

PC 橋架設工法の歴史

— 最近の架設工法を中心として —

菅野 昇孝*1

1. はじめに

わが国の PC 技術の発展は 1928 年にフレッシュナーが日本に特許出願したことに始まる。それから半世紀以上を過ぎた現在、PC 橋の設計施工技術は、構造形式の変革と施工機械の進歩が車の両輪となって、多大な進歩を遂げている。

過去の PC 橋架設工法発展の歴史については、すでにさまざまな報文があり、これらに詳しく記載されている¹⁻³⁾。そこで本稿では、過去については概説するにとどめ、近年における PC 橋架設技術の発展を中心に紹介する。なお、PC 橋の発展には架設技術だけでなくコンクリートや鋼材の進化、電子計算機技術の発展による設計の高度化など、さまざまな要素が絡んでいる。これらの材料や構造形式の変化がもたらした変化についても少し触れるものとする。

2. 架設工法の歴史（1951 年から 2000 年頃まで）

わが国初の PC 橋は 1951 年に架設された長生橋（写真 - 1）である。石川県七尾市の御祓川に架設された、スパン 3.6 m の 3 径間プレテンション単純合成スラブ橋であり、工場で製作された PC 桁を荷馬車で運搬し、人力での架設が行われている。2001 年に撤去されたあと、耐荷性や耐久

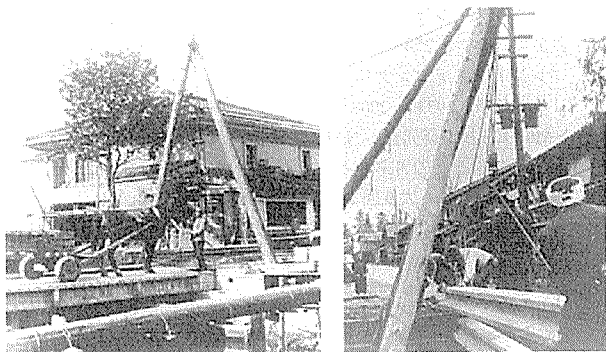
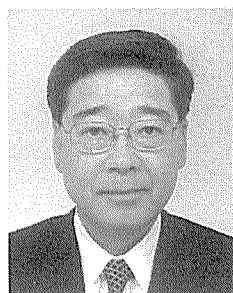


写真 - 1 長生橋



* Noritaka SUGANO

本協会監事
(株)富士ピー・エス 取締役

性が調査され、現在は希望の丘公園の歩道橋として活用・保存されている。

長生橋建設から 2 年後の 1953 年、わが国初のポストテンション橋である十郷橋が架設された。橋体は工場製作のプレキャストセグメントであり、架設地点まで運搬したのち、継目部にモルタルを充てんしてポストテンション方式でプレストレスを導入して一体化された。この頃、橋梁のスパンは 20 m 程度まで伸びたが、架設機械はカグラサンや二又、手巻きウインチなどが使用されており、架設方法は依然として人力によるものであった。

1954 年にはスパン 30 m のポストテンション桁橋である鉄道橋の第一大戸川橋梁が架設された。当時一体打設された PC 橋としては最大のものであり、昨年、「造形の規範となっているもの」として文部科学大臣により『登録有形文化財』に登録された。このような黎明期を経て、1955 年には土木学会「プレストレスコンクリート設計施工指針（案）」が制定され、1959 年には JIS A 5313「スラブ橋用プレストレスコンクリート橋桁」が制定されるなど、PC 技術の基礎が固まるとともに、急速な発展が始まった。

1960 年代の高度経済成長期には、東海道新幹線、名神・東名高速道路、首都・阪神高速道路などでさまざまな PC 橋が施工された。その背景は、首都圏への人口集中と自動車台数の激増に伴う慢性的な交通渋滞があり、幹線となる道路を多量に短期間で作る事が求められたことであった。

