

PC建築構造物の最近の技術動向と新しい形態

渡辺 誠一*

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下PCと略記）の建築における技術動向を述べるには、過去の技術の流れと、それらに関わる法制や設計のよりどころとなる設計標準の流れなどに言及しなければならないだろう。

我が国でPCに関する研究が始まったのは1941年（昭和16年）に運輸省鉄道技術研究所が鋼弦コンクリート委員会を設置したときからとされている。しかし、建築物に使用されたのは、それより10年後の1951年（昭和26年）に小松市役所地下室床の一部に、福井大研究室で製作されたプレテンション板材であったという。建物としてのPCはその約3年後の1954年（昭和29年）、国鉄浜松町旅客ホーム上家であり、その後、6年後の1960年（昭和35年）に、PC建築に関する法令が建設省告示223号として初めて制定された。しかし、PC建築は新しい工法として建築物の高さが16m以下とされた。

この告示がだされるまでの6年間に、PC技術が西欧からの導入であったことからプレキャスト部材による構成や鉄筋コンクリート（以下RCと略す）構造に組みこむものが多かったが、約40件に及ぶ建築物が竣工している。

1961年（昭和36年）には、それまでの研究成果や施工実績をもとに、日本建築学会から「プレストレストコンクリート設計・施工規準・同解」が刊行された。この規準は、学会でも類をみない終局強度設計法を採用したもので、当時、許容応力度設計法になれていた技術者に

とって、取り組みにくい感じがしたものであった。これが、PC設計の一般技術者にオープンになった元年といえる。以後、法制は1973年（昭和48年）に前記告示が改正され、16mの高さ制限がはずされ、高さ45mまでの建築に拡大された。そして、1981年（昭和56年）新耐震設計法が施行されるに及んでPCに関する条項も調整され、1983年に建設省告示第1320号とし改正され今日に至っている。

一方、日本建築学会の諸規準も改定、新しい規準の刊行など設計技術への多くの指針をだした。以下、項目のみをあげる。

- 1975年 上記規準の改定。アンボンド工法を導入
- 1981年 「アンボンド工法用PC鋼材と施行時の取扱い」を發表。
- 1984年 「プレストレスト鉄筋コンクリート（以下PRCと略す）（Ⅲ種PC）構造設計施工指針」を發表。
- 1987年 PC規準の改訂。新耐震設計法との整合をはかる。
- 1981年 「建築耐震設計における保有耐力と変形性能」

また、日本建築センターからも1983年（昭和58年）に「プレストレストコンクリート造設計施工指針」が出され、一般技術者にとって設計資料が整えられたことになる。これらの法的かつ設計資料の下において、PCの技術が、実際建物にどのように生かされ、今日に至ったのであろうか。その流れの中には、社会情勢、——景気、労働事情、すなわち、建設コスト、地球環境が深く関りあうのである。

2. PC建築技術の動向

2.1 PC建築技術の流れ

初めに述べたように、我が国のPC建築が、1954年竣工の国鉄浜松町旅客ホーム上家を原点とすれば約42年の歴史がある。当初はプレキャストPC部材の組立工法など試験的なもので、国鉄関係建家が多く、国鉄の技術陣がそのパイオニアであったといえる。以下、PC建築の主な技術の足跡をたどることとする。年代はいずれ



