

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び
国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち
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

CLTパネルの標準化・規格化開発検討事業
事業報告書

令和6年2月

一般社団法人 日本CLT協会

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び
国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち
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
CLT パネルの標準化・規格化開発検討事業 事業報告書

目 次

第1章 はじめに

1. 1	事業の背景と目的	第1章-1
1. 2	事業内容	第1章-1
1. 3	事業実施体制	第1章-3

第2章 CLT パネルの標準化・規格化

2. 1	標準化・規格化の背景	第2章-1
2. 1. 1	過去の床パネル規格化検討からの提案	第2章-1
2. 2	パネルの標準化・規格化	第2章-2
2. 2. 1	CLT パネルの現状	第2章-2
2. 2. 2	製造可能性に着目した検討	第2章-3
2. 2. 3	標準化・規格化サイズ	第2章-6

第3章 鉄骨造に用いる CLT 床システム開発における検討

3. 1	事例調査と考察	第3章-1
3. 2	鉄骨造に用いる CLT 床システムと考察	第3章-2
3. 3	CLT を床に用いた場合のメリットの検討	第3章-2
3. 2. 1	CLT を用いる背景	第3章-2
3. 2. 2	市場性の検討	第3章-2
3. 2. 3	鉄骨造の床に CLT を用いるシステム	第3章-3
3. 4	モデル設計	第3章-9
3. 4. 1	モデル設計	第3章-9
3. 4. 2	モデル設計の計画概要	第3章-9
3. 5	鉄骨造に CLT 床システムを用いる場合と合成スラブを用いる場合の比較	第3章-11
3. 5. 1	意匠における比較	第3章-11
3. 5. 2	構造における比較	第3章-11
3. 5. 3	施工における比較	第3章-11
3. 5. 4	コスト試算における比較	第3章-12
3. 5. 5	LCCO ₂ 試算における比較	第3章-13
3. 6	鉄骨造の床に CLT を用いる設計上のメリットの提示	第3章-16
3. 7	鉄骨造の床に CLT を用いる設計ガイドブックの概要	第3章-17
3. 8	鉄骨造の構造床に CLT を用いる場合の課題整理	第3章-18
3. 8. 1	目的	第3章-18
3. 8. 2	CLT 床の設計で採用された設計手法や接合部のディテールの分類	第3章-18
3. 8. 3	抽出要素を組合せた試案の作成と整理	第3章-35
3. 8. 4	試案のフィジビリティスタディ、実用化のための課題の設定	第3章-40
3. 9	まとめ	第3章-42

第4章 鉄骨造建築物に規格化された CLT パネルを利用したプロトタイプ開発検討

4. 1	開発背景	第4章-1
4. 2	設計と条件	第4章-1
4. 2. 1	構造・構法	第4章-1
4. 2. 2	敷地	第4章-1
4. 2. 3	建物用途及び規模	第4章-1
4. 2. 4	防耐火	第4章-1
4. 2. 5	標準化・規格化 CLT パネルの床への適用	第4章-4
4. 2. 6	バリアフリー設計	第4章-4
4. 3	プロトタイプ I 標準設計案	第4章-5
4. 3. 1	意匠	第4章-5
4. 3. 2	構造	第4章-11
4. 3. 3	積算	第4章-21
4. 4	地域条件等によるヴァリエーション	第4章-22
4. 4. 1	階段位置のヴァリエーション	第4章-22
4. 4. 2	防火上のヴァリエーション	第4章-23
4. 4. 3	CLT 壁の機能ヴァリエーション	第4章-25
4. 4. 4	CLT 床のヴァリエーション	第4章-25
4. 5	課題	第4章-28

第5章 まとめ.....第5章-1

巻末資料 1	事例調査結果（システム開発）
巻末資料 2	意匠図（CLT 床を用いた床システム）（システム開発）
巻末資料 3	構造図（CLT 床を用いた床システム）（システム開発）
巻末資料 4	構造計算書（CLT 床を用いた床システム）（システム開発）
巻末資料 5	意匠図（合成スラブを用いた床システム）（システム開発）
巻末資料 6	構造図（合成スラブを用いた床システム）（システム開発）
巻末資料 7	構造計算書（合成スラブを用いた床システム）（システム開発）
巻末資料 8	（仮称）鉄骨造の床に CLT を用いる設計ガイドブック
巻末資料 9	鉄骨造の床に CLT を用いる設計施工の検討（CLT リブパネルの検討）日建連（案）
巻末資料 10	CLT を鉄骨造の床に用いた床架構のせん断剛性とせん断耐力に関する解析的検討
巻末資料 11	意匠図（プロトタイプ開発）
巻末資料 12	構造図（プロトタイプ開発）
巻末資料 13	構造計算書（プロトタイプ開発）
巻末資料 14	エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版) モデル建物法_設備想定(プロトタイプ開発)
巻末資料 15	エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版) モデル建物法_設備なし(プロトタイプ開発)

第1章 はじめに

1.1 事業の背景と目的

CLT パネルの寸法の仕様が建物毎に異なることにより、工場の生産能力はあるが個別対応に振り回されて製造量を増やすことが難しい状況となっており、このことが、CLT パネル普及の阻害の一因になっている。CLT 活用促進に関する関係省庁連絡会議『CLT の普及に向けた新ロードマップ』（令和3年3月25日）にもあるように、CLT パネルを規格化し、かつ、多様な建築物に規格パネルが標準的に用いられるような状況となれば、合理的な CLT の製造と供給を行うことができ、CLT の普及促進につながる。したがって、CLT パネルの寸法を規格化することは、重要な課題と言える。協会内に設置された WG では、工場の製造、運搬の効率を考慮したパネル寸法、及び、建物用途ごとの設計・施工に適したパネル寸法等を考慮した、普及促進に寄与するパネルの規格化に向けて検討を進めてきた。また、検討を進める中で、規格パネルをどう用いるかを示すことが必要との結論に至り、年間一定量の施工面積のある鉄骨造建築物を対象として、既存床仕様に対して優位性のある CLT 規格パネルを用いた床仕様を示すことにより、事業目的である CLT の普及を図ることとした。企画支援等の相談窓口にも、鉄骨造建築物の耐震壁等として CLT パネルを現し仕様で利用したいとの問合せが多数寄せられていることから、本事業では、鉄骨造建築物の床・壁に CLT パネルを用いた標準化・規格化の開発を行い、具体的な設計例等を示すことで、CLT の利用促進を図ることを目的とした。

ただし、鉄骨造は日本で最も多いビルディングタイプであり、全体構法のパッケージ（安定した生産システム）が出来上がっている。したがって、その中の一部の部材を他に置き換えるのは容易ではなく、実現していくには、既存の鉄骨造生産システムの中に標準化・規格化された CLT パネルをうまく落とし込み、性能上、コスト上のメリットを引き出していくことが不可欠になる。本事業では、そうした点に留意しつつ開発を進めることとした。

1.2 事業内容

1.2.1 対象とする鉄骨造建築物

標準化・規格化された CLT パネルは、様々な鉄骨造に適用されることが期待されている。しかし鉄骨造は、低層なものだけでも、コンビニエンスストア、ドラッグストア、ファミリーレストラン、食品スーパーマーケット、ホームセンター、超大型を含む大型ショッピングモール等、小規模から大規模までヴァリエーションは極めて豊富である。また、中・高層なものも、駅前ペンシルビル、中規模オフィスビル、デパート等の大規模小売店舗、超高層を含む高層オフィスビルまで様々である。言い換えれば、前者は郊外の低容積建物、後者は中心市街地に立地する高容積建物と言える。

当然、現時点でここに上げたような鉄骨造すべてを対象に考えることは無謀であり、絞り込みが必要である。そこで本事業では、建設棟数が少なく避難上の難易度が高いと考えられる大規模な建物や特殊建築物は除外し、小規模と中規模の建物について、標準化・規格化された CLT パネルの適用技術の開発を進めることとした。郊外と中心市街地のそれぞれの建物で検討を進めることが、適用の拡大には必須と考えられるからである。そこで、「郊外の中規模建物」と「中心市街地の小規模建物」で検討を進めることとした（図 1.2-1 参照）。郊外と中心市街地を前提とする2つの検討は、防火地域についても網羅することになる。

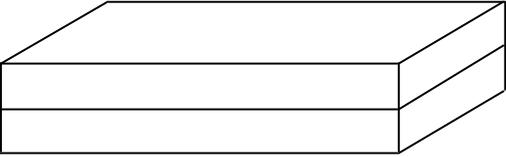
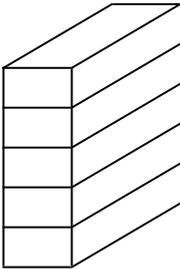
郊外の中規模建物（2階建て）			中心市街地の小規模建物（5階建て）		
	間口	34.90m		間口	6.00m
	奥行	10.96m		奥行	14.10m
	高さ	7.90m		高さ	17.60m
	建築面積	383.16m ²		建築面積	95.91 m ²
	延床面積	766.32m ²		延床面積	491.45m ²
	階段数	2		階段数	1
	EV	無し		EV	有り

図 1.2-1 検討建物のプロポーションとスケール

1.2.2 開発すべき技術

標準化・規格化された CLT パネルを鉄骨造に適用するための技術開発を進めるには、「建物のどこに適用するか」と「どのように適用するか」という点を定める必要がある。

1.2.2.1 CLT パネルの適用箇所

CLT パネルができるだけ多く使われることが望ましいので、本事業では、主要な面状の部位である床と壁に適用することを目標とした。当然のことながら、標準化・規格化された CLT パネルが有効に生かされるには適用箇所が大面積である必要があり、床に適用するための技術開発を行うには「郊外の中規模建物」が適切と考えた。一方、小規模な中層建物では壁の役割が耐震上も重要になるので、「中心市街地の小規模建物」においては、壁に適用するための技術開発を行うこととした(表 1.2-1)。

表 1.2-1 対象とする建物における CLT パネルの適用箇所

郊外の中規模建物	中心市街地の小規模建物
床	壁

1.2.2.2 適用技術開発の内容

(1) 郊外の中規模建物

標準化・規格化された CLT パネルを床に適用するための技術開発として最も重要な点は、床施工の生産性を最大化することである。現在、鉄骨造では、デッキプレート合成床と規格化された床材である ALC やスパンクリートなどを利用する乾式工法が多く採用されている。したがって、開発すべきは、合成床のデッキプレートや、乾式工法の ALC やスパンクリートを CLT パネルで代替する手法である。

そこで、中規模建物の検討においては、標準化・規格化された CLT パネルを用いた床システムを開発し、開発したシステム的设计・施工指針(ガイドブック)として取りまとめることとした。木造建築物の不慣れな設計者に CLT パネルを用いてもらえるよう、設計・資材調達・工事施工について解説したものとする。

加えて、設計、施工などの観点から、床システムに関する合理化の検討を行い、設計施工の合理化に向けた検討結果の提案を取りまとめていくこととした。

(2) 中心市街地の小規模建物

標準化・規格化された CLT パネルを壁に適用するための技術開発として重要な点は、どのような機能を持たせるか、どのように納めるかである。前者については、耐震・制振要素とするなら圧・引張力を担うのか、圧縮力だけなのかを定める必要があり、耐震・制振要素としない場合も、風圧力など面外方向の力を担うのか否かなども検討しなければならない。一方後者は、水平力をどのような接合部で梁に伝えるか、CLT を現しにするのか、その際、防火上どのような措置が必要かなどの検討があげられる。

個別に技術検討をしていく方法もあるが、これらの検討は相互に影響しあうため、部位別・目的別の検討では全体最適に近づけたのか等が曖昧で、実際に建設できる妥当性を持つのかの確証が得られない。そこで、小規模建物における検討では、中心市街地の狭小地に建設される 5 階建て程度の商業・業務併用ビルのプロトタイプを開発することとした。プロトタイプ開発では、既存の鉄骨工法との親和性が確保された CLT 壁の適用技術を開発しながら、ビル一棟の設計・積算を行っていくので、開発された個々の技術を総合した結果の妥当性を明らかにすることができる。

また、CLT パネルを壁に適用する本検討では、壁に適用する技術の開発を優先課題とするが、床への適用を除外している訳ではない。標準化・規格化されたパネルのメリットが生じにくい小規模建物の床に CLT パネルを利用した場合、どのような課題が生ずるのかを明らかにし、標準化・規格化された CLT パネルの可能性を追求していく。

併せて、検討過程で作成された鉄骨・CLT 複合構造における具体的な設計例や設計・施工手順等の公開により、中高層建築物での CLT の利用拡大に寄与することを目指す。

1.3 事業実施体制

標準化・規格化開発検討事業委員会を設け、当該事業を実施する。また、上記の2つの検討を円滑かつ精緻に実施するため、本委員会の下に図 1.3-1 に示す小委員会を設け、それぞれで図内に示す検討を行うこととした。

委員会の開催の実績は、表 1.3-1 に示し、委員会名簿は次項に示す。

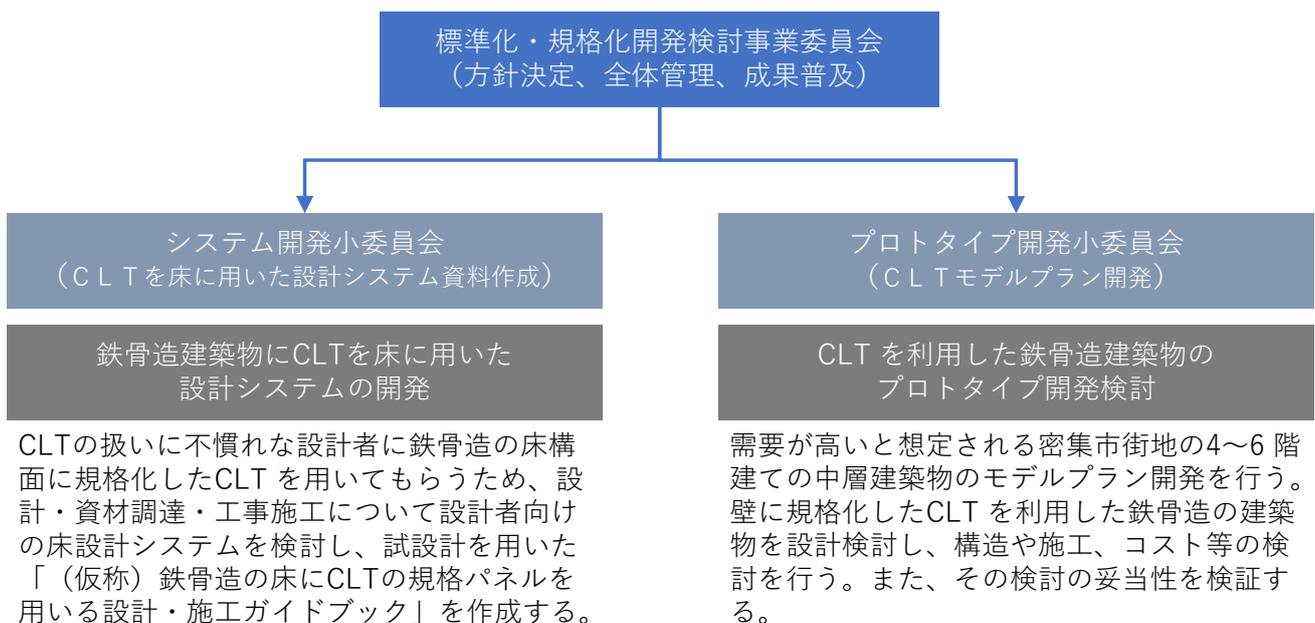


図 1.3-1 事業体制

表 1.3-1 委員会開催の実績

検討委員会			
第1回	2023年6月15日(木)	13:00~15:00	(一社)日本CLT協会事務局(Web併用)
第2回	2023年11月13日(月)	13:00~15:00	〃
第2回	2024年1月26日(金)	13:00~15:00	〃
システム開発小委員会			
第1回	2023年6月6日(火)	13:00~15:00	(一社)日本CLT協会事務局(Web併用)
第2回	2023年10月6日(金)	10:00~12:00	〃
第3回	2023年12月20日(水)	16:00~18:00	〃
プロトタイプ開発小委員会			
第1回	2023年6月2日(金)	13:00~15:00	(一社)日本CLT協会事務局(Web併用)
第2回	2023年8月30日(水)	9:00~12:00	中央区立産業会館(Web併用)
第3回	2023年10月4日(木)	16:30~19:00	(一社)日本CLT協会事務局(Web併用)
第4回	2024年1月16日(火)	16:00~18:00	(一社)日本CLT協会事務局(Web併用)

令和5年度 CLT パネルの標準化・規格化開発検討事業

標準化・規格化開発検討事業委員会 委員名簿

(順不同、敬称略)

委員長	松村 秀一	早稲田大学理工学術院総合研究所	
委員	稲山 正弘	東京大学大学院 農学生命科学研究科	
	五十田 博	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野	
	福本 晃治	岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域	
	青島 啓太	追手門学院大学 文学部	
	荒木 康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部	
	辻 拓也	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野	
	大倉 靖彦	株式会社アルセッド建築研究所	
	川原 重明	株式会社木質環境建築	
	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所	
	行政	福島 純	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室
増井 僚		林野庁林政部木材産業課木材製品技術室	建築用木材担当専門職
コンサルタント	伊藤 一哉	株式会社 EP&B	
	栗田 紀之	建築環境ワークス協同組合	
事務局	平原 章雄	木構造振興株式会社	
	坂部 芳平	一般社団法人日本 CLT 協会	
	河合 誠	〃	
	西妻 博康	〃	
	中越 隆道	〃	
	中井 聡	〃	
	宿輪 桃花	〃	
	上田 摩耶子	〃	

令和5年度 CLT パネルの標準化・規格化開発検討事業

システム開発小委員会 委員名簿

(順不同、敬称略)

委員長	五十田 博	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
委員	福本 晃治	岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域
	荒木 康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部
	辻 拓也	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	安東 真吾	銘建工業株式会社
	山本 哲	銘建工業株式会社
	原田 貴透	銘建工業株式会社 木質構造事業部 工事部
	桐野 昭寛	山佐木材株式会社 生産技術部 技術開発
	砂田 雄太郎	株式会社サイプレス・スナダヤ
	梅森 浩	大成建設株式会社 設計本部 先端デザイン部
	小林 道和	株式会社竹中工務店
	福島 一夫	株式会社竹中工務店 東京本店
	海老澤 渉	三菱地所株式会社 関連事業推進部 木造木質化事業推進室
コンサルタント	栗田 紀之	建築環境ワークス協同組合
事務局	坂部 芳平	一般社団法人日本 CLT 協会
	河合 誠	〃
	西妻 博康	〃
	中越 隆道	〃
	中井 聡	〃
	宿輪 桃花	〃

令和5年度 CLT パネルの標準化・規格化開発検討事業

プロトタイプ開発小委員会 委員名簿

(順不同、敬称略)

委員長	稲山 正弘	東京大学大学院 農学生命科学研究科	
主査	大倉 靖彦	株式会社アルセッド建築研究所	
委員	青島 啓太	追手門学院大学 文学部	
	石塚 正和	株式会社アルセッド建築研究所	
	川原 重明	株式会社木質環境建築	
	小林 道和	株式会社竹中工務店	
	田中 哲也	田中哲也建築構造計画	
	深川 礼子	株式会社 ofa	
	宮竹 靖	銘建工業株式会社	
	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所	
	コンサルタント	伊藤 一哉	株式会社 EP&B
	事務局	坂部 芳平	一般社団法人日本 CLT 協会
河合 誠		〃	
上田 摩耶子		〃	

第2章 CLT パネルの標準化・規格化

2.1 標準化・規格化の背景

現状の CLT パネルの生産状況は、建物毎に異なる CLT パネルの寸法仕様に対応する多品種小ロット型であり、量産化が妨げられコスト低減が進みにくくなっている。すなわち、CLT パネルの標準化・規格化を進めることでコストダウンの可能性が高まるといえる。ただし、現状の生産設備では、CLT パネルのコストは加工内容によって決まることが多く、CLT のサイズは、製造可能な範囲なら立米単価に大きく影響しないと言われている。標準を決めてもストックしておく費用がかかるため、多数をストックしておける訳ではないことも理由の一つといわれている。

したがって、CLT パネルの標準化・規格化の意義は短期と長期に分けて考えることが肝要である。短期の意義は後述するように、同一のサイズや加工が多ければ生産の習熟効果や治具の採用、管理面の効率化が達成されるのでコストダウンにつながるというものである。一方、長期的な意義は、標準化・規格化された CLT が需要の多くを占めるようになることで、工場側が、標準サイズに最適化され高度に自動化された新たな生産設備を開発・導入することにある。そうした設備によって工場の生産性が大幅に向上し、結果として大きなコストダウンが達成されるからである。

したがって、短期的な意義でのみとらえず、長期的な意義が達成されるための基盤として、CLT パネルの標準化・規格化を位置づけるべきである。このような背景から、協会では継続してパネルの規格化を検討してきた

2.1.1 過去の床パネル規格化検討からの提案

3つの検討を行ってきた。表 2.1-1 に過去の検討内容を示す。ここでの規格パネルとは工場のストックサイズを指している。いずれの検討に於いても多様な設計を成立させるためには規格外パネルが発生する。

表 2.1-1 過去の床パネル規格化検討からの提案

	提案内容	幅 1m サイズ	幅 2m 以上サイズ	
検討 1	製造加工面からの提案	1.1m×6.2m	2.2m×6.2m	2.2m×12m
検討 2	低層の既存設計および中層のモデル設計よりの提案		3.0m×4.0m (住宅)	3.0m×4.0m (中層大規模建築)
検討 3	道路交通法上の制限及び運送費等を配慮した提案		2.0m×4.0m (住宅)	2.0m×6.0m (中層大規模建築)

検討 2 及び 3 は規格パネル寸法

検討1～3までの内容に対して、規格化寸法の想定を行い、規格パネルの提案寸法を決定した(表 2.1-2)。規格パネルで納まらない場合は、「役物パネル(半端サイズ)」で納めることとした。

表 2.1-2 床規格パネル

項目	内容
強度等級	Mx60-5-7
厚さ	210mm
樹種	スギ
寸法	①幅 1.2m×長さ 6m (約 680kg)
	②幅 2.2m×長さ 6m (約 1240kg)

上記を床規格パネルとした理由を表 2.1-3 に示す。

表 2.1-3 床規格パネルとした理由

1	CLT 製造メーカーの 8 社の内、6 社が対応可能な寸法であること。
2	通常の運搬で用いる 10 t 車で効率的に運べる寸法であること。
3	場所を広くとらないで保管が可能で在庫管理が容易と想定されること。
4	樹種はコストからスギと想定した。
5	床荷重を支持することから断面係数、ヤング係数を考慮して構成等級は、5 層 7 プライとした。

2.2 パネルの標準化・規格化

2.2.1 CLT パネルの現状

2.2.1.1 マザーボードからの歩留まり

標準化・規格化においては、マザーボードに対する歩留まりを高めることが重要である。言い換えれば、マザーボードからどうやって効率良くカットして、無駄を排除できるかが重要ということである。現状、マザーボードサイズはメーカーによって異なるが、作りやすく市場とマッチする、効率の良いサイズがあると考えられる。

2.2.1.2 ラミナ厚とコストの関係

一般的にラミナ厚は 30mm を基準としているので、薄物で使う 20mm の方が 30mm ラミナより高い。24mm ラミナも 30mm から切り落とすので高く、ラミナ厚が 30mm の CLT パネルが一番安くなる。

例えば 120mm 厚の CLT パネルを製作する場合、3 層 4 プライとするなら 30mm の、5 層なら 24mm のラミナを使うことになるため、5 層ではなく 3 層 4 プライとする方が安くなる。

2.2.1.3 設計における配慮

生産・加工工場側は、同一サイズのパネルを沢山出荷するのであれば、より安く提供できる。したがって、原則としては標準の大きさが決まっていて、それが多く用いられればコストダウンできる可能性が高まる。しかし、敷地の形状は様々で、同じ建物が多数あるというようなことは期待できないため、一つの建物の中でいかに同じ寸法の CLT が沢山あるかが重要になる。一つの建物で、様々な大きさのマザーボードを使わなければ、色々な種類ではなく 1 種類だけのラミナを作ってプレスすれば良くなることも理由の一つである。

2.2.1.4 搬入費用

搬入トラックで部材の最大寸法が決まるので、どのようなトラックを用いて搬入するかによって費用が影響を受ける。一般的に、幅が概ね 1~2m なら搬入しやすいと言われており、最大積載寸法は、表 2.1-4 のように整理できる。

表 2.1-4 CLT パネルサイズとトラックの関係

	10t トラック	15t トラック	セミトレーラー
幅	2,200mm		2,450mm
長さ	8.0m	9.6m	12.0m

2.2.2 製造可能性に着目した検討

表 2.1-1 で示したように、計画・設計等における合理性等の検討がなされた結果として、1.2m×6.0m 及び 2.2m×6.0m が提案された。そこで今般は、過去の提案が現状で何社が製造可能かという観点で、標準化・規格化案を取りまとめる。

2.2.2.1 マザーボードの製造サイズ

現状の各社のマザーボード製造サイズを表 2.2-1 に示す。最大幅については、約 1.2 m、2.0 m、3.0 m の 3 段階に分かれている。最大長さについては、約 4.0m、6.2 m、8.5 m、12.0 m の 4 段階に分かれている。

表 2.2-1 マザーボードの製造サイズ

社名	幅			長さ		
	min	max	間隔	min	max	間隔
OW社	—	1,210	—	—	6,220	—
Ti社	500	~ 2,000	@200	1,000	~ 8,500	@200
SP社	未	~ 1,200	未	未	~ 8,350	未
CT社	960	~ 1,265	@120	3,600	~ 6,240	@120
MK社	1,830	~ 3,050	@122	8,040	~ 12,030	@665
SS社	2,200	~ 3,010	@122 @150	5,000	~ 12,000	Free
YM社	1,000	~ 2,000	@123	3,000	~ 4,000	@1000

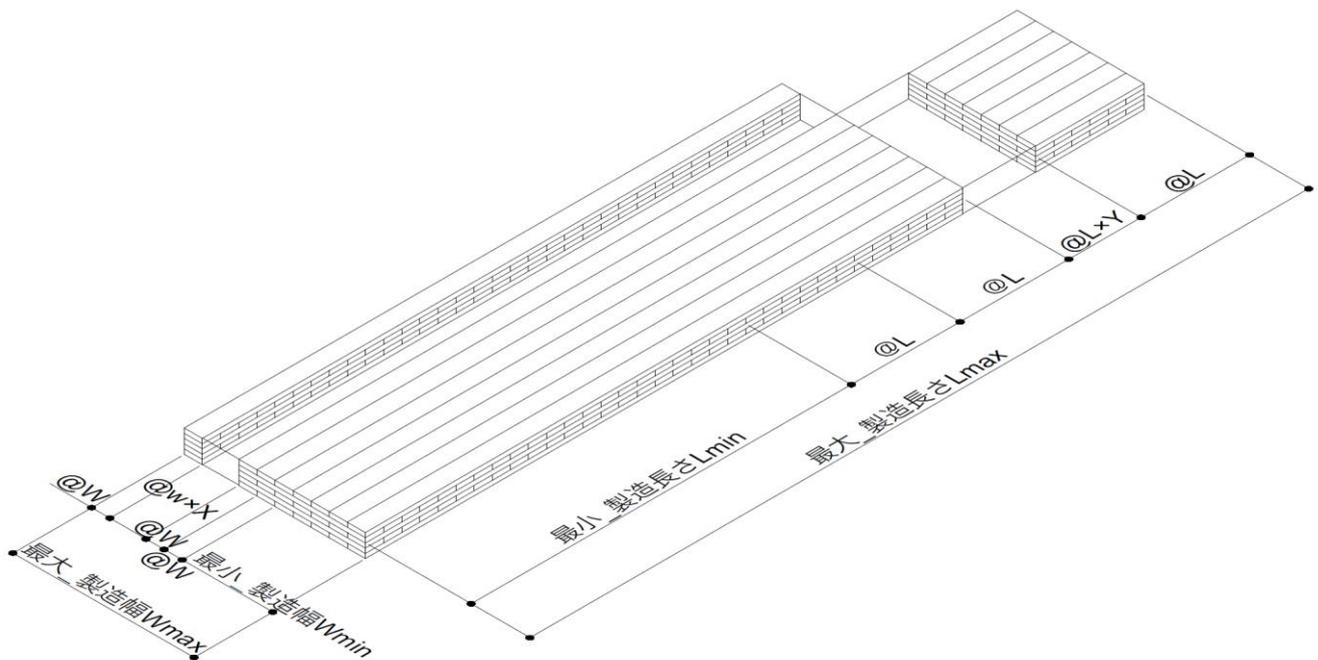


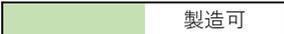
図 2.2-1 マザーボードの製造サイズ

2.2.2.2 CLT パネルの幅

表 2.2-2 は最大サイズを製造幅で除した値であり、幅別の製造可能性を示している。この値が 100%以下であれば製造可能であり、50%未満の場合は、半裁を前提とすれば同時に 2 枚生産できることになり、生産性を向上させることができる。半裁で製造可能な場合を青、そのままで製造可能な場合を緑、製造不可能な場合を橙色で塗った。ただし、ここで示したのは最大サイズに対する倍率(歩留まり)であり、単純な評価なので、半裁できない可能性もある。

表 2.2-2 CLT パネル幅についての製造可能性

幅別製造可能性		製造幅 [mm]					
社名	最大サイズ	1,000	1,200	2,000	2,200	2,400	3,000
OW社	1,210	83%	99%	165%	182%	198%	248%
Ti社	2,000	50%	60%	100%	110%	120%	150%
SP社	1,200	83%	100%	167%	183%	200%	250%
CT社	1,265	79%	95%	158%	174%	190%	237%
MK社	3,050	33%	39%	66%	72%	79%	98%
SS社	3,010	33%	40%	66%	73%	80%	100%
YM社	2,000	50%	60%	100%	110%	120%	150%
製造可能会社数		7	7	4	2	2	2

