

建築におけるPC技術の21世紀に向けての期待と展望

大野 義照*

1. はじめに

1928年 E. Freyssinet によってプレストレストコンクリート (PC) が実用化されて以来、PCは引張りに弱いコンクリート部材にあらかじめ圧縮応力を与え、曲げモーメントによる引張応力を打ち消すことによってひび割れを制御し、大スパンのコンクリート架構を可能にする技術として発展してきた。さらに、最近の建築物におけるPC技術は大スパン建築物に限らず多方面に生かされている。プレストレスト鉄筋コンクリート (PRC)、プレキャストプレストレストコンクリート (PCa PC) における圧着工法、合成構造、免震構造との組合せ、耐震補強などその一端を紹介し、建築分野のPC技術の課題と可能性を考えてみたい。

2. プレストレスト鉄筋コンクリート

1970年に当時の国際プレストレストコンクリート連盟 (FIP) とヨーロッパコンクリート委員会 (CEB) の合同委員会、RCからPCまでを対象としたコンクリート構造物設計施工国際指針を発表した。この指針ではコンクリート部材をⅠ種 (PC) からⅣ種 (RC) に分類し、Ⅲ種に普通鉄筋の配筋によってひび割れを許容したPC部材を新しく定義した。日本建築学会では、Ⅲ種PCにRC部材にひび割れ幅制御のためにプレストレスを導入した場合を含め、「プレストレスト鉄筋コンクリート (Ⅲ種PC) 構造設計・施工指針・同解説」¹⁾を1986年1月に発刊した。従来、PCはひび割れを許容していなかったが、このプレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) はひび割れの発生を許容するものである。PC側から見れば、反上りの防止や経済性の点からプレストレス量を減じ普通鉄筋を併用するものであり、一方、鉄筋コンクリート (RC) 側から見れば、RC構造ではたわみやひび割れ幅が過大になるのをプレストレスの導入によって制御しようとするものである。PRCの出現によってプレストレス量が0すなわちPC鋼材がないRCからPC鋼材のみのPCまで連続され、梁における適用スパン長においても10 m程度までのRC、15 m~40 mのPC、その間をPRCとコンクリ

ト系部材で繋げることができるようになった。

この指針によって、RC梁のひび割れやたわみ制御の目的で付加的にプレストレスが導入されるなど、プレストレスの技術が比較的容易に利用されるようになった。集合住宅における小梁をなくすための床スラブへのプレストレス導入も一般的な工法になってきた。ひび割れの発生を許容したPCa PC合成部材、さらに高強度鉄筋によるプレストレスの導入もひび割れを許容するPRCであれば可能である。

2.1 床スラブへのプレストレス導入

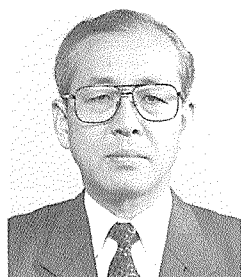
1枚の床スラブ面積が30 m²を超えると過大なひび割れが生じ、たわみ障害が発生する恐れがある。したがって一般には小梁が設けられるが、この小梁が住宅の間取りを制約し、将来の間取りの変更の妨げにもなる。そこで、最近ではアンボンドPC鋼材を鉄筋の配筋作業時に併せて配線し、コンクリートの強度発現後緊張してその吊上げ効果により鉛直荷重の一部を打ち消すことによって小梁をなくす事例が多くなってきている。

2.2 PCa PC合成部材

スラブや梁の一部をPCa PCで作成し、現場で残りの部分の配筋を行い、コンクリートを打設する合成部材がある。とくにスラブにおいては現場で型枠が不要になることから施工の合理化のほか、環境問題の観点から広く用いられるようになった。PC合成部材の設計²⁾では、いわゆるフルプレストレスで行われているが、普通鉄筋の併用によってPRC部材として設計することも合理的である。PCa単体時にひび割れが生じて、そのことは合成部材完成後の設計荷重作用時におけるひび割れ幅には影響しない。また、たわみに関してはPCa単体時のたわみの大きさが合成断面完成時のたわみに大きく影響するが、その後の長期たわみの増加量には影響しない³⁾。ただし、フルプレストレストコンクリート合成部材の応力度はプレストレスによる応力度と設計曲げモーメントを断面係数で除して得られる応力度との和で簡単に算出される²⁾が、PCa単体時、あるいは合成断面完成時にひび割れが生じる合成部材では、そのような簡単な計算法が使えないことに留意する必要がある。

2.3 高強度鉄筋によるプレストレスの利用

SD495、USD685など規格降伏点が500 N/mm²~700 N/mm²の鉄筋が市場に供給されている。このような鋼材を緊張材として使用した場合、フルプレストレストコンクリートではコンクリートのクリープ、乾燥収縮によるプレストレスの減少量が大きく、実用には供しない。普通鋼材の緊張によってプレストレスを導入し、そのほとんどが消失した、PC開発当初の失敗を再現することになる。しかし、PRC部材、すなわち常時荷重時にひび割れが発生した部材においては、緊張応力の減少はなく高強度鉄筋を有効に活



