

波之上橋における塩害対策工について

REPAIR METHODS OF THE NAMINOUEBASHIBRIDGE DAMAGED DUE TO CHLORIDEINDUCED CORROSION

浦辺信一¹・轟正彦²・前幸地 紀和³

ShinichiURABE,MasahikoTODOROKI,NorikazuMAEKOUCHI

¹正会員 那覇港湾・空港整備事務所長 (〒900-0001 沖縄県那覇市港町二丁目 6-1 1)

²那覇港湾・空港整備事務所 副所長 (〒900-0001 沖縄県那覇市港町二丁目 6-1 1)

³那覇港湾・空港整備事務所 保全防災課長 (〒900-0001 沖縄県那覇市港町二丁目 6-1 1)

This report describes repair methods applied to the bridge piers (Nos.P7&P8)damaged due to chloride induced corrosion together with seismic strengthening applied in 2001-2002.It is required that economical concrete mixes and construction methods,which are applicable to the concrete structures damaged due to chloride induced corrosion under any climatic environment,will be developed.

(selection of section recovery material,deal with change of concrete,)

Key Words : chioride induced corrosion,bridge pier,investigation,section recovery,
Corrosion of redar,polymer cememt concrete

1. はじめに

波之上橋は、昭和49年に那覇港における分断された各ふ頭機能を一本化し、那覇港全体としての機能を高めるために、那覇港臨港道路として計画され、昭和56年度完成に至っている。

供用開始から平成に至り、全国において海岸線におけるコンクリート構造物の塩害がクローズアップされる中、本橋脚においても平成10年度～12年度にかけ、現地調査を行った結果、塩害による劣化がみられた。

本報告は平成13年度～14年度にかけて耐震補強工と併せて施工された、P7・P8橋脚の塩害対策工について報告を行うものである。



写真-1 波之上橋 (工事完了後)
手前よりP8、P7橋脚

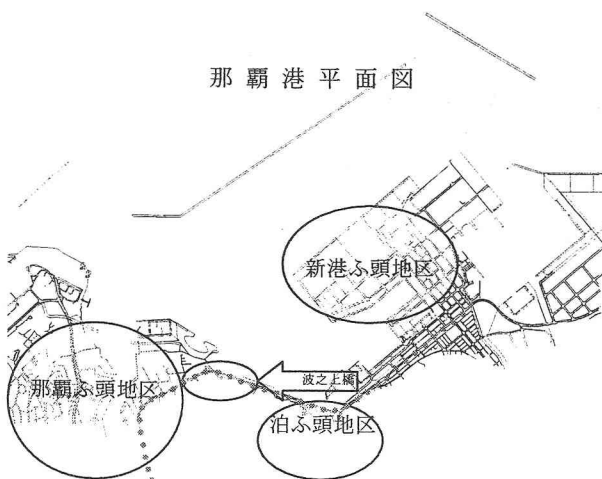


図-1 施工位置図

2. 本橋脚の調査結果

平成12年度にP3～P8橋脚の現地調査を実施した内容及び結果については以下の通りである。

(1) 詳細目視調査

目視調査の結果、0.4mm以上のクラックが数箇所発見され、この箇所には浮きも確認された。さらに白色折出物も確認でき、外観目視調査上深刻な損傷を受けていると判断された。

(2) はつり調査

ひび割れ箇所が深刻と判断し、干満帯より上の部分について、はつり調査を行った結果、飛沫帯及び梁下部の劣化が激しく、鉄筋腐食度についてもⅡ～Ⅳ（表－１）の判定となった。

表－１ 腐食度判定表

階段の表示	腐食の目視による観察状況
腐食度 Ⅰ	施工時の状況を保ち以降の腐食が認められない
腐食度 Ⅱ	部分的に腐食が認められる軽微な腐食
腐食度 Ⅲ	表面の大部分が腐食している 部分的に断面が欠損している
腐食度 Ⅳ	鉄筋の全周にわたり断面の欠損がある
腐食度 Ⅴ	鉄筋の断面が当初の2/3～1/2位欠損している