 半裁で製造可	 製造可	 製造不可
--	---	--

一方、マザーボードの幅をラミナ幅(多い寸法は 120~123mm)のn倍とすれば、實際上、良好な歩留まりになる可能性もある。しかし、このような方法は限りなくオーダーメイドに近い製造と言える。短・中期的な観点では妥当性があるが、長期的な観点では、多品種小ロット型生産からの脱却という標準化・規格化の趣旨からは遠ざかってしまう。

表下の製造可能会社数を見ると、1,200mm 幅までは全社が製造でき、2,000mm で 4 社が製造できることが判る。これ以上は 2 社のみが製造できる。競争の確保(入札)、製造の冗長性(安定供給)、サステナビリティ(運送距離)という観点から、2 社のみが製造できるという選択は難しい。したがって、幅のみに着目した製造可能性という観点では、標準化する幅は 2,000mm 以下とすることが望ましい。

仮に、標準幅を 1,000mm とし、床に用いた場合、床にせん断剛性を期待しない場合は、CLT パネルを ALC のように並べることで、2,000mm 幅に相当させることが可能である。一方、床にせん断剛性を期待する場合も、スプラインで接合する方法が採用できる。木口加工は色々な機械を入れる必要があるが、スプライン加工は成型加工のみで行える。構造用合板を敷きつめる方法もありうるが、コストではスプライン加工してそこだけに合板を打ち付ける方が安くなる。

とはいえ、板を割るにはコストが発生し、運搬、設置においても手間が増える。CLT 建築のコストダウンを図り、普及を促進するには少しでも工数を減らすことが求められ、半裁加工や現場でのスプライン接合は相応の理由がなければ望ましいとは言えない。したがって、半裁で歩留まりが改善されるとしても、中・長期的な視野にたてば、CLT 製造会社には 2,000mm 幅を製造できるようになることを期待したい。

以上より、幅についての標準サイズは 1,000mm~2,000mm とすることが妥当と考えられる。

2.2.2.3 CLT パネルの長さ

表 2.2-3 に長さ別の製造可能性を示す。幅と同様に最大サイズを製造長さで除した値を示している。この値が 100%以下であれば製造可能であり、50%以下の場合、半裁することで歩留まりを向上させることができる。色は幅と同様な基準で塗り分けている。半裁については切りしろが発生するので、例えば 12,000mm のマザーボードから 6,000mm の材を 2 枚は採れず、5,950mm という様に切りしろ分を差し引いた長さとする必要がある。

表下の製造可能会社数を見ると、4,000mm までは全 7 社が、6,000mm で 6 社が、8,000mm で 4 社が製造できることが判る。これ以上は 2 社のみが製造できる。

表 2.2-3 CLT パネル長さについての製造可能性

長さ別製造可能性		製造長さ [mm]				
社名	最大サイズ	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000
OW社	6,220	64%	96%	129%	161%	193%
Ti社	8,500	47%	71%	94%	118%	141%
SP社	8,350	48%	72%	96%	120%	144%
CT社	6,240	64%	96%	128%	160%	192%
MK社	12,030	33%	50%	67%	83%	100%
SS社	12,000	33%	50%	67%	83%	100%
YM社	4,000	100%	150%	200%	250%	300%
製造可能会社数		7	6	4	2	2

半裁で製造可	製造可	製造不可
--------	-----	------

しかし、製造会社側から考えれば、幅は製造できても長さで製造できなければ、パネルは製造できないことになるので、幅・長さの両面から製造可能性を考える必要がある。表 2.2-4 にパネル幅 1,000mm の場合に製造できるパネル長さ別の製造可能性を示す。数値の 1 が製造できる組み合わせである。これを見ると、パネル長さを 8,000mm にした場合は 4 社が製造でき、6,000mm とすれば 6 社が、4,000mm とすれば全 7 社が製造できることが判る。したがって、半数以上の会社が製造できる長さ 8,000mm も妥当ということになる。

表 2.2-4 CLT パネル幅 1000mm におけるパネル長さについての製造可能性

長さ別製造可能性		製造長さ [mm]				
社名	最大サイズ	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000
OW社	6,220	1	1	0	0	0
Ti社	8,500	1	1	1	0	0
SP社	8,350	1	1	1	0	0
CT社	6,240	1	1	0	0	0
MK社	12,030	1	1	1	1	1
SS社	12,000	1	1	1	1	1
YM社	4,000	1	0	0	0	0
製造可能会社数		7	6	4	2	2

製造可	製造不可
-----	------

ただし、8.0m スパンを CLT パネルのみで飛ばすには、CLT パネルの厚さを増大させ、コスト、階高や重量の増大を招き、全体最適に結びつかは、詳細な設計・積算・施工比較をしないと不明である。したがって、8m までのサイズを必要とする物件が多いとは言えない可能性がある。

表 2.2-5 にパネル幅 2,000mm の場合に製造できるパネル長さ別の製造可能性を示す。これを見ると、パネル長さを 6,000mm~8,000mm にした場合は 3 社しか製造できず、4,000mm とすれば 4 社が製造できることが判る。

表 2.2-5 CLT パネル幅 2000mm におけるパネル長さについての製造可能性

長さ別製造可能性		製造長さ [mm]				
社名	最大サイズ	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000
OW社	6,220	0	0	0	0	0
Ti社	8,500	1	1	1	0	0
SP社	8,350	0	0	0	0	0
CT社	6,240	0	0	0	0	0
MK社	12,030	1	1	1	1	1
SS社	12,000	1	1	1	1	1
YM社	4,000	1	0	0	0	0
製造可能会社数		4	3	3	2	2

製造可

製造不可

幅と同様に3つの観点(競争の確保、製造の冗長性、サステナビリティ)から考えて、7社の中で3社しか製造できないサイズを選択しないとすれば、幅 2,000mm を前提とすれば、規格化長さは 4,000mm になる。

しかし、以前の検討では長さ 6.0m が提案されており、6.0m は集合住宅にも使いやすいスパンである。非住宅の場合、長さ 4.0m では歩留まりが悪く、これ以下にすると小梁が必要になり、構造計画上の制約が増えてしまう。

前述したように長さ 8.0m 以下であれば 10tトラックで搬入でき、汎用性が高いことを考えると、標準化・規格化サイズを 4.0m に限ってしまえば、大判パネルならではのメリットを損なってしまう。

そこで、本章の検討では、以上を総合的に勘案し、長さの標準寸法は 4.0m 及び 6.0m とすることが妥当と考えた。

2.2.3 標準化・規格化サイズ

以上の議論をまとめると、幅は 1.0m と 2.0m、長さは 4.0m と 6.0m である。したがって、組合せとしては 4 種類となるが、適用箇所を想定し、表 2.2-6 に示す 3 種類のパネルを標準化・規格化案とすることにした。結果として、構造モジュールが 1,000mm の場合に使い易いサイズとなった。

第 3 章、第 4 章では、ここで上げた提案が、規模の異なる2つの鉄骨造建物を対象として、実際の設計に適用可能かという観点で評価する。

表 2.2-6 標準化・規格化パネル

		幅		想定する適用箇所
		1.0m	2.0m	
長さ	4.0m	-	2.0m×4.0m	壁への適用を想定
	6.0m	1.0m×6.0m	2.0m×6.0m	床への適用を想定

第3章 鉄骨造に用いる CLT 床システム開発における検討

【本章の構成】

CLT パネルの需要拡大を図るにおいて、これを鉄骨造建物の床に使用することが、ひとつの合理的な対応策となり得るという考え方にしたい、鉄骨造に用いる CLT 床システムを開発していくこととした。本章では、この開発に当たって実施した調査、検討に内容を記述する。

3. 1では、鉄骨造の床に CLT を用いた既往事例を調査し、結果の概要を示した。調査の詳細は巻末資料 01 に掲載している。

3. 2では、鉄骨造の床に CLT を用いる背景、市場性についての検討をした上、どのようなシステムを開発目標とするか考察している。

その結果、CLT 床を天井現しで用い、ロ準耐 1 号で設計するシステムを今年度の開発対象とすることとし、この場合のメリットについて、3. 3で検討している。

これを検証するため、具体的なモデル建物を設計し、CLT 床システムを用いる場合と合成スラブを用いる場合の比較検討を行った。3. 4にモデル設計の計画概要を示し、設計図書(意匠図、構造図、構造計算書)を巻末資料 02～巻末資料 07 に掲載している。3. 5では、鉄骨造に CLT 床システムを用いる場合と合成スラブを用いる場合の両者に対して、①意匠、②構造、③施工、④コスト試算、⑤LCCO₂ 試算の 5 つの比較検討を行った結果について述べている。

3. 5の結果を受け、鉄骨造の床に CLT を用いる設計上のメリットを、3. 6で提示している。

提案した CLT 床システムの早期実用化を図るため、「(仮称)鉄骨造の床に CLT を用いる設計ガイドブック」を作成した。ガイドブックを巻末資料 08 に掲載し、その概要を3. 7に示した。

3. 8では、鉄骨造の床に CLT を用いる場合の今後の課題を整理した。

3. 9は本章のまとめである。

3. 1 事例調査と考察

鉄骨造の床に CLT を用いた既往事例を収集した。各事例について、建築物情報(諸元)、床・屋根に用いた CLT の納まりに関する情報(床版・屋根版の概要、CLT パネルの情報、構造詳細、耐火仕様)、CLT パネルの採用に関する質問を調査した。

表 3.1-1 に示すように、国内事例 4 件、海外事例 4 件の計 8 件の事例が収集できた。うち国内事例の 2 件は、実施者の公開許可が取れなかったため、本報告書には掲載していない。6 件の詳細な調査シートを、「巻末資料 01 事例調査結果」に掲載している。

8 事例のうち 3 件は、CLT パネルの上に鉄筋コンクリートを打設する仕様であった。うち海外の 1 事例は、CLT パネルと鉄筋コンクリートの合成スラブとして水平構面を構成するものであった。国内の 2 事例は、CLT パネルは鉛直荷重のみ支持し、水平剛性は鉄筋コンクリートスラブのみで確保するものであった。

残りの 5 事例は、CLT パネルのみで床版を構成し、水平構面とする仕様であった。

表 3.1-1 事例調査の概要

	建物名称	所在地	竣工年	水平構面の構成
国内事例	PARK WOOD 高森	宮城県仙台市	2019年	RCスラブによる
	PARK WOOD office iwamotochou	東京都千代田区	2020年	RCスラブによる
	(本報告書には掲載しない)		2019年	CLTによる
	(本報告書には掲載しない)		2020年	CLTによる
海外事例	6 Orsman Road	London,UK	2020年	CLTによる
	843 N Spring Street	Los Angeles,CA,USA	2023年	CLT、RCの合成スラブによる
	RISD North Hall	Providence,RI,USA	2019年	CLTによる
	Stamford Media Village	Stamford,CT,USA	2021年	CLTによる

3.2 鉄骨造に用いる CLT 床システムと考察

3.2.1 CLT を用いる背景

国内の森林面積は約 25 万 8 千 km² で、国土面積の 3 分の 2 に達する。森林の蓄積量は約 86.2 億 m³ と推計され、人工林、天然林ともに増加傾向にあり、特に人工林の増加が著しい。

地球温暖化に対する二酸化炭素の固定、また森林環境の健全性を鑑みれば、人工林を更新して持続していくこと(SDGs)が必要であり、そのためには木材を消費し、かつ、森林の更新をしていかなければならない。

建築の分野においても、「公共建築物等木材利用促進法」(公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律、2010年)、「都市(まち)の木材化推進法」(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、2021年)が施行され、木材利用の拡大が国策として推進されている。これらの施策より新たな雇用の創出と地域経済の活性化が期待されている。

また、国産のスギやヒノキで製造する木の塊である CLT は、木材の消費拡大に貢献することが期待できる材料であり、CLT を普及させることで、環境の改善を図ることができると想定される。

3.2.2 市場性の検討

鉄骨造の建物は、床の仕様として、デッキプレート敷設の上に鉄筋コンクリートを打設した合成スラブが大部分を占めている。デッキプレートの市場があるため、その一部が CLT パネルに置き換えられれば、CLT の市場は大幅に拡大される。

現状では、性能面、コスト面で、デッキプレートによる合成スラブに圧倒的な競争力があり、この市場を CLT パネルで代替することは容易ではないが、CLT が有利である特定の仕様においては、鉄骨造の床に CLT を用いるメリットが想定できる。

木材を大量消費することによる炭素蓄積や持続可能性におけるメリットを前提とした上で、耐火要件がなく、内装制限がかからない条件で CLT 床を用いれば、天井を現しとすることができ意匠的な特徴を持たせ、かつ、天井仕上げ工事費を割愛できるため、デザイン面、コスト面でのメリットを訴求することも想定できる。また、環境に対する優位性として炭素蓄積(LCCO₂)について試算、検証して訴求をすれば、市場獲得の獲得と拡大に対して現実的な展開を行えると想定される。

3.2.3 鉄骨造の床に CLT を用いるシステム

鉄骨造の柱梁構造の床に CLT を用いる場合、さまざまな使い方、システムが考えられる。

床面に作用する鉛直荷重や水平荷重の取り扱い、耐火仕様の違い等によって分類整理し、典型的と考えられるシステムを表 1.2 に示す。表 1.2 では、A、B、C、D の 4 つのシステムを取り上げている。

システム A は、鉄骨梁の上に CLT パネルを敷設し、スタッドにより鉄骨躯体及び鉄筋コンクリートスラブとの緊結を行うシステムである。

システム B は、CLT を型枠として用いた鉄筋コンクリートをスラブとし、鉄筋コンクリートスラブのみで荷重を負担するシステムである。

システム C は、鉄骨梁の上に CLT パネルを敷設し、CLT パネル自体で水平構面を構築するシステムである。

システム D は、鋼材の水平ブレース等を用いて、鉄骨造のみで水平力を負担するシステムである。CLT パネルは鉛直力のみ負担し、水平力の伝達は行わない。

なお、システム A～D の他にも、多様な組み合わせが考えられる。

鉄骨造の床に CLT を用いるシステムを構築していく手始め(最初の課題)として、システム D をベースにしたシステムについて検討する。このシステムは、耐火要件のない建築物に適用できるほか、ロ準耐 1 号の建築物にも適用可能である。

次年度以降は、システム A～C 等の、さらに性能の高い床システムの開発に進む可能性がある。

表 3.2-1 鉄骨造の床に CLT を用いる考え方

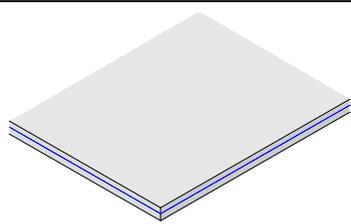
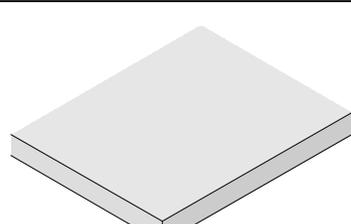
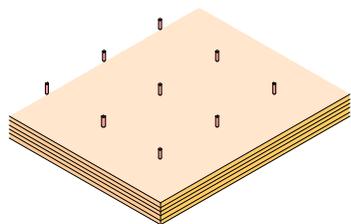
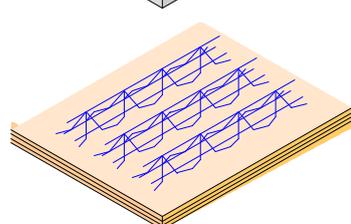
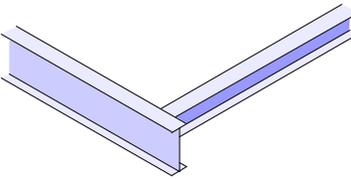
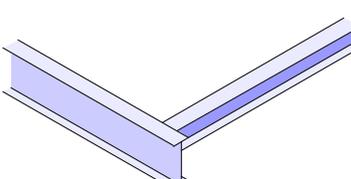
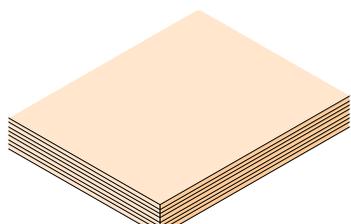
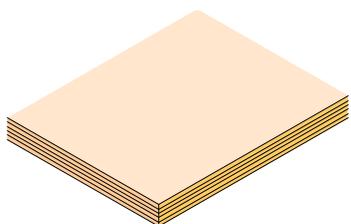
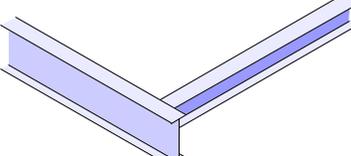
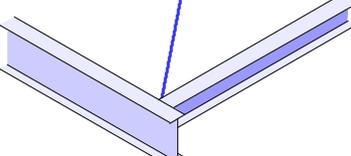
システム名		システム A	システム B
システム名		CLT+コンクリート 合成床版	型枠 CLT+鉄筋コンクリート床版
イメージ図	コンクリート		
	CLT パネル		
	鉄骨梁		
鉛直荷重		CTT+コンクリート合成床版 (変形増大件数の検討が必要)	鉄筋コンクリート床版
水平荷重 (床せん断力)		コンクリートのみ または、合成床版として検討	鉄筋コンクリート床版 (剛床)
CLT パネルと鉄骨梁の緊結		せん断力伝達機構が必要	
施工		湿式 (コンクリート打設)	
耐火種別	耐火構造 1 時間 2 時間	【仕様 A1】 耐火被覆箇所：CLT 裏面・鉄骨梁 想定建物：5 階建オフィス	【仕様 B1】 耐火被覆箇所：CLT 裏面・鉄骨梁 想定建物：
	準耐火構造 45 分 60 分	【仕様 A2】 耐火被覆箇所：CLT 裏面・鉄骨梁 想定建物：準防火地域 3 階建オフィス	【仕様 B2】 耐火被覆箇所：CLT 裏面・鉄骨梁 想定建物：準防火地域 3 階建オフィス
	その他	【仕様 A3】 耐火被覆箇所：なし 想定建物：なし	【仕様 B3】 耐火被覆箇所：なし 想定建物：なし
遮音性の検討			
CLT パネルの規格寸法の提案			

表 3.2-1 鉄骨造の床に CLT を用いる考え方 (つづき)

		システム C	システム D
システム名		CLT 床版	鉄骨造ブレース+CLT 床
イメージ図	コンクリート		
	CLT パネル		
	鉄骨梁		
鉛直荷重		CLT パネル	CLT パネル
水平荷重 (床せん断力)		CLT パネルによる水平構面	鉄骨造水平ブレース
CLT パネルと鉄骨梁の緊結		浮き上がり防止程度	
施工		乾式	
耐火種別	耐火構造 1 時間 2 時間	【仕様 C1】 耐火被覆箇所：CLT 表面・裏面・鉄骨梁 想定建物：	【仕様 D1】 耐火被覆箇所：CLT 表面・裏面・鉄骨梁 想定建物：
	準耐火構造 45 分 60 分	【仕様 C2】 耐火被覆箇所：CLT 表面・裏面・鉄骨梁 (燃え代設計可) 想定建物：準防火地域 3 階建オフィス	【仕様 D2】 耐火被覆箇所：CLT 表面・裏面・鉄骨梁 (燃え代設計可) 想定建物：準防火地域 3 階建オフィス
	その他	【仕様 C3】 耐火被覆箇所：なし 想定建物：防火・準防火地域外 口準耐 1 号(外壁耐火構造)	【仕様 D3】 耐火被覆箇所：なし 想定建物：防火・準防火地域外 口準耐 1 号(外壁耐火構造)
遮音性の検討			
CLT パネルの規格寸法の提案			

3.3 CLT を床に用いた場合のメリットの検討

システム開発小委員会で検討する CLT 床システムにおいて、第 2 章の結果より、CLT 床パネルには規格パネルの寸法の 1.0m×6.0m、2.0m×6.0m の 2 種類を採用して検討を進めることとしたが、CLT を床に使用した場合のメリットをどのように考えるべきかを小委員会内で議論を行い、ロ準耐 1 号の採用と合成スラブとの比較を行うことによる結果をメリットとして考えられるとした。この経緯を、以下設定条件①②に記載する。

設定条件① システム開発に「ロ準耐1号」を採用する考え方

鉄骨造の床に CLT を現して用いる設計方法として、ロ準耐 1 号への適用を採用することにした。ロ準耐 1 号は「外壁耐火構造」とも称され、外壁を耐火構造、屋根を準耐火構造等とすることで、内部の鉄骨や CLT の床に耐火措置が一切不要になる。ロ準耐 1 号による準耐火建築物ほかの、規模、地域、用途等の耐火要件を表 3.3-2 に整理して示す。また、ロ準耐 1 号を採用し、CLT を現して用いるシステムの方法のメリット・デメリットとして考えられる事項を、CLT 床を耐火構造とするシステムと比較して整理したものを表 3.3-3 に示す。

設定条件② 合成スラブと CLT 床システムとを比較した場合のメリットの提示

ロ準耐 1 号に適用可能な、鉄骨造の床に CLT を現して用いる床システムのメリットを提示するために、デッキプレートを用いた合成スラブを用いた床システムと CLT 床システムを比較することとした。

比較のために、「規格 CLT を用いた床システム」と「合成スラブによる床システム」の仕様の 2 つの建物モデルを実際に設計した。モデル設計の概要は「4.1」に掲載している。

このモデルに対し、以下の 5 つの事項について比較検討、または試算を行った。

- ① 意匠上のメリットの提示
- ② 構造上のメリットの提示
- ③ 施工上のメリットの提示
- ④ 施工費上のメリットの提示(コスト試算)
- ⑤ LCA 上のメリットの提示(LCCO₂ 試算)

なお、④のコスト試算と⑤の LCCO₂ 試算については、建物モデル全体での比較ではなく、床の一般的な部分を抽出した部分的な試算にとどめている。

表 3.3-2 耐火要件の整理（高さ 16m 以下）

		耐火建築物		準耐火建築物			その他建築物
		耐火構造	政令で定める技術的基準に適合	準耐火構造	政令で定める技術的基準に適合		
			耐火性能検証法		外壁耐火構造	不燃構造	
規定条文	建築基準法	法第 2 条第九号の 2 イ(1)	法第 2 条第九号の 2 イ(2)	法第 2 条第九号の 3 イ	法第 2 条第九号の 3 ロ		—
	施行令、告示	令第 107 条 H12 建告 1399	令第 108 条の 3	令第 107 条の 2 H12 建告 135	令第 109 条の 3 第一号	令第 109 条の 3 第二号	—
通称		ルート A	ルート B ルート C	イ準耐	ロ準耐 1 号	ロ準耐 2 号	その他建築物
地域による制限 (法 61 条)	防火地域内		制限なし (一部のルート C を除く)	2 階建て以下、100 m ² 以下			建設不可
	準防火地域内			3 階建て以下、1,500 m ² 以下			2 階建て以下 500 m ² 以下
用途による制限 (法 27 条)	特殊建築物以外 (事務所等)	4 階建て		75 分準耐火 3,000 m ² 以下			建設不可
		3 階建て以下		3,000 m ² 以下			
	店舗	3 階建て		200 m ² 未満			
		2 階建て		3,000 m ² 以下			3,000 m ² 以下、 2 階・同用途 500 m ² 未満
		平屋		3,000 m ² 以下			
	共同住宅	3 階建て		木三共仕様 3,000 m ² 以下			建設不可
		2 階建て		3,000 m ² 以下			3,000 m ² 以下、 2 階・同用途 300 m ² 未満
		平屋		3,000 m ² 以下			

※ 高さ 16m を超える建築物、延焼防止建築物については記載を省略している。

※ 鉄骨造であっても、床（令 109 条の 4 対象）に CLT（可燃材料）を用いる場合は、法第 21 条の対象となる。規模による制限（法 21 条）は「特殊建築物以外」欄と同じ内容となる。

表 3.3-3 耐火構造とロ準耐1号との比較

	耐火構造	準耐火構造	外壁耐火構造
		イ準耐	ロ準耐1号
想定する仕様の概要	<ul style="list-style-type: none"> 柱梁：鉄骨造 床：CLT パネルまたは CLT パネルとコンクリートの複合 鉄骨柱梁耐火被覆（耐火性能） 柱梁と CLT パネル緊結 CLT パネル同士緊結 CLT パネル耐火被覆（耐火性能）またはコンクリート打設（床面） 	<ul style="list-style-type: none"> 柱梁：鉄骨造 床：CLT パネル 水平力は鉄骨造で負担 鉄骨柱梁耐火被覆（準耐火性能） CLT パネル耐火被覆（準耐火性能）または燃えしる 	<ul style="list-style-type: none"> 柱梁：鉄骨造 床：CLT パネル 水平力は床ブレースで負担 鉄骨柱梁の耐火被覆不要 外壁は耐火構造 CLT パネルは現し（耐火措置不要）
主なターゲット	<ul style="list-style-type: none"> 5 階建て程度の商業施設 5 階建て程度の共同住宅 		<ul style="list-style-type: none"> 2～3 階建ての事務所建築 2 階建ての店舗建築
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> コストが高い。 施工に高度な技術、工数を要する。 デッキプレートによる合成スラブに対する競争力について、現時点では十分な想定ができない。 システム開発に多大な労力を要し、また、先端技術ゆえの早期陳腐化のおそれがある。 		<ul style="list-style-type: none"> 規模、用途、地域の制約がある。 防火区画、防火壁、界壁、内装制限等の法令上の細かい制限が多く適用される。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 規模、用途、地域の制限がほぼない。 防火区画、防火壁、界壁、内装制限等の法令上の細かい制限の多くが適用除外できる。 デッキプレートによる合成スラブの市場が非常に大きく、代替できれば大きなパイが得られる。 木材の大量使用による、大量の炭素蓄積及び高い持続可能性。 		<ul style="list-style-type: none"> コストが低い。 施工が容易で、既存の工事主体の多くで対応が可能。 耐火被覆が不要で、かつ内装制限のかからない条件となる建物用途で展開することにより、木材の現し表現が可能になる。 軽量化が期待でき、地震力の低減、基礎構造の簡易化が図られる。 木材の大量使用による、大量の炭素蓄積及び高い持続可能性がある。 規模、用途、地域の制約を受けることがあっても大きな市場可能性がある。 床システムを開発すれば、そのまま「その他建築物」にも適用できる。 システム開発が比較的容易と考えられ、短期間の事業に適している パネル規格等の考察のモデルとなりうる。

3.4 モデル設計

3.4.1 モデル設計

鉄骨造建物の床に CLT を用いた床システムのメリットを提示するため、CLT を用いた床システムと、合成スラブを用いた床システムの各仕様の 2 つの建物モデルを実際に設計した。設計図書を以下に示す巻末資料 02～07 に掲載する。

- ・巻末資料 02 意匠図 (CLT を用いた床システム)
- ・巻末資料 03 構造図 (CLT を用いた床システム)
- ・巻末資料 04 構造計算書 (CLT を用いた床システム)
- ・巻末資料 05 意匠図 (合成スラブを用いた床システム)
- ・巻末資料 06 構造図 (合成スラブを用いた床システム)
- ・巻末資料 07 構造計算書 (合成スラブを用いた床システム)

3.4.2 モデル設計の計画概要

計画建物は、鉄骨造 2 階建て事務所としている。防耐火仕様にロ準耐 1 号を採用することで、2 階床に CLT パネルを用いて 1 階天井を木部現しとした。これにより合成スラブに対して施工性の向上、工期短縮、施工費の低減を図っている。計画概要を表 3.4.1-1 に示す。

表 3.4.2-1 モデル設計の計画概要

項目	内容
構造	鉄骨造
用途	事務所
階数	2 階建て
2 階床面積	383.16m ²
1 階床面積	383.16 m ²
延べ面積	766.32 m ²
建築面積	383.16 m ²
軒高	7.00m
最高高さ	7.90m
防耐火仕様	準耐火構造 ロ準耐 1 号
CLT 構成等級	スギ Mx60-3-4 (厚さ 120mm)
基礎	直接基礎 (べた基礎)

ロ準耐 1 号の採用を前提とし用途を、法 27 条の特殊建築物でなく、また内装制限のかからない事務所建築とした。この場合、法 61 条により、準防火地域内で、3 階建て以下、1,500 m²以下の規模制限がかかるため、モデルは

各階 500 m²程度の 2 階建て、延べ面積 1,000 m²程度の規模を設定した。

また耐火 1 号の外壁耐火構造に対応するため、外壁を厚さ 100mm の ALC 板とした。

その他、用途地域は準工業地域を想定している。

3.5 鉄骨造に CLT 床システムを用いる場合と合成スラブを用いる場合の比較

3.5.1 意匠における比較

CLT を用いた床システムと、合成スラブを用いた床システムを、意匠面において比較したものを表 3.5.1-1 に示す。

表 3.5.1-1 意匠における比較

	CLT 床を用いた床システム	合成スラブを用いた床システム
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・内装制限が適用されない範囲において、CLT を現しとした設計ができ、より木造的な表現が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平ブレース等は不要である。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨の水平ブレース等が必要となり、意匠上の障害となる場合がある。 ・天井を現しとした場合、配管、配線の取り回しに意匠上の考慮が必要である。 ・外壁を耐火構造とするため、外装の意匠に制約がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的には天井仕上げが行われる。

3.5.2 構造における比較

CLT を用いた床システムと、合成スラブを用いた床システムを、構造面において比較したものを表 3.5.2-1 に示す。

表 3.5.2-1 構造における比較

	CLT 床を用いた床システム	合成スラブを用いた床システム
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・CLT 床は鉛直荷重のみを支持する。 ・水平力に対しては、鉄骨の水平ブレース等で剛床を成立させている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレート等を用いた鉄筋コンクリートによる床スラブを構築する。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・CLT 床の重量が軽量であるため、鉛直力、地震力ともに小さくなり、鉄骨造の構造躯体の断面を小さくできる。 ・CLT 床の重量が軽量であるため、鉛直力、地震力ともに小さくなり、基礎構造を軽減化できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平ブレース等は不要である。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・床のたわみ、振動について慎重に検討する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋コンクリートの床が重くなり、鉄骨造の構造躯体の断面が大きくなる。 ・鉄筋コンクリートの床が重くなり、基礎構造も住戸なものとなる。

