

# 平南橋補修について ～塩害対策～

1 大城 朝一 1 金城 世喜

1 沖縄総合事務局 北部国道事務所 名護維持出張所 (〒905-0012 沖縄県名護市名護4618-34番地)

平南（へなん）橋は、1981年に竣工後、3年程度で塩害が確認されたため、部分的な補修を行なった。さらに1992年に損傷箇所の断面修復及びコンクリート表面塗装を実施したが、2008年に塩害による再劣化が確認され、コンクリート剥落により、PC鋼材を保護している鋼製のシースが気中に曝されていた。

腐食によるPC鋼材の破断は、橋の耐荷性能の低下につながり、最悪の場合、通行止めを余儀なくされ、その社会的な影響は大きい。そのため、平南橋の損傷状態を明確にし、本橋の耐荷性及び耐久性を把握することにより、補修・対策工法を選定した。本稿は、補修に至った要因の把握から対策工法の選定までの過程について整理したものであり、塩害により劣化損傷の進行した橋梁補修の一事例として報告するものである。

キーワード PC橋、塩害、再劣化、補修工法検討、電気防食

## 1. はじめに

平南橋は、沖縄本島西側を縦断する国道58号のやや北側に位置し、その親柱の上部には琉球花笠をモチーフにしたユニークなデザインが施されており、また、名護市内から大宜味村に向けて海岸線沿いを車でドライブしていると、山側に向けて急カーブがあり、そこを抜けると美しい平南橋の曲線が視界に広がり映し出される。橋の上から海を見渡すと晴天時には、遠くに伊平屋島や伊是名島、古宇利島などが展望でき、景観にも優れ、観光周遊ルートとして、また、地元の人々は橋の下で海水浴など楽しむ際、日中、沖縄の鋭い直射日光を防ぐ日除けとしても親しまれている。地域に溶け込み、その容姿、風貌は沖縄を代表するに相応しい橋梁であると言える。

このような風光明媚な場所であるにもかかわらず、本橋は架設した当時から日本各沿岸部と同様に塩害による、劣化・損傷に悩まされ、その美しい容姿を大きく変質させてきている。

## 2. 立地環境

沖縄の直轄国道は沖縄本島の海岸線に沿った外周状に形成されており、本橋においても写真-1に示すように、ほぼ海岸汀線の直上にあり、腐食環境の厳しい条件下にある。本橋は、竣工から30年が経過し、かぶりコンクリートの剥落、内部鉄筋の腐食等の塩害による再劣化が進行していることが確認された。さらに、部分的に内部鉄筋と、PC鋼材シースの露出が確認されたため、PC鋼材の腐食や破断が懸念された。

