



大豊建設技術研究所

設計・構造●大豊建設(株)一級建築士事務所
施工●大豊アーキテクノ(株)
木造木質化協力●三菱地所(株)(株)三菱地所設計
所在●茨城県稲敷郡
撮影●大野 繁

国産木材活用の 実証試験

高畑真二＋森川紘子＋竹内 慎●大豊建設㈱
海老澤 渉●三菱地所㈱ CLTユニット

創立70周年を迎えた当社は、さらなる技術の深化と新工法開発を目的に当社機材センター（茨城県稲敷郡阿見町）内に技術研究所を建築した。研究所の計画に当たり、増加する森林資源の持続的利用による地球環境対策として木質化工法を研究するため「木質材料を活用した国産木材活用の技術開発」というプロジェクトチームを発足した。また、木造・木質化技術については、工期短縮と環境配慮を両輪で実現する木材活用の研究開発に取り組んでいる三菱地所と共同で技術開発を進めた。

◎木＋RC造の立面混構造

2011年に構造基準の合理化に伴う木造混構造に関する改正告示が施行された。混構造の合理化と

緩和がなされ、RC造・S造・木造のそれぞれのメリットを活かした混構造の需要が高まりつつある。混構造には、平面混構造と立面混構造があるが、RC造と比べて軽量である木造を上部に積層する立面混構造は、既存建物を活かしながら減築し、上部に増築する耐震性能向上改修の需要や、上部軽量化・下部構造の負担軽減による経済設計・ローコスト化の需要を考えられるので、本建物は1階RC造・2階木造の立面混構造とした。

◎CLTを使った耐震壁

RC耐震壁や鉄骨ブレースは、重量が重く、無機質で画一的で意匠性にも乏しい。CLTを耐震壁とし、現し利用とすることで、木材のもつ温かみや天然素材の表情により空間が豊かになり、居住性が改善される。

木材は強度に比べて軽量であり、耐震改修での新たな素材としての期待も大きい。新築での耐震要素としての先付工法と、耐震改修での後付工法の新工法を考案し、本建物で採用した。

◎内外装

外装の木材は耐久性に配慮し、薬剤を使わず高い寸法安定性と耐久性をもつ加圧水蒸気下高温加熱処理木材を使用し、木材の腐食防止のため自然

塗料を塗装している。また、軒を強調したデザインとグレー系の着色により、日射や風雨による経年変化を和らげている。

また、本建物は二つの直通階段設置免除のため、主要構造部を準耐火仕様としている。2階木造部の柱・梁など主要構造部は、燃えしろ設計とし、集成材を現しのまま準耐火仕様の性能を確保している。居室の内装も自然排煙とすることで、木を現しで見せることができた。

2階研修室は、自由度の高い空間となるよう大断面集成材梁(180×650mm)とし、12.5×13.0mの無柱空間、また天井は設けず、屋根下の木毛セメント板、垂鉛めっきのブレースと集成材で構成した現しの高天井とした。

エントランスの正面に階段を設け、空間のアクセントになるよう踏み面中央に桁のあるシンプルな形とし、開口を大きく取り、外からの光が垂直な広がりを与え、建物を訪れる人を迎え入れている。

また、ホールの天井には三菱地所が開発、特許出願済みの新しい型枠材である配筋付製材型枠を現しで利用している。通常廃材となる型枠材をそのまま内装(天井)の仕上材として利用することで、ローコストで天井の木質化と環境配慮の両面

を実現することが可能なニュータイプの建材である。この新建材の施工技術力を発展・応用させることで、木質化、環境配慮、工事工程の簡略化・短期化をさらに進めていきたい。

◎BELS認定取得(一次エネルギー54%削減)

建築分野は世界のエネルギー消費量の3割を占め、省エネルギーへの対策が問題になっている。

本建物で採用した省エネ技術としては、①外皮の高断熱化(断熱材の追加、Low-eガラス、複層ガラスの採用)、②日射抑制(軒深の庇設置)、③高効率な空調(ローテーション機能搭載のパッケージ空調室外機、風量調整が可能な空調室内機と全熱交換器を採用)、④高効率照明システム(明るさセンサーによる照明の光量を自動的に調節)などを採用した。これにより建物の一次エネルギー消費量を基準ビルに対して54%削減し、ZEB Readyの評価を取得した。今後、省エネ技術をさらに追及しZEBの導入と普及に努め脱炭素社会の実現を目指す。

