央試験場)
野中峻平 (一般財団法人ベターリビング つくば建築試験研究センター)
長谷川泰治 (株式会社長谷萬 代表取締役社長)

オブザーバー：

熊谷有理 (林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材専門官)
松本陽子 (林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材専門官)
平原章雄 (木構造振興株式会社 常務取締役)
宮城県CLT等普及推進協議会

欠席：宮田雄二郎 (法政大学デザイン工学部建築学科 准教授)
深町尚子 (群馬県森林環境部)
小井土義治 (小井土製材株式会社 取締役社長)

事務局：鈴木康史、小林辰美 (株式会社長谷萬 開発本部)

1. オリエンテーション

2. 事業概要の共有

3. 実施内容の説明、質疑応答

① 実施した予備試験結果について資料を基に説明。

実施日 8月19日、20日

実施場所 一般財団法人ベターリビング つくば建築試験研究センター

実施内容 小型試験炉で1,000mm×2,000mmの試験体による無載荷の加熱試験によりDLT特有の加熱特性を確認した。

試験体は4種類とし、それぞれに3mm、5mmの隙間 各1か所設けている。

試験体A	スギ	38×140	DLT（床上合板あり）
試験体B	スギ	30×105	DLT（床上合板あり）
試験体C	ヒノキ	30×105	DLT（床上合板あり）
試験体D	スギ	30×105	DLT（床上合板なし）

- ・ まだグラフを細かく見ていない段階だが、ざっと見た数字では予備試験で異常なことは起こっていない印象である。加熱終了から何分くらいで試験体に水をかけたか？熱電対による結果から出した炭化速度と実際に断面を切ったところの炭化状況は、水をかける時間によってだいぶ変わってくる。
- ・ 脱炉から水をかけるまで 10 分～15 分程度かかっていた。
- ※ 後日 水をかけるまでの時間について、試験体 A：8分、試験体 B：11分、試験体 C：9分、試験体 D：11分 との報告を受領（事務局）
- ・ 温度で測定し逆算してこれくらい燃えているはず、というものから、もう少し 10 分～15 分燃えているということなので、そこに少し違いがあるかもしれないので、それを考慮して両方の結果を見るとよいだろう。
- ・ 合板が貼って無い試験体ではかなり煙が出ていた。試験の全てを見れてはいないが、想定していた結果に納まったというのが見ていた印象だ。幾つか記載内容について、修正のお願いがある。5 ページに試験体が記載してあるが、木ダボの樹種・直径も記載してほしい。先ほどの説明では隙間があっても無くても、然程影響は無いとの説明だったが、6 ページの取り纏めのところに設定した隙間 3mm、5mm での違いが分かるかたちで記載した方がよい。同じく 6 ページの残存断面について、合板の有無を明記してほしい。10 ページに断面の写真が出ているが、写真のスケールとグラフのスケールを併せると良い。
- ・ 使用材料の含水率はどの程度か。大体 15 %以下におさまっていたか。
- ・ おさまっていた。材料を仕上げる前に材料選別を行った。その際の含水率測定で 12%前後を確認している。（事務局）

