

菅合大橋の設計・施工

—新メラン工法を用いた RC 固定アーチ橋—

上野 拓治*1・花水 憲二*2・玉井 裕明*3・紙永 祐紀*4

1. はじめに

菅合大橋は、伊勢神宮や伊勢志摩国立公園の南西に位置する三重県多気郡大台町の現町道と国道42号を結ぶ基幹連絡道として計画された1級町道菅合滝原線のうち、一級河川大内山川を横断する箇所に架けられた橋梁である。

大内山川は、伊勢湾に注ぐ一級河川宮川の支流であり、計画高水量 2400 m³/sec (50年確率)、河川区域幅約 45.0m の掘込河道となっている。このため、河川縦横断測量結果から計画高水位を算出し、河川幅から橋台位置を決定し、橋長を 75.0m とした。また、両橋台位置の地質条件や地形条件などから、橋梁形式としては RC 固定アーチ橋を選定した。

本橋ではアーチリブの架設工法として、従来のメラン工法を改良した新メラン工法を採用している。新メラン工法は、近年考案された工法であり、従来工法に比べて構造的な優れている。新メラン工法の実績としては、岡山県の頭島大橋があるが、アーチ支間全体を新メラン工法により施工するのは本橋が初めてである。本稿では、新メラン工法の構造的な特徴を述べるとともに、設計および施工の概要について報告する。



写真 - 1 全景

2. 橋梁概要

菅合大橋の橋梁概要を以下に示す。また、図-1に構造一般図を、表-1に主要材料を示す。

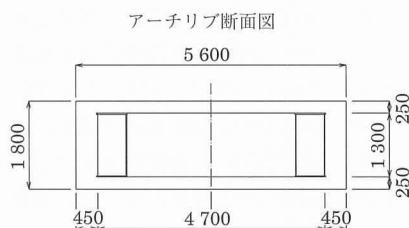
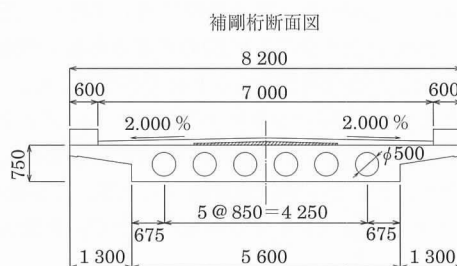
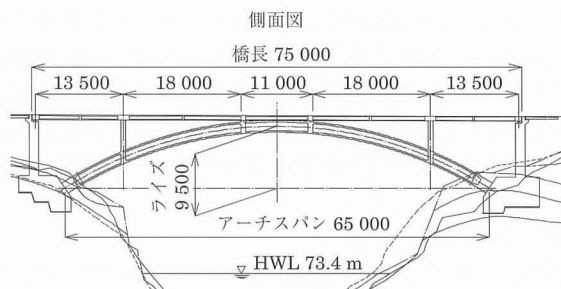


図 - 1 構造一般図

表 - 1 主要材料

種別	仕様	数量	単位	摘要	
メラン材					
	SM 400, SS 400	67.3	t		
コンクリート	下部工	$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$	811.8	m ³	高炉セメント
	アーチリブ	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	308.1	m ³	普通セメント
	鉛直材	$\sigma_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$	33.8	m ³	普通セメント
	補剛桁	$\sigma_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$	307.6	m ³	普通セメント
鉄筋	下部工	SD 345	51.0	t	
	アーチリブ		101.7	t	
	鉛直材	SD 295	9.7	t	
	補剛桁		36.1	t	
PC 鋼材	補剛桁	12 S 12.7	7.6	t	

*1 Takuji UENO : 三重県大台町役場 建設課長

*2 Kenji HANAMIZU : (株)千代田コンサルタント 名古屋支店 技術部 構造課 担当課長

*3 Hiroaki TAMAI : 三井住友建設 (株) 名古屋支店 土木部

*4 Yuki KAMINAGA : 三井住友建設 (株) PC 設計部

- ・工事名：町道菅合滝原線緊急地方道路整備（A タイプ）事業橋梁工事
- ・設計荷重：B 活荷重
- ・構造形式：RC 固定アーチ橋，PC 中空床版
- ・橋長：75.000 m
- ・アーチスパン：65.000 m
- ・アーチライズ：9.500 m（スパンライズ比 6.8）
- ・幅員：有効幅員 7.000 m，総幅員 8.200 m

