

岩国市東小・中学校の設計・施工

— PCa 技術で実現する光あふれる教室 —

原 健一郎*1・荒川 哲也*2・福田 顕議*3・加藤 誠一*4

環境を配慮した建築設計にとって、今までは構造計画がさほど重要視されてこなかったと思う。本建物では、環境配慮建築に向け積極的に取り組む構造として、「ECO 建築のベースとなる優れたスケルトン」としての架構計画を行い、さらに、構造体を環境装置として活用し、教室の光環境を整えることに挑戦した。意匠－構造－設備設計が一体となり、多様な PCa 技術を駆使して実現できた作品である。

キーワード：長寿命建築、フレキシビリティ、構造と環境の融合、PCa でつくる環境建築

1. はじめに

社会の変化に伴い建築空間に対する要求も多様化・高度化し、学校建築においても従前のラーメン架構では、将来の教育改革や、電気・機械設備の多様化に応えるには限界がある。本建物は、更新性に優れた機能的な建築を、プレキャストコンクリート（PCa）のメリットを活かし構築した。さらに、PCa ならではの部材形状を用いて教室の光環境を整えながら特徴あるファサードを形成するなど、構造体の枠組みを超え、意匠性はもとより環境にも貢献する PCa 建築である。

2. 建物概要

- ・建設地：山口県岩国市三笠町二丁目
- ・主要用途：学校（義務教育学校）
- ・建築面積：7 670 m²
- ・延床面積：15 597 m²
- ・階数：地上 3 階
- ・最高高さ：17.93 m
- ・構造：鉄筋コンクリート（RC）造，一部プレキャスト鉄筋コンクリート（PCaRC）造，プレキャストプレストレストコンクリート（PCaPC）造
- ・架構：耐震壁付きラーメン架構

- ・工期：平成 30 年 9 月～令和 02 年 7 月
- ・設計・監理：(株)石本建築事務所
- ・施工：カシワバラコーポレーション・白田建設特定建設工事共同企業体
- ・PC 工事：オリエンタル白石 (株) 福岡支店



写真 - 1 建物全景

3. 建築計画

岩国市は、日本三名橋のひとつ「錦帯橋」をもつ風光明媚なまちである。計画地は JR 岩国駅の近くで、海岸に近く、また岩国飛行場に近いことから、塩害や騒音対策が必要な土地柄である。本プロジェクトは、市道を挟んで建つ小学



*1 Kenichiro HARA

(株)石本建築事務所



*2 Tetsuya ARAKAWA

(株)石本建築事務所



*3 Akiyoshi FUKUDA

オリエンタル白石 (株)



*4 Seiichi KATO

オリエンタル白石 (株)
(当時)

校と中学校を統合し、一方の敷地に小中一体の校舎を、他方にグラウンドとプールを整備し、両敷地を連絡橋で繋ぐ計画である（写真 - 1）。また、敷地の不発弾探査期間の2か月を、かざられた工期の中から捻出するという岩国ならではの設計条件があった。

校舎の建築計画は、生徒が回遊し活動を誘発するねらいで、普通教室エリアと特別教室エリアを、中央のラーニングセンターと渡り廊下で繋ぐ平面計画である（図 - 1）。空調計画は、飛行場が近く、航空機騒音対策が必要なため、窓を解放せずに換気が行えるよう、外調機室を設けたセントラル形式とした。それにより廊下の天井内には巨大なダクトが並び、また教室への飛込み配管もφ350スリーブが数本配置される、特殊な設計条件からのスタートとなった。

4. 構造計画

4.1 構造計画方針

空調ダクトが建物の長辺を貫くことに対し、天井高さ+ダクト+梁成で階高を決めると建物が肥大化し、建設コストはもとより、階をまたぐ立体的な生徒の回遊を阻害してしまう。設計は、配管ルートをしっかり確保しながら、建物をコンパクトに収めることを命題とし、意匠・構造でさまざまなアイデアを融合した。また、不発弾探査期間を捻出するためには躯体のPCa化に選択肢が絞られ、それを、現場打ちRCでは実現できないPCaならではの空間をつくるチャンスと受け取り、取り組んだ。

4.2 耐震壁の活用による設備スペースの創出

教室が一行に並ぶ学校の場合、長辺（X）方向はラーメン架構とするのがセオリーであるが、ここでは、アリーナ

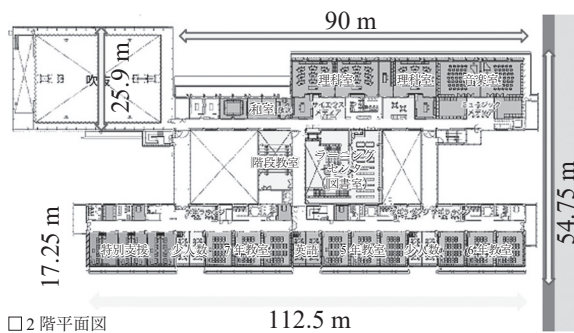


図 - 1 平面図

を除く校舎全体を構造的に一体と計画し、中庭に面して市松状に壁を組み込む建築計画の工夫により、長辺方向にもバランスよく耐震壁を確保できた。教室戸境の一部も耐震壁とし、X、Y方向とも強度型架構を形成した（図 - 2）。

