

松戸市立東松戸小学校の設計・施工

— PC 技術を駆使した校舎・体育館一体型の小学校 —

伊藤 彰*1・福田 光俊*2・山中 達也*3・鷹嶋 啓美*4

松戸市立東松戸小学校は千葉県松戸市の土地区画整理事業による児童数の増加に対応するために新設された地上5階建て、鉄筋コンクリート造の小学校である。階高3.7mに対して可能な限り天井高を確保するために普通教室や特別教室の梁は扁平断面とし、特別教室のロングスパン部でPC梁を採用している。建物中央には体育館を配置しており、寸法の似通った体育館とプールを重層化することで建築面積を抑えている。体育館屋根の過大な荷重に対する構造安全性の確保および経済性に配慮して格子PC梁を採用している。

キーワード：格子梁、庇、扁平断面

1. はじめに

計画地は、千葉県松戸市の北総鉄道北総線「松飛台」駅の北西方向約150mに位置している。

本建築は、松戸市の土地区画整理事業による児童数の増加に対応するために新設された小学校である（写真-1, 2）。南側の公園との一体的な計画とし、まちづくりの拠点にふさわしい環境をつくることが求められた。

本建物の設計段階では「意匠」・「構造」・「設備」のセクションごとに設計コンセプトを掲げており、「意匠」においては児童の主体的な活動を支援する施設の計画、「構造」においては災害時における児童の安全確保や防災拠点としての役割を担える施設、「設備」においては卓越風や日射負荷に配慮し、環境負荷低減型の施設とすることとしており、それぞれのコンセプトをセクションごとに個別に実現させるのではなく、相互に連携し、一つの施策に対して一挙両得をねらいながら施設の付加価値の向上を目指して計画を進めた。

【児童の主体的な活動を支援するオープンスペース】

従来の教室と廊下の関係性ではなく、クラススペースとオープンスペースの関係性をもった、すべてが学習スペースとなるセミオープンな学習環境としており、体育館と教室群のつなぎ部分は児童同士の交流や学習のスペースとし



写真 - 1 北側外観



写真 - 2 南側外観



*1 Akira ITO

(株)久米設計
設計本部



*2 Mitsutoshi FUKUDA

(株)久米設計
九州支社



*3 Tatsuya YAMANAKA

東急建設(株)
東日本支店



*4 Hiromi TAKASHIMA

オリエンタル白石(株)
東京支店 PC 建築グループ

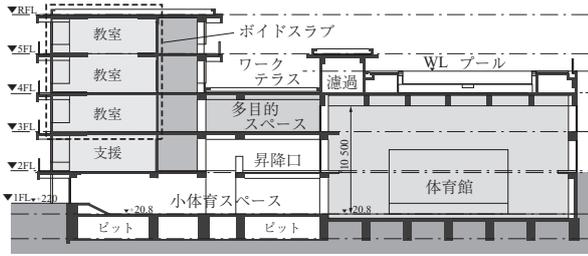


図 - 1 断面図

ている、一体感のある学校環境を構築するとともに、本スペースの床を梁なしのボイドスラブで構成させ、柱スパンと剛性の異なる体育館とコの字型の教室群を連結し、建物を日字型に一体化させることで建物全体の耐震性を高めている (図 - 1, 2, 3)。

【コンパクトな建物形状と PC 技術の採用】

かぎられた敷地の中で校庭面積を確保するため、コンパクトな建物形状とし、体育館とプールを積層させることで基礎の省略化を図っている。体育館屋根はプールの過大な荷重に対する構造安全性と経済性に配慮して格子PC梁を採用している。普通教室や特別教室は扁平断面の梁とし、スパンの大きい箇所はPRC梁とすることで階高を抑えている。

【普通教室の架構計画と環境負荷の低減】

普通教室は基本的に南面に配置しているが、バルコニー(庇)を張り出すことで、日射負荷を軽減している。児童の安全を第一に考え、地震時に落下するような設備機器を

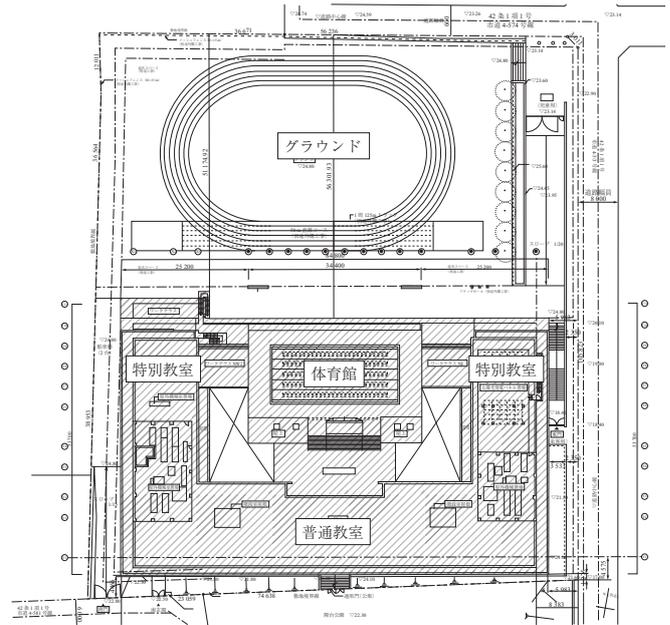


図 - 2 配置図

普通教室の天井部には、基本的に配置しない計画とした。空調吹き出し口は、ノズル形状とし、壁面上部に設置しており、扁平断面として梁型のない天井に沿うように、空調給気が供給される仕組みとすることで、空間全体を効果的に冷暖房する仕組みとした。