3. 設 計

3.1 架設工法の選定

同規模アーチ橋（アーチスパン 50 ～ 100 m 程度）の施工実績からは，アーチリブの架設工法として，接地式支保工，セントル工法，メラン工法，ロアリング工法が考えられる。このなかで，接地式支保工については，架橋位置が溪谷を跨いでいるため不可能である。また，ロアリング工法についても，A1 橋台背面に JR 紀勢本線が通過していることから，ロアリング装置を設置できないために困難である。そこで，メラン工法とセントル工法を抽出し，両者について比較検討を行った。比較表を表 - 2 に示す。表中に示すように，メラン工法は架設材の重量をセントル工法よりも 3 割程度低減できる。本橋では地形の制約上，資材運搬にケーブルクレーンではなくトラッククレーンを使用するため，架設材重量が小さい方がトラッククレーンを小型化できるという利点もある。また，メラン材はコンクリートで巻き立てるため解体する必要がない。以上の理由から，メラン工法のほうが経済性・施工性の両面において有効であると判断し，本橋ではメラン工法を採用した。

表 - 2 架設工法の比較

	メラン工法	セントル工法
概要	鉄骨のアーチ（メラン）を架設し，それをコンクリートで巻き立てる工法	アーチ上の鋼製支保工（セントル）を組み立て，その上にアーチリブを施工する工法
比較	○最適支間は 100 m 程度まで ○山岳地帯での施工に適する ○メランを解体する必要がない ○メランの重量は 70 t 程度	○最適支間は 100 m 程度まで ○山岳地帯での施工に適する ×セントルの解体が必要 ×セントルの重量は 100 t 以上

3.2 新メラン工法

メラン工法は，メラン架設後，メラン材の内部にコンクリートを充填し剛性を高めてから，コンクリートで巻き立ててアーチリブを構築する施工方法（充填メラン工法）が一般的である。しかし近年，合理化施工を目的として，メラン材をコンクリートで充填せずにウエブの外部に配置する新しいメラン工法が考案されている。図 - 2 に従来工法と新メラン工法を比較した断面図を示す。また，新メラン工法の特徴を以下にあげる。

- 1) 従来工法では，ウエブ厚が最低でも（メランの幅 + 最小コンクリート厚）以上は必要となるが，新工法ではウエブ厚を構造上必要な厚さに自由に設定できる。これによって，アーチリブの自重の軽減につながり，同時に耐震性能も向上する。
- 2) 従来工法は，メラン内部をコンクリートで充填するこ

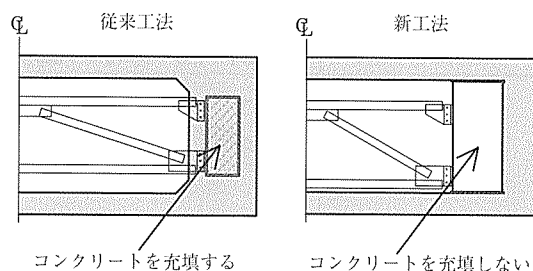


図 - 2 アーチリブ断面の比較

とにより，軸剛性を高めた構造にしているのが特徴である。一方，新工法では，コンクリート箱桁内でメラン断面を従来工法より大きく設定することにより，曲げ剛性の高い構造となり巻立て施工時の荷重に抵抗する。よって新工法ではコンクリートの充填が不要となる。

- 3) ウエブ空間が広がるため，鉄筋の配置とコンクリートの打設が容易である。また，メラン材が内型枠代わりとなるので，施工の省力化を図れる。

したがって，新工法は，構造的・施工性の両面において優れた性能を有しているといえる。また，新メラン工法で施工した場合の本橋のメラン鋼重は，図 - 3 に示すように従来工法で施工された同規模橋梁と同程度である。