② 実施予定の本試験の試験体について資料を基に説明。

実施予定日 12月21日、23日

実施場所 一般財団法人建材試験センター 中央研究所

実施内容 水平炉で2,000mm×4,000mmの試験体に載荷加熱試験を実施する。

試験体A	スギ	38×140	DLT
試験体B	スギ	30×105	DLT

- 1) 試験体の加熱は、DLT 天井現しの床を想定し、試験体下面からの加熱のみとする。試験体の非

加熱面側（上面）には構造用合板（t12mm）の面材下地、その上に石膏ボード（t12.5mm）を貼り付ける。

- 2) 加熱時間はスギ 30×105DLT では 45 分、スギ 38×140DLT では 60 分準耐火構造床と同等性能の防火性能を有するかを確認する。
- ・ 試験体 A のスギ 38×140 については、日本ツーバイフォー建築協会で既に 1 時間の準耐火性能試験を行っており、同様の性能が DLT で得られるのか確認しておきたい。試験体 B のスギ 30×105 については、予備試験の結果から 105mm の厚さで 45 分加熱し木ダボまで燃えていないことが確認されているため、載荷加熱を行い 45 分準耐火に耐えうるのか確認したい。（事務局）
 - ・ 大臣認定の際は隙間なしで取得するのか。
 - ・ 本事業では性能確認までで大臣認定取得まで行わない。現時点では大臣認定取得時は一部に隙間を設ける方向で考えている。（事務局）
 - ・ 合板の上に石膏ボードを使用することになっているが必要か。
 - ・ 試験方法書に記載の通りとした。（事務局）
 - ・ 準耐火の床上に石膏ボードを貼るというのは、試験方法には無い筈だ。
 - ・ 試験方法書では火災の加熱を同時に受けるとしており、石膏ボードについては、床上の遮熱性を担保するという意味で、石膏ボードである必要はないが、そうした被覆材が必要となってくる。
 - ・ 今回は天井面からの加熱であり、床面側の石膏ボードのありなしで、特に結果は変わらないため、石膏ボードは無くても良いのではないか。
 - ・ もし DLT に隙間が無ければ、燃え抜けないので問題ない。ツーバイフォー協会はおそらく隙間を一部にあけて認定を取っているので、石膏ボードで対処をしているのだろう。床上の被覆は、材の隙間とセットで考えた方がよい。
 - ・ NLT と DLT との最大の違いは何か。
 - ・ NLT では釘で積層しているが、DLT は木ダボで積層しているところが異なる。（事務局）
 - ・ NLT と DLT の大きな違いは、NLT は釘なので部材の断面欠損が釘の穴だけで済むが、DLT の場合は 20mm の木ダボを打ち込んで 20mm 分断面欠損をしているので、木ダボまで燃えてくるとそこで壊れることが起こりえる点である。38×140 の断面で、NLT と全く同じ試験をして何の意味があるかと思っている方もいるかもしれないが、DLT の弱点が出てしまわないか点はしっかり確認しておいた方がよい。

一方、試験体Bの方は、かなりチャレンジングな実験である。もしかしたら45分に少し足りないかもしれない。ただ2 mスパン程度であれば 105mmという断面で掛けてくることはあると思うので、最低断面をどこまでとするかという点で見通しを付けておくのは意味があると思う。

- ・ また、基準強度がツーバイフォー材と製材で約 1.5 倍も異なる。つまり製材の場合は荷重が 1.5 倍になるということ。ということなので、試験体Bはその意味でもかなりチャレンジといえるが、今後に向けて今回の結果を参考にしていけば良いのではないか。
 - ・ NLT の試験当時、予備試験の段階で煙が大量に出る試験体というのは、建築基準法では定めていないが、そういったものは好ましくない、という見解があった。それらの経験から、あまり煙が出ないという点を考慮して最終的な試験仕様を選定した方が良いと考えている。
 - ・ 煙止めという意味なら、合板でも構わないということで良いか？
 - ・ そうだ。NLT のときは隙間があって大量に煙が出て合板で食い止められなかったということがおきたので、合板で問題無いかという点を実大の試験体で確認できればよいと考えている。
 - ・ 予備試験の A,B,C の試験体は、NLT と比較して、煙の様子はどうだったのか。（事務局）
 - ・ 小型炉の試験は木口を完全にふさいでいなかったなので、DLT の木口からも煙は出ており、一概に試験場での煙の様子について細かく比較は出来ないが、そんなに大きな違いは無かった印象だ。
 - ・ NLT では加熱試験の際に、煙が非加熱側に出ない方がよいとの話があり、石膏ボードを煙止めとして使った。
 - ・ 床の上面に張る材料が 45 分準耐火仕様では、構造用合板の上に石膏ボード単板張りとする場合、床上加熱を省略できるとされている。
- ※ 後日、試験方法書の準耐火等性能試験の抜粋より、準耐火等性能が明らかに優位となる場合は、当該面についての試験を省略することができる仕様として、床の上面に張る材料が45 分準耐火仕様では、構造用合板（厚さ12mm）の上に石膏ボード（厚さ9.5mm）単板張り、60 分準耐火仕様では、構造用合板（厚さ12mm）の上に石膏ボード（厚さ12.5mm）単板張り、との説明を受領（事務局）
- ・ 石膏ボードの設置は省略する。（事務局）
 - ・ 試験体 B がチャレンジングだとすると、せいが 120mm の材で試験をしなくてよいか。（事務局）
 - ・ 本来 120mm も含めて、段階的にやっていくスケジュールにしたいところだが、その予算もス

ケジュールの余裕も無い。流通材として 105mm があり、意味がある。少し断面が小さい 105mm の方でやっておけば見通しはつくだろう。30 分を超えれば屋根に使用することができる。

