

メラン直吊り一括架設によるアーチ橋の設計と施工 — 極楽橋 (仮称) —

中川 直人*1・庄田 浩二*2・大磯 章*3・中村 収志*4

1. はじめに

主要地方道宇奈月大沢野線は、富山県東部の山麓地域に点在する観光拠点を連絡し、広域的な交流や連携を図ることを目的とした「富山県東部山麓道路」の主要幹線である。

このうち、立山町芦峯寺～大山町原において一級河川常願寺川に架けられる極楽橋 (仮称) は、2000年に開催される「とやま国体冬季大会」のアクセス道路として供用するため、平成7年度から工事に着手している。

橋梁形式は、上路式RC固定アーチ橋でアーチ支間188mは、施工中の橋梁を含め、国内第5位の規模である。

本橋の技術的特徴としては、アーチ基礎部に地盤条件や景観性を考慮して初めてNATMによる大口径斜め深礎基礎を採用し、アーチリブのメラン併用斜吊り張出し工法においては、「メラン直吊り一括架設」(写真-1) という新しい架設工法を採用している。

2. 計画概要

2.1 工事概要

完成予想図を図-1に、一般図を図-2に、主要材料数量を表-1に示す。

工事概要は、以下に示すとおりである。



写真-1 メラン直吊り一括架設



*1 Naoto NAKAGAWA

富山県土木部 道路課
橋りょう係長



*2 Kouji SHODA

大日本コンサルタント(株) 北陸支社
技術部技術一課 課長補佐



*3 Akira OOISO

住友建設・丸新志鷹建設・岩崎
建設共同企業体 所長



*4 Atsushi NAKAMURA

住友建設・丸新志鷹建設・岩崎
建設共同企業体 主任

路線名：主要地方道宇奈月大沢野線
 橋名：極楽橋（仮称）
 道路規格：3種2級
 活荷重：B活荷重
 構造形式：上部工 RC固定アーチ橋＋連続PC中空床版橋
 下部工 大口径斜め深礎基礎（アーチ部）
 直接基礎，鉛直深礎基礎（高架部）

橋長：245.0m＋156.0m＝401.0m
 アーチ支間：188.0m
 有効幅員：13.0m（車道部9.50m 歩道部3.50m）
 架設工法：斜吊り張出し工法＋メラン直吊り一括架設工法



図-1 完成予想図(合成)

表-1 主要材料数量

	上床版	鉛直材	アーチリブ	アーチ基礎
コンクリート(m ³) $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$	1 667	2 039	4 044	5 960
型枠(m ²)	3 069	2 741	10 167	
鉄筋(t)	159	398	662	316
PC鋼材(t) 12S12.4 SWPR7A $\phi 32$ SBPR930/1180	36	2	49	
斜吊り材($\phi 32$)(t)			40	
メラン材(t)			630	

2.2 地形・地質概要

架橋地点は、常願寺川により形成された河成段丘で、右岸側は高さ約50m、左岸側は約70mと両岸とも切り立った急崖を呈している。

アーチ基礎部の支持地盤は、右岸側は手取層群の砂岩・頁岩・礫岩の互層から成るが、断層破砕帯を層状に挟んでいる。破砕帯は走向N80度W、傾斜80度S、幅18m前後で、基礎設置位置に近接している。

左岸側は、流紋岩および流紋岩質凝灰岩から成り、表層部からC_M～C_H級の良い岩盤となっている。

2.3 橋梁形式の選定

地形・地質条件および立山連峰の眺望への配慮から本橋の橋梁形式条件は、次のとおりとなる。

- ① 常願寺川は急流荒廃河川であり河川内への下部工設置が困難なため、支間長を180m以上にできる構造形式
- ② 立山連峰の眺望を阻害しない構造形式（主塔などの設置が不可）

