

荷揚町小学校跡地複合公共施設の設計・施工 —PCaDT板による快適な執務空間の実現—

株式会社 久米設計 永野 孝之・田中 敬(元社員)・福田 光俊



写真-1 意匠・構造・設備機能が一体となったファサード

大分市は、九州の東端、別府湾に注ぐ大分川による扇状地の要にあり、中でも荷揚町は古くからの歴史を有し、大分行政の中心を担ってきた。市庁舎の平面計画は、南に配置したオープンかつフレキシブルな執務室、北に固めた縦動線や水廻り等のコアにより構成されている。執務室はPCaDT板により構成することで天井落下のリスクを排除した梁型無しの無天井化を実現すると共に、PCaDT板のリップによるコアンダ効果を活用した空調システムを採用している。また、南面は3.2mピッチの扁平柱および設備機能を盛り込んだ設備柱と逆梁でアウトフレームを構成し、PCa底板により直接の日射は遮りながらも反射光を底面および天井面を介して室内に導く計画とすることで意匠・構造・設備の機能を統合した環境配慮型ファサードを構成している。

1. はじめに

大分市は、九州の東端、大分川による扇状地の要にあり、市域の半分を森林が占めるなど豊かな緑に恵まれている。中でも荷揚町は、古くは河口において船荷を降ろす場「荷落(におとし)」と呼ばれ、府内城築城の際に瑞祥地名である荷揚げに改名、以来大分行政の中心を担ってきた。

大分市は瀬戸内海式気候に属し、年間を通じて温暖・少雨という自然条件に恵まれた地域で、豊かな山と海に挟まれ南北方向に典型的な海陸風が吹く海岸地域である。

本建物の計画地は小学校の跡地であり、地域のふれあいや交流を育むコミュニティ機能、広域行政を担う消防指令センターと市の危機管理機能を集約し安心・安全な暮らしを支える防災拠点機能を併せ持つ複合施設を、PFI事業により効率的・効果的に実現することが求められた。

計画地を含む大分城址公園周辺地区は、景観地区として高さ制限が定められており、限られたボリュームの中でプ

レキヤストリブ付き床板（以下、PCaDT板とする）による階高縮減・ロングスパン化を図り有効スペースを最大限確保する効率の良い計画とする必要があった。また、隣接する磯崎新設計の旧大分県立大分図書館(現大分市アートプラザ)も含めた景観との調和として、躯体形状に周辺の景観要素を取り入れなければならない。

これらから安心安全の観点と津波対策のために免震装置を3階床下に設けた中間免震とし、コミュニティ機能と防災拠点機能のゾーニングを明確に区分して、それぞれに求められる接地性と事業継続性を実現した防災拠点施設とした。さらに、意匠・構造・設備が一体となった計画として、PCaDT板のリップによるコアンダ効果を活かした空調システム、PCa底兼メンテナンスバルコニーによる日射遮蔽、構造柱の間に設備機能を挿入した設備柱とした環境配慮型PCa構造を計画した。本建物は自然エネルギーの積極活用と省エネルギー化によりCASBEEの「Sランク」およびBELSの「ZEB Ready」認証を取得した(写真-1)。

2. 建築概要

建 築 主：大分荷揚リンクスクエア株式会社(SPC)
 建 設 地：大分県大分市荷揚町3番45号
 用 途：市庁舎、消防指令センター、コミュニティ施設
 敷地面積：9,857.83 m²(全体)
 建築面積：2,150.06 m²(複合公共施設のみ)
 延床面積：10,258.70 m²(複合公共施設のみ)
 階 数：地上7階
 建物高さ：30.757m

3. 建築計画概要

東西に長い敷地を活かし、南側にオープンかつフレキシブルな執務環境を確保することを平面計画の基本としている。北側の警察署および県知事公舎への視線を遮る必要性から、EV・階段による縦動線とトイレやシャワー室などの水回りを集約したコアを配置した。景観地区による高さ制限(31m)をクリアするために、南側の執務空間はPCaDT板のリブを伝って空調空気を搬送するコアングダ効果を利用したダクトレス空調として天井高を確保した。また、コア側には水回り含む設備機器とシャフトを集約配置して各種設備配管のために大孔径の梁貫通が可能な鉄骨造とすることで、空間の特性と設備・構造を合理的に組み合わせた効率の良い計画としている(図-1、2、3、4)。

環境への配慮として、南面するメリットを最大限に活かすために、逆梁による開放的な窓面としながらもバルコニー兼庇のPCa底板によって直射日光を遮り、明るい執務室空間を実現している。また、南北に吹く海陸風を最大限に活かすために、執務室南面の柱型を利用した自然換気口、階段を利用したエコボイドを設け、中間期は自然換気、夏季は夜間の涼しい外気を取り込むナイトパージを行う計画としている(写真-2、3)。



