

建築分野における PC 技術の 10 年間を振り返る

深井 悟*

1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) 工学会の 60 周年にあたり、主に 50 周年から現在までの 10 年間の建築分野における PC 技術を振り返り、その後に今後の PC 技術の展望を考える。

最初に、会誌プレストレストコンクリート 51 巻 2 号「特集 50 年のあゆみとこれから (2)」に大阪大学の野義照特任教授の論説「これからの PC 建築」¹⁾ が掲載されている。この記事の中に「今後の展望」の章があり、この内容を参考にして、この 10 年の建築分野における PC 技術の発展などが予想どおりだったのか、想定していなかった技術の発展があったのかどうかなどを検討する。

その次に、最近 10 年の特徴を、地震被害、基標準などの改定、最新の PC 建築の特徴を通して、どのような変化があったのか、新たに取り入れられた技術があるかどうかを検討する。

最後に、これらの結果をふまえて、今後の建築分野における PC 技術がどうなるかの推定を行う。

2. 想定されていた事項に対する検証

前述の「これからの PC 建築」の「今後の展望」の章では、高強度化、損傷制御設計、環境への対応、の 3 つ項目が取りあげられている。これらの項目について、それぞれの技術の発展が想定されていたとおりにあったかどうか、新しい技術の発展があったかどうかを検証する。

2.1 高強度化

建築におけるコンクリートの高強度化は、高さ 60 m を超える超高層 RC 住宅の建物の柱を中心にどんどん進んでおり、10 年前は、Fc100 もかなり使われるようになったところで、Fc150 を使用した超高層 RC 住宅の建物が出始めたところであった。現在では、Fc300 も限定的ではあるが使われるようになってきており、コンクリートの高強度化の面ではこの 10 年はかなり発展してきているといえる。

ただし、建築の PC 梁への Fc100 を超えるような高強度

コンクリートの使用は、柱ほどメリットが少ないため比較的少なく、大林組技術研究所新本館の吹き抜けに架かるスパン約 14 m、幅員 1.7 m、桁高 335 mm、スパン／桁高 ≈ 40 のブリッジ²⁾ に用いられた超高強度繊維補強コンクリート UFC (Fc180) ぐらいである。梁においては、居住性などの関係もあり、コンクリートの高強度化、耐力向上だけではなく、剛性などの確保も必要で、断面の縮小に直ぐには結び付かず、コスト的にもメリットが少ないために、高強度コンクリートの使用が少ないと思われる。

高強度 PC 鋼材については、2011 年にプレストレストコンクリート技術協会 (現 PC 工学会) から「高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計施工指針」³⁾ が出版されており、土木分野においては使用されているが、建築の分野では使用するのに大臣認定が必要なこともあり、私の知るかぎりでは使用されていない。

高強度鉄筋については、10 年前と同じ USD685、USD785 までであり、最近の 10 年間では高強度化はされていないが、製造する鉄筋メーカー自体は増えており、超高層 RC 住宅を中心に高強度鉄筋の使用量は増えている。また、現在本工学会で「高強度鉄筋緊張 PRC 構造設計指針 (案)・同解説」を作成中であるが、高強度鉄筋を緊張材として使用する建物はまだ少なく、現状では一般化しているとはいえない。

2.2 損傷制御設計

阪神大震災以降によくいわれるようになった損傷制御設計については、雑壁の被害が目立って、雑壁にスリットを切ることが主に対策として取られてきたと考えられる。

2015 年に損傷制御も含む性能設計型の指針である日本建築学会「プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針 (案)」⁴⁾ が出版され、2018 年にそで壁・腰壁などを有効に利用し地震後の継続使用を考慮した国土技術政策総合研究所「災害拠点建築物の設計ガイドライン (案)」⁵⁾ が出版され、地震後の使用も考慮した損傷制御設計に対する資料・指針などは整備されたと考えられる。しかし、実際に損傷制御設計され、施工された建物は、まだ免震構造を採用した建物を除けばほとんど無いといわざるを得ない。

2.3 環境への対応

環境への対応は、重要であるとの認識はもたれているが、構造の分野では具体的に進んでいるのは、高炉などのセメント使用、電炉鉄筋、プレキャストコンクリート、ぐらいであろう。再生砕石もあるが、ほとんどの使用は路盤材などで、構造躯体に使われる例は少ない。

