

コンクリートアーチ系橋梁の架設について

Construction Method of Concrete Arch Bridges

得能 達雄*
Tatsuo TOKUNOU

小西 哲司**
Tetsushi KONISHI

1. まえがき

橋梁は、社会資本の重要な基礎である道路網の一部をなすものである。また、道路は国土の大動脈となる高速自動車道から生活道路としての市町村道にいたるまで、巨大なネットワークを形成することにより、その機能を発揮している。したがって、路線計画にあたっては、周辺道路との効果的な連結、土地利用との調和、河川の治水機能との整合性、さらには環境との景観的な調和など、橋梁をとりまく社会環境との秩序あるトータルバランスが確保されたうえで論議すべきである。

近年、道路計画は平野部から山岳部へ移行しつつある。これは、わが国の国土の多くが山岳地帯であることに加えて、ここ数年来、特に著しい都市近郊の地価高騰による用地買収費の増加が大きな原因として挙げられる。

道路計画の山岳部への移行は、トンネル、橋梁の建設を余儀なくされ、建設コスト高が懸念されるが、トンネル施工のNATM工法開発により、トンネルの建設費は橋梁工事費さえも下まわるようになってきており、橋梁においても、中小規模橋梁では標準設計によるプレキャスト桁化、長大支間橋梁では架設作業のサイクル化を図った押し出し工法、FCC(片持ち張り出し工法)、大型移動支保工工法などの採用により労務費の低減を図っている。

このような背景からも、路線計画が山岳部を通過することが多くなるのは当然のなりゆきといえる。アーチ橋は場所打片持架設工法(FCC)によって架設した桁橋や斜張橋と同様に、これらのニーズに応えることのできる構造型式であり、完成系の構造が合理的であること、景観が優れていること、維持管理が容易であることなどか

ら、次第に多く採用される傾向にある。特に、支間100m以上となるアーチ橋の架設工法には、従来のセントル工法からPC技術を応用した(斜吊り工法)片持架設工法などによる種々の架設工法が開発、施工されており、アーチ橋の計画への適用の幅が増加している。

本報告では、これらのアーチ橋の架設工法について概要を説明する。

2. 設計一般

一般に橋梁の設計にあたっては、架橋位置の自然環境、社会環境に調和し、合理的でしかも経済的であるとともに、所定の強度・耐久性・使用性などを有する構造を選定しなければならない。

アーチ橋は、アーチリブの沈下、変形が構造系に与える影響が大きいため、地形条件、地質条件を十分考慮して支承条件、構造形式を決定する必要がある。

アーチリブ軸線およびライズの決定については種々の方法があるが、支間、基礎条件、支持条件、架設工法な

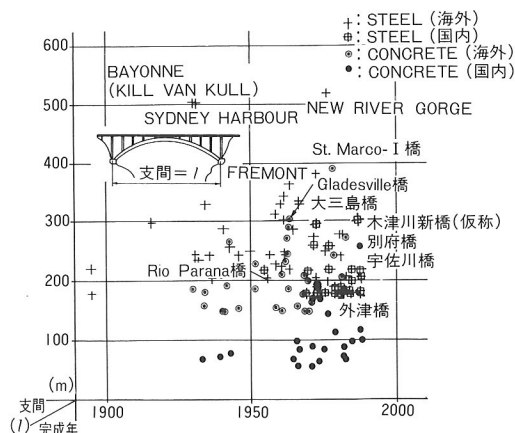


図-1 アーチ橋最大支間長の変遷

どを考慮して最適軸線を決定する。アーチ橋最大支間の変遷(図-1)およびアーチ支間とライズ(図-2)を示す。

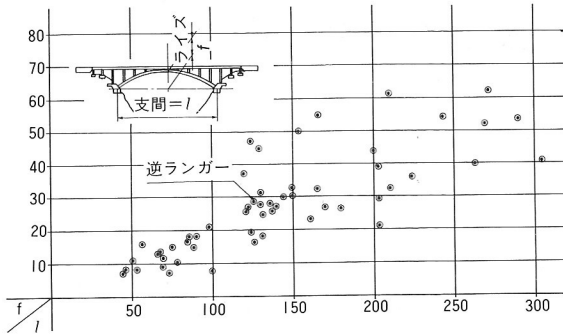


図-2 アーチ支間とライズ

(1) アーチ橋形式の分類

一般にアーチ橋を分類すれば、支持条件、路面の位置により図-3に示すように分類される。

アーチ橋本来の構造的特徴は、アーチ支承部における水平反力の存在であり、この水平力を自然地盤で支持する構造と、アーチ構造系に水平反力を受けるための部材(補剛桁、補剛トラス)を組み込んだ構造形式がある。力学的に分類すれば前者は外的静定系であり、後者は内的静定系である。

