

PCaPC 造の十字柱，格子形状 PC 床版，耐震壁による 学校建築の設計・施工

— 國學院大學久我山中学高等学校学習センター —

原田 公明*1・熊澤 尚昭*2・縄田 雅巳*3・森山 毅子彦*4

1. はじめに

國學院大學久我山中学高等学校は1942年（昭和17年）に創設された歴史ある学校であり，東京杉並区久我山に校舎を構える。今回既存の一教室棟と図書館棟が老朽化したこともあり，両方の機能を兼ねる学習センターの計画を行った（写真-1）。

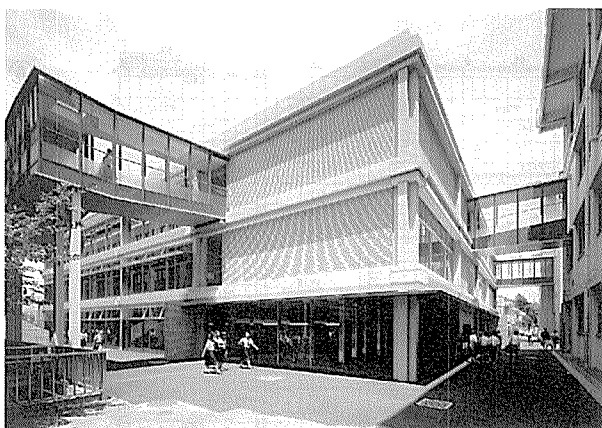


写真-1 全景

建物の建設にあたっては，学校敷地周辺が閑静な住宅地であるため，近隣の環境に配慮した設計，施工方法が求められた。建設地近傍には学内の既存校舎，テニスコートを併設する狭隘な立地状況であった。なお2008年4月からの開校が，工程上の条件であった。

これらの諸条件をかんがみ，工期短縮がはかれ工事に伴う振動や騒音がもっとも少なく周辺環境に負荷をかけない，圧着工法によるプレキャストプレストレストコンクリート（以後PCaPC）造を採用した。

また以下に建築・構造計画上のテーマを示す。

- 1) 近隣環境に配慮し建物高さを抑えながら，可能な限り梁せいを抑えて豊かな内部空間を確保する計画
- 2) 十字柱や格子形状PC床版の構造躯体をそのまま見せる内部空間づくり
- 3) 十分な壁量を配し高い耐震性能と高耐久・長寿命の構造体
- 4) PCaPC造による耐震壁の採用

PCaPC造は高強度のコンクリートやPCケーブル材で緊

張され圧縮接合された構造のため，部材断面のわりには大きい耐力を確保できる特徴をもつ。また，任意形状の構造体を鋼板型枠により繰り返し製作することにより，建築廃材が低減でき，環境にも貢献できる構造である。今回は，通常PC造に適用する柱，大梁，床版のみならず，耐震壁にもPCaPC造の採用を試みた。またその性能は耐力確認実験を行い性状の検証を行った。

2. 建物概要

- ・建設地：東京都杉並区久我山1丁目9番1号
- ・主要用途：学校
- ・建築面積：1491.56 m²
- ・延床面積：3882.67 m²
- ・階数：地上3階
- ・最高高さ，軒高：11.8 m，11.2 m
- ・構造：圧着工法プレキャストプレストレストコンクリート造（PCaPC造）
- ・基礎：直接地業べた基礎
- ・架構：PCaPC造耐震壁および現場打ちRC造耐震壁付きPCaPC造柱・梁ラーメン構造
- ・工期：2006年12月～2008年3月（16ヵ月）
- ・設計：(株)日建設計
- ・施工：大成設計(株)，オリエンタル白石(株)（PC工事）

3. 建築計画

本建物は地上3階建てで，平面が36.7 m × 36.7 m，各階の階高が3.7 mと，平面断面ともに整形な形状である。1階にホール，食堂，2階に教室，3階に図書館の用途をもつ。建物中央は，屋根にトップライトを有する3層吹抜けの空間とし，上下階で一体感をはかる計画とした（写真-2）。基準グリッドは8.5 m × 8.5 mの均一とし，同一形状の部材製作が可能なPC建築の利点を活かせる平面計画とした。また内部空間で構造体を仕上げとして見せるため，設備計画にも配慮した設計とした。空調ダクトを天井面で平面方向に展開する通常の空調方式ではなく，屋上室外機から床貫通したダクトを上下方向に連続させ，そこから空気を出し入れする方式とした。この方式を採用することで，天井面においてPCa大梁，格子形状PC床版の構造躯体を露出で見せる設計を可能とした（写真-3）。