* Yoshiteru OHNO

本協会理事
大阪大学大学院 工学研究科
建築工学専攻 教授

用することができる。すなわち、通常のPRC部材ではPC鋼材と普通鉄筋が併用され、前者の緊張によってプレストレスが導入され、後者にてひび割れを分散しひび割れ幅を許容値内に制御しようとするものであるが、両者のそれぞれの役割を高強度鉄筋にもたすことができる。このことは理論的にも実験的にも明らかにされている⁴⁾。ただし、長期の荷重に対する許容応力度をいかに設定するかという課題がある。

3. PCa PC圧着工法

従来からPCプレキャストコンクリート(PCa)梁と現場

打ちRC柱あるいはPCa柱とを接合する際にプレストレスによる圧着が行われている。兵庫県南部地震では神戸市ポートアイランドも大きな地震動に見舞われ、護岸が著しく損傷したが、そのすぐそばに建つPCa PCの倉庫は無傷であり、その耐震性が証明された(写真-1, 2)。このような梁・柱の接合⁵⁾だけでなく、プレキャスト部材どうしの接合にも圧着工法が用いられるようになってきた。長野多目的運動施設では花びらをかたどったPCa版の接合に用いられている⁶⁾。また愛媛県美術館では圧着によってPCa版を組み立て、プレストレスで強固な箱構造を造り美術品の収納室を作成している(写真-3)⁷⁾。



写真-1 兵庫県南部地震/六甲アイランド4号倉庫の周辺



写真-2 六甲アイランド4号倉庫内部



写真-3 愛媛県美術館

PCaの特徴は、工場生産による高強度・高品質、複雑な曲面も可能な造形性、工期短縮、木製型枠の減少による木材資源の節約・建設現場における廃棄物の減少による地球環境保全などにある。これからの天然骨材の枯渇や熟練技能者の不足によりコンクリートの品質が危惧される中での品質確保や環境問題に配慮すればPCaが優れていることは自明であるが、今後一層の普及には高耐久・長寿命を考えたライフサイクルコストの評価システムが広く認められることが必要であろう。

4. 免震工法との併用

PCの特徴の一つは一方向荷重である鉛直荷重に対する設計を得意とする点である。正負交番荷重が作用する地震動に対してはとくに有利な点はない。また、復元力特性が弾性的で残留変形が小さい利点がある反面、終局時の架構のエネルギー吸収能は一般にRC構造より劣っている。このようなPC構造の長所を生かし、短所を補う方法の一つは免震工法との併用である。

PC構造は鉄骨(S)構造に比べて剛性が大きく、振動障害が少ない点、またS造に比べて重量が大きい点は、ある程度以上の重量を必要とする免震構造に有利である。RC構造と比べてスパンが大きく設計の自由度が増え、また柱の数が少ない点は免震装置の数を減らし、免震装置に作用する軸力を高める点でも有利である^{8), 9)}。

5. 長寿命化

構造物の長寿命化は、環境問題とともに21世紀の課題の一つになるであろう。PCは高強度材料を使用し高機能を有している点でも省資源に寄与している。コンクリートの高強度化によってコンクリートの中酸化や塩化物イオンのコンクリート内部への浸透を抑制し、鋼材の腐食を長期間にわたって防止する。建築物の寿命は材料の耐久性でなく、機能性や社会性から決まることも多い。用途変更等に対応できる広い空間を提供できるPC、意匠的にも可能性を広げるPC PCaは建築物の長寿命化に貢献できる^{10), 11)}。ただし、ポストテンション工法におけるグラウト充填の確実性・信頼性の向上が課題である。その点に加えて施工性の点からアンボンド工法や後硬化型エポキシ樹脂グラウト工法の採用が増えていくであろう。

6. 性能設計

今般の建築基準法・同施行令の改正に伴って、建築物の設計法は従来の仕様規定型の設計から性能規定型の設計に移行する。常時荷重時における要求性能は、いわゆる使用性能でひび割れやたわみ、床スラブの振動性能である。もともとPCは常時荷重に対してひび割れ制御を行い、たわみは釣合い荷重法 (Load-balancing Method)¹²⁾ などを用いて必要に応じて算定している。ただし、床スラブの振動に対する設計法が未整備で、スパンが大きくなればなるほど住宅の性能が振動で決まることが多く、早急な整備が求められる。

兵庫県南部地震被害から、ごくまれな極大地震を想定し

た終局時の安全性のほかに、大地震後の修復性を考えた設計が必要であるという教訓を得た。PCは復元力特性に優れ残留変形が小さいという点で修復性は有利である。合理的な設計限界点の設定など課題は残されているが、使用性、修復性、安全性を設定し、それに応じた設計が31 mを超えるPC建築物でも可能な道筋も示されている¹³⁾。

