

特集

PC 橋の施工技術

VOL. 20 NO. 3 PC 橋梁上部構造物の架設機械および工法

VOL. 20 NO. 4 PC 斜張橋

VOL. 22 NO. 1 押し出し工法

等，特集されているものについては，今回は記載しないものとした。

## 橋梁の設定条件と施工計画について

## —高速道路橋—

宮 本 潔\*

大型架設機械——大型トラッククレーンや大型のエレクションガーダーの使用により、また PC 押し出し工法等の新工法の出現により、あるいは P & Z 工法や新しいコンクリート材料の利用の可能性などにより橋梁の計画・設計・施工がかなり変化し、あるいは変わることも考えられる。しかし、ここではごく一般的な PC 橋梁についても現状から論じてみたい。

## 1. 橋梁計画の基本的事項

道路の橋梁構造物は、土工構造物に比し建設費が非常に高いうえに、破壊した場合の補修、復旧が極端に困難であり、時間も必要とする。建設時の工期も工事のクリティカルになる場合が多い。そのため橋梁の経済性、安全性、施工の能率性が常に要求される。また、橋梁は目立つ構造物であるため、周囲景観との調和も大事である。一般に道路の計画にあたっては、橋梁延長を短くするよう検討するのが第一であるが、橋梁が計画された場合は次の各要件を総合的に考慮して決定している。

## 1) 橋梁建設上最適の位置および路線線形を考えると

道路建設費に占める橋梁高架費はその路線選定、線形設計の段階で大むね決まってしまうものである。路線選定は地形、地質、用地、地上物件、環境状況、交通安全その他数多い要素によって決定されるものである。橋梁費を少なくすることばかり配慮しても必ずしも路線全体として有利になるとは限らないが、少なくとも橋費が工費に占める割合が大きいことを念頭に入れて路線決定を行っている。大略の路線選定を経て平面線形、縦断線形を最終的に決定する段階では橋梁位置付近の線形を微調整することにより、設計施工上非常に有利になる場合が多い。例えば、横断勾配のすりつけ区間が橋梁区間の端部に入る場合、土工区間にずらすことができれば、設計施工ばかりでなく視覚的にも利点は大きく、PC 押し出し工法等、工法によっては致命的欠陥が改善される場合が多い。

## 2) 橋梁の外的諸要件を満たすこと

道路の路線上に何らかの障害物があるため橋梁が計画

される場合が多いのであるから、交差する河川、鉄道、道路等の管理者の定めている必要条件をクリアする必要がある。橋長、支間、橋台橋脚の位置、方向、桁下高、基礎の根入れなどである。そのほかに施工時期、桁下の利用、架設条件などの施工に対する条件もある。

## 3) 構造上安定であると同時に経済的であること

きわめて当然のことであるが、往々にして議論となるのが、安定の評価であり、その安定との相対的兼合いでの経済性である。また、維持管理の容易さという点に関しても合わせて考慮すべきである。PC 橋梁は維持管理の面でメンテナンスフリーの評価を一部では考えられているが、問題を生じた場合の補修の困難性、一部拡幅等の生じた場合の処置の難度、メンテナンスフリーの声によって生じ易い支承や伸縮継手などの管理面での甘さはプレストレス導入とグラウト管理の信頼性とならんで問題とするところであろう。経済性は公共構造物にあってはきわめて重要な要素であり、特に PC 橋のように上部工が重量のある場合は、上下部構造を合わせて考慮しなければならない事項である。

## 4) 施工の確実性、容易さ、また急速性も合わせて考慮すること

経済的かつ、上記の要件を満たせば問題はないが、工費がほぼ等しい場合には施工の確実性、容易さ、急速性、信頼度が大きな判断材料となる。プレストレスコンクリート構造物がその歴史的背景もあり、鋼構造物に一步及ばない感を現場の第一線の技術者にもたれているように思われる。PC ブロック工法等はこの問題を埋めるべき工法の一つとも考えられるが、必ずしも経済的でないのが現状であろう。PC Over Br. のブロック工法の採用は我が公団では、現場工事の出合い、急速性等の見地から長い目でみて、少しずつ意欲的に取り組み推進したいと考えている。