以上のことから，本橋では新メラン工法を採用した。

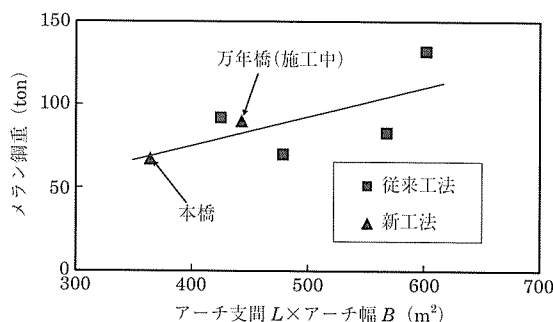


図 - 3 メラン鋼重の比較（アーチ支間 100 m 未満）

3.3 アーチリブの設計

(1) 桁高の選定

固定式アーチ橋は，地震時におけるスプリング部の曲げモーメントが大きいため，スプリング部の桁高を高くするのが一般的である。しかし，本橋のようにメラン工法で架設する中規模アーチ橋の場合は，必ずしも変断面が有利であるといえない。また，変断面にすると，等断面の場合に比べて施工性は劣る。したがって，アーチリブの断面形状を選定するにあたっては，構造的特徴と施工性の両面について配慮する必要がある。本橋では，表 - 3 に示す 3 ケースについて架設を迫った検討を行い，アーチリブの断面形状を設定することとした。ここで，アーチリブの剛性は，コンクリート巻き立て後はメランの剛性を無視し，コンクリートの剛性のみを考慮するものとして検討した。表中に示すように，case 1 は，主筋が D 25 であり機械継手が不要になること，断面変化がないのでメラン製作費が抑

表-3 アーチリブ桁高の比較

	case 1 桁高一定 (h = 1800)	case 2 桁高変化 (h = 800 ~ 1800)	case 3 桁高一定 (h = 1200)
概略図			
主鉄筋	D 25 ctc 125	D 29 ctc 125 (※ 1)	D 25 ctc 125
架設時の鉄筋応力度の最大値	201 N/mm ²	215 N/mm ²	271 N/mm ²
長所	<ul style="list-style-type: none"> 架設時のひび割れをもっとも制御できる 等桁高のため、施工性がよい 	<ul style="list-style-type: none"> 景観上もっともスレンダーである 	<ul style="list-style-type: none"> 自重が小さい 等桁高のため、施工性がよい
短所	<ul style="list-style-type: none"> 自重が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> D 29 であるため機械継手が必要 変断面なので製作費がかかり、型枠組立ての手間が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> 架設用鋼材が必要 内型枠の組立て解体に工夫が必要
評価	○	△	△

えられ、かつ型枠組立ての手間が少なくなること、などの利点がある。一方、case 2 のように変断面としても、応力上は有利にはならず、case 3 のように桁高を低くすると、架設時の一時的な応力度が大きくなり、架設用鋼材が必要になる。以上の理由からアーチリブ断面は、桁高 1800 mm 程度が最適とした。

(2) 鉄筋応力度の照査

アーチリブコンクリートの施工ブロックは図-4 に示すように全 11 ブロックとした。ここで、スプリング部鉄筋の架設系の引張応力度履歴および完成系の応力度を図-5 に示す。完成系では、温度変化時の応力度が許容値 207 N/mm² に対して 180 N/mm² であり、もっとも支配的なケースであった。一方で、レベル 1 地震時（静的照査法）の鉄筋応力度はわずかに 129 N/mm² であり、本橋が耐震性能に優れた構造であることがわかった。この要因として、アーチの規模が比較的小さいこと、新メラン工法の採用によりアーチリブの自重が軽減されたことが考えられる。

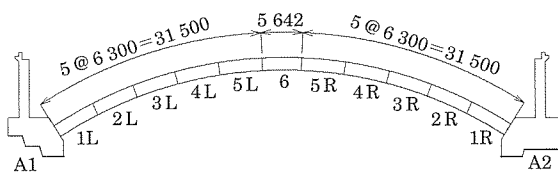


図-4 アーチリブコンクリートの施工ブロック図

3.4 動的解析による耐震設計

(1) 概要

本橋のような上路式アーチ橋は、橋の応答に主たる影響を与える振動モードが 2 種類以上存在し、地震時の挙動が複雑な橋に分類される。そこで、レベル 1 地震動に対しては、線形動的解析である応答スペクトル法を実施し、静的照査法による耐震設計を照査することにより、健全性を損

なわないことを確認した。

また、レベル 2 地震動に対してはファイバーモデル法による非線形動的解析を実施し、橋として致命傷にならない耐震性能 3 を有することを照査した。

アーチリブの剛性については、架設時には構造部材としてメランの剛性を考慮しているが、完成時にはそれを考慮しない設計をしている。したがって、耐震設計においてもメランの剛性を考慮せず、コンクリートの剛性のみを考慮した。また、コンクリートの応力-ひずみ曲線はトリリニアカーブに近似した非線形モデルを使用した。

