

特集

---

PC橋梁上部構造物の  
架設機械および工法

---

# プレストレストコンクリート橋上部構造物架設工法 の変遷と展望について

小 村 敏\*

## 1. はじめに

昭和 33 年に、神奈川県相模湖畔で、嵐山橋が架設工事を開始した。この橋梁は、コンクリート橋の支間 40m の壁を破り、51 m に伸ばしたことも特記されるべきであるが、もっとも特徴的なことは、その架設工法が画期的なものであった点である。下から支える支保工なしに、Vorbauwagen といわれる作業用車内で型枠をセットし、コンクリートを打設し、養生後そのコンクリートにプレストレスを導入して、それを足懸りとしながら作業用車を突出して行く工法である。この工法は、1950 年代の初期に、Ulrich Finsterwalder がドイツ各地で採用を始めて後、日本に導入されて、嵐山橋で採用されたわけであるが、その後の日本のプレストレストコンクリート橋の架設工法に大きな影響を与えた工法で、一つの先駆的・始祖的役割をもつものである。

この架設法は、原理的に非常に単純明快で、コンクリートの特性を生かしたよい架設法であり、現在では常識的な工法として受け入れられ、様々な形に変化して用いられている。近年では、この架設法は他家ドイツを凌ぐ隆盛ぶりであり、毎年コンクリート桁橋の支間記録を伸ばし、現在では、浜名大橋が世界最長を誇っている。

嵐山橋以来 20 年が経過したが、プレストレストコンクリート橋の架設法は、他の様々な外的条件の変化を受けて移り変っている。第一には、架橋地点の変化であり、橋梁が河川、溪谷を渡るものとされていた時代から、都市内高架橋として多用される時代を経て、海を渡る大橋梁として活用されるようになってきている。第二には、日本工業の発展に伴って、機械類は急速の進歩を遂げ、軽量で安い目的にかなった建設機械類が続々と生み出されている点である。さらに社会構造の変化は、建設業の分業化を促進させ、資器材のリース業も誕生し、建設会社の体制をも変化をさせた。一方では、国民の職業志向の変化で、熟練労務者が不足し、人件費も高騰し、人力を機械力に置き換えて、コストの低減を図らざるを得ない情勢になった。プレストレストコンクリート橋の架設機械

も、これら架橋地点の変化、社会構造の変化、経済の発展、人件費高騰などの影響を受け、年々変化している。

本稿では、プレストレストコンクリート橋の架設機械について、嵐山橋前後から、現在までの歴史的な軌跡を追い、将来の展望を概説してみたい。

## 2. 架設工法の変遷

もっとも初期のプレストレストコンクリート橋は、工場で作成したプレテン桁を、現場で間詰コンクリートを打設し、横締めをして一体化した形式のものである。支間も 5~6 m のものが多く、架設機械も、人力、馬力に頼るか、簡単なクレーンやウインチの組合せ程度のものである。日本最初のプレストレストコンクリート橋は、この方法で昭和 26 年度に架設された支間 3.82 m の七尾市の長生橋である。それに続く形式は、工場で小さなブロックを製作し、それを現場付近のヤード、もしくは架橋地点に運搬し、縦列してプレストレスを導入し、一体化して架設した形である。運搬時の制約がプレテン桁より少ないこともあって、支間は伸びたが、小規模なクレーンや引出し機しか開発されておらず、その能力の限界もあって、支間は 20 m 止まりであった。

その後、橋梁の発注規模が大きくなったことで、現場付近にコンクリート打設設備を設けても、十分に採算が見合い、また現場におけるコンクリートの品質管理の方式も研究され、十分にそれに応えうる体制も確立したことや、レディミックスコンクリートが普及し始めたことなどから、現場付近のヤードで桁全体を製作し、それを架設後、間詰めコンクリートを打ち、横締めする方策が一般的になってきた。この時代になると、架設機械も進歩し、架設工法としてケーブルエレクション工法、タワーエレクション工法、ガーダーエレクション工法が採用され、支間も 40 m 程度に伸ばされた。この当時の代表的な橋梁としては、上松川橋、城ヶ島大橋が挙げられる。ことに城ヶ島大橋は支間こそ上松川橋に劣るが、非常に高所に架設された橋梁であり、相当の重量物を高所に架設できた点で、架設機械の進歩が窺われる。この工法は、現在でも一般的な架設法としてよく用いられて

