

先人たちの 技術 に学ぶ

File No.2

プレストレストコンクリート 技術の盛衰

前回は、古代から継承されたアーチの技術について紹介しましたが、今回も同様に技術の伝承という趣旨でプレストレストコンクリート(以下「PC」と略す)の技術を紹介したいと思います。日本におけるPCの歴史は、開発時代を含めてもまだ70年程度なので、数千年の歴史があるアーチの技術に比べるとはるかに新しい構造ということになります。

しかし、PC技術の導入によって従来の鉄筋コンクリート構造では難しかった構造物を可能とし、東海道新幹線でも本格的に導入されて、その実現に大きく貢献しました。

■ PC 構造の特徴

PC構造は、コンクリート内部に挿入される鋼材(ケーブル、鋼棒など)を用いて圧縮力(プレストレス)を作用させることによって、コンクリートの内部に生じる引張力を打ち消して、より強度特性に優れたコンクリート構造物を実現する技術です。PCの技術を用いることによって、従来のコンクリート構造物に比べて強度が高く、より軽量で薄

(14) 鋼弦コンクリート桁の設計法

第二部 工博 仁 杉 巖

鋼弦コンクリート桁は普通鉄筋コンクリート桁に比較して、コンクリート量は $1/4$ 、鉄筋量は $1/4$ 程度に減らすことが出来、常用荷重下では龜裂が発生せず、又製作法も比較的簡単なので、日本の様に、鐵資源の乏しい所では應用する余地が多いと考えられている。

しかし、未だこれに關する研究が進んでいないので、桁の性能や製作法に疑問の點が多いのである。

著者は昭和19年より昭和23年にあたり、82種類、89本の試験桁を製作し、曲げ試験その他の實驗結果を基として、鋼弦コンクリート桁の不明確な點について研究し、その結果を、設計及び製作法の基準として確めたのである。

筆者はまず、歐米の文獻に發表された初應力を導入した鉄筋コンクリート桁及び鋼弦コンクリート桁の、製作法、計算法、實驗結果、コンクリート及びピアノ線の性質等について調査した結果、結論として鋼弦コンクリートに關して今後研究を必要とする事項は

- (1) 桁の製作器具、設備及び作業
- (2) 鋼弦コンクリート用材料として必要なコンクリート、ピアノ線の性質
- (3) 初應力が導入してあるために、コンクリートに起る收縮及びクリープの桁の性能に及ぼす影響
- (4) 耐震力を確保するための方策

(5) 桁の終局破壊の機構及び計算法

(6) 設計の基準

等であることを明らかにした。

そこで、著者は鋼弦コンクリート桁を實用化するため桁の設計基準を定める事を研究の主目標とし、併せて桁の製作法についても研究した。研究範圍として、著者は主としてドイツのハイヤー氏の提案した方式を基準としたので、桁には鐵筋を配置しないこと、コンクリートは材齢28日で 500kg/cm^2 以上の品質のものを用いること、ピアノ線は引張強度 $15,000\sim 20,000\text{kg/cm}^2$ 程度のものを用いることを前提としている。

鋼弦コンクリート桁の製作については、ピアノ線の組み装置、鋼弦コンクリート桁の製作設備、ピアノ線の緊張作業、コンクリートの折込み及び養生等について著者の試験桁を製作した經驗を主體としてまとめ、更に、ピアノ線組み装置の具備すべき條件、製作作業の要領、製作設備を設計する上に注意すべき事項等を明らかにしあわせて大量生産設備についても論じた。

鋼弦コンクリート桁の性能について、筆者が行つた實驗、研究の主なものは、

- (1) 錆びさせる日數を變えたピアノ線について引張強度試験を行つて、錆びの程度と強度の低下との關係を求め、

①仁杉巖「鋼弦コンクリート桁の設計法」(抜粋)(1949)



②営業線で初めてPC橋梁を實用化した信樂高原鉄道・第一大戸川橋梁(1954)

③バウル・レオンハルト工法による赤穂線・吉井川橋梁(1960)



肉な構造物を設計することができます。

プレストレスの与え方は、コンクリートが固まる前にプレストレスを与えるプレテンション方式と、コンクリートの硬化後にプレストレスを与えるポストテンション方式に分類され、前者は主として工場で製造されるPC製品に用いられ、後者は主として現場で施工されるPC構造物で用いられています。