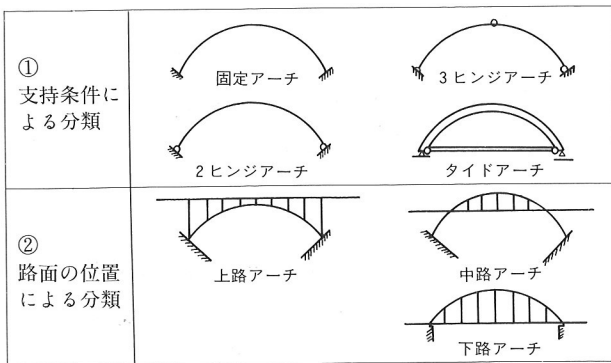


図-3 アーチ橋の分類

また、部材の構造特性により、上床版・補剛桁とアーチリブの曲げ剛性の大小($R=I/T$)により図-4のように分類される。

アーチ橋 $R=0.0$		補剛桁の曲げ剛性が無視できる場合
ローゼ橋 $R=0.5$ $R=1.0$		アーチリブ、補剛桁の曲げ剛性が無視できない場合
ランガー橋 $R=\infty$		アーチリブの曲げ剛性が無視できる場合

ニールセン橋、フィレンデールアーチ橋はローゼ桁橋と考えられる。

図-4 補剛桁とアーチリブ剛比による分類

(2) コンクリートアーチ橋部材の名称

アーチ橋の部材名称は、支間20~30mの小規模橋梁に採用される充側アーチと長大支間の開側アーチに大別され、それぞれ図-5に示すように名称が付けられている。

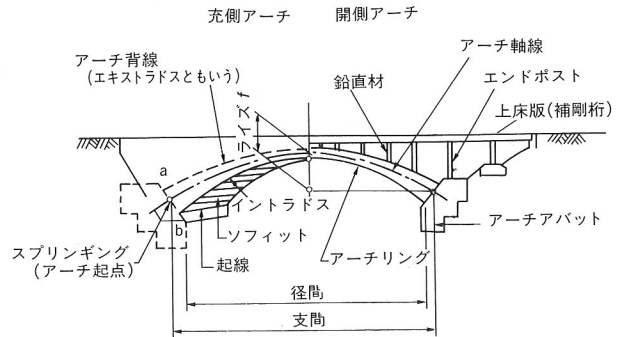


図-5 アーチ橋各部材の名称

(3) 架設時の応力検討と設計上の配慮

ステー징工法以外の架設工法を採用する場合のアーチ橋の設計は、架設時応力により断面が決定されることが多いことを配慮して実施する必要がある。

架設工法の選定は、アーチ橋の設計にあたり最初に決定すべき事項となり、工法に応じて各ステップごとの応力度の検討が必要である。架設時の検討事項を示すと次のようになる。

- ① セントルまたは支保工の検討
- ② 斜吊り材(架設用PC鋼材)の検討
- ③ 各ステップごとのコンクリート打設に対する各部材応力度の検討
- ④ 上床版(補剛桁)架設時の検討

3. コンクリートアーチ橋架設工法の変遷

コンクリートアーチ橋は、長大橋梁として設計上理想的な構造形式であるが、架設工法に関しては従来から固定支保工工法、アーチセントル工法で施工され、経済性の面でFCCによる桁橋などと比較して若干劣っていた。

長大支間を有するアーチ橋を対象とした新しい架設工法としては、1965年オーストリアのCruclaniが考案した斜吊りを併用した片持ち架設工法の出現により急速に発展し、支間390mのSt.Marco-I橋が架設されるに至った。

わが国において、本格的な長大支間のアーチ橋が施工されたのは1974年、PC鋼棒を併用したトラス工法による外津橋(佐賀県、支間170m)であった。その後1978年、ピロン・メラン併用工法による帝釈橋(支間145m)、1982年に同工法による宇佐川橋(同204m)が完成し、別府橋(同235m)はトラス・メラン併用工法により現在施工中である。

