頭島大橋（仮称）の設計と施工

岡山県開発公社 建設部　　杉田　興平
㈱長大 大阪支社構造事業部　正会員　山脇　正史
住友建設㈱・アイサワ工業㈱共同企業体　荒巻　武文
住友建設㈱ 土木本部ＰＣ設計部　正会員　○中村　收志
同　上　正会員　保明　淳二

1．はじめに

頭島大橋は、瀬戸内海に位置する岡山県和気郡日生町の頭島～鹿久居島を結ぶアーチ支間 218.0m のアーチ橋である。本土に最も近い鹿久居島と自然環境に恵まれた頭島とを結ぶ町道日生頭島線改良工事の一環として、平成 12 年度から工事に着手している。

本橋の特徴は、架橋地点の立地条件から、アーチライズ比 1/8 と長大アーチ橋としては非常に扁平なアーチ構造となっており、軽量化を図るため、上部桁を鋼少数主桁とした複合構造およびアーチリブに高強度コンクリート（$\sigma ck=50N/mm^2$）を使用している。同種の橋梁としては、フランスのシャトーブリアン橋や第二東名の富士川橋がある。

また、本橋の架設工法については、早期のアーチリブ閉合を図るため、中央部の 60%を鋼製の補強材で連結するメラン併用の斜吊り張出し工法を採用し、メラン材は海洋架橋という現場条件を生かしてフローティングクレーン船による一括架設を計画している。

本稿では、本橋の設計・施工についての概要と特に架設工法について本橋で採用しているメラン併用斜吊り張出し工法の新しい試みについて報告する。

2．工事概要

本橋の工事概要を以下に示す。また、写真-1 に頭島大橋全景（イメージ図）、図-1、図-2 に一般図を示す。

路 線 名：町道日生頭島線　　道路規格：第 3 種第 4 級
設計速度：40km/h　　活 荷 重：A活荷重
構造形式：【上部工】複合アーチ橋　【下部工】直接基礎
橋　　長：300.000 m（アーチ支間 218.000 m）
幅　　員：有効幅員 6.500 m
架設工法：メラン併用斜吊り張出し工法