図-1 敷地配置図

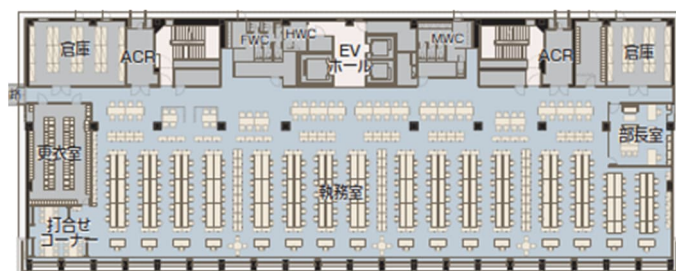


図-2 平面図

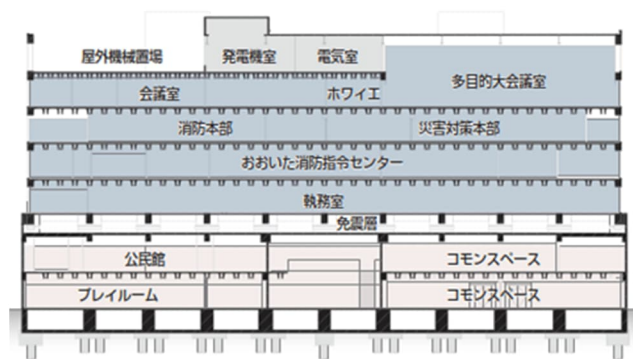


図-3 東西断面図

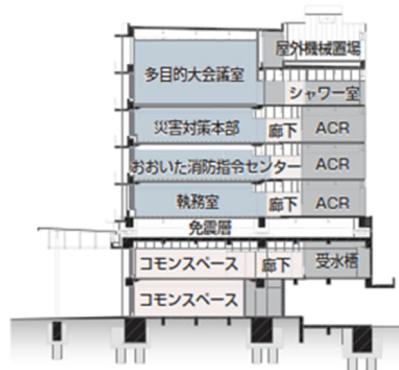


図-4 南北断面図

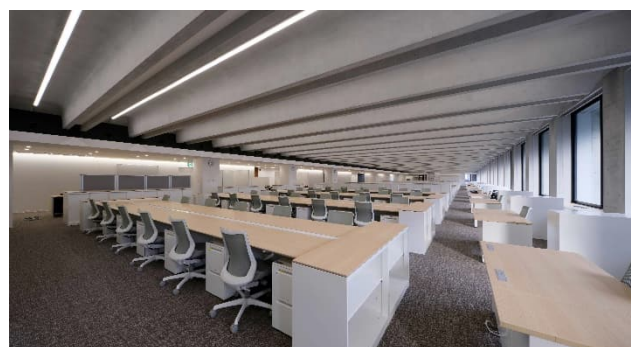


写真-2 3階執務室



写真-3 南面ファサード

4. 構造計画

4.1 構造計画概要

基 礎：既製コンクリート杭
 架 構：免震下部 鉄筋コンクリート造，
 一部プレストレストコンクリート造
 免震上部 鉄骨造，鉄骨鉄筋コンクリート
 (以下，SRCとする) 造
 床 ：鉄筋コンクリート造，PCaPC床板
 設計・監理：久米・俊・大有 共同企業体
 施 工：西松・梅林 建設共同企業体
 P C 工 事：オリエンタル白石 (株)
 工 期：2022年4月～2024年3月

4.2 構造設計概要

本建物は前記のとおり，大地震などの災害時に庁舎機能を維持できる計画とし，3階床下に免震層を設けた中間免震構造としている。

本地域の津波発生時の最大浸水高さは 3.4m であり，免震層を浸水高さより高い位置に設置することで，浸水時の機能不全を回避するとともに，津波の衝撃力に耐えうる剛性・耐力を確保するため，免震下部架構を鉄筋コンクリート造の耐震壁付きラーメン構造としている。

免震上部架構は柱断面を抑え，ロングスパン部にも対応できるように鉄骨造，一部SRC造とし(図-5)，PCaDT板による自由度の高い執務空間と北側共用部の大孔径の梁貫通によるダクト展開により，基準階高を 3.84m まで抑え，かつ無天井化を実現した(図-6，7，8)。架構形式は免震部材への過大な力の集中を避けるため，ラーメン構造とする。建物の平面形状は 64.0m×24.0m の矩形形状であり X 方向 6.4m スパン，Y 方向 13.6m，10.4m スパンとした。図-9に構造フレーム図を示す。

