

高耐久性を確保した海上橋のセグメント製作 - 古宇利大橋 -

九州支店 高野 諭
九州支店 隠塚功一郎
九州支店 白石 哲

概要: 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 1960 m, セグメント総数 550 個からなるプレキャストセグメント工法により施工される PC 道路橋である。セグメントの製作はショートラインマッチキャスト方式により行い、架設方法としてはエレクション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。本文は、ショートライン方式による変断面 1 室箱桁構造のセグメント製作方法及び設備について報告する。また、海上橋という非常に厳しい環境条件下に構築されることから塩害による劣化対策を行い「ミニマムメンテナンス橋」を目指している。この具体的方策もあわせて報告する。

キ - ワ - ド: プレキャストセグメント橋, ショートライン方式, 変断面構造, 塩害, 高耐久性化

1. 工事概要

本橋の工事概要及び橋梁諸元を下記に示し、主桁断面図を図 - 1 に、全体一般図を図 - 2 示す。

- ・工 事 名: 古宇利大橋橋梁整備工事
- ・施 主: 沖縄県土木建築部 北部土木事務所
- ・道路規格: 第 3 種 第 3 級
- ・構造形式: PC8 径間連続箱桁橋 × 2 + PC4 径間連続ラーメン箱桁橋 + PC5 径間連続箱桁橋
- ・桁 長: 663.7m + 639.8m + 319.8m + 335.7m
- ・支 間: 51.9m + 23@80.0m + 59.1m
- ・有効幅員: 10.250m (歩道 3.0m)
- ・工 法: プレキャストセグメント工法/ショートラインマッチキャスト方式
- ・架設工法: バランスドカンチレバー工法

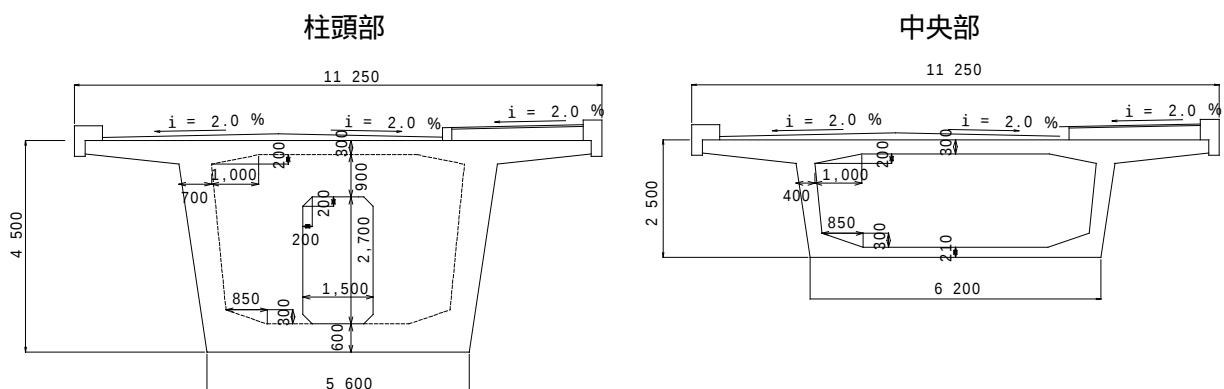


図 - 1 主桁断面図



高野諭
PC 事業部
工事部



隠塚功一郎
PC 事業部
工事部



白石哲
PC 事業部
工事部

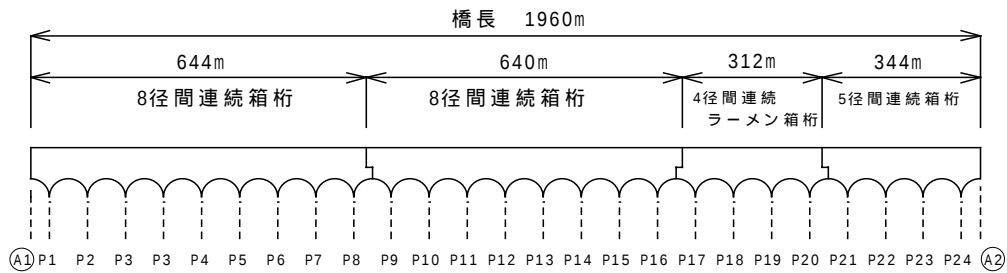


図 - 2 全体一般図

2. セグメント製作ヤード

ショートライン設備は、標準セグメント製作用として2ライン、異形セグメント(ゲルバー桁)製作用として1ラインの合計3基をヤード内に設置した。セグメント製作ヤードを図-3に示す。

