

特集

PCプレキャスト橋

## PC橋のプレキャスト化に関する歴史と展望

秋元 泰輔\*

### 1. まえがき

プレストレストコンクリート（以下、PCと記す）橋は、場所打ちコンクリート橋とプレキャストコンクリート橋に大別される。前者は、架橋位置に型枠・支保工を組み、鋼材を配置し、コンクリートを打設して橋が構築される。後者は、架橋位置とは別の工場あるいは架橋位置付近のヤードで製作されたプレキャスト桁あるいはそのブロックを架橋位置に運搬・架設して橋が構築される。

最初にプレキャスト部材を用いたPCプレキャスト橋は、支間の短い橋の単純桁を架橋位置近くのヤードで製作し、運搬、架設する工法で施工された。その後、支間の長大化、等により単純桁をさらにブロックに分割して製作し、架橋位置近くに運搬した後にそのブロックを単純桁に一体化して架設する工法や同様に連続箱桁をブロックに分割して架設するプレキャストブロック工法（プレキャスト部材を部材方向にいくつかのブロックに分けて架橋位置付近で製作し、架橋位置に運搬、架設して、接合面にエポキシ樹脂接着剤、等を用いてブロックを継ぎ足し、プレストレスを与えて一体化して構造部材とする工法をいい、最近では、プレキャストセグメント工法とも言われている）による施工法も採用された。そして、架橋位置以外で桁部材が製作される一種のPCプレキャスト橋である押し出し工法による橋も施工されるようになり、PCトラス橋、PC斜張橋、PC吊床版橋、等にもプレキャスト部材が用いられるようになった。



\* Taisuke AKIMOTO  
(株)長大  
取締役技師長

プレキャスト部材の採用は、工場あるいはそれと同等の設備を備えた場所でプレキャスト部材が製作されるので、①品質管理が十分行われ、品質が保証される、②製作にあたって、一般に天候の影響を受けず、工程管理が立てやすい、③専門作業員の数を減らせ、省力化が行える、④下部構造物の施工中にプレキャスト部材を製作することができ、工期短縮化が図れる、⑤架設は機械化され、足場・支保工等の仮設物を減らすことができる、等の利点がある反面、⑥部材の運搬費を必要とする、⑦プレキャスト部材の接合に関し、接合キーの設置や補強筋の配置、導入プレストレス力、等について検討する必要がある、等の検討課題もある。

したがって、現在我が国の建設業をとりまく“専門作業員の減少および高齢化や作業環境の改善とともに建設費の低減や工期短縮、等”の状況を考えると、今後は上記のプレキャスト部材を採用した場合の利点や検討課題についてさらに検討を進めることにより、PCプレキャスト橋はますます多方面に多く採用されていくことが期待される。

