

コンクリートアーチ橋の施工

和田 信秀*1・岡本 裕昭*2

1. 概 要

アーチ構造は、完成時の荷重の大きさ・分布に対して、アーチ軸線形状を選ぶことによって、断面に圧縮力のみを発生させることができるため、古くからレンガ構造、石造り構造に適用されてきたことから理解できるように、コンクリート構造に対して有利で、安定した橋梁形式である。

また、アーチ橋は橋脚を設置するのが困難な山岳地帯や河川を渡る架橋条件に最適な構造形式の一つであるので、プレストレストコンクリート技術が導入される以前のわが国では、コンクリートアーチ橋は鉄筋コンクリート構造としては比較的長大支間（～80m程度）の橋に適用されていた。

この初期（1910年代～1970年代）のコンクリートアーチ橋の施工は、支保工施工それも架橋条件からセントル工法が多用されており、鉄筋、型枠、コンクリート打設など斜め部材を製作することに施工上の工夫が必要であった。海外ではフランスのフレシネーが1930年にアーチ支間180mのPlougastel橋を、セントル工法により完成させている。

その後プレストレストコンクリート技術の発展とともに

に、1974年の外津橋（アーチ支間170m）を皮切りに、コンクリートアーチ橋にも張出し架設工法が適用されるようになり、アーチ支間の長大化が図られてきた。現在完成している橋で、わが国で最大支間長の別府明礬橋（アーチ支間235m）、世界で最大支間長のユーゴスラビアのチトー橋（アーチ支間390m）が張出し架設工法で施工されている。

一方、張出し架設工法では、完成時とはまったく異なる構造系で施工されることが多いため、アーチリブの断面および補強量は架設時の応力によって決定されることもあるので、斜め部材を製作することだけでなく、アーチ橋特有の非対称な構造系での施工にいかんにかんじて経済性をもたせるかの技術的な工夫が必要となってきた。

現在では、支間および地形等に応じて、また前述の施工上あるいは技術的な要求に対して合理的に対処するため、多岐にわたる工法が採用されている。表-1にコンクリートアーチ橋の架設工法の分類と適用スパンを示す。

2. 支 保 工

(1) 接地式支保工（写真-1）

接地式支保工は、比較的平坦な地形における中・小スパン

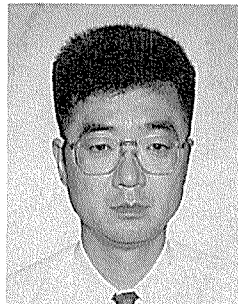
表-1 架設工法の分類と適用スパン

	コンクリートアーチ橋架設工法	支 間 (m)				代表的橋梁
		0	100	200	300	
支保工	接地式支保工	■				水晶山橋
	セントル工法		■	■		南風原高架橋
張出し工法	ピロン工法			■		富士川橋, 茶間川橋
	トラス工法			■	■	池田湖橋
	ピロン・メラン工法			■	■	宇佐川橋
	トラス・メラン工法			■	■	別府明礬橋
その他	ロアリング工法	■	■			内の倉橋
	メラン工法	■	■			
	合成アーチ工法	■	■			夢の架け橋
	プレキャストセグメント工法	■	■			阿嘉大橋, Natchez Trace Parkway橋



*1 Nobuhide WADA

鹿島建設(株) 土木設計本部
第二設計部 部長



*2 Hiroaki OKAMOTO

鹿島建設(株) 土木設計本部
第二設計部 設計主査

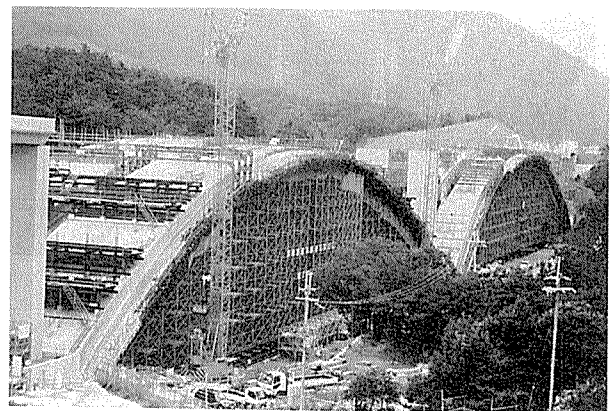


写真-1 接地式支保工(水晶山橋)

