

中央区立晴海西小学校・晴海西中学校 —PCa技術で実現する新しいまちのランドマーク—

石本建築事務所 原健一郎 榊原由紀子

構造合理性の追求から生まれた架構形状を、PCa技術と施工上の工夫によって高精度に洗練させ、新たなまちのランドマークとなる特徴的なファサードを備えた建築が完成した。現場打ちRCでは実現し得ない、PC特有の洗練された美観を創出した事例として、本稿で紹介する。

1. はじめに

2020年東京オリンピックの選手村として整備された晴海埠頭において、約18ヘクタールに及ぶ広大な敷地が再開発され、新たな街区が整備された。当該地域には、住宅をはじめ、商業施設、教育機関、公園、交通インフラ、エネルギー供給施設など、都市生活に必要な各種機能が一体的に整備されており、新たな生活圏が形成された。

この街区の中心に位置する本校は、「輝く未来を地域と築く、新しいまちの学び舎」をコンセプトとして計画された小中一貫校である。学習環境の充実を図るとともに、地域の成長や社会情勢の変化に対応可能な空間的可変性を備えている。また、地域活動の拠点としての利用や、防災拠点としての機能も想定し、施設全体の多機能化が図られている。

本校の北側外観を写真-1に示す。



写真-1 北側外観

2. 建物概要

- ・建設地：東京都中央区晴海5丁目3番5号
- ・主要用途：学校
- ・建築面積：7,487㎡
- ・延床面積：25,923㎡
- ・階数：地上5階 地下1階
- ・最高高さ 22.9m
- ・構造：校舎棟：柱鉄骨鉄筋コンクリート造（以下，SRC造） 梁鉄骨（以下，S造） 純ラーメン架構
ラーニングハウス：SRC造，一部S造，一部プレキャスト鉄筋コンクリート（以下，PCaRC）造，一部プレキャストプレストレストコンクリート（以下，PCaPC）造 耐震壁付きラーメン架構
- ・工期：2021年12月～2024年2月
- ・設計・監理：(株)石本建築事務所
- ・施工：大成・シマ・CROSS建設共同企業体
- ・PC工事：ピーエス・コンストラクション(株)

3. 建築計画

鳥瞰写真を写真-2に示す。「輝く未来を地域と築く，新しいまちの学び舎」ー子供たちがのびのびと笑顔ですごせる，地域とともに成長する学校ーをコンセプトに，①学びの場としての学校②まちの拠点としての学校③地域とともに成長する学校の3つの視点から新しいまちの象徴となる学校づくりがなされた。

学校は地域の連帯感を育む「家」のような存在であるべきという考えから，なるべく低層でボリュームを分節し，接地性を重視した。

小学校と中学校は同一建物内でエリアを明確に分けながらも，共用空間となる体育館やプール，メディアセンターなどは一体的利用できるよう集約した。ハウスと呼ぶ教室群およびラーニングハウスと呼ぶ共用空間が平面的にずれながら配置されることで，多様な居場所を生み出し，中庭

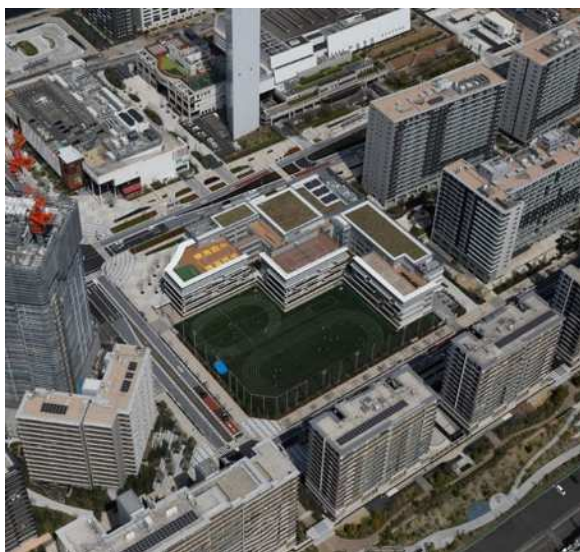


写真-2 鳥瞰

は自然採光・自然通風を促進する環境装置となっている。約6000㎡の校庭は，エリアを緩やかに仕切りながら一体利用もできるように設えるなど，小中一体への細やかな配慮を行っている。図-1に2階平面図を示す。機能的なゾーン構成と隙間を持たせた配置が豊かな空間を創出している。



図-1 2階平面図

北側は，地域の「にぎわい軸」となる幅員50mのメインストリートで，大型商業施設と対面する。校内の地域開放エリアは，このにぎわい軸に沿って計画され，また開放性の高い設えとすることで利便性を高めつつ市民活動の見える化を図り，地域の活性化に寄与する。

4. 構造計画

雁行したブロックの配置と吹抜が多いことから，構造はEXPJを設けて4ブロックに分棟した。図-2に全体の構造イメージを示す。本稿では，PC技術を活用したラーニングハウスを抽出して紹介する。

