

## メラン工法を用いた長大RCアーチ橋最適架設工法の研究

三井住友建設株式会社土木事業本部PC設計部 正会員 ○ 中村 収志  
 同 上 正会員 春日 昭夫  
 同 上 正会員 田村多佳志

## 1. はじめに

鉄筋コンクリートアーチ橋（以下、RCアーチ橋）は、アーチリブを圧縮力に強いコンクリート構造とした橋梁形式で小規模な橋梁からアーチ支間長が400mを超える大規模な橋梁まで適用範囲が非常に広い。また、1スパンで長支間化が可能であることから、橋脚を設置することが困難な深い渓谷や急流河川を跨ぐ架橋位置に計画されることが多く、自然と調和した構造美を有する側面も持ち合わせている。

一方、RCアーチ橋は、完成系のアーチ構造が非常に安定した構造となるのに対し、架設系の構造が不安定となるため、施工時には多くの架設材を必要とする。そのため、立地条件、架設条件によって、様々な架設方法<sup>3)</sup>が用いられているのも大きな特徴である。筆者らは文献1)のようにメラン工法を用いた新しい合理的なRCアーチ橋の架設工法を提案し、アーチ支間長の違いによる比較検討を行っている。

本研究は、国内最大規模の200m級のRCアーチ橋を想定し、これまで経験則で決定していたメラン材の閉合比率（メラン長/アーチ支間長）について、構造的や経済性に着眼した合理的な決定手法を提案し、長大RCアーチ橋の最適架設工法について報告するものである。

## 2. RCアーチ橋の架設

## 2-1 架設工法の選定

長大RCアーチ橋は、架設工費が全体工事費に占める割合が他の橋梁形式に比べて極めて大きい。この理由は、アーチリブの施工が非合理的な架設構造となるため、完成時に不要な架設材を多く必要とするからである。また、深い渓谷や急流河川を跨ぐ架橋位置に計画されることが多く、施工条件が橋梁ごとに大きく異なることから、最適な架設工法を標準化することが難しいとされている。

しかしながら、RCアーチ橋は、景観性にも優れ、完成時に安定した構造となることから、合理的な架設工法の開発によって大幅なコストダウンと更なるアーチ支間長の長大化が可能な橋梁形式である。

したがって、最適架設工法の研究は、長大RCアーチ橋の発展において最も重要な課題と言える。

## 2-2 新メラン工法を用いた長大RCアーチ橋の架設

国内の長大RCアーチ橋の実績を表-1に示す。アーチ支間長200m規模の長大RCアーチ橋は、斜吊り材を併用しながら張出し架設を行うピロン工法やトラス工法によって施工され、仮支柱を設置している富士川橋とバランスドアーチの池田へそっ湖大橋を除きメラン工法が採用されている。メラン工法で用いるメラン材とは、架設時において早期にアーチ構造を成立させるために使用する鋼製の補強材と定義され、アーチ閉合後は架設中においても鋼とコンクリートの混合アーチ構造となる。

表-1 長大RCアーチ橋の実績（国内）

No.	橋名	所在地	アーチ支間長(m)	有効幅員(m)	架設工法	メラン長	メラン長	完成年	備考
						(m)	支間長		
1	富士川橋	静岡県	265.0	16.50	ピロン	未使用	—	2005	河川内にピロン設置
2	天翔大橋	宮崎県	260.0	7.75	トラス	78.5	0.30	2000	メラン張出し架設
3	別府明礬橋	大分県	235.0	18.00	トラス	69.1	0.29	1989	メラン一括架設
4	頭島大橋	岡山県	218.0	6.50	ピロン	130.4	0.60	2004	メラン一括架設
5	宇佐川橋	山口県	204.0	18.50	ピロン	98.8	0.48	1982	メラン張出し架設
6	池田へそっ湖大橋	徳島県	200.0	9.00	トラス	未使用	—	2000	バランスドアーチ
7	立山大橋	富山県	188.0	13.00	ピロン	97.5	0.52	1999	メラン直吊り一括架設
8	国見大橋	宮崎県	181.0	8.25	合成鋼管巻き立て	181.0	1.00	2003	全長にメラン材配置
9	青葉大橋	宮崎県	180.0	9.75	トラス	57.0	0.32	1997	メラン張出し架設
10	隴大橋	福岡県	172.0	11.00	ピロン	88.5	0.51	2002	アーチリブ分岐構造

