

アウトケーブル方式の PC 橋梁

—その現状と展望—

古 賀 政 二 郎*
富 沢 三 郎**

はじめに

我が国に PC 技術がヨーロッパから導入されて 35 年が経過し、多数の PC 橋梁が建設されてきているが、この中でアウトケーブル方式により建設された橋梁は数例、それも補強・補修工事への適用にとどまっている。

アウトケーブル方式の考え方はそれ自体新しいものではなく、西欧では 1920 年代からこの方式による PC 橋梁が建設され始め、とくに 1950 年代には数多く建設されている。しかし、初期に建設されたアウトケーブル方式の PC 橋梁は、必ずしも良い結果をもたらしてはいない。それは、ケーブル防錆対策の未発達による高価な補修とケーブル変向点設計技術の未熟さによると言える。

最近では、PC 構造物の永久性を保障するケーブル防錆技術の向上と太径ケーブルの開発により、アウトケーブル方式の PC 橋が見直されてきており、ここ数年来欧米では、本工法による数多くの PC 橋梁が建設されている。

ここでは、SEEE 協会が 1988 年 3 月に招請した、アウトケーブル方式の理論開発指導の第 1 人者であるフランス SETRA (建設省高速道路局) 大型コンクリート構造部長 M. VIRLOGEUX 博士の、アウトケーブル方式 PC 橋に関する講演および彼が発表している関連論文を参考にしながら、アウトケーブル方式 PC 橋梁技術の概要と施工例および問題点を紹介し、プレストレストコンクリート構造物における今後の飛躍の一助としたい。

1. アウトケーブル技術の概要

1.1 構造と特徴

アウトサイドケーブル (Outside Cable, 以後アウトケーブルと呼ぶ) 方式による PC 橋の構造は、図-1 に示すように、PC ケーブルをウェブ外に配置し、支点上または中間横桁部等でその方向と偏心距離を変えて、外荷重に対抗させるものである。従来のインナーケーブル (Inner Cable) 方式のケーブル配置形状はパラボラ状で

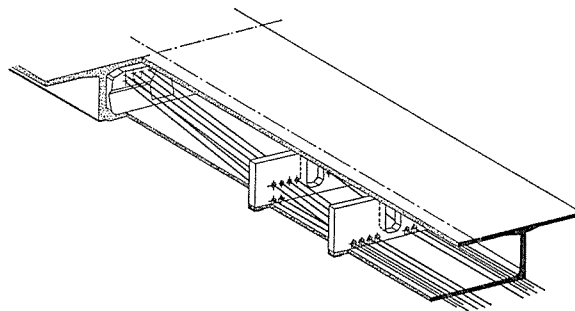


図-1 アウトケーブル配置模式図

あるが、アウトケーブル方式のケーブル配置形状は多角形となる。

アウトケーブル方式の PC 橋梁は、従来のインナーケーブル方式に比較し、次のような利点を有している。

① ウェブ厚の減少による経済上の向上

ウェブ内にダクトが無いので、その分ウェブ厚を減少させ主桁重量を軽減することにより、経済設計が可能となる。

② 省力化と工期短縮による施工性の向上

ウェブの鉄筋籠中で施工するシースの配置、取付け、固定作業が不要であり、しかもウェブ内にシースが無いのでコンクリート打設が容易で、またプレキャストブロック工法の場合にはブロック製造が容易となる。

③ ケーブルの取替え、または再緊張による維持管理作業の改善

困難な作業を伴わずにケーブルの取替えができる、ケーブルの再緊張によりプレストレスの回復ができる、などの PC 橋維持管理が従来方式より格段に改善されることは、アウトケーブル方式の大きな特長の一つである。

④ PC 鋼材の摩擦による応力損失の軽減

支点上および中間横桁部等の変向点でのみコンクリートと接触するアウトケーブルは、PC 鋼材の摩擦損失を減少させることができる。

1.2 先駆時代の問題点と最近の技術の進歩

(1) 問題点

プレストレストコンクリート構造の初期においても、アウトケーブルの考え方を適用してすでにいくつかの、

* SEEE 協会技術B分科会 (大林組)

** SEEE 協会技術B分科会 (石川島建機工業)

表—1 先駆時代のアウトケーブル方式 PC 橋梁

ド イ ツ	ベルギー	フランス	イギリス
1928 Saal-Ausleben 1936 Aue	1948 Mause 1950 Selayn	1950 Ville-neuve-Saint-Georges 1952 Vaux-Sur-Seine Pont à Binson Can Bia	Bournemouth Exe & Exminster

例えば表—1 に示すような PC 橋梁が建設されている。

これらの橋梁において解決に苦しまなければならなかったのは、腐食の問題であったといえる。

フランスの Can Bia 橋における漏水、または Vaux-Sur-Seine 橋におけるアウトケーブルにとまる鳥の尿酸等によるケーブルの発錆と腐食によって交通の閉鎖と取壊しに至りかねないほどの素線の破断がみられている。

