

横浜市立子安小学校

PCa 部材と RC 部材を組み合わせた校舎の一事例

(株) 山本理顕設計工場 玉田 誠
(株) 構造計画プラス・ワン 早稲倉 章悟



写真-1 横浜市立子安小学校 外観 (写真：山本理顕設計工場)

1. はじめに

横浜市立子安小学校は明治6年に開校した、横浜では最も伝統のある小学校の一つである。旧校舎の老朽化と今後の近隣のマンション開発などにより、児童数が大幅に増え1,300人となることが予想され、新校舎が計画された。1,300人という数字はその他の横浜市の小学校の倍近い人数である。小学校区の面積が237ha、地域人口も22,000人と巨大なコミュニティーである。

児童数が多いということに加え、近隣地域社会とどのような関係を築けるかが大きな課題であった。

「子供たちの活動が建築の外観となる環境テラス」「展示ギャラリーとなる中廊下」などを計画し、学校全体が子供達の活動の場であり、地域との関係を作る場でもあるような建築を目指した。

2. 建物概要

建物名称：横浜市立子安小学校

建築主：横浜市

設計監理：建築 (株)山本理顕設計工場

構造 (株)構造計画プラス・ワン

施工：松尾・大洋・石井建設共同企業体(校舎棟)

PC工事：(株)建研(校舎棟)

主要用途：小学校

建築面積：6,097.32㎡、延床面積：15,561.95㎡

建築規模：地上4階 塔屋1階

最高高さ：17.413m

構造種別：鉄筋コンクリート造、一部PCaPC造



写真-2 南側外観
(写真：山本理顕設計工場)



写真-3 光庭
(写真：山本理顕設計工場)

3. 建築計画

通常の小学校の1.5倍～2倍の施設規模となる巨大な小学校であるため、周辺地域への影響をできるだけ抑える必要があると考えた。そのため、敷地北東側の屋内運動場棟を囲むようにL字型の校舎棟を配置し、できるだけ建築のボリュームをコンパクトにまとめ、周辺地域に大きな影を落とさないようにした。また、屋内運動場には2方向からアクセスできるように渡り廊下で校舎棟と接続した。1,300人の子供たちが円滑に移動できるようにするためである。

2つの棟の間には子供たちの活動の場として光庭を配置した。この光庭によって建物全体の自然換気と自然通風を確保し、自然エネルギーを利用した快適な室内環境を目指している。

校舎棟は幅4mの中廊下を挟んで、南東・南西側に教室を配置し、北東・北西側に多目的室を配置した。教室と廊下の間を透明なガラス建具とすることで廊下に対して大きく開放することができ、廊下と教室と多目的室を一体的に使うことができる。そして廊下側に子供たちの作品を展示する木製の移動掲示パネルを設置した。幅4mの廊下が子供達の活動の場であり、展示ギャラリーとして使うことを期待した。

教室の外側には奥行き4mの環境テラスを配置した。夏の強い日差しを避け、雨天でも換気することができる環境調整装置であると同時に、教室の一部として先生と子供達の様々な活動の場となる。環境テラスのフレームを細いPCの柱・梁とすることでテラスでの子供たちの活動がそのまま建築のファサードとなると考えた。

授業参観には廊下全体に子供達の作品が飾られ、鑑賞を楽しむ父兄に溢れ、美術館のようになった。体育館では地域住民も参加する合唱祭が行われコンサートホールようになった。運動会では2,000人以上のものが訪れ、環境テラスが観覧スタンドとして使われ、校舎全体が野外劇場のようになった。

この小学校が教育空間としても、地域コミュニティの中心としても新たな役割を担っていくことを期待している。



写真-4 合唱祭ではギャラリーが客席として使われた
(写真：山本理顕設計工場)



写真-5 運動会では環境テラスが観客席となった
(写真：FUJITSUKA Mitsumasa)



写真-6 展示ギャラリーとなる中廊下
(写真：山本理顕設計工場)



写真-7 子供たちの活動の場である光庭
(写真：FUJITSUKA Mitsumasa)



写真-8 環境テラスは教室の一部として使われる
(写真：FUJITSUKA Mitsumasa)

