

平成 26 年度 建築基準整備促進事業
「CLT（直交集成板）の燃えしろ設計法に関する検討」
調査報告書

平成 27 年 3 月
一般社団法人 日本 CLT 協会
早稲田大学
桜設計集団一級建築士事務所
木構造振興株式会社

平成 26 年度建築基準整備促進事業
「CLT（直交集成板）の燃えしろ設計法に関する検討」目次

はじめに

委員会名簿

第 1 章 事業概要

1.1 本事業の要点 1-1
1.2 「CLT パネルの燃えしろ設計法」の基準整備に向けての課題整理 1-2
1.2.1 事業で想定する建築物	
1.2.2 準耐火建築物・準耐火構造の要求時間	
1.2.3 想定される CLT パネルの利用法と準耐火構造部材の構造方法	
1.2.4 燃えしろ設計法における設計荷重	
1.2.5 燃えしろ寸法の考え方	
1.2.6 準耐火性能を確保するための部位の設計	
1.2.7 CLT パネルの異種工法との接合方法	
1.3 実施内容 1-27
1.3.1 CLT パネルの燃えしろ設計法に係る荷重および部材の耐力	
1.3.2 CLT パネルの燃えしろ設計法の構築に係る加熱試験	

第 2 章 CLT パネルの燃えしろ設計法に係る荷重および部材の耐力

2.1 CLT パネルが負担する設計の荷重 2.1-1
2.1.1 各種用途を想定した建築物における耐力壁の負担軸力	
2.1.2 屋根・床の負担荷重	
2.1.3 燃えしろ設計における荷重設定	
2.2 CLT パネルを対象とする燃えしろ設計法に係る部材の耐力 2.2-1
2.2.1 防耐火性能に影響しうる CLT 製造上の各種因子	
2.2.2 常温時の座屈性状	
2.2.3 常温時の曲げ性状	

第 3 章 CLT パネルの燃えしろ設計法の構築に係る加熱試験

3.1 CLT パネルの炭化速度に与える接着剤の種類・ラミナ厚さ・樹種の影響	3.1-1
3.1.1 実験概要	
3.1.2 試験体概要	
3.1.3 試験方法	
3.1.4 試験結果	
3.1.5 考察	
3.2 CLT パネルを用いた耐力壁の載荷加熱試験	3.2-1
3.2.1 実験概要	

3.2.2 試験体概要	
3.2.3 試験方法	
3.2.4 試験結果	
3.2.5 考察	
3.3 CLTパネルを用いた床・屋根の載荷加熱試験	3.3-1
3.3.1 実験概要	
3.3.2 試験体概要	
3.3.3 試験方法	
3.3.4 試験結果	
3.3.5 考察	
3.4 壁・床目地部および各種部位の接合部の加熱試験	3.4-1
3.4.1 壁目地の加熱試験	
3.4.1.1 実験概要	
3.4.1.2 試験体概要	
3.4.1.3 試験方法	
3.4.1.4 試験結果	
3.4.1.5 考察	
3.4.2 床目地の加熱試験	
3.4.2.1 実験概要	
3.4.2.2 試験体概要	
3.4.2.3 試験方法	
3.4.2.4 試験結果	
3.4.2.5 考察	
3.4.3 各種接合部の加熱試験	
3.4.3.1 実験概要	
3.4.3.2 試験体概要	
3.4.3.3 試験方法	
3.4.3.4 試験結果	
3.4.3.5 考察	
3.5 防火設備とのCLTパネル壁の取合い部の加熱試験	3.5-1
3.5.1 実験概要	
3.5.2 試験体概要	
3.5.3 試験方法	
3.5.4 試験結果	
3.5.5 考察	
3.6 床の区画貫通部の加熱試験	3.6-1
3.6.1 実験概要	
3.6.2 試験体概要	
3.6.3 試験方法	
3.6.4 試験結果	

3.6.5 考察

第4章 まとめ 4-1
4.1 CLTパネルを活用した燃えしろ設計法の考え方	
4.2 CLTパネルおよび金物等の接合部の検証	
4.3 区画貫通部等の防火処置方法の検討	
4.4 防火設備との取り合い部分の防火処理方法の検討	
4.5 許容応力度を包含する作用荷重下での載荷加熱実験	

はじめに

本報告書は、国土交通省平成 26 年度建築基準整備促進事業「CLT（直交集成板）の燃えしろ設計法に関する検討」により実施した研究成果を取りまとめたものである。

CLT(直交集成板)は、木材資源の有効活用の向上を視野に開発された比較的新しい木質材料であるが、木造建築に関心が集まり、森林管理や林産業の振興の必要が叫ばれる中、中大規模木造や、木造の鉄骨造等の異種構造との併用に適した工法として注目され、実用化・普及に向けた研究や、現行法の範囲での実建築物の実現の取り組みが各方面で進められている。壁・床等の面を厚い木質材料で作って建築物を構成する壁構造であることも、これまで日本で一般的であったほとんどの木質構造と異なる特徴で、これを日本で中大規模建築に広く使われている準耐火建築物等に活用していくためには、防耐火性能の解明と、その防耐火的特質にあった設計方式の整備が必要である。

本事業は、CLT に燃えしろ設計を適用することを想定し、燃えしろ設計に必要な CLT の諸性能を実験的に把握することを目的としている。燃えしろ設計は、これまで、軸組工法を対象に設計法が整備され、多くの建築物に活用された実績があるが、面材については、国際的に見ても、検討例は少ないため、実用的で信頼性のある設計法を確立するためには、部材ごとの防耐火性能の把握はもとより、接合部、区画貫通部などについても多面的な検討が必要である。CLT の防耐火性能については、現在、本事業以外でも様々な検討が行われているが、限られた研究資源を有効に活用し、多方面にわたる検討課題についてできるだけ早く検討を進めるために、関連する事業との連携を図りながら、検討を進めた。

本事業の成果が、CLT の燃えしろ設計法の整備に役立てられ、CLT を始めとする木質面構造の中大規模建築物への本格的活用の一助となれば幸いである。短期間に多大な成果をあげられた本事業委員会委員をはじめとする関係各位、事業にご協力いただいた団体、専門家の各位に厚くお礼申し上げたい。

平成 26 年度 建築基準整備促進事業
「CLT の燃えしろ設計法に関する検討」委員会
委員会名簿

(敬称略)

委員長	長谷見 雄二	早稲田大学創造理工学部 建築学科
副委員長	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所
委 員	原田 浩司	木構造振興
	上川 大輔	森林総合研究所
	宮武 敦	森林総合研究所
	大宮 喜文	東京理科大学
	高田 峰幸	日本住宅・木材技術センター
	西本 俊郎	建材試験センター
	金城 仁	ベターリビング つくば建築試験研究センター
	逢坂 達男	住友林業（日本 CLT 協会）
	泉 潤一	三井ホーム（日本 CLT 協会）
	村田 忠	山佐木材（日本 CLT 協会）
	孕石 剛志	銘建工業（日本 CLT 協会）
	森田 仁彦	大成建設（日本 CLT 協会）
	萩原 一郎	建築研究所
	成瀬 友宏	建築研究所
	水上 点晴	建築研究所
協力委員	野原 邦治	国土交通省住宅局建築指導課
	高梨 潤	国土交通省住宅局建築指導課
	林 吉彦	国土交通省国土技術政策総合研究所
	鈴木 淳一	国土交通省国土技術政策総合研究所
	高畑 啓一	林野庁林政部木材産業課
	中熊 靖	農林水産省 消費・安全局 表示・規格課
	大村 敏幸	農林水産省 消費・安全局 表示・規格課
オブザーバー	加來 千絵	桜設計集団一級建築士事務所
事務局	河合 誠	日本 CLT 協会
	塙崎 征男	日本 CLT 協会
	中島 洋	日本 CLT 協会
	正木 祥子	日本 CLT 協会
	中谷 浩之	日本 CLT 協会
	富田 佐知子	中央設計

平成 26 年度 建築基準整備促進事業

「CLT の燃えしろ設計法に関する検討」委員会

設計 WG 委員名簿

(敬称略)

主査	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所
委員	原田 浩司	木構造振興
	田村 隆雄	早稲田大学研究員
	河合 誠	日本 CLT 協会
	塙崎 征男	日本 CLT 協会
	道越 真太郎	大成建設（日本 CLT 協会）
	成瀬 友宏	建築研究所
	水上 点睛	建築研究所
	中島 史郎	建築研究所
	荒木 康弘	建築研究所
	宮武 敦	森林総合研究所
	腰原 幹雄	東京大学生産技術研究所
協力委員	野原 邦治	国土交通省住宅局建築指導課
	高梨 潤	国土交通省住宅局建築指導課
	鈴木 淳一	国土交通省国土技術政策総合研究所
	高畑 啓一	林野庁林政部木材産業課
	中熊 靖	農林水産省 消費・安全局 表示・規格課
	大村 敏幸	農林水産省 消費・安全局 表示・規格課
オブザーバー	加來 千絵	桜設計集団一級建築士事務所
事務局	中島 洋	日本 CLT 協会
	正木 祥子	日本 CLT 協会
	中谷 浩之	日本 CLT 協会
	富田 佐知子	中央設計

平成 26 年度 建築基準整備促進事業
「CLT の燃えしろ設計法に関する検討」委員会
試験 WG 委員会名簿

(敬称略)

主 査	成瀬 友宏	建築研究所
委 員	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所
	原田 浩司	木構造振興
	田村 隆雄	早稲田大学研究員
	王 ユショウ	東京理科大学
	高田 峰幸	日本住宅・木材技術センター
	関 真理子	住友林業 (日本 CLT 協会)
	泉 潤一	三井ホーム (日本 CLT 協会)
	村田 忠	山佐木材 (日本 CLT 協会)
	孕石 剛志	銘建工業 (日本 CLT 協会)
	若山 恵英	大成建設 (日本 CLT 協会)
	水上 点晴	建築研究所

協力委員	野原 邦治	国土交通省住宅局建築指導課
	高梨 潤	国土交通省住宅局建築指導課
	鈴木 淳一	国土交通省国土技術政策総合研究所
	高畑 啓一	林野庁林政部木材産業課
	中熊 靖	農林水産省 消費・安全局 表示・規格課
	大村 敏幸	農林水産省 消費・安全局 表示・規格課

オブザーバー	加來 千絵	桜設計集団一級建築士事務所
--------	-------	---------------

事務局	河合 誠	日本 CLT 協会
	塙崎 征男	日本 CLT 協会
	中島 洋	日本 CLT 協会
	正木 祥子	日本 CLT 協会
	中谷 浩之	日本 CLT 協会
	富田 佐知子	中央設計

第1章

事業概要

第1章 事業概要

1.1 事業の要点

(1) 調査の目的

「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が平成 22 年 10 月 1 日に施行されたことや循環型社会の構築などの社会的背景により、建築物における木材利用の要請が高まっている。その一つの方法として、構造体への木材の利用を促せる、クロス・ラミネイティド・ティンバー (Cross Laminated Timber : 以下、CLT) パネルを使用した壁式構造 (以下、CLT 工法) の活用が着目されている。現在、この CLT 工法の普及促進のための一般化が国内外から求められている。本事業では、CLT 工法の一般化のために、集成材の防耐火設計手法等の構築のために蓄積された民間の知見を活用するとともに、CLT パネルを用いた壁、床等の主要構造部等について加熱実験等を行い、当該構造の防耐火性能に関する知見を得て、燃えしろ設計法の基準を整備するための技術資料を得ることを調査の目的とした。

(2) 調査内容

CLT パネルを用いた部材の防耐火性能を把握し、燃えしろ設計法を構築するために、次の検証等を行う。

- (イ) CLT パネルおよび金物等の接合部の検証
- (ロ) 区画貫通部等の防火処置方法の検討
- (ハ) 防火設備との取合い部分の防火処置方法の検討
- (二) 許容応力度に応じた作用荷重下での載荷加熱実験

(3) 事業の要点

本事業における検討上の要点は、以下のとおりである。

- ・CLT パネルの燃えしろ設計に関する建築基準の整備を目標とし、実現へ向けての課題を明確にする。あわせて、世の中のニーズも踏まえながら、既往の柱・梁、接合部に関する燃えしろ設計を CLT パネルに適用すると、設計上不合理または非現実的となる部分などについては、課題を整理し、解決方法についても検討を行う。
- ・CLT パネルの燃えしろ設計を実施する際に必要となる確認項目や配慮事項等についても、課題として抽出する。
- ・CLT パネルを防火被覆して防耐火性能を確保する設計(メンブレン型設計)を行う場合について、現行の準耐火構造等に関する告示に基づき設計する場合の留意点についても検討する。

1.2 「CLT パネルの燃えしろ設計法」の基準整備に向けての課題整理

1.2.1 事業で想定する建築物

本事業では、CLT パネルを用いた準耐火構造の壁及び床・屋根の燃えしろ寸法を決定することが主たる目的の一つである。そのため、45 分準耐火構造及び 1 時間準耐火構造の壁、床等で建設可能な建物が本事業で想定する建物となる。

現行の建築基準法では、建設地の防火地域指定や建物規模・用途により、建築物の防耐火上の構造制限がなされている。

防火地域規制では、図 1.2-1 のように防火地域、準防火地域ごとに、建物規模により、耐火建築物、準耐火建築物、その他建築物等とすることが規定されている。準耐火建築物で建設可能となるのは、①防火地域の 2 階建て以下かつ延べ面積 100m² 以下、②準防火地域の 3 階建て以下かつ延べ面積 1500m² 以下である（図 1.2-1 のグレー色以外の部分）。

また、建築物の規模・用途による規制では、表 1.2-1 のように 3 階部分が特殊建築物用途になると耐火建築物とすることが要求される。ただし、共同住宅、寮、寄宿舎、学校等では、3 階建てであっても、1 時間準耐火構造等で建設することができる。また、2 階建ての場合は、用途ごとに、当該用途に供する部分の床面積によって、準耐火建築物とすることが要求される。なお、写真 1.2-1、-2 は本事業で想定する建築物（共同住宅）の一例である。

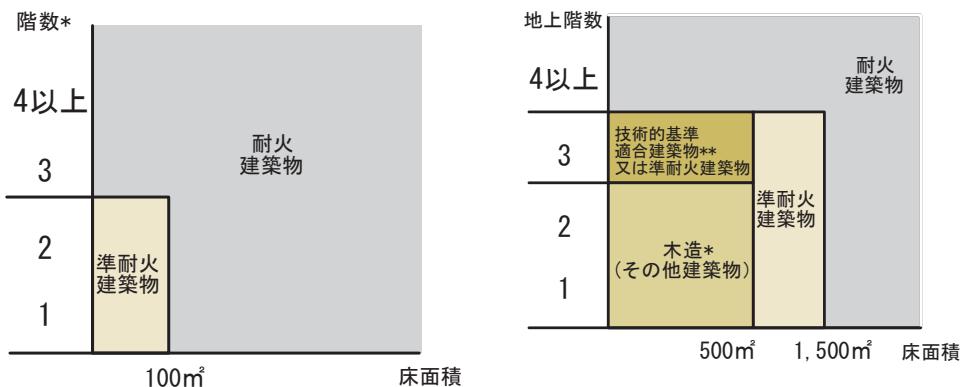


図 1.2-1 防火地域規制による構造制限

表 1.2-1 主要構造部と外壁開口部に係る例示仕様の整理

		主要構造部		外壁の開口部	
		特定避難時間倒壊及び延焼を防止する構造(令第110条第1号)	耐火構造等(令第110条第2号)	延焼の恐れのある部分	他の外壁の開口部から火炎が到達するおそれのあるものとして国土交通大臣が定める部分
(一)	劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場	<ul style="list-style-type: none"> ・3階以上の階を用途に供するもの ・客席の床面積の合計が200m²以上 ・【劇場、映画館、演芸場】主階が1階でないもの 		耐火構造等	法第2条第9号の2口に規定する防火設備
(二)	病院、診療所、ホテル、旅館、下宿、共同住宅、寄宿舎、児童福祉施設等	<ul style="list-style-type: none"> ・3階以上の階を用途に供するもの 	—	耐火構造等	防火設備
		<p>【下宿、共同住宅、寄宿舎】3階建てで3階を用途に供するもの</p> <p>1時間準耐火基準に適合する準耐火構造(各宿泊室等にバルコニーを設置する等一定の要件に該当するものに限る。)※1</p>		耐火構造等	
		<ul style="list-style-type: none"> ・用途に供する部分(2階かつ病院・診療所については、患者の収容施設に限る)の床面積の合計が300m²以上 	準耐火構造等	耐火構造等	
(三)	学校、体育館、博物館、美術館、図書館、ボーリング場、スキー場、スケート場、水泳場、スポーツの練習場	<ul style="list-style-type: none"> ・4階以上の階を用途に供するもの、4階建て以上で3階を用途に供するもの 	—	耐火構造等	法第2条第9号の2口に規定する防火設備 【1時間準耐火構造に適合する準耐火構造とした場合】 法第2条第9号の2口に規定する防火設備又は他の外壁の開口部のある室の天井の不燃化等
		<ul style="list-style-type: none"> ・3階建てで3階を用途に供するもの 		耐火構造等	
		<ul style="list-style-type: none"> ・用途に供する部分(2階以下)の床面積の合計が2000m²以上 	準耐火構造等	耐火構造等	
(四)	百貨店、マーケット、展示場、キャバレー、カフェ、ナイトクラブ、バー、ダンスホール、遊技場、公衆浴場、待合、料理店、飲食店、物品販売業を営む店舗	<ul style="list-style-type: none"> ・3階以上の階を用途に供するもの ・用途に供する部分の床面積の合計が3000m²以上 	—	耐火構造等	法第2条第9号の2口に規定する防火設備
		<ul style="list-style-type: none"> ・用途に供する部分(2階に限る)の床面積の合計が500m²以上 	準耐火構造等	耐火構造等	

※1 従来定められていた3階の各宿泊室等の外壁面の開口部及び建物の周囲の幅員3メートル以上の通路に係る基準について一部合理化している。

※2 3階以上の階を用途に供する場合において、主要構造部を告示仕様によらず大臣認定を受けて建築する場合には、法第2条第9号の2口に規定する防火設備若しくは屋内への遮炎性能を有するものとして大臣が認定した防火設備又は他の外壁の開口部のある室の天井の不燃化等が必要。



写真 1.2-1 本事業で想定する建築物の一例（3階建て社員寮、1時間準耐火構造）

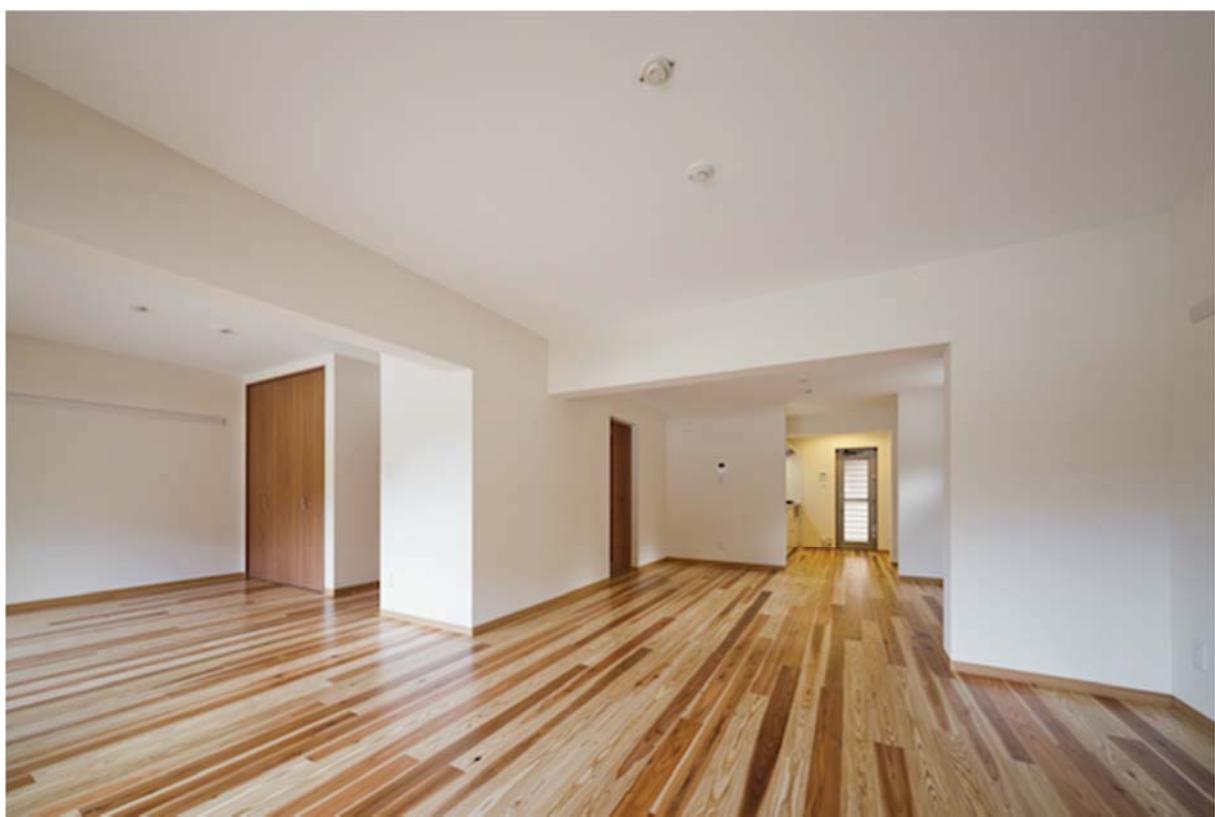


写真 1.2-2 本事業で想定する建築物の一例
(3階建て社員寮、1時間準耐火構造の防火被覆) 写真提供：銘建工業株式会社

1.2.2 準耐火建築物・準耐火構造の要求時間

イ準耐火建築物における準耐火構造の要求時間を、図1.2-2、表1.2-2（イ準耐火建築物-1(1時間)）及び、図1.2-3、表1.2-3（イ準耐火建築物-2(45分)）に示す。いずれの場合も屋根及び階段は、30分準耐火構造が要求される。

本事業では、壁、床、屋根について検討するため、壁及び床は、1時間及び45分準耐火構造、屋根は30分準耐火構造を目標として検討することとする。

なお、表1.2-1のうち、主要構造部に耐火構造等が求められる建物用途・規模の場合に、個別に特定避難時間を検証し、国土交通大臣が認定を取得して設計することもできるが、その際は、30分、45分、1時間によらない準耐火性能（たとえば1時間30分など）が要求されることもあり得る。

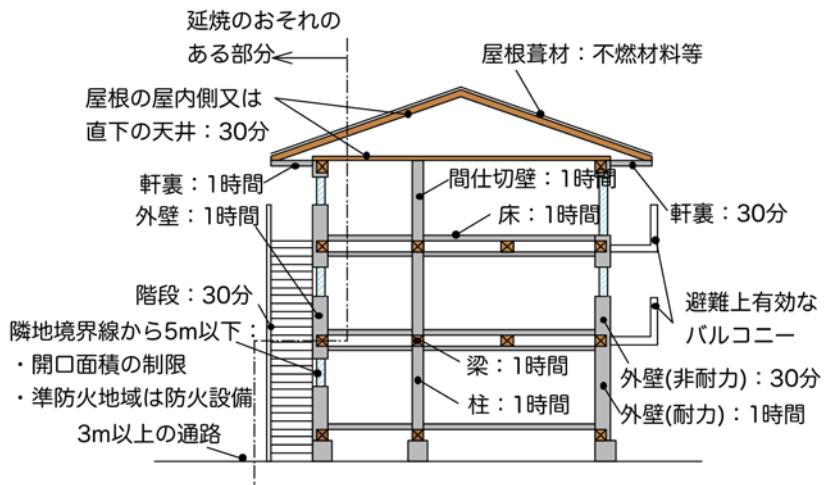


図1.2-2 イ準耐火建築物-1(木三共の例)の準耐火構造の要求時間

表1.2-2 イ準耐火建築物-1(木三共の例)の準耐火構造の要求時間

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

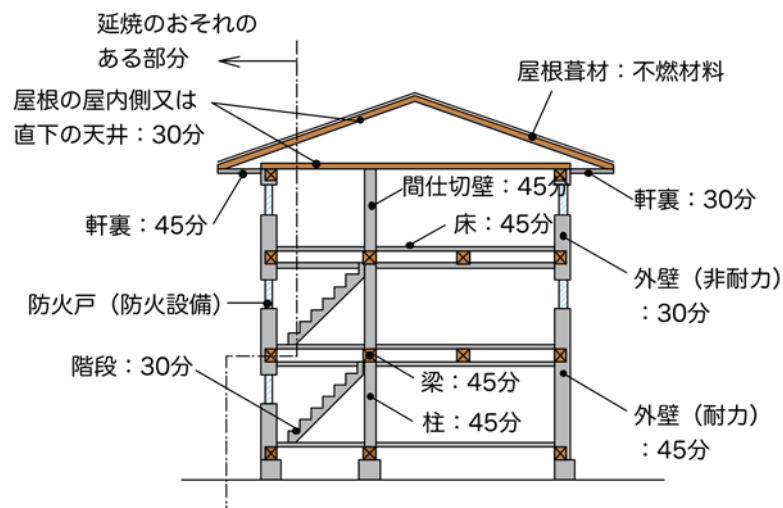


図 1.2-3 イ準耐火建築物-2 の準耐火構造の要求時間

表 1.2-3 イ準耐火建築物-2 の準耐火構造の要求時間

部 位			通常の火災		屋内側か らの火災
壁	間 仕 切 壁	耐力壁	1時間	1時間	—
		非耐力壁	—	1時間	—
外 壁	耐力壁	1時間	1時間	1時間	
	非耐力壁	—	1時間	1時間	
壁	延焼のおそれ のある部分	—	1時間	—	
	上記以外	—	30分	30分	
柱			1時間	—	—
床			1時間	1時間	—
はり			1時間	—	—
屋根	軒裏		30分	—	30分
	延焼のおそれ のある部分	—	1時間	1時間	
	上記以外	—	30分	30分	
階段			30分	—	—

※耐火性能の種類

非損傷性：構造上支障のある変形、溶解、破壊、その他の損傷を生じない（崩壊しない）

遮熱性：加熱面以外の面の温度が可燃物の燃焼温度以上に上昇しない

遮炎性：火炎を出す原因となる亀裂その他の損傷を生じない

1.2.3 想定される CLT パネルの利用法と準耐火構造部材の構造方法

CLTパネルを使った建物の工法は、図1.2-4及び図1.2-5のように、①CLTパネルによって壁・床・屋根が鉛直力を支持する場合（図1.2-4）と、②柱及びはりが鉛直力を主に支持し、CLTパネルの壁は鉛直力を支持しない場合（床及び屋根は鉛直力を支持する、図1.2-5）に大別される。もちろん、①②の中間的な工法も考えられる。①における壁は外壁・間仕切壁ともに鉛直力を支持するため「耐力壁」に位置づけられ、②における壁は外壁・間仕切壁は「非耐力壁」に位置づけられる。前者には、非損傷性、遮熱性、遮炎性が、後者には、遮熱性と遮炎性が要求される（表1.2-4、1.2-5参照）。