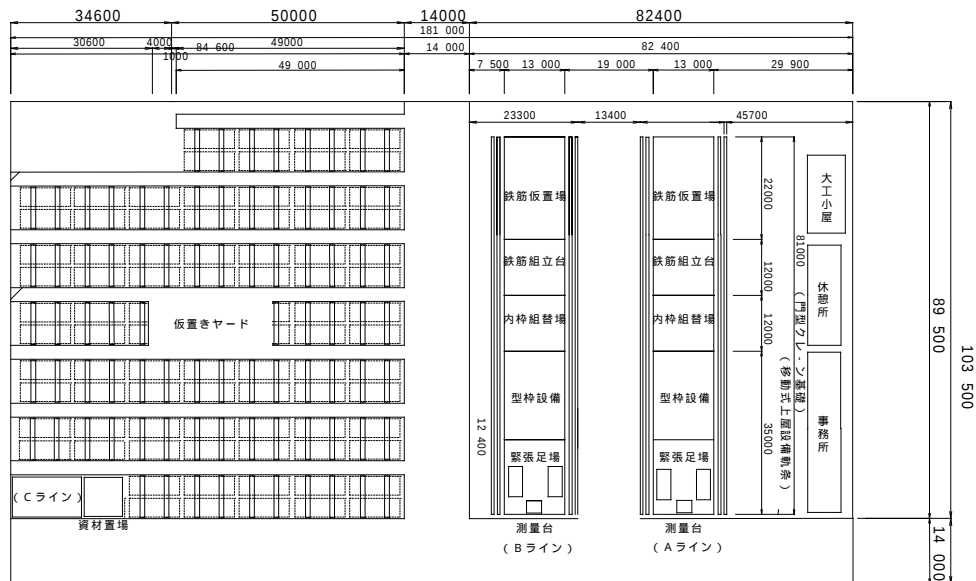


図 - 3 セグメント製作ヤード

標準セグメントを製作する2基のラインには、製作の稼動効率を上げる為にショートライン設備を完全に覆う事の出来る移動式の上屋設備を設置している。荷役設備として鉄筋ユニット、各種型枠資材等の運搬用にショートライン設備として平行に2基の橋形クレーン(吊上能力15t)を配置し、ヤード内でのセグメントの運搬用に縦・横に走行可能なトランスファークレーン(吊上能力120t)を1基配置している。セグメント仮置きヤードは、架設工程との兼ね合いから、4径間分(約90個)のセグメントが仮置き可能なスペースとしている。

移動式上屋設備を写真-1に、トランスファークレーン設備を写真-2に示す。



写真 - 1 移動式上屋設備



写真 - 2 トランスファークレーン

3. ショートライン方式の選定

マッチキャスト方式でセグメントを製作する場合には、ロングライン方式とショートライン方式が考えられる。ロングライン方式は、1径間または半径間分の底枠を設置して側枠を移動させる事によりセグメントを製作し、ショートライン方式は型枠を固定し、セグメントを順次前方に移動して製作を行う方式である。前者は、型枠の配置上広い製作ヤードを必要とするが、径間毎のセグメントの出来形形状を一括して測量出来る事から、製作精度の管理は容易である。後者は、製作ヤードを比較的小さくすることが出来る反面、セグメント製作毎の形状管理が重要となり、製作精度の管理は複雑となる。本橋においては、製作ヤード全てが民地からの借地となることから、必要最小限のヤード計画を行う必要がありショートライン方式が採用された。

4. セグメント製作工

(1) セグメント製作概要

一般的にプレキャストセグメント工法で張出し架設を行う場合には、柱頭部と基準ブロックの間に場所打ち目地が設けてあり、柱頭部セグメントと張出しセグメントはそれぞれ独立して製作可能である。本橋においては、柱頭部セグメントを基準ブロックとして張出し架設を行う計画である事から、場所打ち目地は中央連結部(50cm)のみに設けられているだけである。そのため、柱頭部を含む一連の張出しの全セグメントをマッチキャストとして製作する必要がある。そこでセグメントの製作は、図-4に示す様に、R10から柱頭部を経てL10まで連続して製作を行う順序となる。