基礎形式は既製コンクリート杭による杭基礎とし，支持層は GL-40.0m 以深の砂礫層である。

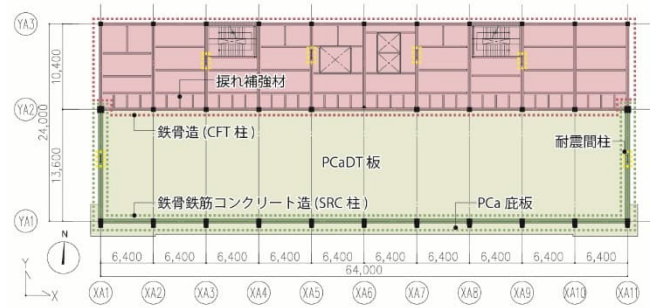


図-5 基準階伏図

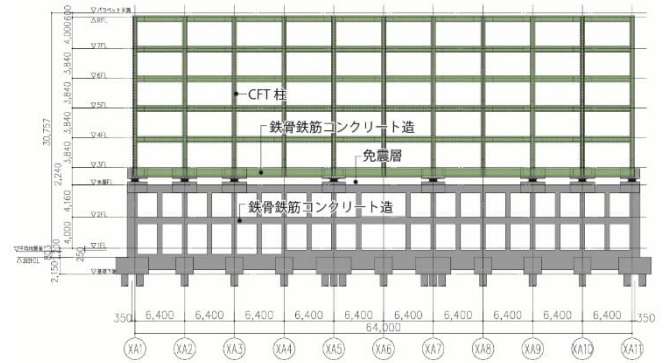


図-6 YA1 通り軸組図

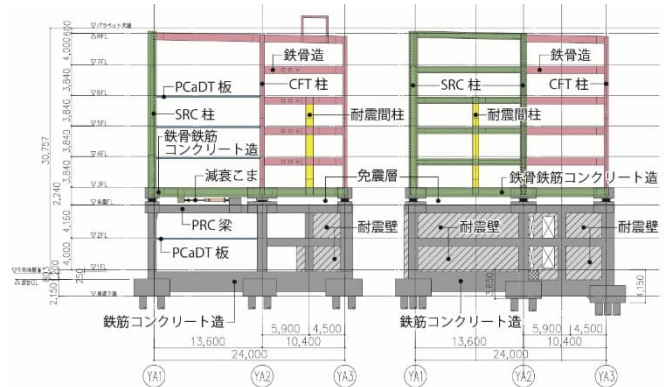


図-7 XA9 通り軸組図

図-8 XA11 通り軸組図

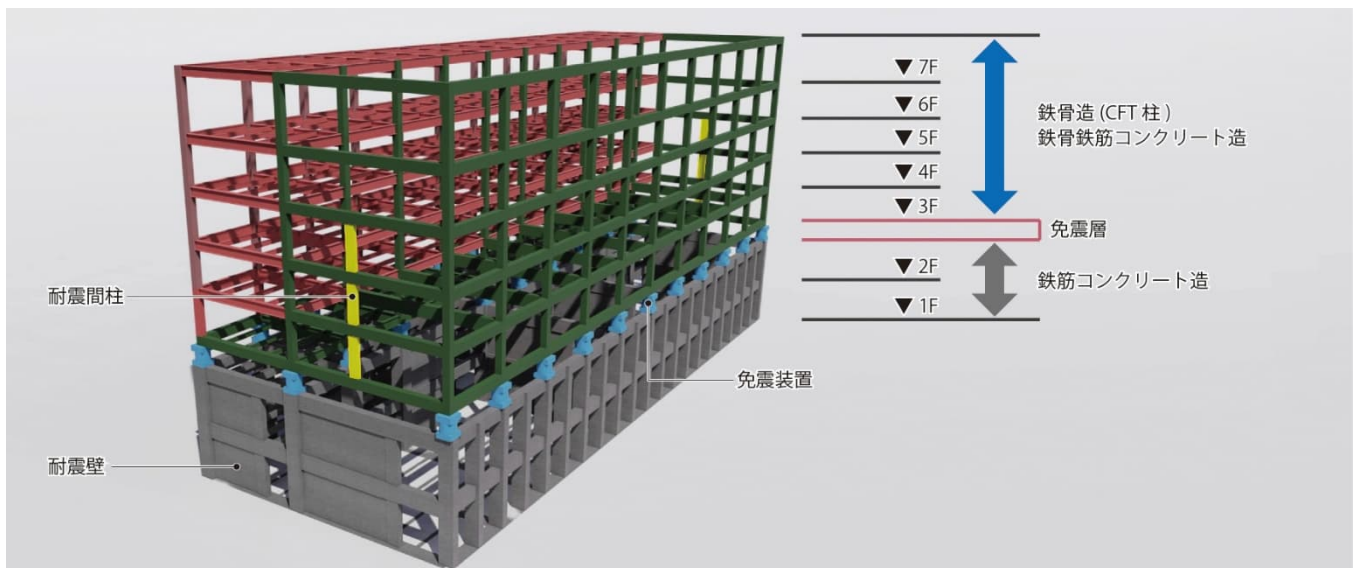


図-9 構造フレーム図

4.3 無柱空間、階高を抑えるための構造的な解決

本計画敷地は、大分城址公園周辺地区の景観地区に該当するため、建築物の高さの最高限度は31mまでと定められている。そのため、階高を抑制しながら各諸室の天井高を十分に確保し、快適性を高めることが命題であった。