### 2. PCプレキャスト橋の歴史

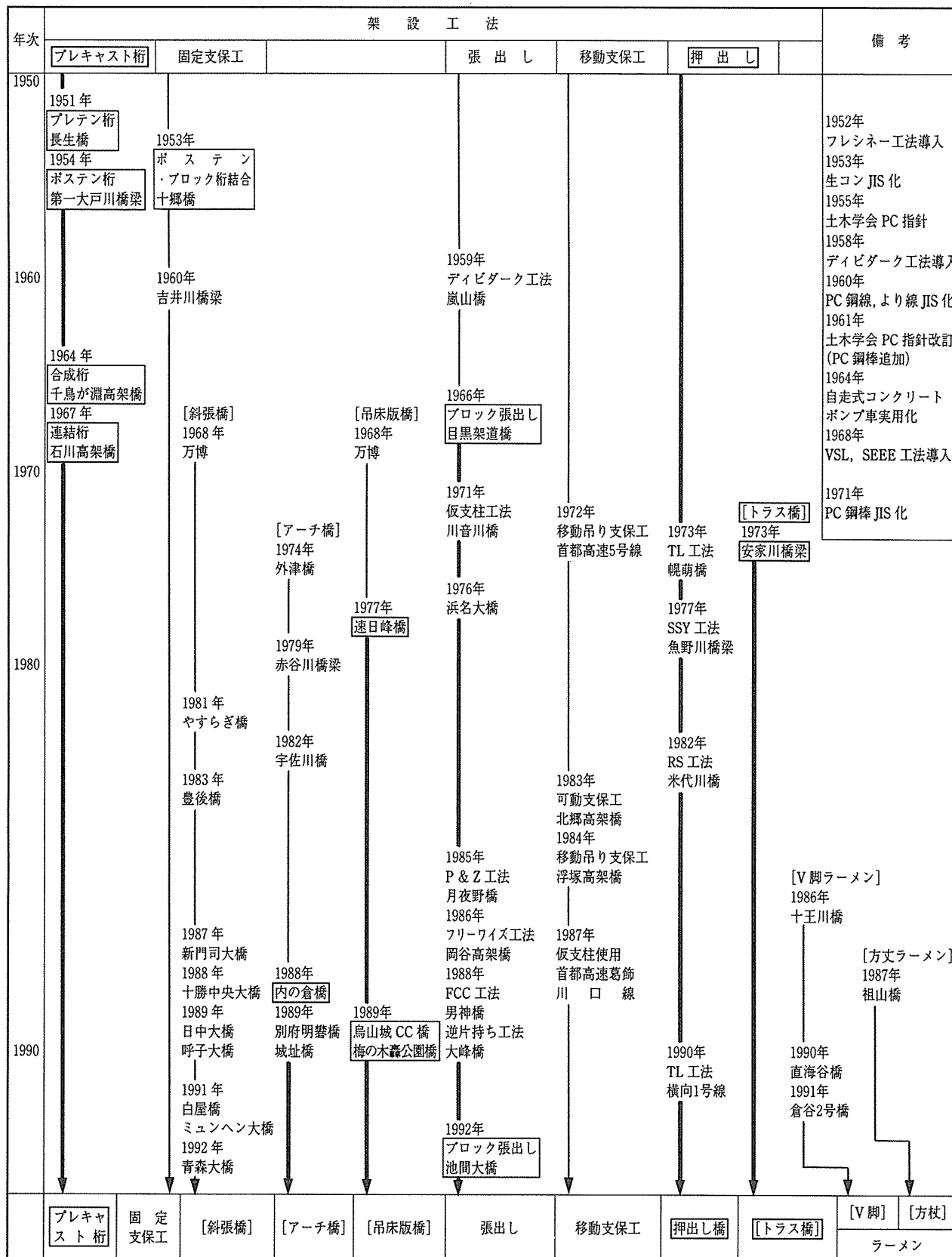
#### 2.1 一般

我が国におけるPC橋の歴史は、1951年に架設された支間3.82mの石川県七尾市のプレテンション方式のPCプレキャスト橋である長生橋から始まっている。

そして、支間の長大化等により工場で桁を横割りにした小さなブロック桁を製作し、架橋地点の固定支保工上に運搬し、ポストテンション方式により1本の桁に一体化させた福井県の東十郷橋が1953年に施工された。

また、同年にはレディミクストコンクリートがJIS化され、架設機械、等の進歩に伴い、架橋地点付近の現場ヤードでポストテンション方式によりプレキャスト桁が製作され、架設されはじめた。1954年の本格的PC橋の第1号である鉄道橋の第1大戸川橋や道路橋の上松川橋（福島県）、等がこの方式によるPCプレキャスト橋である。

その後、種々のPC工法の導入、等により連続桁の設



(注) □内：PCプレキャスト橋  
 ————：PCプレキャスト橋の流れ

図-1 PC 橋梁の架設工法の展開

計・施工が可能となるとともに、鋼製型枠やリース材を用いた支保工、等により固定支保工による場所打ちコンクリート PC 連続桁橋が施工されるようになったが、一方では、トレーラやトラッククレーンの目覚ましい発達と都市内等で、固定支保工設置が困難な状況、等によりプレキャスト桁の採用が見直されて、1959年にはスラブ橋用 PC 桁および 1960年には桁橋用 PC 桁のプレテンション方式による JIS 桁が規格化された。そして、1964年には、支点上の横桁を現場で施工し、この支点上の横桁あるいは桁と合成する後打ちの床版を介してプレキャスト単純桁どうしを PC 鋼材で連結して PC 連続合成桁橋とした首都高速道路の千鳥が淵堀上道路が施工された。

このような状況の中で、1966年には我が国最初の箱桁のブロックを片持ち張出し架設によるプレキャストブロック工法による PC 連続桁橋の施工が首都高速道路目黒架道橋で行われた。また、1967年には石川高架橋で、プレキャスト単純桁を架設後に桁どうしを連結する PC 連結桁橋が施工された。

以上で、現在行われている一般的な PC プレキャスト橋の設計・施工法は確立され、その後多くの実績が積み重ねられてきている。また、一方ではその後 PC 橋の橋梁形式は多様化され、1968年には PC 斜張橋、PC 吊床版橋、1972年には移動支保工による PC 橋、1973年にはプレキャスト部材を用いた PC トラス橋、押出し工法による PC 橋、1974年には長大 PC アーチ橋、等が施工され、それぞれ発展し続けてきており、それらの中にはプレキャスト部材が採用されているものもある（図-1 参照）。

以下、PC プレキャスト橋の主なものについて示す。

## 2.2 JIS 桁橋

JIS A 5313「スラブ橋用プレストレストコンクリート橋げた」は昭和 34 年（1959 年）、JIS A 5316「けた橋用プレストレストコンクリート橋げた」は昭和 35 年（1960 年）、および JIS A 5319「軽スラブ橋用プレストレストコンクリート橋げた」は昭和 38 年（1963 年）に JIS 規格化された。