3.5.3 施工における比較

CLT を用いた床システムと、合成スラブを用いた床システムを、施工面において比較したものを表 3.5.3-1 に示す。

表 3.5.2-1 施工における比較

	CLT 床を用いた床システム	合成スラブを用いた床システム
特徴	<ul style="list-style-type: none"> CLT パネルを金具等を用いて接合する乾式の工法である。 	<ul style="list-style-type: none"> デッキプレートを乾式で接合した後、コンクリートを打設する湿式の工法である。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 施工期間が短くなる。 CLT パネルに水平力を支持させないため、接合が簡易である。 	<ul style="list-style-type: none"> 強風下においても、コンクリート打設は可能である。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> CLT パネルに雨水が掛からないよう、搬入後の保管、また施工後の養生に配慮する必要がある。 CLT を現しとする場合、特に養生に気をつける必要がある。 強風の場合、建方に注意が必要である。風速が 10m/s を超えると、パネルの建方はできない。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの養生期間が必要であり、施工期間が長くなる。

3.5.4 コスト試算における比較

鉄骨造 2 階建て建物の 2 階床について、CLT 床を用いた床システム(以下、CLT 床)、合成スラブを用いた床システム(以下、合成スラブ)それぞれの直接工事費の見積を行った。見積結果を表 3.5.4-1 に示す。表は、合成スラブの直接工事費(合計)を 100%としたときの割合で表示している。床仕上げに係る左官工事、内外装工事は共通の仕様とした。

CLT 床の直接工事費(合計)は、合成スラブの直接工事費(合計)の 15%増となった。

CLT 床では、CLT 工事費が、直接工事費全体の 36.9%(合成スラブの直接工事費の 42.5%)と大きな割合を占めるが、鉄筋工事費、コンクリート工事費はかからない。CLT 床の鉄骨工事費は、合成スラブの鉄骨工事費の 63.9%(=20.0%÷31.3%)と大幅に低くなっている。内外装工事費は、天井現しとできる分、CLT 床のほうが若干安くなっている。

CLT 床の工事費が合成スラブの工事費より全体で 15%高くなるという結果になったが、その要因は CLT 工事費のみであり、他の工事費はすべて CLT 床のほうが安くなっている。つまり、CLT パネルの需要増加による量産化や規格化、また施工合理化、工期短縮等によるコストダウンが図られれば、全体工事費の低減に直接反映されるため、試算の 15%の価格差も圧縮されるものと期待できる。

表 3.5.4-1 工事費の比較(まとめ)

	CLT 床を用いた床システム	合成スラブを用いた床システム
直接工事費 合計	115.0%	100.0%としたとき
鉄骨工事	20.0%	31.3%
CLT 工事	42.5%	—
鉄筋工事	—	3.3%
コンクリート工事	—	6.6%
金属工事	1.0%	4.1%
左官工事	5.0%	5.0%
内外装工事	46.5%	49.7%

3.5.5 LCCO₂試算における比較

鉄骨造2階建て建物の2階床について、CLT床、合成スラブそれぞれの資材製造時のCO₂排出量の概算値を算出した。それぞれの値は、各仕様の断面詳細図等から、使用される主要な資材の物量を算定し、IDEA ver3.1等の原単位を掛けて算出している。また、IDEA ver.3を使用してLCAを実施した結果については、報告書等に記載して公表することができるが、使用された具体的な入出力の数値や特定化結果の原単位等の数値を報告書に転載することは許可されていない。加工や出荷後の輸送、施工等は考慮しておらず、そのため、各仕様による差異も反映されていない。

試算は、各仕様建物の2階床を対象とし、外壁部は含まない。また、床仕上げについても共通仕様のため、資産範囲から除外した。

LCCO₂の比較結果を表3.5.5-1に示す。CLT床を用いた床システム(以下、CLT床)のCO₂排出量は、34,941kg-CO₂eq、合成スラブを用いた床システム(以下、合成スラブ)のCO₂排出量は、50,425kg-CO₂eqとなり、試算単位全体で比較すると、CLT床が合成スラブよりも31%小さかった。

表 3.5.5-1 LCCO₂の比較^{1) 2)}

CLT床パネル

主構成	項目	値 (内訳)		小計 (内訳)		合成スラブとの比較		
		[kg-CO ₂ eq]	[%]	[kg-CO ₂ eq]	[%]	[kg-CO ₂ eq]	[%]	
床構成材	CLT床パネル	11,711	(34%)	14,000	(40%)	-11,786	(-23%)	
	CLT床パネル受け金物	2,289	(7%)					
構造材	H形鋼	17,380	(50%)	18,702	(54%)	-2,821	(-6%)	
	水平ブレース	1,322	(4%)					
天井仕上げ	梁型	グラスウール	303	2,239	(6%)	-876	(-2%)	
		LGS下地	429					(1%)
		石こうボード	1,058					(3%)
		ビニールクロス	449					(1%)
合計				34,941	(100%)	-15,483	(-31%)	

CLT床パネル (単位面積当たり)

※ 単位面積は心々の床面積 (383.1616m²) とする。

主構成	項目	単位面積当たりの値 (内訳)		小計 (内訳)		合成スラブとの比較		
		[kg-CO ₂ eq/m ²]	[%]	[kg-CO ₂ eq/m ²]	[%]	[kg-CO ₂ eq/m ²]	[%]	
床構成材	CLT床パネル	30.57	(34%)	36.54	(40%)	-30.76	(-23%)	
	CLT床パネル受け金物	5.97	(7%)					
構造材	H形鋼	45.36	(50%)	48.81	(54%)	-7.36	(-6%)	
	水平ブレース	3.45	(4%)					
天井仕上げ	梁型	グラスウール	0.79	5.84	(6%)	-2.29	(-2%)	
		LGS下地	1.12					(1%)
		石こうボード	2.76					(3%)
		ビニールクロス	1.17					(1%)
合計				91.19	(100%)	-40.41	(-31%)	

引用文献

- 1) LCIデータベース IDEA version 3.1.0 (2021/07/15) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ
- 2) Environmental impacts of cross-laminated timber production in Japan Katsuyuki Nakano Wataru Koike Ken Yamagishi Nobuaki Hattori

また CO₂ 排出量試算結果の、床・構造・天井仕上げの内訳を図 3.5.5-1 に示す。さらに、構成別に見た内訳を図 3.5.5-2 に示す。

床構成材、構造材、天井仕上げの別に CO₂ 排出量を比較すると、CLT 床は合成スラブと比較して、床構成材は 23%程度、構造材は 6%程度、天井仕上げは 2%程度小さかった。

CLT とコンクリートの体積や CO₂ 排出量原単位に大きな差はないにも関わらず、床構造材に最も大きく差が出た要因は、合成スラブ QL デッキの影響であり、コンクリート部と QL デッキ部の CO₂ 排出量はそれぞれ全体の 22%を占めていた。

構造材については、CLT 床は H 型鋼の使用数量が増え、水平ブレースも追加されているが、CLT 床と合成スラブに共通して用いられる梁の H 形鋼が、CLT 床 H-300×150×6.5×9、合成スラブ H-294×200×8×12 と、小さい規格のものが使用され、単位重量が小さかったためである。

天井仕上げについては、CLT 床、合成スラブともに全体の 6%程度の CO₂ 排出量であり、全体の排出量の少ない CLT 床のほうが天井仕上げの排出量も小さかった。

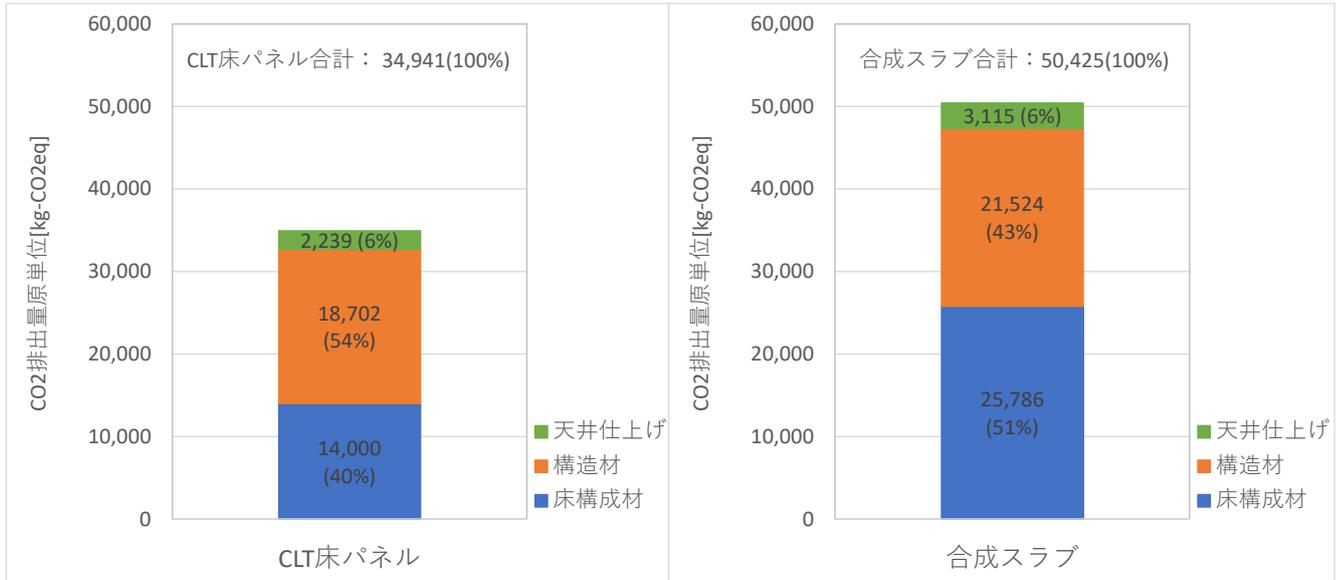


図 3.5.5-1 CO₂ 排出量試算結果（床・構造・天井仕上げの内訳比較）

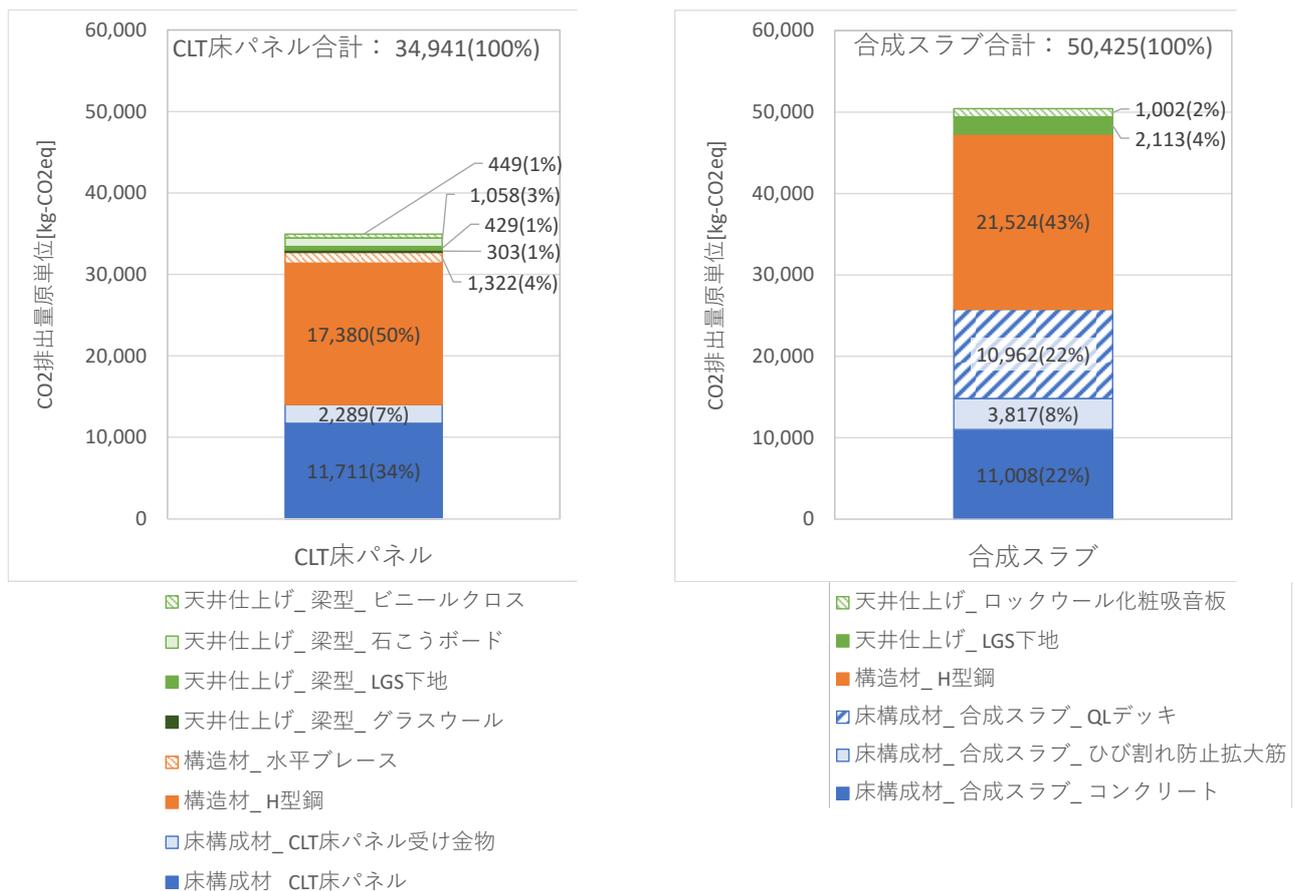


図 3.5.5-2 CO₂ 排出量試算結果（構成別内訳）

3.6 鉄骨造の床に CLT を用いる設計上のメリットの提示

「3.5」において、CLT 床を用いた床システムと、合成スラブを用いた床システムを、5つの側面から比較した。

「3.5.1 意匠における比較」では、CLT 床システムは、CLT パネルの木材面を現しにし、木の質感やボリュームを強調した特徴的な意匠表現が可能であること示した。

「3.5.2 構造における比較」では、CLT 床システムは、CLT パネルが合成スラブよりも軽量であることにより、鉄骨造の躯体断面を小さくすることができ、これらの相乗効果で建物全体がより軽量化されるため、基礎構造の軽減化が図られるメリットが挙げられた。また、CLT パネルに水平力を負担させないことにより、床パネルの構造検討が容易であることも挙げられた。

「3.5.3 施工における比較」では、CLT 床システムを用いれば、CLT パネルの敷設に特別の技能・技術が必要ないことが挙げられる。また、乾式で完結できる工法となるため、コンクリート等の養生期間が不要であり、全体として工期短縮が可能となることが重要である。「3.5.4 コスト試算による比較」では比較対象に含めていないが、工事期間の短縮は、全体工事費や所要各コストの大幅な低減につながる事が期待できる。

「3.5.4 コスト試算による比較」では、CLT 床システムのコストは、現状において、合成スラブよりも若干高くなるが、コスト高の内訳はほぼ CLT 工事費に由来するものであり、他の工事費のコストは軽減できることが示された。今後、CLT パネルの規格・標準化や、量産化が進めば、このコスト高は吸収できる可能性がある。

「3.5.5 LCCO₂ 試算における比較」では、限定的な条件での比較ながら、CLT 床システムは CO₂ 排出の大幅な低減が可能であることが示された。また、CLT 床システムにおいては、外壁を構成する鉄骨梁の耐火被覆による CO₂ 排出量が意外と大きかったという指摘があり、外壁耐火の工法の改善によりさらに CO₂ 排出で削減できる可能性がある。

以上の検討、及び「3.2」で示したような木材利用、環境保全の視点を合わせ見て、今回提案した CLT 床システムに多大なメリットがあることが明らかであり、早急な実用化が期待される。

3.7 鉄骨造の床に CLT を用いる設計ガイドブックの概要

提案した CLT 床システムの早期の実用化を図るため、本章で記載した内容を中心に、既存の必要関連事項を合わせて再構成し、「(仮称)鉄骨造の床に CLT を用いる設計ガイドブック」を作成した。

ガイドブックでは、今回提案するシステムをより具体的に仕様化し、「(仮称)天井現しシステム」としてより具体的に仕様化したものを示している。

ガイドブックの本体を、巻末資料 08 に掲載する。また構成を表 3.7-1 に示す。

表 3.7-1 「(仮称)鉄骨造の床に CLT を用いる設計ガイドブック」の構成(目次概要)

(仮称)鉄骨造の床に CLT を用いる設計ガイドブック	
第 1 章 システムの概要	1.1 CLT とは 1.2 鉄骨造の床に CLT を用いる考え方 1.3 既往事例概要 1.4 本ガイドブックで取り扱うシステム
第 2 章 CLT 床パネルの特性	2.1 CLT の種類 2.2 CLT の基準強度・弾性係数 2.3 CLT の接合部について 2.4 耐火性能
第 3 章 (仮称)天井現しシステムの CLT 床パネルの設計	3.1 CLT 床パネルの割り付け 3.2 CLT 床パネルの加工及び接合 3.3 CLT 床パネルの梁上の取り付け 3.4 CLT 床の設計方法
第 4 章 (仮称)天井現しシステムの CLT 床パネルの施工	4.1 輸送・搬入計画 4.2 受け入れ検査 4.3 床の建方

3.8 鉄骨造の構造床に CLT を用いる場合の課題整理

3.8.1 目的

(1) 課題整理の目的と検討項目

鉄骨造の床に CLT を用いる場合の経済合理性や部材製造の生産性、作業所での施工性の向上を目的に CLT 床にかかわる構工法、設計手法の整理を行う。次の項目ごとに課題整理、検討を行う。

- ・既往の事例等からの CLT 床の設計で採用された設計手法や接合部のディテールの抽出(3.8.2)
- ・抽出要素を組合せた試案の作成と整理(3.8.3)
- ・試案のフィジビリティスタディ、実用化のための課題の設定(3.8.4)

ただし、具体の構造計算や解析・実験的検証は次の開発工程での検討とする。

(2) CLT 床の設計条件の整理と試案作成の方針

CLT 床の設計で前提となる条件①～③の視点から、設計手法や接合部のディテールを分類・抽出する。また新たに作成する試案は条件①～③の視点で抽出された要素を組み合わせて作成する。

条件① CLT 床版と鉄骨梁、剛床を確保する水平ブレースや合板、鉄骨梁上の耐震要素の位置関係

条件② CLT 床面の剛床や床後面の変形拘束の仮定を確保する構造要素(CLT 床版、水平ブレース、合板等)

条件③ 部材を被覆する耐火被覆の種類、範囲と構造部材同士の荷重の伝達方法

3.8.2 CLT 床の設計で採用された設計手法や接合部のディテールの分類

鉄骨造梁に架設する CLT 床の設計手法の分類・抽出のため(1)～(3)の項目ごとに従来の構工法やディテールを整理する。

(1) CLT 床版と鉄骨梁、剛床を確保する水平ブレースや合板、鉄骨梁上の耐震要素の位置関係

ここでは次の部材の位置関係について整理を行う。大規模な鉄骨造建築物を想定することから、耐火建築物を条件とし、剛床を確保する部材やその接合方法、耐火被覆の有無などについて、ここでは完全な設計の成立性までは考慮しない。

対象要素:CLT 床版、鉄骨梁、水平ブレース、構造用合板、耐力壁(鉛直ブレース)

表 3.8.2-1 位置関係図 1

<p>50</p> <p>CLT床パネル 厚210</p> <p>H-600 × 300 × 14 × 25</p>	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁			
		耐震壁			
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
設計・施工上の課題					
設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり寸法の確保 鉄骨梁接手との干渉			
	剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計			
	耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入			
部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減				
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め)				

表 3.8.2-2 位置関係図 2

<p>3050</p> <p>CLT床パネル 厚210</p> <p>H-600 × 300 × 14 × 25</p>	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁			
		耐震壁			
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
設計・施工上の課題					
設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり寸法の確保			
	剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計			
	耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 CLT 床版支持部の耐火被覆作業量の削減			
部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減				
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ				

表 3.8.2-3 位置関係図 3

		設計要素			
		長期荷重	地震荷重	剛床	
<p>2050</p> <p>CLT床パネル 厚210</p> <p>H-600×300×14×25</p>	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁			
		耐震壁			
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保		
剛床		CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計			
耐火被覆		鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 CLT 床版支持部の耐火被覆工作量の削減			
部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減				
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ				

表 3.8.2-4 位置関係図 4

		設計要素			
		長期荷重	地震荷重	剛床	
<p>60</p> <p>100</p> <p>CLT床パネル 厚210</p> <p>H-600×300×14×25</p>	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁			
		耐震壁			
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 鉄骨梁接手との干渉		
剛床		CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計			
耐火被覆		鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 CLT 床版支持部の耐火被覆工作量の削減			
部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減				
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) CLT 床版の鉄骨梁フランジ下挿入作業と固定				

表 3.8.2-5 位置関係図 5

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 CLT 壁固定部の干渉・施工を考慮した詳細 鉄骨梁接手との干渉		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定(仮固定・ずれ止め) CLT 壁-CLT 床版のクリアランス確保				

表 3.8.2-6 位置関係図 6

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 CLT 壁固定部の干渉・施工を考慮した詳細		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 CLT 床版支持部の耐火被覆作業量の削減 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定(仮固定・ずれ止め) CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ				

表 3.8.2-7 位置関係図 7

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 CLT 床版支持部の耐火被覆工作量の削減 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ				

表 3.8.2-8 位置関係図 8

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○	○	○
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 鉄骨梁接手との干渉		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床を確保するための CLT 床版の一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) CLT 床版の鉄骨梁フランジ下挿入作業と固定				

表 3.8.2-9 位置関係図 9

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○		
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平		○	○
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 CLT 壁固定部の干渉・施工を考慮した詳細 鉄骨梁接手との干渉		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) 水平ブレースを避けた CLT 床版の建方工事 CLT 壁-CLT 床版のクリアランス確保				

表 3.8.2-10 位置関係図 10

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○		
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平		○	○
		鉛直			
	構造用合板				
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 CLT 壁固定部の干渉・施工を考慮した詳細		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) 水平ブレースを避けた CLT 床版の建方工事 CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ				

表 3.8.2-11 位置関係図 11

	設計要素			
		長期荷重	地震荷重	剛床
	鉄骨造 梁	○	○	○
	CLT	床	○	
		耐力壁		○
		耐震壁		○
	ブレース	水平		○
		鉛直		
	構造用合板			
	コンクリート			
	設計・施工上の課題			
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり寸法の確保	
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法	
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保	
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減		
工事施工	建方時の CLT 床版の固定(仮固定・ずれ止め) 水平ブレースを避けた CLT 床版の建方工事 CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ			

表 3.8.2-12 位置関係図 12

	設計要素			
		長期荷重	地震荷重	剛床
	鉄骨造 梁	○	○	○
	CLT	床	○	
		耐力壁		○
		耐震壁		○
	ブレース	水平		○
		鉛直		
	構造用合板			
	コンクリート			
	設計・施工上の課題			
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり寸法の確保 鉄骨梁接手との干渉	
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法	
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保	
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減		
工事施工	建方時の CLT 床版の固定(仮固定・ずれ止め) 水平ブレースを避けた CLT 床版の建方工事 CLT 床版の鉄骨梁フランジ下挿入作業と固定			

表 3.8.2-13 位置関係図 13

	設計要素			
		長期荷重	地震荷重	剛床
	鉄骨造 梁	○	○	○
	CLT	床	○	
		耐力壁		○
		耐震壁		○
	ブレース	水平		
		鉛直		
	構造用合板		○	○
	コンクリート			
設計・施工上の課題				
設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 CLT 壁固定部の干渉・施工を考慮した詳細 鉄骨梁接手との干渉		
	剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床確保のための CLT 床版・合板との一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
	耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定(仮固定・ずれ止め) CLT 壁-CLT 床版のクリアランス確保			

表 3.8.2-14 位置関係図 14

	設計要素			
		長期荷重	地震荷重	剛床
	鉄骨造 梁	○	○	○
	CLT	床	○	
		耐力壁		○
		耐震壁		○
	ブレース	水平		
		鉛直		
	構造用合板		○	○
	コンクリート			
設計・施工上の課題				
設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 CLT 壁固定部の干渉・施工を考慮した詳細		
	剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床確保のための CLT 床版・合板との一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
	耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 CLT 床版支持部の耐火被覆作業量の削減 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定(仮固定・ずれ止め) CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ			

表 3.8.2-15 位置関係図 15

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○		
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板		○	○	
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床確保のための CLT 床版・合板との一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 CLT 床版支持部の耐火被覆工作量の削減 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) CLT 床版荷重による鉄骨梁のねじれ				

表 3.8.2-16 位置関係図 16

	設計要素				
		長期荷重	地震荷重	剛床	
	鉄骨造 梁	○	○	○	
	CLT	床	○		
		耐力壁		○	
		耐震壁		○	
	ブレース	水平			
		鉛直			
	構造用合板		○	○	
	コンクリート				
	設計・施工上の課題				
	設計	CLT 支持	CLT 床版端部のフランジかかり代寸法の確保 鉄骨梁接手との干渉		
		剛床	CLT 床版からフランジへの水平力の伝達方法 剛床確保のための CLT 床版・合板との一体化 床構面変形拘束時に生じる応力に対する設計		
		耐火被覆	鉄骨梁や打ち込み金物からの熱流入 異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保		
	部材製造	マザーボードからの効率的な部材切出し CLT 床版端部加工量の削減 鉄骨梁の CLT 床版支持部加工量の削減			
工事施工	建方時の CLT 床版の固定 (仮固定・ずれ止め) CLT 床版の鉄骨梁フランジ下挿入作業と固定				

(2) CLT 床面の剛床仮定を確保する構造要素 (CLT 床版、水平ブレース、構造用合板 等)

ここでは次の剛床確保にかかわる部材の位置関係について整理を行う。剛床を確保する部材やその接合方法、耐火被覆の有無などについて、ここでは完全な設計の成立性までは考慮しない。

対象要素:CLT 床版、鉄骨梁、水平ブレース、構造用合板

表 3.8.2-17 剛床設計の事例 1

	剛床要素		
	CLT 床	○	
	水平ブレース		
	構造用合板		
	コンクリート		
	剛床を確保する上での課題		
	CLT 床版の一体化	CLT 床版同士の接合方法と応力算出、設計方法 剛床・非剛床の判断基準、剛性評価	
	周辺梁との接合	周辺梁-CLT 床版接合部の応力算出、設計方法 接合部の剛性評価、耐力評価	
	接合部の防耐火性能	鉄骨部材との耐火性能(時間)の整合	
	設備計画での制約	設備機器、配管等の吊材の耐火被覆(熱橋)	
工事施工での制約	剛床確保のため CLT 床版同士の位置精度管理 →隙間による床面内剛性のバラツキ		
その他			

表 3.8.2-18 剛床設計の事例 2

	剛床要素		
	CLT 床		
	水平ブレース	○	
	構造用合板		
	コンクリート		
	剛床を確保する上での課題		
	CLT 床版の一体化	CLT 床版同士の接合方法の合理化 水平ブレースの変形量に対する一体性確保	
	周辺梁との接合	周辺梁-CLT 床版接合部の合理化 水平ブレースの変形で生じる応力に対する設計	
	接合部の防耐火性能	耐火被覆への水平ブレースの干渉 鉄骨部材との耐火性能(時間)の整合	
	設備計画での制約	設備機器、配管等の吊材の耐火被覆(熱橋) 水平ブレースと設備機器の干渉、吊位置制約	
工事施工での制約	水平ブレースを避けた CLT 床版の建方工事 水平ブレース取り付け後の耐火被覆の施工		
その他			

表 3.8.2-19 剛床設計の事例 3

	剛床要素	
	CLT 床	
	水平ブレース	
	構造用合板	○
	コンクリート	
	剛床を確保する上での課題	
	CLT 床版の一体化	合板-CLT との一体化方法と応力算出、設計方法 剛床・非剛床の判断基準、剛性評価
	周辺梁との接合	周辺梁-CLT 床版(合板)接合部の応力算出、設計方法 接合部の剛性評価、耐力評価
	接合部の防耐火性能	鉄骨部材との耐火性能(時間)の整合
	設備計画での制約	設備機器、配管等の吊材の耐火被覆(熱橋)
工事施工での制約	施工方法の合理化、材料代増分のコストダウン	
その他		

表 3.8.2-20 剛床設計の事例 4

	剛床要素	
	CLT 床	
	水平ブレース	
	構造用合板	
	コンクリート	○
	剛床を確保する上での課題	
	CLT 床版の一体化	※ コンクリートによる一体化・相互固定
	周辺梁との接合	※ コンクリートによる一体化
	接合部の防耐火性能	CLT 床版下面の耐火被覆の有無による鉄骨梁の耐火被覆の範囲・仕様
	設備計画での制約	CLT 床版を耐火構造とした際の設備機器、配管等の吊材の耐火被覆(熱橋)
工事施工での制約	CLT 床版上面でのコンクリートの水分対策 CLT 床版間の隙間からのノロ養生	
その他		

(3) 部材を被覆する耐火被覆の種類、範囲と構造部材同士の荷重の伝達方法

ここでは主要構造部に耐火被覆を施した場合の部材同士の位置関係について整理を行う。剛床を確保する部材やその接合方法、耐震要素の荷重伝達などの完全な設計の成立性までは考慮していない。

表 3.8.2-21 耐火被覆の事例 1

	剛床要素	
	CLT床	○
	水平ブレース	
	構造用合板	
	コンクリート	
	防耐火性能の確保のための課題	
	外装・仕上げの固定	外装・仕上げ等支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
	耐力壁等の納まり	-
	水平ブレース等納まり	-
	設備計画での制約	設備機器支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
工事施工での制約	-	
その他	大臣認定部材(耐火構造)との接続部の耐火性能の検証・保証	

表 3.8.2-22 耐火被覆の事例 2

	剛床要素	
	CLT床	○
	水平ブレース	
	構造用合板	
	コンクリート	
	防耐火性能の確保のための課題	
	外装・仕上げの固定	外装・仕上げ等支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
	耐力壁等の納まり	異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保 →1時間耐力壁と2時間床
	水平ブレース等納まり	-
	設備計画での制約	設備機器支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
工事施工での制約	耐火構造の木造と鉄骨部材の接合部における鉄骨側の耐火被覆の仕様と範囲	
その他	大臣認定部材(耐火構造)との接続部の耐火性能の検証・保証	