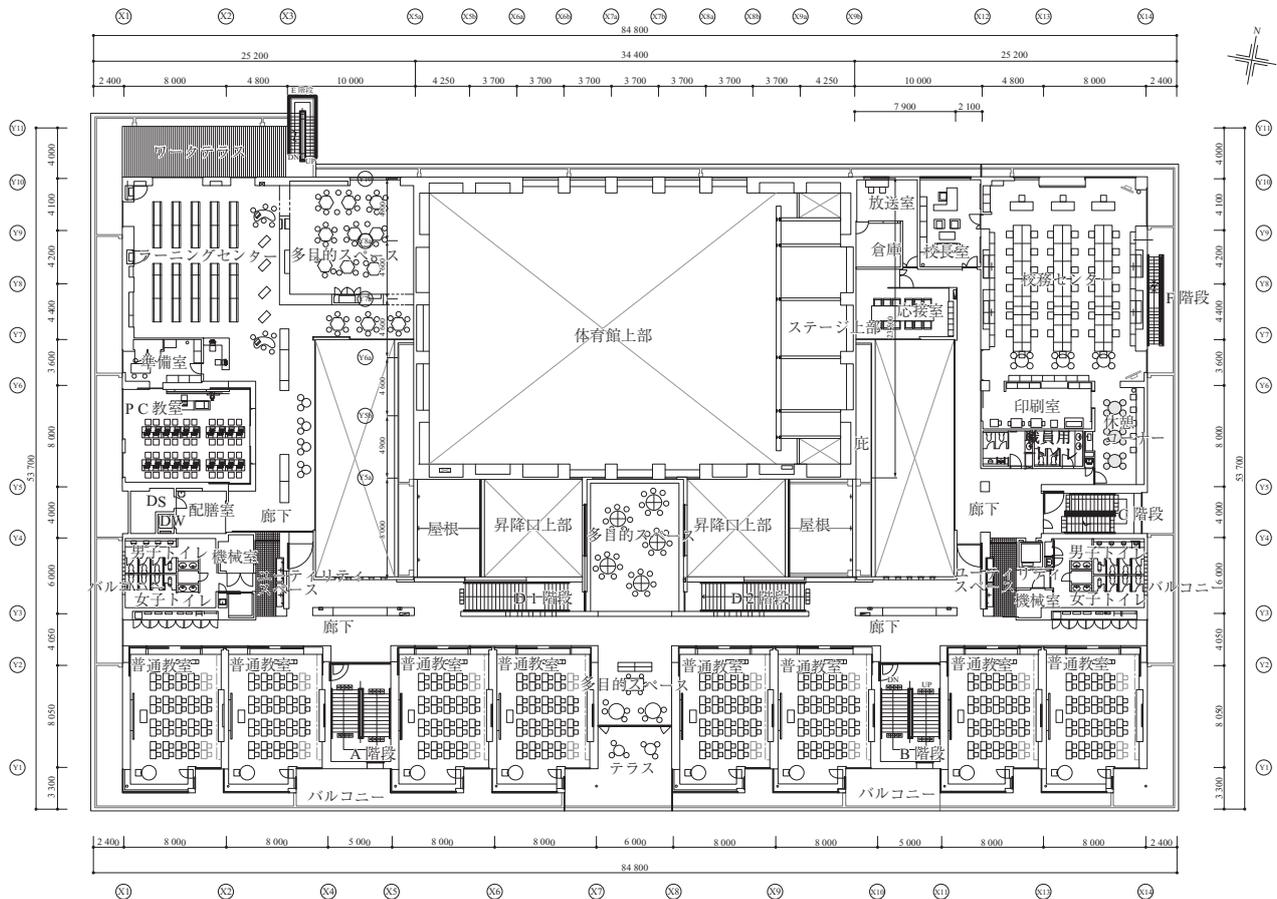


図 - 3 3階平面図

2. 建物概要

建設地：千葉県松戸市紙敷1-19-1および2
 主要用途：小学校
 建築面積：3 855 m²
 延床面積：11 310 m²
 階数：地上5階
 建物高さ：19.54 m