\* 首都高速道路公団工務部工務企画課長

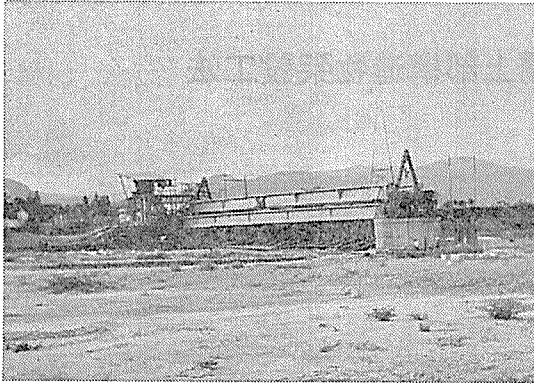


写真-1 架設中の上松川橋  
(オリエンタルコンクリート(株)提供)

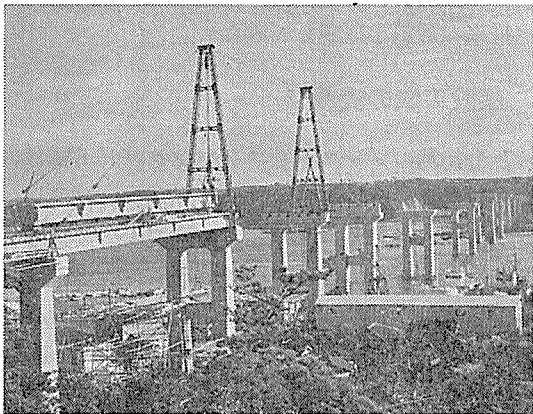


写真-2 架設中の城ヶ島大橋  
(オリエンタルコンクリート(株)提供)

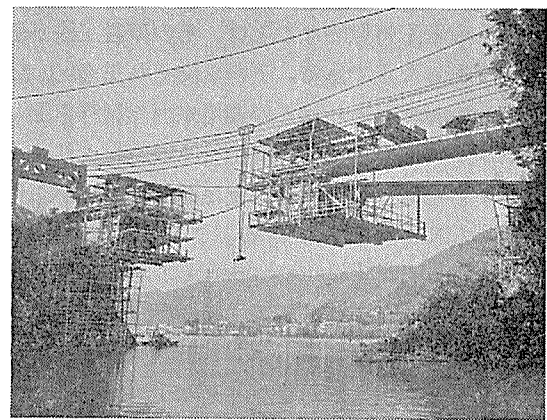


写真-3 架設中の嵐山橋  
(住友建設(株)提供)

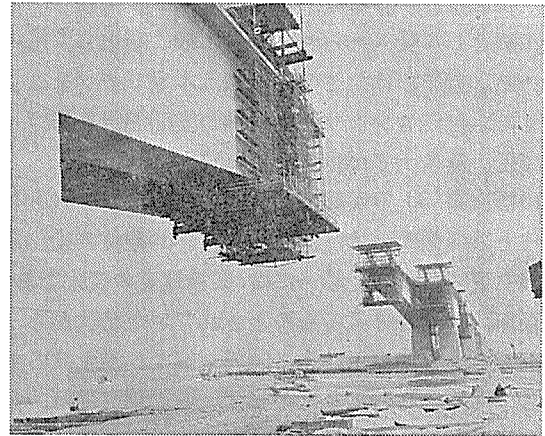


写真-4 架設中の浜名大橋  
(住友建設(株)提供)

架橋地点が都市内に移り、高架橋が数多く建設されるようになり、架設高は低くなり、道路線形に合わせて橋梁を構築する必要から、現場打ちの利点が十分に発揮できるステージング工法が、この時代では適していたのである。

前述のとおり、昭和 33 年には、ディヴィダーク工法による片持梁工法が、日本に導入された。従来山間溪谷で橋脚の施工が困難とされていた場所に、橋脚なしで長径間のコンクリート橋を実現された功績は、非常に大きい。原理的には、今さら説明の要もないが、作業用車を有効に使いながら、コンクリートを打設し、緊張を続けながら張出していく工法で、それまでの日本のコンクリート橋の架設には考えられていなかったユニークなもの