表 3.8.2-23 耐火被覆の事例 3

	剛床要素		
	CLT床		
	水平ブレース	○	
	構造用合板		
	コンクリート		
	防耐火性能の確保のための課題		
	外装・仕上げの固定	外装・仕上げ等支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷	
	耐力壁等の納まり	異なる耐火時間部材の境界部の耐火性能確保 →1時間耐力壁と2時間床	
	水平ブレース等納まり	水平ブレースの耐火被覆の地震時変形の追従性 水平ブレース・接合部の耐火被覆の仕様と範囲 →接合部の耐火被覆範囲(水平ブレース全体)	
	設備計画での制約	設備機器支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷	
工事施工での制約	耐火構造の木造と鉄骨部材の接合部における鉄骨側の耐火被覆の仕様と範囲 水平ブレース建方後の床版下面の耐火被覆工事		
27	その他	大臣認定部材(耐火構造)との接続部の耐火性能の検証・保証	

表 3.8.2-24 耐火被覆の事例 4

	剛床要素		
	CLT床	○	
	水平ブレース		
	構造用合板		
	コンクリート		
	防耐火性能の確保のための課題		
	外装・仕上げの固定	外装・仕上げ等支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷	
	耐力壁等の納まり	耐火被覆を貫通する耐震壁のガセットプレート等と鉄骨梁との接合部の設計(構造・耐火)	
	水平ブレース等納まり	—	
	設備計画での制約	設備機器支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷	
工事施工での制約	耐火構造の木造と鉄骨部材の接合部における鉄骨側の耐火被覆の仕様と範囲		
27	その他	大臣認定部材(耐火構造)との接続部の耐火性能の検証・保証	

表 3.8.2-25 耐火被覆の事例 5

	剛床要素	
	CLT 床	
	水平ブレース	○
	構造用合板	
	コンクリート	
	防耐火性能の確保のための課題	
	外装・仕上げの固定	外装・仕上げ等支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
	耐力壁等の納まり	耐火被覆を貫通する耐震壁のガセットプレート等と鉄骨梁との接合部の設計(構造・耐火)
	水平ブレース等納まり	水平ブレースの耐火被覆の地震時変形の追従性 水平ブレース・接合部の耐火被覆の仕様と範囲 →接合部の耐火被覆範囲(接合部のみ被覆)
	設備計画での制約	設備機器支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
工事施工での制約	耐火構造の木造と鉄骨部材の接合部における鉄骨側の耐火被覆の仕様と範囲 水平ブレース建方後の床版下面の耐火被覆工事	
その他	大臣認定部材(耐火構造)との接続部の耐火性能の検証・保証	

表 3.8.2-26 耐火被覆の事例 6

	剛床要素	
	CLT 床	
	水平ブレース	
	構造用合板	○
	コンクリート	
	防耐火性能の確保のための課題	
	外装・仕上げの固定	外装・仕上げ等支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
	耐力壁等の納まり	-
	水平ブレース等納まり 構造用合板の納まり	構造用合板とCLT床版の一体化の設計方法 構造用合板とCLT床版、鉄骨フランジの相互の応力伝達の設計方法
	設備計画での制約	設備機器支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
工事施工での制約	構造用合板施工前の不安定性と仮設固定	
その他	大臣認定部材(耐火構造)との接続部の耐火性能の検証・保証	

表 3.8.2-27 耐火被覆の事例 5

<p> コンクリート CLT床パネル 厚210 50 耐火被覆 H-600×300×14×25 </p>	剛床要素	
	CLT床	
	水平ブレース	
	構造用合板	
	コンクリート	○
	防耐火性能の確保のための課題	
	外装・仕上げの固定	外装・仕上げ等支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
	耐力壁等の納まり	—
	水平ブレース等納まり コンクリート納まり	コンクリートとCLT床版、鉄骨フランジの一体化の設計方法
	設備計画での制約	設備機器支持部材の耐火被覆貫通部の耐火性能の確保 →熱橋、支持部材周辺の耐火被覆損傷
工事施工での制約	コンクリート打設前の不安定性と仮設固定 コンクリート部と他の耐火被覆の接合部の防耐火性能の確保・検証	
その他	大臣認定部材(耐火構造)との接続部の耐火性能の検証・保証	

3.8.3 抽出要素を組合せた試案の作成と整理

3.8.2で整理した構造要素や防耐火要素の位置関係から、鉄骨梁－CLT床版の接合部の試案を数例示す。CLT床版からの鉛直荷重と地震時水平力を伝達する部材・部品を図中に示すが、構造計算・断面算定は行っていないため、実施には設計手法整備のための課題解決、追加検討が必要となる。また、鉄骨梁上の耐震壁やブレース、さらにCLT床版同士の緊結により剛床仮定が成立するものとして水平ブレース、構造用合板を省略している。

表 3. 8. 3-1 試案と荷重伝達、課題 1

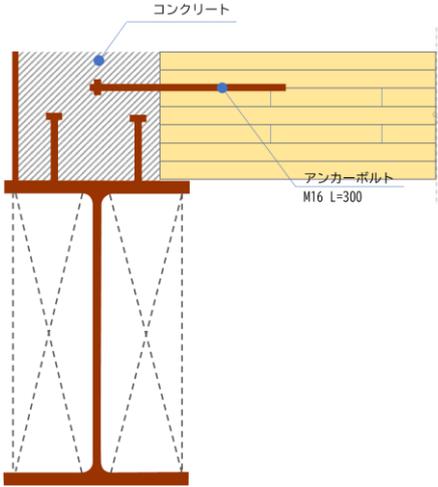
		荷重方向	設計の考え方
	鉛直荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> CLT 床版から直接鉄骨梁フランジに荷重を伝達
		設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨梁接手の HTB やプレート類と CLT 床版端部での干渉 CLT 床版端部の指圧面積の確保
	水平荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> CLT 床版小口のアンカーボルト、小口面の支圧により鉄骨梁上のコンクリート部に荷重を伝達
		設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> アンカーボルトに生じる設計応力の算出方法 (引張力・せん断力) アンカーボルトを打ち込む CLT 床版側のラミナ方向と方向別の強度・剛性の算出方法 接合部の強度・剛性の算出方法 変形床としての剛性評価方法

表 3. 8. 3-2 試案と荷重伝達、課題 2

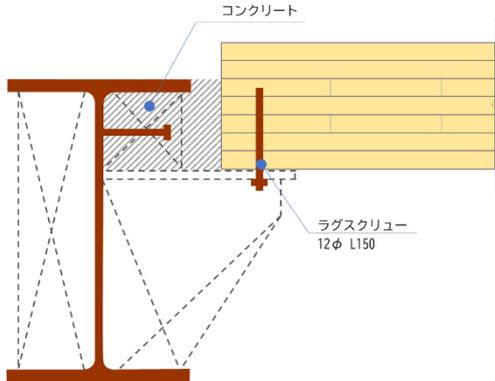
		荷重方向	設計の考え方
	鉛直荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨梁ウェブに固定されたスラブ受けプレートに荷重を伝達
		設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> スラブ受けプレートを支える縦リブプレートの仕様・間隔 スラブ端部からの偏荷重に対する鉄骨梁のねじれに対する設計
	水平荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> CLT 床版小口面からコンクリート部への支圧とラグスクリューからのせん断力による伝達
		設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> 梁全長にわたる支圧分布の算出方法 ラグスクリューに生じる設計応力の算出方法 接合部の強度・剛性の算出方法 変形床としての剛性評価方法

表 3.8.3-3 試案と荷重伝達、課題 3

荷重方向	設計の考え方	
	荷重伝達	設計上の課題
鉛直荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨梁ウェブに固定されたスラブ受けプレートへの荷重の伝達
	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> スラブ受けプレートを支える縦リブプレートの仕様・間隔 スラブ端部からの偏荷重に対する鉄骨梁のねじれに対する設計
水平荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> ラグスクリューに生じるせん断力からの伝達
	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> ラグスクリューに生じる設計応力の算出方法 接合部の強度・剛性の算出方法 変形床としての剛性評価方法

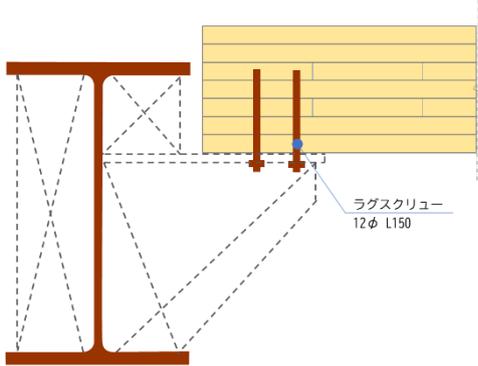


表 3.8.3-4 試案と荷重伝達、課題 5

荷重方向	設計の考え方	
	荷重伝達	設計上の課題
鉛直荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨梁ウェブに固定されたスラブ受けアンクル(等辺山形鋼)への鉛直力の伝達
	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> スラブ受けアンクルを支える縦リブプレートの仕様・間隔 スラブ端部からの偏荷重に対する鉄骨梁のねじれに対する設計
水平荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> CLT 床版小口面からのアンクルへの支圧とラグスクリューに生じるのせん断力からの伝達
	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> 梁全長にわたる支圧分布の算出方法 ラグスクリューに生じる設計応力の算出方法 接合部の強度・剛性の算出方法 変形床としての剛性評価方法

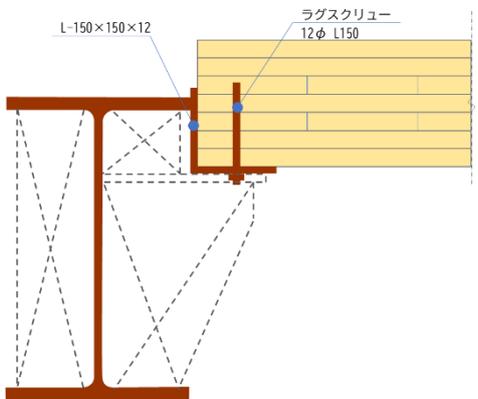
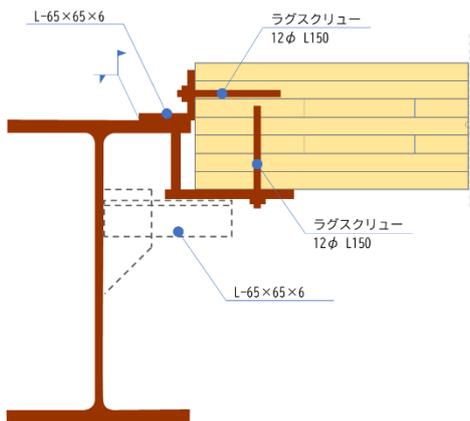


表 3.8.3-5 試案と荷重伝達、課題 6

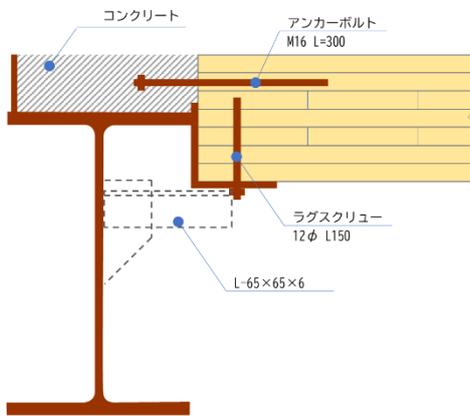
荷重方向	設計の考え方	
	鉛直荷重	荷重伝達
水平荷重	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> スラブ受けプレートを支えるアングル(L-65×65×6)の間隔・仕様 スラブ端部からの偏荷重に対する鉄骨梁のねじれに対する設計
	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> CLT 床版小口面からのフランジ上アングルへの支圧とラグスクリュー (CLT 床版底面・小口面)からのせん断力・引張力としての伝達
鉛直荷重	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> ラグスクリュー (底面・小口面)の水平力分担比率の算出方法 梁全長のアングル支圧・引抜分布の算出方法 ラグスクリューに生じる設計応力の算出方法 接合部の強度・剛性の算出方法 変形床としての剛性評価方法



39

表 3.8.3-6 試案と荷重伝達、課題 7

荷重方向	設計の考え方	
	鉛直荷重	荷重伝達
水平荷重	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> スラブ受けプレートを支えるアングル(L65×65×6)の仕様・間隔 スラブ端部からの偏荷重に対する鉄骨梁のねじれに対する設計
	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> CLT 床版小口面からの梁上コンクリート部への支圧とラグスクリュー (底面・小口面)からのせん断力・引張力としての伝達
鉛直荷重	設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> CLT 床版小口面の支圧、ラグスクリュー (底面・小口面)の水平力分担比率の算出方法 梁全長のアングル支圧・引抜分布の算出方法 ラグスクリューに生じる設計応力の算出方法 接合部の強度・剛性の算出方法 変形床としての剛性評価方法



40

表 3.8.3-7 試案と荷重伝達、課題 8

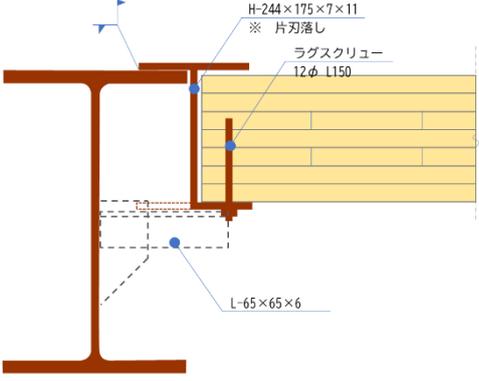
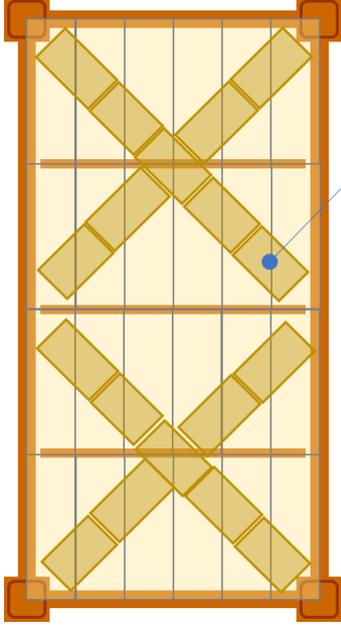
	荷重方向	設計の考え方	
		荷重伝達	設計上の課題
	鉛直荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨梁フランジに固定されたスラブ受け金物(H型鋼、片フランジ落とし)に荷重を伝達
		設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> スラブ受けプレートを支えるアングル(L65×65×6)の仕様・間隔 スラブ端部からの偏荷重に対する鉄骨梁のねじれに対する設計
	水平荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> CLT床版小口面からの型鋼への支圧とラグスクリューからのせん断力による伝達
		設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> 梁全長にわたる支圧分布の算出方法 ラグスクリューに生じる設計応力の算出方法 接合部の強度・剛性の算出方法 変形床としての剛性評価方法

表 3.8.3-8 試案と荷重伝達、課題 9

	荷重方向	設計の考え方	
		荷重伝達	設計上の課題
	鉛直荷重	荷重伝達	—※
		設計上の課題	—※
	水平荷重	荷重伝達	<ul style="list-style-type: none"> 構造用合板に沿って形成される圧縮束による面内せん断力の伝達
		設計上の課題	<ul style="list-style-type: none"> 構造用合板の必要断面積の算定方法 CLT床版と構造用合板の一体化設計方法 構造用合板の断面積から導出される変形床としてのせん断剛性評価方法 変形床としての最大せん断耐力等の算出方法

3.8.4 試案のフィジビリティスタディ、実用化のための課題の設定

鉄骨造の架構に CLT を構造床で採用する場合、鉄骨造梁への CLT 床版の簡略化された固定・接合設計と剛床仮定を成立させるための CLT 床版の強固な固定・接合設計は、現在のところ相反する内容となっており両立が難しいものとされている。

ここでは、鉄骨造の梁への CLT 床版の経済合理的な固定方法・接合法等の実現のための問題点の整理を行い、解決のための課題を提示する。

(1) 合理的な床構面の変形拘束のための設計手法の整備

床構面の変形拘束(剛床・変形床)を CLT 床版で確保する場合と CLT 床版以外の追加的構造要素で確保する場合のメリット・デメリット、各々の変形拘束に対する設計手法整備のための課題・項目を表 3.8.4-1 に示す。

表 3.8.4-1 床構面の変形拘束のための設計手法等の整理

床構面 変形拘束	変形拘束 モデル	メリット・デメリット	設計・施工上の課題・項目
CLT 床版	剛床	メリット： ・従来の剛床モデルによる設計簡便性 ・地震力等の建物全体への分散性 デメリット： ・CLT 床版と鉄骨梁の剛強な接合の必要性 ・CLT 床版同士の剛強な接合の必要性 →コストアップ、生産性・施工性の阻害	・剛床仮定成立条件の導出・設定（共通） ・鉄骨梁と CLT 床版の接合方法・設計手法開発 強度、剛性 ・CLT 床版同士の接合方法・設計手法開発 強度、剛性
CLT 床版	変形床	メリット： ・鉄骨梁、CLT 同士の接合部合理化 ・接合部簡便化によるコスト・施工性優位 デメリット： ・変形床としての評価・設計の困難性 ・モデルと実架構の構造性能の不一致	・剛床仮定成立条件の導出・設定（共通） ・変形床としての剛性評価方法、鉄骨梁と CLT 床版、CLT 床版同士の接合部の設計応力算出方法 ・鉄骨梁と CLT 床版の接合方法・設計手法開発 強度、剛性 ・CLT 床版同士の接合方法・設計手法開発 強度、剛性
CLT 以外 の要素 (ブレース等)	剛床	メリット： ・鉄骨梁固定・CLT 間の接合簡便化合理化 ・従来の水平ブレース等の設計簡便性 デメリット： ・追加の構造要素によるコストアップ ・水平ブレース等による建方工事制約、耐火被覆・仕上げ工事の障害 ・設備配管等の干渉	・剛床仮定成立条件の導出・設定（共通） ・剛床要素を合板等とした場合の鉄骨梁と合板の接合方法と設計法の開発 ・剛床要素を合板等とした場合の合板同士の接合・一体化方法と設計法の開発
CLT 以外 の要素 (ブレース等)	変形床	メリット： ・鉄骨梁固定・CLT 間の接合簡便化合理化 ・変形拘束技術の開発・コストダウン余地 デメリット： ・追加の構造要素によるコストアップ ・水平ブレース等による建方工事制約、耐火被覆・仕上げ工事の障害 ・設備配管等の干渉	・剛床仮定成立条件の導出・設定（共通） ・変形床としての剛性評価方法、鉄骨梁と合板等、合板同士の接合部の設計応力算出方法 ・鉄骨梁と合板の接合方法・設計手法開発 強度、剛性 ・合板同士の接合方法・設計手法開発 強度、剛性

(2) CLT 床版の建方スピードの向上・鉄骨梁への合理的な固定方法の考案

CLT 床版を鉄骨梁フランジに直接載せる方法や梁フランジに固定した鋼材プレート、梁ウェブに固定した鋼材プレートに数種類の固定方法ごとにメリット・デメリット、各固定方法による設計手法上の課題を表 3.8.4-2 に示す。

表 3.8.4-2 CLT 床版の鉄骨梁への固定方法等の整理

CLT 床版 支持部位	固定方法	メリット・デメリット	設計・施工上の課題・項目 ※ 床構面の変形拘束床の設計方法は除く
梁フランジ (直載)	ビス	メリット： ・コストの抑制 デメリット： ・ファブでの孔加工、作業所での固定作業	・ビス固定部の強度・剛性評価方法 ・CLT 床版の建方精度、ビス下孔位置管理方法
	ボルト＋ 接合金物	メリット： ・コストの抑制 デメリット： ・CLT への金物取付、フランジへの溶接等	・CLT 床版と接合金物の一体化方法、設計手法 ・鉄骨造梁と接合金物の一体化方法、設計手法 ・鉄骨梁と接合金物、CLT 床版の一体的な接合部としての強度、剛性の評価方法、設計手法
	コンク リート	メリット： ・鉄骨梁と CLT 床版の一体性確保 デメリット： ・作業所でのコンクリート工事の発生	・鉄骨梁フランジとコンクリート、CLT 床版の一体化方法と剛性や強度の評価方法と設計手法 ・コンクリートの打設方法、ノロ対策、木材面でのフレッシュコンクリート水分吸収対策 ・建方した CLT 床版の位置固定方法 等
梁フランジ 固定鋼材 PL	ビス	メリット： ・CLT 床版サイズの制限緩和 ・鉄骨梁フランジへの孔明け不要 デメリット： ・ファブでの孔加工、作業所での固定作業	・ビス固定部の強度・剛性評価方法 ・CLT 床版の建方精度、ビス下孔位置管理方法 ・梁フランジに固定された固定鋼材 PL での CLT 床版端部からの反力に対する設計
	ボルト＋ 接合金物	メリット： ・CLT 床版サイズの制限緩和 ・鉄骨梁フランジへの孔明け不要 デメリット： ・鋼材量、ファブでの加工量の増加	・CLT 床版と接合金物の一体化方法、設計手法 ・固定鋼材 PL と接合金物の一体化方法、設計手法 ・鉄骨梁と接合金物、CLT 床版の一体的な接合部としての強度、剛性の評価方法、設計手法
	コンク リート	メリット： ・鉄骨梁と CLT 床版の一体性確保 デメリット： ・鉄骨工作によるコスト増 ・作業所でのコンクリート工事の発生	・鉄骨梁フランジ等とコンクリート、CLT 床版の一体化方法と剛性や強度の評価方法と設計手法 ・コンクリートの打設方法・範囲、ノロ対策、木材面でのフレッシュコンクリート水分吸収対策 ・建方した CLT 床版の位置固定方法 等
梁ウェブ 固定鋼材 PL	ビス	メリット： ・CLT 床版サイズの制限緩和 ・鉄骨梁フランジへの孔明け不要 デメリット： ・ファブでの孔加工、作業所での固定作業	・ビス固定部の強度・剛性評価方法 ・CLT 床版の建方精度、ビス下孔位置管理方法 ・梁ウェブに固定された固定鋼材 PL での CLT 床版端部からの反力に対する設計
	ボルト＋ 接合金物	メリット： ・CLT 床版サイズの制限緩和 ・鉄骨梁フランジへの孔明け不要 デメリット： ・鋼材量、ファブでの加工量の増加	・CLT 床版と接合金物の一体化方法、設計手法 ・固定鋼材 PL と接合金物の一体化方法、設計手法 ・鉄骨梁と接合金物、CLT 床版の一体的な接合部としての強度、剛性の評価方法、設計手法
	コンク リート	メリット： ・鉄骨梁と CLT 床版の一体性確保 デメリット： ・鉄骨工作によるコスト増 ・作業所でのコンクリート工事の発生	・鉄骨梁フランジ等とコンクリート、CLT 床版の一体化方法と剛性や強度の評価方法と設計手法 ・コンクリートの打設方法・範囲、ノロ対策、木材面でのフレッシュコンクリート水分吸収対策 ・建方した CLT 床版の位置固定方法 等

3.9 まとめ

本章において、以下の内容の結果を得られた。

- 規格パネル寸法(幅 1.0m×長さ 6.0m、幅 2.0m×長さ 6.0m)を用いた CLT 床システムの「(仮称)鉄骨造の床に CLT の規格パネルを用いる設計・施工ガイドブック」を作成した。
- 合成スラブと CLT 床システムのそれぞれの資材製造時の CO2 排出量の概算値を比較した結果、試算単体全体では CLT 床システムは合成スラブよりも CO2 排出量が低くなった。
- 合成スラブと CLT 床システムのそれぞれをコスト試算し比較した結果、CLT 床システムは合成スラブよりも多少コストが高くなったが、上記の結果より、CLT 床システムの方が CO2 の排出量が低く、また、長期に渡り炭素固定をすることができる結果となっている。このことは、継続的に日本の森林資源を活用していくことを可能にするシステムと捉えることができ、社会、環境に配慮したシステムとして位置付けられる。
- 鉄骨造の床構面に CLT を用いる場合の合理化案を鉄骨造梁と CLT 床の固定・接合部ディテールや実用化・実装に向けた課題などを整理し提案をした。

第4章 鉄骨造建築物に規格化された CLT パネルを利用したプロトタイプ開発検討

4.1 開発背景

全国の都市の再開発等に伴い、CLT をはじめとする木材の建築物への利用の関心が高くなっており、企画支援等の相談窓口では、中層の鉄骨造建築物の制振壁としての CLT パネル利用の問合せが多数寄せられている。4 階以上の建築物は耐火建築物となり、CLT パネルを構造材として利用するには、現状石膏ボード等による耐火被覆が必要になり、木部の現わしなど CLT のメリットが発揮できていない。

今後の需要の見通し等から、CLT の特徴を生かし、規格化された CLT パネルを利用した建築物について具体的に検討し、設計者の指標となる設計資料を作成する。また、中層の鉄骨造ビルや公共建築を建設しているような地方のゼネコンや地場のビルダー・工務店は、木材に不慣れなことも多いため、これまでの設計・施工方法に導入しやすいプランを目指す。

4.2 設計と条件

4.2.1 構造・構法

事業目的を受け、鉄骨造の建物を前提とした。

4.2.2 敷地

中層鉄骨造が建設されることが多い敷地として、地方都市内の中心市街地の狭小地を想定した。用途地域は商業地域で、防火については防火地域を前提とした。表 4.2-1 に概要を示す。

表 4.2-1 敷地の概要

敷地面積	124.80	m ²
用途地域	商業地域	
防火準防火地域	防火地域	
都市計画区域	市街化区域	
容積率(敷地基準)	800	%
建ぺい率(敷地基準)	80	%
道路幅員	50	m
接道長さ	7.80	m

4.2.3 建物用途及び規模

1 階 店舗、2 階～事務所の複合用途とした。

4.2.4 防耐火

地方でも駅前など 5 階建てが建っている敷地は準防火・防火地域になっていることが多いため、今般の提案は耐火建築物とした(表 4.2-2 参照)。

表 4.2-2 5階建て重量鉄骨造の事務所(床・屋根、耐震壁に CLT を使用する場合)

防火地域規制	規模	耐火要件			内装制限	縦穴区画	タイプ
		防耐火建築物	床/屋根	耐震壁			
防火地域 準防火地域	500㎡以下	耐火建築物	耐火構造	-	なし	あり	1
	500㎡超			-	あり		2
法22条区域 無指定	500㎡以下	その他(令70条柱被覆)	-	-	なし	なし	3
	1000㎡以下	その他(令70条柱被覆)	-(内装制限)	-			4
	1000㎡超	①その他(令70条柱被覆) + 防火壁 ②準耐火建築物 (イ準耐)	①-(内装制限) ②準耐火構造	-	あり	①なし ②あり	5

4.2.4.1 耐火建築物の耐火被覆

耐火建築物とする場合は、1F の柱・梁には 2 時間耐火が求められ、2F～5F の床には 1 時間耐火が求められる。したがって、天井面の CLT にはボードを張る必要があり、CLT は現しにできない。

このような耐火被覆をした場合、2 時間耐火の柱・梁の上に 1 時間耐火の燃える床(2F) が置かれることになる。法律上は 1 時間耐火で問題ないが、2 時間耐火の鉄骨は、温度が 500℃にならないように被覆の厚みを決めているので、鉄骨の下で 2 時間火事になったときに鉄骨の温度が 500℃に近くなり、これに CLT が接触していると、1～2 時間の耐火被覆をしても、CLT が耐火被覆の中で燃え始めてしまう。そこで、先行しているゼネコンはどれくらいの耐火被覆が必要かを実験で確かめ、「兵庫県林業会館」のようにプラス 1 時間の耐火被覆として例もある。CLT が厚くなると 1 時間以降も燃えるので、上の梁は 1 時間以上加熱されることになり、梁の耐火被覆が足りなくなることもある。このような事情から、(一社)日本木造住宅産業協会のマニュアル等では、床の天井面は 2 時間耐火として点線で石膏ボードの 3 枚目(2 時間耐火)が描かれている。

しかし、2023 年 3 月に告示が変更になり、耐火被覆は 90 分で良くなった。木造の耐火被覆は木材の温度が 260℃にならないようにしているため、鉄骨の温度も 260℃までしか到達しない。

そこで、プロタイプでは、90 分耐火の木造の耐火被覆を選択し、それを梁下に廻す方法を採用することとした。このようなディティールでは、メンブレンがつながり鉄骨の温度も上がらないため、鉄骨造での CLT 利用の耐火について懸念されることが少なくなる。告示の条文は、「下地を木材または鉄材で作る」という文言から始まるので、鉄骨造の耐火被覆にもなり得る。ただし、鉄骨造用の耐火被覆は各メーカーともに、90 分耐火のときは 2 時間を使うことを考えている。告示では先行して木造用の 90 分耐火が出ているため、プロタイプでは 90 分耐火を採用し、天井面に強化石膏ボードを 3 枚張ることとした(図 4.2-1 参照)。

床上については1時間耐火であるので、床上の石膏ボード(21mm2 枚=42mm)を壁まで通すこととした。梁上もメンブレンが切れないよう 21mm2 枚=42mm とした。

ただし、通常は床が梁の上に乗っているため梁の上面に被覆は必要ないが、プロタイプでは、床を梁間に落としているので、床上の石膏ボード(42mm)が梁の上にかかる部分については、建築確認で梁の被覆

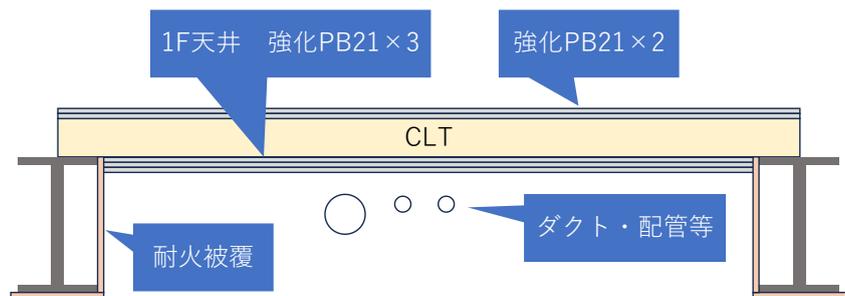


図 4.2-1 耐火被覆の概念図

(46mm)にすべきと言われる可能性がある。そこで、プロトタイプでは、42mmとして設計し、指導があった場合に46mmにすることとした(表 4.2-3)。

表 4.2-3 耐火被覆の仕様 (被覆厚さ)