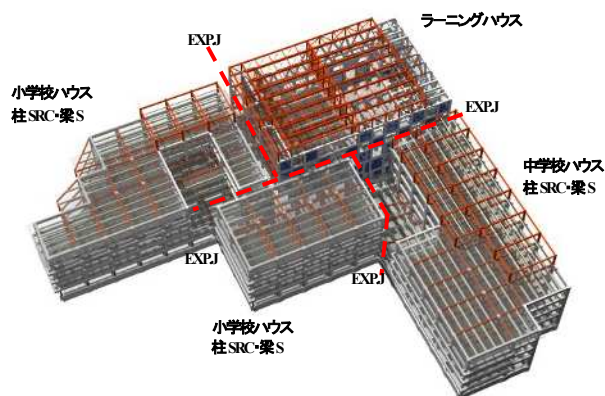


図-2 全体構造イメージ

4.1 ラーニングハウスの構造計画

ラーニングハウス単体は約55m×34mの平面で，1階にプール，2階に体育館，4階にメディアセンターが立体的に積層される。小・中学校の体育館はひとつながりで，それぞれに要求される天井高さが異なることから，図-3の断面図に示すようなL型断面のアリーナ空間が内包される。

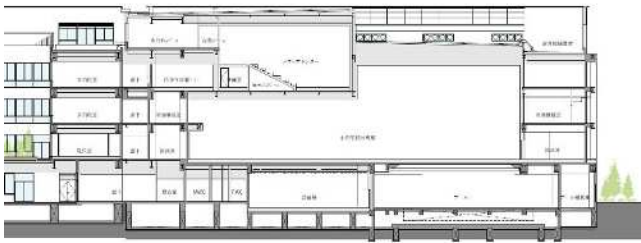


図-3 ラーニングハウス断面図

2階から上部では耐震架構は外周に限られる。そのことから、構造計画では①プール上部のアリーナ床支持方法、②小学体育館上部に浮かぶメディアセンター支持方法、③耐震架構の構築の3点を主要な課題と捉えた。

4.2 プール上部の床支持方法

アリーナ下に位置するプール空間は、スパン 22mが必要とされ、耐塩素対策から耐久性に優れるリブ付き PCaPC 床版（以下、ST 版）を計画した。運搬条件から部材の最大長さが限られることから、プール上空の幅 16m の区間のみ ST 版を配置し、周囲は RC 片持ち架構で構成した。プール室全体を ST 版で架け渡す方法も検討したが、スパン長にともない梁成が大きくなることから、採用した方法はプール室全体を ST 版で架け渡す方法と比べ室内の有効高さを高くできた。図-4 にプール上部の構造部材配置を示す。

