

# これからの PC 建築

大野 義照 \*

## 1. はじめに

あらかじめ圧縮力を与えて曲げによる引張応力を打ち消して、ひび割れのない部材を可能にしたプレストレストコンクリート（以下 PC と略記）は、コンクリート系部材のスパンを大きくし、建築の分野では、体育館やボーリング場、倉庫などの広い空間を必要とする建築を生み出した。また中間階にプールを設けた学校や地下に空間を設けその上に土や植栽などの大きな鉛直荷重が作用するような建築<sup>1)</sup>にも PC の技術が利用されてきた。これらの建築には現場打ちコンクリートのポストテンション方式のグラウト工法が採用されている場合が多い。これからもこのような建築に PC 技術が利用されていくことはいうまでもないが、PC 技術はさらに広範囲に利用されている。プレキャストプレストレストコンクリート (PCaPC) はわが国における PC 構造の初期の段階から用いられている構造であり、最近は工期短縮、施工の合理化、環境対策の面からも増加している。2007 年に PC に関する告示<sup>2)</sup>が改正され、柱や梁にアンボンド鋼材の使用が認められ、アンボンドの PCaPC 圧着工法の建築も設計されるようになった。PC は上述のように鉛直荷重を打ち消すことに特徴がある、一方、地震力に対しては架構のエネルギー吸収能は大きいとはいえないが、最近の進歩が著しい免震工法や制震部材との併用によって、PC の特徴が十分に活かせるようになった。本稿ではこれらの最近の PC 技術の動向や新しい技術などを紹介する。

## 2. 最近の PC 技術の動向

### 2.1 プレキャストプレストレストコンクリート(PCaPC)

PCa 工法は、工場生産により精度が高く、耐久性に優れたコンクリート部材を製作し、PC 構造とすることによって将来の用途変更にも対応できる広い自由な空間を生み出すことから、物理的にも社会・経済的にも機能的にも長寿命の建築を可能にする。建築生産現場においては、プレキャスト化工法によって、現場作業を少なくし、廃棄物の発生

量を削減することができる。また、プレストレスによる圧着工法を用いれば、簡単に部材同士を一体化できる<sup>3)</sup>。このような利点を有することから PCaPC の建築は増えている。

### 2.2 耐震補強

わが国の建築物の耐震規準は、1968 年十勝沖地震、1978 年宮城沖地震などの地震被害を教訓にして、1981 年に改正された。1995 年の兵庫県南部地震ではその新耐震規準によって設計された建物の被害の程度は軽くおおむね妥当であると考えられるのに対して、旧基準で設計された建物に大きな被害が見られた。このため現行の耐震規準に適合しない建築物（一般に 1981 年 5 月以前に建築確認を受けたもの）は、耐震診断を受け、耐力が不足しておれば耐震補強を行わなければならない。コンクリート系建物の補強工法にはさまざまなものがあるが、PC を利用した工法も各種開発されている。

PC 技術を利用した耐震補強工法には、次のような工法がある<sup>4)</sup>。

- ① プレストレスによる圧着によって組み立てられた PCaPC 造の架構を既存建物に取り付ける方法
- ② PCa プレースを既存建物に圧着接合する工法
- ③ 現場で組み立てられた PCaPC の X 形プレースをその端部に取り付けられた皿パネによって既存骨組に固定する工法
- ④ 斜張橋のような外観をした補強フレームを既存骨組に取り付ける工法
- ⑤ 現場で PC 鋼材を用いて PCa 部材を組み立てた壁を既存フレームに組み込む工法
- ⑥ PC 鋼材で柱を水平方向にプレストレスを与えてせん断耐力を補強する工法

既存建物の外部に PCaPC 架構を取り付ける工法は実績も多い。この工法は、新設架構を独立に施工ができ、既存建物を使用しながらの施工が可能である。また、既存建物の耐震性能に応じて強度型からじん性型までの補強が可能であり、外観のリフォームも同時に行える。一方、重量増のため新設の基礎が必要になる場合もある。

### 2.3 事務所建築への PC 技術の利用

住宅や学校建築は、遮音・振動性の点で優れている鉄筋コンクリート構造で建設され、高層で広い空間を必要とする事務所建築は鉄骨造で建設されることが多い。しかし、最近、事務所建築もコンクリート系で建設される例が現れている。建物の外周部にはスレンダーな PCaPC 柱をルーバー状に配置し、床にはシングル T 版を用いた合成床を採用し、室内に柱のない豊かなオフィス空間を実現した地上 12



