# 長崎市新庁舎

## RC柱梁＋木質耐震壁により意匠・構造・設備を統合したファサードデザイン

株式会社 山下設計　　大塚 直・小俵 慶太

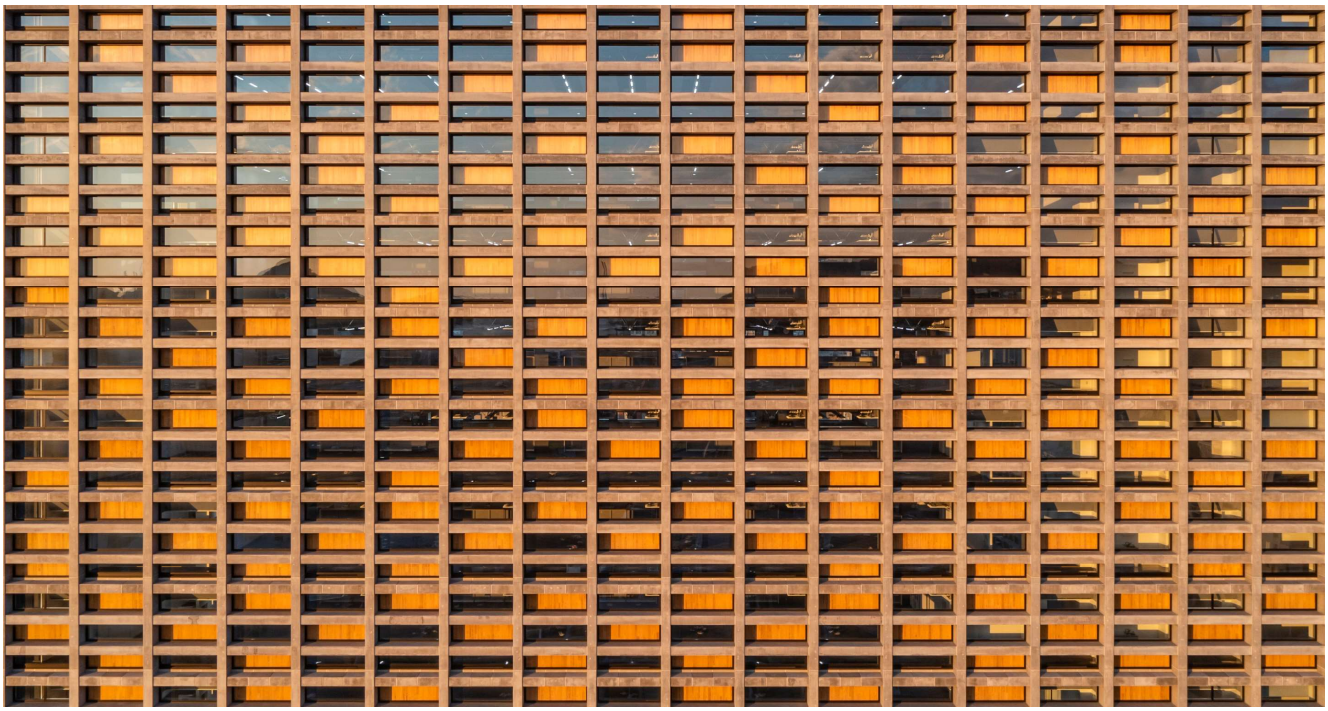
本建物は，鉄筋コンクリート造の柱梁による格子フレームと，そのフレーム間に挿入したCLTパネルによってファサードを構成し，外観と内観を特徴付けた免震構造の庁舎である。このファサード構成により建物の水平剛性を確保し，免震効果を高めているだけでなく，外皮の断熱効果や日射遮蔽効果を高めることで，意匠・構造・環境が一体となる計画とした。また，部材のプレキャスト化やPC圧着工法の活用により，工期を短縮する工夫も行った。

### １．はじめに

長崎市新庁舎は，旧市庁舎が抱えていた老朽化や耐震強度不足を解決する庁舎として，令和5年1月に開庁した。旧市庁舎は複数棟に分かれ，窓口機能が分散配置されていたため，新庁舎ではこれらを集約し，組織規模に応じた面積の執務室を積層することで高層化（建物高さ90.86m）し，都市の中心を示すランドマークの役割を持つ建築となった（**写真−１**）。計画に際し，防災拠点庁舎として高い耐震安全性を確保し，市民の安全と安心を守るだけでなく，社会的要請としての省エネルギー化や脱炭素にも取り組むことが技術的なテーマとなった。そこで，免震構造を採用し，免震上部架構において鉄筋コンクリート（RC）造（一部プレキャスト（PCa）部材や，プレキャストプレストレストコンクリート（PCaPC）部材を採用）の格子フレームと木質耐震壁を組み合わせ，高い剛性を持つ「外殻構造」として免震効果を高めた。木質耐震壁には，長崎県産材の杉を利用したCLT（Cross Laminated Timber）のパネルを用いており，外皮の断熱性能と耐震性能を向上させている（**写真−２**）。