また、ベルギーで 1960 年～1970 年に建設された、アウトケーブルをコンクリートで巻いた高速道路橋においては、コンクリートに生じたクラック部分のケーブル腐食が発生している。

さらに、ドイツの Aue 橋では蒸汽機関車の煙さえもケーブル腐食の原因となっている。

一方、Ville-neuve-Saint-Georges 橋では、ケーブルにアスファルトコーティングを行い、漏水によって腐食が生じたケーブルを取り換えている。しかし、ケーブルの取換えを可能とするために RC 造または鋼製の複雑な定着突起と変向突起を使用した結果、建設費が非常に高価となり、アウトケーブルの適用によって企てられた経済性が損なわれている。

以上のような理由により、先駆時代に数多のアウトケーブル方式の PC 橋梁が建設されたにもかかわらず、この方面の研究が放棄されることとなったのである。

(2) 最近の進歩

まず、フランスで建設された Binson 橋での経験より、ケーブルの防食は単にアスファルト塗布で十分であることが明らかになっている。また、フランス技術者の指導の下にケーブル防錆技術の開発が常に続けられ、セメントミルク、グリース、石油ワックス等の注入、または亜鉛メッキケーブルやポリエチレンコーティングケーブル等の使用による防錆がはかられている。

次に、定着部・変向部に単純な構造を用いて経済性を高めるとともに、大型ケーブルを開発してケーブル本数を減らし設計・施工を容易にしている。このことは、ケーブル配置を大幅に単純化することにより、プレストレ

スの摩擦損失の大幅な改善を果たす重要なポイントともなっている。

さらに、インナーケーブル方式の PC 構造物の補修工事においては、アウトケーブルを用いざるを得ない。このためには、取換え可能なケーブル方式が適当であることを経験上の実績が如実に物語っている。

以上のような技術上の利点、特長が判明するにつれて、新設構造物の建設にもアウトケーブル方式を用いることが再認識されている。

1.3 ケーブルの種類

アウトケーブルの種類は、ケーブル取換えの有無によって大別される。

(1) ケーブルの取換えを考えない場合

最も普通に用いられている方法は、熱融着で接続した高密度ポリエチレンシースを用いモルタルをグラウトする方法である。ポリエチレンシースは、変向部の鋼管に接続あるいはこの鋼管中を通過して、定着部の鋼管トラペットシースに接続する。

(2) ケーブルの取換えのみを考える場合

ケーブルが変向部・定着部などのコンクリートを通過する部分のみに鋼製等の外管を設置し、ケーブル本体はモルタルグラウトを用いる方法が一般的である。

(3) ケーブルの取換えおよび再緊張を考える場合

まず、亜鉛メッキまたはポリエチレンコーティング等のケーブルを用いてグラウト無しで使用する方法がある。

次に、グリースまたは石油系ロウを注入したアンボンタイプのカベブルを用いる方法がある。最近、成分分離、膨張圧によるポリエチレンシースからの浸透漏逸の問題のあるグリースは、その使用が避けられつつある。

1.4 アウトケーブル方式の分類

アウトケーブル方式 PC 橋梁では、大別して以下の 3 タイプが用いられている。

(1) 集中式全アウトケーブル方式

全部のケーブルがアウトケーブルであって、支点上の横桁のみで全ケーブルを定着する方法。

(2) 分散式全アウトケーブル方式

全部のケーブルがアウトケーブルであって、定着部分を全スパンに分散して配置する方法。

(3) 分散式混合ケーブル方式

ケーブルのある部分はアウトケーブルを用い、他の部

表—2 ケーブル配置方式の基本的分類

		ケーブル配置場所		
		アウトサイド	混 合	インサイド
定 着 位 置	集 中	集 中 式 全アウトケー ブル	—	集 中 式 インナーケー ブル
	分 散	分 散 式 全アウトケー ブル	分 散 式 混合ケーブル	分 散 式 インナーケー ブル

分はインナーケーブルを用いる方法。

以上のアウトケーブル方式の基本的分類をインナーケーブル方式と対比して 表—2 にまとめて示す。

2. アウトケーブル方式による橋梁の施工例

アウトケーブル方式の分類は先に述べたとおりであるが、このいずれの方式を選定するかについては、架設方法に大きく左右される。

以下では架設工法を、支間毎の分割施工法、カンチレバー工法、押出し工法に大別し、これらの施工法に用いられているアウトケーブル方式の概要を紹介する。

2.1 支間毎架設への適用

アウトケーブル方式の PC 橋梁施工方法で、まず第一に考えられるのは各スパン毎の施工である。

この施工に用いられる架設方法として、

- ① オールステージング上で施工する方法
- ② 支持桁等の上でプレアセンブリされた桁をエレクトリションガーダーで吊り上げる方法
- ③ エレクトリションガーダーで全プレキャストブロックを吊り下げ、一体化する方法
- ④ 架設用テンポラリー斜材を用いる方法

等がある。

これらの支間毎架設に用いる方法を採用するとき、いずれも全アウトケーブルを橋脚上の横桁で定着し、しかも大容量ケーブルを用いる、いわゆる集中式全アウトケーブル方式を採用し、設計・施工の簡易化をはかっている。

