

海上に架橋されるプレキャストセグメント橋の高耐久性化をめざして－古宇利大橋－

沖縄県古宇利大橋建設事務所

神村 美州

ピー・エス、オリエンタル、武国建設 JV

正会員 高野 諭

ピー・エス、オリエンタル、武国建設 JV

正会員 柳田 将貴

(株) ピー・エス 九州支店 土木部

正会員 ○隠塚 功一郎

1. はじめに

古宇利大橋は、沖縄県北部に位置する古宇利島と屋我地島とを結ぶ、橋長1960mのプレストレストコンクリート道路橋である。本橋は、ショートラインマッチキャスト方式によるプレキャストセグメント橋で、架設方法としては、大型のトラスガーダーを用いたバランスドカンチレバー工法を採用している。

ショートラインマッチキャスト方式にて製作されるセグメント総数は550個で、1個あたりの重量は80～110tとなっており、この種の橋梁としては国内最大級の規模を誇る。

海上架橋という極めて厳しい環境条件の中に建設されることから、塩害によるコンクリート劣化を受けることが予想される。そのため、塩害によるコンクリート劣化対策を事前に講ずることにより、「ミニマムメンテナンス橋」を形成し、高耐久性化をめざしている。

ここでは、高耐久性化を図るために行っている具体的対策についての報告を行う。

2. 橋梁諸元

橋梁緒元を下記に示し、主桁断面図を図-1に示す。

- ①構造形式 PC 8 径間連続箱桁橋×2 +
PC 4 径間連続ラーメン箱桁橋 +
PC 5 径間連続箱桁橋
- ②工 法 プレキャストセグメント工法
- ③荷 重 B活荷重
- ④桁 長 663.7m+639.8m+319.8m+335.7m
- ⑤支 間 51.9m+23@80.0+59.1m
- ⑥総 幅員 11.250m
- ⑦有効幅員 10.250m

主要材料

品名	細別	規格	単位	数量	備考
コンクリート	普通	50N/mm ²	m ³	20,000	
鉄筋		SD295A	t	2,500	I ¹⁶ 杉塗装
PC鋼材	外ケーブル	19S15.2	t	350	I ¹⁶ 杉塗装
	内ケーブル	12S15.2	t	610	同上
	横締めケーブル	4S15.2	t	200	同上
	横締め鋼棒	φ32	t	5	同上

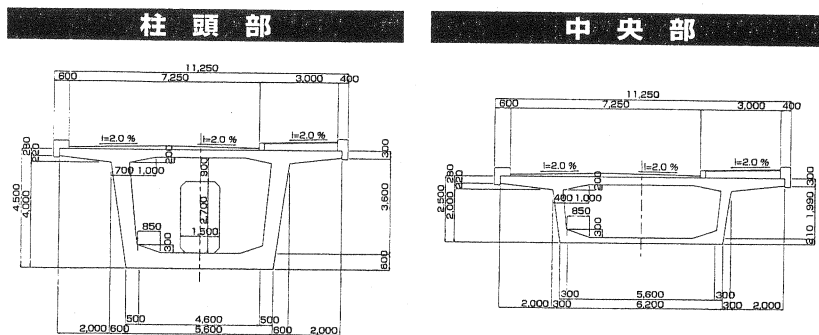


図-1 主桁断面図

3. 高耐久性化への試み

古宇利大橋における高耐久性化を考える上で、既存のコンクリート橋の劣化について目を向けてみると、その多くがコンクリートに埋設された鋼材（鉄筋・PCケーブル）の腐食によるものである。そしてこの鋼材の腐食を引き起こす要因が、コンクリートの中性化及びアルカリ骨材反応や様々な原因で発生したコンクリートのひび割れに起因していると思われる。

このことから、本橋梁の施工にあたり特に留意した以下の3点について述べる。

① コンクリート

コンクリートは、鋼材腐食の原因となる塩化物の進入を防止する唯一の防波堤であることから、密実なコンクリートの形成を目指し、遮塩性の向上を図るものとした。

② 鋼材（鉄筋、PC鋼材関係）

腐食の影響を直接受ける鋼材については、自身の防錆性能を上げるため塩害対策仕様品を使用している。

③ セグメントの継目処理

プレキャストセグメント工法におけるセグメント間の継目部分は、シー스가連続しておらず継目部分からの塩化物の侵入に対して弱点となっている。この部分に特殊なジョイントシースを使用することにより、シースの連続性を確保した。