これらに適應する橋梁形式として以下の4案を抽出した。

- ① RCアーチ橋案，② PCラーメン橋案，③ 鋼アーチ橋案，④ 鋼トラス橋案

選定にあたっては、景観に対する配慮はもとより、経済性、構造的性、施工性、維持管理面を考慮し、上路式RCアーチ橋に決定した。

3. 下部工の設計

3.1 下部工形式の選定

本橋の下部工は、急斜面上の施工となることや、表層部

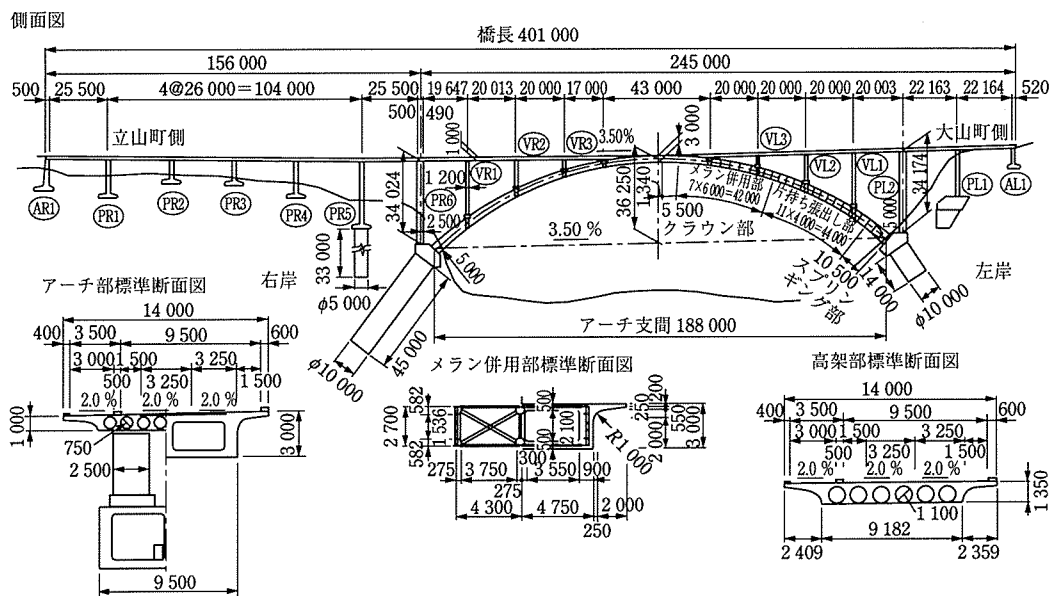


図-2 一般図

にD~CL級の弱破碎帯が存在するなどの地盤条件を考慮して、次の3案について比較検討を行った。

① 直接基礎案, ② 鉛直深礎案, ③ 斜め深礎案

直接基礎案は、施工実績が多く最も一般的な工法であるがフーチング形状が大きくなるため、本橋の架橋位置では掘削影響範囲が大きくなり、景観性に劣る。

鉛直深礎案は、一般的な基礎形式であるがアーチ橋の下部工として採用した場合、常に大きな水平力が作用するため、杭径が大きくなるだけでなく地盤のクリープ変形が生じる。

斜め深礎案は、施工実績がなく施工性に劣るものの、構造的に優れ、表層部の弱破碎帯部を貫き礫岩に支持させることが可能である。

したがって、景観性、経済性、構造的から斜め深礎基礎を採用した。

3.2 斜め深礎基礎の設計

斜め深礎基礎の設計方針は、次のとおりである。

- ① 斜め深礎杭の設置角度は、杭頭変位、せん断力の小さくなる方向として、死荷重時の上部工反力の合力方向(斜角55度)とする。
- ② 塑性化領域の抵抗力、許容支持力などは、地盤や基礎の傾斜を考慮して低減する。
- ③ 斜め深礎杭の断面形状は、インクライン設備の使用、NATMによる掘削時の機械施工を考慮し、設計必要断面と等価面積をもつ馬蹄形断面を採用する。

左岸、右岸で杭長に大きな差が出ているのは、基礎地盤の違いによるものである。左岸側が表層部から良好な岩盤であるのに対し、右岸側には断層破碎帯が存在したことから、基礎の沈下や地盤のクリープ変形による支点移動を避けるため、破碎帯を貫き礫岩に支持させるよう杭長を45mとした。

3.3 斜め深礎と鉛直深礎の比較検討

斜め深礎の採用にあたって、鉛直深礎とのアーチリブ本体に対する影響度、すなわち杭頭変位によるアーチリブ断面力の増加について比較したところ、斜め深礎は死荷重変位量を低減できる構造的な大きな利点が認められたため、採用することとした。

本橋の解析モデルで基礎形式を直接基礎の場合(固定支持)、スプリング部の曲げモーメントは、10mmの支点変位により死荷重時断面力で20%近く増加する。このことから、アーチリブ部材断面を小さくするためには、変位量の少ない下部工形式の選択が重要となり、この点において深礎基礎が有利となる。

鉛直深礎基礎と斜め深礎基礎のアーチ全体の死荷重時変位比較を図-3に、地盤ばね別によるアーチクラウン部とスプリング部の死荷重時変位量を図-4に示す。

スプリング部およびアーチクラウン部の死荷重時変位量は、斜め深礎が水平方向地盤反力係数に関係なく小さいのに対し、鉛直深礎は水平方向の地盤反力係数に大きく影響され、変位量も大きいことが分かる。

以上の結果より、長大アーチ橋において表層部に軟弱層がある場合でも、斜め深礎基礎はアーチリブ本体への影響が比較的少なく、構造的に適した基礎形式と言える。

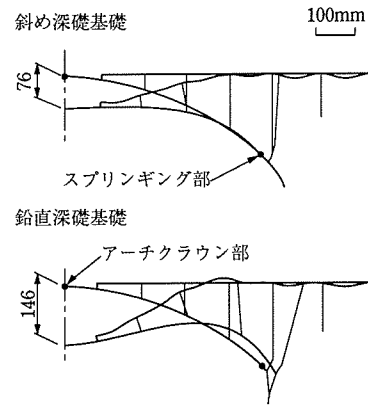
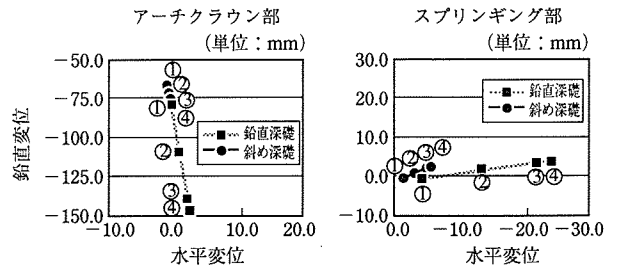