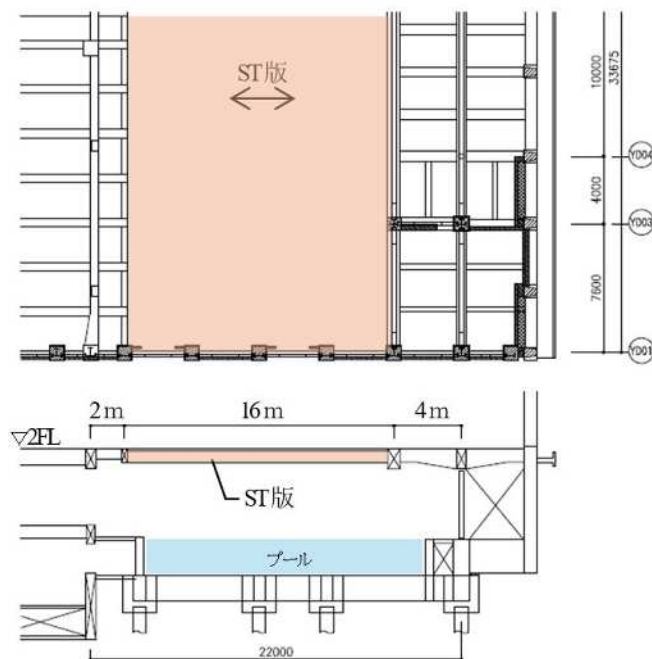


図-4 プール上部伏図・軸組図（部分）

4.3 メディアセンターの鉛直支持方法

2層吹抜のメディアセンターに対し、体育館との境となる壁部分に2層分の梁成を持つ鉄骨トラスを構築し、大空間を支持する計画とした。図-5に主架構イメージを示す。

4.4 耐震架構の構築および最適化検討

耐震架構を形成できる構面が XY それぞれ 2 構面に限られる中、内外に開放性の高い設えとすることは難題である。

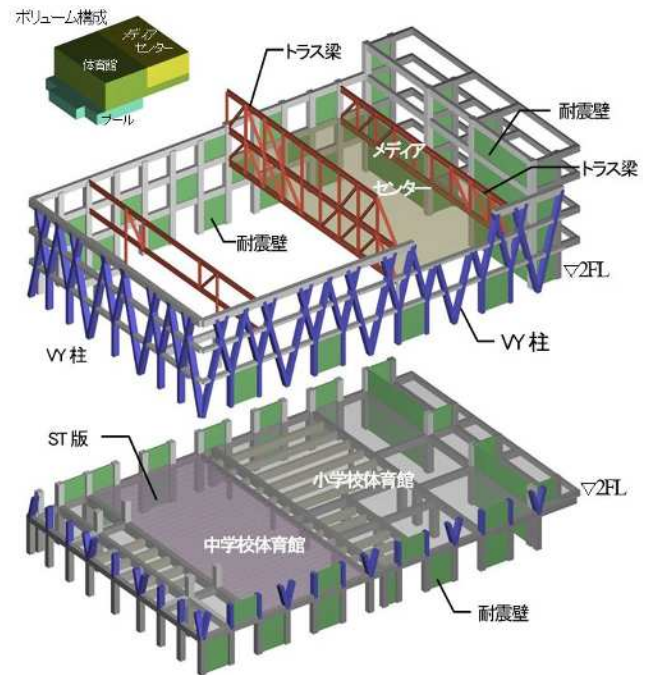


図-5 主架構イメージ

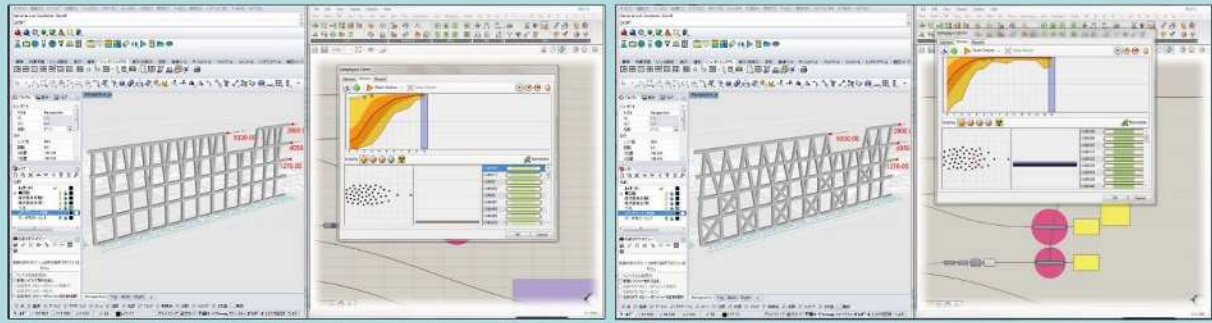
耐震重要度係数 $I=1.25$ が求められることから、高い強度と剛性を有する耐震架構とする方針とし、強度型架構に向けた複数の架構形状を考案して比較検討を行った。ブレース状に斜め柱を配置する案は架構の強度と剛性を高めることが比較的容易であるが、その反面、トラス状に閉じた三角形フレームは固すぎて、対面するフレームや層間のバランスを調整することが難しい。

これまで、架構検討は立体解析モデルの節点や部材配置をひとつひとつ調整し、トライアンドエラーを重ね最適な解を模索していたが、ここでは若手意匠担当者から、検討条件が明らかな場合は効率的なパラメトリックスタディが可能であると助言を受け、プログラムを用いた構造最適化を行った。プログラムを用いると、パラメーターに応じて形状はもとより、応力解析結果までもがリアルタイムに算出され、これには時代の変化を感じた。

検討では、まず剛性率に注目した。パラメーターを各層の固さのバランスとした場合、最適とされる架構は純ラーメン架構に近づき、意匠的には物足りない印象とのことであった。つぎに 1 階および 2 階の水平剛性不足を解消するため耐震壁を配置し、すると 3、4 階の剛性が高まるように柱に傾斜角が生まれた。検討結果のまとめを図-6に示す。

無数に生みだされる検討結果から、柱に生じる曲げ応力が小さい・層間変形角が小さい・剛性バランス（剛性率）に問題ないケースを抽出し、その中から意匠性に優れたものを選定した。構造的に最適とされた柱の開き角は 31 度であったが、設計チームは、児童生徒に自分たちの校舎を身近に感じてもらいたいという祈りを込め、三角定規とおなじ 30 度に決定し、V 形と Y 形の柱を有する架構を VY 架構と名付け設計を進めた。構造体の合理性を追求して生まれたこの VY 架構は木立ちにも見え、構造体をそのままファサードデザインとするチーム方針となった。

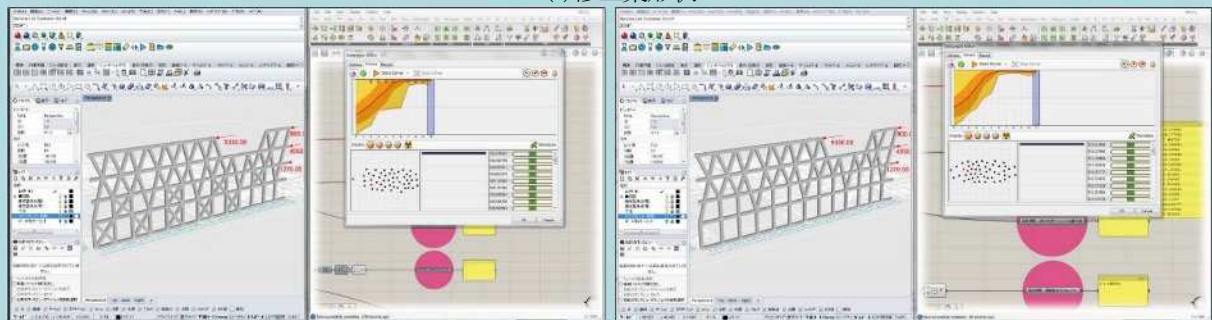
(a) 初期案形状



パラメーターをフレームの各層の固さのバランス（変形量の差が最小）とした場合、
→単純なラーメン構造に近づく
→思った以上に角度が開かない（意匠的にはもう少し角度が開いてほしい）

