

沖縄県の離島架橋，池間大橋の補修・補強に関する取り組み

— 過酷な環境に置かれる長大 PC 橋の長寿命化 —

呉屋 秀樹*

海上部長大橋である池間大橋は供用開始から長期間経過しており，調査の結果，部材の老朽化が確認され補修が必要であると判定された。また，道路橋示方書の改定に伴い耐震性能を照査した結果，現行の耐震性能基準を満たしていないことが確認され下部工の補強についても必要であると判定された。本稿では調査設計の概要，そして補修・補強工法の紹介を図や実際の写真を交えて説明する。

キーワード：海上部長大橋，連続箱桁橋，フライアッシュコンクリート

1. はじめに

池間大橋（写真 - 1）は，宮古島と宮古島の北西約 1.8 km に位置する池間島を結ぶ橋長 $L=1\,425\text{ m}$ の離島架橋（図 - 1）で，沖縄県土木建築部道路管理課が策定した県管理橋梁の橋梁長寿命修繕計画において，個別管理橋梁として指定されており，重要度の高い橋梁である。池間大橋の概要を表 - 1 に示す。

本橋は，池間島の離島苦の解消，宮古島と一体となった生活圏・経済圏の形成および産業基盤の確立，観光資源の開発，文化の交流，教育，医療，福祉の向上などの地域の振興を図ることを目的として，平成 4 年 3 月に供用開始された。

平成 31 年 3 月現在，本橋は海上橋という厳しい塩害環境のなかで供用から 27 年が経過し，コンクリート部材のひび割れや鉄筋部材の腐食などが発生していることから，これらの部材の補修が必要であった。また，平成 7 年の兵庫県南部地震の発生を契機に橋梁の耐震性能の強化などの目的のため，これまで国の基準（「橋，高架の道路等の技術基準」（道路橋示方書））の改定が重ねられたが，平成 7 年以前に建設された本橋は，現行基準の耐震性能を満足させるために下部工や支承性能の補強を施す必要があった。

そこで，橋梁補修補強の調査設計を実施し，平成 24 年より上部工の補修工事，平成 26 年より下部工の補強工事に着手している。

表 - 1 池間大橋の概要

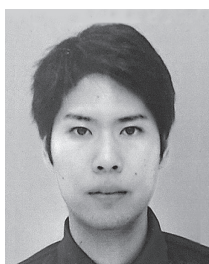
道路規格	3 種 4 級 ($V=50\text{ km/h}$)
橋 格	二等橋 (T-20, L-14)
橋 長	$L=1\,425\text{ m}$
道路幅員	$W=8.75\text{ m}$ (有効幅員 $W=7.75\text{ m}$)
橋 種	プレストレストコンクリート道路橋
構造形式	標準部：PC 4, 5 径間連続箱桁橋 航路部：PC 3 径間連続箱桁橋
基礎形式	・ A1, A2 橋台, P1 ~ P24 橋脚 (P3, P5 橋脚を除く) ⇒ 鋼管杭基礎 ・ P3, P5 橋脚 ⇒ 直接基礎