鉄道分野におけるPC構造は、橋梁、まくらぎ、電柱(電車線路用)や一部の建築物などで用いられています。

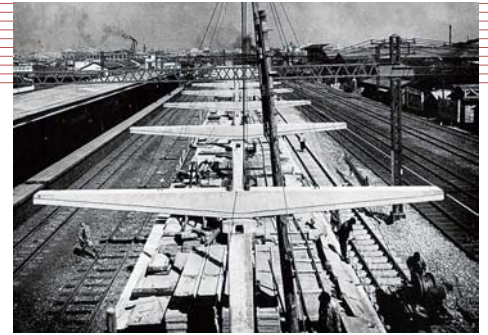
■ PC技術の開発

PC技術は、戦前のフランスやドイツで開発が進められていましたが、日本でも、戦時体制のもとで鋼材を節約できる新しい構造として注目され、1944

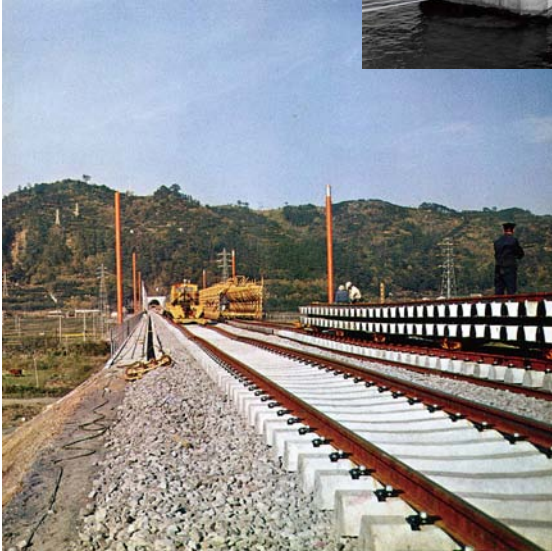
(昭和19)年から旧国鉄鉄道技術研究所(鉄道総合技術研究所の前身)第二部で開発が進められ¹⁾、模型実験などが繰り返されていましたが、實用化されるのは戦後になってからでした(①)。

列車の荷重が作用する橋梁は、1953(昭和28)年に東京都府中市のオリエンタルコンクリート(オリエンタル白石の前身)多摩工場専用線に試験的に架設された支間4.2mの光弦橋が最初でした。営業線に始めて使用されたのは、1954(昭和29)年に完成した信樂高原鉄道の第一大戸川橋梁^{だいでがわ}で、フランスのフレシネー社の特許に基づいて設計されました(②)。

④ PCI桁を用いた施工中の東海道新幹線・第二浜名橋梁(1964)



⑥ 工事中の浜松町駅旅客ホーム上屋(1954)



⑤ 量産された東海道新幹線のPCまくらぎ(1964)



⑦ PC建築として完成した鉄道技術研究所実験棟(1960)

■ 土木分野におけるPCの発展

PCはその後も実用化が進み、橋梁分野では大径間の橋梁を実現するために、フランスからフレシネー工法、ドイツからディビダーク工法、バウル・レオンハルト工法などが導入されました(③)。大径間のPC橋梁を実現するためには、より強いプレストレスを与え、それに耐えられる高強度のコンクリートを用いなければならないため、設計・施工法も高度な技術を必要としました。

また、従来のコンクリート構造物は、現地で型枠を組んで施工し、所要の強度に硬化するまでにある程度の時間を必要としたため、一定の工期を確保しなければなりませんでした。工場で製造したPC部材を現場で組み立てることによって、プレハブ式にコンクリート構造物を実現することが可能となり、工期の短縮に貢献しました。ことに、東海道新幹線の工事では、その

特徴が最大限に活かされることとなり、工場で製造されたI形桁を現地で組み立てるPCI桁は、標準設計が示されて在来線でも普及しました(④)。

さらに耐久性と強度特性に優れたまくらぎとしてPCまくらぎが開発され、鉄道技術研究所での試験を経て量産化に成功し、東海道新幹線の軌道構造として全面的に用いられました(⑤)。東海道新幹線の工事では、150万本に及ぶPCまくらぎが製造されたほか、406連のPC橋梁(④)が用いられました。

また、PC構造物を設計するための技術基準の整備も進み、1955(昭和30)年には土木学会によって「プレレストコンクリート設計施工指針」が制定されたほか、国鉄でも1965(昭和40)年に鉄道橋梁を対象とした「プレレストコンクリート鉄道橋設計施工基準(案)」が制定されました。

■ PC建築の挑戦

PCの技術は、建築分野でも導入が進み²⁾、1954(昭和29)年に完成した東急会館では、壁面にPCパネルが用いられました。また、1954(昭和29)年には浜松町駅旅客ホーム上屋がPC構造によって完成しました。PC構造は、工場で作られた部材を現地でプレハブ式に組み立てることができるため、土木分野と同様に工期を短縮できる施工法として期待され、浜松町駅旅客ホーム上屋は、工場で製造されたPC部材を組み立てて、わずか4ヶ月の工期で完成しました(⑥)。

建築分野では、PC部材を梁として使うことによって大空間を実現することが可能となり、1960(昭和35)年にはこの特徴を活かして鉄道技術研究所実験棟が完成したほか(⑦)、同年に東京総合競技場(中央鉄道学園)柔剣



⑧ハイパボリックパラボロイドシェル構造の屋根を用いて完成した東京総合競技場柔剣道場(1960)