- ・ 床面側に合板を貼ることは必要なのか。
- ・ 一部あえて隙間を設けていたところは、合板が無いと燃え抜けそうになっている。（事務局）
- ・ 加工誤差などで隙間が生じた場合を想定している点と、実際には床上に合板無しで DLT のみで仕上げるケースは少ないと予想されるため、合板の必要性については了解した。
- ・ 試験の内容について指摘はないが、DLT を造る意義についてコメントしておきたい。DLT は DLT を作るための製材を用いるのではなく、普通の製材所で出来る製材品にどのように付加価値を付けられるかがテーマである。国産材を使うことで山に利益をどう還元していくか、という点に DLT の存在意義がある。そういったことを念頭に置いて DLT の試験や検証を進めてもらいたい。
- ・ そういった観点で、今回の試験の内容に照らして考えると、今後の課題になってくるのが含水率かと思うが、いかがか？いわゆる一般の製材所から出る材料を用いることをふまえると、どのあたりが課題になってくるか？
- ・ DLT の元々の発想はハネ品になった間柱などを使って、どう付加価値ある製品を作っていくかということだ。それによって、製材歩留り、並びに価値歩留りを向上させていこうというのが、元々の発想だったかと思う。そういった観点からすると、この試験とは直接関わらないかもしれないが、グリーン材や天然乾燥材でも DLT を作れるようにするのは、意味があるかと思う。
- ・ 仮に含水率 30 % 程度の製材を用いて DLT を作る場合、乾燥収縮によってどこに隙間が空いてくるか？厚み方向に隙間が空いてくると、防火的には問題にあるところが出てくる。
- ・ 含水率が 30 % から下がる際は、おそらく、せい方向と厚み方向の両方が縮み、厚み方向については、DLT がまばらに隙間が空いてくることが予測される。（事務局）
- ・ そうなると防火性能に直結してくるため、床や屋根に防火性能が必要な準耐火構造の場合にどう考えるかと、その他建築物に用いる DLT をどうするかというのは、分けて考えるのがよろしいかと考える。
- ・ こうすれば準耐火性能が得られるということが分かっているならば、DLT 活用のバリエーションになるため、今回の取組についてこれはこれで意義があると思う。
- ・ 今回試験で用いる杉の板の比重は把握するのか？
- ・ 比重は把握する。一定の比重以下の材料を使用するようにしている。比重が大きいほど燃えにくいため、加熱試験に用いる材料は燃えやすく、乾燥しているものとして、本来の加熱性能が発揮される必要があるためだ。（事務局）

- ・ 使用する杉板はどのようなところから使っているのか。
- ・ 今回の試験には、主に側材を使用している。（事務局）
- ・ 使用するラミナは全数、含水率や比重等は測定するのか。
- ・ 全数測定する予定だ。（事務局）

4. 実施スケジュールについて

- ・ 12月21日、23日 水平炉での加熱試験
- ・ 1月下旬 第3回検討委員会

以上

2021年度DLT耐火性能検証委員会 第3回 議事録

日時 : 令和4年1月28日(金曜日) 10:00~11:30
会場 : オンライン (敬称略)
参加者 : 安井 昇様 (桜設計集団一級建築士事務所 代表)
宮田雄二郎様 (法政大学デザイン工学部建築学科 准教授)
花井厚周様 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副部長)
原田寿郎様 (森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究専門員)
河野博紀様 (一般財団法人建材試験センター 中央試験場)
野中峻平様 (一般財団法人ベターリビング つくば建築試験研究センター)
長谷川泰治 (株式会社長谷萬 代表取締役社長)

オブザーバー :

高木 望様 (林野庁 林政部 木材産業課 課長補佐)
平原章雄様 (木構造振興株式会社 常務取締役)
宮城県CLT等普及推進協議会

欠席 : 網野禎昭様 (法政大学デザイン工学部建築学科 教授)
小井土義治様 (小井土製材株式会社 取締役社長)
大貫 肇様 (物林株式会社 新事業推進部 部長)
深町尚子様 (群馬県森林環境部)

事務局 : 鈴木康史、小林辰美 (株式会社長谷萬 開発本部)

1. オリエンテーション
2. 長谷川社長 挨拶
3. 試験 実施結果説明・質疑応答

① 本試験の載荷加熱試験の概要・結果について資料に基づき説明

実施日 12月21日、23日
実施場所 一般財団法人建材試験センター 中央研究所
実施内容 水平炉での載荷加熱試験
DLTの床構造で45分準耐火構造を目標とした。