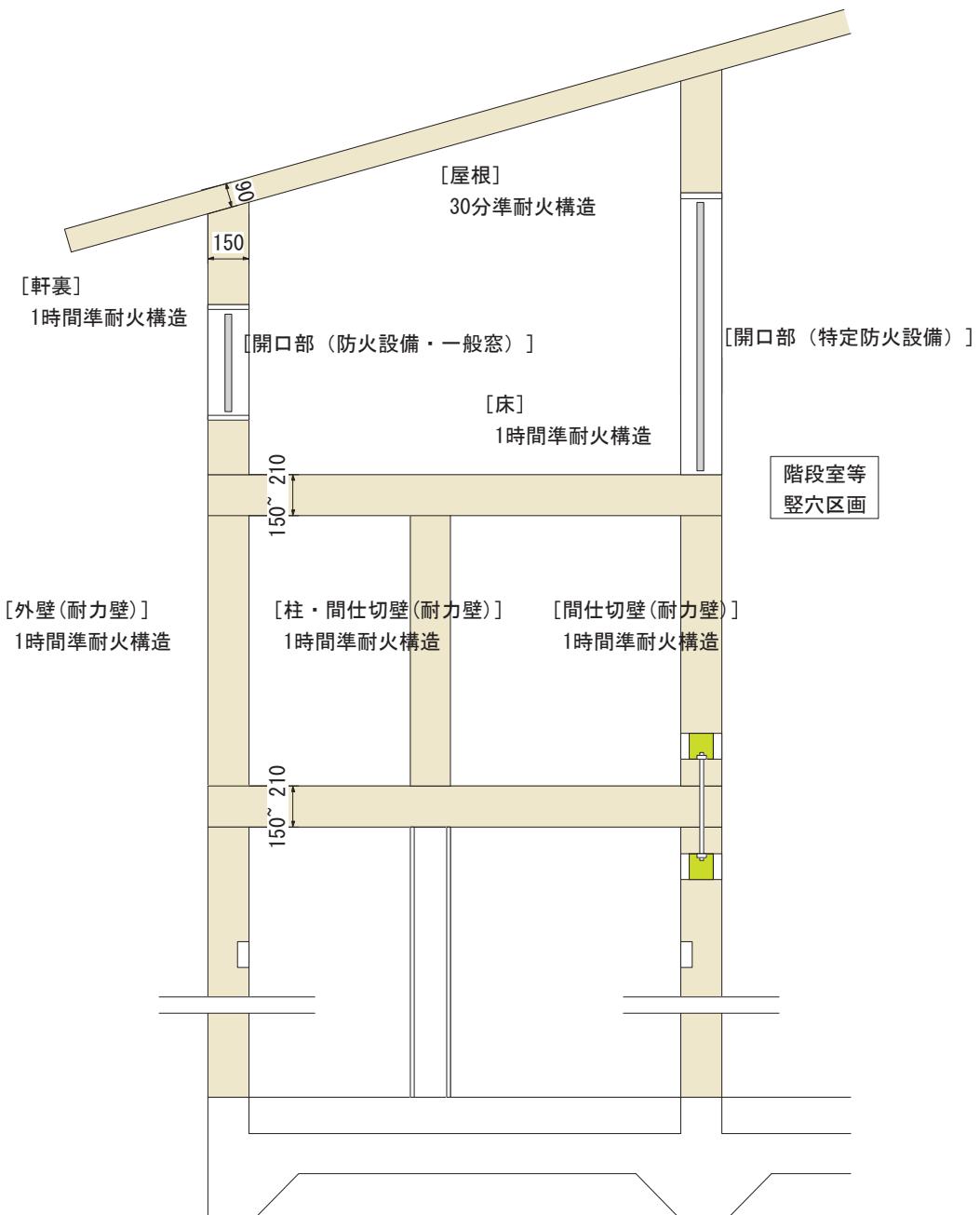


図 1.2-4 CLT 耐力壁・床・屋根による工法

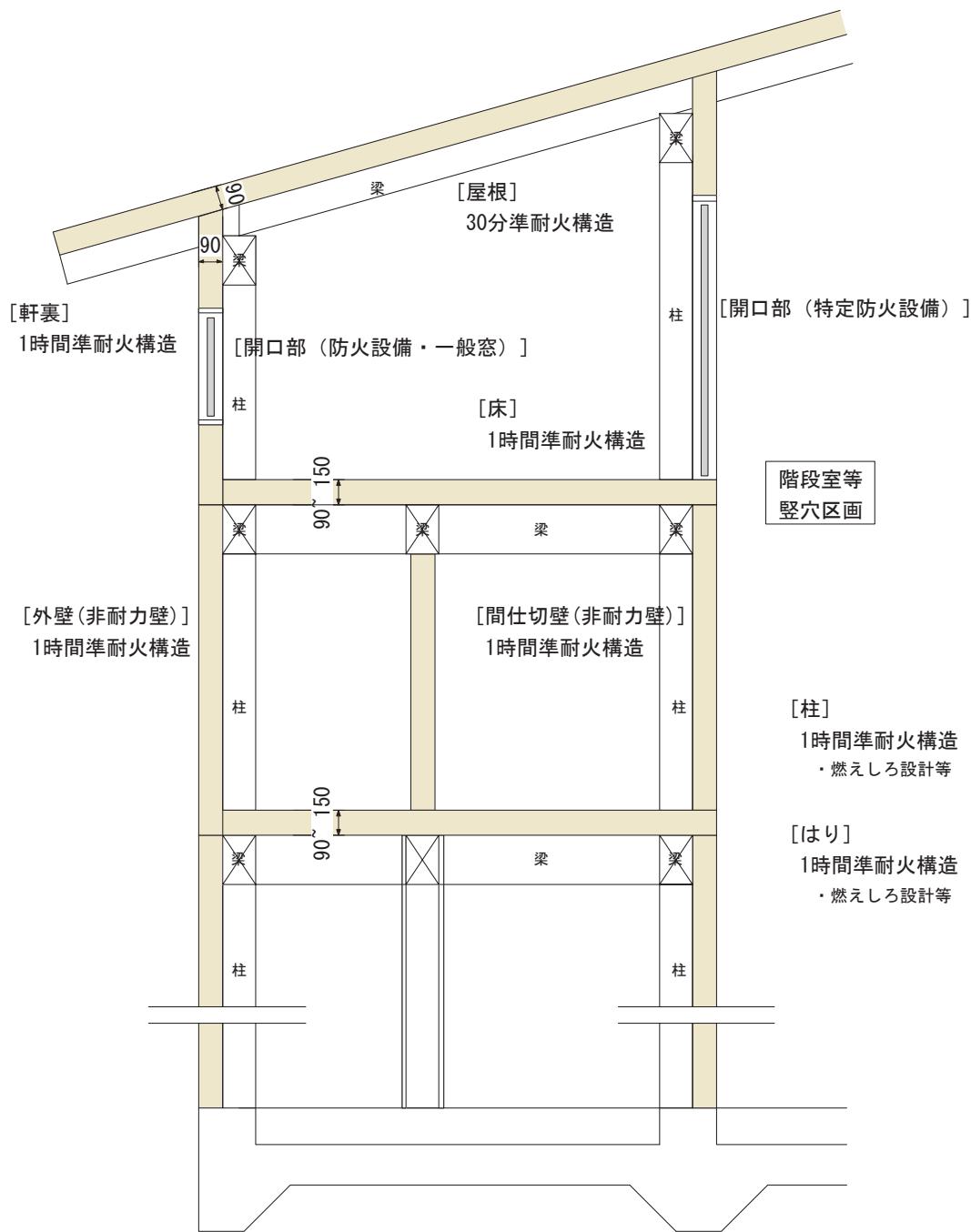


図 1.2-5 柱・はり・CLT 非耐力壁・床・屋根による工法

準耐火構造とする方法は、主として、i. 防火被覆（不燃系材料を用いる場合と木質系材料を用いる場合がある）する方法と、ii. 燃えしろ設計（現状は柱、はりのみ）をする方法が挙げられる。

CLTパネルを用いた実建物を設計する場合も、このi. 防火被覆とii. 燃えしろ設計を併用することになると考えられる

iは、軸組工法、枠組壁工法同様、CLTパネルを使った厚板工法も、準耐火構造の告示仕様を使うことができる。現行の準耐火構造の告示を表1.2-6～1.2-13に示す。

iiは木材に厚さ、太さを持たせて、準耐火要求時間以上の崩壊防止性能（非損傷性）や燃え抜け防止性能（遮熱性、遮炎性）を達成するものである。

図1.2-4と図1.2-5の工法の部位毎に、ii. 燃えしろ設計の考え方で設計する際に、CLTパネルに必要な防耐火（準耐火）性能を表1.2-4及び表1.2-5に示す。

(1) CLTパネルを用いた耐力壁・床・屋根による工法 (CLT構法)

基本的に柱、はりがなく、鉛直力を支持する部材が、CLTパネルの外壁、間仕切壁、床、屋根となる。

表1.2-4 主要構造部に必要な準耐火性能1

主要構造部	想定加熱	要求性能(準耐火性能)		
外壁	片面	非損傷性・遮熱性・遮炎性	燃えしろ設計	45分・1時間
間仕切壁	防火区画の場合	非損傷性・遮熱性・遮炎性	燃えしろ設計	45分・1時間
	防火区画以外の場合	非損傷性	燃えしろ設計	45分・1時間
床	片面	非損傷性・遮熱性	燃えしろ設計	45分・1時間
軒裏	片面	遮熱性・遮炎性		30分・45分・1時間
屋根	片面	非損傷性・遮炎性	燃えしろ設計	30分

(2) 柱・はり・CLT非耐力壁・床・屋根による工法

柱・はりが鉛直力を負担し、壁は水平力に抵抗、床は限定されたスパン(ALC版等と同じ考え方)を支持する。

表1.2-5 主要構造部に必要な準耐火性能2

主要構造部	想定加熱	要求性能	
外壁	片面	遮熱性・遮炎性	30分・45分・1時間
間仕切壁	防火区画の場合	遮熱性・遮炎性	45分・1時間
	防火区画以外の場合	なし	-
床	片面	非損傷性・遮熱性	45分・1時間
軒裏	片面	遮熱性・遮炎性	45分・1時間
屋根	片面	非損傷性・遮炎性	30分

※柱・はりはCLT以外の準耐火構造

本事業では、上記①の工法について、現行の告示の柱、はりのように、i 燃えしろ設計が可能となるよう、壁・床・屋根について、加熱条件ごとの燃えしろ寸法等を検討する。

表 1.2-6 外壁 (H12 建設省告示第 1358 号第一、H12 建設省告示第 1380 号第一)

	屋外側被覆材（外壁） [いずれかを選択する]	屋内側被覆材（内壁） [いずれかを選択する]
45 分	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に金属板張り <input type="checkbox"/> 木毛セメント板の上に厚さ15mm以上のモルタル またはしつくい塗り <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 しつくい塗り <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25mm以上のロックウール保温板の上に金属板張り	<input type="checkbox"/> 厚さ15mm以上のせっこうボード (強化せっこうボード含む、以下同じ) <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm 以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm 以上難燃合板 <input type="checkbox"/> 厚さ9mm以上のせっこうボードまたは厚さ9mm以上 の難燃合板の上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ7mm以上のせっこうラスボードの上に厚さ8mm 以上のせっこうプラスター
60 分	<input type="checkbox"/> 厚さ18mm以上の硬質木片セメント板 <input type="checkbox"/> 厚さ20mm以上の鉄網モルタル	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ12mm 以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ8mm以上のスラグせっこう系セメント板の上 に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ16mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さ 9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さ 9mm以上の難燃合板 <input type="checkbox"/> 厚さ9mm以上のせっこうボードまたは厚さ9mm以上 の難燃合板の上に厚さ12mm以上の強化せっこう ボード

※本事業で燃えしろ設計する場合について検討する

表 1.2-7 軒裏 (H12 建設省告示第 1358 号第五、H12 建設省告示第 1380 号第五)

	【垂木・野地板等を防火被覆する場合】	【垂木・野地板等を木材現しとする場合】
45 分	<p>軒裏被覆材 [いずれかを選択する]</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の硬質木片セメント板 <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に金属板張り <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つくい塗り <input type="checkbox"/> 石膏ボードの上に厚さ15mm以上のモルタルまたはしつくい塗り <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25mm以上のロックウール保温板の上に金属板張り 	<p>【野地板】 ■厚さ30mm以上の木材</p> <p>【垂木】 ■木材</p> <p>【面戸板】 ■厚さ45mm以上の木材</p> <p>【部材の取り合い部】 ■野地板及びたるきと軒桁との取合い等の部分を垂木欠きを設ける等、建物内部への炎の侵入を有効に防止する</p> <p>【炎の侵入を有効に防止する仕様例】</p> <p>軒桁と垂木の納まり例 垂木と面戸板の納まり例</p>
60 分	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 厚さ15mm以上の強化せっこうボードの上に金属板張り <input type="checkbox"/> 繊維混入ケイ酸カルシウム板を2枚以上はったもので合計厚さ16mm以上 <input type="checkbox"/> 厚さ18mm以上の硬質木片セメント板 <input type="checkbox"/> 厚さ20mm以上の鉄網モルタル 	<p>【野地板】 ■厚さ30mm以上の木材</p> <p>【垂木】 ■木材</p> <p>【面戸板及び被覆材】 [いずれかを選択する]</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の木材の屋内側に厚さ40mm以上の漆喰、土、モルタル塗り <input type="checkbox"/> 厚さ30mm以上の木材の屋内側に厚さ20mm以上の漆喰、土、モルタル塗り <input type="checkbox"/> 厚さ30mm以上の木材の屋外側に厚さ20mm以上の漆喰、土、モルタル塗り <p>【部材の取り合い部】 ■野地板及びたるきと軒桁との取合い等の部分を垂木欠きを設ける等、建物内部への炎の侵入を有効に防止する</p>

表 1.2-8 間仕切壁 (H12 建設省告示第 1358 号第一、H12 建設省告示第 1380 号第一)

	被覆材（両面にそれぞれ張るまたは塗る） 【いずれかを選択する】
45 分	<input type="checkbox"/> 厚さ15mm以上のせっこうボード（強化せっこうボードを含む、以下同じ） <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上の難燃合板 <input type="checkbox"/> 厚さ9mm以上のせっこうボードまたは厚さ9mm以上の難燃合板の上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ7mm以上のせっこうラスボードの上に厚さ8mm以上のせっこうプラスター <input type="checkbox"/> 鉄網モルタル塗または木ずりしつくい塗で合計塗厚さ20mm以上 <input type="checkbox"/> 木毛セメント板張またはせっこうボード張の上に厚さ15mm以上のモルタルまたはしつくい塗り <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"/> 土蔵造 <input type="checkbox"/> 土塗真壁造で裏返し塗りをしたもの <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に亜鉛鉄板張り <input type="checkbox"/> 厚さ25mm以上のロックウール保温板の上に亜鉛鉄板張り
60 分	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ8mm以上のスラグせっこう系セメント板の上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ16mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さ9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さ9mm以上の難燃合板 <input type="checkbox"/> 厚さ9mm以上のせっこうボードまたは厚さ9mm以上の難燃合板の上に厚さ9mm以上の強化せっこうボード

※本事業で燃えしろ設計する場合について検討する

表 1.2-9 柱 (H12 建設省告示第 1358 号第二、H12 建設省告示第 1380 号第二)

	【防火被覆する場合】 【いずれかを選択する】	【燃えしろ設計する場合】
45 分	被覆材 <input type="checkbox"/> 厚さ15mm以上のせっこうボード（強化せっこうボードを含む、以下同じ） <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上の難燃合板 <input type="checkbox"/> 厚さ9mm以上のせっこうボードまたは厚さ9mm以上の難燃合板の上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ7mm以上のせっこうラスボードの上に厚さ8mm以上のせっこうプラスター	【燃えしろ寸法】 【いずれかを選択する】 <input type="checkbox"/> 構造用製材 : 45mm <input type="checkbox"/> 構造用集成材・構造用単板積層材 (LVL) : 35mm 【継手または仕口】 ■燃えしろ寸法を除いた部分で有効に存在応力を伝える ■ボルト・ドリフトピン・ビス・釘等を用いる場合は木材等で防火上有効に被覆する
60 分	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ8mm以上のスラグせっこう系セメント板の上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ16mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さ9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さ9mm以上の難燃合板 <input type="checkbox"/> 厚さ9mm以上のせっこうボードまたは厚さ9mm以上の難燃合板の上に厚さ12mm以上の強化せっこうボード	【燃えしろ寸法】 【いずれかを選択する】 <input type="checkbox"/> 構造用製材 : 60mm <input type="checkbox"/> 構造用集成材・構造用単板積層材 (LVL) : 45mm 【継手または仕口】 ■燃えしろ寸法を除いた部分で有効に存在応力を伝える ■ボルト・ドリフトピン・ビス・釘等を用いる場合は木材等で防火上有効に被覆する

表 1.2-10 床 (H12 建設省告示第 1358 号第三、H12 建設省告示第 1380 号第三)

	床上被覆材 [いずれかを選択する]	床下被覆材 [いずれかを選択する]
45 分	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の構造用合板・構造用パネル・パーティクルボード・デッキプレート・その他類するもの（以下、「合板等」）の上に厚さ9mm以上のせっこうボード若しくは軽量気泡コンクリート、または、厚さ8mm以上の硬質木片セメント <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の合板等の上に厚さ9mm以上のモルタル・コンクリート・せっこう塗り <input type="checkbox"/> 厚さ30mm以上の木材 <input type="checkbox"/> 畳（ポリスチレンフォームの畳床は除く）	<input type="checkbox"/> 厚さ15mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上部に厚さ50mm以上のロックウール（かさ比重0.024以上）またはグラスウール（かさ比重0.024以上）
60 分	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の合板等の上に厚さ12mm以上のせっこうボード・軽量気泡コンクリート・硬質木片セメント板 <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の合板等の上に厚さ12mm以上のモルタル・コンクリート・せっこう塗り <input type="checkbox"/> 厚さ40mm以上の木材 <input type="checkbox"/> 畳（ポリスチレンフォームの畳床は除く）	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ12mm以上のせっこうボードを張り、その上部に厚さ50mm以上のロックウール（かさ比重0.024以上、以下同じ）またはグラスウール（かさ比重0.024以上、以下同じ） <input type="checkbox"/> 厚さ12mm厚以上の強化せっこうボードの上に厚さ12mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ15mm厚以上の強化せっこうボードの上に厚さ50mm以上のロックウールまたはグラスウール <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さ9mm以上のロックウール吸音板

※本事業で燃えしろ設計する場合について検討する

表 1.2-11 はり (H12 建設省告示第 1358 号第四、H12 建設省告示第 1380 号第四)

	【防火被覆する場合】[いずれかを選択する]	【燃えしろ設計する場合】
45 分	<input type="checkbox"/> 強化せっこうボード15mm厚以上 <input type="checkbox"/> 強化せっこうボード12mm厚以上の上にロックウール（かさ比重0.024以上）またはグラスウール（かさ比重0.024以上）50mm以上を張ったもの	【燃えしろ寸法】[いずれかを選択する] <input type="checkbox"/> 構造用製材：45mm <input type="checkbox"/> 構造用集成材・構造用単板積層材（LVL）：35mm 【継手または仕口】 <ul style="list-style-type: none"> ■燃え代寸法を除いた部分で有効に存在応力を伝える ■ボルト・ドリフトピン・ビス・釘等を用いる場合は木材等で防火上有効に被覆する
60 分	<input type="checkbox"/> せっこうボード12mm厚以上を張った上にせっこうボード12mm厚以上を張り、その上部に50mm厚以上のロックウール（かさ比重0.024以上）またはグラスウール（かさ比重0.024以上）を充填したもの <input type="checkbox"/> 強化せっこうボード12mm厚以上の上に強化せっこうボード12mm厚以上 <input type="checkbox"/> 強化せっこうボード15mm厚以上の上にロックウールまたはグラスウール50mm厚以上 <input type="checkbox"/> 強化せっこうボード12mm厚以上の上にロックウール吸音板9mm厚以上	【燃えしろ寸法】[いずれかを選択する] <input type="checkbox"/> 構造用製材：60mm <input type="checkbox"/> 構造用集成材・構造用単板積層材（LVL）：45mm 【継手または仕口】 <ul style="list-style-type: none"> ■燃え代寸法を除いた部分で有効に存在応力を伝える ■ボルト・ドリフトピン・ビス・釘等を用いる場合は木材等で防火上有効に被覆する

表 1.2-12 屋根 (H12 建設省告示第 1358 号第五)

	屋外側の葺き材・仕上げ材	屋内側の防火被覆 [いずれかを選択する]
30 分	■不燃材料（瓦・金属板・平板スレート等）で葺くまたはつくる。	<input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ9mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上部にロックウール（かさ比重0.024以上）またはグラスウール（かさ比重0.024以上） <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上の硬質木片セメント板 <input type="checkbox"/> 厚さ12mm以上のせっこうボードの上に金属板張り <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つくい塗り <input type="checkbox"/> せっこうボードの上にモルタルまたはしつくい15mm厚以上 <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"/> セメント板の上にモルタルを塗ったもので合計厚さ25mm以上 <input type="checkbox"/> 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25mm以上のロックウール保温板の上に金属板張り <input type="checkbox"/> 厚さ20mm以上の鉄網モルタル <input type="checkbox"/> 繊維混入ケイ酸カルシウム板を2枚以上張ったもので合計厚さ16mm以上

※本事業で燃えしろ設計する場合について検討する

表 1.2-13 階段 (H12 建設省告示第 1358 号第六)

	【木材のみで構成する場合】	【階段を防火被覆する場合】
30 分	【段板】 ■厚さ60mm以上の木材 【段板を支える桁】 ■厚さ60mm以上の木材	<p>①段板及び段板を支える桁：厚さ35mm以上の木材 【段板裏面の防火被覆】[いずれかを選択する] <input type="checkbox"/>厚さ12mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/>厚さ9mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/>厚さ12mm以上のせっこうボードの上部に厚さ50mm以上のロックウール（かさ比重0.024以上）またはグラスウール（かさ比重0.024以上） <input type="checkbox"/>厚さ12mm厚以上の硬質木片セメント板12mm厚以上 <input type="checkbox"/>その他の例示仕様 【桁の外側の防火被覆】[いずれかを選択する] <input type="checkbox"/>厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/>厚さ8mm以上のスラグせっこう系セメント板 <input type="checkbox"/>準耐火構造の壁に取り付く場合 *桁が屋外に面する場合は準耐火構造外壁屋外側被覆材のいずれかとする</p> <p>②段板及び段板を支える桁：厚さ35mm未満の木材 【段板裏面の防火被覆】[いずれかを選択する] <input type="checkbox"/>厚さ15mm以上の強化せっこうボード <input type="checkbox"/>厚さ12mm以上の強化せっこうボードの上部に厚さ50mm以上のロックウール（かさ比重0.024以上）またはグラスウール（かさ比重0.024以上） 【桁の外側の防火被覆】[いずれかを選択する] <input type="checkbox"/>厚さ15mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/>厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/>厚さ12mm以上のせっこうボードの上に厚さ9mm以上の難燃合板 <input type="checkbox"/>厚さ9mm以上のせっこうボードまたは厚さ9mm以上の難燃合板の上に厚さ12mm以上のせっこうボード <input type="checkbox"/>せっこうラスボード7mm以上の上にせっこうプラスター8mm厚以上 <input type="checkbox"/>準耐火構造の壁に取り付く場合 *桁が屋外に面する場合は準耐火構造外壁屋外側被覆材のいずれかとする </p>

1.2.4 燃えしろ設計法における設計荷重の検討

柱、はりの燃えしろ設計では、火災前の部材断面から燃えしろ寸法を引いた残りの断面に生じる応力度が短期の許容応力度を超えないことを確認する。

本事業で検討する壁、床、屋根の燃えしろ設計においても、CLTパネルの基準強度に基づく許容応力度が決まれば、鉛直力支持能力（非損傷性）については、柱、はり同様の燃えしろ設計でよいと考えられる。ただし、CLTパネルを用いた壁式工法の場合は、CLTパネルの使用部位により加熱面数が異なることが考えられため、加熱後に崩壊しないためには、それぞれの加熱面数に応じて燃えしろ寸法を想定する必要がある。

そこで、後述する1.2.5において、加熱条件に応じた燃えしろを取るべき面のケーススタディを行う。

表1.2-14 柱・はりの燃えしろ設計の流れと面材の加熱方向

[柱・はりの場合]	[壁(防火区画)・床・屋根の場合]	[壁(防火区画以外)の場合]

3階建て程度の建築物の場合、CLTパネルを用いた壁・床では、火災前の部材断面寸法がほぼ決まっていること（ラミナ厚の奇数倍）、さらに、壁工法では鉛直力を支持する部材の断面積が軸組工法より大きく、1mあたりの壁が支持すべき荷重がそう大きくならないことが軸組工法の場合と異なる特徴である。

例えば、比較的壁の多い3階建ての共同住宅、寄宿舎等の場合、後述するように設計荷重（1階の壁が支持する荷重）は30～40kN/m程度である。一方で、たとえばMx60-3-3の厚さ90mmのCLTパネルの座屈荷重は、700kN/m以上との報告もある（2.2.2参照）。現状、材料の基準強度が決まっていないため、まずは、図1.2-6のように、1時間加熱により消失する断面を除いた残存断面の座屈荷重が、設計荷重よりも大きくなる条件を明確にすることを目標とする。

3層 3プライ 90厚の座屈荷重 > 設計荷重 となることを検証



図 1.2-6 CLT パネルを用いた壁・床の燃えしろ設計の考え方の一例

1.2.5 燃えしろ寸法の考え方

部位毎の燃えしろ寸法を検討するためには、火災時にその部材がどのような加熱（片面加熱、2～4面加熱）を受けるかを詳細に想定することが重要となる。そこで、本事業で想定する建物について、CLTパネルの壁が受ける加熱面数ごとに燃えしろの考え方を整理する。ケーススタディに用いる建物（銘建工業提供）は、現在、岡山県真庭市に建設中の3階建ての共同住宅である。延べ面積200m²を越える建物であるが、階ごとに住戸が独立しているため、堅穴がなく、防火区画の壁や床は存在しない。

(1) 建物概要

規模：木造3階建て

用途：共同住宅（各階1戸）

防耐火要求：木三共仕様（1時間準耐火構造）

防火区画：なし

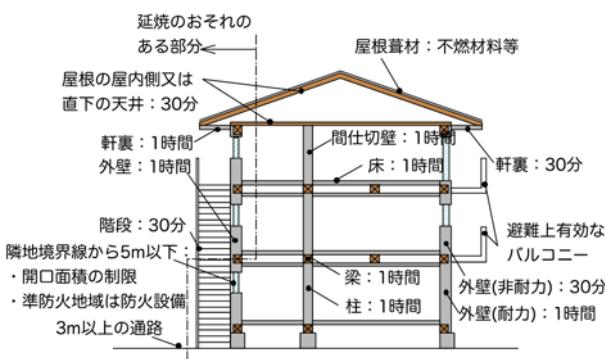


図1.2-7 建築物の部位の要求性能

(2) 加熱条件

外壁：屋外側または屋内側のいずれか一方からの加熱を想定

間仕切壁（防火区画ではない）：両面から同時加熱を想定

(3) 検討条件

- 1) 1時間加熱後に90厚（3層3プライ）が残って鉛直力を支持できると仮定
- 2) 1時間で60mm燃え進むと仮定
- 3) 外壁は、90厚（3層3プライ）に、①60mm燃えしろ付加、②屋外側、屋内側のそれに1時間準耐火構造の被覆付加する
- 4) 間仕切壁は、90厚（3層3プライ）に①両面に60mm燃えしろ付加、②片面に60mm燃えしろ付加+片面に1時間準耐火構造の被覆付加、③両面に1時間準耐火構造の被覆を付加する

