

◆ 特 集 ◆

最近の施工機械

PC構造物の施工設備および機械

金子 隆*

1. はじめに

PC 構造物の創世期、わが国初の PC 橋である長生橋（昭和26年）は、馬車によって桁を架橋現場まで運び、簡素な工具を用いて人力で架設したものである。その後、橋梁の規模が大きくなるに従って人力や馬力による架設には限界が生じ、専用の施工設備の開発が必要になった。とくに高度成長期の末頃からは、熟練技術者の不足により施工の省力化が必要になり、PC 構造物の施工に対し、さらに大がかりな施工設備が求められるようになった。施工設備には、支保工および型枠のような、PC 構造物の施工に対し動きを伴わないで使用する「施工設備」と、緊張装置、グラウト機械、最近のスパンバイスパン架設装置のようにそれ自身が施工のために何らかの動きをする「施工機械」とがあり、一般的にそれらを総称して施工設備と言われ、これまで種々の形式の PC 構造物が開発され施工されてきた背景には、種々の施工設備もまた開発され使用されてきたことは容易に想像できることである。これからも PC 構造物の技術の進展をサポートするためには、施工設備も開発していく必要がある。

しかし、PC 構造物を取り巻く社会環境の変化が過去とは異なり、物を増やすことが成長であった時代から、自然環境を考慮し、かつコストパフォーマンスの高い施工、およびこれまで培ってきた技術の継承および既存構造物の維持補修が重要視される方向に進みつつある現在、施工設備の開発も今までとは違った対応が必要になってきている。そこで、施工設備のこれまでの発展経緯および現状を把握することにより、施工設備に対する技術が将来どのような方向に進むべきかを述べてみたい。

2. PC技術の創世期

PC 構造物の施工設備は、PC 技術の開発当初より、必要不可欠な要素であり、常に PC 技術の進歩発展とともに発展してきた。PC 技術の創世期である昭和 10 年代後半から

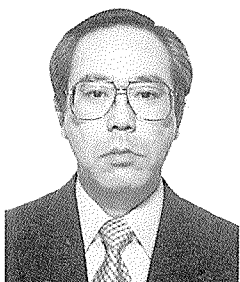
昭和 20 年代にかけて、PC 構造物の技術理論は確立され、PC マクラギ、橋梁用 PC 梁等、PC 部材の試作はすでに行われて、実用化に対する種々の試験も実施されていたが、商業ベースに乗せるために必要な量産技術、すなわち施工設備等の開発は、昭和 25 年後半からであった。当時、開発が必要とされていた施工設備等とは、PC 鋼材を含め、現在では当たり前のように使われている PC 鋼材の緊張設備、定着具、製品の取出し設備等、PC 構造物を構築するための基本的な材料および施工設備であった。そのため、PC の施工技術は土木分野でありながら、その開発には多くの機械系技術者が関与することとなった。このことは、後の施工設備を用いた PC 構造物の施工技術の発展および施工設備を必要とする PC 部材製造の工業化に対し好都合であった。

3. PC技術の発展と施工設備

昭和30年代までの橋梁施工は、場所打ち施工がほとんどであり、PC 構造物の施工にはあまり施工機械は用いられず、施工設備としてリース品の支保工材が多数使用されていた。PC 構造物の施工機械としては、緊張機械以外はほとんど使われていなかった。昭和40年代後半以降、日本経済の急速な成長に伴い、PC の施工法も場所打ち工法からプレキャスト部材を使用する工法へと変化し、移動式トラッククレーン等の大型汎用重機および専用の施工設備が開発され採用されるようになり、施工設備の位置づけも商業化のためから省力化のためへと移行していった。その後、都市部での急速施工、長大化の必要性等、社会環境の変化および PC の施工技術の発展に伴い施工規模の大型化が進み、使用される施工設備もそれに伴い大型化していった。また、海外より大型専用施工設備を用いた架設工法が導入され、PC の施工における機械化時代の幕開けとなった。

大型専用施工設備の先駆けとして、昭和47年、支間 25 m の首都高速道路高島平高架橋の施工において、海外より技術導入されたハンガータイプの大型移動支保工設備であるグリェストワーゲンが採用された。昭和49年には、支間 33 m の東北新幹線第一北上川橋梁の施工においても同様に、海外より技術導入された形式の異なるサポートタイプの大型移動支保工設備であるストラバーク式移動支保工が採用された。その後、国内独自の大型移動支保工設備の開発が盛んに行われ、昭和51年、支間 30 m の金沢高架橋の施工においては、種々の国産形式の大型移動支保工設備が採用された。