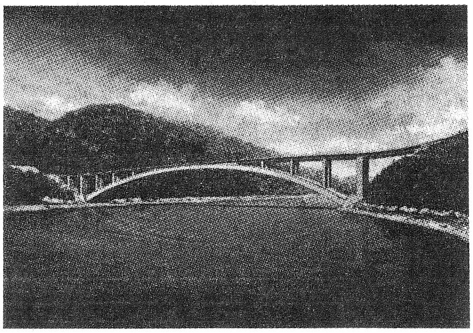


写真-1　頭島大橋（イメージ図）

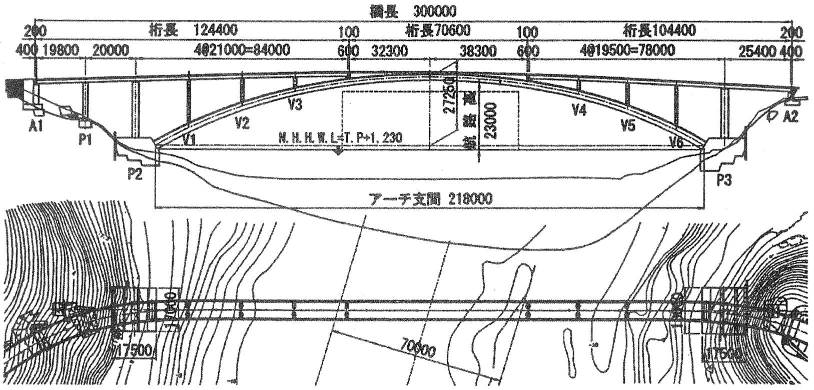


図-1 一般図（側面図・平面図）

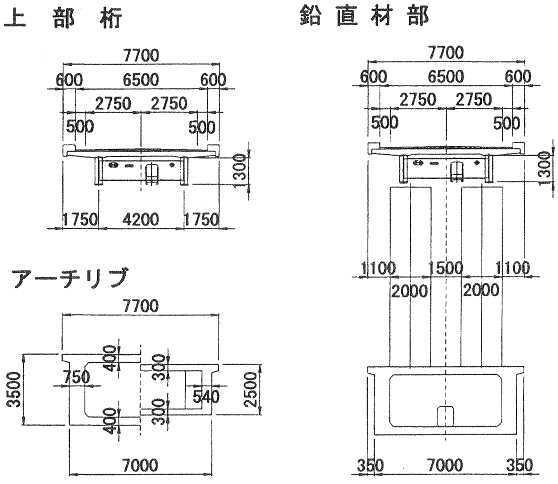


図-2　一般図（断面図）

施工要領図を図-3 に示す。

両岸よりエンドポストを利用して斜吊り材を併用しながらブロック長 4.5m のアーチ架設用移動作業車による張出し施工を 9 ブロック架設する。

アーチ中央部をフローティングクレーン船によるメラン材の一括架設により閉合後、コンクリートの巻立て施工により、アーチリブを完成させる。

その後、鉛直材を施工後、上部桁を架設する。

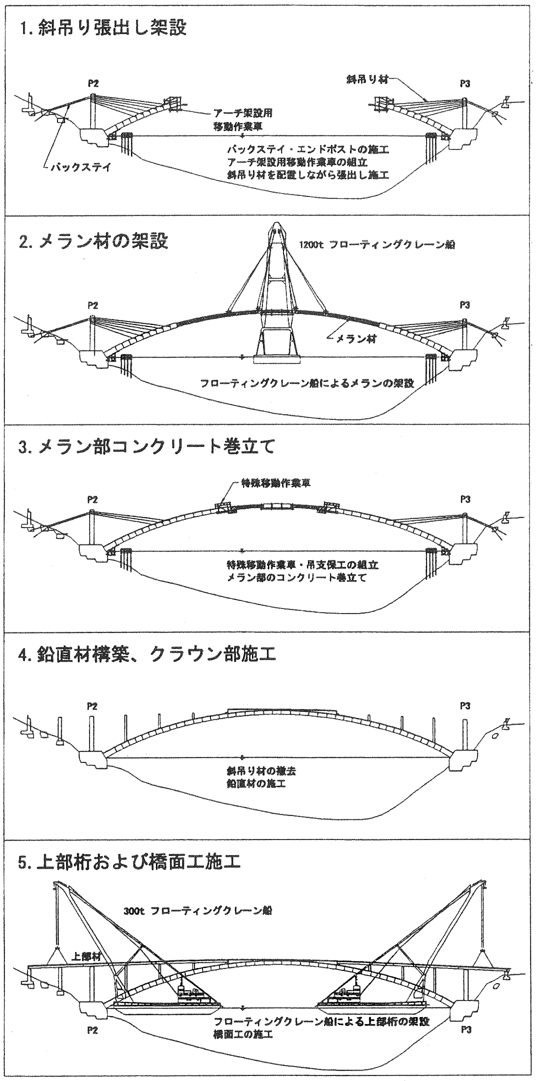


図-3　施工要領図

３．設計概要

3.1　構造検討

1)　上部桁構造

コンクリートアーチ橋の上部桁構造は、アーチリブ上に支保工等を構築して施工する PC 中空床版橋が主流である。

本橋では、自重軽量化と架設性能の向上を目的に上部桁構造を鋼少数主桁とした複合構造を採用した。

本構造の特徴は、次のとおりである。

①上部桁の死荷重反力の減少により、アーチリブ部材寸法の縮小化が可能。

②フローティングクレーン船による鋼桁の一括架設により、上部桁の工期短縮が可能。

③支保工架設などの高所作業が減少するため、安全性が向上。

また、鋼製上部桁の維持管理対策として、新たに開発された亜鉛アルミ溶射等を施し、ライフサイクルコストの縮減を図っている。

2)　アーチリブ使用材料の強度特性

本橋は、アーチ支間 218m と国内最大規模のコンクリートアーチ橋であるとともに立地条件からアーチライズ比が 1/8 と非常に扁平なアーチ構造となっている。このことから、アーチリブに高強度コンクリート（$\sigma ck = 50N/mm^2$）を使用することは、アーチリブの自重軽減を図り、経済性および耐震性能に大きく寄与し、かつ景観性に優れる構造とすることができる。