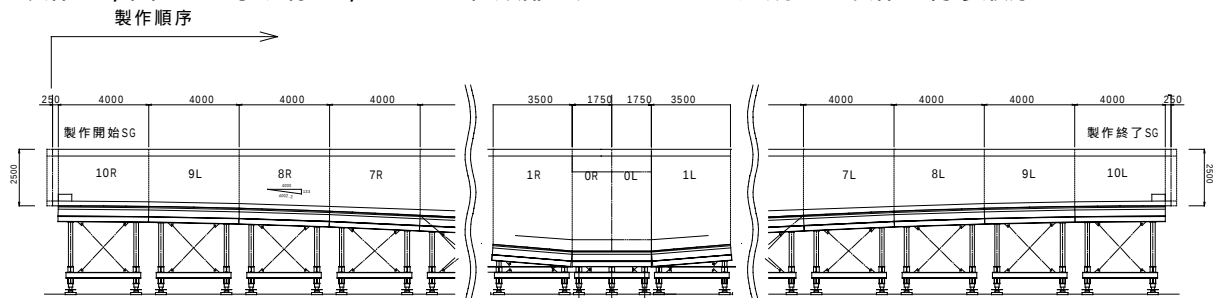


図-4 セグメント製作順序

(2) 製作フロー

セグメント製作サイクルは、標準セグメントは2日/個、ウェブ拡幅部及びデビエーターを有するセグメントは型枠組替え等が煩雑となる為3日/個、柱頭部セグメントで5~6日/個となっている。製作の標準工程を図-5に、製作フローを図-6に示す。

工 種	日 数																
	1 日 目								2 日 目								
測 量	8	9	10	11	12	13	14	15	16	8	9	10	11	12	13	14	15
内型枠・側型枠解体																	
OLDセグメント切離し・移動																	
内型枠組替え																	
底型枠設置・端枠組替え																	
OLD調整																	
底型枠・側型枠セット																	
側型枠・端型枠クレン																	
鉄筋ユニット設置・据付け																	
シース組立工(下床版)																	
シース組立て(上床版)																	
内型枠セット																	
打設前清掃/検査																	
コンクリート打設																	
コンクリート仕上げ・養生																	
底型枠組替え																	

図-5 セグメント製作工程(標準セグメント 2日/個)

