

# プレストレストコンクリート 50年とその展望

池田 尚治\*

## 1. はじめに

（社団法人）プレストレストコンクリート技術協会（以下PC技術協会）が設立されたのは1958年であるから今年（2008年）はちょうど設立後50年を経過した年である。1958年は筆者にとっては大学3年生の頃でようやく土木工学の専門教育の勉強に没頭し始めた年である。1945年の終戦からようやく13年が経過し、また、悲惨な朝鮮動乱（1950～1953）も終結し、冷戦下ではありながらわが国が安定を取り戻して大きく成長を始めた時期でもあった。当時わが国ではPC技術は建設分野にとっての最新の技術であって欧州からの技術導入により華やかに展開を始めた頃であった。翻って2008年の現在の状況を見るとわが国の工業国としての発展と歩調を合わせてPC技術も世界最先端を進む状態になっており、まさに隔世の感がある。この間の関係者の情熱と努力が今日の状態を生み出したことは当然のことである。現在の世界的な金融不安に基づく厳しい経済状況のなかで今後PC技術が順調に発展するためにはこれまでの発展のポイントを十分にレビューしながらPC技術の本質を認識することが必要と思われる。

以上の趣旨から、ここではこの50年間を顧みることによってわが国におけるPC技術の今後の展望を探ってみたい。

## 2. 昭和30年頃のPC技術とその後の示方書の推移

PC技術協会が設立された昭和33年（1958）の頃には、すでにそれまでのPC技術に関して国内に於ける確固とした適用例と海外に於ける大きな実績とが認められていた。フレシネーが1928年（昭和3）にPCに関する実用的な特許を取得したのは1929年の世界大恐慌の1年前であった。それ以来ほぼ30年を経過していたにもかかわらずわが国では第2次世界大戦への無謀な参戦と敗戦そしてその後の混乱によってPC技術は諸外国から大きく遅れをとることとなった。わが国初めてのPC橋である石川県七尾市の長

生橋は支間3.6mのプレテンション梁を用いた3連の道路スラブ橋（橋長11.6m、有効幅員6m）であり昭和26年（1951）の完成であるがその頃フランスではフレシネーによって支間74mのマルヌ5橋（Ussy, Changis, Esbly, Trilbardou および Annet の5橋）を完全なプレキャスト工法で架けたのである。長生橋は河川改修のため平成13年に撤去されることとなったが関係者の努力により市内の希望の丘公園に移設され保存されることとなった。写真-1に公園のクリーク上に架けられた往年の長生橋の移設された状況を示す。写真-2に長生橋の竣工年月を彫りこんだ移設後の橋名板と親柱を示す。



写真-1 移設して保存された長生橋（2008年11月松本一昭氏撮影）



写真-2 長生橋の竣工年月を示した橋名板（2008年11月松本一昭氏撮影）



\* Shoji IKEDA

(株) 複合研究機構代表取締役  
横浜国立大学名誉教授

ドイツでは筆者が生まれた1937年にディッシンガーによって外ケーブル方式のアウトエ高架橋（中央スパン69m）が完成した。完成時にこの橋は当時の独裁者の名前であるアドルフ ヒットラー橋と命名されたのである。戦後はフィンステルバルダーによって片持ち張出し架設工法が開発され1950年にはスパン62mのバルドウインシュタイン近郊のラーン橋（Lahn Bruecke bei Balduinstein）が建設された。その後、画期的な長大橋であるスパン208mのベンドルフ橋がライン川に建設され供用されたのは1965年であった。なお、フィンステルバルダーは第一次大戦のときにフランスの捕虜収容所に収容され、そこで数学を勉強して戦後シエルの設計でも活躍した。

わが国においても片持ち張出し工法の有用性が神奈川県庁の上前行孝技師によって認識され、多くの困難を乗り越えてドイツからその技術を導入して1959年に建設されたのが神奈川県のスパン51mの嵐山橋であった。当時はドイツ人技師ショルツ氏およびショイヤー氏が技術指導にあたったのである。その頃からわが国の国力も向上し、日本の技術者が海外、とくに欧州のPC橋を視察や調査をし、あるいは長期研修に派遣されるようになった。