4. 構造計画

4.1 上部構造

建物の配置図を図-1に示す。一部をPCaPC造とした校舎棟は、敷地北側の屋内運動場との間に光庭を挟んでL形に配置された。校舎棟の構造計画を考えるにあたって、環境テラスや光庭に対して解放感を確保すること、ギャラリーとして利用できる幅の広い中廊下を確保することが主要な課題であった。特に、幅が4mある奥行き深いテラス越しに教室に光を取り込むため、環境テラスの部材断面は必要最小限とする必要があった。

校舎棟の略伏図を図-2に示す。躯体断面を小さく抑えるため、平面、立面ともバランスのよい架構計画に努めた。L形平面であるため、エキスパンションジョイントを設け二棟に分割し、それぞれ桁行方向は純ラーメン構造、梁間方向を耐震壁付きラーメン構造としている。主構造の柱スパンは8m×8mの教室に合わせて8mグリッドを基準とし、梁間方向は4m幅の廊下を組み合わせると8m、4m、8mの柱スパンとした。環境テラスは部材断面を小さく抑えるため4mピッチで柱を設けた。

環境テラスおよび外壁面の躯体断面を小さく抑えるには、それらの部材に生じる地震時応力を小さく抑える必要がある。一般的な小学校では、教室間の耐力壁と、均一な正方形柱によるラーメン架構に地震力を負担させるが、本件では、中廊下形の配置を活かして、桁行方向については中廊下両側に設けた扁平柱のラーメン架構に地震力を負担させる計画とした。

扁平柱の柱せいは、教室内の黒板やロッカーの配置に合わせて、廊下方向に伸ばすことは容易に可能であり、内柱で2,000mm、外端部の柱で1,200mmとした。また、扁平柱に連続する梁せいは、中廊下と教室との間に設けられたガラス建具のサイズを児童のスケール感に合わせて小さく抑えることで、2階で1,400mm程度、3およびR階で1,200mm程度確保した。これにより、廊下両側の扁平柱のラ

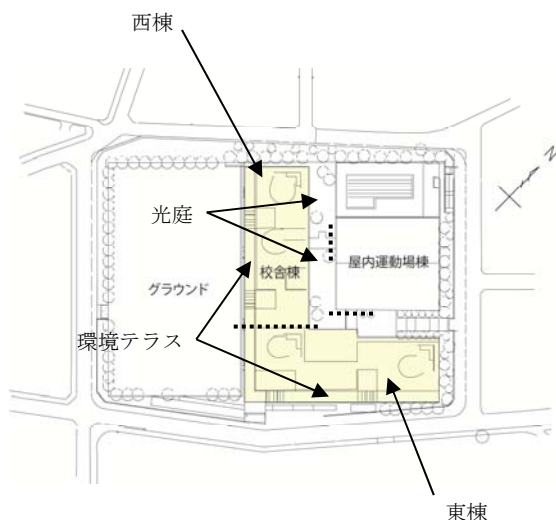
メン架構の水平力分担率は、一次設計時において西棟で85～93%、東棟で84～91%となり、十分な剛性を確保できた。柱・梁とも十分なせいを確保することで、主フレームの幅はいずれも400mmで統一することが可能となり、有効幅の広い廊下を実現することができた。

扁平柱のラーメン架構は純ラーメン構造であるが、柱の内法長さが柱せいに対して十分小さいことから、扁平柱を耐震壁と同等と見なして設計することとした。特に、構造特性係数については、西棟では耐震壁付きラーメン構造の最大値0.55を採用し、東棟ではFD部材が存在しないことを確認し0.50を採用した。

一方、梁間方向の耐震壁も躯体断面を小さく抑えることを目的として、原則連層壁とした。壁厚は200mm厚を標準としたが、平面的なバランスに注意しながら400mm厚までを使い分けた。耐震壁の境界梁を天井内に納めるため、梁せい700mmを標準としたが、外壁面となる箇所については、目地位置を揃えるため桁行方向の梁せいに合わせることにした。耐震壁架構の水平力分担率は西棟で76～99%、東棟で73～95%となり、桁行方向と同様、十分な剛性を確保できた。

桁行方向・梁間方向とも地震力の負担を小さく抑えることで、環境テラスのフレームおよび外壁面の柱を繊細な部材で構成することができた。環境テラスのフレームは、柱が300mm角、梁が300mm×400mmであり、外壁面の柱は600mm×400mmである。