場所	60分耐火	90分耐火
床の上面	42mm (21mm+21mm)	42mm (21mm+21mm)
床の下面、梁周り	46mm (21mm+25mm)	63mm (21mm+21mm+21mm)

4.2.4.2 内装制限について

3階建て以上で500m²を超えると内層制限がかかるが、H12告示1439号で「居室であれば天井を準不燃材料にすれば壁は木材でも良い」との規定があるので、CLTの現しとできる。ただし、現しのCLT耐震壁が1時間加熱された後に燃え続けて、1時間耐火の鉄骨梁をあぶってしまうことが問題になるので、CLTの厚さは150mm厚や210mm厚よりも120mm厚が良いと考えられる。構造設計で階数毎のCLT耐震壁の厚さを決めれば、それに応じて、柱・梁の耐火被覆をどこまで上げなければならないかが決まってくると言える。

H12告示1439号
建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）第129条第1項第一号ロ及び同条第4項第二号の規定に基づき、難燃材料でした内装の仕上げに準ずる仕上げを次のように定める。 第1 建築基準法施行令第129条第1項第一号ロ及び同条第4項第二号に規定する難燃材料でした内装の仕上げに準ずる材料の組合せは、次に定めるものとする。 一 天井（天井のない場合においては、屋根）の室内に面する部分（回り縁、窓台その他これらに類する部分を除く。）の仕上げにあつては、準不燃材料ですること。 二 壁の室内に面する部分（回り縁、窓台その他これらに類する部分を除く。）の仕上げにあつては、木材、合板、構造用パネル、パーティクルボード若しくは繊維板（これらの表面に不燃性を有する壁張り下地用のパテを下塗りする等防火上支障がないように措置した上で壁紙を張ったものを含む。以下「木材等」という。）又は木材等及び難燃材料ですること。

4.2.4.3 特定建築物について

プロトタイプは耐火建築物にするため、法27条の特定用途にすることができ、5階までを店舗にすることができる。

4.2.4.4 接合部の耐火被覆

接合部から入熱しても接合部が現しになっていなければ大きな問題にはならないが、実験で安全性を確かめる必要がある。

4.2.4.5 延焼線の影響について

狭小敷地の5階建ての場合、両側が延焼線にかかってくるので、両側の外壁は、カーテンウォールのような非耐力壁であったとしても1時間耐火が必要になる。

4.2.4.6 避難階段について

6階以上になると直通階段が2つ必要になるが、プロトタイプは狭小地を前提としているため1階段とする。ただし、5階建てにおける1階段に法律上の問題は無いが、大阪での火災を受け、プロトタイプでは2方向避難を検討した。階段に逃げられないときの避難措置として、前面道路側に避難器具を設置することとする。

4.2.5 標準化・規格化 CLT パネルの床への適用

(1) 床に適用することの意義

今般のプロトタイプでは、壁で標準化・規格化された CLT パネルを使う技術開発を主眼としていたが、プロトタイプ設計では、床においても CLT パネルと使うこととする。

その理由は、壁のみでは、ビル一棟としての適用箇所(適用面積)がそれほど多くなく、CLT パネルを多く使うという目標に照らせば、床にも CLT を使っていくことが望ましいからである。床に適用すれば、床面積に相当する CLT パネルを使うことになる。CLT 協会に寄せられている要望を見ると、小規模事業者が CLT をなんとか使いたいと考えており、大きな予算がないプロジェクトでも木材使用の希望は高いと言える。

今般の敷地条件のように建築面積が小さく、相対的に EV や階段スペースの割合が大きくなる条件では、床に、標準化・規格化された CLT パネルを使うことのメリットは得られにくい。壁と床で CLT パネルを用いるプロトタイプとすることで、その積算結果から、それぞれの材積・コストを明示でき、設計者が壁と床のどちらで CLT を使うかを判断するための有用な情報を与えることができると考えられる。

(2) 床の遮音性能

プロトタイプでは 2F~5F をオフィス用途とした。オフィスでは遮音性能がそれほど重視されないが、遮音措置無しでは成立しない。そこで、遮音措置として乾式二重床を採用し、遮音のためにシンダーコンクリートを打つことはしないものとする。具体的には表 4.2-4 に示す性能を満たすものとした。

表 4.2-4 床の目標遮音性能

重量床衝撃音遮断性能	軽量床衝撃音遮断性能	室間音圧レベル差
LH-60	LL-60	D-40

4.2.6 バリアフリー設計

1 階を飲食店舗にするので、バリアフリー化が必要である。そこで、国土交通省のバリアフリー要求仕様を満たすこととした。

4.3 プロトタイプI 標準設計案

4.3.1 意匠

表 4.3-1 に概要を示す。各階 100m² 以下とし、延べ面積は 500m² 以下に抑えることとした。このため、内装制限がかからず、CLT の現し壁を実現できる。

表 4.3-1 建築計画の概要

主要用途	事務所・店舗		
延床面積		491.45	m ²
建築面積		95.91	m ²
容積率		393.8	%
建ぺい率		76.9	%
建物構造	鉄骨造（鉄骨+CLT）		
階数	地上5階／PH1階／地下なし		
最高高さ（PH含む高さ）		17.6(19.90)	m
最高軒高		16.90	m
耐火建築物	耐火建築物		

4.3.1.1 プラン・立面・断面・詳細図・パース

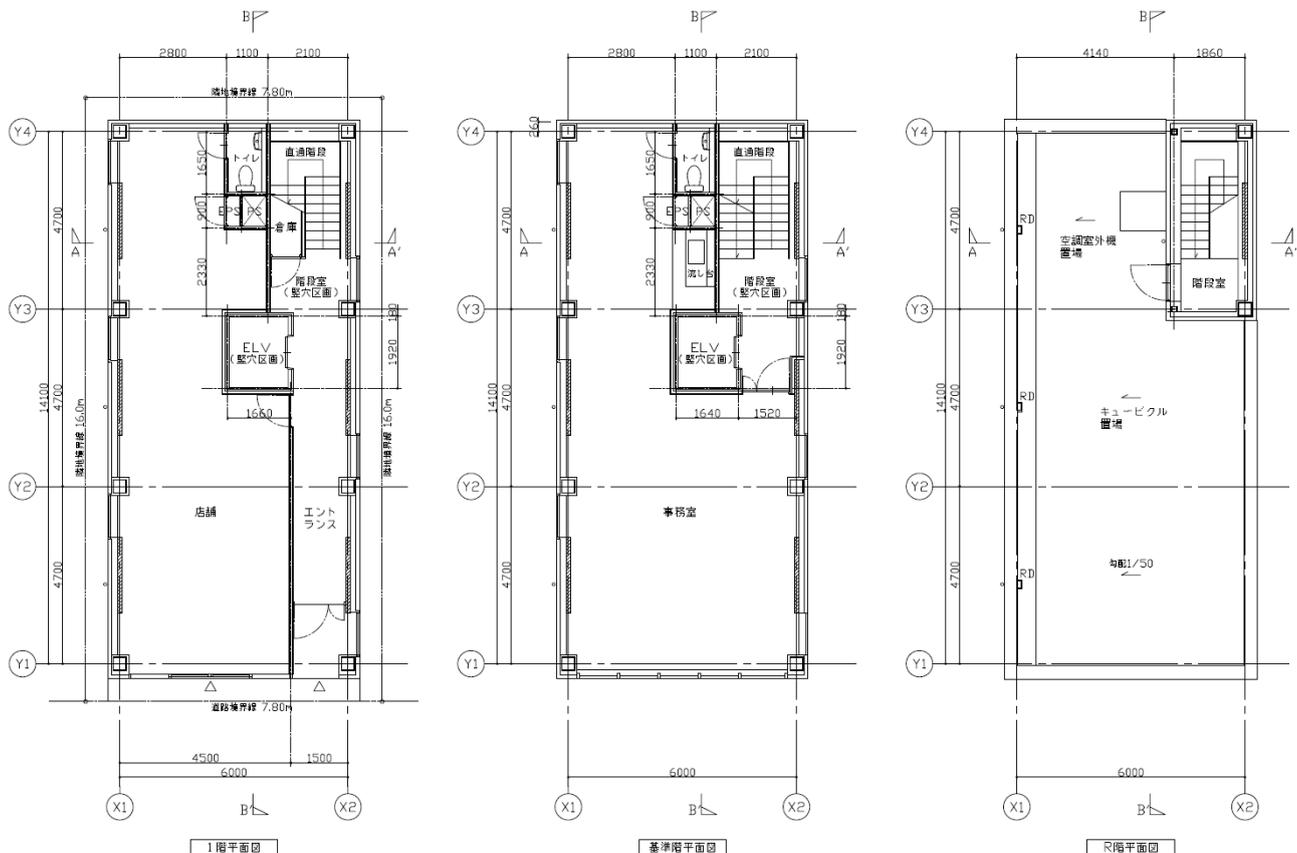


図 4.3-1 平面図

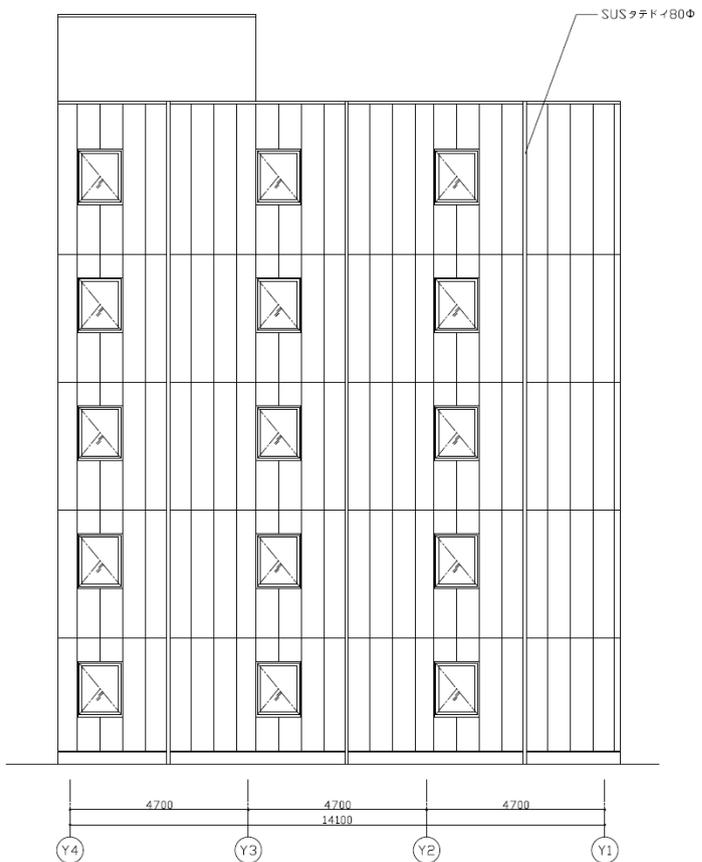
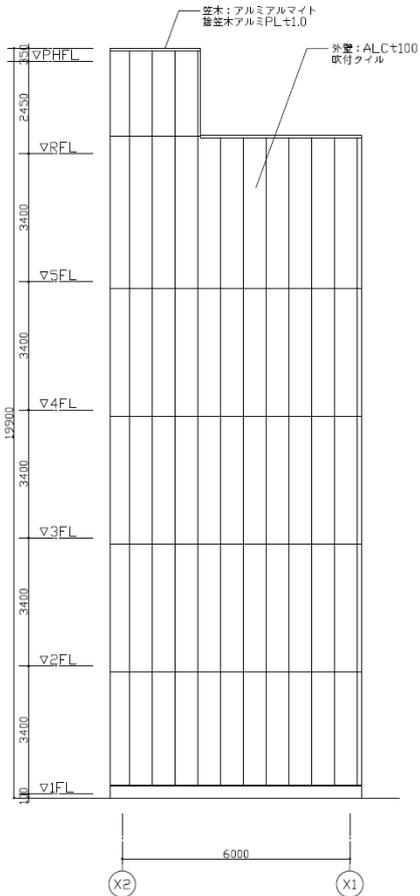
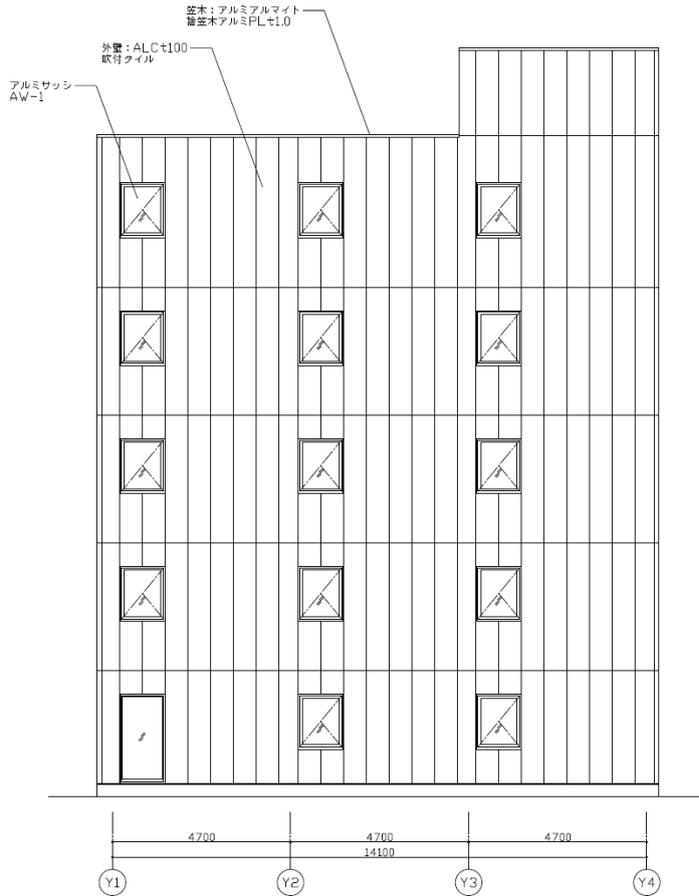
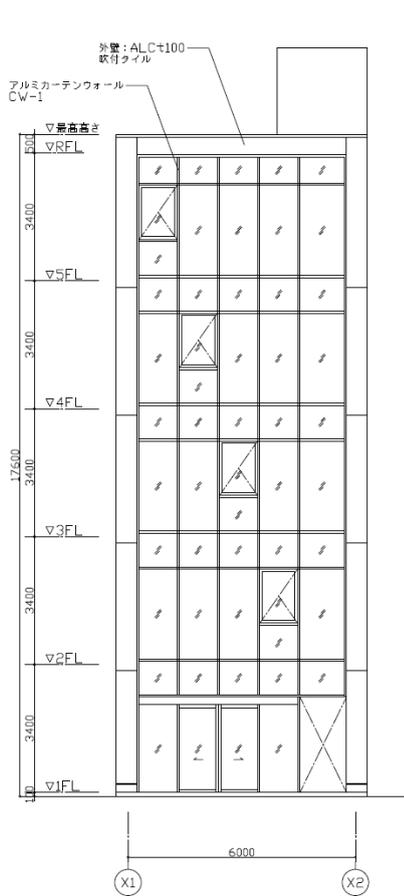


图 4.3-2 立面图

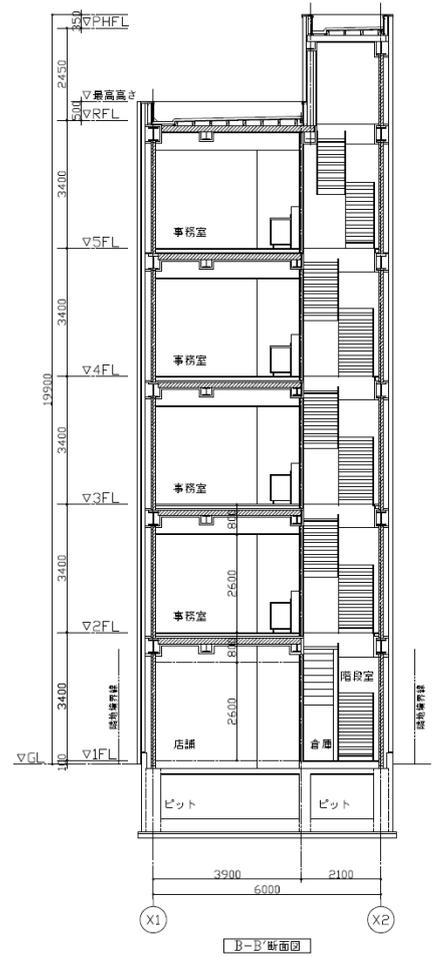
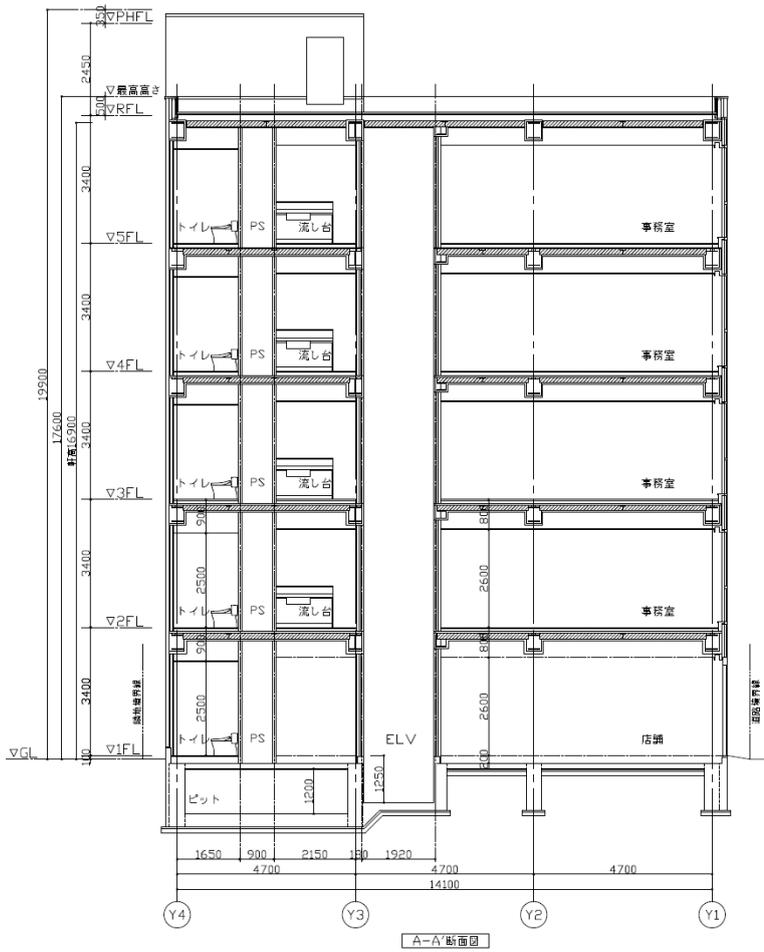


図 4.3-3 断面図

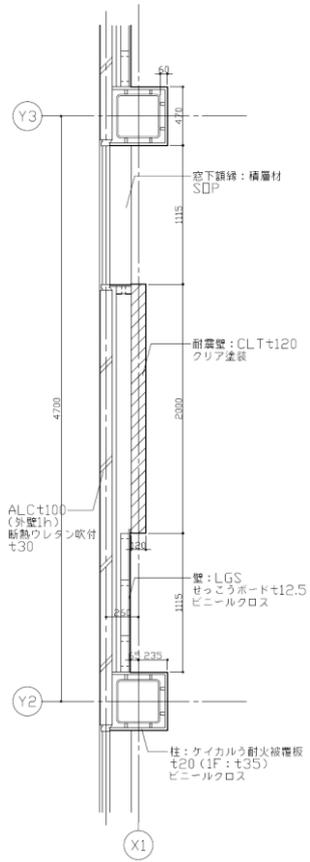


図 4.3-4 平面詳細図

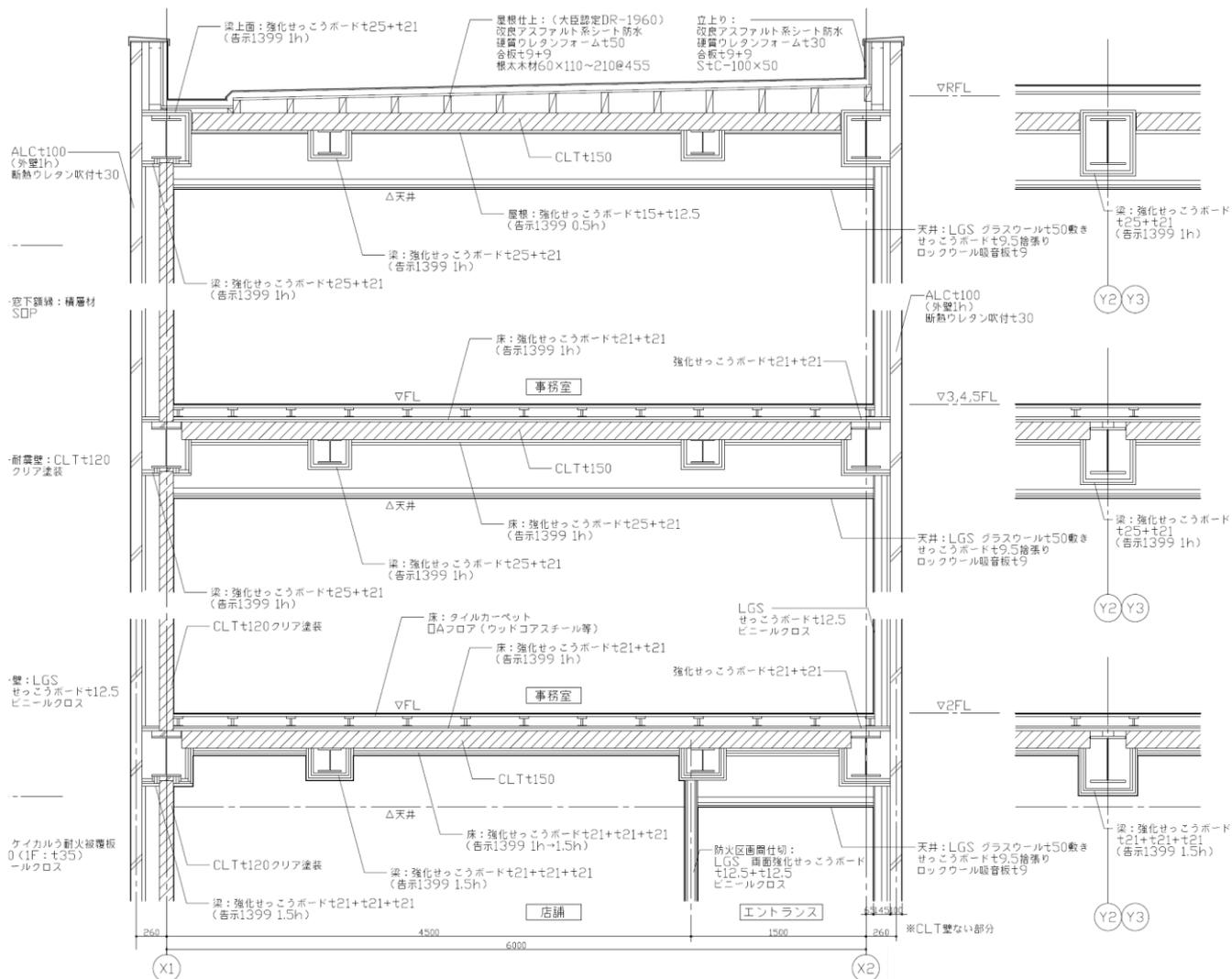


図 4.3-5 断面詳細図



図 4.3-6 パース

4.3.1.2 耐火被覆

(1) CLT 壁パネルの耐火被覆

1階が耐火2時間、2階以上は耐火1時間の耐火建築物を想定し、柱・梁、床は強化石膏ボードで耐火被覆することとした。

(2) CLT 床パネルの耐火被覆

耐火建築物とする必要があるため、CLT 床パネルを現しでは使用できない。図 4.3-7～8 は耐火被覆部分の矩計図である。床 CLT パネルが耐火被覆でおおわれてしまうので、CLT 建築らしさは出せないが、現しでないので CLT パネルの調達・施工が容易になるという長所がある。

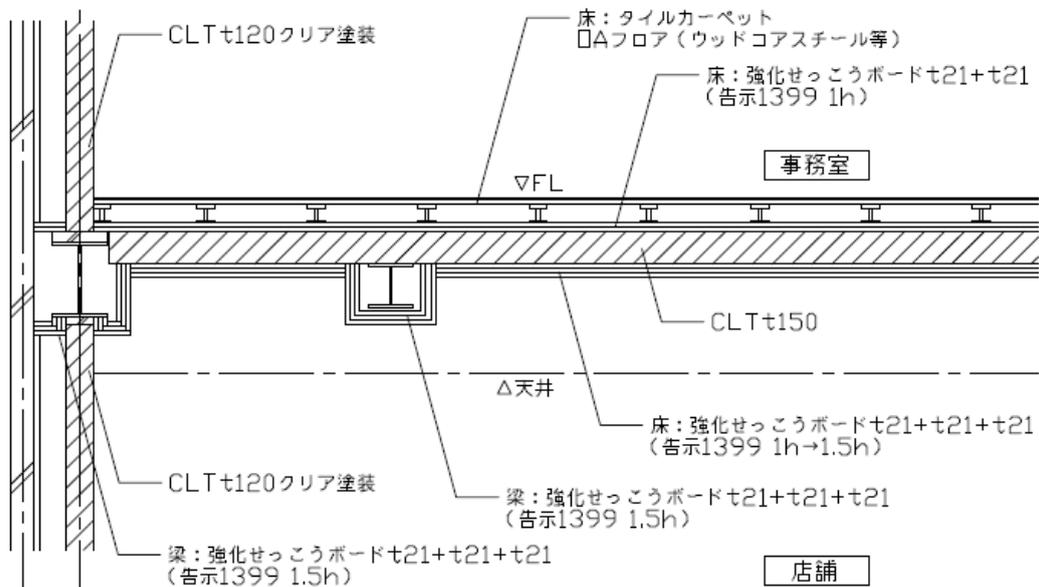


図 4.3-7 1F 天井の耐火被覆

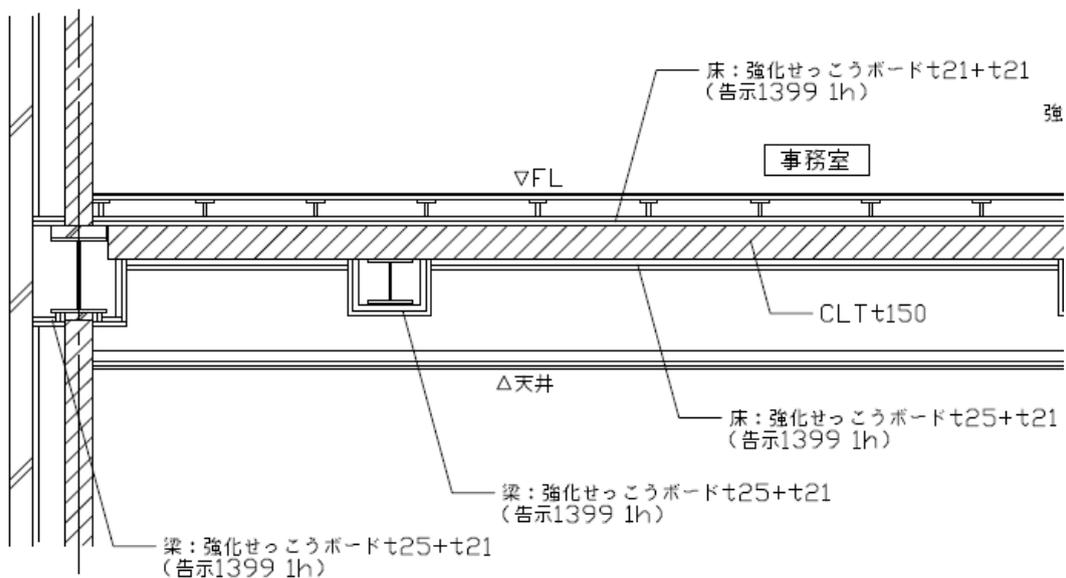


図 4.3-8 2F～4F 天井の耐火被覆

4.3.2 構造

4.3.2.1 構造コンセプト

規格化された CLT パネルを耐力壁として用いることで、CLT の材積を増やすことを考えた。

間口面(道路側)のファサードと室内からの眺望を考慮し X 方向は鉄骨ラーメンとし、CLT 耐力壁の適用は Y 方向のみとした。また、梁-梁間の内法寸法をなるべく一致させ、同じサイズの CLT 床パネルが多く使用できるよう、考慮した。

