

外ケーブル構造

コンクリート部材の外側に PC ケーブルを配置してプレストレスを与える構造は、決して新しいものではない。海外では既に 1920 年代に登場しており、特にフランスで発展してきた。我が国では 1970 年代から用いられてきたが、当初は既設構造物の補強が主であった。しかし、我が国でも最近の労務事情の悪化を背景として PC 橋のプレキャスト化が本格的に見直されており、これに連動した形で部材の外にケーブルを配置した構造も注目を集めている。

この構造は、施工性や経済性に多くの利点を持つ一方で、より合理的な構造とするためには設計法などについてもさらに踏み込んで考える必要があると考えられ、現時点での技術を取りまとめ、将来を展望するために本特集号を企画した。

コンクリート部材の中に設けられたダクトの中に PC ケーブルを配置してプレストレスを導入する一般的なポストテンション方式に対し、コンクリート断面の外にケーブルを配置する方式は、アウトケーブルと呼ばれることが多かった。しかし、英語では exterior cable, external tendon, external prestressing など、独語では externe Vorspannung などであり、いわゆるアウトケーブルという呼び名は見当たらない。

本誌編集委員会では、外来の技術用語をできるだけ適切なものとする主旨で、この言葉の見直しを図ったが、本特集号では前編集委員長である横浜国立大学池田教授が提案された「外ケーブル」を原則として用いることに決定し、各執筆者の了解を得た。

1993 年 10 月には、京都で FIP シンポジウムが開催されるなど、我が国の PC 技術を取り巻く環境も国際化が著しい。国際的に通用している技術用語を知るとともに、分かりやすい日本語を用いることも大切である。日本語としての「外ケーブル」について、会員諸氏のご理解をいただきたい。

外ケーブル方式による PC 構造物の変遷

森 元 峯 夫*

1. ま え が き

昭和 27 年、我が国に PC 技術が導入されてからやがて 40 年近くになるろうとしている。その間、初期には、プレテンション工法が主流をなし、その後、コンクリート中に PC ケーブルを配置する内ケーブルの PC 構造物が数多く建設されてきた。いわゆるポストテンション方式の主流は、我が国では未だグラウトによる付着のある PC 構造である。以前特殊な事例として、ある PC 専門家によって外ケーブルが使用された一時代があった。フランスをはじめとする PC 技術の先進国では、最近とみに外ケーブルによる PC 橋の建設が盛んである。アメリカにおいても、フランス人 J. Muller の活躍によってフロリダの Keys 橋のシリーズが完全な外ケーブル方式で架設され、最近、西ドイツでも応用されてきている。これらは、経済性・工期短縮と省力化の目的で広く応用されてきている。また、これは外ケーブル用 PC ケーブルの大型化と定着具の改善、シースの改良とグラウト材の発達など使用材料の改善のほか、設計技術と理論的解明などによる結果である。また、コンクリート構造物の補修、補強工法の優れた施工法としても、外ケーブル方式が発達してきた。

本文はこのような背景から我が国でも経済性と省力化などの理由で応用され始めた外ケーブル方式の PC 構造物、特に PC 橋についてその概要を述べたものである。

2. 歴史的展望

外ケーブル方式による PC 構造物は、1928 年にフレ



* Mineo MORIMOTO
新構造技術(株)取締役社長, 工学博士

ッシネーが PC 工法の特許を取得した時代から始まり、以後 1950 年代後半まで PC 工法の主流をなして、数多くの長大橋が架設された。

世界最初の PC 橋は、1928 年にドイツの Alsleben にドイツの技術者の Dischinger によって Saale-Brücke が建設された。続いて 1936 年に Saxe に Aue 橋が架設され、さらに、1939 年に Poznam に Warthe-Brücke の建設が開始されている。これらの橋梁は、Saale 橋が中央スパン 68 m、また Aue 橋のスパンは 69 m であり、さらに Poznam の Warthe 橋は、建設開始後第 2 次大戦のため建設が中止されたが、中央スパンが実に 80.5 m という長大 PC 橋であった。

これらの PC 橋は、コンクリート部材の外に PC ケーブルが配置されるという点で極めて特異性があり、この考え方は、吊橋のケーブルの配置を想像して考えられた極めて自然な技術的発想であった。

このような傾向は、フランスで終戦直後再び採用され、PC 構造物の輝かしい発展の中で、1 つにはフレッシネーの特許をのがれるためにも吊橋のケーブルに近い考え方で外ケーブルが採用された。

フランス建設省中央研究所の技師 Chatelain は、フランスでの外ケーブルによる PC 橋を 5 橋引用している。すなわち、

- 1) Lossier によって建設された Villeneuve-Saint-Georges 橋。
- 2) Marne 河に架設された Binson の港湾橋で建設会社 Coignet によって建設され、曲げ上げ配置された外ケーブル方式の橋梁である。
- 3) Arles-sur-Tech に架設された Can Bia 橋。
- 4) セーヌ川に架設された Vaux 橋で、1955 年に Coignet によって外ケーブルによる押出し工法で建設された本橋が世界最初の押出し工法による PC 橋梁であると言われている。本橋は Rio Caroni 橋よりはるか以前に架設されたものである。
- 5) 最後に Boulogne の近くに建設された橋梁をあげることができる。

Fritz Leonhardt 教授は、外ケーブルで押出し工法による PC 橋の世界的レコードをつくろうと考えて Venezuela の Rio Caroni 橋を建設した(図-1)。この橋梁は、コンクリート部材中に配置された鋼製の箱形シー