昭和40年代半ばの省力化の時代までは、経済の高度成長に伴う人件費の高騰に対するコスト低減を目的とした人力に変わる施工設備の採用が主であった。しかしその後、



* Takashi KANEKO

㈱ピー・エス 本社
機工部 担当部長

表-1 時代の変遷に伴う施工設備機械の移り変わり

時代	主なPC構造物	主な設備および機械
創世記	ポストテンション工場製品	・量産用設備機械 緊張設備, 定着器具 工場内運搬機械設備
商業化期	場所打ち施工全盛期	・リース仮設材 支保工材料, 専用緊張機械 トラッククレーンなど汎用重機
省力化期	プレキャスト部材採用	・汎用性のある現場施工設備機械 一組桁架設備, 二組桁架設備 エレクションノーズ
	機械化施工	・汎用性のある現場施工設備機械 片持ち架設作業車, 自走台車, 桁横取り設備 自動化緊張機械, 大型汎用重機
大型化期	工事規模の拡大	・汎用性の少ない大型特殊施工設備機械 拡幅対応等特殊多主構片持ち架設作業車 大容量ケーブル配線緊張機械および装置
現在, 将来	大型複合構造形式 高耐久性構造物	・汎用性のある専用施工設備機械 複合構造橋用架設作業車 ショートライン型枠設備

施工の大型化に伴う専用施工設備の採用は、もはや人力では安全面を含め施工不可能な範囲の施工を可能にしてきたのである。

PC技術の変遷と主な設備を表-1に示す。

4. PC構造物の施工に用いる基本的な施工設備

PC構造物の施工に用いられる施工設備は、使用目的別に以下の部類に分けることができる。実際の施工には、これらの組合せの施工設備が使用されている（補修用設備機械は除外）。

(1) PC構造物としての生命をもたせる施工機械

- PC鋼材を配置する機械
ウインチ, ピンチローラー
プッシングマシン, 切断機
- 緊張機械
緊張ジャッキ
- グラウト用機械
グラウトポンプ, グラウトミキサー
真空ポンプ, 流量計

(2) PC構造物の形状を作る施工設備

- 型枠設備
ショートラインマッチキャスト式セグメント製作設備
ロングラインマッチキャスト式セグメント製作設備
PCマクラギ等連続生産用型枠設備
移動支保工設備等特殊場所打ち施工用設備
片持ち架設作業車

(3) PC構造物を移動または吊り上げる施工機械

- 移動用機械
自走式重量台車, 動力ウインチ, トレーラー
重量ドーリー, トランスファークレーン
台船(バージ), トラック
- 吊り上げる機械
油圧ジャッキ, チェーンブロック
ウインチ, クレーン機械

(4) PC構造物を支持する設備

- 架設桁設備, 押出し手延べ機

エレクションノーズ, バント, 油圧ジャッキ

5. 施工設備の標準化

架設桁, 片持ち架設作業車, 緊張ジャッキ, 各種特殊油圧ジャッキ, 電動台車, 動力ウインチ, 固定式橋形クレーン, 移動式クレーン, 大型移動支保工, その他PC専用施工設備は、PC構造物の施工においては一般的に使用されているが、いわゆるリース会社等が扱う汎用品ではなく、各PC施工会社が独自で開発し保有しているものが多い。そのため、積算上は別として標準的な仕様の規定はない。また、一般的に施工設備は、取得時は施工対象のPC構造物の構造形式および工法を考へて製作するが、その後の継続的な使用においては、施工対象が限定されることはなく、種々の構造形式および施工法に使用されているため、工法別の標準的な仕様の規定もできない。最近では、業界内の一部で他社間の機材の貸借が行われるようになり、施工設備の技術情報が広がるようになってきたが、まだ各社独自の技術としての位置づけが強く、これら施工設備の仕様を標準化するまでには至っていないのが現状である。

6. 施工設備に要求される特性

架設桁, 片持ち架設作業車, 油圧ジャッキなど、施工現場で通常使われる施工設備は、いずれも現場条件に合わせてさまざまな部品をそのつど組み合わせて使うことが前提であり、PC構造物の設計や施工条件が異なっても、大きな改造をせずに使用できる性能が要求される。中でも橋梁の架設設備として最も基本的な設備となるのが、架設桁設備である。架設桁設備は、鋼製の版桁または箱桁の先端に手延べ桁を付けたもので、桁下空間に関係なく送り出し、ローラー等簡易な道具で施工径間を移動していくことができる施工設備である。施工時に積載されるPC構造物の長さおよび重量により断面形状は決められているが、単体だけではなく、複数組み合わせで使用する場合もある。組立て・解体および運搬を考慮した大きさの部材で構成され、接合方式は継目板を用いたボルト方式が多いが、最近ではピン接合も採用されている。施工対象としては、最も古くか