(たかばたけ しんじ、もりかわ ひろこ、
たけうち しん、えびさわ わたる)

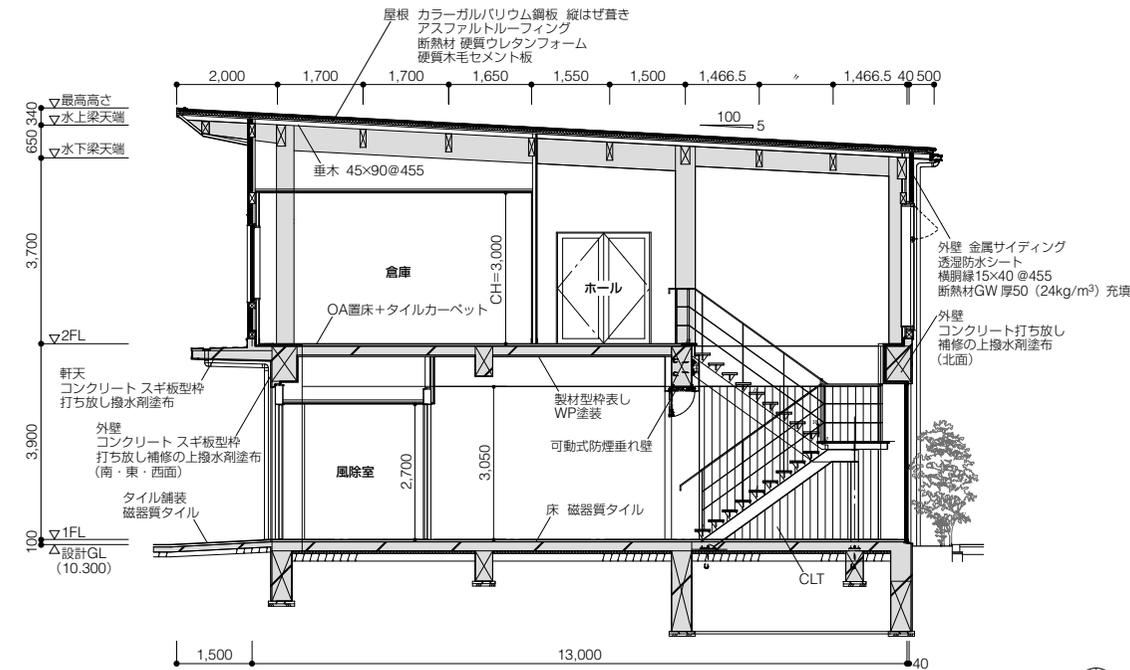
全景



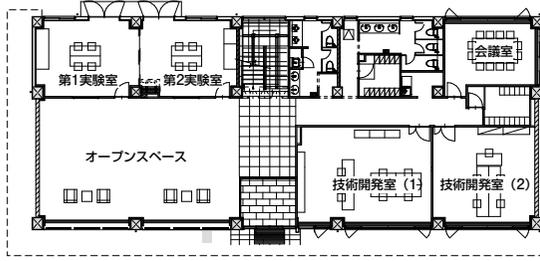


2階研修室
1階オープンスペース

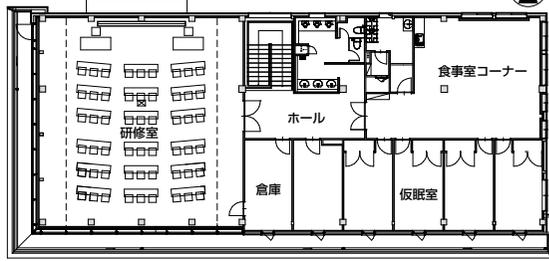




矩計図 S=1:150



1階平面図 S=1:450



2階平面図

建築主 大豊建設株式会社
建物用途 事務所
設計 大豊建設(株)一級建築士事務所
建築 担当/竹内慎, 長谷川咲佳
インテリア 担当/森川絃子
構造 担当/菊池紀恵
設備 担当/松岡裕樹
電気 担当/飯田浩隆
技術協力
 木造木質化協力 三菱地所(株)関連事業推進室CLTユニット 担当/海老澤渉
構造設計協力
 (株)三菱地所設計構造設計部
 担当/川村浩, 海老澤渉, 諸伏勲
CLT設計協力 五十田博京都大学生存圏研究所教授
企画・監修
 木構造プロジェクトチーム
 高畑真二, 森川絃子, 木村憲一, 嵐信介, 菊池紀恵, 田上知寛, 小林卓也, 堀内茂, 石川守, 相良雄二, 近藤剛

施工
 建築 大豊アーキテクト(株)
 担当/堀畑俊夫, 山田昇
 電気 栗原電業(株)
 設備 (株)テクノ菱和
木構造 SMB建材(株)
 配筋付製材型枠 三菱地所(株), ケンテック(株)
 CLT製造 山佐木材(株)
 木仕上げ・木二次部材 (株)本久
 内装 (株)アドヴァン
 外構 (株)NIPPO
 外壁木質防水 (株)染めQテクノロジー
敷地条件
 地域地区 工業専用地域
規模
 敷地面積 63,248.60m²
 建築面積 473.43 m²
 建蔽率 10.75% (全体)
 容積率 11.71% (全体)
 最高軒高 8.35m
 最高高さ 8.665m
構造

主体構造 鉄筋コンクリート造 (CLT耐震壁・スギ)+木造 (大断面集成材)
設備
 空調設備
 空調換気設備