主に執務室（写真－４）である南側の居室 YA1 通り・YA2 通り間の大スパン部を PCaDT 板で構成し、大スパン部の大梁を無しとすることで階高 3.84m に対して十分な天井高さ（リブ下 2.98m、天井下 3.57m）を確保している（図－１０）。図－１１に示す断面形状の PCaDT 板を採用して無天井化するとともに、リブ間に照明を仕込む納まり（図－１２）とすることで吊り物を排除した天井計画としている。空調システムは、PCaDT 板現しの意匠との親和性と“平滑な表面”と“リブ”という特徴を活かし、コアンダ効果により空調空気を執務室に供給する壁吹出ダクトレス空調としている（図－１３）。

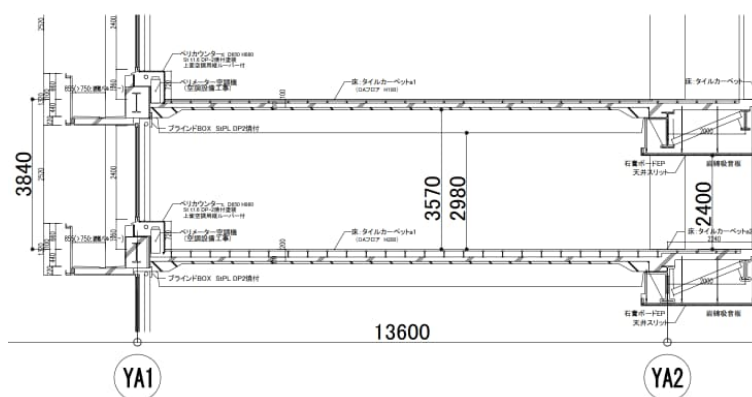


図-10 執務室断面図

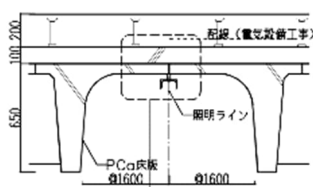


図-12 PCaDT板の照明おさまり

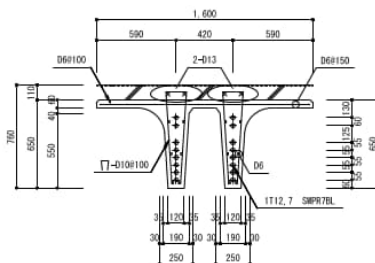


図-11 PCaDT板のリブ形状

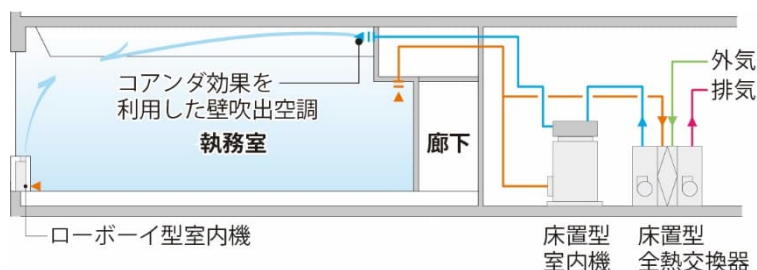


図-13 執務室の空調方式



写真-4 執務室



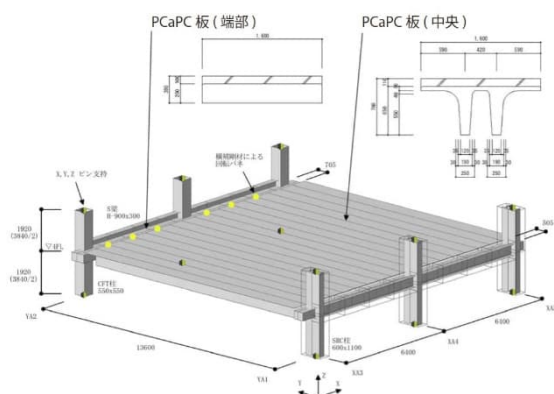
写真-5 隣接するアートプラザ

また PCaDT 板を採用することで隣接するアートプラザの
リブ付き天井(写真-5)との調和や 14 日間程度の工期短縮を図ることができている。

PCaDT板採用による課題と解決手法を以降に示す。

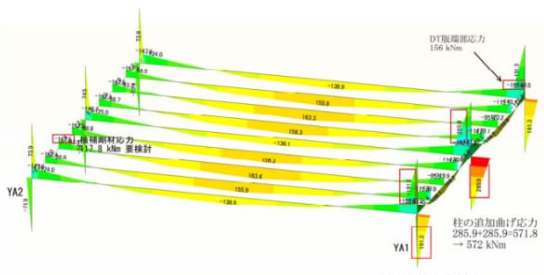
4.4 PCaDT 板採用による課題と解決手法

(1)PCaDT 板の接合部および周辺部材の構造安全性の確認
