

(50) 塩害に対応した高耐久性PC構造物の建設(屋嘉比橋 上部工工事)

(株)日本ピーエス福岡支店	工事部	工事課	○田中 和幸
沖縄開発庁沖縄総合事務局	北部国道事務所	副所長	上津 敏
九州産業大学	工学部土木工学科	教授	正会員 豊福 俊泰

1. まえがき

周知のように、沖縄県は、飛来塩分の影響を受けやすくしかも高温多湿であるため、コンクリート構造物中の鋼材は腐食環境下であり、塩害対策が不可欠である。特に、PC構造物には高耐久性が要求される。

一般国道58号(旧道)屋嘉比橋は、国頭村浜の田嘉里川河口部に位置しており、昭和40年に架設した旧橋が塩害により著しく劣化したため、架け替え架設するPC橋である。そこで、塩害対策工の新技術を各種検討した結果、コンクリートにPC道路橋として我が国最初である高炉スラグ微粉末6000を用いたコンクリート、PC鋼線にエポキシ樹脂全塗装PC鋼より線、鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋、シーすにプラスチックシーすをそれぞれ採用することにより、ミニマムメンテナンスを考慮した高耐久性PC構造物の施工を行うこととした。なお、本文は文献1)に加筆したものである。

2. 工事概要と技術的特徴

2-1 工事概要

旧橋(RC 3径間単純Tけた)は、撤去前に詳細調査を行ったところ、写真-1に示すように、建設後30年の経過で塩害による著しい損傷が生じていた。

屋嘉比橋の橋りょう諸元は、以下に示すとおりであり、コンクリートの性能を対比するためA₁-P₁間のけたに高炉スラグ微粉末を使用したコンクリート、P₁-A₂間のけたは早強ポルトランドセメントを使用したコンクリートとし、工場で製作した(図-1、表-1および写真-2参照)。

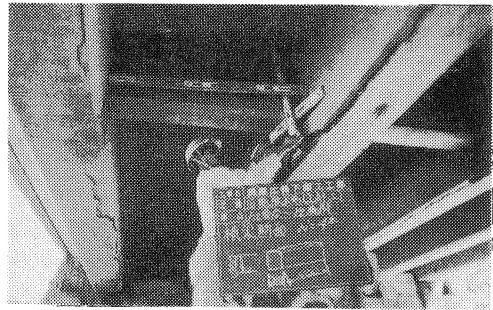


写真-1 旧屋嘉比橋の塩害による損傷状況
(建設後30年経過)

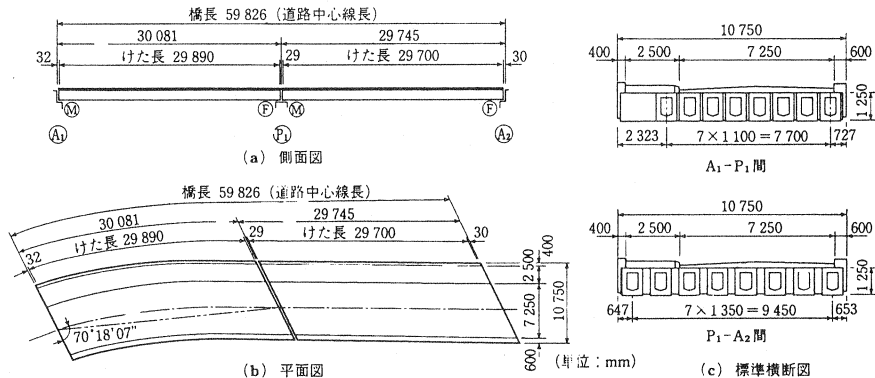


図-1 屋嘉比橋の一般図

表-1 けたの諸元

区 分	Λ_1-P_1 間	$P_1-\Lambda_2$ 間
け た 長	29.890 m	29.700 m
け た 高	1.250 m	1.250 m
け た 本 数	8 本	8 本
ブ ロ ッ ク 数	3 個 (約 10 m)	3 個 (約 10 m)
け た 重 量	62.14 t/本	61.74 t/本
コンクリートの種類	高炉スラグ微粉末使用コンクリート	早強ポルトランドセメント使用コンクリート