ンのコンクリートアーチ橋に適用されており、全面支保工上（支柱と梁を組み合わせた支保工も含む）でアーチリブのコンクリートを場所打ちする工法である。支保工が柱梁式支保工の場合には、コンクリートの打設順序に伴う支保工の変形により、コンクリートにひび割れ発生の可能性があるので、支保工計画・打設計画時点で、ひび割れ防止に配慮したコンクリート打設計画を立てる必要があるとともに、支保工にはコンクリート打設中に水平力が作用するので、その水平力対策を行うことが施工計画の重要な注意点である。

(2) セントル工法 (写真-2)

セントル工法は、接地式支保工を適用することが困難な山岳地帯、河川における中・小スパンのコンクリートアーチ橋に採用されている方法で、アーチリブ直下にセントル材（アーチ形状を有する鋼製支保工材）を架設して、その上でアーチリブのコンクリートを場所打ちする工法である。

後から打設するコンクリートによるセントル材の変形により、先行して打設が行われた箇所にひび割れが発生する危険性があるので、中央部からコンクリート打設を行うなどして、ひび割れ防止に配慮した打設計画を立てる必要がある。

1952年にベネズエラで施工されたCaracas橋（アーチ支間150m）では、特色あるセントル工法により施工が行われている（図-1）。本橋の架設上の特徴を以下に記す。

- ① アーチリブ1/4スパン部分の鋼トラス梁をエンドポストから張られた斜吊り材で支持し、アーチリブ1/4スパン部のコンクリート打設を行う。
- ② アーチリブ直下の谷底で組み立てられたタイドアーチ構造のセントル材を、ウインチにより所定の高さまで吊り上げ、1/4スパン部までの鋼トラス梁と緊結し、残りのアーチリブのコンクリートが打設された。この結果、本来ならば大がかりなセントル材を必要とするところを図-1程度のセントル材ですませることができた。
- ③ その後、鉛直材・補剛桁部の架設が行われるわけであるが、これらの部材は非常に細かく分割されたプレキャスト部材として製作（図-2）されており、この点も本橋の大きな特徴と言える。

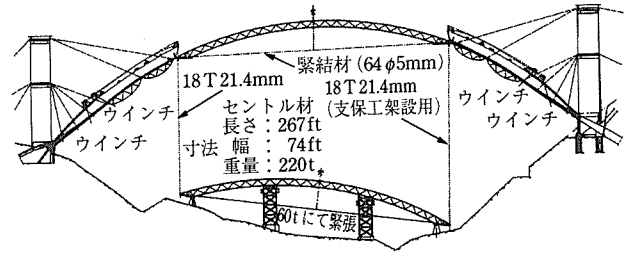


図-1 Caracas橋 アーチリブ中央部用のセントル材

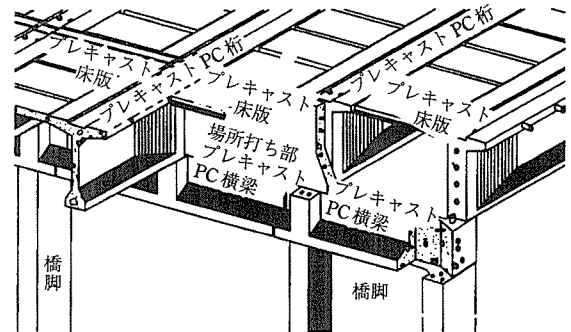


図-2 Caracas橋 セグメント分割図

3. 張出し架設工法

(1) ピロン工法

ピロン工法は橋脚、アーチアバット上の鉛直材、あるいはこの上に設置したピロン柱から斜吊り材を張り、アーチリブコンクリートを支えながら張出し架設する工法である。アーチリブのコンクリート打設は移動作業車内で3m～5mずつのブロックで行われ、打設の完了したブロック先端まで移動作業車を移動させ次のブロックを施工するという繰返して順次張り出していく（写真-3、図-3）。