* Seiichi WATANABE
椋山女学園大学
生活科学部生活環境学科
教授・工博

も竣工年とする。

1954年

プレキャスト組立架構（自立柱）の第1号

○浜松町旅客ホーム上家（設計国鉄東京工事局）¹⁾

1957年

本格的なPC不静定架構建築の第1号²⁾

○兵庫県南淡町庁舎 1スパン, 3階建て²⁾

（設計：京都大学増田研究室, 坂研究室）

1959年

プレキャストPCタイドアーチ架構への試み

○大井工場塗装職場 スパン25.5m, 平屋¹⁾

（設計：国鉄東京工事局）

1960年

全プレキャスト組立PCラーメン事務所建築

○オリエンタルコンクリート本社³⁾ 4階建て, 1スパン21.8m

（構造設計：横山建築構造設計事務所）

1961年

円筒シェル屋根への応用

○勝田電車庫¹⁾ スパン11.0m, 桁行17.10m

（設計：国鉄東京工事局）

HPシェル屋根への応用

○鳥羽下水処理場ポンプ場 スパン¹⁾ 44.4m × 44.4m

（設計：京大増田研究室, 横尾研究室）

1962年

折板屋根1号

○大井工場食堂¹⁾ 2階建て, 32m × 36.6m

（設計：国鉄東京工事局）

現場打ち一体式PCラーメン架構の第1号

（割柱工法－特許）

○埼玉農林会館⁴⁾ 4階建て

（設計：東工大清家研究室）

1967年

プレキャストPC格子梁の最初

○国際キリスト教大学基礎理学本館⁵⁾ 3階建て

（設計：増田構造事務所）

1968年

プレグリットシステム構造の提案

○千葉県立中央図書館⁶⁾ 地下2階地上3階建て, 18.0m × 18.0m

（構造設計：木村俊彦）

1973年

現場打ちPC造格子梁の試み

○津市民プール上家⁷⁾ 平屋, スパン27.0m × 27.0m

（設計：鎌田建築設計事務所）

1979年

PC高層建築への挑戦

○福岡歯科大学⁸⁾ 地上9階建て, スパン14.78m, 高さ38.1m, センターコア形式

（設計：現代建築研究所）

1980年

アンボンドPCケーブル使用建築始まる。

○近畿郵政局資材部倉庫⁹⁾ 3階建て, スパン18.0m

（設計：郵政大臣官房建築部）

アンボンドPRC建築の出現

○三井銀行農中支店⁹⁾ 地下1階地上3階建て, スパン16.7m

（設計：大林組東京本社）

1982年

本格的なPCトラス（ハウトラス）へ

○滝根勤労者体育センター¹⁰⁾ 平屋, スパン31.5m

（設計：山口建築設計事務所）

プレキャストSPC合成工法——SRC柱とPC梁

○東京三郷浄水場¹¹⁾ 地下1階地上2階建て

（設計：東京都水道局, 日新設計）

1985年

プレキャストPCドーム——曲面板のプレキャスト化

○国際科学技術博覧会国連平和館¹²⁾ 直径41.0m, ライズ20.5m（科学博終了後とりこわされた）

（設計：計画連合, 構造設計集団）

○つくばエキスポセンタープラネタリウムドーム¹²⁾ R=36.9m, ライズ10.7m

（設計：日本設計, 佐藤武夫設計事務所JV）

1986年

プレキャストPC段床

○大阪市長居公園球技場³⁾

以上、現在より約10年以前の主なPC技術・工法の最初の試みと思われるものについて挙げた。しかし、これ以外にも、PC技術の建築における応用例で調べの及ばなかった上手な使い方が数多く存在するのかもしれない。

このほかに、PCとは直接つながらないが、1961年に竣工したHPシェル吊構造の西条市体育館¹⁾（48m × 43.2, 設計：坂倉準三, 構造設計：岡本剛）があり、曲面構造のPC応用のパイオニアであろう。また、プレストレスの応用としてプレビーム工法¹³⁾などは異色の技術であろう。

2.2 最近のPC建築

最近のPC建築の動向をみると、上記に述べた、各

時代に新しく試みられた設計・技術が、起点となり、より創意工夫され、研究され、洗練されて今日に至っている。例えば、場所打ち一体式 PC 架構は、当初、梁のプレストレス導入効果を確実にするため、柱割工法（柱の剛性を低くするため、柱を2本に分け中部分を後打ちコンクリートとした）から出発し、プレストレス導入の現場実験とともに、その工法は行われなくなった。また、隣接壁などプレストレスの導入に支障となる場合は、壁の後打ちとか、床に縁切目地を設けるなど施工が煩雑であったが、それをクリアーするための隣接壁によるプレストレス損失を考慮した設計法なども研究され¹⁴⁾、施工の容易さを追求するなどは技術進歩の一例である。