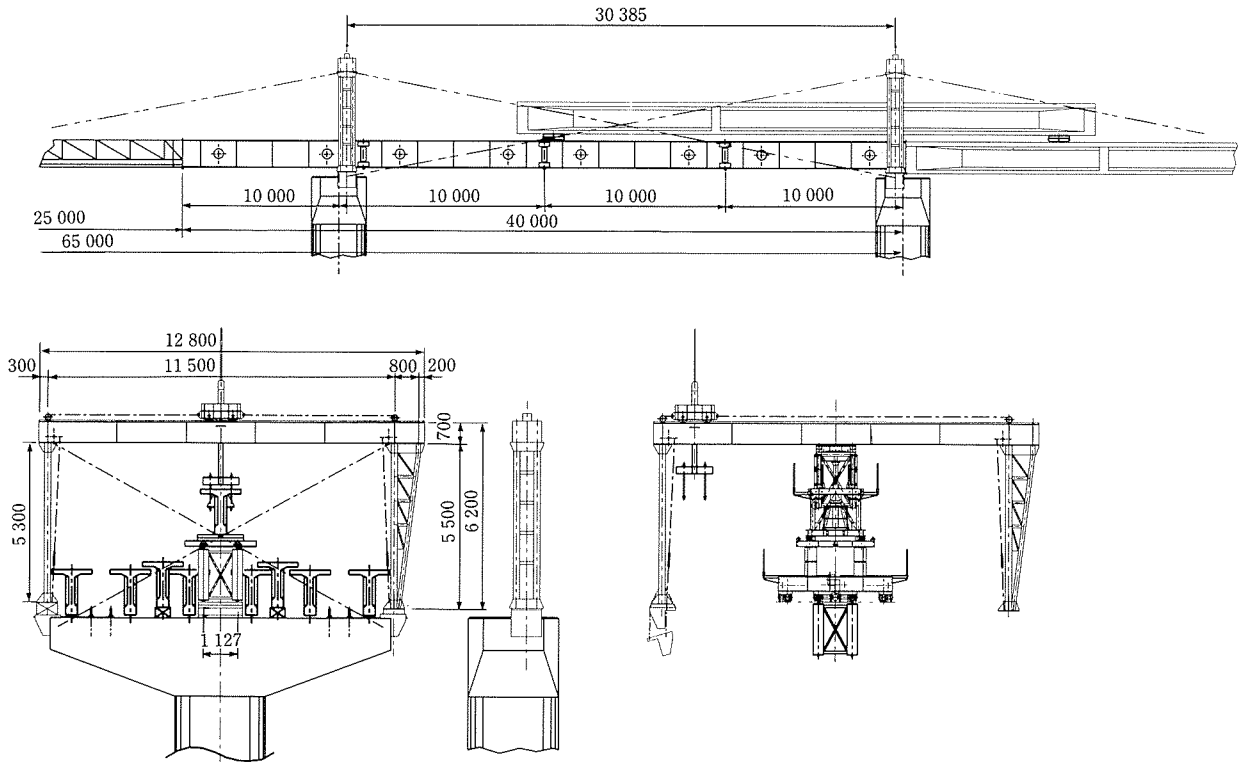


図-1 標準的なPC単純桁架設備

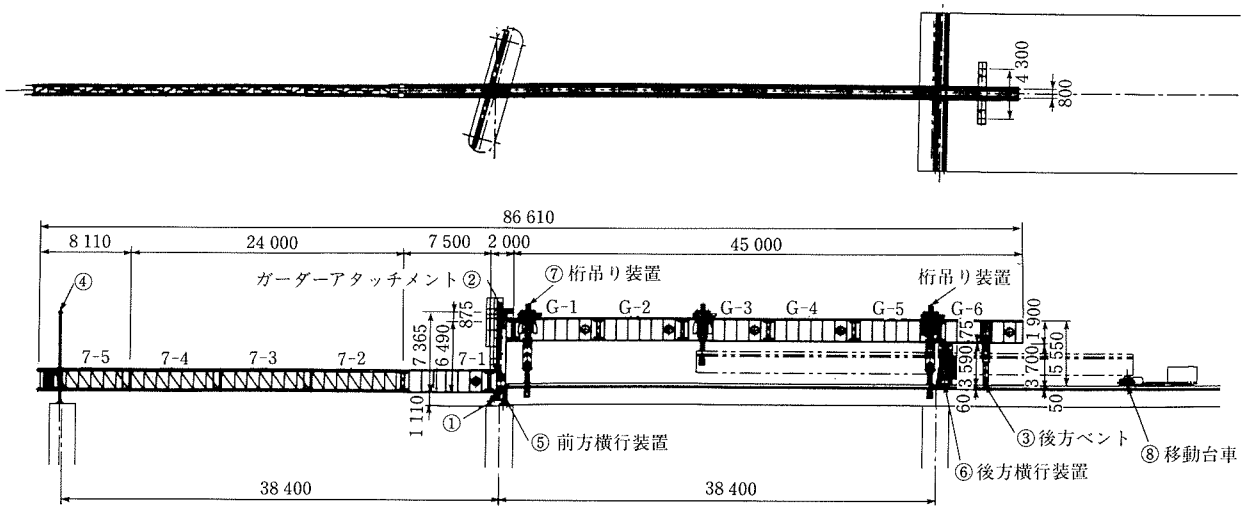


図-2 PSK 08 型架設機



写真-1 PSK 12 型架設機



写真-2 重信川高架橋架設設備全景

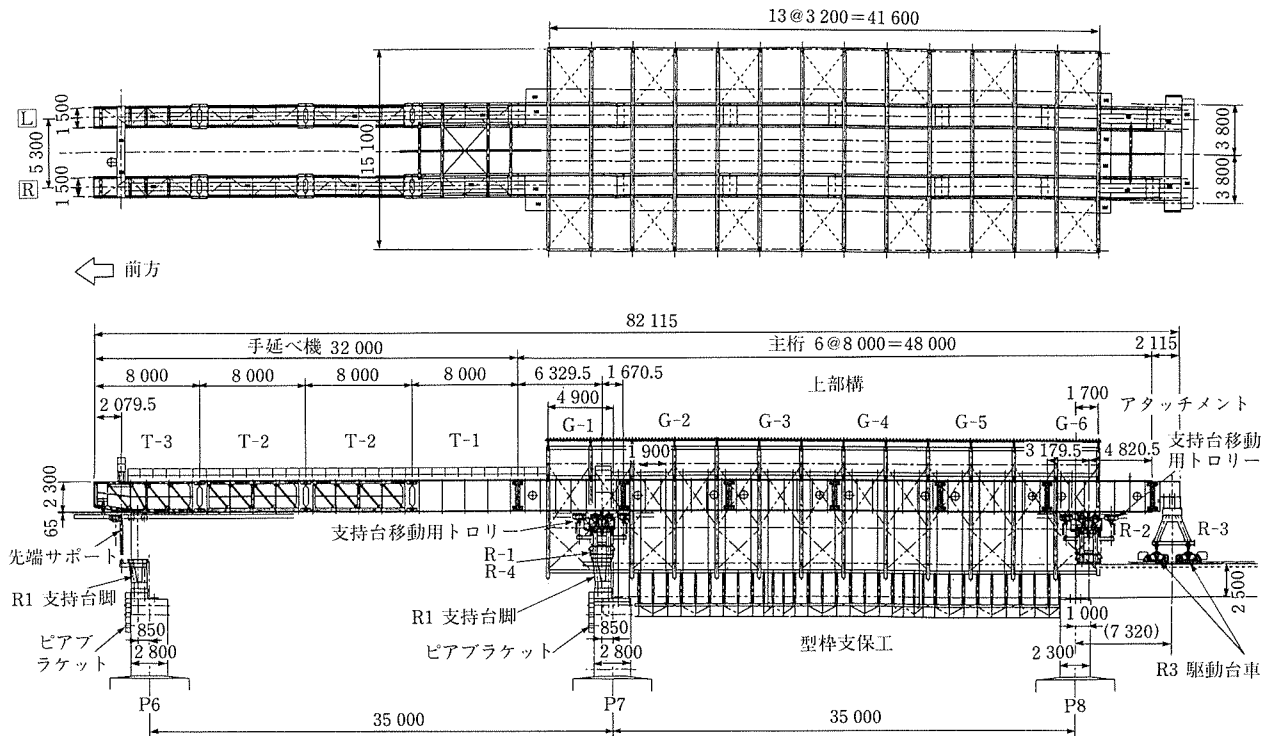


図-3 2連ガーダーを用いた大型移動支保工

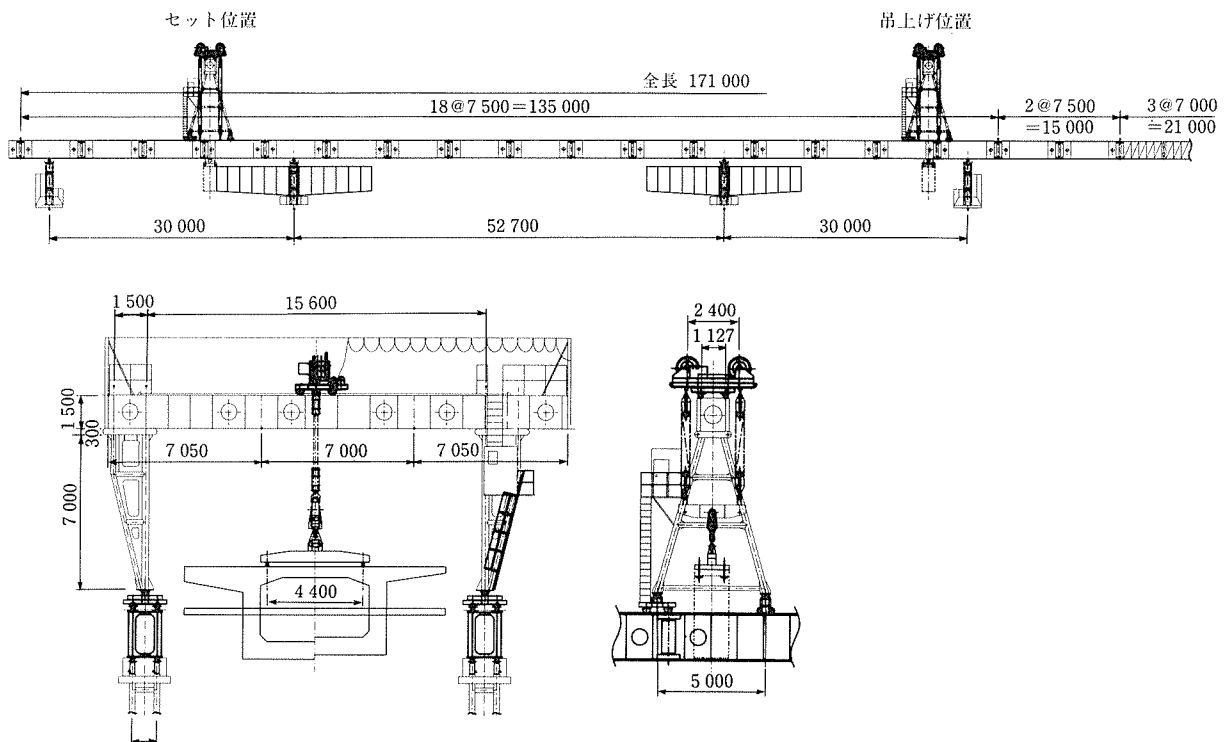


図-4 2連ガーダーと自走式門形クレーンを組み合わせた架設設備

ら採用されている架設工法である架設桁架設工法以外に、最近採用の増えた最も新しい工法であるプレキャストセグメントスパンバイスパン架設工法の設備部材としても使われている。添付図および添付写真（図-1, 2, 写真-1, 2, 図-3, 4）でエレクションガーダーを使用した架設工法

用施工設備を示す。

7. 施工設備の環境による仕様の変更

前項では一つの施工設備を種々の施工法に使用することについて述べたが、それとは異なり、施工対象のPC構造

物および施工法が同じでかつ使用する施工設備の基本形式が同じであっても、使用される環境によりその仕様が異なる例を挙げる。