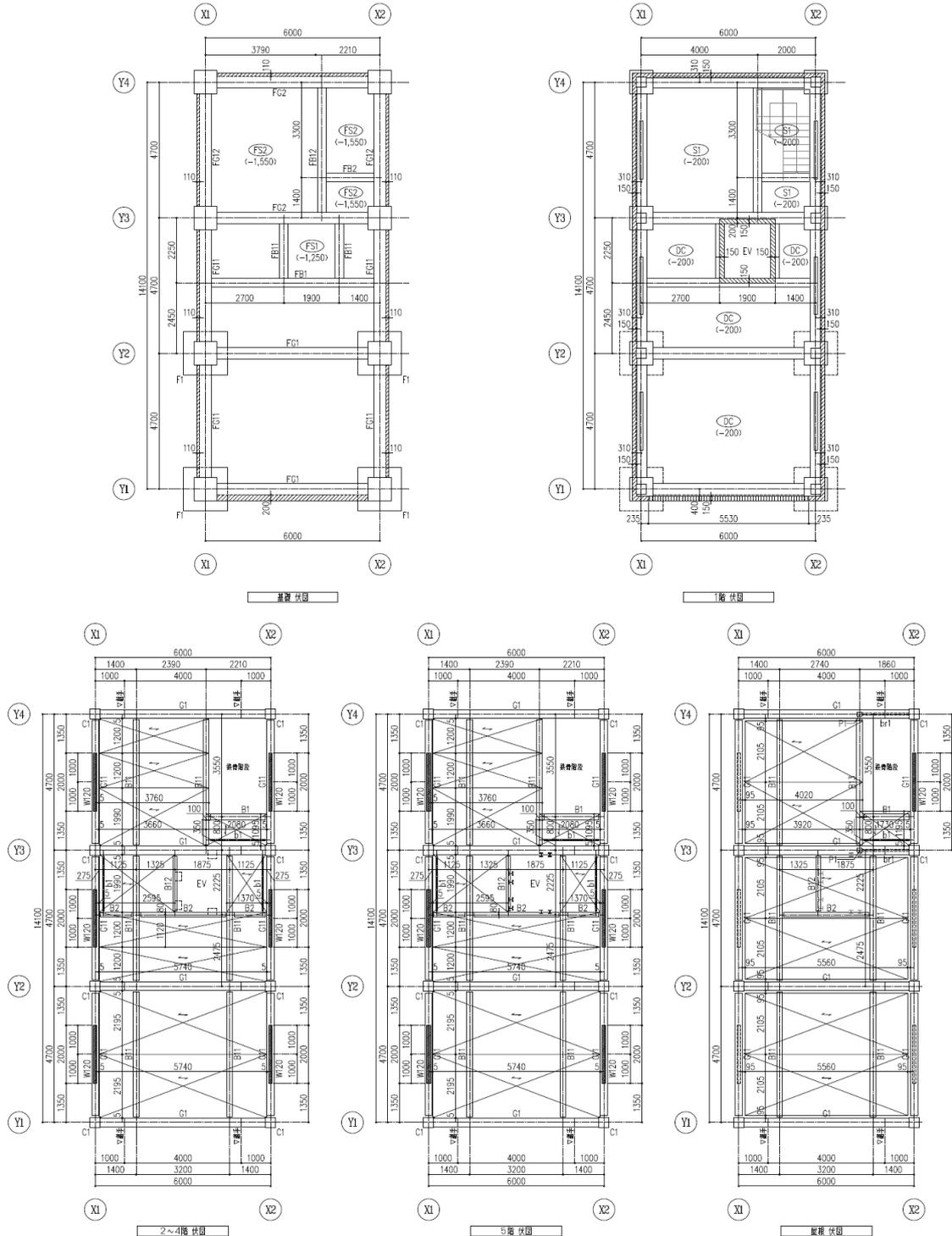


図 4.3-9 基礎～5F 伏図（基礎及び屋根：見下げ図、その他：見上げ図）

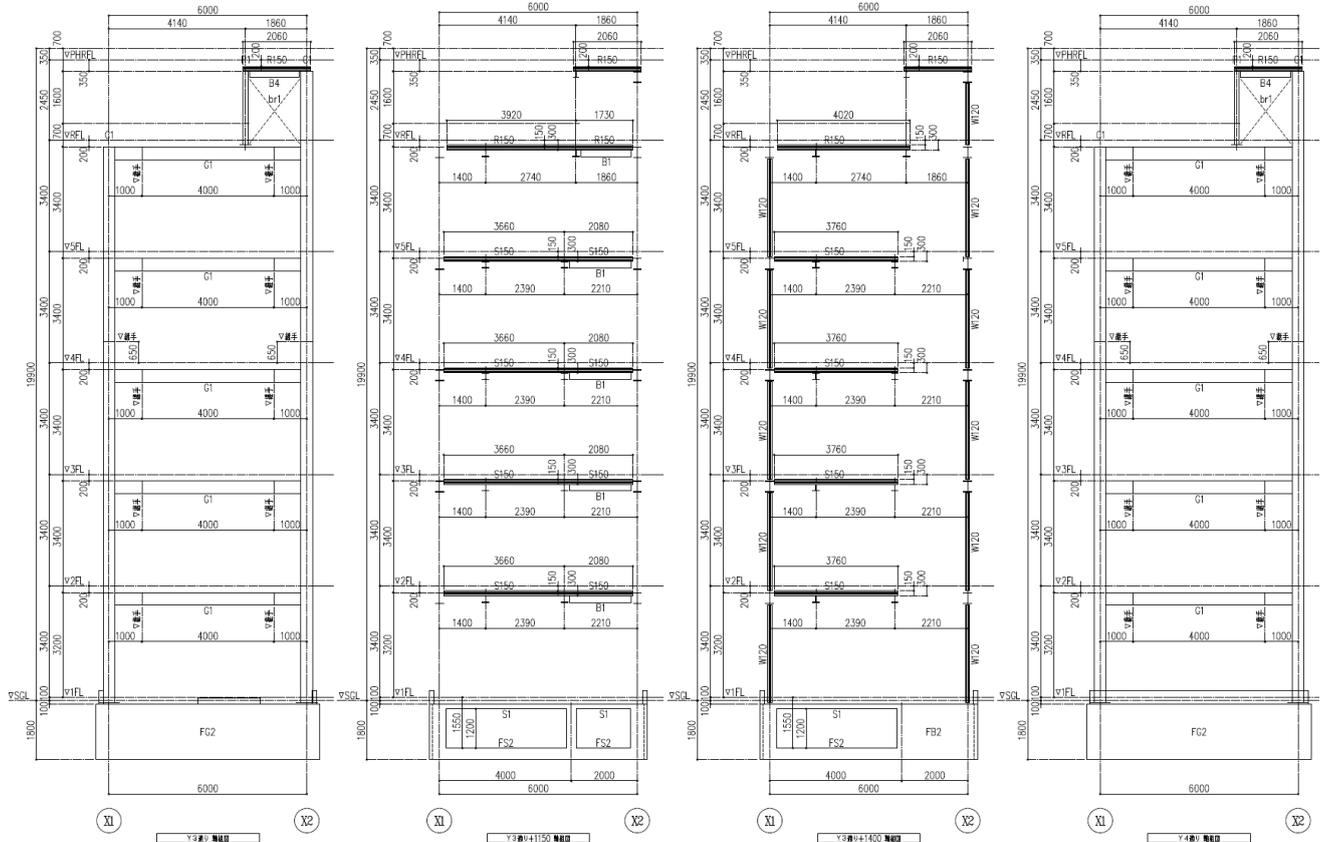
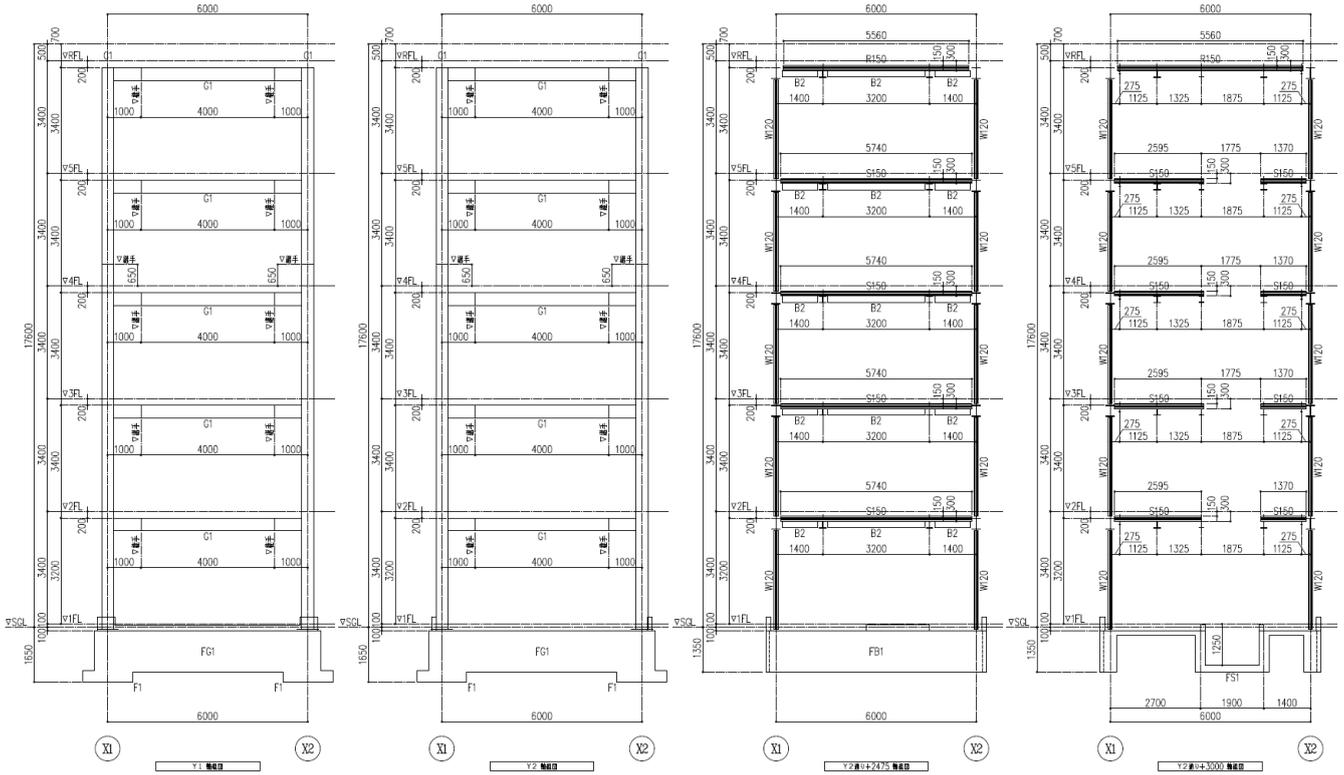


图 4.3-10 Y 通り軸組図

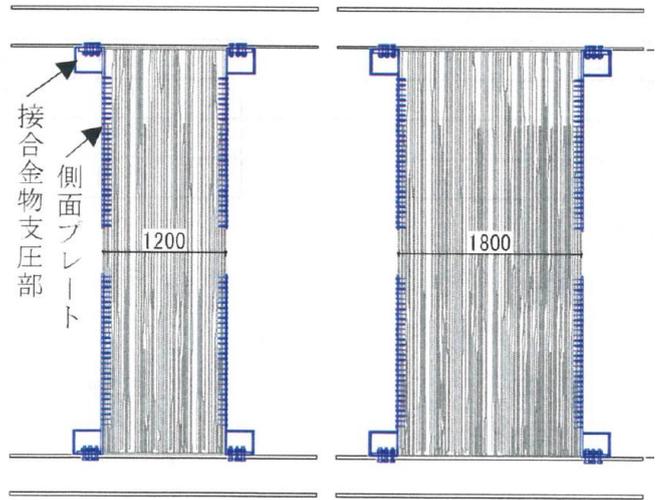
4.3.2.2 CLT 壁

壁は、ALC のように耐風圧のみを負担するという考え方と水平力を負担させる考え方がある。

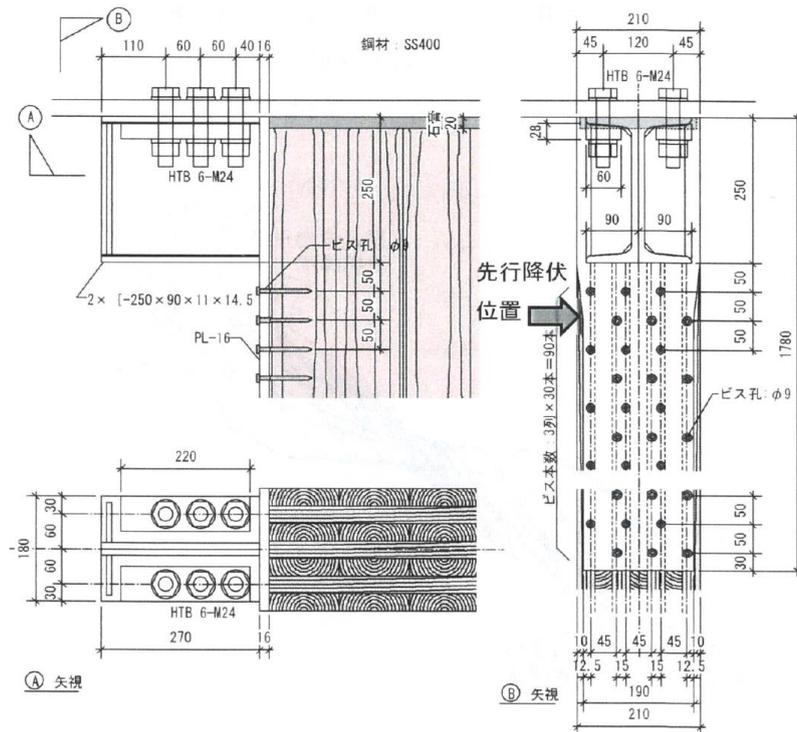
前者は、水平力に対してロッキングさせ面外方向の力(例えば風圧力)のみに効く壁という解で容易に現しにできる。後者は、耐震・制振要素として効かせる方法で構法的に重要な要素になる。

今回は、CLT 壁の機能面での望ましい使い方として、耐震壁として用いることとした。CLT 壁は鉛直力を負担させずに水平力だけに抵抗する事で現しのできるの

で、CLT 壁に鉛直力を流さない架構とする必要がある。接合方法は色々考えられるが、プロトタイプでは、支圧でせん断力を伝達する方法¹⁾を用いることとした。主として支圧による圧縮ストラットによる応力伝達と CLT パネル工法と同様のロッキング等による応力伝達によって水平力に抵抗するメカニズムである。実験等で有効性が確認されている手法(図 4.3-12 参照)であるが、利用には特許等について注意が必要である。図 4.3-13 にプロトタイプの接合部を示す。文献とは異なり、梁側プレートと CLT プレートに働く曲げ応力は、三角形形状のパネルで担っている。



試験体全体図 (立面)



接合部詳細

図 4.3-12 支圧でせん断力を伝達する方法

参考文献

1) CLT を耐震壁とした中層鉄骨建物の開発その2 実大耐震壁水平加力実験 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸) 2019年9月

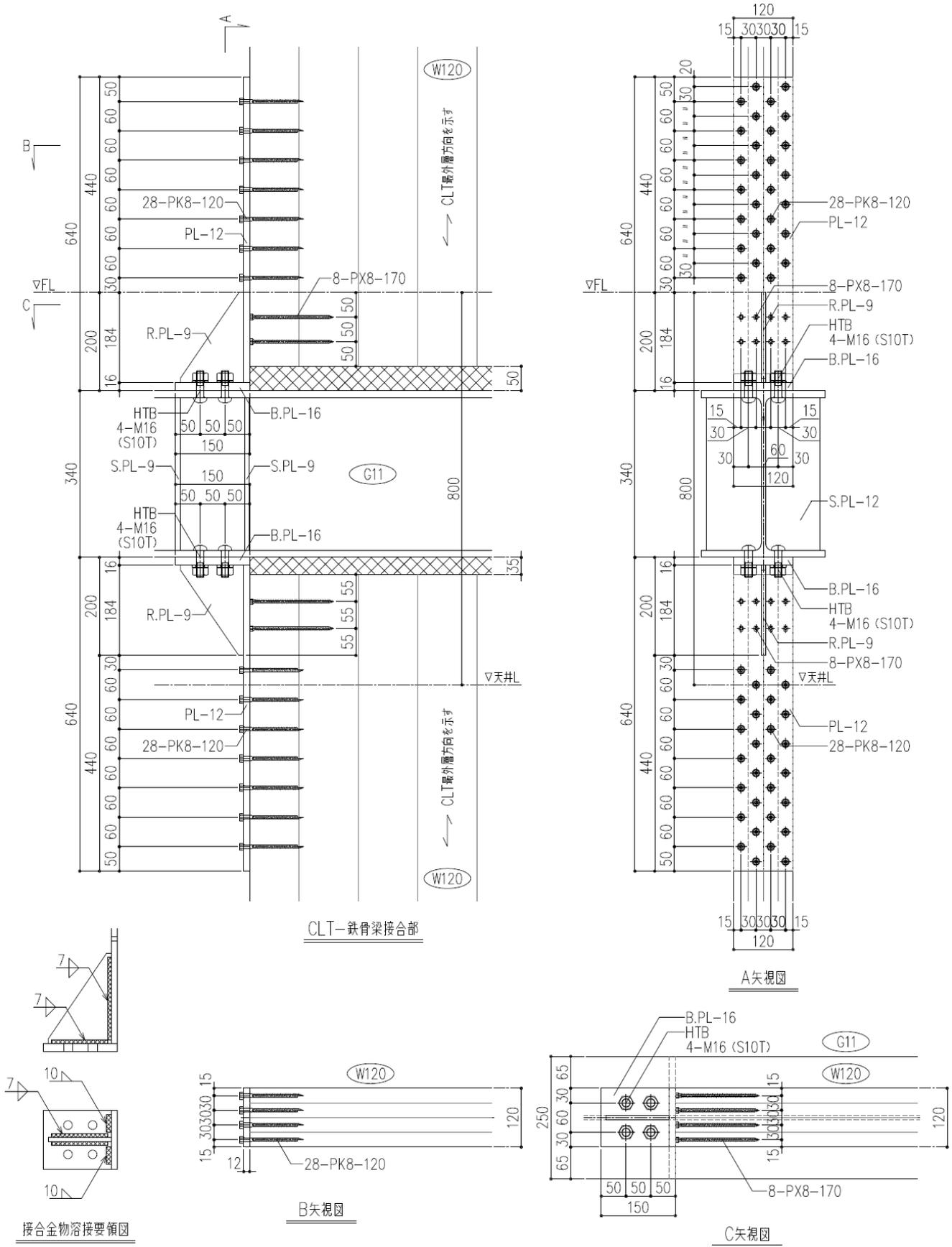


図 4.3-13 CLT 壁の接合方法

4.3.2.3 CLT床

床にも CLT を用いるが、ALC のように置くだけとしてブレースで水平構面を構成する方法と、せん断剛性を持たせる方法があり、いずれにも事例がある。前者は限りなく既存の ALC 的な適用方法であり、後者は CLT 床パネルらしい適用方法とすることができる。耐火被覆の納まりや特許との関連があり、どちらを採用すべきかの検討を行った。表 4.3-2 に示すように、一長一短があり、求められる機能によって、いずれも解になりうると予想された。

そこで今回のプロトタイプでは、最初の取り組みとして CLT ならでは適用方法を優先し、水平構面を構成するタイプを採用することとした。したがって、個別案件における適否を明確にするには、両者について詳細設計を行い、双方のコストを算出し、要求条件に応じた解を整理していく必要がある。

表 4.3-2 CLT 床の機能

内容	想定される長所	想定される短所
鉛直力のみ負担	梁にせん断力を伝える必要がないため、構造設計で CLT のせん断剛性を考える必要がない。 CLT と梁の接合部が簡略化できる。	ブレースで水平構面を構成するので、CLT 床の耐火被覆とブレース設置の納まりや施工手順が複雑になる。
水平構面を構成	CLT 床パネルでせん断力を担うのでブレースが必要なく、シンプルな構成にできる。 ブレースが無いので、耐火被覆の納まりをシンプルにできる。 準耐火建築物で天井現しにした場合にブレースが見えない。	CLT 床パネルから梁に水平力を伝達させる必要があるため、強固な接合部が必要になる。

(1) CLT 床パネルの設置位置

ALC 床では、大梁の上に ALC を載せる方法をとるが、CLT 床を鉄骨梁上に配置する場合と、鉄骨大梁内に落とし込みとする場合がある。それぞれにメリット、デメリットがある(表 4.3-3 参照)。

表 4.3-3 床パネルの設置位置の比較

内容	メリット	デメリット (注意点)
CLT 床を鉄骨梁上に配置する場合	①様々な接合が提案されているが、先孔不要のビス留めとすれば施工が容易である。 スタッドボルト+接着剤は、CLT 床は大判であるので、位置の微調整に時間を要する事と、接着剤の管理が大変なため、高い面内剛性が必要な場合以外は推奨できない。	①階高が大きくなる。 ②鉄骨建て方と同時に CLT 床の施工が必要。 ③CLT 耐震壁と干渉しないように、CLT 耐震壁際に受け材が必要となる。 ④水回りをデッキコンとする場合、その境目の梁上の納まりは難しく、どちらかが受け材納まりとなる。 ⑤継手部、柱周りには CLT 床に切り欠きが必要となる。特に、前者は CLT 下端の加工となるので、現場加工は難しく、鉄骨施工図との十分なすり合わせが必要となる。 ⑥H 鋼の外側まで CLT パネルを伸ばさないといけないので、CLT パネルが大きくなる。
鉄骨大梁内に落とし込みとする場合	①階高が抑えられる。 ②落とし込みとなるので、CLT 耐震壁との干渉はないが、鉄骨梁と CLT 床との接合に工夫が必要となる。 ③鉄骨建て方後の施工も可能であるが、受け材又は小梁は CLT 床と同時に施工する必要がある。 ④ビス留めが主流で、施工は容易である。 ⑤加工は柱周りの欠き込みのみ注意。	①バルコニー等、CLT 床をそのまま跳ね出す事は出来ない。 ②施工のため、CLT 床パネルと鉄骨梁との間に隙間が必要となる。 遮音の問題はあるか?問題がある場合は、埋める必要がある。 ③床を受ける為の小梁や受け材が必要となる。

プロトタイプでは、階高が抑えられることや、CLT 耐震壁との取り合いを考慮し、鉄骨大梁内に落とし込みとすることとした。

(2) 床の設置の方法

大梁間に落とし込む場合、大梁に受け材を設けて CLT パネルを接合すると、特許等に抵触する可能性が高いため、プロトタイプでは、CLT を小梁 2 点支持の跳ね出しにして大梁間に落とす方法を採用した。大梁と CLT パネルの接合部では鉛直荷重は担わず、せん断力の伝達と CLT 跳ね上がりの防止の役割を担うことにした(図 4.3-14～15)。

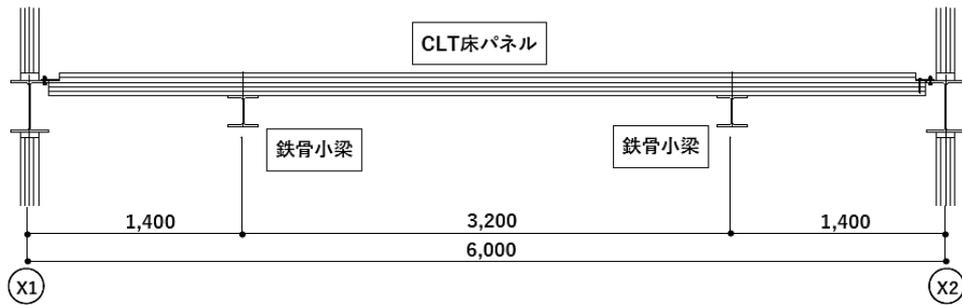


図 4.3-14 CLT 床パネル設置概略図 (断面)

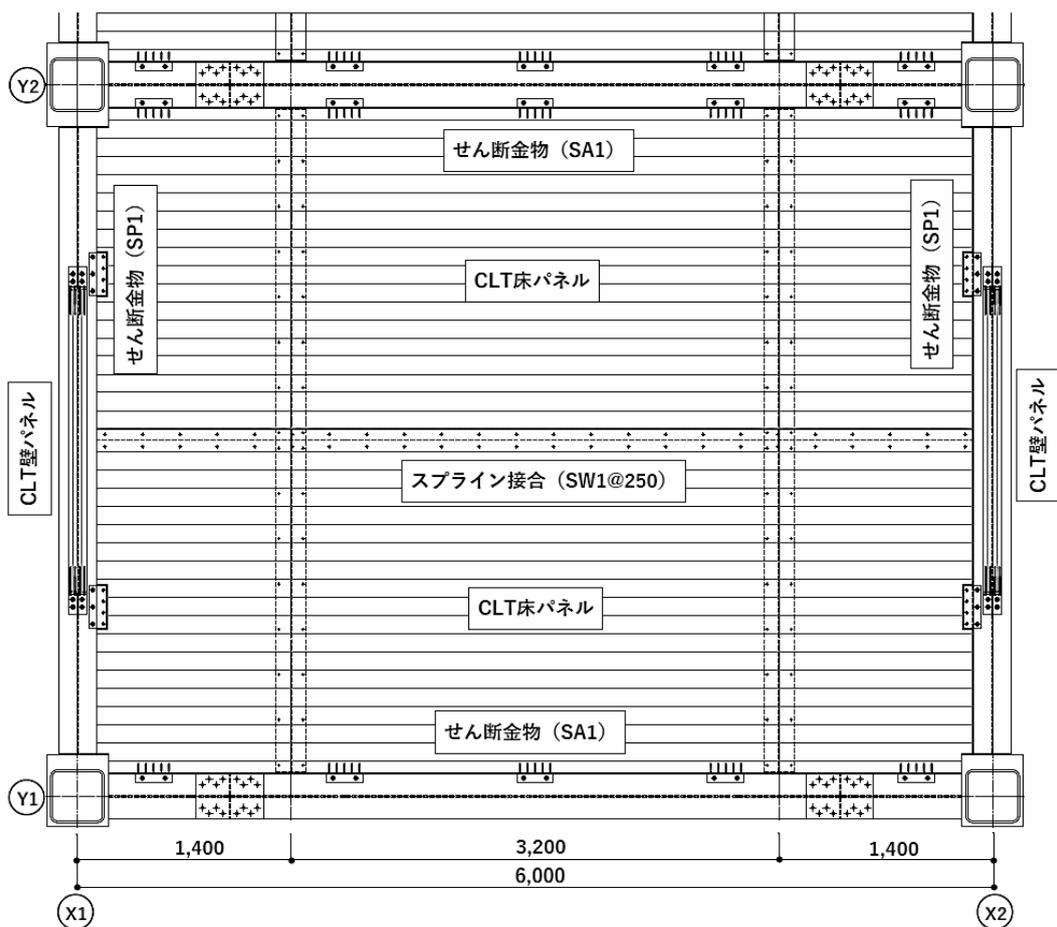


図 4.3-15 CLT 床パネル設置概略図 (平面)

1) CLT 床パネルの水平剛性を生かす接合部

小梁を流してその上に CLT を載せ、鉄骨からピースを出してビス打ちしている。デッキプレートと同様に、床の荷重×Ci (CLT の慣性力分だけ伝達できる) 分だけビスがあれば良いという考え方で、600 ピッチ程度となった。乾式なので、ビスと高力ボルトでプレートを介して留めることとし、端部に小梁は入れずに片持ちで持たせている。梁の中心に CLT の壁を配置したので、水平力だけを伝えるのに壁が振じれないように横補剛的なものを取り付け、端部は上からビスを打つこととした (図 4.3-16~19)。

