

海岸部撤去橋梁 (PC橋) の調査研究

川田建設株式会社

○正会員 後田 秀範

北陸地方整備局高田河川国道工事事務所

勝俣 良夫

川田建設株式会社

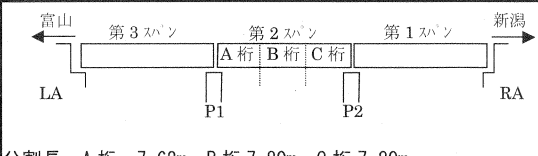
正会員 北野 勇一

1. はじめに

調査は、昭和37年に海岸部に建設された3径間単純PCポストテンション方式T桁道路橋の撤去に伴い、主桁の1本を分割して詳細調査可能施設で行った。この橋梁は、海岸線より55mに位置し、北陸地方特有の強い北西の季節風や高波を受け、厳冬期には海水の飛沫が直接かかっていたようである。このため、塩害が主たる要因であると考えられる劣化損傷が生じ、補修・補強を繰り返し、平成14年に道路線形の変更による新橋の架橋に伴い撤去された。

これまで、海岸部に建設されたコンクリート構造物を主な対象として、「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」(昭和59年、(社)日本道路協会)、「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発」(平成元年、(財)土木研究センター)、最近では「コンクリート標準示方書[維持管理編]」(平成13年、土木学会)などの基準類が整備されている。しかし、過去の基準類に従い補修対策を実施した事例の中には残留塩化物イオン等の影響で再劣化による補修を繰り返すケースも見られ、現行基準類の妥当性および見直しを検証していくためにも、補修後の対策効果に関する調査データを蓄積していく必要があると思われる。ここでは、このような背景を踏まえ、海岸部撤去橋梁PC桁について調査を行い、その結果について報告する。なお詳細調査は過去の損傷履歴より、再損傷が多く見られた第2スパンのG4桁について行った。

表-1 調査対象の概要

橋種	プレストレストコンクリート道路橋	
形式	ポストテンション単純T桁橋	
橋長	70.0m (支間長 3@22.73m)	
橋格	一等橋 (TL-20)	
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm ²	
PC鋼材	PC鋼線 12-φ5mm (10本配置)	
補修履歴	第1回補修 鉄筋およびシーース露出部樹脂モルタルにて補修 第2回補修 欠損部にモルタル、クラック樹脂注入 第3回補修 樹脂系断面修復(Gmax=25mm) + 塗膜被覆 第4回補修 無機系断面修復(Gmax=25mm) + 塩害対策塗装 + 横桁補強 第5回補修 ポリマー系断面修復(Gmax=10mm) + 塩害対策塗装 + 外ケーブル補強	

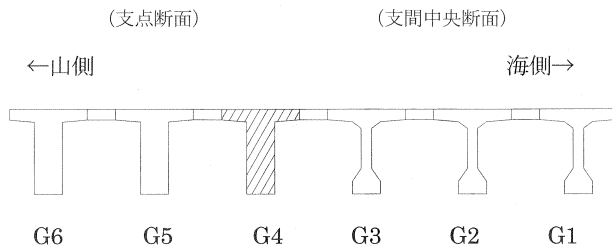


図-1 調査した桁

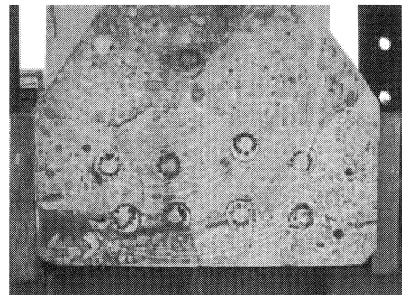


写真-1 下フランジ断面

2. 調査結果

調査は、コンクリートの品質、塩化物イオン濃度、非破壊検査の3項目について実施し、その結果を以下に示す。

2-1 コンクリートの品質

コンクリートの品質は、コアを主桁のウェブ（補修未実施部位）より採取し、圧縮強度、弾性係数および中性化の試験を行った。圧縮強度および弾性係数の試験結果は表-2の通りである。また、中性化の最大値は10mm以下であった。