図-3 死荷重時変位比較図



- ① $K_h = 66\ 266$ (先端) $K_v = 250$ $K_s = 72$ K_n : 水平方向地盤反力係数
- ② $K_h = ① \times 1/10$ $K_v, K_s = ①$ K_n : 鉛直方向地盤反力係数
- ③ $K_h = ① \times 1/100$ 〃 K_n : 水平方向せん断地盤反力係数
- ④ $K_h = 0$ 〃

図-4 死荷重時変位量

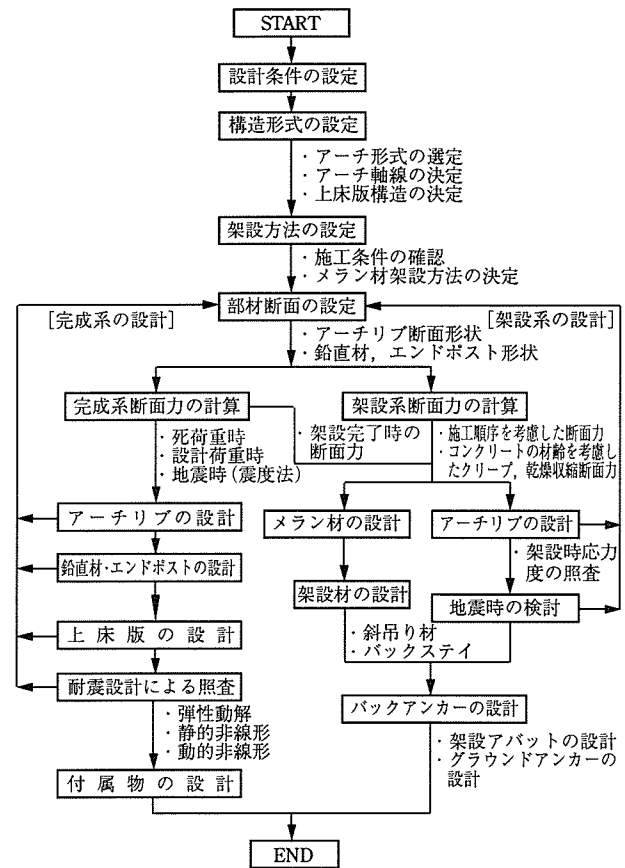


図-5 アーチ橋設計フロー

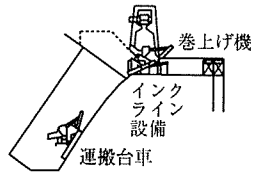
4. 上部工の設計

4.1 設計方針

上部工のアーチ橋設計フローを図-5に示す。設計方針は、以下のとおりである。

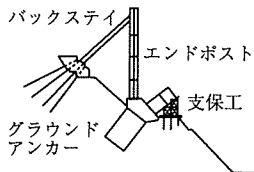
- ① 本橋の構造は、RC固定アーチ橋とするが、上床版は、その自重を軽減する目的でPC構造の中空床版橋とする。

① 深礎杭の施工



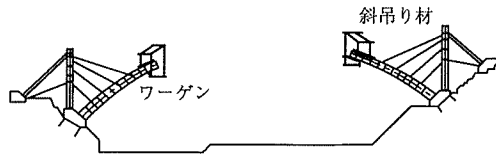
- ・ NATM 工法による深礎杭の掘削
- ・ 杭本体の施工

② エンドポスト・バックステイの施工



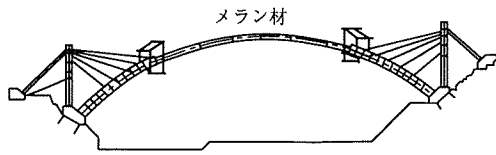
- ・ アバット (架設用も含む) の施工
- ・ 支保工部およびエンドポスト・バックステイの施工

③ 片持ち張出し施工



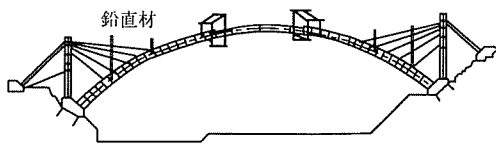
- ・ ワーゲンの組立て
- ・ 斜吊り材を配置しながら片持ち張出し施工

④ メラン架設



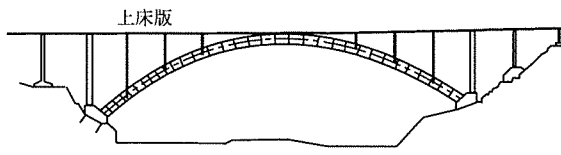
- ・ メラン材の組立て
- ・ アーチリブの閉合

⑤ メラン部コンクリート巻立て



- ・ ワーゲン改造後、メラン部のコンクリート巻立て
- ・ 鉛直材の架設

⑥ 上床版および橋面工施工



- ・ 斜吊り材を撤去し、上床版の施工
- ・ 橋面工の施工

図-6 施工要領図

- ② アーチクラウン部の構造は、アーチリブと上床版を一体構造としてアーチライズを極力高くし、スプリング部の死荷重時断面力の低減を図る。
- ③ 架設方法は、架橋地点が豪雪地域であるため、早期にアーチリブの閉合が可能でバックアンカー力を低減できるメラン併用斜吊り張出し工法を採用する。
- ④ 断面力の算出は、図-6の施工要領に基づき、構造系の変化を考慮して算出する。解析モデルは、地盤ばねを考慮した斜め深礎杭を含む全体モデルで行う。
- ⑤ クリープ係数については、その施工期間が長期に及ぶため、各部材とも施工段階ごとの材齢を考慮してクリープ断面力を算出する。