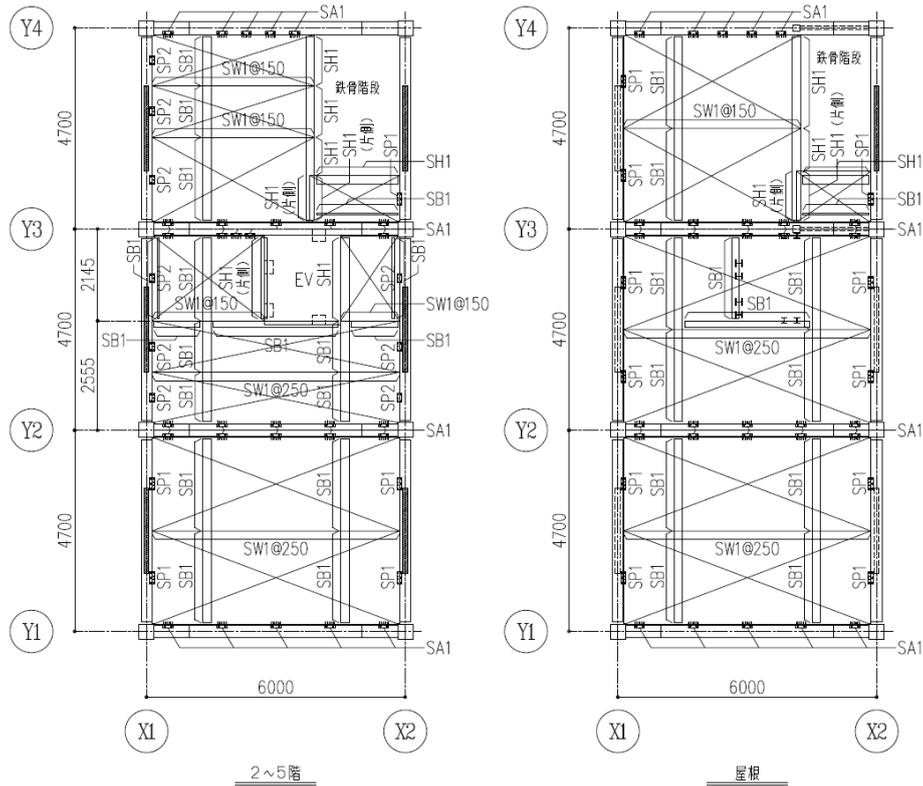


図 4.3-16 CLT 床パネル接合金物 (SA1、SP1、SP2) の配置

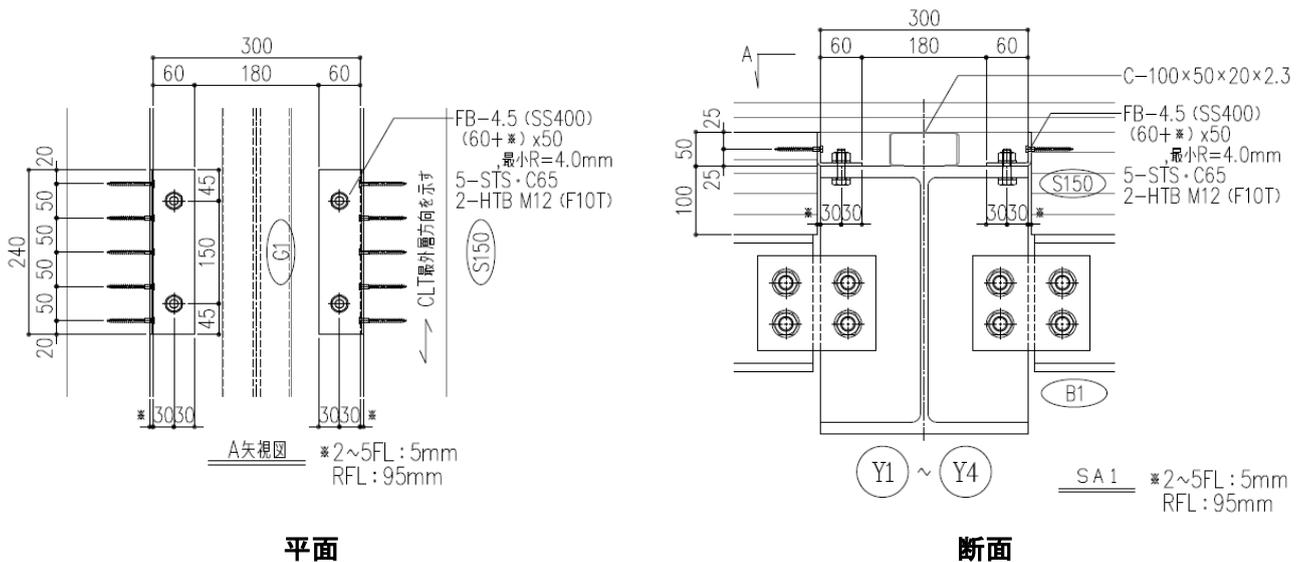


図 4.3-17 CLT 床パネル接合部 (SA1) のディテール

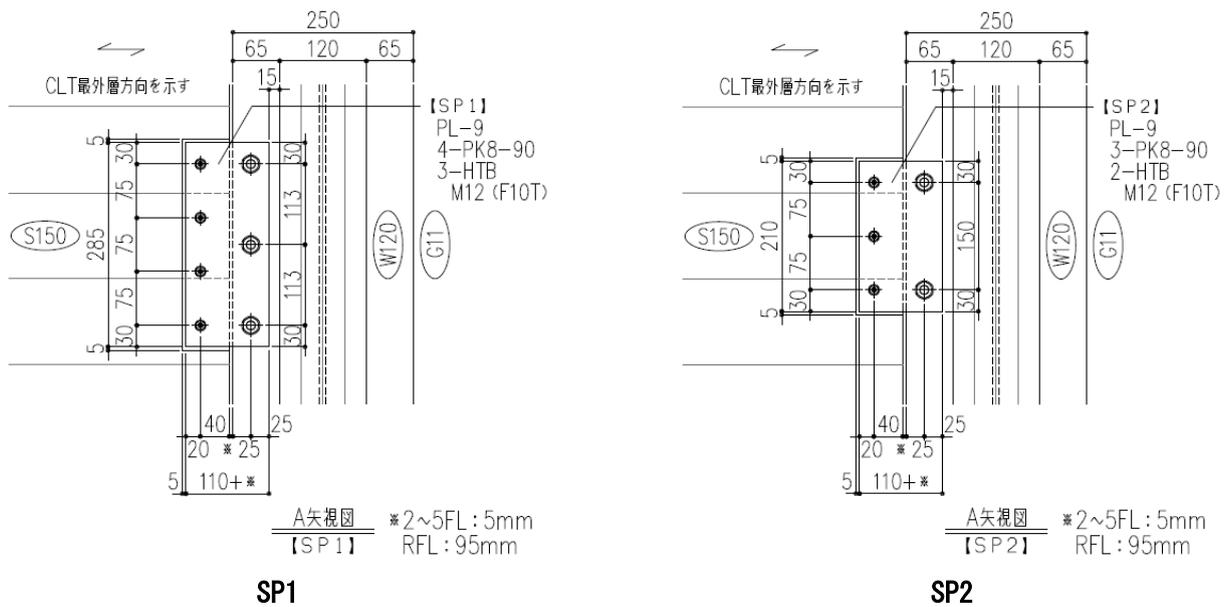


図 4.3-18 CLT 床パネル接合部 (SP1、SP2) のディテール (平面)

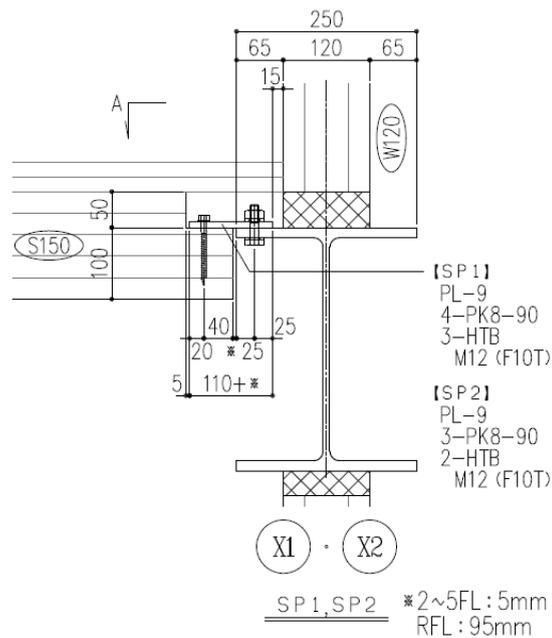


図 4.3-19 CLT 床パネル接合部 (SP1、SP2) のディテール (断面)

図 4.3-18 では、端部の CLT 上部を、プレートの形に箱抜き加工するようになっているが、手加工が必要になり高価になるため、ルーターの機械加工によって角丸でプレート幅より大きく箱抜き加工することとした。

図 4.3-19 の鉄骨と CLT 床パネルのクリアランスは決めていない。100mm の鉄骨部材は温度 1 度の変化で 1mm 伸び縮みし、製作誤差もあるので、現実的には 10mm±5mm で管理することになる可能性が高い。

(3) CLT 床の設計法

1) CLT 床の接合方法の簡略化の試み

剛床仮定を成立させるために CLT の隅に沢山のビスを打って梁に固定したが、CLT と梁の接合部を簡略化できるとコストダウンにつながるため、剛床仮定をせず CLT パネルのせん断剛性を考慮して構造設計することを試みた。しかし、ブレース置換の場合には剛床と 5% 程度の違いであり、非剛床で解いても 15% くらいの違いとなった。構造解析方法の違いで接合部を簡略化するのは容易ではないと考え、プロトタイプでは剛床仮定の接合部とすることにした。

2) 面外方向

「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」((公財)日本住宅・木材技術センター)²⁾に準じて設計する。但し、開口の位置、大きさは、事前に設備と調整しておくこととする。

3) 面内方向 (水平構面)

本事務所は耐震要素に偏りがなく、かつ、整形な建物であることから、偏心は小さく、移行せん断力も小さい。従って、デッキプレートの設計と同様に、CLT 床パネル接合部の設計は(床荷重等の固定荷重+積載荷重)×Ci に対して、許容応力度設計を行った。但し、 β 割り増しを考慮し応力を 1.5 倍に割り増して検定している。

参考文献

2) CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」((公財)日本住宅・木材技術センター)

4.3.3 積算

表 4.3-4 に積算結果を示す。

本事業のモデルプランの試算は、税抜きで 113 万円／坪となり、狭小ビルでは床面積に対する外壁面積が大きく、CLT 込みの躯体コストが 44 万円／坪弱であった。ただし、この積算結果には、EV 以外の設備（空調・衛生・電気）が含まれていないことに留意しなければならない。

表 4.3-4 積算結果

	工事名	工事費（円）	該当工事費/小計	坪単価（円）	備考
A-1	仮設工事	6,984,871	4.15%	47,078	
A-2	躯体工事	65,668,868	39.05%	442,612	
A-3	外装工事	17,758,197	10.56%	119,691	
A-4	内装工事	22,305,542	13.26%	150,341	
A-5	建具工事	34,887,005	20.74%	235,140	
A-6	設備工事	20,594,000	12.24%	138,805	昇降機のみ算入
小計		168,198,483		1,133,667	

注) CLT 価格は、設計価格ではない前提の見積

延べ床面積	491.45m ²	148.37 坪
-------	----------------------	----------

4.4 地域条件等によるヴァリエーション

4.4.1 階段位置のヴァリエーション

プロトタイプ I では、階段を最奥に配置したが、CLT を普及させるためのモデルプランとしては、木造階段が前面にある方が、訴求力があると考えられる。また、手前に階段を置く当該プランの方が、1FのエントランスからEVホールまでの廊下が存在しないので、レントラブル比も高くなる。そこで、ヴァリエーションとして、手前階段プラン(図 4.4-1)も提示することとした。



図 4.4-1 パース

ただし、奥側は隣地であり、避難器具はファサード面に設置する必要がある。その場合、直通階段と避難器具の配置が2方向避難として十分であるかについては検討・評価する必要がある。(図 4.4-2 参照)。

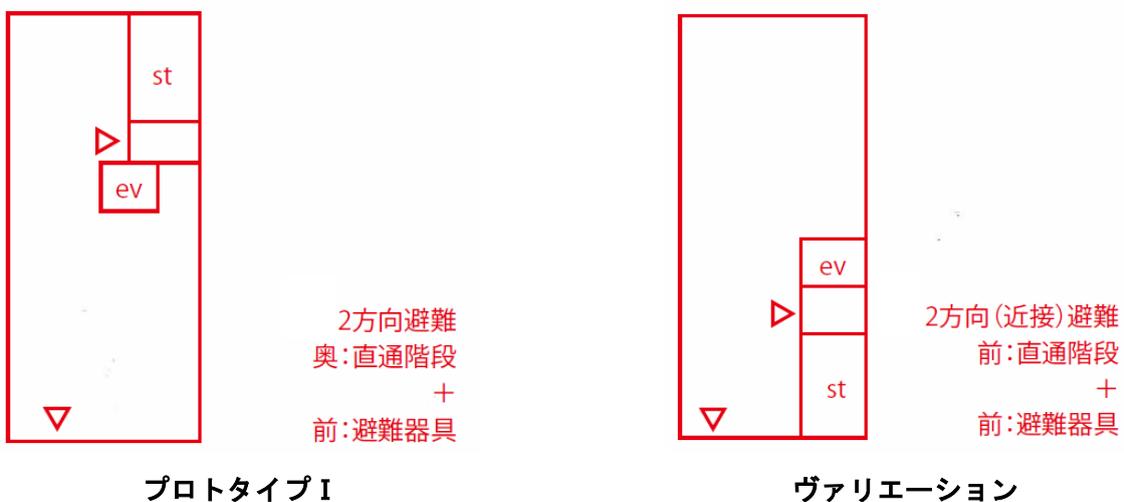


図 4.4-2 直通階段と避難器具の配置

4.4.2 防火上のヴァリエーション

プロトタイプ I では、中心市街地(防火地域又は準防火地域)に中層(4~6階)の建物を建設することを想定したため「耐火建築物」とせざるを得なかった。しかし、同様なプロポーシヨンのビルであっても、必ずしも「耐火建築物」にしなければならない訳ではない。地方都市では、市街地や駅の近辺でも防火・準防火地域ではない 22 条地域が存在している。標準化・規格化された CLT パネルの適用可能性を広げる意味で 22 条区域を除外する必要はなく、「耐火建築物」以外についても適用可能性の検討を進めるべきと考えられる。「特殊建築物」ではないことを前提とすれば、防火上の地域地区と建物高さ・延床面積別の防耐火要件は図 4.4-3、表 4.4-1 のように整理できる。

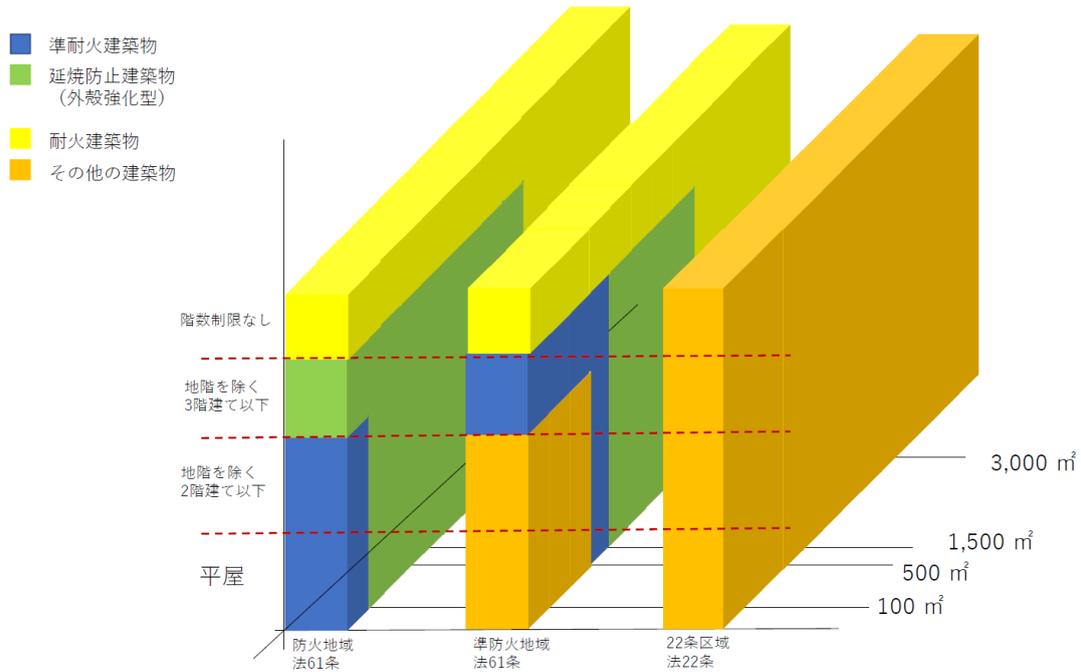


図 4.4-3 防火上の地域地区と建物高さ・延床面積別の防耐火要件

表 4.4-1 事務所の防耐火要件

地域	規模 (m ²)	耐火要件							
		建築物	柱	梁	外壁 (非耐力)	階段	防火区画	内装制限	堅穴区画
防火地域 準防火地域	500 未満	耐火建築物 ①	耐火構造	耐火構造	耐火構造 ②	耐火構造 ③	なし	なし	あり ④
	500 以上	↑	↑	↑	↑	↑	あり ⑤	あり ⑥	↑
法 22 条 区域 無指定	500 未満	その他	あり ⑦	なし	準防火構造 ⑧	なし	なし	なし	↑
	500~ 1000 未満	その他	↑	↑	↑	↑	↑	あり ⑨	↑
	1000~ 3000 未満	その他	↑	↑	防火構造 ⑧	↑	あり ⑩	↑	↑
		準耐火建築物 (イ準耐)	準耐火構造	準耐火構造	準耐火構造	準耐火構造	準耐火構造	あり ⑪	↑

- ① 1階 2時間耐火 2~5階 1時間耐火
- ② 延焼ライン内 1時間耐火(非荷重) 延焼ライン外 30分耐火(非荷重)
- ③ 30分耐火
- ④ 床・壁準耐火構造 + 防火設備

4.4.2.1 22条区域の場合

これをみると、22条区域では、上階がオフィスの鉄骨造ビルの場合は法21条(大規模の建築物の主要構造部等)しか規制がかからないので、何階建て(4階建て以上)でも「**その他建築物**」として設計できる。したがって、22条区域のオフィスビルであれば比較的自由に設計できることが判る。令70条の柱の防火被覆のみでCLTを現しにすれば、ディテールをそれほど気にする必要はなく、ALCをCLTに置き換えることが可能である。500m²以下とするなら、法的には、**その他建築物**として堅穴区画なしとする設計手法もある。

建築基準法施行令 第70条 柱の防火被覆
地階を除く階数が3以上の建築物（法第2条第九号の二イに掲げる基準に適合する建築物及び同条第九号の三イに該当する建築物を除く。）にあつては、1の柱のみの火熱による耐力の低下によって建築物全体が容易に倒壊するおそれがある場合として国土交通大臣が定める場合においては、当該柱の構造は、通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後30分間構造耐力上支障のある変形、溶融、破壊その他の損傷を生じないものとして国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの又は国土交通大臣の認定を受けたものとしなければならない。

このように、コストを削減してCLTを多く使っていくには、法22条区域の「**その他建築物**」をベースにするヴァリエーションは有望である。

しかしこのままでは、最低基準をクリアしたコスト優先の仕様という事ができ、CLTを用いたプロトタイプとして広く周知する仕様としては、安全性に対する配慮が十分とは言えない可能性がある。また、最低仕様にしたからと言って、ALCを用いた鉄骨造にコストで勝てる保証はない。そこで、防耐火上の付加的な機能付与は設計者の裁量であることを承知しつつも、防耐火上のヴァリエーションとしては、安全性を高めた上でコストに配慮した**その他建築物**の仕様を提示していくこととした。

一方、より安全な防耐火仕様としては**準耐火建築物**があり、これも22条区域での選択肢の一つである。

以上の考えより、プロトタイプ開発の成果としては、「**その他建築物**」と「**準耐火建築物**」の2つの仕様も提示することとした。いずれの仕様も、CLTの上には床荷重を受けるフリーアクセスフロアを載せ、下階からはCLTが天井として現しで見えるようにする。

(1) その他建築物とする場合

強化石膏ボードを全面ではなく床面・天井面の周辺部にロの字に貼り中央部をCLT現しにしてコストを抑える。柱のみの防火被覆よりも床の支持箇所が燃え落ちるタイミングが遅れ、より安全になると考えられる(図4.4-4)。

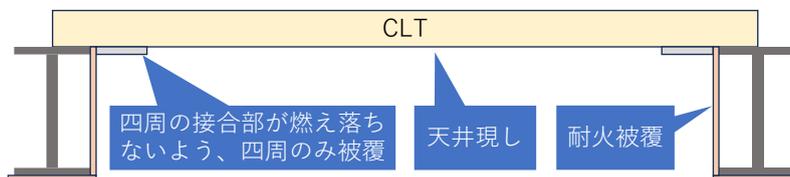


図4.4-4 防火性能の向上させた「**その他建築物**」の天井仕様

(2) 準耐火建築物とする場合

22条区域で5階建て以下、500m²以下とすれば、「**その他建築物**」として法律上の耐火要件に抵触しないが、1000m²を超えると防火壁が要件になる。この場合、通常の鉄骨造では「**その他建築物**」から「**ロ準耐-2**」(法2条9号の3 令109条の3 2号)に性能を上げて設計することが多いが、床を可燃物であるCLTとする場合は「**ロ準耐-**

2]では設計できないため、通常の鉄骨造とは異なる耐火設計である「イ準耐」(法2条9号の3イ)を採用する必要がある。

1) イ準耐

「イ準耐」は、CLT パネル部分の壁・床は現しにして燃えしろ設計できる準耐火仕様で、鉄骨造に CLT パネルを適用して CLT 建築らしさを出すには適した仕様である(図 4.4-5 参照)。しかし、普及していないので、提案する場合はより検討を深めていく必要がある。

「イ準耐火」の柱・梁等の主要構造部は、1 時間若しくは 45 分の準耐火性能を有する必要がある、鉄骨を耐火被覆することになるが、耐火被覆のメーカーは準耐火の認定を取っていないので、事実上、1 時間耐火の仕様を使うことになる。

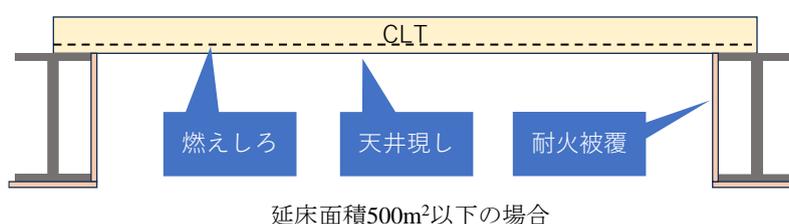


図 4.4-5 「イ準耐火建築物」の天井仕様

2) ロ準耐火-1 について

準耐火「ロー1」(外壁耐火)では、外壁と屋根だけを対象とするので、内部の柱・梁の耐火被覆が不要になる。内部の床についても燃えしろ設計を行わなくてもよく、5 階建てにも適用できる。このような背景から、「郊外の中規模建物」(システム開発小委員会)では、この外壁耐火を採用した。

ただし、内部も被覆がない鉄骨で表しの場合、火災時に鉄骨がかなり伸びるので、変形して外壁を引っ張る等の事態が発生する可能性がある。カーテンウォールの固定については、平成 20 年国住指第 619 号「カーテンウォールの構造方法について」(技術的助言)があり、留め方に注意を要するため、ディティールの設計が難しい。外壁の耐火性能について十分な検証を行うことが前提となる。

以上のような状況を鑑みて、プロトタイプの変異バージョンとしては、当面、当該仕様は提示しないこととする。

4.4.3 CLT 壁の機能ヴァリエーション

4.4.3.1 耐震壁の代替案

図 4.4-6 に代替案を示す。鉄骨の格子の中に CLT をはめ込むと、加工手間がなく強いのではないかという発想による案であり、比較的小さな建物であるプロトタイプでは、大きなせん断力は生じないので、CLT の厚さを生かせればストラットにできるという考え方である。具体的には、圧縮筋交い効果で CLT を使い、鉛直方向の引張りは外側のターンバックルで担う方法である。このような鉄骨の梁間に CLT の耐震壁を入れる提案は、建築学会の大会発表にも多くある。せん断力は CLT の真ん中のプレートで伝え、圧縮筋交いとして CLT を使う。引張力を、CLT を介して伝えようとする大きな金物になるので、引張りはタイロッド式となっている。引きボルトを用いるとそこでせん断破壊して効率が良くないからである。

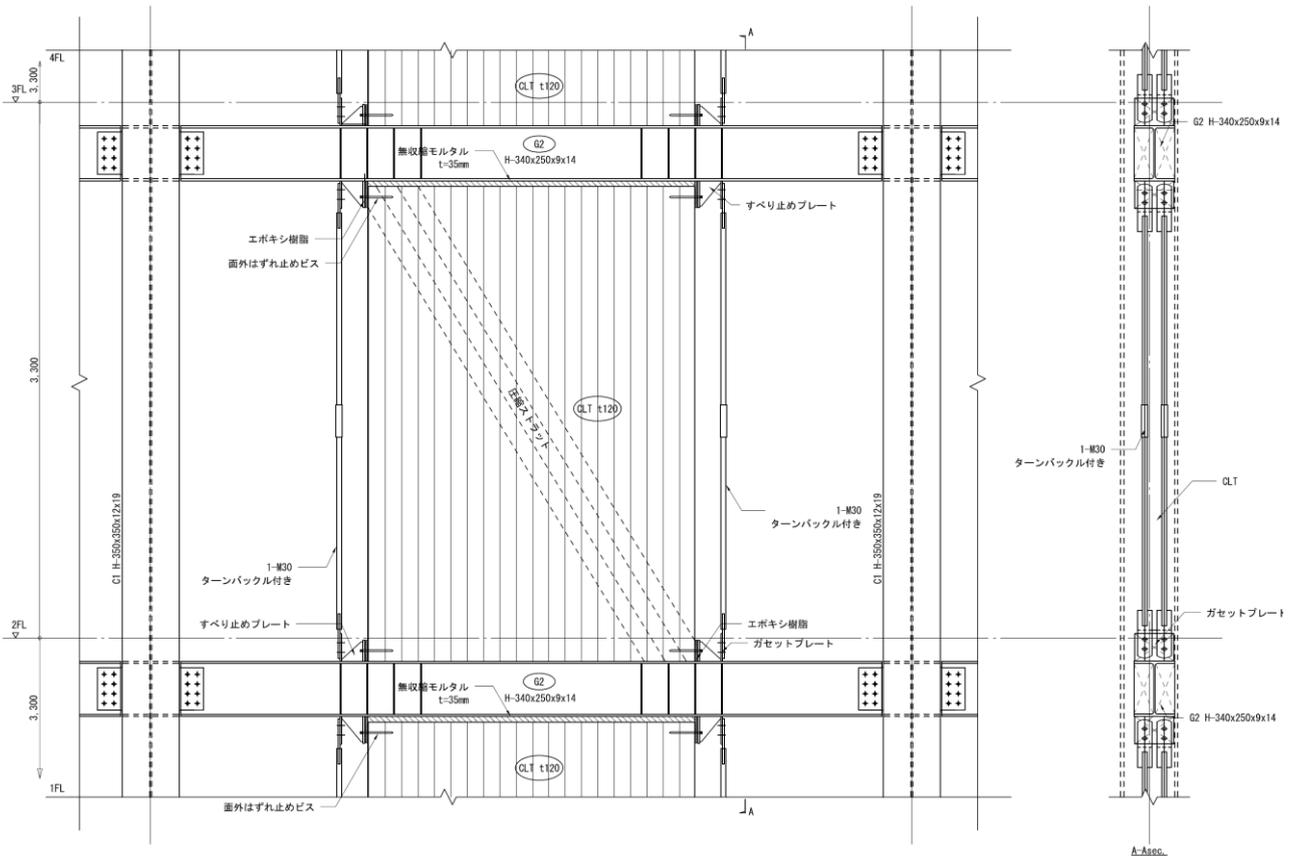


図 4.4-6 耐震壁の代替案（鉄骨の梁間に CLT の耐震壁を入れる方式）

ターンバックルが特許に抵触する場合、梁のフランジを貫通させてボルト止めするという方法も有り得る。ただし、フランジに穴開けすると補強が必要になる。ターンバックルが無いと上下の鉄骨梁に大きな曲げが入るので、バランスが問題になってくるが、プロトタイプは5階建てのS造で、タイロッドは必要ない可能性もある。（この代替案については特許が取得されており、利用条件などについて確認が必要である。）

4.4.3.2 ラーメン構造の剛性を高めるための CLT パネル

小さいMグレード、Rグレードの工務店では、ラーメン構造が基本という場合が多いため、ラーメン構造の剛性を高めるために CLT 壁を使うというイメージも使い易いと考えられる。今般は詳細な検討をしていない。

4.4.3.3 面外方向のみに効く CLT パネル

下地として安定しているというメリットは大きく、様々な応用が期待できる。今般は詳細な検討をしていない。

4.4.3.4 意匠材としての CLT パネル

CLT パネルを意匠材としてのみ機能させるヴァリエーションが考えられるが、今般は検討していない。

4.4.3.5 外壁材としての CLT パネル

CLT パネルを外壁材とするヴァリエーションが考えられる。このような使い方の場合、ALC との違いは、そのまま内層仕上げに使えるということである。今般は詳細な検討をしていない。

4.4.4 CLT 床のヴァリエーション

4.4.4.1 床 CLT 板の設置位置のヴァリエーション

プロトタイプ I では梁を大梁の間に落とし込んだが、梁に載せる方法も有力な解である。鋼材量も減るので、階高に問題がなければ、一般的には載せた方がメリットが多い。そうした理由により、「郊外の中規模建物」(システム開発小委員会)では、こちらの手法が採用された。

CLT を載せる方法なので、鉛直荷重を伝達する部材は必要なく、コスト的に有利になる。したがって、水平構面としてせん断力を負担しないならば、文字通り「置くだけ」で構造計算上は扱え、最も低コストにできるはずである。しかし、置くだけで良いからと緊結しない方法については、建築確認検査機関から、令 47 条(構造耐力上主要な部分である継手又は仕口)の規定に照らして疑義が呈された事例があり、何らかの接合が必要である。

第 47 条_構造耐力上主要な部分である継手又は仕口
構造耐力上主要な部分である継手又は仕口は、ボルト締、かすがい打、込み栓打その他の国土交通大臣が定める構造方法によりその部分の存在応力を伝えるように緊結しなければならない。この場合において、横架材の丈が大きいこと、柱と鉄骨の横架材とが剛に接合していること等により柱に構造耐力上支障のある局部応力が生ずるおそれがあるときは当該柱を添木等によつて補強しなければならない。
2 前項の規定によるボルト締には、ボルトの径に応じ有効な大きさと厚さを有する座金を使用しなければならない。

4.4.4.2 床 CLT 板の機能のヴァリエーション

CLT の上に配したターンバックルブレースで水平剛性を取るという方法に特化することもありうる(表 4.3-2 参照)。「郊外の中規模建物」(システム開発小委員会)では、こちらが採用された。

4.4.4.3 CLT 床(天井)の表現のヴァリエーション

(1) 現しにしない場合

CLT を見せるとコストが上がるので、安く作ることを主眼にするなら現しにする必要はなく、仕上げとして木材を張るという方法もある。サステナビリティを考慮し、現状のコストが高くても CLT パネルを多く使っていくことを主眼とするなら、被覆された CLT 床も選択肢の一つとなる。現しでない場合は CLT パネルの養生が必要なくなるため、全体 CLT に依る金額の 1 割程度減額となった事例もある。したがって、実施すべきことは CLT の表面品質についてグレードダウンを適切に行うことと言える。耐火被覆をするならば、このようなコストダウンが可能になるので、その効用も考慮して企画・設計していくことになる。

(2) 現しにする場合

CLT 建築らしさを出すには、CLT パネルを現しで使っていくことが有望である。すなわち、商品性の観点からも省資源の観点からも推奨される。前述したような防火上の配慮によって実現性は十分にある。ただし、現しにするところは綺麗に見せるが、耐火被覆などで見えないパネルについては、表面品質を適切に設定することが望ましい。

4.5 課題

4.5.1 標準化・規格化パネルの適用

今般のプロタイプ開発では、標準化・規格化サイズの CLT パネルを壁へ適用することを試みた。壁については、幅 2.0m×長さ(高さ)4.0m の CLT パネルが、壁に適用するには合理的と考えられた。しかし、床については、標準化・規格化サイズとは異なる CLT 幅も使わざるをえず、一つの建物で同じ寸法の CLT が多く使われると安くなるという事を踏まえ、2,200mm 以下で歩留まりを良くすることを目指した。その結果、基準階には 2,195mm×5,740mm が比較的多く使用されている。とはいえ、2.0m 幅以下の CLT も配置できている(図 4.5-1 参照)。

ただし、EV 等コア周り等は色々なものが配置されるので、パネルは細かくせざるをえなかった。小割パネルが多くなったので、大きいパネルを使うことで生じるパネル工法のメリットは生かされていない。平面の 7~8 割を占めるオフィスゾーンの床を 1.0m~2.0m に規格化された CLT パネルを置いていくところに標準化・規格化パネルのメリットが生じる。すなわち、標準化・規格化パネルは建築面積の大きい建物でこそ生きて来る。このような背景から、「郊外の中規模建物」(システム開発小委員会)では、そうしたプランで検討している。

