

中大規模木造建築物の実現に向けた構造計画及び施工報告

Structural Planning and Construction Report for Mid to High-Rise Wooden Construction

古澤 知也* 宮崎 義彰**
Tomoya Furusawa Yoshiaki Miyazaki
田中 勝也** 木村 智史***
Katsuya Tanaka Satoshi Kimura

要 約

本稿は、中大規模木造建築物の実現に向け「P&UA 構法」を日本国内で初めて実施工に適用し、主要構造部を木造とした耐火建築物の構造計画、施工計画および施工結果をまとめたものである。本物件の構造計算ルートには、ルート3（保有水平耐力計算）を適用し、建物の桁行方向には木造ラーメンを、梁間方向には木造耐力壁架構を採用した。施工については、モックアップ試験施工を通じて、計画段階では分からなかった課題を抽出・改善することができ、スムーズに実施工に移行することができた。建方精度は柱建て込み時の精度を厳しく管理することで、すべての箇所管理許容差内に納まった。躯体サイクル工程については、柱際スパンクリート、中廊下の在来型枠の施工時期を調整することで、工期短縮につながった。

目 次

- § 1. はじめに
§ 2. 構造計画
§ 3. 施工計画
§ 4. 施工結果
§ 5. おわりに

§ 1. はじめに

本物件は、中大規模木造建築物の実現に向け「P&UA (Panel & Unbonded Anchor) 構法」¹⁾を日本国内で初めて実施工に適用し、主要構造部を木造とした耐火建築物で、神奈川県川崎市の宮前平駅（南口）から徒歩5分圏内の閑静な住宅街にある敷地に、5階建ての寄宿舍棟と平屋の共用棟を建設するものである。耐火被覆や仕上げの関係で、寄宿舍棟の内装に主要構造部である木造部分が露出されることはないが、木造をイメージした調色の内外装材を選定することで落ち着いた質感を呈するよう設計されている。工事概要を表-1に示す。

本稿では、P&UA 構法を適用した寄宿舍棟の構造計画、施工計画および施工結果を報告する。

* 関東建築（支）宮前平（出）
（現：技術研究所 建築技術グループ）
** 関東建築（支）宮前平（出）
*** 構造設計部

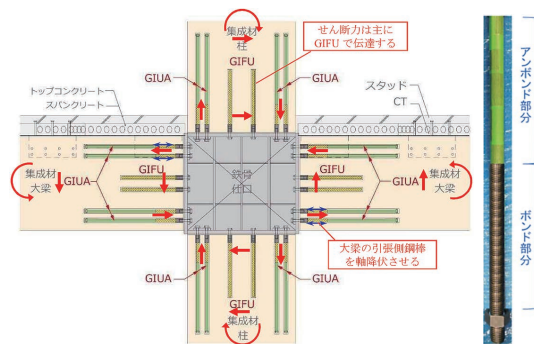
表-1 工事概要

工事件名	川崎市宮前区小台2丁目計画
発注者	伊藤忠商事株式会社
設計者	西松建設株式会社 一級建築士事務所
工事場所	神奈川県川崎市宮前平2丁目8-1
工期	2023年11月1日～2025年1月31日
工事範囲	建築工事全般
建物規模	地上5階、木造（一部鉄骨造）、※共用棟：地上1階
建物用途	寄宿舍