試験体A	スギ	38×140	DLT	スパン3.9m
試験体B	スギ	30×105	DLT	スパン3.9m

- ・ 実施結果

試験体A：スギ 38ミリ×140ミリDLT で60分 準耐火構造の床と同等性能を有することが確認できた。

試験体B：スギ 30ミリ×105ミリDLTは、試験の経過状況から、30分の準耐火構造の屋根と同等程度の性能を有することが確認できた。加熱開始から37分で荷重保持が困難になり試験を中止しており、45分準耐火構造床と同等性能は確認できなかった。

- ・ 試験体 B の試験では 45 分は到達できなかったが、せい 105 ミリの DLT で耐火性能の限界を知るという意味では、非常に有効な実験だった。屋根に使えるという感触が得られた点は収穫だ。
- ・ 試験体 B は目標の 45 分まで到達してないものの、貴重なデータが取れており、今後の見通しに役立つよい実験結果だと思う。屋根の性能評価試験では、今回より荷重が減るため、余力が出てくると思う。

データを見ると、260℃を超えた時間が試験体Aと試験体Bでかなり違う。加熱面からの距離が20ミリのところで、試験体Aで40分掛かり、試験体Bはその半分の20分になっている。もしかすると、うまくデータが取れてないのかもしれない。せいが105ミリと140ミリで、燃える速度が倍半分になるわけではない。

この数字が一人歩きしないよう配慮した方がよい。実際には試験体Bの方の数字の方が実態に近いと思う。1分あたり1ミリ位で燃え進むところ試験体Aは0.5ミリ毎分位になっているが、せいが140ミリなると、このように遅くなるわけではない。

- ・ では燃焼の速度は、材の幅の違いによって起こるものか？幅 38 ミリと 30 ミリで差がでるか？（事務局）
- ・ 材幅の違いで差は出ない。今回、きちっと材同士が密着している試験体を作っているのも、そこまでの差はないと思う。もちろん断面寸法が小さい方が傾向的には早く燃え進む傾向はあるが、この倍半分まではならない。

② 試験結果の温度計測結果等について説明

- ・ 変位の測定結果のグラフに違和感はない。熱が加わりながら断面が減るとこのような変位が起る。
- ・ 床の実験ではこのような変形をする。だいたい30分頃から変位が急激に増える。指数関数的に変位が増える原因として、20～30分加熱を受けると、燃えているところは残存断面が減り、炭化が進む。また燃えてない部分の温度が熱伝導で上がることで、ヤング係数が下がり、燃えてない部分の強度も少しずつ下がることで、変位が加速度的に増えてくる。

- ・ DLT の場合、木ダボの穴部分は、基材が切り欠かれていることになる。時間が経過し、残存断面が減るにつれ、木ダボの穴の影響も出てくると思う。これが NLT と異なる点である。異常な点はないグラフで、きれいに燃えてきれいに變形し、きれいに壊れたことで、限界を知ることができた。
- ・ NLT との違いについて、再度説明願いたい。NLT と DLT でどのような違いが出るのか？
- ・ NLT は釘接合のため、材の欠損は釘の分だけだが、DLT はダボ径の 20 ミリ分は木材のせいが少なくなる。試験体の下から燃え進みダボ近傍になると、ダボ穴による切欠きのほか、燃えていない部分の木材のヤング係数が下がり、柔らかくなることで、複合的に弱点が出やすくなると想定できる。
- ・ その影響は、このグラフではそれほど見られないという理解でよいか？
- ・ あるとしても、おそらく試験開始から 50 分以降のグラフが、急速にグッと上がってくるところで、若干ダボの影響が出ているかも知れない。
- ・ NLT と単純に比較できないのは、NLT では枠組壁工法の基準強度使っているが、今回は構造用製材甲種 2 級の基準強度を使っており、枠組壁工法よりも荷重が大きい。荷重が違うので単純に横並びの比較はできないが参考にはなる。いずれにしても、DLT の特性がよくわかった実験である。
- ・ 試験体 A 38mm×140 mm の方は、ツーバイ材の寸法サイズだが、構造用製材に比べ枠組壁工用製材は基準強度が低く、作用荷重が小さくなり、適用範囲が狭くなるので、今回、構造用製材の強度を使用し、作用荷重が大きくなるように設定した。作用荷重が大きい方で試験すればツーバイ材も包含されることから、作用荷重を計算する基準強度は同じとした。（事務局）
- ・ 安井委員長より、DLT の場合、燃焼が進むとダボ下端から残存断面までの厚さが薄くなるとの指摘があったが、実際に試験体 A で何ミリ位残っているか？
- ・ 断面の拡大を見ると、試験体 A では約 70 ミリ位断面が残っている。試験体 B では約 60 ミリ近くある。残存断面を見ると木ダボ近傍に、水平方向に割れがある。（事務局）
- ・ 残存断面が少なくなった際、木ダボに力が入っている場合は割れてくる。そうすると試験体 A には木ダボまで到達したということか？
- ・ 残っているのは 70 ミリなので、木ダボまで燃焼はしていない。（事務局）
- ・ おそらく燃焼が木ダボまで達すると、このダボの部分はほとんどきかないため、せいが急に小さくなる働きをする。画像ではわずかに残っているので、この部分で結構耐えていると思われる。
- ・ 燃焼が木ダボまで到達していないが、試験終了後に脱型・消火まで、さらに約 10 分間燃えてい