床組は4mピッチに小梁（400×700程度）を設け、スラブ厚150mmを標準とすることで躯体費を抑えながら、軽量化を図った。ところどころに設けられたテラスや階段等の吹き抜けによりスラブがくびれる箇所については、地震時の面内せん断力に注意して設計を行い、特に応力の大きくなる箇所には最大厚400mmのスラブを採用した。また、環境テラスのスラブは、環境テラスフレームの断面が小さくスラブ端部の固定度が低いことから180mm厚の一方方向スラブを採用した。



..... : エキスパンションジョイント位置

図-1 配置図

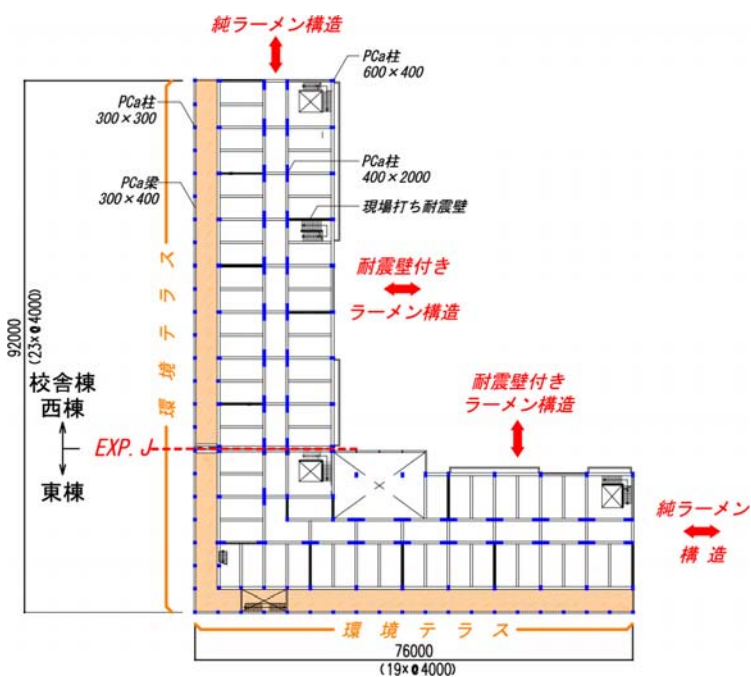


図-2 略伏図

4.2 PCa 化

屋内運動場棟と別工事となる敷地の複雑さや建物規模からすると短い工期（校舎棟完成まで 17 ヶ月（仮使用開始まで 14 ヶ月））に間に合わせるため、また、繊細な部材の施工精度を確保するため、架構の PCa 化を検討した。その際、公立小学校の標準的な工事費内で計画をまとめることは最重要の課題であった。

PCa 化において躯体費を抑えるには、部材断面を標準化すること、簡易な接合方法とすること、躯体断面を小さく抑えること、等が重要である。一方向が耐力壁付きラーメン構造となる本件では、耐力壁とそれに取り付く梁の製作・施工が複雑となるため、梁・壁・仕口部を現場打ちとし、柱・床版を PCa 化する計画とした。

桁行方向の軸組図を図-3 に示す。図中の着色部が PCa 化した部材である。

柱・梁に使用したコンクリート強度は、地上 4 階建てでありながら Fc60 とした。PCa 化することで、高強度コンクリートを使用することも容易になり、小さな断面でも接合部耐力や付着耐力を確保することができる。柱、梁主筋には SD490、せん断補強筋には高強度せん断補強筋を採用することでさらなる小断面化を図った。

環境テラスのフレームは、最小断面を目指すため、繊細な部材の施工精度を確保するため柱、梁とも PCa 化する計画とし、特に梁には PCaPC 梁を採用した。

床版には、仕上げ工事の工期短縮に期待し、トイレ等床開孔の多い箇所を除きトラス筋内蔵ハーフ PCa スラブを採用した。ただし、環境テラスのスラブについては、小断面の環境テラスの PCa 梁との納まりが複雑となることから現場打ちとした。