最近多く採用されているセグメント工法は、昭和44年頃すでに採用されていたPC構造物の施工法であり、セグメントの製作設備において当初は主にロングライン方式の製作設備を用いセグメントを製作していたが、最近のセグメント製作に用いられる設備形式は、ショートライン方式が多く採用されている。ロングライン方式のセグメント製作設備は、主に現場施工で採用される設備形式であるが、ショートライン方式の設備は、現場施工で採用される場合と、工場設備として採用される場合があり、それぞれ設備の内容が異なる。ショートライン方式のセグメント製作設備を現場施工で採用する場合は、施工管理の容易さおよび急速施工を目的としている。また、製作設備に必要な作業員数に着目すれば、最多となるコンクリート打込み時で決まり、常時その作業員数での施工であり、設備の仕様として作業員数をあまり必要としない型枠着脱等の操作を自動化する必要はない。

しかし、工場設備としてショートライン方式のセグメント製作設備を採用する場合は、同様に必要作業員数に着目すると、最多のコンクリート打込み時においても工場内作業員全体のローテーションで作業が行え、常にその時点での最低作業員数での作業が可能であり、設備の仕様として型枠の着脱等個々の操作を極力自動化することは、工場全体の省力化に繋がり、結果的にセグメント製作コストの低減に有効である。

このように、同じPC構造物および施工法に用いる設備でも、使用する環境および背景により仕様が異なり、その費用も大きく違ってくるのである。図-5に工場向けの自動

化率の高い設備を示し、図-6に現場施工向けの自動化率の低い設備の例を示す。