 空冷ヒートポンプ方式全熱交換器
衛生設備
 給水 受水槽を用いた加圧給水方式
 排水 雨水と汚水雑排水は分流
 消火設備
 消火器, 自動火災報知機
工程
 設計期間 2018年10月~2019年6月
 施工期間 2019年7月~2020年3月
外部仕上げ
 研究棟
 屋根 合板下地の上硬質ウレタンフォームの上ガルバリウム鋼板縦はげ葺き
 外壁 2階南面: 加圧水蒸気下高温加熱処理木材(スギ・熊本県産)の上自然塗料, 2階北・東面: 金属サイディング, 1階南・西面: コンクリートス



南西側からの全景



2階食事室コーナー



CLT耐震壁モックアップ

ギ板型枠打放しの上耐久性水性無機塗料(ランデックスコート), 1階北・東面: コンクリート打放しの上撥水剤塗布, 耐震壁: CLTの上(外壁面クリアーコーティング剤)
 軒天 1階: コンクリート打放しの上耐久性水性無機塗料(ランデックスコート), 2階: 加圧水蒸気下高温加熱処理木材の上自然塗料
 開口部 アルミカーテンウォール+ガラス+複層ガラス(Low-e+A+FL)
 車寄せ
 屋根 板下地の上硬質ウレタンフォームガルバリウム鋼板縦はげ葺き, 側面: 木板貼り(ラミナ板: スギ)クリアーコーティング剤

軒天 木板の上自然塗料
 柱 鉄骨 メタリック塗装
内装仕上げ
 オープンスペース
 天井 配筋付製材型枠現し(鹿児島県産スギ材)
 壁 ビニルクロス, CLT耐震壁現し
 床 OAフロアの上塩ビタイル600角
 事務室・会議室
 天井 岩綿吸音板
 壁 ビニルクロス
 床 OAフロアの上タイルカーペット
 研修室
 天井 直天木毛セメント板(大断面集成材のフレーム現し)
 壁 ビニルクロス

床 OAフロアの上タイルカーペット
 食堂コーナー
 天井 直天 木毛セメント板(大断面集成材のフレーム現し)
 壁 ビニルクロス
 床 ビニル織物床材
 P.54 パブリックエリア
 P.55 南西側外観
 P.59 集成材の柱・梁を現しにした2階研修室集成材フレーム