これより、圧縮強度の平均値が60N/mm²、弾性係数で33.9kN/mm²の結果となり、本P.C桁の設計基準強度40N/mm²を下回することはなかった。また、中性化に対しては、コンクリート標準示方書（維持管理編）の√t則にて推定した供用100年時点での中性化深さは最大でも15.6mm以下であり、鉄筋のかぶり35mmに対し、中性化しない部位は約20mm確保されることとなる。

表-2 強度試験の結果

	質量 (kg)	直径 (mm)	高さ (mm)	単位体積重量 (kg/m ³)	最大荷重 (kN)	強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
No1	0.33	45.27	93.02	2204.5	108.8	67.6	35.9
No2	0.33	45.23	90.38	2272.1	85.7	53.3	34.4
No3	0.33	45.23	92.65	2216.5	100.8	62.7	35.8
No4	0.33	45.40	93.05	2190.8	91.2	56.3	29.5
平均値	0.33	45.28	92.28	2220.9	96.6	60.0	33.9

以上より、コンクリート品質としては、現行基準の性能を満足しており、供用を継続した場合においても、問題はなかったもの考えられる。ただし施工時の配合は不明であり配合確認を行っていないため材料の劣化度に関しては確認できていない。

2-2 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度は、下フランジ側面・下面にて各ブロック（Aブロック・Bブロック・CブロックただしBブロック下面是採取不可）のコアを採取し深さ方向に10mm・30mm・50mm（Aブロック側面は60mm）の3サンプルに分割して試験を行った。試験は各サンプルとも全塩分量（JISA 1154-2003）と可溶性塩分量（日本コンクリート工学協会、JCI-SC4）を測定し、これを基に全塩分量の塩化イオン濃度の拡散状況と全塩分量に占める可溶性塩分量の割合についてとりまとめた（図-2, 3）。

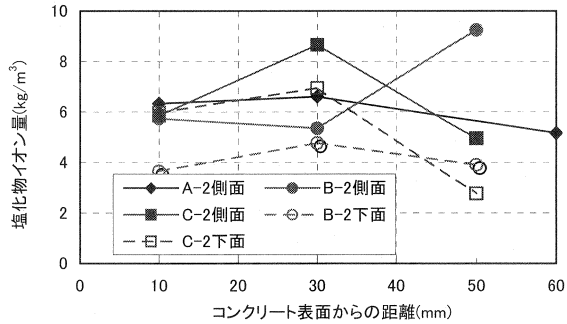


図-2 塩化イオン濃度試験結果（全塩分量）

これより、以下の事が言える。

- ① 塩化物イオン濃度は調査全箇所でも1.2kg/m³を超え、鉄筋のかぶり以上まで高濃度であった。
- ② 塩化物イオンのかぶり深さ方向の分布は、10mmの位置よりも深部の濃度が高い状況であった。
- ③ コンクリート表面から中央に向かい可溶性塩分の比率が低下する傾向にあった。

以上より、①については、ハツリ調査により断面修復の厚さは最大でも50mm程度（鉄筋の裏側まで）であるものの、

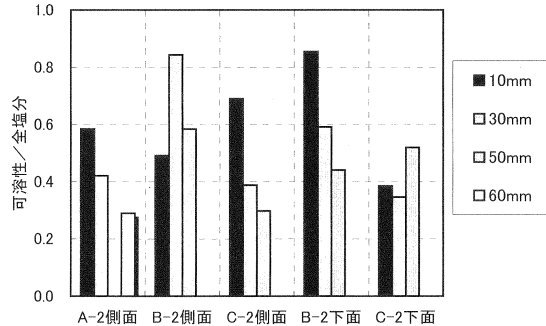


図-3 可溶性と全塩化イオン濃度の比率

かぶり 70mm に位置するPC鋼材が腐食していたことを確認したため、過去の補修の段階において、すでにコンクリートを除去することができない部位にまで塩分が多く浸透していたものと推察される。