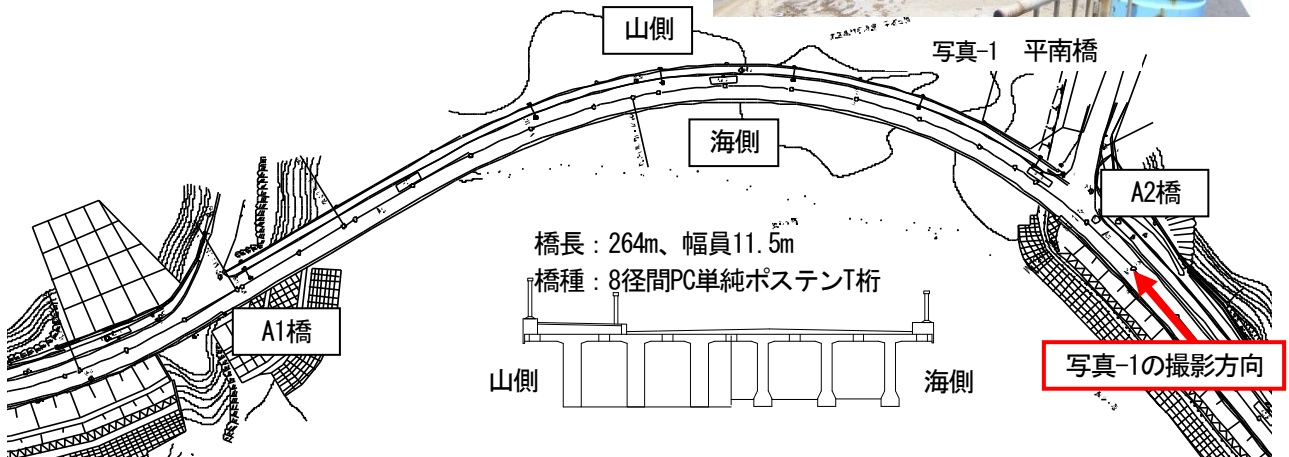


図-1 平南橋の平面図および断面形状

本橋は、1978年(昭和53年)の道路橋示方書による設計を行っており、1984年(昭和59年)に刊行された塩害対策指針(案)<sup>1)</sup>に規定された仕様とはなっておらず、また、本橋はミーニシを始めとする北北東の季節風が卓越している環境であることから、特にA2付近は海水飛沫が付着しやすく、塩害の生じやすい環境下(写真-2参照)であると考えられる。



写真-2 平南橋周辺の卓越する季節風

しかしながら、図-1(前頁)に示すように、管内でも比較的規模の大きいPC橋であり、昨今の限られた管理費用のなかで、全径間にわたる修繕は困難であることや、架け替えを行う場合にしても、事業化に至るまでの間の安全性を確保する必要がある。上記いずれにしても必要とされる補修を行わなければならないため、過去の調査、点検、補修歴の確認とあわせて橋梁の損傷状態を調査、把握を行い、検討し、適切な補修方法を選択する必要がある。

そのため、次の章でまず過去の調査報告と補修記録を収集・整理し、塩害損傷に至った経緯を把握することとした。

### 3. 既往の劣化調査及び補修履歴

#### (1) 1984年(昭和59年)調査、補修

残鉄(型枠支持材等の金属)による錆汁が多数発生していたことから、これらの箇所での断面修復を実施。

#### (2) 1990年(平成2年)調査

1984年補修箇所から再度、錆汁が発生、主桁フランジ上・下部及び間詰部にコンクリート剥離、鉄筋露出、ひび割れが確認され、A2橋台付近がより損傷が顕著であったことが記録されている。また、P7-A2間G1桁については、鉄筋のかぶり厚が10mm程度であり、規定されている35mmを大きく下回っていることも併せて報告されている。

#### (3) 1991年(平成3年)補修

1990年調査を受けて損傷の著しい主桁フランジを中心に断面修復を行い、橋梁全体に表面被覆(塗装)を実施している。

#### (4) 1998年(平成10年)橋梁点検

当時、橋梁点検において、損傷度の判定を区分するために用いられた表-1により橋梁点検を実施<sup>2)</sup>、照合の結果、概ね損傷度IVと判定されており、所見として、3年以内に追跡調査を行うことがコメントされている。

表-1 損傷度判定標準(橋梁点検要領(案)昭和63年抜粋)

判定区分	一般的状況
II	損傷が大きく詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある

#### (5) 2002年(平成14年)定期点検

定期点検の結果、主桁及び床版に剥離・鉄筋露出が損傷度II及びIIIであった。また、下部工には損傷度II及びIIIのひび割れが確認され、4年前の橋梁点検と比較して損傷が急激に進行していることが確認された。

#### (6) 2003年(平成15年)橋梁調査(塩害)

P5-A2径間(図-2参照)において、塩分が相当量、内部に拡散が進行しており、鋼材位置において、腐食発生限界値(1.2kg/m<sup>3</sup>)を超過していることを確認している。