## 5) 構造物の標準化を図ること

橋梁の計画では一橋ごとに最適の形式および橋長を検討していくが、計画の最後の段階である区間の橋梁を総合的に検討して統一のとれたものにするのが最終的には経済的でもあるし、施工の面でも能率がよく、全体的に調和のとれた橋梁計画となる。多数の橋梁を計画する場

\* 日本道路公団札幌建設局技術部長

合には形式は勿論、その構造寸法についてもなるべく標準化を図って計画の均一化、設計照査の簡素化、工事施工能率の向上を目指すことが大事であると考えている。同一作業の繰返し、反復作業になる片持架設施工や押し出し工法、移動支保工による PC 橋梁はこの点では合理的工法であろう。

6) 走行上の安全性、快適性を考慮すること

自動車が高速で安全に快適に走行できるのが高速道路の最大の目的であるから、橋梁もこの点を十分に配慮しなければならない。橋梁上の走行の安全性、快適性を支配する要素としては滑らかな路線の線形を表わした橋面と路面上に見える橋梁の部材と伸縮装置がある。そのため橋梁は原則として上路形式を採用し、また、走行中のショック、破損による補修を少なくするため伸縮継手を少なくする目的で、連続構造をできるだけ採用している。単純桁の連続はほとんどなく、連続 PC 合成桁、二点支承の連結 PC 合成桁 (RC の連続桁支点を有する PC 合成桁)、片持架設施工の PC 橋を連続構造とするなどの努力を行っている。

7) 構造物自体および周囲景観に対し十分な審美的配慮をすること

一般に橋梁に要求される機能としては安全性、能率性、経済性および景観の四つが必要とされている。橋梁の置かれた立地条件により、道路建設と自然環境の重要度を合わせて検討し、その間に一つの調和を創造することが必要である。コンクリートを素材とするプレストレストコンクリート橋は、この面では従来ともよりよき構造と考えられる。

2. PC 橋梁の施工法とその適用

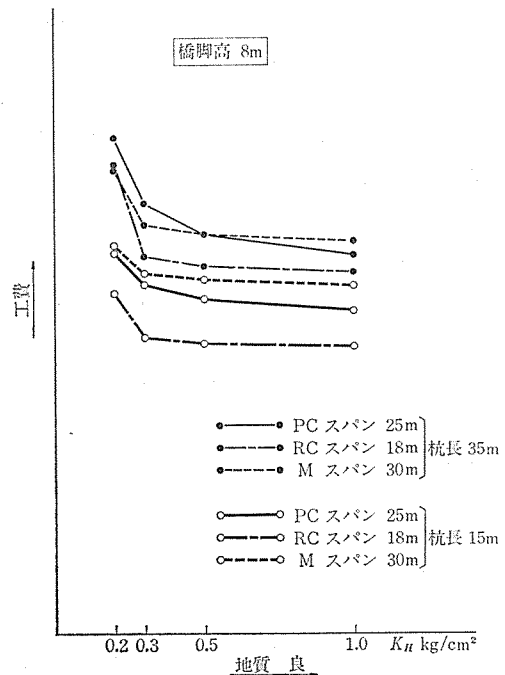
PC 橋はその構造系から単純スラブおよび桁、連続桁およびスラブ、ラーメン橋、斜張橋、吊床版、ピルツなどがあり、施工面から考えると支保工による現場打設、プレキャスト桁架設、カンチレバー工法による現場打設、移動支保工による現場施工、押し出し工法、プレキャストブロック工法などがある。ここでは施工法の面から橋梁の設定条件とからみて、私見を述べてみたい。