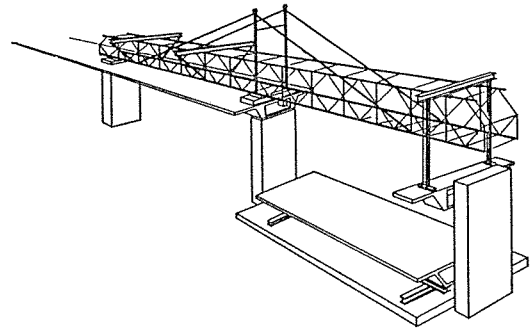
(1) Lille 地下鉄用高架橋ほか

オールステージング上で全工事を行う最も単純な施工法を採用しており、桁両端の橋台または橋脚上の横桁に集中式全アウトケーブルの定着を行うことができる。また、スパン内におけるアウトケーブルの変向は、図—1 に示すような桁内中間横桁または変向突起によって行っている。

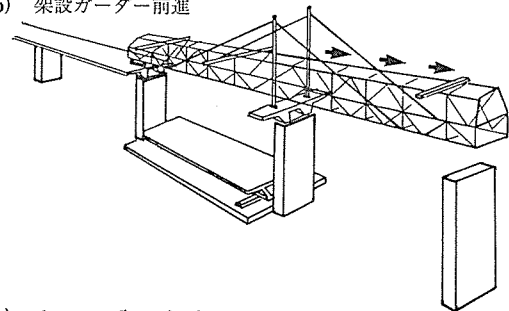
(2) Seven Mile 橋 (図—2, 写真—1)

この橋は、まず橋脚上のブロックを架設ガーダーで上架したのちこの架設ガーダーを前進させる。次に架設ガーダーを使ってバース上に置いた支持台用桁上でプレキ

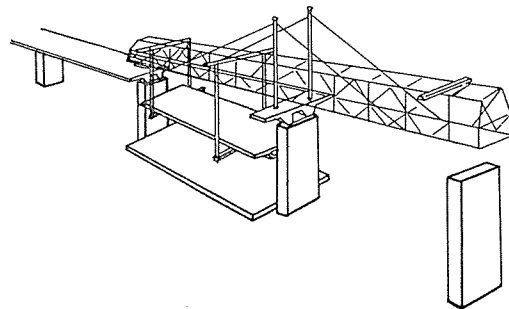
(a) 橋脚上ブロック上架



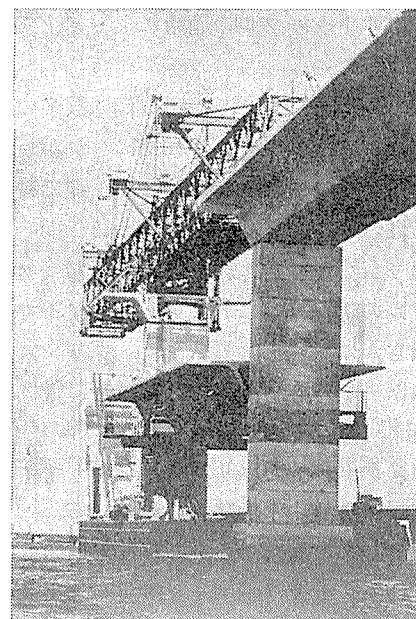
(b) 架設ガーダー前進



(c) 1 スパン分のプレキャストブロック吊上げ



図—2 Seven Mile 橋の架設要領図



写真—1 Seven Mile 橋 プレキャストブロック上架

キャストブロックを並べ、支持台用桁とともに吊り上げる架設工法を採用している。この架設方法によると、吊上げ後、橋脚上の主桁内横桁にのみ定着点を持つ集中式全アウトケーブル方式によるプレストレスの導入が可能である。また、このケーブルは、スパン 1/3 点、2/3 点での変向ブロックを使ってその偏心位置の調整を行っている。

類似の架設工法とケーブル方式をとる橋梁に、Long Key 橋、Seven Mile 橋、Channel Five 橋、Niles Channel 橋 からの Key de Florida 橋、Atlanta の鉄道用高架橋がある。

(3) Bubian 橋 (図-3)

本橋は、20 000 tm の斜材付き大容量エレクトリションガーダーで、橋脚上のブロックを含めて 1 スパン全部のブロックをそれぞれ吊り上げ、この状態で集中式全アウトケーブル方式の緊張を行う方法を採用している。