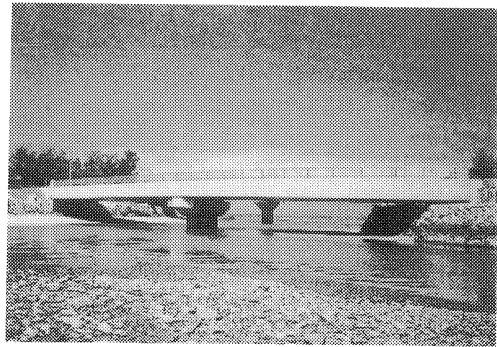


写真-2 屋嘉比橋の全景

型 式 : ポストテンション方式 (プレキャストブロック) PC2 径間単純中空床版橋

橋 長 : 59.826 m (道路中心線長)

有効幅員 : 9.750 m

2-2 工事主要材料の特徴

(1) けたの形状およびかぶり

旧橋はTけた橋であったが、新橋には表面積の小さい箱形断面のけたを採用し、塩害の影響を抑えることとした。

けたのかぶりの規定値については、文献2)、3)では工場で製作されるプレキャスト部材の場合25mmとなっているが、35.5mmを確保した(図-2参照)。

(2) コンクリート

高炉スラグ微粉末(高炉セメント)を用いたコンクリートは、優れた塩化物遮へい性能を有することが既往の研究⁴⁾で明らかにされている。しかるに、初期強度の発現が遅れるため、PC構造物への適用工事は、1990年に鹿児島本線の鉄道橋で1橋施工されたにすぎない⁵⁾。その後、1995年に比表面積 6000, 8000cm²/gの高炉スラグ微粉末がJIS制定され、問題点解決の可能性が高まってきた。

本橋の配合設計条件および試験結果は表-2に示すとおりであり、養生条件を図-3に示す。けたの設計基準強度は、49.0N/mm²(500kgf/cm²)、プレストレス導入時強度 34.3N/mm²(350kgf/cm²)で、高炉スラグ微粉末は種類 6000(比表面積 6120cm²/g、密度 2.91g/cm³)、セメントは早強ポルトランドセメント、スラグ置換率50%とし、細骨材は佐賀県大和町産川砂(絶乾密度 2.55g/cm³、粗粒率 2.95)、粗骨材は熊本県鹿北町産砕石(最大寸法 20mm、絶乾密度 3.00 g/cm³)、混和剤は高性能AE減水剤を用いた。

高炉スラグ微粉末使用コンクリートの配合(配合2)は、早強ポルトランドセメント使用コンクリート(配合1)より施工性を向上させるため、スランプを10cmとしたことにより水結合材比が5%小さくなったが、ワーカビリティの向上により混和剤量は約3割低減された。配合3は、水結合材比を配合1と同一とした比較供試体の場合であるが、配合1に比べると圧縮強度がわずかに低下している。

(3) PC鋼線

PC鋼線は、グラウトの施工不良や塩化物の浸透による腐食事例があることから、エポキシ樹脂全塗装PC鋼より線を選定して、耐久性の向上を図った(図-4参照)⁶⁾。製造法は、芯線の周囲より側線を一時的により戻し、より戻されている部分の芯線、側線それぞれの外周面単独にエポキシ樹脂被膜を形成した後、均一なより合わせ状態に復元している。このため、引張試験の結果、普通のPC鋼より線(裸線)の場合、