\* Yoshiteru OHNO

大阪大学大学院 先端科学イノベーションセンター 特任教授

階の事務所建築<sup>5)</sup>。PCaPC 梁を用い、19 m × 40 m の平面を無柱の執務空間を生みだしている 8 階建て事務所建築<sup>6)</sup>。間口の狭い敷地で教室を最大限確保するために扁平な断面の PCaPC の柱梁で構造架構を作った 6 階建て中層ビル<sup>7)</sup> (図 - 1)。



図 - 1 河合塾札幌校<sup>7)</sup>

これらの建築ではいずれも天井は張らず床板のコンクリートの素材感を意匠の特徴に見せている。

#### 2.4 小規模建築への PC の利用

PCa は、大規模の建築で同種の部材を大量に製作するような場合に適しているといわれてきた。工期の短縮、静かな現場作業を可能とし、高精度・高品質の部材を生かせる PCaPC 部材を用いた小規模な建築が都市部において建設されている。図 - 2 はその 1 例である<sup>8)</sup>。

#### 2.5 PCaPC 合成床工法

在来工法の RC 床は、その長期たわみは弾性たわみ（ひび割れが生じていないとして計算されるたわみ）の 16 倍として設計される。スパンが大きくなると長期たわみをトラブルにつながる 20 mm 以下に抑えることは困難である。そこで、アンボンド PC 鋼材を配置してプレストレスを導入し、ひび割れおよびたわみ制御が行われている。この場合のたわみ倍率は RC の 1/2 の 8 倍である。最近では施工の合理化の一環で PCa コンクリート板が普及し、スパンが大きくなるとプレストレスを導入し、よりたわみ倍率が小さい PCaPC 合成床が各社で開発されている<sup>9)</sup>。

#### 2.6 免震工法との併用

架構のエネルギー吸収によって地震荷重に抵抗する耐震構造では、大地震時にも安全性は確保されるが、建築物の

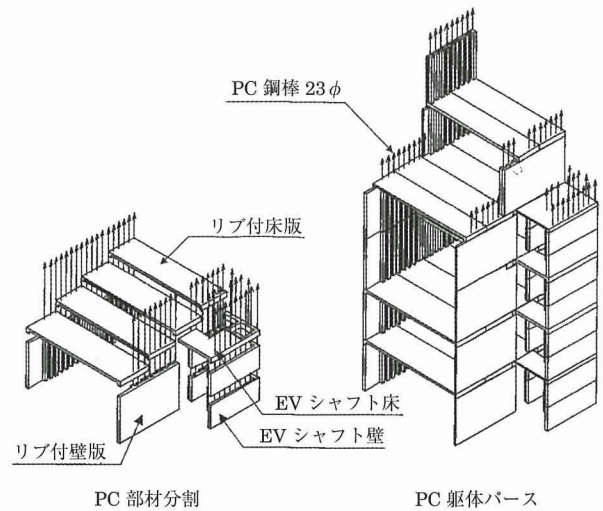


図 - 2 西新橋 296<sup>8)</sup>

損傷が生じる。さらに高い耐震性能、すなわち大地震を受けても架構は弾性応答範囲に留まり、まったく損傷のない状態に保つことを設計目標にすることもある。また、各種器具の損傷や什器の転倒などを避けるため、地震時に生じる応答加速度が大きくなることを設計目標にすることもある。このような場合、上部構造に入力する地震荷重を低減するために、免震工法を採用することが多い。免震装置の水平剛性は建物の水平剛性に比べてきわめて小さく、免震層を含む構造体全体の固有周期を大きくすることにより、上部構造への入力地震動を低減する。そのことによって床の応答加速度が低減され、構造体のみでなく加速度に弱い各種機器や什器の損傷のない建築物を建設できる。地震動の卓越周期に比べて建物の固有周期が大きくなればなるほど建物への入力地震動は小さくなることから PC 構造は水平剛性が大きく固有周期が大きという PC 構造単独では短所となる特徴が、免震工法では有利となる。PC 構造は大スパンで柱の数が少ない点も免震工法では有利である。一方 PC 構造のエネルギー吸収能が小さい点は免震工法によって補われる。このように PC 架構に作用する地震時水平力を減少させる免震構造との併用は、今後の発展が期待