本橋の詳細は、本誌 Vol. 25, No. 4, Jul. 1983 に譲り、ここでは省略する。

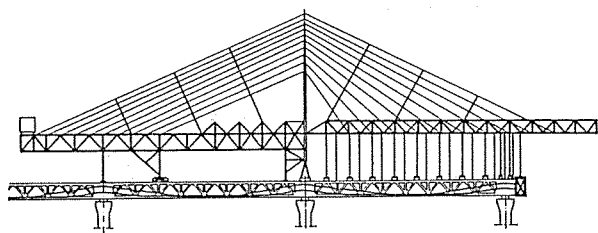


図-3 Bubian 橋 架設要領図

(4) Vallon des Fleurs 橋 (写真-2) ほか

本橋は、旧スパン重量をカウンターウェイトとして、架設用テンポラリー斜材が新しいスパンのブロック重量を支える工法で架設されている。本橋では、桁上縁に架設時インナーケーブルを配したほかは、連続ケーブルとして 図-1 に示すような集中式アウトケーブル方式が

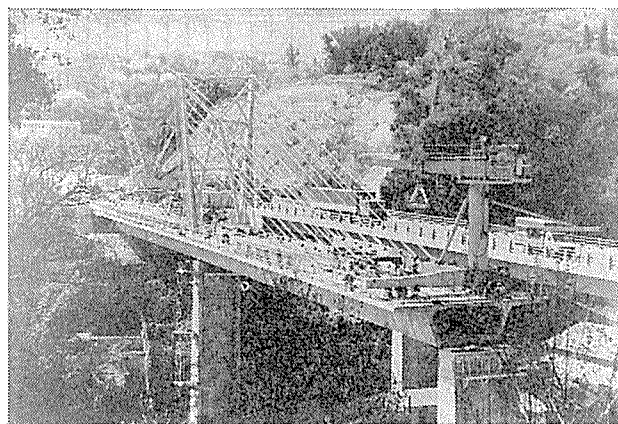


写真-2 Vallon des Fleurs 橋架設状況

用いられている。

類似の架設方法とケーブル形式を採るものに、Banquiere 橋がある。

2.2 カンチレバー工法への適用

橋脚から両側へ張り出すカンチレバーブロックの自重を支えてバランスさせるために用いるカンチレバーケーブルとして、

- ① 従来どおりのインナーケーブルを用いる場合
- ② 分散式アウトケーブルを用いる場合

とがある。

その後、中央スパンとサイドスパンの連続ケーブルを

- ① 従来どおりのインナーケーブルと集中式アウトケーブルを併用した混合ケーブル方式を用いる方法
- ② 集中式または分散式アウトケーブルを用いる方法

のいずれかで施工されている。

(1) Chinon 橋 (図-4) ほか

Chinon 橋は、架設ケーブルに分散式インナーケーブルを使用し、連続ケーブルに集中式アウトケーブルと分散式インナーケーブルとを併用した混合ケーブル方式が採用されている。

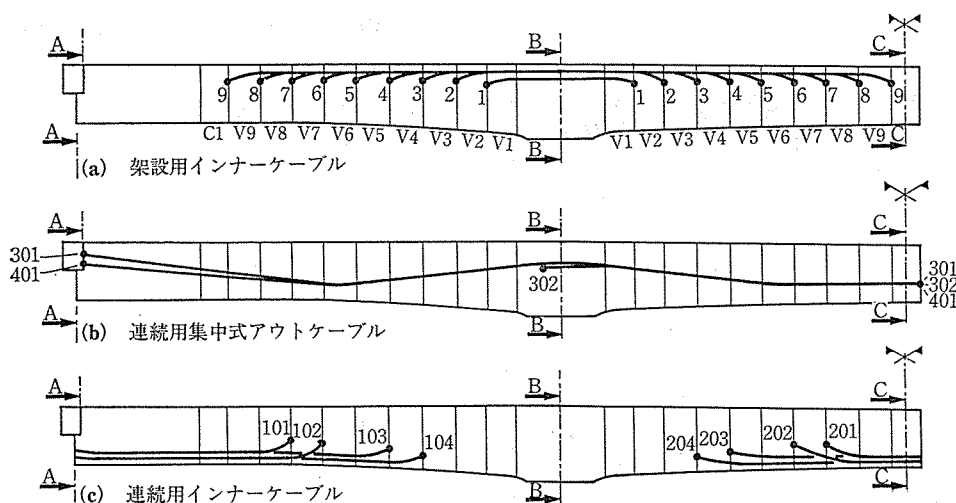
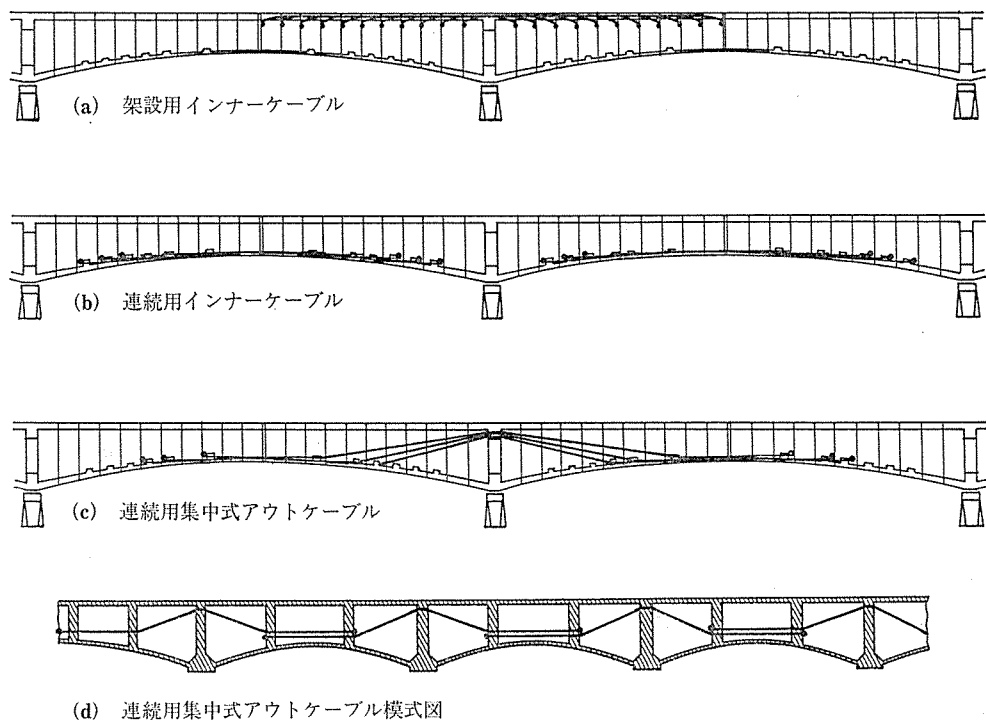