本報告では，断熱効果や日射遮蔽効果を高めつつ，建物の外観・内観を構成する鉄筋コンクリート格子フレームに関する内容を主としながら，計画の概要や，プレキャスト部材やPC圧着工法の採用による工期短縮の工夫について記載する。

写真−１　建物全景



写真−２　RC柱梁とCLTパネルによるファサード

## ２．建物概要

敷地形状に合わせ，長手方向の壁面を南北に向けた建物形状としている。基準階の執務室は，建物中央をコラボレーションエリアとし，両サイドにコアを持つ平面形状（70.4m×32.0m）とした（**図−１**）。執務室南北面の外皮は，扁平部材を用いた格子状のRC柱梁により構成しており，柱はプレキャストコンクリート（PCaRC）造，梁は現場打ちRCおよびPCaPC造を採用している。これらの部材を，柱は@3200mmで配置し，梁は高さ方向に@1330mmで階高を3分割する配置としている。

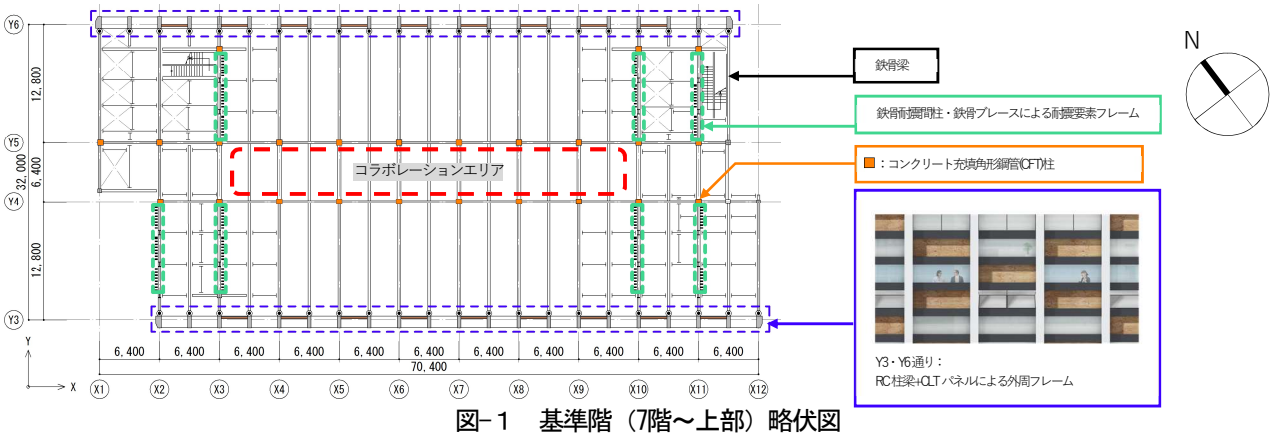
この架構では，格子フレーム面からサッシ（自然換気機能付）面を800mm程度後退させることで日射遮蔽効果を持たせており，格子フレーム内に組み込んだCLTパネル（断熱性能を見込む）と共に環境装置としての役割を担う（**図−２**）。また，この架構はデザインの特徴でもあり，超高層建物としての柱梁の概念を脱したプロポーション（見付け寸法400mm）で統一し，簡潔な外観を構成している。内部空間においても，天井を張らずに直吊りした放射空調の金属パネルを採用しており，RC格子フレーム，CLTパネルと共に力強い素材感を持ったインテリアを構成している（**写真−３**）。これらの外皮構成や，内部での設備システムの組み合わせにより，ZEB Readyの認証を取得している。

建物の外皮性能の評価値の一つで、年間熱負荷係数の基準値に対する設計値の割合であるBPIは0.88（1以下で省エネ基準相当），建物の利用に伴う直接的なエネルギー消費量の基準値に対する設計値の割合であるBEIは0.50（数値が小さいほど省エネの程度が大きい）である。

建物の概要を次に示す。

- 建築主　：長崎市
- 所在地　：長崎県長崎市魚の町4番1号
- 主要用途　：庁舎（事務所）
- 建築面積　：4,022.69㎡
- 延床面積　：51,752.46㎡
- 高さ　：90.86m
- 階数　：地下1階，地上19階，塔屋1階
- 設計監理　：山下設計・建友社設計・有馬建築設計事務所 特定設計業務共同企業体
- 施工　：清水・西海・長崎土建 特定建設工事共同企業体（建築工事）
- PCaPC工事施工　：株式会社建研
- 構造形式　：免震構造（免震層＝1階床下），ブレース・耐震壁付ラーメン構造
- 構造種別　：地下RC，地上S（一部RC・PCaRC・PCaPC・SRC）造
- 基礎形式　：直接基礎