橋梁はその本来の安全性、経済性、能率性などの機能面と景観的面とから検討すべきであるが、それゆえに橋梁の選定は上部工から定まるものではなく、地形、地質、自然環境、道路線形、特に縦断線形、施工上の制限あるいは施工の容易さなど総合的に検討し、スパンと上部工タイプを定めるものである。例えば海岸部であればメンテナンスを考え、できるだけコンクリート系の橋梁を検討するのであるが、地質によって種々変わるものである。基礎が比較的良好であれば、縦断が高くない場合

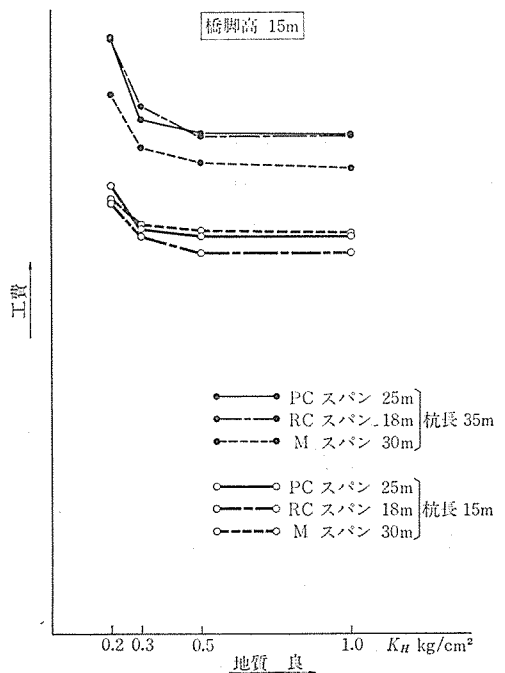
はほとんどコンクリート系の構造を採用し、縦断が高くなり地質が悪くなれば鋼橋になるであろう。特に大橋梁になれば架設工法の多様性と工期の早さから鋼橋になるケースが多くなると思われる。

(1) 支保工による現場打設

支保工による現場打設が可能な場所、すなわち、桁下空間の利用が可能な場所では一般にこの工法が経済的に最も有利な工法であろう。プレキャスト桁に比し重量のあるコンクリートを動かさないだけ場所打ちコンクリートは経済的であり、桁下高が 15m~18m ぐらいまでは



図一 地質-工費 橋種、杭長、橋脚高関係図



図二 地質-工費 橋種、杭長、橋脚高関係図

支保工施工のコンクリート橋はまず第一に考えるべき工法である。ピティ枠による全面支保工から高さや地盤の支持力により桁形式の支保工まで、簡単な検討にて利用できる。このため、場合によっては桁下利用制限のある場合も道路、鉄道などの仮付替えを行っても実施することのある施工法である。

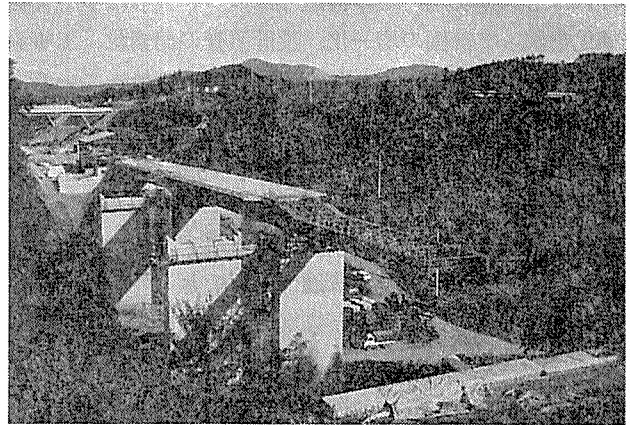
地質が極端に悪いか、あるいはスパンを大きくしなければならない外的条件のない限り、橋梁形式としては一般に道路公団では RC 橋を採用している。道路縦断が高くなり、支保工費と基礎工費が高くなるにつれ、他の工法が検討の対象となる。一例として RC 標準高架(スパン 18m)、PC 連続連結桁(スパン 25m)、鋼連続桁(スパン 30m)の場合の工費、地質、橋種、杭長、橋脚高の関係を示した図を二つ示してみる(図-1,2)。概算的値でもあり、橋種による経済スパン、杭の径、種類あるいは設計技術など断定できない要素も多いが、一般的傾向を示しているであろう。これを見ると前述のように RC 標準高架が、地質が良好で支持層が深くない限り最も経済的である。しかし道路縦断が高くなり、かつ杭長が長くなると他の工法に変わる傾向にある。