図-4 Chinon 橋 ケーブル配置図



図—5 A. 86 Gaz de France 橋 ケーブル配置図

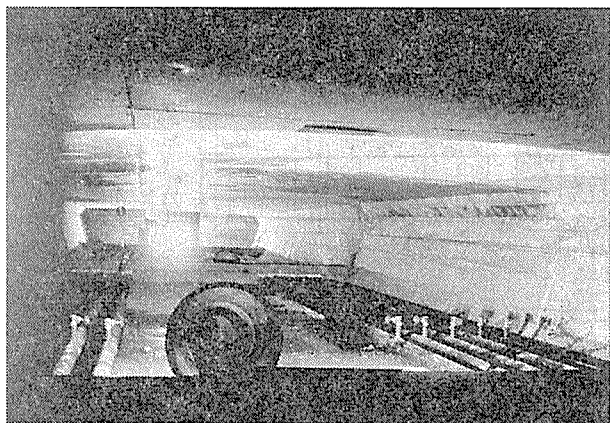
アウトケーブルは橋脚上のブロックと桁端とに定着されている。

同様の混合ケーブル方式を用いた橋梁に、A.86 Gaz de France 橋（図—5）がある。本橋の連続ケーブル用アウトケーブルは、スパン中央部の二つの横桁間で重複して定着され、配置作業と緊張作業が非常に簡単にできる形状となっている。

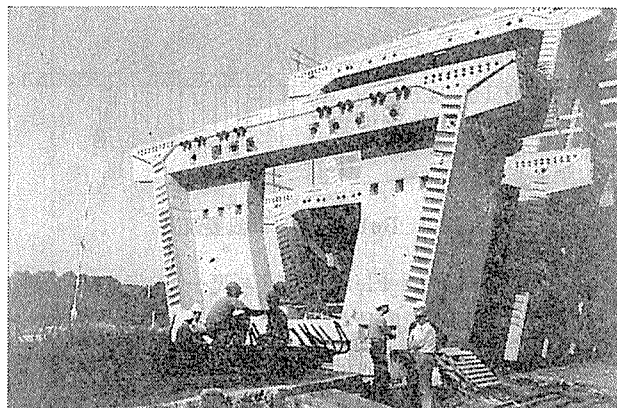
（2）Flèche 橋（写真—3）ほか

本橋は、河の両岸に沿って張出しブロックを施工し、張出し必要長まで達したとき橋脚上で桁を回転させ中央で接合する架設方法が採用されている。

そして、架設ケーブルに各ブロック先端で定着する分散式インナーケーブルを用い、連続ケーブルに集中式アウトケーブルを用いた混合ケーブル方式を採用している。



写真—3 Flèche 橋の桁内横梁状況



写真—4 Cergy-Pontise 新橋のプレキャストブロック製作状況

この 300 t/本の大容量アウトケーブルは、両側の橋台から両引きで緊張されている。写真—3 は、桁内横梁によるケーブルの変向を示す。

同様なケーブル方式を用いているものに、Cergy-Pontise 新橋（写真—4）、Arrêt Darréがある。

（3）Sermentaz 橋（図—6、写真—5）

本橋は、架設ケーブルとしてウェブと上床版の間のハンチに定着されている分散式アウトケーブル方式を、また、連続ケーブルとしてウェブと下床版の間のハンチに定着されている分散式アウトケーブルを採用している。

この橋は、ウェブと上・下床版の一部をプレキャスト化し、架設後下床版と上床版の残り部分にコンクリートを打設している。この方法によると架設時ブロック重量が軽くなり定着作業が比較的容易になる。

