

PC架設工法の歴史について

長尾 徳博*

1. はじめに

PC橋の設計施工技術は、構造形式がその時代の要請に応えるかたちで変革し、その構築を実現するために機械化が進歩し、その結果多彩な架設工法が編み出されるかたちで発展を遂げてきた。いわば構造形式の多様化と架設工法の高度化は両輪としてPC橋の発展に寄与してきたと言える。

1951年わが国に初めてプレテンション橋が誕生して半世紀を経た今日、本四架橋、第二東名神高速道路建設などに代表されるPC技術の展開は、予想を遙かに超えたものとなった。

2. 概 説

架設工法の変遷を追ってみると、1960年頃までがPC橋の黎明期と言え、この時期にプレテンション橋をはじめとしたプレキャスト桁を用いたPC橋が実用化され、架設方法は人力および馬力から始まり、ケーブルエレクション、タワーエレクション、ガーダーエレクション工法等が誕生し、順次機械化されていった。

その後1967年頃までが東京オリンピック景気に沸いた時期で、新幹線、高速道路整備が最盛期を迎え、高度成長が始まるこの時期がPC橋の普及期と言える。この時期に海外のPC定着工法が次々に導入されるとともに、国内でも独自の定着工法が開発され、また、規準面でもPC技術に関する設計施工指針等が制定されて、PC技術が一気に花開いた。架設工法も、ステージング工法の発達により連続桁やラーメン橋の架設が可能となり、張出し架設工法の導入により橋梁支間長が飛躍的に伸びた。

日本経済が高度成長を迎えた1967年～1977年は設備投資の環境が整い急速施工時代、大型機械化時代となり、多種類の架設工法の開発期が到来した。トレーラーやトラッククレーンの目覚ましい発達により橋桁の大型プレキャスト化、セグメント化が図られるとともに、急速化および省力化、品質確保を目的としてプレキャスト張出し架設、移動支保工架設、押出し架設等の種々の工法が発展した。

1978年から経済の低成長期を迎えることになり、PC技術の分野はより多様化と高度化が必要な時代となった。熟練労働者の不足と少子・高齢化、公害問題、地球環境問題、社会資本の老朽化等に対応して、省力化・省エネ・省資源に適した工法、環境にマッチした安全な工法、コスト縮減が可能な工法等を選択する時代となってきている。

また、情報化や国際化として、建設 CALS/EC、ISO 規格等に対応することによりPC技術の品質を保証することが求められており、これらを背景に、PC橋の構造形式においてもトラス橋、斜張橋、アーチ橋、吊床版橋、鋼構造との複合橋等が建設されるようになり、同時にライフサイクルコストの低減からミニマムメンテナンスへの要求が高まっている。材料面では新素材の適用、高強度化、軽量化が進み、施工面においても従来工法を発展させたかたちで多種多様化・高度化が要請され、コスト縮減、安全施工が実験的検討から実証的適用の段階を経て実用化が進められている。

今日、第二東名神高速道路建設において、複合構造、プレキャストセグメント工法、外ケーブル工法等の技術を駆使した建設プロジェクトが展開されており、まさにPC技術と架設技術の英知を絞り、今世紀の集大成に取り組んでいると言える。

PC橋の架設工法を大別すると次の4つに分類できる。

- ① プレキャスト桁の架設
- ② 支保工架設
- ③ 張出し架設
- ④ その他の特殊架設

次節以降に、これら各種工法の架設について年代を追って振り返ってみたいと思う(表-1)。

3. プレキャスト桁の架設

日本における最初のPC橋は、1951年石川県七尾市の中央を流れる御祓川に架けられた長生橋である。戦後の混乱期の中で、高強度コンクリートの配合、PC鋼材の定着方法、緊張装置の開発等の苦難と、施工面では荷馬車での桁運搬、人力による架設(写真-1)などの苦労の末、支間3.6mの3径間プレテンション単純合成スラブ橋が誕生し、完成以来50年を経た現在でもその機能を果たし続けている。

また、1953年国内最初のポストテンション橋である十郷橋が建設された。工場製作によるプレキャストセグメント桁を架設地点へ運搬し、セグメント目地部にモルタルを詰め、プレストレスを与えて1本の桁として架設された。この頃の橋梁支間は20m程度まで伸びたものの、架設機械はカグラサンや二又、手巻きウィンチなどの人力によるものが主体であった。