その後、国際単位系の導入併記、道路橋示方書の改訂、アルカリシリカ反応抑制対策およびフレッシュコンクリートに含まれる塩化物量の規定、断面形状の変更（型枠の合理化や塩害対策を目的に中空矩形断面や下フランジなしの断面にすることによって桁の表面積を少なくした）およびボンドコントロール工法〔橋桁の端部付近において、コンクリートと PC 鋼材との付着を切ったボンドレス（付着なし）区間をもつ PC 鋼材を配置する工法〕の採用、等により数回の改正を経ている。

そして、現在は、上記 JIS A 5313 と JIS A 5316 が

一緒になって、JIS A 5313「道路橋用プレストレストコンクリート橋げた」として改正されて、適用支間は従来のスラブ橋桁で 5 m～21 m が 5 m～24 m に、けた橋桁で 14 m～21 m が 18 m～24 m に変更されている。

## 2.3 単純桁橋

ポストテンション方式による橋桁は、前記のように昭和 29 年（1954 年）に本格的 PC 橋の第 1 号として鉄道橋が滋賀県で施工され、翌年には支間 40 m の道路橋が福島県で架設されて以来、今日まで最も一般的な形式として数多くの施工実績がある。

この単純桁橋に対して道路橋では、建設省制定土木構造物「ポストテンション方式単純 T げた橋」をはじめ、各道路公団において制定の T 桁および I 桁の標準設計があり、鉄道橋では、土木構造物標準図集の中にポストテンション方式の T 桁および I 桁の標準設計が収録されて、活用されている。なお、これらは、それぞれの示方書類の改訂に伴って改訂されてきている。

## 2.4 連結桁橋

プレキャスト連結桁橋は、工場や現場ヤードで製作したプレキャスト PC 桁をまず単純桁の形で設置し、その後、中間支点上でそれぞれの桁を場所打ちコンクリートで連結して連続桁橋とする橋である。

この形式の橋は、当初、昭和 39 年（1964 年）に首都高速道路の千鳥が淵堀上道路の PC 連続合成桁橋の形式で施工され、その後、建設省土木研究所で昭和 40 年（1965 年）代に主桁連結部の研究がなされて、強度試験結果が報告され、さらに、阪神高速道路公団、日本道路公団、建設省近畿・九州地方建設局、等で研究報告や道路橋に関する基準類が作成されて、施工実績が増えてきており、現在では道路橋示方書のコンクリート橋編に規定が示されるようになった。

## 2.5 プレキャストセグメント橋

上記 2.2～2.4 は、橋桁を橋軸方向に縦割りにしたプレキャスト桁であるのに対して、さらに横割りブロック化したものを架設して一体化する施工法をプレキャストセグメント工法といい、この工法は、運搬、架設機械等の関係から歴史的には古くから行われ、最初は昭和 28 年（1953 年）に福井県の東十郷橋で施工された。ただし、当初はこのような工法の呼ばれ方はしておらず、次に示す箱形断面のブロック桁を片持ち張出し架設により施工される工法に対してまずプレキャストブロック工法の用語が定義付けされた。

プレキャストブロック工法の始まりは、国外においては 1940 年代後半に建設されたエスプレイ橋（フランス）であり、我が国では昭和 41 年（1966 年）に完成した首都高速道路の目黒架道橋である。

それ以来、ブロック継ぎ目部の設計手法の確立やブロック接合部目地材の開発、架設方法の進歩、等により、施工実績も増え、道路橋に関しては昭和53年(1978年)に道路橋示方書のコンクリート橋編で箱桁に関するプレキャストブロック工法についての規定が示される等、示方書類も整備されてきた。

その後、架橋位置の施工条件、工期短縮、等から、T形断面のブロックも単純桁橋に施工されるようになり、施工実績も増えて、平成4年(1992年)には「プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリートTげた道路橋の設計施工指針」が制定された。

そして、「プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリート道路橋設計・施工指針(案)」〔建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会の共同研究報告書、平成7年〕では、T形断面や箱形断面の桁のプレキャストブロック工法による道路橋を設計・施工するにあたって必要と思われる項目についての規定が条文形式で整理され、さらに条文に解説を付してその意を明らかにしている。また、この指針(案)の適用に対して参考となる共同研究成果の概要、設計計算例、各国基準一覧および参考文献が付録に示されている。