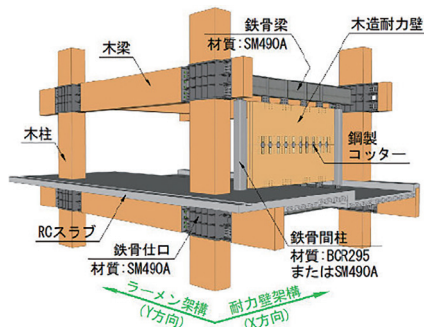
§ 2. 構造計画

2-1 P&UA 構法の概要

P&UA 構法における、柱・梁と鉄骨仕口（パネルゾーン）は、主に曲げモーメントを負担する Glued in unbonded anchor（以下、GIUA）と主にせん断力を負担する Glued in full unbonded anchor（以下、GIFU）の2種類のアンカーボルトによって接合される。図-1に柱・梁-鉄骨仕口との接合方法を示す。GIUAは、従来の GIR（Glued in rod）を改良した接合方法で、木部材に挿入したアンカーボルトに接着剤との定着耐力を確保するボンド部分と、木部材との接着を切って軸変形させるアンボンド部分を有する。なお、外力が加わった際には、アンカーボルトに設けたアンボンド部分を先行降伏させることにより、木部材の脆性破壊を防ぎ、靱性能の向上を図っている。一方、GIFUはシアキーとしてのみ機能するよう、ア



図一1 柱・梁一鉄骨仕口との接合方法



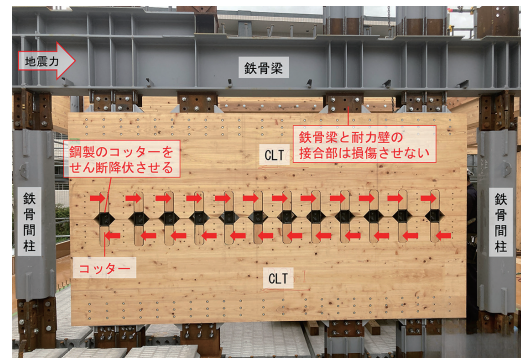
図一2 構造計画の概要

ンカーボルトの全長をアンボンド範囲として接合している。

2-2 建物の構造計画

本物件の構造計算ルートには、ルート3（保有水平耐力計算）を適用し、特に梁接合部では曲げ破壊先行型全体崩壊機構となるよう設計した。

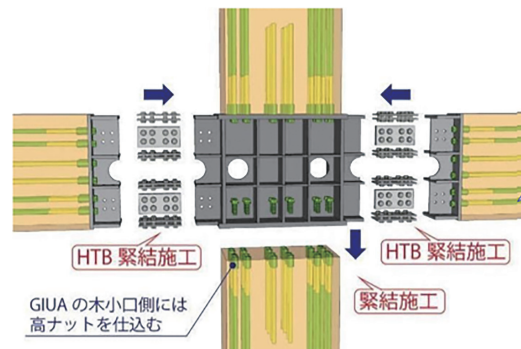
建物の桁行方向には、開放性のある木造ラーメンを、梁間方向には、戸境壁を利用した木造耐力壁架構を採用した。図-2に構造計画の概要を示す。本物件の木造ラーメンは、集成材の柱・梁と鉄骨仕口で構成している。柱・梁と鉄骨仕口との接合には、前述の GIUA および GIFU を用い、高耐力、高剛性、高靱性を確保している。一方、木造耐力壁は上下に並べた2枚の CLT 間に鋼製接合材（以下、コッター）を差し込んで接続したシアリングコッター耐力壁である。写真-1に木造耐力壁の抵抗機構を示す。この耐力壁は大地震時に上下の CLT が水平方向にスライドすることでコッターをせん断降伏させ、地震エネルギーを吸収する機構を有する。耐力壁の周辺架構は、剛性および耐力を確保するために、大梁を両端ピン接合の鉄骨梁とし、耐力壁降伏時にも周辺架構が弾性範囲内に留まるよう設計した。また、耐力壁の両脇には鉛直力を負担する鉄骨間柱を配置した。床には振動、遮音および施工性を考慮し、スパンクリートを用いたハーフ PC (RC 造)を採用した。床との一体性を高め、床スラブからの力を伝達するために、木梁天端にはラグスクリュールボルトを、鉄骨梁天端には頭付きスタッドを配置した。なお、写真-2のように木梁天端のラグスクリュールボルトは、梁端部（写真の赤破線で囲んだ箇所）には配置しな