構造計画

菊池紀恵 ● 大豊建設株式会社

本建物設計では、次の二つの木質ハイブリッド構造をテーマとした。

- ①木造とRC造の立面混構造
- ②CLTを使った耐震壁（先付工法・後付工法）

◎構造概要

本建物は、1階をRCラーメン構造、2階を木造ラーメン構造とする立面混構造とした。1階RC造の架構内には、2種類のCLT耐震壁を、2構面ずつ配置している。剛性差のあるRCとCLTの挙動が明確になるよう、RC造はラーメン構造で計画し、構造計算上は、RC造ラーメン骨組のみで必要な耐力・剛性を確保し、CLT耐震壁は構造計算上の付加要素として取り扱い、CLT耐震壁を有効とした場合において、周辺架構の安全性などを別途確認した。2階の木造は大断面集成材によるラーメン構造で、柱・梁の接合部はGIR接合を採用している。2階の研修室は、12.5mのロングスパンとした。

◎立面混構造

木造の中・高層化と上層階の木造化の展開を見据え、本建物は立面混構造で設計を行った。混構造では、剛性差が留意点であるが、上層階を木造、下層階をRC造とする建物においては、下階の剛性が十分に高ければ、剛性率による割増が不要となる。今回設計においても、2階の木造に対して1階のRC造が十分な耐力と剛性を確保できるよう、ルート2-1相当の耐力を有する計画とし、剛性率による割増は行っていない。

当該敷地は、防火指定が未指定の地域であったが、二つの直通階段設置免除の緩和適用のため、主要構造部は準耐火性能が求められた。そのため、2階の木造の柱・梁は45分準耐火の燃えしろ設計を行うことで、研修室・食堂コーナーの躯体現しを可能とした。

◎CLT耐震壁

CLTは直交積層材なので、寸法安定性があり、十分な靱性や強度が確保できることに着目し、新しい材料であるCLTを耐震要素とすべく検討を行った。工法は、新築に対応する工法（先付工法）と耐震改修・

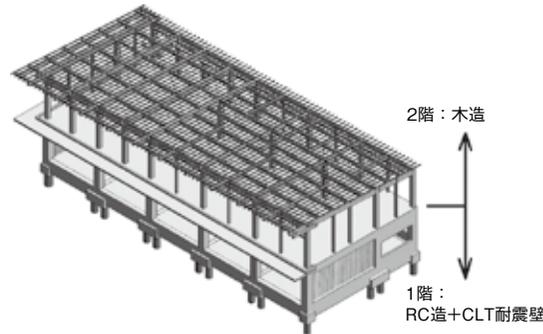


図1 架構計画



①CLT耐震壁（先付工法）をオープンスペースより見る

補強工事に対応する工法（後付工法）の二つとした。

1) CLT耐震壁（先付工法）

複数枚のCLTパネル間およびRC造の架構とCLTパネル間をGIR接合により、接合して1枚のCLT耐震壁を構成する。GIR接合はRC造の架構とも取合いやすく、CLT耐震壁とRC造躯体の一体的な施工を可能にしている。本建物では、8.1mスパンの構面を4枚のCLTパネルで構成している。1枚のCLTパネルのサイズは、板厚210mm×幅1.8m×高さ2.85mとした。材料はスギ材で、強度等級M×60-5-7のCLTを採用している。

強度発現機構は、まず始めにCLTとRCの架構のGIR接合部でせん断力が伝達し、その後、RC造の架構内でCLTが圧縮ストラットとして働き、水平力を伝達する。

2) CLT耐震壁（後付工法）

RC造の架構に取り付けた鋼板プレートを、挟み込む形で複数枚のCLTパネルをセットして、ドリフトピンで接合する。CLTパネル間については、先付工法と同様、GIR接合にて接合し、1枚のCLT耐震壁を構成する。乾式工事となるので、工期短縮が期待できる。本建物では、4.4mスパンの構面を7組（2枚/組）のCLTパネルで構成した。1枚のCLTパネルのサイズは、板厚90mm×幅500mm×高さ2.9mとした。1枚当り60kg程度