以下、工法ごとに述べることにする。

（1） 場所打ち一体式 PC 架構

さきに述べたように、プレストレスの導入が、架構にどのような応力分布を与えるか、すなわち、定着端からの応力分布、曲げ応力に対するスラブ協力幅、定着時セットロス、PC 鋼材とレースとのフリクションによるプレストレス力のロス、等々一体式 PC 架構の応力状態は、PC 不静定架構のクリープ応力解析²⁴⁾も含めて技術的にはほぼ完成されている。

しかし、かつて多く用いられたこの工法も、労務事情の悪化などから、今日では床面積の大きい建築物、例えばショッピングセンター、流通倉庫などではだんだん少なくなり、プレキャスト PC 工法に取り替わっている。

一方、PRC 構造の設計指針が出されるに及んで、RC 構造の一部に PRC 構造が用いられ、中小の事務所建築、銀行支店など張り間の比較的大きい空間に幅広く用いられている。また、グラウトを省略できるアンボンド PC 鋼材は、フラットスラブの倉庫、ショッピングセンター、中高層の集合住宅の床に多く用いられており、

RC 造の性能改善と PC 工法の省力化がはかられている。

（2） 全プレキャスト PC 組立ラーメン架構

ここ7~8年の間に、この工法はきわめて多くなり、この数年の間に、大型の延面積の大きい建物、神奈川システム物流センター¹⁵⁾をはじめ、倉庫、ショッピングセンター、駐車場など、かつて現場打ち工法で行ったものが、今日の労務事情の逼迫から、建築コストがペイするようになり、その建築物件数は枚挙のいとがなないほどである。特に、柱・梁の圧着接合のディティールの開発、工夫、合成床版の各種開発などが、施工における仮設材の省略、すなわち、現場廃棄材の減少など、省資源からも大きなメリットが生れることとなった。結局、これがコストに有利に作用している。また、この工法による工期短縮は見のがせない。一方、品質管理面でも、大きなメリットがあり、今やこの種の建物では鉄骨構造を凌駕しようとしている。圧着工法の一例を写真-1、図

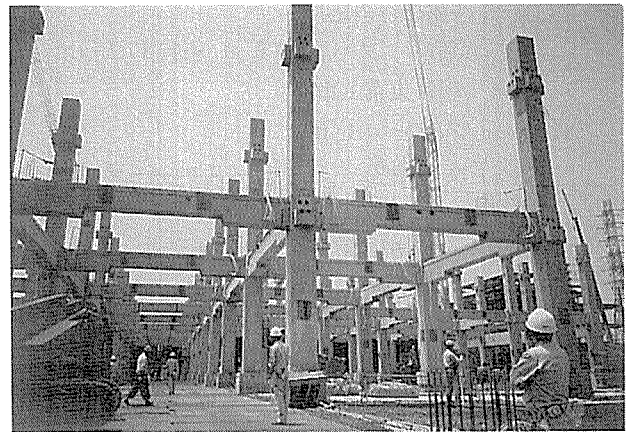
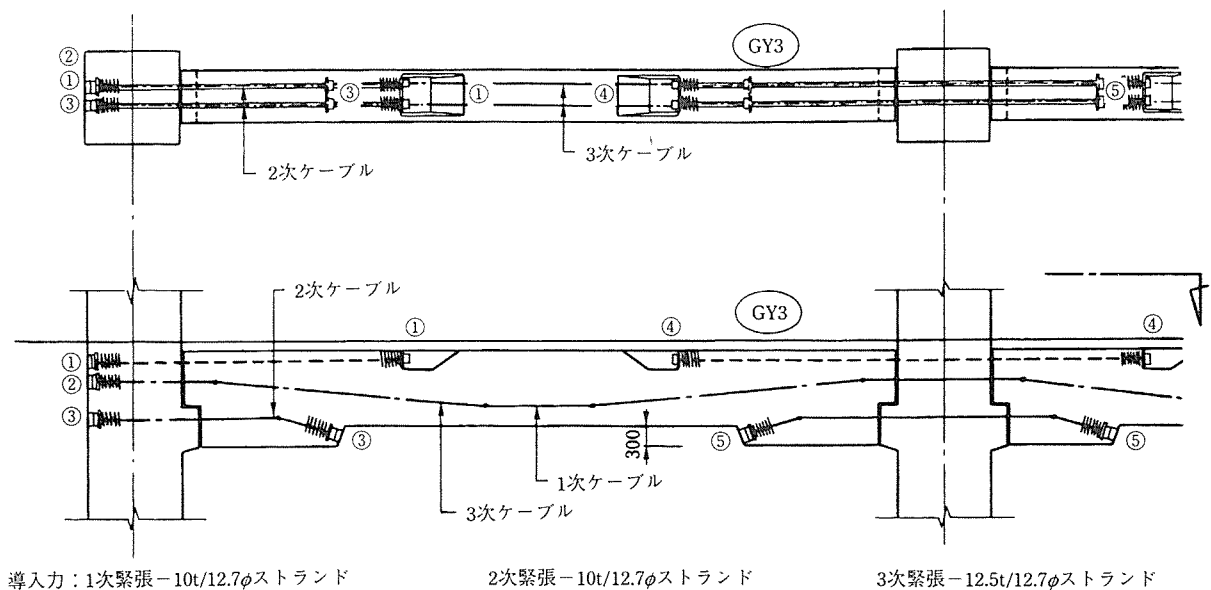