1、2階の固さが足りないことから部分的にブレースを入れることで角度を広げを試みた。
→角度を開かせるには相当量の耐震壁またはブレースが必要となり、求める開放的な空間とならない。

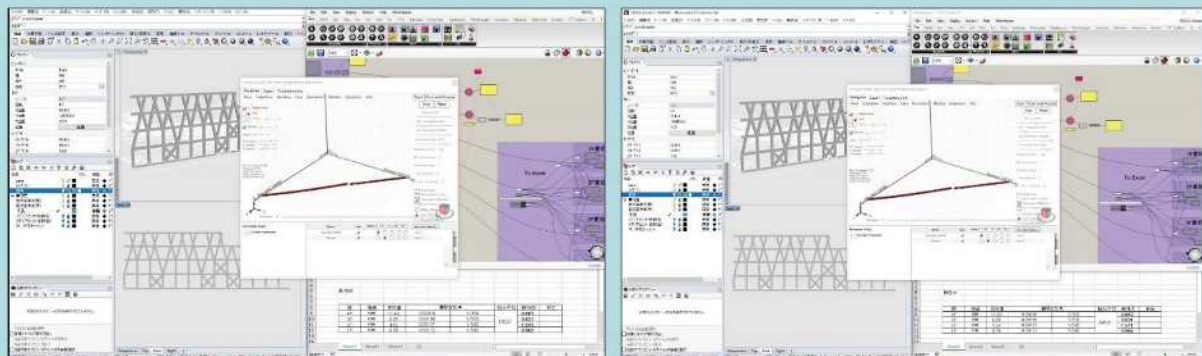
(b) 修正案形状



パラメーターを、剛性率（面さのバランスの基準）は確保したままモーメントを最小限に（部材断面の最小化）
→ブレース（三角形）を多く設けようとする角度が開きすぎる

硬さのバランスを考慮した場合の開き方とモーメントが最小となる開き方との中間程度の開き方が良いと想定し、それぞれのパラメータを同時に最適化シミュレーションにかけることを試みた。

(c) 最終案形状



モーメントの最小化と面さのバランスというトレードオフの関係から、多目的最適化によるシミュレーションを行いトライ＆エラーの結果複数案のpareto解を導いた。それらの解の中からデザインのおよび施工性を評価軸として最も適切な角度を決定した。

図-6 Y 架構の最適化検討

4.5 Y 架構の構造種別

斜めに取り合う柱を現場打ち RC で製作する場合には梁も含めると鉄筋の取り合いが多層になることが避けられず、部材のサイズが大きくなることが予測された。プロジェクトに求められる内外の開放性から遠ざかることに加え、型枠や鉄筋の位置出しも難しく、施工が困難なことから工期の長期化が懸念された。ラーニングハウスは地下があるため、全体工期はこの棟がクリティカルになる。部材を PCa 化して圧着接合すると短工期になるものの、コストが課題であった。メリットデメリットを総合的に評価し、建築主

との打ち合わせの結果、開校予定の時期に間に合わせられる PCa 圧着工法を採用するご判断をいただいた。

このことで部材には Fc60 以上の高い強度のコンクリートが使えることとなり、部材のスリム化につながった。

4.6 実施設計

建物の北面と東面は VY 架構、南面と西面は耐震壁つきラーメン架構とし、全体モデルで架構の平面バランスを確認した。VY 架構はフロアレベル以外にも交点を持つため、一貫計算プログラムにそのままの形状が入力できない。全体モデルには VY 架構と等価な剛性になるような近似フレ

ームを別プログラムから算出して調整し、偏心のバランスを確認した。部材の断面算定においては、全体モデルで算出された VY 架構が負担する地震力と変形を別プログラムに戻し、各部材の設計用応力を求めた。設計ルートはルート 3 となるが、崩壊形が明らかにならないことから、大地震時相当の地震力に対して部材を許容応力度設計とした。PC 部材は大地震時相当を超える応力となる層間変形角 1/200 の強制変位時に生じる応力に対して終局強度設計を行った。

4.7 PCa部材の計画

VY 架構をどのようなパーツで PCa 化し、また PC 鋼材の経路および緊張方法が課題であった。設計中に PC メーカーに相談し、パーツ構成と緊張力導入方法についてアドバイスを受けた。図-7 にパーツ構成と緊張位置を示す。下階の柱側面に複数柱の PC 定着具を上下に並べて配置して柱頭より緊張力を導入する方法は思いもよらぬもので、これで実現への光明が見えた。

