

おくびがわばし
沖縄自動車道 億首川橋床版補修工事
劣化したRC中空床版橋のリニューアル

架替え前



Scrap & Build
Design & Build



架替え後

発注
設計・施工



西日本高速道路株式会社 九州支社

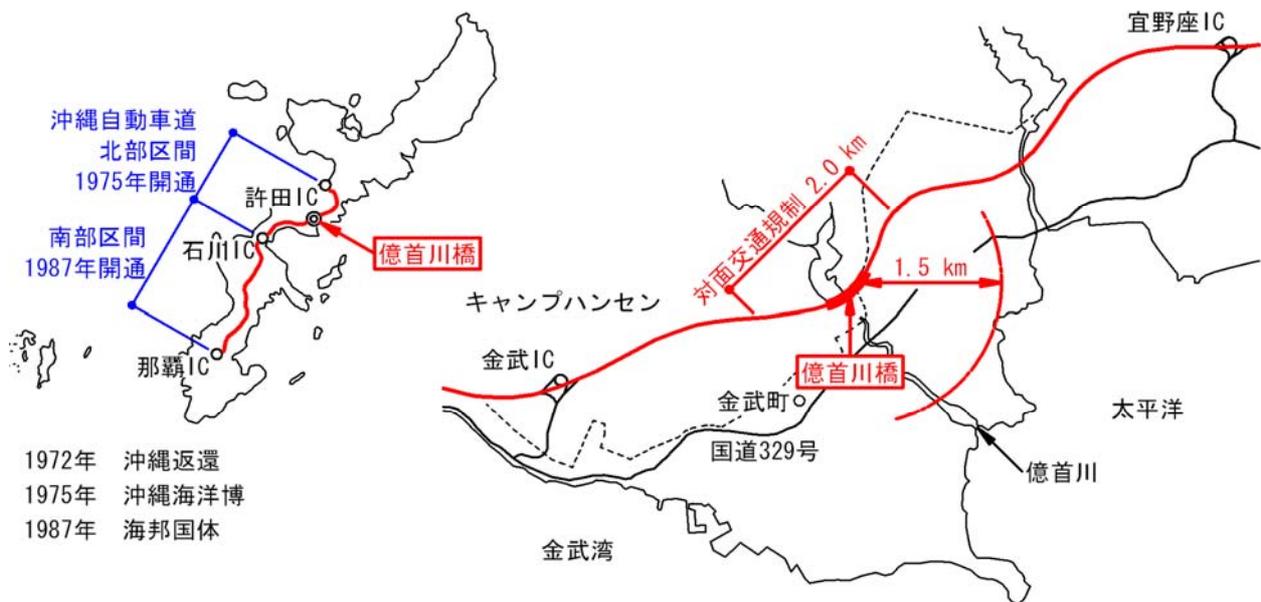


オリエンタル白石株式会社

1. 概要

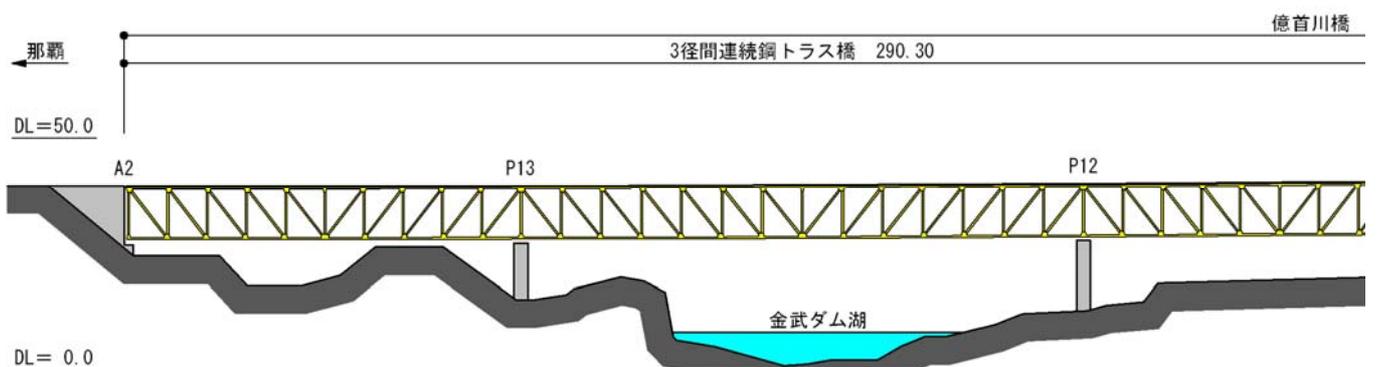
億首川橋は、沖縄自動車道の北部区間、金武 IC と宜野座 IC 間に位置し、3 径間連続鋼トラス橋、6 径間連続 RC 中空床版橋、2 径間連続鋼桁橋および 3 径間連続 RC 中空床版橋で構成されています。本橋は、沖縄海洋博覧会の関連事業として 1975 年に竣工していますが、初期内在塩分による塩害などにより、竣工後約 10 年で鋼トラス橋や鋼桁橋の RC 床版および RC 中空床版橋の劣化が顕著になっております。

そこで、6 径間連続 RC 中空床版橋および 3 径間連続 RC 中空床版橋については、過去の補修方法の寿命と費用対効果等から LCC を検討した結果、抜本的な補修対策として全面架替え工事（リニューアル工事）を実施するに至りました。