3. 建築計画

建物は、地上5階とし、積層させた体育館とプールを核に、教室群を配置したコンパクトな「コの字型プラン」とし、校庭の最大化と高さを抑えることで校庭への日影の最小化を実現した。また、コンパクトな各施設機能が配置されることにより、施設内全体で身近で密接な関係性をつくりだし、校内の児童の活動や授業の風景がさまざまな場所から視認でき、また、ほかのクラスの様子や児童の顔が見えるような一体感のある学校環境をつくりだすことをテーマとしている。

平面計画では、「児童の主體的な活動を支援する施設」という市の基本構想の方針に基づき、従来の教室と廊下の関係性ではなく、クラススペースとオープンスペースの関係性をもった、すべてが学習スペースとなるセミオープンな学習環境をつくりだし、さまざまな活動がいろんな場所で行われる活気ある豊かな空間となるよう、ワークスペースや少人数スペースなど多様な居場所を計画した。これらにより、クラスや多学年にわたり視覚的交流のある空間を

つくりだし、生徒と教師の一方の関係性だけでなく、多方向で多様な相互の交流を誘発する動きのある学校空間を実現した（写真-3、4）。

すべての教室は、児童の成果を掲示する展示壁面を十分に確保しながらも、明るく開放的なアルコーブにより、教室の閉鎖感を低減したセミオープンとなる教室とした。大きいバルコニー（庇）とアルコーブ（出窓形式）により、ペリメーターレスの室内環境とし、卓越風を利用した自然換気の促進により、中間期（夏季空調不要期間）の拡大を図り、また、無風時も換気を促進する階段室を使用したエコポイドによるナイトパージも可能な計画とした。教室の開口部は、体感温度マイナス3度程度を想定し、約0.5 m/sの気流を確保できる開口部とし、文字どおり風通しの良い環境をつくりだした。

4. 構造計画

4.1 構造計画概要

基礎：杭基礎
 架 構：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
 耐 震 壁：鉄筋コンクリート造
 床：鉄筋コンクリート造、鋼管ポイドスラブ
 設計・監理：(株)久米設計
 施 工：東急・湯浅特定建設工事共同企業体
 PC 工事：オリエンタル白石(株)
 工 期：2014年11月～2016年3月

4.2 構造設計概要

本建物は、施設中央の体育館をコの字型の教室群で囲うように配置された平面計画としている（図-4）。普通教室は、8 m × 8 m スパンを基本とし、南側に普通教室、北側に特別教室および体育館を配置した計画となっている。

構造形式は耐震壁付きラーメン構造とし、体育館の屋根や特別教室のロングスパン部で長期ひび割れを抑制する目的でPCを導入している。

教育空間としての音環境に対する配慮や耐振動性の観点からRC造を採用した。災害時における児童の安全確保や防災拠点としての役割を担うため、高剛性・高耐力の建物とし、落下物防止の観点から無天井化を図っている。



写真-3 普通教室



写真-4 多目的教室

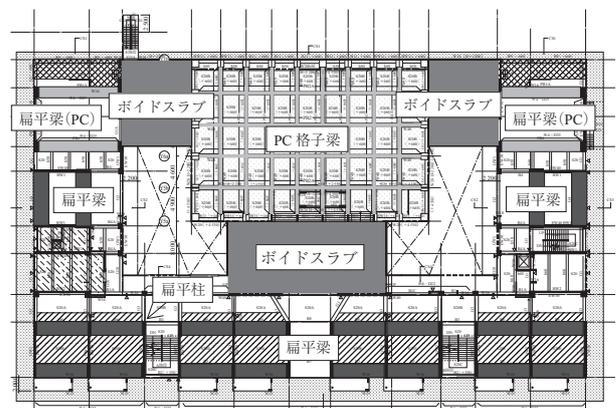


図-4 架構概略図

スラブ厚は力の流れや、出の長さの大きいバルコニーに対応するため $t = 200 \sim 400 \text{ mm}$ とし、耐震壁は $t = 400 \text{ mm}$ として平面的にバランスよく配置している。

地震時において、地震力の多くを教室間や階段廻りに配置した耐震壁（図 - 5）に負担させることで、梁の負担を軽減し、断面を抑える計画とした。この計画により、階高 3.7 m に対して可能なぎり天井高を確保するために普通教室および多目的教室には扁平断面の柱梁を採用した（図 - 6）。梁幅を 2100 mm 確保し、梁せいを 400 mm に抑えることで、梁形の見えない天井としている。耐震壁付帯柱は梁幅と同じ大きさの柱せいとすることでラーメン架構の応力伝達を確実にしている。特別教室のロングスパン部についても同様に PC を導入した扁平梁とする（図 - 7）。

体育館と教室群の 2, 3 階つなぎ部分は児童同士の交流や学習のスペースとしており、柱スパンと剛性の異なる二棟を連結し、構造的に一体化させて建物全体の耐震性を高めることや、エキスパンション・ジョイントをなしとする目的で床を梁なしのポイドスラブで構成させている。また、厚さの大きいポイドスラブで棟間のせん断力の移行を可能としている。PC 梁の緊張力導入時においては、ポイドス