(4) 1時間準耐火構造（告示）の被覆材

表1.2-6（外壁）、表1.2-8（間仕切壁）のいずれかとする。

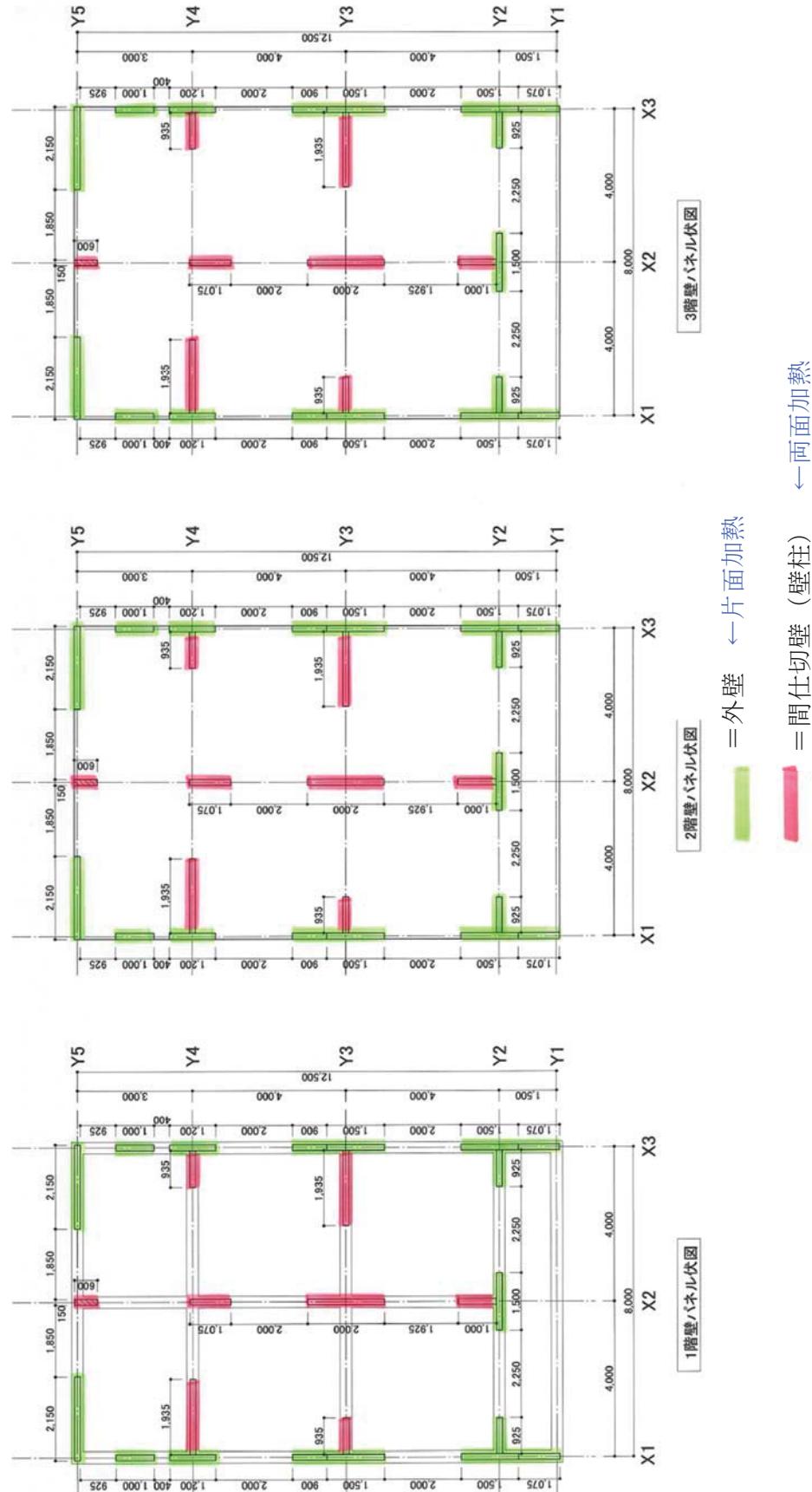
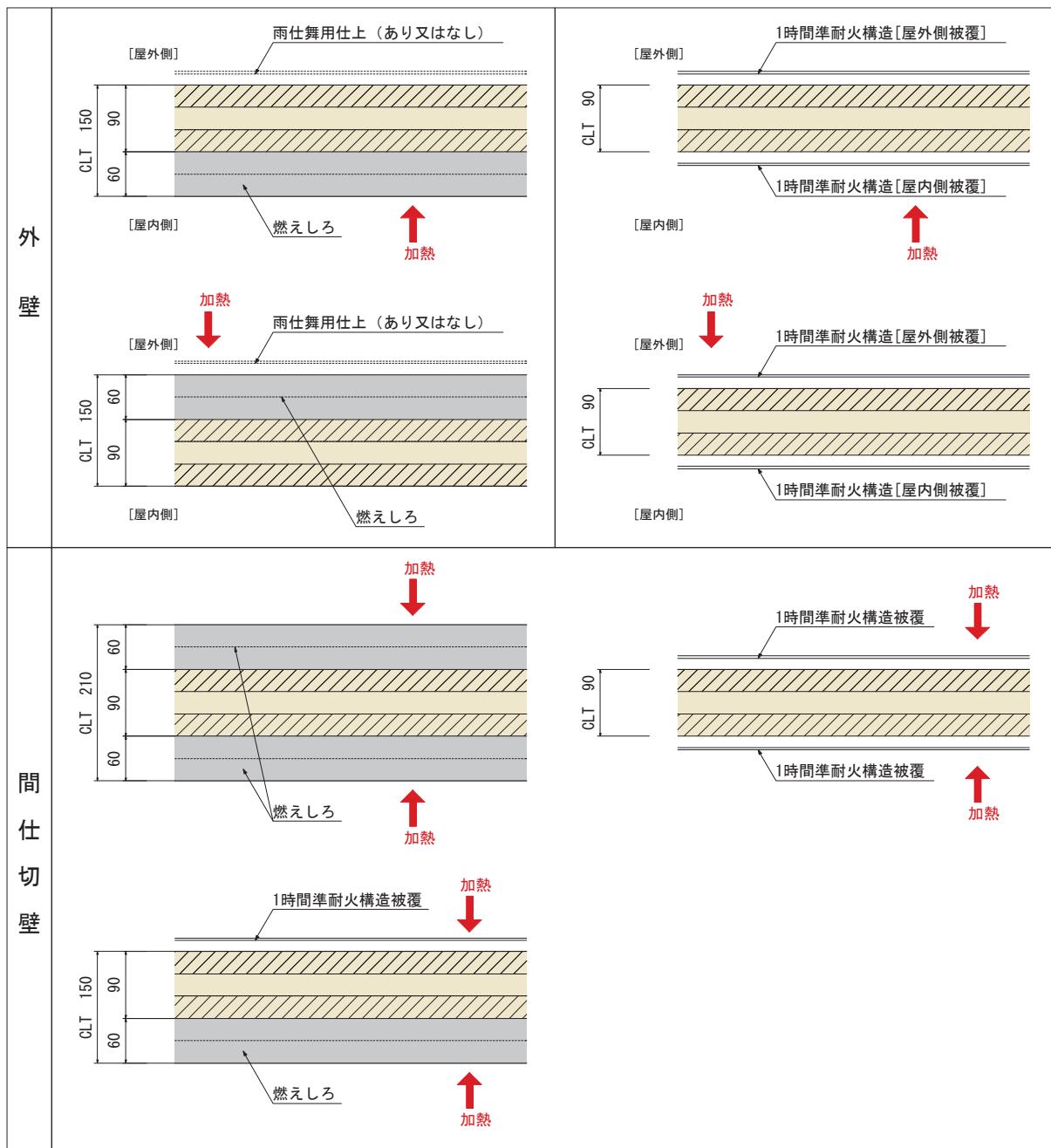


図 1.2-8 壁種類と加熱面



※斜線部が荷重支持部

図 1.2-9 燃えしろによる外壁及び間仕切壁（両面加熱）の準耐火構造の考え方の一例

外壁は、屋外または屋内のいずれかの片面加熱が想定される。CLT パネルの厚さが 150mm 以上であれば、屋外、屋内いずれかの加熱に対して、燃えしろを 60mm (1mm/分で鉛直力支持できる断面が減っていく) と想定すれば、残存厚さを 90mm 確保できるため、作用する荷重が、この断面の座屈荷重以下（柱、はりの燃えしろ設計に従えば、短期許容荷重以下）であれば準耐火構造になりえる。

一方、間仕切壁は両面からの加熱が想定されるため、燃えしろをとる場合は加熱面（両面）に応じた寸法とする必要があり、CLT パネルの厚さは 210mm 以上必要となる。

また、外壁、間仕切壁（防火区画以外）以外の「防火区画の間仕切壁」、「床」、「屋根」についても同様の考え方で整理すると以下のようになる。いずれも考え方の一例であり、燃えしろと防火被覆の組み合わせは他にも考えられるが、典型的な考え方として整理した。

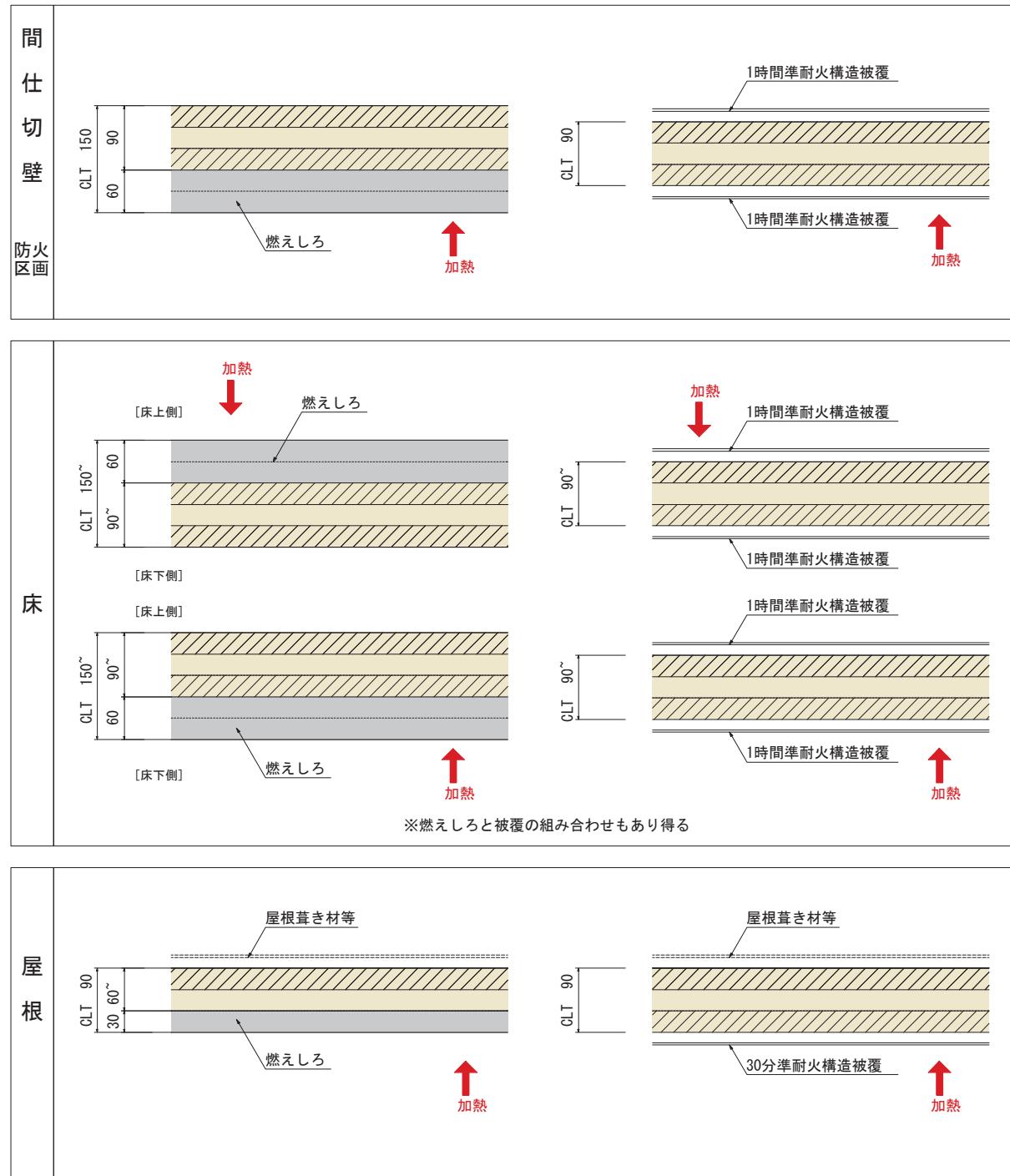


図 1.2-9 燃えしろ間仕切壁（防火区画）、床、屋根の準耐火構造の考え方の一例

1.2.6 準耐火性能を確保するための部位の設計

準耐火建築物においては、主要構造部の準耐火性能の確保に加えて、部材同士の接合部や取り合い部の納まり、設備用配管・配線等の貫通部の措置など、建物としての防耐火性能を確保するために、設計上配慮すべき点がある。

本事業では、図 1.2-10 に示す防耐火設計上配慮すべき項目のうち、四角囲みで「3.○」と記した項目について検討を行う。

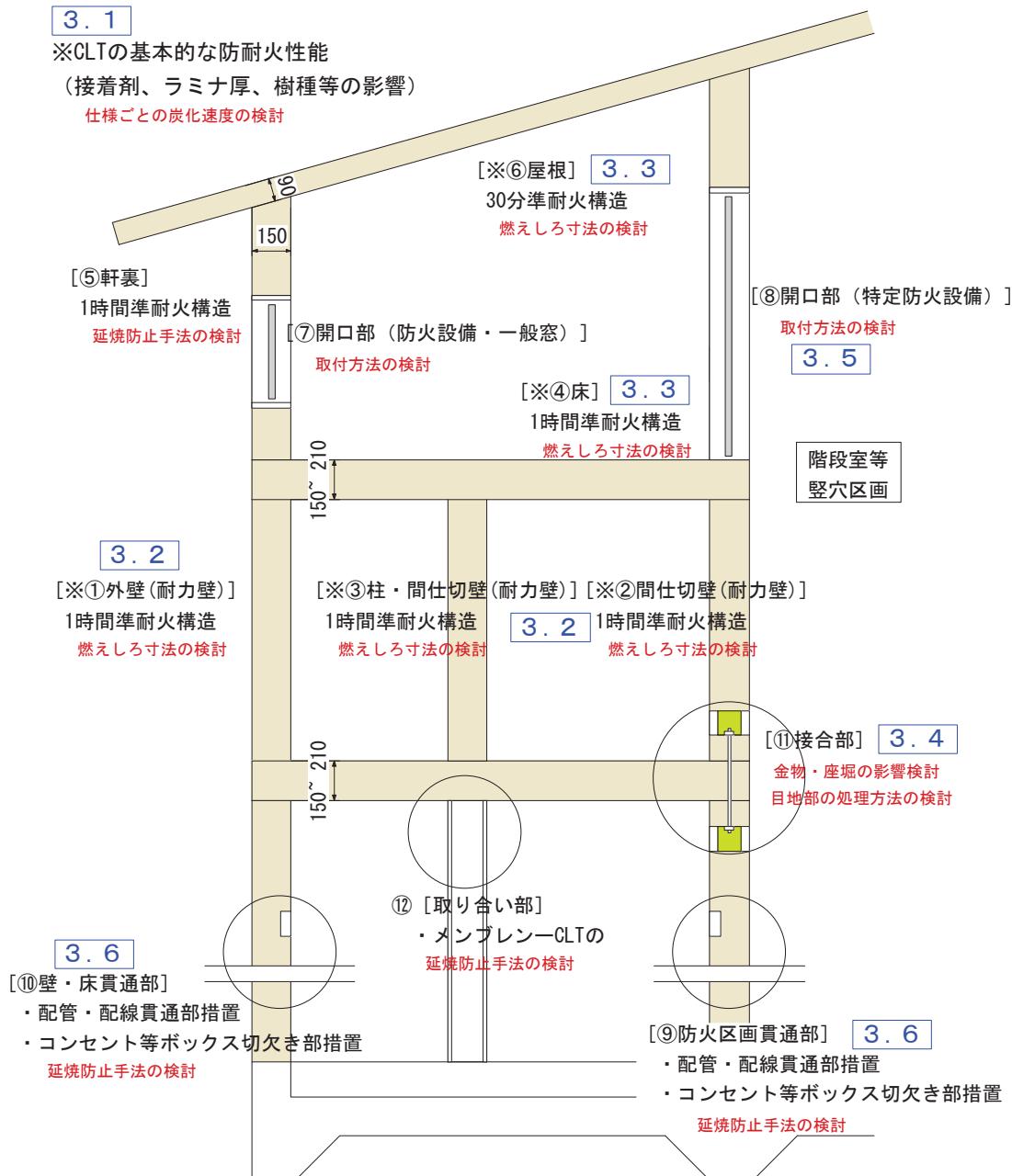


図 1.2-10 防耐火設計上配慮すべき項目と本事業で検討する項目

主要構造部に求められる準耐火性能は前述の表 1.2-4 であるが、主要構造部以外の部位に必要な防耐火性能は表 1.2-15 のように整理できる。

表 1.2-15 主要構造部以外に部分に求められる防耐火性能

部位	防火区画の壁及び床					
	貫通部	開口(掘り込み部)				
	配管・配線貫通部	防火設備・特定防火設備	コンセント等	照明等	換気扇ダクト等	
必要な性能	遮炎性	遮炎性	遮熱性・遮炎性			
部位	防火区画以外の壁及び床					
	貫通部	開口(掘り込み部)				
	配管・配線貫通部	防火設備	コンセント等	照明等	換気扇ダクト等	
必要な性能	遮炎性	遮炎性	遮熱性・遮炎性			
部位	接合部					
	主要構造部材同士	接合金物廻り				
必要な性能	遮熱性・遮炎性	遮熱性・遮炎性				

※要求時間は当該貫通部、接合部等が発生する主要構造部の要求時間に従う

1.2.7 CLT パネルの異種工法との接合方法

CLT パネルを用いた建築物の普及促進のためには、CLT パネルを用いた壁式工法だけではなく、CLT パネルを異種工法と組み合わせて利用する混構造の可能性についても検討しておく必要がある。ここでは CLT パネルと異種工法の接合部について防火上の課題点を抽出する。

(1) 異種工法の検討対象

異種工法のうち、枠組壁工法・鉄骨造・木造軸組については、被覆型の準耐火構造との接合部を、大断面木質構造・木造軸組については燃えしろ型との接合部を対象とする。また、接合箇所は、異種工法の柱・梁・壁・屋根・床に対して CLT パネルの壁・床・屋根の各版が接合される部分を対象とする。表 1.2-16 に接合部を図示する。

(2) 防火上の課題

表 1.2-16 に示す納まりより、防火上考えられる課題は、以下の通り想定される。

枠組壁工法の被覆型の工法との接合部では、CLT パネルの燃えしろ部分と壁、床との取り合い部において、CLT パネルの燃え込みによって、メンブレン被覆された部材の内部に防火被覆が突破されるよりも早く、火炎が侵入するのを防止するための防火処置方法が必要となる。特に、勾配屋根との取り合い部は、矩形の材を組み合わせるだけだと、斜めとなるため隙間が生じやすいため、勾配に合わせた防火被覆の面取りや裏打材などの設置委が必要となる。

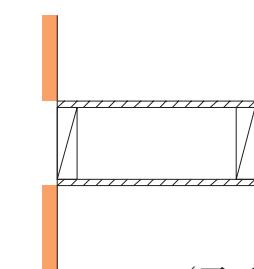
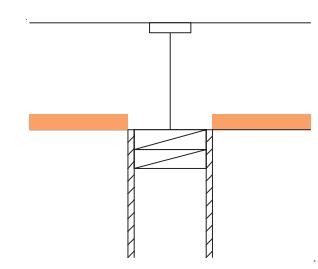
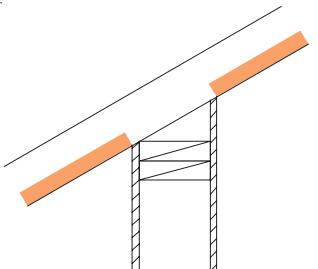
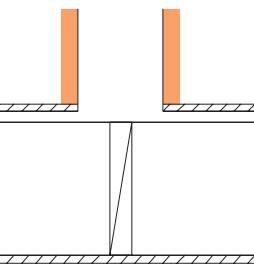
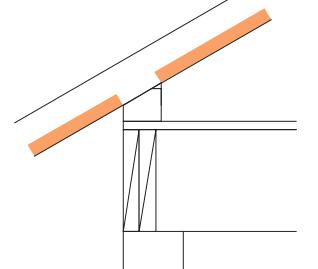
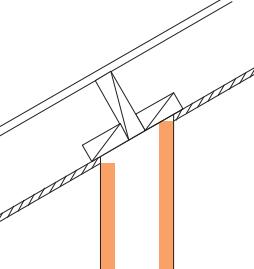
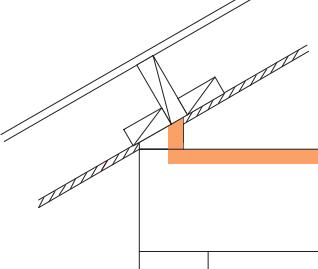
燃えしろ設計される柱・梁との接合部においては、勾配屋根との取り合いを除き大きな問題は生じにくいと考えられるが、柱・梁と壁・床と接合方法(ビス留め、ボルト留め等)の緊結度によって、火災時の燃えしろ寸法の取り方や荷重負担時の変形挙動が異なる可能性がある。

鉄骨造との接合部においては、防火上の課題が多いと考えられる。特に、火災時の木材と鋼材の変形の差によって、接合部分には隙間が生じる可能性が極めて大きい。木材と鋼材を直接接合すると、木部は早期に炭化するための接合力は期待できない。そのため、木部にも防火被覆を設置するなどの必要が生じると考えられる。また、鋼材の柱に CLT パネルの壁を設置する場合、火災時に柱は軸方向に 20~30mm 程度伸び出しが、木材は伸びないため隙間が生じるなどの可能性もある。

これだけでなく、CLT パネルと異種工法部材との変形による寸法差が生じる部分についても、同様に防火上の課題となると考えられる。

表 1.2-16 異種構造との接合部

:防火被覆
 :燃えしろ

		CLT		
		壁	床	屋根
枠組壁工法	壁			
	床			
	屋根			

		CLT		
		壁	床	屋根
柱 (燃えしろ型)				
	(平面)			
木造軸組	梁・桁 (燃えしろ型)			
屋根				
大断面木質構造 (燃えしろ型)	柱			
	(平面)			

		CLT		
		壁	床	屋根
大断面木質構造 (燃えしろ型)	梁			
	柱			
鉄骨造				

1.3 実施内容

事業を始める段階で、CLT パネルに関する既往の知見をまとめると、表 1.3-1 の通りである。これらの知見をもとに、本事業では計画をたてながら実験を実施する。

1.3.1 CLT パネルの燃えしろ設計法に係る荷重および部材の耐力

耐力部材の準耐火性能評価では載荷条件を材料の基準強度に基づき許容応力度を算定するが、CLT パネルの基準強度については、図 1.3-1 に示す通り平成 28 年度に告示が出される計画¹⁾である。一方で、CLT パネルの断面構成は JAS 規格により規定されているため、燃えしろ設計の制度と調和させるためには、所定時間後の断面で非損傷性を確保できるよう短期許容応力度および荷重を負担すべき断面構成を想定しつつ検討する必要がある。

本検討では、CLT パネルに関するこれまでの実験研究をもとに所定時間後の残存断面と許容応力度を仮定して行う載荷加熱試験を出発点として、系統的に載荷加熱試験を行う。ただし、耐力壁・床・屋根について、今後、告示において基準強度および短期許容応力度が定められた際に、燃えしろ設計での想定に齟齬がないよう、実験条件を設定する。

CLT の普及に向けたロードマップ



図 1.3-1 CLT の普及に向けたロードマップ (国土交通省・林野庁)¹⁾

1) http://www.mlit.go.jp/report/press/house04_hh_000551.html

1.3.2 CLT パネルの燃えしろ設計法の構築に係る加熱試験

CLT パネルを対象とする燃えしろ設計法を検討する上では、まず、CLT パネルの燃えしろ寸法のモデル化を実施し、この結果に基づいて、CLT パネルおよび金物等の接合部の検証、区画貫通部等の防火処置方法の検討、防火設備との取合い部分の防火処置方法の検討について、林野庁における検討状況を踏まえて検討を実施する。

(イ) CLT パネルの燃えしろの検討

CLT パネルを構成するラミナの樹種、厚さ、接着剤の種類を変えて、CLT パネルの炭化速度を実験により求め、燃えしろ寸法を定める。

関連する実験は、

「3.1 CLT パネルの炭化速度に与える接着剤の種類・ラミナ厚さ・樹種の影響」
で紹介する。

(ロ) CLT パネルおよび金物等の接合部の検証

CLT パネルへの利用が検討されている接合部金物等を取り付けた状態での耐火加熱試験により、準耐火建築物の主要構造部としての性能を確保できる接合部条件を明らかにする。

関連する実験は、

「3.4 壁・床目地部および各種部位の接合部の加熱試験」
で紹介する。

(ハ) 区画貫通部等の防火処置方法の検討

CLT パネルのような無垢木製パネル工法に適した区画貫通部工法の開発例が少ないため、木質耐火・準耐火構造に使われている区画貫通部工法をもとに、区画貫通部を設計して、区画貫通部に必要な遮炎性を確保し得る仕様を耐火加熱試験により明らかにする。

関連する実験は、

「3.6 床の区画貫通部の加熱試験」
で紹介する。

(二) 防火設備との取合い部分の防火処置方法の検討

CLT パネルを用いた壁に防火戸を設置した場合、火災加熱による変形や鋼製枠の温度上昇による木部の燃え込み等で防火設備の性能が損なわれないようにするための処置方法を、防火設備を設置した CLT パネル壁の耐火加熱試験により明らかにする。

関連する実験は、

「3.5 防火設備との CLT パネル壁の取合い部の加熱試験」
で紹介する。

(ホ) 許容応力度に応じた作用荷重下での載荷加熱実験

CLT パネルを用いた耐力部材の準耐火性能である、非損傷性、遮熱性、遮炎性について載荷加熱実験を実施して、性能確認を行う。なお、載荷荷重に関しては、CLT の JAS 規格、ラミナの強度等を元に、断面のラミナ構成を考慮して定める。

関連する実験は、

「3.2 CLT パネルを用いた耐力壁の載荷加熱試験」
「3.3 CLT パネルを用いた床・屋根の載荷加熱試験」
で紹介する。

表 1.3-1 CLT パネルの燃えしろ設計法の検討に関する知見の整理

※下線は、構造関係者との調整が必要と考えられる部分

告示・指針で定める項目 (アウトプット)	必要な知見	必要な実験等	これまで明らかになっていること	今後検証すること
①材料区分ごとの燃えしろ寸法	・炭化部分の把握 ・非炭化部分で残存強度が低下する部分の把握 上記の合計が「燃えしろ寸法」のベースとなる	・パネルの燃焼実験（非載荷） ・パネルの燃焼実験（載荷） ※樹種・接着剤・ラミナ厚の組合せを考慮	・鉛直小幅/パネルの炭化速度（JAS 規定以前のもの非 JAS） ・火災時の変形性状、崩壊時性状（非 JAS） なし	・JAS 規定の水平/パネルの炭化速度 ・非炭化部分で残存強度が低下する部分 * 樹種、接着剤、ラミナ厚による違いの有無 ・同上？
②接合部（継手又は仕口で木材の部分）の燃えしろ寸法			・想定する接合方法ごとの燃焼実験	・想定する接合方法ごとの有効性
③接合部（継手又は仕口）の接合方法ごとの防火対策	・想定する接合方法ごとの有効な防火対策（現行の準耐火構造の防火対策で問題ないか。）*		・なし	・想定する接合方法ごとの有効性
④目地部、区画貫通部、開口部の防火対策	・想定する目地部、区画貫通部、開口部の有効な防火対策（現行の準耐火構造の防火対策で問題ないか。）*	・想定する目地部、区画貫通部、開口部ごとの燃焼実験	・準耐火構造（CLT 除く）の区画貫通部及び開口部の有効な防火対策 ・壁一般目地部、床一般目地部の防火対策 ・防火戸の取付け方法など、性能が実証されていないものも含まっているのではないか？	・目地部の防火対策の有効性 ・準耐火構造（CLT を含む）の区画貫通部及び開口部の防火対策の有効性

* 地震や経年変化による隙間への対策も要検討事項。

** 被覆を考慮した燃えしろ設計は含まず。

第2章

CLTパネルの燃えしろ設計法に係る荷重および部材の耐力

第2章 CLTパネルの燃えしろ設計法に係る荷重および部材の耐力

2.1 CLTパネルが負担する設計の荷重

2.1.1 各種用途を想定した建築物における耐力壁の負担軸力

(1) 検討方針

右図に示すよう 5.0m床スパンが両側にある内壁及び外壁の負担軸力の算定を行う。軸力算定は、以下に示す条件により行う。

1. 屋根版に CLT 3層 3プライ (厚さ 90 mm) を使用し、重い屋根(瓦葺き)と軽い屋根(コロニアル葺き)を想定する。
2. 屋根勾配は、4寸とする。
3. 屋根負担巾は、床負担巾と同じとする。
4. 床は、CLT 5層 7プライ (厚さ 210 mm) を使用し、システムフロアの上にフローリング仕上げをおこなう仕様とする。
5. 内壁は仕上げを行わないもとする。
6. 外壁・内壁重量は、壁厚 150 mm(5層 5プライ)として重量算定を行う。

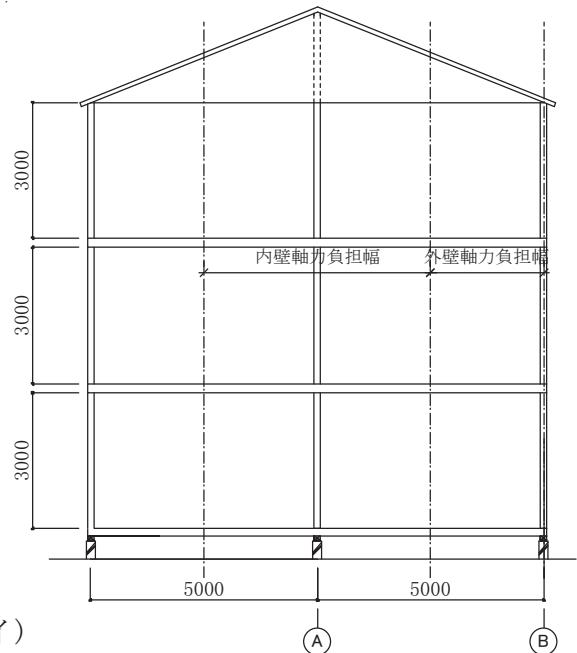


図 2.1.1-1 検討モデル

(2) 設計荷重

1) 固定荷重

CLT自重

CLT比重 0.4とする。

$$3\text{層}3\text{プライ 厚さ }90\text{mm} \quad 90 \times 0.4 \times 10 = 360 \text{ N/m}^2$$

$$5\text{層}5\text{プライ 厚さ }150\text{mm} \quad 150 \times 0.4 \times 10 = 600 \text{ N/m}^2$$

$$5\text{層}7\text{プライ 厚さ }210\text{mm} \quad 210 \times 0.4 \times 10 = 840 \text{ N/m}^2$$