PCaDT 板の両端を支持する大梁には長期荷重時、地震時（水平動＋上下動）共に梁軸方向にねじれ応力が作用する。YA3通り側は鉄骨大梁のため、ねじれ補強材を追加することで対応し、YA1 通り側は SRC 梁とすることで梁軸方向のねじり耐力と建物全体剛性の向上を図った。周辺部材の構造安全性の確認として、柱に作用する追加曲げ応力や地震時にフレーム間に作用する移行せん断力が伝達可能であるか部分検討モデル作成の上確認を行い（図-14、15）、柱梁およびトップコンクリート部の補強を行った。



図ー1 4 PCaDT 板のモデル化

曲げモーメント M (kNm)



図ー1 5 PCaDT 板の応力図

(2)大梁無しの実務空間の実現

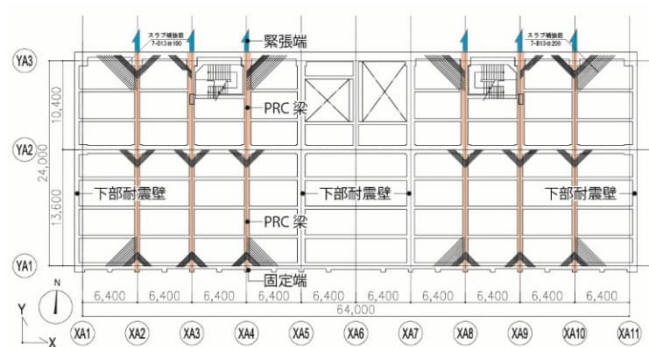
YA1 通り-YA2 通り間は外周部以外に大梁を配置しないことによる本建物の剛性の低さを補うため、免震上部架構を CFT 柱とし、ねじれ対応の SRC 梁が取りつく柱を SRC 柱とした (図ー1 6)。また、建築プランを阻害しない位置に耐震間柱を配置した。これにより、免震上部架構の剛性が向上し、YA1 通り-YA2 通り間の大梁無しでも長周期化を図れる剛性を確保することができている。



図ー1 6 架構概要図

4.5 免震下部大スパン架構の実現

免震層下部の YA1 通り-YA2 通り間は PCaDT 板とせずに PRC 梁としている。これにより免震装置や減衰こまからの反力の処理に加え、下部階の大スパンの無柱空間を実現できている。図ー1 7 に示すとおり、13.6m スパンの YA1 通り-YA2 通り間および 10.4m スパンの YA2 通り-YA3 通り間で下部に耐震壁の無い通りは PRC 梁を採用した。



図ー1 7 免震層下部の PRC 梁の配置

4.6 適材適所のスラブ配置

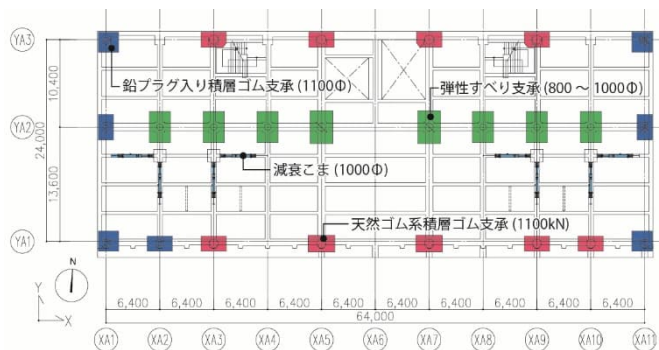
北側の共用部は合成デッキを主体とし、縦貫通の対応が必要な範囲は適宜フラットデッキを採用した。南側の底兼メンテナンスバルコニーは工期短縮のため、PCa 底板を活用し、日射遮蔽に配慮しつつ、間接光は取り入れやすいように逆梁としている (図ー1 8)。