つぎに、耐震壁がすべての地震力を負担できることで、空調ダクトと干渉する梁を取り払い、設備ルートが無梁化した。また、廊下-教室間の太径スリーブ対応としてハンチ梁とした。これにより設備と構造の干渉が一切無い、すっきりとしたインフラルートが形成できた（図 - 3）。

4.3 PCでつくる環境建築

工事工期短縮の必要性から、構造体を積極的にPCa化した。建築計画において校舎棟のモジュールを揃え、教室幅7.5mの半分となる3.75mを基本モジュールとした。外観上の特徴となっているフィーレンディール架構は、教室の中央にダブル柱を据える形とした（図 - 2）。

室内における光環境は、人が感じる「明るさ感」により評価される。明るさ感とは、絶対的な照度と違い、対比的な輝度分布で示され、たとえば特定の部位に明るさが突出すると、人はそれ以外の部分を暗いと感じる。そのため光環境を良くするには、室内の輝度分布をマイルドに整えて、突出する明るさ（グレア）を防ぐことがよい。このPCaフィーレンディール架構は、教室に入る直射光を制御し、また、ライトシェルフ効果で教室の奥深くまで光を届け、室内の輝度分布を整える効果を狙った。PCa部材は、仕上げ材と見紛う存在感をもくろみ、薄さ250mmとし、地面からの反射光をより多く取り込めるよう、面取り形状とした。それをさらに、意匠性とPCa部材の製作性を現寸模型で確認しながら形状を洗練し（図 - 4）、シャープな外観のファサードへと昇華した。南面の環境を考えて生み出したこの形状を、同一型枠で製作できるPCaのメリット

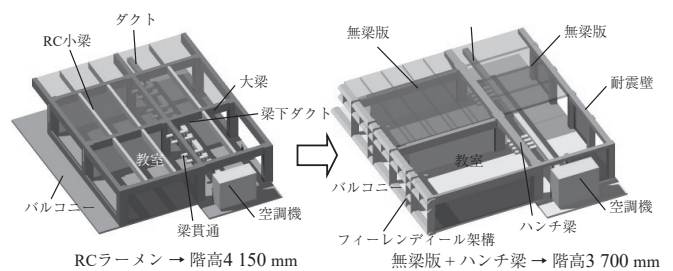


図 - 3 構造と設備ルート

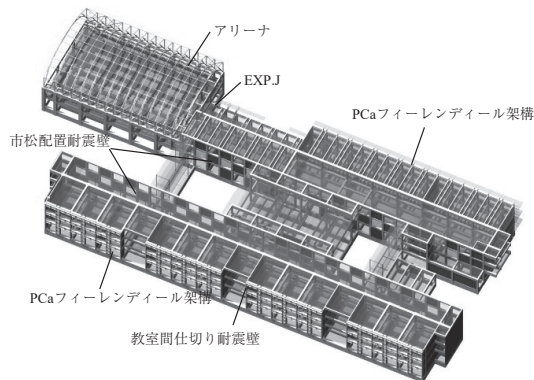


図 - 2 架構イメージ

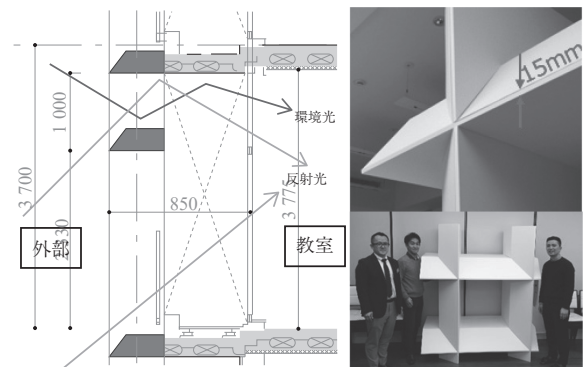


図 - 4 フィーレンディール形状スタディ

を活かし、北面にも展開した。北面には外部にバルコニーが張り出しているが、室内は自然光で十分な明るさを確保できている。これほど特殊な断面形状のファサードは、PCa 技術無くして成しえることのない計画である。