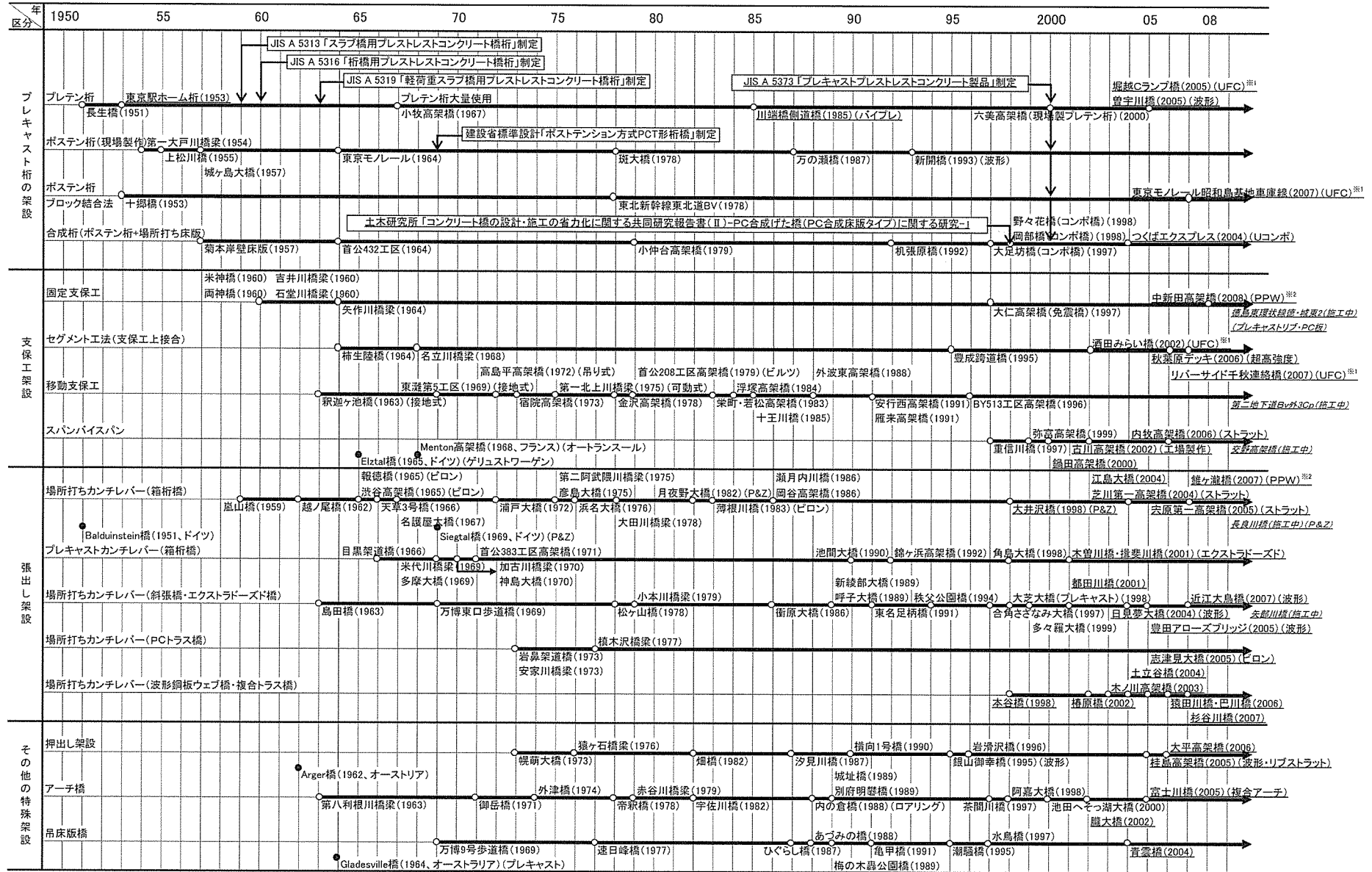
この頃には、従来の鉄筋コンクリート橋の技術がそのまま応用できる支保工上での一体打設による PC 橋も多く建設されるようになった。1960 年には橋長 125.3 m、曲線半径 120 m という 4 径間単純箱桁橋の米神橋が施工された。丸太材を支柱として使用し、単純桁を支保工上で一気に打設する方法がとられた。

その一年前の 1959 年には神奈川県でドイツ人技師の技術指導により中央径間長 51 m の嵐山橋が張出し架設工法によって施工され、1963 年には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された釈迦ヶ池橋が架設された。この時期になると、これら現在の架設工法の基礎となる工法が相次いで開発され、その後の飛躍的な架設技術発展のきっかけとなった。