また、支間50~100mの中規模アーチ橋の架設工法とし

て、合成構造によるアーチ橋がわが国で開発され、現在、
 施工中である。長大アーチ橋の施工実績を、海外(表-1)、
 国内(表-2)について示す。

表-1 長大コンクリートアーチ橋施工実績(海外)

橋 名	所 在 地	完成年	アーチ 支 間	架 設 工 法
Riodas Antas橋	ブ ラ ジ ル	1952	186	セントル 中 路
Novi Sad橋	ユーゴスラヴィア	1961	211	セントル 下 路
Fiumarella橋	イ タ リ ヤ	1961	231	セントル 下 路
Fuhrpark橋	ド イ ツ	1963	187	支 保 工 下 路
Gladesville橋	オーストラリア	1964	304.8	セントル・下路 プレキャストブロック
Arrabida橋	ポ ル ト ガ ル	1964	270	セントル
Shibenik橋	ユーゴスラヴィア	1964	246	ピ ロ ン
Rio Parana橋	ブ ラ ジ ル	1965	290	セントル プレキャストブロック
Lingenou橋	オーストリア	1967	210	セントル 下 路
Festland橋	ユーゴスラヴィア	1967	193.2	ピ ロ ン
NoBlach橋	オーストリア	1968	180	セントル
Scammonden橋	イ ギ リ ス	1970	125	支 保 工
Stadens Gorge橋	南 ア フ リ カ	1971	200	ピ ロ ン
Rip橋(Brisbane橋)	オーストラリア	1974	183	ト ラ ス
Talbrücke Neckerburg橋	ド イ ツ	1978	154.4	ピロン 補剛桁押し出し工法
Krumbach橋	ス イ ス	1978	124	ピ ロ ン
St. Marco-I 橋	ユーゴスラヴィア	1979	390	ト ラ ス
St. Marco-II 橋	"	1979	244	ト ラ ス
Bloukrans橋	南 ア フ リ カ	1983	272	ピ ロ ン
Groot River橋	"	1983	189	ピ ロ ン
Bobbe Jaans橋	"	1983	164	ピ ロ ン
Argentobel橋	西 ド イ ツ	1983	150	ロアリング工法

表-2 長大コンクリートアーチ橋施工実績(国内)

橋 名	所在地	完成年	橋 長	アーチ 支 間	ライズ	架設工法
碓氷川橋梁	群馬県	昭和 40年	100.8m	70 m	9.0 m	ステーjing工
大呼戸沢橋梁	山梨県	41	101.4	58	20.0	アーチセントル
新山清路橋	長野県	41	100	100	7.08	片 持 梁 (ワーゲン)
想 影 橋	富山県	42	107	85	17.0	アーチセントル
芳 見 橋	富山県	45	116.5	90	18.0	"
御 伍 橋	東京都		80	57		"
君 津 新 橋	千葉県	45	68.1	66	13.8	梁式支保工
外 津 橋	佐賀県	49	252	170	26.5	ト ラ ス 工 法
大 沢 橋 梁	岩手県	50	158.5	86	18.0	梁式支保工 (ベコガータ)
八幡跨高連道橋	岡山県	52	78.7	58	9.7	スノーjing工
帝 釈 橋	広島県	53	283.9	145	30.0	ピロン・メラン
赤谷川橋梁	群馬県	54	365	116	29.2	ト ラ ス 工 法
岩 平 橋	新潟県	56	62.2	53.5	8.4	支柱式支保工
溪 谷 橋	秋田県	57	146	75	15.0	アーチセントル
宇 佐 川 橋	山口県	57	332.5	204.0	38.7	ピロン・メラン
一の宮自転車道橋	千葉県	57	66.5	65.4	10.0	梁式支保工
黒 谷 橋	石川県	57	104	68.7	13.8	ステーjing工
光明池大橋	大阪府	59	145	105	20	セ ン ト ル
大 滝 橋	神戸市	60	174	100	25	ステーjing工
丸 山 大 橋	新潟県	工事中	175	118	24.8	ピロン・メラン
別 府 橋	大分県	工事中	411.0	235	37.0	トラス・メラン
城 址 橋	新潟県	工事中	132	82	18.0	C L C A 工 法
旭 橋	福島県	工事中	87	58	14.0	"