* Norihiro NAGAO

(株)富士ピー・エス
常務取締役 技術本部長

表-1 架設工法別年代表

区分	年	1950年	55	60	65	70	75	80	85	90	95	2000年
プレキャスト桁架設	プレテン桁		長生橋(1951)					小牧高架橋(1967)				六美高架橋(2000) (現場製プレテン桁)
	ポステン桁(現場製作)		上松川橋(1955)									
	ポステン桁		第一大戸川橋梁(1954)	城ヶ島大橋(1957)				斑大橋(1976)		万の瀬橋(1987)	新開橋(1993)	
	ブロック結合法 合成桁(ポステン桁+現場打ち床版)		十郷橋(1953)					東北新幹線東北道白V(1978)				大足坊橋(コンボ橋)(1997)
支保工架設	固定式支保工		米神橋(1960)	吉井川橋梁(1960)	石堂川橋梁(1960)							
	セグメント工法(支保工上接合)											大仁高架橋(免震橋)(1997)
	移動式支保工											豊成跨道橋(1995)
	スパンバイスパン											彌富高架橋(1999)
張出し架設	現場打ちカンチレバー		嵐山橋(1959)									重信川橋(1997)
	プレキャストカンチレバー架設	Balduinsteint橋(1951) (ドイツ)										
	現場打ちカンチレバー(斜張橋)											
	現場打ちカンチレバー(トラス)											
その他の特殊架設	押し出し											
	アーチ橋											
	吊床版橋											
	その他											

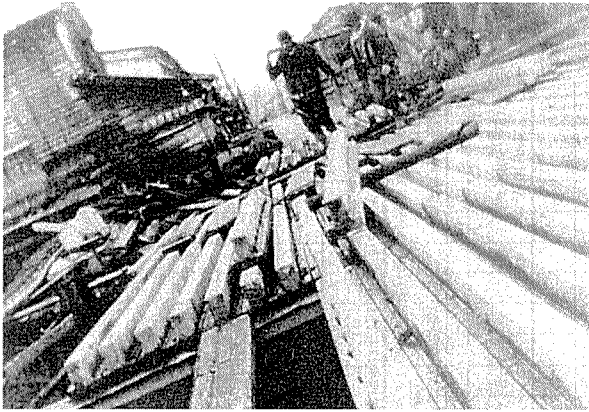


写真-1 長生橋の架設

1954年には鉄道橋として信楽線第一大戸川橋梁において、道路橋としても例を見なかったポストテンション方式支間30mのPC桁が1本ものとして製作、架設された。

1955年には土木学会において「プレストレストコンクリート設計施工指針(案)」が制定され、1959年JIS A 5313「スラブ橋用プレストレストコンクリート橋桁」が、1960年にはJIS A 5316「桁橋用プレストレストコンクリート橋桁」が、また1963年にはJIS A 5319「軽荷重スラブ橋用プレストレストコンクリート橋桁」がそれぞれ制定され、ようやく橋梁の分野でPC構造物が多用されはじめ、プレテンション桁を大量に使用した小牧高架橋(1967年)などが建設されるようになった。

この時期になると、ポストテンション桁も工事規模が大きくなるにつれて、現場付近にヤードを設け、T桁を1本もので製作・緊張し架設するようになり、架設機械もエレクションタワー(写真-2)、エレクションガーダー、門形クレーン等が開発され、橋梁支間も40m程度まで拡大した。

さらに、運搬、架設もトレーラー車や45t吊り油圧式クレーン、127t吊り機械式クレーン(写真-3)が市場に出はじめ、架設工法の機械化が始まった。

1978年には東北新幹線工事において、支間50m対応の桁高の大きなI断面のプレキャスト桁橋が計画された。しかしながら、横座屈に対する懸念があったため、I桁2本分を箱桁断面に変更し、300t桁用の架設機械が開発されて東北自動車道に架設された。

また、1990年には狭隘な場所にも進入でき作業効率のよい500t吊り大型油圧式クレーンがドイツより技術導入され、架設の省力化とスピード化が図られた。

1997年にはコスト縮減の一環としてコンボ橋が提案され、その第1号として大足坊橋が2台のクレーンの相吊りにて架設された。

北関東自動車道の六美高架橋工事では、大量のPRCプレテンション桁を架設地点近傍にヤードを設けて製作し、トレーラー、クレーンにて運搬架設され、多径間連結桁橋が2000年完成した。