型枠脱型のために必要なテーパ形状は、シャープな外観が形成できるほか、雨水が滞留しない点についても好都合で、現場打ちでは成しえない躯体形状に期待が膨らんだ。

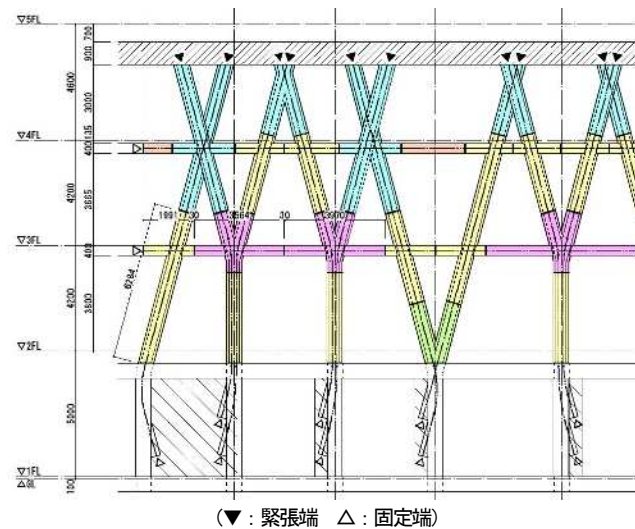


図-7 VY 架構の PCa パーツ構成

5. 製作・施工

5.1 実現に向けて

VY 架構の実現に向け、部材製造において大きく 2 つの課題があった。ひとつは、PCa 部材が外観に直結するため、非常に高い精度が要求されること。ふたつめは、部材の種類が多く、また形状が複雑なため、関係者がディテールまで理解するのが困難なことであった。

5.2 製作前の目標共有

PCa 部材のコンクリート強度は Fc70 および Fc60 で、型枠を適宜兼用しながら 24 種類 123 ピースの部材を約 4.5 か月のうちに製作した。図-8 に部材の投影図を示す。柱と梁のみでなく、頂部に回るハチマキ状の部分も PCa で製作した。また、意匠的な考えから、交差部のファサードには面の勝ち負けが設定され、この形状を間違えないように製作する

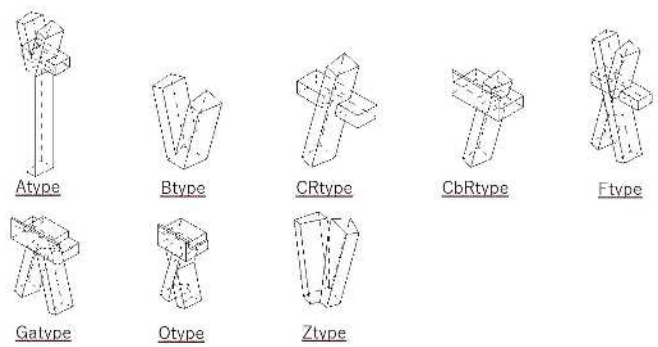


図-8 PCa 部材投影図

のは十分な注意が必要であった。

計画段階から、工場担当者や型枠業者を含めて綿密な打ち合わせを重ね、形状のイメージ共有には 3DCAD や 3D プリンターを活用した。写真-3 に 3D 模型を示す。



写真-3 3D プリンター模型

工事関係者の打ち合わせでは、PCa 部材の接続部における許容誤差について協議が行われた。JASS 10 では $\pm 5\text{mm}$ の誤差が認められているが、本計画では繊細なファサードを実現するため、「誤差ゼロ」を共通目標とし、高い意識のもとでアイデアを出し合いながら取り組んだ。