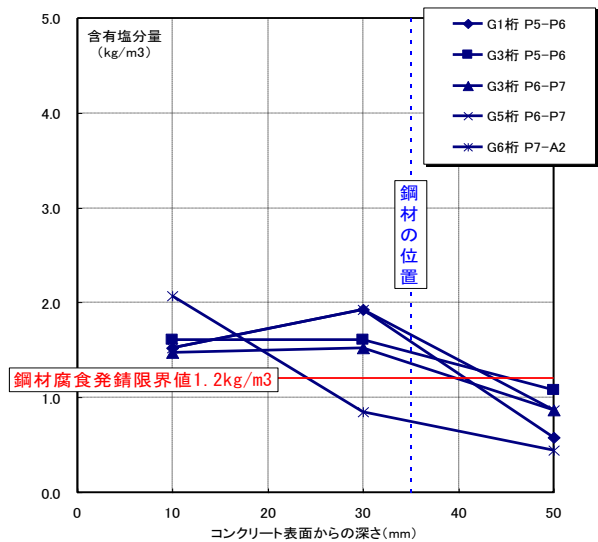


図-2 塩分量(平成15年度調査結果)

#### (7) 2007年(平成19年)定期点検

2004年に改訂された橋梁点検要領により、点検を実施したところ、主桁及び床版の大部分において、対策区分C(速やかに補修等を行う必要がある)と判定された。



(8)2008年(平成20年)橋梁調査

前年度定期点検において、対策区分「C」という評価を受け、補修対策に向けた調査を実施している。図-3はP7-A2径間を調査年毎に主桁の含有塩分量の平均値を求めることにより、相関関係を表している。1990年調査、2003年調査時点に比べ2008年調査において、大きく含有塩分量が増加していた。また、図-3には表されていないが、コンクリートの剥落したシース付近に付着している表面の塩分量を測定した結果、P5-P6径間1.38kg/m<sup>3</sup>、P6-P7径間においては5.95kg/m<sup>3</sup>、P7-A2径間も同様に5.99kg/m<sup>3</sup>と高い値となっていることが分かった。

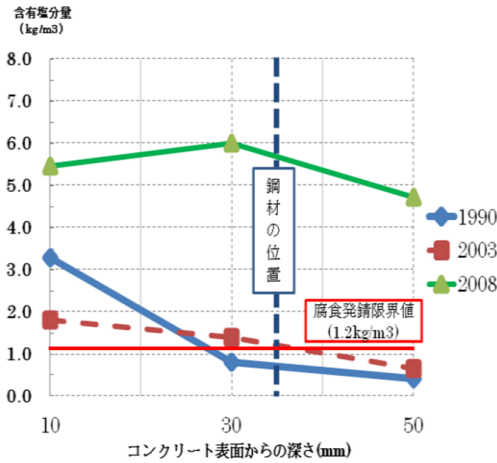


図-3 塩分量 (P7-A2 過年度調査の比較)

次にシースの露出している部位においては、内部のPC鋼材の状態の確認を行うため、シース内のグラウトのはつりを行わなければならないため、PC鋼材を傷つけない様、細心の注意を払い丁寧にグラウトのはつりとり、PC鋼材の状態の確認を行った(写真-3参照)。確認したところ、錆はほとんど見られず、PC鋼材自体の破断は生じてなくほぼ健全な状態であった。



写真-3 はつり調査(P7-A2 G4桁 PC鋼材状況)

4. 補修対策の検討



写真-4 A1-P5径間の損傷状況



写真-5 P5-A2径間の損傷状況

起点側(A1-P5区間(写真-4))の上部構造は、うき等の損傷が点在しているものの局所的であり、鋼材の腐食による耐荷性能の低下はないものと考えられる。

また、下部構造においては、2003年および2007年の調査によって、損傷が軽微であることや鉄筋の腐食がないことが確認されている。

一方、終点側(P5-A2区間(写真-5))の上部構造でスターラップの断面欠損が著しい損傷が認められており、耐荷性能の低下が考えられる。よって、終点側(P5-A2区間)の上部構造は、現況における耐荷性能を確認し、スターラップの腐食進行を抑制する検討を行うこととし、また、起点側(A1-P5区間)の上部構造および下部構造においては、損傷が軽微であるため、一般的な補修対策を実施することを基本とした。

終点側(P5-A2区間)の上部構造の耐荷性能をH14示方書に基づき評価した結果、耐荷性能が低下していることから、近い将来、架け替えを検討しなければならないが、費用が多額となることから当面の措置として、終点側(P5-A2区間)については、スターラップの腐食を抑制する目的で、対策方法の検討を行った。