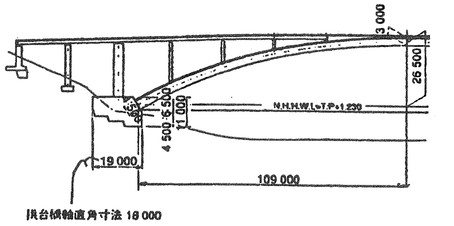
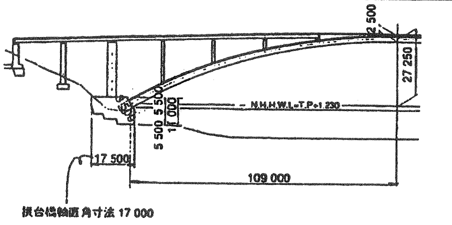
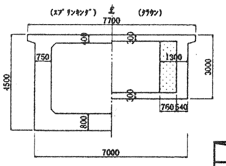
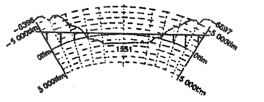
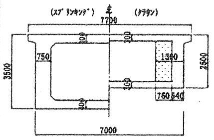
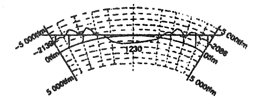
高強度コンクリートを使用した主な効果は、次のとおりである。

①スプリンギング部（4.5m→3.5m）、クラウン部（3.0m→2.5m）の桁高が縮小。

②コンクリート体積が減少（アーチリブ→27%、アーチアバット→13%程度減少）。

③アーチリブのコンクリート体積減少により、架設材が減少（グラウンドアンカーおよび斜吊り材）。

図-4 に従来強度との比較表を示す。

	アーチリブを従来強度　（σck=40N/mm²）	アーチリブを高強度（σck=50N/mm²）
概要図		
断面力・曲げ応力度	＜アーチリブ断面図＞  ＜アーチリブ全死荷重時曲げモーメント図＞ 	＜アーチリブ断面図＞  ＜アーチリブ全死荷重時曲げモーメント図＞ 

従来強度：＜曲げ応力度＞ (N/mm²)

		スプリンギング	クラウン
全死荷重時	σo	3.6	11.7
	σu	11.7	7.2

許容曲げ圧縮応力度 σca≦13N/mm²

高強度：＜曲げ応力度＞ (N/mm²)

		スプリンギング	クラウン
全死荷重時	σo	8.4	14.1
	σu	12.9	8.9

許容曲げ圧縮応力度 σca≦16N/mm²

図-4　アーチリブ使用材料の強度特性の比較 [1)]

3.2　架設時の検討

1)　架設工法の選定

長大アーチ橋におけるアーチリブの架設は、アーチ閉合までに生じる水平力をいかに低減するかが大きな課題となる。架設工法の選定については、立地条件および構造性、安全性、経済性、実績等からメラン工法を使用することとした。

本橋の立地および架設条件は、次のとおりである。

①瀬戸内海の海上に架設されるため、仮支柱や支保工設置が不可能。

②台風など風の影響を受けやすいため、早期のアーチ閉合が必要。

③海洋架橋の利点を生かしてフローティングクレーン船によるメラン材の一括架設が可能。

これらの条件より本橋の架設は、メラン工法併用の斜吊り張出し架設工法を選定した。

また、メラン材の配置区間については、斜吊り張出し施工に要する架設工費（架設アバットおよびグラウンドアンカーの架設材を含む）とメラン材の架設工費（メラン材製作費および運搬・架設工費）との経済性により決定される。本橋は、海洋架橋の利点を生かしてメラン材の一括架設が比較的容易であるため、メラン材配置区間（メラン長 130.4m）が張出し区間より長くなっているのが特徴である。

2)　斜吊り張出し工法

ＰＣ斜張橋やＲＣアーチ橋に使用される斜吊り張出し工法は、斜材が移動作業車や推進装置と干渉するため、２～３ブロック施工して移動作業車を前進させてから斜材を架設、緊張する例が多い。

したがって、ＲＣアーチ橋であっても張出し架設時用のＰＣ鋼材がアーチリブ内に多数必要となる。

本橋では、合理的なアーチ橋の架設工法を確立するため、斜材と干渉しないよう移動作業車を改良し、全ブロック斜吊り材を架設・緊張しながら張出し架設する分散配置方式を採用した。