最近では、これらの工法をまとめてプレキャストセグメント工法といわれるようになり、この工法によるPC橋が、PCプレキャストセグメント橋である。

なお、道路橋のブロック継ぎ目部の設計基準に関しては、昭和36年10月31日付、道発第438号の道路局長通達により、ブロック連結による施工の場合に次のように規定された。すなわち、主桁をいくつかのプレキャストブロックに分けて製作し、現場で連結する場合には、次の荷重状態に対して継ぎ目の引張側コンクリートに圧縮応力が残るようにしなければならない、としていた。

$$1.1 \times (\text{静荷重}) + 1.2 \times (\text{動荷重})$$

その後、昭和53年の道路橋示方書のコンクリート橋編の改訂では、静荷重に関する係数の1.1は、支間が長い橋に対しては大きすぎる値であるので、この係数を1.05とした場合、等について種々検討した結果から、一般的には上記の式による場合と大差ないようにするとともに、床版の継ぎ目に関して、ずれによる舗装への影響、等を考えて、現在の基準に示されるような条文が規定された。

## 2.6 押出し工法によるPC橋、その他

押出し工法によるPC橋は、前記のようにPCプレキャスト橋に属し、昭和48年(1973年)には反力集中方式のTL工法により北海道の幌萌橋が施工され、昭和52年(1977年)には反力分散方式のSSY工法により上越新幹線の魚野川橋梁が施工され、昭和57年(1982年)

には特殊な支承を用いた反力集中方式のRS工法により東北自動車道の米代川橋が施工された。その後も福島県の曲線橋の横向1号橋、等多くの実績が積み重ねられてきている。

その他、次のようなPC橋にもプレキャスト部材が採用されてきている。

- ・PCトラス橋：高強度コンクリートのプレキャスト部材を用いて1973年に岩手県の安家川橋梁が施工されてから他に3橋、すべて鉄道橋で施工されたが、その後は施工されていない。
- ・PC吊床版橋：歩道橋に多く施工実績があり、床版にはプレキャスト部材が多く採用されている。
- ・PCアーチ橋：長大PCアーチ橋の実績も増えてきている中で、1988年に施工された新潟県内の倉橋は、アーチリングを中央で2分割したものを各々のアーチアバット上でほぼ鉛直に近い状態でコンクリート橋脚と同様に製作し、これを前方に回転降下させたのちに、中央部を閉合してアーチリングとするロアリング工法により施工された。
- ・その他として一種のPC橋である、プレビーム橋も多く施工されている。

## 3. 現状と今後の展望

### 3.1 現 状

前述のように、PCプレキャスト橋の歴史は古く、多方面の橋梁形式に用いられてきており、さらに、PC斜張橋である広島県の大芝大橋ではエッジ桁形式のプレキャストセグメント(以下、従来のブロックもセグメントと記す)が用いられて施工されるなど、PCプレキャスト橋は現在も多く採用されている。

PCプレキャスト橋の現状として、PC構造物や部材でプレキャスト部材がどの程度製作、施工されているのかをPC建設業協会の資料より図-2に示す。

同図より、工事費で約1/2はPCプレキャスト橋であるのが分かる。そのうち、約4割がプレテンション方式によるものである。

なお、同図に示すPCプレキャスト橋は、単純橋および連結桁橋を対象としているが、連続桁橋やラーメン橋にもブロック工法や押出し工法、等によるPCプレキャスト橋があり、これらは図-3より単純橋および連結桁橋の施工実績件数の5%程度あるものと思われる。