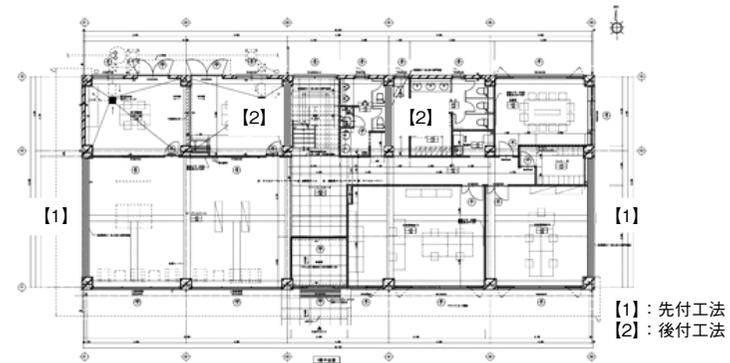


図2 CLT耐震壁配置計画図



②CLTパネル建方状況

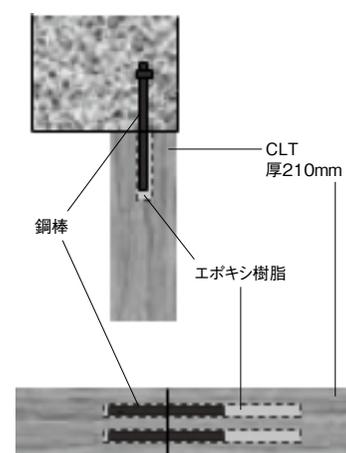


図3 GIR接合



④CLT耐震壁（後付工法）

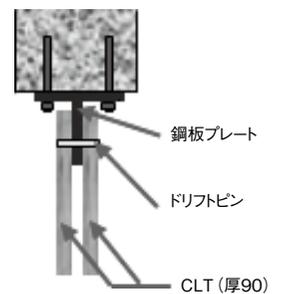


図4 ドリフトピン接合



③CLTパネル建込状況

で、改修時に人力での搬入が可能な重量およびサイズとした。材料はスギ材で、強度等級S60-3-3のCLTを採用している。

強度発現機構の想定は、まず始めに、CLTとRC造の架構のドリフトピン接合部でせん断力が伝達され、次に分割したCLT間のGIR接合部およびCLTパネルで、せん断力が伝達される。

◎おわりに

本建物では、CLT耐震壁を設置することで、建物耐力を1.3倍程度上昇させることが可能となった。CLTはRCなどの架構に比べて、剛性が低く、CLT耐震壁を配置したときの建物の偏心率への影響は、RCの耐震壁やS造のブレースと比べて小さく、平面計画の自由度が上がる。また、CLTの比重はRCの1/5程度なので、RCとのハイブリッドにおいては、架構の軽量化が図れるとともに、有効に耐力を確保できる構造物材として期待できる。意匠性の点では、CLT耐震壁は現して使うことができるので、豊かな木質空間が実現できるのではないかと。

CLTは新しい材料であり、さまざまな可能性が考えられるが、混構造は有用と思われる。中大規模木造の実現には、まだ課題もあるが、CLTとRCの混構造には引き続き取り組んでいきたい。

（きくち のりえ）

【謝辞】

本プロジェクトの実施に当たり、ご指導、ご協力賜りました三菱地所CLTユニットの海老澤渉氏、ユニットの皆様、三菱地所設計諸伏勲氏、五十田博京都大学教授に心より感謝申し上げます。また、SMB建材の皆様には、施工についてもご協力を賜り、感謝いたします。

仮設材兼仕上材 配筋付製材型枠の開発

海老澤 渉 ● 三菱地所(株) CLTユニット

当社は2017年に専門部署CLTユニットを組成し、CLTを活用したプロジェクトの事業化に向けた検討を進め、みやこ下地島空港ターミナル、PARK WOOD 高森、CLT PARK HARUMI、PARK WOOD office iwamotochoなど実案件の設計から施工をとおして有効なCLT活用方法を構築してきた。現在では工期短縮による建築コスト減と環境への貢献を両輪で実現する木材活用に向けた研究開発にも取り組み、仮設材と仕上材を兼ねる新たな建材「配筋付製材型枠」を開発した。開発にあたり、モックアップによる施工検証を大豊建設の協力を得た。本建物にて配筋付製材型枠の実際の現場での課題解決を行い、RC造や鉄骨造などのような構造でも採用できる新たな木材活用方法の確立を目指した。本稿では、開発に至る経緯、製品の主な特徴などを紹介する。