したがって、床での適用は、狭小敷地におけるチャレンジと位置付けられるが、パネル割の最適化により、さらに寸法のヴァリエーションを少なくできた可能性はあった。ただし、階段室や EV 周りの小割パネルの存在は、大判パネルが作れない CLT 工場でも供給できるという意義もある。

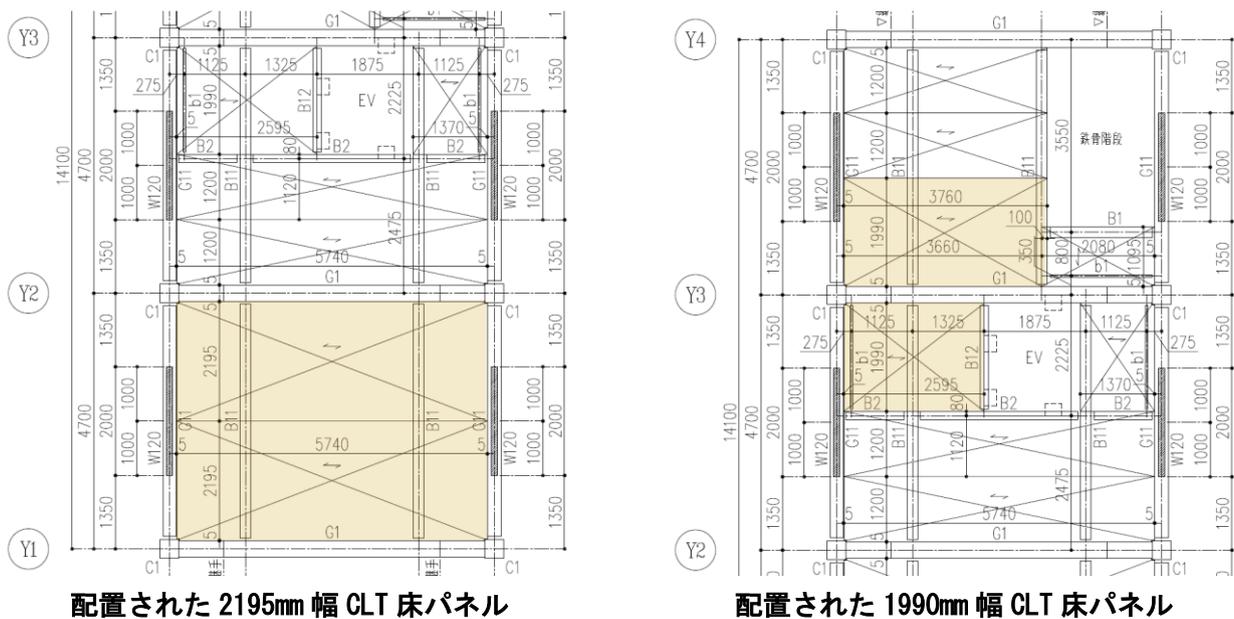


図 4.5-1 標準化・規格化パネルの適用状況

4.5.2 特許

CLT パネルと梁との接合方法については、ゼネコン等各社が、それぞれが開発したディティールに対し特許を出願している。古い特許についても、ディティールを改良して新たに特許を取得しているものもある。したがって、今般のプロタイプの考え方を利用するにあたっては、他社の特許に抵触していないかを確認する必要がある。

4.5.3 構造設計における耐震壁

今般の壁への適用ではDsの決定が難しいこともあり、塑性域まで挙動を把握する必要がある。したがって、実用技術とするには実験が必要である。床においては、水平構面として使う場合も弾性の範囲で設計ができる。

4.5.4 防耐火

4.5.4.1 防耐火ディテール

鉄骨に軽カル板を留めるにはスペーサー構法など色々あり下地が組めるが、鉄骨に耐火被覆として石膏ボードを張るときの下地は一般化していない。今般は、メーカーの参考図にしたがいフランジ間に下地を入れ、下板は縦側のボードに留めるとしたが、外壁のALCには通しアングルや稲妻プレートなど色々な金物が付いてくるので、石膏ボードの下地と干渉しないかも考える必要がある。施工図を描く段階で、下地がものすごく複雑に入り、石膏ボードがそれに応じてふけてきて、想定したようには納まらなかったという事例も報告されている。CLTの木口に石膏ボードを張り、下端を張った石膏ボードと上端を張った石膏ボードとつなげ、鉄骨は軽カル板で耐火被覆をする方法を採用しているゼネコンもある。したがって、詳細図を起こして検討することが望ましい。

4.5.4.2 側面金物とCLTの絶縁

CLT壁を外側から挟んで、せん断・ひっぱり、圧縮を担っている金物(図4.3-13)は、CLTに直接接合しており、完全に絶縁されているとは言えない。通常、ブレースを現した場合のガセットは耐火被覆を貫通しても良いが、CLTが燃えた熱によって本体側の鉄骨の温度が上がるかに依る。例えば1時間耐火の場合、1時間室内の可燃物が燃えた場合に耐えるかというのが法律の趣旨だが、CLTがある場合、1時間以降もCLTが燃え続ける。したがって、1時間以降の加熱によって鉄骨の耐火被覆が足りなくならないか検証することが必要である。そうした意味で、ガセットから熱が入ることより、CLTが燃えて上部の梁を熱し続ける状況において耐火被覆が足りるのかが課題となる。実験で耐火被覆が足りないことがわかり、1時間分増した仕様にした例もある。プロトタイプ案は120mm厚なので、燃え尽きると考えられるが、ディテールに依存するので実験による検証が必要である。

4.5.4.3 避難経路の現しCLTについて

避難器具(救助袋)を設置しているので、階段は直通階段で、CLTを現しにしている。500m²以下にして内装制限がかからないようにしているので、法的には問題なく建築確認に通るが、1か所しかない直通階段を現しとしてよいかについては検討を要する。1か所しかないエントランス(図4.5-2)も現しになっており、CLTが燃えて煙がでると逃げられない。したがって、避難上の配慮は別途検討する必要がある。

この問題に対処するには、ボード貼、若しくは準不燃木貼が選びやすいが、いずれもCLTの現しとは言えなくなる。現しにできる可能性として、最近、ゼネコンが認定を取った塗布型の不燃処理の塗料があり、木材を準不燃材料にできる。施工管理が難しい塗料なので工場塗りであり、施工ルールを守れると認められた業者に塗料メーカーから供給される。CLT加工業者もこの塗料が雨濡れ・擦りなどがあっても大丈夫かを検証している。現状は、杉CLTのみに適用できるが、カラマツなど他の樹種も可能になっていく可能性がある。



図 4.5-2 エントランスの現しCLTパネル

4.5.5 落とし込み床の接合部

今般のプロトタイプでは乾式としてプレートをボルト止めする方法を選択したが、プレートを現場溶接にした方が大梁鉄骨の断面性能を低下させなくてすむので、ボルト止めが最適かどうかは総合的に判断する必要がある。また、今般は CLT パネルを加工してプレートを取り付けたが、梁にアングルを溶接して CLT の加工を無くす方法もありうる。

そうした場合、構造計算、鉄骨使用量、溶接コスト、接合金物、CLT 加工コスト、耐火被覆、特許などが関連してくるので、優劣を決めるのは容易ではない。したがって、特許に留意しながら、設計比較と積算比較を行い、優劣を明らかにすることが望ましい。

また、落とし込んだ CLT パネルと鉄骨梁の間をグラウトで固めるというアイデアもある。この措置で水平剛性が確保できるのであれば、CLT と鉄骨梁の接合や鉄骨ブレースが必要なくなる。鉄骨梁と落とし込んだ CLT のクリアランスはかなり大きいですが、圧縮ストラットを考えると四隅のみをグラウトで固めれば一体化できると考えられる。CLT パネルの可能性を広げるので、このような接合方式の開発も期待される。

4.5.6 屋上キュービクル等の設置詳細

陸屋根とするなら RF だけは RC とするのが容易であると言われるが、今般のプロトタイプでは CLT パネルの RF 床板を選択した(表 4.5-3 参照)。詳細は詰めていないが、平面部は根太を流して合板を張り、立ち上がりは CLT の RF 床面から直接木下地を立ち上げることを考えた。屋根材メーカーの参考仕様に従い、木材で立ち上がりを作り H 鋼を流してキュービクルを留め付けている。構造計算でも、強固な梁を流してキュービクルを設置すること前提にして、その重量を考慮している。

しかし、木造の陸屋根の防水は結構難しく、立ち上がりの防水をどのように巻き込むのか等を含め、屋上キュービクルの置き方は難しい課題である。木造の陸屋根には荷重を掛けたくないのも、重量物を置くティティールの検討が進んでいない。したがって、キュービクル等重量設備機器の設置ディディールについて、標準的な施工図面を用意していくことが求められている。

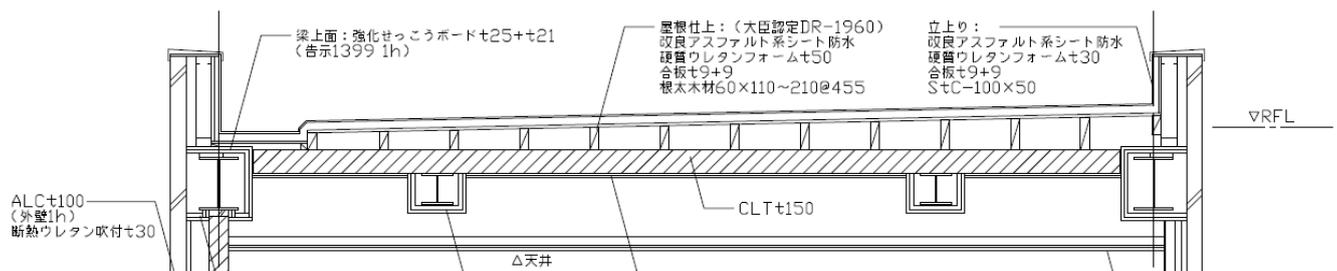


図 4.5-3 CLT 床パネルと陸屋根の仕上げ

4.5.7 接合部の養生

CLT パネルや CLT ジョイント部の止水養生は、現時点ではシートを張るなどしか方法がない。しかし、ビニールシートをかぶせて半日で黒カビが生えたという事例もある。すなわち、CLT は養生コストが比較的高いということができ、施工における搬入タイミングなどがコストや施工品質に大きく影響する。こうした点の知見を整理することが望ましい。

4.5.8 低コスト化方策

4.5.8.1 鉄骨架構

一般的には、中小鉄骨ビルでは角型鋼管柱+H形鋼梁による両方向ラーメン構造が標準になっている。角型鋼管柱+ダイヤフラムは自動で製造できるため加工コストが安くなるからである。一方、H形鋼の場合は、ダイヤフラムのところなどに加工が入り高額になる。

しかし、ここ数年鉄骨は高騰しており、50万円/tともいわれている。加工費の方が安くなったとも言われているため、H形鋼柱の方がコスト優位である可能性がある。柱・梁とCLT壁やCLT床との接合方法によって鉄骨加工箇所や鋼材量が影響を受けるため、両者の設計をおこなわないとコスト比較をすることができない。このため、今般の検討では優劣を決定できなかった。

プロトタイプでは、普及が進み地方工務店に馴染みがあるため、汎用性が高い角型鋼管柱を採用したが、両者の設計を行い、いずれがコスト優位かを明らかにすることが望ましい。

4.5.8.2 接合部のコスト削減策

(1) CLT加工コスト

JASカットのまま使えば機械加工費がなくなる。外周を成形加工することは材料のコストであり、仕口加工費にはならないため、JASの格付け後に小割だけするならば、機械加工だけになり単価は非常に安くなる。このようなコスト削減策を整理し、設計例と共に公表していくことが望ましい。

仕口加工等については、コストは加工機の加工時間に比例する。シンプルで施工性が良い接合部にできるかが重要で、接合の形状が同じならばコストダウンになる。CLTの加工工場では、スリット系、ボルトの穴あけ・引きボルト系、成型加工のみ、と言った加工別に見積用基準単価があることが多く、どの接合を採用するとどれくらいコストが違うのかという目安が整理されていると、設計者がコストを考慮しながら設計できるようになる。このような情報を提供していくことが望ましい。

(2) 接合金物

特殊金物が非常に高額になった事例は多い。したがって、意匠性や構造的な要請もあるが、既製品の金物を使うことがコスト削減の決め手となる。金物の接続は、ビス留めが一番安くなることも知られており、このような点を考慮した定番のディテールを提供していくことが望ましい。

4.5.8.3 CLT表現とコスト

(1) 現しに伴うコスト

現しにする場合、CLT設置時の割れやLGS・ALC工場の現場溶接におけるCLTの焦げ等が発生する可能性があり、天候によっては雨だれも発生する。また、グラウトや接着剤もCLTを汚す可能性があり、ノロ対策も必要になるため、これらの汚損は現場の責任になる。したがって、現場で如何に溶接させないかが重要であり、総じていえば、コンクリートや溶接を排除すれば、CLT養生コストの削減につながる。

このように養生が極めて重要であるが、汚さないため養生塗装(例えばGAFという無機質系塗料)をする方法がある。コンクリートが垂れても絶対に汚れず性能は問題ないが、乾燥にも時間がかかり、CLTが面材であることに加えて二度塗りであるため塗装費がかかり、ストックするヤードも確保する必要がある。

以上より、どのような養生が必要十分で低コストであるのかの知見を整理して公表していくことが望ましい。

(2) 現しにしないことによるコスト削減

CLTを現しにしない場合、多少の汚れは許容され問題とはなりにくい。結果として養生が必要なくなり、現場が負う責任も減ることになる。

現しにしない場合は、CLTパネルの仕上げも3種仕上げではなく2種仕上げ(パテ埋など無し)で良くなるため、その分安く調達できる。切り放しで良いとするならば、柱のダイヤフラムのところを切り欠きするだけになる。また、通常は機械加工で残ったバリを手加工で落とすが、バリが残っても良いとして手加工をしないければ、加工費を下げることができる。バリを取らないという仕様はないが、加工工場との打ち合わせでバリとりの有無を決めることができる。したがって、仕上がりレベルを明示した見積仕様書をきちんと作ることが望ましい。

4.5.9 サステナビリティ指標

積算では数量が判明しているので、木材の材積を用いてビル一棟の炭素貯蔵量を容易に提示することができる。したがって、今後のCLT建築においては、これを公表していくことが必須と言える。

また、材工のCO2排出量原単位が用意されていれば、積算と同時にビル一棟のCO2排出量も表示することができる。メーカーが原単位を準備しようとしているので、そうした数値が提供されることに期待している。

4.5.10 構造材以外への展開

鉄骨・木造ハイブリッド化を進めるにあたり、躯体だけではなく、色々な部位で木質活用をしていく必要がある。木質化が可能な部位は、界壁、手すり、屋根など色々ある。このような課題に対応するCLT適用箇所の一つとしてCLT階段があげられる。

プロトタイプでは、標準化・規格化されたCLTパネルではないが、段板をCLTにしている。下地を鉄骨にすることで、基準(階段の桁と段板:30分耐火)を満たすこととしている。ただし、その他建築物の場合は避難階段が必須要件になるので、さらなる検討が必要である。

一方、(一社)日本建設業連合会に、新しいJASを提案することを目的としたチームとして、標準化・標準化のワーキンググループが組織された。欲しい商品とその課題をまとめようとしているが、提案の中にCLTの階段がある。既存の鉄骨階段はコストが高いため、今後の中高層建築物の階段の選択肢の一つとして、環境負荷が低く鉄骨よりも安価なCLT階段の可能性を検討している。今般のプロトタイプではCLTを様々な部位での利用を検討しており、日本建設業連合会からのCLT階段の提案をヴァリエーションの一つとして提示する。

4.5.10.1 鉄骨造等オフィスビルの CLT 階段の提案

(1) 実施内容・体制

脱炭素効果に加えて施工性および経済性を実現するオフィスビルの木造階段を検討しており、今回プロトタイプに合わせた CLT を用いた階段案を作成した。

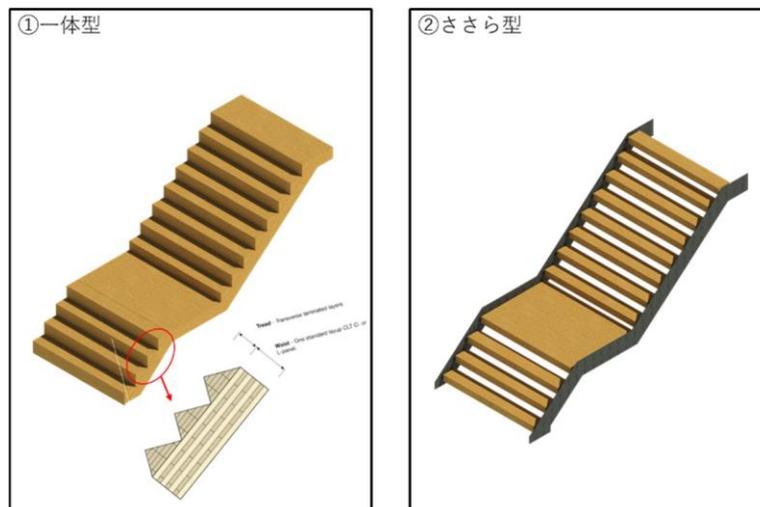
<実施メンバー>

リーダー	戸田建設	寺本 武史
	奥村組	平野 晋
	竹中工務店	小林 道和
	西松建設	竹内 章博
	戸田建設	室町 瑛人

(2) 概要

1) 階段の形状

階段の形状は大別して下図に示す①一体型②ささら型の2種類があるが、形状②は既存建物において CLT 以外の木材を用いた採用事例も多く見られるため、主に形状①を対象に提案を行う。



2) 階段の構成

①一体型段部：CLT パネル+段板（RC、鉄骨、木など）

踊り場：CLT パネル、鉄骨床

②ささら型段部：鉄骨ささら+CLT 段板

踊り場：CLT パネル、鉄骨床

なお、手すりは鋼材を想定

3) 想定される使い方

- ①工場製作された屋内木質階段を鉄骨建て方と同時に設置、施工する
- ②振動・歩行音抑制のために仕上材料、防音材料を取り付ける
- ③耐火性能を高めるために薬剤含浸、せっこうボード、スプリンクラーを設ける
- ④建設中の養生方法、建設中の利用（仮設階段としても利用可）

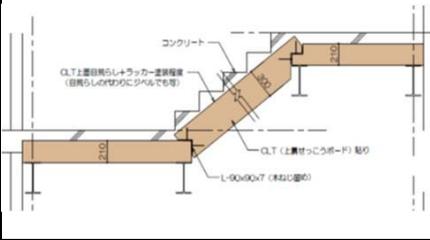
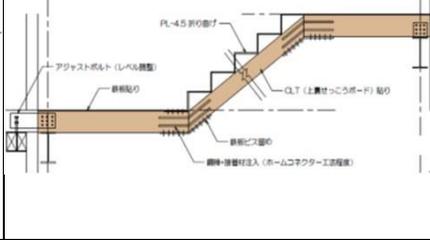
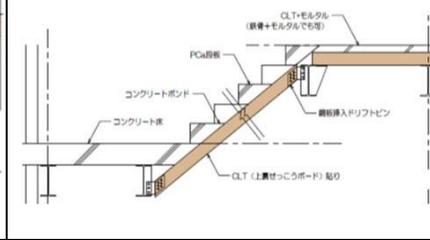
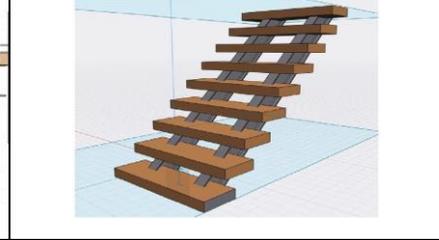
(3) 今後、更なる検証が必要な課題

- ①木質階段の特徴を活かした建て方、施工方法
- ②建物本体躯体（木造、S造、RC造）への取り付け方法
- ③手摺や仕上げの簡便な取り付けディテールの整理と劣化要因の把握
- ④建設中に階段として用いるための養生方法（コストアップにならない養生方法）
- ⑤歩行振動の性能
- ⑥CLTと段板の上下揺れ時の一体性
- ⑦屋内階段、階段室内の不燃化
 - ・防耐火要件の確保のための設計手法整備（H12国交告1399号第6、強化石膏ボード2枚、27mm）
 - ・防耐火要件の確保のための国土交通大臣認定（30分耐火）の取得→段部 PCa・鉄板などによる耐火性能など

(4) 提案内容

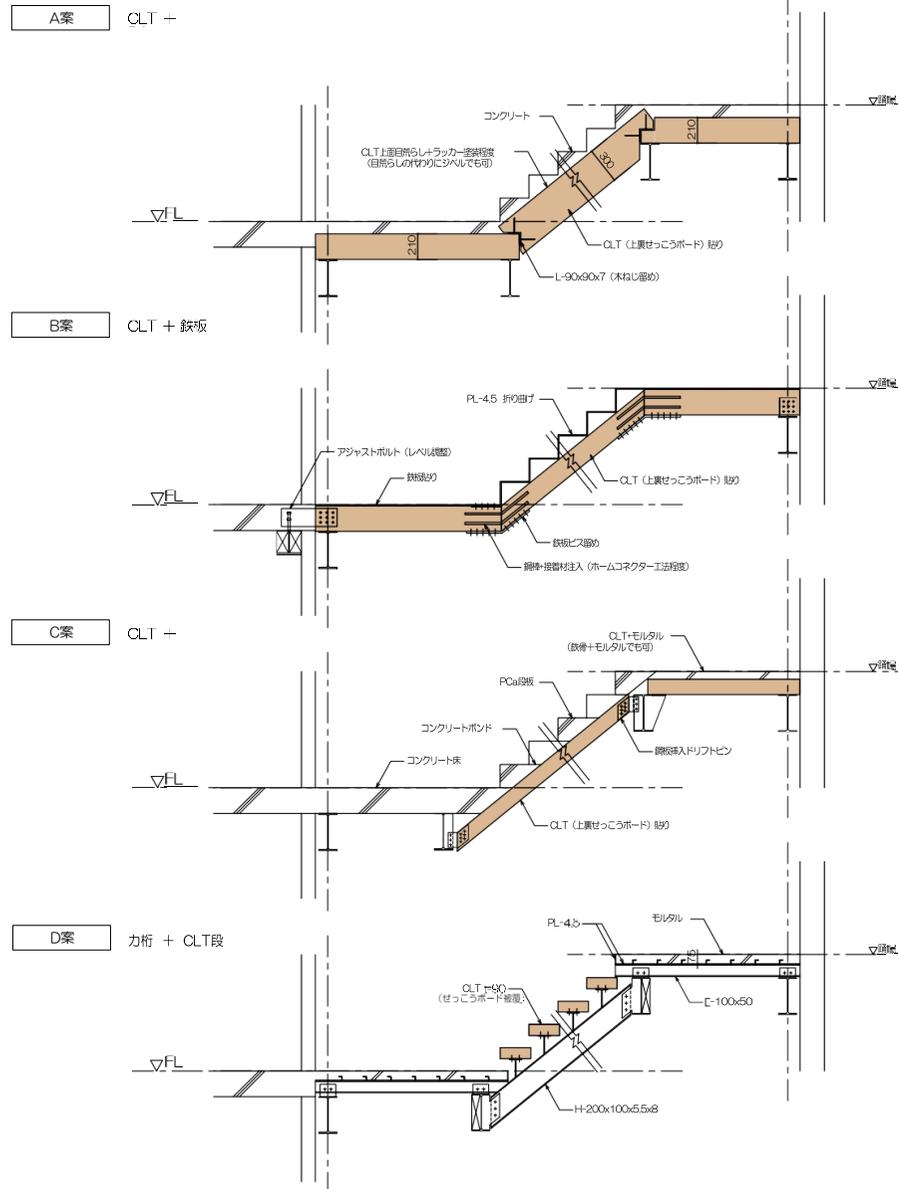
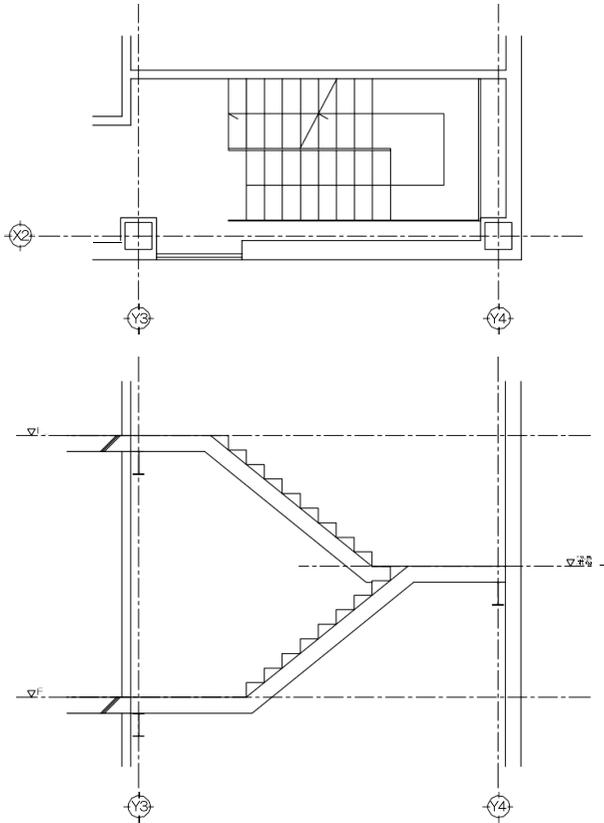
- (A案) CLTスラブ＋上面コンクリートによる一体型階段
 - (主な課題) 段部のCLT版とコンクリートのずれ止め
- (B案) CLTスラブ＋上面鉄板による一体型階段
 - (主な課題) 段部と踊場の一体化
 - ・鉄板被覆による防耐火性能確保
- (C案) CLTスラブ＋上面PCaによる一体型階段
 - (主な課題) PCaとCLTの接合方法
- (D案) 鉄骨力桁＋CLT踏板によるささら型階段
 - (主な課題) 段板の防耐火性能

次ページ以降にA～D案の詳細を示す。

案		A	B	C	D
タイプ		一体型	一体型	一体型	ささら型
スケッチ					
構成	段部	材料 支持部材) CLTパネル 段 部) コンクリート (三角形に加工) PCaコンクリートも可	支持部材) CLTパネル 段 部) CLTパネル (三角形に加工) or 折り曲げ加工した鉄板	支持部材) CLTパネル 段 部) PCaコンクリート (台形に加工) 現場打ちも可	支持部材) H形鋼 段 部) CLTパネル
	CLT版 との接合 部	目荒し または シベル	ドリフトピン	ボルト	ネコピース+ボルト
	FL踊り場	CLT版+コンクリート被覆	CLT版+鉄板被覆	CLT版+Pca被覆または鉄骨床	鉄骨床
	中間踊り場	CLT版+コンクリート被覆	CLT版+鉄板被覆	CLT版+Pca被覆または鉄骨床	鉄骨床
	本体との接合部	鉄骨梁	GPL及びラグスクリューボルト	鋼板挿入ドリフトピン	GPL及びボルト
工場製作のしやすさ		○	○	○	○
現場施工のしやすさ		○	○	○	◎
耐火対応	上面	△ コンクリート被覆 (性能確認必要)	△ 鉄板被覆 (性能確認必要)	△ PCa被覆 (性能確認必要)	不要
	下面	○ 石膏ボード	○ 石膏ボード	○ 石膏ボード	不要
重量 (1ユニットあたり)		800~1,000kg (CLT+コンクリート)	300~400kg (CLT+鉄板)	800~1,000kg (CLT+PCa)	約300kg (H形鋼+CLT)
コスト (想定)		○	○	○	◎
想定される課題 モックアップ (モ) 解析・計算 (解) 実験 (実)		<ul style="list-style-type: none"> CLT版とコンクリートのずれ止め (モ) CLTと段板の上下揺れ時の一体性 (解) 施工手順 (モ) 	<ul style="list-style-type: none"> 段部と踊り場の一体化 (実) 鉄板被覆による耐火性能確保 (実) 	<ul style="list-style-type: none"> PCaとCLTの接合方法 (モ) PCaの耐火被覆に必要な厚さの確保 (実) CLTと段板の上下揺れ時の一体性 (解) 施工手順 (モ) 	<ul style="list-style-type: none"> 段板の耐火性能

CLTを使用した階段の提案

- (A案) CLTスラブ + 上面コンクリートによる一体型階段
(主な課題) ・段部のCLT板とコンクリートのずれ止め
- (B案) CLTスラブ + 上面鉄板による一体型階段
(主な課題) ・段部と踊り場の一体化
・鉄板被覆による耐火性能確保
- (C案) CLTスラブ + 上面PCaによる一体型階段
(主な課題) ・PCaとCLTの接合方法
- (D案) 鉄骨力桁 + CLT踏板によるさらさら型階段
(主な課題) ・段板の耐火性能



第5章 まとめ

本事業において、CLT パネルの量産化の妨げとなっている多品種小ロット型の生産状況を少なからず解消するため、規格パネルサイズを提案した。今後の展開としては、今回の提案したパネルの周知を図るための普及手段の検討と実践が必要である。

標準化・規格化検討の過程で作成されたシステムの開発とプロトタイプ設計を公開し、CLT の普及促進に向けて情報発信を行う。しかし、それぞれの小委員会で検討した内容は、さらなる以下の合理化の余地が残っており、今後検討を行う必要がある。

鉄骨造にCLT を床に用いたシステム開発の提案は一例に過ぎず、他にも多様な仕様が存在するため、さらなる接合部の合理化の検討や施工性の向上の検討が必要な課題としてある。

今回検討したプロトタイプ設計では、壁に規格パネルを採用した。床については、国内のCLT 製造工場で生産が可能な様々なパネルを組み合わせたが、より合理的な平面計画の検討が必要である。さらに規格パネルを普及するためには、防耐火等に係る接合部のディテール等の検証や建設地域等に適用するためのヴァリエーション等の検討が必要となる。