

断面形状が変化するT桁端部の塩害補修工事について

(株)富士ピー・エス 正会員 工修 ○田村 誠一
 福岡市 工修 池田 武志
 福岡市 工修 九十九 圭
 (株)富士ピー・エス 正会員 吉田 光秀

キーワード：ウォータージェット，犠牲陽極，塩化物イオン固定，吹付け工法

1. はじめに

愛宕大橋は平成7年に福岡市の室見川河口に架設された橋で、橋長283.5mの6径間単純ポストテンションT桁橋である。本橋は海から吹く風と波しぶきの影響を受けるA2橋台側の桁端部、および端支点横桁部においてコンクリート中の塩化物イオン濃度が高くなったことにより、鋼材の腐食が発生していた。

主な工事内容は、塩化物イオンが浸透した桁端部の下フランジとウェブの一部、端支点横桁をウォータージェット工法（以下WJ工法）によるコンクリートはつりと、断面修復部への犠牲陽極材設置，吹付け工法による断面修復，鋼材腐食環境検知システムの設置である。

本稿は、愛宕大橋の施工時に実施した事前調査，施工，モニタリングについて報告する。

2. 補修工事概要

塩害が認められるA2橋台側は満潮時は主桁下面近くまで海水面が上昇し、干潮時には干潟があらわれる。写真-1に本橋の全景と干満時の状況、写真-2に代表的な劣化の状況を示す。

本工事では簡易的な塩化物イオン量調査を現場で実施し、施工範囲を決定後、塩化物イオンが浸透した桁端部の下フランジとウェブの一部、端支点横桁のコンクリートをWJ工法ではつりとした。そして犠牲陽極材を設置し、塩化物イオン固定化材を配合した材料による断面修復を実施した。施工範囲を図-1に示す。



写真-1 愛宕大橋

写真-2 劣化状況

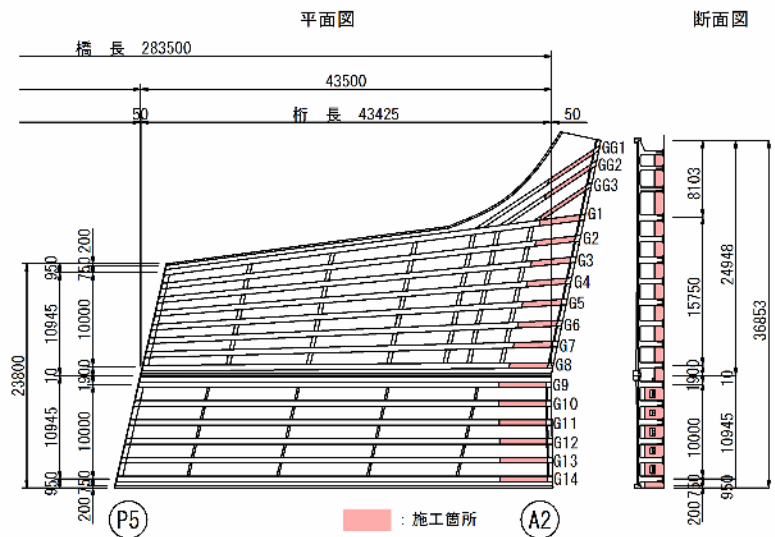


図-1 施工範囲

3. 補修工事

3. 1 簡易塩化物イオン量調査による施工範囲の設定

本橋の詳細調査報告書や劣化の状況からA2橋台側の桁端部において、コンクリート表面に近い部分で塩化物イオン濃度が高いことは推定されたが、塩分含有量試験を実施した箇所が少なかったことから、計画されている施工範囲の妥当性を判定することができなかった。

そこで、採取したコンクリート粉末を分析機関に依頼せずに、塩化物イオン濃度が分析可能な電量滴定式デジタル塩分測定器を用いた迅速測定法により、詳細な塩化物イオン濃度の調査を行った。なお、コンクリート粉末はドリル法により0~3cmの深さで採取した。