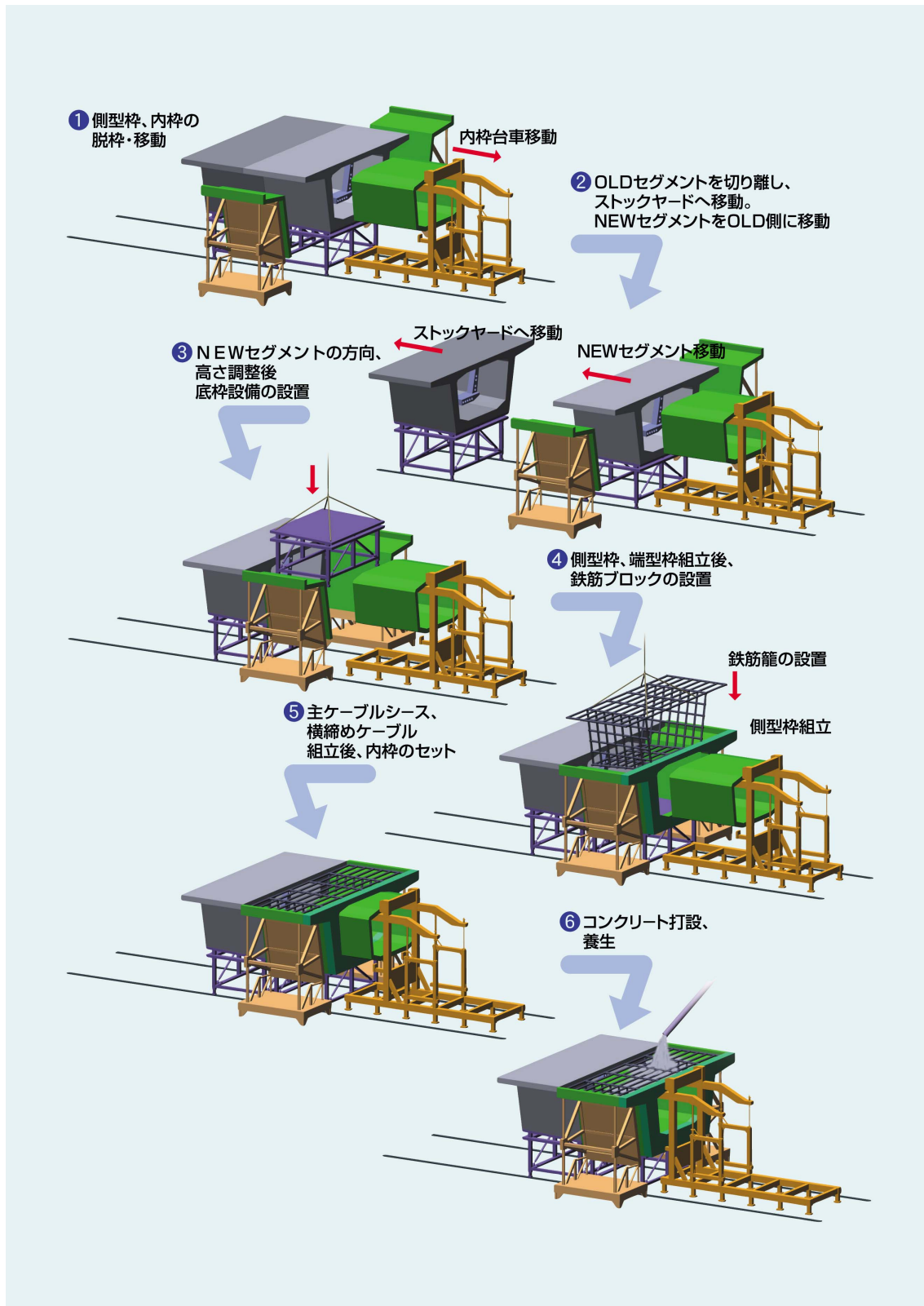


図 - 6 セグメント製作のフロー

鉄筋工は、製作サイクルを短縮化するため設備内に専用の鉄筋組立台を設置し、精度良く組立を行う事により完全なユニット鉄筋としている。ユニット鉄筋は型枠組立完了後、専用の吊金具を介して 15t 橋形クレーンにより一括セットしている。型枠設備(底枠・側枠・端枠)は全て鋼製とし、使用頻度の高い部分は防錆上部ステンレス枠を使用している。コンクリート打設はポンプ車ブームにて行い、養生は使用するセメントが普通セメントであることから、打設後5日間の散水養生を実施している。応力上床版横締めケーブルを緊張しないと、セグメントの運搬が不可能である事から、セグメント切離し後、専用の横締め緊張足場まで底枠ごとウィンチで移動して床版横締め緊張を行っている。鉄筋組立台・鉄筋ユニット・打設状況・緊張足場を写真-4～写真-6に示す。

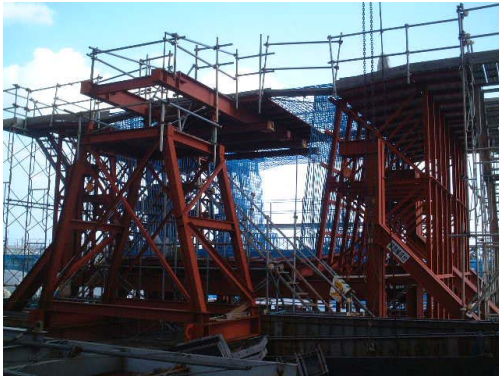


写真-3 鉄筋組立台

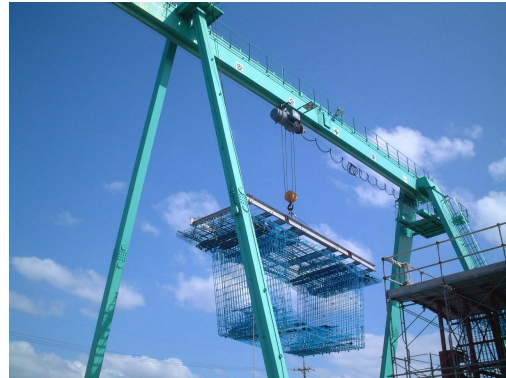


写真-4 鉄筋ユニット吊上げ状況



写真-5 打設状況



写真-6 横締め緊張足場

(3) ショートライン型枠設備

本橋の主桁構造(変断面・斜ウェブ)を考慮して、施工性・経済性に富むショートライン設備の計画を行った。設備の詳細計画にあたり留意した事項は以下の点である。

端枠(バルクヘッド)は、ウェブ幅の変化毎と下床版幅の変化毎に対応できる構造である事。側枠設備は、変化する全てのセグメント長に対応出来、脱着が簡単で、コンクリート打設による側圧で変形を起こさない様な剛性を有する事。