また、プレキャストセグメント桁の断面形状別施工実績およびプレキャスト連結桁の桁形式別施工実績を参考のために図-4および図-5に示す。

鉄道橋においても、本四備讃線の各主桁、スラブを分割したPCプレキャストセグメントによる下路橋やPCプレキャスト部材を用いた高架橋、等が施工されてい

受注総額 478 519 100%  
 (プレテンション) 125 869 26%  
 (ポストテンション) 352 650 74%

(注) 単位：百万円

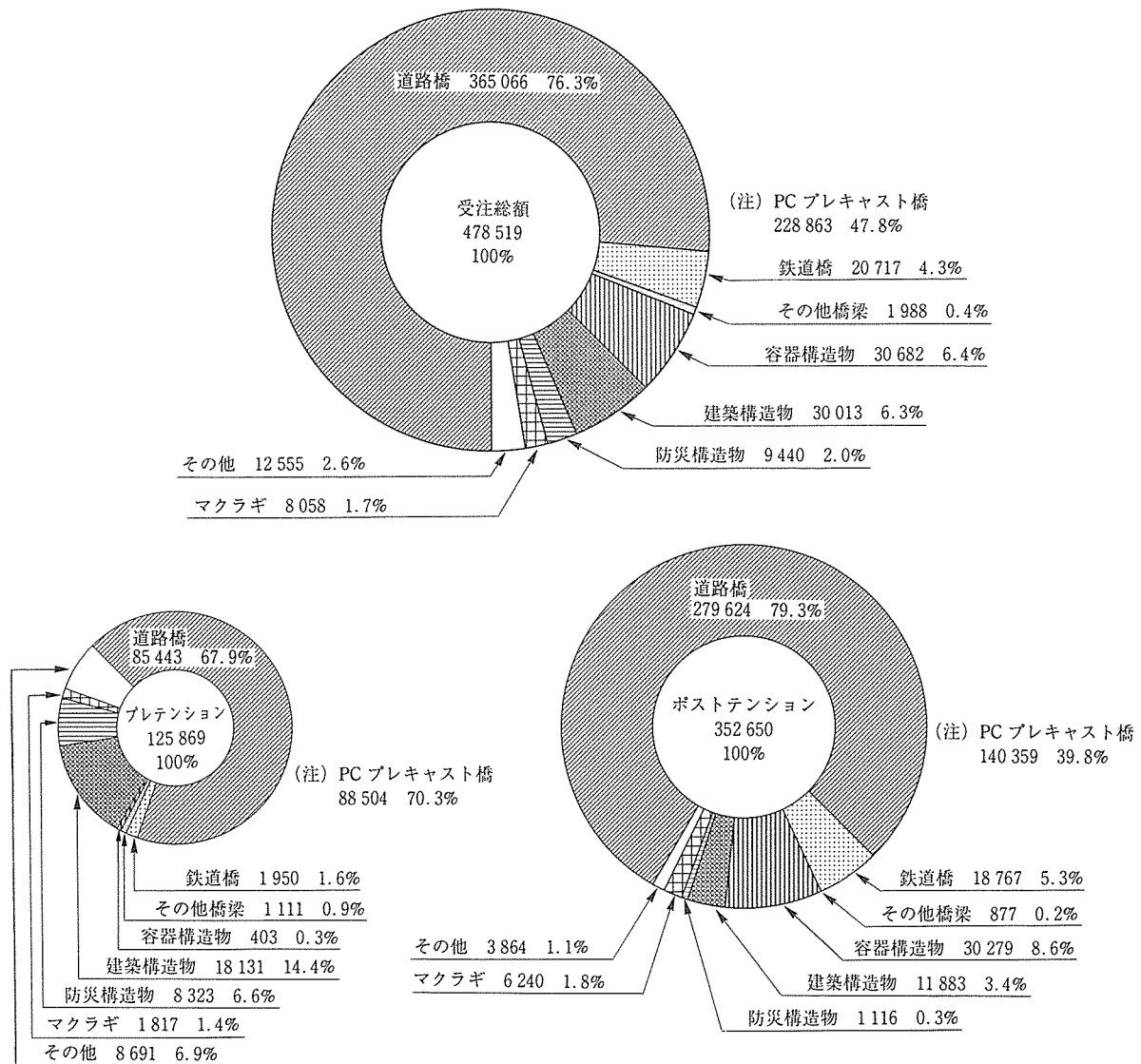


図-2 平成5年度用途別受注実績<sup>3)</sup>

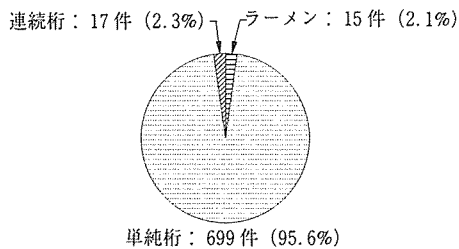


図-3 プレキャストブロック桁の構造形式別施工実績<sup>4)</sup>

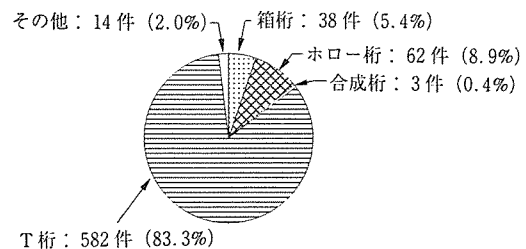


図-4 ブロック桁の断面形状別施工実績 (単純桁)<sup>4)</sup>

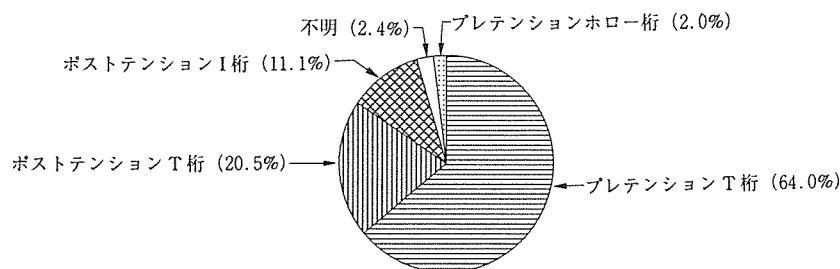


図-5 プレキャスト連結桁の桁形式別施工実績<sup>4)</sup>

る。

### 3.2 今後の展望

今後のPCプレキャスト橋の展望を考えると、まえがきにも述べているように我が国の建設業をとりまく状況等から、JIS桁を含むプレテンション方式のPC単純桁橋やポストテンション方式のPC単純桁橋はこれからも現状程度は採用されていくものと思われる。また、走行性、耐震性、維持管理、等よりPC連結桁橋の採用はさらに多くなっていくものと思われる。そして、施工条件、工期短縮、等よりPCプレキャストセグメント橋の採用も増し、押出し工法によるPC橋、プレキャスト部材を用いた吊り床版橋やロアリング工法によるPCアーチ橋の実績も増すとともに、後記の外ケーブル工法、等によるプレキャスト部材を用いたPCトラス橋、等も採用されていくものと思われる。