*1 Hiroaki HARADA：(株)日建設計 構造設計部門 構造設計室 主管

*2 Naoaki KUMAZAWA：大成建設(株) 東京支店 工事課長

*3 Masami NAWATA：オリエンタル白石(株) 建築支店 施工・技術部 副部長

*4 Kishihiko MORIYAMA：オリエンタル白石(株) 建築支店 施工・技術部 課長



写真-2 吹抜け部内観



写真-3 図書館内観

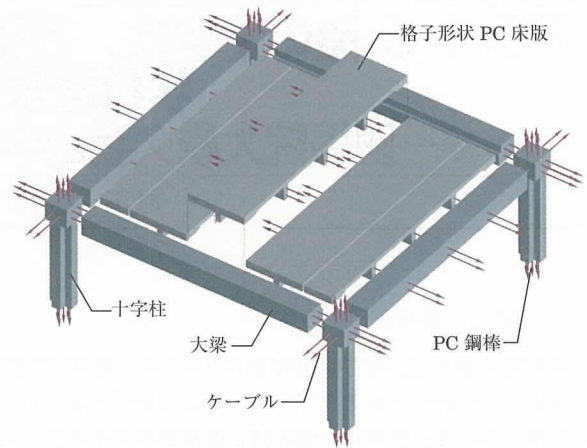


図-1 全体架構システム図

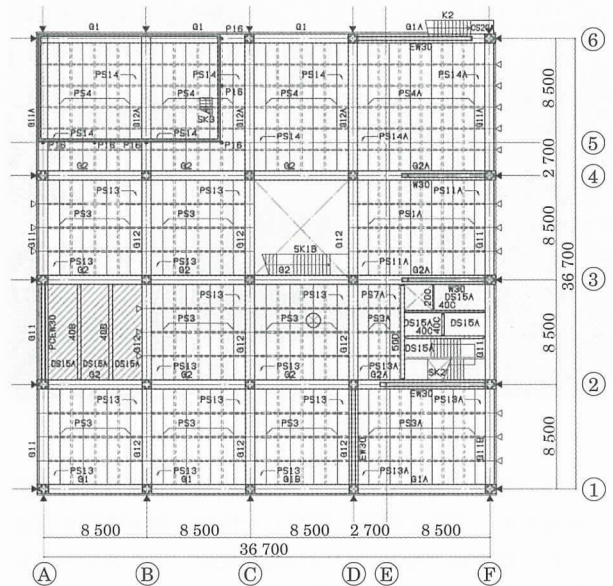


図-2 3階床梁伏図

4. 構造計画

4.1 架構概要

平面計画における柱間の基準グリッドは、X方向、Y方向とも8.5m（1スパンのみ11.2m）×4スパンの整形な平面形とした。

柱は内部空間を可能なかぎり有効に確保するため、すべて十字形状の部材とした。同時に特徴ある空間づくりも意図した。柱間を繋ぐ大梁は8.5mスパン（一部11.2m）をすべて650mmのせいの部材とした。

大梁内で囲まれた8.5m×8.5m（一部8.5m×11.2m）の床は、約1.94m×1.94mを1グリッドとする格子形状のPC床版を設計した。リブせいは大梁と同一の650mmのせいとし、天井面で格子形状の均一な空間となるようにした（図-1, 2）。

柱を十字形状としおおむね長期荷重を支えるのみの役割としたため、地震時における水平力に対しては、耐震壁を平面計画に支障のない位置に十分な量を配置し抵抗させた。

建物内は現場打ちRC造耐震壁を、建物外面はPCaPC造の耐震壁を配置した。

柱と大梁の組立方式は、3層1本として作った十字形状の柱を建て、その間を大梁で繋ぐ柱通し型とした。大梁間で囲まれた床は通常のリブ付きPC床版に直交にリブを設けた魚骨型PC床版を大梁間に敷設しその後建物の両側からケーブルで一体化する方法とした。PCaPC造耐震壁は一枚の壁を3分割し縦積みし上下の大梁間で繋ぐ形式とした（図-3）。

柱内および柱相互間にはPC鋼棒を、大梁内、格子形状PC床版リブ内にはPCケーブルを挿入して緊張後グラウト注入するポストテンション方式とした。格子形状PC床版の床版方向のリブ内のPCケーブルは部材製作時に内蔵したプレテンション方式とした。また梁上に現場打ちのトッピングコンクリートを配することで梁・床の一体化を行った（表-1）。

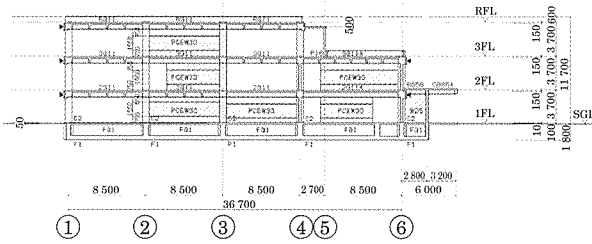


図-3 A 通り軸組図

表-1 使用部材

部材		コンクリート	鋼材	
PC部材 (目地モルタルも含む)	十字柱	$F_c = 50 \text{ N/mm}^2$	PC鋼棒	SBPR 930 / 1080 B 種 1号
	耐震壁			SBPR 1080 / 1230 C 種 1号
	大梁		1次緊張	SWPR7BL 12.7 ϕ
				2次緊張
格子形状 PC床版	PCケーブル	床版方向 リップ内	SWPR7BL 12.7 ϕ	
		床版 直交方向 リップ内	SWPR19L 21.8 ϕ , 28.6 ϕ	
トッピングコン クリートおよび PC耐震壁十字 柱との接合部	$F_c = 30 \text{ N/mm}^2$ 236 N/mm^2 (3階床のみ)	—		