4. コンクリート

上部工に使用されるコンクリートの設計基準強度は 50N/mm^2 で設計されているが、セグメントの製作サイクルを短縮するため、打設した翌朝には型枠の解体が出来るように、材齢 15~18 時間で 14N/mm^2 以上の早期強度発現が必要である。早期強度発現のためには蒸気養生設備の導入が一般的であるが、本橋においては早強性膨張材^{※1}の使用によりこの条件をクリアしている。また、密実で遮塩性の高いコンクリートとするために高性能 AE 減水剤を利用して単位水量を極力減じている。

上部工セグメント製作に使用しているコンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリート配合

W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)						
		水	普通セメント	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤	混和材
(%)	(%)							
33.5	42.9	156	436	307	447	1004	4.66	30

備考 混和剤：高性能 AE 減水剤 ※1 混和材：早強性膨張材 (N-EX 太平洋マテリアル製)

配合の特色としては、混和材として早強性膨張材の使用であるが、これにより以下の利点が上げられる。

- ① 早強性効果により、蒸気養生なしで打設後 15~18 時間で所定強度 (14N/mm^2) を得ることが可能である。
- ② 膨張効果により収縮補修用コンクリートの性能を有することから、乾燥収縮によるひび割れ発生が抑制できる。
- ③ 早強性膨張材を単位セメント量の一部と置換して使用することにより、コンクリート中のアルカリ総量が低減し、アルカリ骨材反応の抑制に効果がある。
- ④ 透水試験結果より拡散係数が低減し、コンクリートの水密性が向上する。

上記事項の確認試験の概要および結果を次に示す。

・試験概要

各環境温度下で試験練りを行い、早強性膨張材を用いた「収縮補修用コンクリート」の性能を確認するために次の試験を行った。

- ◇ 各環境温度下での圧縮強度の確認・・・20, 15℃環境での初期材齢圧縮強度試験
- ◇ コンクリートの耐久性の評価・・・乾燥収縮試験, 透水性試験

・試験方法

試験方法を表-2に示す。

表-2 試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS A 1108 に準拠 ・ 環境温度 15℃ 20℃ ・ 試験材齢 : 15 時間~20 時間
長さ試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS A 6202 参考1「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法」B法に準拠 ・ 試験材齢 : 1日, 7日, 14日, 28日, 56日, 91日
透水試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS A 1404 に準拠したインパット法 (内圧式透水試験方法) 一定圧力のもとで、一定時間供試体に圧入した水の浸透面積からコンクリートの浸透性を求める。 ・ 供試体 : φ15×30 翌日脱枠後、28日まで水中養生、以後56日まで乾燥のため20℃、60RHで気中養生。 ・ 透水試験 : 2日

・試験配合

試験配合を表-3に示す。

表-3 試験配合

	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)						
	(%)	(%)	W	C	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤	混和材
CASE-1	33.5	44.1	149	446	321	468	1004	4.46	0
CASE-2	33.5	44.1	149	416	321	468	1004	4.46	30
CASE-3	33.5	44.1	149	411	321	468	1004	4.46	35

備考 混和剤 : 高性能 AE 減水剤 混和材 : 早強性膨張材

・試験結果

圧縮強度試験結果を図-2に、膨張試験結果を表-4、図-3に示す。

初期材例での圧縮強度においては、早強性膨張材の効果が良く現れており、その効果は使用量と環境温度に比例することが確認できた。拘束膨張試験結果からも、CASE-2の場合においても膨張率が 236×10^{-6} であることから、収縮補修用コンクリートとしての性能が確認できた。