4.4 連絡橋

連絡橋の支点間長さは 36 m、歩道橋として供用されるため歩廊幅は有効 2.2 m 以上が必要となる。また、橋下の高さは市道の道路面から高さ 4.7 m の確保が求められた。スロープの勾配はバリアフリーのため 1/12 以下とする必要がある。接続する校舎の 2 階レベルは GL + 4.6 m で、歩廊下面の梁せいが大きくなると、校舎と橋の間に長いスロープが必要となるため、梁せいをできるだけ抑えたいと考えた。与えられた条件 (図 - 5) に対し、合理的な形状で岩国のまちにも馴染み深いアーチ形状を選定し 36 m スパンのアーチトラスを架け渡す計画とした。

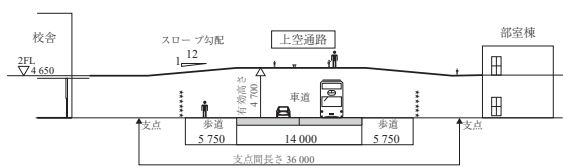


図 - 5 連絡橋の設計条件

アーチの上弦面は鉄板サンドイッチ構造、下弦歩廊は鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 造とし、できるだけ薄くつくるディテールを詰めた (図 - 6)。また、施工時における市道の安全確保のため、連絡橋は敷地内の仮設ヤードで大半を製作し、一晩のうちに所定の位置に据付ける計画とした。揚重機の負担軽減のため、据付け後に床コンクリートを現場にて打ち込む手順とし、型枠兼仕上げ材として SRC 内蔵鉄骨に、端部形状を校舎と同一としたハーフ PCa 版をボルト接続した。

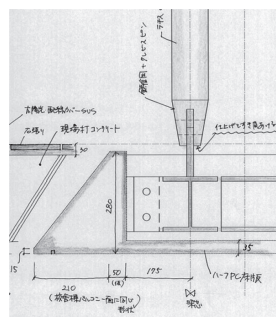


図 - 6 連絡橋ディテール

5. PCa 部材の計画

5.1 多種多様な PCa 部材

本校舎は、多種多様な PCa 部材を適材適所に採用している。とくに南北面のファサードを形成しているフィーレンディール架構が特徴的な建物となっている。図 - 7 にフィーレンディール架構の PCa 化イメージを示す。また、図 - 8 に PCa 部材の概要と構造計画を、図 - 9 に教室ユニットにおける PCa 部材の概要図を示す。

- ① 建物内部および耐震壁周囲の柱は、すべてプレキャスト鉄筋コンクリート造 (PCaRC 柱) とした。
- ② 廊下と教室の境にある梁は、やじろべえ形式のプレキャスト鉄筋コンクリート造 (PCaRC 大梁) とした (写真 - 2)。これは、鉛直ハンチタイプの大梁として中央の梁成を抑え、その下に広く設備配管スペースを確保

する目的である。

- ③ 普通教室の境界に配置したスパン方向の大梁と特別教室に配置したスパン方向の小梁は、プレテンション方式によりプレストレス力を導入したプレキャストプレストレストコンクリート梁 (PCaPC 梁) ($L = 8.6 \sim 10.25 \text{ m}$) とした。フィーレンディール架構との接合部は、応力伝達および見えがかりとなる梁幅を考慮して、ガセット接合とした (写真 - 3、図 - 10)。なお、小梁はダブル T (DT) 形式とシングル T (ST) 形式を計画し、DT 形式の部材では、床段差のある形状として設備配管スペースを確保した (写真 - 4)。
- ④ 3 階大梁の一部に、フィーレンディール架構を陸立ちで支持する部材を、7.5 m × 4 スパンにわたって計画した。梁にポストテンション方式によりプレストレス力を導入し、部材サイズを抑えた (図 - 11)。
- ⑤ 本建物における最大との特徴ともいえるフィーレンディール架構は、見付幅 250 mm を面取りした極細部材でファサードを形成する。繊細な部材断面で架構を構成する複雑性から、ポストテンション方式によりプレストレス力を導入し、圧着することで架構を構築する、いわゆる PC 圧着接合により実現した (PCaPC 梁・柱)。なお、選定した PC 鋼材は、柱が 23φ SBPR930/1080 と通常より細い PC 鋼棒であり、大梁は 1T17.8SWPR19L と細めのシングルストランドを用いることで、極細断面に対する納まりにも配慮している。
- ⑥ 図書室の吹抜け天井部分には、細いリブ形状が連続して並べられる、ST 床版を採用した。ST 床版は、プレテンション方式によるプレストレス力を導入した長さ 11.4 m の PCaPC 床版である (写真 - 5)。
- ⑦ フラットな教室天井を実現するために、プレテンション方式によりプレストレス力を導入した逆リブ型 PC 合成床版を採用した。
- ⑧ 渡り廊下は、スリムな板状のスラブを実現するために、ポストテンション方式による現場打ちプレストレス鉄筋コンクリート造スラブ (PRC スラブ、 $L = 11.4 \text{ m}$) を採用し、厚さ 400 mm に抑えた (写真 - 6、図 - 12)。
- ⑨ 北面のバルコニーはハーフ PCa 床版とし、フィーレンディール架構の厚さ (250 mm) と合せ、下端を揃えたディテールとした (図 - 13、写真 - 7)。そこで、フィーレンディールの梁部材にブラケットを設け、施工時の荷重伝達を行う計画とした。