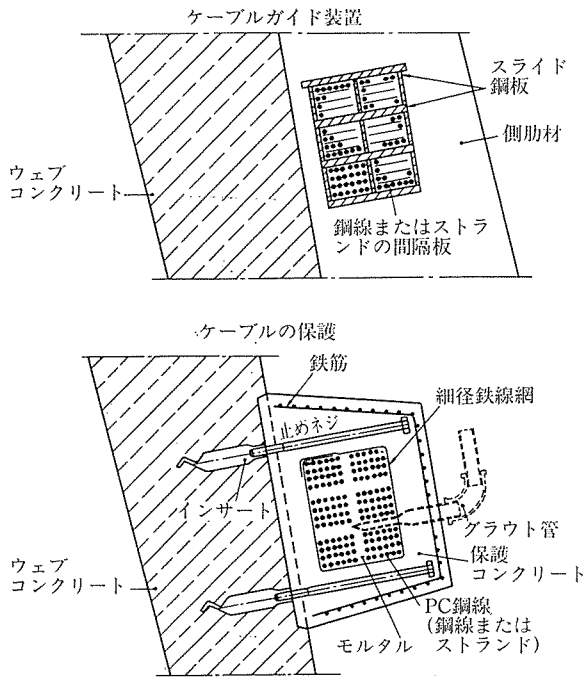


図-1 F. Leonhardt による Rio Caroni 橋の外ケーブル

内に平行配置された PC 鋼線からなり、緊張後グラウトされている。イギリスの技術者もまた外ケーブルの PC 橋建設を考えたがあまり成功していない。これらは、鋼製の箱形シースの中にセパレーターを配置した PC 鋼線群が緊張後、マイクロコンクリートによってグラウトされる工法で極めて施工が複雑で不経済であり、端部の定着ブロックに局部応力が集中するなどの技術的・経済的欠点の原因であった。

外ケーブル方式の発展は、主としてフランスにおいて見られた。これらは既設橋梁の補強工事から得られた経験と斜張橋から得られた経験をもとに発達してきた。有ヒンジ形式の片持ち梁施工の多くの PC 橋は全世界的規模で補強しなければならなかった。1975 年以前に建設

されたこの種の PC 橋は、いくつかの原因による応力が無視されていたので、結果として十分なプレストレスが導入されていなかった。すなわちコンクリートのクリープによる応力の再分配と日光の直射による日温度変化の影響のほか、摩擦によるプレストレスの損失を一般に過少評価してきたことなどが原因であった。

フランスの Rhône 河に架設された R 橋の補強と、Deule 河に架設された L 橋の補強工事では、それぞれ 55 T 13 のケーブル 8 本および 19 T 15 の 6 本を桁端から他の桁端に配置し、シースはガス管を用いセメントミルクでグラウトしたものである。L 橋の外ケーブルの略図を図-2 に示す。これら 2 橋の例では、シースはサポーターで軽く支持され、プレストレス導入前も所定的位置にケーブルを保ち、さらに振動に対しても十分対処されている。一方、1975~1976 年以來、摩擦によるプレストレス力の損失の計算では実際より過少評価していたことが、Marne-la-Vallée 橋でプレストレスの伝達係数を測定した結果判明した (図-3)。

このためフランス国鉄の指導で将来の補強プレストレスの必要性から空シースを配置しておいて後に追加プレストレス力で補強している。この追加のプレストレス力は、初期プレストレス力の 20% にも相当するものであった。さらにこの予備の空シースのみでは十分でなかったため、外ケーブルによって補強された。外ケーブルの定着部は橋台上の主桁端部にマッシュピ定着部を設置し、12 T 15 の PC ケーブル 6 本を腹部の外側に配置し、中間支点上の横桁を介して曲げ上げ配置された。これらの補正は橋梁の建設中 1975 年に行われている。また、橋梁完成後の載荷試験で、外ケーブルは簡単に振動することがわかった。すなわち固定点である横桁や変曲点ブロックの位置が遠すぎるため、これらの中に簡単な中間支柱を設けて振動を止めた。これらの経験から SETRA (道路・高速道路・技術研究所) では、1979 年