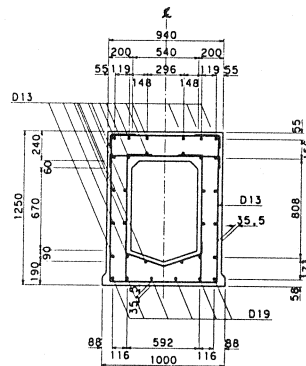


図-2 けたの配筋図

表-2 コンクリートの配合および試験結果

配合 No.	スラグ 置換率 (%)	水結 合材 比 (%)	細 骨 材 率 (%)	目標		単位量 (kg/cm ³)						コンクリートの性質				圧縮強度 (N/mm ²)				
				ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	水 W	セ メ ン ト C	ス ラ グ S	粗 骨 材 G	混 和 材 SP	ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	コ ン ク リ ー ト 温 度 (°C)	塩 化 物 量 (kg/m ³)	製品同一養生				標 準 養 生	
															20h	7日	14日	28日		
1	0	40	43.5	8±2.5	2±1	160	400	-	768	1173	3.20	8.4	2.0	19.0	0.0160	41.0	51.8	54.0	55.4	60.2
2	50	35	43.0	10±2.5	2±1	160	229	229	732	1143	2.29	11.5	2.1	19.0	0.0197	42.7	51.6	55.3	57.3	63.4
3	50	40	43.5	10±2.5	2±1	160	200	200	762	1164	1.80	11.5	1.6	19.0	0.0158	39.0	45.4	48.5	52.9	60.1

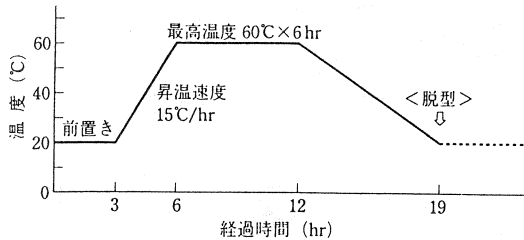


図-3 コンクリートの蒸気養生方法

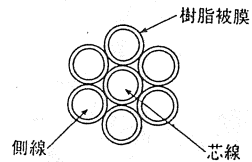


図-4 エポキシ樹脂全塗装PC鋼より線の断面⁶⁾

破断位置と切れ方が素線によってばらついているのに対し、選定したPC鋼線は、破断箇所がほぼ中央付近で均一で、引張強度が約2~5kN高くまた伸びも2~3%大きくなり、耐腐食性の他に機械的性質についても優れていることが確認された。

(4) 鉄筋

鉄筋は、従来から沖縄地区で使用事例が多い、JSCE E 102-1986に適合するエポキシ樹脂塗装鉄筋とした。

(5) シース

シースは、従来の鋼製シースは腐食事例があるため、耐食性が期待される波付ポリエチレン製プラスチックシースとした。このシースを用いた実大レベルPCげたの裁荷試験を行った結果、力学的にも鋼製シースと同様な性能であることが確認されている⁷⁾。

(6) 横組部、張出床版部および地覆部(現場打ち部材)

地覆部のかぶりは文献²⁾により普通鉄筋を使用し50mm、張出部のかぶりはエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用しうえに50mmとした。また、現場打ち部材のコンクリートの設計基準強度は、横組部(けた間部)および張出床版部30.0N/mm²、地覆部27.0N/mm²とした。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は沖縄県国頭村佐手沖産海砂(絶乾密度 2.57g/cm³、塩分含有量 0.004kg/m³)、粗骨材は沖縄県国頭村字半地産砕(最大寸法20mm、絶乾密度2.69g/cm³)、混和剤はA E減水剤遅延形I種を使用した。

3. PCげたの製作

PCげたは、橋軸方向に3分割して福岡県大牟田市で工場製作した(写真-3参照)。コンクリートは、図-3に示したような温度管理の蒸気養生とし、打設後19時間で脱型して気中養生した。コンクリートの品質は、スランプ、空気量、圧縮強度のいずれも目標値を満足しており、高炉スラグ微粉末を使用したコンク

表-3 けたコンクリートの試験結果

(n=8)

コンクリートの種類	製品同一養生の圧縮強度 (N/mm ²)				標準養生の圧縮強度 材齢 28 日 (N/mm ²)	
	材齢 19 h (脱型時)		材齢 14 日		平均値	標準偏差
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
早強ポルトランドセメント 使用コンクリート(配合1)	40.7	2.18	55.8	1.22	58.8	1.14
高炉スラグ微粉末使用コン クリート(配合2)	39.5	2.08	55.4	1.80	59.0	1.75