4.2 アーチリブの設計

アーチリブは、完成時はRC部材、施工時はPC部材として設計を行っている。施工時の引張応力度については、アーチリブに有害なひび割れを発生させないように、桁橋の張出し施工と同等の引張応力度とした。

施工時に使用する架設材は、次のとおりである。

- ① アーチリブの上スラブ内に配置するPC鋼材
- ② エンドポストからの斜吊り鋼材
- ③ 中央部の連結に使用するメラン材 (補強鋼材)

地質概要で述べたように表層部に弱破砕帯が存在するため、架設時に生じる水平力を極力低減させる目的でアーチ支間の約半分をメラン材使用区間とした。これにより、鋼とコンクリートのアーチ構造を早期に成立させ、バックアンカー力と架設時応力度の低減を図っている。

架設時における合成応力図を図-7に示す。

張出し架設中の地震時の照査については、次の3ケースについて面内および面外方向の検討を行った。

- ① 張出し最大時
- ② メラン架設終了時
- ③ アーチリブ完成時

ただし、地震時設計水平震度は、 $K_h = 0.10$ とし、RC部材として照査する。

完成時の耐震設計は、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説(案)」(平成7年2月)に準拠し、線形動的解析に加え、非線形動的解析により安全性の照査を行った。

構造系モデルは、3次元立体骨組みモデルとし、断面モデルとしてはファイバーモデル、解析には材料および幾何学

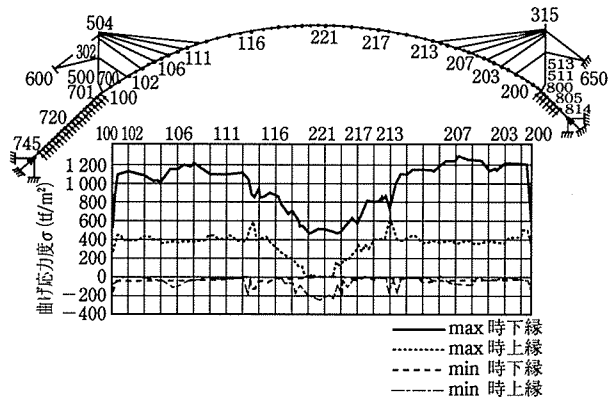


図-7 架設時合成応力図

的非線形性を考慮した。

この照査結果により、スプリング部の曲げ破壊に対して主鉄筋をD32@125、全区間のせん断破壊に対してスターラップをD19@125で配置している。

5. 下部工の施工

5.1 斜め深礎掘削

基礎本体が斜角55度で傾斜しているため、坑内への資機材の搬入・搬出、ずり出し方法が問題となる。杭長の短い左岸側(L=14m)では、鉛直大口径深礎の施工と同様にクローラークレーンを使用し、杭長の長い右岸側(L=45m)では、インクライン設備を設置して(写真-2)、削孔、発破、ずり出し、吹付けなどの各作業ごとに、インクラインを使って重機の搬入・搬出を行った(写真-3)。

掘削は、発破掘削とし、上半断面水平ベンチカット工法を採用した。掘削に際しては、3次元FEM解析を行い支保工の妥当性を検証するとともに、施工時に内空変位、ボルト軸力などを計測し、地山の挙動と支保工の状態をリアルタイムで把握し、支保工の安全性を確認しながら施工を行った。

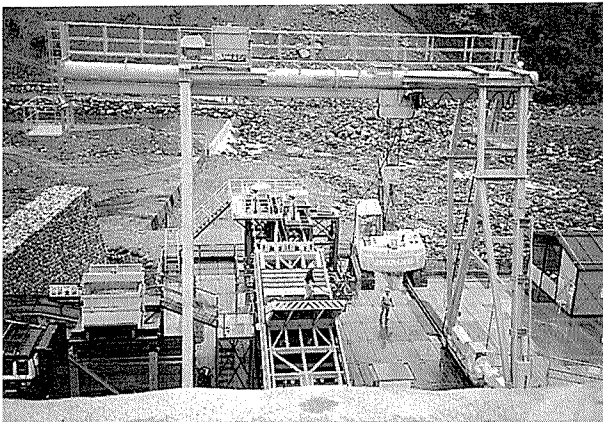


写真-2 インクライン設備



写真-3 インクライン稼働状況

5.2 深礎杭本体の施工

1リフト長は、コンクリート打設量を考慮して5m程度とし、鉄筋の組立ては、掘削同様、クレーン施工が不可能なため、鉄筋の搬入はインクラインを使用し、組立てには高

所作業車を併用した。

また、長さ7.5mでD35の主鉄筋を人力で組み立てなければならないため、コンクリート打継ぎ面に継手位置を設け、主鉄筋の重量を旧コンクリート面で支保することにより、省力化と組立て時の安全性を確保した(写真-4)。