- 1972年 沖縄返還
- 1975年 沖縄海洋博
- 1987年 海邦国体

【沖縄自動車道と億首川橋の位置】

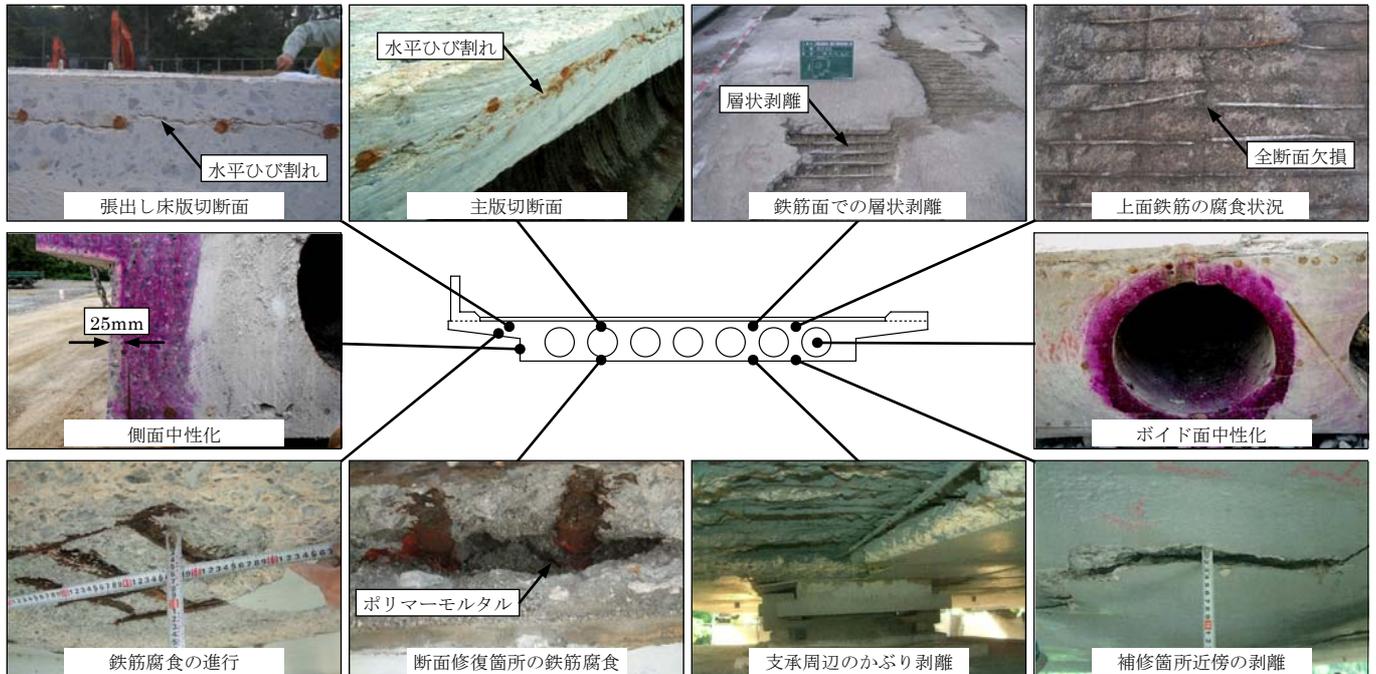


【億首川橋一般図】

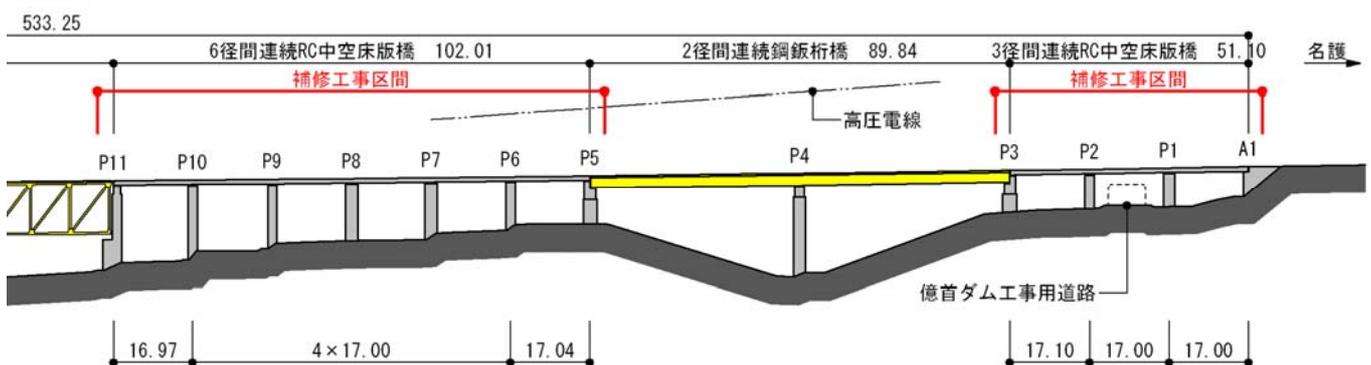
2. 劣化状況

沖縄自動車道の北部区間のコンクリート構造物には、建設当時の慢性的な水不足により海砂を十分に脱塩しないまま細骨材として使用したことで、高濃度の初期内在塩分が含まれたものもあります。

億首川橋のRC中空床版橋では、鉄筋に断面欠損を伴う全体的な腐食が生じており、中には破断している鉄筋もありました。また、コア調査では塩化物イオン濃度が 3.3 kg/m^3 という箇所もあります。さらに、中性化深さは最大で 30 mm まで達しており、1軸圧縮強度は 17 N/mm^2 まで低下している箇所もありました。なお、細骨材の大半はサンゴ砂であり、アルカリ骨材反応の可能性はありませんでした。