(3) 中性化に関する調査

コア採取及びはつり箇所について中性化試験を行った結果、最大深さは15.7mmであり、設計かぶりを大きく下回っているため、劣化原因と中性化は関係ないと考えられる。

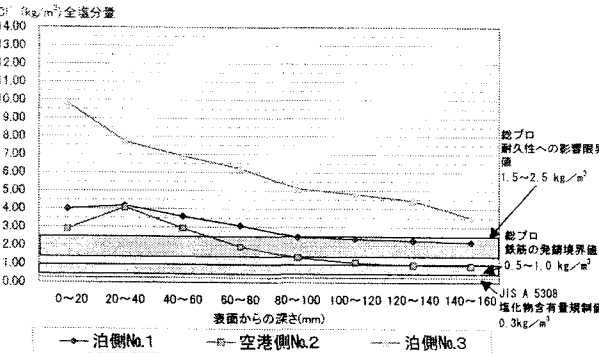
(4) アルカリ骨材反応に関する調査

現地の圧縮強度試験及び静弾性係数試験結果並びに、目視調査の結果、本橋脚はアルカリ骨材反応によるコンクリート劣化は無いと判断される。

(5) 全塩分量分析結果

分析結果を見ると、表面に近く、海水面に近い部分ほど塩分濃度が高い。また、はつり調査の結果により、橋脚部の鉄筋配置位置は表面から平均80mmの位置にある事がわかった。図－２に表面から80～100mmの深さの全塩分量について示す。

総じて全塩分量が高いのは干満帯部であつたが、はつり調査の結果をみると、劣化が進行しているのは梁部や飛沫帯部であり、干満帯は海水につかるため塩分の供給量が多いが、酸素に触れている時間は少ないため、劣化の進行速度が遅く、結果劣化状態が軽微であったと推測される。



図－２ P 8 全塩分量

3. 塩害対策工の検討

梁部において、現状における鉄筋位置での塩化物イオン濃度が鉄筋の発錆限界を超えているため、

塩害対策工法の選定としては、劣化コンクリートの除去+断面修復工法+表面被服工法の組み合わせにより行うこととした。

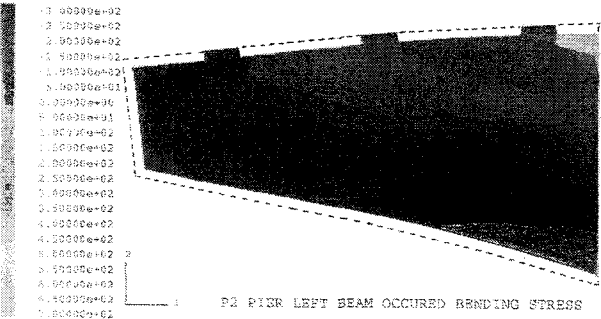
(1) 劣化コンクリートの除去（はつり工）

梁部の劣化コンクリートを除去するにあたり、はつり深さ範囲については全塩分量分析結果及び既設鉄筋位置の関係より、以下のとおりとした。

梁下端・梁端部・側面部＝純かぶり＋主鉄筋径＋10mm

梁上端部＝純かぶり＋主鉄筋径／2（引張鉄筋の中心迄とした）

また、供用しながらの施工となるため、施工時の安全性としてはつり断面に対し、骨組構造計算と有限要素法により安全性の確認を行った。



図－３ 有限要素法による解析モデル

(2) 腐食鉄筋の補修

はつり工により露出した既設鉄筋が断面欠損している場合の措置に対しては、既存の補修設計案及び既設橋脚の設計が許容応力度法により設計されていることを考慮し「鉄筋断面積の残存量が90%を下回った場合に補強を行う」こととした。

(3) 断面修復

断面修復に用いる補修材料の選定については、既設コンクリートと補修材料との境界に発生するせん断応力の解析結果により、1.44N/mm²以上の付着強度を有する補修材料が必要となった。（通常のモルタルの付着強度は1.0N/mm²）

(4) 断面修復材料の選定

断面修復材料の選定基準としては、文献－１に「5.1.2 断面修復材料の選定」として提案されている。ここでは、断面修復材料の選定条件を以下の4項目としている。

- a) 十分な強度を有し、密実であること。
- b) 乾燥収縮や水和熱によりひび割れを生じにくいこと。
- c) 既設コンクリートとの付着性に優れること。
- d) 海水に対して十分な耐久性を有すること。