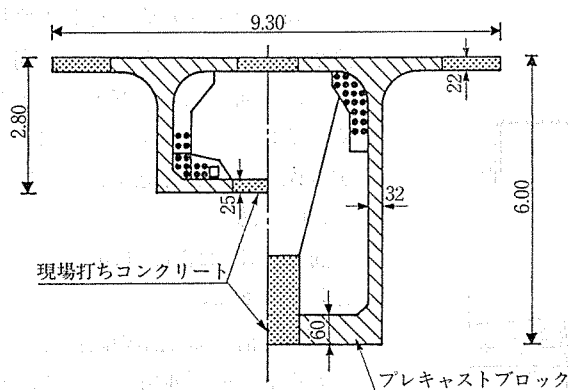


図-6 Sermenaz 橋 ケーブル配置図

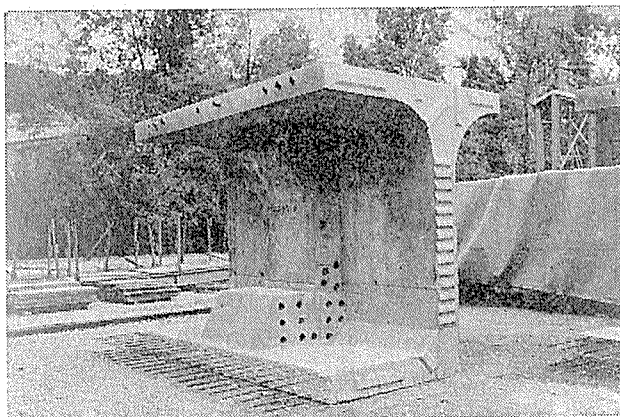


写真-5 Sermenaz 橋 ブロック状況

2.3 押出し工法への適用

押出し施工中に桁の上下縁に発生する交番応力に対して配置される架設用ケーブルとして、

- ① インナーケーブル
- ② 応力バランス上追加される、集中式または分散式アウトケーブル

が考えられる。

押出し完了後、最終的に配置する連続ケーブルとし

て、

① 集中式アウトケーブル

を用いる。さらに、上下床版に配置したインナーケーブルのうち、不要なケーブルを抜き取ることもある。

(1) Mosja 橋ほか

押出し施工中の架設ケーブルとして上・下床版内に配置するインナーケーブルを用い、架設後の連続ケーブルとして支点上で定着する集中式アウトケーブルを用いる方法が、施工も簡単で良く採用されている。

この方法で施工された橋に、ノルウェーの Mosja 橋、Roquebillière 橋、Poncin 橋（押出し部）等がある。

(2) Val de Durance 橋（図-7）

本橋は、押出し施工中の架設ケーブル、架設後の連続ケーブルともに集中式全アウトケーブル方式を用いている。この集中式アウトケーブルの思想は、押出し施工中に図中（a）の配置として全断面に圧縮力を与え、架設後に（a）の一部を除去し（b）の配置へ変更する考え方を採用している。