⑨パラボラ形連続シェルを用いて完成した勝田電車区電車庫(1961)



⑩初のPCトラス橋となった三陸鉄道・太田名部橋梁(1973)



⑪初のPC連続トラスとなった三陸鉄道・槇木沢橋梁(1977)

道場(⑧), 1961(昭和36)年に勝田電車区電車庫などが完成しました(⑨)。しかし、建築分野ではPC構造を選択するメリットが少ないと判断され、建築分野におけるPC構造の適用は特殊な場合に限られ、一般的な技術として普及するには至りませんでした。

■ PCトラスの挑戦

トラスは、桁やアーチとともに橋梁の基本となる構造のひとつで、もっぱら鋼構造として発達し、鉄製のトラス橋は日本でも明治初期から用いられていました。そのトラスを鉄筋コンクリート構造で実現する試みは、すでに戦前の道路橋などで実現していましたが、施工が複雑となるため実用化には至らず、鉄道橋では用いられませんでした。

した。

しかし、PC構造の発達とともに、プレハブ式にPC部材を組み立てることによってトラスを構成し、より長大なPC橋梁を実現することが期待され、1973(昭和48)年に日本で最初のPCトラス橋として久慈線(現在の三陸鉄道北リアス線の一部)に太田名部橋梁(上路ハウトラス)が完成しました(⑩)。

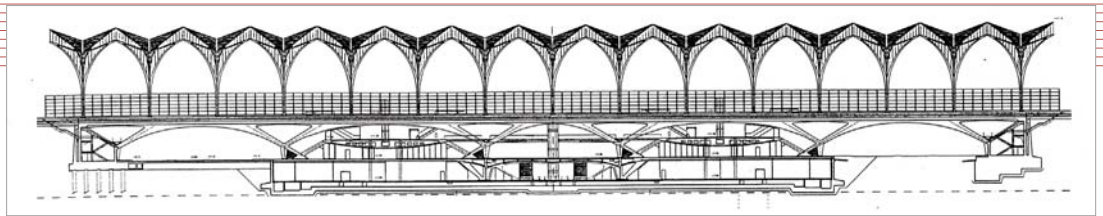
同年年には山陽新幹線広島回送線の岩鼻架道橋でPC下路ワーレントラスが用いられたほか、久慈線では1975(昭和50)年に安家川橋梁(上路ハウトラス)、1977(昭和52)年に槇木沢橋梁(下路ワーレントラス)がPCトラスとして完成しましたが(⑪)、この4橋のみに終わってしまい、全国に普及するには至りませんでした。

当時の文献でも、「自重の軽減が難しく、架設機械の開発や部材の固定方法などの施工法が確立されておらず、まだ経済性を追求する段階には至っていない。」と指摘され³⁾、PC建築と同様に、PC構造を用いるメリットが認められなかったため、汎用に至らなかったと考えられます。

■ PC構造物の造形

PC構造物は、一般の鉄筋コンクリート構造物に比べて薄肉な構造が可能となり、大空間を確保できるため、より大胆な造形をもたらすことができます。スペインの建築家・構造家として知られるサンチャゴ・カラトラバは、鉄骨やPC構造、アーチなどを大胆に組み合わせ、駅や橋梁などに新しい造形

⑫リスボン・オリエンテ駅の立面図
〔ポルトガル鉄道
提供〕(1998)



⑬リスボン・オリエンテ
駅の高架橋(1998)

⑭リスボン・オリエンテ駅のコ
ンコースのアーチ(1998)



⑮PCフィンバック橋として完成した仙石線・鳴瀬川橋梁(2000)

⑯PC斜吊橋として完成
した内房線・姉ヶ崎
川橋梁(2002)



をもたらししました(⑫~⑭)。従来の土木構造物の造形は、鋼構造、コンクリート構造などそれぞれの構造系で完結していましたが、カラトラバはこれらを複合構造として組み合わせ、それぞれの構造の特徴を最大限に活かしながら新しい造形に挑戦し続けました。

日本におけるPC構造の歴史はようやく半世紀を経過した段階ですが、PC橋梁分野では、2000(平12)年にPCフィンバック橋として完成した仙石線・鳴瀬川橋梁や(⑮)、2002(平成

14)年にPC斜吊橋として完成した内房線・姉ヶ崎橋梁のように斬新なスタイルの橋梁も誕生しており(⑯)、これからの土木構造物や建築構造物の造形がどのように進化するのか、前回紹介したアーチ構造とともにPC構造の未来に期待したいと思います。

(小野田滋/情報管理部 担当部長)

文献

- 1) 仁杉 巖：鋼弦コンクリート桁の設計法，鉄道業務研究資料，Vol.6, No.6・7, 1949
- 2) 鉄道建築協会編：PC建築設計施工例，彰国社，1964
- 3) 峯好武，石原孜朗：PCトラス橋の施工，プレストレスト・コンクリート，Vol.22, No.3, 1980