た。スパン中央部のラミナに限り、割裂が生じているラミナが何本か有った。割裂が生じ始めたので荷重保持が困難になったと、切断面の計測・観察から推測される。（事務局）

- ・ もし横方向に割れが入るとしたら、どこかの材で荷重保持が困難になったとき、隣の材の木ダボから力が分配されるような性状が出て、割れが入っているかも知れない。
- ・ スパン中央の曲げモーメントが大きい部分で割裂が生じたと考えている。割裂が生じ、荷重保持が困難になる兆しが見えてきたのが 37 分頃である。一方、試験体 A では同じ位置で切断しても、割れは確認できない。断面せいが大きいため、十分な強度が残っていると推測される。（事務局）
- ・ そう考えると、これは単純な曲げ破壊なのかもしれない。曲げ破壊をさせると繊維方向に割れが入る。木ダボによる伝達ではなく、曲げ破壊がこの時点で起きたことによる割裂と思う。
- ・ 荷重 - 変位のグラフの右側の荷重の縦軸は？
- ・ 実際に載荷している荷重である。ジャッキで押し続けているが、37 分からジャッキが追いつかなくなり、所定の荷重がかからなくなった。
- ・ 左側の縦軸はどういう意味か？
- ・ これは温度ではなく、たわみ量。誤記であり差し替える。（事務局）
- ・ 計測はできていないが、37 分の前にグラフには現れていないが荷重が落ち始めた。
- ・ だいたい 50 キロニュートン位でずっと載荷を行ったが、37 分くらいで荷重が一気に下がったということか？
- ・ 37 分で荷重が下がり始めて、もうこれでは荷重を維持してない状態だと分かった。
- ・ NLT と DLT の違いの話があったが、NLT では床の厚み方向に、釘が複数列入っている。木ではなく釘が非常にその大量に入っていることもあり、釘の熱容量でかなりその熱を奪っていると思う。この点で DLT との違いが出てきたと考えられる。

4. 試験実施結果のまとめ・質疑応答

- 1) DLT の防火性能について（資料説明）
 - 2) 炭化速度について（資料説明）
 - 3) たわみ量について（資料説明）
 - 4) 試験結果から課題について（資料説明）
- ・ DLT の活用として、軸組の中に DLT の壁を入れるような形を考えている。軸組み部分は燃えし

ろ設計で壁部分を DLT という組み合わせができるのではないか。（事務局）

- ・ まとめの一つ目の文章だが、要は 105 ミリだと燃え込んでしまうため、スパンは関係ない。45 分準耐火性能を確保するには、断面せいを上げるしかないと思う。
- ・ ご指摘のとおりで、スパンへの言及は削除する。（事務局）
- ・ まとめで書いていることは概ね事実なので違和感はない。課題の列举内容も良いと思う。今後、確認すべきは、45 分の準耐火の床を 120 ミリのせいで達成できるのかという点だ。今回の燃え方は、特別変な燃え方をしていないと言える。部分的に局所的な燃え込みはあるが、一定のスピードで燃えて、びっくりすることは起こっていないと思う。壊れ方も断面せいに応じている。140 ミリのせいはおそらく 60 分に若干の余力があると思う。105 ミリの方は 37 分の結果をふまえると、120 ミリの材せいであれば時間はリニアに上がっていくと思う。おそらく 45 分は超えると思うので、今回の結果で見通しはついたと思う。次回以降の検討に、明るい材料にはなっていると思う。