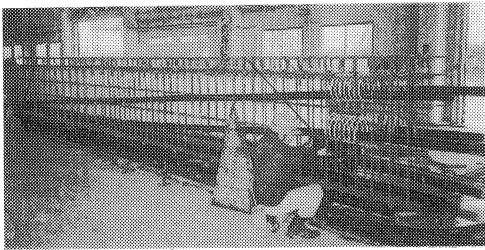


写真-3 PCけたの製作

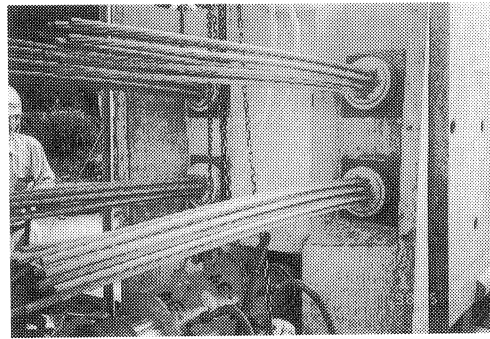


写真-4 プレストレッシング

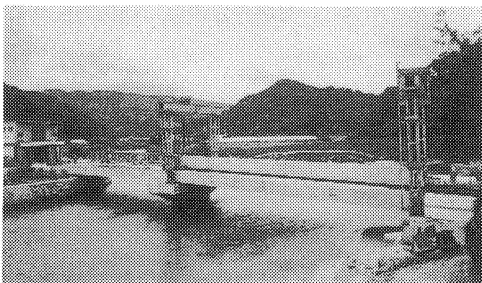


写真-5 PCけたの架設

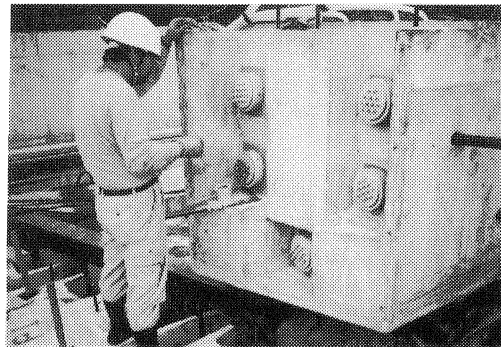


写真-6 エポキシ樹脂全塗装PC鋼より線の切断部処理

りートの脱型強度は、 35N/mm^2 を十分満足しており、プレテンション方式のPC構造物にも適用可能と考えられる(表-3参照)。また、コンクリート中の塩化物量は、川砂使用のため上限許容値 0.3kg/m^3 より十分小さく、内部塩分による塩害の発生は無視される。

4. PCけたの架設

工場製作したPCけたは、海上輸送し、架設地点の左岸側に材齢28日後に3ブロックを連結してプレストレス導入後、エレクションガーダー工法およびクレーン工法によってけたの架設を行った(写真-4, 写真-5参照)。緊張後のエポキシ樹脂全塗装PC鋼より線は、定着部より所定の長さで切断した後、PC鋼線の製作時と同等のエポキシ樹脂で被覆(写真-6参照)し、緊張切欠き部には無収縮モルタルを打設した。

5. 架設後の施工

けたの架設後、横組部(けた間部)のコンクリートを打設し、所定の強度に達したのちに横締めのエポキシ樹脂全塗装PC鋼より線(42t/本)を緊張し一体化した。グラウトにはノンブリーディング型の混和剤を使用し、水セメント比45%で注入した。つぎに、張出床版部(写真-7参照)および地覆部のコンクリートを打設した。

コンクリートの養生完了後、耐久性を考慮して橋面防水工(シート系防水層)の施工後、アスファルト舗装を施工した。また、高欄にはアルミ高欄を採用した。

6. 塩害に対する新技術の効果

工事は平成10年12月に竣工したが、これらの塩害対策工の効果を検証するため10年計画の追跡調査を計画し、同年5月、けたの製作時に同時に製作した供試体(コンクリートの供試体、シーソおよびPC鋼より線)を、架設地点の近くの曝露試験場に曝露して現地試験を開始した。