写真-1 全プレキャスト PC ラーメン圧着工法 (4階建て、ダイエー神奈川流通センター) <筆者指導・現施工中>



導入力：1次緊張-10t/12.7φストランド

2次緊張-10t/12.7φストランド

3次緊張-12.5t/12.7φストランド

図-1 連続スパン柱・梁圧着工法の例¹⁶⁾

-1に示す¹⁶⁾。

(3) 各種構造へのPCの応用

今日においても、場所打ちからプレキャスト化された部材を接合することによりHPシェル、折板、ドーム、格子梁アーチなど現代におけるデザインの一形態を形づくっている(写真-2)。

(4) 建築用部材、部品

プレキャストPC部材として各種合成床版、競技場スタンドの床版、カーテンウォール、屋根板などが開発され実用に供しており、中高層の住宅用の壁板などさらなるPC技術の開発が望まれよう(写真-3)。

(5) 大空間建築

大空間建築におけるPCは、我が国においては残念ながらまだ立ち遅れている。

例えば、東京ドーム(56000人収容)は直径201mの空気膜屋根であり、福岡ドーム(52000人収容)が直径222mの鉄骨造開閉屋根である。

また、現在、建設中のナゴヤドーム(40500人収容)は直径183.6mの鉄骨造単層ラチスドームである。一方、PCドームでは、現在建設中の大阪新中央体育館(仮称)が大型の構造で、メインアリーナが110m、ラムズ16m、サブアリーナが直径52m、ライズ8.5mのコンクリートドームになっている。このドームは、プレキャストPC梁とPC板に場所打ちコンクリートの合成シェル構造で、アリーナを含むすべての施設が地下に設

けられ、ドームの上全体が盛土と植栽がなされ緑の市営公園となるもので、まさに、地下体育館、緑の環境保全に一役かっているきわめてユニークな施設である(写真-4)。

このような屋根荷重の大きい構造物こそPCの真価が発揮できるものであり、今後この種の建築を期待したい。

2.3 海外の大型PC構造物

ここでとりあげるのは、プレキャストPC建築の本場である海外において場所打ちPC屋根、および場所打ちPCタワー、PCを部分的に使用した構造物の例をあげる。

(1) KING COUNTY STADIUM^{19),20)} (写真-5)

アメリカはシアトル市に1976年に建設されたこのスタジアムは、65000人を収容できる当時世界一のものである。このドームの直径はクリアスパン201.6m、フロアからの高さ76.2mで、すでにご存じの方も多いと思う。約3年の工期を要したこの建物は、場所打ちRCおよびPCとプレキャストPCの混用となっている。ドーム屋根を支える40本の柱はRC造で、外周の梁段床部および屋根テンションリング(幅7.32m)はポストテンションによるプレストレスを導入している。屋根は40枚のリップ付きシェルで、これは場所打ち鉄筋コンクリートとし、4枚を点対称にして1単位とし、型枠の