外壁

- モルタル仕上げ 400 N/m^2

屋根

- 重い屋根(瓦葺き) 600 N/m^2

- 軽い屋根(コロニアル葺き) 260 N/m^2

勾配補正後屋根重量

$$\text{重い屋根} = (600 + 360) / \cos 21.80 = 1034 \text{ N/m}^2$$

$$\text{軽い屋根} = (260 + 360) / \cos 21.80 = 668 \text{ N/m}^2$$

床

・住宅

フローリング	180 N/m ²
システムフロア	600 N/m ²
吊り天井	300 N/m ²
	1080 N/m ²

・事務所、学校（教室）、店舗

フローリング	180 N/m ²
システムフロア	600 N/m ²
設備配管等	300 N/m ²
吊り天井	300 N/m ²
	1380 N/m ²

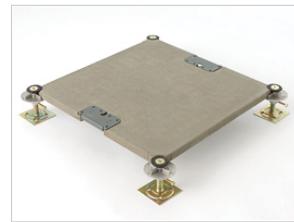
(参考) システムフロア

仕様

パネル型式	ユニット サイズ	強度 (中央集中(50mm径))		質量 (表面材 含まず)	標準※ 床高さ	開口部	表面 仕上材
		剛性	終局荷重				
GCA500C	□500mm ×厚み 24mm	たわみ 2.0mm以下	1000N 以上 (1000kgf 以上)	55.6kgf/m ²	70mm～※	90mm× 45mm (2ヶ所)	タイル カーペット
GCA500S						なし	

※上記以外は受注生産品です。

ユニット



GCA500
1ユニット (500×500mm)

2) 積載荷重

表 2.1.1-1 積載荷重

用途	積載荷重(N/m ²)	積載荷重を考慮した 床重量(N/m ²)
住宅	1300	1080+840+1300= 3220
事務所	1800	1380+840+1800= 4020
学校(教室)	2100	1380+840+2100= 4320
店舗	2400	1380+840+2400= 4620

学校の積載荷重については、「文科省官房文教施設企画部 建築構造設計指針（平成21年度版）」を参照した。様々な用途の部屋があるが本検討においては教室を想定した。

(3) 壁負担軸力算定

表 2.1.1-2 壁負担軸力算定（内壁 A通り）

内壁(A通り)						壁高=3.0m	
負担幅 (m)	用途	屋根	階	部位	単位重量 N/m ²	重量 N/m	総重量 N/m
5.0	住宅	重い屋根	3	屋根	1034	5170	6070
				壁	600	900	
			2	床	3220	16100	17000
				壁	600	900	
			1	床	3220	16100	17000
				壁	600	900	
		軽い屋根	3	屋根	668	3340	4240
				壁	600	900	
			2	床	3220	16100	17000
				壁	600	900	
			1	床	3220	16100	17000
				壁	600	900	
5.0	事務所	重い屋根	3	屋根	1034	5170	6070
				壁	600	900	
			2	床	4020	20100	21000
				壁	600	900	
			1	床	4020	20100	21000
				壁	600	900	
		軽い屋根	3	屋根	668	3340	4240
				壁	600	900	
			2	床	4020	20100	21000
				壁	600	900	
			1	床	4020	20100	21000
				壁	600	900	
5.0	学校(教室)	重い屋根	3	屋根	1034	5170	6070
				壁	600	900	
			2	床	4320	21600	22500
				壁	600	900	
			1	床	4320	21600	22500
				壁	600	900	
		軽い屋根	3	屋根	668	3340	4240
				壁	600	900	
			2	床	4320	21600	22500
				壁	600	900	
			1	床	4320	21600	22500
				壁	600	900	
5.0	店舗	重い屋根	3	屋根	1034	5170	6070
				壁	600	900	
			2	床	4620	23100	24000
				壁	600	900	
			1	床	4620	23100	24000
				壁	600	900	
		軽い屋根	3	屋根	668	3340	4240
				壁	600	900	
			2	床	4620	23100	24000
				壁	600	900	
			1	床	4620	23100	24000
				壁	600	900	

総重量 = 当該階重量 + 上階重量 + 上階壁重量

表 2.1.1-3 壁負担軸力算定（外壁 B 通り）

外壁(B通り)						壁高=3.0m	
負担幅 (m)	用途	屋根	階	部位	単位重量 N/m ²	重量 N/m	総重量 N/m
2.5	2.5	住宅	重い屋根	屋根	1034	2585	4085
				壁	1000	1500	
			2	床	3220	8050	9550
				壁	1000	1500	
		軽い屋根	1	床	3220	8050	9550
			1	壁	1000	1500	
				屋根	668	1670	3170
		事務所	重い屋根	壁	1000	1500	3170
			2	床	3220	8050	
				壁	1000	1500	9550
			1	床	3220	8050	9550
			1	壁	1000	1500	
				屋根	1034	2585	4085
2.5	2.5	学校(教室)	重い屋根	壁	1000	1500	4085
				床	4020	10050	
			2	壁	1000	1500	11550
				床	4020	10050	11550
			軽い屋根	壁	1000	1500	
				屋根	668	1670	3170
				壁	1000	1500	3170
			1	床	4020	10050	
				壁	1000	1500	11550
		店舗	重い屋根	屋根	1034	2585	4085
				壁	1000	1500	
			2	床	4320	10800	12300
				壁	1000	1500	17885
			1	床	4320	10800	12300
			軽い屋根	壁	1000	1500	31685
				屋根	668	1670	3170
				壁	1000	1500	3170
			2	床	4320	10800	12300
				壁	1000	1500	16970
			1	床	4320	10800	12300
			1	壁	1000	1500	30770
		店舗	重い屋根	屋根	1034	2585	4085
				壁	1000	1500	
			2	床	4620	11550	13050
				壁	1000	1500	18635
			1	床	4620	11550	13050
			軽い屋根	壁	1000	1500	33185
				屋根	668	1670	3170
				壁	1000	1500	3170
			2	床	4620	11550	13050
				壁	1000	1500	17720
			1	床	4620	11550	13050
			1	壁	1000	1500	32270

総重量=当該階重量+上階重量+上階壁重量

(4) 算定結果

表 2.1.1-4 壁負担軸力算定結果

壁負担軸力算定結果(内壁(A通り)負担幅5m)

用途	屋根	階	総重量 N/m
住宅	重い屋根	3	6070
		2	23970
		1	41870
	軽い屋根	3	4240
		2	22140
		1	40040
事務所	重い屋根	3	6070
		2	27970
		1	49870
	軽い屋根	3	4240
		2	26140
		1	48040
学校(教室)	重い屋根	3	6070
		2	29470
		1	52870
	軽い屋根	3	4240
		2	27640
		1	51040
店舗	重い屋根	3	6070
		2	30970
		1	55870
	軽い屋根	3	4240
		2	29140
		1	54040

壁負担軸力算定結果(外壁(B通り)負担幅2.5m)

用途	屋根	階	総重量 N/m
住宅	重い屋根	3	4085
		2	15135
		1	26185
	軽い屋根	3	3170
		2	14220
		1	25270
事務所	重い屋根	3	4085
		2	17135
		1	30185
	軽い屋根	3	3170
		2	16220
		1	29270
学校(教室)	重い屋根	3	4085
		2	17885
		1	31685
	軽い屋根	3	3170
		2	16970
		1	30770
店舗	重い屋根	3	4085
		2	18635
		1	33185
	軽い屋根	3	3170
		2	17720
		1	32270

2.1.2 屋根・床の負担荷重

(1) 検討方針

「2.1.1 各種用途を想定した建築物における耐力壁の負担軸力」と同条件にて、屋根・床の負担荷重の算定を行う。

(2) 算定結果

1) 屋根の負担荷重

表 2.1.2-1 屋根の負担荷重算定結果

負担幅 (m)	用途	屋根の種類	単位重量 N/m ²	重量 N/m
5.0	住宅 事務所 学校(教室) 店舗	重い屋根	1034	5170
		軽い屋根	668	3340

2) 床の負担荷重

表 2.1.2-2 床の負担荷重算定結果

負担幅 (m)	用途	単位重量 N/m ²	重量 N/m
5.0	住宅	3220	16100
	事務所	4020	20100
	学校(教室)	4320	21600
	店舗	4620	23100

2.1.3 燃えしろ設計における荷重設定

通常、部材の燃えしろ設計を行う場合、火災前の断面から燃えしろ寸法を引いた残りの断面に生じる応力度が短期の許容応力度を超えないことを確認する。

一方、CLT 工法（基本的に柱・梁がなく、CLT パネルで耐力壁（外壁・間仕切壁）・床・屋根を構成する工法）では、火災前の断面がほぼ決まっていることや、壁工法のため 1mあたりの壁が支持する荷重が比較的抑えられるため、これまでの部材の燃えしろ設計よりも余裕をもった荷重設定が可能と考えられる。

また、現状では CLT パネルの基準強度と許容応力度が定まっていないため、本事業における載荷加熱試験の載荷荷重は、CLT パネルの JAS 規格、ラミナの強度、既往の実験結果等を元に算定を行ったが、2.1.1、2.1.2 にて検討した設計荷重と比較すると大きな値となった。

表 2.1.3-1～表 2.1.3-3 に、設計荷重と載荷加熱試験における載荷荷重を示す。

今後、CLT の燃えしろ設計時の荷重設定において安全率等を考慮する際、参考となると考えられる。

表 2.1.3-1 壁の載荷加熱試験載荷荷重と設計荷重

試験体No.	試験体仕様 (CLT厚150mm)				載荷荷重 (kN/m)	設計荷重 ^{※1} (kN/m)
	種別	樹種	接着剤	ラミナ厚		
W-CLT-1	Mx60-5-5	スギ	API	30mm	269.4	55.9
W-CLT-2	Mx60-5-5	スギ	API	30mm	301.5	
W-CLT-3	Mx60-5-5	スギ	API	30mm	301.5	
W-CLT-4	Mx60-5-5	スギ	RF	30mm	301.5	
W-CLT-5	Mx60-5-5	スギ	RF	30mm	201	
W-CLT-6	Mx60-5-5	カラマツ	API	30mm	301.5	

※1：店舗で重い屋根の場合の1階壁の負担軸力（算定結果最大値）

表 2.1.3-2 屋根の載荷加熱試験載荷荷重と設計荷重

試験体No.	試験体仕様 (CLT厚90mm)				載荷荷重 ^{※2} (kN/m ²)	設計荷重 ^{※3} (kN/m ²)
	種別	樹種	接着剤	ラミナ厚		
R-CLT-1	Mx60-3-3	スギ	API	30mm	1.56	1.034

※2：載荷荷重と等価な等分布荷重

※3：重い屋根の場合の単位面積当たりの屋根重量（固定荷重）（算定結果最大値）

表 2.1.3-3 床の載荷加熱試験載荷荷重と設計荷重

試験体No.	試験体仕様 (CLT厚210mm)				載荷荷重 ^{※4} (kN/m ²)	設計荷重 ^{※5} (kN/m ²)
	種別	樹種	接着剤	ラミナ厚		
F-CLT-1	Mx60-5-5	スギ	API	30mm	22.03	4.62
F-CLT-2	Mx60-5-5	スギ	API	30mm	33.43	
F-CLT-3	Mx60-5-7	スギ	API	30mm	23.81	
F-CLT-4	Mx60-5-7	スギ	API	30mm	35.71	

※4：載荷荷重と等価な等分布荷重

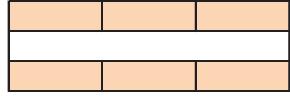
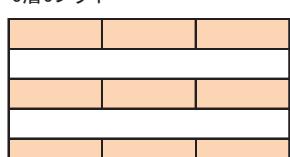
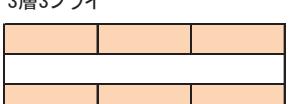
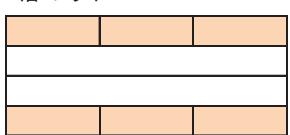
※5：店舗の場合の単位面積当たりの床重量（固定荷重+積載荷重）（算定結果最大値）

2.2 CLT パネルを対象とする燃えしろ設計法に係る部材の耐力

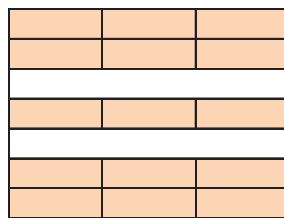
2.2.1 防耐火性能に影響しうる CLT 製造上の各種因子

防火性能に影響しうる CLT パネル製造上の主な要件は、樹種、強度等級、ラミナの厚さ、接着剤、幅はぎ接着、層構成と考えられる。これらの因子についての防耐火性能への影響を検証するため、各種実験を行った（実験内容については 第3章 参照のこと）。試験体の仕様を決定する上では、材料の供給状況、生産体制、市場ニーズ等を検討した。表 2.2.2-1 は、各因子に対して、本事業で行った試験に採用した CLT パネルの仕様と JAS 規格における仕様を比較したものである。

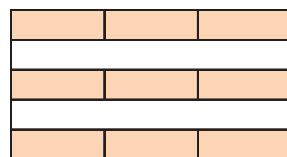
表 2.2.2-1 防耐火性能に影響しうる CLT 製造上の各種因子と試験仕様及び JAS 規格

要件	試験仕様	JAS 規格に定められている仕様
樹種	スギ、 カラマツ、 スプルース	S1* (ヒノキ, ヒバ, カラマツ等) S2* (ツガ, アラスカイエロシダー, ベニマツ等) S3* (モミ, トドマツ, スプルース等) S4* (スギ及びベイスギ) ※樹種区分:せん断強さ・木部破断率による区分
強度等級 (曲げ)	Mx60	異等級構成 : Mx120,Mx90,Mx60 同一等級構成 : S120,S90,S60
ラミナの 厚さ	12mm,15mm,21mm, 27mm,30mm	12mm 以上 50mm 以下
接着剤	レゾルシノール樹脂 水性高分子イソシアネート系樹脂 ウレタン樹脂	使用環境 A 及び B : レゾルシノール樹脂, レゾルシノール・フェノール樹脂 使用環境 C : 使用環境 A の接着剤に加えて、水性高分子イソシアネート系樹脂 ※積層方向及び幅方向の接着に用いる接着剤のみ記載
幅はぎ接着	あり (幅はぎ評価プライではない)	幅はぎ評価プライあり/なし
層構成	3層3プライ  5層5プライ 	3層3プライ  3層4プライ 

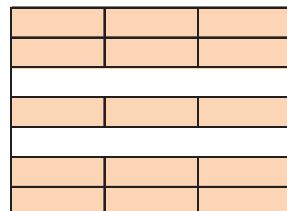
5層7プライ



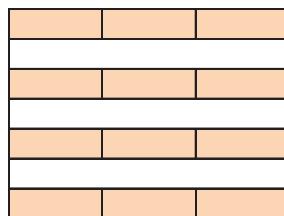
5層5プライ



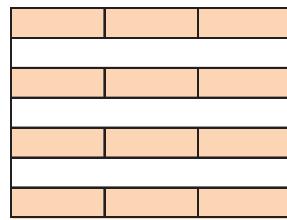
5層7プライ



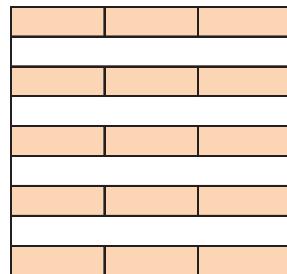
7層7プライ



7層7プライ



9層9プライ



上記以外でも、定められた方法で強度確認された CLT は使用可能。

2.2.2 常温時の座屈性状

(1) 試験体

座屈試験に供した試験体の強度等級は、直交集成板の日本農林規格に定める Mx60-3-3、Mx60-3-4、Mx60-5-5、Mx60-5-7、Mx60-7-7、Mx60-9-9 の 6 種類とした。上記の 6 種類の強度等級に対して加力方向（試験体の長手方向）が、強軸方向となる試験体と弱軸方向となる試験体を用意し、試験に供した。試験体の諸元を表 2.2.2-1 に示す。なお、全ての試験体について、接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤 (API) とし、ラミナの幅はぎは行っていない。また、試験体数は各仕様原則 6 体（仕様によっては 3 体の場合がある）とした。

表 2.2.2-1 試験体の諸元

試験体名 (強度等級)	寸法			細長比	
	長さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)	強軸	弱軸
Mx60-3-3	3000	300	90	115.5 (96.1)	115.5 (346.4)
Mx60-3-4	3000	300	120	96.6 (65.5)	96.6 (173.2)
Mx60-5-5	3000	300	150	69.3 (60.3)	69.3 (96.1)
Mx60-5-7	3000	300	210	49.5 (43.5)	49.5 (96.1)
Mx60-7-7	3000	300	210	49.5 (44.4)	49.5 (60.3)
Mx60-9-9	3000	300	270	38.5 (40.8)	38.5 (44.4)

(注) 括弧内の値は有効断面積と有効断面二次モーメントを用いて求めた細長比である。

(2) 試験方法

試験体の両端をピン支持し、試験体の厚さ方向に対する中心軸上の位置において、試験体に軸力を与え加力した。荷重速度は 1mm/min とし、試験体の頂部の鉛直変位と試験体の中央部の水平変位を測定した。また、繊維方向が鉛直方向（加力方向）と平行なラミナについては、その中央部と 4 等分点の歪みを測定した。加力は荷重が低下した時点をもって終了とした。写真 2.2.2-1 に座屈試験を行っている様子を示す。

一方、座屈試験を行う前に各試験体について、小荷重載荷により曲げ弾性係数を測定した。曲げ弾性係数を求めるための曲げ試験は、スパン 2800mm、中央集中により荷重を載荷し、中立軸上のたわみ量を測定した。



(a) 強軸方向



(b) 弱軸方向

写真 2.2.2-1 座屈試験の様子

(3) 結果

表 2.2.2-2 に各試験体の座屈荷重を示す。なお、考察において詳しくは記述するが、計算値①はオイラーの座屈荷重式によって計算した値、計算値②は有効細長比 $\lambda_{eff}=30$ から $\lambda_{eff}=100$ を直線補完した値である。

表 2.2.2-2 座屈試験結果（平均値総括）

強度等級	加力方向	座屈荷重 測定値 (kN)	座屈荷重 計算値① (kN)	座屈荷重 計算値② (kN)
Mx60-3-3	強軸	227.4	165.5	179.3
	弱軸	17.6	10.0	10.0
Mx60-3-4	強軸	362.6	330.2	<u>393.4</u>
	弱軸	70.7	53.6	53.6
Mx60-5-5	強軸	613.1	593.8	<u>613.8</u>
	弱軸	186.5	133.0	138.5
MX60-5-7	強軸	1191.5	1692.4	<u>1376.6</u>
	弱軸	204.9	173.5	177.4
Mx60-7-7	強軸	1023.4	1362.4	<u>1026.9</u>
	弱軸	549.8	465.7	440.8
Mx60-9-9	強軸	1288.3	2404.1	<u>1494.1</u>
	弱軸	927.4	1160.1	804.4

(注) 計算値①はオイラーの座屈荷重式によって計算した値、計算値②は有効細長比 $\lambda_{eff}=30$ から $\lambda_{eff}=100$ を直線補完した値。

(4) 考察

平成 13 年国交省告示第 1024 号第 2 の二のイにおける座屈の材料強度

平成 13 年国交省告示第 1024 号第 2 の二のイにおける圧縮材の座屈の材料強度は、有効

細長比 (λ) に応じて、表 2.2.2-3 のように定められている。

表 2.2.2-3 圧縮材の座屈の材料強度

有効細長比	圧縮材の座屈の材料強度 (N/mm ²)
$\lambda \leq 30$ の場合	F_c
$30 < \lambda \leq 100$ の場合	$(1.3 - 0.01\lambda)F_c$
$100 < \lambda$ の場合	$\frac{3000}{\lambda^2}F_c$

(注) λ : 有効細長比

F_c : 圧縮の基準強度

① $100 < \lambda$ の場合の座屈の材料強度

$100 < \lambda$ の場合の座屈の材料強度 $\sigma_{cb} = \frac{3000}{\lambda^2}F_c$ は、オイラーの座屈荷重式より誘導され

ている。オイラーの座屈荷重式は式 2.2.2-1 による。

$$P_{CB} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad \text{----- (式 2.2.2-1)}$$

ここで、 E : 曲げ弾性係数

I : 断面二次モーメント

l : 座屈長さ

座屈強度は座屈荷重を部材の断面積で除した値になるので、式 2.2.2-2 となる。

$$\sigma_{cb} = \frac{P_{CB}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{l^2 A} \quad \text{----- (式 2.2.2-2)}$$

ここで、 A : 有効断面積

また、断面二次半径と細長比は式 2.2.2-3 と式 2.2.2-4 で表されるので、座屈強度は式 2.2.2-5 で表される。

$$\text{断面二次半径} : k = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A}} \quad \text{----- (式 2.2.2-3)}$$

$$\text{細長比} : \lambda = \frac{l}{k} \quad \text{----- (式 2.2.2-4)}$$

$$\text{座屈強度} : \sigma_{cb} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{----- (式 2.2.2-5)}$$

製材等（製材、集成材、単板積層材）については、圧縮強度と曲げ弾性係数との間に式 2.2.2-6 の関係があることが、過去の研究により知られているため、式 2.2.2-6 を式 2.2.2-5 に代入して、細長比が 100 より大きい場合の座屈強度の告示式（式 2.2.2-7）

が得られている。

$$E \cong 300F_c \quad \text{----- (式 2.2.2-6)}$$

$$\sigma_{cb} = \frac{3000}{\lambda^2} F_c \quad \text{----- (式 2.2.2-7)}$$

② $\lambda \leq 30$ の場合の座屈の材料強度

$\lambda \leq 30$ の場合の座屈の材料強度は、材の圧縮の基準強度となる。

③ $30 < \lambda \leq 100$ の場合の座屈の材料強度

$30 \leq \lambda < 100$ の場合の座屈の材料強度は、 $(\lambda, \sigma_{cb}) = (30, F_c)$ と $(\lambda, \sigma_{cb}) = (100, 0.3F_c)$ を直線回帰した値となる。

CLT の座屈の材料強度の算定

① $100 < \lambda$ の場合の座屈の材料強度

細長比 $100 < \lambda$ の場合の CLT パネルの座屈の材料強度を求めるにあたっては、製材等（製材、集成材、単板積層材）について定めている圧縮強度と曲げ弾性係数との関係（式 2.2.2-6）が必ずしも成り立つとは言えないので、オイラーの座屈荷重式（式 2.2.2-1）を用いるのが適当と考えられる。ちなみに、CLT パネルに対して行った曲げ試験の結果からは、 $E \cong 200F_c$ という結果も得られている。

オイラーの座屈荷重式（式 2.2.2-1）を CLT に適用するにあたっては、以下に記すように幾つか検討すべき事項がある。

イ) EI には、有効曲げ剛性を用いることが妥当か

ロ) 断面二次半径を求める際の A と I には、有効断面積と有効断面二次モーメントを用いることが妥当か

② $\lambda \leq 30$ の場合の座屈の材料強度

$\lambda \leq 30$ の場合の座屈の材料強度は、圧縮方向に対して纖維方向が平行なラミナのみが圧縮力を負担すると仮定して、部材の耐圧縮荷重を求め、これを全断面積で除した値とする。

③ $30 < \lambda \leq 100$ の場合の座屈の材料強度

$30 \leq \lambda < 100$ の場合の座屈の材料強度は、 $\lambda = 30$ のときの座屈の材料強度 σ_{cb} と $\lambda = 100$ のときの座屈の材料強度 σ_{cb} を直線回帰した値とする。

座屈荷重の算定

実測した曲げ弾性係数の値を用いて各試験体について、座屈荷重を算出した結果を上記各表に示す。なお、座屈荷重を算定するにあたっては、 EI は全断面有効として求めた曲げ弾性係数に全断面に対する断面二次モーメントを乗じた値を採用した。上記各表の計算値

①は、細長比の違いによる場合分けを考慮せずに、上記の方法によって座屈荷重を求めたものである。

一方、上記各表の計算値②は、細長比の違いによる場合分けを考慮して計算した値である。なお、細長比（断面二次半径）を計算するにあたっては、有効断面積と有効断面二次モーメントを用いている。また、細長比が 30 以下の場合の圧縮耐力は、各ラミナの圧縮強度に当該ラミナの断面積を乗じて求めた各ラミナの圧縮耐力を加算した値としている。各ラミナの圧縮強度について、外装ラミナは機械等級区分による構造用製材のうち樹種スギの E50 の圧縮強度 $19.2 \text{ (N/mm}^2)$ と E70 の圧縮強度 $23.4 \text{ (N/mm}^2)$ を直線補完した値 $21.3 \text{ (N/mm}^2)$ を $3/4$ で除した値 $28.4 \text{ (N/mm}^2)$ を用いている。また、内層ラミナは、機械等級区分による構造用製材に E30 の強度等級がないため、E70 と E50 を直線補完して外挿し、E30 の圧縮強度を求めた値 $15.0 \text{ (N/mm}^2)$ $3/4$ で除した値 $20.0 \text{ (N/mm}^2)$ を用いている。各試験体とともに、強軸方向のラミナのみ有効として圧縮耐力を算定している。

一部例外はあるものの、座屈荷重の計算値②は座屈荷重の測定値と概ね同じ値となった。実験値と計算値②が異なっている部分について、弱軸方向の実験値が計算値よりも高くなっている理由としては、計算では存在しないものと仮定している弱軸方向の外装ラミナ（特に圧縮側）が実際には座屈に寄与していたことが考えられるが、ラミナ間の隙間を大きくするなどして実験を行い確認する必要がある。一方、強軸方向については、計算値②が実測値よりも幾分大きくなる場合（アンダーライン部分）があったが、その理由としては計算に用いる曲げ弾性係数に実測値を用いたことが考えられる。

座屈強度を求める方法を定めるにあたっては、曲げ弾性係数に直交集成板の日本農林規格に定める曲げヤング係数の平均値を用いるか、下限値を用いるか今後検討する必要がある。表 2.2.2-4 に直交集成板の日本農林規格の曲げヤング係数（平均値）を用いて計算した値として計算値③、直交集成板の日本農林規格の曲げヤング係数（下限値）を用いて計算した値として計算値④を占めす。平均値を用いて計算した座屈荷重は、せん断の影響が大きくなると考えられる Mx60-5-7 と Mx60-9-9 を除き、計算値よりも実験値が幾分大きくなったが、実験値と計算値は概ね同じ値であった。一方、下限値を用いて計算した座屈荷重は、いずれの強度等級とも計算値が実験値よりも小さくなり、安全側の評価となつたが、計算により得られる値が過小評価となる可能性を有していた。

表 2.2.2-4 座屈荷重の推定結果（曲げ弾性係数の採用値の比較）

強度等級	座屈荷重 測定値 (kN)	座屈荷重 計算値③ (kN)	座屈荷重 計算④ (kN)
Mx60-3-3	227.4	120.4	101.2
Mx60-3-4	362.6	322.3	297.9
Mx60-5-5	613.1	512.4	468.7
MX60-5-7	1191.5	<u>1209.2</u>	1124.4
Mx60-7-7	1023.4	889.4	824.5
Mx60-9-9	1288.3	<u>1314.6</u>	1188.3

(注) 計算値③は直交集成板の日本農林規格の曲げヤング係数（平均値）を用いて計算した値、計算値④は直交集成板の日本農林規格の曲げヤング係数（下限値）を用いて計算した値。