写真一1 木造耐力壁の抵抗機構



写真一2 ラグスクリーボルトの配置状況



図一3 木梁-鉄骨仕口接合部の納まり

いよう計画した。これは、剛接合部では GIUA との干渉を避けるため、ピン接合部では木梁に内蔵されているガセツプレートとの干渉を避けるためである。

§ 3. 施工計画

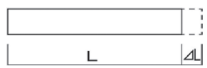
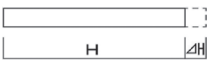
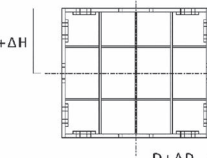
本物件での施工手順や管理方法、躯体サイクル工程を含めた施工計画を以下に記す。

3-1 木梁と鉄骨仕口の納まり

前述のように、木梁と鉄骨仕口を GIUA および GIFU で接合する納まりとする場合、現場での施工難易度が高くなり、接着剤の充填・硬化に時間を要することが懸念された。そこで、施工性の向上、工期短縮を図り、本物件では木梁－鉄骨仕口接合部は図－3 のように高力ボルト緊結施工とする納まりとした。これにより、木造工事を経験したことのない鉄骨葺工による建方が可能となり、本物件も鉄骨葺工により建方を実施する計画とした。

表ー2 モックアップ試験施工を通じて実施工に反映させた内容

項目	実施工に反映させた内容
耐力壁の建て起こし	大梁や間柱と一体での建て起こしは行わず、間柱、耐力壁、大梁の順に建方を行う
柱のボルト締め	柱際のスパンクリート敷き込み前にボルト締めを行う 鉄骨仕口近傍の嵩上げ材の一部を欠き込む、カットTを分割する
木梁と鉄骨仕口の取り合い	高力ボルトの締付けが安全に行えるよう、ガセットプレートを長くする
建方精度	PCa 造のように柱建て込み時の精度を厳しく管理することで全体の建方精度を高める

名称	図	管理基準値
梁の長さ		梁の両端で $-2\text{ mm} \leq \Delta L \leq +1\text{ mm}$
柱の長さ		$-1\text{ mm} \leq \Delta H \leq +1\text{ mm}$
鉄骨仕口 せい ΔD 高さ ΔH		片側 $-2.5\text{ mm} \leq \Delta D \leq +0\text{ mm}$ 片側 $-2.5\text{ mm} \leq \Delta H \leq +0\text{ mm}$

図ー4 代表的な部材製作精度



写真ー3 モックアップ試験施工の様子

3ー2 部材製作精度・建方精度

本構法では、柱・梁仕口部における GIUA, GIFU の取り付けに高い精度が求められることから、木部材単体の製作精度は、文献²⁾に基づいた精度基準以上に厳しい基準を設定することが望ましい。そのため、本物件では、前述のように木梁－鉄骨仕口接合部を高力ボルト納まりとしたことも考慮して図ー4 に示すような管理基準値を設定した。鉄骨仕口の製作精度については、現場での調整方法も考慮して、仕口せいと高さはマイナス管理とした。建方精度については、後述のモックアップ試験結果を踏まえ、関係者と協議を行い、通常の鉄骨造と同様の建方精度³⁾の管理許容差・限界許容差で管理することとした。

3ー3 モックアップ試験施工による検証

計画段階では分からない課題を抽出・改善し、実施工を円滑に進めるため、建方開始の約1カ月前に、本物件の一部を実大部材で抜き取り、モックアップ試験施工を実施した(写真ー3)。モックアップ試験体は1～3階床までの1×1スパンとし、試験施工では木造建方からスパンクリート敷き込みまでの一連の作業を実施した。

モックアップ試験を通じて実施工に反映させた代表的な内容を表ー2 に示す。耐力壁については、大梁や間柱と一体での建て起こしは行わず、間柱、耐力壁、大梁の順に建方を行う計画とした。これは、耐力壁と大梁および間柱を連結した状態で建て起こしをした際に、耐力壁と大梁を接合するガセットプレートが変形する恐れがあったためである。柱脚の高力ボルト締めは、シャーランナーにより締めが行えるスペースを確保するために、柱際のスパンクリートを敷き込む前にボルト締めを行うこととした。また、梁と鉄骨仕口との取り合いは木取り合いと鉄骨取り合いの2パターンあるが、どちらも直上の