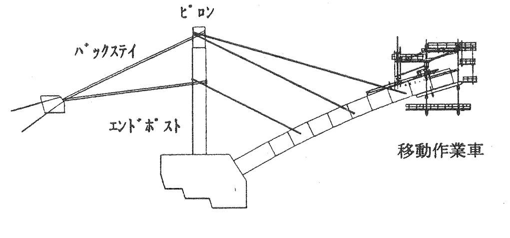
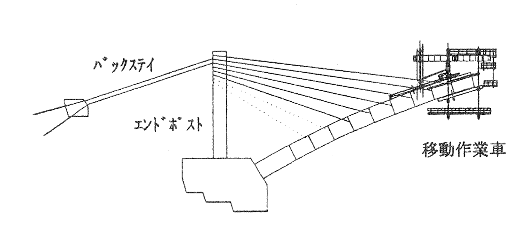
その理由は、以下に示すとおりである。

①張出し架設時に必要となるアーチリブ桁内ＰＣ鋼材が大幅に低減可能。
②全ブロックに斜材を配置するため、容量の小さい外ケーブルシステムで施工が可能。
③斜材本数が多段となるため、最適な架設時張力の設定によりアーチリブの応力改善が可能。
④アーチリブの応力改善が可能となることで、エンドポスト上の架設用ピロンが不要。

新しい斜吊り張出し方式の採用により、ピロン、斜吊り材、桁内鋼材の架設材数量は、従来の斜吊り材を集中配置していた工法と比較して約２分の１となった。

表-1 に従来の斜吊り材を集中配置方式と本橋で採用している全ブロック斜吊り材を配置した分散配置方式との比較表を示す。

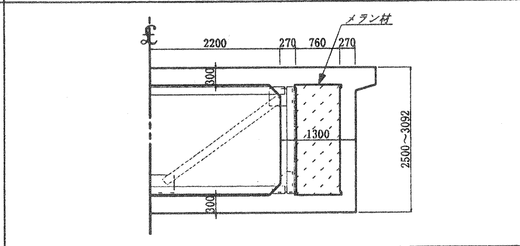
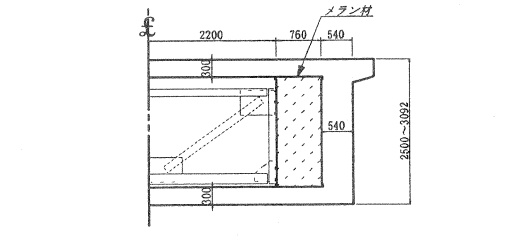
表-1　斜吊り張出し工法による斜吊り材の配置比較

	集中配置方式	分散配置方式
概念図		
特徴	①斜吊り材を2～3ブロック毎に集中配置。 ②2～3ブロック、移動作業車を前方に移動してから斜吊り材を架設緊張。	①斜吊り材を全ブロックに分散配置。 ②斜吊り材を毎ブロック架設・緊張しながら張出し施工を行う。
長所	①既存の移動作業車で対応が可能。 ②斜吊り材を集中して、架設が可能。 ③施工実績が多い。	①張出し架設時の桁内鋼材が大幅に激減する。 ②斜材本数が多段となるため、最適な架設時張力の設定によりアーチリブの応力改善が可能。 ③定着横桁およびエンドポスト上の架設用ピロンが不要。
短所	①張出し架設時の桁内鋼材が多数必要（完成時不要）。 ②張出し架設時の応力改善の為に、ピロンが必要となることが多い。	①斜吊り材と移動作業車が干渉しないように、移動作業車の改造が必要。 ②毎ブロック、箱桁内に斜材定着突起が必要。

3)　メラン工法

本橋は、早期のアーチ閉合を行うため、アーチ支間 **218.0m** に対してメラン配置区間が **130.4m** となり、その形式もメラン延長の規模から箱桁構造を採用している。メラン工法ではアーチ構造完成後、コンクリート巻立てを行うが、メラン材の構造を考慮して施工の合理化に対する検討を行った。これまでのメラン工法においては、メラン材をコンクリートのウェブ内部に配置しているが、本橋では、表-2 の比較表に示すように内型枠として兼用できるようウェブの外部に配置した。