表-2 腐食抑制対策の比較検討

腐食抑制対策	適用性	理由
電気防食工法	○	PC橋の電気防食は、北陸地方で実績がある。鋼材への電流量が小さく水素脆化がない。電流量が小さいため、アルカリ骨材反応への影響も少ない。
脱塩工法	△	鋼材が密に配置されている場合、鋼材裏側の塩分の除去が難しい。PC鋼材の水素脆化に留意しないといけない。アルカリ骨材反応を助長する恐れがある。
鋼材背面までの断面修復工法	×	鋼材背面までのはつりにより、プレストレスが減少する可能性がある。腐食が表面化しておらず、はつることによって、落橋の危険性がある。完全に腐食を抑制することは難しい。

対策方法として想定されたのは次の3案(表-2参照)で、1案 電気防食工法、2案 脱塩工法、3案 鋼材背面までの断面修復工法とそれぞれの特徴、適用性を踏まえ、比

較検討を行なった。1案の電気防食工法については、過去にPC橋での施工実績があることや、電流量が小さいため、諸反応への影響が少ない。2案脱塩工法については、鋼材が密に配置されている場合に鋼材裏側の塩分の除去が難しいことや電流が大きく、水素脆化、アルカリ骨材反応も留意しなければならない。3案の鋼材背面までの断面修復工法については、鋼材背面裏側まではつりを行うとプレストレスが減少する可能性がある。

以上の検討の結果、1案を採用し、電気防食（犠牲陽極材）を併用した断面修復工を行うこととした。

## 5. 補修方法

### (1) 起点側 上部構造の補修対策

起点側【A1-P5 径間】の上部構造は、うきおよび剥離・鉄筋露出が発生している。現在は、耐荷性能に与える影響がないと考えられるため、一般的な断面修復工法により補修を行うこととした。なお、断面修復部においては、図-4のようなマクロセル腐食が生じる可能性があるため、再劣化がわかるように、また、損傷状況の確認を容易にし、維持管理の負荷を減少させることを目的として写真-5のような無機顔料により、着色した断面修復材で補修を行った。

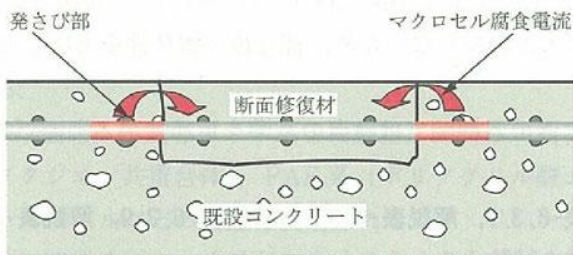


図-4 マクロセル腐食



写真-5 無機顔料による着色

### (2) 終点側 上部構造の補修対策、施工上の留意点

終点側の上部構造は、最終的には架け替えを行うこととなるが、架け替えまでに耐久性を有する必要があるため、スターラップの今後の腐食を抑制し、現況の鉄筋量を確保する必要があるため、マクロセル腐食対策とし

て、部分的な電気防食（図-5）を用いた断面修復工法を採用し、起点側と同じく再劣化部が確認できるように、着色した断面修復材で補修を行った。

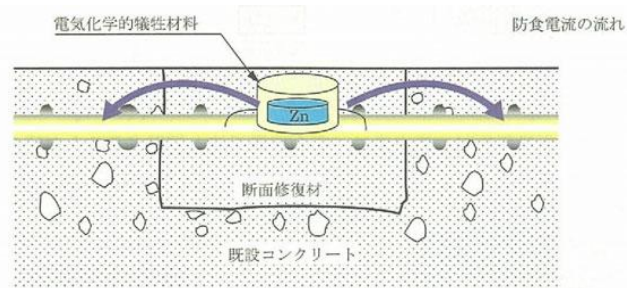


図-5 犠牲陽極材による部分的な電気防食

施工上の留意点としては、平南橋上部工は、PC 構造（ポストテンション方式単純T 桁橋）であり、非常に薄い部材に、常にプレストレスが作用している構造である。また、PC 構造は全断面有効でPC 鋼材（PC 鋼材-グラウト-シース）とコンクリートの付着を前提として成り立つ構造であり、断面欠損部のプレストレスは損失されることとなる。また、はつり作業によって、健全なコンクリートや鋼材に悪影響を及ぼすことがある。よって、断面はつり施工においてはこれらを考慮し、最小限のはつり範囲にとどめる必要があった。