建材試験センターの方に聞きたいが、性能評価試験を受ける時には、試験体のスパンは 4 m を越さないといけないか？ 4 m でよいのか？

- ・ 床の場合、スパンは今回の 3.9m で大丈夫である。
- ・ DLT を軸組に入れて、軸組は燃えしろ設計というアイデアが事務局からあったが、柱を燃えしろ設計にした時、例えば柱が 180 角になるというのは、なんとなくつらいなと思う。DLT が柱梁の枠の中に入るのであれば、DLT の厚み、奥行き方向の厚みを利用して柱の側面をそれで被覆をする考え方にして、120 幅の扁平柱で設計をして準耐火の壁を作ることを考えた方が良いと思う。燃えしろ設計というよりは準耐火構造の木だけでできている壁を作るような方向性で整理すると充分できると思う。
- ・ 三面の燃えしろを取らなくても、片面だけで考え、外壁側は仕上げで被覆して一面であれば。45 ミリとかの燃えしろがあったとしても座屈に耐えられると思う。一面を燃えしろということであれば、そういった使いかたが考えられると思う。

もともと軸に入れる場合に 120 の材としたいところだ。柱がどんと出てくると、DLT の良さがあまり出てこなくなる。120 とか DLT の厚さに柱の材せいを揃えたい。そういった使い方は非常に可能性があると思う。

105 ミリの厚さは屋根に使えると非常に良い。30 分（準耐火構造を）を満足できれば、屋根で使うことができるので、非常に望ましい。床でもし 4m を飛ばすとなると、やはり 150 ミリは必要になる。150 ミリのせいで 4m スパンの準耐火認定が今後取れば、非常に有効だ。床はこの方向で良いと思う。

- ・ 性能評価の時は、出来るだけ一般製材やツーバイ材を使いたいところだ。その際、30 ミリ×140 ミリとか、間柱寸法と枠組み材寸法が混るように断面を設定すれば、防耐火試験の結果では試験をやった寸法以上と書かれるので、より豊富な断面が使えるようになる。
- ・ 炭化速度の値が気になる。先日、報告書に記載の数字と変わっている。試験体 A では 0.6~0.71 だったが、今回は 0.47~0.61 になったのは、測定する場所が変わったということか？試験体 B は加熱面より 42.5 ミリと明記があったが、試験体 A は特にその指示がなかった。それを 20 ミリにしたということか？

試験体 B では 42.5 ミリのところを見ながら、試験体 A の方では 20 ミリのところで比較しているとすると、よろしくない。40 ミリのところあたりで、比較する方が良いと思う。

- ・ 炭化速度の根拠と測定位置は併記して、明確にする。（事務局）
- ・ 一年間にわたり、無載荷と載荷の加熱試験を行い、DLT の燃え方を確認した。丁寧に実験を進め、今回得られたデータでいろんなことがわかる結果になっていると思う。まとめ方で見直しが必要な点が若干あるが、締め切りまでに相談して進めればよいだろう。今回は良い事業だったと思う。皆さんお疲れ様でした。

以上

5. 謝辞

本事業は令和2年度 木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業の採択を受けて実施致しました。本事業の推進にご協力頂きました関係者の方々に、心より感謝の意を表します。

また、本事業のDLTの防火性能検証の実施にあたり、多くの方々よりのご協力、ご指導をいただきました。関係者の方々に改めて感謝の意を表します。

6. 参考資料

- 株式会社長谷萬：林野庁 令和元年度木材産業・木造建築活性化対策事業（横架材・2×4部材等の製品・技術開発事業）「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」報告書（2020年3月）
- 株式会社長谷萬：木構造振興株式会社 令和2年度 木材製品の消費拡大対策事業のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」報告書（2021年2月）
- 一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会：平成30年度 林野庁委託 CLT等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業（大径材原木等を活かす高機能建築材料の研究開発）「大径材を活用したNLT実用化のための研究・開発」報告書（2019年3月）
- 一般財団法人 ベターリビング：防耐火性能試験・評価業務方法書
- 一般財団法人 建材試験センター：防耐火性能試験・評価業務方法書
- 木構造振興（株）：木造建築の防火設計
- 一般社団法人木を活かす建築推進協議会：ここまでできる木造建築のすすめ（令和2年度版）
- 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター：図解 木造住宅・建築物の防耐火設計の手引き
- 財団法人 日本建築センター 木造建築物の防・耐火設計マニュアル（第1版）
- 財団法人 日本建築センター 建築火災のメカニズムと火災安全設計
- 財団法人 日本建築センター 準耐火建築物の防火設計指針
- 日本集成材工業協同組合：中大規模木造建築の担い手講習テキスト