表-2　メラン材配置位置の比較

	従来工法	新工法
概念図		
特徴	①メラン材は、全てコンクリート内部に埋込まれる構造。 ②横構および対傾構は、各ブロックの施工前に撤去。	①メラン材をコンクリート打設時の型枠として兼用させる。 ②横構および対傾構は、架設中も撤去しない。 ③メラン材の防錆は、工場製作時に処理する。
長所	①メラン材をコンクリートで完全に巻立てる構造のため、施工完了後の防錆処理が不要。	①横構および対傾構を撤去せずにコンクリートを打設できるため、架設中の主桁ねじり剛性が確保できる。 ②コンクリートウエブをメラン材の外側に配置するため、面外方向の剛性およびねじり剛性が向上する。 ③コンクリート打設の施工性、充填性が良い。 ④メラン材を内型枠代わりとして使用するため、内型枠の省略が可能。
短所	①横構および対傾構を各ブロックの施工前に撤去するため、打設中の主桁ねじり剛性の低下が懸念される。 ②コンクリートの充填性・施工性が悪い。 ③ウェブの内型枠が必要となる。	①メラン材の防錆処理（箱桁内側）が必要となる。

メラン材をウェブの外部に配置したことによる効果は、次のとおりである。

①コンクリートウェブをメラン形状に左右されることなく構造上、必要な厚さに縮小可能。

②コンクリートウェブの面外方向の剛性およびねじり剛性が向上。

③横構および対傾構を撤去せずにコンクリートが打設可能（架設中の主桁ねじり剛性確保）。

④ウェブの内型枠が不要となり、作業の単純化・施工の効率化が図れる。

⑤メラン材に影響されることなく鉄筋配置、コンクリート打設が可能（施工性の向上）。

なお、架設時の設計においては、コンクリートの巻立て施工が完了した区間は、コンクリートのみの剛性として応力計算を行っている。したがって、コンクリート打設時のメラン材からコンクリート箱桁部への応力伝達状況は、3次元FEM解析を用いて照査を行った。

メラン材の配置位置の違いによる応力伝達の比較を**図-5**に示す。

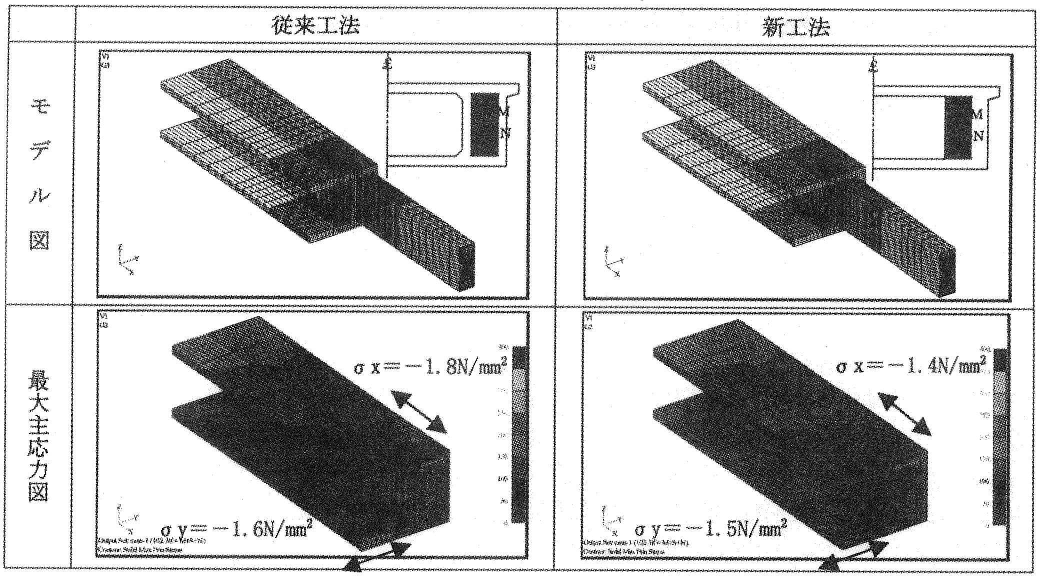


図-5　応力伝達の比較

新工法の場合、コンクリートの接触面が4面から3面へと減少するが、応力伝達距離は4面拘束された場合とほぼ同様であり、小口近傍に発生する応力はウェブ剛性の高い新工法の方が低減されることが解った。

4．施工概要

4.1　アーチアバットの施工

アーチアバットの掘削に伴い、鋼管矢板締切り工を施工した。鋼管矢板は**φ600mm**とし、硬岩対応のダウンザホールハンマによる先行削孔後、バイブロハンマにより建込みを行った。

なお、鋼管矢板は、海中に施工されるコンクリート構造の保護を目的とし、潮流によるアーチアバットの洗掘対策にも有効となるため、矢板頭部に化粧コンクリートを施し残置する予定である。