海上部における施工では、岸壁ヤードにてポストテンションT桁3主桁を各径間ごとに一体構造とし、横組・地覆の施工を完了した橋体を海上クレーン船で一括架設した

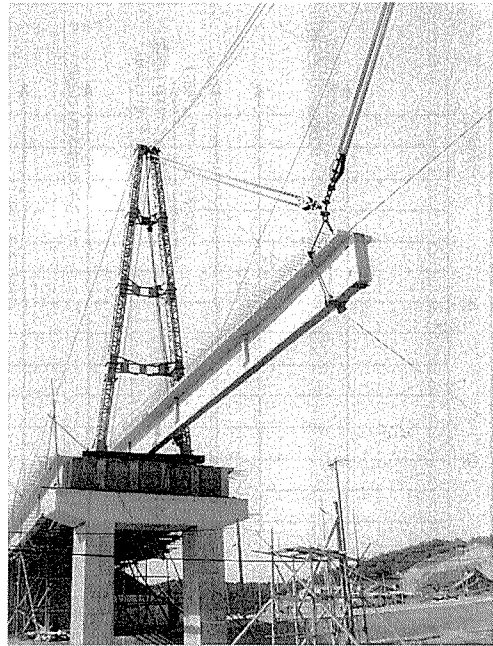


写真-2 エレクションタワーによる架設

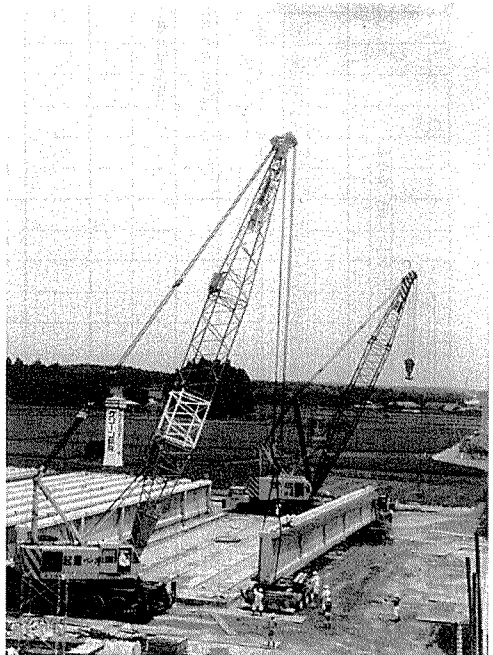


写真-3 127t吊り機械式クレーンによる架設

斑大橋(1978年、写真-4)がある。1997年にはカナダのノーザンバーランド海峡において桁重量7500tのPC箱桁が一括架設されている。

4. 支保工架設

コンクリート橋の架設で従来から多く利用されている工法で、架設地点に支保工を設置してコンクリートを打設したり、あるいはプレキャストセグメントを架設して橋体を施工するものである。

支保工形式には、地盤から直接支持する固定式支保工と各橋脚間に鋼製の架設桁を架け渡し、1径間ごとに施工する移動支保工やスパンバイスパン工法がある。

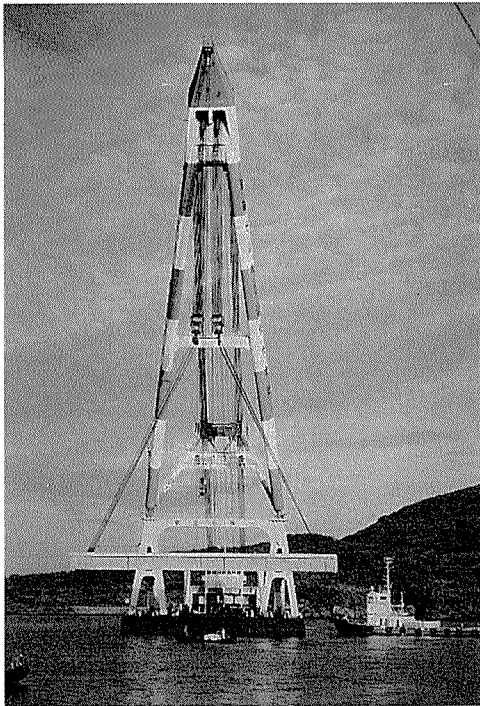


写真-4 フローティングクレーンによる架設

4.1 固定式支保工

固定式支保工材は、各部材が小型、軽量であるため大型の揚重機が不要であること、支保工の組立て技術は、鉄筋コンクリート構造物の支保工技術がそのまま応用できることなど、従来の施工技術、施工機材を使用できることが特長であり、プレキャスト桁架設工法の次に開発された架設工法である。1950年代から1960年代にかけての高度成長期に東海道新幹線、名神・東名高速道路、首都・阪神高速道路の工事が最盛期となり、道路線形に合わせた曲線橋にPC橋が多く計画された。支保工架設はプレキャスト桁架設に比べ連続桁や曲線橋に適用しやすいことから多用されることとなった。