このケーブル方式を用いて押出し工法により施工さ

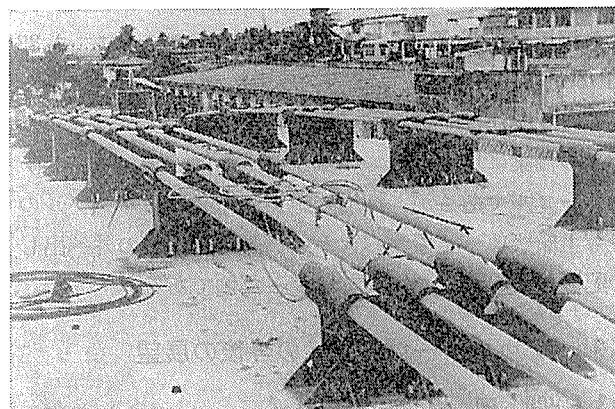


写真-6 Sathorn 橋 外部ケーブル状況

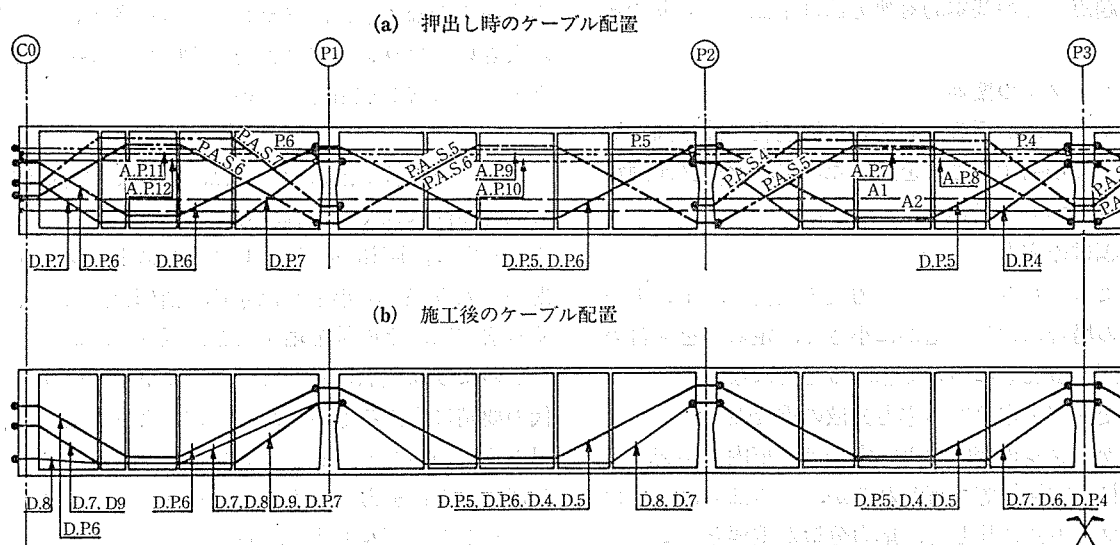
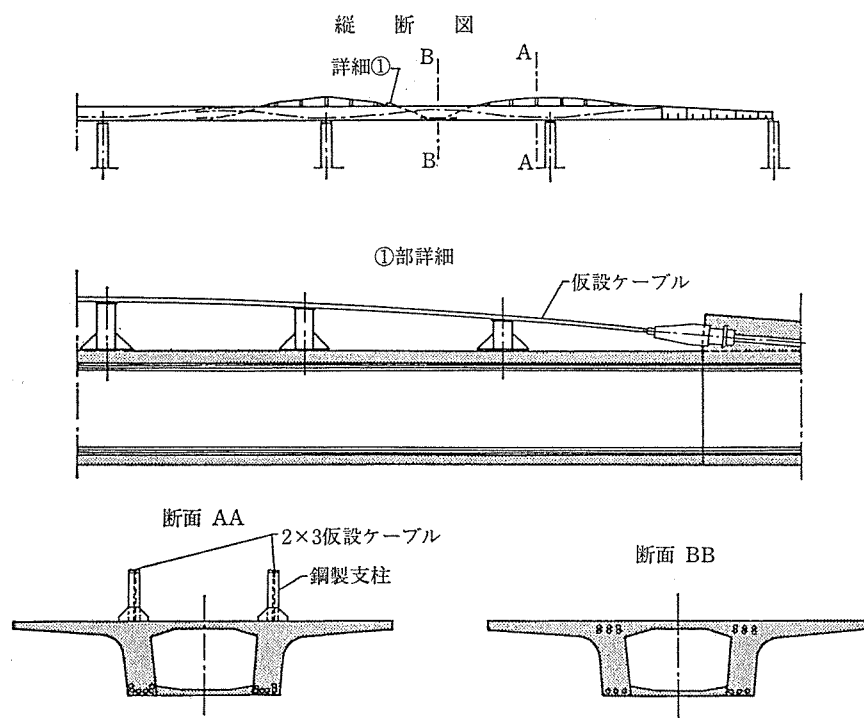


図-7 Val de Durance 橋 ケーブル配置図



図—8 Sathorn 橋概要図

れた橋梁に、この Val de Durance 橋のほかに、A.33 Littoral à Marseille 橋がある。

(3) Sathorn 橋 (図—8, 写真—6)

この橋梁に用いられているケーブルは、すべてインナーケーブルであるが、押し出し施工中に必要なケーブルのうち上床版部へ配置すべきケーブルを上床版の外へ出して配置し、偏心量の増大をはかった例である。

3. アウトケーブル方式の今後の展望

3.1 問題点

アウトケーブル方式橋梁を発展させていくうえで克服すべき問題点とその基本的対処方法は下記のとおりである。

(1) ケーブルの振動

アウトケーブルが活荷重載荷時に構造物の曲げ固有周期と同調して振動することを防ぐために、ケーブル固定点間隔を 7~8m 未満にすればよい。

(2) 鋼材の応力

荷重によるアウトケーブル応力度の変化は、インナーケーブルの場合に比して遥かに小さく、定着部をも含めた疲労に関する現象について恐れる必要はない。

(3) 変曲部・定着部の応力分散の重要性

アウトケーブルの変向および定着は、桁内の突起、桁の両端、柱頭部横桁等で行われるが、この部分は、インナーケーブル方式に比して、応力分散が重要となる。

(4) 摩擦係数

アウトケーブル直線部分の摩擦係数は零であり、ケーブル変向点における曲線部の摩擦係数として、インナーケーブル方式に相当する程度の値を考慮すればよい。

(5) 防 錆

前記 1.2 および 1.3 に記したとおりである。

(6) 構造系全体の耐荷力

アウトケーブル方式での破壊時終局限界状態における耐荷力機構は、インナーケーブル方式に比してかなり劣るのではないかとされている。しかし、破壊曲げモーメント作用時において、なるほど変形は大きくなるが、耐荷力についてはほとんど劣らない実験結果が得られていることは図—9 に示すとおりである。