RCアーチ橋のコストダウンを図るための方策として、  
①アーチリブ重量の軽減、②架設材の低減、③施工の合理化・省力化の推進などが挙げられる。

最近では、これらの課題への取り組みとして従来のメラン工法を改良した「新メラン工法」が開発、実用化<sup>2)</sup>されるとともに新メラン工法を応用したアーチ支間長300m規模まで対応可能な架設工法が提案<sup>1)</sup>されている。

本架設工法の特徴は、アーチ支間全区間に渡って同一の巻き立て施工が行えるよう全区間にメラン材を配置し、従来、カンチレバー工法による張出し施工区間をメラン材による吊り支保工架設として、施工の合理化、省力化が図られている。

新メラン工法を用いたアーチリブ断面概要図を図-1にアーチ支間長200m規模の施工要領図を図-2に示す。

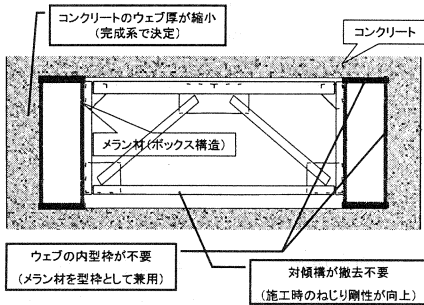


図-1 新メラン工法を用いたアーチリブ断面概要図

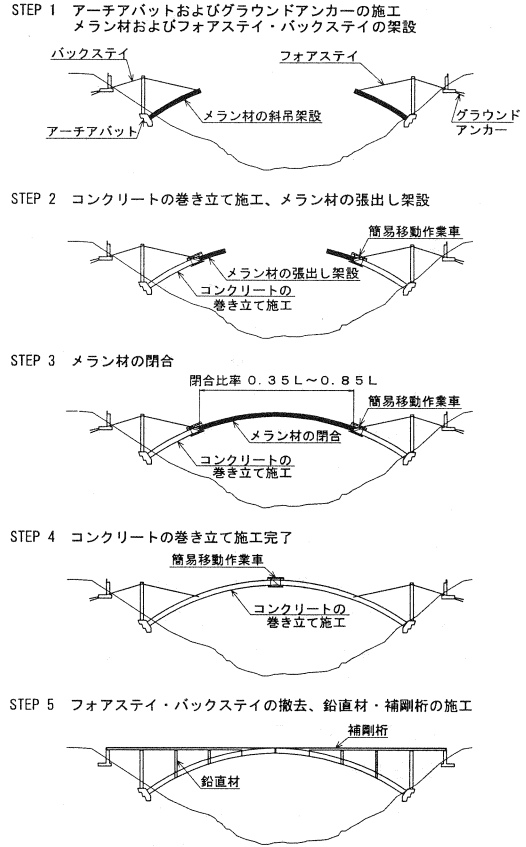


図-2 新メラン工法を用いた施工要領図

2-3 メラン工法を適用した場合の検討課題

メラン工法を用いた架設工法を適用した場合の技術的な検討課題は、メラン材の閉合比率の決定方法である。メラン材の閉合比率とは、図-3に示したようにメラン材によってアーチ閉合させた時点の鋼とコンクリートの配置比率 (メラン閉合長/アーチ支間長) である。支間長が100m程度の小規模アーチの場合は、メラン材を全区間に架設してからコンクリートの巻き立て施工を行うが、長大アーチではどの段階でメラン材によるアーチ閉合を行うか決定しなければならない。

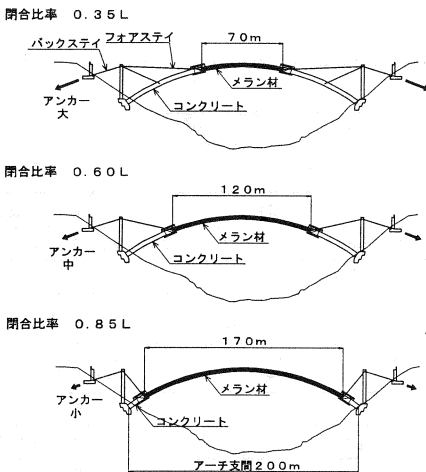


図-3 メラン材閉合比率例 (35, 60, 85%)

この課題は、ピロン工法やトラス工法といった従来のメラン併用工法における「斜吊り張出し区間とメラン材の配置比率をどのように決定するか」と同様の問題である。張出し架設区間を長くした場合は、斜吊り材やアンカー材が増加し、短くした場合はメラン鋼重が増加する。