いる。

次の時代になると、ステージング工法による架設法が本流となる。それまでの時代の PC 工法は、フレッシュ工法がすべてであり、PC 鋼材の継足しが不可能であった。昭和 32 年に BBRV 工法、昭和 33 年にディヴィダーク工法が日本に導入されて、PC 鋼材の継足しが可能になるにつれて、連続桁が多数計画されるようになった。昭和 34 年には、多量の導入量が可能で連続桁に適したバウル・レオンハルト工法も導入されて、ステージング工法が脚光を浴びるようになった。当時は、架設機械も大型のものが少なく、かつ台数も限られていたので、工事費に占める機械損料が多額であった点と、型枠に鋼製型枠が一般的に用いられるようになり、リース業が独立し多量の型枠が供給されるようになった点、さらにこの状況を見ながら、支保工・足場のリース業も誕生し始めた点などの背景も、ステージング工法の伸張を助けた。さらに、日本経済の発展に伴って、公共事業費が増大し、プレストレストコンクリート橋の発注件数も急速に伸び、建設会社も相当数の足場・支保工を用意しても、十分に採算が取れるようになってきた。その他に、

である。この工法は、嵐山橋に採用されて以来 20 年間に亘って発展を遂げ、現在では浜名大橋が 240 m と世界最長を誇っている。ただし初期の段階では、作業用車の重量も重く、かつ工事費のうちに占める作業用車の費用のウェイトも高く、それほど経済的なものではなかった。その後改良が加えられ、軽量化されるとともに、応

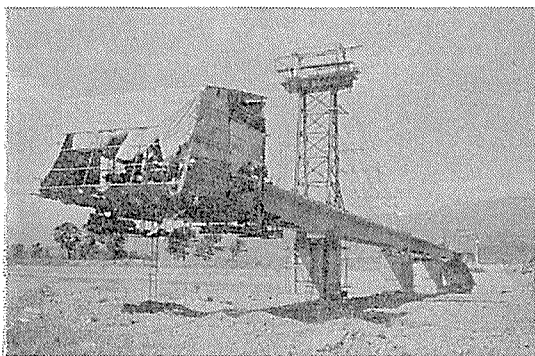


写真-5 架設中の報徳橋  
(住友建設(株)提供)

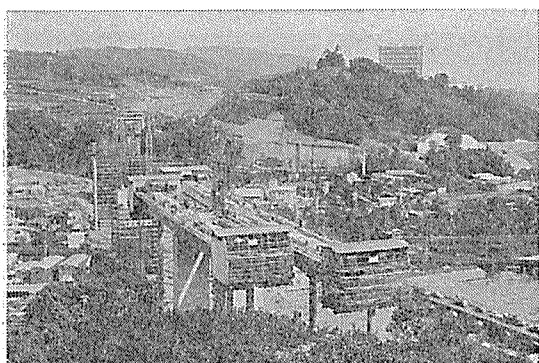


写真-6 施工中の川音川橋  
(住友建設(株)提供)

用範囲の広いものに変化し、2~3回と再使用されるにつれて、製作費も償却されて、コスト的にも安いものになってきた。

この作業用車が重いことで、架設時応力で断面が決まる場合があり、支間が制限されることもあった。これを補強したのが、ピロン工法である。この工法は、橋脚上にタワーをたて、斜鋼材で片持部の桁を吊り上げながら作業用車を張出していく工法で、架設時の斜張橋といえる。報徳橋や、渋谷高架橋のように桁高一定の橋梁に利用されたが、その後の作業用車の軽量化もあって、多用されてはいないが、アーチ橋の外津橋にその応用例が用いられ、再生の兆しを見せている。この架設法と類似するものに、仮ベント併用工法がある。川音川橋に見られるように、片持梁が張出していく際に、途中で仮ベントをたて架設荷重を支える工法である。この2工法とも、合理的な架設法であり、橋梁の形式、架橋地点によっては、大いにその威力を発揮するであろう。

一方、トラッククレーンの目覚ましい発展と、都市内などで支保工をたて長時間場所を占有することが困難になったことなどから、前記のプレキャスト桁並列の工法が見直され、工場か現場付近で製作された桁を、トラッククレーンによって架設する工法が採用され始めた。ただ