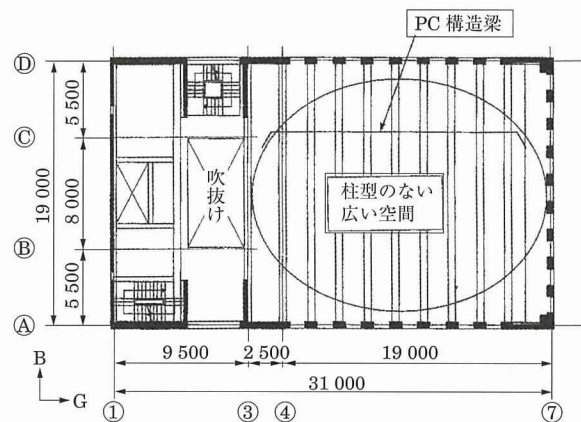


図 - 3 アズワン株式会社本社ビル<sup>10)</sup>

される構造である<sup>10)</sup>。最近は、地震時に防災拠点となるような施設や大きな応答加速度を避けたい病院・電算センターだけでなく、一般の事務所や住宅にも PC 免震工法が採用されるようになった。図 - 3 は、PC 梁の採用により 19 m × 26 m の整形な無柱空間を創出し、免震工法の採用により耐震性能を向上させた事務所建築<sup>11)</sup>である。

図 - 4 は、免震工法の採用により建設されたわが国で最初の PCaPC 超高層マンションである<sup>12)</sup>。

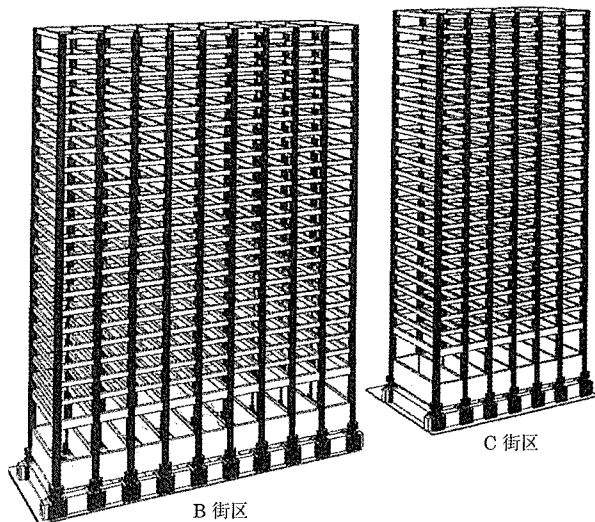


図 - 4 小田急海老名分譲マンション計画<sup>12)</sup>

### 3. PC 技術の紹介

#### 3.1 高強度鉄筋の緊張によるプレストレス導入

高強度異形鉄筋は、SD 490、SD 590、SD 685、SD 785 まで製造されて、SD 490 は JIS 化され、SD 590 から SD 785 は大臣認定品として建築物に使用可能となっている。柱主筋やせん断補強鉄筋として使用されているが、これらの鉄筋を PC 緊張材として利用することも考えられる。

1981 年に日本建築学会プレストレス鉄筋コンクリート (PRC) 構造設計施工指針・同解説<sup>13)</sup> が刊行されて以来、PC 鋼材と鉄筋を併用する PRC 構造が普及している。この構造の特徴は RC 部材のひび割れやたわみを制御するために PC 鋼材にてプレストレスを導入した構造、あるいは PC 部材のプレストレスを減じひび割れが生じた場合のひび割れ制御のために普通鉄筋を配置した構造である。鉄筋が存在するため部材の収縮が少なく PC 鋼材の緊張応力の減少は少ないが、鉄筋には圧縮力が生じるためこれが負のプレストレスとして作用し、コンクリート断面の圧縮応力は大幅に減少する。したがってプレストレスによるひび割れ発生の制御を目標とするのではなくひび割れ発生を前提にひび割れ幅の制御を目標とするのがよい。

この PRC 部材は、鉄筋を緊張することによっても実現できる。この場合、緊張された鉄筋は PC 鋼材と鉄筋の役割を担っている。図 - 5 に SD 490 材を緊張してプレストレスを導入した梁の荷重 - ひび割れ関係と荷重 - たわみ関係を

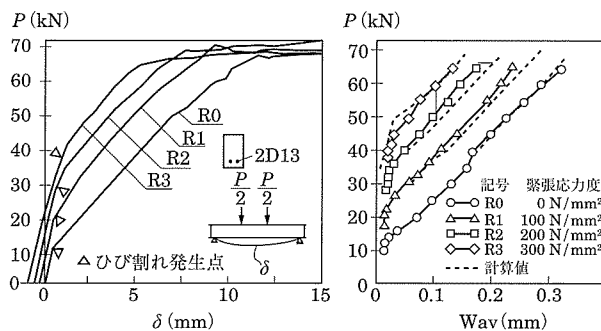


図 - 5 高強度鉄筋の緊張にてプレストレスを導入した梁の荷重  $P$  - たわみ  $\delta$  関係と荷重  $P$  - ひび割れ幅  $W_{av}$  関係