図ー1 8 スラブ配置

4.7 免震層の計画

3 階床下を免震層とする中間免震構造としている。免震装置の構成は図ー1 9 のとおり、外周部に天然ゴム系積層ゴム支承および鉛プラグ入り積層ゴム支承を配置し、軸力変動の小さい中央部に弾性すべり支承を配置している。また、減衰装置として減衰こまを採用している。免震層内には残留変形時のジャッキアップの対応として、復元用の基礎を大きくしている。



図ー1 9 免震計画

4.8 建築・設備・構造による環境配慮

防災拠点としての優れた耐災害性能や事業継続性の確保に加えて、効果的な省エネルギー手法や自然エネルギーの積極的な活用により環境負荷低減を実現し、CASBEEの「Sランク」およびBELSの「ZEB Ready」認証を取得している。南面は格子形状のフレームを採用し、その一部に設備機能を挿入した柱型を設けることで、建築・設備・構造の機能を統合した環境配慮型ファサードを構成している（図-20）。格子フレームは夏期の太陽高度の低い時間から高度の高い日中まで、日射負荷を効果的に削減するとともに、やわらかな間接光を室内に取り込んでいる。また、柱型の外部に雨水ドレインを設けた他、内部は屋上の屋外機置場から各階のペリカウンター内の空調室内機までを最短ルートで繋ぐ設備シャフトスペースとして活用している。加えて、柱型の一部にはダンパーを組み込んだ自然換気口を、階段室の上部には換気窓を設けており、階段室を利用した重力換気を可能にしている。室内外の温湿度を計測し外気導入が有効と判断された場合は、中間期は自然換気を、夏期は夜間の涼しい外気を取り込み翌朝の空調負荷を削減するナイトパージを自動で行うことができる計画である。

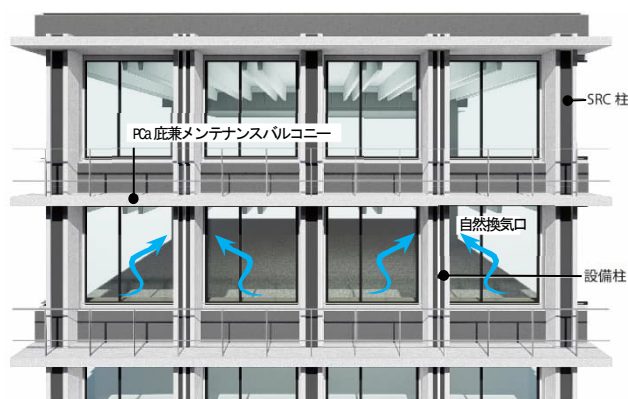


図-20 環境配慮型ファサード

5. PCaDT板および底板の設計

5.1 PCaDT板・底板の概要

防災拠点機能を考慮する際、構造躯体だけでなく、天井仕上げの安全性も重要で適切な対策が必要である。本建物は広い執務スペースを計画する際に、天井自体を設置しないアプローチを検討し、これによって、天井の落下リスクそのものが排除されている。執務室内の天井デザインは、空間の美観や機能性に大きな影響を及ぼす重要な要素であり、本建物は、シャープなリブを用いて大空間を形成することを目指し、空調環境や、光環境についても考慮され、リブの間隔が決定された。また、ファサードの底は構造だけでなく、外観上の見た目からも重要な要素となるため、鋼製型枠面である底先端および底面を見せるPCa底板となっている。

5.2 PCaDT板の部材設計

スラブは板長 $L=12.8\text{m}$ の一方方向スラブとして、PCaDT板の上部に現場打ちトップコンクリートを打込みして、一体化する合成床板である。PCaDT板の最小リブ幅は $b=120\text{mm}$ 、せいは 650mm でトップコンクリートの厚みは $t=110\text{mm}$ であり、合成床板としてのせいは 760mm である。また、PCaDT板はリブ1本あたりPC鋼より線 $12.7\phi\text{SWPR7BL}$ を8ケーブル使用したプレテンション工法とした。図-21にPCaDT板の平面図および側面図を示す（断面は図-11参照）。

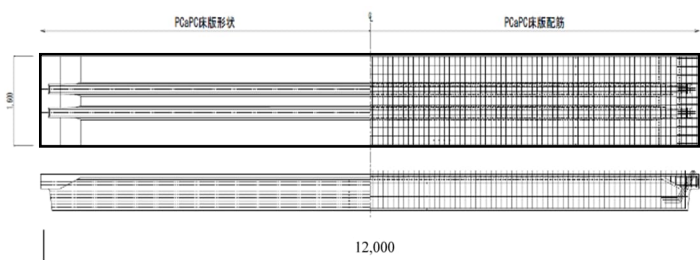


図-21 PCaDT板平面図・側面図

均等な割付を実現するため、一般階は板幅 1600mm ピッチ（PS1）で分割し、また、機械室等荷重が大きい7階床は板幅を $1600 \times 2/3 = 1066.7\text{mm}$ （PS2）とし、長期荷重による曲げ応力が最大となるスパン中央において、上下縁応力度がコンクリートの長期許容応力度以内となるように設計した。部材割を図-22および図-23に示す。部材数は合計で183ピースである。