建築・設備計画に即して多種多様な PCa 部材を駆使し

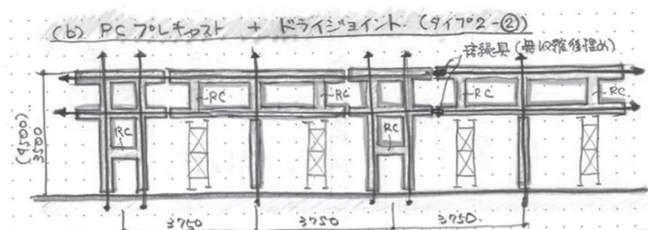


図 - 7 フィーレンディール架構の PCa 化イメージ

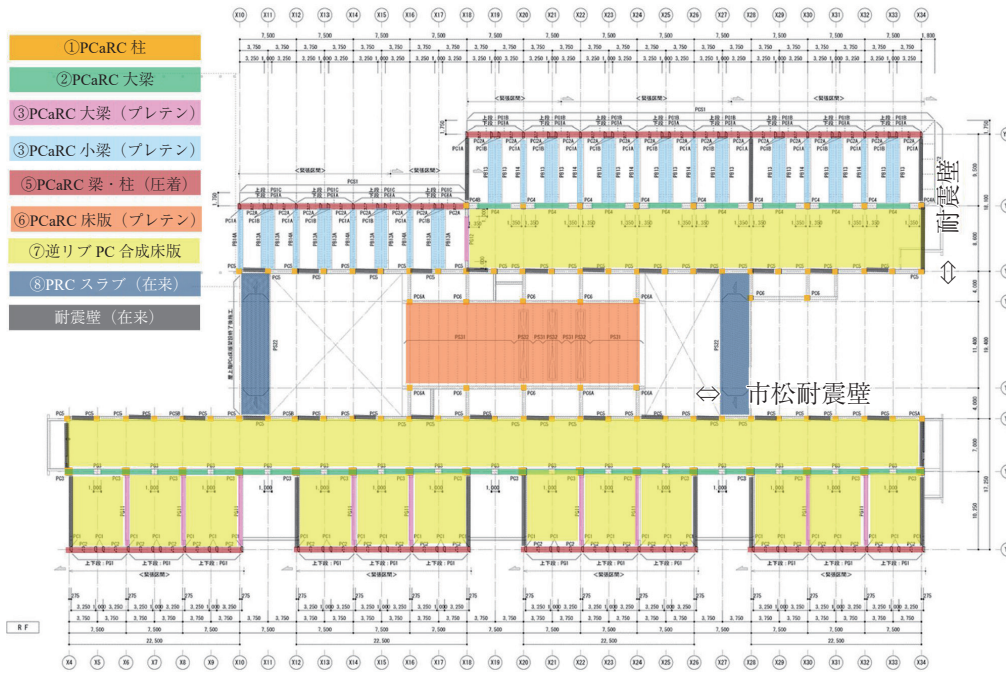


図 - 8 PCa 部材の概要と構造計画 (RF 伏図)

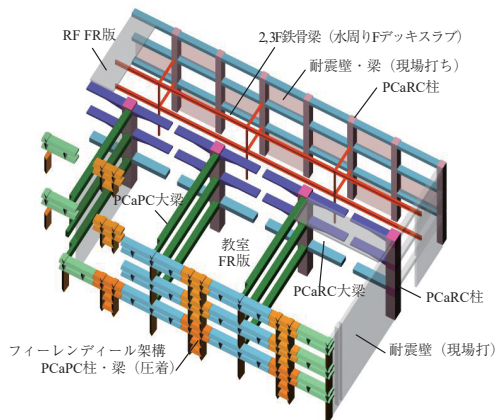


図 - 9 PCa 部材の概要図 (教室)