コンクリートの打継ぎ目は、本来、圧縮力の作用する方向に直角に設定すべきであるが、設計上、十分なせん断抵抗力を有しているため、施工性を考慮し水平に設けている。

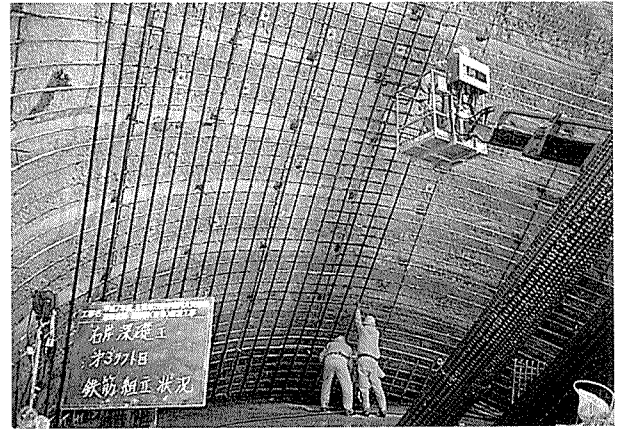


写真-4 深礎杭鉄筋組立て状況

5.3 アーチアバットの施工

アーチアバットは、幅11.5m(アーチリブ幅9.5m)と大口径斜め深礎基礎を採用したことにより、直接基礎に比べ非常に小さな形状となっている。

しかし、狭いアーチアバット内に深礎杭頭部鉄筋、アーチリブおよびエンドポストの主鉄筋、帯鉄筋、中間帯鉄筋が交錯している。しかも、すべて異なる角度での配置となるため、鉄筋の組立ては、非常に難作業となった。

そのため、鋼材による組立て架台で支持しながら作業を行うことで、組立て精度と作業の安全性を確保した。

使用コンクリートの設計基準強度は、斜め深礎杭と同じ $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ で、マスコン対策として発熱量の少ない高炉セメントを使用し、 670m^3 を2回に分けて打設した。

6. 上部工の施工

6.1 スプリング部の施工

スプリング部は、特殊大型移動式架設作業車(以下、ワーゲン)が設置可能な長さ10.5mを設置式支保工にて施工した。スプリング部の勾配は43度を有し、傾斜部材の施工となるため、型枠、支保工、鉄筋等の組立てからコンクリートの打設まで、すべての作業において難作業の連続であった。

鉄筋は、施工性の向上と品質確保のため、D32@125の主鉄筋にねじ式の機械式継手を採用している。

スプリング部の施工が完了し、支保工を解体した後、ワーゲンの組立てを行った(写真-5)。ワーゲンには、ブロックごとに変化するアーチリブの勾配に対して常に水平にセットできるよう角度調整装置が配備されている。

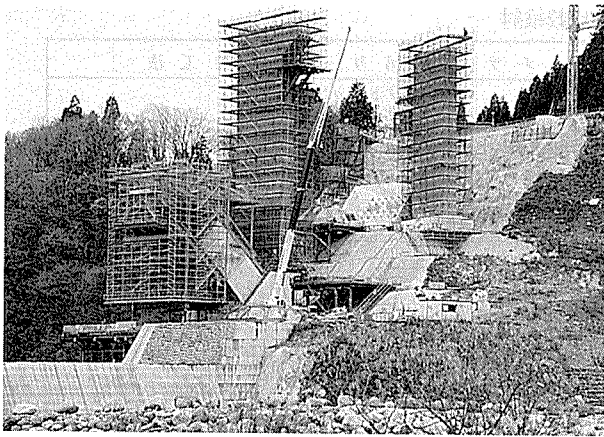


写真-5 ワーゲン組立て状況(右岸)

6.2 斜吊り張出し部の施工

ワーゲン組立て完了後、1ブロックの長さを4mとし、左右岸同時に斜吊り張出し施工を行った。各ブロックともアーチリブの上スラブ内に配置したPC鋼棒を半分ずつ緊張してワーゲンを前進させる。また、2ブロックごとにエンドポスト上部からPC鋼棒の斜吊り鋼材を架設(左右岸とも全6段)し、エンドポスト側から緊張を行っている(写真-6)。

ワーゲン内での鉄筋組立て作業は、斜面上での施工となり、帯鉄筋等の形状保持が難しい。したがって、とくに桁高が高く配置が困難なウェブ鉄筋については、主鉄筋と帯

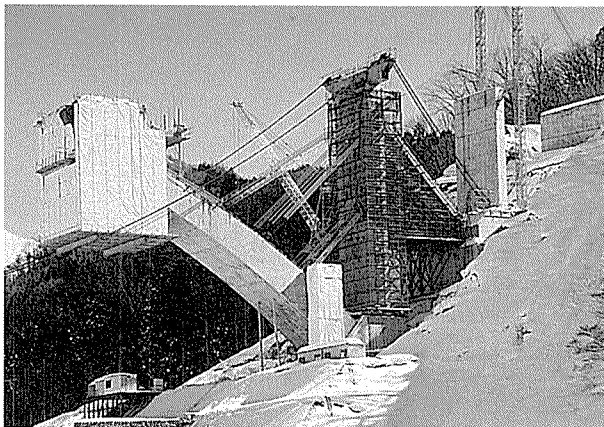


写真-6 斜吊り張出し施工(左岸)