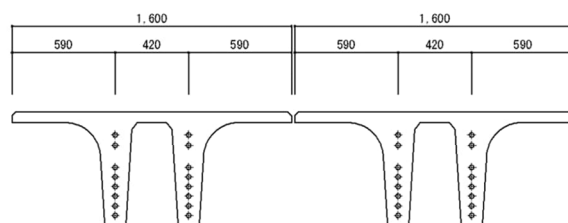


図-22 一般階 PCaDT板部材割（PS1）

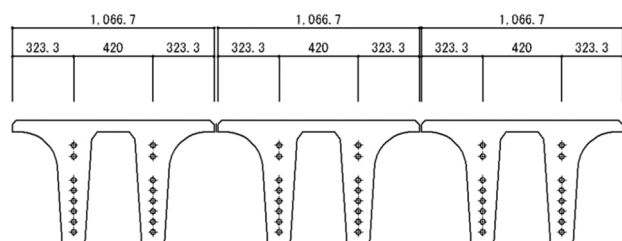
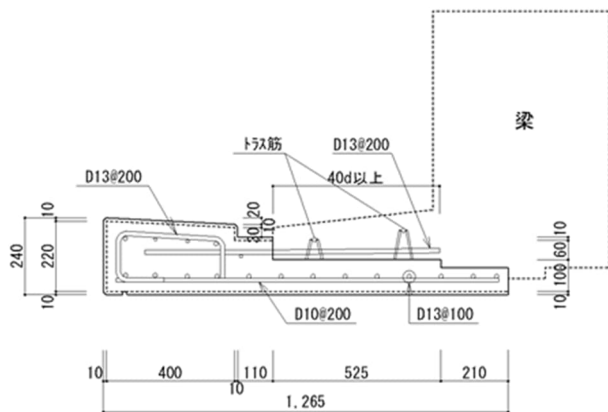


図-23 7階 PCaDT板部材割（PS2）

5.3 PCa底板の部材設計

ファサードのバルコニー兼底は、先端と底面をハーフPCa化し、トップコンクリートで一体化する合成床板である。PCa底板の上端筋は、トップコンクリートとPCa板の接合面位置での曲げ応力に対して配筋設計されている。合成床板としては、基端の応力に対して、キャンチスラブの上端筋によって配筋設計されている。図-24にPCa底板の断面図を示す。



図－２４ PCa底板



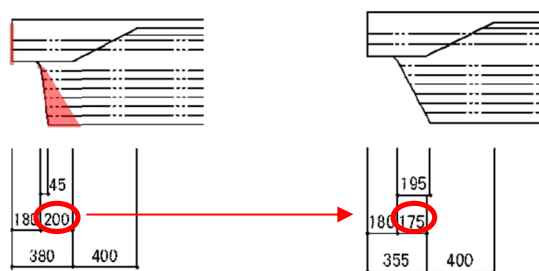
写真－６ 転用されたPCaDT板の鋼製型枠

6. PCaDT板・PCa底板の製作および施工

6.1 PCaDT 板および PCa 底板の製作

環境保護への配慮およびコスト削減のため、以前別の物件で使用した同じ断面の型枠を効率的に転用可能なPCaDT板の製作に取り組んだ。この課題には、異なる荷重条件と変動するスパンに対処する必要性と同時に、鋼製型枠の改造、型枠の保管、錆除去などの問題があった。これらの課題に対応するため、約2年間の保管期間の間、型枠の保管を担当する工場と継続的に連絡を取り合い、型枠の品質管理を確認した。こまめな意思伝達と管理を通じて、効率的な型枠の再利用を実現することができた。写真－６に保存された型枠状況を、図－２５に型枠の形状変更の図を示す。