(2) プレキャスト桁架設

桁下空間の利用が困難であるとか、支保工の設置が難しい地形では一般によく利用されている工法で、カンチレバー場所打ち工法と並んで最も広く使用されているであろう。現状の架設機械設備からいうと桁長 50m 程度までは架設可能であろうが、架設時の横だおれ座屈が問題であり、これを有効に制御する設備が架設機械の中に必要となるものと思われる。現状では横だおれ座屈によって断面が決定されるスパン 45m 前後をこえると、ほとんどプレキャスト PC 桁がなくなっている。横だおれ座屈による施工に対する不安感からスパン 40m をこえると、このタイプの橋梁が極端に少なくなっている。ニーズの問題もあるが、架設機械の改善がスパン 40m~55m の範囲の PC 橋の計画には必要である。

(3) 押し出し工法

PC 押し出し工法は道路公団では 3 橋が施工中であり、4 橋ばかりが設計を完了している。いずれも支保工施工の困難な谷あいや道路、鉄道、河川などの障害物の上を交差するもので、プレキャスト桁では何らかの問題があるか、カンチレバー場所打ち施工ではワーゲンの組立て・解体に比重がかかりすぎるようなスパンの大きくない橋梁で、一般にスパン 40m~60m 程度のものが対象である。径間数が 3 以上あって、橋長が 200m 以上あれば、場合によってはかなり経済的工法の一つになるものと期待している。道路の場合、橋梁、トンネル、大切土などが線形のコントロールポイントになり易いため、橋梁上

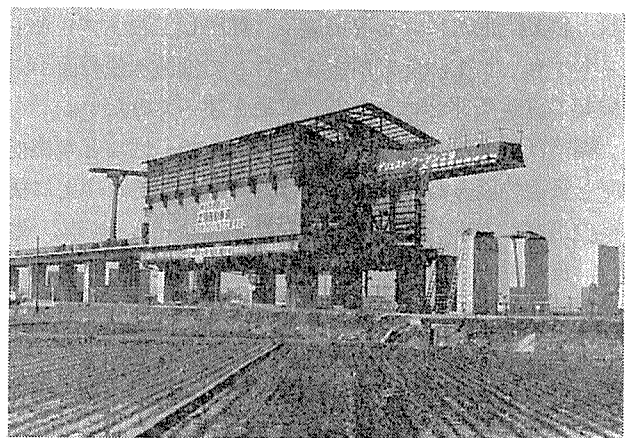


写真一1 押し出し工法施工例

で線形が複雑に変化している場合が多く、橋梁を平面と縦断曲線とを合わせて一つの単円に置きかえる必要があり、線形上の微調整を検討する機会が多い。山岳渓谷に立地する場合は、前後土工との取合いのため、製作ヤードの確保とその工費が案外多大となる場合もあり、工程的検討をも考え、道路全体を合わせ総合的に検討する必要がある工法の一つである。製作ヤードが橋台裏に限定されるため、また、作業を天候に左右されずに全天候型にて進めるため、資材運搬の工事用道路を他の土工工事と調整のうえ確保する必要がある。ブロック長と手延べ機長の定め方も工程、工費、ヤード長などに密接に関係がある。

(4) 移動支保工

道路公団では北陸道金沢地区にて約 5km の移動支保工による PC 高架橋を施工以来、二、三の計画を持っており、今後も必要スパン長と経済的条件によっては検討し得る工法の一つであろう。移動支保工の施工上はゲルバー部をつくり連続施工するのが合理的とも考えられるが、道路公団では伸縮継手の数を少なくすることと、ゲルバー部はできるだけつくりたくないのを原則としているの