1960年曲線橋として初めて米神橋（4径間単純箱桁橋、橋長125.3m、半径120m）が丸太材を支柱に使用して施工された。当時はPC鋼材の接続技術がまだなく、分割施工が困難なため、単純桁か連続桁を支保工上で一度に施工していた。1970年代から分割施工による橋梁建設が始まり、1997年には免震支承を使用した29径間連続中空床版橋（725m）の大仁高架橋が固定支保工を用いた分割施工で建設された。

従来、支保工材としては四角支柱、H形鋼、トラス、鳥居枠等であったが、1985年代以降に新しい支保工材が開発された。四角支柱に代わる1本あたりの許容支持力が大きいパイプ支柱で、組立て解体時の施工性や安全性が向上している。また、鳥居枠に代わるくさび式パイプ支柱は構造物の形状に合わせた支保工の組立てに適しており、パソコンの普及とともに支保工の組立て精度が向上し、複雑な形状の橋梁にも使用されるようになってきている。

4.2 移動支保工

1959年ドイツのケッテンガーハンク橋の施工にストラバーク社において工期の短縮、省力化を目的として移動支

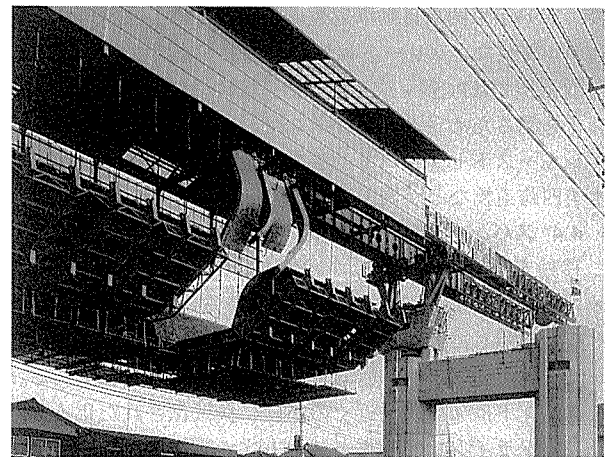


写真-5 浮塚高架橋

保工が開発、施工された。これを契機として架設工法の機械化が進みゲリュストワーゲン、オートランスールなどがドイツ、フランスで開発、実用化された。わが国では1963年に建設された釈迦ヶ池橋があり、エレクショントラス上に設置した移動型枠を用いて張出し施工で建設された。

高度経済成長期においては、首都圏への人口集中と自動車台数激増による道路整備が追いつかないまま交通麻痺は広域化し日常化していた。このため工事期間を短縮でき、桁下の条件に左右されない急速施工法や労働力不足を解消するための省力化工法の開発が急務となった。移動支保工は欧州各地で山間部の谷間を渡る高架橋に使用されていたが、1969年わが国にも技術導入がなされ、官民一体での研究開発の結果、1972年都市内高速道路の高島平高架橋に適用された。また、1973年にはわが国最初の反力分散方式である宿院高架橋が移動吊り支保工によって架設された。

これにより、桁下交通阻害解消、省力化、急速施工、経済性が確認され、「移動する桁製作工場」として、その後の移動支保工の発展へと繋がった。

この工法は全天候型であり、労務の平準化と繰返し作業による品質の向上も可能となった。

1975年に東北新幹線第一北上橋梁、1978年に北陸自動車道金沢高架橋においてサポートタイプ、ハンガータイプの移動支保工が採用された。

1984年に浮塚高架橋（写真-5）で支間長45mの9径間連続箱桁橋が施工され、1991年上下線同時に施工可能な広幅員対応型の移動支保工で安行西高架橋が建設された。