試料を採取する桁は斜角が異なるG4桁とG12桁、損傷が最も激しいG8桁とした。試料採取が1点で1試料となることから、試料から見かけの拡散係数を算出することができない。そこで、詳細調査報告書で採用している見かけの拡散係数を用いて測定結果より表面の塩化物イオン濃度を推定し、鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定値を算出した。

施工範囲は今後定期的に点検が実施されることや、損傷状況などから補修から30年後（架設後約50年）に鉄筋位置で塩化物イオン濃度が 2.5kg/m^3 未満と推定される箇所についてはコンクリートを除去しないこととし、現在（架設後21年）における鉄筋位置の塩化物イオン濃度が 2.5kg/m^3 以上と推定される箇所は当初の計画から施工範囲を拡大することとした。

この測定結果から、横桁については当初の施工範囲で変更がないこと、主桁についてはいずれも上流側は塩化物イオン濃度が低く逆に下流側は高い傾向を示し、とくにG12桁の下流側の側面は桁下から1.5mの高さまで塩化物イオン濃度が高かったことから施工範囲の変更を行った。

これは、海から吹く風の影響で上部工に波しぶきがかかっていたためと思われる。G12桁の測定結果をもとに同様の波風の条件となるG9~G14桁についても施工範囲を拡大した。測定結果と施工範囲を図-2に示す。

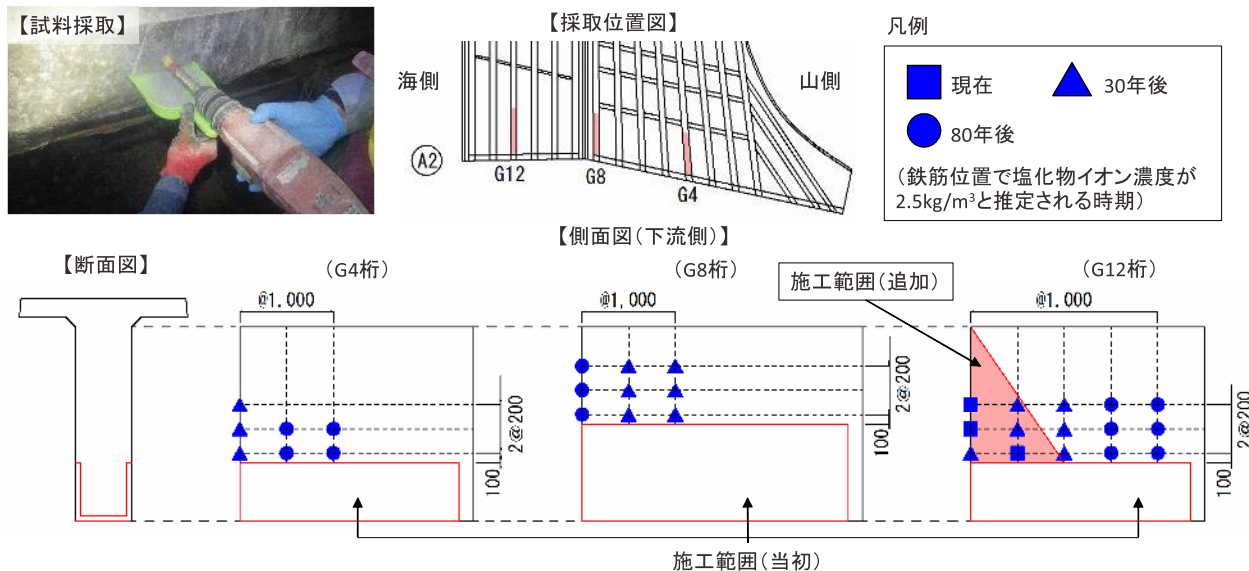


図-2 測定結果と施工範囲

3. 2 はつり工

コンクリート断面のはつりは、躯体に悪影響の少ない超高压水を使用するWJ工法で行った。本工事は機材の配置の制約を受ける市街地での工事であったため、使用機械を写真-3に示すように低騒音タイプの機材をトラックに載せ、車道の一部を規制した。機材近くを通行する歩行者からとくに苦情はなかった。はつり作業は直射式のハンドガンを用いて2台使用し、約210MPaの水圧で鉄筋の背面（主桁側面55mm，主桁底面65mm，横桁55mm，胸壁115mm）まで行った。なお、はつりを行った場合の主桁の影響につ