PCa底板は新たに鋼製型枠を作り、全ての部材を1つの鋼製型枠により部材製作を行った。PCa底板の鋼製型枠を写真－７に示す。



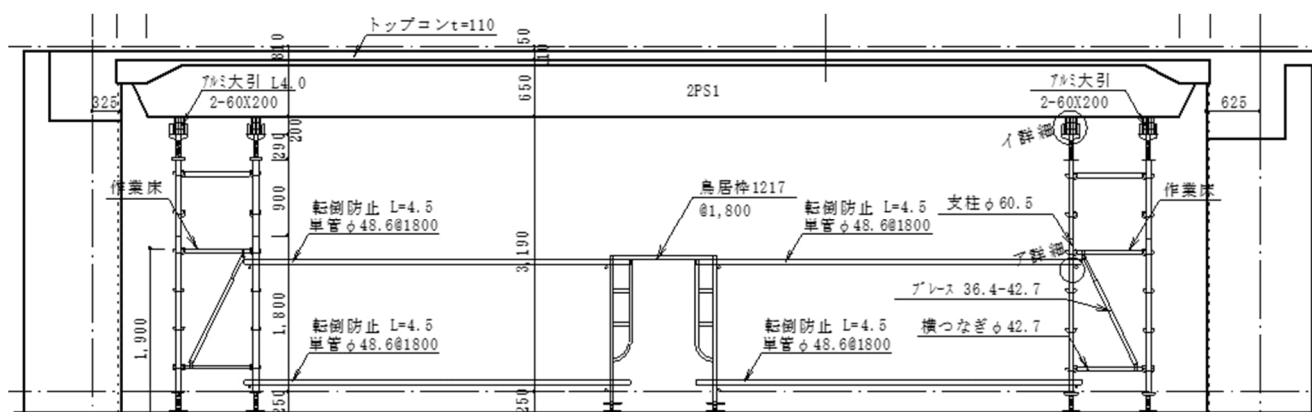
図－２５ 型枠形状変更



写真－７ PCa底板の鋼製型枠

6.2 PCaDT 板および PCa 底板の架設

全体の工期は2022年12月19日から2023年9月30日までの計画であり、各階層の工程は、おおよそ1カ月を見込み、その中で、各区画内での支保工の設置には約3日、架設には約1日が必要と判断した。図－２６に支保工設置の概略図を示す。



図－２６ 支保工設置概略図

PCaDT板の桁梁へのかかり代について、構造計算上35mm以上のかかり代があれば安全であることを確認し、設計値として50mmとした。実際のPCaDT板の架設での限界許容差は、 $50\text{mm}-35\text{mm}=15\text{mm}$ となる。現場での架設誤差について監理者と協議を行い、管理許容値は安全を考慮し、 -10mm とした。PCaDT板の架設は、最初に、架設エリアの基準として芯返し墨を基準とし、型枠上に割付墨を設定した。それから、支保工の高さ調整を行い、同時に、リブへの損傷や汚れを防ぐために、支保工とPCaDT板リブの間に緩衝ゴムと湿気防止の合成樹脂網を配置した。その後、架設の順序に従って床板を配置し、個々の床板番号を確認しながら順次架設を行った。写真－8にPCaDT板の吊り上げ架設状況を、写真－9に設置状況を示す。設置位置の精度を確認するために、製品に逃げ墨を印し、架設時にはトランシットを使用して長辺方向の位置を管理した。PCa底板も同様に、平面位置および高さ方向の設置位置等を管理し、架設を行った。PCa底板の設置状況を写真－10に示す。

これらの手順により、高品質な構造デザイン部材であるPCaDT板およびPCa底板を許容誤差管理値の範囲内で正確に設置することができ、大空間を形成し構造デザインとしてシャープなリブ形状を見せるPCaDT板（写真－11）やファサードとなるPCa底板を構築することができた。



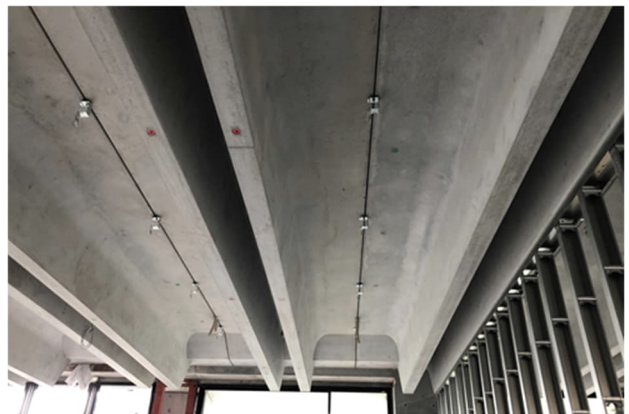
写真－8 PCaDT板架設状況（吊り上げ）



写真－9 PCaDT板設置状況



写真－10 PCa底板設置状況



写真－11 シャープなリブを魅せるPCaDT板

7. おわりに

本建築は「意匠」、「構造」、「設備」の各セクションが相互に連携し、安心・安全で環境に配慮した施設となるよう努めた。厳しい要件に対してPCaDT板を活用することで、執務空間に求められるフレキシビリティ性を獲得することができた。本建物の設計・製作・施工にあたり、質の高い建築の実現、高い品質と施工精度の実現に尽力くださった皆様に感謝いたします（写真－12）。



写真-12 南側外観