プレキャストコンクリートは、鋼製型枠による木材資源



* Satoru FUKAI

(株) 日建設
設計技術センター

の節約、耐久性に優れているなど環境に優しい構造といえる。このことはかなり以前からたびたびいわれているが、なかなかプレキャスト化が進まない現状にあり、この10年もあまり進まなかったと思われる。

3. 最近10年の特徴

最近10年の特徴を、地震被害、基規準などの改定、最新のPC建築の特徴の3つの項目を通して、具体的にどのような変化があったのか、新たに取り入れられた技術があるかどうかを検討する。

3.1 地震被害

最近10年の地震被害としては、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）、2016年4月14・16日熊本地震、2018年6月18日大阪府北部地震、2018年9月6日北海道胆振東部地震などがあげられる。

そのなかでなんとといっても東日本大震災の被害が一番にあげられる。宮城県沖の地震は想定されていたが、このような東日本全域におよぶ大規模な地震が起きるとは10年前では一般的には考えられていなかったことである。

東日本大震災の特徴は、建物の地震動による被害というよりは津波による被害が際立った地震といえる。RCの建物が津波により転倒するといったそれまでは考えていない被害もあった。この津波被害を受けて、津波避難施設が全国各地に建設されるようになってきている。そのなかで、架構がスレンダーで受圧面積（見付け面積）が小さいため津波荷重が小さくて済むこと、耐久性が高いこと、部材成の割に耐力が大きいことなどの理由でプレキャストPCが採用された津波避難施設（写真-1）も実際に建設されている。技術的には従来のものであすが、新たなプレキャストPCの用途の施設といえる。



写真-1 津波避難施設の例（菊浜地区津波避難タワー⁶⁾）

熊本地震においては、2度の震度7の地震があったのが特徴で、複数回の地震に対してどのように対応するか検討が進められている。建物の被害としては従来の地震被害とほとんど同じで、ピロティ、雑壁などの被害であった。また、熊本地震では、杭の現地調査が行われ、PC杭での被害が報告されており、杭の大地震時の2次設計の必要性とともに、PC杭の耐震性についての研究の必要性が高まり、実験なども行われるようになったと考えられる。

3.2 基規準などの改定

2007年にPC建築物に関する告示1320号が改正され、

その後2009年に解説書である「2009年度版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例」⁷⁾が発刊され、実際に限界耐力計算やアンボンドPCの耐震部材に使用した設計ができるようになった。

日本建築学会においては、前述したように「プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針（案）」が2015年に出版されている。この指針は書名に示すように性能評価型の設計指針で、総則、材料編、常時荷重設計編、耐震設計編、部材構造性能評価編、施工編、設計例から成っており、耐震設計は限界耐力計算（等価線形化法）によっている。現在においては「プレストレストコンクリート造建築物の保有水平耐力計算指針（案）」⁸⁾の検討が行われ、2018年にパブリックコメント募集が終了し、2019年度中には出版される予定になっている。この指針は保有水平耐力計算による耐震計算指針で、「鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）」⁹⁾のPC版に相当するものである。

上記の指針などは、現状のPCに関する最新の技術的内容がほとんど含まれており、アンボンド部材や耐震壁などの一部についてはまだ不十分な点があるものの、それを除けば十分に実用的な内容になっている。