1954年（昭和29）には鉄道橋としてほとんど世界で初めてのスパン30mのポストテンションPC橋である第一大戸川（だいどがわ）橋梁が仁杉 巖博士を始めとする国鉄技術陣の熱意によって完成した。建設に際してはフランス人技術者コバニコ氏の技術指導を受けた。この橋梁は現在も信楽高原鉄道の橋梁として供用中でありきわめて高いコンクリートの品質が確認されている。今年（2008年）6月にこの橋梁はPC橋として初めて国の登録有形文化財となった。このようにしてわが国のPC技術はフランスやドイツの最先端の技術を吸収し発展を続けてきたのである。

米国に於いては戦勝国であったにもかかわらずPC技術は戦後ヨーロッパから学び始め、米国最初のPC橋であるフィラデルフィアのウォルナットレーン橋（Walnut Lane Bridge 単純桁3連、中央スパン49m）が完成したのは1951年であった。この橋梁はベルギーのマニユエル（Magnel）教授が設計し、米国のプレロード社が施工したり。

一方、国際的なPC技術の発展に伴い、国際PC連合（FIP, Federation Internationale de la Precontrainte）が設立されたのが1952年であり、初代会長はフレシネーであった。また、初代の会長代理はマニユエルであった。1952年はマルヌ5橋が完成した翌年であり、フレシネーの絶頂期であったと思われる。また、わが国の長生橋が完成した翌年でもあった。米国では1954年に米国PC学会（PCI, Prestressed Concrete Institute）が設立された。この年は第一大戸川橋梁が完成した年と同じである。

以上のように1950年代はわが国および世界のPC技術の創成期、かつ、発展期であったのである。

土木学会では昭和30年（1955）にプレストレストコンクリート設計施工指針を初めて定めたが、技術の進歩が速いために昭和36年には改訂版を発刊した。これがわが国の土木分野におけるPC規準のその後の基本となった。この改訂版の審議に際しては、筆者は大学院修士課程に在学中で

委員長の国分正胤先生にお供して箱根の旅館に缶詰となって集中審議の末席に参加した。旅館で夜中まで議論をしたが猪俣俊司先生がPCの分野で大きな影響力をもっていることをこの時初めて知ることができた。この改訂では設計荷重に対してフルプレストレスとパーシャルプレストレスとが併記され、いずれでも良い、とされたのが良く理解できなかった。ここでいうパーシャルプレストレスとはわずかな引張応力を設計荷重時に許容することであって現行のPPC、あるいはPRCとは異なる定義であった。すなわち、耐久性の観点からフルプレストレスを選択するわけでもなかったので不思議であった。今にして思えばこの時点で設計荷重時にひび割れを許さない状態としてフルプレストレスとパーシャルプレストレスとを一体化することが十分に可能であったものと考えられる。現行では両者は一体化されており合理的であるがフルプレストレスという状態の用語が無くなったのは残念である。供用状態での設計荷重時に引張応力を許す代わりにその分だけ鉄筋で補強するとフルプレストレスで設計する場合よりもじん性が高まるメリットが認識されたのであるが昭和36年の改訂の審議の時点ではそのような議論はまったく無かった。

土木学会ではその後昭和53年にプレストレストコンクリート標準示方書が定められ、その中でいわゆるPRCであるⅢ種の状態の設計法が規定された。フルプレストレスとパーシャルプレストレス（当時）はそれぞれⅠ種およびⅡ種と規定された。その後、昭和61年に限界状態設計法の形式でコンクリート標準示方書が改訂されたときにプレストレストコンクリートはその中に含まれることとなったのである。もともとPCは限界状態を考えた設計法であるのできわめてスムーズにこの改訂を行うことができた。

一方、日本道路協会の道路橋示方書では昭和43年にプレストレストコンクリート道路橋示方書が規定され、その後昭和53年に鉄筋コンクリート道路橋示方書と一体化されて道路橋示方書Ⅲ コンクリート橋編となり、その後平成2年（1990）、同8年、同14年に部分的に改訂されている。ここでは自重作用時およびプレキャストセグメント構造における常時の設計荷重時に対しフルプレストレスの状態であることを規定している。