単径間からなるアーチ橋の施工をピロン工法で行う場合には、アーチアバットから片側へ張り出すので、斜吊り材のアンカーをアーチアバットに設けたり、架設のグラウンドアンカーを設けるなどして、アーチリブの転倒を防止する工夫が必要となる。

一方、多径間のアーチ橋の場合では、中間橋脚から出ているアーチリブについては、橋脚上にピロンを立てて両側にアーチリブを対称に張り出すことが可能となる。本号での



写真-2 セントル工法 (南風原高架橋)

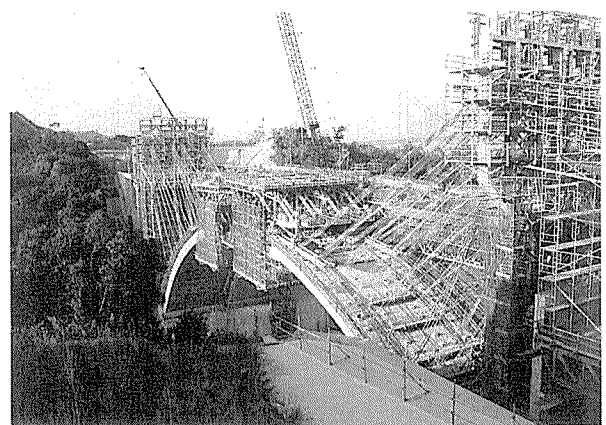


写真-3 ピロン工法 (茶間川橋)

「個性競う海外のアーチ橋」で詳細に紹介されているインドの Godavari橋（アーチ支間 94m）は、その一例である（図-4）。

(2) トラス工法

トラス工法は、アーチリブ・鉛直材・補剛桁・斜吊り材により、トラスを形成しながら張出し架設する工法である。鉛直材・補剛桁・斜吊り材を仮設材として用いてアーチリブを張り出す方法と、鉛直材・斜吊り材を仮設材として用いてアーチリブと補剛桁を張り出していく方法とに、本工法は大別される（図-5）。トラスを形成するので架設時の剛性はピロン工法より大きくなるため、架設中のたわみ量が小さくなりピロン工法に比せたわみ管理が容易となる。

トラス工法においても、ピロン工法同様に単径間もしくは多径間の場合で、片側張出し・両側張出しが選択されている。池田湖橋（写真-4、図-6）では、わが国で初めて両側張出し架設が採用されている。

(3) メラン併用工法（写真-5、6）

メラン併用工法はピロンあるいはトラス工法にメラン工

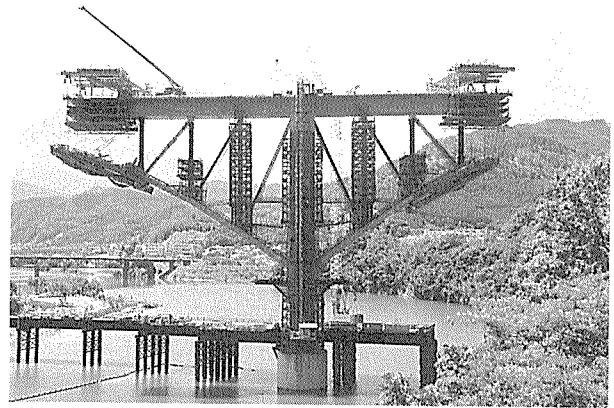
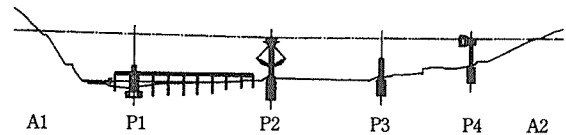
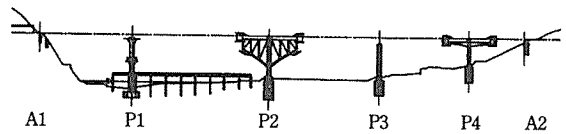