8. 最近の施工設備計画

PC構造物の開発当初、使用する施工設備は、PC構造物の施工に合わせて計画準備され、設備機械の性能がPC構造物の設計施工に影響を及ぼすことはなく、またあつてはならないものであった。しかし最近では、施工設備の性能を考慮したPC構造物の設計および施工も検討されるようになってきた。とくにPCの橋梁の施工では、施工段階途中での発生応力をコンピュータ解析で正確に把握することが可能となり、より理想的なPC構造物の設計が採用されるようになり、それに伴いPC構造物の施工段階途中での応力の動きに対し、施工設備の自重およびその機能が大きく関与する場合、PCの構造物の設計および施工計画と連携して施工設備の計画も行うようになってきた。

現在計画が進められている、第二東名・名神高速道路の矢作橋および栗東橋で採用される多主桁波形鋼板ウェブ形式の箱桁断面を採用したエクストラード橋の施工においては、前述の理由により、施工設備に対しPC構造物である橋梁の設計に対する影響を最小限にするために、軽量化のみならず、施工段階でのPC構造物に対する影響を考慮し、自重配分を変化させることが可能な施工設備も計画されるようになってきた。

9. 施工設備の技術の継承

過去のPC構造物の施工において、どのような施工設備が、どのように使われたかの技術情報は、将来の施工設備の開発に対し重要な情報であるが、現実には過去の情報を調査することは容易ではない。なぜならばPC構造物が工場