したがって、メラン工法を適用した長大RCアーチ橋の架設計画においては、最適なメラン材閉合比率の決定手法が必要とされる。新メラン工法を用いた架設時の検討フローを図-4に示す。

### 3. 試設計モデルによる最適架設工法の検討

#### 3-1 試設計モデルの作成

最適架設工法を検討するため、アーチ支間長 200mを有するRCアーチ橋の試設計モデルを作成する。作成にあたっては、現状使用されているRCアーチ橋の設計手法に基づき一般的な設計条件を仮定して基本構造および主要断面の部材寸法を決定する。

アーチ構造は、上路式の固定アーチ構造とし、アーチ軸線は死荷重時に圧力線がほぼ一致するようハイパボリック曲線を用いて最適軸線を決定する。スパンライズ比については、これまでの実績から6.0前後が最適とされているが、スパンライズ比が架設時の設計に影響することが予想されることから、6.0と8.0の2ケースとした。補剛桁は、プレストレストコンクリートの2主版桁構造とした。

アーチリブの使用材料は、使用実績の最も多い一般的な材料としてコンクリートの設計基準強度が $40\text{N/mm}^2$ 、鉄筋がSD345として試設計モデルを作成した。

アーチ支間長 200mの試設計結果の構造図を図-5に示す。

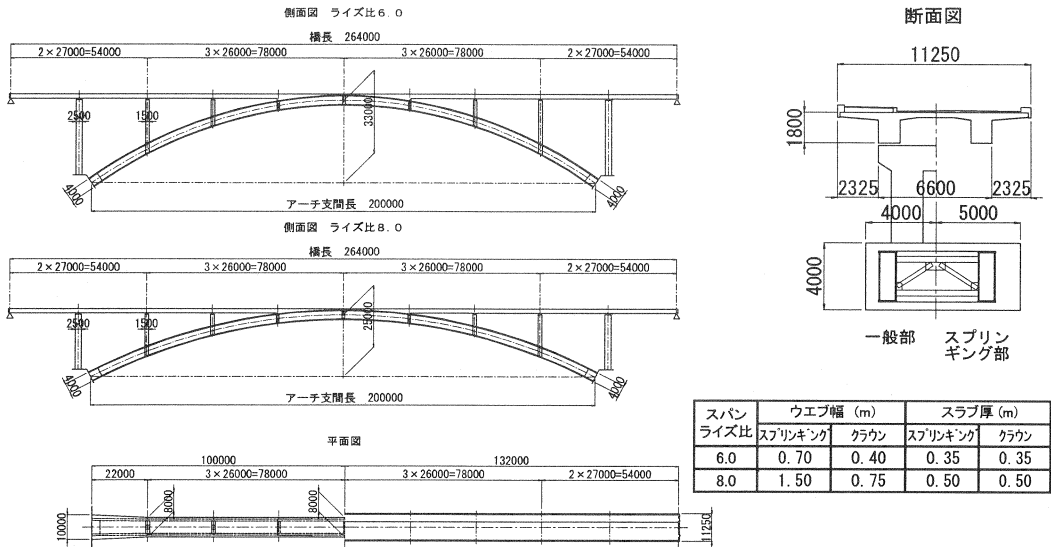


図-5 試設計結果構造図 (アーチ支間長 200m)

#### 3-2 架設時の検討

図-5の試設計モデルを用いてメラン工法の検討課題で述べたようにメラン材閉合比率の最適性を検討する。図-6に示す架設時検討モデルを用いて図-4の検討フローに従って架設系の試設計を実施する。

検討方法は、メラン材の閉合比率をパラメータとし (以下、 $\alpha$ と表記する)、メラン閉合長がアーチ支間長の35%~100%の範囲 ( $\alpha = 0.35 \sim 1.00$ ) でそれぞれ必要架設材の数量を算出して比較する。

閉合比率の最適性については、次の2点について着眼する。

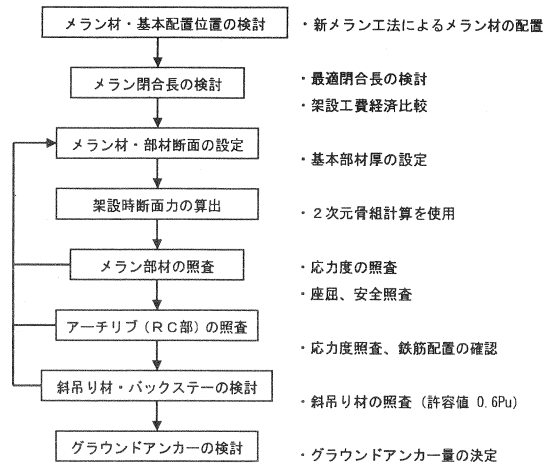


図-4 新メラン工法を用いた架設時の検討フロー

- ①架設時の発生断面力に着目し、主要架設材であるメラン材の断面をミニマムとする方法
- ②メラン材、斜吊り材等の必要架設数量に工事費を考慮してコストミニマムとする方法