【RC中空床版橋の劣化状況】

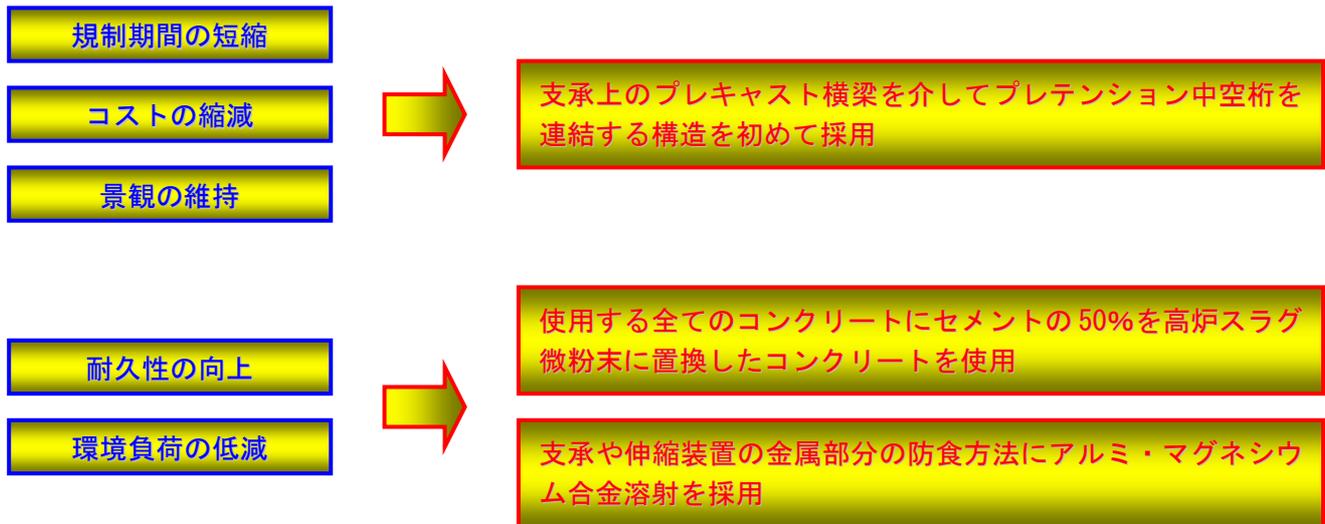


と補修工事区間】

3. 工事の特徴

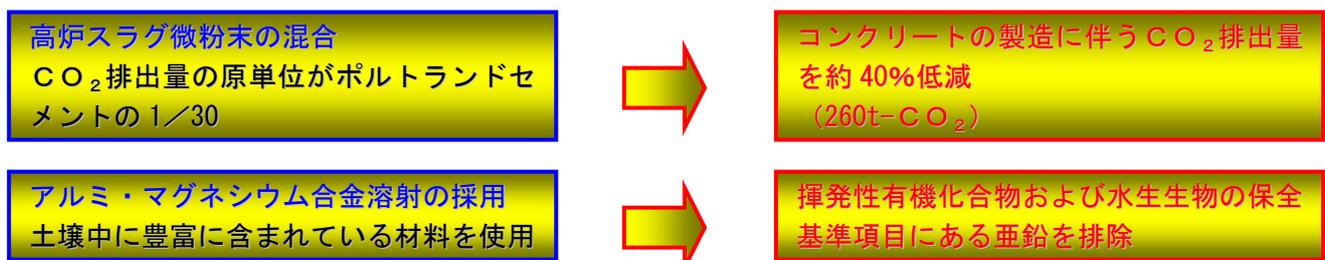
本工事は、**高速道路本線のコンクリート橋では、初の本格的な架替え工事**です。また、工事では、**一方のラインを対面交通規制で供用し、もう一方のラインを架替えます**。そこで、入札時に構造形式や施工方法等の提案を求める「高度技術提案型総合評価落札方式」、および、技術提案に基づいて設計・施工を行う「設計・施工一括発注方式」の試行工事となっています。

本工事では、①工期は最長 900 日間とする、②**年末年始、ゴールデンウィーク混雑期および夏期混雑期は車線規制を不可**とする、などの要求条件があります。これに対して、本工事の主要な特徴には、以下のようなものがあります。