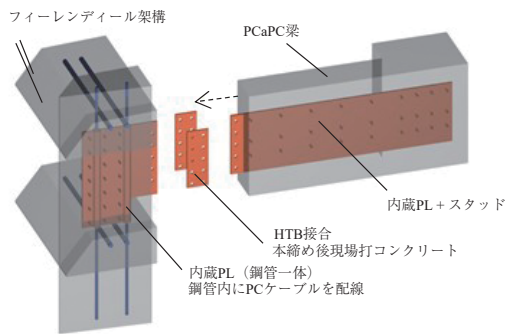


図 - 10 PCaPC 架構の接合部納まり



写真 - 2 やじろべえ形式の PCaRC 大梁



写真 - 4 床下配管スペース付き DT 版



写真 - 3 端部をガセット接合とした PCaPC 大梁

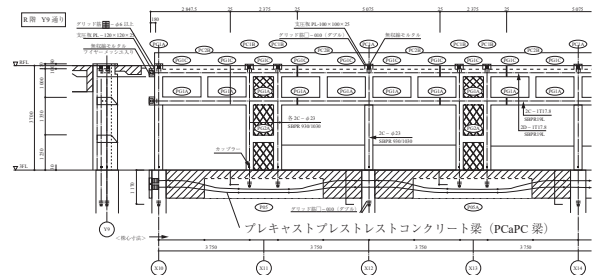


図 - 11 陸立ち架構の軸組図



写真 - 5 ST床版架設状況, 断面図

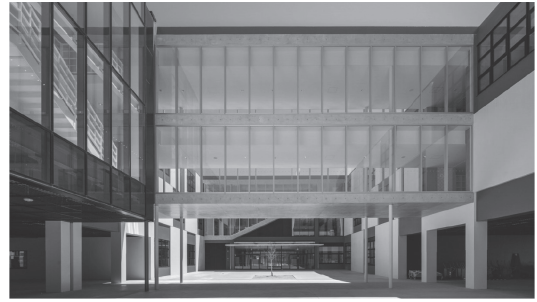


写真 - 6 PRCスラブの渡り廊下

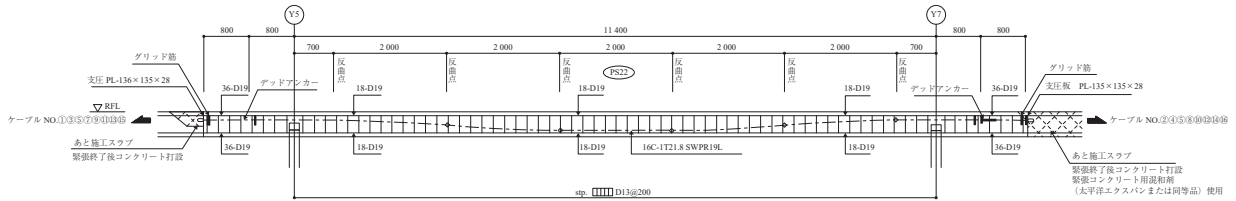


図 - 12 PRCスラブの配線配筋図

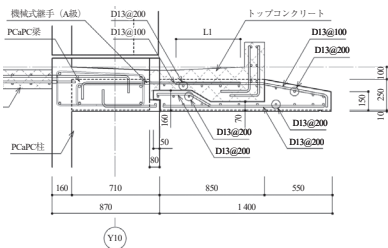


図 - 13 底PCa版断面図



写真 - 7 底PCa版

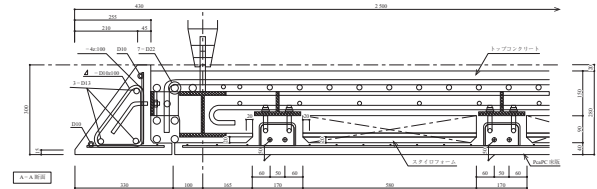


図 - 14 連絡橋のハーフPCa床版

ているが、部材モジュールや断面形状の統一を図ることで型枠の転用計画にも十分配慮し、経済的な設計を行っている。これには、意匠設計者も含めた設計関係者全体の意思統一が不可欠であった。

5.2 連絡橋におけるPCa部材

連絡橋下弦面には、型枠兼仕上げ材としたハーフPCa床版を採用した(図 - 14)。フラットな橋底を実現すべく、逆リブ形状のPCa床版とし、リブ部分にプレテンション方式によりプレストレス力を導入することで、施工時における床コンクリートの打込み荷重を支える設計とした。端部はフィーレンディール架構と同じ面取り形状として施設全体のデザインを統一した。また、将来のメンテナンス時に吊足場を設置しやすいように、PCa版下端にインサート(セラミック)を2m間隔で設け、施工時にも活用した。

6. 製作・施工概要

6.1 部材製作概要

本施設は、5章①～⑨に示す多種多様なPCa部材や現場打ちPRC部材からなっている。各部材の部材数とコンクリートボリュームの内訳は下記のとおりである。

- ・PCa フィーレンディール架構：235 P (445 m³)
- ・PCaRC 柱：347 P (576 m³)
- ・PCaRC 梁：68 P (177 m³)