#### a) 支間中央部下フランジ

曲げ最大箇所での引張縁となる部位であり、PC 鋼材が集中している部位でもあるため、本部位の断面欠損は、全断面有効のPC 構造では、曲げに対して大きく影響するため、当該箇所では、基本的にはつりを行わない方針（うきの叩き落とし、既設面の処理、露出鉄筋のみの防錆処理）とした。

なお、損傷状況としては、局所的な「うき」、「剥離・鉄筋露出」であり、脆弱部を取り除くため、はつり作業が必要となる場合の最大深さは、現地調査の結果、図-6のとおり、最下段PC 鋼材位置（高さ）は、下フランジ下面からシース部の純かぶりが41mmの部分が確認されたため、40mm 以上はつるとシースが露出する恐れがあることから、最大40mm（スターラップ中心位置まで）と制限して施工を行った。（下フランジ上面ハンチ部も同様）

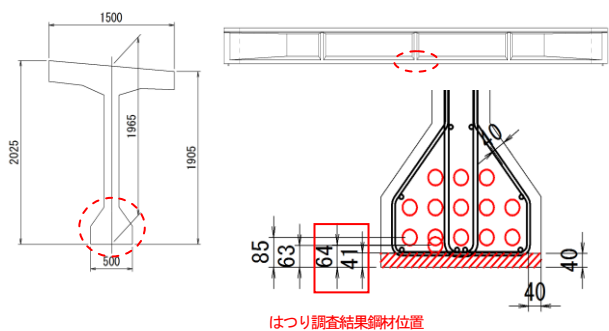


図-6 支間中央下フランジ部のかぶり



## b) 桁端部付近ウェブ

桁端部付近のウェブは、せん断最大箇所であり、PC鋼材が定着部へ向けて曲げ上げられている箇所である。本部位の断面欠損は、せん断抵抗に対して大きく影響するため、当該箇所では、基本的にはつりを行わない方針（うきの叩き落とし、既設面の処理、露出鉄筋のみの防錆処理）とした。

損傷状況としては、広範囲な「うき」、「剥離・鉄筋露出」があり、脆弱部を取り除くため、はつり作業が必要となる場合の最大深さは、図-7のとおり、最大45mm（スターラップ中心位置まで）を制限とし、また、ウェブは非常に薄い部材（180mm）であるため、ウェブ両面の補修が必要となる場合でも、確実に片面毎施工（はつり・断面修復）を行うこととする。

また、薄い部材にPC鋼材が配置され曲げ上げられているため、PC鋼材に影響（シースの露出・損傷）を与えないようにする。はつり深さが深いとウェブ内部の健全なコンクリート部に悪影響を及ぼすため、注意を払いつつ施工を行った。

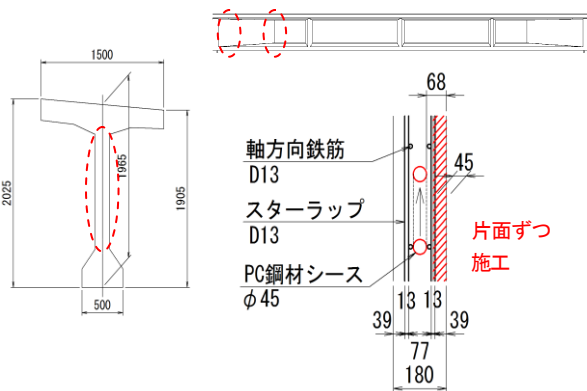


図-7 桁端部ウェブ部のかぶり

## c) 鋼材露出部(PC鋼材シース部、軸方向鉄筋)

現状でPC鋼材シースや橋軸方向鉄筋が広範囲に露出している箇所については、鉄筋裏までのはつりを行わない方針（脆弱部の部分除去、既設面の処理、露出鋼材の防錆処理）とした。