### 3. PC 橋の発展

永らく用いられてきた鉄筋コンクリート橋に代わってPC橋がその優位性を発揮してわが国の道路橋や鉄道橋に広く用いられるようになったのは昭和30年代からであり、スパンを跳ばして桁高を低くする軽快な構造が新しい景観を形作り始めた。折から東海道新幹線、東名、名神高速道路、首都高速道路、阪神高速道路などの建設にPC橋の採用が一気に広がったのである。なかでも鉄道橋に関してはコンクリート橋が騒音や振動に有利であることからそれまでの鋼プレートガーダー橋に代わってPC橋が多用されることとなった。

片持ち張出し工法による長大橋の建設も盛んになり地上からの支保工が不要なことから都市内においても採用され昭和39年には首都高速3号線の渋谷高架橋が建設された。

建設当時は左右にバランスを取りながら張り出してゆく施工方法がヤジロバー工法と呼ばれて新聞紙上などで話題となった。この工法はやがて1976年にスパン240mの浜名大橋が完成することによりこのタイプの橋梁として世界最大のスパンを誇ることとなり、わが国のPC技術はようやく世界の水準に達したことでわが国のPC技術者に自信を与えることとなったのである。

一方、ヨーロッパでは移動吊支保工工法や、押し出し工法などの新しい架設工法が開発されPC橋の合理化施工技術の発展は目を見張るものがあった。これらの技術については当時のわが国では想像もできない斬新なものであった。プレキャストセグメント工法も発展しエポキシ樹脂によるセグメント同士の接合方法が長大スパンの橋梁建設に用いられ始めていた。これらの新技術については早速わが国でも適用することが検討され実際の建設に採り入れられた。筆者はこれらを調査するために欧州に1ヵ月間出張を命じられ、この間レオンハルト教授と懇談したりマングファール橋、ベンドルフ橋などを視察することができた。プレキャストセグメント工法では当初ロングラインマッチキャスト方式が主流であったがやがてショートラインマッチキャスト方式に進化するとともに外ケーブル方式へと発展してきた。スパンバイスパン工法による架設方法もわが国で普及してきた。これらの先進的な技術はそのほとんどが欧米で発展したものを追従してきたのであった。わが国では第2名神高速道路の木曾三川橋（木曾川橋梁および揖斐川橋梁）建設への適用を意図して手始めに四国の松山自動車道の重信高架橋建設に初めてショートラインマッチキャスト方式が採用されたのであった。木曾三川橋では1つが最大400tにも達する巨大なプレキャストセグメントが300個以上ショートラインマッチキャスト方式で製作され所期の成果を得た。2002年に供用開始したこの橋梁の建設に際してはヴィロジュー博士とストラスキー教授を含めて委員会を構成し技術検討を行った。このプロジェクトはスパン約270mの中央部分100m合計7箇所各2,000tの鋼床版箱桁構造を複合させた多径間連続複合PCエクストラード橋2橋を建設するというまったく前例の無いものであり、委員会では白熱した議論が展開され、筆者は委員長として議論の調和を図ったことが思い起こされる。

波形鋼板ウェブPC橋についてもフランスのコニャック橋、モーブレ橋、ドール橋の建設を見てわが国での建設が始まったのであった。わが国の波形鋼板ウェブPC橋の最初の橋は1993年に完成したスパン30mの新潟県の新開橋である。建設後すでに15年を経過しているが構造的にはきわめて健全であることが確認できた。写真-3に現在の新開橋の状況を示す。その後、秋田県の銀山御幸橋（1996年完成）、東海北陸自動車道の本谷橋（1998年完成）を経て現在ではこの形式の橋梁がわが国で100橋を超えることとなった。これは世界でまったく例を見ないことである。なお、本谷橋の建設に際しては筆者が横浜国立大学で開発した波形鋼板ウェブをコンクリート床版に直接埋め込む接合方式が採用された。

また、橋梁の長大化を目指してPC斜張橋やPCエクスト



写真-3 新開橋 (2008年9月筆者撮影)