4.2 耐震設計方針

耐震設計は十分な壁量を配置した「ルート1」とした。長期荷重時において梁部材はフルプレストレスの設計とした。PCaPC造耐震壁の耐力は現場打ちRC耐震壁よりも大きい値となるが、確認申請時での耐力は安全側の評価として同等の耐力とし設計を行った。ルート1の建物ではあるが、大地震時においてもすべての部材が弾性範囲内であることを確認している。静的増分解析の結果、大地震時の最大層間変形角は以下に示すものとなった。

X方向… 1/1466 (2階) Y方向… 1/1545 (2階)

4.3 部材設計

(1) 十字柱

すべての柱を十字形状の部材とした。見付け幅 300 mm, 奥行きが 225 mm のリップが 4 方向に広がり, 部材せいを 750 mm の断面とした。柱頭部は大梁との取合いを考慮し 750 mm × 750 mm 角, せい 650 mm の形状とした。柱内には PC 鋼棒 32 ϕ 5 本を配置した (図-4)。

(2) 大梁

すべての大梁は X, Y 方向とも 750 mm (幅) × 650 mm (せい) の断面とした。幅は十字柱柱頭との取合い, せいはスパンとの兼ね合い, また格子形状 PC 床版と同一とさせることを念頭に入れ決定した。梁せいは 8.5 m に対し 1/13, 11.2 m に対し 1/17 となっている。格子形状 PC 床版を Y 方向に敷設しているため, X 方向大梁に自重, トッピングコンクリート重量がかかる設計とした。よって 1 次緊張ケーブル (2C-1-21.8 ϕ) を工場であらかじめ配線緊張し, その後の積載荷重, 水平荷重時の応力用として 2 次緊張 (4C-1-28.6 ϕ) PC ケーブルを現場にて配線緊張する断面

とした (図-5)。Y 方向大梁は格子形状 PC 床版が一体となった後の積載荷重の負担となり, X 方向大梁より負担が少ないため, 2 次緊張ケーブル (2C-7-12.7 ϕ) のみの配線とした。

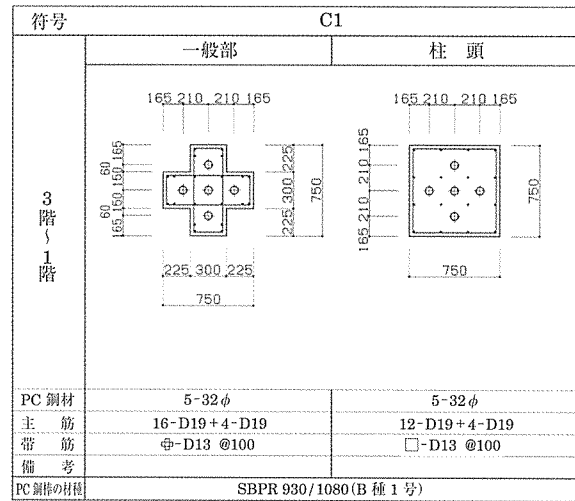


図-4 十字柱断面

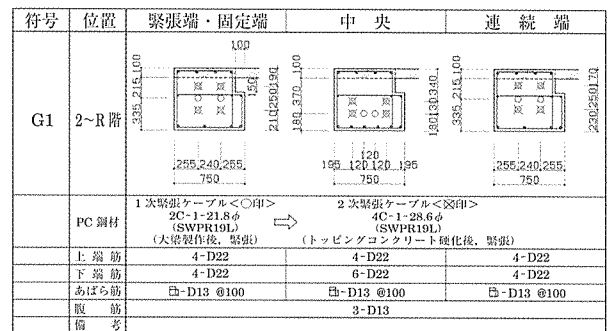


図-5 大梁断面

(3) PCa 耐震壁

柱と大梁に囲まれた 750 mm × 3050 mm の壁面を 3 枚に分割した厚さ 300 mm の PCa 耐震壁板で構成した。上下の壁が幅 750 mm, 中段の壁の幅が 1550 mm とし, 縦に積み, 大梁を介し上下方向に PC 鋼棒 32 ϕ @ 400 により圧着接合した。十字柱と壁の接合は, 後打ちの現場打ちコンクリートで一体化した。十字柱内にあらかじめインサート金物を設け D 16 @ 200 縦横ダブル配筋とすることにより, 壁面四辺に力を伝達させる納まりとした (図-6, 7)。なお PCaPC 耐震壁の構造性能を詳細に確認するため, 耐力確認実験も行い性状を把握した。