ラブによって軸変形が拘束されないように緊張終了後にポイドスラブを後打ちとした。

構造計算は、計算ルート 3 とし、X 方向 1/100 rad 変形時、Y 方向 1/100 rad 変形時において重要度係数 1.30 倍（保有水平耐力 / 必要保有水平耐力）を確保する計画とした。

PC 梁や扁平断面の柱梁、ポイドスラブを適材適所で選択することにより、建築計画の自由度を高め、設備の対応性に優れた構造としている（図 - 8, 9）。

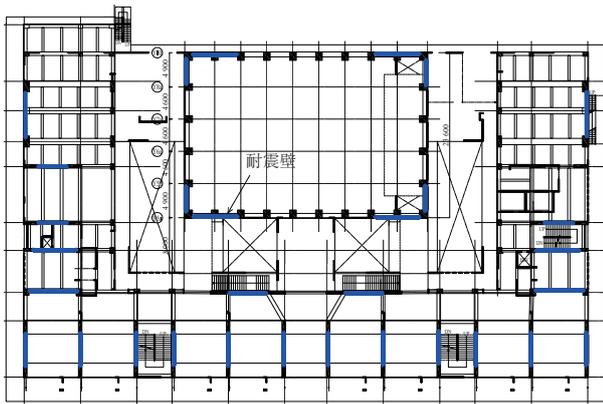


図 - 5 耐震壁配置

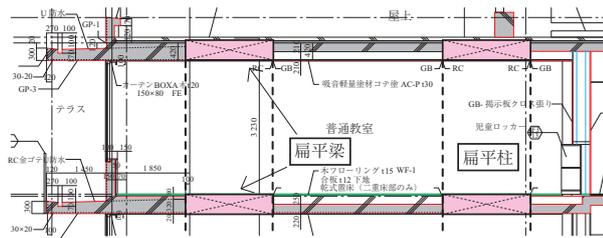


図 - 6 普通教室断面図

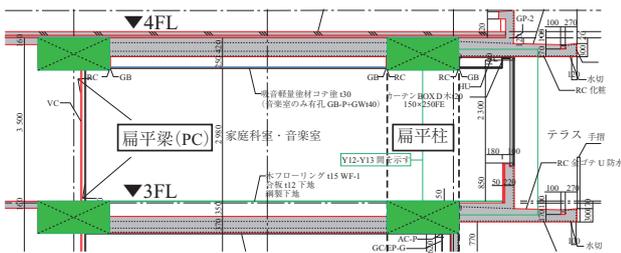


図 - 7 特別教室断面図

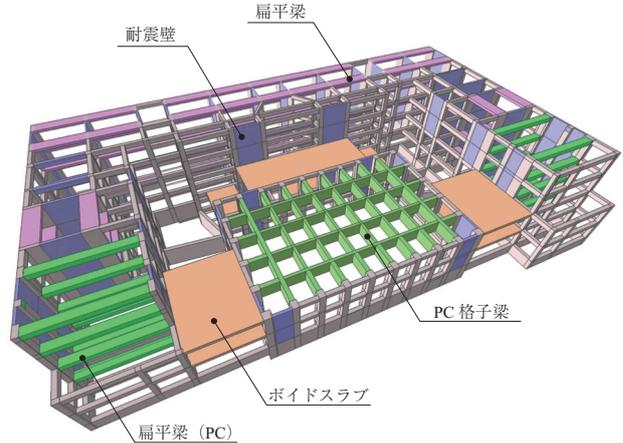


図 - 8 全体架構

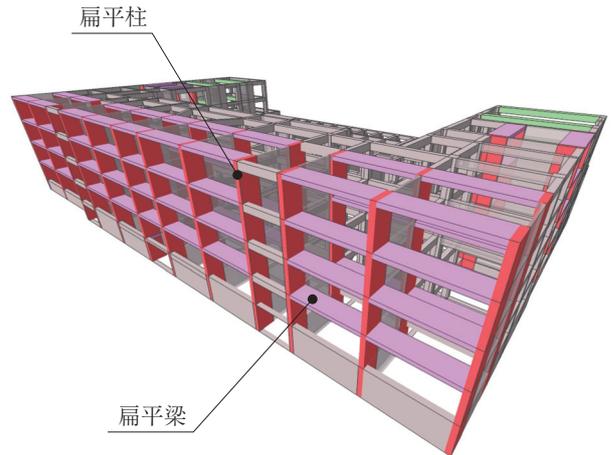


図 - 9 扁平断面フレーム

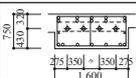
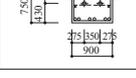
5. PC・PRC 部材の概要