ところで、これらPCプレキャスト橋の中で、PCプレキャストセグメント橋は、国外に比べ、国内の実績は少ないのが現状である。この原因の主なものは、我が国では対象橋梁規模が大きいこと、セグメント製作ヤードの確保が容易でないこと、セグメントの運搬費が嵩むこと、等である。

そこで、平成5年度のPC橋の新しい構造事例に関する調査研究委員会〔(財)高速道路調査会〕において、PCプレキャストセグメント橋の構造の単純化に関する調査検討が実施され、国外の事例調査より主桁形状、等を単純化して施工性の向上を図ることを採用理由にあげている場合があること、国内の実施例がすべて内ケーブル方式であるのに対して、国外の実施例では、調査した30橋中、内ケーブル方式は8橋、外ケーブル方式は9橋、内・外併用方式（架設中に作用する荷重に対しては内ケーブル方式、完成後の後荷重に対して外ケーブル方式としているのが一般的である）は7橋、不明が6橋で、1/2以上が外ケーブル方式を採用していること、さらに外ケーブル方式のみの場合で環境に問題がない場合は、ドライ目地が採用されていること、等が示されている。

そして、本工法がさらに今後発展するためには、施工性を考慮した構造の単純化によって経済性を高める工夫が必要であり、その工夫は、単純化、軽量化、省力化、急速化を目指したものであり、整理すると次のようになる、と示されている。

#### 1) 単純化

- ・一定区間で桁のウェブ厚さを統一する。
- ・床版をプレテンション方式とすることにより現場作業の煩雑さを除くとともにグラウト作業を省く。
- ・等しい桁高の断面を採用する。
- ・外ケーブル工法を採用する。

#### 2) 軽量化

- ・桁断面を1室箱桁断面とし、広幅員の床版に対しては斜めストラットを配置して対処する。
- ・ケーブルの配置を内外ケーブル併用または全外ケーブルによることにより部材厚さを減少させる。
- ・高強度コンクリートを採用する。

#### 3) 省力化

- ・ショートライン方式〔1セグメント分の底型枠を敷設してプレキャストセグメントを製作する方法で、一般にマッチキャスト方式（プレキャストセグメント工法において、すでに製作されたセグメントのコンクリート端面を型枠として、隣接セグメントを製作する方法）と組み合わせられて製作される〕の採用によりセグメント製作の省力化を図る。
- ・塩害および凍害の心配のない地域では外ケーブル方式の採用に際し、セグメント接合部をドライ目地とする。
- ・鉄筋のプレファブ化による鉄筋組立ての省力化を図る。
- ・大型タイヤ自走式ガントリークレーンによるセグメント運搬の省力化を図る。

#### 4) 急速化

- ・支間の短い多径間の橋梁についてはスパンバイスパン工法による一括架設により架設を急速化する。
- ・蒸気養生の採用によるセグメント製作工程の急速化を図る。

このほか、PCプレキャストセグメント橋の今後の発展には、橋梁規模はもとより橋梁架橋地点の施工条件、例えば、セグメント製作ヤードおよびストックヤードの確保は可能か、セグメントの運搬は可能か、資材の搬入搬出は可能か、等の工事工程を総合的に勘案した計画を立てる必要がある、設計仕様、法令、等も確立していかなければならないものと思われる。

なお、上記にも示されているように、外ケーブル工法に関する設計・施工法の確立は、今後のPCプレキャスト橋の発展に欠かせないものである。

外ケーブルによるPCプレキャスト橋については、我が国の実施例はまだないが、諸外国では図-6、図-7に示すように実施例は多くある。

現在我が国における外ケーブル方式に関しては、改訂中の土木学会「コンクリート標準示方書」に規定が示される予定であり、用語としては「恒久的な防錆・防食処理を施した緊張材をコンクリートの外側に配置し、定着部あるいは偏向部を介して部材に永続的なプレストレスを与える一連の構造形式をいう」と定義されようとしている<sup>(注)</sup>。