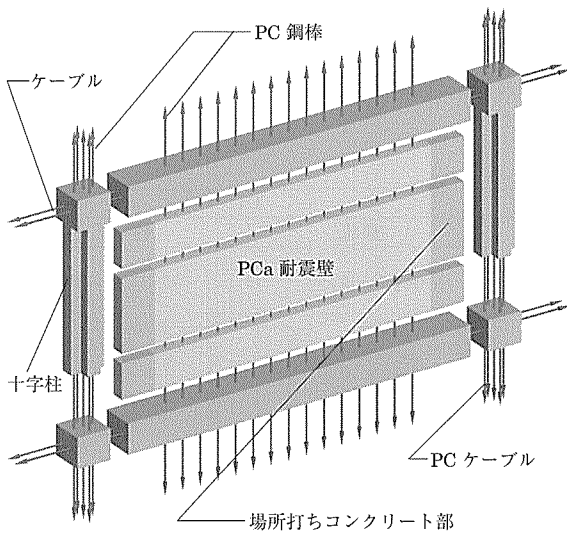


図 - 6 PCa 耐震壁システム図

ブルを現場緊張した。これにより積載荷重に対し2方向で抵抗させた。なお8.5 m × 8.5 m グリッドの両側の床版は直交方向のみリブを設けたげた状床版を格子形状 PC 床版と同様にポストテンションケーブルにより一体化させた(図 - 8, 9)。

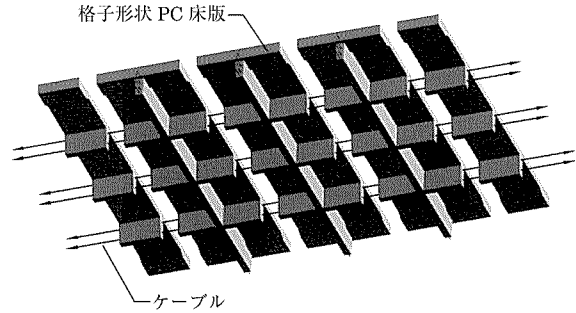
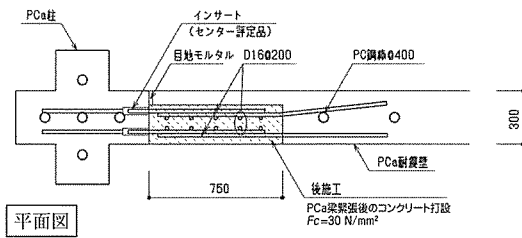
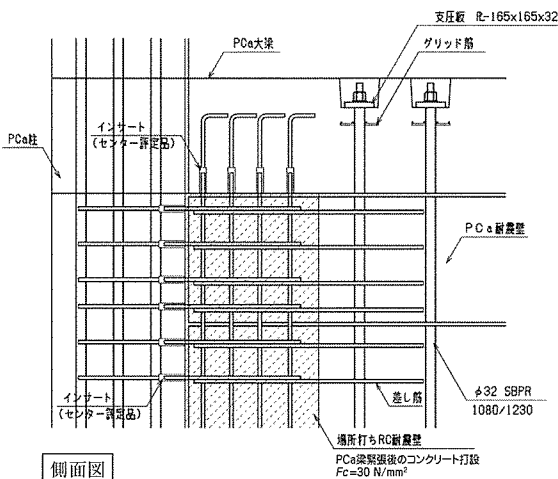


図 - 8 格子形状梁システム図



平面図



側面図

図 - 7 PCa 耐震壁詳細図

(4) 格子形状 PC 床版

2階以上大部分の床に格子形状 PC 床版を用いた。大梁と梁せいを合わせ、2方向に力を伝達できる格子梁とすることで、均一な空間を実現した。1 940 m × 7 650 mm の長方形床版中央に 550 mm せいのリブを配置し、端部ではリブのない版全体が 250 mm 均一の板とし大梁に載せる形式とした。リブ内には 8 - 12.7 φ のケーブルを工場でプレテンション方式で配置した。

また長手方向には同じせいのリブを3箇所魚骨形状で設けた。おのおのの床版の直交リブ相互を一体化させるため、建物両側から X 方向にポストテンションの 2 - 21.8 φ ケー