図 - 1 池間大橋の位置



写真 - 1 池間大橋の写真（池間島より撮影）



* Hideki GOYA

沖縄県 土木建築部
宮古土木事務所 主任

2. 調査・設計について

2.1 調査の概要

現地詳細調査として外観変状調査、鉄筋腐食度調査、海底潜水調査、電気防食調査、グラウト調査を実施した。その調査結果を表 - 2 に示す。

表 - 2 現地詳細調査結果

外観変状調査 (近接目視および打音調査)	・全損傷数(860箇所)のうち「ひび割れ」が約7割,「浮き」が約2割を占める。ひび割れ総数の約1.5割の箇所で遊離石灰または錆汁の滲出が確認された。 ・表面的な剥離はみられるが、鉄筋腐食による剥落はみられない。 ・P6～P12において損傷数が多い。
鉄筋腐食度調査 (はつり)	・下部工の代表箇所にて調査し、全調査箇所にて鉄筋腐食度「点錆」であった。 ・鉄筋径や間隔については竣工図面と一致していた。
海底潜水調査 (潜水士による近接目視)	・海中部の橋脚の損傷はみられなかった。 ・下部工周辺の土質は砂であり、P6, P8, P12付近には岩礁があることがわかった。
電気防食調査 (電位測定(照合電極:亜鉛電極))	A1, A2, P1～P24(P3, P5を除く)に対し亜鉛電極を用いて測定したところ、P24以外は健全であった。P24では対亜鉛電極電位が293mVであり防食電位(250mV)よりプラス側であったため、電気防食装置の更新が必要である。
グラウト調査 (インパクトエコー法)	全調査対象ケーブル数(106本)のうち17本で充填不良が疑われ、その17本に対し削孔調査、CCD撮影をしたところ充填不良や鋼材腐食はまったく認められず健全であった。

また、A1, P2, P6, P8, P9, P10, P12, P15, P17, P18, P20, P21, P22, A2でコンクリートコアを採取し(計42本)、採取したコアに対し室内試験として圧縮試験、塩化物量試験、中性化計測、促進膨張試験を実施した。その試験結果を表 - 3 に示す。

表 - 3 室内試験結果

圧縮試験 (圧縮強度試験およびコア採取箇所周辺での反発強度試験)	・圧縮強度試験ではすべての供試体で設計基準強度(橋台:21N/mm ² , 橋脚:27N/mm ²)を満足する結果が得られた。 ・反発強度試験では設計基準強度を下回る箇所もあるが、橋脚ごとの平均値は設計基準強度を満足している。
塩化物量試験	P6, P9, P10, P12の4橋脚において鉄筋位置までに鉄筋発錆限界値(1.20kg/m ³)を超えていた。
中性化計測	P10において中性化深さ2.7mmと全橋台、橋脚で最大値であった。中性化残りが15mm以上確保できるので中性化に起因する鉄筋腐食のおそれがほとんどないと考えられる。
促進膨張試験 (デンマーク法)	代表箇所(A1, P9, P10, P15, A2)のコア5本に対し試験を行ったが、いずれも膨張量が0.1%未満であったため、アルカリシリカ反応に関する判定は無害であった。

2.2 設計の概要

(1) 補修設計

調査の結果、下部工の外観上のグレード評価はコンクリート標準示方書(維持管理編)¹⁾における「状態Ⅱ-1(加速期前期)」と判定されたため、補修工法としてひび割れ注入工法、断面修復工法、電気防食工法および表面保護工法を実施する計画となった。

塩化物量試験の結果および近年の追加調査結果から、P1, P3, P4, P5, P6, P9, P10, P12の8橋脚についてはチタングリッド陽極方式の電気防食工法を、そのほかの橋台、橋脚については表面保護工のみを実施する計画となった。

電気防食工法を適用したのちの維持管理については、ライフサイクルコストを考慮し遠隔監視システムを採用しており、従来の現地計測による維持管理に比べ適用10年後に累計費用が逆転する計算結果が出ている。

(2) 補強設計

本稿の重要度(離島架橋、海上部長大橋、沖縄県個別管理橋梁、迂回路のない橋梁)から道路橋示方書・耐震設計編²⁾に記載の新設橋梁に要求される耐震性能に示される「耐震性能2」を耐震補強の目標性能として設定した。レベル2地震動の標準加速度応答スペクトルはタイプⅠおよびタイプⅡを採用し、本稿の基礎地盤はⅠ種地盤およびⅡ種地盤が混在しているが、そのほとんどがⅡ種地盤で構成されているため、動的解析ではⅡ種地盤で検討した。

また、本稿は①橋脚高の差が最大約2倍、②上部工は掛け違い部で分離されている(6分割)、③約1.5kmの長大橋なので中央部が側径間部に及ぼす影響が不明確という3つの理由から地震時の挙動が複雑である可能性があるため、連続化された上部工(6ブロック)でモデルを設定し、動的解析を実施した。