本建物の PC 部材は、下記の部分に採用している。

【特別教室の扁平断面 PRC 梁】

特別教室の構造スパンは 12.25 m であることから、PC 梁の断面性能をⅢ種 PC (PRC 構造) とし、引張側は 0.2 mm 以下のひび割れを許容する設計を行った。天井高さを確保するために扁平梁とし、必要ケーブル本数が納まるまで梁幅を増すことで対応した。表 - 1 に代表部材の長期荷重時の応力およびたわみのキャンセル率を示す。ポイドスラブが取り付け梁については等価スラブ厚とした協力幅で梁の曲げ剛性を計算し、不静定応力の算出および断面検討を行っている。

表 - 1 長期荷重時応力・たわみキャンセル率

階	PC 鋼材	PC 緊張力	長期荷重 (Mo)	キャンセル率	梁断面形状
R・4階	4C-10-12.7Φ	2.4 (N/mm ²)	2 252 (kN・m)	61%	長期たわみ 1/507 
3階	3C-10-12.7Φ	2.1 (N/mm ²)	1 637 (kN・m)	67%	長期たわみ 1/903 
2階	2C-10-12.7Φ	1.9 (N/mm ²)	1 249 (kN・m)	64%	長期たわみ 1/898 

【体育館の格子 PC 梁】

寸法の似通った体育館とプールを重層化することで建築面積を抑え、基礎を省力化している（写真 - 5）。体育館は建物単体で地震力に耐えられるよう四隅に耐震壁を計画し、剛性、耐力を確保している。

プールの重層化による過大な荷重に対する構造安全性の確保および経済性に配慮して PC 梁としている。体育館の内法空間を広く取るために柱および梁の断面寸法を極力小さくする必要があった。短辺方向の PC 梁の負担を軽減するために格子状に組んで長辺方向からもプレストレスを導入することで梁幅を抑え、柱の断面寸法を可能なかぎり小さくしている。

大スパン・高荷重という設計条件に対して、PC 梁の断面性能を II 種 PC（パーシャルプレストレス）とし、引張り側の応力度をコンクリートの許容応力度以下となるように導入軸力を決定した。また、緊張方向は、短辺方向 23.6 m、長辺方向 34.4 m の大スパンであることを考慮し、緊張力の摩擦損失量を少なくするために両引きとした。表 - 2 に長期荷重時の応力およびたわみのキャンセル率を示す。

導入時緊張力による PC 梁の軸変形量は最大箇所短辺方向 6.84 mm、長辺方向 2.73 mm となること計算により算出されている。そのため、プレストレス導入にあたって、ボイドスラブによって軸変形が拘束されないように、ボイドスラブを緊張終了後、後打ちとした。

PC 梁の計算に関しては、平面フレームモデルにて格子梁として解析を行った。計算方法としては、格子となる各節点で梁を X 方向各 9 部材、Y 方向各 5 部材に分割し、各節点を同一鉛直指定とすることで、両方向の梁が一体となって変形し、面としての挙動を確認した（図 - 10）。

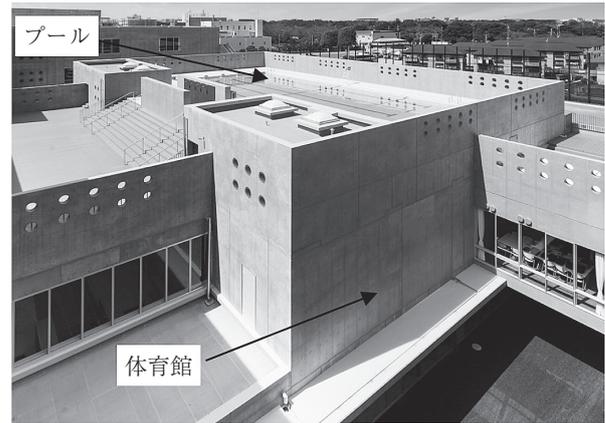


写真 - 5 プール

表 - 2 長期荷重時応力・たわみキャンセル率

通り名	PC 鋼材	PC 緊張力	長期荷重 (Mo)	キャンセル率	たわみ キャンセル率
X8 フレーム (短辺方向)	6C-10-12.7Φ	3.5 (N/mm ²)	6 413 (kN・m)	98%	92%
Y7 フレーム (長辺方向)	4C-10-12.7Φ	2.2 (N/mm ²)	3 705 (kN・m)	90%	

図 - 11 の部材リストに示すとおり（位置は図 - 13 参照）、格子 PC 梁は X 方向に 2 列 3 段、Y 方向に 2 列 2 段の PC 鋼材配列としている。