写真−３　基準階・執務室内観




図−１　基準階（7階〜上部）略伏図

図−２　オフィス内の環境イメージ

## ３．構造計画

### ３．１　構造計画概要

災害時の防災拠点として機能する庁舎とする為，極めて稀に発生する地震動に対しても安全性を保持し，損傷を最小限に抑えることを目的として免震構造を採用した。免震層は1階床下に配置しており，地下1階の駐車場以外の庁舎の主要機能（執務室や窓口，議場等）は全て免震層上部の地上階に計画している。地上階の建物形状は，**図−３**に示すように1～5階の低層部に対して6階～上部の南側外壁面がセットバックし，高層階において**図−１**で示した平面形状となる。建物全体の構造種別は，高層，ロングスパン建物への適用性の高い鉄骨造を基本としているが，高層（塔屋を含め20層）となる部分の建物内側（主にY4，Y5 通り）の柱については，強度，剛性，変形性能に優れたコンクリート充填角形鋼管（CFT）柱とした。

一般に，鉄骨造の高層建物は架構の水平剛性が小さく，免震構造であっても地震時には上階に向かい加速度や変形が増幅する傾向にある。これを抑制するには，免震上部架構の水平剛性を免震層に対して十分高くし，免震効果を向上させる必要がある。そこで，鉄骨造の高層建物では外装材をカーテンウォールとすることが多い中，剛性確保の為に，建物長手（X）方向の外壁面を鉄筋コンクリート造の柱梁により構成した。また，そのフレームの内部に木質耐震要素（CLTパネル）を配置し，更に水平剛性を付与した。

建物短辺（Y）方向は，EV，階段室等が配置される両サイドのコア周囲に，鉄骨耐震間柱や鉄骨ブレースによる耐震要素を配置して剛性を高めた。計画初期の段階で，短辺方向を含めた建物全体のRC 化の検討を行ったが，地震時に大きな引張力が作用する箇所では断面寸法が過大になることや，建物重量を軽減してファサードを構成するRC柱梁断面を極力スリム化することを優先した結果，採用を見送り，RC造と鉄骨造のハイブリッドとして設計した。

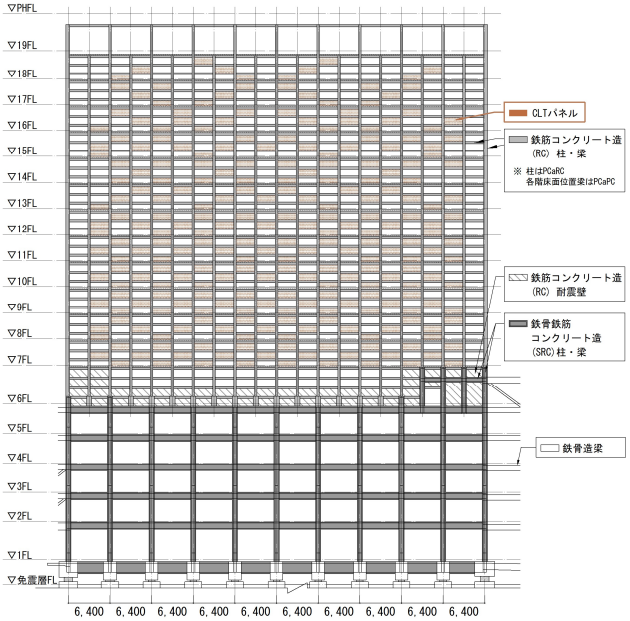
**図−３　全体構造架構パース**

地下階（免震層下部・駐車場）は，外周部に土圧壁を配置したRC造耐震壁付きラーメン構造とした。基礎底版レベル（設計GL-10.1m）で，N値が概ね60以上，せん断波速度$V_s$が1,000m/s以上となる凝灰角礫岩層に位置する為，直接基礎を採用した。

### ３．２　外殻構造の計画概要

高層部の長手方向外壁面を構成するY3，Y6通りの架構のうち、Y3通りの略軸組図を**図−４**に示す。格子状に配置したRC柱梁は設計基準強度$F_c$＝60N/mm$^2$の高強度コンクリートを用いており，断面寸法は柱幅400mm×奥行1,250mm，梁幅1,200mm×梁せい400mmとした。フレーム最外端位置の柱と，南側フレーム（Y3通り）の1～5階部分を除き，全部材を同一寸法で統一した。