耐震補強前の本橋に対し現行基準による耐震性能の照査を行った結果、静的解析ではP1～P6において耐力超過となり、動的解析ではすべての支承(橋軸方向:水平力分散ゴム支承、橋軸直角方向:固定支承)および橋脚において、応力超過と判定された。この結果から橋脚部および支承部の耐震補強の必要性が浮上した。

下部工補強工法は仮締切不要の工法も含め包括的に判断し、施工性、経済性などが総合的に優れる鉄筋コンクリート巻立て工法を採用した。

支承補強工法は施工性、維持管理性、経済性が総合的に優れるコンクリート拘束ブロック(ダンパー併用)案を採用した。粘性ダンパーは維持管理性を考慮し沖縄県内の海上部長大橋で実績のあるダンパーを採用した。

仮設工は、経済性や施工性から単管足場を係留杭に固定し橋面から橋脚部にアクセスする案を採用した。また、仮締切り工の検討では、複数の仮締切り工や仮締切不要の巻立て工法を比較し、経済性の面より圧入式鋼製パネル仮締切り工法(STEP工法)を採用した。

3. 補修・補強工法について

池間大橋の補修・補強工法は、補強工については橋脚巻立て工、支承補強工(支承補強コンクリートブロック設置

工) およびダンパー取付け工があり (図 - 2, 3), 補修工については電気防食工, 断面修復工およびひび割れ注入工などがある。

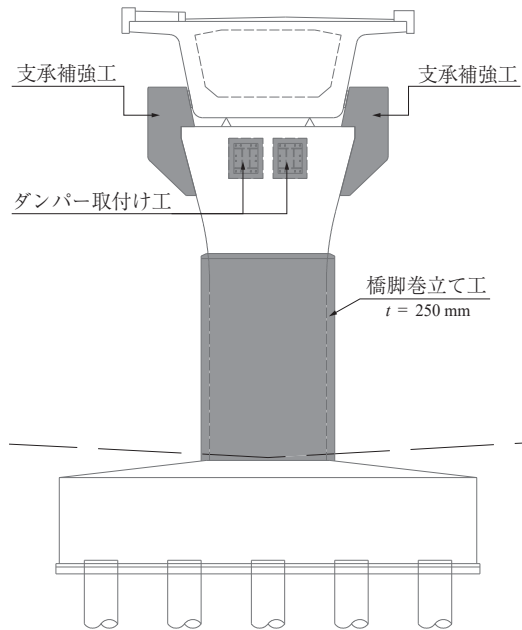


図 - 2 補強工一般図 (正面図)

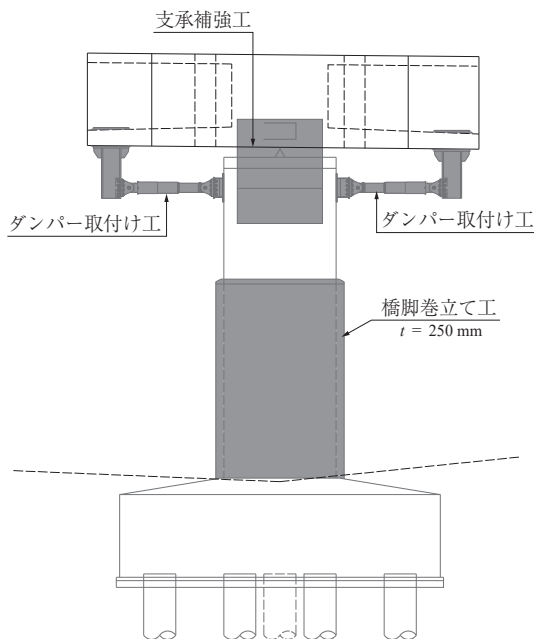


図 - 3 補強工一般図 (側面図)