写真二2 移動支保工施工例(金沢高架橋)

で、3 径間連続桁を原則としている。一般に移動支保工が高価であるため、約 1 km 程度の連続施工をしなければならないとされているが、スパンを飛ばさざるを得ない条件か、あるいは、支保工費が高すぎる条件か、両側の交通処理などの安全施工上の条件が加わって可能となる工法である。一般には、このような長大高架は、縦断も高すぎることはなく、RC 標準高架が経済的である。PC 橋の有利性を生かすには高強度材料を使用し、上部工の重量を減じ、ひいては基礎工の節減を図らなければならないであろう。

#### (5) プレキャストブロック施工

品質の均一化、工事のスピードアップ、省力化などプレキャストブロック化のメリットは非常に大きい。経済的有利性の点ではまだ問題点が多いと考えている。製作ヤードの費用、運搬費用、架設費用など橋梁の立地条件とも考え合わせ検討すべき点が多い。

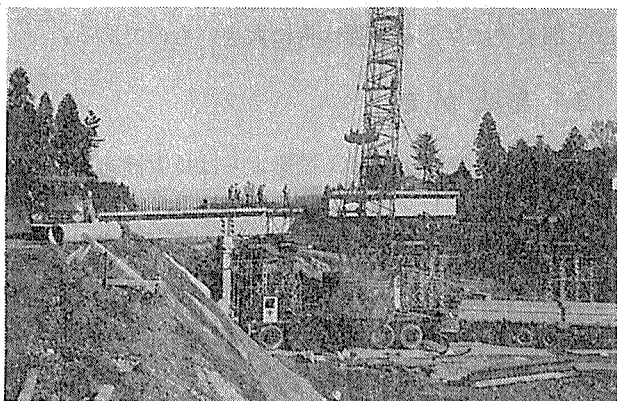


写真-3 プレキャストブロック工法施工例

最近、道路公団では跨高速道路橋 (Ov. Br.) のプレキャストブロック化を三、四例実施している。土工工事との出会い丁場を避け、現場使用している道路などの切換えのスピードアップなどによって、Ov. Br. 工事の多少の工費増によるデメリットより、土工工事を含めた全体道路工事の施工のメリットを勘案して、Ov. Br. の集中度などを考慮のうえ、場所を選定しブロック化を実施している。大型重量物の運搬路、製作ヤードの選定など、実施にあたっては検討すべき点は多い。この工法の PC 施工業者と土工業者とに与えている現況を注意深く見守っているのが実態である。

#### (6) カンチレバー工法による現場打設

桁下を利用できる長大 PC 橋が計画されることはほとんどないから、スパン 60 m をこえるような PC 長大橋は必然的にカンチレバー工法となり、現場製作ヤードや経済性の理由でワーゲンをういた場所打ち工法になる場合がほとんどである。片持施工はスパン割の計画が重要であって、側径間を主径間に対し 0.75~0.65 の範囲

に入れ、ワーゲン施工と吊支保工にて施工できるような計画をするのが大事である。仮支柱や逆カンチレバー施工は、このバランスを崩した側径間の長い計画をせざるを得なかった場合に生じ、仮支柱の施工が困難な地形か、あるいは仮支柱が高く工費アップにつながる場合逆カンチレバー工法が考慮の対象になるであろう。側径間が短すぎると、アンバランスモーメントによって不経済な設計となるうえに、橋脚の安定上もよろしくないと思われる。

橋長が 500 m をこえ、等スパン割が可能な長大橋では、資材運搬用の補助桁を使用して、端スパンより順次施工する工法 (Hilfsträger 工法) や、その補助桁に場所打ちブロックの重量を支え、1 ブロック長を長くして工期短縮を図る工法 (P&Z 工法) などが考えられる。