## d) 犠牲陽極材設置部

前述 a)、b) の箇所では、犠牲陽極材がかぶり不足となることから、かぶり確保のためのはつりは行わず、余盛り(図-8参照)を行い対処することとした。

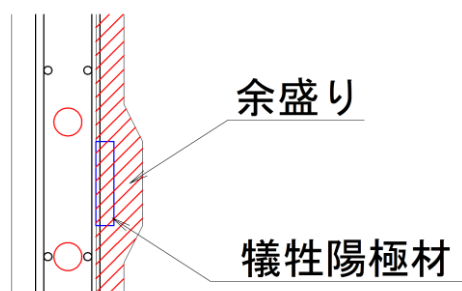


図-8 余盛りについて

## e) その他（車線規制、モニタリング）

本橋は、主桁（ポステンT桁）6本から構成される橋梁であるが、特に、P7-A2 径間では、全桁に著しい損傷が生じていること。また、品質管理上、主桁の補修工事（断面修復工）では、主桁の振動・変形を抑えた状況で実施することが望ましいため、施工時において片側交互通行の車線規制を行なった。

また、本橋は、応力上の問題はないが、P7-A2径間に於いて、浮き・剥離、鉄筋露出等、損傷が顕著であるため、実際の補修作業時に想定以上の応力が作用する可能性も閑却し得ないため、現況交通及び施工の安全性を考慮し、計測機器を用いたモニタリングを行った。本橋の構造条件（単純桁）から、着目する変状としては、「支間中央部の曲げ」および「支点部付近のせん断」であるため、図-9の変位計（支間中央：残留変位確認）及び、ひずみ計（支間中央下フランジ下面：曲げ変形着目、ウェブ厚変化断面ウェブ側面：せん断変形着目）を設置し、計測することとした。

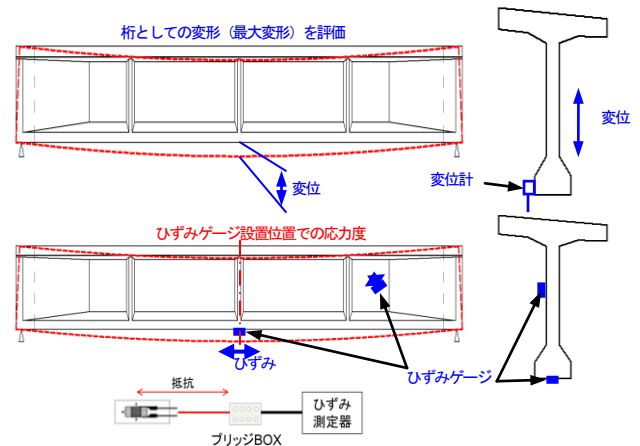


図-9 変位計、ひずみ計

自動計測にて一定間隔毎にデータを収集し（PCに蓄積）、断面剛性が変化する作業期間中は常時観測を行い、断面修復材が硬化するまで観測を行った。

計測の管理値としては、残留変位（変位が戻らなくなった状態、観測値を目視確認）と最大変位(TL-20を考慮した復元設計結果より最大活荷重たわみ量12.3mm)とし(図-10参照)、観測中に万が一、管理値を超過した場合、作業を中断し、速やかに避難及び現道の交通規制（村道への迂回）を行えるよう各関係機関（警察、自治体）との連絡体制を確保し、交通及び作業の安全確保に努めた。