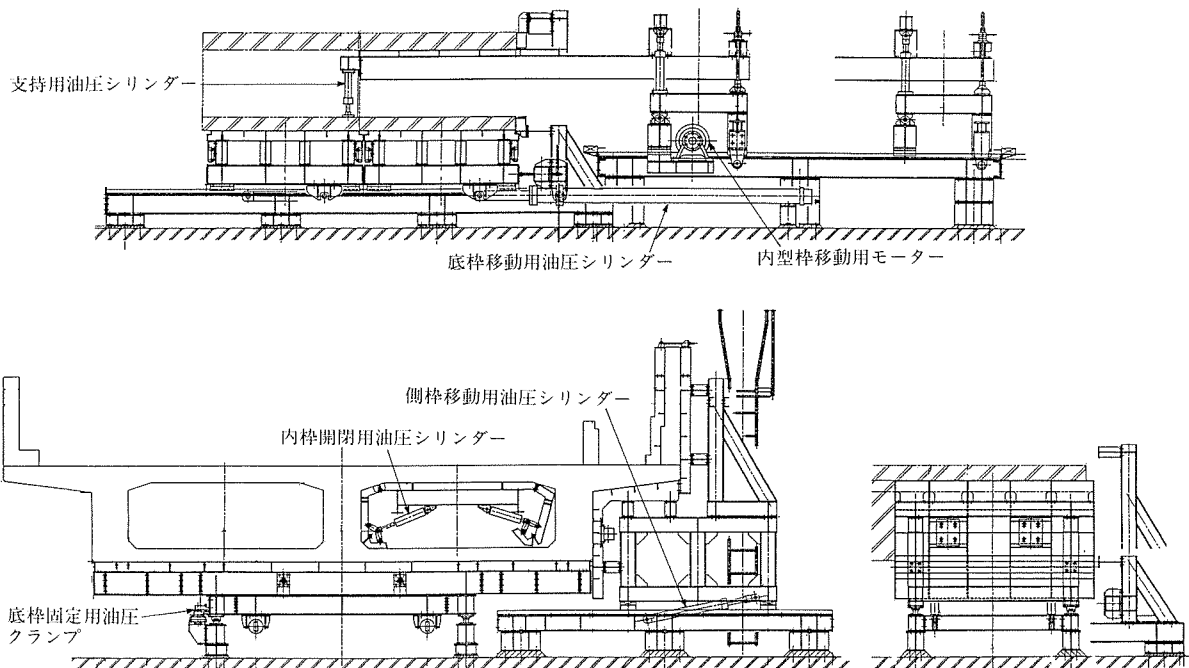


図-5 工場向けの自動化率の高い設備の例 (すべての動作に油圧ジャッキなどのアクチュエーターを使用)