3.3 最近のPC建築の特徴

表-1¹⁰⁾に最近のPC工学会賞作品部門（建築）の建物名称と特徴を示す。

表-1 最近のPC工学会賞作品部門（建築）¹⁰⁾

年度	建物名称	特徴
2008	いちとにぶんのいち view	片持ちトラス PRC
	いちい信用金庫 新本店	免震 + PCaPC
2009	カルソニックカンセイ研究開発センター・本社	PC + RC 系の複合構造の事務所
	みなとみらいセンタービル	制振 + 免震 + PCaPC 梁の超高層事務所
2010	昭和学院伊藤記念ホール	折板形のプレキャスト PC 構造ホール屋根
	九州歴史資料館	木造的骨組を RC で表現。PC 合成床版庇の軒裏構造
	立川市庁舎	免震 + PCaPC 圧着 + 鋼管柱の併用の無柱空間
2011	NTT 東日本研修センター 新5号館	PCaPC 造の構造躯体を格子状ファサード
	東京第5データセンター	免震 + PCaPC
2012	東北大学 WPI - AIMR 本館	実験研究棟
	尾道冷凍流通センター	冷凍倉庫
2013	羽田クロノゲート・フォーラム棟 / 託児所棟	逆円錐、円錐 PCaPC
	兵庫県立淡路医療センター	免震 PCa 病院
2014	田辺スポーツパーク 体育館	斜め格子 PCa 柱梁
	稲盛記念会館	細柱 PCaPC
	実践女子学園創立120周年記念体育館	PC 体育館
	ダイキン・オー・ド・シエル 蓼科セミナーハウス	PCa + S 混合構造
2015	市立吹田サッカースタジアム	PCaPC スタンド
	白金の丘学園	板状 PCaPC 張弦構造
	二子玉川ライズ II-a 街区高層棟	免震 + PCaPC
	等々力陸上競技場メインスタンド	サイト PCaPC スタンド
2016	日亜化学工業 諏訪技術センター	PCa + S 混合構造
	愛知総合工科高等学校	PCaPC 校舎
2017	愛知県警察本部庁舎本館	免震 PC 補強
	天理駅前広場コフン (Cofufun)	逆円錐、円錐 PCaPC
	新発田市新庁舎	中間層免震 + ボイドスラブ
	山梨文化会館 耐震改修工事	中間層免震 + PC 耐震改修

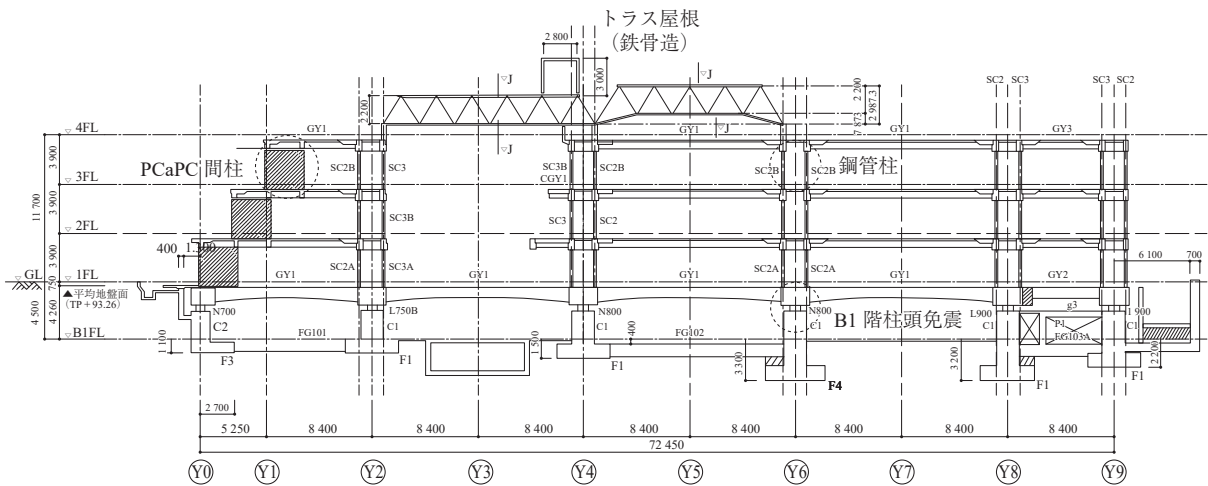


図 - 1 立川市庁舎断面図

これを見ると、従来から良く用いられるスタンドなどの斜め梁などがあり形状が特殊で場所打ちでは難しく PC が向いている建物、同様に形が円錐・逆円錐で PC に向いている建物、ロングスパンが必要な体育館などの建物、細柱などを用いた学校などの建物、構造材を仕上げ材として見せる建物、従来から良く用いられている倉庫などの建物、プレキャスト PC + 免震の建物、耐震補強に PC を用いた建物などに分類される。

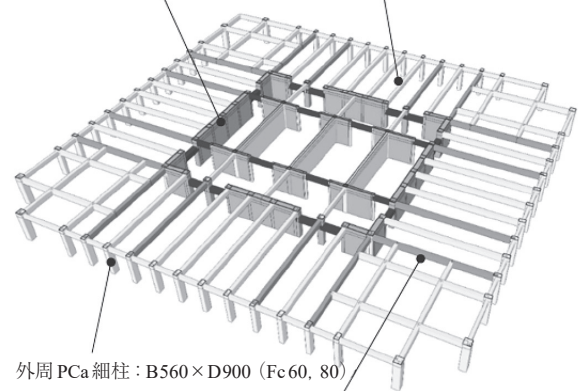
最近の傾向として、すべてをプレキャスト PC とするのではなく、他の鉄骨造などの混合構造の例が多く見られる。免震 + PCaPC + 鋼管柱の立川市庁舎¹¹⁾ (図 - 1) や PCa + S 混合構造の日亜化学工業諏訪技術センターがそれにあたる。それぞれの建物でそれぞれの構造の特徴を生かした形で設計がなされている。とくにそれぞれの建物で異種構造間の接合にはいろいろ工夫しながら設計されていることがうかがわれる。このような混合構造については、要求される用途が複雑化するなかで、今後共増加していくと考えられる。