3.2 今後の展望

アウトケーブル方式が持つ利点

- ① ウェブ内ケーブル配置を避けることによるウェブ厚減少に起因する桁重量の軽減
- ② ウェブコンクリート打設条件の改良とグラウトの合理化
- ③ ケーブル配置等の改良に伴う施工性の向上
- ④ 困難な作業を必要としない、ケーブルの取換え
- ⑤ 再緊張を前提とする設計の適用

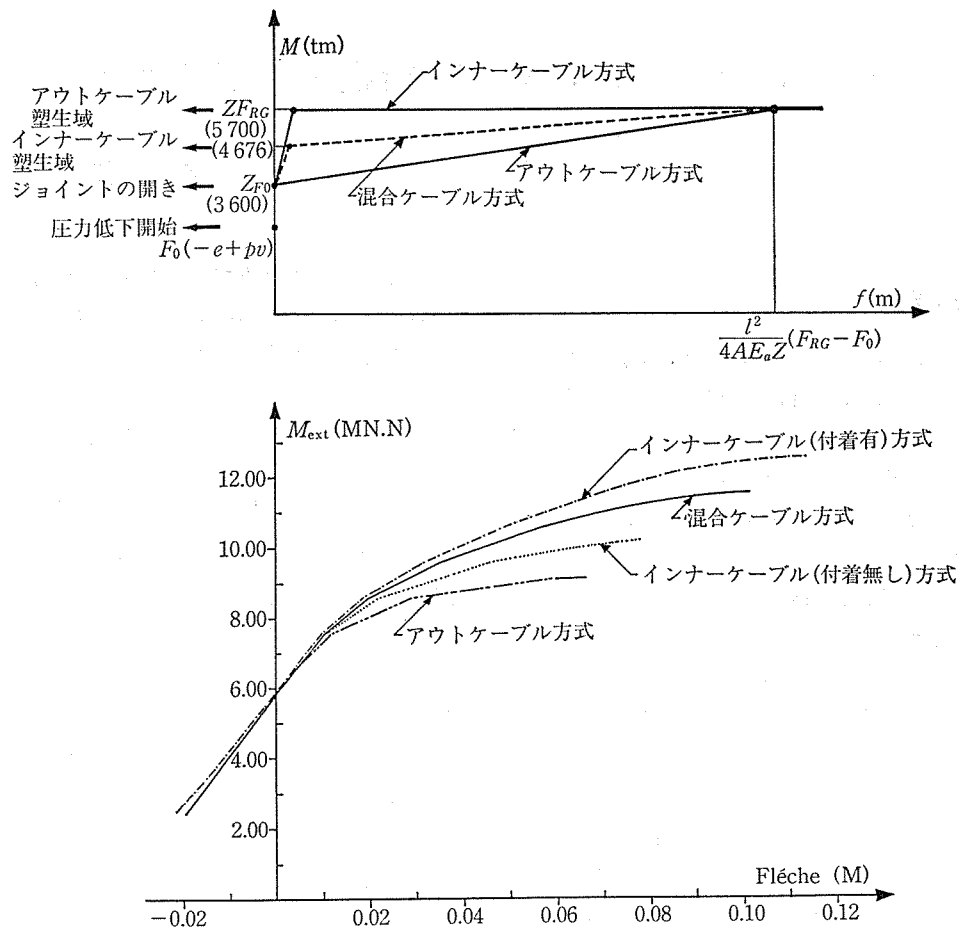
等を上手に利用した欧米では、数多の PC 橋施工実績を積んできている。

特に、アウトケーブル方式 PC 橋の発展は、実施例からも明らかなように、フランスの技術者達によるところが大きい。フランスでは大規模 PC 橋の 80% はアウトケーブル方式が採用されている。

これまでの我が国においては、とかく維持補修を考えた設計の面は軽く見られがちであったように感じられる。しかし、昭和 27 年プレストレストコンクリート技術の導入以来 35 年を経た今日、補修を余儀なくされてくる構造物がその数を増すことは疑う余地がない。

このような観点に立つとき、アウトケーブル方式は時代の要請に応えるものであると言えよう。また今日、適用の途についたパーシャルプレストレスとの併用を考えれば、さらに魅力あるものとなろう。

アウトケーブル方式が、我が国においても、これまでのインナーケーブル偏重からの脱皮を促し、プレストレ



図—9 アウトケーブルの耐力対比図

ストコンクリート構造物の一層の発展に寄与するものと 信じてやまない。 く御礼申し上げます。

あとがき

アウトケーブル方式 PC 橋梁技術の概要と施工例について紹介した。本稿をまとめるにあたって参考とし引用した諸資料および各種写真の提供を快く承諾頂いた、SEEE 協会事務局と当協会技術部会構成員の方々に厚

参考文献

- 1) M. Virlogeux, SEEE 協会編「アウトケーブル方式のプレストレストコンクリート橋」1988.3
- 2) M. Virlogeux, SEEE 協会編「アウトケーブル方式を用いた PC 橋」1988.2
- 3) ANNALES de ITBTP, "La Précontrainte Extérieure" Décembre 1983

【1988 年 9 月 22 日受付】