写真ー4 嵩上げ材の欠き込み状況



写真ー5 カットTの分割状況

柱の高力ボルト締め付けの際にシャーランナーによる作業スペースを確保できないことが判明したため、木取り合いの場合は、木梁上の嵩上げ材の一部を欠き込み(写真ー4)、鉄骨取り合いの場合は、カットTを分割し、柱脚の高力ボルト締め付け後に、後施工で取り付けるような納まりとした(写真ー5)。建方精度の管理については、鉄骨造と同じ方法での建入調整が難しいことが判明したため、柱建て込み時の精度を厳しく管理することで、全体の精度を高めるように計画した。

表－3 躯体サイクル工程

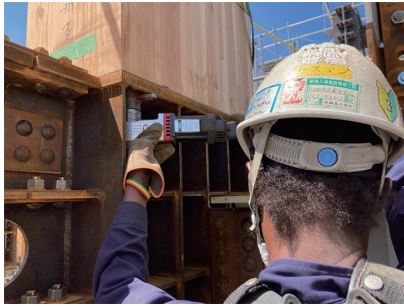
1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目
墨出し	支保工組立て	スパンクリート設置	柱・耐力壁建方	梁建方	梁建方	柱際スパンクリート設置	本締め	本締め



写真－6 スパンクリート設置状況



写真－7 柱・耐力壁建て込み状況



写真－8 柱脚ボルト締付状況

表－4 製品検査の頻度・主な検査項目

	製品検査頻度・タイミング	主な検査項目	指摘事項
木 製作工場	・モックアップ前検査 ・節ごと（1フロアごと）の完成検査	・寸法検査 ・外観検査（欠け、割れ、傷等） ・接着剤充填状況 ※初回のみ実施 ※製品検査要領書に基づいた抜取率で実施	目立つ指摘等はない
鉄骨 製作工場	・モックアップ前検査 ・節ごと（1フロアごと）の中間検査および完成検査	・寸法検査 ・溶接外観検査 ・第三者機関 UT 検査 ※製品検査要領書に基づいた抜取率で実施	目立つ指摘等はない

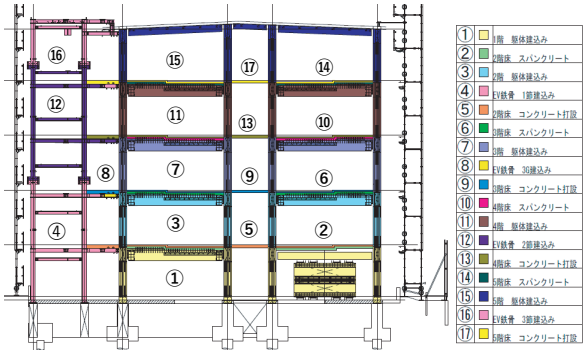
3－4 施工手順

木造建方は、敷地の配置条件から 60t ラフタークレーン 1 台を使用し積み上げ方式で実施した。節毎に全ての柱と耐力壁（両側の間柱含む）を設置した後に大梁を設置する建方手順で計画した。