【リニューアル工事の特徴】

4. 環境負荷の低減



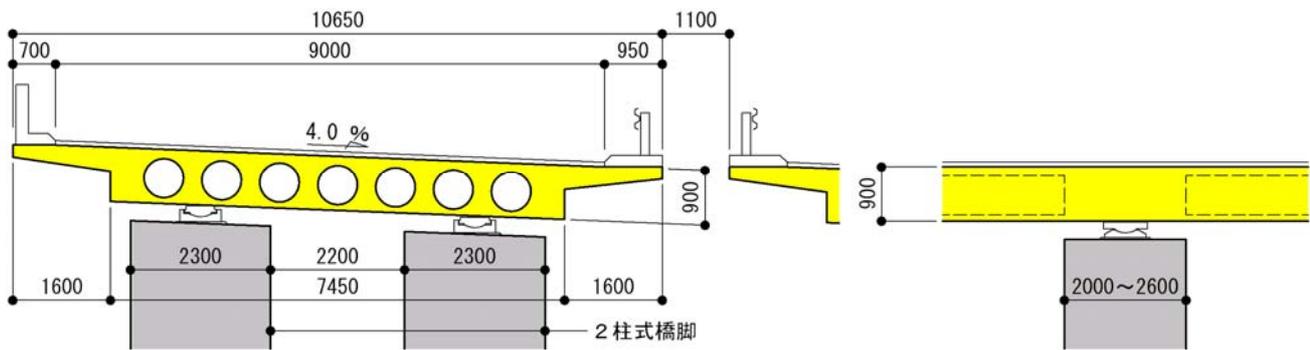
【億首川河口のマングローブ林】

5. 構造概要

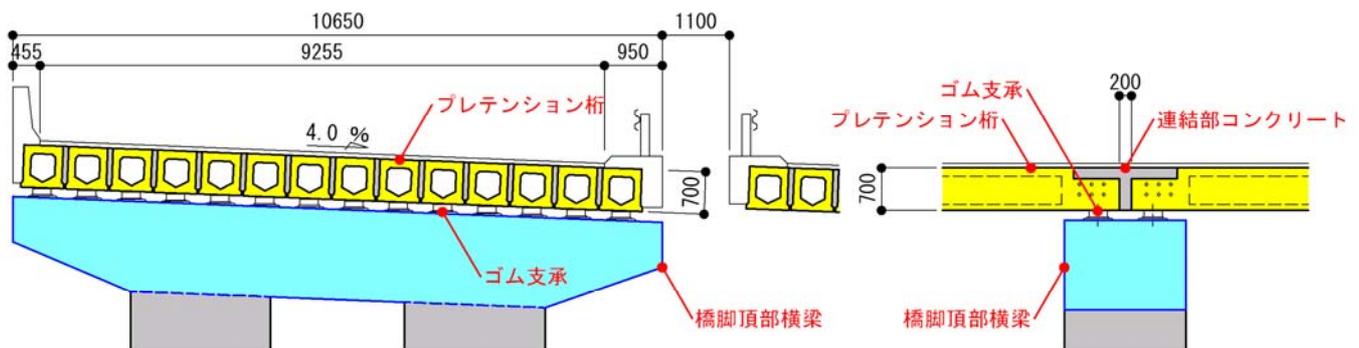
5.1 工期短縮およびコスト削減を図った連結構造

本工事は、支承上のプレキャスト横梁を介してプレテンション中空桁を連結する構造を採用しております。この構造は、一般的なプレテンション中空桁のRC連結構造に比べて、以下の長所を有しております。

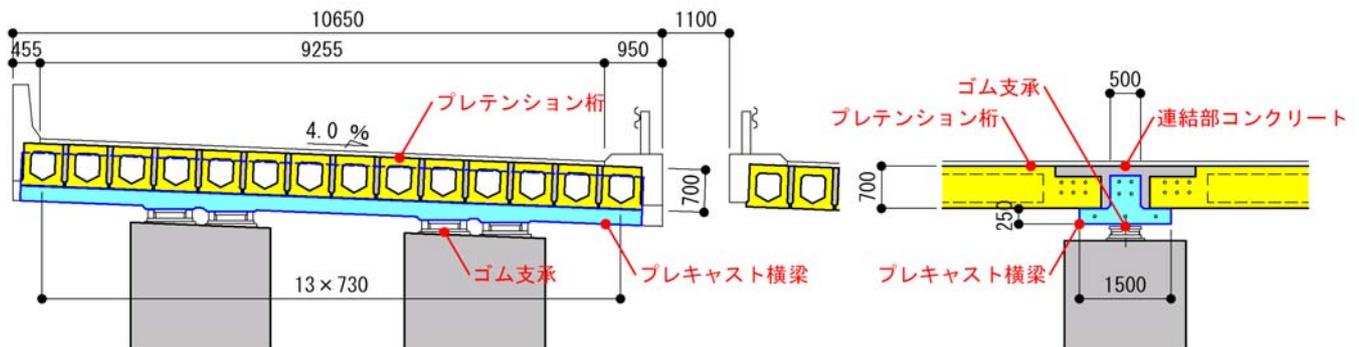
- 橋脚頂部横梁の施工が不要であることから、対面交通規制期間を短縮できる。
- 支承数（桁本数の2倍）が大幅に少なくなることから、コストを削減できる。
- 橋脚頂部横梁が無いことから、シンプルな2柱式橋脚の意匠を損なわない。



架替えを行うRC中空床版橋



一般的なプレテンション桁のRC連結構造



本工事で採用したプレテンション桁のRC連結構造

【本工事で採用した構造形式の特徴】

【連結方式のコスト比較】

	一般的なRC連結方式	億首川橋のRC連結方式
支承工	1.00	0.56
横梁製作工, 横梁架設工	—	0.26
連結工	0.13	0.15
橋脚改造工	0.66	0.21
合計	1.79	1.18

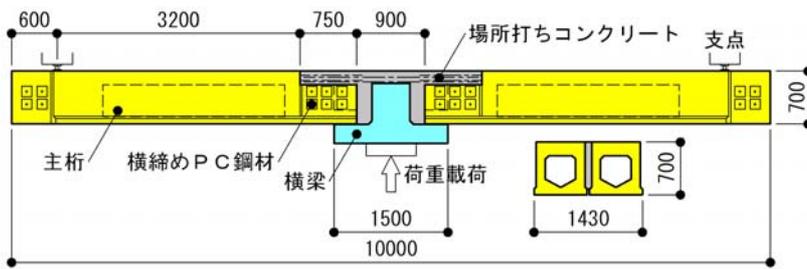
5.2 確認実験

本工事では、国内において実績の無い主桁の連結構造を採用していることから、設計荷重に対するひび割れ性状、終局耐力および破壊性状の確認と設計手法の妥当性の検証のため、**実物大部分模型を用いた連結部の載荷実験**を行っています。

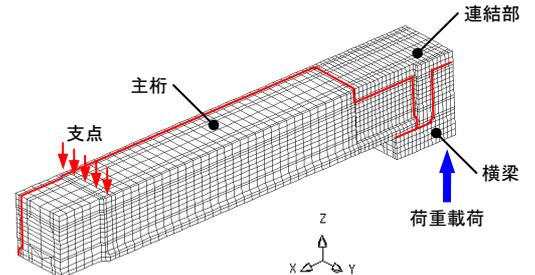
実験の結果、**設計荷重作用時のひび割れ幅は計算上のひび割れ幅より小さく、また、終局耐力も計算値に比べて 25 %程度大きいことが確認されました。**さらに、載荷実験をシミュレーションした非線形 FEM 解析でも、ほぼ一致した結果が得られております。