また、1960 年に JIS A 5316「桁橋用プレストレスコンクリート橋桁」が制定され、本格的な PC 橋の活用が図られるようになった。この頃ポストテンション桁ではエレクションタワー、エレクションガーダー、門型クレーンなどによる架設が行われるようになり、スパンも 40 m 程度まで長くなった。

60 年代後半から 70 年代にかけては、さらなる急速施工

表 - 1 PC 架設工法の年代表



※1 UFC: 超高強度鋼繊維補強コンクリート ※2 PPW: プレキャストプレテンションウェブ

や労働力不足解消に向け、官民の研究も盛んに行われるようになった。1966年には国内初のプレキャストキャンチレバー架設となる日黒架道橋が建設され、東関東自動車道の千葉～成田間では1971年の成田空港開港に向けて、跨道橋36橋の急速施工法として、下部工と並行して製作された長さ2～3mのセグメントを支保工上で樹脂接着により組み立てるブロック工法が行われた。また、1972年には高島平高架橋で移動支保工による架設が行われ、1973年には幌萌大橋が押し出し工法により架設されるなど、天候に左右されず、機械化と省力化を図った架設工法が誕生している。また、1974年にはコンクリートアーチ橋の外津橋が張出し架設工法により架設されるなど、架設工法の多様化も進められた。

1976年には当時の世界最長スパン240mを誇った浜名大橋が建設された。1982年には張出しブロック長の大型化を図った月夜野橋がP&Z工法により架設され、1984年にはスパン長45mの9径間連続箱桁橋の浮塚高架橋が移動支保工により架設された。その6年前の1978年には岸壁ヤードで一体化した3主桁のポストテンションT桁橋1径間分をクレーン船を用いて一括海上架設した斑大橋が建設された。このように1970年代後半から80年代は橋梁の長大化に対応し、さらなる効率化を図るため、施工機械の大型化が進められた時代であった。また、1988年には内の倉橋で、鉛直施工したアーチリブを徐々に倒して中央で併合するロアリング工法が行われるなど斬新な工法も登場した。

1990年代に入ると、PC橋には合理性とコストの縮減が求められるようになり、架設工法もそれに適応するための改良が進められた。1990年には狭隘な場所へ進入でき作業効率もよい500t吊り大型油圧式クレーンがドイツから輸入され、施工の効率化が図られた。また、この時期は複合構造や、外ケーブル方式を採用した橋梁も建設されるようになるなど、橋梁形式も複雑、多数化されるようになった。

1997年にはショートラインマッチキャスト方式で製作されたセグメントをスパンバイスパン工法で架設した重信川橋が、1998年にはプレキャストセグメント工法によるアーチ橋の阿嘉大橋が建設された。また、コスト縮減の方法として1997年にはコンポ橋が提案され、第一号橋となる大足坊橋が架設されるなど、プレキャスト化による施工の合理化が進められた。

表-1にPC架設工法の年代表を示す。同表は本誌Vol.42, No.6¹⁾に記載の年代表に新しい実績を追加したもので(新しい実績については下線を引いている)、現在施工中のものは斜体字で示している。

3. 近年の架設工法

3.1 プレキャスト桁の架設

近年の架設用機材は大型化や性能の向上がめざましく、架設桁架設工法ではダブルガーダー抱込み方式によりスパン50m超の橋梁も建設されるようになった。移動式クレーンは機械式が主流だったが、簡易な組立解体で機動性に優れる吊能力150～650t吊りの大型油圧式クレーンが導入され、多用されるようになった。写真-2は、400t吊り

油圧式クレーン相吊りによる架設状況である。海上では羽田空港D滑走路新設工事において400t吊りフローティングクレーンによる架設(写真-3)が行われている。



写真-2 大型油圧式クレーン架設



写真-3 フローティングクレーン架設

3.2 支保工架設

固定支保工架設は斜橋や曲線橋など多様な線形に対応が可能で、桁下高さが低く支持地盤が良好な場合に採用されてきた。近年では、支保工機材の改良により桁下高さが高い場合や起伏の多い山岳地帯でも施工が可能になっており、橋長が500mを超える等径間が連続した橋梁や支持地盤が軟弱で支保工基礎に多くの費用を要する場合には移動支保工やスパンバイスパン工法による施工が行われている。