ラードロード橋が大いに発展してきた。世界初めてのPCエクストラード橋として建設された小田原ブルーウェイ橋は1998年のFIPのSpecial Mention賞を受賞することができた。波形鋼板ウェブと斜張橋あるいはエクストラード橋との組合せは現在のところわが国の独壇場であり、また、外ケーブルでの透明シースの開発や波形鋼板ウェブとストラットとの併用などわが国のPC技術は世界の最先端に達したことは誠に喜ばしいことである。写真-4に世界初めての波形鋼板ウェブを用いたPC斜張橋である矢作川橋の完成時の状況を示す。波形鋼板ウェブPC橋がこのようにわが国で発展したことに関しては、1993年に設立された波形鋼板ウェブ合成構造研究会（現会長大浦隆氏、顧問筆者）の果たして来た役割も大きかったと思われる。現在、ウェブにプレテンション材を用いてPC橋の合理化を図ることが進められているがこれに関しても、PC技術協会での委託研究成果を基本として、2004年にプレテンション-プレキャストウェブ橋研究会（会長筆者）が設立され、錐ヶ瀧橋や、中新田橋への採用に寄与することができた。



写真-4 完成時の矢作川橋 (2005年1月筆者撮影)

複合PCトラス橋もウェブに鋼トラス構造を採用して猿田川橋、巴川橋のように透明感のある形式を創出している。2006年の第2回fibコンGRESSでは吊床版架設方式を適

用して自碇式の複合 PC トラス橋として完成した徳島県の青雲橋が栄えある *fib* 作品賞を受賞した。世界初めての工法としてその独創性が高く評価されたのである。なお、この形式の開発に関しては横浜国立大学においてスパン 5 m のモデルを製作して実験的研究を行いこの構造の基本的な性能が検証された。写真 - 5 に道路橋として 2004 年に完成した青雲橋を示す。



写真 - 5 青雲橋 (2006 年 5 月筆者撮影)

#### 4. PC 技術協会の活動

PC 技術協会は 1958 年に設立されて以来、PC 技術の発展と普及にその役割を果たしてきた。会誌の発行、年次の技術発表会を継続して実施してきたがいずれも会誌の編集委員会の担当業務であった。筆者は編集委員長のときにそれまでの東京でのみ開催する技術発表会を日本各地で開催するシンポジウム形式とすることを提案した。その結果 1990 年より技術発表会はシンポジウム形式となり、その第 1 回が長生橋を生んだ PC の発祥の県である石川県の金沢市で開催された。これを契機としてそれまでの地味な技術発表会形式から参加者が数百名に達する活気ある技術交流の場をシンポジウムが提供することとなった。シンポジウムでは会員が関与した最新の PC 技術の成果が発表されることとなり今日までに果たしたこのシンポジウムの役割は計り知れないものがある。平成 20 年には第 17 回シンポジウムが高松で開催され 100 篇に近い論文報告の発表と 400 名を超える参加者を得てきわめて活況であった。

PC 技術協会は国際組織であった FIP の有力メンバーであり、1993 年には京都でわが国初めての PC に関する国際シンポジウムを主催した。国内外から 600 名を超える参加者を得て、国際的にも大好評の国際シンポジウムを実施することができた。このシンポジウムは猪俣俊司先生が FIP の理事会で熱心に日本での開催を働きかけてようやく実現したのであった。その頃は明石海峡大橋の建設の時期だったのでシンポジウムのポストツアーを実施しワルター教授やヴィロジュー博士を含む多くの技術者が世界最長スパンの吊橋の建設現場を視察することができた。

FIP は 1998 年に CEB と合併して *fib* となったが、1993 年の京都の FIP シンポジウムのときに開催した FIP 理事会で

この合併の基本方針を決定したことが思い起こされる。

2002 年 10 月には新しく発足した *fib* の第 1 回コンgresが日本コンクリート工学協会 (JCI) との共催により大阪で開催された。このコンgresは筆者が *fib* の幹部会と理事会で日本開催を強く提案し実現することとなり、筆者が組織委員長、山崎 淳先生が実行委員長で対応した。開会式は大阪大学管弦楽団によるワグナーのマイスタージンガー前奏曲などの演奏で幕を開け、現会長の魚本健人先生の司会によって進行された。正登録者だけでも 1 200 名を超す参加者であり *fib* の 21 世紀の大きな役割が認識されることとなったのである。コンgresの大成功はひとえに関係者の献身的な努力の賜物であった。このときに実施したコンgresの様式が、2006 年のナポリにおける第 2 回コンgresにそのまま踏襲されたことは第 1 回コンgresの主催者としては大きな喜びであった。第 3 回コンgresは 2010 年に米国のワシントン DC で開催の予定である。なお、今年 (2008 年) 10 月には第 8 回高強度高性能コンクリート国際シンポジウムを JCI との共催で東京の都市センターホテルにおいて実施し大きな成果が得られた。この国際シンポジウムの日本開催に際しては筆者が 2004 年頃から *fib* 幹部会で日本開催を提案し賛同を得たのちに日本側の準備が始まったのであった。この国際シンポジウムの組織委員長は魚本健人先生であった。第 9 回シンポジウムは 2011 年にニュージーランドで行われる。