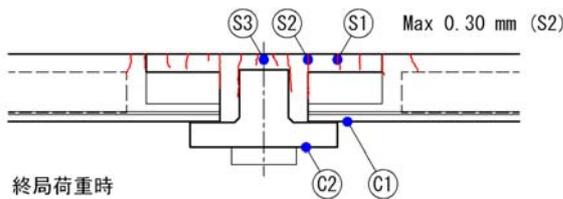
【確認実験の状況】



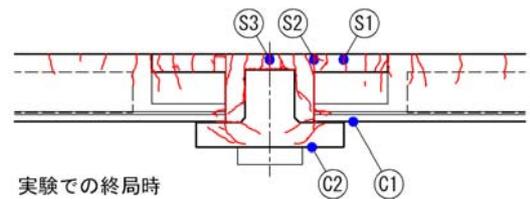
【確認実験の諸元】



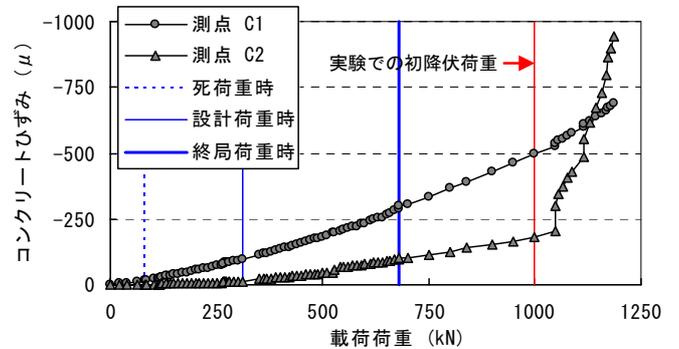
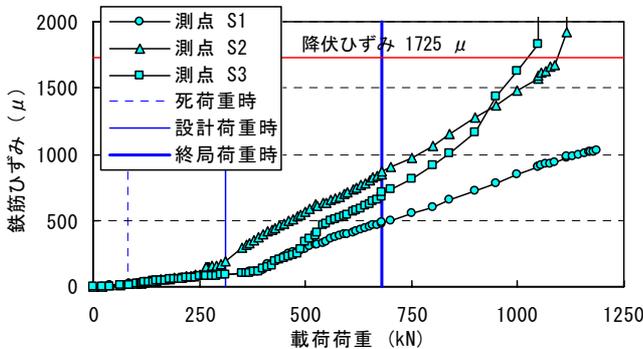
【非線形 FEM 解析モデル】



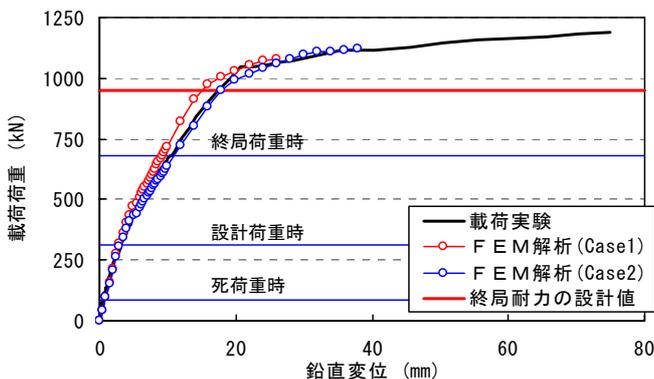
終局荷重時



実験での終局時



【ひび割れ状況と荷重-ひずみ関係】



【荷重-変位関係】

【設計値と実験値との比較】

	計算値	実験値	比率
ひび割れ発生荷重 (kN)	112	240	2.14
連結鉄筋初降伏荷重 (kN)	841	1000	1.19
終局耐力 (kN)	948	1186	1.25
死荷重時引張応力度 (N/mm ²)	1.35	0.72	0.53
設計荷重時ひび割れ幅 (mm)	0.13	0.06	0.46

6. 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート

リニューアルする上部構造は、設計耐用年数 100 年に対して予防保全を基本とした維持管理が行えるように配慮しております。コンクリート本体については、工場製作するプレテンション中空桁やプレキャスト横梁に使用するコンクリートのみならず、場所打ち部に使用するコンクリートについても、セメントの 50%を高炉スラグ微粉末 6000 に置換しております。これにより、塩化物イオンの浸透とアルカリ骨材反応を大幅に抑制しております。



【高炉スラグ微粉末6000】

6.1 コンクリートの配合

中空桁および横梁に使用するコンクリートは、工場での製作工程から、材齢 15 時間で緊張強度 40N/mm² を確保できる水結合材比を設定しております。また、地覆・壁高欄に使用するコンクリートは、中性化に対する耐久性を確保するため、有効水結合材比が 50%以下となるように水結合材比を設定しております。

【主要部位のコンクリートの配合】

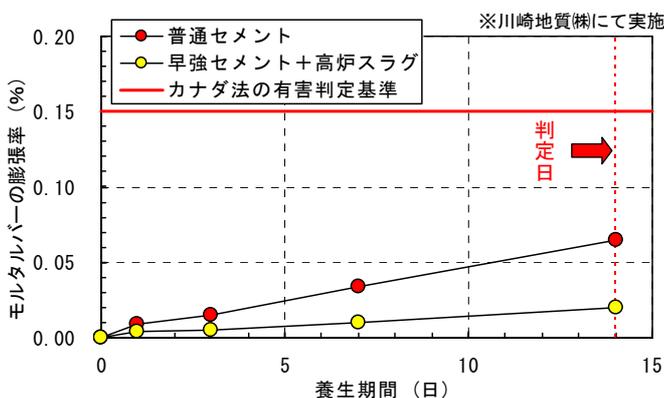
部位	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				セメント	スラグ	水	粗骨材	細骨材	膨張材
中空桁・横梁	60	12.0	31.9	235	235	150	1094	778	0
連結部・鋼橋床版	40	18.0	38.9	193	193	158	808	961	20
地覆・壁高欄	36	12.0	42.3	173	173	155	975	837	20

6.2 アルカリ骨材反応の抑制

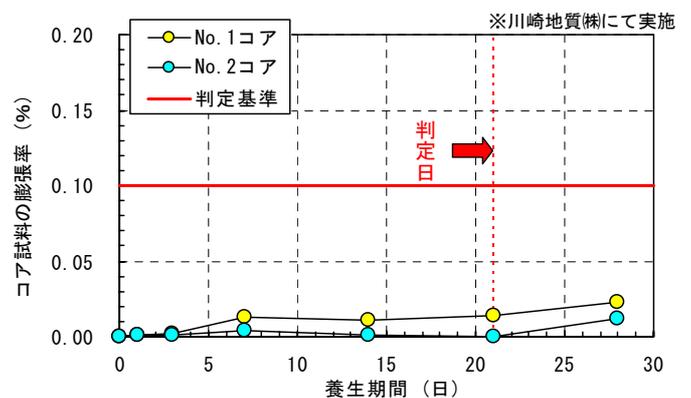
高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、アルカリ量の希釈効果に加えて、細孔溶液中から水酸化アルカリが除去されること、水分やアルカリイオンの移動速度が低減されることなどにより、アルカリ骨材反応を大幅に抑制することができます。