示す<sup>14)</sup>。これらの図から鉄筋の緊張によってひび割れ幅やたわみが制御されていることや緊張しないとひび割れ幅やたわみの制限から高強度鉄筋はその高強度性を有効に利用できないことが分かる。

#### 3.2 アンボンド鋼材の耐震部材への利用

2007 年に PC 建築物に関する告示 1320 号が改正され、アンボンド PC 鋼材が柱や大梁の主要構造部材に条件付きではあるが使用できるようになった<sup>2)</sup>。条件は、限界耐力法によって耐力だけでなく変形も確認すること、および、アンボンド PC 鋼材が破断した場合においても不測の事態を避けるため、付着のある PC 鋼材あるいは普通鉄筋を併用するなどの、少なくとも固定荷重と積載荷重を保持できるような安全策を設けておくことである。アンボンド PC 鋼材を用いて PCaPC 構造を建設すれば、架構の損傷はプレキャスト部材端の仕口部に集中し、損傷制御や修復が容易になる<sup>15~17)</sup>。また建築物の役目が終了した時点では、解体も容易になり、部材の再利用や移築も可能となる。

### 4. 今後の展望

#### 4.1 高強度化

プレストレスコンクリートは元来コンクリートに圧縮力をあらかじめ与えることから大きなエネルギーを蓄えておく、クリープ変形を小さくするなどの点で高強度が求められている。日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説では最低の設計基準強度が 18 N/mm<sup>2</sup> であるのに対して同プレストレスコンクリート構造設計施工規準・同解説の最低の設計基準強度は 30 N/mm<sup>2</sup> である。しかし、混和剤の進歩により 150 N/mm<sup>2</sup> までレディミクストコンクリートが開発され、RC 構造では、高層 RC 建築に使用されるようになった<sup>18)</sup>。一方、PC 鋼材も従来の PC 鋼材よりも 15 ~ 20 % 強度が高い PC 鋼材が開発されている。このような高強度コンクリートと PC 鋼材を用いれば、コンクリート断面が小さく、断面が小さくても配線が容易な PC が可能となる。このようなコンクリートを合理的に利用する PC 構造の発展が期待される。

#### 4.2 損傷制御設計

兵庫県南部地震では新耐震設計法で設計されたコンクリート系建築物が人的被害はないものの大きな被害を受けて解体された。それ以来大地震を受けても地震後も使用でき

ることを目指した、損傷制御設計が望まれるようになった。PC 構造は、大きな荷重が作用してひび割れが生じ大きな変形が生じても荷重がなくなればひび割れは閉じ変形は戻る、優れた復元性をもっている。一方、PC 部材は、荷重履歴関係においてループ面積が小さくエネルギー吸収能が小さいという弱点をもっている。この点を改良するために PC 鋼材の緊張材を通常の場合よりも減じて大地震時に接合部の回転を許容し、エネルギー吸収能を高めた工法も開発されている<sup>17)</sup>。また、前述のように免震装置や制震装置との組合せで PC 構造の優れた面を生かし、弱点を補った建築物が建設されている。

### 4.3 環境への対応

21 世紀は環境問題への対応が求められる。地球温暖化に影響を及ぼす CO<sub>2</sub> 排出量の削減は全産業に課せられている。また廃棄物の最終処分場は年々減少傾向にあり、産業廃棄物削減に対する社会的要請が高まっている。このような状況において建築分野では建築物の長寿命化、省資源化・再資源化、省エネルギー化などに取り組んでいかねばならない<sup>19)</sup>。

これに応えることができるのが PCaPC である。PCa では、製造時には廃棄物が削減され、鋼製型枠により木材資源が節約され、ひび割れのない耐久性に優れた部材が得られる。PC 圧着工法によると、前述のように建築物の役割が終了した時点での解体の容易さ、部材の再利用、あるいは移築も可能となる。アンボンド PC 鋼材を用いた PCaPC 建築物の解体の容易さ、あるいは再利用を目指した研究も始まっている<sup>20, 21)</sup>。