これらの選定条件を満足した材料として大井埠頭ではセメントモルタル系またはポリマーセメントモルタル系の断面修復材料を用い、その品質規格として「表-2 断面修復材の品質規格値（案）」を提案している。

ここで本橋脚の断面修復量は、橋脚全体のかぶりコンクリートとなるため、大断面であり、セメントモルタル系またはポリマーセメントモルタル系でもモルタルを用いる場合はかなり高額なものとなる、

しかし、セメントコンクリートは、乾燥収縮によるひび割れが発生しやすく、付着力も低いことがわかっている。これに対し、ポリマーセメントコンクリートは、前述の4つの選定条件を満たし、これまで沖縄でも十分な施工実績があることもわかっている、

上述の理由から、本橋脚の断面修復には、ポリマーセメントコンクリートを断面修復材料に使用する事を決定した、文献-2

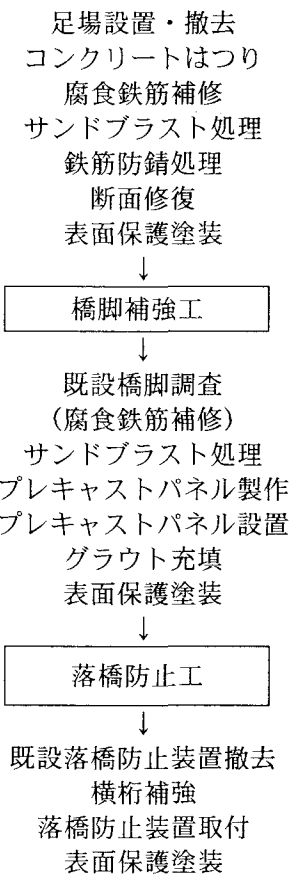
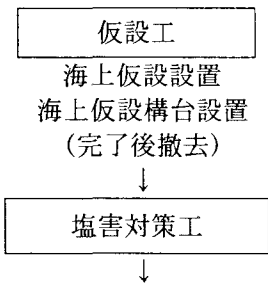
表-2 断面修復材の品質規格値（案）

項目	品質規格	試験方法
圧縮強度	300kgf/nm ² 以上	JIS A 1108
曲げ強度	30kgf/cm ²	JIS A 1106
乾燥収縮量	20×10 ⁻⁴ 以下（3ヶ月）	JIS A 1129
ブリージング率	1.0%以下	土木学会基準
水和熱	できるだけ小さいこと	—
耐海水性	浸漬後にふくれ、われ等の変状がないこと	JIS K 5400 7.4に準拠
温冷繰り返し抵抗性	浸漬後にふくれ、われ等の変状がないこと	日本道路公団方式
付着強度	標準養生後	15kgf/cm ² 以上
	耐海水性試験後	10kgf/cm ² 以上
	温冷繰り返し試験後	10kgf/cm ² 以上
塩化物イオン拡散係数	できるだけ小さいこと	—

出典「大井埠頭棧橋劣化調査・補修マニュアル（案）」

4. 施工方法の検討

施工方法の検討にあたり、本工事の施工フローを以下に示す、



(1) ポリマーセメントコンクリートの試験練り及び結果

断面修復に用いるポリマーセメントコンクリートは、小断面の補修において現場練りにより採用される事がほとんどであり、今回の様な大断面に対する補修に関しては施工例が無く、前年度現場練りにより実施した際の問題点を排除するためにプラントによる管理施工を採用し、安定した品質を確保する為の検討を行う事とした、中でも打設については約150mmの幅に対して十分な流動性を保持しながら打設を行う必要があるが、打設時期が暑中にかかるため、スランプフロー値のロスによるワーカビリティの損失を防ぐ事が課題となった、

実施にむけた検討内容としては、試験練りにおいてあらかじめ設定した配合計画に基づき、試験室を約30℃に保ち、かつコンクリート温度を30℃とした状態にて配合決定のため試験練りを行い、経時変化におけるスランプフロー値の測定を行った、

表－３ 試験室及びプラントにおける試験練り結果

試験室における試験練り結果			プラントによる試験練り及びアジテータ車による運搬結果		
経過時間	スランプ値 (cm)	コンクリート温度 ℃	経過時間	スランプ値 (cm)	コンクリート温度 ℃
直後	68.5	29.5	出荷時	68.0	27.8
30分後	67.0	29.0	—	—	—
60分後	66.0	28.6	現場到着 時(60分 後)	54.5	28.9
減水材 後添加 0.1%	66.0	28.0	減水材 0.3%後添 加(74分 後)	70.0	29.1
90分後	60.5	27.9	後添加 30分後 (104分 後)	63.5	29.0