本橋の中空桁および横梁のコンクリートに使用する骨材（緑色片岩 76%+砂泥質片岩 24%）に対するカナダ法による促進モルタルバー試験においても、高炉スラグ微粉末を混合した場合の膨張率はセメント単味の場合に比べて 1/3 以下であり、高炉スラグ微粉末混合によるアルカリ骨材反応の抑制効果を確認しております。

なお、中空桁および横梁の実配合・実養生で製造されたコンクリートのコア試料に対するカナダ法に準じた促進試験においても、アルカリ骨材反応に対して無害と判定されています。



【カナダ法促進モルタルバー法試験結果】



【コンクリートコア試料のカナダ法促進試験結果】

6.3 塩化物イオンの浸透抑制

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、表層部が緻密化することに加えて、吸着塩分量を増加させる範囲の細孔容積が多いことなどにより、塩化物イオンの浸透を大幅に抑制することができます。

億首川橋で使用したコンクリートに対しては、**実配合の供試体を用いて電気泳動法により塩化物イオンの実効拡散係数を測定し、見掛けの拡散係数を算出**しました。これより得られた見掛けの拡散係数は、道路橋示方書で想定している水結合材比に対する見掛けの拡散係数に比べて、1/5程度の値となっています。

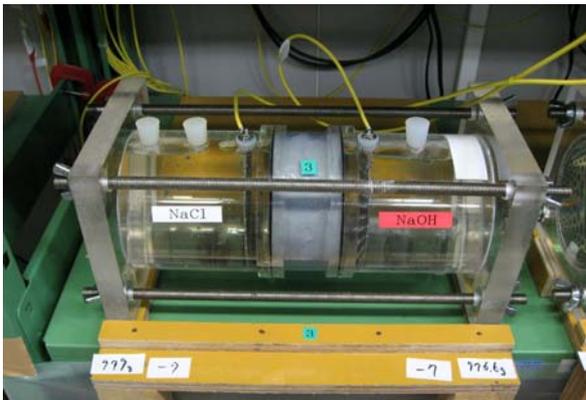
高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートを使用した場合、中空桁および横梁の鉄筋表面（かぶり 35mm）位置での塩化物イオン濃度は、**沖縄県太平洋側での 1km 換算飛来塩分量の平均値 + 2σ（非超過確率 97.7%）から算出したコンクリート表面の塩化物イオン濃度を用いた場合でも、設計耐用年数 100 年以内に鋼材腐食発生限界の 1.2kg/m³ を超過しないと予測**されます。また、地覆・壁高欄の鉄筋表面（かぶり 70mm）位置での塩化物イオン濃度は、**セメント単味配合のコンクリート + エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した場合と同程度の値**となります。さらに、これらを併用した億首川橋の仕様は、塩化物イオンに対する耐久性が大幅に向上すると予測されます。

【沖縄県での飛来塩分量とコンクリート表面における塩化物イオン濃度】

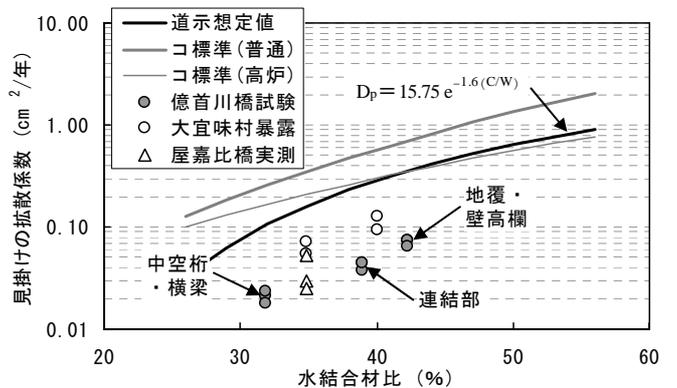
観測点	1 km 換算飛来塩分量 (mdd)		2.5 km 相当地点の表面塩化物イオン濃度 (kg/m ³)		
	平均値	σ	平均値 (P=50.0%)	平均値 + σ (P=84.1%)	平均値 + 2σ (P=97.7%)
太平洋側	0.270	0.778	0.57	1.17	2.39 (照査値)
東シナ海側	0.186	0.712	0.49	0.95	1.82
沖縄県全体	0.235	0.759	0.54	1.09	2.18