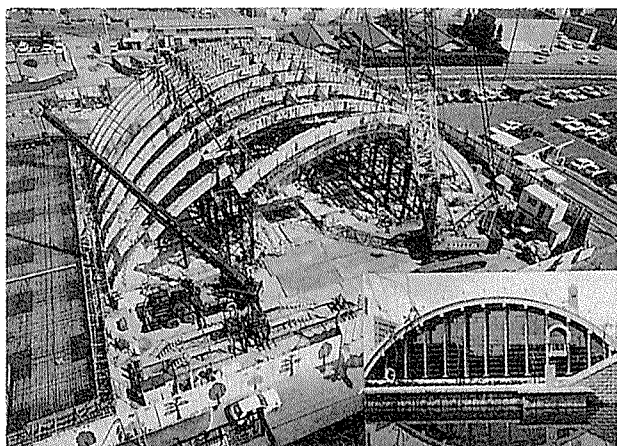


写真-2 PCアーチ(瀬戸大橋架橋記念館)¹⁷⁾



写真-3 PC段床(千葉マリンスターム)¹⁷⁾

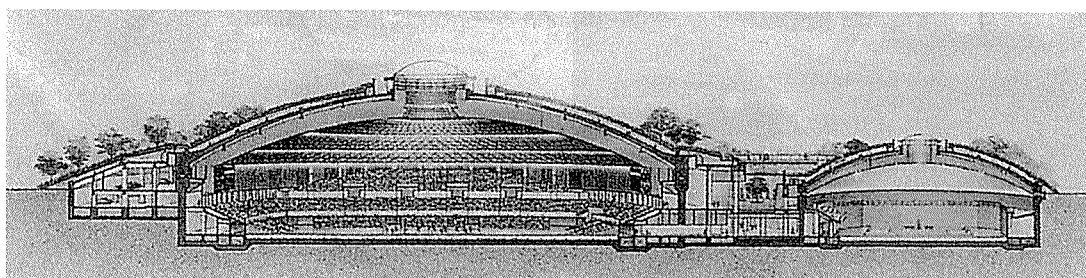


写真-4 大阪新中央体育館(仮称)断面¹⁸⁾

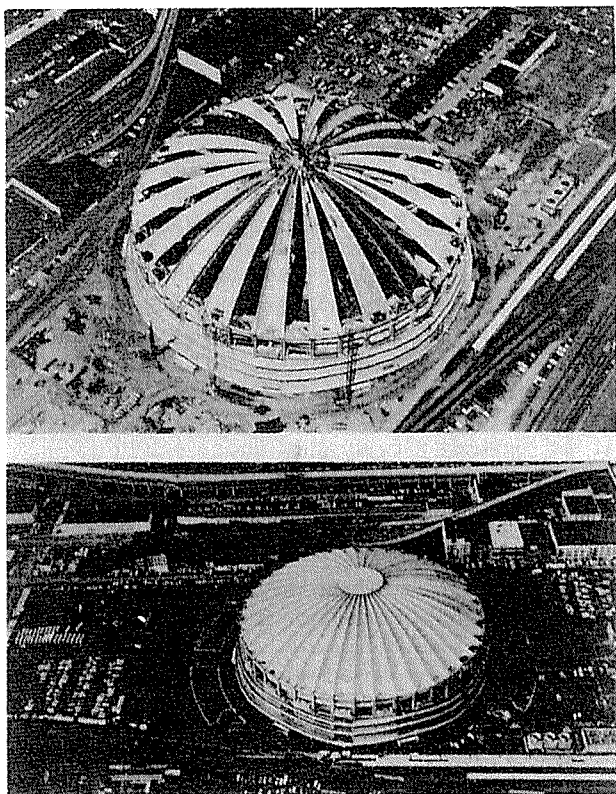


写真-5 KING COUNTY STADIUM 施工中¹⁹⁾

転用をはかり、バランスよく順次施工し、工費の節減をはかったという。またこのドームの耐震設計は修正メリカリー震度7~8程度としている。20年前の技術としては、目を見張るものがある。

(2) NEW PARLIAMENT BUILDING²¹⁾ (写真-6)