し従来の方法とは異なり、構造系としては合成桁が用いられている。プレキャスト桁を並列し、その上に鉄筋コンクリート床版を吊支保工で打設する方法である。したがって重量の軽くなった分だけ、支間を伸ばせるようになり、50 m程度のプレキャスト桁も2台のトラッククレーンの相吊りで架設可能となった。ことに市街地においては、街路の交通を支保工で分断することなく、工事を進めることができる点と、現場作業が通常の鉄筋コンクリート工事と同じで、緊張作業がないだけ工程が早まる点で、ステージング工法を駆逐したほどである。

同時期に、ブロック工法の復活や、プレテン桁の多量使用が見受けられる。市街地などで製作ヤード、桁のストックヤードなど用地の確保がますます困難となり、工場で桁を製作し、夜間その桁を架橋地点に搬入し、その夜のうちにトラッククレーンで架設する工法も、利点を発揮し始めたわけである。この場合のブロック工法は、柿生陸橋に見られるように、横方向全体を一つの大ブロックとして製作し、それらを継合せて橋梁を構成する方法であり、従前の小ブロック結合工法とは異なった形式である。目黒架道橋では、継目はドライジョイントで、接着剤塗布とプレストレスの併用で結合する方式が取られた。架設法としては、支保工上に縦列するか、トラッククレーンで所定の位置まで吊上げ、緊張で連結する方法で、在来の架設法の線上に位置する。

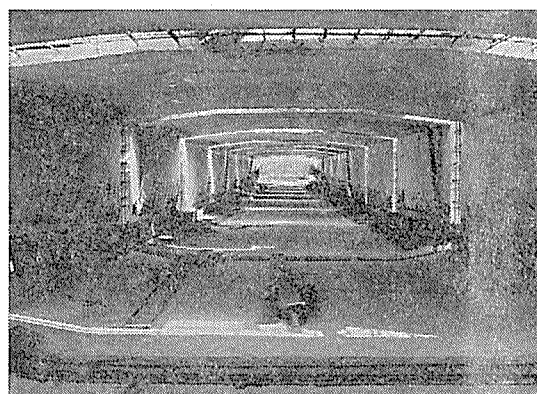


写真-7 施工中の柿生陸橋  
(大成建設(株)提供)

一方、小牧高架橋に見られるように、プレテン桁の多量使用も、この時代の所産である。急速施工が叫ばれる日本経済の高度成長前期において、工場で多量のプレテン桁を製作貯蔵し、下部工の進捗に応じ、現場に搬入架設し、短時間に工事を完成させた効果は、大いに喧伝されたものである。架設は、ほとんどトラッククレーンで行われている。従来プレテン桁のPC鋼材は、直線配置であったが、その時代を契機として、支間を伸ばす必要から、曲げ上げ配置が提唱され、JIS改訂の引き金とな

## ●展 望●

った点も見逃せない。

工期の短縮を図る意味と、一定の品質のコンクリート桁の供給を図る意味で、大ブロック工法と片持梁工法が結びつけられた。下部工の工期に合わせて、一定のプロセスで同品質のブロック桁の製作を完了しておき、それを作業用車を用いながら、既設桁上を引き出すか、下から吊り上げながら、接着剤とプレストレスを導入しながら突出していく工法が、次の時代の花形となった。多摩橋、神島大橋とその威力を発揮し、支保工なしに、海上でも河川上でも、長径間のコンクリート橋を可能にしてくれた。従来の1ブロック 3~5 日を要していた現場打ちの場合の工程を大幅に短縮できる点で、大なる効果が挙げられた。この工法は、橋桁のみでなく、将来拡張を要する段階施工が必要な橋脚、都市内で様々な制約で支保工の築造が困難な橋脚の横梁にも、広く応用されている。

東関東自動車道では、それら様々な工法の複合が見られる。広域に広がった橋梁の橋桁を、二個所のヤードで架橋地点毎の地形と架設工法に合せた形で、2~3 の標準型の桁にまとめて集中的に製作し、下部工の進捗に合わせて現場に搬入、架設した施工法である。桁の統一化は、一部調整箇所を設けることで解決しており、オーダーメイドではなく、橋桁のイージーオーダー形式といえよう。上下部同時に工事をスタートできることで工期が短縮できる点、施工管理が省力化できる点、型枠、支保工、機械力が繰返し使用できる点、労働力を一個所に集中して用いることができる点などが、利点として挙げられた。架設工法としては、トラッククレーンが用いられており、目新しいものではない。