(1) 固定支保工

支保工材は枠組式、楔式、支柱・梁式、パイプ支柱式、トラスビームなど順次支持耐力の大きなものが開発され、適宜組み合わせで使用されている。また、徳島東環状線では2主版桁橋の横リブと中間床版の埋設型枠にプレキャスト部材が使用され、省力化施工を行っている。

(2) 移動支保工

移動支保工による施工は桁下空間の阻害がなく、安全施工と工期短縮が図れる。従来はスパンが25～35mの連続

中空床版橋や連続箱桁橋に採用されてきたが、最近では単純桁橋が連続する場合や2～3主版桁橋、T桁橋などの橋種も適用されるようになった。写真-4は、4主T桁橋（九州新幹線，31径間単純桁橋）への適用例である。

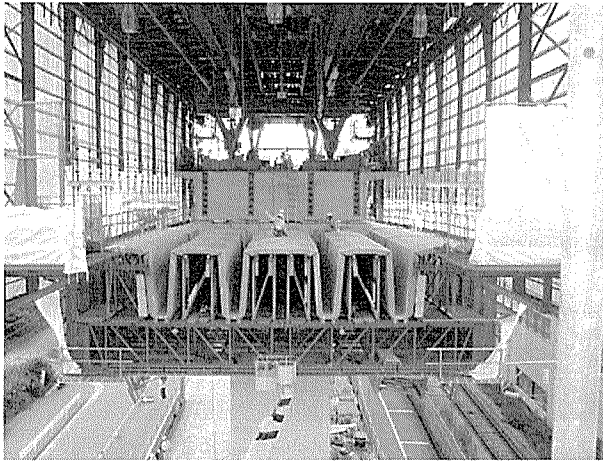


写真-4 4主T桁橋の移動支保工架設（九州新幹線）

(3) セグメント工法

2000年には鍋田高架橋で交差点を跨ぐ3径間（45 m + 90 m + 45 m）に波形鋼板ウェブ構造が採用され、下り線位置にパイプ支柱と大型ガーダーによる支保工を組み立て、その上に反対車線の上り線橋体を完成させた後、3径間分を15.5 m一気に横取りする施工が行われた（写真-5）。2004年には道路橋で多用されていたI桁コンポ橋の桁断面をU型とし、これをプレテンション方式にて工場製作して支保工上で接合する「Uコンポ橋」が建設された（つくばエクスプレス高架橋：鉄道橋）。近年開発の超高強度繊維補強コンクリートによる橋桁は、コンクリート施工の品質管理上セグメントとして工場で作製され、酒田みらい橋（2002年）やリバーサイド千秋連絡橋（2007年）が支保工上での接合、東京モノレール昭和島基地車庫線のモノレール桁（2007年）が架橋下の地上での接合により架設された。

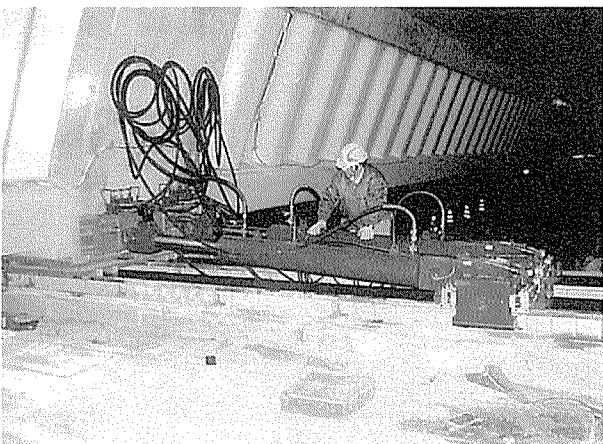


写真-5 3径間一括横移動架設

(4) スパンバイスパン工法

スパン30～50 mの多径間連続桁をプレキャストセグメントを用いて1径間ずつ架設していく工法で、セグメントの製作は現場近くの製作ヤードか既存工場で行う。現場ヤードで製作する場合は仮設備費が膨大となるため、比較的小規模な橋梁では公道輸送可能な重量（30 t）以下に小分割して工場製作する。2002年に施工された古川高架橋（写真-6）はセグメント形状を上床版を除いたU型としセグメントを長く保ったまま軽量化して架設手間を省くと同時に、上床版をリブとPC板を用いた合成床版方式とすることで急速施工と型枠支保工の省略を図っている。同じU型セグメントを現場ヤード製作したのが現在施工中の第二京阪道路茄子作地区高架橋で、1スパンを柱頭部と支間部のみで2分割としている。2006年建設の内牧高架橋では張出し床版を除くコア部分のみのセグメントを先行架設した後、ストラット付き張出し床版を施工して架設重量の軽量化を図っている。