◎スタートはCLT型枠

なぜ型枠なのか。それは単純に現行の防耐火規制の中で、床CLT造を採用しても耐火建築物では耐火構造とするための耐火被覆（強化石膏ボードなど）でCLTが見えなくなる、かつ、耐火被覆のコスト増で建築工事費が上がってしまう。事業者からすると使う意味があるのか、という反応が多く寄せられる。これがCLTだけでなく木造に関する技術開発が進み、木造木質化プロジェクトが多く雑誌などで紹介されても、耐火建築物では大量に普及するに至っていない最大の要因と考えられる。

当社ではPARK WOOD 高森の集合住宅を皮切りに、高層建築でのCLT利用を進めており、続くPARK WOOD office iwamotochoのオフィスビルで床CLT利用のローコスト化に成功しているが、まだコストは増加傾向にあるため、今後も継続してローコスト化を図っていく必要がある。ただ、これには新たな耐火試験や施工方法の改良、CLTならではの先取り工事などが必要となり、これから先の耐火規制緩和なども視野に入れながら開発していくこととなるため、同時並行でCLTを見える形で利用し、かつ、耐火被覆が不要と



①配筋付製材型枠の試作

なる利用方法を考えた結果がCLT型枠であった。繰り返しになるが、型枠であればCLTは単なる仮設材であり、耐火構造の床は通常のRCスラブで構築するため耐火被覆が不要となる。

◎CLT型枠の課題

これも単純にコストである。そもそもS造であればデッキプレート、RC造であれば在来型枠との置き換えとなるため、このコスト差をなくさない限りは事業として考え難い。また、現し利用により空間の付加価値が高まるということもあるが、ここでも防耐火規制がネックとなり、用途や規模によっては内装制限がかかることになる。CLTの不燃・準不燃化は現状では困難であるため、内装制限がかからない部位限定で考える必要がある。上記をクリアするものを試行錯誤し、辿り着いたのが配筋付製材型枠である。写①は、初期の試作時の写真である。

◎配筋付製材型枠

コスト的に成り立つところまで型枠材となる木板を薄くし、RCスラブで必要となる主筋をラチス筋で鉄筋トラスにして剛性と耐力を確保し、木板と合体させたのが本配筋付製材型枠である。鉄筋トラスには現在一般的に使用されている配筋付きデッキであるケンテック社のスーパーフェローデッキで使用されている鉄筋トラスを用いている。

工法としては鉄筋トラス付木質捨て型枠工法となる

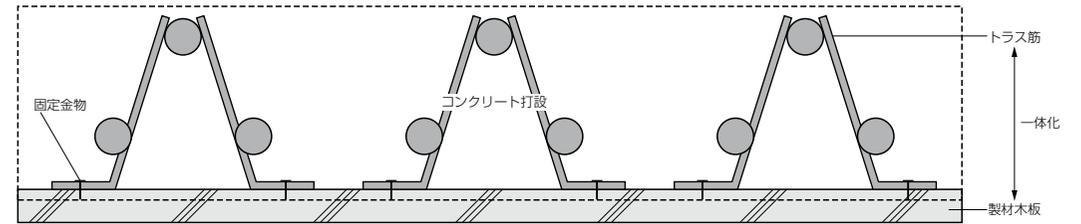


図1 配筋付製材型枠構成図



②表面スギ上小節型枠



④型枠敷き込み時



③表面スギ節あり型枠



⑤竣工時型枠内観

ため、一般的なフラットデッキなどの捨て型枠が木質捨て型枠となったものにユニット化された鉄筋が付いている構成である。

RC造であれば、通常廃材となる型枠材をそのまま内装（天井）の仕上材として利用することで、ローコストで天井の木質化と環境配慮の両面を実現することが可能である。木質化、環境配慮、現場鉄筋工事の簡略化・短期化が可能で、さらに仕上材を兼ねるため通常の天井工事自体が削減可能となる。天井設備や配線・配管を見せていくデザインになるが、この辺りは設計者のデザイン力・応用力・発想力などいろいろな使い方を試していただきたい。