コンクリートの供試体としては、圧縮強度測定用、塩分量および中性化測定用、鉄筋腐蝕試験用のそれぞれ4材齢分とした。鉄筋腐蝕試験用の供試体は、図-5に示すように、かぶり30mm、50mmの位置に、D13、長さ11cmの普通鉄筋とエポキシ樹脂塗装鉄筋(または、7本より12.7mmの普通のPC鋼より線とエポキシ樹脂全塗装PC鋼より線)を埋設した15×15×26cmの角柱とした。鉄筋位置は、配合No.2のコンクリートと同じモルタルで製造したスペーサーにより定め、供試体の底面はフェノール樹脂を塗布しスペーサー界面からの塩分の浸透を防止した。

現在、追跡調査は継続中であるが、写真-8は加圧塩分浸透試験による促進試験結果であり、60日経過後の供試体断面における塩素の分布状況である。加圧面からの塩素の浸透深さは、高炉スラグ微粉末使用コンクリート

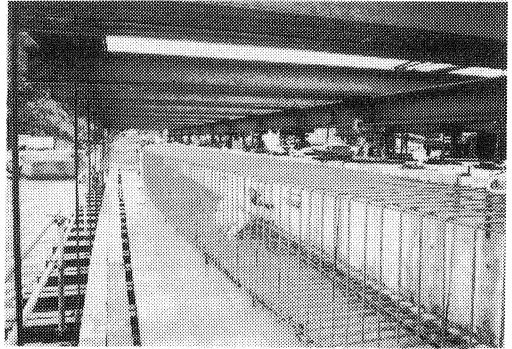


写真-7 張出部の配筋

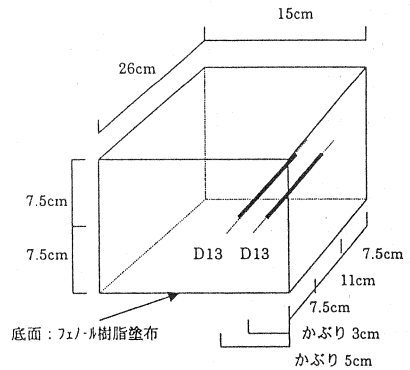
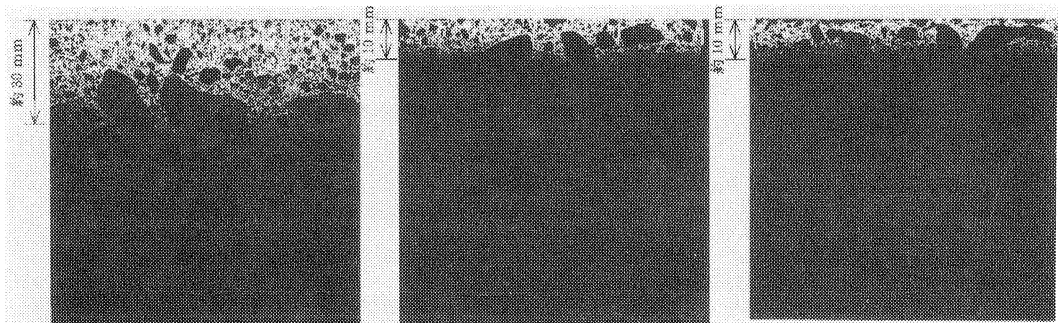


図-5 鉄筋腐蝕試験供試体



(a) 早強セメント (配合1) (b) 早強・高炉スラグ微粉末50% (配合2) (c) 早強・高炉スラグ微粉末50% (配合3)

写真-8 加圧塩分浸透試験結果(人工海水を10kgf/cm²で加圧、60日経過後のE P M A)