近年、技術者の資格制度の重要性が認識されてきたので、PC 技術協会では平成 5 年からわが国初めてのプレストレストコンクリート技士 (PC 技士) の資格試験を実施してきた。この制度の創設に関しては FKK 社のフレシネー技士制度の実績が大いに参考になった。また、平成 19 年からはコンクリート構造診断士の資格試験制度の実施を開始したがこの資格はコンクリート構造に関するわが国の最高水準の資格を目指したものである。

PC 技術協会では受託による調査研究やそれに基づく各種工法の技術規準や協会独自の規準類を定めてきたがこれに関しては次章で述べる。

#### 5. PC に関する各種の基準

PC 技術協会では 1994 年から 2000 年にかけて受託により PC 技術規準研究委員会を設けて調査研究活動を行い、PPC 構造 (1996 年)、外ケーブルプレキャストセグメント工法 (同)、複合橋 (1999 年)、PC 構造物耐震 (同)、PC 斜張橋-エクストラードズド橋 (2000 年)、PC 吊床版橋 (同) に関する設計施工規準 (案) を定めた。また、PC 橋の耐久性向上マニュアルも 2000 年に定めた。個々の受託調査研究の成果としては、PC 橋脚の耐震 (1999 年)、高強度鉄筋 PPC 構造 (1999 年)、プレテンションウェブ橋 (2003 年)、PC グラウト (2005 年)、高強度コンクリート PC 構造 (2008 年) の各ガイドラインまたは設計施工指針あるいは規準を定めることができた。PC 橋脚の受託研究に関しては 7 200 万円の受託研究費によって大々的に実験を行ってきわめて貴重な成果を得、協会としてこの技術の特許を申請した。

PC 規準研究委員会はその後、常置の委員会となり 2005 年に外ケーブル-プレキャストセグメント工法、複合橋、および貯水用円筒形 PC タンクのそれぞれの設計施工規準を PC 技術規準シリーズとして刊行した。2009 年にはエクストラード橋-PC 斜張橋の規準を刊行する予定である。現在、委員会では性能創造型の規準を起草すべく努力中である。

なお、1990 年に発刊した「最新 PC 架設工法」は 2002 年版として装いを新たに刊行され会員に配付された。

## 6. PC 技術の展望

PC 技術は構造工学史上で人類最大の発明であるとチェコのストラスキー教授が述べているように、現代の社会基盤構築の主要な構造としてこの 50 年間に大きく発展してきた。

PC 技術の更なる発展のためには設計施工上で一層の斬新な創造性が求められる。この点からも性能照査型の規準で構造概念を構成するのではなく、まず性能を創造して新しい人工環境を生み出すことを念頭に置かなければならない。そのためにも性能創造型の規準の誕生が待たれるのである。海外でプロジェクトを展開する場合にはとくにこのような哲学をもつことが必要であろう。

プレストレスの活用は人間の日常生活の中でも非常に多く存在する。たとえば、物が置かれて安定しているのは重力によるプレストレスが接触面に作用しているからであり、グラスをもつときは自然に指でグラスにプレストレスを与えて滑り落ちるのを防いでいる。ところがプレストレスを力学的に考える場合には一般人の常識では理解が容易でないものと思われる。そこで PC 構造物が広く普及してきたこと、および PC 技術の今後の発展のためにプレストレスの原理を社会に強く啓蒙することが必要と思われる。そのためには世界で注目されるような構造物に PC を適用するのが良いと思われる。奇想天外ではあるが、現存する世界最古の構造物であるピラミッドは重力のプレストレスにより数千年も安定していることを考え、エジプトのギザに PC 構造でピラミッドと同じ形と大きさの近代的なホテルを経済的に建設するのはいかがであろうか？ クフ王、カフラー王、メンカウラー王もびっくりするであろう。観光資源としておそらく採算が取れるものと思われる。PC 技術を宣伝するためにもピラミッドと同様に超耐久な構造物となるはずである。