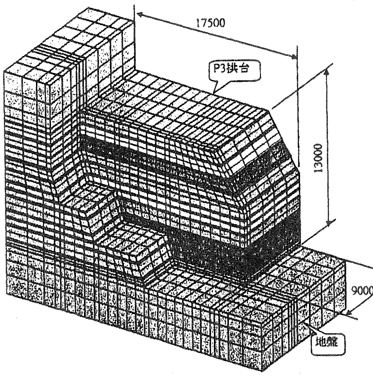


図-6　アーチアバット温度応力解析モデル

アーチアバットは、マスコンクリート構造となるため、本橋のような海洋環境下で構築される場合、セメントの水和反応に起因する温度ひび割れ対策は重要課題となる。

したがって、施工条件等を再現した3次元FEM解析によりコンクリートの温度上昇量および発生応力を

算出してリフト高さを決定した。基本的な温度対策としては、低熱ポルトランドセメントによる発生温度の低減と発生応力の高い箇所へはひび割れ制御鉄筋を配置した。

アーチアバットの温度応力解析モデルを**図-6** に示す。

4.2　斜吊り張出し架設

アーチリブの施工は、スプリンギング部 8.0m を接地式支保工により構築した後、アーチ架設用に改造された移動作業車を組み立てる。その後、スプリンギング部から９ブロックを斜吊り張出し架設により施工する。張出し架設時は、各ブロック毎に斜吊り材であるフォアステイ・ケーブルを緊張しながら移動作業車を前進させて施工する。

従来、仮設の斜吊り材には温度変化による張力変動を抑制するため、白色の保護カバー等を使用する例が多いが、本橋は施工性を考慮した温度対策として亜鉛メッキ処理したPC 鋼より線を使用する予定である。

また、資機材の搬入は離島であるため、すべて海上輸送となり、張出し先端部へはケーブルクレーンにより運搬する。

4.3　メラン材架設

工場製作したメラン材は、台船にて架橋地点まで曳航する。そして、**図-7** に示したように架橋地点で **1200t** フローティングクレーン船を使用してメラン材を一括架設してアーチリブと閉合させる。

アーチ閉合した後、メラン上にコンクリート巻立て用の特殊移動作業車を設置してコンクリート施工を再開する。メラン巻立て部は、最初の６ブロックを張出し施工側より開始し、その後、メラン材に発生する応力を低減するため、アーチクラウン部を吊り支保工により施工を行う。最後に残り４ブロックを施工してアーチリブが完成する。

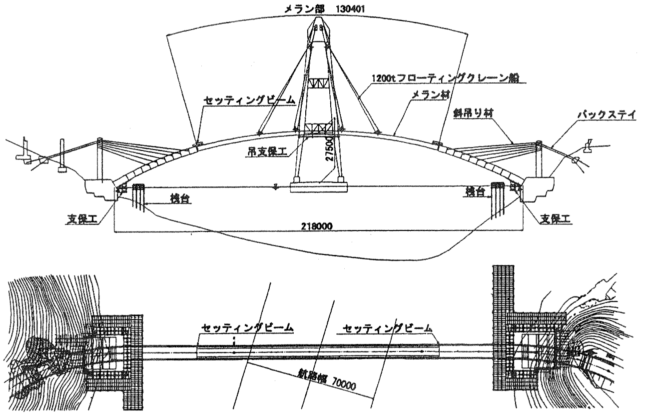


図-7　メラン材架設状況図

4.4　上部桁の施工

海洋架橋特性を生かし、300t フローティングクレーン船により一括架設する。PC 床版の鉄筋は、エポキシ樹脂塗装されたものを使用する。

５．おわりに

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。頭島大橋（仮称）は、鋼少数主桁とコンクリートアーチ構造を組み合わせた複合構造のアーチ橋であり、その架設においてもいくつかの新しい試みを実施している。

平成 13 年７月現在、Ｐ２，Ｐ３アーチアバットの施工を行っており、平成 14 年７月にメラン材の一括架設によりアーチ閉合を行い、平成 16 年度には完成する予定である。

最後に、本橋の計画に際し貴重なご意見、ご指導を賜った「頭島大橋形式検討委員会」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。

<参考文献>

１）水島・杉田・渕本・山脇：複合アーチ橋 頭島大橋の計画と設計、橋梁と基礎、vol.34、NO.10、2001