試験練りの結果は表－３に示すとおり、60分経過段階にて規格を外れた。スランプフロー値の回復のため、1回添加のみ高性能AE減水剤の後添加を認める事とし、現地における施工基準作成のため、60分経過段階の試料に対し0.1%の後添加を行い回復の目安とした。強度については $\sigma 28$ にて45.9N/mm²となった。

試験室とは別に実機試験として、プラントにおける試験製造及びアジテータ車による現地までの運搬を行い、スランプフローの確認を実施した。なお強度については $\sigma 28$ にて39.7N/mm²となった。

また、試験練りの試料により付着力強度試験(引張試験)を実施したが、 $\sigma 28$ 平均にて1.4N/mm²となり目標値を下回る結果となった。しかし、目標値を下回った供試体についてはすべて母材側にて破断が生じており、界面にて破断が生じた供試体については1.6N/mm²以上の付着力が確認され、現地施工に向けて、供試体の作成方法について見直す事とした。

表－４ ポリマーセメントコンクリートの規格基準値

コンクリートの種類	ポリマーセメントコンクリート
呼び強度	24
粗骨材の最大寸法	15mm
スランプフロー	70±10cm
空気量	6.0%以下



写真－２ 試験練り状況

(2) ポリマーセメントコンクリートの施工基準の作成

前記の試験練り結果に基づき、修正配合計画を作成するとともに、打設における施工基準を以下の通りとした。

- プラント段階での目標スランプフロー値については、ロス率及び過大なフローとなった場合の材料分離を考慮の上75cmとし、現場後添加なしにて施工出来る事を前提とする。
- 運搬時間60分以内、打設時間30分以内にて施工計画を行う。
- 減水剤の後添加は最終手段とし、後添加によるスランプフロー値の増加量は、添加量0.1%あたり5cmとする。

5. 施工における結果と問題点の解決

(1) はつり工

現地におけるはつり工を行った結果、両橋脚梁部の鉄筋については断面欠損が確認されたが、中でもP8については約4割の鉄筋について補強が必要な状況であった。

また、施工当時設置された、被り厚の少ない段取筋の腐食が特に著しく、コンクリート表面への大きなひび割れを増長させ、構造鉄筋へ悪影響を及ぼしている状況が見受けられた。

柱部についても、耐震補強工に先立ちひび割れ箇所のはつり調査を行った結果、ひび割れ・浮き箇所についてはすべて補強が必要である状況であった。

(2) 腐食鉄筋の補修

腐食鉄筋の状況としては、10%～破損に至る物まで広範囲であり、補強に関しては鉄筋1本毎の最大損傷率の測定結果を補強筋の断面決定根拠とし補修を行った。添筋による補強を原則としたが、断面欠損の激しい物については取替える事とした。鉄筋の定着については、定着長及び定着位置を考慮し、結束とフレア溶接の使い分けにより行った。