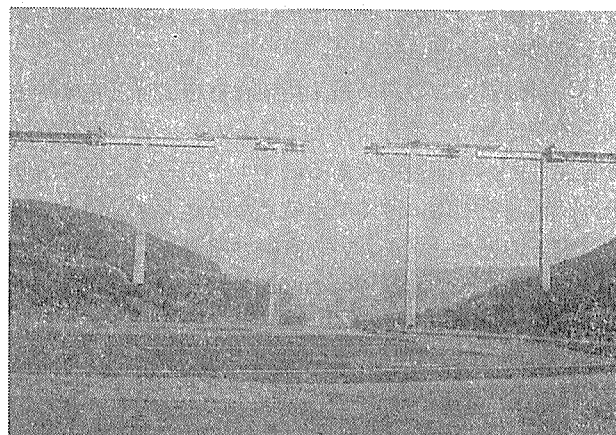


写真-4 Hilfsträger 工法施工例 (Kochertal Br.)

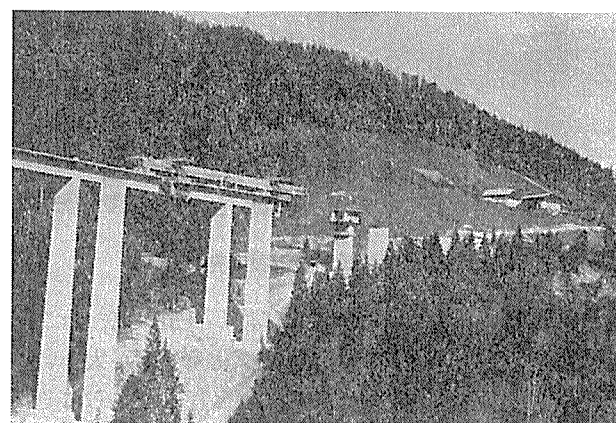


写真-5 P&Z 工法施工例 (Donnergraber Br.)

大スパンのアーチ橋の架設においては、斜め吊片持架設が鋼橋の場合も RC 橋の場合もよく使用される。外津橋、赤谷橋の場合は、プラットラス形式の片持施工であり、帝釈橋、宇佐川橋の場合はピロン式の斜め吊片持架設である。いずれも一長一短があると考えられるが、施工の容易性、確実性などの点で大スパンになれば

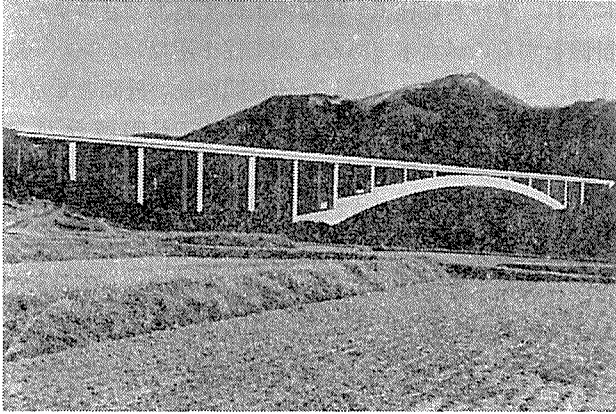


写真-6 宇佐川橋

なるほど後者の施工がベターであると考えている。宇佐川橋はセンタースパン 204 m を有する中国道の工事中のアーチ橋であるが、斜め吊 PC 鋼材を上部床版橋に転用して効率化を図っている。

PC 斜張橋はこの斜め吊片持架設を施工時と完成時と同一の構造系にて考えようとするもので、その意味では今後注目すべき構造系である。マルチケーブルにて吊り上げ、桁高を極端に薄くできる点などは大きな利点である。梁と塔とケーブルという直線の組合せよりなる形態は近代的美しさを与えるものと考えられる。