日本経済が高度成長下に入ると、労働力の確保が問題となってきた。労働力の確保の困難さが、人件費の高騰を招き、労務コストを低く押えることが、各建設会社にとって急務となってきた。人力施工をできるだけ機械施工へと移行させ、労働力の量不足、質低下をカバーしつつ、労務コストを低く押える方式が、急速施工の面と合せて考えられるようになった。それらは、ヨーロッパを故郷とし日本で改良開発された移動吊支保工工法、可動吊支保工工法、押し出し工法などである。この風潮は、昭和 38 年に施工された釈迦ヶ池橋が端緒であるが、その時代は動くコンクリート工場という大規模なものではなく、支保工がそのままの形で移動できるので、支保工解体・組立ての手間を省略したものであった。昭和 47 年に施工を開始した高島平高架橋では、ほぼ 10 日間の工程で、1 支間 25m の橋梁を吊支保工上で完成させ、その支保工全体を前進させることで、次の支間の施工に移っている。労務者の延人員数も、在来のステージング工

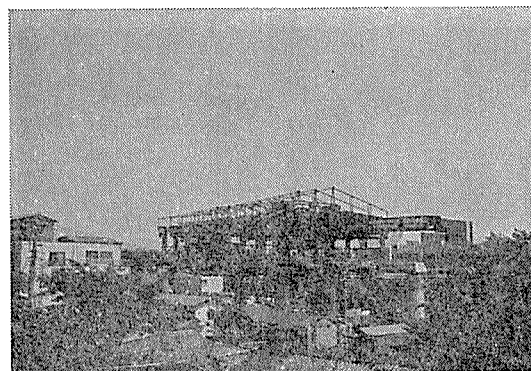


写真-8 市街地で施工中の移動吊支保工  
(首都高速道路 5 号 II 期線泉町・大原町付近)  
(住友建設(株)提供)

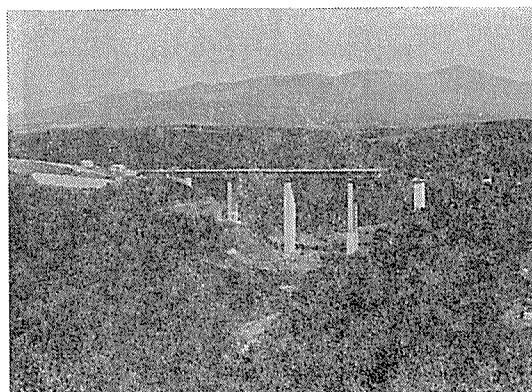


写真-9 架設中の幌崩大橋  
(大成建設(株)提供)

法に比べて、半数以下ですみ、全作業が継続的に行われるため、ピークがなく、労務者の数を一定に保つことができる点でも有利であった。

これら移動支保工関係の工法は、コンクリートを先端で打設し、支保工が前進するか、後方で打設し、支保工上を移動するかの違いはあっても、いずれも地上から支保工をたてることなしに、コンクリート工場を移動架設機内に内蔵し、架設クレーンを備えた動く工場といつてよい。これらの工法は、いずれも現在までの架設工法の集大成として位置づけることができる。以後に続く各論に、詳しい説明がなされているので、ここでの解説は省略する。

以上の架設工法の変遷を表示したのが、図-1 である。

### 3. 架設工法の時代区分

プレストレスコンクリート橋の架設工法の変遷をみると、図-1 のごとく、ほぼ 4 期に分類が可能である。もっとも初期は、プレストレスコンクリートそのものの黎明期で、設計手法も明確でなかった。プレテン桁、ブロック桁に見られるように、橋桁の製作自体が大きな仕事であり、架設工法までは、配慮が及ばなかった時代