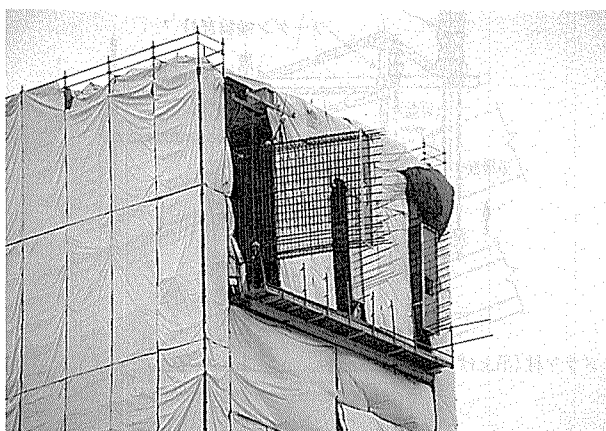


写真-7 ウェブ鉄筋配置状況

鉄筋を地組み架設して小口型枠とともにケーブルクレーンで一括架設して組立てを行った(写真-7)。これにより、飛躍的に施工性が向上し、1サイクルの工程短縮が図れた。

コンクリート打設の際は、すべて閉塞状態となるため、スラブ上面は、橋軸方向に設置されたH形鋼の間をスライドできる押さえ型枠構造とし、コンクリートを打設しながら固定した(写真-8)。また、充填性を確保する目的で流動化剤を使用して、ワーカビリティーの改善を図った。

6.3 メラン部の施工

左岸、右岸とも11ブロックの斜吊り張出し施工を完了後、メラン材の架設に移る。

メラン材の架設は、「メラン直吊り一括架設工法」という新しい工法を採用した。この工法は、メラン材を空中で吊り下げながら組み立てた後、リフトアップ工法により一括架設を行ってメラン材をコンクリートのアーチリブと閉合する。

本工法と施工実績の多いピロン・メラン工法との比較を表-2に、施工要領図を図-8に示す。

表-2より、本橋の架橋位置の地盤条件および施工条件を考慮し、架設の際に必要なアンカー張力の軽減と大幅な工

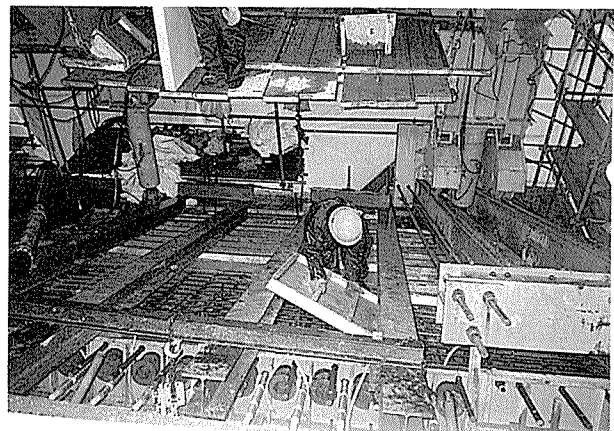


写真-8 コンクリート打設状況

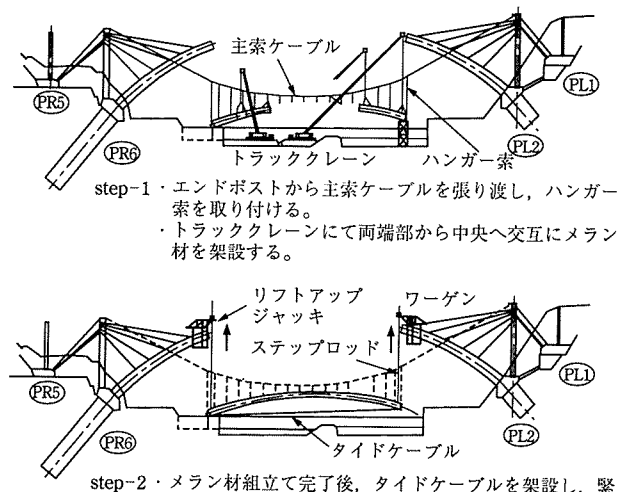
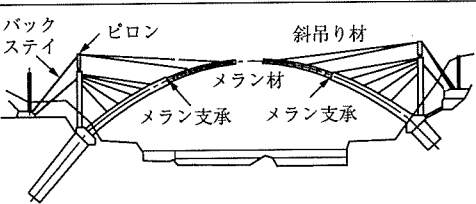
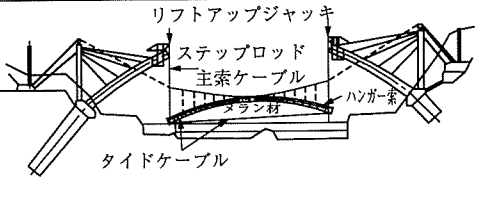