4.3 セグメント工法（支保工上接合）

高度経済成長期に入り工期の短縮が求められるようになり、跨高速道路橋においても1970年頃より土工事との競合を避け、品質の向上、省力化、合理化などを目的としてセグメント工法が採用された。1971年成田国際空港の開港に向け、東関東自動車道千葉・成田間の急速施工が要求され、延長29kmの中に跨道橋36橋が計画され、下部工施工と並行して主桁セグメントを集中管理方式で製作し、工期の短縮が図られた。長さ2m～3mのセグメントを支保工上に架設し、樹脂接合による施工がなされた。

1975年中央自動車道（小淵沢から韭崎）ではPC斜π橋22

橋，1994年東関東自動車道豊成跨道橋では方杖ラーメン構造の4橋がコンクリート目地方式により施工された。

北海道ではPC斜 π 橋形式の跨道橋において，省力化・合理化を図るためショートラインマッチキャスト方式によるプレキャストセグメント工法の採用が検討され，1994年清水第四跨道橋などが施工された。

4.4 スパンバイスパン工法

移動支保工の現場打ちコンクリートをプレキャストセグメントに置き換えた工法であり，特殊エレクションガーダーを利用してセグメントを架設し接合部に接着剤を塗布し，接合緊張して1径間ごとに完成させていく工法である。セグメントは架設現場近くの高度に機械化されたサイトでショートラインマッチキャスト方式で製作されることが多い。四国自動車道重信川橋（1997年）や第二東名神の弥富高架橋（1999年）などで採用されている。

5. 張出し架設

張出し架設工法の発明は，PC橋架設の歴史上極めて画期的なものであり，この発明によって，従来支保工上の施工がほとんど不可能であった溪谷・海峡・大河川の架橋が容易にできるようになった。

発明者はドイツのフィンスターバルター博士で，1950年張出し架設工法による初めてのPC橋が建設された。この発明によって，PC橋の支間長は飛躍的に伸び，現在，桁橋としての最大支間はパラグアイ橋の270mとなっている。わが国では1959年神奈川県で嵐山橋（写真-6）が初めて建設され，基本設計はドイツ人によるものであったが，中央支間51mと支間長こそ短いものの，相模湖畔の溪谷部を支保工なしで架設したことは，当時としては驚異的なことであった。それまでこのような場所にPC橋を建設することは，プレキャスト桁や接地式支保工架設では技術的にも経済的にも困難であった。急峻な地形を有するわが国にとって，この架設工法の導入はその後のPC橋の発展を目覚ましいものとした。工法導入はドイツの技術協力なくしては実現できなかったが，その20余年後の1976年には当時世界最長支間240mの浜名大橋を建設するまでに至っており，現在までに約1500の橋梁がこの工法で架設され，わが国は世界一の施工実績国となっている。

張出し架設工法は，現場でコンクリート打設する桁橋の架設工法として開発されたものであるが，その後プレキャストカンチレバー工法やさまざまな橋種の架設に応用されている。1966年東京都で国内初のプレキャストカンチレバー架設による目黒架道橋が建設されたが，これは，現場打ちカンチレバー架設と同様に橋脚の両側に順次バランスをとりながら張出し架設していく工法で施工された。その後この架設工法により多数のPC橋が建設されているが，最近ではエレクションガーダーを利用した架設も行われており，写真-7は山口県の角島大橋の例である。桁橋以外の架設への応用は，斜張橋，エクストラロード橋，アーチ橋，方杖ラーメン橋など多岐にわたっており，接地式支保工施工が困難で，かつ長大支間の場合はまさに最適工法と言っても過言ではない。