柱に鉛直プレストレスを導入して地震時および地震後の供用性を十分に確保することにより、近代都市の防災性の大幅な増大を図ることも急務である。また、コンクリート構造は火災に強いので交通インフラの構築には今後 PC 構造が選択される機会が増えることも考えられる。高強度コンクリート、超高強度コンクリート、高強度 PC 鋼材、超耐久 PC 鋼材など材料の進歩を的確に活用することが今後の PC 技術の更なる発展の要であろう。

情報革命のまったなかにあって省資源、省エネルギーおよび炭酸ガスを始めとする環境負荷の低減は今後のあらゆる技術の基本であるので PC 技術の発展もこれらに当然

寄与できるものでなければならない。

わが国およびわが民族が目標とすべき今後のグランドデザインとして筆者は「世界でもっとも魅力ある国土、社会システムおよび文化の構築を目指すこと」を考えているので PC 構造の魅力を大いに創造して日本が魅力的な人工環境を形成し着実に発展することを期待したい。

## 7. 終わりに

この 50 年間の PC 技術を振り返ると、筆者の学生時代から現在までの時系列的な PC 技術の展開を改めて認識することができた。ただし、ここに述べたことは 50 年間の変転の中の一面の経緯であることをお許しいただきたい。鉄道まくら木、モノレール桁、卵形消化槽、原子炉格納容器および建築構造その他多くの構造に PC 技術がこれまでに適用されてきたことも特筆すべきことであるし、東京銀座の中心に昭和 37 年に完成した円形の三愛ビルが PC 構造であることも記憶されるべきであろう（写真-6、7）。



写真-6 三愛ビル（1962 年竣工、5 階から屋上まで 6 フロアが分割プレキャスト PC スラブでリフトアップ工法により施工された。2008 年 12 月筆者撮影）



写真-7 施工中の三愛ビル（株）ピーエス三菱提供）

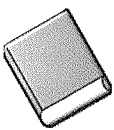
最近の PC 技術を取り巻く環境は激変を続けており経済環境のし烈さは 50 年前とは様変わりの逆風状態となった。PC 技術者も構造物の経済合理性の追求のみならず社会経済全体を油断なく学習しなければならない時代になってきたのである。アダムスミスは 200 年以上も前に分業の必要性を主張したが同時に倫理も主張していた。残念ながら倫理観の無い現在のマネー社会では分業として技術のみに没頭していると足元をすくわれかねない時代なのであり単に競争原理に踊らされているだけでは漁夫の利とされてしまうのである。今後は社会経済のなかでの PC 技術の有用性と価値を積極的に主張しその正当な対価を求めなければならない。これによってのみ PC 技術の価値が認識され、もっとも魅力的な国土と社会を建設する手段となることが可能となるのである。PC 技術協会の存続と活動継続のためにも真の倫理を基本とした建設分野のパラダイムの転換が必要である。

なお、筆者がこれまでに記述した総論や論説を振り返って読んでみるとその時どきの関心事項が強調されており、これらは筆者自身にとっても興味ある資料であることが改めて認識できた<sup>2~5)</sup>。

#### 参考文献

- 1) Billington, D.P., Historical Perspective on Prestressed Concrete, PCI Journal, Jan.-Feb. 2004, pp.14-30
- 2) 池田尚治：新しい PC 技術の展開，第 22 回 PC 技術講習会，1994 年，pp.1-10
- 3) 池田尚治：土木分野における複合構造，プレストレストコンクリート，Vol.37, No.2, 1995 年 pp.16-19
- 4) 池田尚治：PC 技術の発展に寄せて，プレストレストコンクリート，Vol.42, No.1, 2000 年，pp.32-33
- 5) 池田尚治：プレストレス — 20 世紀に開発され発展を続ける技術，コンクリート工学 (JCI)，Vol.40, No.1, 2002 年，pp.77-81

【2008 年 12 月 8 日受付】



刊行物案内

## コンクリート構造診断技術

### コンクリート構造診断技術講習会テキスト

#### 2008年 5 月

定価 7,500 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会