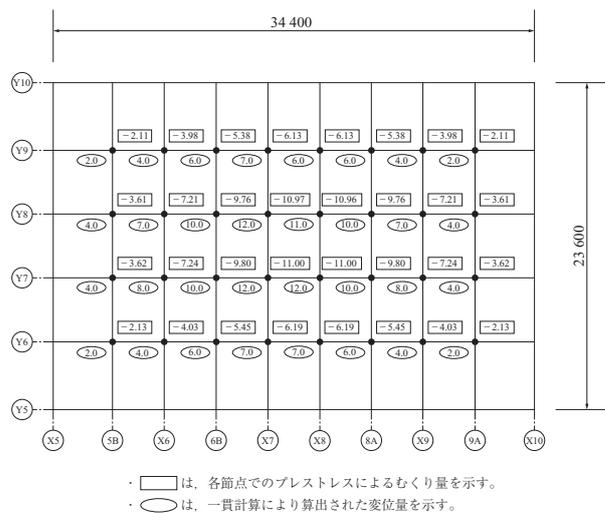


図 - 10 PC 格子梁のむくり量 (mm)

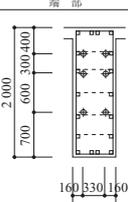
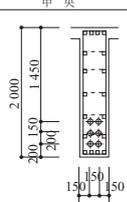
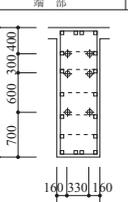
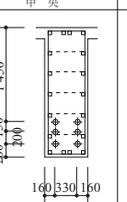
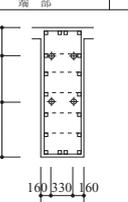
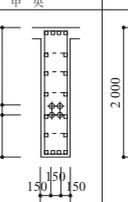
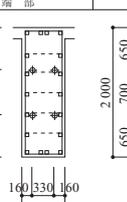
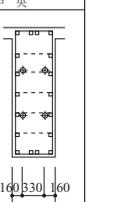
符号	PG1		PG1A		PB2		PB2A	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
断面								

図 - 11 PC 格子梁部材リスト

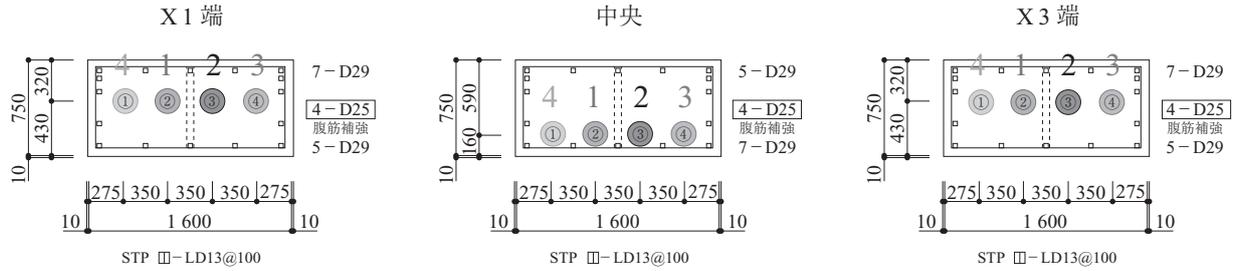


図 - 12 PRC 梁の PC 配置

6. PC・PRC 工事

【特別教室の扁平断面梁】

特別教室の PRC 梁は図 - 12 のような幅広で並列 4 本の PC 配置とした。PC 鋼材の緊張定着施工に際し、梁に対し水平方向の偏心モーメントの影響を抑えるため、梁の中心に近い PC 鋼材から緊張定着を順に行った。緊張完了後、柱、梁共に確認したところ、クラックの発生は見られなかった。

【体育館の格子 PC 梁】

体育館の PC 梁は図 - 11 のとおり、X 方向に 2 列 3 段の PC 鋼材配列で Y 方向に 2 列 2 段の PC 鋼材配列となる。PC 鋼材の緊張を行うにあたり、緊張応力が局所的に集まらないよう、図 - 13 に示す①～⑤の順で梁の重心に近い段より一段ずつ PC 鋼材の緊張定着を完了させた。緊張完了後、柱、梁ともに確認したところ、クラックの発生は見られなかった。図 - 14 に格子 PC 梁の配線図を示す。