一般的には、合理的な構造性を追及し、必要架設材の数量をミニマムにすることが最適であると判断されるが、トータルコストに着目した場合、複数の架設材を必要とするRCアーチ橋は、各架設材で単位重量当りのコストが異なるため、必ずしも上記と一致するとは判断できない。

したがって、構造特性に着目した①のケースとコストに着目した②のケースについて検討することとした。

(1) メラン材の断面をミニマムとする検討

メラン工法を用いた架設工法では、メラン工費が全体架設工費に占める割合が最も大きい。したがって、メラン材を最も合理的に設計することに着目して最適な閉合比率 $\alpha$ を決定する。図-7は、メラン材の閉合比率別に示したメラン材アーチクラウン部の断面力履歴図(スパンライズ比 8.0)である。この図からわかるようにアーチクラウン部では、⑮ブロック打設あたりまでは負の曲げモーメントが増大するが、その後は巻き立てが中央に移動するに従って曲げモーメントが減少し、アーチクラウン部近傍では正の曲げモーメントに逆転する。したがって、メラン材の上下縁に発生する応力が等しくなるように巻き立て施工の範囲を決定することで、合理的な設計が可能となる。

図-8は、アーチクラウン部のメラン材断面を上下フランジ同一とした場合の最大曲げ圧縮応力度と閉合比率 $\alpha$ の関係を示したものである。閉合比率が大きい(メラン長が長い)場合は、メラン材下縁の圧縮応力度が大きくなり、小さい(メラン長が短い)場合は、中央閉合時に上縁の圧縮応力度が大きくなる。上下縁の発生応力が等しくなる閉合比率は、57~58%であり、アーチ支間長 200mの場合、メラン材の最適閉合長は115m程度となる。

スパンライズ比については、6.0と8.0の2ケースについて同様の検討を行ったが、発生断面力に差はあるものの最適性については、ほぼ同じ結果となった。

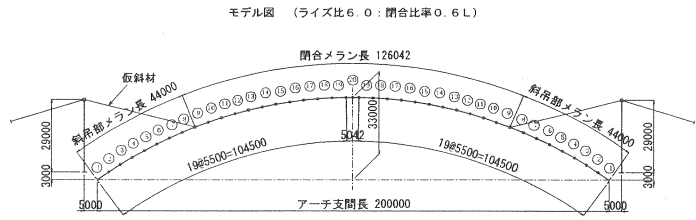


図-6 架設時検討モデル (閉合比率 65%の例)