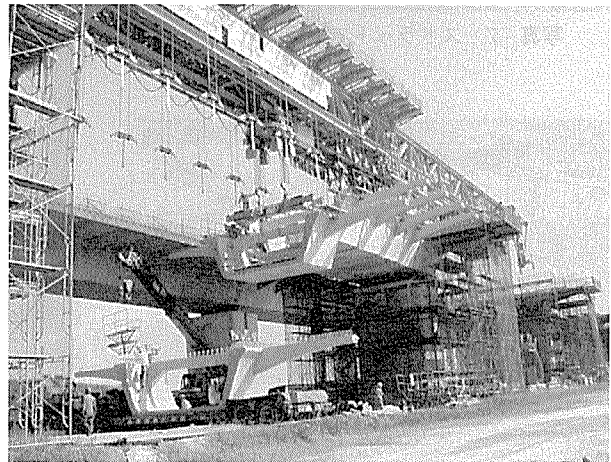


写真-6 スパンバイスパン工法（工場製作セグメント）

3.3 張出し架設

張出し架設工法は、急峻な地形を有するわが国にとって、渓谷、海峡、大河川の架橋を容易にする工法として、その後のPC橋の発展を目覚ましいものとした。本架設工法は現場打ちの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セグメント工法との併用や桁橋以外の斜張橋、エクストラドーズド橋、アーチ橋など多岐にわたる構造形式に多用され、長大スパンの橋梁に幅広く使われている。2000年以降は、広幅員橋梁や主桁の軽量化によるコスト削減を目指した複合構造（波形鋼板ウェブ橋、複合トラス橋等）に適用するため種々の改良が加えられている。

(1) 場所打ち・プレキャストカンチレバー

広幅員化や施工ブロック長の増加の要求に対して、架設移動作業車は200～250 t・mから350～1000 t・mへの耐力増強・大型化が図られた。また、広幅員橋梁のコスト削減構造として採用されるようになったリブやストラット付き張出し床版（写真-7）の架設対応として種々改造が加えられている。さらに、2007年には合理化施工を目的としてウェブをプレキャスト化（プレキャストプレテンションウエ

ブ工法)した錐ヶ瀧橋(写真-8)が建設された。中新田高架橋では固定支保工によって同工法にて施工中である。2008年には片持ち構造のフィンバック箱桁橋(豊平峡ダム上流橋)が架設桁併用張出し架設工法により施工されている。