(5) まとめ

- ① 一部例外はあるものの、細長比の違いによる場合分けを考慮して計算した座屈荷重は、座屈荷重の測定値と概ね同じ値となった。
- ② 弱軸方向の実験値が計算値よりも高くなる場合があった理由としては、計算では存在しないものと仮定している弱軸方向の外装ラミナ（特に圧縮側）が実際には座屈に寄与していたことが考えられるが、ラミナ間の隙間を大きくするなどして実験を行い確認する必要がある。
- ③ 強軸方向の計算値が実験値よりも幾分大きくなる場合があった理由としては、計算に用いる曲げ弾性係数に実測値を用いたことが考えられる。
- ④ 座屈強度を求める方法を定めるにあたっては、曲げ弾性係数に直交集成板の日本農林規格に定める曲げヤング係数の平均値を用いるか、下限値を用いるか今後検討する必要がある。
- ⑤ 直交集成板の日本農林規格の曲げヤング係数の平均値を用いて計算した座屈荷重は、せん断の影響が大きくなると考えられる Mx60-5-7 と Mx60-9-9 を除き、計算値よりも実験値が幾分大きくなつたが、実験値と計算値は概ね同じ値であった。
- ⑥ 直交集成板の日本農林規格の曲げヤング係数の下限値を用いて計算した座屈荷重は、いずれの強度等級とも計算値が実験値よりも小さくなり、安全側の評価となつたが、計算により得られる値が過小評価となる可能性を有していた。

2.2.3 常温時の曲げ性状

(1) CLT パネルの曲げ強度性能

直交集成板の日本農林規格では製品の強度性能を確認するための面外方向の曲げ強度試験が規定はされているが、製品の強度性能を保証するための格付け検査は基本的に原料となるラミナの曲げもしくは引張り試験である。ラミナの強度等級には M120、M90、M60、M30 の 4 等級があり、いずれかのラミナ等級に格付けする。これらのラミナは、同規格で規定される同一等級構成 (S120、S90、S60、S30) もしくは異等級構成 (Mx120、Mx90、Mx60) の組合せで構成する必要がある。これらの規定は製造上の自由度を制限することになるが、一方で強度性能値をより簡易に求めることを可能とする側面もある。特に、CLT パネルは構造設計上必要となる強度項目が多岐にわたり、かつ、これらの設計値を求めるための強度試験の実施が製品が大面積・大断面であるため容易でない。しかし、ラミナの強度性能とその組合せが明らかであることから、ラミナから製品の強度を計算により求めることが可能になるのである。そして、このことは内部にまで炭化が進行した際に構造的な性能を推定する必要のある燃えしろ設計においては、外層に限らず内層にまでラミナ等級とその構成が規定されていることは極めて重要である。なお、このような法体系は、大断面集成材でも古くからとられてきたもので実績も長い。

CLT パネルの面外方向の曲げ性能をラミナ性能から推定する手法については、機械的接合梁理論、せん断解析法、平行層理論（等価断面法）があり、曲げ剛性についてはせん断解析法、曲げ耐力については機械的接合梁理論の適合性が良さそうである。

(2) 炭化層の増加に伴う層構成の変化

ここで床に CLT パネルを使用している際に下面から過熱を受け炭化が進行する場合についてケーススタディする。CLT パネルは上述したようにラミナ等級の組合せが規定されているが、スギ CLT を床利用する際の構成として考えられている 7 プライの製品について取り上げる。ラミナ厚さは 30mm とする。

表 2.2.3-1 に炭化層の進行を示す。炭化速度を 1mm/1 分と仮定すると、30 分で 1 プライぶん、60 分で 2 プライぶんが炭化する。5 層 7 プライでは、30 分経過後引張り側に平行層・外層があり変則的な 5 層 6 プライの断面で荷重を負担できるが、60 分後に平行層・外層の 2 プライぶんが炭化し荷重負担ができなくなると荷重負担できる断面は変則的な 3 層 4 プライとなる。一方、7 層 7 プライでは 30 分経過後に引張り側の平行層・外層が炭化して荷重負担ができなくなると 5 層 5 プライの断面で荷重を負担することになるが、60 分後に 2 プライぶんが炭化しても荷重負担できる断面は 5 層 5 プライのままである。次にこの様な荷重負担可能な断面が推移した際にどの程度荷重負担能力が残存するか考察した。

表 2.2.3-1 CLT の断面構成と炭化層の進行

加熱時間	5層7プライ	7層7プライ
初期		
30分		
60分		

(3) 炭化層の増加に伴う残存荷重保持能力の試算

外層と内層でラミナ強度等級が異なる異等級構成 3 種類と同一等級構成の S60 を対象として、炭化層の増加に伴う残存荷重保持能力の変化を試算した。残存性能の試算にあたっては、断面内の力学的バランスが大きく崩れた場合のせん断解析法と機械的接合梁理論の適合性の検証はまだなされていないため、集成材で実績のある等価断面法を用いた。

図 2.2.3-1 に曲げ耐力 ($\sigma_b \cdot Z$) の変化を示す。初期性能としては、5 層 7 プライ (-5-7) の方が 7 層 7 プライ (-7-7) より高く、その状況は 30 分経過時点までかわらない。7 層 7 プライでは外層・平行層の 1 プライが荷重負担能力を失う 30 分時点での残存耐力の低下が大きい。しかしながら、外層・平行層の 2 プライぶんが荷重負担能力を失う 60 分時点で 5 層 7 プライは残存耐力を大きく減少させ、30 分以降 5 層 5 プライの断面で荷重負担している 7 層 7 プライの方が残存耐力は高くなる。また、その場合、内層のラミナ等級に異等級構成の M30 より高い M60 を使用している S60 の方が残存耐力は高い。

表 2.2.3-2 に 30 分および 60 分経過時の曲げ剛性 (EI) と曲げ耐力 ($\sigma_b \cdot Z$) についてその初期性能に対する比率を示す。曲げ剛性も曲げ耐力と同様の傾向にあるが、残存率の低下については曲げ耐力よりも大きい。

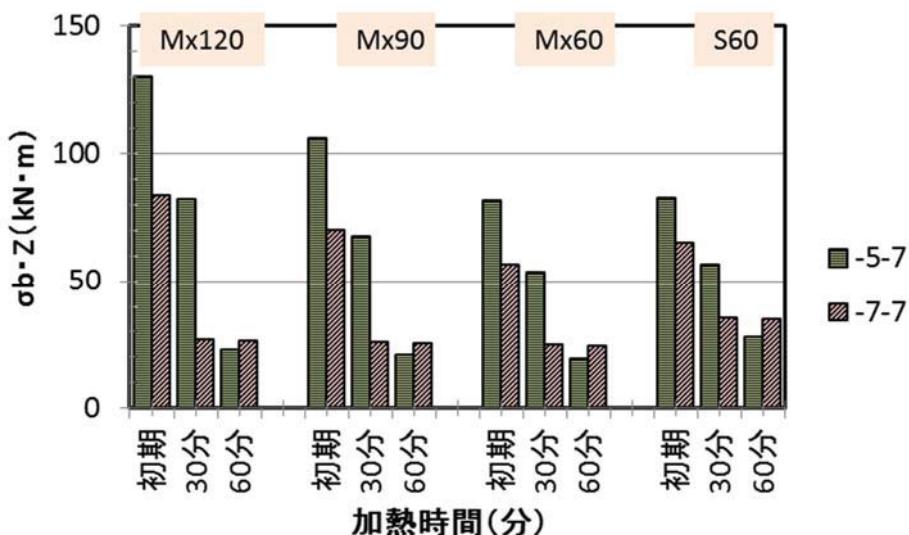


図 2.2.3-1 加熱時間に伴う曲げ耐力 ($\sigma_b \cdot Z$) の変化

表 2.2.3-2 加熱時間と曲げ性能の残存率

層構成	比率	異等級構成						同一等級構成	
		Mx120		Mx90		Mx60		S60	30分
		30分	60分	30分	60分	30分	60分		60分
-5-7	EI	0.55	0.09	0.56	0.11	0.56	0.13	0.57	0.20
	$\sigma \cdot Z$	0.63	0.18	0.64	0.20	0.65	0.24	0.68	0.34
-7-7	EI	0.20	0.19	0.24	0.23	0.31	0.29	0.42	0.40
	$\sigma \cdot Z$	0.32	0.31	0.37	0.36	0.44	0.43	0.54	0.53

第3章

CLT パネルの燃えしろ設計法の構築に係る加熱試験

第3章 CLT パネルの燃えしろ設計法の構築に係る加熱試験

3.1 CLT パネルの炭化速度に与える接着剤の種類・ラミナ厚さ・樹種の影響

3.1.1 実験概要

燃えしろ設計は、以下に示すような木材の燃焼特性に着目した設計方法である。

- ・木材は表面に着火するものの、炭化層を形成し、内部への熱の侵入が遮られる
- ・炭化層が有効に働く場合、木材が燃え進む速度(炭化速度)は、比較的緩やかとなる

よって、大きな断面の木材であれば、火災時に長い時間、荷重支持能力を保持できると考えられ、製材・集成材別に炭化速度(熱劣化深さを含む)に所定の耐火時間を掛け合わせた燃えしろ寸法が規定されている。製材と集成材で燃えしろ寸法に違いがあるのは、製材では背割り・亀裂や節の影響、さらには材料のばらつきの影響があるため、大きめに規定してあるのに対して、集成材では割れや大節がある材料を除くなどの製品管理が、炭化速度の抑制やばらつきの低減に寄与しているためである。

そこで試験では、CLT パネルについても同様に、現状の製品管理体制で達成される炭化速度を把握するとともに、建築材料としての CLT パネルにおけるバリエーションとして、接着剤・ラミナ厚・樹種の 3 つの要因が、炭化速度に与える影響について把握することを目的とする。

CLT パネルの JAS 規格（直交集成板の日本農林規格）において、CLT パネルの製造に用いる接着剤は、使用環境に応じて、A、B、C の 3 種類に定められている。この分類は、構造用集成材と同じであり、耐火性能を有するとされる A、B については、「燃えしろ設計」が可能である。現在ではレゾルシノール系接着剤（RF と記す）がこれに該当するが、「使用環境 C（通常の使用環境）」に分類されている水性高分子イソシアネート系接着剤（API と記す）についても、構造用集成材においては、接着剤メーカー 3 社による使用環境 B 格上げ認定の実績を有する。また、一液ウレタン接着剤（PU と記す）は海外では構造用集成材などでシェアが高いが、日本では現時点で CLT パネルおよび構造用集成材への仕様は認められていないが、将来的な需要も視野に入れて、RF だけでなく、API、PU 接着剤を用いた CLT パネルの炭化速度を調べておく必要があると考えた。

CLT パネルに用いるラミナの厚さは、JAS 規格において、12mm 以上 50mm 以下であることが規定されている。既存の集成材の製造条件や製作上の歩留まりなどを踏まえると、現時点では 27mm や 30mm の厚さのラミナが、CLT パネルにおける主流のラミナ厚さなると考えられる。しかし、将来的な自由度の確保のため、JAS 規格内で、より広範囲のラミナ厚さに対して、実験データを蓄積することにした。

樹種については、一般的に密度の低い方が、炭化速度が速くなることが知られているが、本研究では国産材のスギとカラマツを中心に炭化速度に与える影響を検討するとともに、外材のスプルースとの比較も行う。

表 3.1.1-1 に仕様一覧を示す。

表 3.1.1-1 仕様一覧

樹種	試験体名	CLT 厚さ (mm)	ラミナ 厚さ (mm)	層数	接着剤	試験 体数	含水比 %	試験時 比重	全乾 比重
スギ 記号:C	RF-12-13C	156	12	13	RF	1	15.60	0.40	0.34
	API-12-13C				API	1	15.00	0.39	0.34
	PU-12-13C				PU	1	12.55	0.42	0.38
	RF-15-11C	165	15	11	RF	1	15.37	0.41	0.35
	API-15-11C				API	1	14.81	0.41	0.36
	PU-15-11C				PU	1	12.46	0.46	0.41
	RF-21-7C-1	147	21	7	RF	2	13.93	0.44	0.39
	RF-21-7C-2						11.25	0.43	0.39
	API-21-7C-1				API	2	14.53	0.40	0.35
	API-21-7C-2						11.13	0.42	0.38
	PU-21-7C				PU	1	13.07	0.45	0.39
	RF-27-6C	162	27	6	RF	1	11.17	0.44	0.39
	API-27-6C				API	1	10.09	0.44	0.40
	RF-30-5C-1	150	30	5	RF	2	10.46	0.41	0.37
	RF-30-5C-2						10.57	0.40	0.36
	API-30-5C-1				API	2	10.67	0.40	0.36
	API-30-5C-2						11.41	0.43	0.39
	PU-30-5C				PU	1	10.75	0.41	0.37
カラマツ 記号:L	RF-12-13L	156	12	13	RF	1	10.34	0.52	0.47
	API-12-13L				API	1	10.50	0.53	0.48
	PU-12-13L				PU	1	10.57	0.49	0.45
	RF-15-11L	165	15	11	RF	1	10.38	0.55	0.50
	API-15-11L				API	1	10.32	0.53	0.48
	PU-15-11L				PU	1	10.68	0.49	0.44
	RF-21-7L	147	21	7	RF	1	10.24	0.55	0.49
	API-21-7L				API	1	10.45	0.47	0.43
	PU-21-7L				PU	1	10.58	0.49	0.45
	RF-30-5L	150	30	5	RF	1	10.31	0.50	0.45
	API-30-5L				API	1	10.14	0.47	0.43
	PU-30-5L				PU	1	13.40	0.48	0.42
スプルース 記号:S	RF-15-11S	165	15	11	RF	1	14.71	0.47	0.41
	API-15-11S				API	1	13.34	0.44	0.38
	PU-15-11S				PU	1	13.99	0.44	0.38
	RF-30-5S	150	30	5	RF	1	13.15	0.47	0.42
	API-30-5S				API	1	13.31	0.47	0.42
	PU-30-5S				PU	1	14.49	0.48	0.42

3.1.2 試験体概要

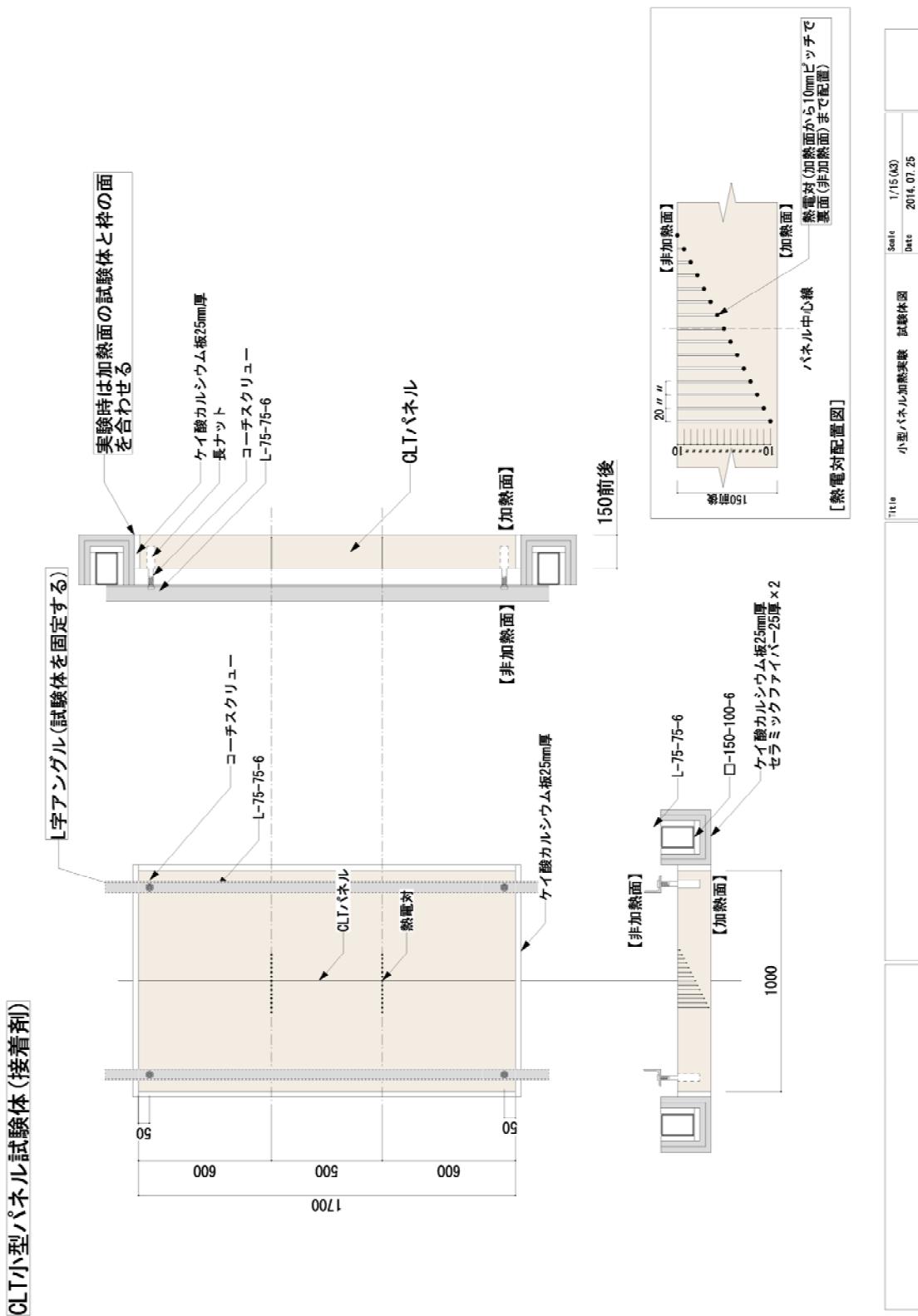


図 3.1.2-1 試験体図 1

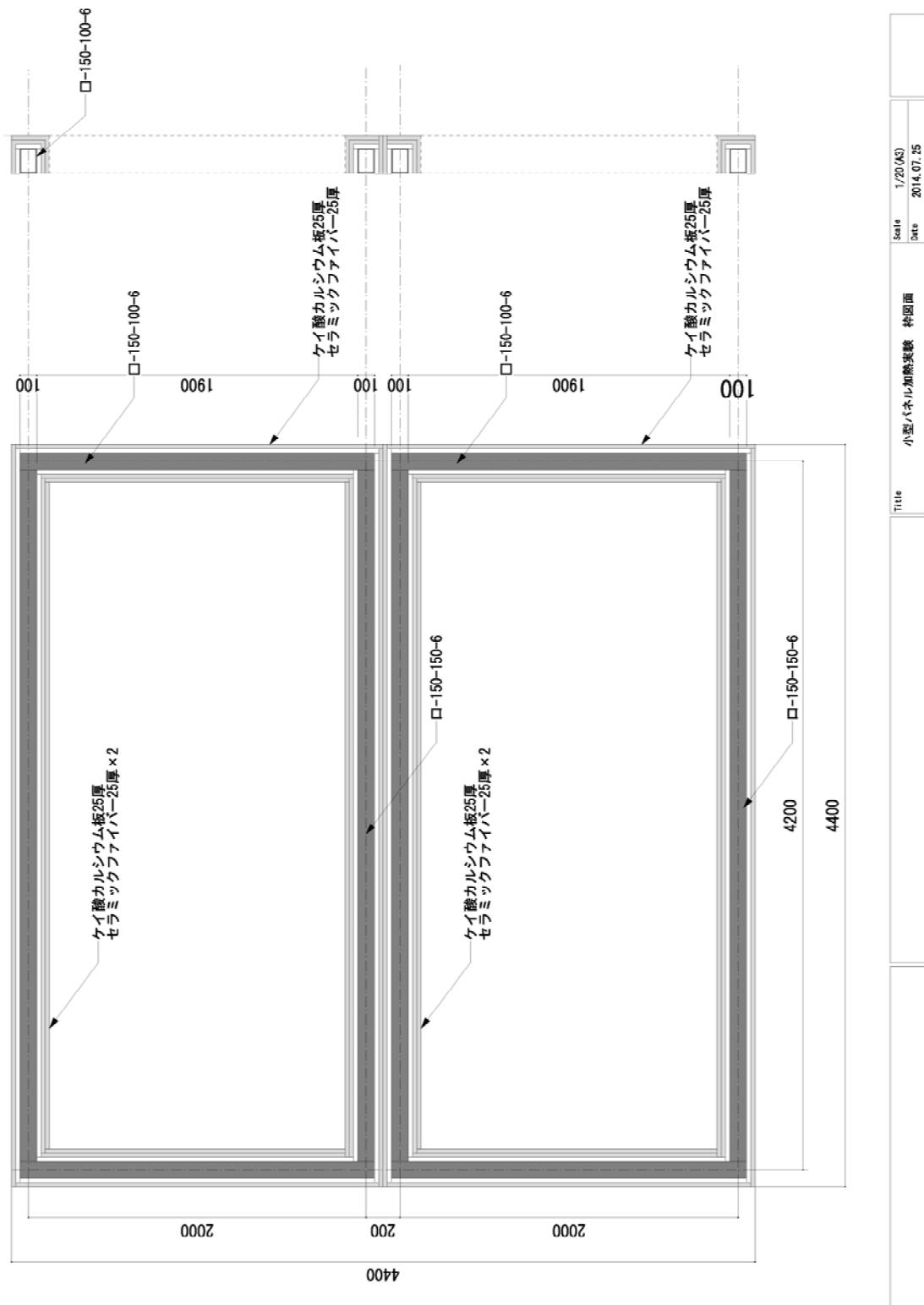


図 3.1.2-2 試験体図 2

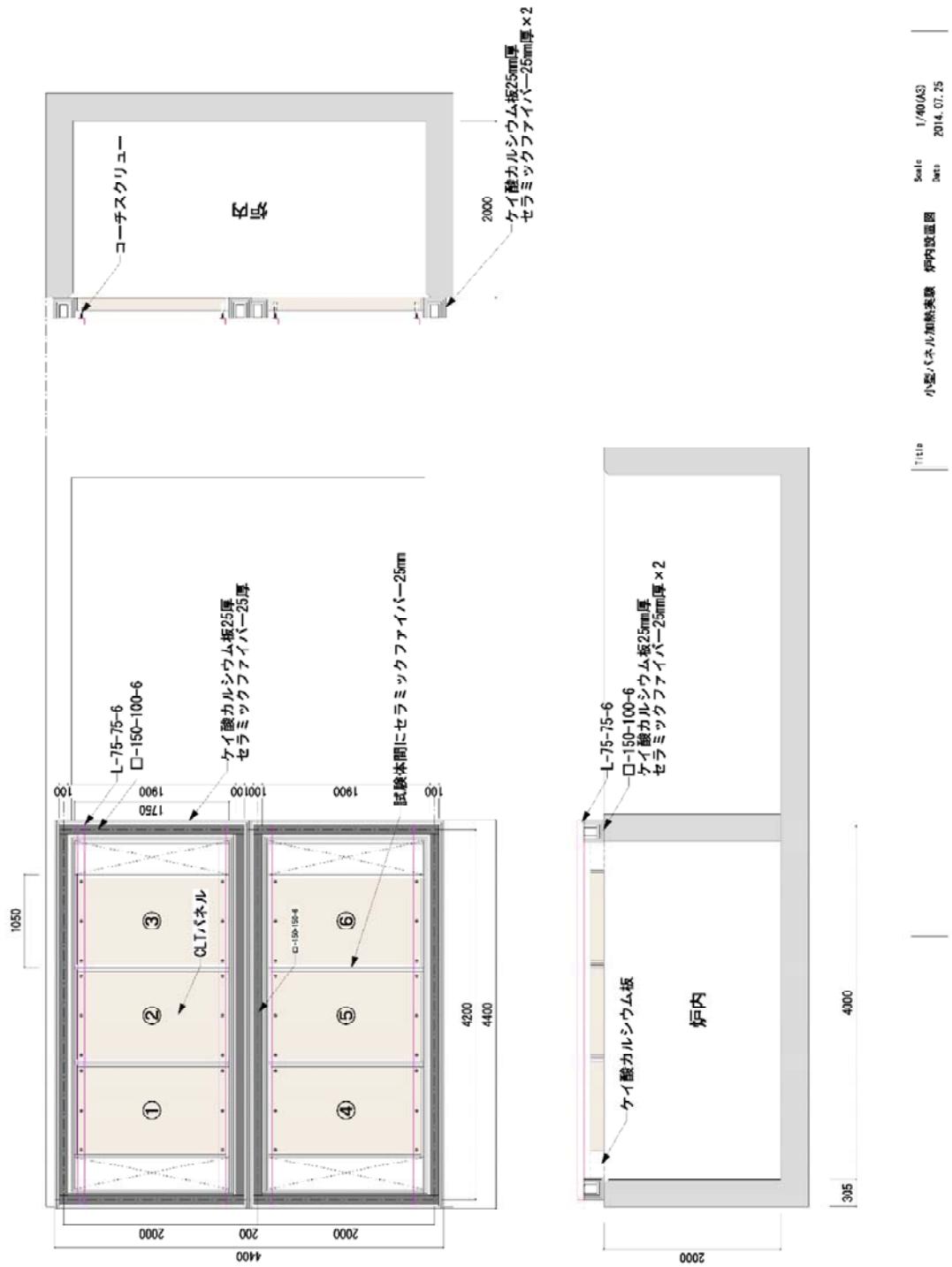


図 3.1.2-3 試験体図 3

3.1.3 試験方法

各仕様の炭化速度の測定は、独立行政法人 建築研究所の水平炉（図 3.1.3-1）を使用し、「防耐火性能試験・評価業務方法書」に準拠した加熱実験より求めた。

（1）加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行い、以下の場合に試験を中止する事とした。

- ・ 6 仕様を同時に加熱するため、最も炭化速度が速い試験体において、消火に要する時間も考慮して、取り出し時に 1 層分のラミナが残存しているようなタイミングまで加熱を継続した。

（2）測定項目

①試験体内部温度

K 熱電対を深さ方向に 10mm ピッチで設置し、内部温度の変化を 15 秒間隔で測定した。

②炉内温度

シース型 K 熱電対を試験体の加熱面から約 10cm 離れた位置に 12 点配置し、試験中の耐火炉内温度を 15 秒間隔で測定した。

③炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した。

④炭化速度

試験体内部に配した熱電対の温度上昇履歴より、木材の着火温度とされる 260°C に達するまでに要した時間から炭化速度を求めることとした。ただし、後に示す温度上昇履歴をみると分かるように、260°C 付近で温度停滞を示す傾向が見られたため、200°C 到達時間から求めた炭化速度も併記することとした。炭化速度の算定には、切片を 0 とする 1 次式を想定し、各断面における温度到達時間を対象として、最小二乗法により傾きを求めた。

⑤含水率

試験体に使用した CLT パネルと同時期に作成されたサンプルを、試験体と同条件下で養生し、105°C の絶乾状態に設定した恒温恒湿器を用いて 5 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率の計算式を以下に示す。

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

⑥その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、VTR 撮影、写真撮影、試験体非加熱面の熱映像撮影等を行った。

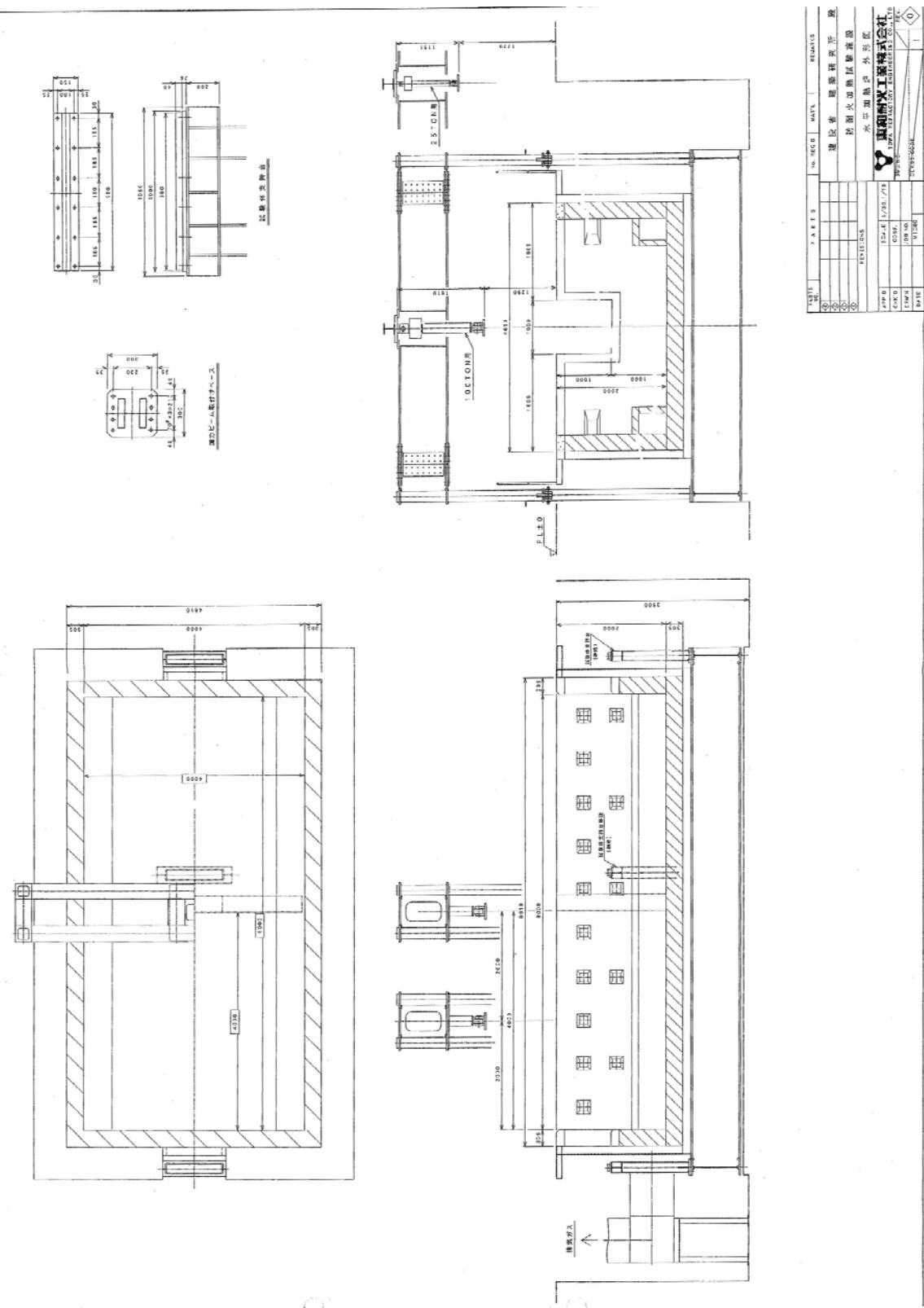


図 3.1.3-1 水平炉図面

3.1.4 試験結果

加熱実験は合計 6 回実施した。各回に A. 実験目的および試験体仕様、B. 試験写真、C. 加熱温度、D. 炭化状況、E. 試験体内部温度、F. 各断面の炭化温度到達時間と炭化速度を示し、次項でまとめて考察を行う。