底枠は、各セグメント毎の桁高変化に対応する為に鉛直方向に調整可能な構造で、かつ斜ウェブである事から幅方向にも伸縮可能な構造である事。

内枠設備は、箱桁内空高さの変化に対応出来、更に各種定着突起形状毎に組替えが可能である事。

油圧設備等において今後の転用が期待できる物は汎用性のある物を選定し、本工事にて処分となる設備に関してはなるべく簡素化しコストを抑える事。

ショートライン型枠設備は、大別して端枠設備(バルクヘッド)、側枠設備、底枠設備、内枠設備の4基の部材から構成されており以下それぞれにおいて工夫した点を述べる。

a) 端枠設備・側枠設備

ショートライン方式でセグメントの製作を行う上で、端枠中心(バルクヘッド)が常に測量中心線にあることが重要である。これは形状管理を行う場合、NEW セグメントの絶対的な位置に対して、OLD セグメントを平面及び鉛直にシフトさせて橋の線形を形成していくからである。そこでバルクヘッドは剛性の高い大型の形鋼を使用して不動な構造とする必要がある。しかし、ウェブ枠等の組替えを行っていく中で、微小ではあるが歪みが生じていく為、製作毎に位置を確認する必要がある。

側枠設備は、最大セグメント長(4m)と最大桁高(4.5m)から決定しバルクヘッドを挟み込む形とし、ジャーナルジャッキで固定する方式としている。端枠設備を写真-7に側枠設備を写真-8に示す。



写真-7 端枠設備



写真-8 側枠設備

b) 内枠設備

内枠は断面変化及び各種突起形状変化に対応する為にパネル割りし、毎回組替える方式とした。パネルの大きさは、組替え時のハンドリングを考えてなるべく小さな部材割りとした。また、外ケーブルのディビエータ部分は隔壁が設けてある事から、この部分は仮置きヤードにて後打ちによる施工とした。内枠組替え状況を写真-9に隔壁の施工を写真-10に示す。



写真-9 内枠組替え状況



写真-10 隔壁の施工

c) 底枠設備

桁高の変化には底枠のフレーム(底枠脚)を全タイプ用意しそれを組替え、セグメントの幅変化には底型枠の側部にスライド式の鋼管を取付け、ボルト締めで固定して対応した。OLD 調整・NEW 底枠調整には専用の油圧ジャッキを装備した調整装置を設け、また、各々の固定及び微調整には脚部に設けてあるネジ式ジャッキにより行った。

底枠設備・OLD 調整装置・ネジ式ジャッキを写真-11～写真-13に、底版平面図を図-7に示す。



写真 - 11 底枠設備

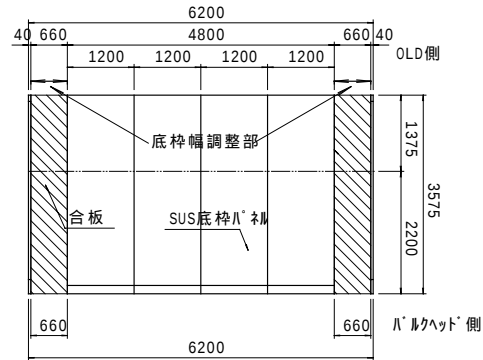


図 - 7 底枠平面図



写真 - 12 OLD調整装置



写真 - 13 ネジ式ジャッキ

5. 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。

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。

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。鋼材かぶりは塩害指針（無塗装）に準じている。

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、シースが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。

(1) 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	細骨材	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。

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/mm²)を得ることが可能である。

収縮補修用コンクリートの性能である膨張効果を有することから、乾燥収縮によるひび割れ発生が抑制できる。

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。

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。

(2) 鋼材 (鉄筋および P C 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 - 2 に、P C 鋼材を写真 - 14 に定着具を写真 - 15 に示す。

表 - 2 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)	エポキシ樹脂被覆 + エポキシ P C 鋼より線 + グラウト	
外ケーブル	19S15.2 (SWPR7B)	エポキシ樹脂被覆のエポキシ P C 鋼より線	
横締めケーブル	4S15.2 (SWPR7B)	エポキシ樹脂被覆 + エポキシ P C 鋼より線 + グラウト	
横締め鋼棒	φ 32 (SBPR930/1180)	エポキシ樹脂被覆 + エポキシ P C 鋼鋼棒 + グラウト	定着部補強用
定着具関係	-	ナット部およびワッシャー部以外はエポキシ塗装品	



写真 - 14 P C 鋼材(エポキシ樹脂塗装)