写真-4 トラス工法（池田湖橋）

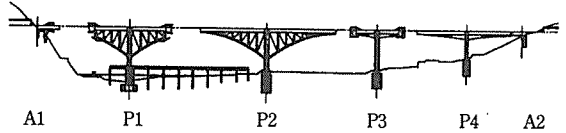
① 基礎・橋脚の施工，柱頭部支保工施工



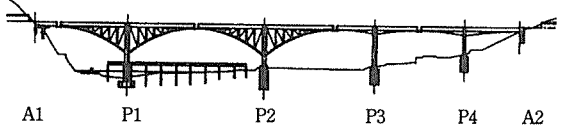
② 柱頭部支保工施工，アーチ部・桁橋部張出し施工



③ アーチ部・桁橋部張出し施工，側径間張出し施工，側径間吊り支保工施工



④ 中央径間吊り支保工施工



⑤ 橋面工の施工，斜吊り材の撤去

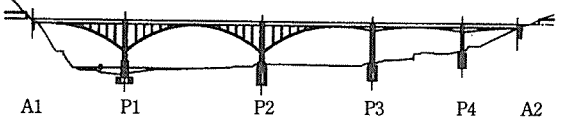


図-6 池田湖橋施工手順図

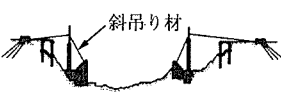
① 橋脚・ピロンの構築



④ 中央閉合



② スプリング部の施工



⑤ アーチリブの完成



③ 移動作業車による張出し施工



⑥ 完成



図-3 ピロン工法（茶間川橋）施工手順図

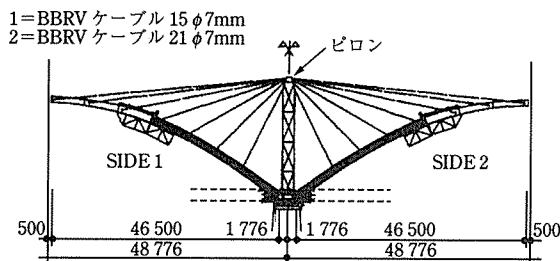
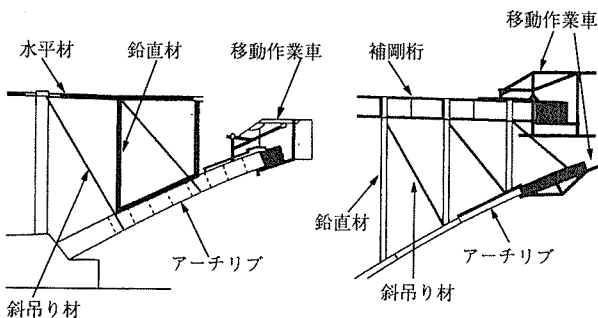


図-4 Godavari橋での張出し施工



(a) アーチリブを張り出す例 (b) アーチリブ・補剛桁を張り出す例

図-5 トラス工法



写真-5 ピロン・メラン工法（宇佐川橋）

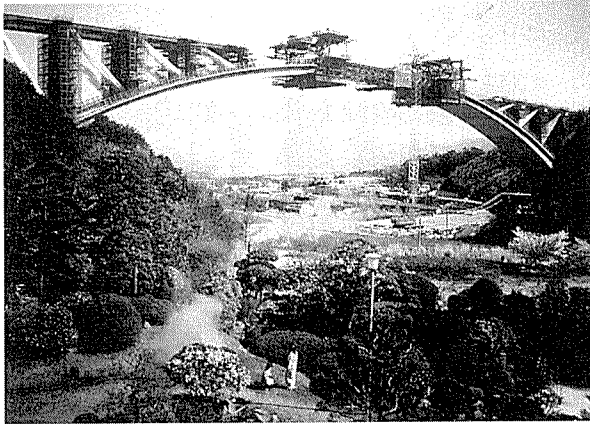
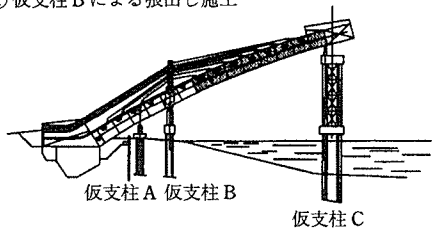
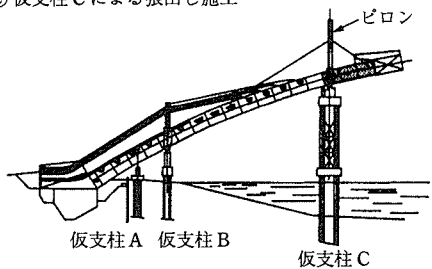