何年かおきにプレキャスト PC + 免震の事務所の建物が PC 工学会賞を受賞している。プレキャスト PC と免震の組合せは、地震力を減らす免震と、長期性能が良い PC との組合せで相性が良いことによるものと考えられる。その例としてはみなとみらいセンタービルや二子玉川ライズⅡ-a 街区高層棟¹²⁾ (図 - 2) があげられる。それであればもっと PC + 免震の建物が増えて良いと思われるが、PC の事務所が増えないのは、高層 RC 住宅は居住性の観点から RC 造で設計されることがほとんどであるが、事務所は、住宅ほど居住性が問題とされず、コスト、工期などの関係で鉄骨造の方が有利となり、鉄骨造で設計されることが多いためと考えられる。ただし、数年に一度の割合で、条件によりプレキャスト PC がコストまたは工期の点で鉄骨造より有利となり、その時期にあたった建物がプレキャスト PC + 免震で設計されていると考えられる。

その他、最近において耐震補強関係が多くなっているが、これは PC 工学会賞に最近改修部門ができた影響が多く、最近とくに PC による耐震補強が増えたためではないと考

ロングスパン部プレテンション梁 : B500 × D800

コアウォール厚 = 400 ~ 800 (Fc42 ~ 80)



外周 PCa 細柱 : B560 × D900 (Fc60, 80)

ダブル井桁架構ポストテンション梁

(耐力壁架構の曲げ戻し)

境界梁レベルをフロアレベル +1050 に設定。

設備ルートと緊張作業空間として利用

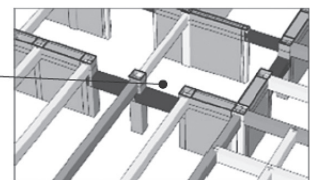


図 - 2 二子玉川ライズⅡ-a 街区高層棟床梁架構の概念えられる。

4. 今後の展望

今後の展望では、最近良くいわれるキーワードに対して、PC 技術が今後どのようなようになって行くかの推定を行う。

4.1 高強度化

建築におけるコンクリートの高強度化は、今までの 10 年に比べれば上昇の率は小さくなるかも知れないが、高層 RC 住宅を中心に今後も進んで行くと思われ、Fc100 を超えるような高強度コンクリートを使用する建物は増えていくと思われる。

PC 梁に Fc100 を超えるような高強度コンクリートを使う建物は、居住性や耐火対策のため現状では余り出てこないと思われるが、屋根で居住性や耐火に関係ない部材や、

安い制振装置や耐火材料が出てくれば高強度コンクリートが使われるようになる可能性はあると考えられる。

4.2 損傷制御設計

現在の損傷制御設計は、まだ応答の最大値に関して行われているものがほとんどで、残留変形まで考えた設計はほとんどない。今後は応答最大値と残留変形の両方を考慮した設計に進んで行くことが必要であると思われ、残留変形まで取り込んだ設計となれば、より PC に有利な状況となり、PC がより使われるようになる可能性は十分にあると考えられる。

4.3 プレキャスト化

環境にも優しいプレキャスト化は、何十年も前から職人不足などによりプレキャスト化は進むといわれてきているが、これまではいわれたようには進んでいない。しかし、昨今の職人の高齢化やリタイアもあり、外国人労働者受入れが成されたとしても、そのまま技量の維持は望むことはできず、労働力不足は何らかの形で対応せざるを得ないのが現実となると考えられる。この対策として、自動化、ロボット化も進むであろうが、プレキャスト化もきわめて有効な手段であり、今度こそはプレキャスト化は進むと思われる。