(1) 接着剤・ラミナ厚・樹種による影響確認試験①

A. 実験目的および試験体仕様

樹種をスギに限定して、API、RF それぞれの接着剤において、ラミナ厚を 12・15・21 と変化させた場合の炭化速度の変化を把握することを目的とする。各仕様のパネル厚（総厚）がなるべく等しくなるように、ラミナ積層数は、12mm・13 層（総厚 156mm）、15mm・11 層（総厚 165mm）、21m・7 層（総厚 147mm）とした。

B. 試験写真



写真 3.1.4. (1)-1
CLT 試験体①No. 1-3 (加熱前)



写真 3.1.4. (1)-2
CLT 試験体①No. 4-6 (加熱前)



写真 3.1.4. (1)-3
CLT 試験体①No. 1-3 (加熱後)



写真 3.1.4. (1)-4
CLT 試験体①No. 4-6 (加熱後)

C. 加熱温度

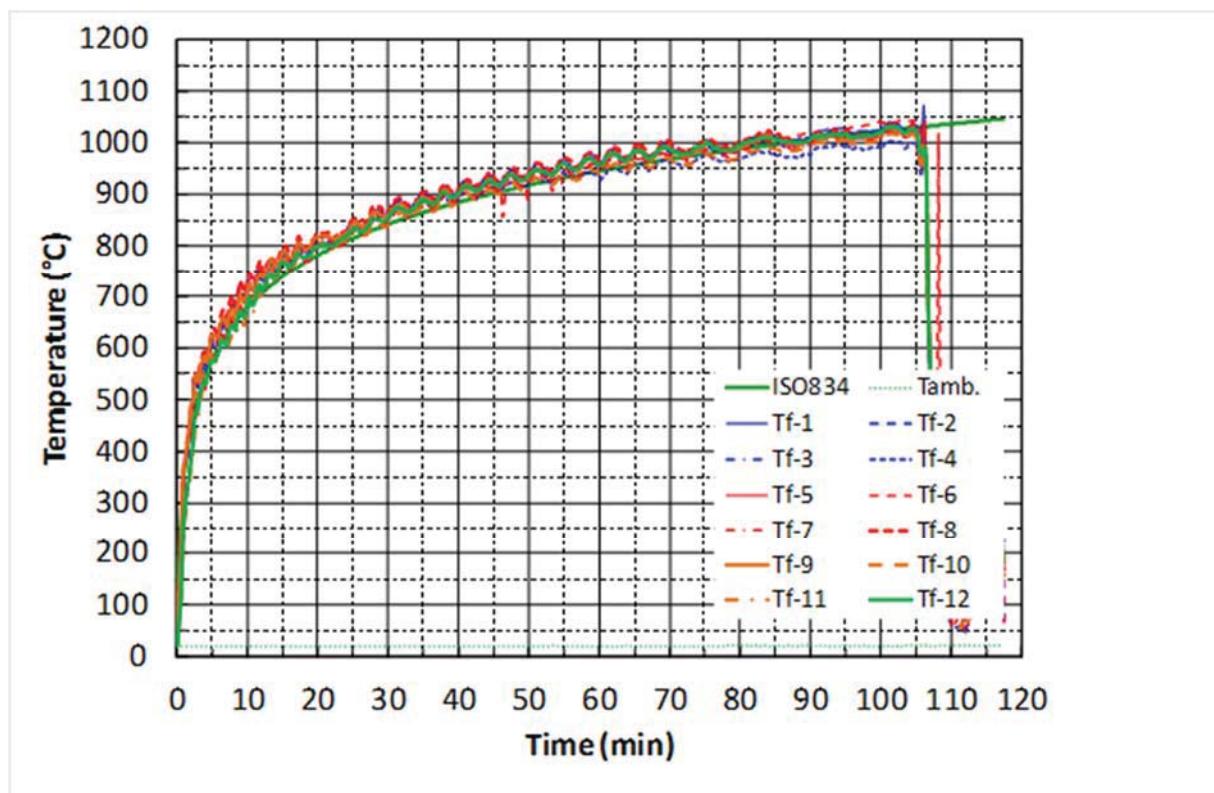


図 3.1.4. (1)-1 加熱温度

D. 炭化状況



写真 3.1.4. (1)-5 W-1(RF・ラミナ厚 12mm・13層) パネル厚 156mm



写真 3.1.4. (1)-6 W-2(API接着剤・ラミナ厚 12mm・13層) パネル厚 156mm



写真 3.1.4. (1)-7 W-3(RF接着剤・ラミナ厚 15mm・11層) パネル厚 165mm



写真 3.1.4. (1)-8 W-4(API接着剤・ラミナ厚 15mm・11層) パネル厚 165mm



写真 3.1.4. (1)-9 W-5(RF接着剤・ラミナ厚 21mm・7層) パネル厚 147mm



写真 3.1.4. (1)-10 W-6(API接着剤・ラミナ厚 21mm・7層) パネル厚 147mm

E. 試験体内部温度

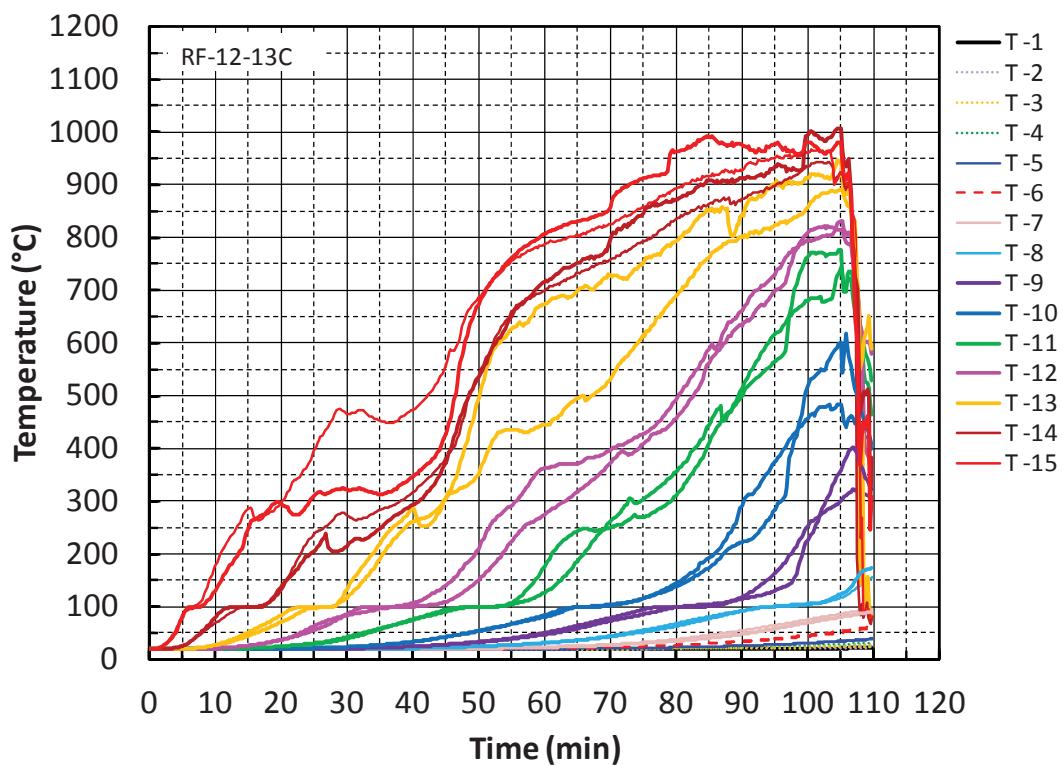


図 3.1.4. (1)-2 W-1(RF・ラミナ厚 12mm・13層) パネル厚 156mm

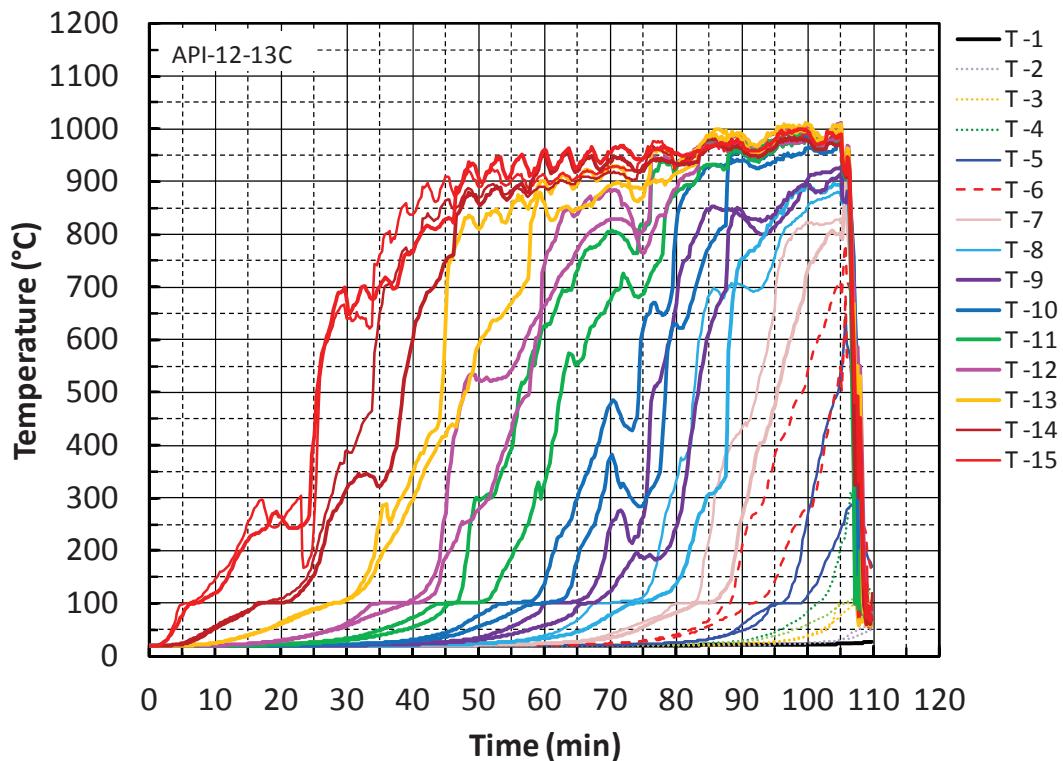


図 3.1.4. (1)-3 W-2(API接着剤・ラミナ厚 12mm・13層) パネル厚 156mm

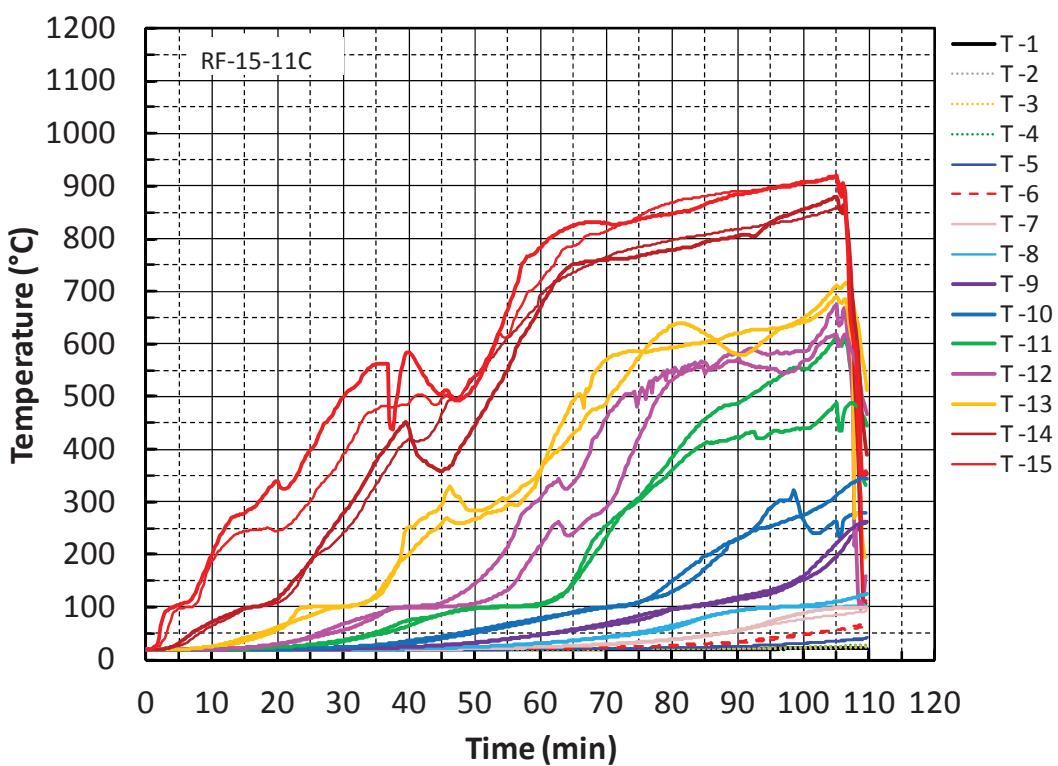


図 3.1.4. (1)-4 W-3(RF接着剤・ラミナ厚15mm・11層) パネル厚165mm

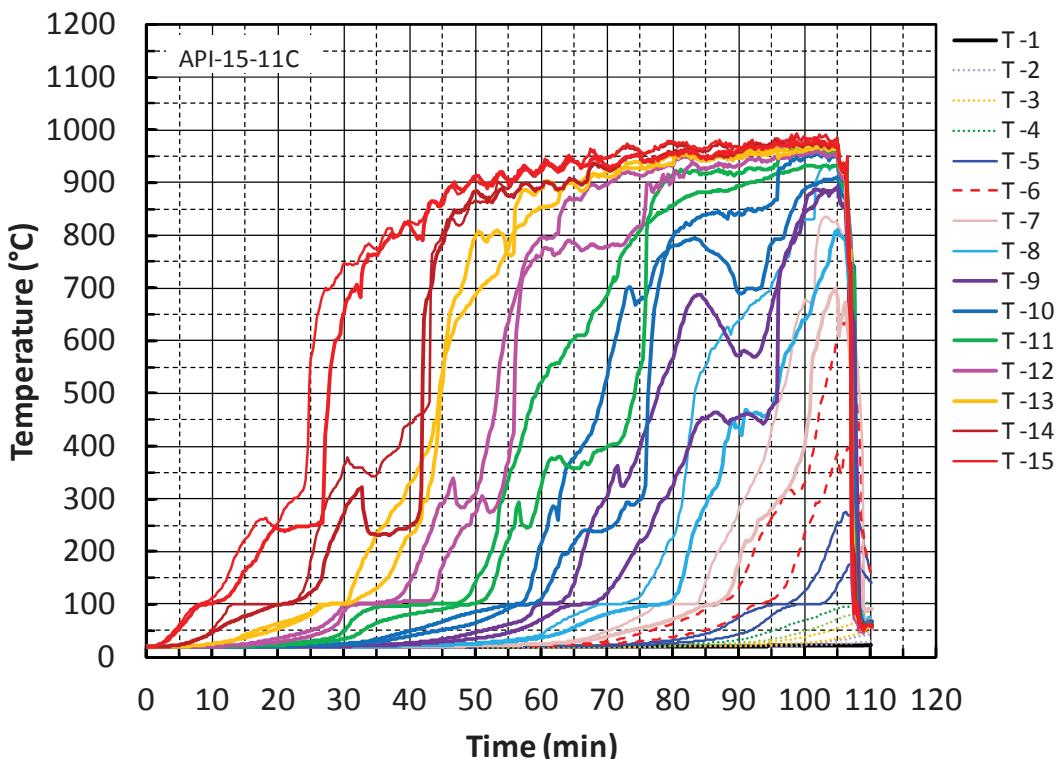


図 3.1.4. (1)-5 W-3(RF接着剤・ラミナ厚15mm・11層) パネル厚165mm

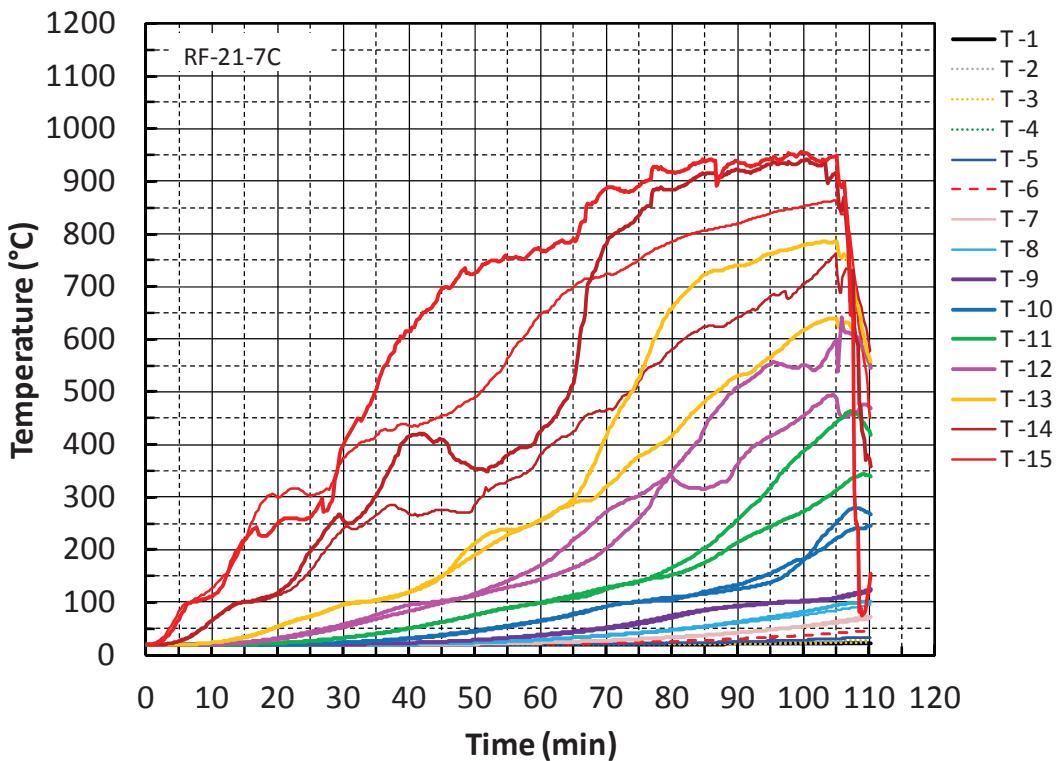


図 3.1.4. (1)-6 W-5(RF接着剤・ラミナ厚21mm・7層) パネル厚147mm

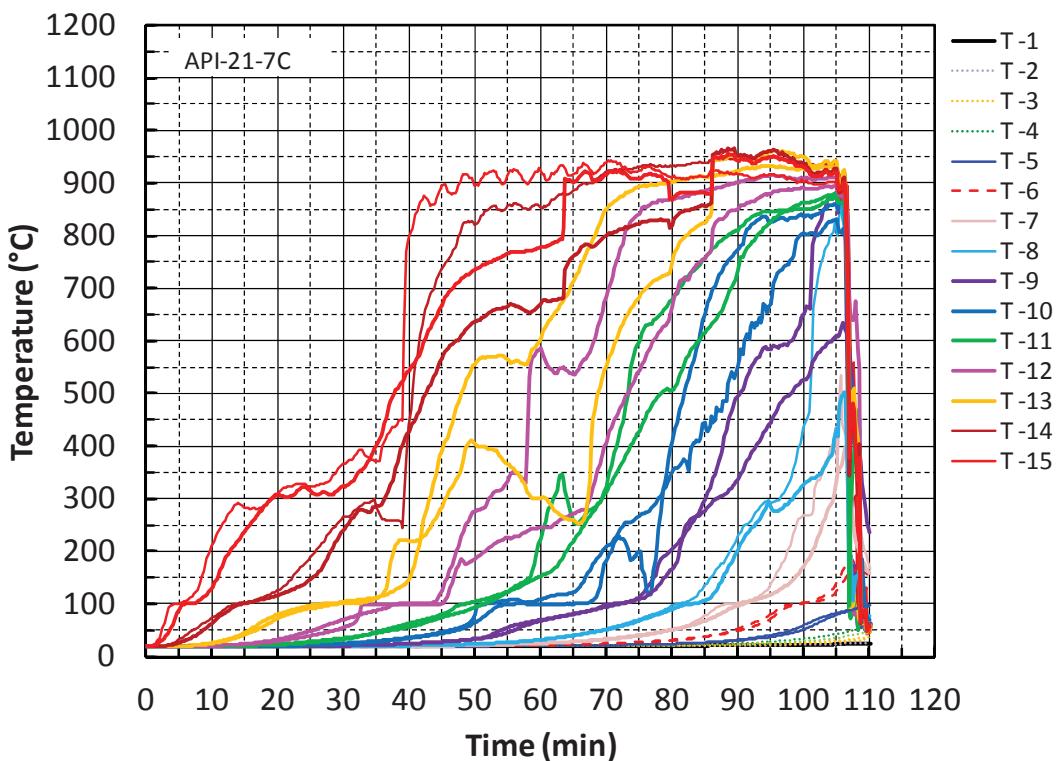


図 3.1.4. (1)-7 W-6(API接着剤・ラミナ厚21mm・7層) パネル厚147mm

F. 各断面の炭化温度到達時間と炭化速度

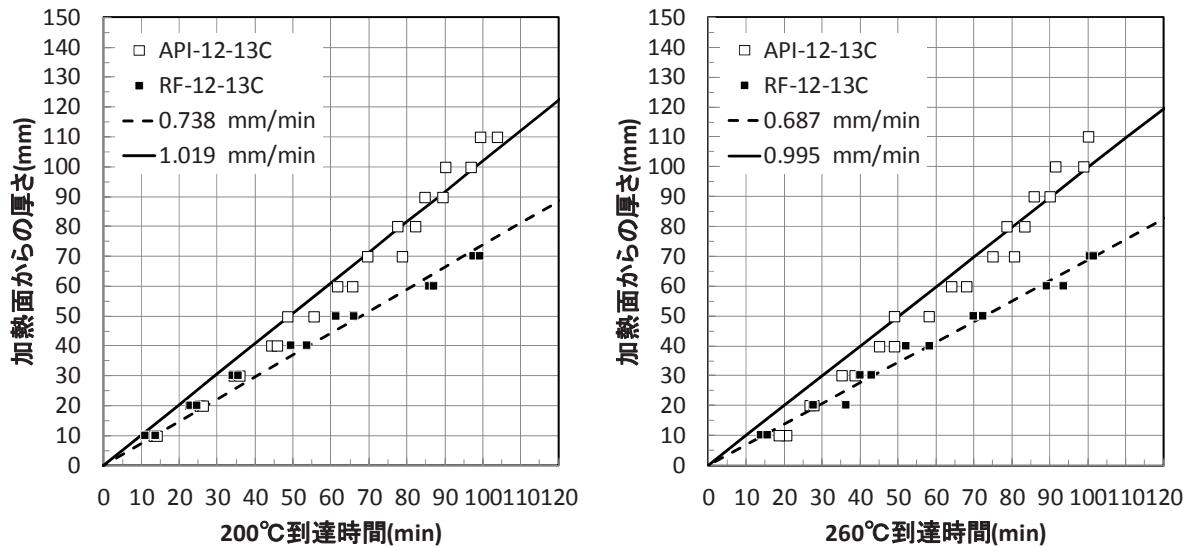


図 3.1.4.(1)-8 スギ/ラミナ厚 12mm・13 層 パネル厚 156mm

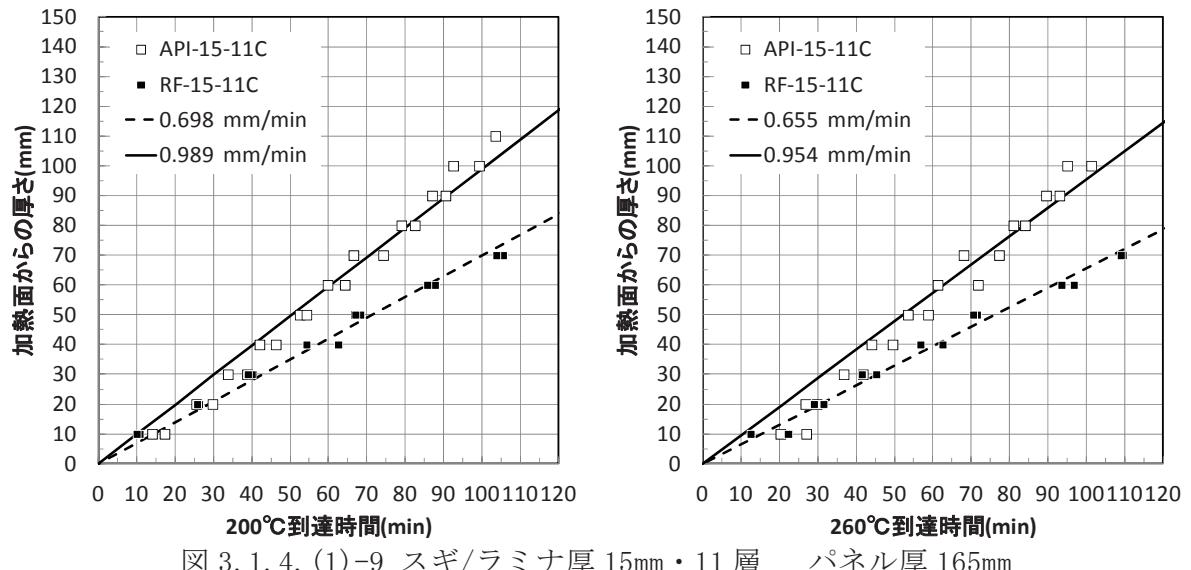


図 3.1.4.(1)-9 スギ/ラミナ厚 15mm・11 層 パネル厚 165mm

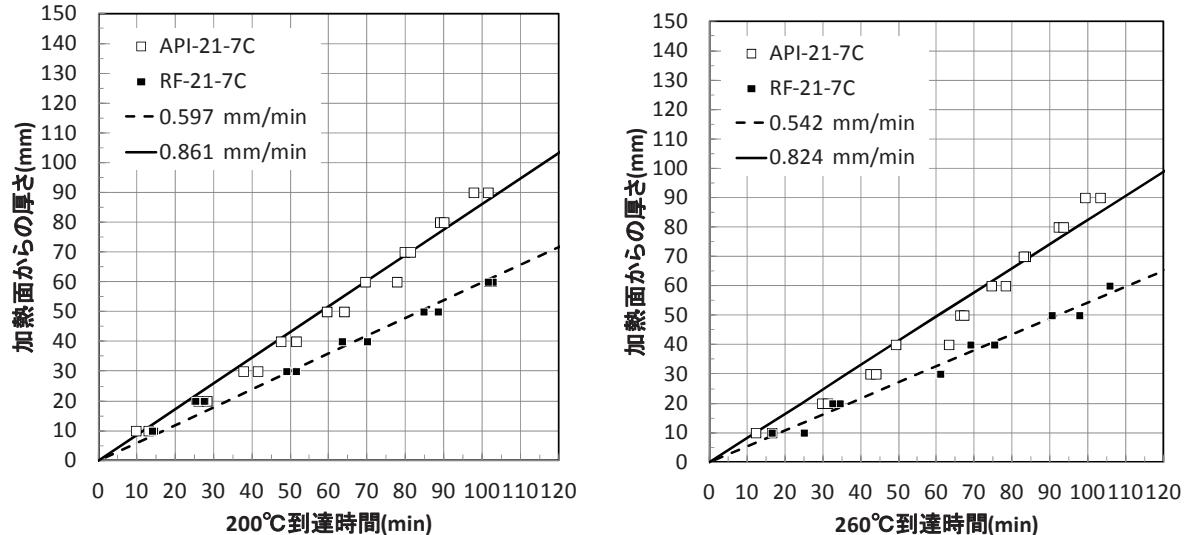


図 3.1.4.(1)-10 スギ/ラミナ厚 21mm・7 層 パネル厚 147mm

(2) 接着剤・ラミナ厚・樹種による影響確認試験②

A. 実験目的および試験体仕様

①の試験から樹種をカラマツに変更して、API、RF それぞれの接着剤において、ラミナ厚を 12・15・21 と変化させた場合の炭化速度の変化を把握することを目的とする。各仕様のパネル厚(総厚)がなるべく等しくなるように、ラミナ積層数は、12mm・13 層(総厚 156mm)、15mm・11 層(総厚 165mm)、21m・7 層(総厚 147mm)とした。