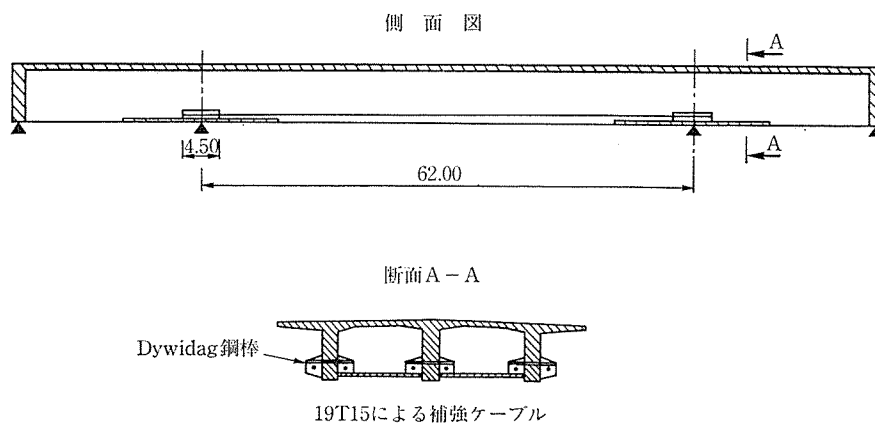


図-2 L 橋の補強方法

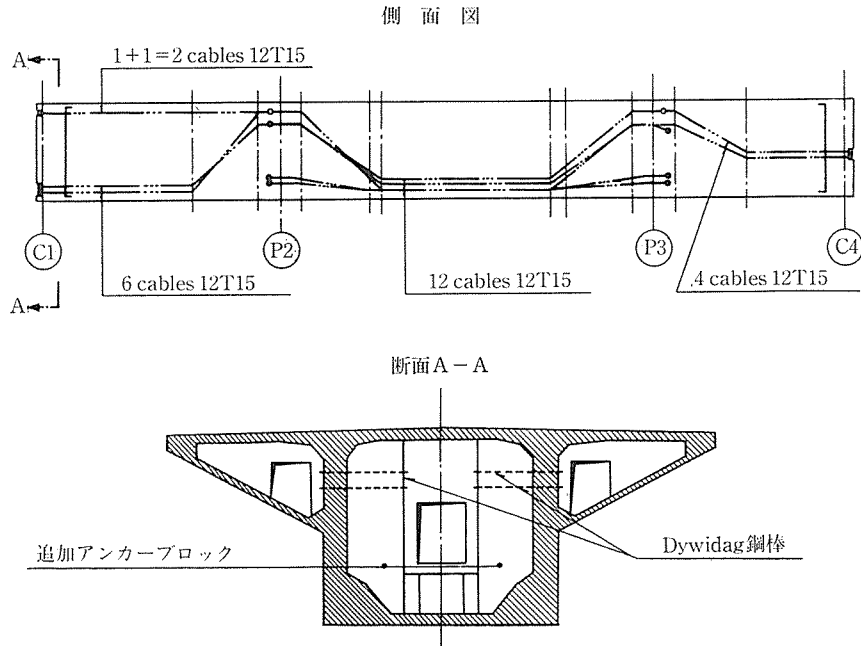


図-3 Marne-la-Vallée 線に架かる橋梁の外ケーブル配置方法

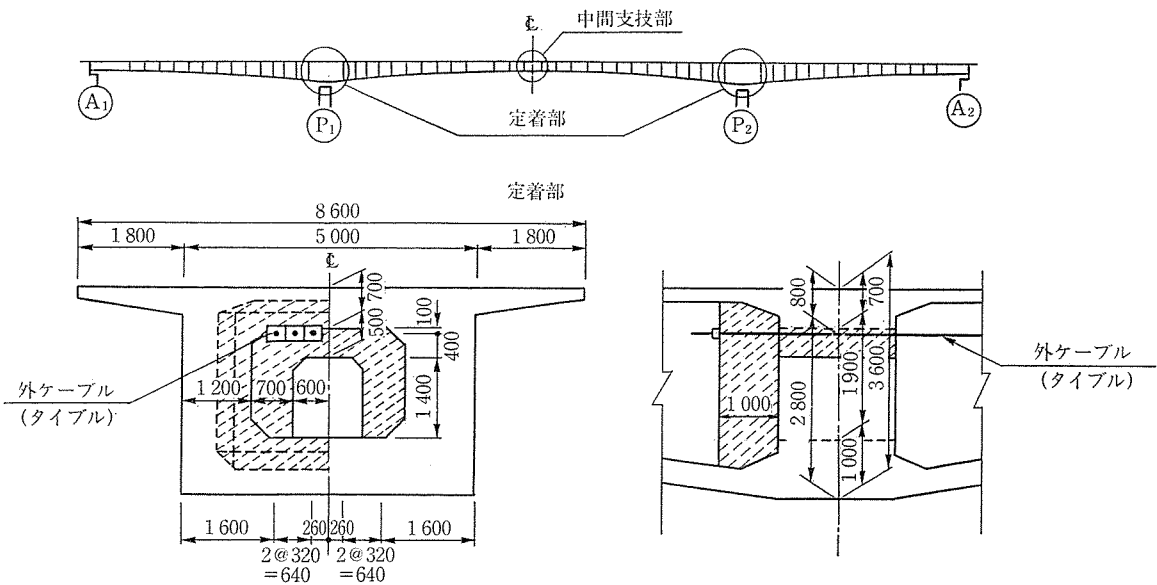


図-4 真崎大橋の外ケーブルによる補強方法

の指針では将来の補強を予測して建設の当初から外ケーブルを配置するよう指導している。

一方、我が国における外ケーブル方式の利用は、既設構造物の補修・補強から始まり、1970年代から例えば真崎大橋(連続桁)、美陵高架橋(有ヒンジラーメン橋)、大師橋などの主桁補強のために外ケーブルが採用されている。新設橋としては、混合方式による東北新幹線笹目川橋梁が1985年初めて建設され、以後鉄道橋の四万十川橋梁等がある。

3. 外ケーブルを用いた近代的な PC 橋

外ケーブル方式による PC 橋の第 1 グループは各スパン

ごとくに施工される主桁をすべて外ケーブルでプレストレス導入される方法である。このグループの橋梁は実際にはプレキャストブロック工法で施工される場合が多いが、各スパンごとに支保工上で場所打ち施工される場合も含まれる。

内ケーブルを全く用いない、このグループの外ケーブル方式では、各 PC ケーブルは中間橋脚上の横桁で定着されスパン中央で曲げ配置される。したがって架設用の仮締めケーブルも用いないので、橋は 1 径間ずつ完成される。この方式では施工法と外ケーブルの配置法には直接密接な関係がある。すなわち、

○架設用支保工の上にプレキャストブロックをスパン

全体にわたって設置する (Long-Key 橋, Channel-Five と Niles Channel 橋)。

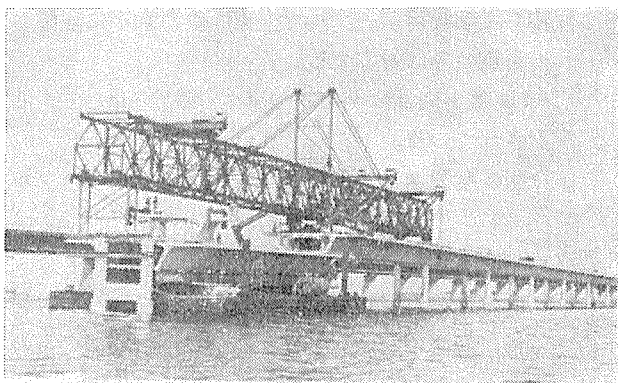
○架設用仮斜材を用いプレキャストブロックを架設し、スパン全体を片押し架設する方法 (Vallon-des-Fleurs 高架橋と Banquière 高架橋)。