そして、「施工中の一時的なプレストレスングや事

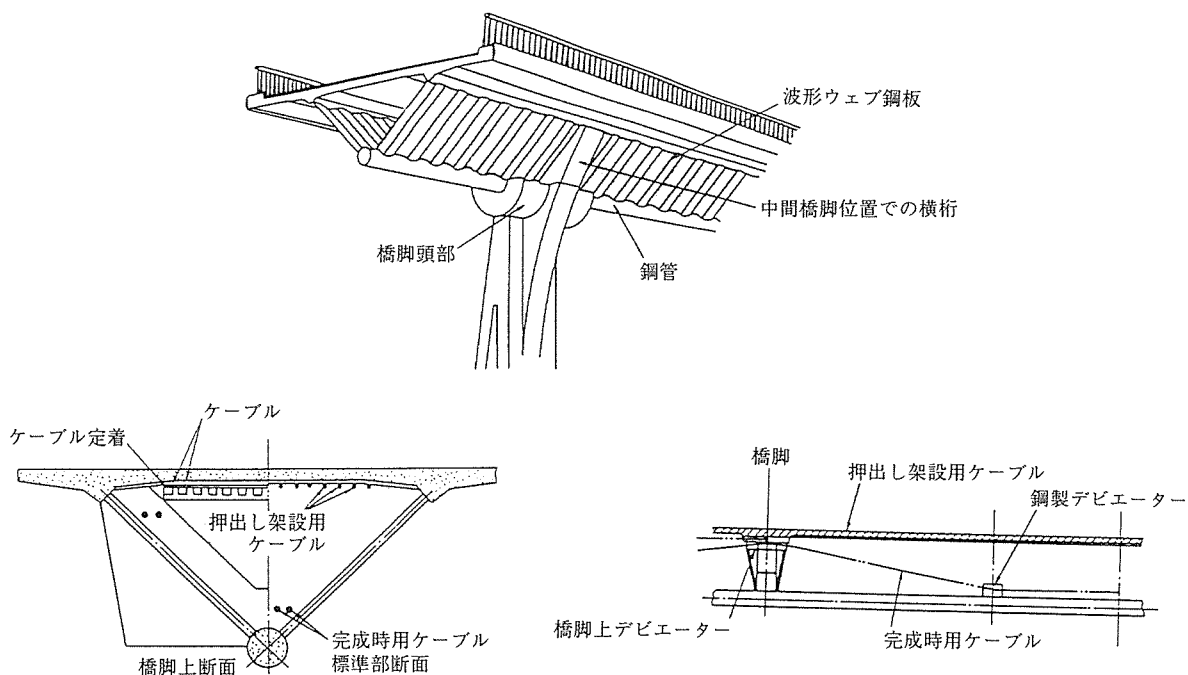


図-6 Maupre 橋での実施例<sup>8)</sup>

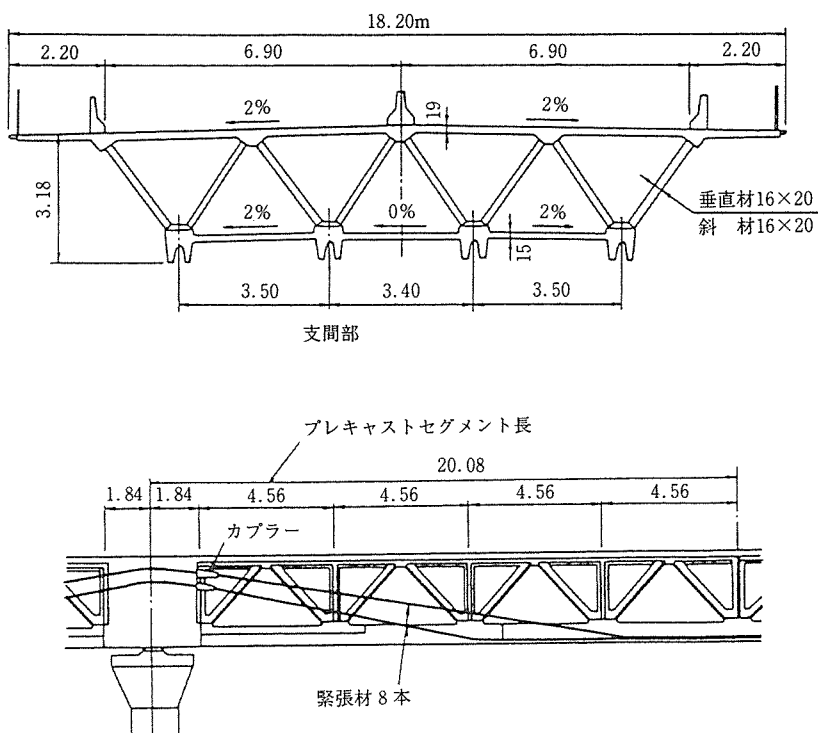


図-7 Bubiyan 橋での実施例<sup>8)</sup>

前に計画されていない補修・補強のために追加される外ケーブルの利用、また、斜張橋のケーブル斜材のように外力による張力変動が大きく、張力導入の制限を厳しくする必要がある場合や、外ケーブルの偏心量が桁の有効高さ以上となる大偏心ケーブルのように風の影響を直接受け、振動による疲労等が問題となる場合については示方書の内容のみでは不十分であるため、他の基準や文献