## 5. おわりに

PC 技術は大きな可能性をもっている。その優れた技術をより広く建築に利用していくには、構造技術者だけでなく意匠設計者や発注者の理解が必要である。事務所建築の例で紹介したように、意匠設計者はコンクリートの素材感や PCaPC の構造特性を建築設計に活かしている。一部ではあるが、集合住宅で瑕疵問題にもなるひび割れやたわみの制御に PC 技術が有効であることを知って利用しているデベロッパーもいる。これらの分野の関係者に PC 技術を広めていく努力をしていかねばならない。

### 参考文献

- 阿波野昌幸：大阪市中央体育館の設計施工，コンクリート工学，Vol.34, No.5, 1996 年 5 月，pp.49～60
- 加藤博人：プレストレストコンクリートの改正告示の概要，コンクリート工学，Vol.42, No.11, 2004 年 11 月，pp.3～8
- 大野義照：建築における PC 圧着工法，プレストレストコンクリート，Vol.45, No.4, July 2003 pp.12-17
- 大野義照，渡邊史夫，西山峰広，加藤博人，岸本一蔵：建築物の耐震改修と PC 技術，PC 技術協会第 34 回 PC 技術協会テキスト
- PC 技術の進歩とその応用，平成 18 年 2 月，pp.37-72
- 阿波野昌幸，多賀謙蔵，近藤広隆，鈴木直人：ルーバー状の PCaPC 細柱によるオフィスビルの設計・施工 — 淀屋橋 山本ビル — プレストレストコンクリート，Vol.48, No.4, July 2006 pp.38-43
- 小室 努，河本慎一郎，竹崎真一，甲斐隆夫：知的制振システムを採用した事務所ビルの設計 — 大成札幌ビル —，プレストレストコンクリート，Vol.48, No.4, July 2006 pp.22-28
- 西澤崇雄：河合塾札幌校 — PCaPC 部材圧着工法による中層ビルの設計，PC 技術協会第 37 回技術講習会テキスト，平成 21 年 2 月 pp.31-34
- 徐 光，加藤元樹，高山直行：都市型 PC 住宅の設計・施工 — 新橋 296 一，プレストレストコンクリート，Vol.50, No.4, July 2008 pp.28-33
- 佐藤真一郎：実大住宅における大スパンスラブの長期荷重実験（その 1. 研究概要と実験計画，その 2，その 3）日本建築学会概観集 C-2，pp.103-108，2002 年 8 月
- 渡邊史夫，大野義照，角 彰，林 三雄，松原正安，坂田博史：PC 建築と免震構造，PC 技術協会第 32 回技術講習会テキスト，平成 16 年 2 月 pp.39-76
- 田中秀人，岸本光平，長瀬 正，藤永 弘：免震構造と PC 構造梁の採用により実現された自由度の高い事務所建築 — アズワン株式会社本社ビルの設計施工 —，プレストレストコンクリート，Vol.44, No.4, July 2002 pp.25-30
- 荒木修治，伊藤雅俊，和智美徳，石田雅宏：PCaPC 超高層板状免震マンションの PC 工事報告 — 小田急海老名分譲マンション計画 —，プレストレストコンクリート，Vol.46, No.4, July 2004 pp.40-47
- 日本建築学会：プレストレスト鉄筋コンクリート構造設計施工指針・同解説，1986
- 鈴木計夫，大野義照，白井敏彦：高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した PRC はりの曲げ性状，コンクリート工学年次論文報告集 9-2 1987 pp.489-494
- 西村知明，谷 昌典，西山峰広：プレストレストコンクリート柱梁接合部の損傷評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, 2008 年 7 月 pp.511-516
- キムキョンミン，塩原 等，楠原文雄：施工性と修復性の向上を目指したアンボンド PCaPC 十字型部分架構の耐震実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.3, 2008 pp.343-348
- 中野清司，田辺恵三，町田重美，和田章：PC 圧着関節工法による損失制御設計，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2，pp.893-894，2001 年 9 月
- 陣内 浩，黒岩秀介，寺内理恵子，阿部剛士：設計規準強度 150 N/mm<sup>2</sup> 低収縮型超強度コンクリートの製造と施工，セメントコンクリート，No.723, May, 2007 pp.18-24
- 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針（案）・同解説，2008 年
- 巽 英明，中塚 佑他：アンボンド PC 鋼材圧着工法と剥離性目地によるサステナブル PC 建築についての基礎研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，2006 pp.141-144
- 塩原 等，千葉 脩，楠原文雄：構造安全性と生産合理性の融合を目指した鉄筋コンクリート造事務所ビル建築に関する研究（その 1-11），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，2008 年

【2009 年 3 月 3 日受付】