◎今後に向けて

CO₂排出量の削減や炭素固定など地球環境への配

慮が益々求められる中、増え続ける国内の木材資源の有効活用、林業活性化、地方創生、国土強靱化、治山治水など社会課題の解決となる木材活用による循環型社会の実現はさらに重要性を増してくる。この配筋付製材型枠においてビジネスモデルを構築し、工事費の低減や工期短縮、さらには将来の事業機会創出へとつなげて木材利用を増やし上記の社会課題を解決していきたいと考えている。

(えびさわ わたる)

【謝辞】

配筋付製材型枠の開発にあたり、ヒアリングにご協力賜りました設計事務所各社、ゼネコン各社、初めてとなる現場施工にあたり、ご指導、ご協力賜りました山田所長をはじめ現場の皆様、大豊建設の皆様にご協力申し上げます。また配筋付製材型枠の製造にあたりご尽力いただいたケンテックの皆様、山左木材の皆様にご協力申し上げます。

施工計画

田上知寛●大豊建設㈱
山田 昇●大豊アーキテクノ㈱

◎木質材料の配置計画

本建物は、1階を木質耐震壁ハイブリットRC造、2階を木質ラーメン構造とする立面混構造の建物である。

1階のRC造は両方向純ラーメン架構で、その架構内に耐震要素であるCLT耐震壁(先付け工法2構面、後付け工法2構面)を配置した。2階の木造は、集成材による両方向ラーメン構造で一部12.5mの大スパンを有する。

◎CLT耐震壁

1) 先付け工法

1階床面から+200mm立ち上げたアンカー用基礎の鉄筋へ、CLT耐震壁に設置してあるアンカーを入れ込み、パネル下部の両端に高さの調整用のアジャスターを取付け、高さに寄りの微調整を行った。パネル全体はPC壁工法で使用する金物を使用し、建入れを行い固定した。先付工法は、GIR工法でCLTにアンカーを固定しコンクリートにアンカーを定着させて一体化し、パネルどうしはGIL接合で、エポキシ樹脂で固定した。

樹脂で固定する前の出入り調整と次工程の型枠、コンクリート打設における汚濁防止の養生は念入りに実施した。

また、直接外壁となる面は、防水性能が必要なため、10年保証の取れるクリア塗装仕上げとした。

2) 後付け工法

コンクリート躯体に打ち込んだアンカーにガセットプレートを設置し、それを挟み込むようにCLT板を取付け、ドリフトピンで接合する。パネルサイズはハンドリングを考慮して巾500mmとし人力での運搬取付けを可能とした。CLTへの穿孔にはあそびがないため、ガセットプレートのアンカー固定はCLT設置後とした。ドリフトピンのCLTのパネルジョイントは、先行工法と同様にGIR接合とした。

◎配筋付型枠

原木から採取した板材を横方向に接着し、一定サイズ(約2.0×3.6m)のパネルにした後、トラス筋を設置したもので、専用吊り込み治具を使用し、クレーンにて揚重し、梁側の型枠に取り付けた。固定は木ねじで

表1 CLTの仕様

項目	CLT (先付け)	CLT (後付け)	集成材 (2階木材)
メーカー	山佐木材㈱	山佐木材㈱	藤寿産業㈱
強度等級	Mx60-5-7 厚210mm	S60-3-3 厚90mm	E105-F300
樹種名	国産材 スギ	国産材 スギ	国産材 カラマツ
使用環境	使用環境B	使用環境B	使用環境A
材面品質			2種