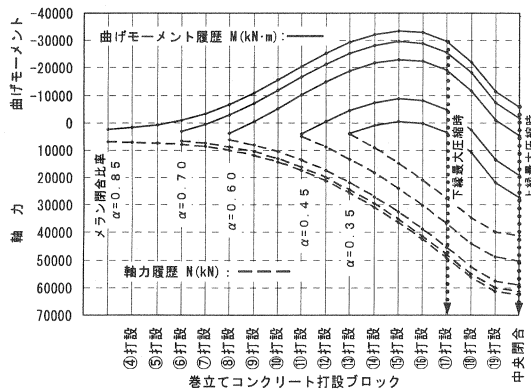


図-7 メラン材アーチクラウン部の断面力履歴図

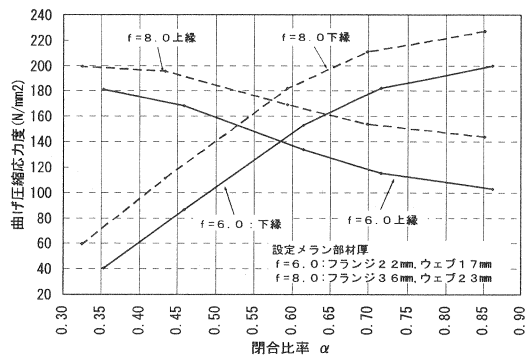


図-8 メラン材アーチクラウン部の最大曲げ圧縮応力度と閉合比率

(2) コストミニマムとする検討

メラン材の必要鋼材板厚は、軸力と曲げモーメントに対する検討では許容曲げ引張応力度、許容軸方向圧

縮応力度の照査, 安定・局部座屈の照査を行い, せん断力に対する検討では許容せん断応力度, 合成応力度の照査を行って決定される。したがって, 閉合比率ごとに必要なメラン断面が決定され, 全体メラン重量も算出可能となる。図-9 にメラン材の単位長さ当りの必要鋼重と閉合比率の関係を示す。この結果ではメラン材の必要鋼重が小さく最適な閉合比率は 60%前後となり, 合理的な構造性に着眼した(1)の検討結果とほぼ同じ値となった。ただし, 閉合比率が大きくなってメラン材の単位長さ当りの必要鋼重はほとんど変わらない。これは, 閉合比率が大きい場合には, メラン材鋼アーチ部のライズが大きくなってアーチ効果が作用し, アーチクラウン部近傍以外は必要鋼材板厚が小さくなるためである。

図-10 にメラン材の全体必要鋼重と閉合比率の関係を示す。図-2 に示したように新メラン工法による架設では全長に渡ってメラン材を配置していること, 図-9 からメラン材の単位長さ当りの必要鋼重は閉合比率による影響が小さいことから, 鋼重差は 50ton~70ton で全体鋼重の 10%程度であった。

図-11 にフォアステーとバックステーの斜吊り材必要鋼材量と閉合比率の関係を示す。斜吊り材の必要鋼材量は, メラン材の必要鋼重の結果とは異なり, 閉合比率が高くなるに伴って線形的に減少する。ただし, この必要量にはメラン材を架設するための斜吊り材を含めていないため, メラン材を斜吊り架設する場合は, メラン材の架設費として計上することが必要である。

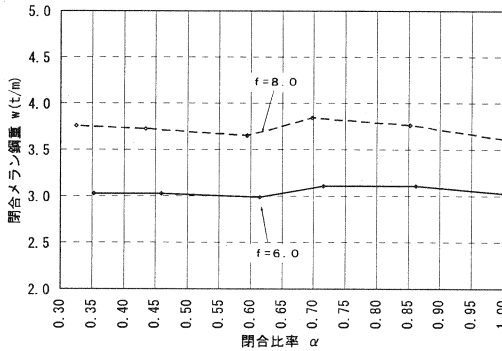


図-9 単位長さ当りの必要鋼重と閉合比率の関係

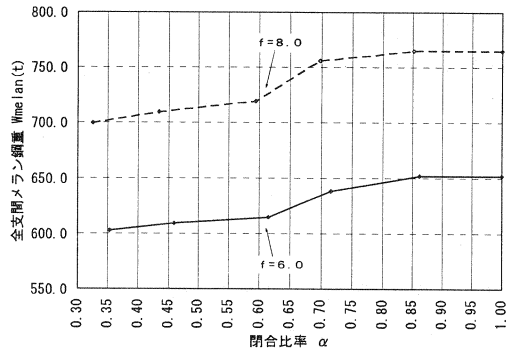


図-10 メラン材全体必要鋼重と閉合比率の関係

図-10 および図-11 の必要鋼材量を合計することにより, コストミナムとなる閉合比率が推測できる。しかしながら, メラン材の単位重量あたりのコストと斜吊り材等のコストが異なるため, コストミナムポイントは, 次式によりトータル架設工費を算出することにより確認することができる。

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Cost}, \alpha &= C_{\text{melan}, \alpha} \times W_{\text{melan}, \alpha} \\ &+ C_{\text{forestay}, \alpha} \times W_{\text{forestay}, \alpha} \\ &+ C_{\text{backstay}, \alpha} \times W_{\text{backstay}, \alpha} \quad \dots (1) \end{aligned}$$

$\Sigma \text{Cost}, \alpha$  : 閉合比率  $\alpha$  の時の架設工費合計

$C_{\text{melan}, \alpha}, W_{\text{melan}, \alpha}$  : メラン材の閉合比率  $\alpha$  の単位重量当り架設工費 (製作費, 運搬費, 架設費を含む) と必要鋼材重量 (ton)

$C_{\text{forestay}, \alpha}, W_{\text{forestay}, \alpha}$  : フォアステーの閉合比率  $\alpha$  の単位重量当り架設工費 (材料費, 緊張工, 解放工を含む) と必要鋼材重量 (ton)

$C_{\text{backstay}, \alpha}, W_{\text{backstay}, \alpha}$  : バックステーの閉合比率  $\alpha$  の単位重量当り架設工費 (架設アバット, グラウンドアンカー工を含む) と

必要鋼材重量 (ton)