B. 試験写真



写真 3.1.4. (2)-1
CLT 試験体②No. 1-3 (加熱前)



写真 3.1.4. (2)-2
CLT 試験体②No. 4-6 (加熱前)



写真 3.1.4. (2)-3
CLT 試験体②No. 1-3 (加熱後)



写真 3.1.4. (2)-4
CLT 試験体①No. 4-6 (加熱後)

C. 加熱温度

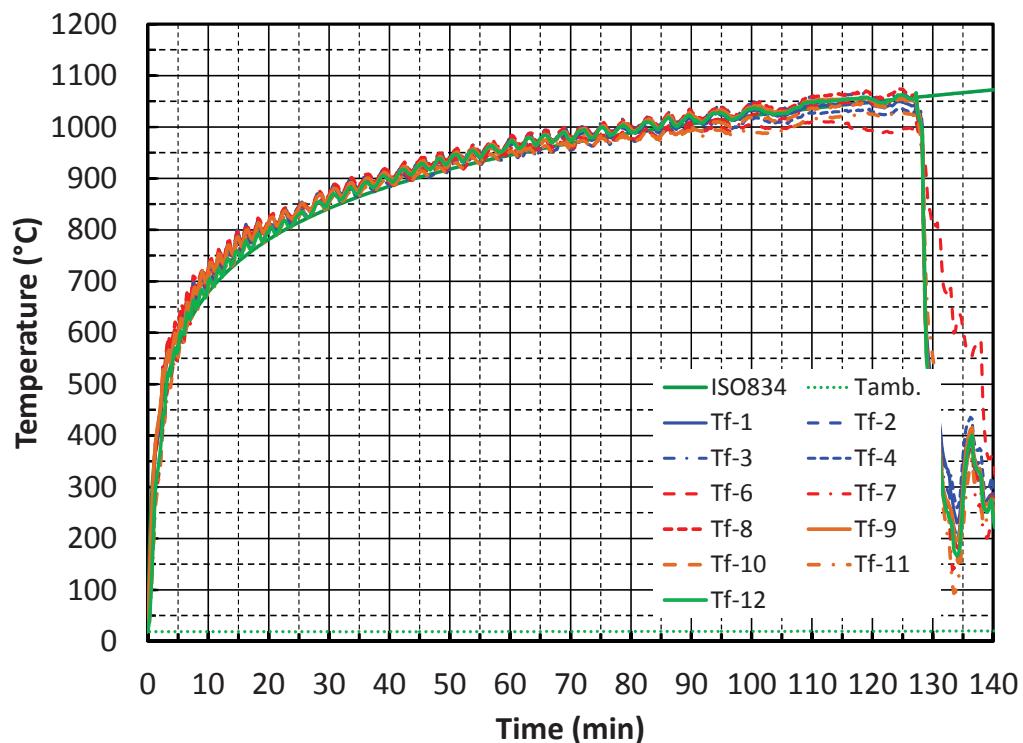


図 3.1.4. (2)-1 加熱温度

D. 炭化状況



写真 3.1.4. (2)-5 W-1 カラマツ (RF・ラミナ厚 12mm・13 層) パネル厚 156mm

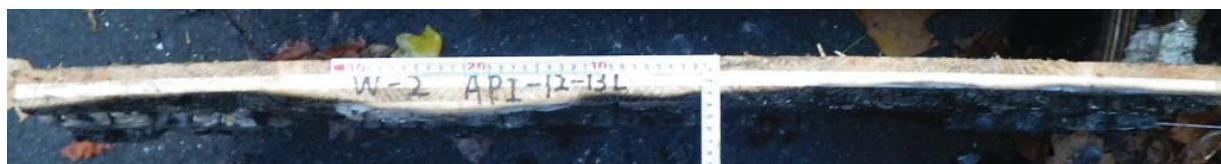


写真 3.1.4. (2)-6 W-2 カラマツ (API 接着剤・ラミナ厚 12mm・13 層) パネル厚 156mm



写真 3.1.4. (2)-7 W-3 カラマツ (RF 接着剤・ラミナ厚 15mm・11 層) パネル厚 165mm



写真 3.1.4. (2)-8 W-4 カラマツ (API 接着剤・ラミナ厚 15mm・11 層) パネル厚 165mm



写真 3.1.4. (2)-9 W-5 カラマツ (RF 接着剤・ラミナ厚 21mm・7 層) パネル厚 147mm

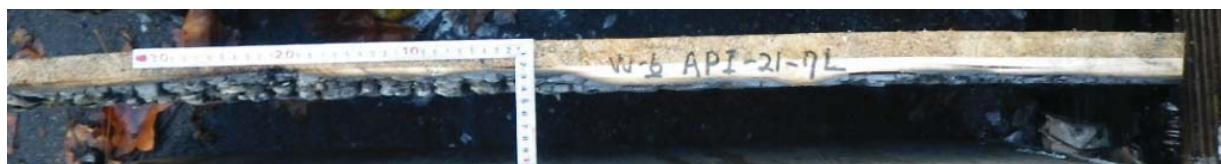


写真 3.1.4. (2)-10 W-6 カラマツ (API 接着剤・ラミナ厚 21mm・7 層) パネル厚 147mm

E. 試験体内部温度

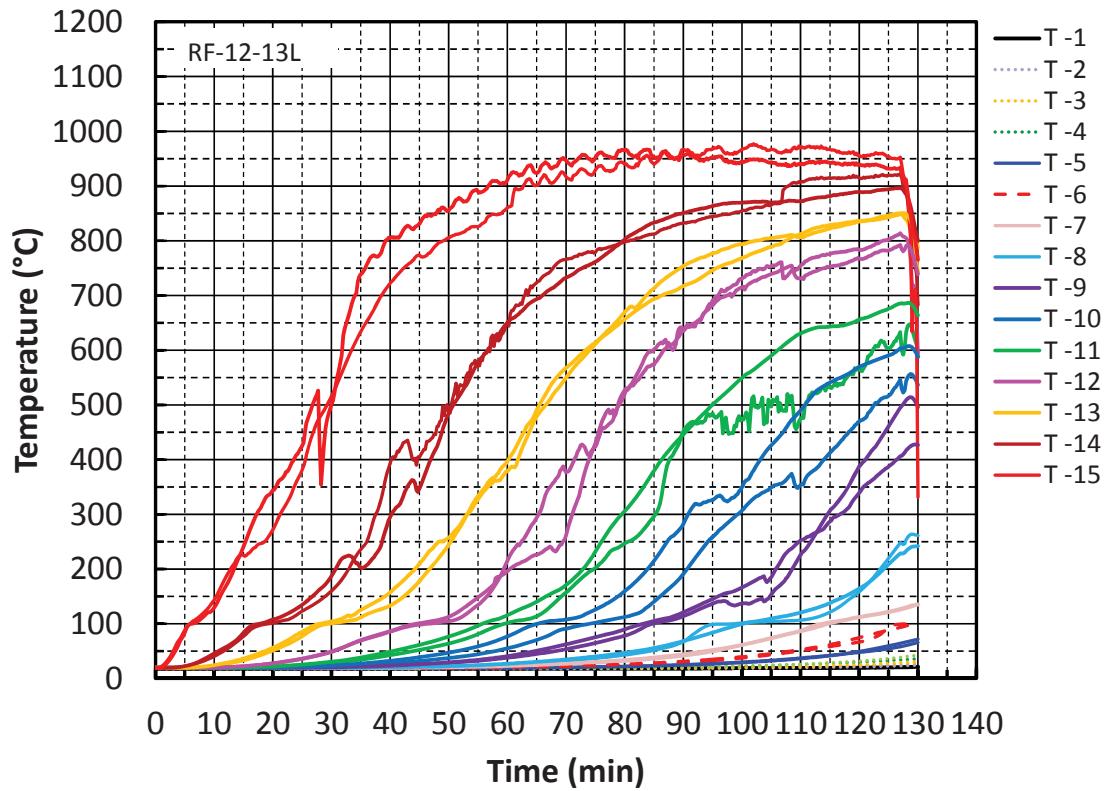


図 3.1.4. (2)-2 W-1(RF・ラミナ厚 12mm・13層) パネル厚 156mm

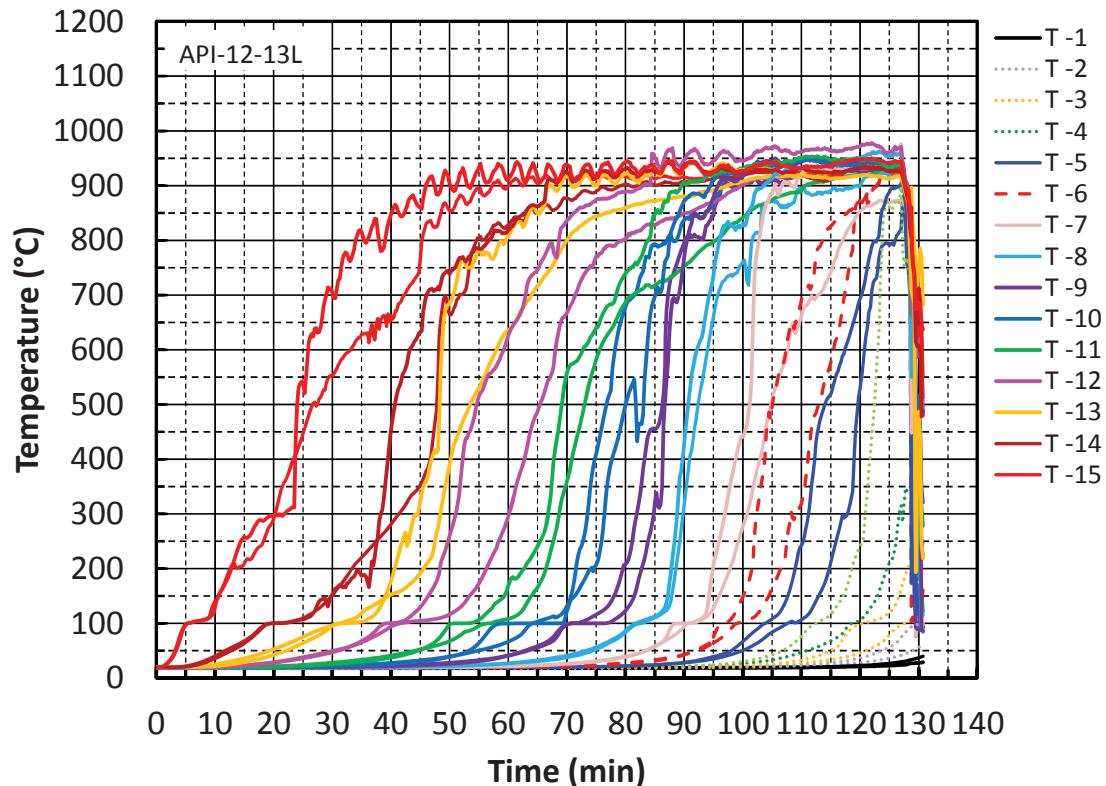


図 3.1.4. (2)-3 W-2(API接着剤・ラミナ厚 12mm・13層) パネル厚 156mm

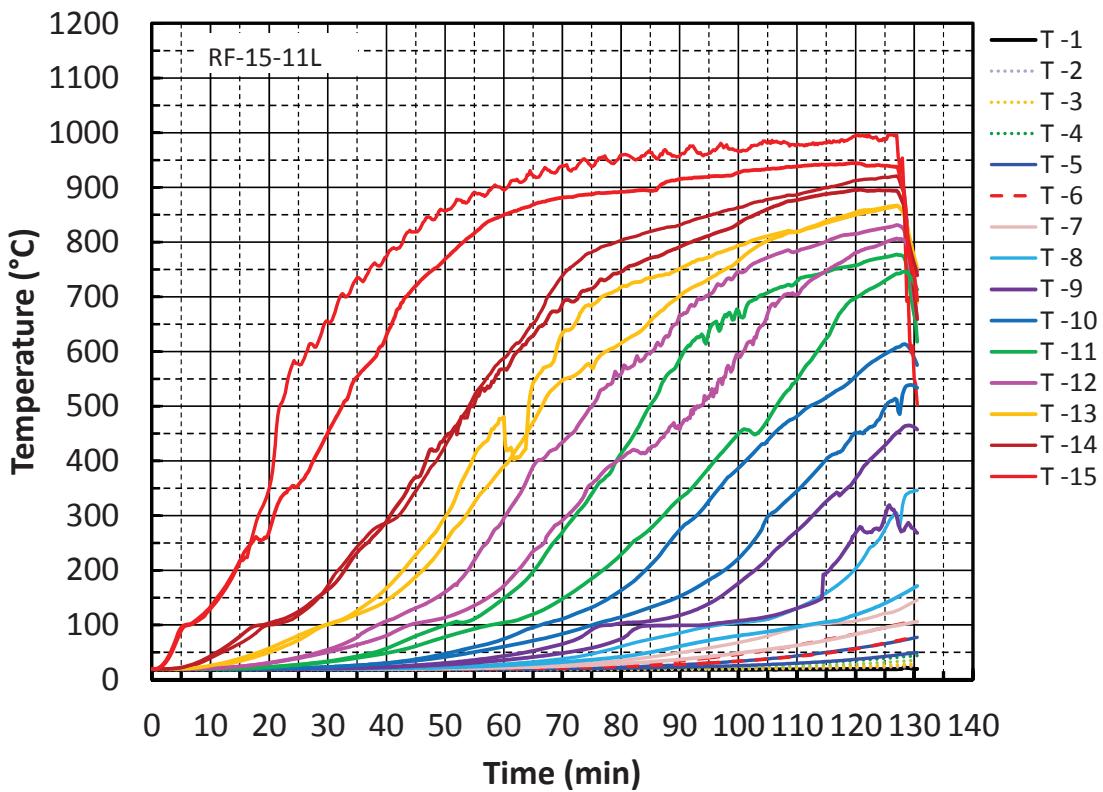


図 3.1.4. (2)-4 W-3(RF接着剤・ラミナ厚15mm・11層) パネル厚165mm

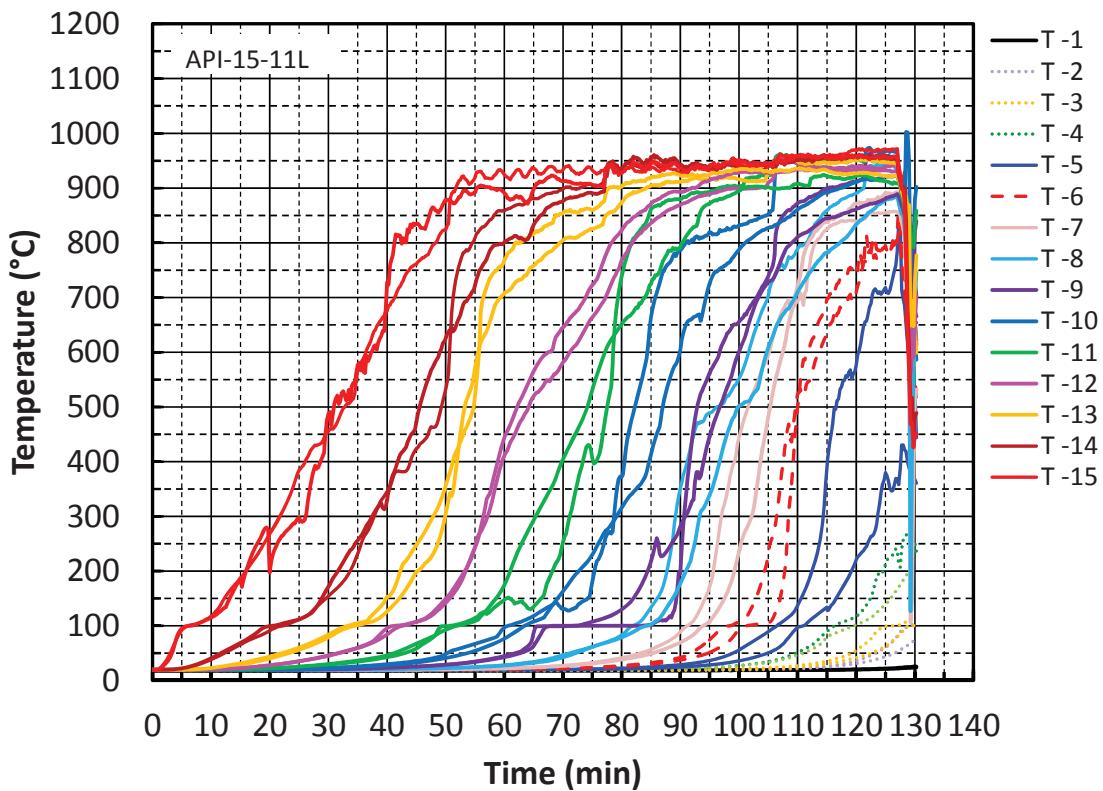


図 3.1.4. (2)-5 W-4(RF接着剤・ラミナ厚15mm・11層) パネル厚165mm

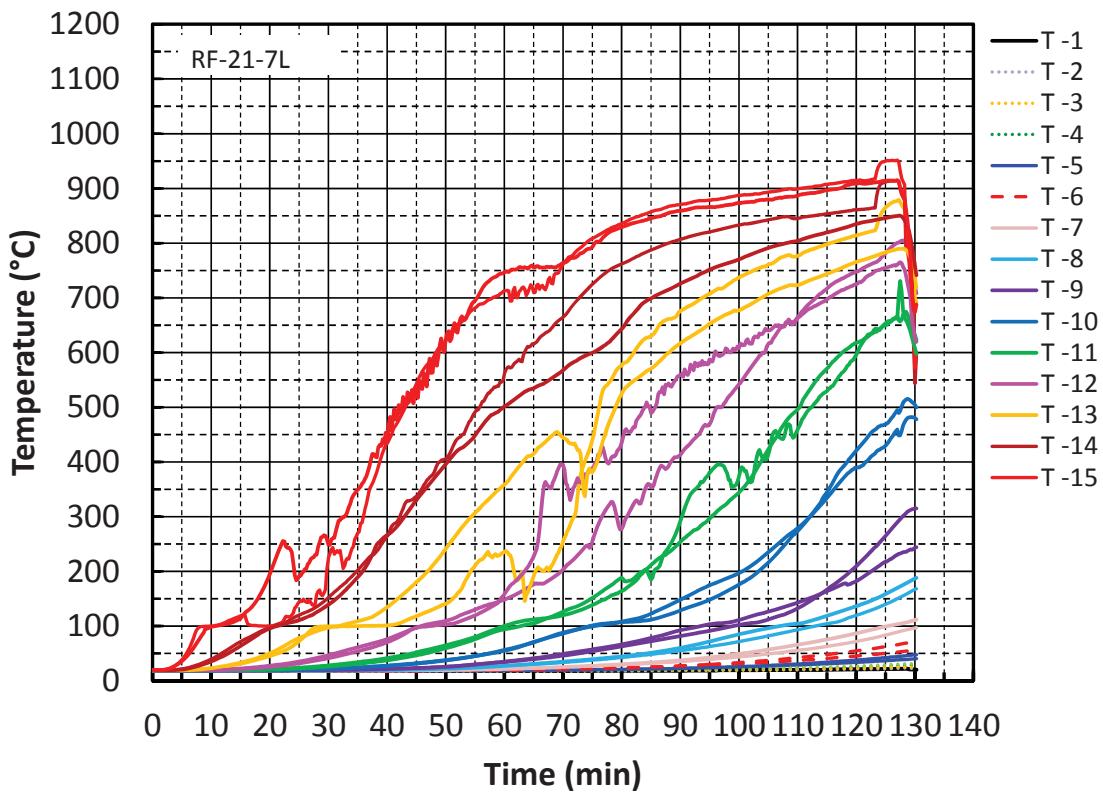


図 3.1.4. (2)-6 W-5(RF 接着剤・ラミナ厚 21mm・7 層) パネル厚 147mm

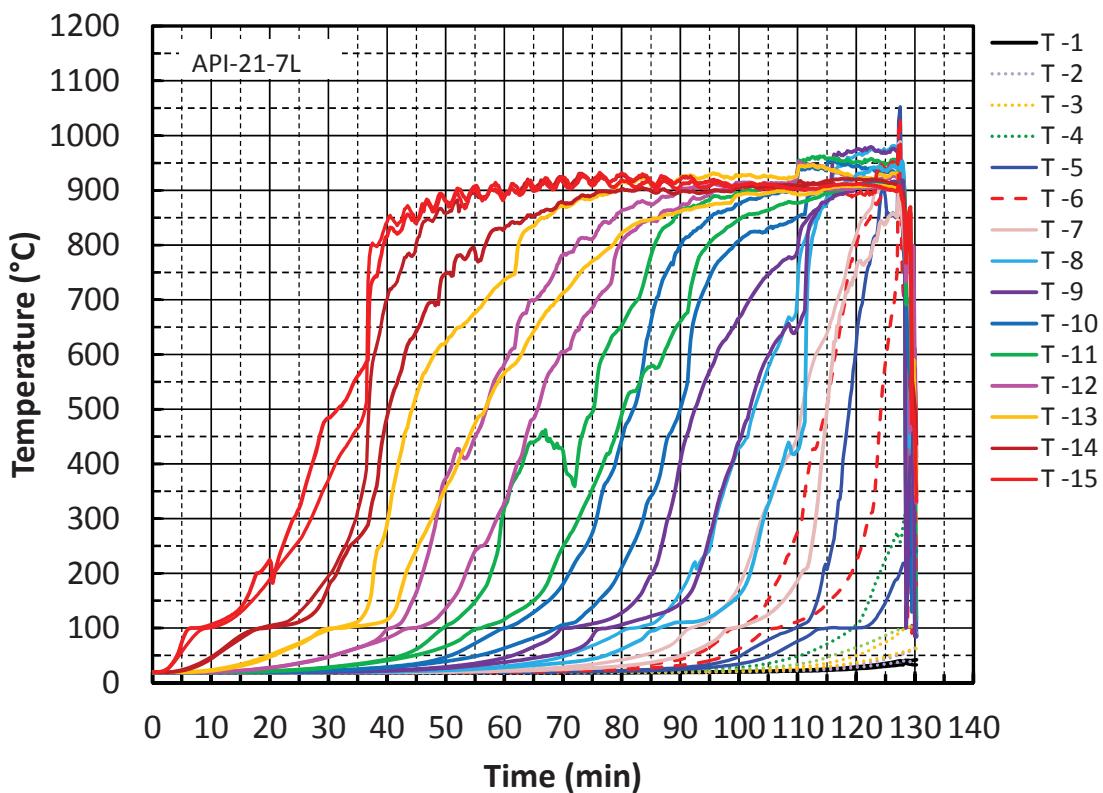


図 3.1.4. (2)-7 W-6(API 接着剤・ラミナ厚 21mm・7 層) パネル厚 147mm

F. 各断面の炭化温度到達時間と炭化速度

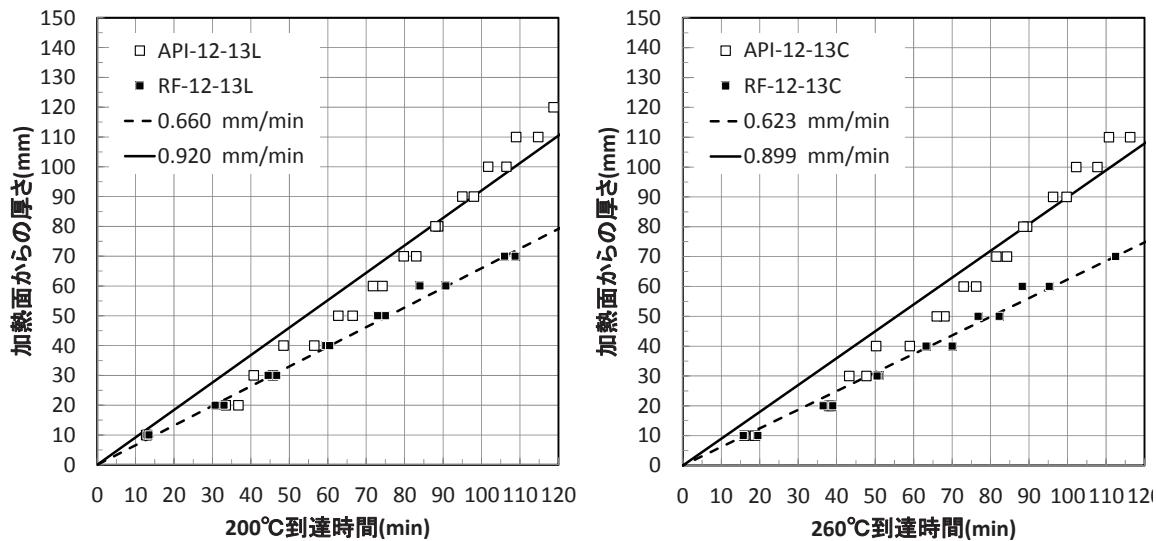


図 3.1.4.(2)-1 カラマツ/ラミナ厚 12mm・13層 パネル厚 156mm

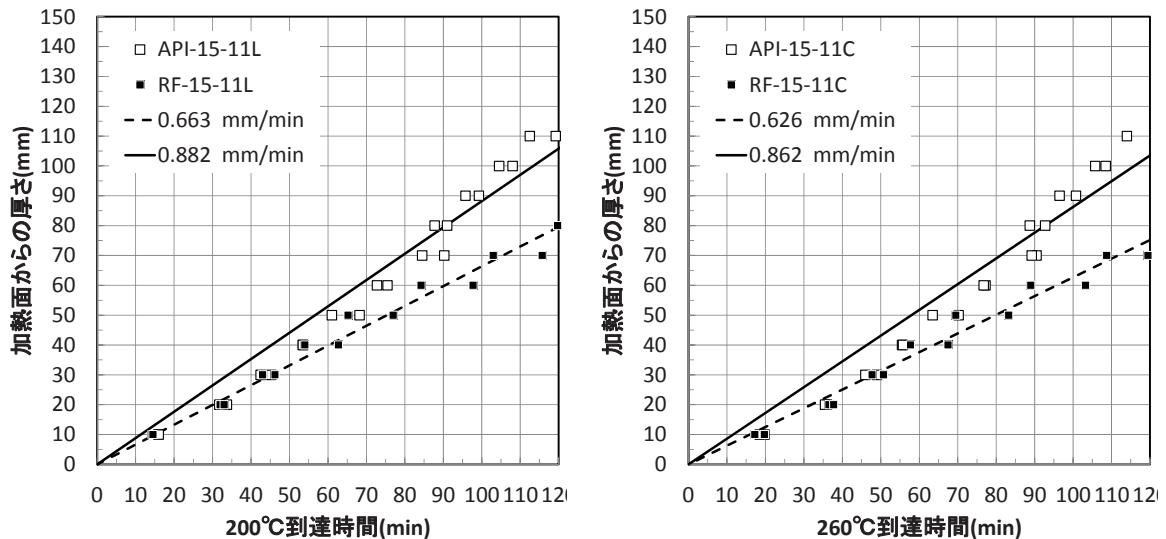


図 3.1.4.(2)-2 カラマツ/ラミナ厚 15mm・11層 パネル厚 165mm

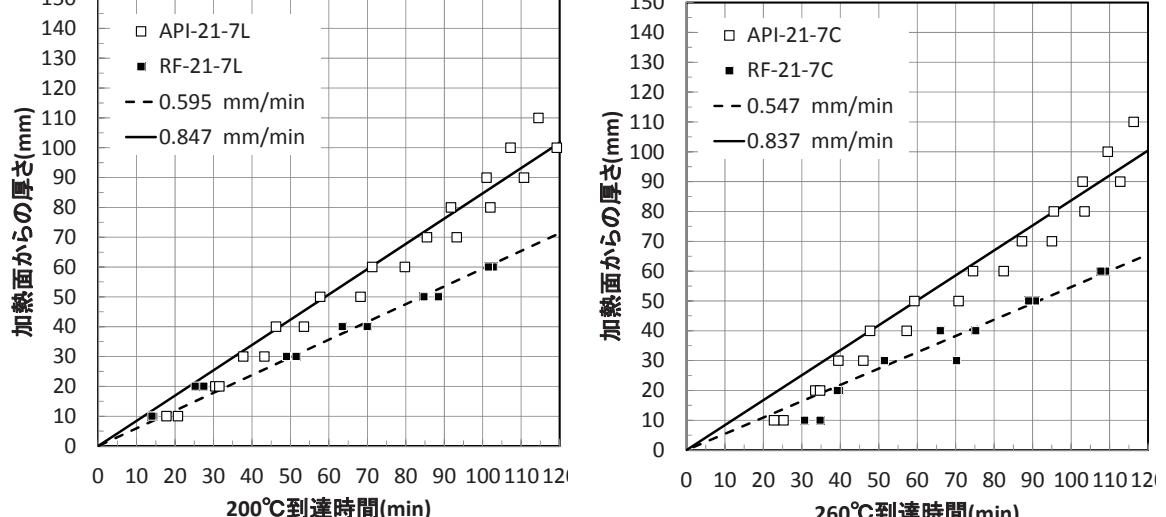


図 3.1.4.(2)-3 カラマツ/ラミナ厚 21mm・7層 パネル厚 147mm

(3) 接着剤・ラミナ厚・樹種による影響確認試験③

A. 実験目的および試験体仕様

ラミナ厚を30mm・5層に限定して、API、RFそれぞれの接着剤において、樹種をスギ・カラマツ・スプルースと変化させた場合の炭化速度の変化を把握することを目的とする。