写真-6 トラス・メラン工法(別府明礬橋)

① 仮支柱Bによる張出し施工



② 仮支柱Cによる張出し施工



③ 張出し施工完了

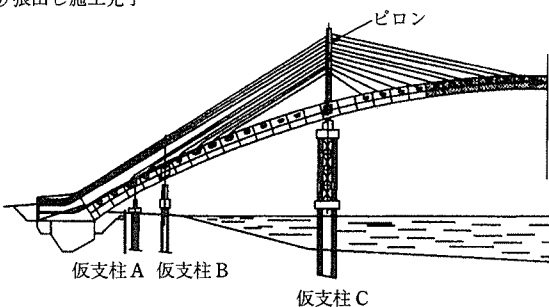
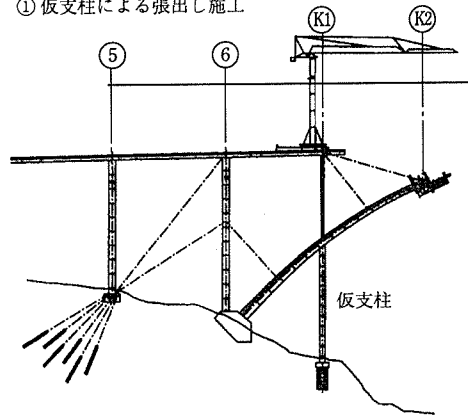
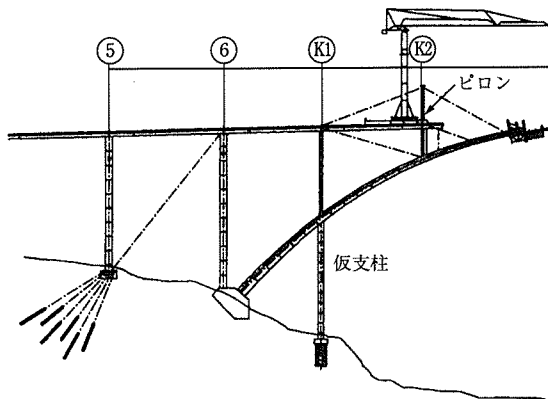


図-7 La Roche Bernard橋施工手順図

① 仮支柱による張出し施工



② 仮支柱・ピロンによる張出し施工



③ 張出し施工完了

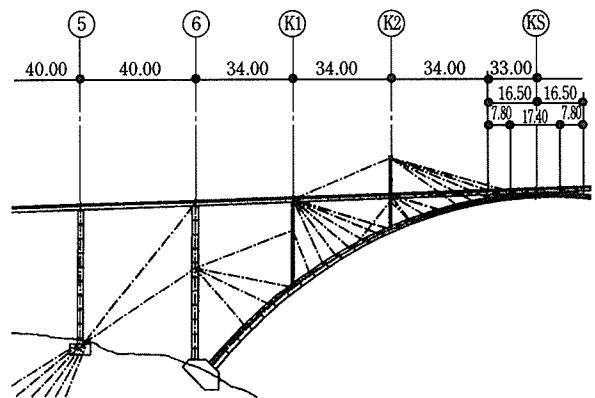


図-8 Kyll Tall橋施工手順図

法を併用した工法であり、アーチリブ全区間を張出し架設するのではなく、アーチリブを両側から張出し架設施工後に、中央部を鉄骨構造(メラン材)のアーチ部材で仮閉合し、その後、このメラン材をコンクリートで巻き立ていく工法である。

メラン併用工法は、アーチスパンが大きくなるに従い斜吊り材角度が小さくなり、斜吊り材の効果が減少することに対処するために、また、アーチ形成時でのアーチクラウン部の重量を軽減することで、アーチリブに作用する転倒モーメントを小さくするために考えられた工法である。メラン併用工法に用いるメラン材は、コンクリート巻立て時の施工性に配慮した構造とすることが重要である。