○エレクショントラスを用いて、プレキャストブロックを各径間ごとに一度に架設、一体化する方法 (Bubiyan 橋)。

各径間を一度に施工し、プレストレスを導入する方法は一般にケーブル配置が極めてシンプルである。しかし外ケーブルを緊張する前に1径間全体を一体化し自重に対応するために仮設用ケーブルで緊張する方法は応用範囲が限定される。

3.1 フロリダの Long-Key 橋

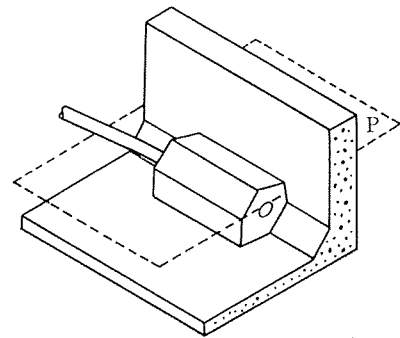
外ケーブルを用いた最初の近代的な橋を架設したのはフランスの J. Muller である。彼は、USA で活躍し、Long-Key, Seven-Mile, Channel-Five, Niles Channel を架設した。これらの PC 橋は、すべてプレキャストブロックを用いた外ケーブル方式の PC 橋である。Long-Key, Channel-Five, Niles Channel では、各径間のプレキャストブロックは架設用支保工桁の上で組み立てられ、この支保工桁はフローティングクレーンで移設された。一方 PC ケーブルの配置は、各径間ごとに橋脚上の横桁に定着され、スパン中央で水平配置され、両側に曲げ配置されている。これらの2か所の変曲点は、下床版とウェブの接続部に設けられた鉄筋コンクリートの変曲部ブロックを介して彎曲されている (図-5)。また PC ケーブルの構成は、Long-Key 橋では 27 T 15 ($\phi 15.2$ mm のストランド 27 本からなる、 $P_u \approx 700$ t) の大型ケーブルを各ウェブに2本、計4本が配置されている。また、シースはポリエチレンシースが用いられ、セメントミルクによるグラウト注入がなされている。このため、ケーブルの取替えはあらかじめ考えられていない。



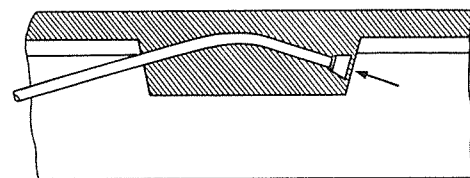
写真—1 1径間分のブロックを載せたバージを用いた架設 (手延べガーダーは架設後前進)
<Seven-Mile 橋>

3.2 Vallon-des-Fleurs と Banquière 高架橋

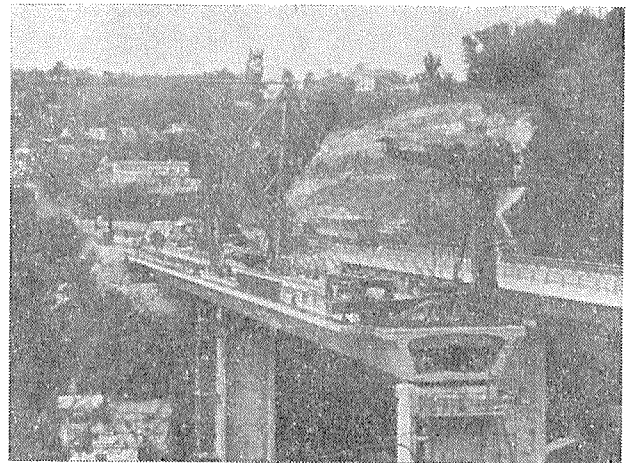
Vallon-des-Fleurs と Banquière 橋の2次施工部分で、Campenon-Bernard 社は架設用仮斜材を用いて桁を補強し、プレキャストブロックを片押し架設する施工法を提案した。この2橋の施工以降、Rombas, Woippy 橋のアプローチ橋, Pierre-la-Trèche 橋, Fontenoy 高架橋が同様の方法で架設された。しかし M. Placidi は基本計画の段階で Fontenoy 橋の施工時に外ケーブル方式を考え、実際に施工された。その後、J. Combault と M. Duviard の計画した PC 橋の施工では、すべて外ケーブルが用いられた。フロリダの Keys 橋と同様に、すべて外ケーブルが用いられたが、架設時の応力バランスのため 6 T 13 の PC ケーブルが上床版と下床版に配置され、完成後も配置されている。また、シースはフロリダの Keys 橋のようにポリエチレンシースが用いられ、



平面 P における断面



図—5 外ケーブル用の曲線定着突起



写真—2 施工中の Vallon-des-Fleurs 橋

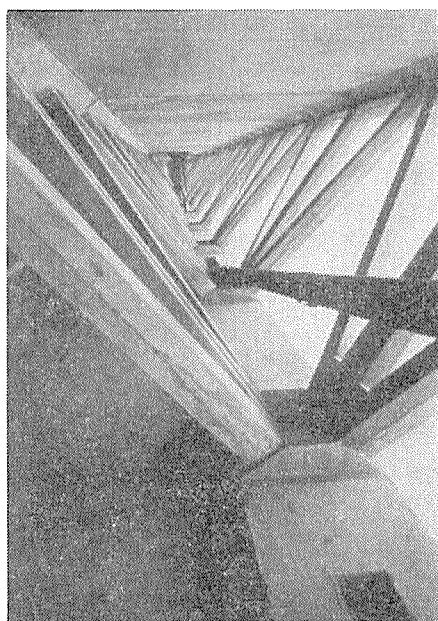
グリースが注入されている。主桁の架設はプレキャストブロックを仮斜材で吊って支え片押し施工する方法で1径間ごとに完成された。この仮斜材の定着部は、仮締めPC鋼棒と6T13のストランドケーブルで仮補強されている。