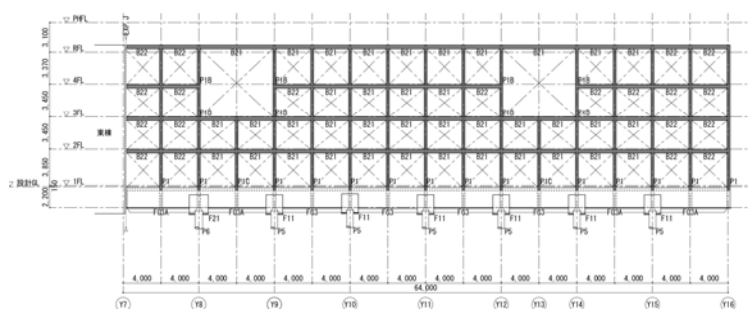
5. PCa 部材概要

5.1 環境テラス PCaPC 梁・PCa 梁

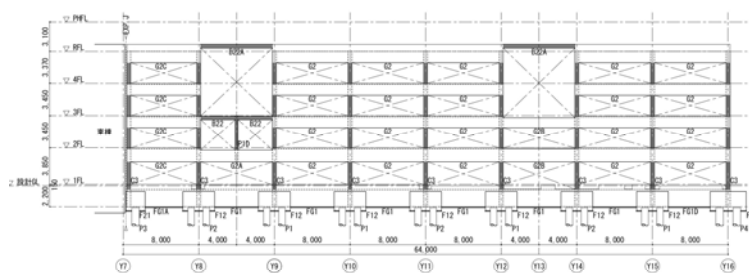
環境テラスの梁（300mm×400mm）は、ポストテンション方式によりプレストレスを導入し、各部材を圧着接合とした PCaPC 部材である。設計クライテリアとして、一般部はパーシャルプレストレスング、圧着接合部はフルプレストレスングとした。図-4 に環境テラスの概念図を示す。

PC 鋼材は、梁の断面寸法が小さいため定着部周辺の納まりに配慮し、3-SWPR7BL12.7mm の 2 ケーブルを採用した。緊張区間が 60m を超える大スパン（4m×16 スパン）であるため、緊張力の摩擦損失を少なくなるように直線配線とした。圧着接合位置は比較的応力の大きい端部を避けてスパン中央とし、柱梁接合部が一体化した「仕口部一体型 PCaPC 梁」とした。

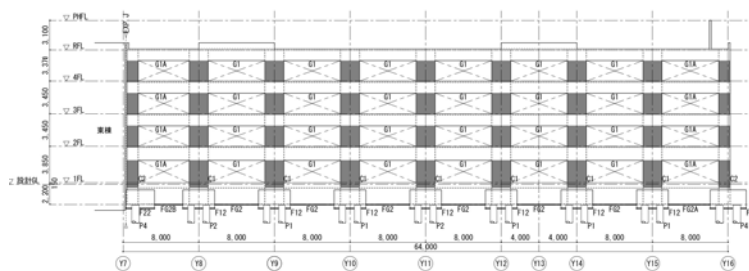
仕口部詳細を図-5 に示す。断面が小さく仕口内に PC 定着具が納まらないため、外端部に定着用の突出部を設けないように、PC 定着具を内端側に移動する計画とし、外端のスパンには、両端をピン接合



(a) 環境テラス



(b) 外壁面



(c) 廊下側面

* 着色部は PCa 部材を示す

図-3 軸組図

とした PCa 梁を配置した。PC 定着具を納めた突出部は、外端スパンの梁を受ける必要があるため相決り（あいじゃくり）形状としたが、ピン接合 PCa 梁の相決り部分の断面は $B \times D = 300\text{mm} \times 180\text{mm}$ と小さく、せん断強度が不足したため、頭付きスタットボルトを設けた角鋼 $\square - 65 \times 65 (\text{SS400})$ を用いて補強を行っている。ピン接合 PCa 梁は現場打ちのスラブ主筋を定着し一体化する計画とした。

5.2 環境テラス PCa 柱・ピン接合梁受けピース

環境テラスの柱は 300mm×300mm とし、4m ピッチに配置する計画とした。PCa 梁と PCa 柱の接合は、仕口部一体型 PCaPC 梁に内蔵したシースへ柱主筋を挿入し、無収縮モルタルを充填することで行った。上階の PCa 柱との接合には、柱脚に設けた無収縮モルタル充填式機械式継手を用いた。

ピン接合 PCa 梁との接合は、隣接する柱と横目地を揃えるため、相決り形状のピン接合梁受けピースを単体で設ける計画とした。PCa 柱との接合は、ピン接合梁受けピースに内蔵したシースに柱主筋を挿入し、無収縮モルタルを充填することで行った。ピン接合梁受けピースは現場打ちのスラブ主筋を定着することで一体化する計画とした。