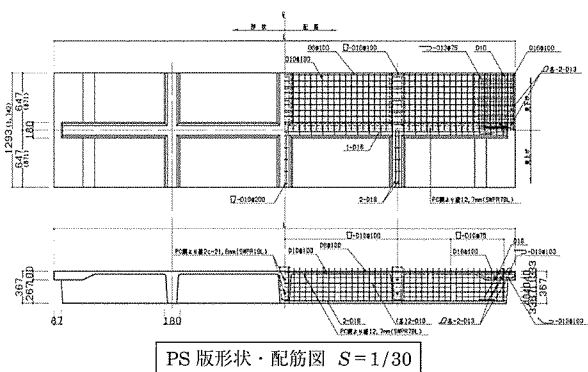


図 - 9 格子形状 PC 床梁断面

5. PCa 耐震壁耐力確認実験

5.1 実験の目的

本建物の設計での適用にあたり、PCaPC 耐震壁の破壊性状、最大耐力を確認する目的で実験を行った。なお詳細については参考文献 1) に述べるものとする。

5.2 実験概要

試験体は1階部分の代表的な柱と壁を取り出したものであり、そのスケールは実建物の 1/5 である。PCa 壁版の長さ×高さは 1 050 mm (B : 1 538 mm) × 180 mm、厚さは 60 mm であり、壁板間は厚さ 10 mm の目地モルタルにより接合した。柱断面は 150 mm × 150 mm、場所打ち部の長さは 250 mm である (図 - 10)。実験パラメーターは柱と壁の接合方法および導入緊張力であり 3 体試験を行った。試験体 A は今回対象とする工法であり、他の 2 体については紙面の関係上割愛する。柱と壁は場所打ちコンクリートにて一体化している。導入緊張力は設計と同等のものとした (壁部コンクリート応力 = 4.04 N/mm²) (表 - 2)。

加力は変位制御の水平力正負交番繰返し荷重とし、層間変形角 (R) = 1/2 000 rad ~ 1/50 rad まで載荷した。

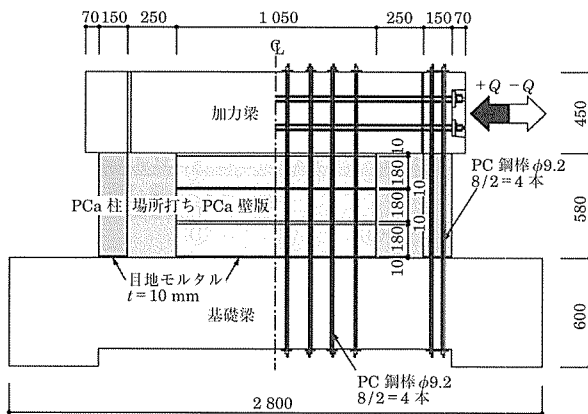


図 - 10 実験体の形状寸法

表 - 2 部材断面リスト (試験体 A)

	柱	壁
断面形状		
断面	150 × 150	1050 × 180 $t = 60$
使用鋼材	4 - PC 鋼棒 $\phi 9.2$	8 - PC 鋼棒 $\phi 9.2$ @200
主筋	4-D10	$\phi 4$ @120 ダブル
補強筋	$\square \phi 4$ @50	D6 @160 ダブル (場所打ち)
緊張力	31.5 kN/本	47.0 kN/本

5.3 実験結果

今回設計対象とした試験体 A に、設計時に採用した耐力 ($2.5 \text{ N/mm}^2 \times A_w + 0.7 \text{ N/mm}^2 \times A_c$) を示す。また継目位置における摩擦係数 (μ) を 0.5 および 1.0 にして求めた継目せん断力 ($= \mu P$, P : 導入緊張力) も示している (A_w , A_c : 耐震壁, 柱の水平断面積)。

初ひび割れの発生は、 $R = 1/200 \text{ rad}$ の後打ち壁部のせん断ひび割れおよび目地モルタル位置の水平ひび割れであり、加力の進展とともに PCa 壁部に進展した。最大耐力は設計耐力を大きく上回った。

最終破壊時には後打ち壁部および PCa 部のせん断ひび割れが顕著となった。荷重水平変位関係は $R = 1/135 \text{ rad}$ まで急激な耐力低下することなく良好な履歴特性を示した (図 - 11, 写真 - 4)。

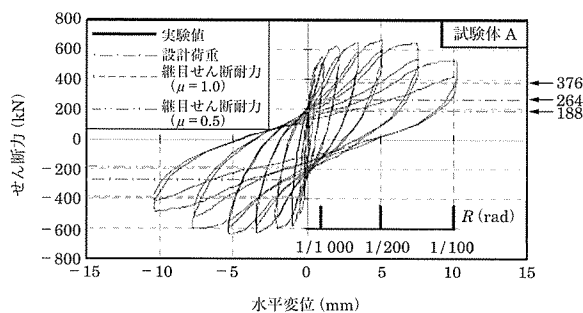


図 - 11 せん断力-水平変位関係

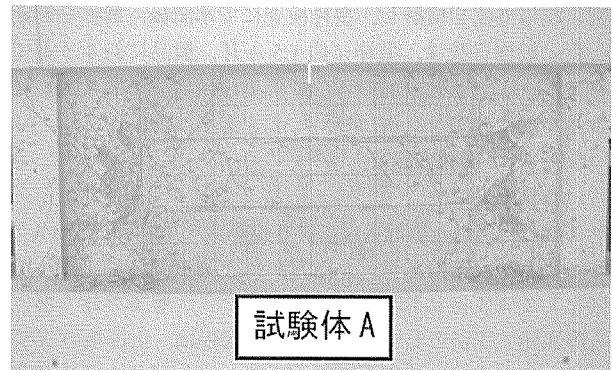


写真 - 4 最終破壊状況

6. 施工概要

6.1 PCa 部材の製作

(1) 部材数量と最大重量

本工事に使用した部材数量および部材の最大重量を表 - 3 に示す。柱, 梁, 壁の一部, 床版 (一部デッキスラブ) を PCa 部材とし, 工場にて製作した。

この PCa 柱は 1 層 1 節の柱とし, 壁版は水平方向に 3 分割して製作した。また, PCa 梁は, 床版重量がかかる梁およびスパン 11.2 m の梁は工場にて 1 次緊張を行うポストテンション部材であり, 床版は 2 方向リブをもつプレテンション部材である。