南側フレーム（Y3通り）では，1～5階の低層部分が建物内側となる為，6F～上層部において3,200mmのピッチで配置した柱を1～5階において6,400mmのピッチに縮約し，階中間の梁（床スラブが取り付かない中段梁）を設けない架構形式とした（Y6通りでは1～5階でも柱を縮約せずに3,200mmのピッチとする）。柱本数を縮約した1～5階部分では，フレームの剛性，耐力の確保の為，構造種別をSRC造とした。柱本数の切り替え階となる部分（6階）では，下層で柱抜けとなる部分において柱梁フレーム内にRC造の耐震壁を挿入し，上階からの柱軸力を左右の柱に伝達させている。6階では耐震要素の平面的な配置位置のバランスを取る為，北側外壁面（Y6通り）においてもRC耐震壁を設けている。このように，6階においては外壁面に開口を多く確保することが出来ないため，この階を機械室として計画している。




**図−４　外殻フレーム略軸組図（Y3通り）**

フレーム内に組み込むCLTパネルは強度区分S60A，幅はぎ有り，7層7プライの構成で厚さ210mmとし，RC柱梁の内法に対して10mm小さい幅2,780mm×高さ760mm～1,055mmとした。木質系部材と非木造架構では，非木造部の施工誤差を踏まえてどう接合するかが課題となるが，本計画ではCLTパネルとRCとの10mmの隙間にエポキシ樹脂を注入する接着工法を採用した。

RC柱梁は，建物の外観デザインや，建物内部からの眺望等の観点から，極力見附幅を小さく設計することに注力した。CLTパネルに地震時のせん断力を負担させていることがRC柱梁の断面縮小に寄与していることは言うまでも無いが，柱の長期軸力を極力均等化することや，地震時の変動軸力（特に，フレーム最外端位置の柱に生ずる引張力）を抑制することも重要であった。柱の長期軸力の均等化については，1階柱が3,200mmのピッチで並ぶY6通りで，各柱の直下位置に鉛直剛性がほぼ均等な免震装置を配置して対応している。また，変動軸力の抑制については，CLTパネルの配置を工夫することによって対応している。CLTパネルは，市松状の配置を基本としつつ，建築計画上，窓やガラリを計画している箇所等を避けながら，応力負担に応じて配置位置や枚数を調整しているが（**写真−4**），RC柱梁を細かく配置したことにより，CLTパネルの配置も細やかに調整することが可能となっており，地震時に柱に生ずる引張力も効果的に抑制している。

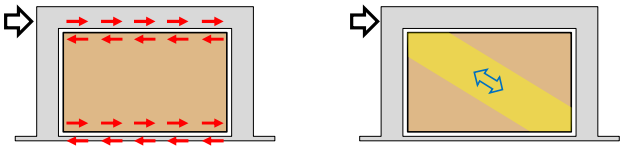
建物長辺（X）方向に作用する地震力（極めて稀に発生する地震に対応する設計用せん断力）に対し，CLTパネル（Y3，Y6通り）のせん断力負担割合は，建物全体に対して25～40%強であり，RCフレームと合計すると，約80%のせん断力を外殻構造にて負担する結果となる。

CLTパネルは床コンクリート打込み後に横から嵌め込むことでフレーム内に納めており，鉛直荷重を負担しない部材の為，耐火性能が要求されず，現しとしている。これにより，外観を特徴付け，内部からは手で触れることを可能とした。CLTは地域産業活性化の観点から長崎県産材の杉を用いている。建物全体でのCLTの設計数量は約300m$^3$であり，林野庁のガイドライン[1]に準じて計算した炭素貯蔵量は，約200t-$CO_2$である。

写真−4　南側外壁面

## 4．CLTパネルのせん断抵抗機構および破壊機構

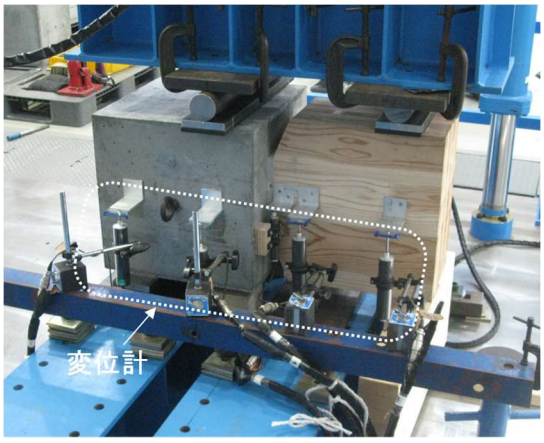
RC フレーム内部にCLT パネルを嵌め込み，接着接合する工法は，水平力に対してCLT 上下面とRCの接着面がせん断抵抗し，接着接合部がせん断破壊する破壊形式となる（**図−5**）。本建物は免震構造であり，極めて稀に発生する（レベル2）地震に対しても，接着接合部がせん断破壊しない設計としているが，想定外の外力に対してせん断破壊した場合においても，その後もCLT が圧縮ストラットを形成して水平力に抵抗し続けることを実験により確認しており，冗長性の高い工法となっている。以下に、設計時に行った要素実験とフレーム実験の概要について示す。