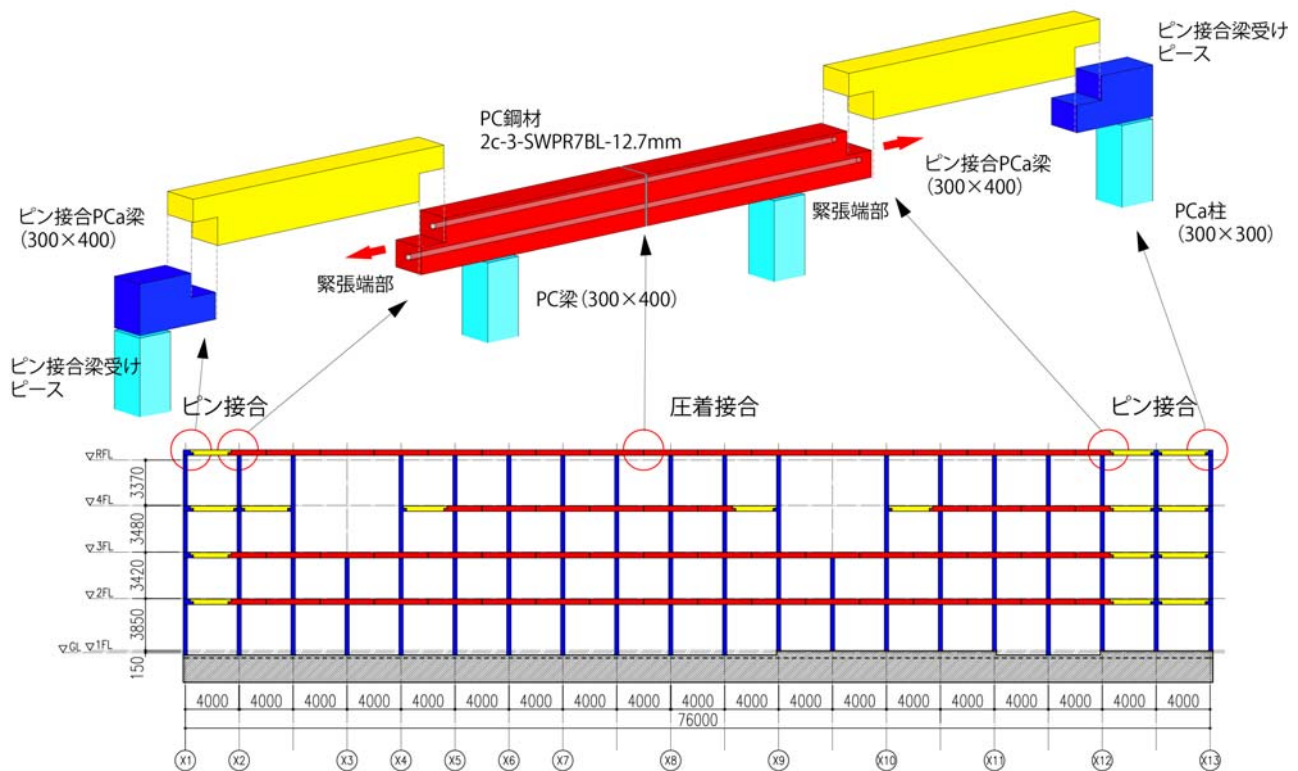


図-4 環境テラス架構概念図

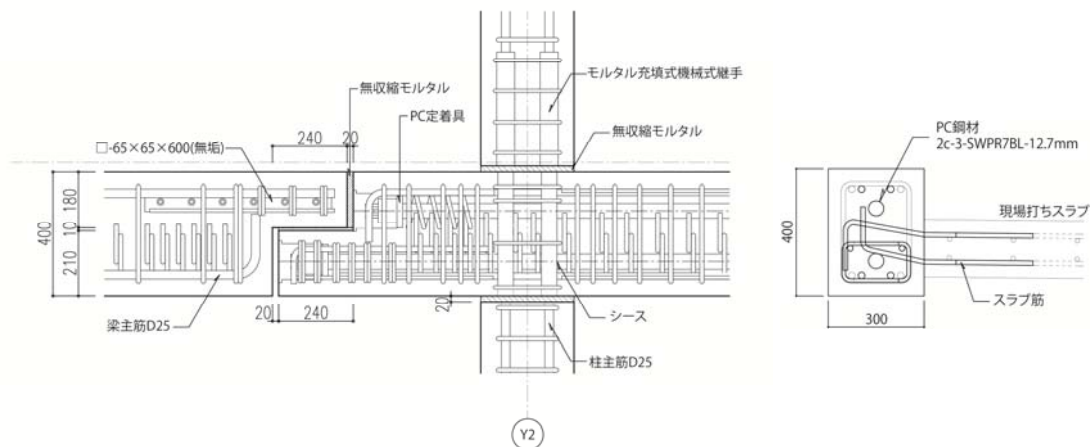


図-5 仕口部詳細図

5.3 校舎棟内部柱

校舎棟の内部柱は、高品質かつ同形状の柱を効率的に施工するため PCa 化を図った。仕口部および梁は現場打ちとしている。柱断面は 400mm×600mm、1200mm、2000mm の 3 種類に統一し、教室部は 8m×8m、廊下部で 4m×8m で配置した。接合方法は、柱脚部に設けたモルタル充填式機械式継手を用いて行った。基礎梁の打増補強筋等の定着で一部機械式継手を使用したものの、打設面を耐震壁側に向けることで壁筋の定着は差し筋で対応し、特殊なディテールは極力避けるよう配慮した。

5.4 トラス筋内蔵ハーフ PCa スラブ

4m スパンを中間支保工のみで施工可能なトラス筋内蔵ハーフ PCa スラブを 2 階から 4 階床に採用した。現場施工を減らすことによる工期短縮だけで

なく、支保工を減らすことにより仕上げ工事の工期短縮にも期待できる。スラブ厚は 150mm と 300mm の 2 種類であり、PCa 版厚はそれぞれ 65mm、70mm である。300mm 厚のスラブは地震時面内せん断力の大きい箇所に採用した。割付幅は 1.8m 程度とし、4m×8m グリッドに 4 ピース並べて配置する計画とした。

6. PCa 部材の製作

PCa 柱・PCa 梁については建設地に近い神奈川県内、トラス筋内蔵ハーフ PCa スラブについては群馬県内の PCa 工場にて製作を行った。コンクリートの設計基準強度は、柱・梁を Fc60、床を Fc30 としている。各部材の数量を表-1 に示す。

表-1 PCa 部材数

	部材	部材数
校舎棟 主架構	内部柱	301P
	ハーフ PCa スラブ	722P