写真 - 15 定着具(エポキシ粉体塗装)

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工施工まで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。

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。そこで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-8、図-9に示す。

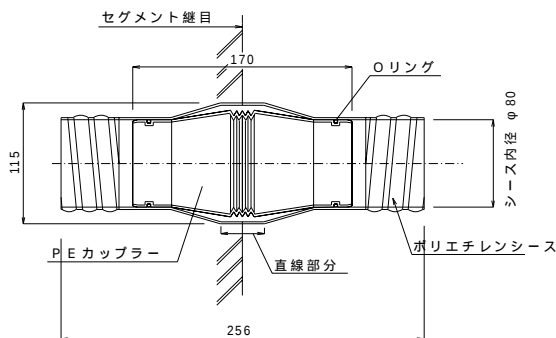


図-8 PEカップラー - 形状図

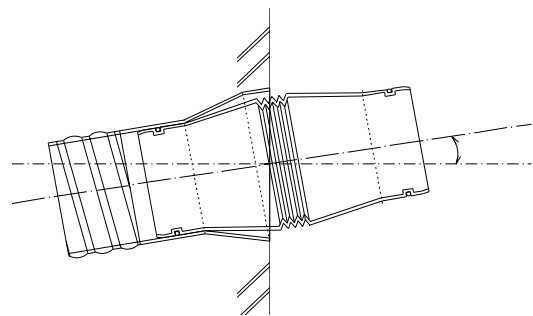


図-9 角度変化への対応

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。

(1) PEカップラーの性能試験

図-10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 0.9N/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。

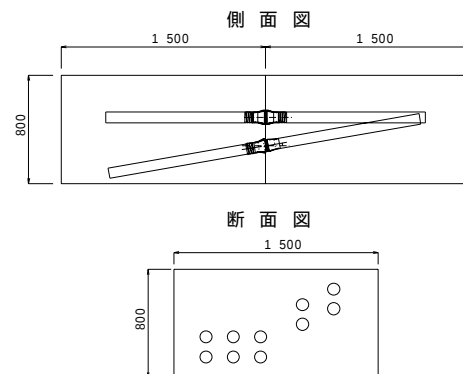


図-10 供試体

(2) 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-16～写真-19に示す。



写真 - 16 P Eカップラー

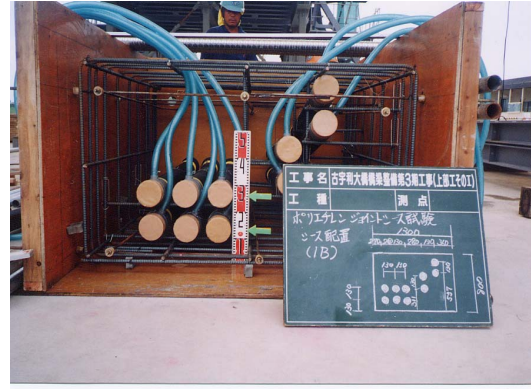


写真 - 17 試験状況



写真 - 18 試験状況



写真 - 19 グラウト後の状態

7. おわりに

本稿は、ショートライン方式によるセグメントの製作と高耐久性化の具体的方策について報告したものである。ショートライン方式によるセグメント製作は、型枠設備の煩雑さ等の課題はあるものの、施工スピード・製作ヤードの縮小化・工場化による品質向上等の長所により今後も需要が高まっていく事が予想される。P C 橋にとって高耐久性化を図る上で塩害は、致命的な欠陥となる。本橋は、その対策として鋼材の塩害対策を中心に行ってきたが、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を行わなければ、高耐久性を有する構造物にはならない。古宇利大橋は、平成 15 年 1 月現在で 13 径間分のセグメントの製作が完了し、P13 の張出し架設が終了した。今後もこれらを念頭におき施工を進めていくつもりである。

本報告が、今後の同様な橋梁施工に何らかの参考になれば幸いである。

謝辞

本橋の施工にあたり、沖縄県北部土木事務所の皆様をはじめ、多大なる御指導、ご協力いただいた関係者各位にこの場をおかりして深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中 良樹：プレキャストセグメント工法を用いた P C 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
- 2) 隠塚 功一郎：海上に架設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—，プレストレストコンクリート技術協会 第 11 回シンポジウム論文集，(Nov. 2001)
- 3) K. Onzuka：" Some Countermeasures to High-Durability of The Prestressed Concrete Bridge in Marine Environments " Fid Congress 2002 (Oct. 2002)