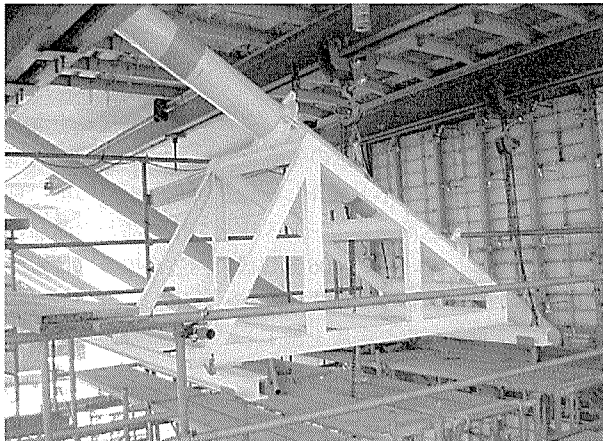


写真-7 ストラットで支えられた張出し床版構造

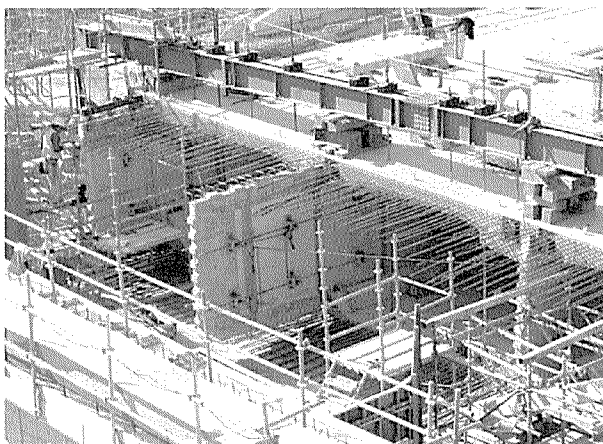


写真-8 プレキャストプレテンションウェブ橋の架設

(2) 斜張橋, エクストラードズド橋

同種橋梁がわが国に導入された初期では、歩道橋などの小規模橋梁を中心に採用されており、この頃の架設は固定支保工によるものがほとんどであった。その後、解析技術の向上による構造メカニズムの解明、高精度な出来形管理手法の開発がなされ、張出し架設工法による施工が主流となってきた。主塔の施工も初期の総足場工法から自動昇降設備を備えた移動足場工法へと進化し、合理化・急速施工が可能となってきている。最近の代表的な橋梁としては、中央径間部の一部を鋼箱桁として主桁重量の軽量化によるスパンの増大を可能とした木曾川橋・揖斐川橋(2001年写真-9)や、ウェブに波形鋼板を使用した豊田アローズブリッジ(2005年)などの複合構造形式がある。木曾川橋・揖斐川橋では、上下線を一体化した重量400tの大型セグメントを洋上運搬可能な製作ヤードで製作し、台船で運搬後、桁上のエレクションノーズにより吊り上げ接合する方法

により張出し架設された。径間中央の鋼箱桁部(長さ105m, 重量約2000t)は、セグメントの張出し架設の完了後に両側のエレクションノーズにより一括架設されている。

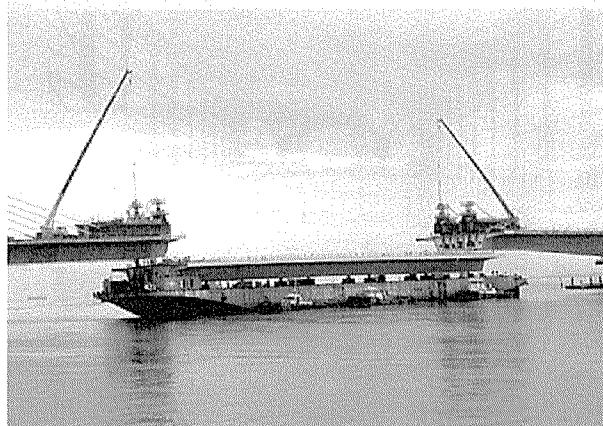


写真-9 エレクションノーズによる鋼桁一括架設

(3) 波形鋼板ウェブ橋, 複合トラス橋, PCトラス橋

波形鋼板ウェブ橋はプレキャスト桁として現場製作された新開橋(1993年)に始まったが、現在では道路橋、鉄道橋を問わず100橋以上の実績になる。架設方法は、桁下高さが小さい場合は固定支保工の採用もあるが、張出し施工によるものが大半で、架設移動作業車は波形鋼板の架設が可能となるようメインフレーム高さの嵩上や荷役設備の改良が加えられている。土立谷橋(2004年)や杉谷川橋(2008年 写真-10)ではドイツでの施工実績を導入、改良し、波形鋼板ウェブを架設桁として活用して移動作業車の軽量化や施工の省力化を図っている。

PCトラス橋は1972年建設の岩鼻架道橋など、工場製作の高強度コンクリートトラス部材が使用されていたが、近年ではウェブに鋼製トラス部材を用いて軽量化した複合トラス橋が建設されている。架設は張出し架設工法によるもので、木ノ川高架橋(2003年)、志津見大橋(2005年)や猿田川橋・巴川橋(2006年 写真-11)などがある。