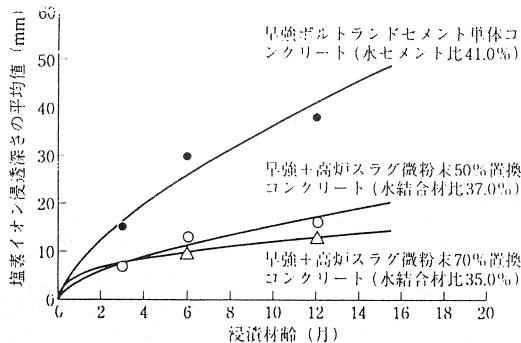


図-6 10% NaCl 溶液浸透試験における塩素イオンの浸透速度⁸⁾

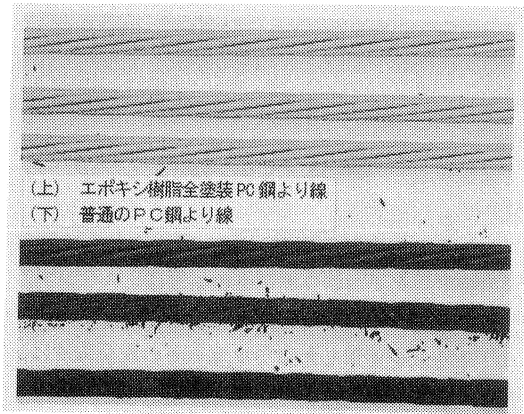


写真-9 PC鋼線の現地曝露試験結果(7ヶ月経過)

が、水結合材比 35% (配合 2, 表-2 参照), 40% (配合 3) のいずれも約 10mm, 早強ポルトランドセメント使用コンクリート (水結合材比 40%, 配合 1) が約 30mm であり, 高炉スラグ微粉末による塩分浸透抑制効果が認められた。図-6 (文献 8) から作成) は, 塩素イオンの浸透深さを材齢 1 年まで求めたものであるが, 同様に高炉スラグ微粉末使用コンクリートは, 早強ポルトランドセメント使用コンクリートの約 1/3 となっている。

一方, エポキシ樹脂全塗装 PC 鋼より線の現地曝露試験結果は, 7 ヶ月経過後, 普通の PC 鋼より線の場合全面に錆が発生し表面の錆部分が剥離する状態であるのに対し, まったく錆は認められず, 防錆効果が確認された (写真-9 参照)。

7. あとがき

将来の道路橋の維持管理負担を削減するため, 各種要素技術を組み合わせることにより最大限の長寿命化を図るミニマムメンテナンス橋⁹⁾が提案されている。本橋の場合, 塩害対策によって約 1.6% の上部工費増 (コンクリート, 鉄筋, シースの材料費増) となったが, ライフサイクルコストを考慮すると経済的であり, ミニマムメンテナンス橋の実現が図られたものと考えられる。

参考文献

- 1) 上津 敏・田中和幸・豊福俊泰: 塩害に対応した高耐久性 PC 構造物の建設-屋嘉比橋上部工工事-, コンクリート工学, Vol.37, No.3, pp.20~23, 1999.3
- 2) 日本道路協会: 道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説, 1984.2
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1994.2
- 4) 小林一輔・白木亮司・星野富夫: 高炉セメントコンクリートの塩化物遮へい性能 (1) - E P M A による面分析結果 -, 生産研究, 41 巻 6 号, pp.56~59, 1989.6
- 5) 長田晴道・宮武洋之・近田孝夫: 高炉スラグ微粉末を用いたプレストレストコンクリート桁の鉄道橋への適用, 土木学会第 45 回年次学術講演会, pp.186~187, 1990.9
- 6) 建設物価調査会: PC 構造物の耐久性を保证する完全防錆の全塗装 PC 鋼より線 SC ストラッド・SC アンボンド, 建設物価技術資料, No.155, pp.1~4, 1997.7
- 7) 坂本浩行・寺田 剛・片脇 清: プレストレストコンクリートへのプラスチックシースの利用技術, 土木技術資料, 38-9, pp.26~31, 1996.9
- 8) 日本材料学会: 高炉スラグ微粉末を使用した高耐久性プレストレストコンクリート構造物の開発, pp.43~52, 1998.3
- 9) 西川和廣・村越 潤・中嶋浩之: ミニマムメンテナンス橋に関する検討, 土木技術資料, 38-9, pp.56~61, 1996.9