ニュージーランドウェリントン市の国会議事堂は、1979年に建設された、デザインがきわめてユニークな建物である。この建物は直径46.5mの円形で、鉄筋コンクリート造、一部PCを用いている。この建物は直径



写真-6 PARLIAMENT BUILDING²¹⁾

約20m円形のセンターコアを耐震架構とし、地下1階地上12階からなるが、PCは5階のリングビームに用いられ、傾斜した柱のスラストを止めている。また、2階から4階までの外周飾柱がクラック防止と仕上げを良好に保つためプレキャストPC部材としている。PC部材を適材適所に用いた例であろう。

(3) CN Tower²²⁾ (写真-7, 図-2)

このタワーは、カナダトロント市にある場所打ちポストテンションPC構造とした高さ553mの世界一の高さを誇り、1976年に建設されたものである。このタワーの平面形状は三差状で地上から順次小さくしぼられている。タワーの下部442mまでがPCで、スリップフォームで建設され、コンクリート強度は F_c 350でフ

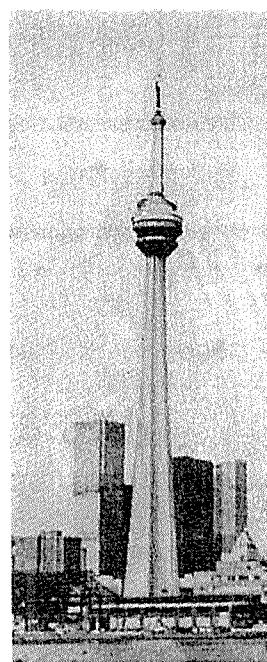


写真-7 CNタワー²²⁾

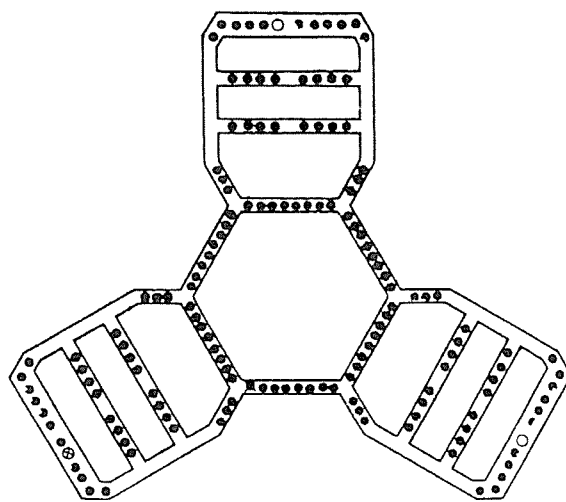


図-2 CNタワー平面PC tendon配置²²⁾

ルプレストレスとしており、頂部マスト 107 m は鋼製である。これが 20 年前の技術とはとても考えられない。現在ならどのような工法をとるであろうか。

(4) Sky Tower²³⁾ (図-3)

このタワーはニュージーランドのオークランド市に現在建設中(工期 3 年, 1997 完成予定)のものである。高さは世界 7 番目の 326 m, 見学者スカイデッキが 217.9 m に位置し, シャフトは鉄筋コンクリート造で 225.6 m までとし, 上部のマストは 92.6 m の鋼製となっている。このタワーにおける PC 技術は, RC シャフト(12 m φ, t=50 cm)にとりつけられた下部の 8 本の円柱, および上部の通信施設のはねだし床を支える壁梁である。すなわち, RC シャフトから外部に取り付く部材がプレキャスト PC 部材であり, その取り付け方もプレストレスングシステムによっている。特にタワー下部の 8 本のプレキャスト PC 円管に場所打ちされたコンクリート柱はタワーの重量も一部支え, タワーの剛性と強度に対してデザインされたものという。ニュージーランドは地震国であることから耐震設計も現場から 40 km で Richter マグニチュード 7.0 としている。設計風速は, 1000 年の再現期間による値によっている。

以上, 海外における大型構造物の PC 技術とその応用例をとりあげてみたが, 我が国においては, このような大型構造物は少なく, 特にタワーでは例がないと思われる。