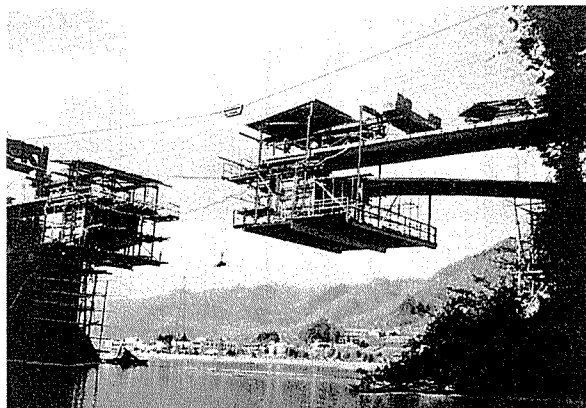


写真-6 嵐山橋



写真-7 角島大橋

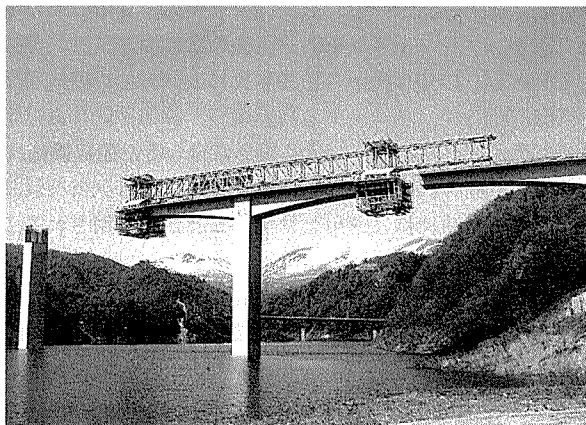


写真-8 大井沢橋

急速施工の要求から1施工ブロック長の長大化が図られており，そのために架設機の大型化が進んでいる。隣接する橋脚間にトラスガーダーを架け渡し，10m程度の施工ブロックで架設可能なP&Z工法がドイツより導入され，1982年この工法によるわが国最初の月夜野大橋が群馬県に誕生した。写真-8は1998年に施工されたこの工法における世界最長支間112mを有する大井沢橋で，同工法を採用することにより月山湖の湖面を一切使用せず，片押しで架設することを可能とした。

そのほか，平面線形の変化に対応可能な架設機械が開発され，幅員が分岐する構造として1986年に中央自動車道岡谷高架橋，1992年には平面線形R=70mの湯口沢橋が建設さ

れている。

また、アンバランスな径間割や架設条件の制約などから、仮支柱、ピロン、斜吊り材などを使用して架設時応力の軽減を行い、経済的な施工を可能にする試みがなされている。1983年には、ピロンと斜吊り材を併用して橋台側からの張出し架設により薄根川橋が建設された。

6. その他の特殊架設

6.1 押し出し架設

押し出し工法は、ドイツのレオンハルト博士によって開発され、約30年ほど前にわが国に技術導入されており、1973年国内で幌萌大橋(写真-9)がこの工法を使って初めて架設された。1980年代に入り、当時建設中であった上越および東北新幹線工事に多く用いられ、その後も鉄道、道路および峡谷横断などの架橋条件の困難な場所に採用されている。

本工法は、橋台背後の桁製作ヤードでブロックを製作し前方に押し出した後、空いたヤード上で先に押し出したブロックにコンクリートを打ち継ぎ、PC鋼材で結合しながら順次桁を押し出して架設する工法である。特殊な例としては、人工軽量骨材コンクリートを使用した4径間連続下路桁橋の汐見川橋(1987年)があり、また最近では波形鋼板ウェブ複合橋(銀山御幸橋:1995年)の架設にも利用されたり、コスト縮減を目的として押し出し架設時に外ケーブル(内外ケーブル併用)を採用した岩滑沢橋(1996年)などがある。

6.2 コンクリートアーチ橋の架設

アーチ橋は橋脚を設置するのが困難な山岳地帯や河川を渡る架橋条件に最適な構造形式であり、PC技術が導入されるまでは、鉄筋コンクリート構造において比較的長大支間を有する橋にコンクリートアーチ橋が適用されていたが、1974年外津橋が張出し架設工法で施工されてから、アーチ支間の長大化が図られるようになった。

現在では、規模および地形条件等に応じて、施工法とそれに伴う技術的な要求に対して合理的に対処するため、種々な工法が採用されている。

(1) 支保工架設

接地式支保工は、比較的平坦な地形条件における中小スパンのアーチ橋に適用され、全面支保工上でアーチリブのコンクリートを施工する工法である。



写真-9 幌萌大橋

セントル工法は、山岳地帯や河川上における中小スパンのアーチ橋に適用される工法で、鋼製のセントル材を架設して、その上でアーチリブのコンクリートを施工する工法であり、1971年最初に建設されたローゼ橋である御岳橋に採用されている。

(2) 張出し架設

ピロン工法は、エンドポストやピロン柱から斜吊り材を張り、アーチリブコンクリートを支持しながら張出し架設する工法であり、本四連絡橋の茶間川橋(1997年)は代表的な適用例である。

トラス工法は、アーチリブ上の鉛直材と補剛桁および両者の交点から、斜吊り材でアーチリブを繋ぎ、トラスを構成しながら張出し架設する工法である。最近では、わが国最初の両側張出し架設が池田へそっ湖大橋(2000年、写真-10)で採用された。