いては桁の応力度照査を行い安全性を確認している。

施工時に発生する高アルカリの汚濁水を河川に流出させないように、足場内は防水用のゴムマットを敷設し、汚濁水を随時吸引車で回収した。回収した水は、ヤード内に設置した濁水処理槽で、pHと濁度を環境省の一律排水基準の規格値内まで調整したのち、水処理施設まで搬送し処理した。また、現場ヤードが狭いため歩道の一部を規制して、歩道に吸引車と水運搬用の散水車を設置した。

はつり完了後に鉄筋の発錆状況を目視確認した結果を図-3に示す。主桁は海側となるG14桁側の桁ほど鉄筋の発錆が多くみられた。GG1～G8桁間は主に主桁底面に多く発錆が見られ、G9桁～G14桁は主桁底面に加えて下流側の主桁側面の高い位置（A2橋台天端から1.5m程度）にもみられた。このことから、同じ橋梁であっても、主桁位置により発錆状況が異なることがわかった。迅速測定法による塩化物イオン濃度の調査結果とも相関性がみられた。

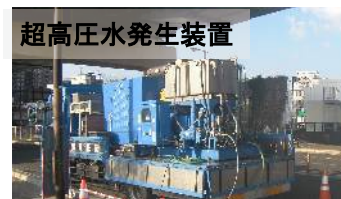


写真-3 はつり工

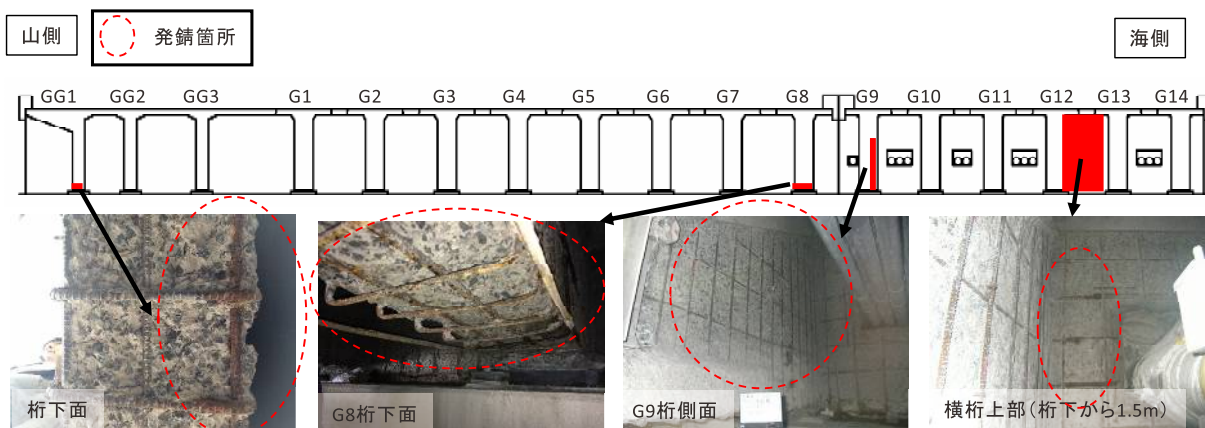


図-3 発錆状況

3. 3 犠牲陽極材による防食工

断面修復部と未修復部のマクロセル腐食による再劣化とPC定着部の劣化進行の抑制対策として、犠牲陽極材を設置した。

犠牲陽極材はPC定着部鉄筋の防食効果が補修範囲で均等になるように、防食半径を考慮して設置した。設置後は取り付けた鉄筋と犠牲陽極材の導通確認（0.3Ω以下）を行った。また、直接接していない鉄筋と鉄筋の抵抗を測定して導通していることを確認した。設置状況を写真-4に示す。