- ・DT・ST板：89 P (253 m³)
- ・底ハーフPCa床版：83 P (57 m³)
- ・逆リブ形PC合成床版：441 P (5 013 m³)
- ・連絡橋ハーフPCa床版：61 P (9.9 m³)

ファサードであるフィーレンディール架構を形成するPCa部材は、15mm幅の断面先端をピタリと揃えて製作することを命題とし、「誤差ゼロ(精度1mm未満)」を目指した。面取りをした断面形状は、型枠を組み立てたのちの寸法計測によるチェックが難しいため、写真 - 8に示す計測用の定規(テンプレート)を作成して型枠の管理を行った。また、意匠性に配慮した断面であると同時に工場製作の観点から、箱抜き部分の脱型が確実にできるようなしながらも、梁底はどうしてもフラットに見せたかったので、梁底以外の三面に抜き勾配(テーパ)を設けるよう計画を行った(写真 - 9)。さらに、脱型後は平らな面(打込み面)を下にしてストックするために、部材を打込み時の

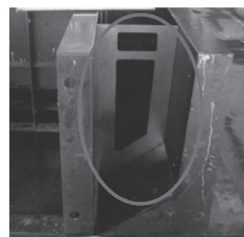


写真 - 8 テンプレート



写真 - 9 脱型

方向から反転させる必要があった。そこで、部材に過度な応力を生じさせないようにするため、写真 - 10 に示す部材重心が回転軸となるような治具を製作し、これを用いて部材を反転させる計画とした。これらの工夫の結果、スムーズな脱型を可能とし、また、吊上げ時や部材の反転時においても過度な力がかかることがなかったので、部材も欠けることなく適切にストックヤードまで運搬および仮置きすることができた(写真 - 11)。

6.2 施工計画概要

PCa 部材を架設するための揚重機は、120t クローラークレーン、100t クローラークレーンおよび 60t のラフタークレーンを使用し、1日あたり 8～12 部材を架設した。

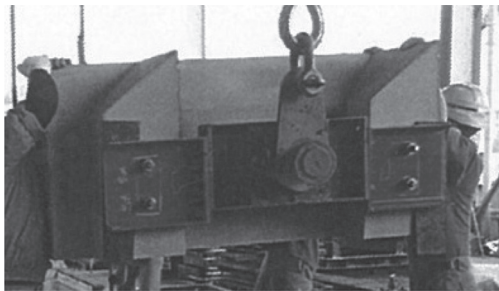


写真 - 10 反転治具

図 - 15 に仮設計画図を示す。

PCa 部材は、南・北の校舎を東西方向に建逃げて架設し、最後に中央部および渡り廊下を施工した。架設計画にあたり、図 - 17 に示す BIM モデルによる施工フローシミュレーションを作成し、現場関係者のイメージ共有を図った。

フィーレンディール架構は、柱部材と梁部材を圧着接合している。これらの PCa 部材架設にあたっては、JASS10 によると ±5 mm の誤差が許容されているが、PCa 部材でしか成しえない繊細なファサードに向け、シャープな 15 mm 幅の先端を「誤差ゼロ」で通す建て方計画を策定した。