※飛来塩分量は、土木研究所資料：飛来塩分量全国調査より設定。

※海岸からの相当距離 2.5 km は、水平距離 1.5 km、高度 40 m からコンクリート標準示方書に準拠して設定。

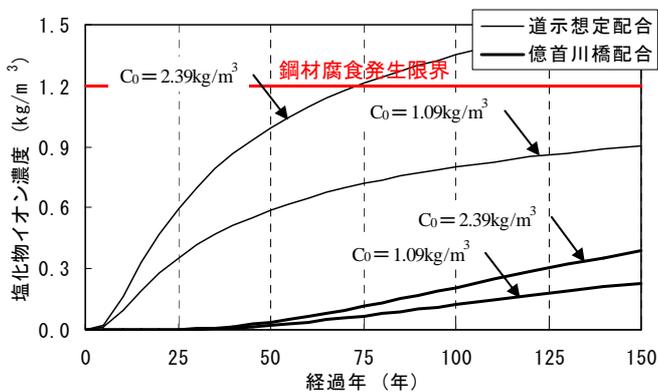


(1) 電気泳動法試験

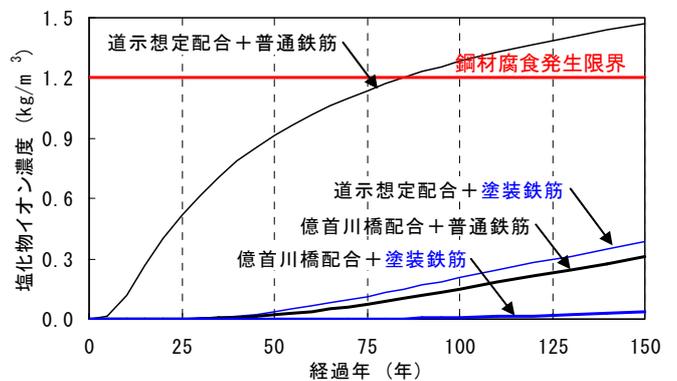


(2) 見掛けの塩化物イオン拡散係数

【電気泳動法による塩化物イオン拡散係数の測定】



(1) 中空桁、横梁



(2) 地覆・壁高欄 (C₀=2.39kg/m³)

【鉄筋表面位置の塩化物イオン濃度の変化予測】

7. アルミ・マグネシウム合金溶射による防食

リニューアルする上部構造は、コンクリート構造本体以外にも、**設計耐用年数 100 年に対して予防保全を基本とした維持管理**が行えるように配慮しております。ゴム支承の金属部分や落橋防止構造、伸縮装置の防食方法については、アルミニウム（95%）・マグネシウム（5%）合金の金属溶射を採用することで、防食被膜の耐久性を向上させております。

7.1 アルミ・マグネシウム合金溶射の防食性能

アルミ・マグネシウム合金溶射では、以下の作用により耐久性の高い防食性能を発揮いたします。

- **環境遮断作用**：鋼材への外的腐食要因を、金属溶射被膜によって遮断します。
- **犠牲陽極作用**：鋼材よりも自然電位が卑であるアルミニウムやマグネシウムが先に溶解することで、鋼材を不動態化して保護します。
- **自己修復作用**：クロスカット部は、周囲の被膜から溶出したマグネシウムにより保護され、鋼材を腐食環境から遮断します。

アルミ・マグネシウム合金溶射の耐久性は、複合サイクル試験により評価されております。その結果、亜鉛メッキに比べて6倍以上、フッ素系重防食塗装に比べて4倍以上の耐久性が確認されています。これは、**海岸部における 100 年以上の防食性能に相当**いたします。

7.2 ゴム支承の金属部分へのアルミ・マグネシウム合金溶射の適用



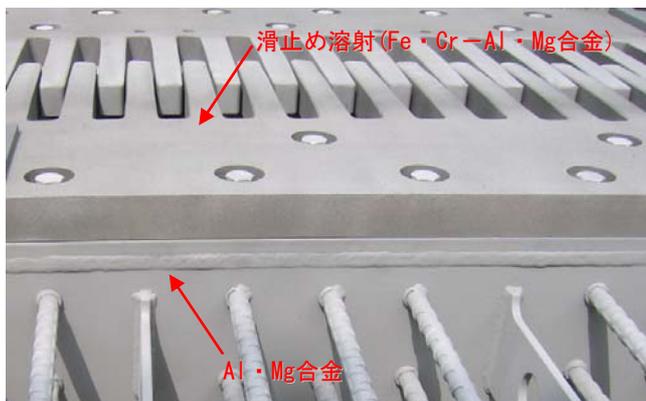
【横梁に設置したゴム支承】



【ゴム支承の金属部分への溶射】

7.3 伸縮装置へのアルミ・マグネシウム合金溶射の適用と滑止め対策

徳首川橋では、移動量の大きいP11橋脚位置の伸縮装置に疲労耐久性に優れたボックスタイプのフィンガージョイントを採用しております。さらに、走行車両に対する**フェイスプレートの滑止め対策**として、**上面に Fe・Cr-Al・Mg 合金を金属溶射**する方式を世界で始めて採用しております。



【P11橋脚位置の伸縮装置】



【Fe・Cr-Al・Mg合金の溶射】

8. 施工概要

RC 中空床版橋の架替は、上り線（那覇方面）、下り線（名護方面）の順に行います。架替えには対面交通規制が必要となりますので、**交通規制を抑制する必要がある年末年始、ゴールデンウィーク混雑期および夏期混雑期の間（約 3.5 ヶ月）に各線を行います。**

架替えは、まず、既設の RC 中空床版橋をコンクリートカッターやワイヤーソーで切断して撤去します。その後、クレーンを用いて橋脚上に横梁を設置し、その横梁上に中空桁を配置して、場所打ちコンクリートにて連結する順序で行います。