図−5　CLTパネル接着工法の地震時抵抗システム

### 4．1　接着接合部のせん断強度試験（要素実験）

RCフレームとCLTパネルを接着接合する工法は耐震改修を主として開発が進められてきた経緯があり[2]，高強度コンクリートを用いた場合の接着接合部のせん断耐力の設定について十分な技術的蓄積が無かった。その為，本建物で用いる高強度コンクリート（$F_c$=60N/mm$^2$）によるRC 躯体と，CLT の接着接合部のせん断耐力を測定する要素実験を行い，せん断耐力を設定した（**写真−5**）。せん断耐力は，5つの試験体のせん断破壊時の平均せん断応力度5%下限値に基づき，$\tau$=3.27N/mm$^2$ とした。




写真−5　接着接合部のせん断強度試験（要素実験）

### 4．2　1/2 試験体による正負交番漸増載荷試験

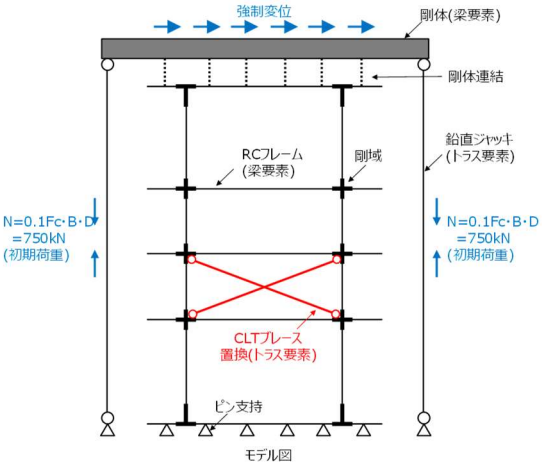
RC フレームにCLT パネルを挿入することに拠る水平剛性の増大効果や，接着接合部のせん断破壊後の地震時挙動の把握を目的として，フレーム試験体を用いた実験も行った（**写真−6**）。試験機の性能の都合上，実断面の1/2 のスケールで1 スパン1 層分の試験体を製作し，水平力加力時

の変形角・破壊状況が実大フレームと概ね一致するよう柱梁の配筋を設定した。目標変形角（CLT 部分）が1/2000 から1/30 になるまで水平力を漸増させる正負交番の載荷を行った。

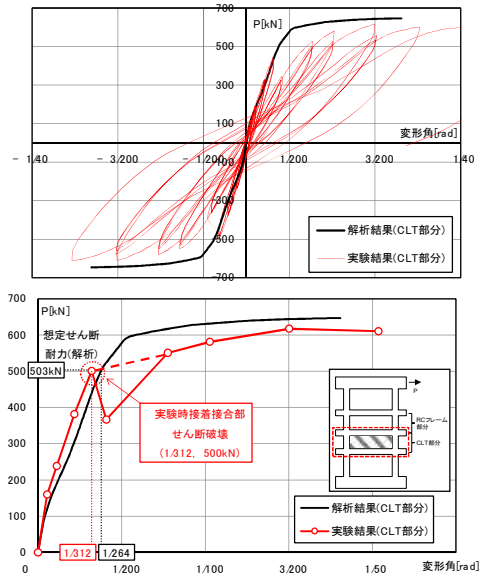
実験の結果，接着接合部のせん断破壊時における架構変形角は，CLT パネル部分で1/312 であり，その時点の純ラーメン部分の変形角は1/149 であった。

本建物の設計では，CLT パネルを等価なせん断剛性（CLTのせん断弾性係数$G$=0.60kN/mm$^2$）を持つブレースに置換して応力解析を行っている（図−６）。ブレース部分に，せん断応力度が$\tau$ =3.27N/mm$^2$（接着接合部のせん断耐力）に達した後に剛性が0 となるバイリニアの復元力特性を適用し，実験を模擬した解析を行ったところ，実験結果と解析結果は概ね一致し，解析手法の妥当性が確認できた。図−７と図−８はCLTを設置した部分（下から2層目）とCLTを設定していない部分（下から3層目）の荷重と変形角の関係を示している。縦軸は試験体の頂部に加力した水平力$P$であり、横軸の変形角は、上下梁位置の変位差をその層の高さで割って算定した値である。