7. アンボンド工法の耐震部材へ利用

ポストテンション工法におけるグラウトは、鋼材の腐食防止と鋼材とコンクリート間に付着を与えることから重要である。しかしながら、シース内へのグラウト注入は煩雑であると同時にその信頼性が時に問題にされる。あらかじめシース内にグリースを注入したアンボンドPC鋼材を用いたアンボンド工法は現場でのグラウト注入が不要で施工性がよく、また耐久性の点でも優れている。PC鋼材とコンクリート間に付着がない影響は部材強度の低下として現れるが、その点は設計段階で低下分を見込めばよい。課題は定着具の強度である。アンボンド工法の場合、地震時のPC鋼材の応力変動が直接定着具に伝わり、グラウト工法より厳しい状況に置かれる。定着具の地震時の応力変動を対象とした低サイクル疲労強度を確認しておく必要がある。この点に関して、信頼できる試験法が確立していない。また、グラウト工法に比べPC鋼材が破断した場合その影響が連続するスパンにも及ぶので、中間に何らかの定着機構を設けるなどの対策か、あるいは普通鉄筋の併用によってPC鋼材破断の影響を緩和することが必要になる。

今般の建築基準法の改正に伴ってPCに関する告示が出るが、そこではアンボンド工法の耐震部材への適用が認められるようである。同時に定着具の疲労試験方法も制定される予定である。

アンボンドPC鋼材がPC鋼材・グリース・シースから構成されているのに対して、グリースの代わりにエポキシ樹脂をグラウト材として用いているのが、後硬化型グラウトPC鋼材である。エポキシ樹脂は硬化開始時間が制御できるので、PC導入後エポキシ樹脂が硬化すれば、PC鋼材とコンクリート間に付着を与えることができる。かぶり厚さ等で耐火性に配慮することによってその利用範囲は広がっていく。

8. むすび

21世紀の課題は地球環境保全であろう。建設の分野においては上に述べたように建築物の長寿命化が不可欠であり、また建築生産ならびに構造のあり方としてはPCa PCaが一つの回答例を示している。その評価にはライフサイクルコストの考えの導入が必要であり、また一層の普及のためには流通システムの整備なども必要であろう。

ある規模以上の建築物の構造として、鉄筋コンクリート造(RC)、鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC)、鉄骨造(S)、それにプレストレストコンクリート(PC)造が考えられる。どの構造を選択するかは、建築物の規模、スパン、高さ、工期、コストなどによって決められる。スパンの点ではプレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)の出現によって、RC

からPCまで鉄筋量とプレストレス量の調整により、小スパンから大スパンまで可能になった。建築物の高さにおいても、従来低層大スパンに限られていたPC造が、技術の進歩により31 mを超える建築物でも可能になってきた。一方、一つの建築物、あるいは一つの架構でもRC、PC、S、SRCが適材適所で使われるようになってきている。建築物設計の自由度を、あるいは可能性を高めるプレストレスの技術を構造技術者のみならず建築関係者に広め、関係者の理解を深めていくことは、本協会の大きな使命と考える。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：プレレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針・同解説，1986
- 2) 日本建築学会：プレレストコンクリート設計施工規準・同解説(第4版)，1998
- 3) 南ほか3名：プレレスト鉄筋コンクリート合成梁の曲げ性状，プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレレストコンクリート技術協会，pp.403~408，2000.10
- 4) 鈴木，大野，白井：高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入したPRC梁の曲げ性状，コンクリート工学年次論文報告集，9-2，pp.489~494，1987
- 5) 長尾ほか4名：PC構造による大スパン事務所建物の設計と施工，プレレストコンクリート，Vol.40，No.3，pp.50~59，1998
- 6) 齊藤ほか3名：冬期長野オリンピック開閉会式会場PC工事，プレレストコンクリート，Vol.39，No.5，pp.5~14，1997
- 7) 大和田，陶器：PCaPC圧着工法による「組立箱構造」の建築物の設計-愛媛県美術館-，コンクリート工学，Vol.37，No.5，pp.23~30，1995.5
- 8) 福山，上田，池田：プレキャストプレレストコンクリート組立て工法による免震構造建物-興亜火災神戸センター計画-，プレレストコンクリート，Vol.41，No.4，pp.30~34，1999
- 9) 池田ほか3名：プレキャストPC免震建物の地震挙動，プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレレストコンクリート技術協会，pp.383~388，2000.10
- 10) 大野：プレレストコンクリート(PC)造建築物と長寿命，プレレストコンクリート，Vol.42，No.4，pp.13~18，2000
- 11) 辻ほか3名：PCa PCコンクリート工・構法による空港ターミナルビルの建設-那覇空港新旅客ターミナルビルの設計と施工-，プレレストコンクリート，Vol.41，No.4，pp.56~65，1998
- 12) Lin, Burns: Design of Prestressed Concrete Structures, John Wiley & Sons, Inc., 1981
- 13) 勅使川原，町田：構造設計指針の概要-設計指針作成WG-，プレレストコンクリート，Vol.41，No.4，pp.11~14，1999

[2000年11月28日受付]



刊行物案内

PC 定着工法 - 2000年版 -

2000年12月発行

頒布価格：4 000円(送料400円)

体 裁：B5判，220頁(無線綴じ製本)

最新の
「定着工法」を
掲載!!

発行・発売：社団法人 プレストレストコンクリート技術協会