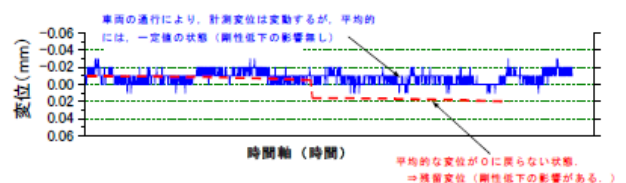


図-10 残留変位のイメージ

### (3) 終点側 下部構造の補修対策

下部構造のひび割れ幅は、近接目視調査結果から0.04～0.3mm程度である。ひび割れの補修は、0.2mm～0.3mmを対象とし、注入工法(図-11参照)により補修を行うこととし、変形・欠損、うきおよび剥離・鉄筋露出については、特に耐荷性能に及ぼす影響がないと判断できるため、断面修復工法による補修とした。

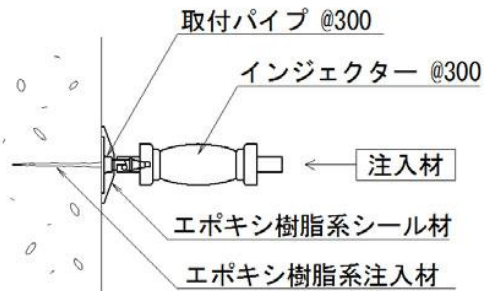


図-11 ひび割れ注入工の例(低圧注入)

### (4) 終点側 橋梁上面の補修対策

(床版の漏水、伸縮装置、橋面防水の補修)

本橋の伸縮装置は、腐食により劣化し、機能していなかったため、取り替えの必要があった。LCCを考慮した経済性、経年変化に追従する高い止水性、走行性を考慮し検討した結果、埋設型の伸縮装置とした。また、橋面防水については床板下面部において、漏水・遊離石灰が確認されており、防水層自体の劣化もみられたため、橋面防水層の更新をおこなった。

## 6. 今後の課題

現地調査の結果、最も危惧されたPC鋼材の破断は確認されなかったため、早急に新設橋へ架け替える必要性はなくなった。

しかしながら、これまでの劣化調査等を考慮すると、特にP5-A2径間においては、2003年時点において、既に塩害劣化を再発させるに十分な塩分量が内在していた。

従って、今後、部分的な断面修復等の補修を行っても、再劣化する可能性は高いと考えられる。また既往の事例によると、塩害により再劣化の生じたPC橋は、再度補

修等を実施しても、比較的短期間のうちに再々劣化が生じ、新設橋へ架替となったケースがある。

本橋においても、補修による延命措置を行っても、再劣化は免れ得ず、継続的に本橋の点検を強化する必要があるため、今年度予定している定期点検及びその後も継続して塩分量測定等の調査を行い、損傷の再発時に備え損傷径間に対し、補修を繰り返すか、または、架替を行うか、再劣化するまでの間に、費用を考慮しながら、検討しておく必要がある<sup>3)</sup>。

## 7. おわりに

コンクリート構造物は過去、維持管理を行わずとも半永久的に耐久性が失われない「メンテナンスフリー」の構造物であると考えられていたが、1980年代初めに建設省及び土木研究所を中心にコンクリート橋の塩害による被害の実態調査が行われ始めたことを契機に、1984年にはコンクリートクライシス問題としてテレビで取り上げられ社会問題として広く知られるようになり、近年、維持管理の分野で調査・研究が進められ基準書等も改訂され、成果を上げてきている。

このような背景の下、古い道路橋示方書等を適用し施工された橋梁については、やはり塩害による劣化・損傷を受けることは不可避であり、また、管内122橋のうち、これらのほとんどは飛来塩分の影響を直接受ける環境下のなか、今後、ますます増加していく老朽化したストックに対して、減少していく維持費用の影響により、米国の様な荒廃した道路環境とならないよう、より経済的な補修方法や予防保全法を模索していかなければならない。

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、昭和59年2月
- 2) 建設省道路局国道課：橋梁点検要領(案)、昭和63年7月
- 3) 塩害損傷を受けた平南橋の健全性評価について：伊良部、川間、[http://www.dc.ogb.go.jp/Kyoku/20090807\\_sougou/index.html](http://www.dc.ogb.go.jp/Kyoku/20090807_sougou/index.html) 沖縄ブロック国土交通研究会、平成21年7月