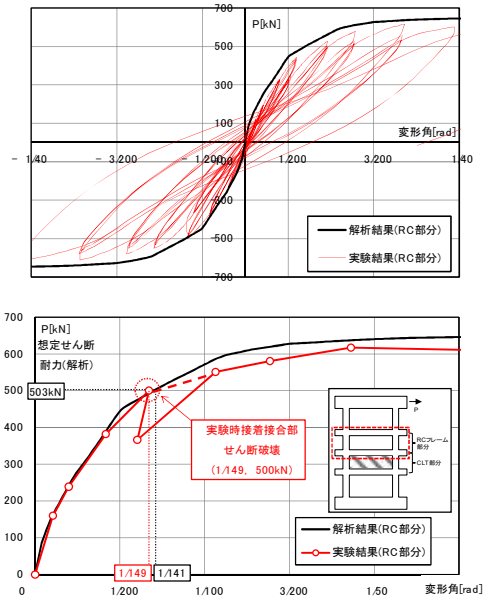
写真−６　フレーム実験（最終変形角1/30の状況）




図−６　解析モデル




図−７　実験結果と解析結果の荷重−変形曲線
（縦軸：頂部水平力P　横軸：CLT設置部分の変形角）




図−８　実験結果と解析結果の荷重−変形曲線
（縦軸：頂部水平力P　横軸：CLT未設置部分の変形角）

## ５．PCa部材・PC圧着工法による工期短縮

本建物のような超高層で，かつ細かくRC柱梁を配置した建物の場合，工期短縮が重要な課題となる。そこで，現場打ちのRC部材とPCa部材を適材適所に採用し，工事費にも配慮しながら工期短縮の工夫を行った。

まず，柱は全てPCaRC柱とし，FLの位置で階毎にピースを分割した。また，各階のFL位置で，床スラブが取り付く梁もPCa化し，PC鋼材を配線したPCaPC梁とした（**図-９**）。

本計画において梁にPC鋼材を配線する主たる目的は，PC圧着工法の採用による工期短縮である。一般的に，応力的な観点から構造計算上プレストレス力に期待した設計を行う場合，梁部材はロングスパンであることが多く，3.2mのスパンで計画した本建物の場合，構造計算上はPC鋼材の配線は必須ではない。ただし，各階FL位置の梁は床荷重を受け，階中段の床スラブが取り付かない梁に比べて長期応力が大きい為，プレストレス力を用いずに中段梁と同一の梁せい（350mm）として設計する場合は，中段梁に比べて配筋量が過大となる。その為，PC鋼材の配線によって，配筋納まりについても簡素化できていると言える。

3.2mスパン（内法2.8m）のPCaPC梁部材は，スパン内に2カ所の目地（幅20mm）を設け，3分割（両端940mm，中央880mm）した。両端の940mmの部分は柱ピースと一体としてT字形状（外端部はL字形状）となり，このT（L）形状のピースと梁スパン中央部の小さなピース（長さ880mm）をPC鋼材（7-SWPR7B-φ12.7mm）にプレストレス力を導入することで圧着した。