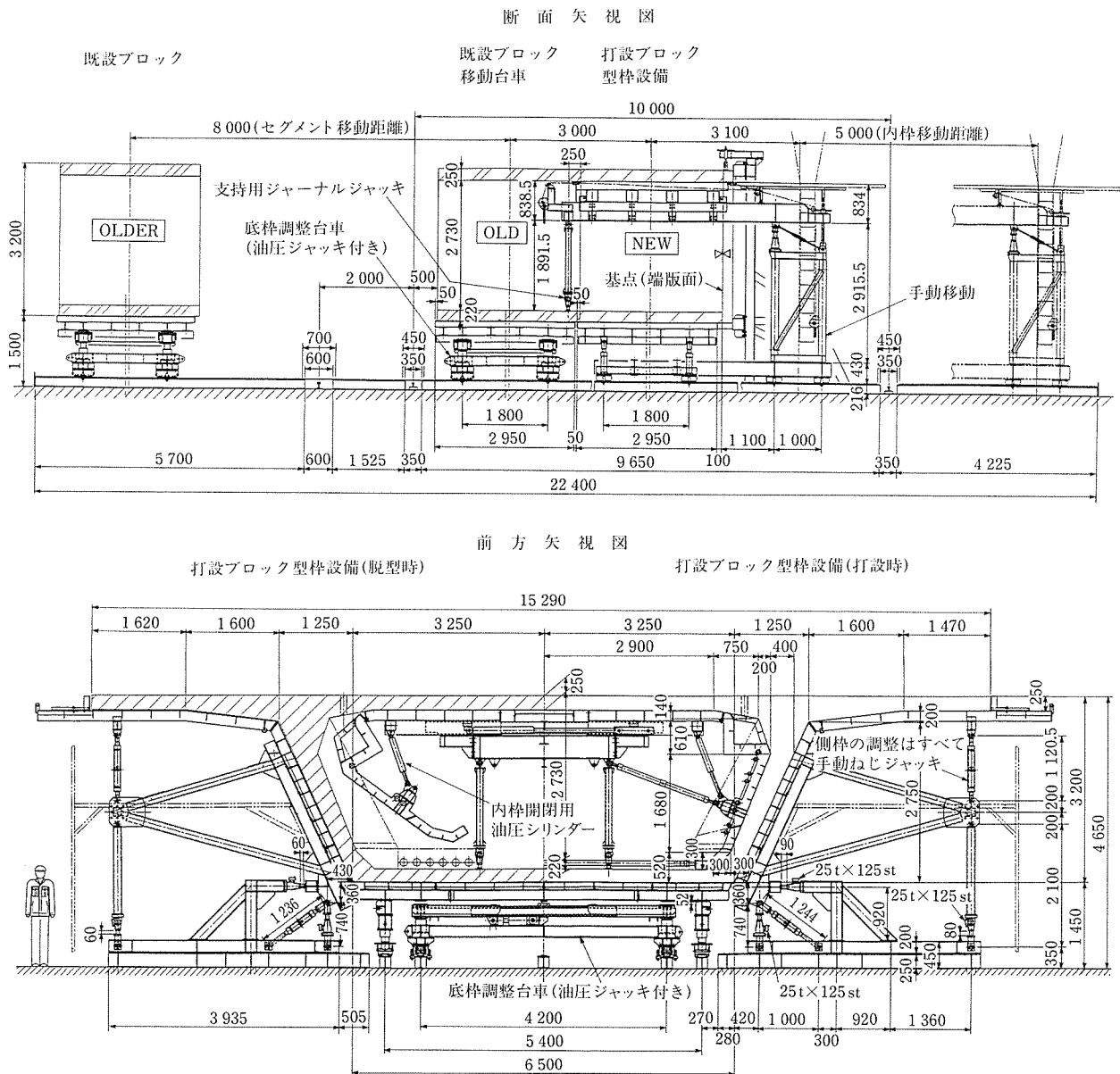


図-6 現場向けの自動化率の低い設備の例 (人力操作が不可能な動作部分のみ機械化)

製品の場合、PC 構造物は、工場の常設生産ラインの中で製作され、製造過程および使用している製造設備はいつでも見ることができ、それらの技術的な情報も工場という恒久的な体制の中で管理され、製品によって施工設備は限定されているため、任意な時点で技術情報は入手可能である。しかし現場施工の場合は、施工体制自体が一過性であり、施工対象のPC 構造物が完成された後は、施工管理体制自体が解消され、施工に用いた施工設備もまた、解体される。また、施工設備は何であったかという表面的な情報は残されても、その施工設備をどのように使用して施工したかという技術的な情報は残りにくい。発注者側からも、PC 構造物に関する情報についてはPC 構造物の供用および管理上厳密な技術情報の提出が要求されるが、施工に使用した施工設備についての技術情報等の提出は、結果的なコスト面以外の情報は完成したPC 構造物の性能および管理に何ら影響がないため、要求さ

れることは少ない。また、PC 構造物の施工計画段階で計画される施工設備は、PC 構造物の形式が過去に実績のある形式と同じ場合、積算上では過去の実績と同様な施工設備を計画し採用する。しかし実際には、そのPC 構造物が構築される場所、規模、工期、その時点で施工者の保有機材の状況および季節等の条件により、積算時に計画した施工設備と異なった施工設備を採用する場合があります。積算時計画と同じ施工設備が使われるとは限らない。このように、PC 構造物の施工に用いられる施工設備は計画時とは異なることがあり、その結果、実際に使用した施工設備の情報が残されず、技術情報も不明確になり、現実にあまり残されていない。