4.4 リユース・リサイクル化

アンボンド PC 圧着工法を用いれば、リユース・リサイクル化が上手く行くのではないかと話もときどき出ている。リユース・リサイクルの話は前々から出ているが、建築は一品生産であることが多く、敷地形状が違うこともあって、なかなかうまく行っていないと考えられる。実際に良くリユースされているのは現場事務所ぐらいであろう。今後もこのような状況は変わらず、リユース・リサイクルに向く条件の物はなかなか出てこないのではないかと考えられる。リユース・リサイクルではなく、長寿命化を考えた方が良いのではないだろうか。

リユース・リサイクルのときに考えられる規格化については進めるべきものがあると考えられる。完全な規格化ではなく、ある程度幅のあり、融通の利く規格化で、穴あき PC 板のように種類があり、工場で自動的に製作されるような主要構造部材ができるようにならないであろうか。希望的な内容かも知れないが、プレキャスト部材がこのような形になれば建築の現場の状況もかなり変わると考えられる。

4.5 スケルトン・インフィル

現在の IT などの進歩を考えると、建築が自動車のような機械になるようなことも考えられ、今後建築がどのように変わって行くかを想像することは難しい。現に設計当時に最大限の長寿命化を考え、設備更新や改修を想定した建物でもわずか 20 年で解体され、新築された事例がある。このような状況に対して、かなり前からいわれているが、建物としてはスケルトンとインフィルを分けて、スケルトンの構造体を用途や使用法の変更し易い架構とし、構造体を長寿命化するのが現実的な対応ではないであろうか。こ

のような構造体としては PC は向いていると考えられる。

4.6 AI・IT 技術

4.5 節にも触れたが最近 AI や IT の技術に関する進歩は目覚ましいものがあるが、これらが建築にどのような影響を与えるかを予想するのは難しい。構造設計においては AI による自動設計が進むと思われるが、それがどの程度になるかどうかは現状では分からない。もしかすると、構造設計はほとんど自動設計で行われるようになっていくかも知れない。施工においても前述したロボット化、自動化は進むと思われるが、現場においてどの程度進むかは現状では分からない。極論ではあるが、現場での作業はすべてロボットが行い、人間は遠隔地で異常がないかどうかの監視を行うことになっているかも知れない。このような状況にも PC は十分に対応できる技術であると考えられる。

5. おわりに

会誌 51 巻 2 号「特集 50 年のあゆみとこれから (2)」, PC 工学会賞、日本建築学会などの動きを参考に、建築分野における PC 技術の 10 年間でふりかえるとともに、今後の展望について記述した。この内容が何かの参考になれば幸せである。

参考文献

- 1) 大野義照：これからの PC 建築、プレストレストコンクリート、Vol.51, No.2, Mar. 2009, pp.38-41
- 2) 石川郁男他：大林組技術研究所新本館の設計と施工、コンクリート工学、Vol.48, No.10, 2010.10, pp.28-33
- 3) プレストレストコンクリート技術協会：高強度 PC 鋼材を用いた PC 建造物の設計施工指針、2011.6
- 4) 日本建築学会：プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針（案）・同解説、2015.2
- 5) 国土技術政策総合研究所：災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）、ISSN 1346-7328、国総研資料 第 1004 号、2018.1
- 6) 所佳輝他：PCaPC 工法による津波避難施設の施工 - 掛川市津波避難タワー -, プレストレストコンクリート、Vol.56, No.1, Mar. 2014, pp.31-36
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所監修：2009 年度版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例、2009.9
- 8) 日本建築学会：プレストレストコンクリート造建築物の保有水平耐力計算指針（案）・同解説、<http://www.aij.or.jp/jpn/pdf/kouzou/pc2019.pdf>、(参照 2018.1.27 日本建築学会会員専用)
- 9) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説、2016.5
- 10) プレストレストコンクリート工学会賞（平成 21 年度～平成 28 年度）：http://www.jpcci.or.jp/ijij/j_top_h21.htm～[j_top_h28.htm](http://www.jpcci.or.jp/ijij/j_top_h28.htm)、(参照 2018-12-27)
- 11) 城戸隆宏他：立川市庁舎の設計・施工 - PCaPC 間柱を耐震要素とした中間層免震構造 -, プレストレストコンクリート、Vol.52, No.4, July 2010, pp.42-50
- 12) PCaPC 工法による超高層オフィスの設計と施工 - 二子玉川ライズ II - a 街区高層棟の事例 -, プレストレストコンクリート、Vol.58, No.4, July 2016, pp.24-31

【2019 年 1 月 11 日受付】