メラン併用工法は、アーチリブ全区間を張出し架設するのではなく、アーチリブを両側から張出し架設で施工した後、中央部を鉄骨のメラン材で仮閉合し、このメラン材をコンクリートで巻き立てていく工法であり、ピロンまたはトラス工法と併用される。ピロン・メラン併用工法が帝釈橋(1978年)で用いられ、トラス・メラン併用工法が別府明礬橋(1989年)で採用された。

(3) ロアリング架設

両アーチアバット上でアーチリブを鉛直に施工した後、アーチリブ先端に設置した架設ケーブルを徐々に緩めることで、アーチリブを所定の位置まで降下させ、クラウン部、スプリング部のコンクリートを打設してアーチリブを完成させる工法である。国内初のロアリング架設が、内の倉橋(1988年)で建設された。

(4) プレキャストセグメント架設

アーチリブ・鉛直材・補剛桁などの各部材を製作ヤードにてプレキャスト部材として製作後に組立て・架設する工法で、1964年に支間305mのグレースビル橋がオーストラリアに架設された。わが国では1998年に完成した阿嘉大橋(写真-11)で初めて建設された。

(5) メランまたは合成鋼管併用架設

メランまたは合成鋼管を先行架設し、アーチを形成した後にコンクリートを巻き立ててアーチリブを形成する工法

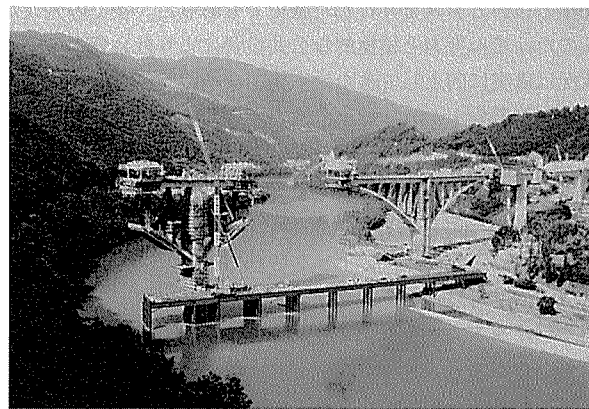


写真-10 池田へそっ湖大橋

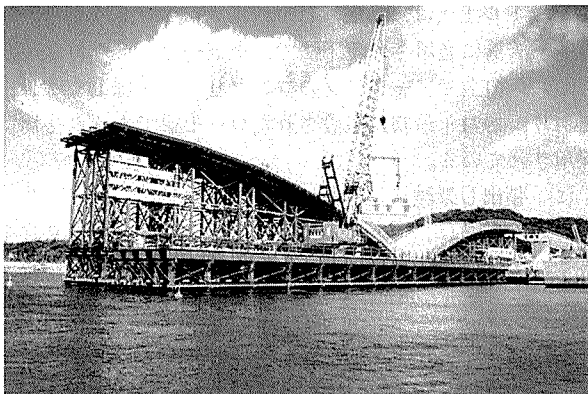


写真-11 阿嘉大橋

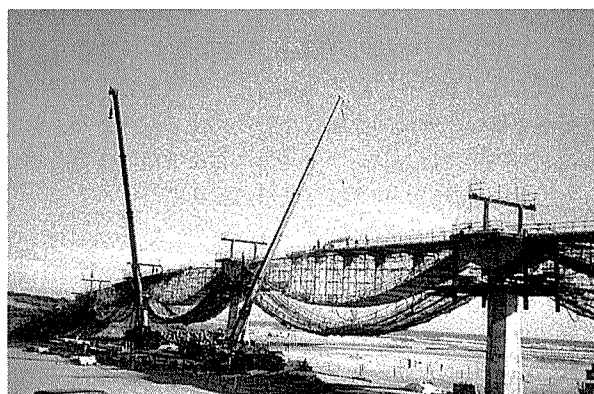


写真-12 潮騒橋

で、合成鋼管を用いる場合には鋼管架設後にコンクリートを充填し、剛性を大きくした後にアーチリブの施工を行う。1988年福島県の旭橋や新潟県の城址橋(1989年)が施工された。