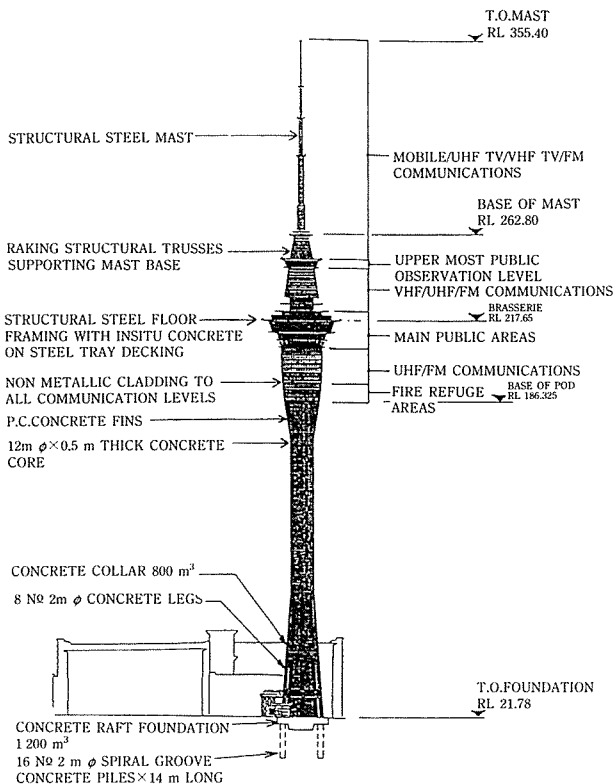


図-3 Sky Tower²³⁾

3. 将来への展望

過去の PC 技術を訪ねて, 現在までの PC 建築の動向を概観したが, 将来に向けての夢はなんであろうか。それはプレストレスコンクリートの特性をいかに建築構造に生かすかであり, 建築計画, 意匠, 構造計画に関わるクリエイトであろう。それには, 材料の開発もかかせない。上に述べた海外の例でも, とても 20 年前の技術とは思えない。そして, それらは適材適所に PC 技術が生かされている。

現在のレベルすなわち, 省力, 省資源, 自然環境の保護などの観点から PC 技術の建築への応用を展望したい。

1) PC にかかわる材料の開発

- 耐久性に富んだ軽量高強度のコンクリート——部材のサイズダウンにむけて
- グラウト工事の省力化をはかるための PC テンドン——ボンドタイムを自由に設定できる瞬間ボンド発生機構
- アンボンド工法の活用——地震力など水平繰返し応力のかかる架構に使用することが認められていない。それは, 定着具の破損が, 構造全体へ影響するからとされているが, 安全な定着具が開発されないものか。一歩さがって, 定着部から, 希望する所定の部分のみアフターボンドとなるようなテンドンはできないものか。アンボンド部とアフターボンド部が自由に選べる PC テンドンが不可能なら, 梁端にある長さのアンボンド部をつくることによりダクタイルな部材が可能と思われる。
- フリクションロスが少ない PC 鋼材——鋼材の節減につながる定着具のセットロスを少なくした部品——クサビのセットロス——工法によるとはいえ, 百年一日のごとく, 死守する特許工法では夢がない。プレストレス導入力の効率を上げたい。

2) プレキャスト化へ——工業化工法のさらなる推進

- プレキャスト部材接合法の研究と工業部品としての統一化, 定着工法, 鋼材を利用した継手——古くからいろいろ行われている。柱・梁接合部の標準化などが望まれる。
- プレストレス導入による高品質, 高耐久性二次部材の開発
- 高層建築への適用, ——プレキャスト柱・梁・部材の接合法の開発——ダクタイルフレーム接合など耐震設計指針が望まれる。これは建設省建築研究所を中心として, 官, 学, 民が共同で開発中(PC 共同研究)である。