3.3 Bubiyan 橋

本橋はあまりにも有名な新しい構造形式のPC橋で、本誌でも以前詳しく説明されている。本橋もプレキャストブロックをエレクショントラスを用いて1ブロックごと1径間にわたって吊り下げ、支点上横桁間で定着される完全な外ケーブル方式によって架設された。一方、Bubiyan 橋のウェブは、Prof. P. Richard のアイデアによって、RCプレキャスト部材による3次元の立体トラスとなっている。下床版は、薄い板状の縦梁4個で構成され、この縦梁の溝部に外ケーブルが配置されている。また各径間の外ケーブルは、前の径間の定着部とカップリングされた27T15のストランドケーブルからなるPCケーブルが用いられている。また本橋のスパンは最大54mである。外ケーブルは厚さ5mmのポリエチレンシースに挿入されセメントミルクでグラウトされている。したがってケーブルの取替えは考えられていない。またシースの変曲部はポリエチレンシースの内側に鋼管を配置して補強しポリエチレンの圧縮変形を防いでいる。このBubiyan 橋と同様のアイデアの橋梁はBouygues社が実験的に架設したArbois 橋である。

3.4 外ケーブルと内ケーブルの混合方式によるPC橋

完全な外ケーブル方式が考えられたのは、前述のようにプレキャストブロック工法が主体であったが、J.



写真—3 Bubiyan 橋の外ケーブルの配置

Mathivat の提案しているように片持ち梁架設で架設ケーブルを曲げ配置しないで、上床版に殆んど水平に配置して彎曲配置による摩擦によるプレストレスの損失をなくし、ケーブル本数を少なくする方法もとられた。しかしこの方法は垂直プレストレスの必要から縦締めケーブルの配置が不経済であるほか、架設ケーブルの定着部が上床版中にあり舗装面からの水が流れ込み易いゾーンになっている。このようなことから、内ケーブルによって架設し、架設時の荷重のみに対応させ、架設完了後外ケーブルを曲げ配置して、活荷重などに対応させる混合方式がとられている。

この混合方式は、Rio-Caroni 橋で Prof. F. Leonhardt が採用したもので(図—1)、この方式はすべての架設工法に応用できる。すなわち、

- 回転式架設工法で、架設中の応力状態は片持ち梁施工と同様である(Flèche 橋)。
- 片持ち梁施工(Mousson 高架橋, Roguebillières 高架橋の大張出し施工)。
- 押し出し工法、これも片持ち梁施工と力学的に同様である(Cergy-Pontoise 新橋)。

3.4.1 Flèche 橋

図—6のように、中央スパン64mに対してスパン中央で桁高が1.75m、支点上で2.80mの桁高の低い橋梁である。中央スパンは軽量コンクリートを用い、側径間は普通コンクリートによってカウンターウェイトの役割をなしている。架設用ケーブルは内ケーブルで上床版中に水平に配置され、上床版のハンチ部に定着されている。この内ケーブルは桁自重など架設荷重に対応し、一方外ケーブルは架設完了後に配置され片側の橋台上から他方の橋台上まで配置されている。さらに内ケーブルによる連続ケーブルが下床版内に配置されている。

3.4.2 Mousson 高架橋

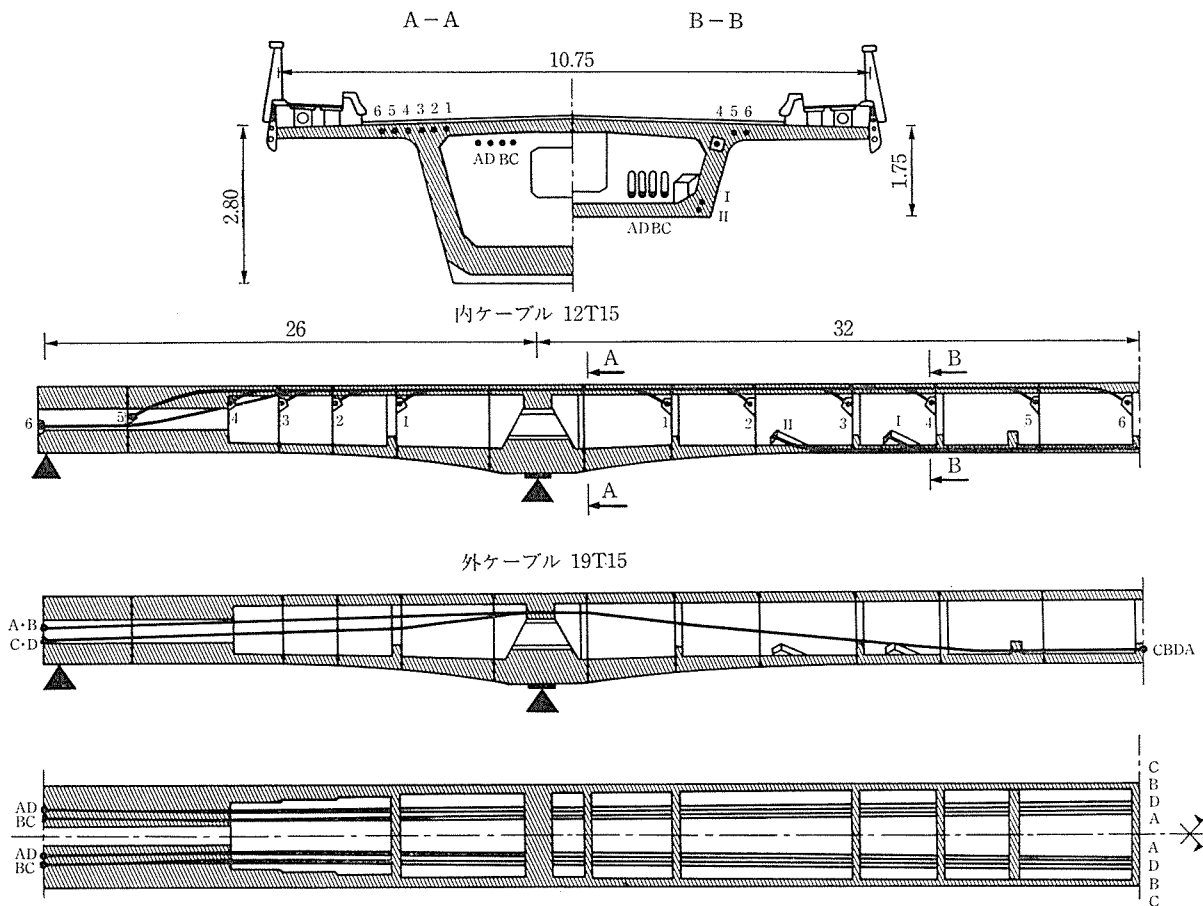
主桁は、3.35mの同一桁高でPCケーブルも混合方式であり、3組の種類からなっている。