3.1 橋脚巻立て工

橋脚巻立て工とは、地震に対する抵抗力 (ねばり強さ) を高めることを目的として、既設下部工の柱部の周囲に補強鉄筋を組み立て、コンクリートを増打ちする工法である。

施工方法は、まず始めに既設コンクリート内の配筋状態を確認するため、鉄筋探査を行う。そののち、内部鉄筋に干渉しないよう削孔位置を決め、既設コンクリートの削孔

を行う。削孔する理由は、孔内にアンカー筋を挿入しエポキシ樹脂系接着材を充填することで、既設コンクリートと補強鉄筋の定着力を向上させるためである。

さらに、既設コンクリート表面部にチッピング (目荒らし) 作業を行い、既設と新設のコンクリート境界部の定着度を高める。アンカー筋定着後は、アンカー筋に固定させる形で補強鉄筋を組み立てる (写真 - 2)。鉄筋組立て後は、必要な巻立て厚さ (250 mm) を確保するように型枠を組み立て、コンクリートを打設する (写真 - 3)。

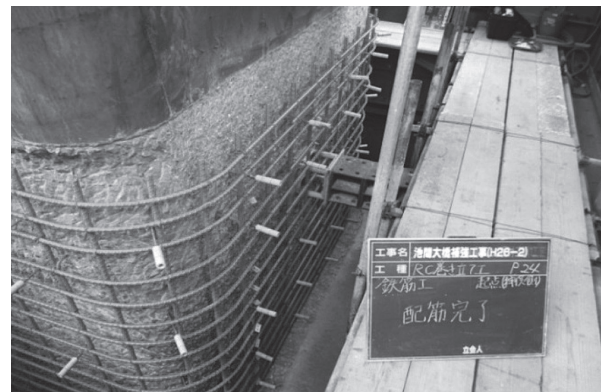


写真 - 2 鉄筋組立て完了



写真 - 3 コンクリート巻立て完了

3.2 支承補強工 (支承補強コンクリートブロック設置工)

支承補強工では、地震時における橋軸直角方向の振動に対して、固定支承に許容値以上の力が作用しないよう、上部工を拘束する形で下部工の梁部にコンクリートブロックを設置した。

施工方法は、まず始めに既設コンクリート内の鉄筋探査を行い、削孔位置を決定する。既設コンクリート表面部にチッピング (目荒らし) 作業を行い、孔内に鉄筋を挿入し (写真 - 4) 定着後、補強鉄筋を組み立て型枠で囲い、コンクリートを打設する (写真 - 5)。

上部工の既設コンクリートと下部工の増打ちコンクリートの接継面には、振動による衝撃を和らげるためのゴム緩衝材を設置している。

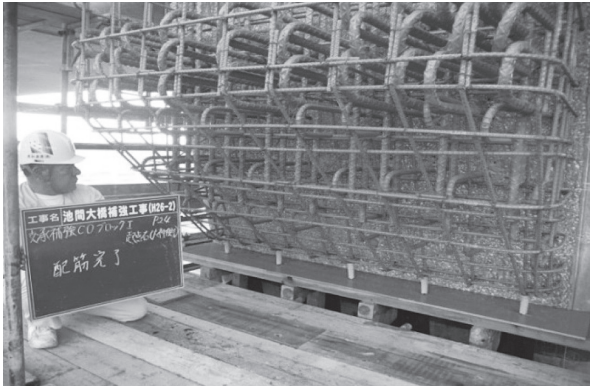


写真 - 4 鉄筋組立て完了



写真 - 5 支保補強完了

3.3 ダンパー取付け工

ダンパー取付け工では、地震時における橋軸方向の振動に対し、振動を軽減（地震エネルギーを吸収）させて、各部材に生じる作用力や変位量を小さく抑えるため、制震ダンパーを設置した。

施工方法は、まず始めに既設コンクリート内の鉄筋探査を行い、削孔位置を決定する。孔内にアンカーボルトを挿入し定着後、上部工および下部工にそれぞれブラケットを取り付けたのち、制震ダンパーを取り付ける（写真 - 6）。制震ダンパーやブラケットなどの鋼部材は、塩害の影響を大きく受けるが、部材表面をアルミニウムマグネシウム合金（膜厚 150 μm 以上）により金属被覆することで鋼部材本体の耐久性を向上させている。