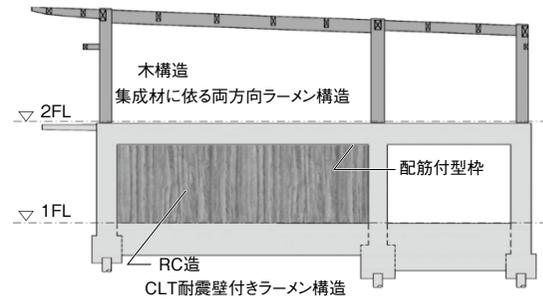


図1 軸組図

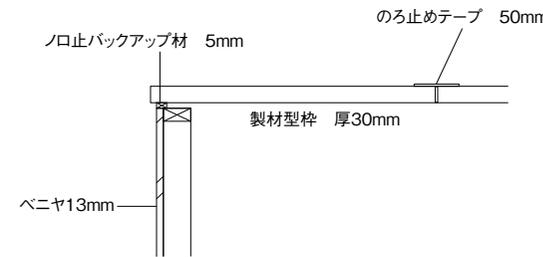


図5 配筋付型枠詳細図



①大断面集成材揚重の様子

仮止めした後、プラスチック釘で固定した(現し仕上げのため)。また、取付けに当たり、コンクリートを打設した際、既存型枠と配筋付型枠、配筋付型枠のジョイント部分からのコンクリート流出が考えられたため、既存型枠と配筋付型枠にはバックアップ材(ポリエチレン)を取付け、配筋付型枠のジョイント部にはのろ止めテープを貼り、コンクリート流出防止を行った。運搬時、仮置き時および支保工接触部などを養生し打痕防止に留意した。

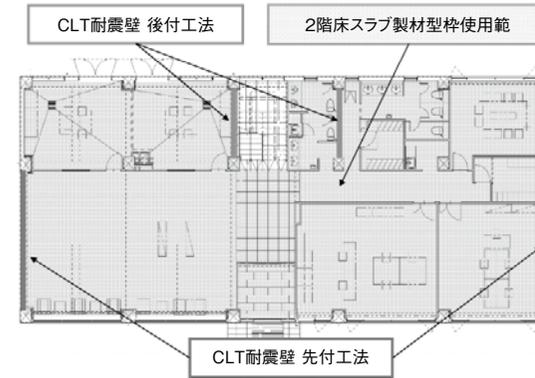


図2 平面図

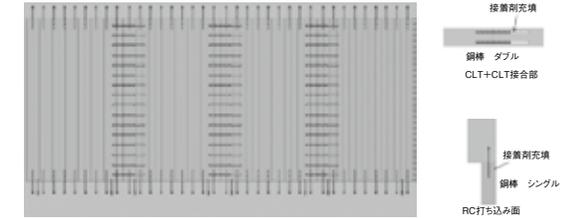


図3 CLT耐震壁先付工法

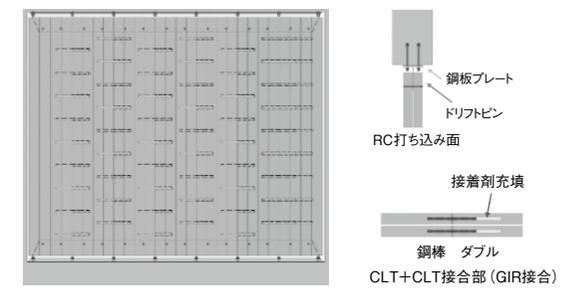


図4 CLT耐震壁後付工法



①先付工法取付け状況



②先付工法エポキシ注入



③先付工法取付け完了



④後付工法取付け状況



⑤配筋付型枠施工状況



⑥配筋付型枠設置状況



⑧2階木造部施工

◎木構造

RC構造と木構造の接合部は、アンカー定着とGIR接合となっている。1階のコンクリート打設に先立ち、1階柱頭部にアンカーボルトを設置した。アンカーボルトの精度は、鉄骨構造のアンカーと同程度の精度が要求されるため、テンプレートを用いて寸法精度を確保

した。コンクリート養生後にアンカー精度を再確認し、大断面集成材をクレーンにて揚重し設置した。

各接合部(柱~梁、梁~梁)に関しては、エポキシ注入を行い、接合するGIR工法とした。

(たのう え と も ひ ろ や ま だ の ぼ る)