6.3 吊床版橋の架設

吊床版橋は、橋台間に張り渡された多数のPC鋼材を薄いコンクリートで包み込んで床版を形成し、その上を人や車が通行できるようにした形式の橋である。

1958年ドイツのフィンスターバルター博士によってボスボラス海峡横断計画で初めて提案された吊床版橋は、わが国では1969年大阪万博会場内に吊り支間21mの9号橋が支保工施工により建設され、1984年には宮崎のキャンプ場内で2径間の双龍橋(支間2@36.5m)が施工された。1987年に支間63mのひぐらし橋が、懸垂架設工法により架設されて以来、PC吊床版橋の長支間化が図られ、今日では吊り支間147.6mの夢吊橋(1996年)が建設されるようになった。また、1991年には3方向分岐の亀甲橋が三重県のゴルフ場に建設され、1997年福岡県の公園に3径間連続橋の水鳥橋が完成するなど、PC吊床版橋は、現在さまざまなかたちで発展を続けている。さらに、PC吊床版を応用した構造として、逆アーチ形の吊床版上に脚柱を建て込み、その上に床版をのせた上路式吊床版橋の速日峰橋が1977年に建設され、1995年には、多径間連続上路式の潮騒橋(写真-12)が建設されるに至っている。

7. おわりに

わが国のPC橋の誕生と今日までの発展は、奇しくも戦後50年の復興と歩みを共にした歴史でもあった。多くの先人たちのたゆまぬ努力と積極的な公共投資により社会資本の整備状況は着実に向上してきた。本格的な道路整備は、1954年の一次道路整備5ヵ年計画から始まり、今では高規格幹線道路の供用延長も7000kmを超えるストック量となっている。また、橋長15mを超える道路橋は年間2000橋以上の規模で建設されていると言われ、2000年には13万5000橋を超える計算になる。このようにストックされた社会資本は、設計施工ノウハウや建設機材などソフト・ハード面において貴重な技術や資産をもたらしてきた。

今後は、少子・高齢化、情報化と国際化等が進み、社会のニーズがますます多様化されていくものと予想される。したがって、蓄積されたソフトとハードを有機的に結びつけ、高

度で効率的な建設技術の開発をしていくことが重要となる。

たとえば、コンピュータによる情報処理技術や自動装置・架設ロボットなどのソフト技術を活用させた架設が期待できる。CADシステムを発展応用した全体一般図、構造図の作成とすべての設計条件を直接コンピュータ処理し、その情報から設計条件に適したいくつかの施工方法を選び出し、シミュレーションによる架設検討を行う。このように安全性のチェック、機材数量の算出、施工工程、施工費用算出などが処理できるようになるであろう。施工現場では、ロボットを遠隔操作し、センサーを駆使して所定の位置に架設することも可能になろう。

また、これまで蓄積された建設機材の改良と新しい開発を加えながら、効率的に稼働させる方法を考えるべきであろう。そのためには、企業にストックされた機材を企業間の交流により循環運用して、建設能力を高め、建設コストの縮減に努める必要がある。

さらに、建設技術を匠の技術で支えてくれた橋梁工の継承を忘れてはならない。

これまで数多くの素晴らしいPC橋が建設され、それぞれに思い入れ深い架設の歴史があるが、本稿では誌面の都合等もあり、ご紹介できなかった橋梁もあることをお詫び申し上げます。

最後に、大切な施工中の写真や貴重な資料の提供依頼に対し、快くご協力いただいた方々に心より厚く御礼申し上げます。次第である。

参考文献

- 1) 佐藤：架設工法の歴史、橋梁と基礎、Vol.16, No.8, pp.61~66, 1982
- 2) 曾我部：施工におけるPC橋の将来、プレストレストコンクリート、Vol.38, No.6, pp.33~37, 1996
- 3) 小村：プレストレストコンクリート橋上部構造架設工法の変遷と展望について、プレストレストコンクリート、Vol.20, No.3, pp.9~15, 1978
- 4) 大神、理崎：架設工法の概要と架設計画、橋梁と基礎、Vol.22, No.12, pp.39~46, 1988
- 5) 和田、岡本：コンクリートアーチ橋の施工、プレストレストコンクリート、Vol.40, No.6, pp.15~21, 1998
- 6) PC構造物の歴史散歩、プレストレストコンクリート、Vol.35, No.6, pp.16~44, 1993
- 7) 池田(監)：プレキャストブロック工法、日刊工業新聞社、1969
- 8) 前田、中川、大内ほか：ゲリュストワーゲンを用いた施工法について、プレストレストコンクリート、Vol.14, No.6, pp.12~18, 1972

【2000年8月31日受付】