写真 - 6 ダンパー取付け完了

また、ボルトやナットなどの凹凸部は、金属被覆の標準膜厚が確保しにくいなどの理由により腐食の弱点となりやすい箇所であるが、池間大橋が厳しい塩害環境下に置かれていることを考慮して、ボルト箇所は金属被覆に加え保護キャップを取り付けた。保護キャップは、腐食状況を目視で確認できるように透明のものを使用した。

3.4 電気防食工

電気防食工法は、コンクリート表面に陽極材を設置し（写真 - 7）、コンクリートを介し鋼材に防食電流を供給することで、劣化損傷の原因となる鉄筋表面のアノード反応を停止させる工法で（図 - 4）、維持管理においてはライフサイクルコスト面で有利な遠隔監視システムを導入した。

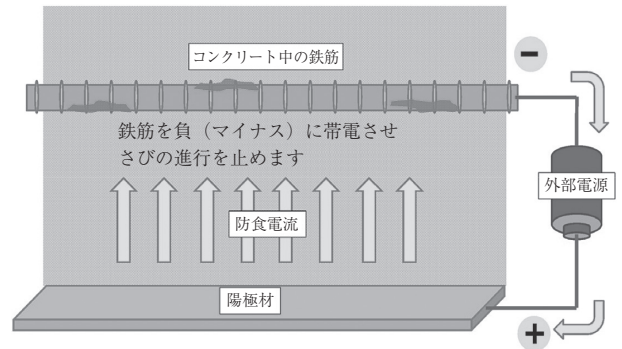


図 - 4 電気防食の原理（模式図）



写真 - 7 溝切陽極設置完了

3.5 そのほかに実施した補修工

断面修復工は、浮きや剥離によりコンクリート部材が大きく損傷している箇所をはつり落とし、ポリマー系の補修材を充填し断面を修復する工法（図 - 5）である。本工法では、塩化物イオン濃度が異なる補修材と既設コンクリートの間に電位差が生じることで腐食電流が流れ、境界部の鉄筋が腐食する現象（マクロセル反応）が起こるが、その対策として鉄筋に犠牲陽極材を設置（写真 - 8）することで、電位差を低減し腐食反応を抑制することとした。

ひび割れ注入工は、コンクリートにひび割れが生じている箇所にセメント系の補修剤を注入し、防水性や耐久性を向上させる工法（写真 - 9）である。また、支保などそのほかの部材についても補修を行った。