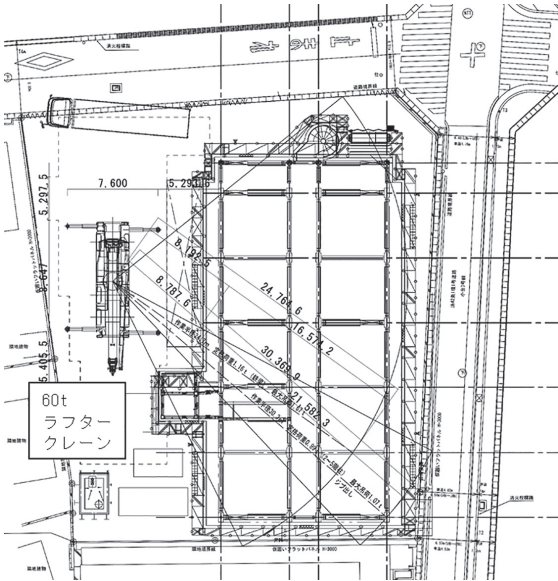
2 階以降の主な施工の流れとしては、スパンクリート用支保工の設置⇒スパンクリート敷き込み⇒柱・耐力壁建て込み、建入調整、柱脚本締め⇒梁間方向の大梁建て込み⇒桁行方向の大梁建て込み⇒梁本締め⇒中廊下在来型枠設置の順で計画した。床スラブのコンクリート打設は、柱、耐力壁、大梁を設置した後に実施する計画とした。図－5 に木造建方手順図を、図－6 に木造建方重機配置図を示す。

3－5 躯体サイクル工程

躯体サイクル工程のうち、墨出しから木造本締め完了までは、表－3 の通り 9 日間で計画した。当初は、作業床となるスパンクリートを設置したタイミングで次節の柱・耐力壁・梁の建方を実施する計画であったが、前述のモックアップ試験結果を踏まえ、柱と鉄骨仕口を接合するために、柱際のスパンクリート 1 枚分を抜いておき、梁建方が完了した時点で柱際のスパンクリートを敷き込む手順で計画した。写真－6、7、8 にサイクル工程内の代表的な施工状況を示す。



図－5 木造建方手順図



図－6 木造建方重機配置図

§ 4. 施工結果

以上の計画に基づき実施した、本物件の施工結果を以下に記す。

4-1 製品検査

本物件の場合、木造と鉄骨造のハイブリッド構造のため、製品検査については木製作工場と鉄骨製作工場の2箇所で行う必要があった。木製作工場、鉄骨製作工場における検査頻度、検査のタイミング、主な検査項目、指摘事項を表-4に示す。また、製造の流れについては、鉄骨製作工場での検査で合格した鉄骨仕口、鉄骨ブラケットを木製作工場に搬入し、木製作工場にて木柱と鉄骨仕口、木梁と鉄骨ブラケットを取り付け、現場に搬入する形を採用した。これは、鉄骨製作工場では木を取り扱ったことがなく、傷、製品の保管方法等の品質面が懸念されたこと、木製作工場にあるクレーン等の設備で鉄骨部材を接合した木部材全体の揚重が可能であったことに起因する。鉄骨製作工場では、工場検査、構法説明、仮組検査を実施した。仮組検査の段階で精度確保のための打合せを実施したこともあり、製品検査時には特に大きな指摘は無かった。本物件では、前述のように直接木柱に取り付け鉄骨仕口の上端および下端の平滑度には高い精度が求められた。そのため、図-7に示すような鉄骨仕口の平滑度相対誤差表を鉄骨製作工場の方で作成し、その情報を木製作工場に展開することで業者間の情報共有を図った。なお、鉄骨仕口の製作精度管理基準値を超えた場合は、構造監理者と協議の上、後述の現場でのフィラープレート挿入によって対応した。さらに木製作工場では、製品発送前に鉄骨部材を接合した木部材全体の寸法精度表(図-8)によって、製品精度を管理した。木部材自体の製作誤差は概ね0~1mmであり、非常に高い製作精度であった。

4-2 建方精度

柱の天端レベルの管理については、木製作工場からの寸法精度表で部材寸法を確認するとともに、鉄骨仕口天端の4隅のレベルを計測し、調整が必要な箇所を抽出した。その後、写真-9のように、レベル調整が必要な箇所の柱脚に摩擦面処理したフィラープレートを挿入してレベルを調整した。実施工では、柱脚接合用六角ボルトの首下長さを65mmで統一しており、六角ボルトのねじ入れ長さ30mm以上を確保するために、鉄骨仕口のプレート厚さに応じて、座金の厚さを調整した(図-9)。また、レベル調整用のフィラープレートを挿入した場合も同様に、規定のねじ入れ長さを確保できるように座金の厚さを調整した。