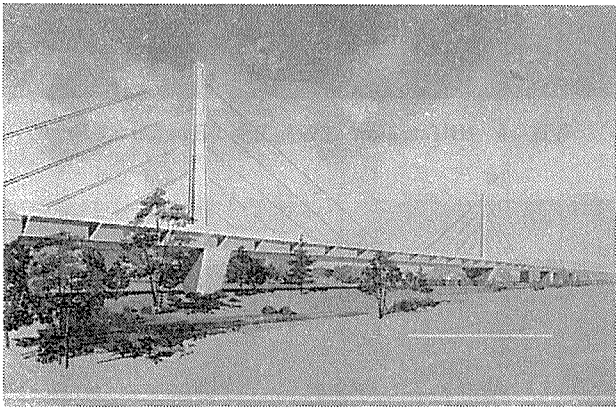


写真-7 斜張橋—設計試案完成予想

PC 橋梁の特質として、鋼橋に比し自重が重たいことに特質があろう。長大橋は自重を支える要素が大きいため、PC 橋はその面でもデメリットを有し、さらにそれが下部工と基礎工に跳ね返るのでその影響は大きい。自重軽減のため、材料面と構造面での一層の努力が必要であろう。高強度材料の使用、あるいは軽量コンクリートの使用などが信頼度を確立する必要がある。構造面では斜張橋のような構造と同時に、西独の Kochertal Br. や PC トラスで有名な New Mangfall Br. の拡幅

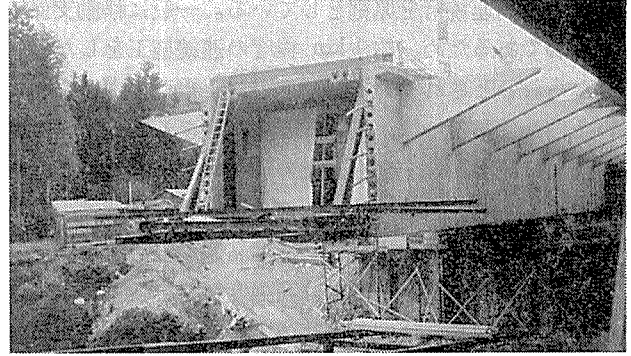


写真 8 New Mangfall Br.

に使われている押し出し工法の橋梁のように幅員 30 m を 1 ボックスにて計画するとき上部工の材料軽減も考えてみる必要がある。幅員 20 m クラスの橋梁で、10 m ほどの分離橋梁案と全幅 1 ボックス案とでは、上部工で 15%~10%、下部工にても 20%~10% の材料節減が考えられる。日本のような地震国では、上部工重量の軽減は下部工費に与える影響は特に大きいものである。

### 3. あとがき

PC 橋梁の特質は、RC 橋梁よりは長大橋向きではあるが、鋼橋に比し、特に施工状態での重量が重く、支保工施工を除き、スパンによりほぼ一義的に施工法が定まり、鋼橋のような変化と多様性に富んだ施工法が考えられないところにその特質があるように思われる。長大鋼橋であれば、一つの計画案に対して、大容量トラッククレーン (150 t ~ 220 t クラス) 架設、手延べ押し出し架設、トラベラークレーン架設、斜め吊架設、キャリヤーケーブル架設、ケーブルエレクション架設、一括架設等立地条件に応じた架設工法が考えられる。すなわち、計画案→架設工法案→設計→架設工の流れがある。PC 橋の場合は、その立地条件によりスパン割が定めれば、橋長によっては移動支保工や P & Z 工法のような多少の変化があるにしても、施工方法論が一方的に固定されるところに特質があると考えられる。すなわち設計と架設設計とが密接に結びつき、架設設計が独立して存在し得ない現実である。PC 橋梁を計画した時に、基本的施工計画論が定まり、設計計算の段階にて架設計算をせねばならず、架設時は架設方法を検討する段階である。PC 橋は設計者のウエイトの大きい構造物であると思っている。

非常に独断と偏見の多い論旨を述べてきたが、筆者の不勉強と未熟を示すものとしてお許し頂きたい。