10. 最近の特殊施工設備

セグメント桁の架設方式には、近年スパンバイスパン方式が多く採用されてきた。スパンバイスパン方式(写真

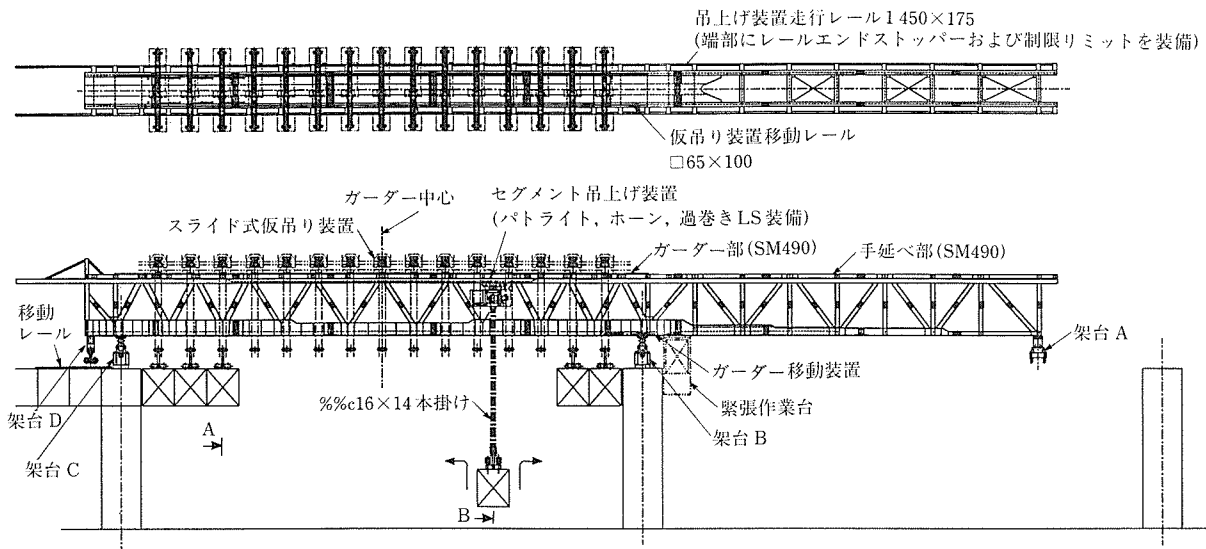


図-7 弥富高架橋で採用したスパンバイスパン架設設備

- 2参照)は、欧米ではすでに30年ほど前から採用されている橋梁の架設方式であるが、わが国では、重信川高架橋で本格的に採用された。その後、第二東名・名神高速道路の弥富高架橋(平成11年)、鍋田高架橋(平成13年)で本格的に採用された。施工設備の内容は、重信川橋梁の場合、施工対象セグメントの重量は1個あたり約30tであり、使用された施工設備も、在来のエレクションガーダー($H=2.3\text{ m}$)を支保工桁として用い、セグメントの運搬機械は装備していたが、施工設備全体の移動時以外は、セグメント桁架設のための支保工の要素の強い施工設備であった。弥富高架橋に使用された施工設備は、セグメント重量が1個あたり約80tで最終架設段階において接合されたセグメント全体の位置調整を行えるオーバーヘッド型構造形式(図-7、写真-3)を採用し、すべての設備機械を弥富高架橋のために新規開発された施工設備で、単なるセグメント架設のための支保工設備とは異なった機械的要素の大きな施工設備であった。さらに木曾川・揖斐川橋の場合は、セグメント重量は1個あたり約400tとなり、橋梁の側径間部の施工に使用した設備機械には、下部工構造および橋梁本体の強度を考慮し、合理的な構造形式が採用された。また、施工対象セグメントの重量が大きく、在来の設備では対応できないため、すべての設備が新規製作された。このように最近の特殊施工設備は、PCの施工技術の変化および飛躍的な発展とともに、その要求される性能も高度なものとなってきている。過去の施工設備のような単に重量物に対する荷役設備的な性格の施工設備からさらに進化し、施工対象のPC構造物の施工条件を満足するための動きを伴う機構要素を含んだ施工設備も採用されるようになってきた。

11. ま と め

日本のPC構造物の技術開発も、50年あまり経過し、世界的に見ても大きな進歩を遂げてきた。今後は技術の修練の

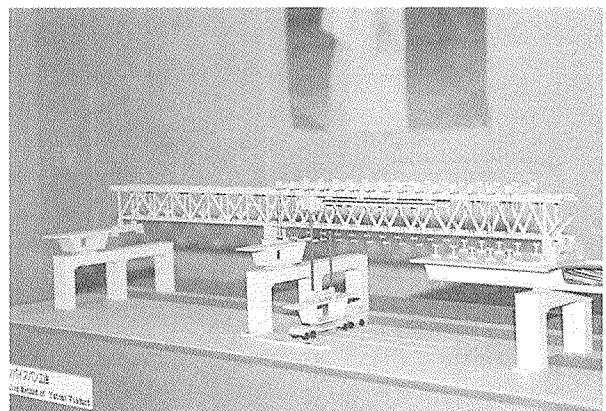


写真-3 弥富高架橋で採用したスパンバイスパンの架設設備の模型

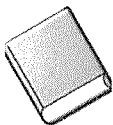
時代になると思われる。PC構造物に対し要求される性能も、単なる重厚長大からより効果的な、より環境を配慮したものへと変化してくるであろう。経済が増大している過程では、生産し増強することが発展であり、PCの施工技術においても生産し、増強するための開発を行ってきたが、今後は、コストパフォーマンスの高い、すなわち安くて耐久性に優れたPC構造物およびその施工が要求されるようになり、そのため施工設備も、過去に育んだ技術的資産をいかに維持し有効に継承していくかが今後の課題である。ハード面である施工設備本体に対して言えば、現存の施工設備の有効的な運用をいかに早急かつ広範囲に進めるべきかということである。過去の資産をいかに長持ちさせて使うかという時代への変化の過渡期である現在、PC施工における施工設備もこれら時代の移り変わりとともに、技術開発の方向も過去とは異なったものが要求されてきていることを改めて認識する必要がある。

PC構造物の施工設備に関する業務に長年従事し、いくつかの現場の施工計画および施工設備の計画、開発を行ってきたが、常に課題となるのは設備のコストのことである。施工設備関係の担当者および技術者が常に悩むことであ

る。種々の条件の施工に対しても施工技術者の要求する性能の施工設備を準備することは、現在の施工設備の技術からすれば、それほど困難なことではないと思われる。しかし、要求されるコストでの施工設備の計画は時として厳しいものがある。その場合、PC 構造物の性能に影響のない範囲で設計および施工法を施工設備の仕様に合わせることであれば、施工設備の仕様に無理がなくなり、結果的に低コスト高性能の施工設備の採用が可能になってくる。

現場調査のため海外視察を行ったときなど、橋梁のスパン割、断面形状等に対し施工設備の仕様に合わせて設計および施工法を決められたような橋梁施工を多く見かけ、施工設備の担当者として感心することがしばしばある。これから迎えるであろう低成長期に向け、国内においてもより低コストの施工設備が要求される PC 構造物の施工に対し、当初より施工設備の仕様をも考慮した設計および施工法がより多く採用されることを期待したい。

【2002年1月16日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリートの歩みと21世紀の展望

第29回 PC 技術講習会

(平成13年2月)

頒布価格：5 000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