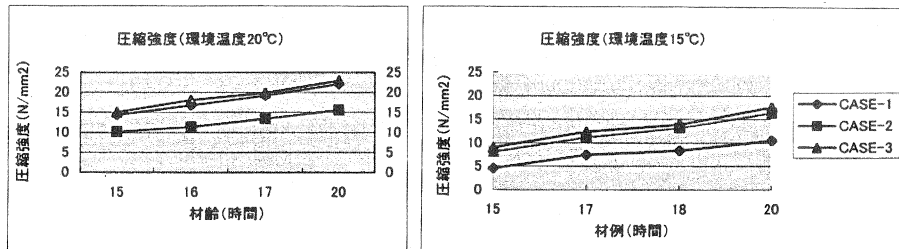


図-2 圧縮強度試験結果

表-4 拘束膨張試験測定結果

配合	早強性膨張材 添加 (kg/m ³)	拘束膨張率 (×10 ⁻⁶)					
		1d	7d	14d	28d	56d	91d
CASE-1	0	-35	-3	-139	-211	-285	-314
CASE-2	30	81	236	96	40	-55	-69
CASE-3	35	116	324	168	104	39	-1

試験方法：JIS A 6202「膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方」に準拠

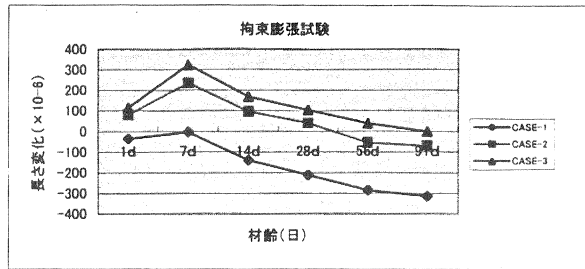


図-3 拘束膨張試験グラフ

透水試験の結果を表-5に示す。

早強性膨張材を使用することにより、拡散係数が低減し、コンクリートの水密性が向上することが確認できた。

表-5 透水試験結果

拡散係数算出式

$$\beta i^2 = \alpha \times \frac{Dm^2}{4 t \xi^2} \quad (\times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec})$$

βi^2 : 拡散係数 ($\times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$)

Dm : 水の浸透深さ (cm)

α : 水圧を加えた時間に関する係数 ($\alpha = t^{3/7}$)

t : 水圧を加えた時間 (sec)

ξ : 水圧の大きさに関する係数

配合	α	t	ξ	早強性膨張材 添加 (kg/m ³)	浸透深さ (cm)	拡散係数 ($\times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$)
CASE-1	236.15	345600	0.905	0	40.55	3.44
CASE-2				30	38.16	3.05
CASE-3				35	31.96	2.14

5. 鋼材 (鉄筋およびPC鋼材)

本橋に使用される鋼材の種類と個々の防錆仕様を表-6に示す。

表-6 鋼材の防錆仕様

品名	規格	防錆使用	備考
鉄筋	SD295A	エポキシ樹脂塗装鉄筋	主桁部分に使用
	SUS304	ステンレス異径鉄筋棒 (SD295A 相当品)	一部の地覆鉄筋
内ケーブル	12S15.2 (SWPR7B)	ポリエチレンシース+エポキシPC鋼より線+グROUT	
外ケーブル	19S15.2 (SWPR7B)	ポリエチレン被覆のエポキシPC鋼より線	
横締めケーブル	4S15.2 (SWPR7B)	ポリエチレンシース+エポキシPC鋼より線+グROUT	
横締め鋼棒	φ32 (SBPR90/1180)	ポリエチレンシース+エポキシPC鋼鋼棒+グROUT	定着部補強用
定着具関係	-	ネジ部およびワッシャー部以外はエポキシ塗装品	

使用する全ての鉄筋は、エポキシ樹脂塗装品であるが、セグメント製作時に差し筋となる、一部の地覆鉄筋にはステンレス異径鉄筋棒を使用している。これは、セグメント製作から橋面施工まで2~3年の間があるため、エポキシ樹脂鉄筋の紫外線劣化 (黄変, チョーキング) を考慮したためである。

PC鋼材および定着具はエポキシ樹脂塗装品を標準としており、全てのシースはポリエチレン製としている。PC鋼材および定着具、ポリエチレンシースの外観を写真-1~写真-4に示す。