5.3 PCa 部材の製作

面取りをした断面形状は、型枠を組み立てた後に寸法計測が難しいため、写真-4 に示すようなチェック用の専用治具を用いて精度管理を行った。

部材製作の流れを写真-5 に示す。



写真-4 柱交差部の治具使用状況

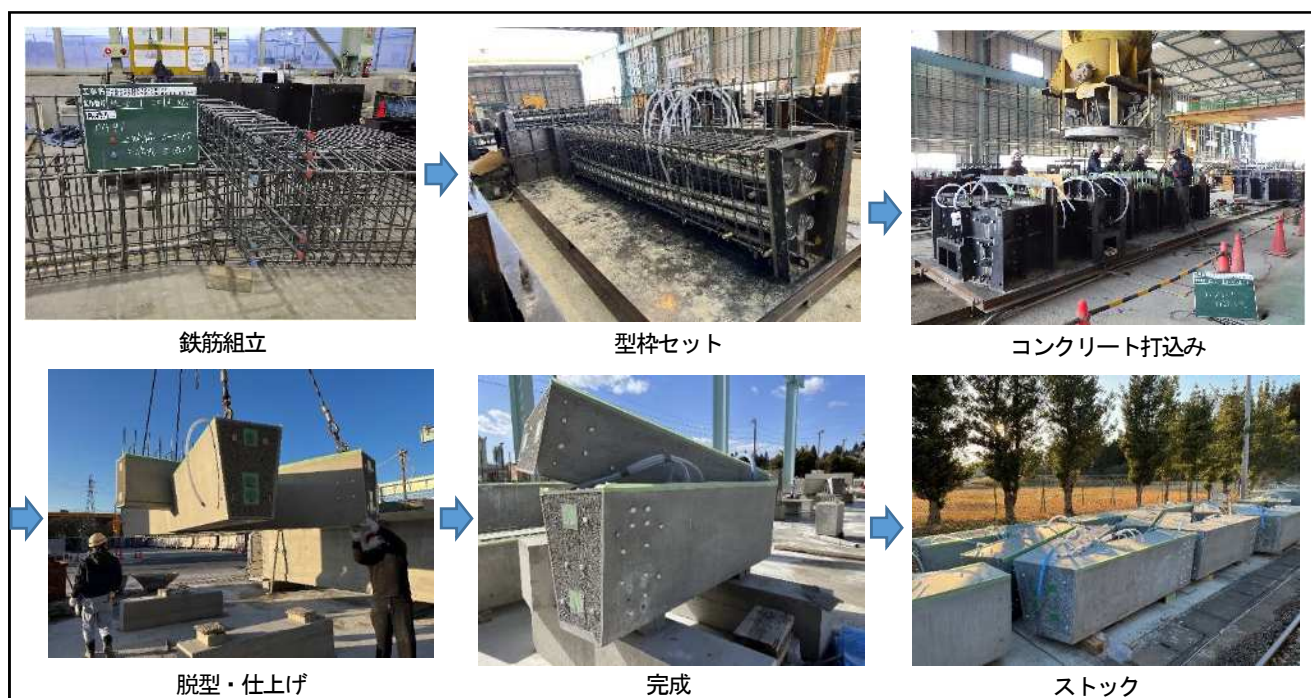


写真-5 製作手順

5.4 PCa部材の精度管理

誤差ゼロの目標に向け、すべてのPCa部材の出来形図を作成し、それをもとに全体の建て方検討へと進んだ。製作誤差の吸収しるは部材間の目地位置で、ここで数ミリ単位の調整を図った。図-9に建て方検討図抜粋を示す。この方法が実際の建て方において抜群の効果を発揮した。

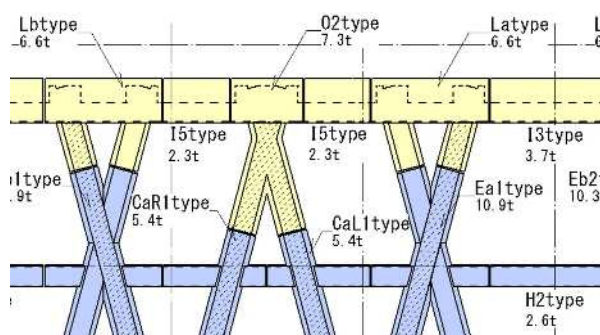


図-9 建て方調整検討図

5.5 施工計画概要

部材の最大重量11tとなるPCa部材は、約3か月のうちに建て方が完了した。揚重機は、200tクローラークレーンおよび120tオールテレーンクレーン、65tのラフタークレーンを使用した。建物内部が大空間でVY架構は緊張力が導入されるまで面外方向の外力に対して不安定であるため、仮設として写真-6に示すような鉄骨構台を設置した。建て方手順図を図-10に示す。

5.6 圧着接合部

VY 架構を構成する部材は圧着接合とした。一般的な架構でも「誤差ゼロ」は容易でなく、ここではさらに部材が傾斜するという難易度が加わる。工事関係者打ち合わせで挙がったアイデアに基づき、建て方用打ち込みプレート+高さ調整ボルト、建方時脱落防止筋、建方治具等の工夫を



写真-6 仮設鉄骨構台

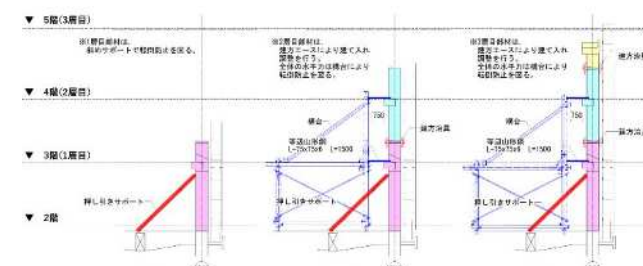


図-10 建て方手順図

行った。高さ調整用ボルトとズレ止め金物は初期段階の部材の位置合わせの役割を果たし、全体の調整および固定は建方治具を用いて行い、前後、左右、高さ調整を全て1つの治具で行った。また、地震時の備えとしてPCa部材断面内に脱落防止筋を計画し、安全性も担保した。これらの工夫と入念な施工管理のもとで精度を最大限高めることができた。図-11に仮設詳細図および実際の状況写真を示す。