写真-4 設置状況

3. 4 吹付け工法による断面修復工

予防保全を目的として、外部からの塩化物イオンの浸入を抑制する効果のある塩素固定化材を配合したプレミックスタイプの吹付け用断面修復材を使用した。この材料はセメントの水和反応生成物が細孔中に存在する可溶性の塩化物イオンをフリーデル氏塩として固定化することで無害化を図る。塩化物イオンを固定化する機能を付与することで、より鉄筋への遮塩性に優れた断面修復材となる。

断面修復が広範囲となるため、吹付け工法で断面修復を行った。吹付け工法の施工の性質として、形状が変化する断面に吹付けた際、角の部分が丸くなることによるかぶり不足や、不陸の大きい仕上がり面となることが予想された。そこではつり前に計測した躯体寸法をもとに、吹付け用の型枠を作

製し、出来形精度の向上と吹付け時の施工性を考慮して50cm間隔で設置した。型枠使用時と不使用時の比較イメージ図を図-4に示す。型枠の設置により、吹付け前にかぶりが確認でき、吹付け後の角の仕上がりもよく、大きな不陸も見られなかった。施工状況を写真-5に示す。

3. 5 モニタリング装置の設置

今後、定期点検の中で構造物への劣化因子の浸透を察知し、対策を講じることができるよう、事前調査で塩化物イオン濃度が最も高かったG8桁の下流側に測定内容が異なるモニタリング装置を設置した。

腐食環境検知システムは、感知部分に腐食因子が浸入しやすい被覆モルタルが塗布された箔状の鉄製のセンサーと外部にデータを無線で送信するタグを躯体内に埋め込んで使用する。

センサーは劣化因子の浸入により発錆し、腐食が進行して断面欠損する。この断面欠損により変化する電気抵抗値を計測することで腐食度を判定する。このセンサーを鉄筋と同じ位置に取り付けた。

このセンサーの他に断面修復と同じ材料による供試体を作製し、A2橋台部に暴露した。供試体は、「コンクリート標準示方書（規準編）」記載のJSCE-F 561-2013「吹付けコンクリートの圧縮強度試験用供試体の作り方」に準じて作製した。この供試体で腐食因子の浸入深さを確認し、浸入状況の経時変化を確認する。

桁内の鉄筋と直結したリード線も配置（照合電極などの配置なし）した。リード線と検査装置を繋ぐことによりコンクリート表面と鉄筋間の自然電位などが簡単に測定可能となる。なお、露出した線が海水の影響を受けないように鉄筋の内側を通して上流側に出し、プルボックスを設置して養生した。それぞれの設置状況を写真-6, 7, 8に示す。

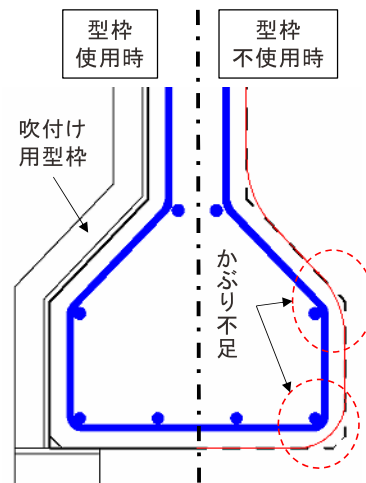


図-4 比較イメージ図



写真-5 施工状況



写真-6 腐食環境検知システム



写真-7 供試体



写真-8 リード線

4. まとめ

本稿では、塩害による劣化が認められる橋梁の事前調査、施工、モニタリングについて報告した。今回の調査で同じ橋梁内でも、下部工の形状や風の影響で各桁、劣化状況が異なることがわかった。

施工については吹付け用型枠の使用により、断面の変化に対応し、かつかぶりを目視確認しながら施工できた。

モニタリングは、今後の点検でさまざまな方法で内部への劣化因子の侵入を確認できるようにした。本工事は2017年1月に無事に完了することができた。完成写真（近景）を写真-9に示す。

最後に工事進行に協力していただいた関係者の皆様に深く感謝の意を表すとともに、本報告が今後の補修工事の参考になれば幸いです。



写真-9 完成写真（近景）