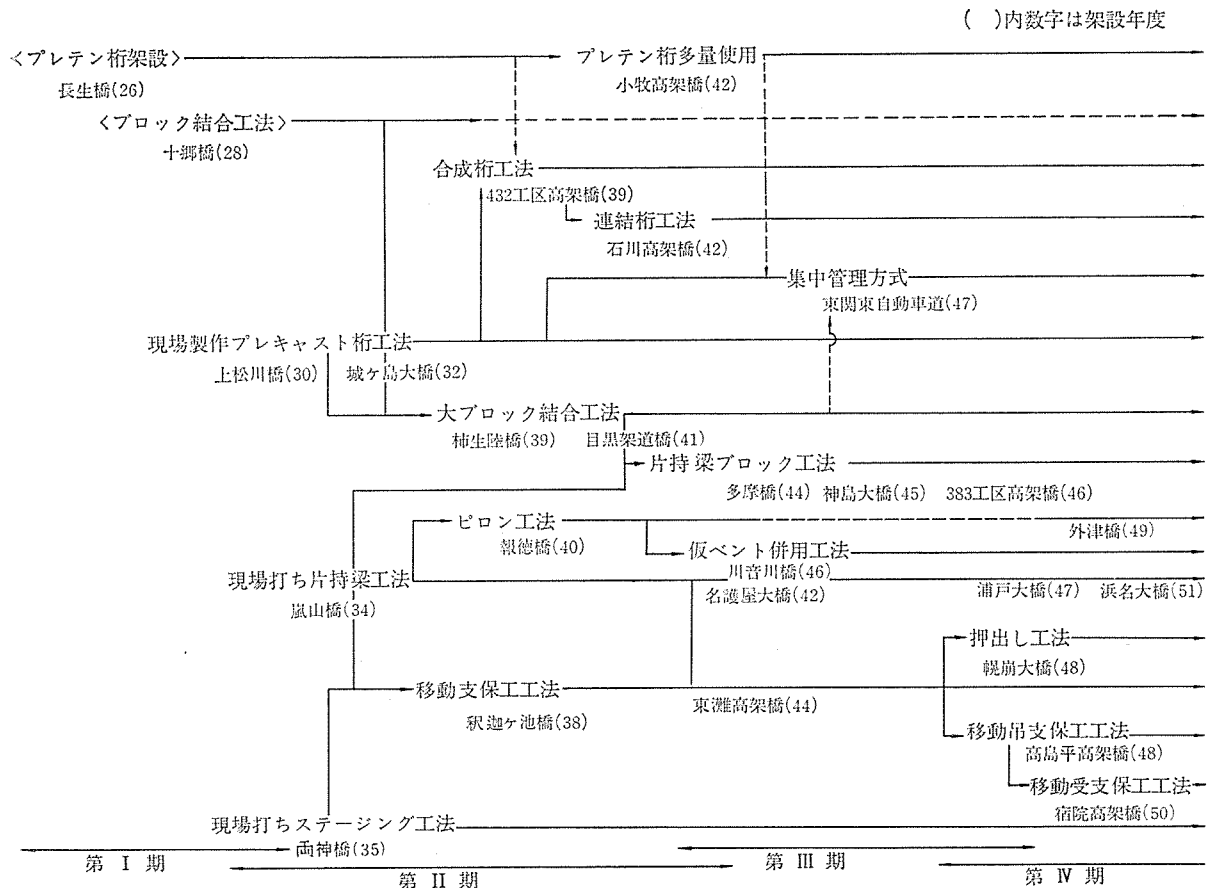


図-1 プレストレストコンクリート橋の架設工法の変遷

である。架設機械も既存の鋼桁の架設機を利用する程度で、コンクリート桁のような重量物を扱う場合には、不適當のものが多かった。昭和 30 年に、土木学会が「プレストレストコンクリート設計施工指針」を制定し、プレストレストコンクリートの基礎も固まり、次の時代へと移って行く。

第 2 期は、ヨーロッパの種々の PC 工法（ディビダーク工法、BBRV 工法、バウル・レオンハルト工法など）が、相次いで日本に導入された時代である。さらに現場打ち片持梁工法の導入を契機として、架設工法に目が向けられ始めた時代でもある。このような戦後の技術の空白時代に、いち早くヨーロッパの最新情報を入手して、日本に紹介した人々の意欲は、現在でも高く評価されている。その人々は、発注者側の強力なバックアップがあったにしても、ほとんど受注者側に属する人々であり、受注者の努力の所産である。各種委員会活動も、受注者側が中心となり、各種の架設工法が研究されていた。それら活動を通じて、その時代には実現しなかった工法も紹介されており、現在用いられている架設工法のほとんどすべての原型を見ることができ、この時代は、民指導型の時代といえる。ただし、直輸入型のものが多く、日