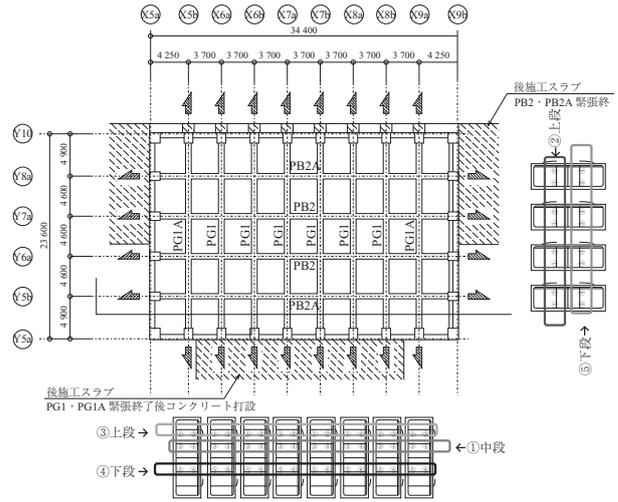


図 - 13 PC 格子梁施工手順

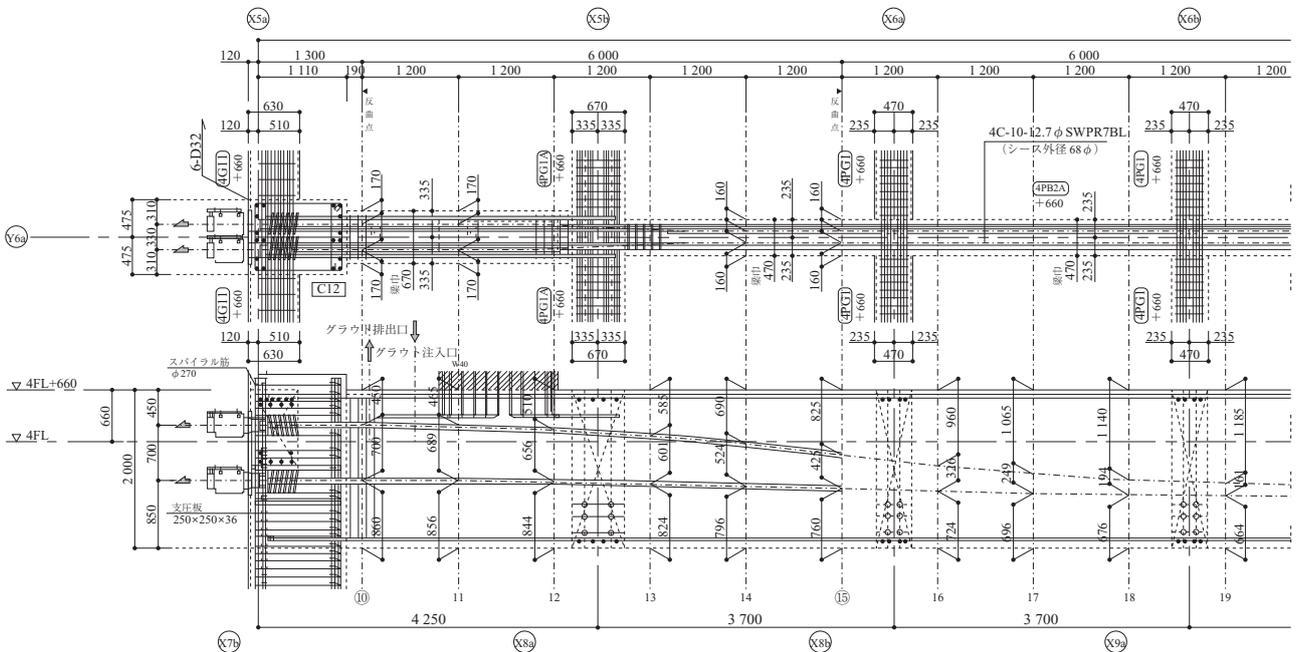


図 - 14 格子 PC 梁の配線図

7. 施工計画

7.1 施工順序

PC 工事施工フローを図 - 15 に示す。

校舎棟の PRC 大梁は、梁幅 900～1 600 mm、梁せい 750 mm と扁平な断面であり、十分な作業空間を確保できたため、側型枠を外さずにシース組立作業を行った。

プール棟の PC 大梁は、梁幅 450～650 mm、梁せい 2 000 mm のため、施工性に配慮して側型枠を両側解放し、シース組立作業を行った（写真 - 6、7）。

PC ケーブル挿入作業は、クローラークレーンを使用し、PC ケーブルを吊り上げ、手作業で行ったが、プール棟の X 方向（長手方向）はスパン 34.4 m であったため、施工性に配慮してウィンチと併用し、引き入れ作業を行った（写真 - 8）。

PC 大梁がプレストレス導入時強度（30 N/mm²）以上であることを確認後、PC 鋼材の緊張作業を行った。現場では緊張装置の荷重計の示度とそれに対応する伸び量をあらかじめ計算しておき、いずれもその測定値は、計算値の ± 5 % 以内であることを確認した（写真 - 9）。