を参照するのがよい。」としている。

また、「外ケーブル方式は、内ケーブル方式とケーブルの配置が異なるので、外ケーブル方式の場合の構造物あるいは部材の設計にあたっては、例えばコンクリート部材と付着のない緊張材となり、平面保持の仮定が適用できないため部材断面の破壊曲げモーメントは付着のある内ケーブル方式の場合より小さなものとなる、等につ



表-1 外ケーブル方式と内ケーブル方式の一般的な比較<sup>9)</sup>

内 容		外 ケーブル方式	内 ケーブル方式
材 料	保 護 管 の 材 料	ポリエチレン管や鋼管が主流。	鋼製のスパイラルシースが主流。
構 造	適 用 構 造 形 式	トラスウェブ構造や鋼ウェブ複合構造にも対応可能。	左記の構造には対応が困難。
設 計	部 材 厚	鋼材配置上の制約はない。	鋼材配置上の制約で決まる場合もある。
	ケ ー ブ ル 形 式	折れ線状の配置となる。 偏向部により形状を保持する。	曲線状の配置が可能。 シースを取り巻くコンクリートで保持する。
	プレストレスの摩擦損失	摩擦損失は少ない。	外ケーブル方式に比べ摩擦損失が比較的大きい。
	P C 鋼 材 偏 心 量	箱桁等の内空配置では、内ケーブル方式に比べ小さい。	一般に外ケーブル方式に比べ大きい。
	定 着 部 の 応 力 検 討	横桁や隔壁に定着されるため、これらの部材の応力検討が必要。	特別に詳細な検討は不要。
	偏 向 部 の 検 討	プレストレス分力の作用に対する検討が必要。	
	終 局 耐 力 防 振	内ケーブル方式に比べて小さい。 防振上の配慮が必要。	外ケーブル方式に比べて大きい。 部材内でグラウトされているため問題とならない。
施 工	施 工 性	部材内配置シースが減少しコンクリート締固めが容易。 外ケーブル配置作業は比較的容易。	部材内のシースが多いため外ケーブル方式に比べコンクリートの締固めにやや難がある。
管 理	緊 張 材 の 点 検	部材断面外に緊張材を配置するので比較的容易。	部材内に緊張材が配置されるため困難。
	緊 張 材 の 取 替 え	偏向部や定着部の構造を検討することにより取替え可能である。	取替えは困難である。

いて検討する必要がある。」としている。

このほか、外ケーブル方式に関しては、全外ケーブル方式による場合、新素材を使用する場合、経済性、等についての問題点も種々あり、今後これらについて検討を進める必要がある。

外ケーブル方式の場合と内ケーブル方式の場合の特徴の比較を表-1に示す。

以上のほか、PCプレキャスト橋を今後さらに発展させていくには、PC合成桁橋の床版にPCプレキャスト床版を採用する場合や複合構造物のプレキャスト化、下部構造物のプレキャスト化、等についても検討していく必要がある。

注) 土木学会「コンクリート標準示方書」は平成8年3月に改訂され、10章のプレストレストコンクリートの解説に外ケーブルについて示されている。

## 参 考 文 献

- 1) 小村 敏：「最新 PC 橋架設工法-PC 橋架設工法総論」プレストレストコンクリート，1989，特別号
- 2) 秋元泰輔：「PC 橋架架設技術の発展」橋梁と基礎，1992，8
- 3) 「第21報 プレストレストコンクリート 1994年版 PRESTRESSED CONCRETE YEAR BOOK-資料編一」(社)プレストレストコンクリート建設業協会
- 4) 西川和廣：「橋りょう上部工におけるプレキャスト化」コンクリート工学，1992，11
- 5) 石橋忠良：「PCプレキャスト部材-鉄道・概論」プレストレストコンクリート，1991，特別号
- 6) 「PCプレキャスト部材-道路・ポストテンション方式プレストレストコンクリート橋桁」(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，プレストレストコンクリート，1991，特別号
- 7) 「PC橋の新しい構造事例に関する調査研究(PCプレキャストセグメント橋の構造の単純化に関する調査検討)委員会報告書」(財)高速道路調査会，平成6年3月
- 8) 「PC橋の新しい構造事例に関する研究報告書」(財)高速道路調査会，平成2年3月
- 9) 「PC橋の新しい構造事例に関する報告書(外ケーブルの有用性及適用性に関する調査検討)」(財)高速道路調査会，平成5年3月

【1995年11月21日受付】