本的には消化されておらず、荒けずりのものがほとんどであった。

第 3 期は、日本的咀嚼が始まった時期で、第 2 期に比べて、架設機器でも使い易いように改良が加えられている。国産 PC 工法も数多く誕生し、種々の工法で多くの橋梁が施工された。また、東京オリンピック、新幹線関連で、公共事業の伸びが著しく、官民ともその仕事量を消化するのに苦勞した時代である。受注者側は、安定した工事量があり、前期に比べると、その座に安閑としていた傾向が見受けられる。プレストレストコンクリートを理解する技術者が、発注者側にも数多く育ち、彼らが自分の手懸けない架設工法を日本各地で企画・発注しており、受注者がそれにおとなしく従うというパターンで、官指導型の時代であった。技術的にはあまり進歩のなかった時代で、特に目新しい架設工法も生れていない。

公共事業の増大した時代から、鋼桁とコンクリート桁の競争は激しくなってきた。鋼橋の分野では、工場などの製作部門を極度に合理化し、現場作業を削減する努力をし、人件費の高騰に対処を始めていた。現場作業が多く、労務者に頼ることの多かったプレストレストコンクリート橋の分野が、その傾向に気付き、その劣勢の挽回

を図る努力を開始したのが第4期である。コンクリート工事の品質・施工管理の複雑さを是正し、現場作業が長期に亘る点を解決するため人力を極力機械力に置き換え、単純作業の繰返しで施工効率を上げる動くコンクリート工場形式の架設工法が案出されている。いずれも、発注者側の意図を理解した受注者側の協力で開発されており、官民協力の時代といえる。現在その体制は続いており、在来の架設工法にも種々の改良が加えられている。

#### 4. 架設工法の将来

コンクリート構造の欠点として、重量が大きいこと、現場の施工管理が煩雑なこと、仮設材が多く必要なこと、人力に頼る部分が多いこと、現場での作業時間が長いことが挙げられている。一方では、材料の分割入手が容易で、多くの設備を設けることなく、現地で任意の形状を形成できる利点も有している。プレストレストコンクリート橋の施工においては、長所を最大限に利用し、短所をできるだけ少なくする方策が望ましいことは、勿論である。

現在発注者側の悩みの種は、環境問題、現場での種々の制約条件のため、望ましい施工法が取れぬことである。この面から、公害問題を起さない現場での作業期間の短縮を図り、制約条件をのみ込んだ新しい施工法の開発が望まれる。

プレストレストコンクリート橋の施工には、どのような方法を採用したとしても、現場作業を全く排除することはできない。今後ますます現場作業員のなり手は少なくなり、質は低下する一方であろう。ヨーロッパでは、他国からの出稼労働者で、この問題を解決している。日本では、どのような形態でこの人的資源の問題を解決するかは、今後の課題であろうが、いずれにしても労働力の量・質両面の今よりの低下に備えた新しい施工法を開発することは必要なことである。

以上のような背景で、プレストレストコンクリート橋の架設工法の将来を予見してみると、次の2つの方向が思考される。一つは、工場製品の多用で、できるだけ運搬可能な軽いブロックを工場で作製し、現場でそれらを組立て、仮設材なしで架設するものである。軽量で小さな部材であれば、運搬上の制約も受けずに、架設機械も簡単なトラッククレーン程度のもので、短時間の施工が可能となる。軽量化のためには、軽量コンクリート、高強度コンクリートの広範囲の利用が考えられる。また、コンクリートの中にPC鋼材や鉄筋を入れて補強するばかりでなく、いくつかの組材を応力状態に応じて接着しそれらを部材として用いる方法の研究も望まれる。現場

での組立て作業を効率よくするため、工場での製作精度を高めると同時に、多少の誤差は吸収できる新継手法の開発が必要である。この場合でも、現場でコンクリートを打設することなしに連結できる形が、一番望ましい。さらに現在の注文生産の形式を、見込生産ができるようにJIS以上に進んだ橋梁の標準化を促進することも、この方法の効率化に役立つ。これには、発注者の協力が是非とも必要である。仮設材も、トラッククレーンを最大限利用し、他の仮設材を用いるとしても、工場が常備できる伸縮自在の仮ペント程度のものであろう。場所によっては、ヘリコプターでの運搬・架設を考えてもよい。この方法は、小規模の橋梁に応用でき、一部にはすでに利用され始めている。