(1) アーチ橋架設工法の分類

コンクリートアーチ橋の架設工法は、橋梁建設費の占める割合が25%~50%と高くなることから、近年、従来のセントル工法に加えて種々の工法が開発され施工されている。架設工法を大別すれば、従来工法、仮設斜材片持ち架設工法、新しい架設工法となり、さらに細分化すれば図-6に示すとおりとなる。

以下に、アーチ橋の各種架設方法について実例をまじえて説明を加える。

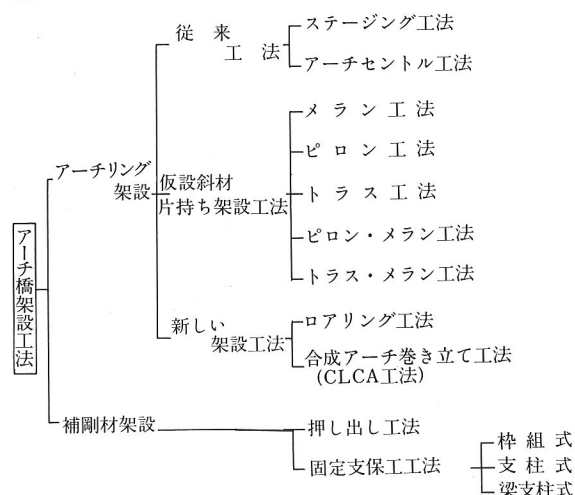


図-6 アーチ橋架設工法の分類

(2) ステーjing工法

本工法は、従来のコンクリート橋の支保工施工と同様に、梁支柱式支保工形式を主体とした支保工を使用し、架設完了後の支保工の組み立てを容易にするため、組み立て梁支保工、四角支柱などを組み合わせて施工する。図-7に大滝橋(支間100m)の施工例を示す。

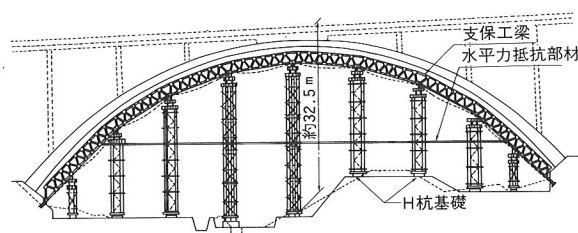


図-7 ステーjing工法(例:大滝橋)

(3) アーチセントル工法

本工法は、形鋼または単管などを使用したアーチセントルを使用してアーチリングを施工する方法で、アーチセントルの架設は鋼橋架設と同様、ケーブルエレクションまたはベント架設が採用されている。図-8に光明池大橋(コンクリート中路式バランストアーチ)の施工例を示す。

(4) メラン工法

本工法は、アーチ支間を4分割し、支点部分付近を固

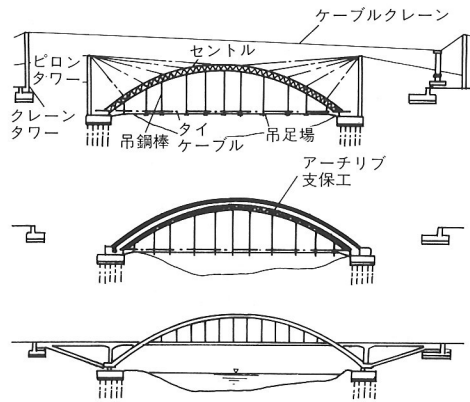


図-8 セントル工法(例: 光明池大橋)

定支保工または斜吊り材を使用した片持ち架設などで施工した後、残りのアーチリブ内にメラン(鋼製アーチ)を架設してアーチを形成し、このメラン材をコンクリートで巻いてアーチリングを完成させる工法である。本工法は、ピロン工法またはトラス工法などと併用して用いられることが多い。

(5) ピロン工法

本工法は、アーチアバット上にピロンと呼ばれる仮支柱を立て、これに定着された斜吊り材(PC鋼材)によりアーチリング自重を支えながら順次張り出し片持ち架設を行い、アーチリングを完成させる工法である。図-9にピロン工法の概念図を示す。

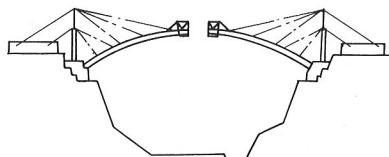


図-9 ピロン工法

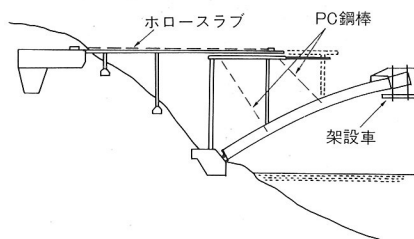


図-10 トラス工法(例: 外津橋)