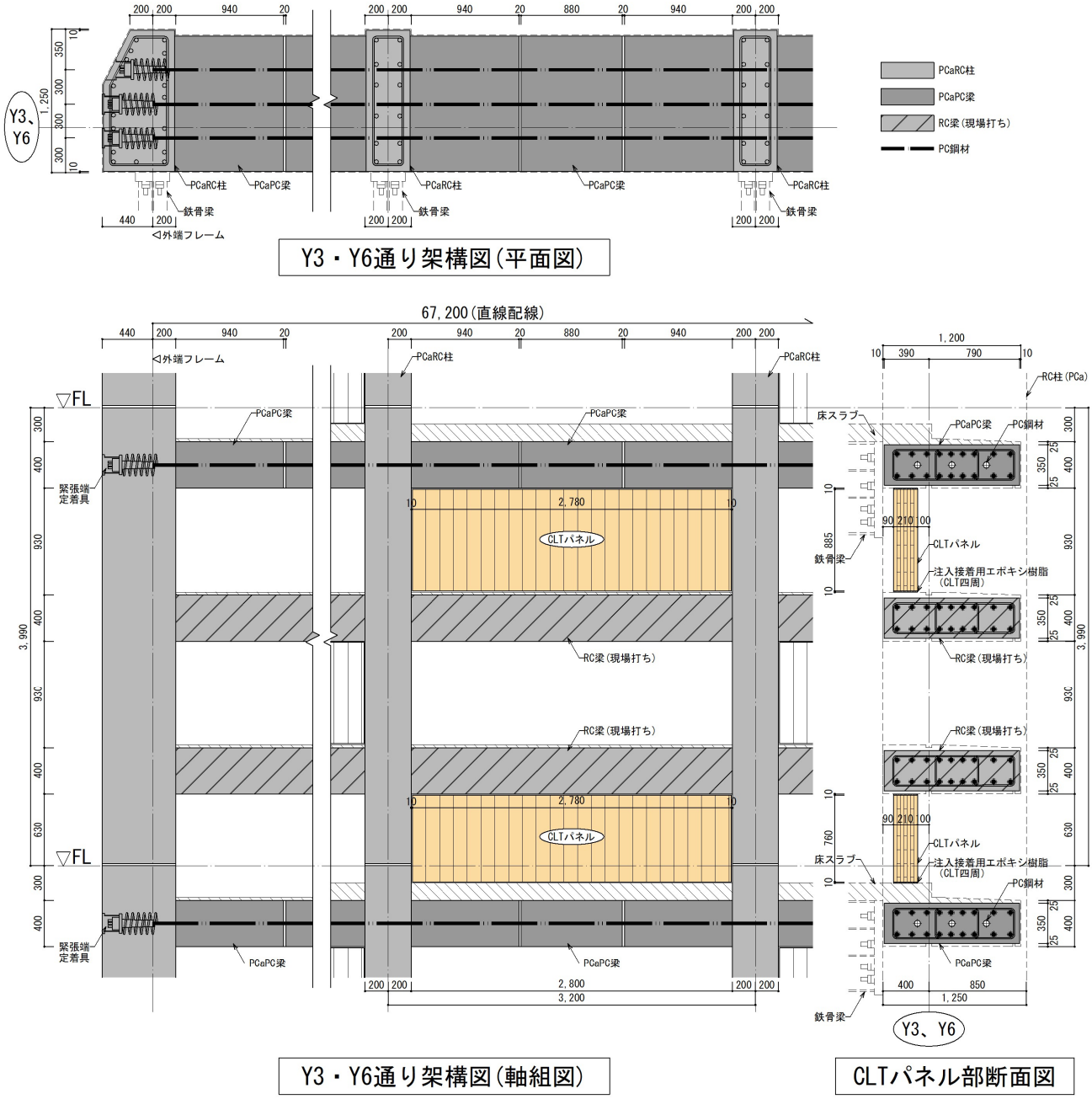



図-９　外殻フレーム詳細図

PCa部材のピース分割については，分割数や各ピースの長さ等，想定できる組み合わせが複数存在する。また，柱梁の接合についても設計当初の段階からPC圧着工法を採用する考えではなく，当然ながら通常の異形鉄筋にて構成する案も検討した。このように，ピース分割，接合方法とも，設計段階において複数案を比較検討した結果，コスト，工期，工場から現場への輸送効率等の観点から最も合理的なPC圧着工法を採用した。PC鋼材は，建物長手（X）方向の全幅（67.2m）にわたって配線し，片引きによってプレストレス力の導入を行っている。なお，PCa化やPC圧着工法の採用により，基準階の鉄骨1節（3層）あたりのサイクルは，以下の内訳により68日で施工可能となった。

・鉄骨建方　　：10日
（建物中央のコラボレーションエリア側の鉄骨）
・PCa建方＋PC緊張＋各層床版の施工　：18日×3層=54日
・CFT柱コンクリート充填　　：4日
合計　：68日/1節3層躯体

PCaRC柱ピースの架設状況と、緊張工事の状況写真をそれぞれ**写真-７**、**写真-８**に示す。

PCaRC柱と，PCaPC梁の接合部では，直交方向（建物内側）から鉄骨大梁がベースプレート，アンカーボルトを介して取り付く（**図-１０**）。PCaPC梁のせいが350mmと小さく，梁主筋とPC鋼材のレベルについては調整代がほとんど無い為，アンカーボルトの配置が梁主筋とPC鋼材に干渉しないように，鉄骨梁のレベルに応じてボルトピッチを調整し，様々な接合パターンを設定した。

階中間の床スラブが取り付かない梁部材については，工程上は各階床スラブの打込み後の施工でもクリティカルパスに影響しない為，コストを優先して現場打のRC梁とした。階中間の梁は，全箇所同一の外形寸法である為，鋼製型枠を採用して型枠の転用を可能とした（**写真-９**）。