表 - 3 製作部材数と最大重量

部材種類	部材数	部材最大重量
PCa 柱	73 P	3.9 t
PCa 梁	115 P	13.3 t
PCa 壁	18 P (6 箇所)	9.2 t
PCa 床版	189 P	8.2 t

(2) 部材の製作

本建物では, 柱, 梁, 床, 壁版ともにコンクリート面が仕上げ面となる, また柱は十字型, 床版は格子形状であり, 矩形形状ではない。そのため, 計画当初から十字柱 (写真 - 5) のコンクリート打設方法をはじめ, 型枠の継ぎ位置, 分

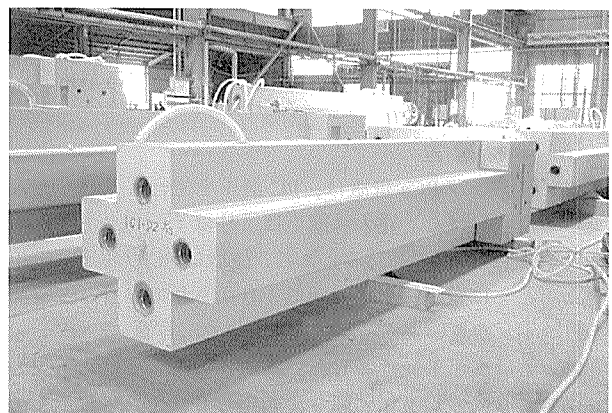


写真 - 5 十字型の PCa 柱

○ 工事報告 ○

割・転用方法を検討し、型枠検査にて承認後、製作を開始した。製作日数は、型枠に約 1.5 ヶ月、製品に約 4 ヶ月であった。なお運搬計画の理由で現場段階にて 1 層 1 節の柱としたため、柱内の PC 鋼棒は 32 φ 4 本と変更した。

6.2 PCa 部材の建方

(1) 施工フロー

部材の建方は、敷地条件により揚重機を 100 t クローラークレーンとし、このクレーン能力から Y 方向 1 スパンを 1 工区として 4 工区に分け、1 スパンごとに 3 層まで建ちあげる屏風建て工法とした。そのため、緊張は、工区境の X 方向梁については、次工区のコンクリート打設後の強度発現後、Y 方向 PC 鋼材は全スパン施工後の緊張とする計画とした。また施工中に想定される地震を考慮し本設の PC 鋼材とはべつに仮設の PC 鋼材を設けて、施工中の建物の一体性を保った。

(2) 埋込み PC 鋼棒

上部 PCa 部材は、場所打ちコンクリートである基礎部分に埋め込んだ PC 鋼棒にて接続した (写真 - 6)。



写真 - 6 埋込み PC 鋼棒セット状況 (PCa 壁版)

この PC 鋼棒の埋込み精度は、PCa 柱・PCa 壁版の建入れ精度に大きく影響する。とくに壁版は、PC 鋼棒 φ 32 が @ 400 にて配置されるため、PC 鋼棒位置の精度確保にとくに注意した。PC 鋼棒の位置調整は、PC 鋼棒上下端に取り付けたテンプレートを用いて、基準墨に対して行い、コンクリート打設時に動かないよう強固に固定した。この精度管理値は、打設完了後 10 mm 以内となるように PC 鋼棒セット時およびコンクリート打設前調整時を 5 mm 以内とした。

(3) 部材建方

PCa 柱および PCa 壁版は、PC 鋼棒を先行して建て込んでから取り付けた。建入れ調整は、柱はインパクトレンチを用いた PC 鋼棒の締込みにより、壁版は PC サポートを用いた。とくに壁版は水平方向に 3 分割されており、部材間の目地ずれが無いよう精度管理を行った (写真 - 7, 8)。

PCa 梁は支保工受けとした。梁のレベル調整は、正規のレベルより高めに支保工高さを調整しておき、梁重量支持後に再度レベル調整を行った (写真 - 9)。PCa 床版は、プ