写真 - 11 ストック状況

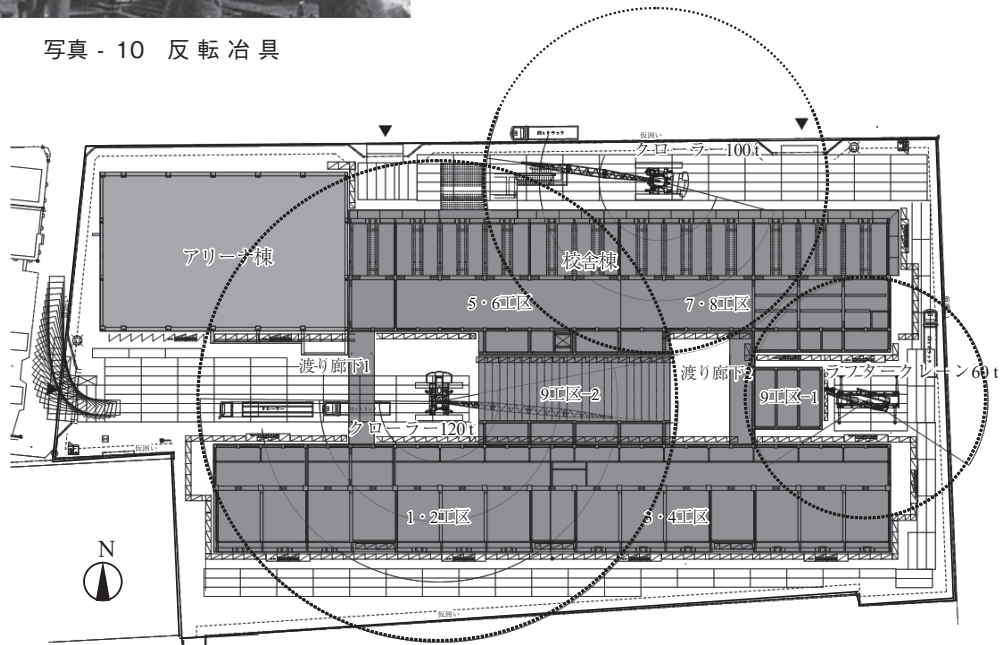


図 - 15 仮設計画図

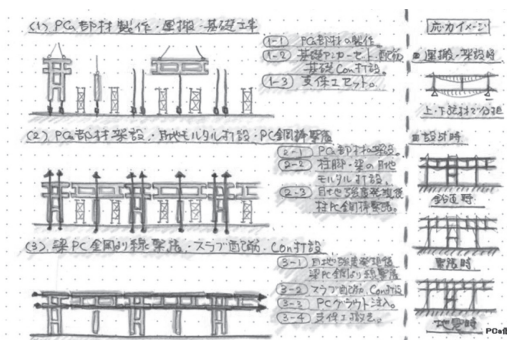


図 - 16 初期段階の建て方イメージ

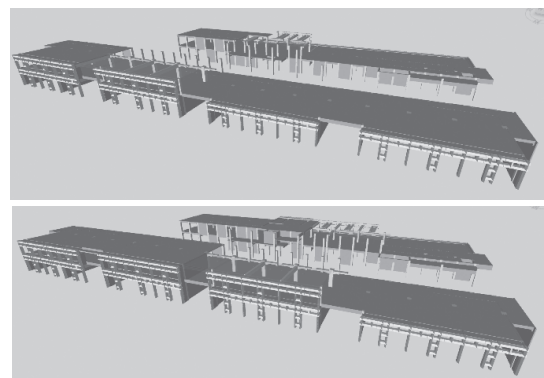


図 - 17 BIM モデルによる施工シミュレーション

6.3 PCa フィーレンディール架構の架設概要

PCa フィーレンディール架構の初期の施工手順案を図 - 16 に、実際の施工フローを図 - 18 に示す。また、3D プリンターによる模型を作成し（写真 - 12）、特殊な部材形状の建て方となることを作業員含め、施工者全体で共有できるようにした。

建て方は、捨てコンクリート上の基準墨に従ってアンカーフレーム（PC 鋼棒用架台）を所定の位置に固定し、PC 鋼棒などをセットする。水平位置（XY 方向）が所定の位置となるようテンプレートで調整、固定したのち、コンクリートを打ち込んだ。柱の架設は、基準墨より柱位置および柱面の墨を出し、ライナープレートにて柱天端のレベルを調整した。平面位置は墨にて確認し、柱の建入れは、PC サポートとライナープレートにて調整した。架設状況を写真 - 13 に示す。ここでもテンプレートを用いることで柱部材の設置位置と PC 鋼棒の位置を確認している。柱の架設精度は、レベル・柱脚部の出入り・傾きにて確認し、所定の位置に精度よく架設することができた。梁の架設は、梁部材を支保工上の所定の位置にセット後、シース内に目地モルタルが入りこまないように鉄入りスポンジをセットし、目地モルタル用型枠（アングルなど）を取り付けた（図 - 19）。ここで、梁の架設精度は、梁両端の出入り・目地幅・高さにより確認を行った。また、目地モルタルを打込む際に、シース内への流入や空隙を生じさせないように目視で確認を行いながら、2・3 回に分けて打ち込んだ。

北面の PCa フィーレンディール架構は、1 階では連続 90 m の桁行長さである。一度に緊張すると軸変形による

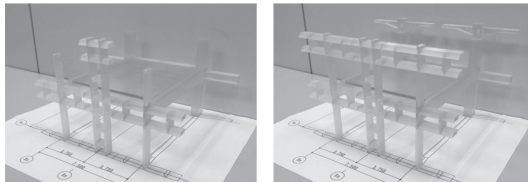


写真 - 12 3D プリンターによる形状および施工手順の確認

不静定応力が外端に大きく影響してしまうため、3 スパンずつ緊張力を導入させ、接続具を用いて PC 鋼線を継いでいく計画とした。通常、接続具の位置はウェットジョイントとなるが、意匠的な観点から図 - 20 のような接続イメージを実現させるため、側面を PCa とし、内部を無収縮