環境 テラス	PCa 柱	178P
	PCaPC 梁	132P
	ピン接合梁	63P
	ピン梁受けピース	46P

部材の表面については、打放し仕上げレベルでの品質を確保する必要があり、製造時は下記のポイントに配慮して製造を行った。

- (1) 型枠接合位置の調整
- (2) 型枠接合部およびボルト穴からのセメントペーストの漏れによる色むら発生の防止
- (3) コンクリート表面に気泡を生じさせないためのバイブレーターの選定と締固め
- (4) 製品ストック時における雨だれ防止対策
- (5) 製品ストック時における支持部材に用いる台木跡の付着防止
- (6) エフロレッセンスの発生防止

環境テラスの柱・梁の製作状況を写真-9、写真-10に、内部柱の施工状況を写真-11に示す。

PCa 部材の製作には、コンクリートの打設方向にも配慮した。環境テラスの梁はコテ抑え面が目立たないようにスラブが取り付け梁側面を打設面とした。また、環境テラスの柱は環境テラス側を、内部柱については耐震壁が取り付け教室側を打設面として打設計画を行った。

7. 現場施工

7.1 架設計画

PCa 部材の架設計画図を図-6に示す。

工事工区は西棟と東棟を、それぞれ A、B 工区に 2 工区に分け、計 4 工区とした。PCa 部材の架設は南西面に 150t のクローラークレーン 1 台と 90t のクローラークレーン 1 台の計 2 台、東棟と屋内運動場棟の間に 90t クローラークレーン 1 台、合計 3 台のクレーンを用いて行った。

7.2 環境テラス部 施工手順

環境テラス部の施工手順の詳細を図-7に示す。

梁の PC 鋼材は緊張区間が長いため、梁の軸縮みによる不静定応力が発生し断面に悪影響をおよぼすことが懸念された。そのため、PCaPC 梁の緊張終了後に柱頭目地モルタルを打設することとし、緊張時に柱頭部を滑らせることで不静定応力を発生させない施工計画とした。