もう一つは、工場の現場への移動である。これは、常置工場のような多額な設備投資が必要でなく、コンクリート工事の特性を生かしたものである。この方法は、大型橋梁の場合に有利となる。この場合は、ブロックをヤードで作製し、それを大型架設機を用いて架設する方式と、移動支保工を用いて、直接現地でコンクリートを打設する2方法がある。いずれの場合も、支保工、足場工はできるだけ排除し、自走式のトラス型、ガーダー型、ワゴン型、あるいは門型クレーンなどの架設機械と、場合によっては、仮ペント、斜吊材、船舶、ヘリコプターなどの併用が考えられる。将来においては、当然新型の架設機も登場してくるであろう。今までの例をみても、このような架設工法を用いると、繰返し作業が多いため、能率向上ばかりでなく、労務者を削減でき、橋梁下の条件に左右されない点は、明らかである。ただし、現在の架設機械が支間や幅員、重量などに制約があるので、多方面に活用できるように、伸縮自在の構造に改変することは必要である。

その他に、断面構成に一工夫も必要である。例えば、主桁は上記2方法のいずれかで施工するとしても、床版はプレキャスト桁を用いて、架設機械の適用支間を伸ばすとか、軽量化する方式や、現場打ちの場合、型枠にグラスファイバー入りの薄板のコンクリート型枠を用い、化粧を兼ねてそのまま残し、脱型の手間を省くなどが考えられる。また箱型断面の下床版と腹部は、架設機械上でコンクリートを打設、その断面で耐えるだけ緊張後、架設機械は前進し、その断面を支保工の一部として用い、簡単な吊支保工で上床版を打設し、最終緊張を行う分割施工の方法も、架設機械の経済化に役立つであろう。

架設機械の改良と、断面構成の再考慮の両面から、この方策を見直す必要はある。効率向上のためには、架設機械は大型化するので、その工事費に占める割合は大きくなる。したがって発注規模を大きくし、機械の償却率

を高める必要はある。発注規模が大きくなることで、今まで以上にいいアイデアが生まれてくる可能性がある。

架設工法の将来を考える時、発注者側、受注者側の一方の努力のみで、経済的、合目的々な工法が、生まれるとは考えられない。現在の技術は、従来のように一人立ちしたものではなく、日本の政治、経済、社会の情勢と深く関連している。時代的要求を十分に理解し、将来の動向を把握したうえで、両者が協力し合って、本格的な技術開発に臨むことが、この場合必要である。

## 5. おわりに

以上、プレストレストコンクリート橋梁の架設工法の変遷を追い、将来の展望を、著者なりに概論的にまとめてみた。踏込み不足の点や、表面的記述に流れている点もあると思われるが、各工法とも、各論で詳しい記述がなされており、図解、写真も添付されていることで、容

赦されたい。

日本にプレストレストコンクリートが導入されてから、わずか 30 年弱の年月しか経過していない。その短い年月の割には、発展の仕方は早いといえる。ただし、前述のように、発展の伸び方は、直線型ではなく、対数曲線型のように思われる。今後は、停滞の時代を早く脱型し、指数曲線型で伸展してもらいたいものである。

最後に、記述が道路橋中心であった点、文中の橋梁の架設年度が、橋梁としての竣工年度と一連の道路としての竣工年度が入り混り統一を欠いた点は、お許し願いたい。

本稿の写真は、各社の御協力をいただいて掲載したもので、深く感謝する次第である。なお本稿脱稿後、ピー・エス・コンクリート（株）の御好意で、人力で架設中の長生橋の写真を入手できたので、最後に載せておきたい。



昭和 26 年、日本最初のプレストレスト橋第一号として、石川県七尾市内の御抜川に架設された長生橋（プレテンション桁）は、人力によって架設された最も初歩的なものである。

（橋長 11.6 m〔3 径間〕×幅員 6.0 m）

## 会員増加についてお願い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は 2200 余名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されています。お知合いの方を一人でも余計ご紹介下さい。事務局へお申し出下されば入会申込書をすぐお送りいたします。