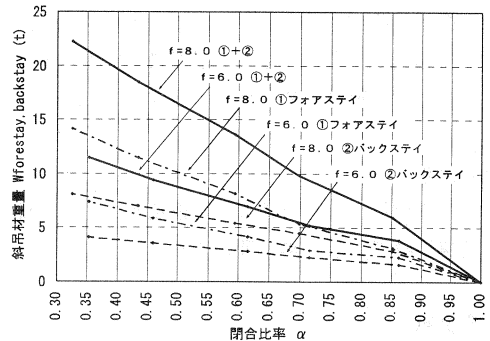


図-11 斜吊り材必要鋼材量と閉合比率の関係

#### 4. 考察

数多いRCアーチ橋の架設工法の中から最適な工法を選定することは難しい。しかしながら、メラン工法を用いた架設工法では比較的施工条件に左右されないため、架設時の構造特性および架設工費の経済性に着目した方法によって最適性を検討することが可能である。

メラン材の閉合時期の検討においては、これまでアーチ支間に対するメラン材の配置比率（閉合比率）が構造的な見地から判断されることは少なかった。本研究ではメラン材の上下縁に発生する応力が等しくなるように鋼とコンクリートの混合アーチ構造とする閉合比率に着目した。その結果、アーチ支間長によっても異なるがメラン材の閉合比率に最適値を有することが判明した。これまでのメラン併用工法では、表-1の施工実績が示すとおりメラン材の配置区間は比較的短い橋梁が多かったが、閉合比率を55～60%とした場合の方がメラン材を合理的に設計できるとともに早期にアーチ構造とすることによって架設時に斜吊り材等に発生する水平力を低減することができる。さらに閉合比率を大きくしても混合アーチ構造のアーチ効果により、アーチクラウン部以外はメラン断面を軽減できるため、全体鋼重は増加しないことがわかった。しかしながら、150m以上の鋼アーチを閉合する場合は、架設時の安定性を確認する必要があると思われる。

また、本研究では、メラン工法による発生水平力の低減効果によって減少する斜吊り材およびアンカー材の必要量を閉合比率ごとに算出した。したがって、コストミニマムの算定式により、各架設材の単位重量当りの架設工費を入力することで最適な閉合比率を決定することができる。コストミニマムの閉合比率と構造的見地から算定した最適値とは異なる可能性があるが、架橋地点が海上か山岳かでメラン材の運搬費や架設費が大きく異なることから、当然の結果といえる。架設計画を行う場合、できる限りこれらの工費を明確にして両方の最適値を比較して決定することで最適な架設工法が立案できると思われる。

#### 5. 結論

本研究では、アーチ支間長 200m規模のRCアーチ橋にメラン工法を用いることで構造的および経済性的見地から最適な架設工法の検討を行い、次の知見を得た。

- ・メラン材の閉合比率が55～60%程度の場合、最もメラン材を有効に設計することができる。
- ・メラン材の閉合比率が80%以上の大きい場合には、混合アーチ構造のアーチ効果により、必要メラン鋼重はほぼ一定の値となる。
- ・概算工費算出式により、架橋地点の条件に応じてコストミニマムとなる閉合比率が決定できる。
- ・架橋地点の条件に応じた各架設材の単位重量当り工費を概算工費算出式（式(1)）に入力することにより、概算架設工費が算出できる（ただし、試設計モデルと計画橋梁との相違分の補正が必要）。

#### あとがき

アーチ橋は、自然と調和した構造美を有する橋梁形式であるが、架設工法を含め、常に創意工夫が要求される構造物である。本研究によって、RCアーチ橋を計画される技術者に参考となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 中村, 春日: 新しいメラン工法を用いた長大RCアーチ橋の提案, 橋梁と基礎 (2004. 1)
- 2) 杉田, 山脇, 荒巻, 中村, 保明: 頭島大橋(仮称)の設計と施工, 第11回PCシンポジウム論文集 (2001. 11)
- 3) プレストレストコンクリート技術協会: PC橋架設工法2002年版 (2002. 8)
- 4) 伊藤, 杉田, 荒巻, 中村: 頭島大橋(仮称)の施工, 橋梁と基礎 (2002. 9)
- 5) 土木学会構造工学委員会: コンクリート長大アーチ橋—支間600mクラス—の設計・施工 (2003. 8)
- 6) 伊藤, 荒巻, 中村, 保明: 頭島大橋におけるメラン材一括架設とメラン巻立て部の施工, 第12回PCシンポジウム論文集 (2003. 10)