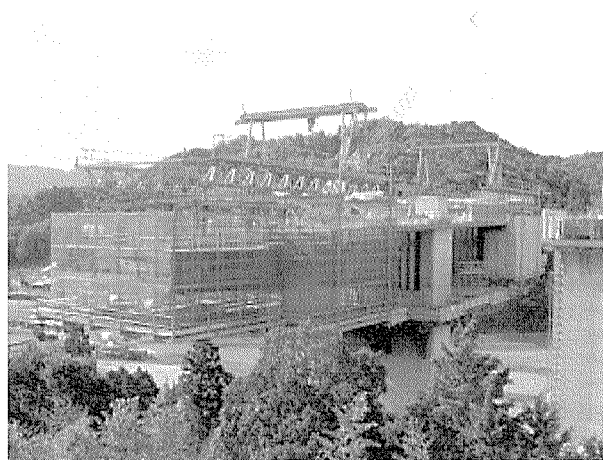


写真-10 波形ウェブ橋の張出し架設

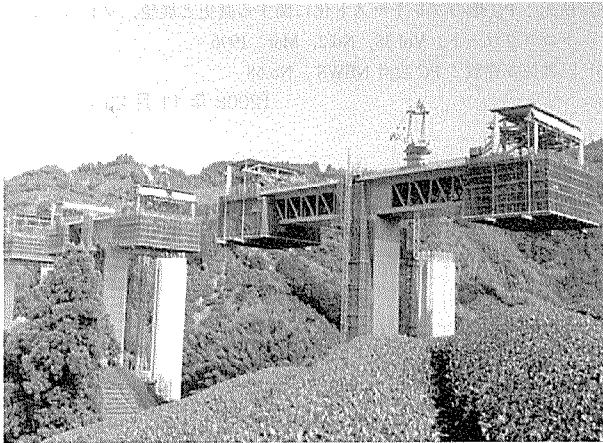


写真-11 複合トラス橋の張出し架設

3.4 その他の特殊架設

(1) 押し架設

架設方法に大きな変化はないが、押し重量を軽減するための主桁構造の工夫や架設ケーブルを本設の外ケーブルに転用してコスト削減を図るなどがなされている。桂島高架橋（2005年 写真-12）はウェブを波形鋼板としたうえで張出し床版をプレキャストのリップとストラットで支える構造とし、コア断面のみを押し架設した後に張出し床版を合成床版工法にて施工した。押し架設時の桁重量は通常の半分程度に軽減されている。

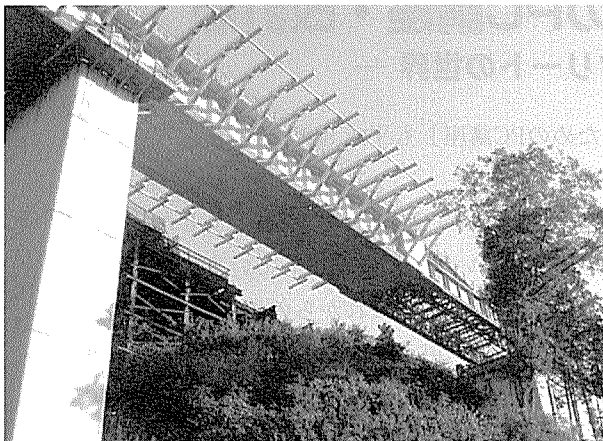


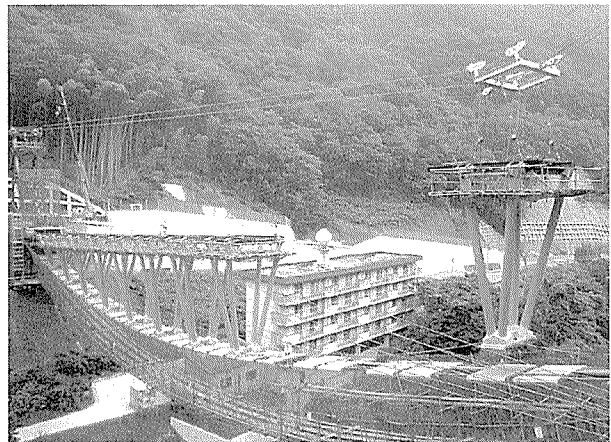
写真-12 押し重量の軽量化による架設

(2) アーチ橋の架設

アーチ橋の架設工法は、固定支保工架設、ピロン張出し架設、トラス張出し架設、メラン架設、ロアリング架設など、桁下条件やアーチスパンの大小によりさまざまな架設工法が開発されてきた。2000年以降に改良が加えられたものとしては、国内初となる鋼・コンクリート複合アーチ橋の富士川橋（2005年）がある。河川内に構築した仮支柱とそのアーチリップ上に構築したピロンを併用したうえで、本設のアーチアバットを架設時の反力体とすることで斜吊材やアンカー材を削減している。