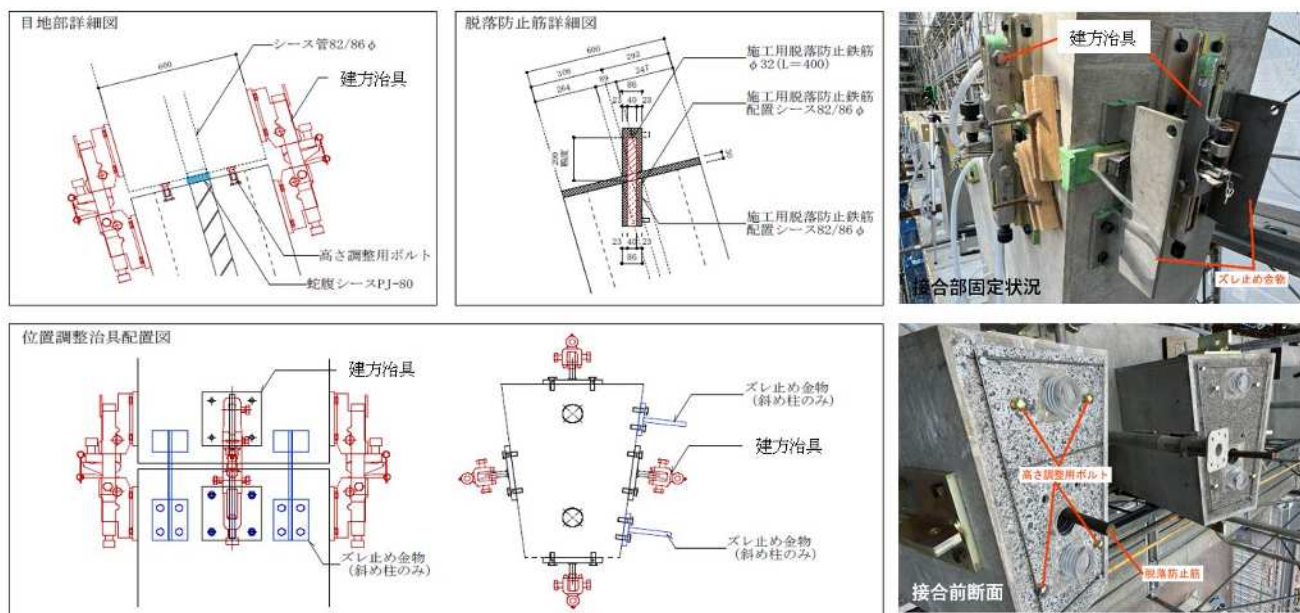


図-11 圧着接合部詳細図・接合部状況

5.7 緊張管理

所定の緊張力を確保するため、フレーム全体での緊張力導入計画を策定した。図-12 に示す手順で緊張力を導入した。

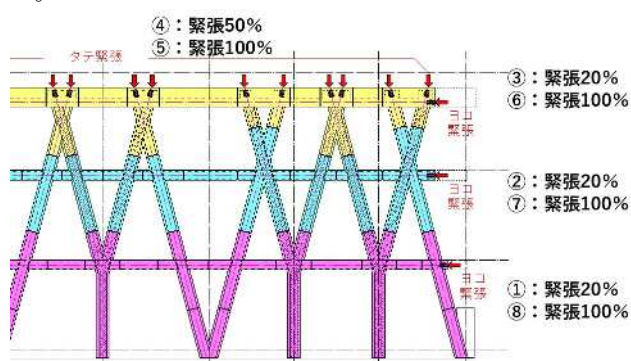


図-12 緊張力導入手順

①～③で、1層目から3層目までの梁（横）の仮緊張を行い、架設時の部材の安定性を確保する。④で柱の50%緊張、⑤で柱の100%緊張を行いPCa部材が自立可能となるため、以後は鉄骨構台を解体できる。⑥～⑧で梁の緊張100%完了した。

部材点数が多く、形状も複雑である上、傾斜した接合部を含むこれまでになく高難度の架構であったが、関係者の意欲と綿密な取組の結果、誤差1mm以下という高精度な施工を達成することができた。

建て方完了時におけるPCa架構の外観を写真-7に示す。工場製作時に必要となる抜きテーパが見付寸法を抑制し、シャープな外観の形成に寄与している。

力強さと繊細さを併せ持つ本架構は、視覚的にも大きな印象を与える仕上がりとなっており、完成時には、これまでの取組の成果を実感するとともに、本校が児童生徒にとって誇れる学びの場となることを確信した。

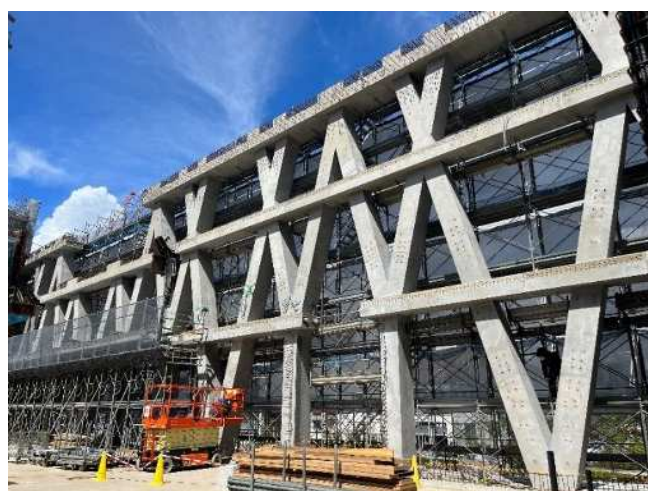


写真-7 建て方完了状況

6. おわりに

体育館内観を写真-8に、VY架構外観を写真-9に示す。構造最適化を行い、合理性の追求から導き出されたVY架構によるファサードは、PC技術および施工関係者の知恵と工夫により高精度に実現され、耐震架構としての機能を有しつつも、それを感じさせないほどの繊細な意匠にまで洗練された。本計画は、PCa建築の新たな可能性を示す一例となったと考えている。