(2) 照査結果

応答スペクトル解析を行った結果、アーチリブのスプリング部の応答断面力は、静的照査法による結果よりも 14 % 程度小さい値であった。また、補剛桁は応答スペクトル解析の方が全体的に大きい値であったため、合成曲げ応力度の照査を行い、安全性を確認した。

非線形動的解析はタイプ I・タイプ II の地震波についてそれぞれ行い、曲げおよびせん断に対する照査を行った。本橋はアーチ規模が大きくないため、固有周期は約 0.4 秒となり、比較的短い。したがって、タイプ II 地震動の応答

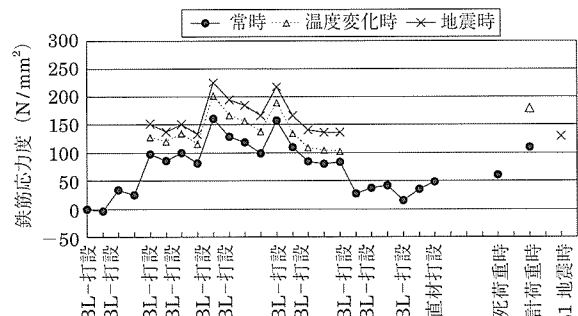


図-5 スプリング部の鉄筋引張応力度

値の方がタイプI地震動に比べて大きくなった。

タイプI地震動について曲げに対する照査を行った結果、鉄筋応力度の最大値はアーチリブが190 N/mm²、補剛桁が42 N/mm²、鉛直材が188 N/mm²であり、鉄筋が降伏強度を超える部材はなく、コンクリートの圧縮ひずみの最大値はアーチリブが668 μ、補剛桁が705 μ、鉛直材が490 μであった。また、せん断に対する照査を行った結果、スプリング部部の応答せん断力がせん断耐力を上回ったため、せん断補強筋をD 16 @ 125からD 19 @ 125にランクアップした。

4. 施 工

4.1 概 要

全体工程を図-6に、施工ステップ図を図-7に示す。

本橋の施工は、下部工の施工後、メラン材をトラックレーンにより架設し、鋼アーチを形成する。その後、スプリング部を支保工施工にて巻き立てる。その上に移動架設作業車を組み立て、左右1ブロックずつメラン材をコンクリートにより巻き立て、アーチリブを完成させた。

その後、鉛直材、補剛桁を施工し、橋体を完成させた。

4.2 メラン材の架設

(1) 鋼製ピン支承の施工

メラン材は工場で製作後、現場へ搬入し架設するため、支承の設置には高い精度が求められる。傾きをもつ支承の据付においては、支承の間隔、高さ、傾きを同時に満足する必要がある。そのため、写真-2のようなアンカーフレームをあらかじめ橋台内にセットし、コンクリートの打設を行った。ピン支承設置後の距離の誤差は、設計値に対し-5mmであった。

(2) メラン材製作、仮組立て

メラン材は、架設に先立ち製作工場にて仮組立てを行い、製作精度を確認した。仮組立ては、半径間に分割して行い、桁の支間、そり、通りを確認した。その結果、軸方向の誤差は半径間で平均+5mm程度であった。

メラン材の製作にあたっては、アーチリブ巻立て、鉛直材、補剛桁打設による桁のたわみを考慮し、メラン材架設完了時の高さが支間の中心で+41mmとなるように、軸心において長さ方向に40mmのキャンバーを付け製作した。