(3) 吊床版橋の架設

吊床版橋は従来のオーソドックスな単径間タイプから多径間連続タイプ、鋼ストラットを使用したタイプ、さらには自碇構造の曲弦トラス橋へと発展した。青雲橋（2004年写真-13）は、自碇式PC複合トラス橋として世界初の車道橋として建設され、2006 fib Awardを受賞した。架設時には床版1次ケーブルに外ケーブルを用いて床版の軽量化を図り、吊床版と斜材トラスを一体ユニット化してケーブルエレクションにより架設された。

写真-13 自碇式PC複合トラス橋（吊床版形式）の架設⁶⁾

4. おわりに

ここ数年のPC橋建設投資の激減が示すように、低成長期から成熟期に突入した今PC橋建設に求められることは「確かな品質と安全施工、そして低コスト」であり、近く到来する高齢化社会、熟練作業員の枯渇を踏まえて有意な技術開発をしていく必要がある。今後、ますますプレキャスト化と機械化技術の発展が重要となる。均一な製造工程による高品質な工場製品をつくり、機械化架設によって現場で安全施工を実施する。これらは急速施工を可能とし低コスト化へと繋がる可能性がある。工場や架設機械の共有、技術研究の共同作業など、施工者間、諸研究機関との協力関係の推進も重要である。

橋長15m以上の道路橋ストックは150000橋を数える。この膨大なストックに対すすでに改修事業は始まっており、急激な増加は近い。品質確保、安全施工のほか、迅速かつ供用しながらの施工が可能な「架替え」や「床版取替え」の技術開発も急務である。

最後に、貴重な写真と架設に関するさまざまな情報のご提供などを快くご協力いただいた方々に、心より御礼申し上げます。

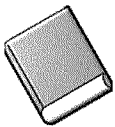
参考文献

- 1) 長尾：PC架設工法の歴史について、プレストレストコンクリート、Vol.42, No.6, Nov, pp.108-114, 2005
- 2) プレストレストコンクリート技術協会：PC橋架設工法, 2002

- 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 技術の変遷，2003，11
4) 角谷，酒井：木曾川橋・揖斐川橋の計画，プレストレストコンクリート，Vol.39，No.2，Mar，1998

- 5) 秋元：PC 橋のプレキャスト化に関する歴史と展望，プレストレストコンクリート，Vol.38，No.2，Mar，1996
6) 三井住友建設：PC 設計 NEWS，No.68

【2008 年 11 月 25 日受付】

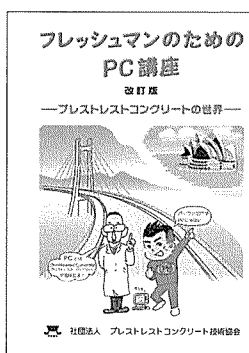


新刊図書案内

フレッシュマンのためのPC講座・改訂版 — プレストレストコンクリートの世界 —

大変ご好評をいただいております「フレッシュマンのためのPC講座」も平成9年に第一版が発刊されてから約10年が経過いたしました。

その間に、基準値・規格値をはじめとした技術基準が従来単位系からSI単位系に移行しました。また、プレストレストコンクリート構造物においても、複合構造等の新しい構造物が誕生しています。そこで、これらの項目を新しく見直して、改訂版を発刊することにいたしました。これからの技術者を育てるためには、大変有意義な図書であると確信しておりますので、是非有効利用されることをお勧めいたします。



主な改訂項目

- ・従来単位系からSI単位系に変更しました。
- ・PCを利用した構造物の紹介に、最近の新しい構造物を盛り込みました。

発刊日：2007年3月

定価：3,600円／送料400円／冊

会員特価：3,000円／送料400円／冊

体裁：A4判，140頁

申込先：社団法人プレストレストコンクリート技術協会