建方精度管理については、①本締め前、②本締め後、③上階のコンクリート打設後の3段階で柱の倒れを計測して管理した。本締め後に計測したのは本締めによる柱脚

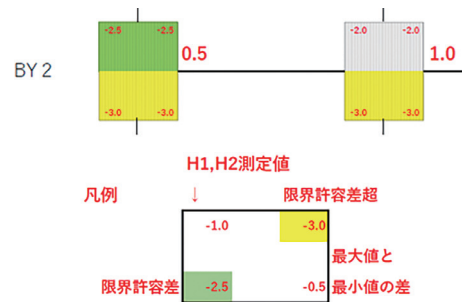


図-7 鉄骨仕口の平滑度相対誤差表

211	1	212	0
2933	2933	2934	2934
WC3	818	WC2	818
2935	2117	2935	2117
2934	2933	2934	2934
接着剤試験 2/25, 3/30		接着剤試験 2/25	

207	1	208	1
2934	2933	2934	2934
WC3	818	WC2	818
2935	2117	2935	2117
2934	2933	2934	2935
接着剤試験 2/25, 3/30		接着剤試験 2/22, 25	

<凡例: 柱>

相番	誤差
実測値	実測値
符号	金物H
設計値	木 材長
実測値	実測値

図-8 鉄骨部材接合後の木部材全体の寸法精度表



写真-9 レベルの調整方法

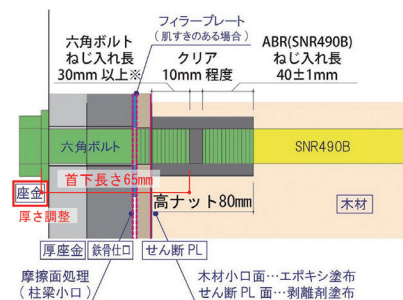


図-9 六角ボルトのねじ入れ長さ

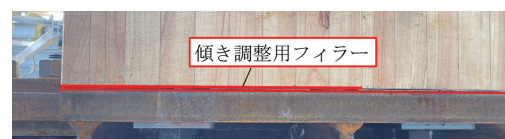


写真-10 柱の傾き調整方法

のめり込みの影響を、上階のコンクリート打設後に計測したのは荷重負担による影響をそれぞれ確認するためである。建入調整については、各柱の建て込み時に計測した柱の倒れを基に、写真-10のように柱脚の一部にフィラープレートを挿入することで調整し、再度、柱の倒れを計測して管理許容差内であることを確認した後に本締めを実施した。建入調整後の柱の倒れの計測結果の一例を図-10に示す。すべての箇所管理許容差内に納まり、さらに全体の半数以上は1mm以内に納まった。また、本締め後、上階のコンクリート打設後の計測結果は本締め前とほぼ差がなく、前述のめり込みや荷重負担の影響は少なかったと考えられる。