図-8 メラン材施工要領図

表-2 メラン工法比較検討

	ピロン・メラン工法	メラン直吊り一括架設工法												
架設図														
工法の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・帝釈橋、宇佐川橋等に用いた実績の多い架設工法である。 ・コンクリートの張出し架設が終了してからメラン架設となる。 ・メラン材は、斜吊り材を用いての片持ち張出し架設となる。 ・斜吊り材は、エンドポスト上に設置したピロンから架設とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・別府明礬橋の地組みによる一括吊上げ架設の改良工法である。 ・メラン材を地組みする替わりに主索からの直吊り架設で組み立てる。 ・直吊り架設は、コンクリート張出し施工と並行作業が可能。 ・一括吊上げは、ワーゲンからのリフトアップジャッキで行う。 ・タイドケーブルを使用することにより、メラン材の応力管理が容易。 												
架設方法	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート張出し架設終了後、ワーゲンを後方に移動する。 ・エンドポスト上にピロンを架設する。 ・メラン材を1ピースずつケーブルクレーンにより、張出し架設する。 ・数ピース架設後、ピロンから斜吊り材を張り渡して緊張する。 ・以下同様に順次張出し架設を行い、中央部で連結する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・エンドポスト上から主索ケーブルを張り渡し、ハンガー索を取り付ける。 ・コンクリートの張出し施工と並行してメラン材の直吊り架設を順次行う。 ・メラン材組立て完了後、タイドケーブルの架設・緊張を行う。 ・ワーゲンに取り付けたリフトアップジャッキのロッドとメラン材を連結。 ・所定の位置まで吊り上げ、アーチリブに固定し、タイドケーブルを解放。 												
架設工期	<ul style="list-style-type: none"> ・架設工期を決定する工程 合計 120 日 メラン支承据付け、ワーゲンの後退、メラン材の架設、斜吊り材の架設、中央連結部材の架設、斜吊り材の撤去 ・ワーゲンとの並行作業が可能で工期に影響がない工程 合計 20 日 ピロンの架設 	<ul style="list-style-type: none"> ・架設工期を決定する工程 合計 60 日 ワーゲンの改造、メラン材の一括吊上げ準備、メラン材の一括吊上げ架設、タイドケーブルの撤去 ・ワーゲンとの並行作業が可能で工期に影響がない工程 合計 60 日 主索ケーブルの架設、メラン材の直吊り架設 												
数量概略比較	<ul style="list-style-type: none"> メラン材 直吊り一括架設の場合、ブロックの長大化が図れるため、添接板の鋼重が減少し、メラン支承も不要。 ピロン 直吊り一括架設の場合、塔頂部に受け梁が必要となる分、ピロンは不要。 吊り材 直吊り一括架設の場合、主索ケーブルおよびハンガー索が必要となる分、斜吊り材が不要。 アンカー材 直吊り一括架設の場合、バックステイに作用するアンカー力が半分に減少。 	<p style="text-align: right;">ピロン・メラン：直吊り一括架設*</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>1.00</td> <td>：</td> <td>0.90</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>：</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>：</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>：</td> <td>0.50</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">*ピロン・メラン工法を1.0とした場合の必要鋼材重量比較</p>	1.00	：	0.90	1.00	：	0.40	1.00	：	1.30	1.00	：	0.50
1.00	：	0.90												
1.00	：	0.40												
1.00	：	1.30												
1.00	：	0.50												

程短縮が図れるメラン直吊り一括架設工法を採用した。

以下、施工概要を述べる。

(1) メラン直吊り架設

本橋のメラン架設位置は、河川内で地組みすることが不可能であるため、エンドポストから張り渡した主索ケーブル(φ56mm×6×2本)に順次、メラン材をハンガー索で吊り下げながら組み立てる(写真-9)。

メラン材の組立て高さは、最大河川増水時にメラン材が流失しない位置まで低くして、主索ケーブルのサグ量を大きくとることとした。これにより、架設時に必要なアンカー力が低減可能となった。

また、メラン材を低い位置で組み立てることにより、トラッククレーンによる施工が可能となり、ケーブルクレーンによる施工に比べて施工性が飛躍的に向上した。

(2) メラン一括架設

直吊り架設して組み立てたメラン材(W=610tf)をワーゲン先端に設置した8台(2台×4カ所)のロッド式リフトアップジャッキ(吊上げ能力150tf/台)で吊り上げ、コンクリートのアーチリブと閉合する。

一括吊上げ時は、直吊り時の多点支持から両端の2点支持となるため、メラン材の両端からタイドケーブルを張り渡している。これにより、吊上げ時のメラン材は、タイドアーチ構造となる。連結時のメラン材の応力管理も、このタイドケーブルのプレストレスを利用して行った。

メラン材とコンクリート部の連結方法は、図-9に示すように、あらかじめゲルバーヒンジ構造のメラン端部受け部材(W=10tf×2)をコンクリート部先端に仮置きしておき、吊り上げてきたメラン材と添接板で連結する。メラン材の形状および応力を確認した後、メラン端部背面とコンクリート部の間を無収縮モルタルにより間詰めを行う。最後