写真 - 13 フィーレンディール架構の架設状況

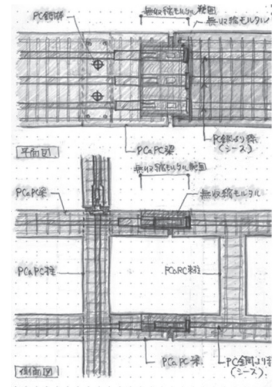
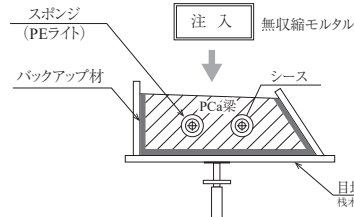


図 - 19 目地モルタル用型枠要領 図 - 20 PC 接続イメージ

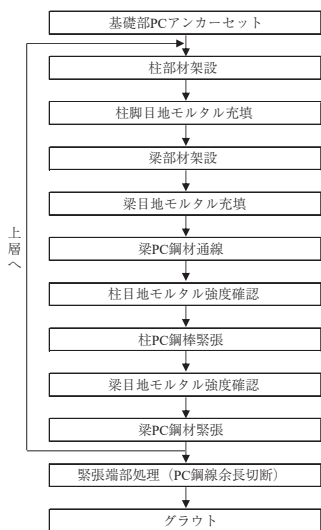


図 - 18 フィーレンディール架構の施工フロー



写真 - 14 建て方後のフィーレンディール架構

モルタルで充填させることにより、外観上も他と変わらない圧着目地を実現させた。これらの手順を順守し施工することにより、先端幅 15 mm が空まで伸びるかの如く、シャープな形状を構築することができた (写真 - 14)。

6.4 ガセットプレート接合

梁間方向の大梁とフィーレンディール架構はガセットプレート+高力ボルト接合のため、孔径はボルト径+2mmとなる。ガセットプレート接合は、基本的に鉄骨造で採用される接合方法であり、柱・梁を組み立てたあとに全体で建入れ調整を行うことができる。鉄骨造ではクリアランスが多少小さくても施工は可能だが、PCa 構造では、柱を調整し固定したのちに梁の架設を行うため、微調整ができず、施工が困難である。そこで設計監理と施工管理で協議し、今回は写真 - 15 に示すように、ガセットプレートを挟み込むスプライスプレートの片側に±10mmのルーズ孔を設け、製作精度や柱の施工誤差を吸収できるようにした。ガセットは、ボルト本締め後に溶接を行い、設計品質を確保した。これにより、ガセットプレート接合のあるPCa部材において、精度の良い建て方を行うことができた。

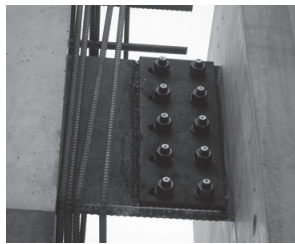


写真 - 15 ガセットプレート接合

6.5 連絡橋の施工

連絡橋は、PCa床版、床配筋、アーチトラスおよび下弦材を仮設ヤードで地組みし、550tクレーンで吊り上げ、一晩のうちに据付けられた (写真 - 16)。下面を型枠兼仕上げ材としたハーフPCa床版 (写真 - 17) としたことで、据付け後は床コンクリート打込みと手摺工事のみであり、道路上の施工を最小限に留め、施工時安全性を高めた。



写真 - 16 連絡橋架設



写真 - 17 連絡橋見上げ

7. おわりに

竣工後、実際の教室内の輝度測定を行い、光環境に対するPCaフィーレンディール架構の効果を検証した。校舎南面の外部にPCaフィーレンディール架構のある教室と無い教室を抽出し、照度および輝度計測を行い、照度はフレームの無い教室で高い数値を示したものの、輝度計測では、図 - 21 に示すように、PCaフィーレンディール架構の効果で、室内の輝度分布が均質になり、黒板が見やすい、良好な学習環境になっていることを確認した。



図 - 21 輝度測定結果

PCa技術を駆使し、PCaならではの部材形状を活かした学校建築を短工期でつくりあげた。現場打ちコンクリートでは決して成しえない、仕上げ材と見紛う繊細なファサードを実現し (写真 - 18)、これはまた、教室の優れた光環境を提供し、省エネにも貢献する。このPCaは構造体の枠組みを超え、意匠性はもとより環境にも貢献する新たな環境建築の主役となり、今後の持続可能な社会に向けた、先導的なPCa建築といえる。これは、施主を中心に意匠・構造・設備が一体となった設計から、監理・製作・施工まで皆が一丸となり『協働』できたことが実現の源にある。

最後に、建築主、工事施工関係者、関係各位に心からの感謝の意を表します。



写真 - 18 校舎南面外観

【2021年4月28日受付】