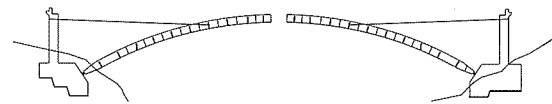
(3) メラン材の架設

メラン材は2主箱桁構造とし、1BL長が約3.2mのメラン材を片側9BLと中央閉合部の全19BLに分けており、

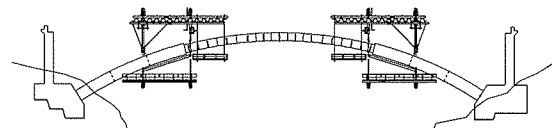
① アバットの施工、ピン支承の据付



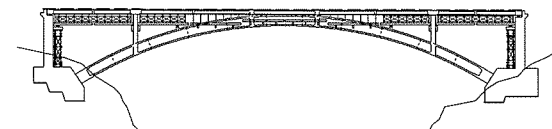
② メランの斜吊り架設



③ アーチリブ巻立てコンクリートの施工



④ 鉛直材、補剛桁の施工



⑤ 橋面工の施工



図-7 施工ステップ図

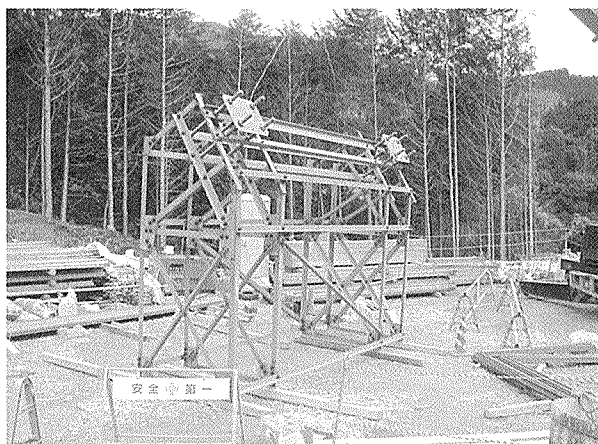


写真-2 ピン支承アンカーフレーム

年	2002			2003												2004		
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
準備工																		
下部工																		
アーチリブ	メラン架設																	
	巻立て																	
鉛直材																		
補剛桁																		
橋面工																		
後片付け工																		

図-6 全体工程表

総重量は 67.3 t である。メラン材の架設はトラッククレーンを使用した。架設状況を写真 - 3 に示す。架設においては、トラッククレーンの作業半径を考慮し、基部に近いブロックでは 2 ブロックずつ、中央側になるにしたがい 1 ブロックごとに地組して架設を行った。継手は高力ボルト接合とし、トルシアボルトを用いた。メラン材は橋台から総ネジ PC 鋼棒 $\phi 32$ で斜吊りしながら架設を行った。橋台からのバックステイは設置していない。



写真 - 3 メラン材架設状況

4.3 アーチリブの巻き立て

(1) 概要

両岸の 1 ブロック目を支保工施工にて巻き立てた後、本橋架設用に製作した移動架設作業車 (写真 - 4) をアーチリブ上に組み立てた。図 - 8 にアーチリブのコンクリート巻立てに用いた移動架設作業車の構造を示す。本体重量は、約 55 t であった。

移動は、メラン部に設置した推進ジャッキ (50 t) と移動架設作業車を総ネジ PC 鋼棒 $\phi 32$ で連結し、メランとアーチリブ上に敷設したレール上で自走させた。

この移動架設作業車は、各ブロックで変化するアーチリブの角度に対してメイントラスを水平に保つための角度調整機構を備えている。アーチリブは 1 ブロックを 6.3 m と

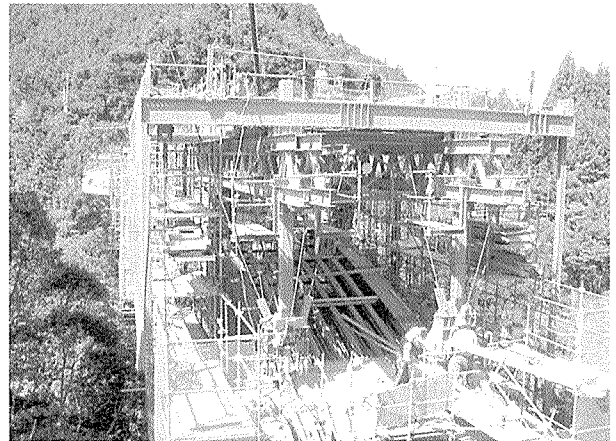


写真 - 4 移動架設作業車

し、コンクリート打設はポンプ車を用いて行った。中央ブロックは、A 1 側の移動架設作業車を中央部に移動させて施工した。打設数量は 1 ブロックで約 25 m³ となる。

(2) サンド式アーチ台座

移動架設作業車の支柱下端のジャッキは、コンクリート部とメラン上に跨っている。施工ブロックのコンクリートおよび移動架設作業車の重量をアーチリブに伝達するジャッキの受け台は、コンクリート部では、安全性の確保から RC 構造のコンクリート台座が一般的である。しかしながら、1 ブロックあたり 2 箇所必要であることや、施工完了後の撤去方法によっては、コンクリート表面を傷めることになるため、補修後の外観や耐久性の問題が残る。そのため、本橋では施工の合理化を目的に移動式のサンド式アーチ台座を用いた。本台座の構造は、図 - 9 に示すように、アーチリブのシースによる箱抜きに丸鋼を差し込むことで固定し、30° ~ 0° に変化するアーチリブの勾配に対しては、砂の量で調整することによりジャッキをつねに水平に保持できるような構造としている。