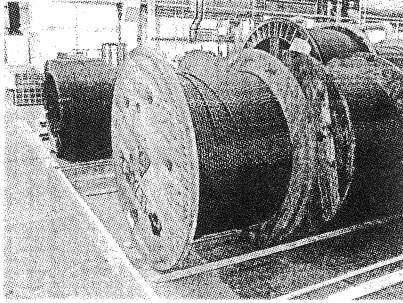


写真-1 エポキシPC鋼材

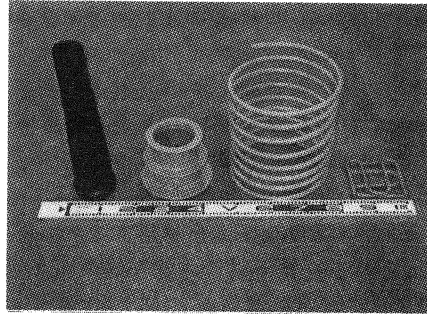


写真-2 定着具 (塩害対策仕様)

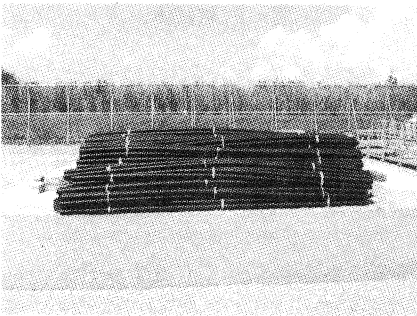


写真-3 ポリエチレンシース

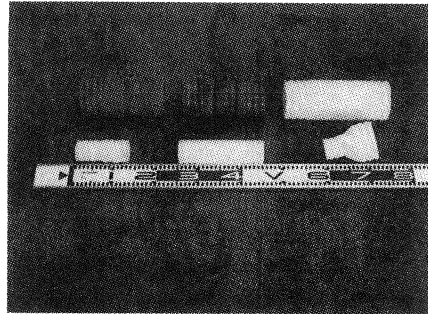


写真-4 各種ジョイントシース

6. セグメント間継目処理

プレキャストセグメント橋においては、継目部においてシースが連続しておらず、塩化物等の侵入に対して無防備な状態であることが以前から指摘されてきた。そしてシースの連続性確保するために、ポリエチレン製シースカップラー案が提案されており、その遮塩効果が実験で確認されている。しかしながら、実橋に使用された事例がないため、セグメントの架設に先立って、ポリエチレン製シースカップラー（以後PEカップラーとする）の試作品を製作して施工性の確認試験を行った。

使用したPEカップラーの形状図を図-4、図-5に示す。

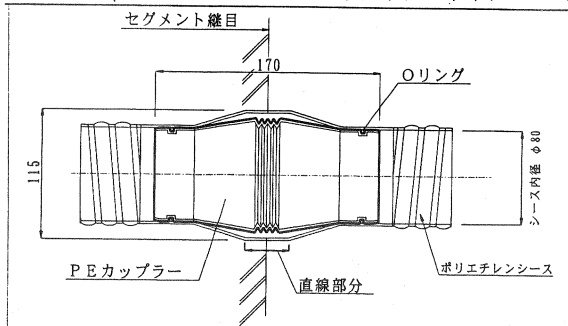


図-4 PEカップラー形状図

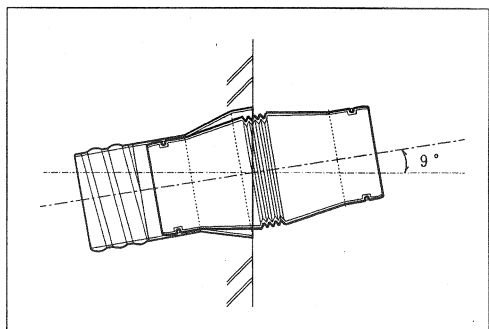


図-5 角度変化への対応

グラウトの流出防止および外部よりの塩化物の進入防止としてOリング（ゴム製）を取付け、PEカップラー中央は伸縮可能な構造としている。セグメント継目部でのケーブルの角度変化に対しては、PEシースの外側部分に直線部分を設けて、この部分を角度に合わせて切断することにより対応している。