- 片持ち梁架設用ケーブルで上床版中に水平に配置され桁自重のみに対応する。
- Flèche 橋と同様に外ケーブルで横桁を介して彎曲配置されている。
- 下床版に配置される内ケーブルによる連続ケーブルで、スパン中央の耐荷力に対応している。

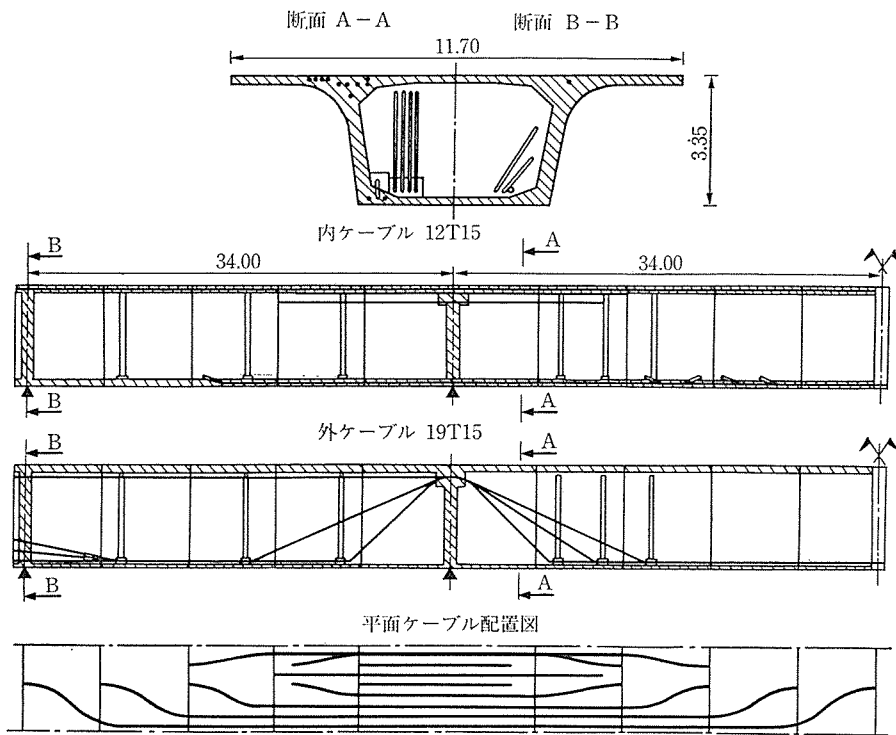
外ケーブルは、ポリエチレンシースを用いセメントミルクでグラウトされている。しかし本橋では、外ケーブルのすぐ横と同様の変曲点ブロックが設けられているのでケーブルの取替えは可能である。

3.4.3 Cergy-Pontoise 新橋

Cergy-Pontoise 新橋は押し出し工法によるPC橋であ



図—6 La Flèche 橋の外ケーブル配置



図—7 Cergy-Pontoise 橋のケーブル配置

るが、Flèche 橋と同様、3種類の内ケーブルと外ケーブルの混合方式である。

4. 外ケーブルの利点

外ケーブル方式は、施工性と経済性で多くの利点をもっている。経済性では、工期の短縮とウェブ厚を薄くすることなどである。工期に関して、シースの配置や鉄筋の調整作業等が短縮されるほか、コンクリートの打設が容易であり品質管理上もよい。

またケーブルの配置がコンクリートの外であるため摩擦損失が少なくなり、PC鋼材の経済性にもつながる。また、ウェブ厚を薄くできるため主桁自重が軽減できる。内ケーブルと外ケーブルの混合方式では、コンクリート中に埋設されるPCケーブルの本数が著しく減少されるので、内ケーブルの定着部が少なくなり、ケーブルのレイアウトも単純化される。一方、グラウト作業は、シースがコンクリートの外にあるために容易であり、グラウトの施工性を検査したり、注入不良な箇所の発見も容易である。ケーブルの取替えを考えれば、外ケーブルは構造物の品質改善や構造を単純化することができる。

また、PC鋼材の防錆は極めて重要である。内ケーブルに関する設計概念では、PC鋼材の腐蝕を防ぐため死荷重の作業時にPC鋼材位置で引張応力が生じ、コンクリートにひび割れが生じないように考えられているが、外ケーブルではこのことは無関係である。