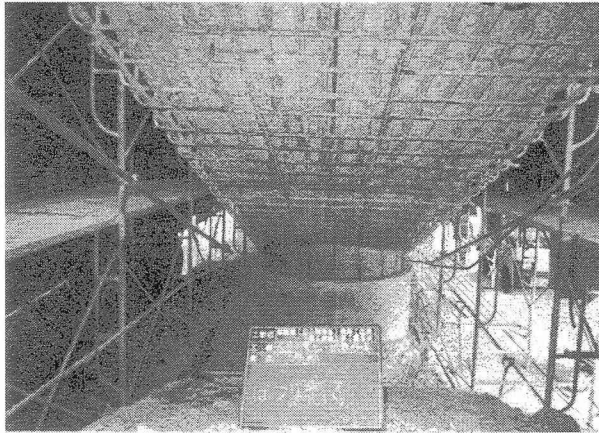


写真-3 はつり完了後（梁下）

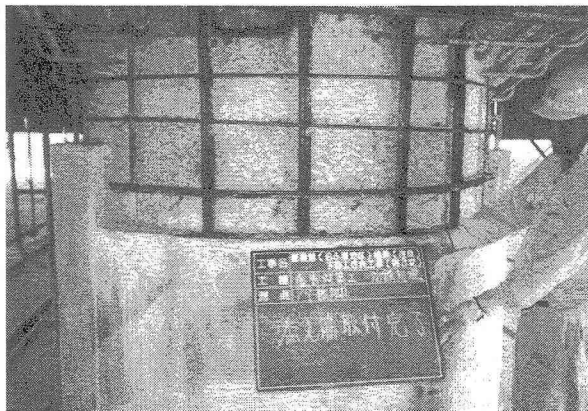


写真-4 添筋完了後（梁部～柱部）

(3) 断面修復

断面修復において課題となっていた、スランプフロー値のロスについては、表-5に示すとおり良好な結果となり、後添加をする事もなく、材料分離も見られなかった。

打設時間についてもプラント出発より打設完了まで45分～85分の間で完了した。

$\sigma 28$ における強度については、圧縮強度は43.3N/mm²、付着強度は界面破断にて2.23N/mm²という結果となった。

また、打設にあたり、本コンクリートの流動性及び打設量との関係により、打設能力4m³/hのモルタルポンプ2台を使用した。が、圧送用の耐圧ホースに目詰まりが生じ1系統のポンプが打設出来ない状況も生じた。これは、本コンクリートのポリマー成分の粘着力が予想以上に強く目詰まりを起こしたと考えられるが、現地に予備のポンプを配備していたため、大きな問題とならずに施工する事が出来た。

表-5 ポリマーセメントコンクリート打設管理結果

打設箇所	打設月日		積載量 (m ³)	プラントにおける試験値（出荷時）			現場における試験値（現着時）			
				スランプフロー (cm)	コンクリート温度 (℃)	エアース量 (%)	スランプフロー (cm)	コンクリート温度 (℃)	外気温 (℃)	エアース量 (%)
P8橋脚 1リフト目	平成14年 7月30日	1車目	3.0	72.5	30.0	5.4	60.5	30.5	27.0	4.5
		2車目	4.5	76.5	29.0	4.9	73.8	29.5	25.0	5.3
		3車目	4.5	77.0	29.0	4.9	74.5	29.5	27.0	4.8
		4車目	4.5	77.5	29.0	4.6	69.5	30.0	26.0	4.7
		5車目	3.0	76.8	29.0	5.0	74.8	30.0	26.0	5.5
		6車目	2.5	76.5	29.0	5.1	71.5	29.0	23.0	5.8
P7橋脚 1リフト目	平成14年 8月21日	1車目	4.5	76.5	28.5	4.6	72.5	30.0	27.0	3.5
		2車目	4.5	76.0	28.5	3.7	70.5	30.0	28.0	4.8
		3車目	4.5	77.5	30.0	3.0	71.0	29.0	26.0	3.3
P8橋脚 2リフト目		4車目	4.5	77.0	28.5	2.7	77.3	29.0	26.0	2.9
		1車目	4.5	76.5	29.0	3.4	72.8	30.0	26.0	3.3
P7橋脚 2リフト目	平成14年 9月19日	2車目	2.5	76.5	29.0	4.3	72.5	30.0	26.0	3.7
		1車目	4.5	77.5	29.0	3.5	68.3	28.0	24.0	3.3
		2車目	4.5	76.0	29.5	3.8	68.3	29.0	23.0	2.8
		3車目	3.5	75.0	29.0	3.6	69.3	29.0	23.0	2.2

今後の課題

今回工事においては現場条件をあらかじめ考慮した試験練りの実施により、良好なワーカビリティを得ながら現場施工を行うことが出来た。

本補修工法は、今後塩害対策を必要とする構造物の補修において、広く活用されていくものと考え

えられるが、あらゆる気象下におけるコンクリート物性値の変化へ対応するため、データの蓄積を行いつつ配合基準の作成を行い、材料・施工費に関するコストの低減への対応を行っていく事が望まれる。

文献－１ 「大井埠頭棧橋劣化調査・補修マニュアル(案)」(平成 6 年 3 月, 財団法人 東京港埠頭公社)

文献－２ 「平成 10 年度：那覇港コンクリート構造物劣化調査」(平成 11 年 3 月, 沖縄総合事務局 那覇港湾空港工事事務所)