・PEカップラーの性能試験

図-6に示すような供試体を製作し、PEカップラーをセットして接着剤を塗布した後、PC鋼棒を緊張して接合をおこなった。緊張力は、架設後にセグメント継目部にて死荷重時作用しているプレストレスレベルを設定した。(接合面で $0.9\text{N}/\text{mm}^2$ 程度)

接合後PCグラウトを注入し、施工性を確認した。グラウト硬化後にPEカップラー部分をはつり出し、グラウトの充填性、PEカップラー接合状況を目視により確認した。

・試験結果

PEカップラーの設置しての接合は、PEカップラー自身がガイドキーの役割を果し、スムーズに行う事ができ、施工性は良好であることが分かった。グラウト注入時におけるセメントペーストの漏れ、隣接するシーラスとの連通も生じないことが確認できた。グラウト硬化後に接合部分をはつり出したところ、PEカップラー内にグラウトは密実に充填されており、Oリング部分での遮断効果が確認できた。

試験状況を写真-5～写真-8に示す。

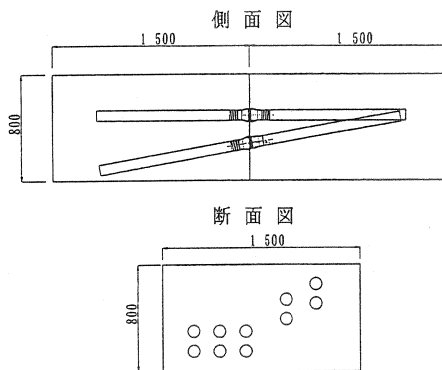


図-6 供試体

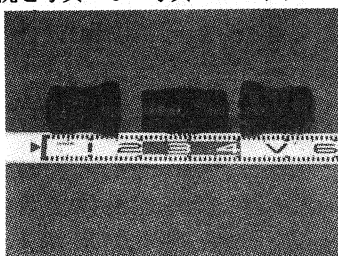


写真-5 PEカップラー

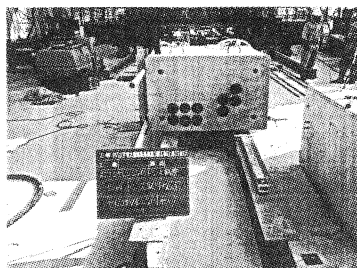


写真-6 試験状況

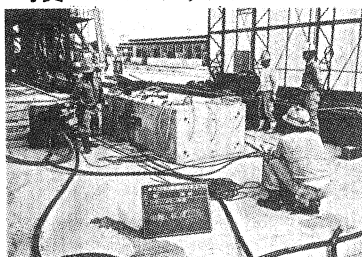


写真-7 試験状況

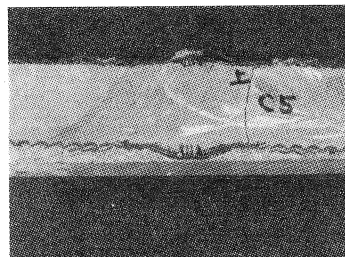


写真-8 グラウト後の状態

7. おわりに

すべての新設構造物がライフサイクルコスト(LCC)低減を念頭において設計・施工されている現在において、PC道路橋においても、維持管理費が少なく、耐用年数の長い構造物であることが求められている。先にも述べたとおり、PC橋にとって塩害は高耐久性化を図る上で致命的な欠陥となるとの観点から、本橋においては鋼材の塩害対策を中心に行ってきた。しかし、いくら塩害対策仕様の高品質な材料を使用してもその特性を理解し、適切な施工が行われなければ、出来上がった構造物は高耐久性を有するものにはならない。本橋の進捗状況は7月末現在で2径間分のセグメントの製作を完了し、P24橋脚からの張り出し架設を開始したばかりである。今後もこれらの事項を念頭におき施工をすすめていくつもりである。

参考文献

- 1) 田中 良樹：プレキャストコンクリート工法を用いたPC橋の継目部分防食技術の開発、プレストレストコンクリート, Vol. 41, No. 5, Sep. 1999