(4) 仮支柱併用工法

1996年6月に完成したフランスのLa Roche Bernard橋(アーチ支間201m)では、ピロン工法に仮支柱を組み合わせた工法(図-7)を採用している。本工法では、アーチリブ1/4点に仮支柱を立て、さらに仮支柱位置のアーチリブ上にピロンを設置し、ピロンからアーチリブ吊り点位置までの距離を短くしている。このようにすることにより、仮支柱位置を中心にその前後のアーチリブ重量をほぼバランスさせるとともに、斜吊り材の角度を大きくし、斜吊り材の効果を改善している。

現在施工中であるドイツのKyll Tall橋(アーチ支間203m)では、ピロン工法・トラス工法および仮支柱を組み合わ

せ、それらの利点を生かすべく工夫された工法(図-8)を採用している。架設中のアーチリブ自重の一部を、仮支柱により受けることにより、アーチリブに作用する転倒モーメントを低減し、グラウンドアンカーへの作用力を低減している。

4. その他の架設工法

(1) ロアリング工法(写真-7)

ロアリング工法は、両アーチアバット上でアーチリブコンクリートを鉛直に施工し、このアーチリブの先端部に取り付けられた仮設ケーブルを用いて、アーチリブを所定位置まで回転させた後、クラウン部・スプリング部のコンクリートを打設してアーチリブを完成させる工法である。通常のアーチ橋架設工法では、斜め部材の施工を行うため斜面上での作業が発生し、この点が施工技術上・安全管理上の大きな留意点となっている。本工法では、この斜め部材の施工を行わずにすむことが大きな特長と言える。

ロアリング時の施工性および完成時での位置的精度は、回転軸の据付け精度に左右されるので入念な据付けが必要であり、ロアリングケーブルはロアリング時での角度変化に対処できる構造とする必要がある。

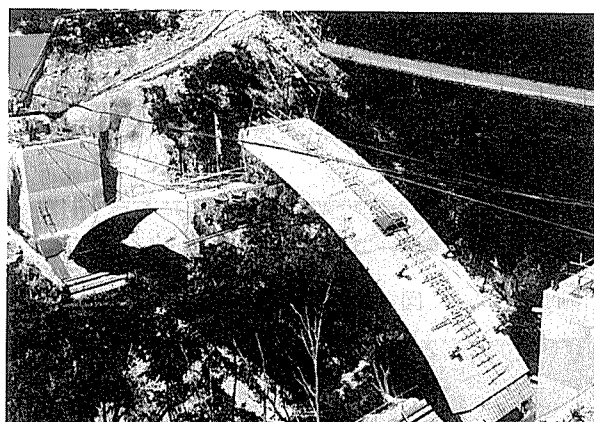


写真-7 ロアリング工法(内の倉橋)

(2) 鋼製アーチ先行工法

鋼製アーチ先行工法は、まず鉄骨あるいは鋼管でアーチを完成させ、その後、鋼製アーチをコンクリートで巻き立てて、コンクリート製アーチリブを完成させる工法である。鋼製アーチに鉄骨部材を使用するものをメラン工法、鋼管もしくは角鋼管と中詰めコンクリートとの合成部材を使用するものを合成アーチ工法という(写真-8)。

鋼製アーチ先行工法の特長は、鋼製アーチが先行して形成されるため、アーチリブのコンクリート打設時に構造的に安定していることが挙げられる。

1ブロックのコンクリート重量は支保工となる鋼製アーチの変形に寄与するので、鋼製アーチの剛性と施工ブロック長とは計画時点でその関係を考慮に入れて、検討・計画することが重要である。