また、②、③については、過去の補修では主桁の露出面全てに対し表面被覆を実施している経緯より、補修部にはかぶり深部側の既設コンクリートから経年的に塩分が侵入しつつあること、および、補修部の可溶性塩分の割合が既設コンクリート部より高いことから塩分の存在状態が補修部と既設コンクリート部では異なることが想定される。

以上の事より、補修計画においては塩化物イオン量の分布状況の把握が重要であり分布状況に応じた補修工法の選定が必要と考えられる。

2-3 非破壊検査

非破壊検査として、自然電位法(土木学会, JSCE-4601-2000)と分極抵抗法¹⁾を実施した。自然電位法は表面被覆を除去した部位に適用することとし、測定の信頼性を確認するため、銅硫酸銅電極(CSE)と分極抵抗法測定時に付随して測定できる銀塩化銀電極(Ag/AgCl)を銅硫酸銅電極電位に換算した2方法を用いることとした。

ここで、自然電位法は鉄筋の腐食状況について簡便な方法で検査できることから多く利用されているが、その判定評価の方法はASTM規格などで腐食の可能性を示すに留まっている(表-3)。

表-3 鉄筋腐食性の評価

自然電位 E (mV:C.S.E)	鉄筋腐食の可能性
$-200 < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-350 < E \leq -200$	不確定
$E \leq -350$	90%以上の確率で腐食あり

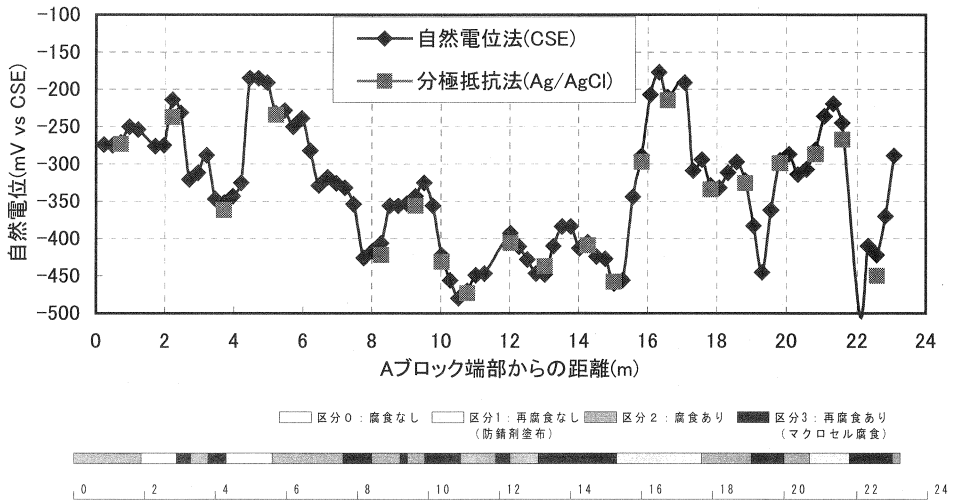


図-4 自然電位法の結果と腐食状況

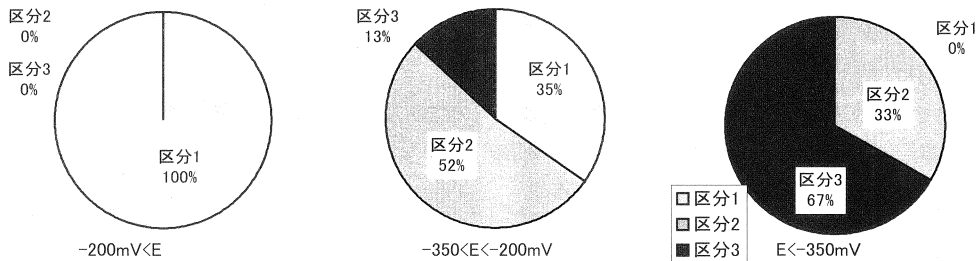


図-5 自然電位の区分と鉄筋腐食状況の関係

一方、分極抵抗法は、現時点では自然電位のように国内で規格化されたものではなく、調査の信頼性も明確となっていない。よって両検査法の検証を兼ね、補修を繰り返したPC桁の鉄筋腐食状態と自然電位、分極抵抗法(k値 0.026)、および、分極抵抗法の測定部位より取り出した鉄筋(長さ約100mm)の腐食減量(供用年数41年で除した腐食速度として表示)について図-4~6にデータを示す。