写真-７　PCaRC柱ピースの架設状況

写真-８　緊張工事の状況

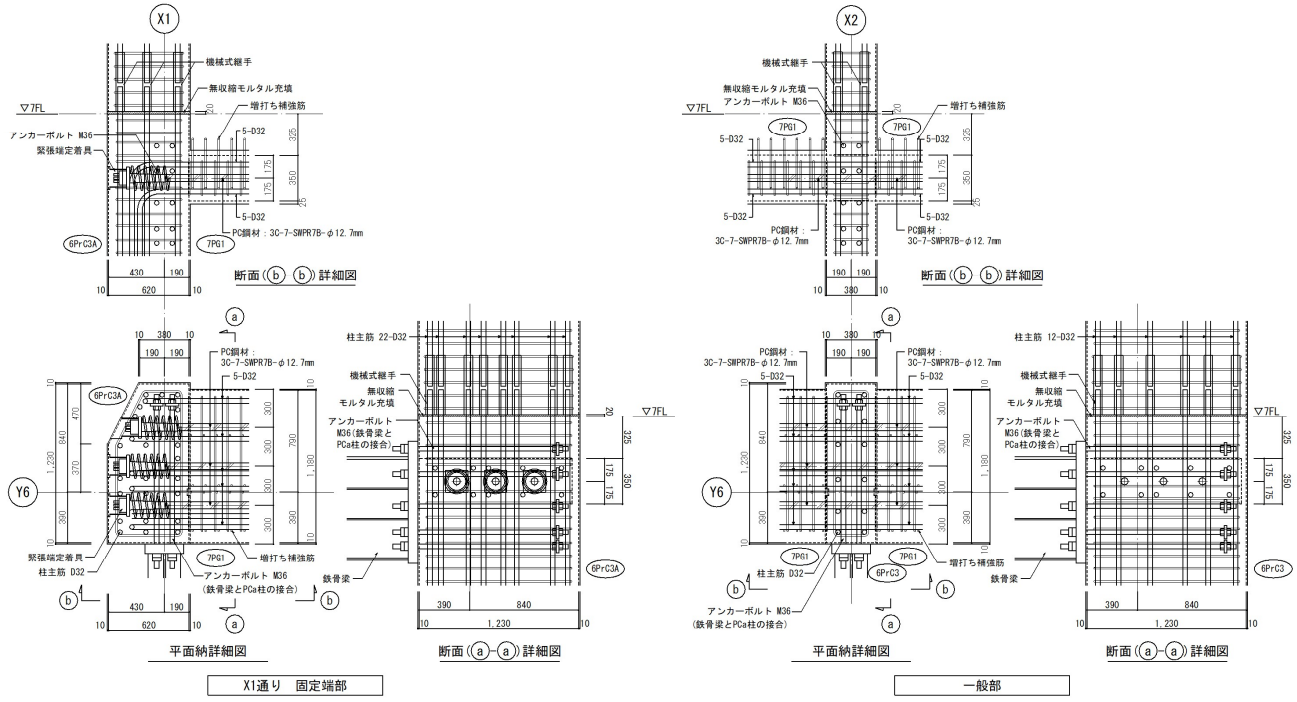
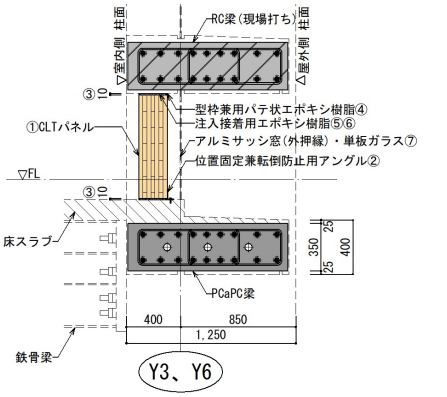



図-１０　PCa部材・PCaPC部材詳細図

写真-９　階中間梁の施工状況

## ６．CLTパネルの施工

外殻RCフレームは部材のPCa化によって精度良く施工することができ，これにより各階コンクリートの打込み後に行うCLTパネルの取り付けについてもスムーズに実施できた。**図-１１**にCLT，外壁廻りの施工手順、**写真-１０**にCLTの施工状況写真を示す。




CLT・外壁廻りの施工手順
①吸盤付き搬送機によりCLTパネルを挿入
②位置固定兼転倒防止用アングルとの接触により、CLTパネルの平面位置を確認
③RC躯体とCLTの隙間を計測（設計寸法10mm）
④型枠兼用エポキシ樹脂を③の10mmの隙間の外周部にシールする
⑤10mmの隙間にエポキシ樹脂を注入
⑥CLTパネル上部側の隙間に取付けたオーバーフロータンクへの流出により、
　エポキシ樹脂の充填を確認
⑦屋外側からアルミサッシ窓を設置

図-１１　CLT・外壁廻りの断面図・施工手順

## ７．おわりに

社会的要請として脱炭素や省エネルギー化が求められる中，本建物では扁平なRC柱梁を用いた格子フレームと，そのフレーム内部に挿入した木質耐震パネル（CLT）によって外観，内観デザインを構成しつつ，免震効果を高め，構造体に断熱効果や日射遮蔽効果を持たせた。超高層建築物のRC化の取り組みでは工期短縮が課題となる中，部材のプレキャスト化や，プレストレスを用いた圧着工法のメリットを活用したことにより，特徴的な構造デザインが実現可能となった。実験や設計の内容についてご指導，ご協力を頂いた五十田博教授（京都大学生存圏研究所）他，設計・施工期間においてご協力いただいた方々に，感謝の意を示します。

### 参考文献


1）林野庁：建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン,3 林政産第 85 号,2021.10.1

2）（一財）日本建築総合試験所：木質耐震壁接着工法 ―構造用LVL・CLTを用いたRCおよびSRC建物の耐震補強工法―（改定 2）,GBRC性能証明第 14-18 号改 2，2017.6.23

写真-１０　CLTパネルの施工（左：吸盤付き搬送機による設置，右：エポキシ樹脂の注入）