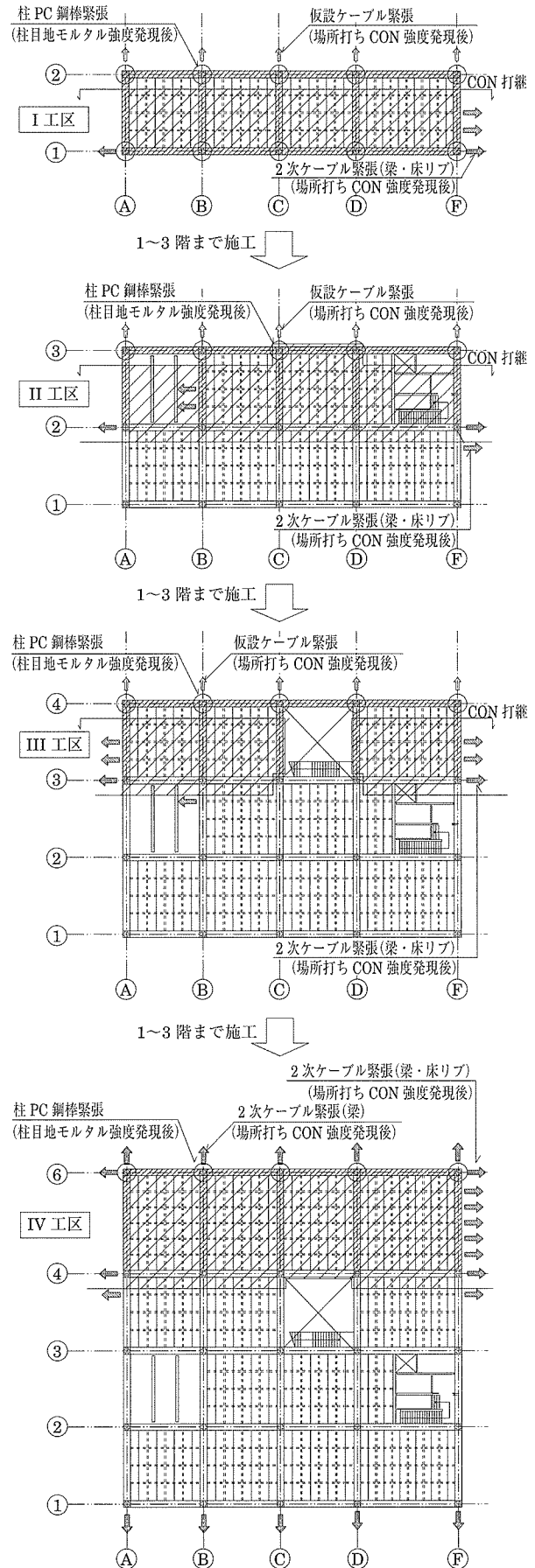


図 - 12 建方および緊張順序



写真-7 PCa 柱建方状況



写真-10 PCa 床版建方状況

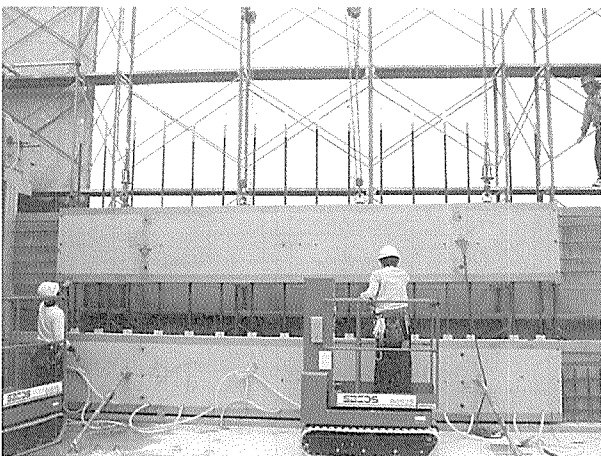


写真-8 PCa 壁建方状況



写真-11 PCa 床版建方状況



写真-9 PCa 壁版建方状況

レテンションによる反り量の違いにより版同士で誤差が生じることから、リブの通りおよび部材間目地の精度確保に留意した。とくに、直交する2方向のリブの通りを合わせるため、ピアノ線やレーザーポインターを用いて調整を行い、また、目地部分にずれが生じないように、スラブ端部のライナーや目地部をサポートにて調整した(写真-10, 11)。

(4) 緊張・グラウト

本工事に使用したPC鋼材とその緊張力を表-4に、緊張作業状況を写真-12に示す。柱・壁にはPC鋼棒を用いた。柱の緊張は、緊張力がバランスよく導入されるようジャッキを2台用いて行い、壁版は、壁版中央から端部に向かって交互に緊張する方法とした。梁・スラブのPC鋼より線は、① Y方向仮設ケーブル ② X方向ケーブル ③ スラブの緊張順序とした。また、全部材にPC鋼材が配置されていることから、PCグラウトを重点管理項目とした。グラウト管理は、PCグラウト施工マニュアル・建築編(プレストレストコンクリート技術協会)に準じて行い、流量計による注入量の管理および注入後のグラウトホース内充てん状況の全数管理を行った。

6.3 全体工程

全体工程表を図-13に示す。本工事は、現在供用中の学校敷地内の校舎新設工事であり、学生の生活動線を損なわないかぎられたスペースで、学内行事を優先させる工程での施工であった。また、住宅街でもあるため、搬入・作業時間の制約もあったが、関連工事を調整して効率よく組み合わせ、工期内で工事を完了することができた。