以上のように外ケーブル固有の問題点を設計段階で考えれば外ケーブルの取替えも可能となる。

近年とくに既設構造物のストックが増大する中で、これらの維持補修が問題となっているが、外ケーブルによるPC構造物のコンクリート品質の向上と外ケーブルの取替えによる補修・補強の容易さは大きな利点となる。PC構造物の経済性と熟練労働者不足に対応する省力化、工期の短縮が望まれる環境でプレキャストブロック工法が再度見直されてきているが、外ケーブルとパーシャルプレストレスとの併用による構造物の品質改善も極めて大きな利点となる。

5. 外ケーブルの技術的展望

外ケーブルの技術は急速な発展が認められる。それは、プレキャストブロック工法との併用によって架設工法と密接に関係して発展してきた。また使用材料と構成の改良、工夫によるところが大きい。この外ケーブルの種類を大きく分類すると次の5つのグループに分けられる。

- (1) ポリエチレンシース中にセメントグラウトされたもの

この場合は、PC鋼材の取替えが不可能のため、設計段階で次のようなことを考慮する必要がある。

- シースを2重構造として、内側のグラウトされたPC鋼材とシースを同時に引き出して取り替える。
この場合、PCケーブルはできるだけ直線に近いか、または弯曲の曲率を大きくとる必要がある。

- (2) グリースを注入した外ケーブル

グリースを注入したPCケーブルの考え方は、原子力発電用格納容器の建設で採用され始めた。またその後フランスでは、補修・補強工事用の外ケーブルで、グリースやワックスを注入した外ケーブルが採用されている。この場合、注入温度の関係で初期にはシースにガス管が主として用いられた。その後低温で注入されるワックスの使用によって、シースも防錆効果の高いポリエチレンパイプが用いられている。

- (3) 亜鉛メッキストランドによる外ケーブル

亜鉛メッキのケーブルは特別な防錆保護なしに放置できるが、ストランドやケーブルの損傷と破断を防ぐために結果的に防護パイプを用いることが重要である。

- (4) グリースで保護されたプラスチック塗装のストランドケーブル（アンボンドケーブル）

新しい概念として、各々のモノストランドをポリエチレンでコーティングし、その中のストランドはグリースで保護されている。この場合、ケーブルはポリエチレンパイプなど堅いプラスチックダクト内に納められる。

- (5) 多重撚りストランドにアンダーコーティングし直接ポリエチレンを熔融コーティングされたPCケーブル（タイプルその他）

多重撚りされたストランドを一次アンダーコーティングで防錆処理し、さらに高密度ポリエチレンを熔融コーティングされたPCケーブルで、定着部はPC鋼棒と同様にネジ定着される。この製品はフランスで開発使用され、我が国で斜張橋の斜材として広く使用されているほか、構造物の補強のため広く一般に用いられている外ケーブルである。

外ケーブルは、配置が容易であり、防錆も完全である。施工性に優れているほか、省力化が可能であることなどが重要な要素である。さらに定着具の繰返し疲労に対する安定性と再緊張ができるなどが極めて重要である。

6. 外ケーブル構造特有の問題

外ケーブル方式で固有の問題の1つは、PCケーブルの振動の問題がある。これはかなり長い間隔で固定されていて、中間に支点などのない配置では、載荷荷重による主桁の振動によって共振する可能性すらある。過去の

例から比較的長いケーブルの場合、ケーブルの振動の固有周期が構造物の曲げ振動の固有周期に近い例もあり、このため、ケーブル定着部の中間に約 10 m 間隔で外ケーブルの支持台を設け、ケーブル振動の固有周期を小さくする必要がある。

外ケーブル振動の固有周期は、ケーブル自体に慣性がないと仮定した場合、次式で与えられる。

$$T_n = \frac{2l}{n} \sqrt{\frac{m}{F}}$$

l : ケーブル固定（支持台）間の距離

F : 緊張力

m : 単位長さ当りの質量

n : 考えている振動の波数

この場合、ケーブルの慣性は、グラウト方式の外ケーブルでは無視できないぐらいのオーダーとなる。例えばケーブル振動の固有周期が 0.1~0.15 秒を超えない範囲では、構造物の曲げの固有周期をはるかに遠ざけるために、一般にはケーブルの固定点は 7~8 m 以内とするのがよいようである。

次に注意すべき重要な点は、外ケーブルの定着部、すなわち支点上の横桁位置やウェブと上下床版のハンチ部等は架設時に特に大きな力が集中するので、横締めプレストレスを必ず導入し、鉄筋で補強するなど特別な配慮が必要である。

また定着具の引張応力変動による繰返し疲労の問題は、シースとグラウトの種類と関係が深い。グリースやセメントモルタルによりグラウトされている場合は、定着具の疲労は考える必要がない。また荷重の影響による引張力の変化も少ないため適切な防振対策が施されている場合は、内ケーブルと同様の許容応力度としてよいようである。活荷重の載荷の下で、外ケーブルの応力変動は内ケーブルの場合の応力変動よりかなり小さいものである。したがって応力変動による疲労の問題について特別な考慮は必要ではない。

一方、外ケーブルの定着部に引張力が集中するため、この引張力の主桁断面への分布の問題は極めて重要である。したがって、スパン内での定着か桁端部での定着には、横方向プレストレスの導入を前提としたひび割れ防止の鉄筋補強などが必要である。