また、メラン上のジャッキについては、鋼製のキャンバー材の上に、勾配のついた鉄板を重ね水平に保つのが一般的であったが、本橋では凸型のプレートに砂を入れる箱をとりつけた台座 (写真 - 5) を製作した。メラン材には製作

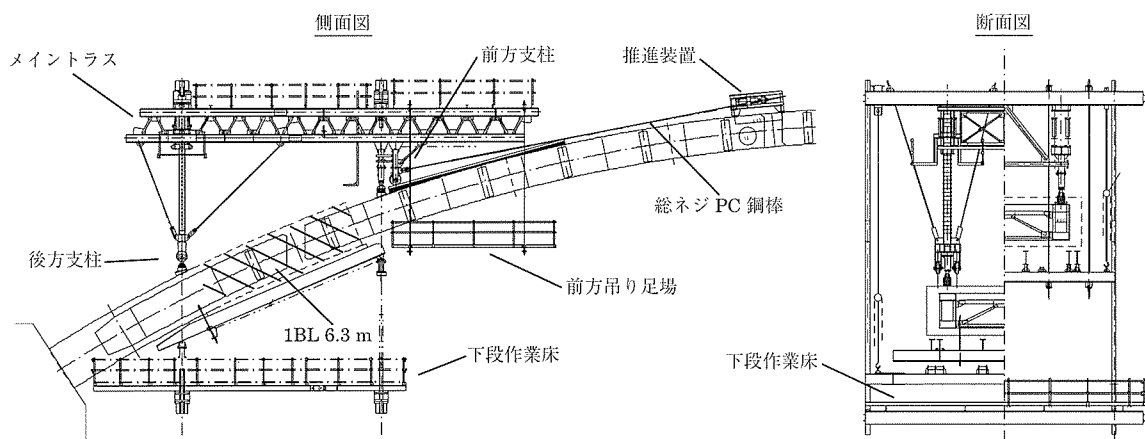


図 - 8 移動架設作業車構造図

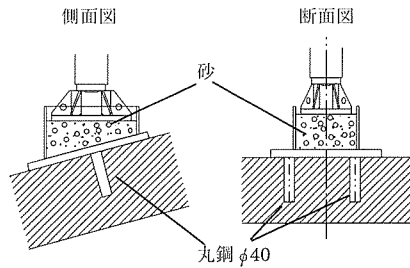


図 - 9 後方支柱用サンド式台座（コンクリート上）

工場において凹型のプレートが溶接してあり、そのプレートにはめ込むことで、せん断力をメラン材に伝達する機構となっている。

(3) コンクリート打設

アーチリブの勾配が急なところについては、上面に押え型枠（写真 - 6）を設置した。型枠にはコンクリート中のブリージング水とエントラップトエアを排出させるため透水性型枠シートを使用した。その結果、コンクリート表面の気泡も少なく、良好な仕上がりとなった。

コンクリートのスランブは、押え型枠が必要なブロックについては、メラン材の直下および押え型枠部のコンクリートの充填性を考慮し、高性能 AE 減水剤を用いたスランブ 18 cm のコンクリートを用いた。押え型枠が不要なブ



写真 - 5 前方支柱用サンド式台座（メラン上）

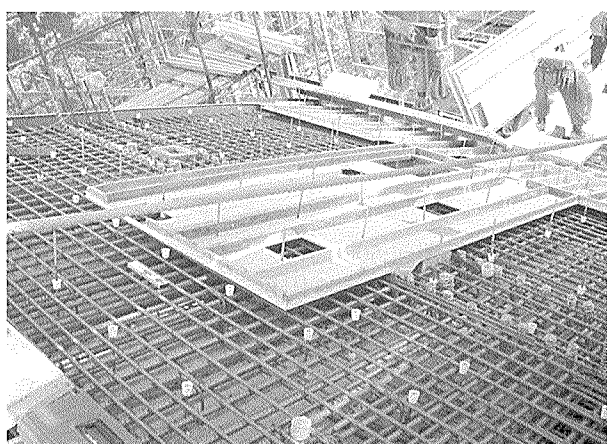


写真 - 6 型枠組立て状況

ックのスランブは 12 cm とした。

(4) 施工サイクル

図 - 10 にアーチリブ巻立て施工サイクルを示す。1 ブロックの施工サイクルは、押え型枠が有るブロックは 12 日、押え型枠が無いブロックは 11 日であった。