B. 試験写真



写真 3.1.4. (3)-1
CLT 試験体③No. 1-3 (加熱前)



写真 3.1.4. (3)-2
CLT 試験体③No. 4-6 (加熱前)



写真 3.1.4. (3)-3
CLT 試験体③No. 1-3 (加熱後)



写真 3.1.4. (3)-4
CLT 試験体③No. 4-6 (加熱後)

C. 加熱温度

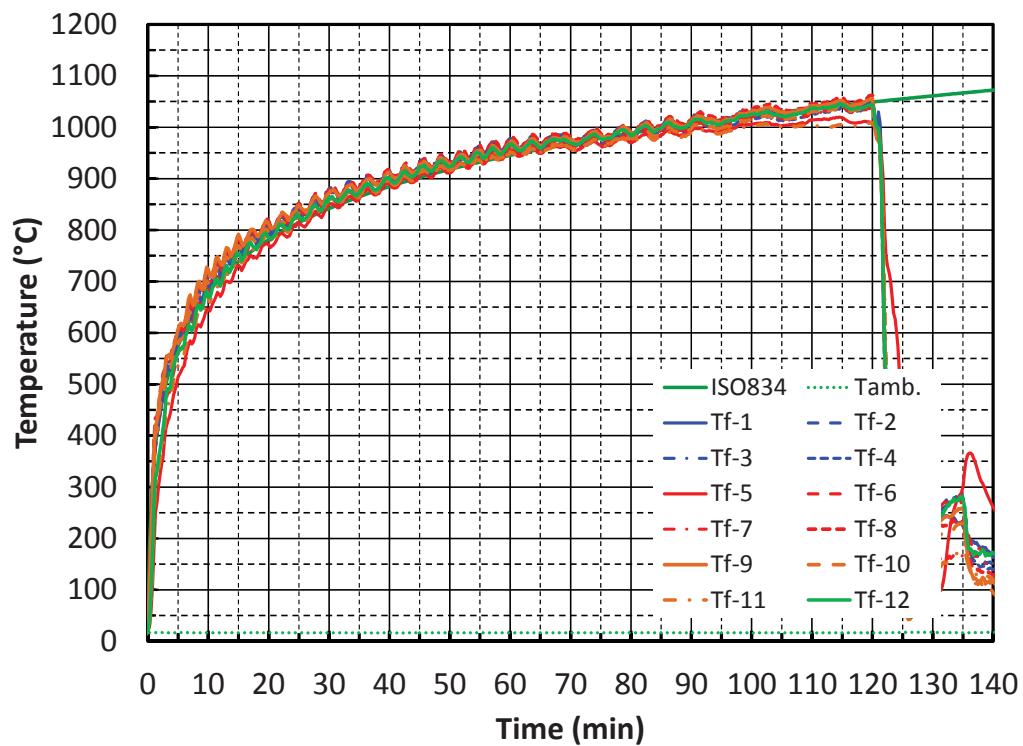


図 3.1.4. (3)- 1 加熱温度

D. 炭化状況



写真 3.1.4. (3)-5 W-1 スギ(RF・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm



写真 3.1.4. (3)-6 W-2 スギ(API接着剤・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm



写真 3.1.4. (3)-7 W-3 カラマツ(RF接着剤・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm



写真 3.1.4. (3)-8 W-4 カラマツ(API接着剤・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm



写真 3.1.4. (3)-9 W-5 スプルース(RF接着剤・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm



写真 3.1.4. (3)-10 W-6 スプルース(API接着剤・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm

E. 試験体内部温度

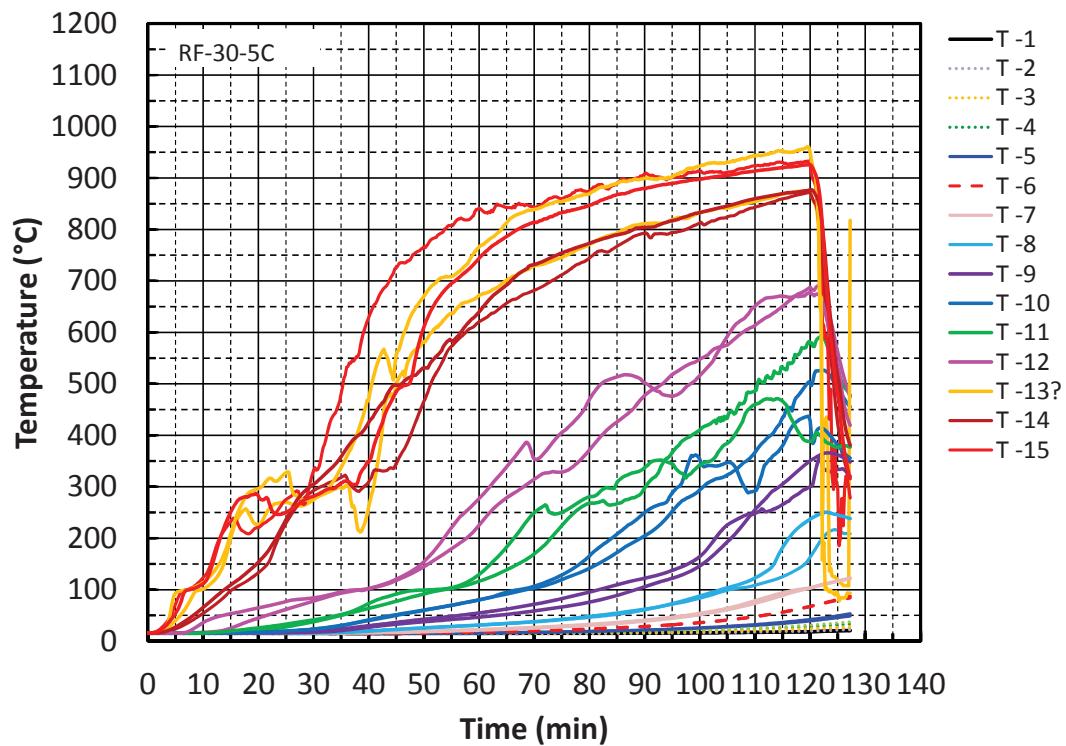


図 3.1.4. (3)-2 W-1 スギ(RF・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm

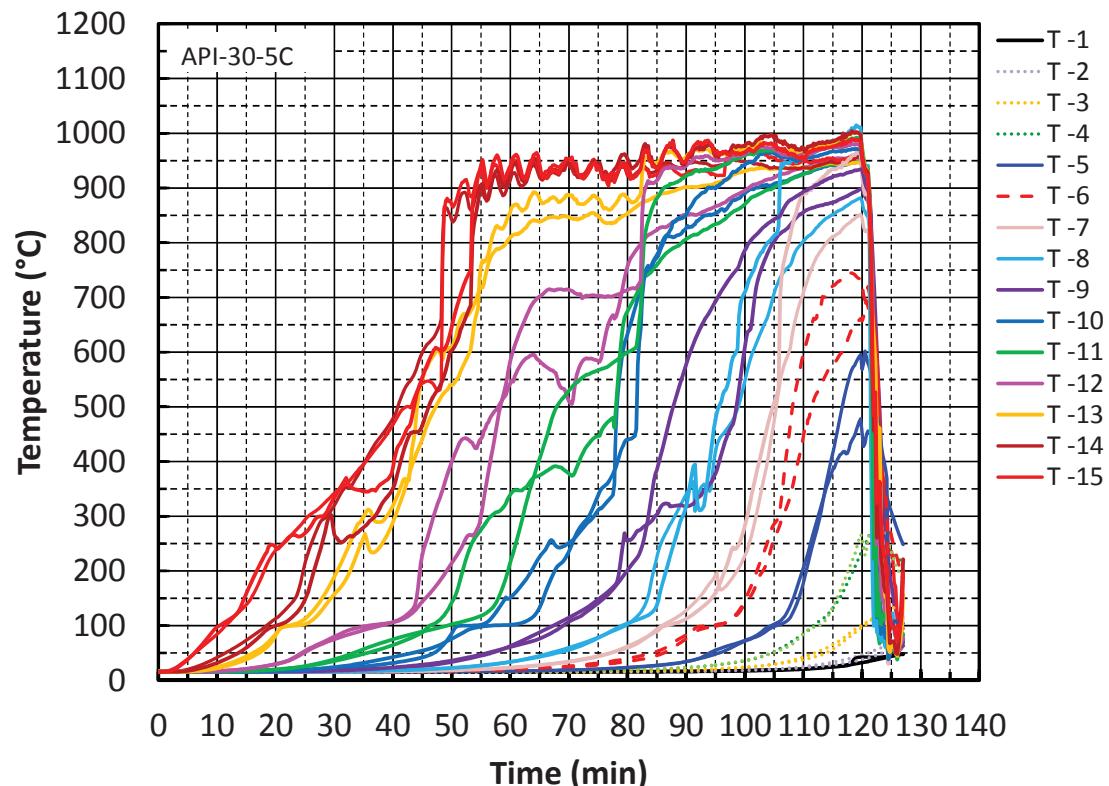


図 3.1.4. (3)-3 W-2 スギ(API・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm

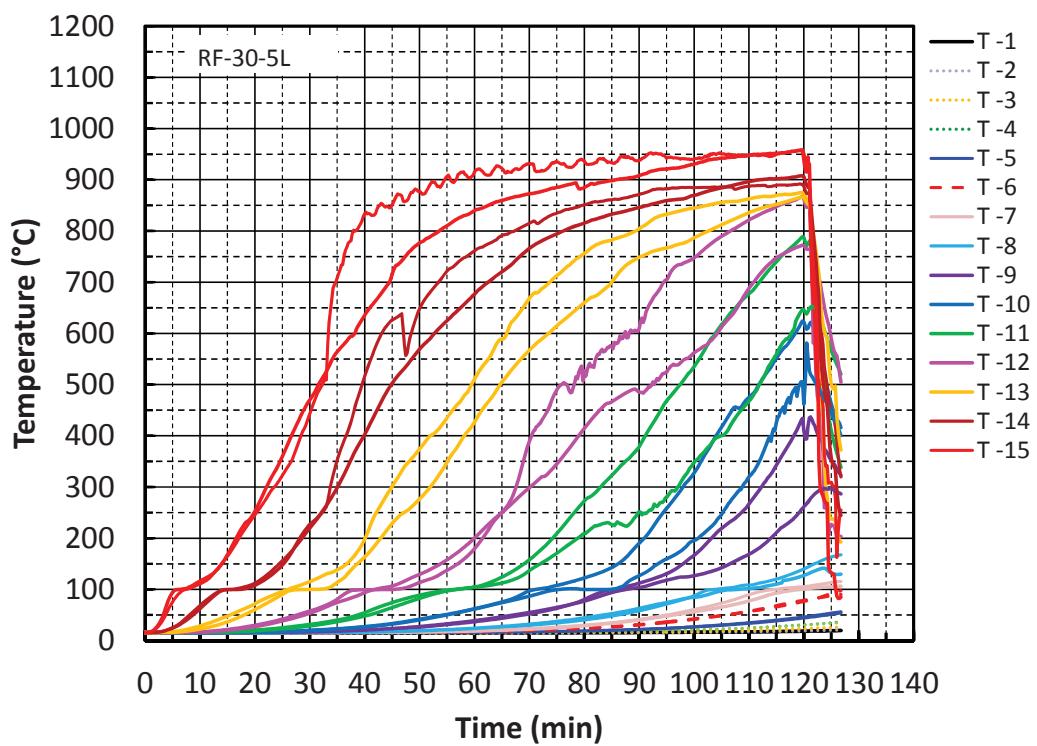


図 3.1.4. (3)-4 W-3 カラマツ (RF・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm

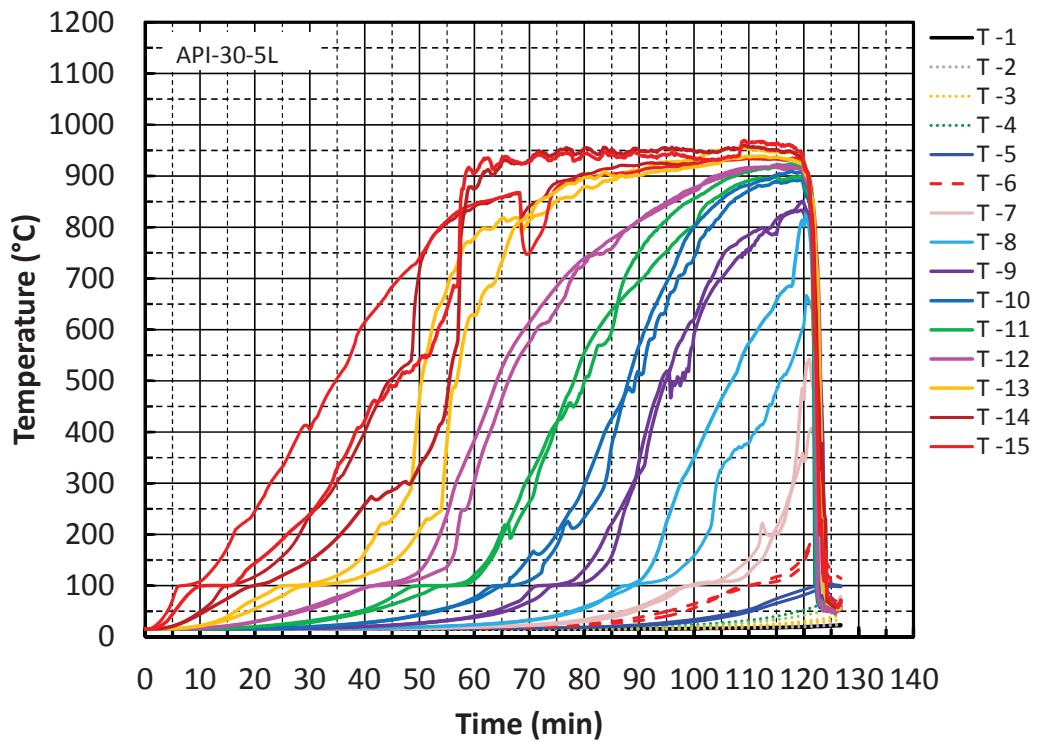


図 3.1.4. (3) -5 W-4 カラマツ (API・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm

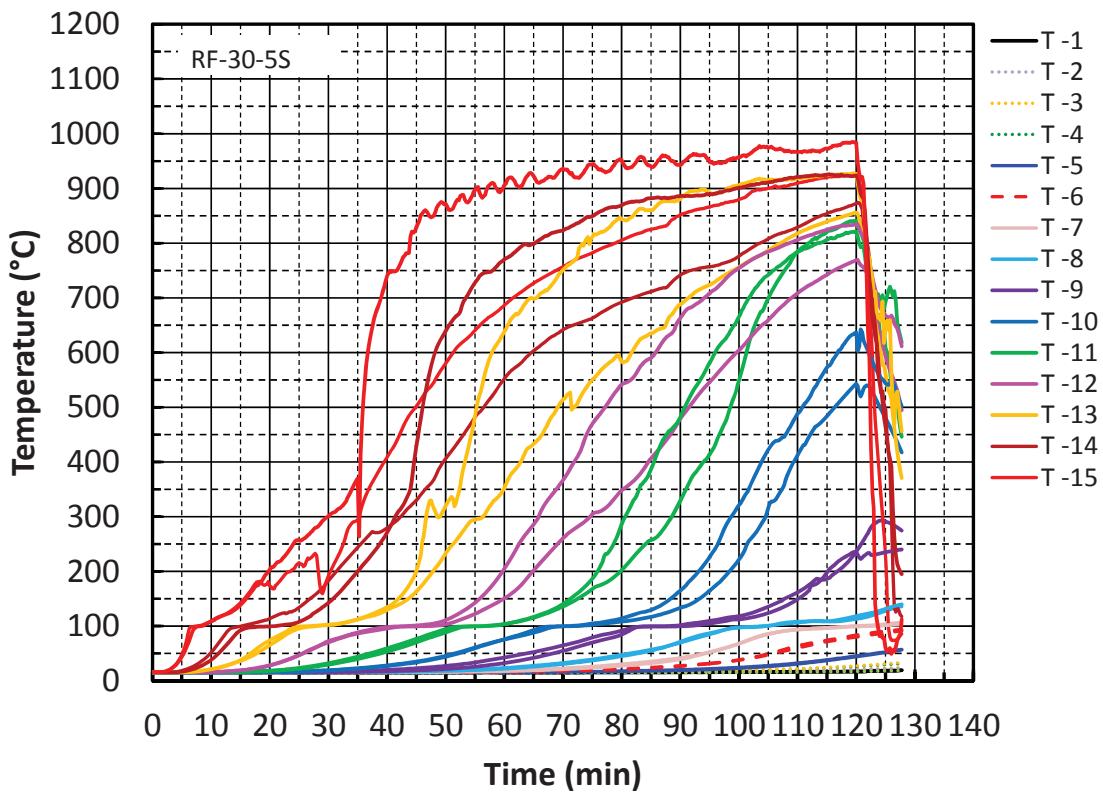


図 3.1.4. (3) -6 W-5 スプルース (RF・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm

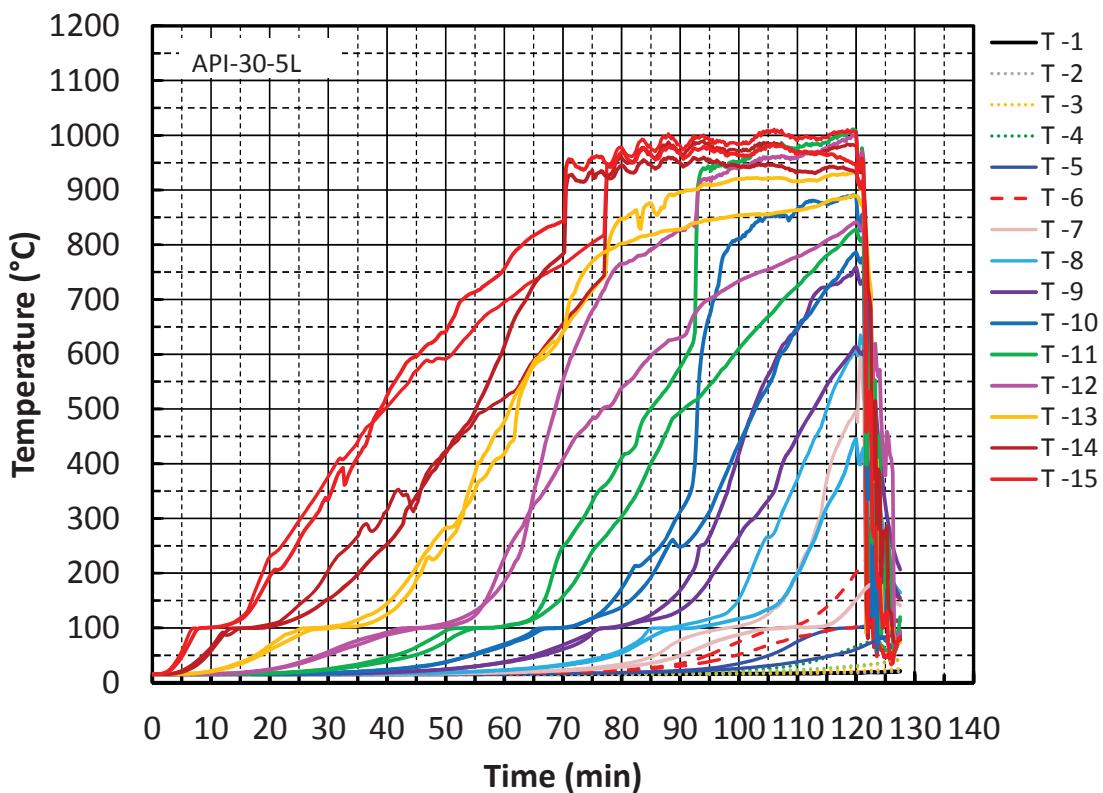


図 3.1.4. (3) -7 W-6 スプルース (API・ラミナ厚 30mm・5層) パネル厚 150mm

F. 各断面の炭化温度到達時間と炭化速度

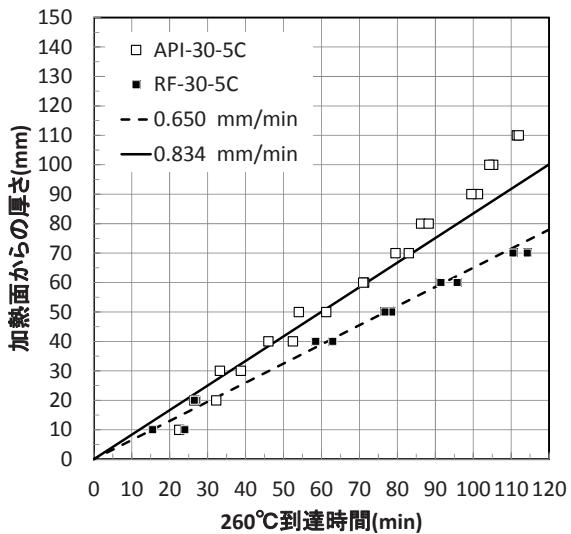
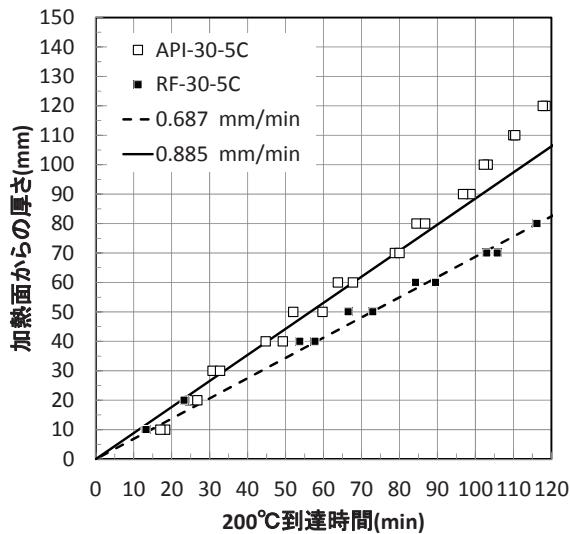


図 3.1.4.(3)-8 スギ/ラミナ厚 30mm・5層 パネル厚 150mm

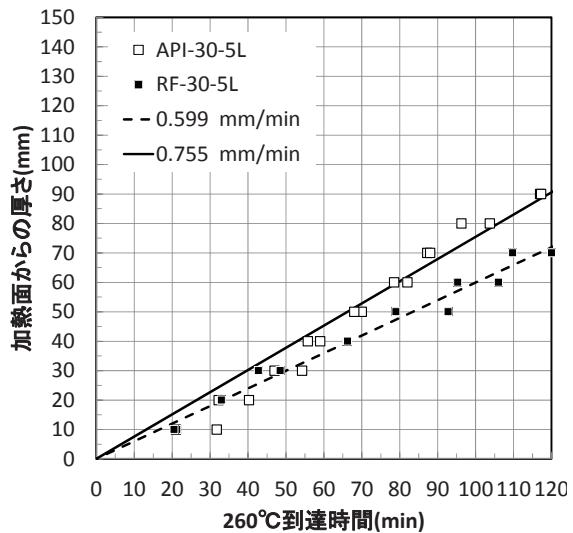
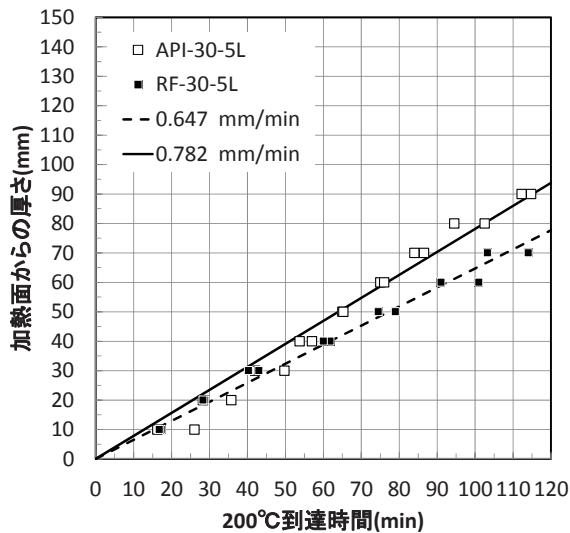


図 3.1.4.(3)-9 カラマツ/ラミナ厚 30mm・5層 パネル厚 150mm

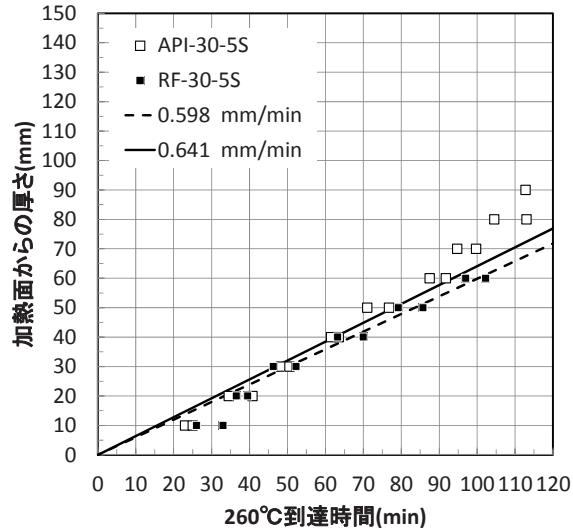
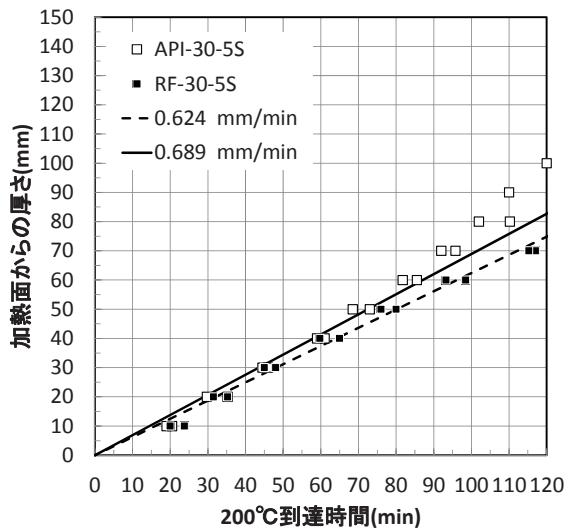


図 3.1.4.(3)-10 スプルース/ラミナ厚 30mm・5層 パネル厚 150mm