(3) プレキャストセグメント工法

施工の合理化・急速施工の点で注目されているプレキャ

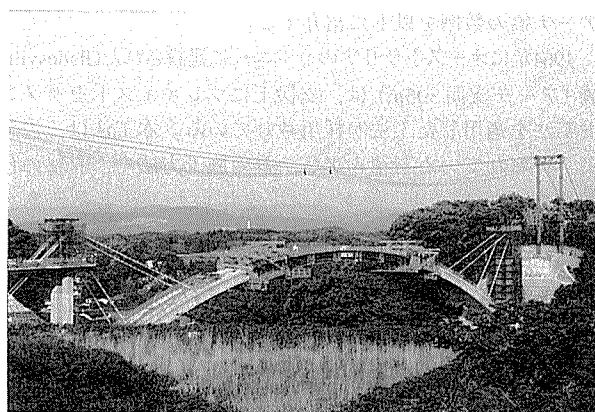


写真-8 合成アーチ工法(夢の架け橋)

ストセグメント工法を、アーチ橋に適用した架設工法であり、アーチリブ・鉛直材・補剛桁などの各部材をプレキャスト部材として製作後に組立て・架設する。本工法では、ヤードにてプレキャストセグメントを製作するので、ロアリング工法と同様、斜め部材の施工を行わずにすむ。

本工法は、わが国においては、1998年6月に完成した、阿嘉大橋(アーチ支間125m、写真-9)において初めて採用された工法であるが、欧州においては、プレキャストセグメント工法をアーチ橋の架設工法に採用することは1940年代から行われている。フランスのフレシネーは、1947年から1951年にかけてパリ近郊のMarne川流域に、プレキャストセグメント工法によるアーチ橋(アーチ支間74m)を建設している(写真-10)。プレキャストセグメント工法による

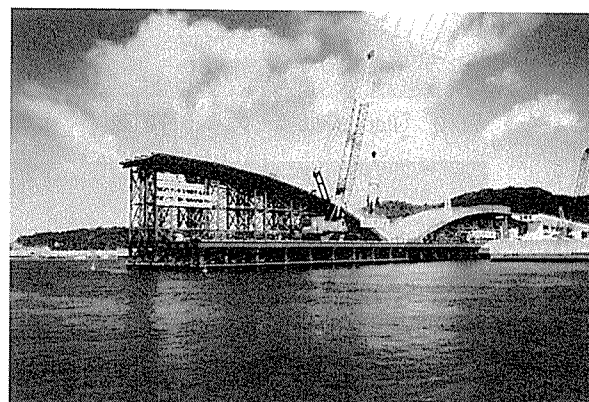


写真-9 プレキャストセグメント工法(阿嘉大橋)

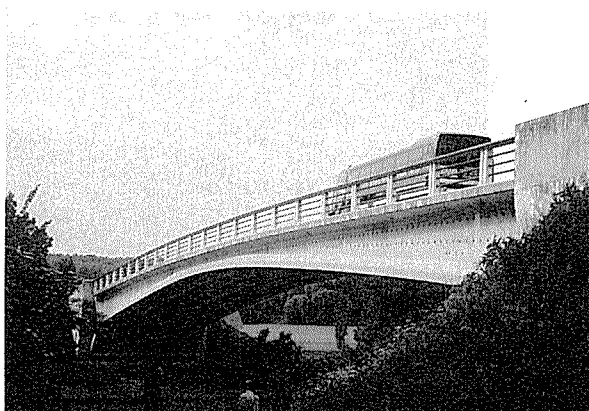


写真-10 Marne川流域の橋梁

アーチ橋の数例を以下で紹介する。

1964年にオーストラリアのシドニーに建設されたGladesville橋（アーチ支間305m）は、支保工にプレキャストセグメント工法を適用した工法が採用されている。本工法は、古来より行われている石積みアーチ橋の施工方法を、石材の代わりにプレキャストセグメントを用いた工法と言える。アーチリブ・鉛直材・補剛桁ともプレキャスト部材で構成され、そのプレキャスト部材は両方向（橋軸方向ならびに橋軸直角方向）に分割されたものとなっている（図-9）。わが国で初めてプレキャストセグメント工法が採用された阿嘉大橋も支保工により架設されている。

1995年に米国のテネシー州に建設された Natchez Trace Parkway 橋（アーチ支間177m、写真-11）では、従来のピロン工法にプレキャストセグメント工法を適用した工法が採用されている。本橋は1室箱桁断面でマッチキャストされたプレキャストセグメントにより、アーチリブが構成されている。