本建築が新しいまちのランドマークとして、児童生徒にとって誇りとなり、「子どもたちがのびのびと笑顔ですごせる、地域とともに成長する学校」となることを期待する。

この場を借りて、多大なご指導とご尽力をいただいた中央区の皆様、工事関係者の皆様に感謝いたします。



写真-8 体育館内観



写真-9 VY 架構外観

「あれ？こんな大きさだったっけ？」

25年ぶりの母校は、記憶よりもずっとコンパクトで、そのスケール感の違いに懐かしさが込み上げた。

中学卒業後、それぞれの道に進み、やがて連絡も途絶えてしまったが——誰が企画したのだろう、この節目の年に同窓会を開くという知らせが届いた。戸惑いながらも、私は参加のボタンを押していた。

意を決した理由は、久しぶりに旧友に会いたいという気持ちもあったが、それだけではない。もうひとつ、楽しみにしていたことがある。構造設計に携わる今の私にとって、会場となる母校を一足先に訪れ、かつて知る由もなかった“構造の秘密”に迫ること。それが叶うのならと、二時間早く起きる決意をしたのだった。

校舎の竣工は2024年。AIも3Dプリントもまだ発展途上で、設計も施工も、パーツの作成さえも「人」に大きく依存していた時代だと、同じく構造設計者である叔母から、熱のこもったレクチャーを受けたことがある。

懐かしの校舎が見えてきた。自分たちの学校は特別にカッコいいと信じ、自慢に思っていたラーニングハウスの樹状柱——今の私には、それが安全の要である耐震架構であることが分かる。

RCやSRCではなくPCa圧着工法を採用し、高強度コンクリートと接合部の簡素化により部材寸法を抑え、さらにPCa部材製作時の型枠抜きテープを活用することで、この繊細なプロポーションが実現されている。現物を目の前にして、「なるほど」と深く納得した。さらに、PCa部材の接合部分にズレがまったくないことに気づき、思わず息をのんだ。まるで工芸品のような精度だ。ものづくりの魂が宿るディテールに感動しつつ、自分だけが母校と“特別な会話”をしているような気がして、少し誇らしい気持ちになった。

バドミントン部の頃、練習試合に来た相手から「なぜ体育館の半分だけ天井が低い？」とよく聞かれた。答えは単純で、小学校の体育館の上にメディアセンターがあるからなのだが、驚かれて学校探検を頼まれることも多く、正直困った思い出もある。

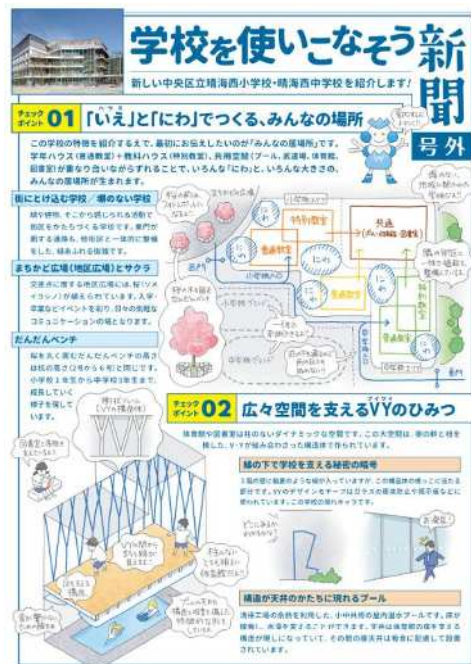
今なら分かる。そのメディアセンターを支えるダイナミックなトラス架構の秘密を——。メディアセンター内から空が見える窓の手前、ちらりと覗くラチス材が、まるで「おかえり」と微笑んでくれているようだった。

スポーツ少年だった私は水泳も得意で、とりわけ背泳ぎには自信があった。記録を目指して、天井に見える板の枚数を数えながら泳ぎ、その数で調子を測っていたこともある。それが実はST版のリブだったなんて——今となっては、思わず笑ってしまう話だ。

よし、この笑顔のまま、みんなを迎えに行こう。

集合場所の昇降口へ向かいながら、いま取り組んでいる学校の設計を思い浮かべる。迷っていたが、やっぱりPCを使って、より良い建築を実現しよう。そう心に決めて、私は拳を強く握りしめた。

母校と、それをつくりあげた大先輩たちからのエールが、確かに聞こえた気がした。



▲メディアセンター



▲プール