表 - 4 使用 PC 鋼材と緊張力

位置	鋼材種類	鋼材本数	導入時緊張力
柱	PC 鋼棒 φ 32 SBPR930 / 1080	4c / 柱	595 kN/c
壁	PC 鋼棒 φ 32 SBPR1080 / 1230	@400	690 kN/c
梁	X 方向	1 - 28.6 φ SWPR19L	4c / 梁
	Y 方向	7 - 12.7 φ SWPR7BL	2c / 梁
	仮設ケーブル	1 - 17.8 φ SWPR19L	2c / 梁
	工場緊張	1 - 21.8 φ SWPR19L (ポステン)	2c / 梁
		4 - 12.7 φ SWPR7BL (ポステン)	2c / 梁
床リブ	一般部	1 - 21.8 φ SWPR19L	2c / リブ
	3F 1-2 間	1 - 28.6 φ SWPR19L	2c / リブ
	工場緊張	1 - 12.7 φ SWPR7BL (プレテン)	PS1:7c PS2:8c PS3:9c

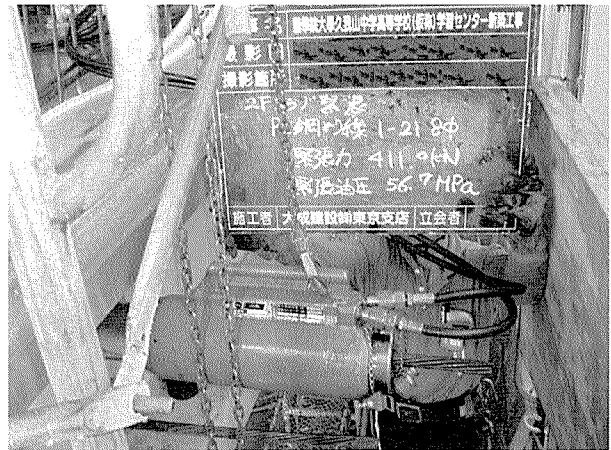


写真 - 12 緊張作業状況

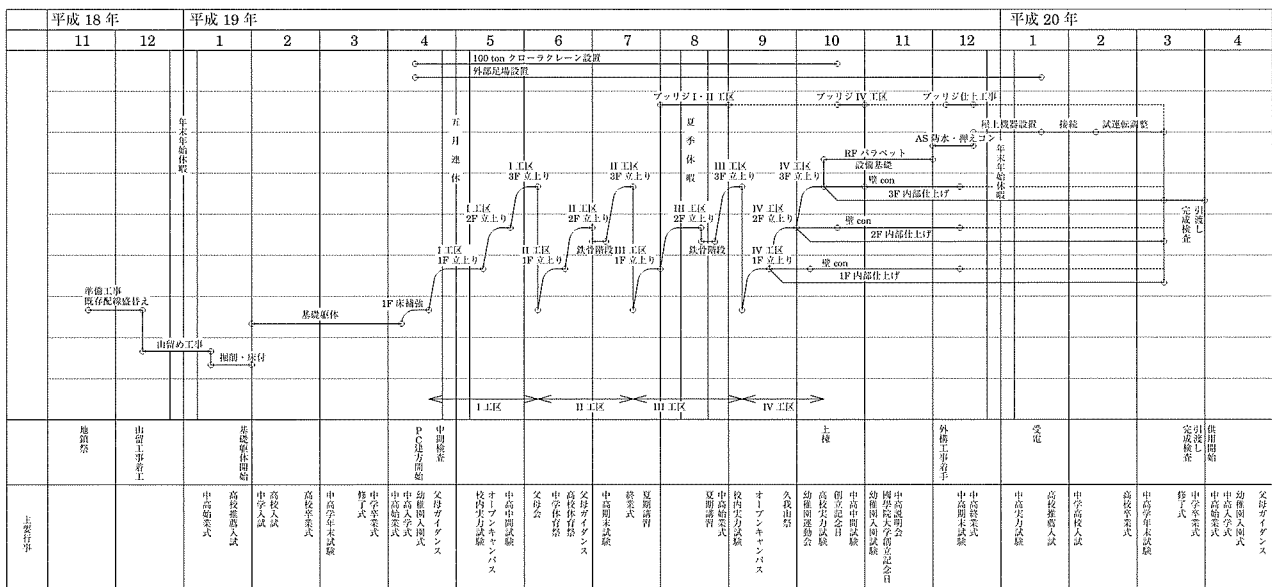


図 - 13 全体行程

7. おわりに

PCaPC 構造は部材の品質確保, 工期短縮, 建築廃材の低減が可能となり, 構造性能に加え環境にも優れた工法である。今回はその特徴を活かしつつ, 十字柱, 格子形状梁と構造体をそのまま見せる空間を実現できた。また PC 耐震壁を採用し, その性能も耐力確認実験で検証できた。

最後に本建物の設計・施工を行うにあたり, 多大な指導と

ご協力をいただいた國學院大學久我山中学高等学校の皆様
に感謝の意を表します。また本工事の施工にあたって, 高品質, 高精度の建物を実現した施工および製作を担当された方々に, 心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 原田・森山他:プレキャスト耐震壁の耐力確認実験, 日本建築学会
学術講演梗概集, C-2, 構造, pp.897-889, 2008

【2008年9月3日受付】