環境テラスのフレームと校舎棟の主フレームは、梁および仕口部の差し筋とスラブ筋を重ね継手で継いだ後、スラブコンクリートを打設することで一体化させることとした。特に、ピン接合 PCa 梁は、柱頭目地モルタルの施工後架設を行う計画となるため、施工には十分注意をした。



写真-9 環境テラス柱製作状況



写真-10 環境テラス梁製作状況



写真-11 内部柱製作状況

7.3 施工状況

内部柱の建方状況を写真-12、梁型枠の施工状況を写真-13に示す。

主架構の施工は、各作業を平行しながらではあるが概ね、(1)PCa 柱の建方、(2)壁配筋、(3)梁・床の型枠建込み、(4)床 PCa 版の建方、(5)梁・床の配筋の順に行った。PCa 部材については安定した施工が期待できるため、工程の順守には PCa 部材の建方後、型枠を遅滞なく建込むことが重要である。そのため、



写真-12 内部柱建方状況



写真-13 梁型枠施工状況

本件では梁型枠をユニット化する等の対応を行った。また、トラス筋内蔵ハーフ PCa スラブを採用することで、支保工の少ないすっきりとした施工環境を実現した。

環境テラス部の施工状況を写真-14～16 に示す。

環境テラス部の PCa 部材は、意匠上重要な役割を担うため、高い製造品質と施工精度が要求された。PCa 部材は人力でも動くほど軽量であったため、目違いを起さずに施工することは困難であったが、部材に埋め込まれたインサートを使用し、ずれ止め用鋼製プレートを用いて各 PCa 部材同士を連結することで、安全かつ精度よく施工することができた。架設の際は、位置調整や、建ち調整に細心の注意を払い施工を行った。

プレストレスが導入される梁は緊張区間が 60m 以上であったため軸変形量は 10mm を超えることが予想された。そのため、施工精度の向上を目的として、緊張区間の中央付近に不動点を仮定し目地幅による調整を行うこととした。部材重量が軽いことによりズレが生じて仮定した位置が不動点でなくなることが懸念されたため、スパン中央付近の PCa 柱の両側に PC サポートを設置し、緊張前に柱頭目地部および梁内蔵シースに無収縮モルタルの充填を行うことで強固に固定し、不動点のズレを防止することとした。

ピン接合 PCa 梁を含む環境テラス部の架構は、環境テラスの現場打ちスラブにより校舎棟の主フレームと一体化されるため、スラブが打設されるまでは独立した架構となっている。このために、補助的に用いた柱の転倒防止 PC サポートと梁のズレ防止サポートをスラブのコンクリート強度発現まで残置する計画とした。



写真-14 環境テラス施工状況



写真-15 環境テラス架設状況



写真-16 緊張作業

8. おわりに

本建物では、L形平面の両脇に偏平柱のラーメン架構を採用することで、環境テラスや外壁面の柱断面を小さく抑え、解放感のある小学校を実現した。特に、環境テラスのフレームは、PCaPC部材を採用し、ピン接合梁を設けるなどの工夫を施すことによって、柱断面 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、梁断面 $300\text{mm} \times 400\text{mm}$ という最小断面を可能にした。

また、公立小学校の工事予算や短い工期の双方を満足するため、主架構については、製作の容易な柱および床をPCa化し、比較的複雑になる仕口・梁・壁等を現場打ちとする手法を採用し、一定の成果を上げることができた。

最後に、本建物の設計、施工を行うにあたり、多くのご指導とご協力をいただいた建築主及び設計・製作・施工において尽力くださった皆様にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