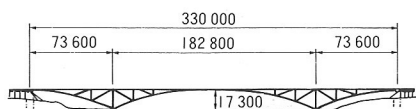


図-11 Brisbane橋の施工

(6) トラス工法

本工法は、わが国で開発された工法であり、アーチリブの施工と併用して補剛桁および鉛直材の施工を行い、

補剛桁からアーチリブへ斜吊り材を架設し、トラスを形成しながらアーチリブをブロックに分割し、片持ち架設する工法である。図-10に外津橋の施工例を示す。

また斜吊り材をコンクリートで巻き立てたトラスドアーチ橋(オーストラリアのBrisbane橋)の例を図-11に示す。

(7) ピロン・メラン併用工法

本工法は、アーチ支間中央付近をピロン工法で施工するとコスト高となるのを改良した工法で、アーチアバット上にピロンを立て、アーチ支間の1/4支点付近までをピロン工法で架設し、残り部分をメラン工法を併用して架設する工法である。図-12に宇佐川橋の施工例を示す。

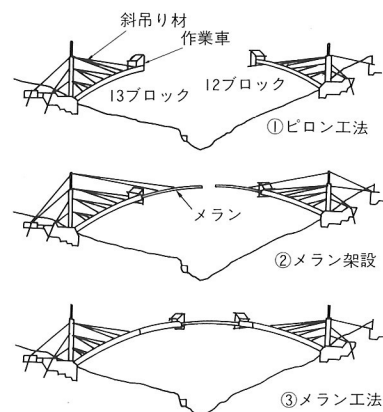


図-12 ピロン・メラン併用工法(例: 宇佐川橋)

(8) トラス・メラン併用工法

本工法は、アーチ支間を3分割し、支点部分をトラス工法でアーチリブを施工し、残り部分をメラン工法を併用する工法であり、ピロン・メラン工法と同様、コストの低減を図るための工法である。

図-13に別府橋の施工例を示す。同橋はわが国はもとより、東洋一の支間を有するアーチ橋となる。

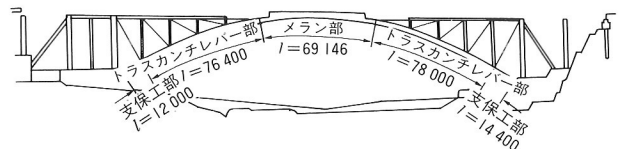


図-13 トラス・メラン併用工法(例: 別府橋)

(9) ロアリング工法

本工法は、西ドイツで開発された新しい架設工法で、アーチリングを二つの半アーチに分割し、アーチアバット上でクライミングフォームなどを用いて鉛直に施工し、完成後に吊り下げによって最終位置までロアリングしながら施工する工法である。図-14にArgentobel橋の施工例、図-15にロアリング工法のステップ図を示す。

(10) 合成アーチ巻き立て工法

本工法は、わが国で開発されたアーチ橋の架設工法で、

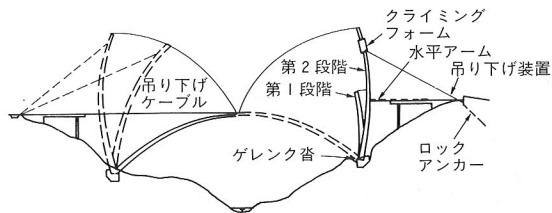


図-14 ロアリング工法(例: Argentobel橋)

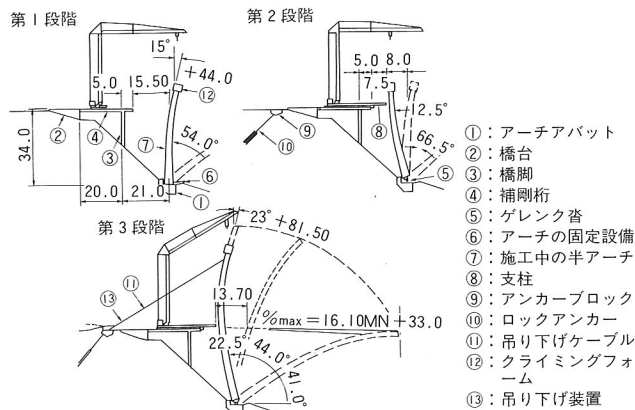


図-15 ロアリング工法ステップ図

CLCA工法(Concrete Lapping Method with Preerected Composite Arch)と呼ばれ、アーチリブ軸線にメラン工法と同様に薄肉鋼管を架設した後、鋼管内にコンクリートを充填し、合成構造(合成アーチ)とする。アーチリングの施工はスプリング付近を支保工で施工した後、合成アーチ材を支保工材として、移動作業車を用いて順次コンクリートを巻き立てている工法である。図-16に城址橋の施工例を示す。