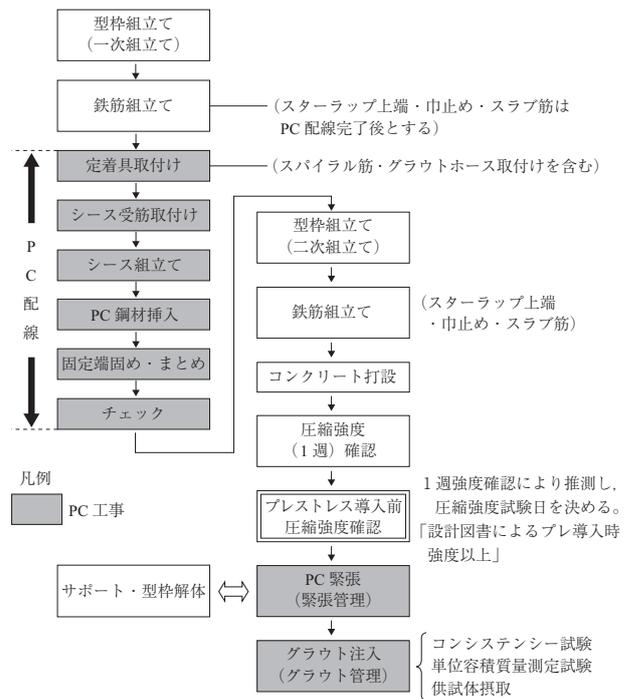


図 - 15 PC 工事施工フロー



写真 - 6 側型枠の両側解放状況

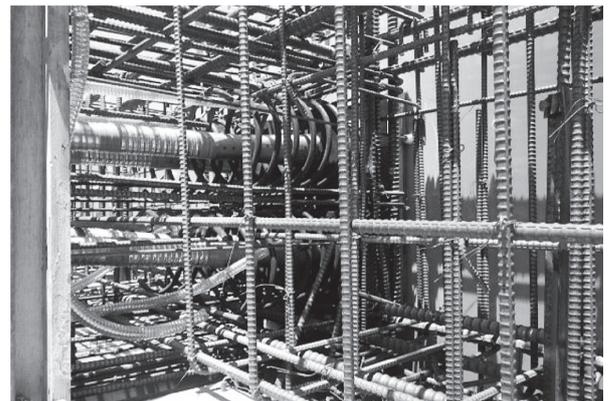


写真 - 7 PC 定着具取付け状況 (緊張端)



写真 - 8 PC 鋼線挿入

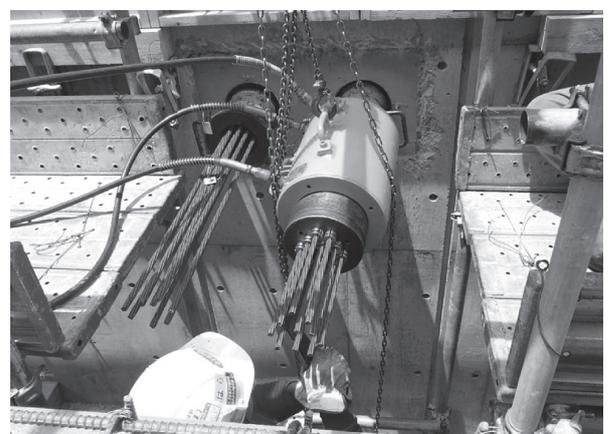


写真 - 9 PC 鋼材緊張作業

グラウトの使用材料は、プレミックスタイプの超低粘性PCグラウト材を使用し、注入圧の抑制・注入時間の短縮およびシース内の充填性に配慮した。また、先流れ現象による残留空気の発生を抑制として、注入口グラウトホース・排出口グラウトホースの他に排気口ホースを下り勾配の位置に設置した（写真 - 10）。



写真 - 10 グラウト排出側

7.2 施工精度

スパン方向に 1.2 m 以下にシース支持金物を配置し、シースを支持鉄筋に固定することで、PC 鋼材高さの管理精度を確保した。支持鉄筋は通常 D13 を使用するが、校舎棟は梁幅が大きいため、シースを支持させることによるたわみが大きくなり、高さ管理が難しくなる。そこで、支持鉄筋に D16 を使用し、かつ、梁中間部分にもシース支持金物を配置することでシース取付け位置の精度を確保した（図 - 16）。写真 - 11 に体育館の内観を示す。

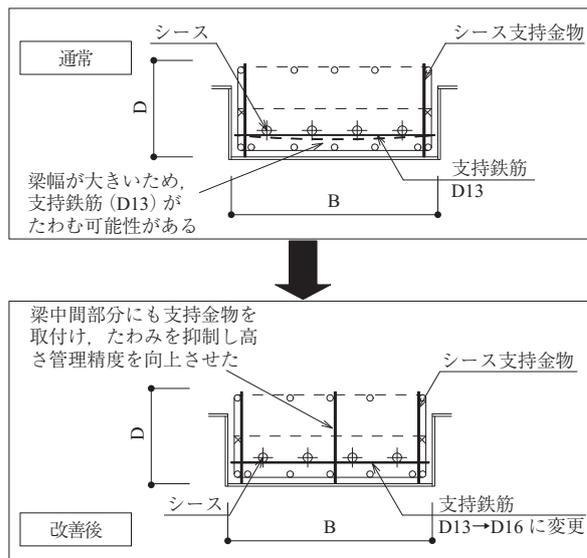


図 - 16 校舎棟のシース配置方法

8. まとめ

本建築は、「児童の主体的な活動を支援する施設」という市の基本構想の方針に基づき、「意匠」、「構造」、「設備」の各セクションが相互に連携し、快適で安心・安全な施設となるよう努めた。

PC 構造の設計・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 - 11 体育館

【2017年4月28日受付】