移動架設作業車の実際の移動は半日の作業だが、移動に際して、①推進装置の移動、②レールのセット、③メイントラスの勾配調整の作業を行う必要がある。そのため、段取りも含めて移動に時間を要しており、移動方法に改善の余地が残った。

押え型枠有り	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
押え型枠無し	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		(9)	(10)	(11)
ワーゲン移動、据付	移動											
型枠組立		小口		上床版底版				側枠	押え型枠			
鉄筋組立		下筋	スターラップ			上筋						
コンクリート打設										打設		
型枠解体											解体	
移動準備												移動準備

図 - 10 アーチリブ巻立て施工サイクル

4.4 鉛直材の施工

鉛直材の足場は、アーチリブ上の斜部に設置されることから、アーチリブ上に H 型鋼を渡し、その上に足場を組み立てて（写真 - 7）施工を行った。

4.5 補剛桁の施工

補剛桁は、厚さ 750 mm の PC 中空床版であり、PC 鋼より線 12 S 12.7 が 11 本配置される。

支保工の構造としては、橋脚側に大型の支柱式支保工を組み立て、鉛直材側には鋼製ブラケットを設置し、H 型鋼を主桁として渡し、その上に支柱式の支保工を組み立て、施工した。

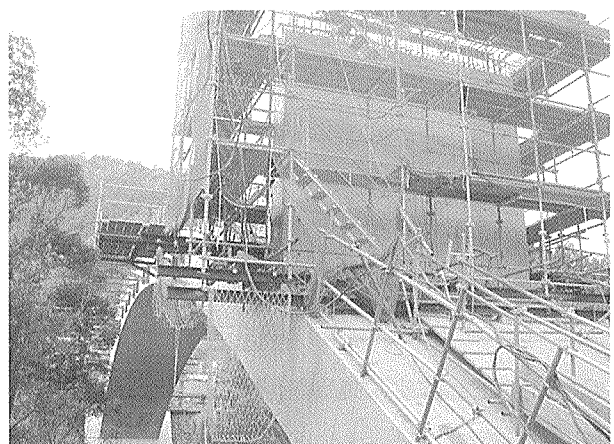


写真 - 7 鉛直材施工状況

高さ管理においては、コンクリートの打設による、支保工、アーチリブのたわみを考慮した上げ越し管理を行った。

5. おわりに

アーチ橋は景観的、構造的にも優れた構造であるが、その一方で設計や施工が複雑で、架設工法の選定から含め、特別な配慮が必要である。

本橋の施工にあたっては、地理的条件からトラッククレーンを用いたメラン工法を採用した。鋼メラン材により先行してアーチ構造を完成させるこの工法は、施工時の構造系の変化が少なく、たわみなどの変化も少ないため、施工管理が容易で安全性の高い工法であるといえる。

さらに、構造的、施工性に優れた新しいメラン工法の採用と、いくつかの施工上の工夫により施工性の改善に取り組んだ。移動架設作業車の改善による施工サイクルの短縮

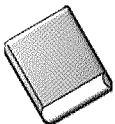
という課題は残ったが、本稿が今後の同工法の改善となれば幸いである。

最後に、本工事の設計施工にあたり、多大なご指導、ご協力を頂いたすべての方々に深く感謝の意を表して本文を結ぶものとする。

参考文献

- 1) 伊藤, 杉田, 荒巻, 中村: 頭島大橋(仮称)の施工-新しいメラン工法を用いた複合アーチ橋-, 橋梁と基礎, vol. 36, NO. 9, 2002年9月
- 2) 大野, 上野, 白地, 玉井: 新メラン工法による管合大橋の設計と施工, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp9~12, 2003年10月
- 3) 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-アーチ支間長300mを有するRCアーチ橋の計画-, 橋梁と基礎, vol. 38, No. 1, 2004年1月

【2004年3月16日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート構造物の 新たな動向

第32回 PC 技術講習会

(平成16年2月)

頒布価格 会員特価: 5000円(税込み・送料別途500円)
非会員価格: 6000円(税込み・送料別途500円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会