以上のように外ケーブル方式での特有の問題について述べたが、構造物の破壊時の検討も特に重要である。

7. 外ケーブルの応用分野

外ケーブルの応用によって、前述のように構造物の品質の改善、工期短縮・経済性・省力化などのメリットが考えられるが、施工法と密接に関係して、万能の方

法ではなくその有利性もある範囲内で発揮されるものである。したがって主な応用分野をあげれば次のようである。

(1) 連続的に 1 径間または 2 径間を支保工上で施工する場合

この架設工法が最も外ケーブルの利用に適した工法であり、移動吊り支保工の場合と同様である。

(2) 架設ガーダーを移設、反復利用する、フロリダの Keys 橋のような場合

架設ガーダーの利用のほか、仮斜材を用いた片持ち梁施工で片押し施工された Valon-des-Fleurs, Banquière 橋などのほか、Bubiyan 橋の例が含まれる。

(3) 片持ち梁施工の場合

プレキャストブロック工法、または場所打ちコンクリートによる片持ち梁施工で、すべて外ケーブルを用いる場合と架設ケーブルを内ケーブルとし、架設後連続ケーブルを外ケーブルとする混合方式が応用されるようになるのであろう。

以上のように外ケーブル方式は、橋梁に応用されるほか補修・補強の最も有力な工法である。外ケーブルの定着具、防錆処置などポリエチレンコーティング防錆処理と定着具をネジ定着できる工法が我が国でも多く用いられてきている。

一方で、省力化と労務者対策、経済性のため $\phi 15.3$ mm のストランドに統一された $P_u=500$ tf/ケーブルオーダーの大型 PC ケーブルを少数本使用する方向にヨーロッパなどでは発展してきている。応力分散の対応と合せ考えて、我が国でも PC ケーブルの大型化が順次実現されるであろう。

8. 外ケーブル応用の将来展望

以上述べたように、外ケーブルは内ケーブルと比較して優れた利点を数多く有している。特に経済性のほか、コンクリートの品質の向上は、今後の PC 構造物の維持補修のうえで極めて重要な問題であり、また労務者不足に対処される省力化への利点は今後 PC 構造物建設で最も大きな利点となるであろうし、プレキャストブロック工法の見直しと相まって外ケーブルの応用は順次混合方式から進んでいくものと思われる。また、我が国では PC ケーブルの防錆処理と、高疲労型定着工法、さらに施工性の優れた大型の PC ケーブルが使用されてきたので、アメリカやフランスなどのようにグリースやワックスの注入の必要もない。

近年フランスでは、コンクリート中に配置された内ケーブルのグラウト注入の状況を、数十年経た PC 橋梁について組織系統的に調査している。スコルピオン II と呼

ばれる r 線応用の内視鏡で深さ 80~100 cm までコンクリートを透視して調査できるものであり、フランスの建設省中央研究所で開発使用されている。これによればグラウトの不十分な位置に活荷重によるコンクリートのひび割れの見られるものなどがあり、内ケーブル万能の見直しも品質保証の面から外ケーブルに変更されている面もうかがえる。

一方、塑性領域以降の PC 構造物の終局限界状態での耐荷力評価法の理論的裏付けと実験による評価もなされているため、近い将来パーシャルプレストレスとの併用を含めて順次我が国でも応用されるであろう。

前述のように、片持ち梁施工の混合方式のほか、押出し工法では架設ケーブルのみ内ケーブルとし、連続ケーブルを外ケーブルとすることによってウェブ厚が薄くなり、また、桁高との関係を含め、経済的に有利な設計が可能となる。また、構造物の補強、特に PC 橋梁の補強法として最も優れた外ケーブル方式も今後ますます採用されるであろう。

9. む す び

PC 橋梁を主体として、新設と補修工事に用いられて発展してきた外ケーブルについて歴史的展望と固有の問題などについて、主としてフランスの例を中心に概要を述べた。

我が国でも PC 橋梁を始めとする構造物の補修・補強は、今後極めて重要な社会的問題である。一方、熟練労働者不足と、工期の短縮による建設の促進、経済性の追求は、今後 10 年間の公共投資の急増とその消化対策のためにも極めて重要な社会的要望である。

プレキャストブロック工法の再見直しと、外ケーブルによる構造物の品質向上、経済性、軽量化などは理論的整備と実橋の建設を通じて順次応用されるものと思われる。補強工事などで得られる現場での実績等の蓄積もその裏付けの一つとして大変貴重なものとなろう。

本稿が外ケーブル応用のための一助となれば幸甚である。

参 考 文 献

- 1) M. Virlogeux : La Précontrainte extérieure, ANNALES de I.T.B.T.P., N° 420, DEC. 1983, p. 115~p. 194
- 2) SEEE 協会 : アウトケーブル方式の PC 橋に関する調査報告書, 昭和 62 年 3 月
- 3) M. Virlogeux : External Prestressing, IABSE, 1983, p. 62
- 4) 宮地昭夫, 工藤 実 : 真崎大橋補修工事の施工と補修効果について, 建設省東北地方建設局, 管内技術発表会 (第 36 回, 昭和 59 年), p. 539~p. 544
- 5) M. Virlogeux : La Précontrainte extérieure au Béton, FIP, Feb. 1986 (INDIA), p. 307~p. 317
- 6) M. Virlogeux : Evolution de la Conception des Ponts de poutre moyenne, FIP (No. 9), 1982 (ストックホルム), p. 7~p. 30
- 7) M. Virlogeux : Non Linear Analysis of Externally Prestressed Structures, FIP, Jerusalem, Israel, Sept. 4-9, 1988
- 8) A. Chabert, B. Creton, M. Virlogeux : External Prestressing, FIP, Jerusalem, Israel, Sept. 4-9, 1988
- 9) 若狭忠雄, 西村恒男 : アウトケーブル構造における非線形解析, 橋梁, 1989.9, 10 月号
- 10) J.Eibl, W.Vop : Zwei Autobahnbrücken mit externer Vorspannung, Beton und Stahlbetonbau 84 (1989), H. 11, p. 291~p. 296

【1990 年 7 月 4 日受付】