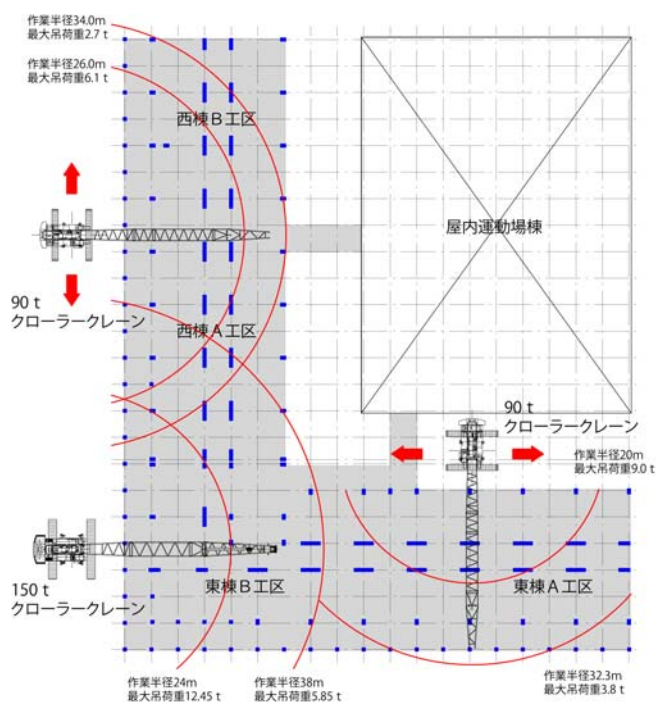
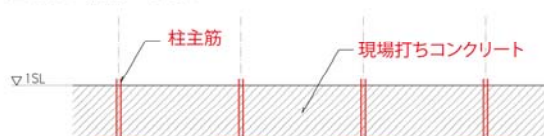
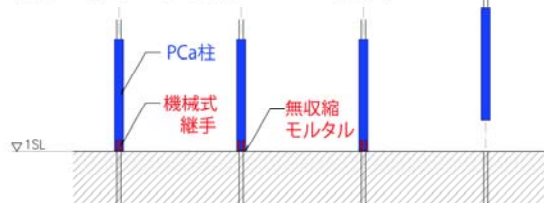


図-6 架設計画図

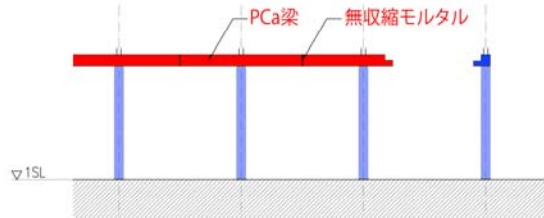
- (1) 1階 柱主筋アンカーセット
基礎地中梁の打設



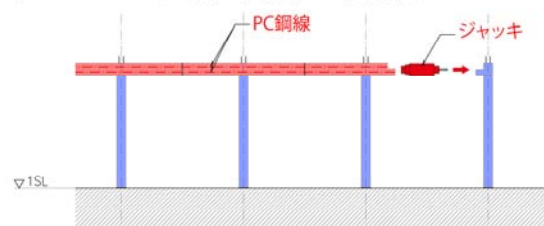
- (2) PCa柱建方
柱脚部の目地及び、
機械式継手の無収縮モルタル充填



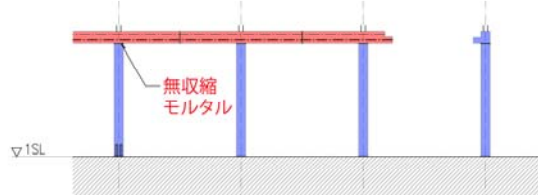
- (3) PCa梁の架設
PCa梁-PCa梁圧着目地部、無収縮モルタル充填



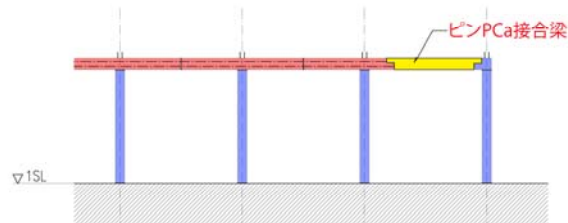
- (4) PC鋼線通線・緊張
目地モルタル強度発現後、PC鋼材緊張



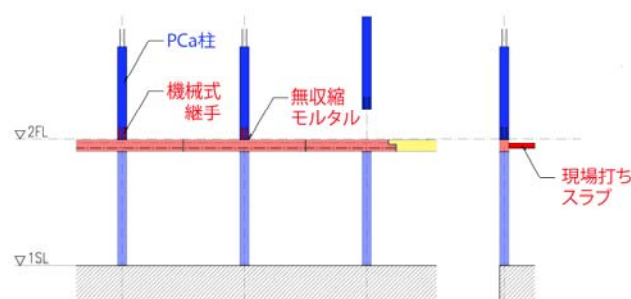
- (5) 柱頭目地・仕口部シース内の無収縮モルタル充填



- (6) ピン接合PCa梁の架設



- (7) 現場打ちスラブの施工
上部PCa柱建方
柱脚部の目地及び機械式継手の無収縮モルタル充填



- (8) 以降(3)～(7)の繰り返し

図-7 環境テラス PC 部材施工手順