1974年にオーストラリアのブリスベンに建設されたRip橋（アーチ支間183m）では、従来のトラス工法にプレキャスト

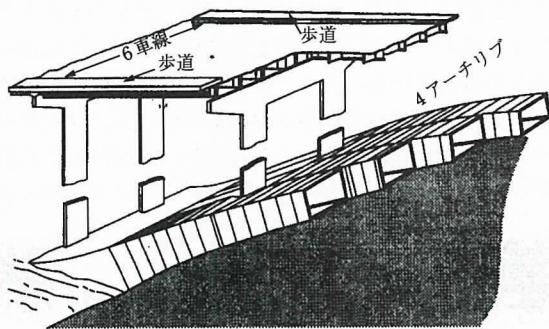


図-9 Gladesville橋セグメント分割図

トセグメント工法を適用した工法が採用されている。本橋はすべての部材がプレキャスト部材で構成されている。架設中に、各部材間に仮設のヒンジならびにアーチリブ間にはフラットジャッキを設けておき、すべての部材の架設終了後、アーチリブ間に設置したフラットジャッキを操作することにより、橋体全体の線形を修正している（図-10）。

5. あとがき

以上、コンクリートアーチ橋の架設工法を中心に述べてきた。上述のように、コンクリートアーチ橋の架設工法は

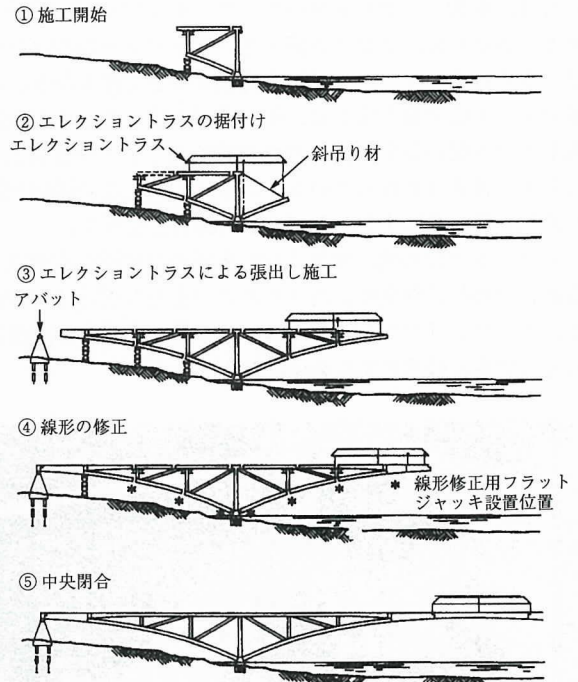


図-10 Rip橋施工手順図



写真-11 Natchez Trace Parkway橋

非常に多岐にわたっている。しかしながら、個々の施工法を子細に見ると、これまで各種橋梁で実施された基本的な施工技術を組み合わせ、さらに発展・応用したものである。今後も、コンクリートアーチ橋のさらに合理的な架設工法が開発されることを期待する。

参 考 文 献

1) 和田ほか：コンクリートアーチ橋の施工，橋梁と基礎，pp.138

～143，1991.8

- 2) W.ボルドニーほか(九州橋梁・構造工学研究会 訳)：ブロック工法によるPC橋の設計と施工，(九州大学出版会，1992.5)
- 3) D.L.Beal：Design and Construction of the Rip Bridge，Civil Engineering Transactions，pp.12～21，1977
- 4) H.R.Mueller：The Third Godavari Railway Bridge，Indeia，FIP notes，pp.15～18，1994.2
- 5) German Group of Fip：Structural Concrete 1994-1998，National Report of 13th FIP Congress，pp.46～50，1998

【1998年10月26日受付】

◀刊行物案内▶

PC橋の耐久性向上のための 設計・施工マニュアル

(平成9年3月)

頒布価格：3 000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
PC技術規準研究委員会
耐久性向上分科会

◀刊行物案内▶

PPC構造設計規準(案)

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準(案)

プレストレストコンクリート橋の耐久性向上 のための設計・施工マニュアル(案)－抜粋－

(平成8年3月)

頒布価格：3点セット 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