(11) 補剛桁押し出し工法

本工法は、一般に固定支保工で施工する補剛桁を押し出し工法により施工する工法であり、アーチリングの施工はピロン工法、トラス工法などいずれの工法とも併用が可能である。図-17に施工例を示す。

4. 架設工法の選定

アーチ橋は、架設地点の地形が溪谷など施工条件の悪い個所に比較的多く架設されるため、架設工法の選定は架設鋼材量、荷役設備、架設機材の組み立て解体の難易度、桁下空間の利用の有無、仮設アンカーの設置条件、仮設材の汎用性、架設中の安全性などの施工条件に加え、設計の難易度、施工管理の経済性および適用支間とライズなど、総合的に判断して決定する必要がある、一般に経済性の面からは数種の工法を併用するのが良いといわれている。

5. あとがき

近年、コンクリート系長大スパンの橋梁では設計時に架設工法を十分に検討する必要がある、これを怠ると、

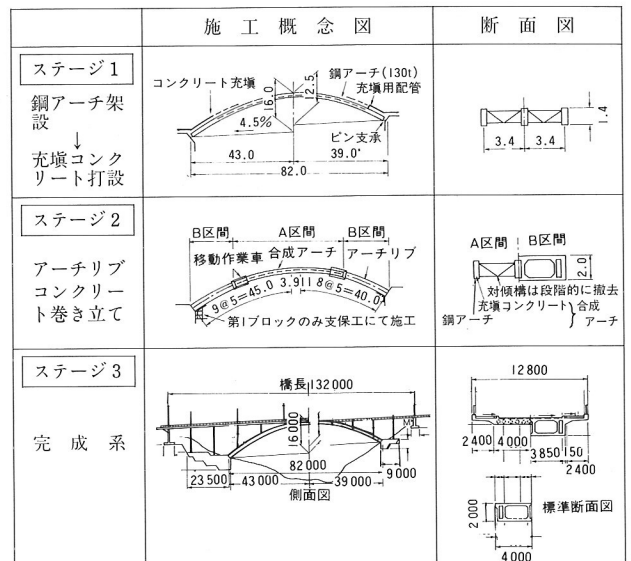


図-16 合成アーチ巻き立て工法(CLCA工法の概要)

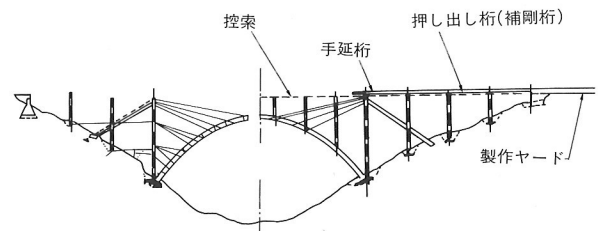


図-17 補剛桁押し出し工法

施工時において詳細設計のやり直しや断面、主要材料の過不足が生じることがある。本報告ではアーチ橋の架設工法について概要を述べてきたが、これらが今後の計画設計の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：コンクリート道路橋施工便覧，昭和59年2月。
- 2) 日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，昭和60年10月。
- 3) 伊藤野彦・栄 捷利・一瀬久光：大分自動車道別府橋の施工，橋梁と基礎，Vol.22，pp2～10，1988年6月。
- 4) 井上隆三郎・登石清隆・佐藤 靖：合成アーチ巻立て工法による城址橋の計画，橋梁と基礎，Vol.22，pp.27～34，1988年2月。
- 5) W.Hunlein and P.Ruse：Argentobel橋の新しいアーチ橋架設工法，橋梁と基礎，Vol.20，pp.17～26，1986年12月。
- 6) 西口幸男・橋場 盛・石川真一郎：光明池大橋(コンクリート中路上式バランスドアーチ橋)の設計・施工，プレストレスコンクリート，Vol.27，No.6，1985。