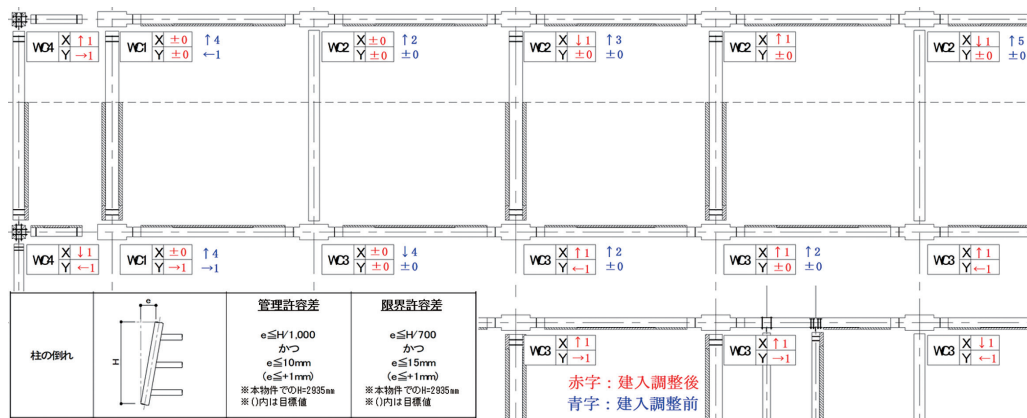


図-10 柱の倒れ 計測結果

表一5 躯体サイクル工程の比較

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目	8 日目	9 日目
計画	墨出し	支保工組立て 外部足場せり上げ	スパンクリート設置	柱建方 耐力壁建方	梁建方	梁建方	<u>柱際スパンクリート設置</u>	本締め	本締め
実施	墨出し	支保工組立て 外部足場せり上げ	スパンクリート設置	柱建方 耐力壁建方	<u>柱際スパンクリート設置</u> 梁建方	梁建方 <u>中廊下在来型枠設置</u>	本締め	本締め	—

4-3 躯体サイクル工程

表一に墨出しから本締め完了までの躯体サイクル工程の比較を示す。基準階の躯体サイクル工程は、1 節の経験を踏まえ、柱および耐力壁の建方後に柱際スパンクリートを設置するよう施工順序を見直した。また、計画では 10 日目に予定していた中廊下の在来型枠設置を前倒しして、6 日目に実施した。その結果、スラブ配筋の着手日が前倒しとなり、躯体サイクル全体として 1 日工期を短縮することができた。さらに、前述の施工順序見直しにより、作業床ができたことで、後工程である梁の建方、高力ボルトの本締めにそれぞれ、より安全にかつ、効率よく実施できた。

4-4 木部材の補修，耐水養生

木部材の補修については明確な基準が存在しないことから、各節の建方後に外観検査を実施し、1 mm 以上のひび割れ、1 cm 以上の欠けについては、工事監理者に報告・協議の上、当該箇所を補修した。補修材はエポキシ樹脂を主成分とした材料（商品名：オーシカダイン TE-64W）を採用した。配合は主剤 100 g、硬化剤 40 g、木粉 70 g とし、樹種により色味を調整しながら補修した。

また、木部材の耐水養生については、製作工場にてアクリル樹脂エマルジョン剤（商品名：もくぬーる）を木材表面に塗布した。さらに、現場では木部材に発生する鉄骨部の錆汚れを除去するため、水で約 100 倍に希釈したクエン酸水を用いることで、木部材の品質を損なうことなく当該部分を清掃することができた。

§ 5. おわりに

P&UA 構法を適用した本物件の施工について、まとめ

を以下に示す.

- ・モックアップ試験施工を通じて、耐力壁の建て起こし方法、ボルトを締め付けるために必要なスペースや建方精度の管理方法など、計画段階では分からなかった課題を抽出・改善することができ、スムーズに実施工に移行することができた。
- ・建方精度は柱建て込み時の精度を厳しく管理することで全体の精度を高めるようにした結果、すべての箇所管理許容差内に納まり、さらに全体の半数以上は1mm以内に納まった。
- ・躯体サイクル工程については、柱際スパンクリート設置と中廊下の在来型枠設置のタイミングを見直すことで、工期を短縮することができた。また作業床ができたことで、より安全にかつ、効率よく施工できた。

本物件は P&UA 構法を日本国内で初めて適用した物件であったため、各部材の製作精度、建方精度、施工手順や躯体サイクル工程など、多くの場面で試行錯誤しながら施工を進めた。本稿での報告が、今後施工される中大規模木造建築物の設計・施工を行う上での一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 竹内章博, 金川基:「中大規模木造建築物の実現」への取り組み 中大規模木造用高性能耐震フレーム構法 P&UA の開発, 西松建設技報 47 号, No. 15
- 2) 日本建築センター:大断面木造建築物設計施工マニュアル, 1988. 6. 30
- 3) 日本建築学会:建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事, 2018. 5