【工程表】

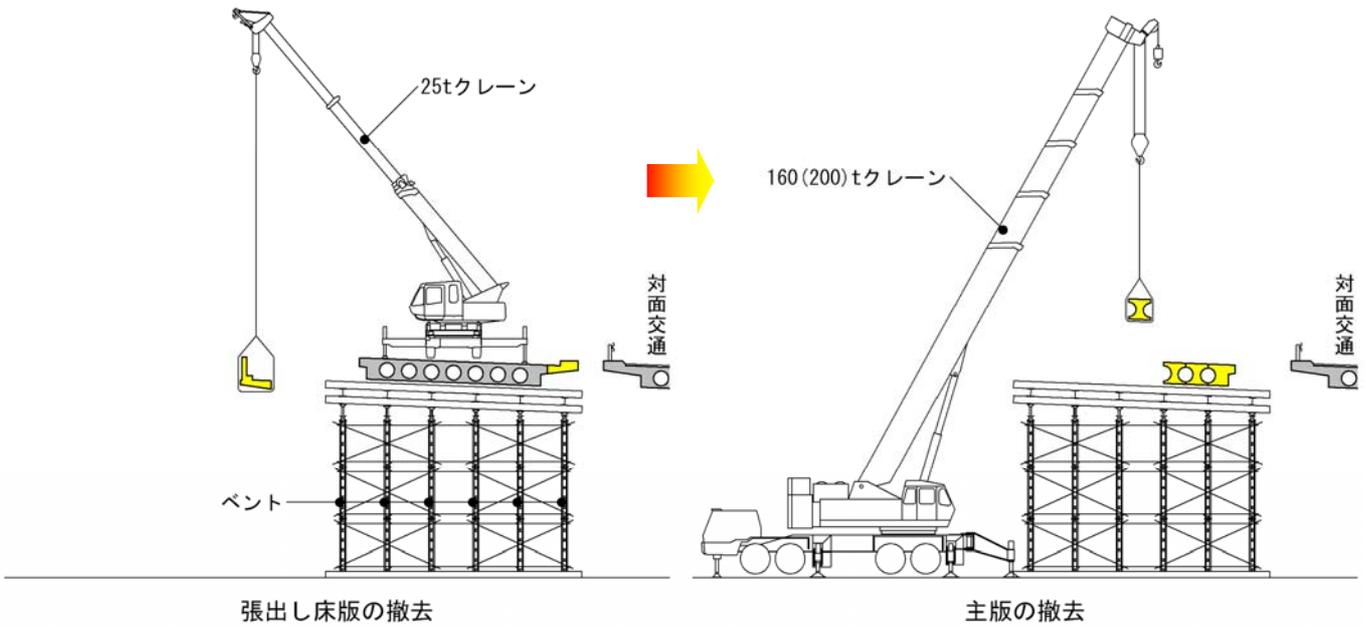
工期 自：平成19年6月14日 至：平成21年3月24日

	2007年												2008年												2009年					
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3								
	100				200				300				400				500				600									
準備工・後片付け工	■																								■					
詳細設計・確認実験	■																													
工場製作（中空桁・横梁）	■ 実験												■																	
ヤード整地・ベント組立													■ 上り線工事						■ 下り線工事											
解体・撤去工													■						■											
橋体工													■						■											
													■						■											
													■						■											
													■						■											
橋面工													■						■											
													■						■											
													■						■											
中分開口部設置・撤去工	■																								■					
交通管理施設工													■						■						■					
【交通規制】													●● 中央分離帯規制						●● 対面交通規制						●● 対面交通規制			●● 中央分離帯規制		

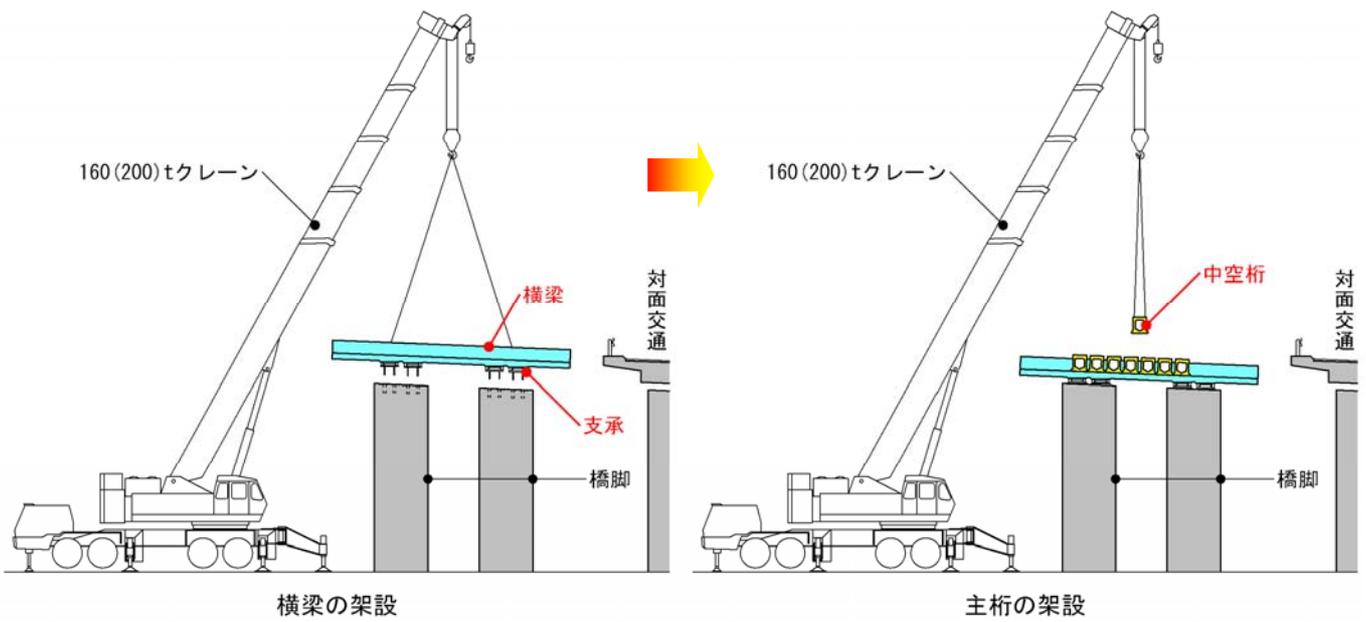


オリエンタル白石(株) 福岡工場

【本工事の



【撤去要領】



【架設要領】



【施工順序】

9. リニューアル工事完了



● 一般的な補修方法である下面の断面修復+上面の増厚と同程度の建設コスト

● 劣化したRC中空床版橋のリニューアル工事のモデルケース

● 新設橋のコスト縮減および耐久性向上にも参考となるケース

協力各社

■高炉スラグ微粉末	:	新日鐵高炉セメント(株)
■レディーミクストコンクリート	:	(株)E-CON
■アルカリ骨材反応試験	:	川崎地質(株)
■金属溶射	:	山田金属防蝕(株)
■ゴム支承	:	オイレス工業(株)
■伸縮装置 (P11)	:	(株)フジエンジニアリング
■伸縮装置 (A1, P3, P5)	:	中外道路(株)
■遮蔽型マクロセル腐食対策	:	BASFポゾリス(株)