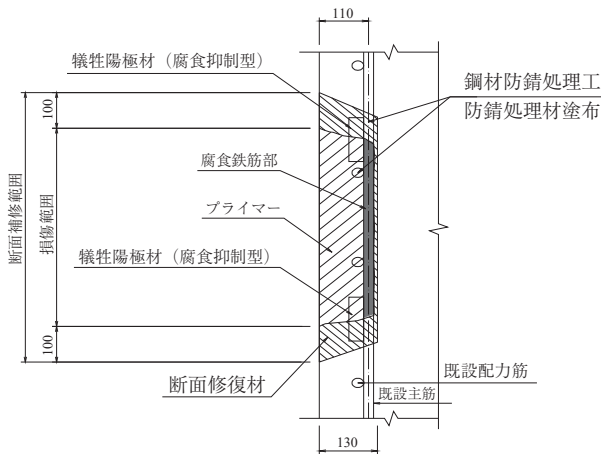


図 - 5 断面修復詳細図



写真 - 10 圧入式鋼製パネル仮締切り工法の施工状況



写真 - 8 犠牲陽極設置状況

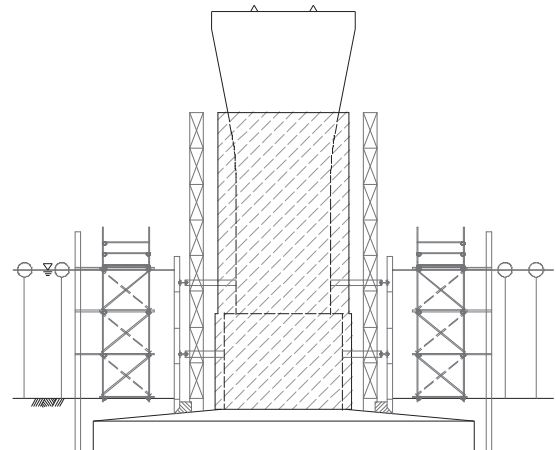


図 - 6 仮設工詳細図



写真 - 9 ひび割れ注入工

3.6 離島架橋であることに配慮した採用技術

(1) 圧入式鋼製パネル仮締切り工法の採用

橋脚補強時の作業空間の確保に必要な仮締切り工の実施にあたっては、圧入式の鋼製パネル仮締切り工法（STEP工法）を採用した（写真 - 10、図 - 6）。この仮締切り工法は桁下空間が狭い現場であっても施工可能という特性があり、橋梁両端部の桁下空間が狭い池間大橋の工事現場においても有効な工法である。また、従来の仮締切り工法に比べ小型化した施工が可能であるため、掘削に伴う汚濁の

発生を最小限に抑えられる。

(2) フライアッシュコンクリートの採用

沖縄県は高温多湿で厳しい塩害環境下にあるが、コンクリート構造物の劣化要因は、塩害のほか、コンクリート材料である海砂などに含まれる反応性珪物によるアルカリシリカ反応もその一つである。池間大橋の橋脚補強に用いるコンクリート部材には、これらの劣化抑制に有効であるフライアッシュコンクリートを使用し、耐久性向上を図った。

(3) 塩害に強い材料の採用

橋脚の補強に用いる鉄筋部材は、塩害による部材の早期劣化を防ぐ目的として、エポキシ樹脂塗装を施した鉄筋を使用している。

(4) 金属被覆を施した鋼部材の使用

鋼部材である制震ダンパーおよびブラケットの表面にはアルミニウムマグネシウム溶射や溶融亜鉛アルミニウム合金めっきを施した（写真 - 11）。金属被覆を適用することで鋼部材本体の防食効果および高耐久性を確保することとした。



写真 - 11 金属被覆後の制震ダンパー

(5) 遠隔監視システムによる通電管理

電気防食を施した鉄筋コンクリートでは、遠隔監視システムにより通電状況を確認している。遠隔監視システムでは、通電量などの情報が1回/日の頻度で管理者あてに電子メールにより自動的に送信される。そのため、現地での測定作業が大幅に軽減され、効率的な維持管理が可能である。

3.7 環境対策

(1) 汚濁防止膜の設置

橋脚補強時には海底掘削する作業を伴うが、掘削により発生する汚濁の拡散を防止するため、工事現場の周りに汚濁防止膜を設置し、周辺海域の保全に努めている。

(2) 環境監視業務の実施

池間大橋周辺の海域には、モズクなど複数の漁業権区域が設定されている。これら漁業権区域の環境保全のため、周辺海域の水質調査、底質調査を行っている(写真-12)。



写真 - 12 試料採取状況 (底質調査)

4. おわりに

上部工の補修については平成25年度に完了、下部工については平成30年度までにP6～P11のコンクリート巻立て以外およびP19～P21, P23～P24, A2の補修・補強が完了しており、平成30年度末時点での進捗率は事業費ベースで約38%となっている。令和元年度はP9橋脚のコンクリート巻立て工事を実施している。

先に述べたように池間大橋は厳しい塩害環境下に建設され、迂回路がないなど重要度が高い橋梁であることから、地元住民や観光客の方々に安心して渡っていただけるよう早期事業完了に向け邁進していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 維持管理編，2007
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，平成24年3月

【2019年8月30日受付】



刊行物案内

既設ポストテンション橋のPC鋼材調査 および補修・補強指針

平成28年9月

本工学会「既設ポストテンション橋のPCグラウト問題対応委員会」において、ポストテンション方式の既設PC橋の実態把握（健全性・損傷事例の把握や規準等の整理）、PCグラウトの充填性調査手法の把握、PC鋼材の健全性調査手法の把握、ポストテンション橋の健全性診断の方法検討、PCグラウト充填不足・PC鋼材損傷の補修・補強の提案等の検討が行われ、その成果を指針としてまとめたものです。

定 価 4,888 円 (税込) / 送料 300 円

会員特価 4,000 円 (税込) / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会