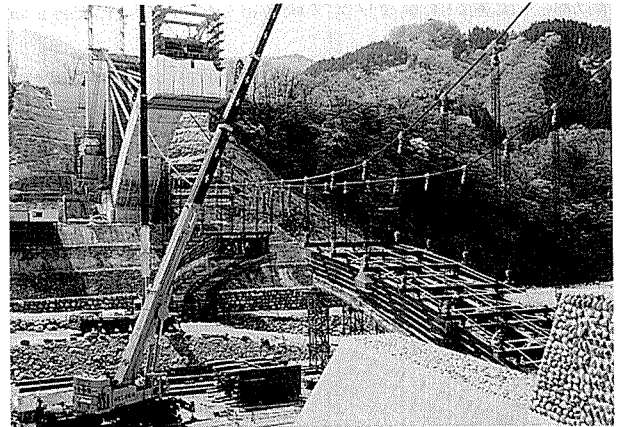


写真-9 メラン直吊り架設状況

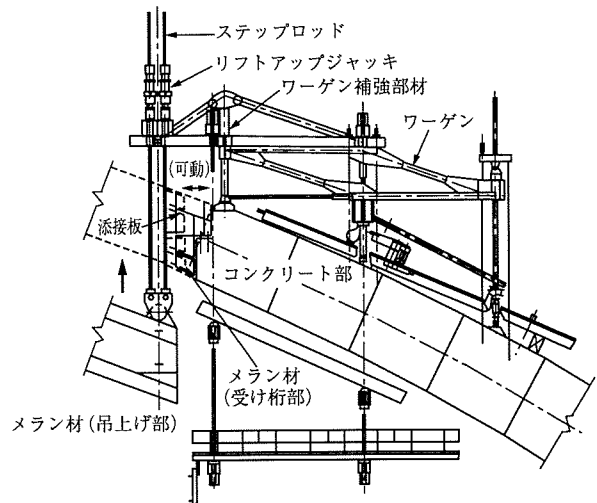


図-9 メラン連結部詳細図

にタイドケーブルを解放することにより、鋼とコンクリートの混合アーチ構造が完成する。

一括吊上げ時の留意点は、次の2点である。

- ① 吊上げ中の強風
- ② 温度変化による部材の伸縮

このため、1年以上にわたり現地で風速を観測し、気圧配置等の気象データとともにデータベースを作成した。吊上げ日については、そのデータをもとに、予想気圧配置の気圧傾度から風速を予測して慎重に決定した。

また、吊上げ時間については、吊上げ高さが43mで、約8時間要することから、温度変化の影響が比較的少ない午前2時から開始することとした(写真-10)。

この結果、吊上げについてはほぼ無風状態で行うことができ、また、温度変化による部材の伸縮もほとんどなく、メラン支間長と吊上げ支間長との誤差はわずか8mm程度であった(写真-11)。

7. おわりに

コンクリートアーチ橋として初めて採用した大口径斜め深礎基礎およびメラン材の新しい架設方法であるメラン直吊り一括架設を中心に設計と施工の概略について述べた。

コンクリートアーチ橋は、完成すると非常に美しい構造形式ではあるが、すべて傾斜がある中での施工となり、常に創意工夫が要求される難易度が高い構造物である。

本橋で採用したアーチ基礎構造とメラン工法の新しい技術は、表層部が比較的軟弱な地盤の斜面においても施工が可能であることから、コンクリートアーチ橋の適用範囲を飛躍的に拡大する技術と言える。

現在、2000年「とやま国体冬季大会」までの完成を目指し、メラン部のコンクリート巻立て施工中であり、施工進捗状況については、極楽橋(仮称)橋梁建設工事ホームページ(<http://www.nsknet.or.jp/~g-bridge/>)で公開中である。

最後に本橋の設計・施工にあたり貴重なご意見・ご指導を賜った「(仮称)極楽橋 技術検討委員会」(委員長: 横浜国立大学 池田尚治教授)の委員の方々をはじめとする関係各位に深く感謝の意を表す次第である。

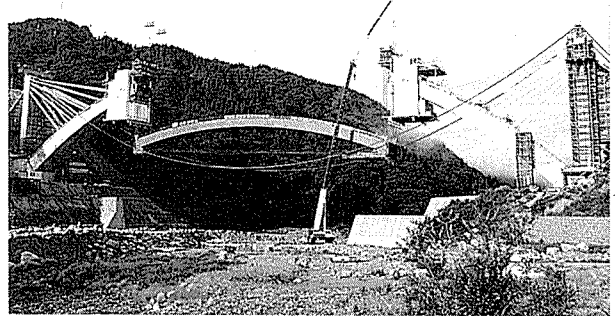


写真-10 メラン一括架設中



写真-11 メラン連結完了

参考文献

- 1) 祖父江: 新開発インクライン設備を採用した大口径NATM斜め深礎の施工, 北陸の建設技術, Vol.71, pp.14~15, 1997.5
- 2) 中野, 祖父江, 高橋, 北田: 大口径斜め深礎杭の3次元FEM掘削解析, 平成9年度地盤工学会年次講演会, pp.1623~1624, 1997.7
- 3) 中野: 極楽橋(仮称)長大アーチ橋の設計と施工, 土木技術, Vol.52, No.9, pp.46~56, 1997.9
- 4) 中野, 祖父江, 黒川, 大久保, 高橋: 大口径斜め深礎杭の設計・施工, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.7, pp.261~266, 1997.11
- 5) 中野, 大磯, 中村, 北田, 黒川: 大口径斜め深礎基礎の設計・施工—極楽橋(仮称)—, 土木施工, Vol.39, No.3, pp.66~72, 1998.3

【1998年7月14日受付】