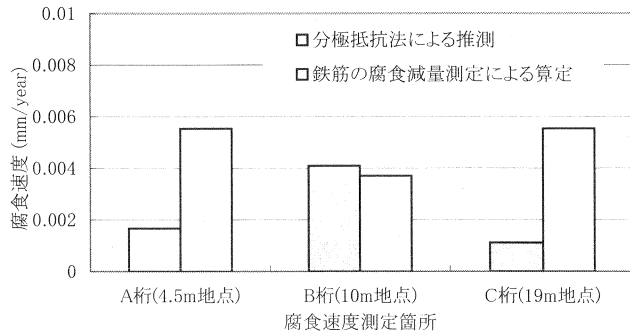


図-6 腐食速度の比較

これより、以下の事が言える。

- ① 自然電位は、銅硫酸銅電極 (CSE) と銀塩化銀電極 (Ag/AgCl) の結果は一致する傾向であった。
- ② 自然電位法で「90%以上の確率で腐食あり」と評価される部位では、ハツリ出しにより確認した鉄筋も全ての部位で「腐食あり」の状況であり、その大半は補修後の再腐食が生じていた。
- ③ 自然電位法で「90%以上の確率で腐食なし」と評価される部位では、再損傷は見受けられなかった。またこの範囲は鉄筋に防錆剤が塗布してあり再損傷は見受けられ無かった。
- ④ 腐食速度は、非破壊検査値と実測値(分極抵抗法と鉄筋の腐食減量)が測定箇所により差が大きく異なり、その比率で1.1~0.2となった。

以上より、非破壊検査による測定に関し、①の結果のように、自然電位法は検査規格に従い測定し、照合電極による補正を行えば、精度の良い測定値を得ることが検証された。また②、③からは自然電位が鉄筋の腐食状況をほぼ反映していると考えられる。

一方、分極抵抗法から求めた腐食速度と取り出した鉄筋から求めた腐食速度の実測値との整合性は必ずしもあるとは言えない結果となった。これは、分極抵抗法及び実測値より腐食速度を算出する過程で、補修を考慮せずに供用時から調査時点までを“一定の腐食速度”と仮定したことに問題があると思われる。

また、本調査時点では再腐食の少ないA、Cブロックでは腐食の進行が少なく、再腐食が多く生じているBブロックでは腐食も進行中であるとも考えられる。いずれも実構造物の過去の補修と腐食状況の関係を推定することは難しく、あくまでも調査時点の腐食進行性を判断するデータとして扱う方が良いと思われる。

3. まとめ

- (1) 補修・補強を繰り返した本橋の主桁コンクリートには、多量の塩分が含まれているが、それによる強度や中性化などのコンクリート物性に及ぼす影響は小さいことが確認された。
- (2) 断面修復工法により全面的に補修された部位では、かぶり深部側の既設コンクリートから経年的に塩分が侵入しつつあり、塩分の存在状態が既設コンクリート部とは異なることを示すデータが得られた。
- (3) 断面修復部においても、自然電位法により鉄筋腐食状態がおおよそ確認できることを検証した。

4. おわりに

本研究で得られた結果は、橋梁の1主桁に対してのものであり、全ての橋梁に適用できるとは言えないが、1つの課題として提供することができた。今後、明確にできなかった点については、技術課題として取り上げ、検討を進める上で活用されれば幸いである。

参考文献

- 1) 鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向, コンクリート技術シリーズ 26, 土木学会