3) 地下構造物, 人工地盤などへの応用

- 4) RCタワー，高層RC煙突への応用
- 5) RC建築の性能改善への応用
壁のひび割れ，屋根の防水，床のクリープ，収縮クラックなどに対処したアンボンドPC鋼材の高度な利用
- 6) プレストレスの原理を力学機構に応用する
 - プレストレス導入による可変剛性機構のあるPCブレースの普及と製品開発
 - プレストレス入り耐震壁，プレキャスト壁式組立工法への利用
 - 鉄骨柱のPC鋼材を用いた固定または半固定柱脚——柱脚の回転剛性をコントロールする。
 - PCアースアンカー工法を高層建築の転倒，基礎回転剛性へ応用
 - 鉄骨トラスへの応用——下弦材にプレストレスを導入することにより，鉄骨鋼材の節減，たわみをコントロールする。張弦梁にプレストレスを入れることもその一例であろう。

以上，PC技術のさらなる開発そしてその応用は建築形態も含めて洋々たるものがある。

4. おわりに

将来のPC建築構造を述べるにはいささか，小生には荷が重すぎた。古い協会誌をたどりながら，あるいはFIP Notesを読みかえしてみて，先人のPC技術への果敢な挑戦には頭の下がる思いがした。おそらく，他の構造との経済比較において，優位にあったとは思えないが，全体コストの中で努力されたものと思われる。プレキャスト組立工法は一時代前まで，コスト比較において高嶺の花であった。経済成長に加え，労務人口の減少，人件費のアップは，現場作業から，能率化された工場製品——工業化工法——へとなお一層進展することだろう。それは省資源・自然環境の保護につながるものであり，そして，それは重量と強度への挑戦であり，軽量高強度PC構造が鉄骨構造と競合することになるだろう。

引用・参考文献

- 1) PC建築設計施工例，鉄道建築協会編，彰国社
- 2) プレストレストコンクリート，1963，第5報，プレストレストコンクリート工業協会
- 3) プレストレストコンクリート，Vol. 2，No. 4，1960
- 4) プレストレストコンクリート，Vol. 4，No. 4，1962
- 5) プレストレストコンクリート，Vol. 9，No. 3，1967
- 6) プレストレストコンクリート，Vol. 10，No. 4，1968
- 7) プレストレストコンクリート，Vol. 15，No. 2，1973
- 8) プレストレストコンクリート，Vol. 21，No. 3，1979
- 9) プレストレストコンクリート，Vol. 22，No. 6，1980
- 10) プレストレストコンクリート，Vol. 24，No. 1，1982
- 11) プレストレストコンクリート，Vol. 25，No. 2，1983
- 12) プレストレストコンクリート，Vol. 27，No. 2，1985
- 13) プレストレストコンクリート，Vol. 28，No. 1，1986
- 14) 渡辺誠一ほか：現場打一体式PCラーメン構造の面外隣接壁によるプレストレスの損失について，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），1981年9月，2855
- 15) 田辺恵三：急速施工によるプレキャストPCラーメン構法，プレストレストコンクリート，Vol. 32，No. 3，1990
- 16) 町田重美ほか：東京貨物ターミナル駅複合施設の構造設計，プレストレストコンクリート，Vol. 34，No. 31，1992
- 17) FIP Symposium '93（京都），技術展示会ガイドブック，Booth 10，フドウ建研（株）
- 18) 特集 大規模競技施設の今 大阪市新中央体育館（仮称），設計 大阪市都市整備局営繕部・日建設計，日経アーキテクチャ1996. 1-1
- 19) FIP Notes 81，July-August 1979，pp. 20~21
- 20) JOHN V. CHRISTIANSEN ; SKILLING, HELLE RISTIANSEN. ROBERTSON : THE KING COUNTY MULTIPURPOSE DOMED STADIUM, IASS World Congress on Space Enclosures Research Centre, Concordies, Montriol, July ' 76
- 21) FIP Notes, 1983/1, pp. 13
- 22) 荒木毅訳：CNタワーのプレストレッシング，プレストレストコンクリート，Vol. 18，No. 6，pp. 50~58，(Franz・Knoll, M. John Prosser, and John Otter : Prestressing the CN Tower, Jour. of P.C.I. May-June, 1976)
- 23) FIP Notes, 1996/1, pp. 16~19
- 24) 渡辺誠一：京都大学博士学位論文 プレストレストコンクリート不静定架構のクリープ応力解析に関する研究，1992

【1996年8月26日受付】